

# 博士論文

食料貿易を考慮した食料需給に基づく  
世界の淡水資源需給バランスの評価  
(Evaluation of Global Freshwater Supply and  
Demand Balances Based on Food Supply and  
Demand Considering Food Trade)

2021年3月

立命館大学大学院理工学研究科  
環境都市専攻博士課程後期課程

山口 陽平

立命館大学審査博士論文

食料貿易を考慮した食料需給に基づく  
世界の淡水資源需給バランスの評価  
(Evaluation of Global Freshwater Supply and  
Demand Balances Based on Food Supply and  
Demand Considering Food Trade)

2021年3月

March 2021

立命館大学大学院理工学研究科  
環境都市専攻博士課程後期課程

Doctoral Program in Advanced Architectural, Environmental  
and Civil Engineering

Graduate School of Science and Engineering

Ritsumeikan University

山口 陽平

YAMAGUCHI Yohei

研究指導教員：天野 耕二教授

Supervisor : Professor AMANO Koji

# 食料貿易を考慮した食料需給に基づく 世界の淡水資源需給バランスの評価

## 目次

<b>第1章 序論</b> .....	<b>1</b>
1.1 背景.....	1
1.2 既往研究.....	3
1.2.1 Planetary Boundaries の概要.....	3
1.2.2 世界規模の既往研究.....	4
1.2.3 国レベル・地域レベルの既往研究.....	5
1.2.4 淡水資源必要量の要因分解分析.....	6
1.3 研究目的.....	7
1.4 論文の構成.....	9
<b>第2章 使用データと評価対象の設定</b> .....	<b>10</b>
2.1 評価対象の概要.....	10
2.2 使用データ.....	27
<b>第3章 食料需給バランスの現状把握</b> .....	<b>29</b>
3.1 推計の流れ.....	29
3.2 食料貿易収支マトリックスの作成.....	30
3.2.1 貿易統計の不整合問題.....	30
3.2.2 輸入相手国別食料輸入量の推計.....	30
3.2.3 原料換算係数の設定.....	33
3.2.3.1 農作物の原料換算係数.....	33
3.2.3.2 飲料品の原料換算係数.....	33
3.2.3.3 肉類・卵類の原料換算係数.....	33
3.2.3.4 乳製品の原料換算係数.....	34
3.2.3.5 乾燥品の原料換算係数.....	34

3.2.4	食料貿易収支の推計 .....	35
3.2.4.1	食料貿易収支マトリックスの概要.....	35
3.2.4.2	RAS 法の概要 .....	37
3.2.4.3	RAS 法による補整計算の手順.....	37
3.2.4.4	RAS 法による貿易収支補整の妥当性の評価 .....	39
3.3	食料需給バランスの推計.....	42
3.3.1	食料需給バランスの定式化.....	42
3.3.2	エネルギー換算係数の設定.....	44
3.3.3	食料需給バランスの推計結果 .....	44
<b>第 4 章</b>	<b>食料供給および食料需要に起因する淡水資源必要量の評価 .....</b>	<b>47</b>
4.1	推計の流れ .....	47
4.2	淡水資源消費の評価手法.....	48
4.2.1	Water Footprint の概要 .....	48
4.2.2	Virtual Water の概要 .....	48
4.2.3	Real Water と Virtual Water.....	49
4.3	食料供給および食料需要に起因する淡水資源必要量の推計 .....	51
4.3.1	用語の定義.....	51
4.3.2	Water Footprint 評価範囲の設定 .....	52
4.3.2.1	評価対象の設定 .....	52
4.3.2.2	評価範囲の設定 .....	53
4.3.2.3	国際貿易の取り扱い .....	55
4.3.3	淡水資源必要量の推計.....	56
4.3.3.1	淡水消費原単位の設定.....	56
4.3.3.2	淡水資源必要量の推計.....	56
4.3.4	世界全体の淡水資源必要量の推計結果.....	59
4.3.4.1	供給サイドと需要サイドの淡水資源必要量の需給項目別シェア .....	59
4.3.4.2	供給サイドと需要サイドの淡水資源必要量の品目別シェア .....	62
4.3.4.3	淡水消費形態別の淡水資源必要量の評価 .....	65
4.4	アジア地域における淡水資源必要量の推計結果 .....	68

4.4.1	供給サイドと需要サイドの淡水資源必要量の比較	68
4.4.2	輸入淡水資源必要量と輸出淡水資源必要量の比較	70
4.4.3	各国間の淡水資源必要量の比較	73
4.4.4	既往文献値との比較	80
4.4.4	パーム油に焦点を当てたマレーシアとインドネシアの比較	81
<b>第5章</b>	<b>生産ベースと消費ベースの淡水資源需給バランスの評価</b>	<b>87</b>
5.1	推計の流れ	87
5.2	淡水資源需給バランスの評価	88
5.2.1	水ストレス指標の概要	88
5.2.2	淡水資源需給バランスの推計	89
5.2.2.1	淡水資源供給可能量の推計	89
5.2.2.2	水需給バランス指標の定義	90
5.2.3	生産ベースと消費ベースの淡水資源需給バランスの比較	93
5.2.3.1	強度分布図による比較	93
5.2.3.2	淡水資源需給バランスの推計結果に関する妥当性の評価	95
5.3	淡水資源需給バランスの要因分解分析	99
5.3.1	要因分解分析の概要	99
5.3.2	水需給バランス指標の要因分解分析	100
5.3.2.1	生産ベースの水需給バランス指標の要因分解式	100
5.3.2.2	消費ベースの水需給バランス指標の要因分解式	104
5.3.2.3	水需給バランス指標の完全分解分析	107
5.3.3	生産ベースと消費ベースの淡水資源需給バランスの要因分析結果の比較	112
<b>第6章</b>	<b>結論</b>	<b>117</b>
6.1	まとめ	117
6.2	今後の課題	119
	参考文献	120
	謝辞	127

# 第1章 序論

## 1.1 背景

食料の生産と消費は、人間の社会活動の維持に不可欠な行為である。しかし、食料生産には多量の淡水資源が必要である。多量の淡水資源が使用された食料を消費するという行為は、食料の調理等に使用される淡水資源とは別に、消費者に供給された食料の生産時に使用された多量の淡水資源を、食料消費を通して当該消費者が間接消費しているというように捉えることが可能である。そのため、食料消費に関しても、多量の淡水資源が必要である。Shen et al. (2008) によると、世界全体の淡水資源取水量に占める農業用水取水量、工業用水取水量、および生活用水取水量の割合は各々、2010年時点において、70% (2,658 km<sup>3</sup>/yr)、20% (777 km<sup>3</sup>/yr)、および10% (390 km<sup>3</sup>/yr) であるとされている。各数値を比較することにより、農業用水の消費量が特に大きいことがわかる。したがって、食料の生産と消費に要する淡水資源必要量の定量評価が特に重要である。

図 1.1 に世界全体の淡水資源取水量の部門別内訳を図示する。この図では、上述した割合に基づいて、世界全体の淡水資源取水量に占める農業用水部門 (agricultural sector)、工業用水部門 (industrial sector)、および生活用水部門 (domestic sector) の割合を円グラフによって提示している。この図より、世界全体の淡水資源取水量に占める農業用水取水量は約7割に達しており、食料を含む農作物の生産に要する淡水資源量が突出して大きいことがわかる。これは、淡水資源取水量に占める農業用水の寄与は無視できるものではないことを示唆しており、食料の生産や消費に起因する淡水資源必要量の定量評価が極めて重要であることを裏付けている。

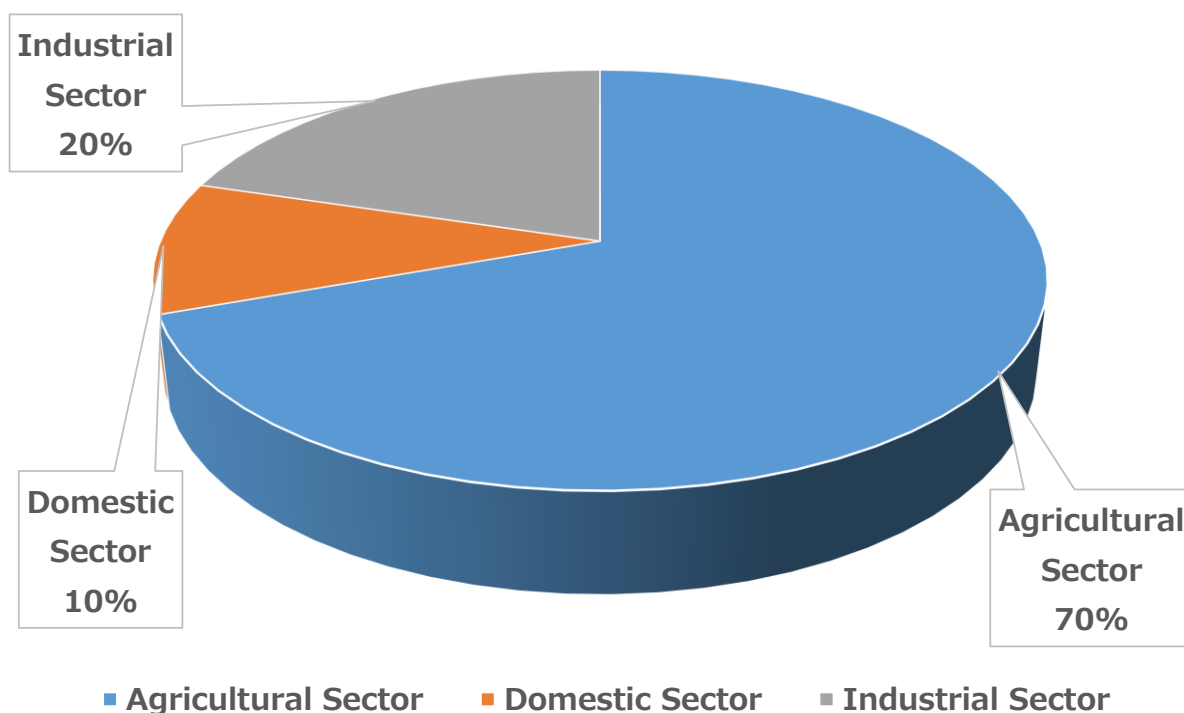


図 1.1 世界の淡水資源取水量の内訳

注釈) 同図は Shen et al. (2008) の推計値に基づいて作成した。

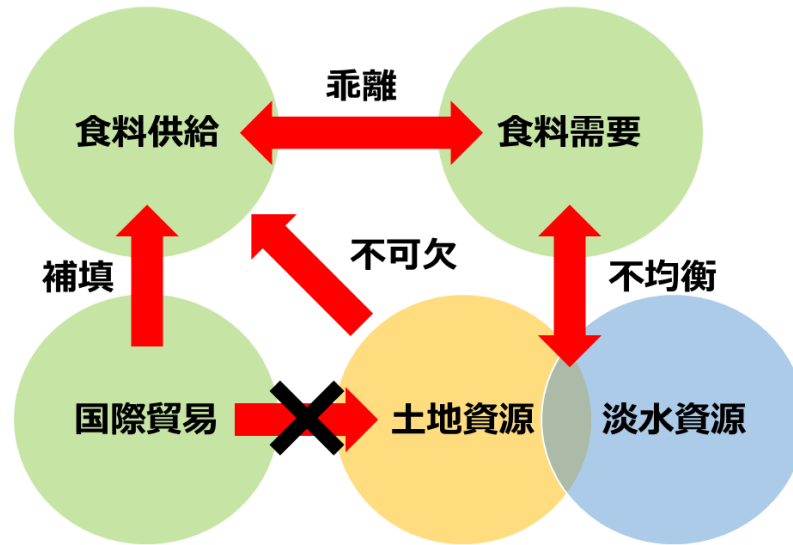


図 1.2 食料需給，国際貿易，および土地・淡水資源の関係の概念図

次に，図 1.2 に食料需給，国際貿易，および土地と淡水資源の関係の概念図を示す．上述したように，消費者に供給される食料には，当該食料の生産時に多量の淡水資源が消費されている．加えて，消費者に供給される食料は，国内・国外を問わず，必ずどこかの地域で生産されている．食料生産には土地資源と淡水資源の双方が必要であるため，食料消費を維持するには食料生産の継続が不可欠である．したがって，食料消費の過不足は食料生産に利用可能な資源量などの制約に強く依存する．しかし，これらの資源は，国際貿易による直接の取引が困難である．実際，Hoekstra (2003) は，一般的に資源の豊富な地域から資源の乏しい地域に向けて，淡水資源 (real water) 貿易の形で淡水資源を直接取引することは，貿易地域間の距離の長さや貿易取引に関連する費用の面から見て実現不可能であるが，仮想水 (virtual water) 貿易の形で淡水集約型の製品を貿易取引することは実現可能であることを述べている．また，Oki and Kanae (2006) によると，貿易財の重量は通常，それらの財を生産するために必要となる淡水資源量の重量と比べて百分の一(1/100)から千分の一(1/1000)程度であるため，淡水資源単体を輸送するよりも相当に容易であるとされている．そのため，自国内の食料需要を賄えるだけの十分な土地資源や淡水資源を保有していない国では，他国からの食料輸入を通して自国内の食料不足を補填することが重要である．

前述したように，食料生産には多量の淡水資源が投入されている．そのため，食料輸入国は，食料輸入という行為を通じて当該輸入食料の生産時に消費された他国の淡水資源を間接消費することになる．すなわち，食料輸入によって生じる淡水資源移動は，輸入国による淡水資源の間接消費として解釈できる．なお，当該国で国内消費された食料が自国で国内生産されたものである場合は，当該食料の国内生産時に消費された淡水資源は自国のものを使用したものと捉えられるため，当該国による淡水資源の直接消費として解釈する．以上のことから，食料生産と国内消費によって誘発される淡水資源の直接消費量に加えて，貿易取引国間の食料の輸入や輸出によって生じる各国間の淡水資源貿易量を加味して，各国の総淡水資源必要量を評価することは重要である．ただし，一般的に，各国内の食料の

国内生産量と国内消費量は互いに一致しないため、世界全体で見れば、食料の生産地と消費地が乖離している可能性が高い。そのため、食料供給または食料需要に関わる淡水資源必要量の評価において、食料の輸出と輸入の双方を加味し、食料の生産地と消費地の乖離の実態を評価に反映させることは極めて重要である。

一方で、国ごとに気候的要因や地理的要因などの違いが存在するため、淡水資源は地域ごとに偏在している。そのため、淡水資源必要量と実際に利用可能な淡水資源量の間で、淡水資源の需給不均衡が顕在化しつつある。そこで、上述した淡水資源必要量や淡水資源貿易量に加えて、各国の淡水資源需給バランスの逼迫度を評価することが重要である。

## 1.2 既往研究

### 1.2.1 Planetary Boundaries の概要

将来の世界の持続可能性を考えるための概念として、Rockström et al. (2009a, 2009b) は planetary boundaries (“PBs”) を提唱した。PBs は地球システムの観点から人間が安全に活動可能とされる領域を表し、その中で地球の限界を表す閾値（限界値）が提示されている。Rockström et al. (2009a) は、人間の文明の発展と繁栄が生じ始めた期間を完新世 (Holocene) と呼んでおり、今よりも地球環境が安定していた期間を指す。しかし、産業革命以降、人間活動が主因となって地球環境の安定性が脅かされつつあり、人新世 (Anthropocene) と呼ばれる新たな時代が形成されたことを述べている。そこで、Rockström et al. (2009a, 2009b) は、世界の持続可能性にアプローチするために、PBs に対して 9 つの領域を提示している。これら 9 つの領域はそれぞれ、気候変動 (climate change)、生物多様性の損失率 (rate of biodiversity loss)、窒素・リン循環 (nitrogen and phosphorus cycles)、成層圏オゾン層の枯渇 (stratospheric ozone depletion)、海洋酸性化 (ocean acidification)、世界の淡水利用 (global freshwater use)、土地利用の変化 (change in land use)、大気エアロゾルの負荷 (atmospheric aerosol loading)、および化学汚染 (chemical pollution) である。このうち、7 つの領域（気候変動、生物多様性の損失率、窒素・リン循環、成層圏オゾン層の枯渇、海洋酸性化、世界の淡水利用、および土地利用の変化）に関しては、各領域の限界値（閾値）が提示されているが、残りの 2 つの領域（大気エアロゾルの負荷、化学汚染）に関しては、それらの閾値は定量化されていない。ここで、閾値が定量化されている 7 つの領域に関しては、Rockström et al. (2009a, 2009b) において、領域ごとに閾値に対する到達位置が図示されている。特に気候変動、生物多様性の損失率、および窒素循環の 3 つの領域については、すでに各領域の到達位置が閾値を上回っているとされている (Rockström et al., 2009a, 2009b)。なお、Rockström et al. (2009b) によると、一つの領域がその閾値を逸脱すると、他の領域の到達位置が変化したり、それらの領域が閾値以上に変化したりするため、それぞれの PB は相互依存の関係にある。PBs は地球環境が様々な要因から形成される複雑系であることを表しているといえる。

Rockström et al. (2009b) によると、淡水資源の循環は生物多様性、食料、および健康の安全保障に加えて、水産資源の充足のための生息環境の提供、炭素隔離、および気候調整機能のような生態系機能に対しても影響を及ぼし、これらの劣化によって陸域および水域



生態系の回復力が弱体化するとされている。そこで、同文献では、世界の淡水資源の劣化による人間生活への脅威として、以下の3つを挙げている。すなわち、(1) 炭素隔離および陸域バイオマスの生産への脅威となる土地劣化および森林伐採による天水資源の損失、(2) 人間の淡水資源供給および水域生物の淡水資源需要への脅威となる灌漑用水の利用への転換、および(3) 局所的および地域の降水パターンに影響を及ぼす土壌への天水還元の減少による気候調整機能への影響の3つの脅威がある。Rockström et al. (2009b) は、世界の淡水利用のPBに関して、その閾値を4,000~6,000 km<sup>3</sup>/yrと推計している。この閾値を超えた場合、陸域および水域生態系の崩壊、土壌水分の還元の大幅な変化、および淡水と海水の混合といった、天水や灌漑用水に端を発したリスクが地域規模または大陸規模で大幅に高まるとされている。また、Rockström et al. (2009b) は、世界の淡水利用への圧力が主として食料需要の増加によって急速に強められつつあることを述べている。その上で、同文献は、将来必要となる人間の淡水資源需要の確保することを考えた場合、世界の淡水利用の領域についても、人間が安全に活動可能な領域との関わりがすでに無視できなくなりつつあることを指摘している。そのため、PBsの視点から考えると、世界の淡水資源の利用に関しては、人間が安全に活動可能な領域に接近またはこの領域を逸脱することが将来予測される。したがって、人口増加や経済発展による淡水資源需要の拡大が将来予想される中で、将来の世界の持続可能性の達成に向けては、世界の淡水利用のPBの閾値を超えないように、淡水資源の使用を抑制または削減することが重要であるといえる。

### 1.2.2 世界規模の既往研究

世界規模の淡水資源需給バランスの逼迫度を評価した既往研究は数多く存在する。その研究事例として、Vörösmarty et al. (2000), Alcamo et al. (2007), Wada et al. (2011), Hanasaki et al. (2008, 2013) などが挙げられる。これらの研究は、農業用水、工業用水、生活用水を淡水資源必要量の評価対象として含めており、世界規模の淡水資源需給バランスの逼迫度の将来変化に主眼を置いて、社会経済の変化や気候変動に関するいくつかの将来シナリオを設定し、将来の水ストレスの変化の程度を予測した。しかし、これらの研究では、淡水資源必要量の背後に存在する世界規模の貿易収支や食料需給バランスの実態は明らかにされておらず、食料貿易に由来する淡水資源貿易量が淡水資源需給バランスの逼迫度に及ぼす影響が不明である。

一方、現状の淡水資源必要量を評価した研究も数多く存在する。淡水資源必要量の評価方法の一例として、以下の研究では、評価対象品目別の淡水資源必要量を世界の国別あるいは地域別に足し合わせて積み上げることにより、世界の淡水資源必要量を評価する方法が採用されている。Mekonnen and Hoekstra (2011a) は、農作物、畜産物、工業品について、世界各国の国内生産、輸出、および輸入を考慮し、現状の淡水資源必要量や国際貿易に伴う仮想水移動量を評価した。また、Hoekstra and Mekonnen (2012) は、生産と消費の両方の観点から、農産物と工業品の貿易に基づいて、世界各国の国内の淡水資源必要量および国際貿易に由来する仮想水移動量を評価した。さらに、Yang et al. (2006) は、20種類の主要な食用作物を対象として、世界の各地域の仮想水移動量とその地域間の流れの現状を評価し、輸入と輸出の差により世界の各地域を輸出地域と輸入地域に分類しているが、畜産物は評価対象に含まれていない。これらの研究では、世界全体の食料貿易収支や食料

需給バランスの実態は明らかにされておらず、また、淡水資源需給バランスの逼迫度についても評価されていない。

他方、小坂ら (2012) は、輸入と輸出のそれぞれの貿易統計の間で不整合問題が存在することを指摘している。そのため、このような輸入統計と輸出統計における貿易収支の不均衡問題を考慮していない場合、非意図的な推計精度の低下を誘発し、評価結果の信頼性を低下させる可能性がある。よって、推計精度を改善させるためには、食料貿易収支や食料需給バランスの実態を把握し、これを推計に反映させることが重要である。すなわち、各国の輸入量と輸出量は、製品やサービスの需要量と供給量の両方に依存して決定されるため、食料貿易収支と食料需給バランスの2つの均衡を同時に特定することが必要である。しかし、上述した既往研究を見る限り、世界規模の淡水資源必要量を分析した研究において、食料貿易収支や食料需給バランスの整合性については明らかにされていない傾向にあることが考えられる。

他方、淡水資源必要量の評価に関する既往研究には、上述したような評価対象品目別の淡水資源消費量を国別に積み上げると方法以外に、産業連関表に基づいて淡水資源必要量を評価した事例も数多く存在する。Chen and Chen (2013) は、多地域産業連関表を用いて、世界の112カ国を対象に、各国の国内の淡水資源必要量および国際貿易に伴う仮想水移動量を評価した。また、Arto et al. (2016) は、世界の41地域を対象に、各地域の生産、消費、および貿易に利用される淡水資源量を評価し、その時系列推移を評価するための多地域産業連関分析モデルを提案した。Han et al. (2018) は、世界の189カ国の26部門を対象に、世界全体の淡水利用に関する多地域産業連関表を作成し、これに基づいた産業連関分析により、生産、中間投入、および消費のそれぞれの観点から、世界各国の淡水資源取水量や淡水資源移動量の現状を評価した。しかし、上記のような多地域産業連関表に基づいた淡水資源必要量の評価に関する研究においても、淡水資源需給バランスの逼迫度は評価されていない。

### 1.2.3 国レベル・地域レベルの既往研究

淡水資源必要量を評価した既往研究には、上述した世界規模の研究以外に、国レベルで分析したものが数多く存在する。Abdekader (2018) は、Egyptにおける78作物に焦点を当てた上で、食料需給バランス式に基づいて、仮想水移動量のバランス式を提案した。また、Han et al. (2017) は、多地域産業連関表を用いて、生産と消費の両方の観点から、世界の189カ国について、農業部門と飲食料部門を各々1部門ずつ含む、26部門の中国向けの仮想水移動量を評価した。多地域産業連関表では、食料部門の分類数は少ないものの、各部門間の総投入量と総産出量の収支は均衡しているため、一般的に世界規模の貿易収支や需給バランスは整合していることが考えられる。しかし、これら2つの研究では、評価対象を1カ国に限定し、評価対象として貿易相手国や取引部門を網羅的に補足した上で、淡水資源必要量を分析している。これら2つの研究以外にも、特定の国を評価対象とし、多地域産業連関表を用いて仮想水移動量を評価した事例は数多く存在する。

一方、地域レベルで分析した研究事例も存在する。地域レベルの研究事例として、White et al. (2018) は、アジア地域の3カ国（中国、日本、および大韓民国）を対象に、地域内産業連関分析を用いて、当該文献の中で選択された7つの環境影響を評価した。この研究で

は、環境影響領域の一つとして、淡水消費に関しても分析されている。アジアは最も高い消費地域であるにもかかわらず、この研究以外に当該地域の淡水資源移動量を一体的に評価した既往研究の事例は見つからなかった。これより、アジアに加えて、それ以外の世界の各地域を対象に、地域レベルで個々の食料品目の食料需給バランスを特定することは意義があると考えられる。さらに、現代では国際化が急速に進んでいるため、世界中で製品やサービスの輸入と輸出が日々生じている。そのため、食料需給バランスの評価において、地域内貿易と地域間貿易の双方に関して徹底した分析を試みることは重要である。

#### 1.2.4 淡水資源必要量の要因分解分析

前述したように、食料の生産と消費に起因する淡水資源必要量や淡水資源需給バランスの逼迫度の定量評価は重要である。しかし、これらの定量データの提示のみでは、その背景にある種々の要因を整理し、どのような要因が淡水資源必要量や淡水資源需給バランスの逼迫度を高めているかどうか、あらゆる要因を同時に評価することは困難である。そこで、淡水資源必要量や淡水資源需給バランスの逼迫度を高めている種々の要因の寄与を互いに比較評価できるようになれば、これらに対してより高い寄与を有している要因を特定することが可能になると考えられる。そのため、淡水資源必要量や淡水資源需給バランスの逼迫度を増減させている可能性のある要因を特定することによって、淡水資源の観点から、水資源管理に関するより具体的な政策の立案などに資する有益な基礎的知見を提示できることが期待される。以下に示す通り、既往研究において、淡水資源必要量に対して要因分解分析を適用した事例はいくつか存在する。

淡水資源必要量の要因分解分析に関する既往研究には、Zhi et al, (2014), Liu et al. (2016), Xie and Su (2017), Zou et al. (2018) などが存在する。Zhi et al, (2014) は、China における Haihe River 流域を対象に、2002 年と 2007 年の灌漑用水必要量に対して要因分解分析を適用することにより、技術効果が対象期間の淡水資源必要量の増加の相殺に最も大きく寄与しているものの、経済構造効果やスケール効果（最終需要の総量の変化）が上回ることにより、対象期間における淡水資源必要量は結果的に増加したことを示した。また、Xie and Su (2017) は、Wuwei City に属する 5 つの地区を対象に、1995 年から 2012 年の灌漑用水必要量に対して要因分解分析を適用することにより、対象期間における灌漑用水必要量の変化を誘発する要因を定量的に評価した。その結果、同市の灌漑用水を低減させるためには、灌漑用水利用の効率を改善し、農業の開発規模を抑制することが有効な手段であることを示した。さらに、Zou et al. (2018) によると、中国北西部の Haihe River 流域における農業用水資源の需要と供給の乖離を緩和するための有効な手段を見つけるために、要因分解分析により、1985 年から 2014 年までの灌漑用水需要の変化を誘発する要因の変動を定量評価した。その結果、淡水資源の貯留技術は淡水資源の需要を抑制するが、気候変動により淡水資源の需要が増加し、淡水資源の節水技術が灌漑用水の需要を抑制させることが明らかになった。その上で、Haihe River 流域における灌漑用水需要の減少と適切な灌漑用水の利用計画を改善するためには、農業開発の規模の規制、比較的多量の淡水資源を消費する作物の栽培面積の減少、農業用水の貯蔵ポテンシャルの明示、および気候変動の影響の緩和が有益であることを示唆した。Liu et al. (2016) は、Beijing における淡水資源利用効率に影響する要因を 11 種類に設定し、各要因の淡水資源利用効率への寄与

の程度を定量評価した。この研究では、2002年と2007年の期間を対象に、19部門で利用される淡水資源量に対して要因分解分析が適用されている。また、同文献では、Beijingの第12回5カ年計画(the 12th-Five-Year-Plan of Beijing)において提案された6種類の手段が淡水資源の保全に及ぼす効果についても検証された。その結果、淡水資源の保全の促進に対して最も効果の高い手段は、農作物の輸出と淡水資源の価格上昇であることが明らかになった。また、同文献では、淡水資源の直接消費の調整は淡水資源の保全に対して比較的寄与が低いことが述べられている。さらに、産業構造の調整は、建設部門や第3次産業に関する淡水資源利用効率を僅かに改善させるものの、経済システム全体に関しては、淡水資源の保全に対して若干の負の効果を持つことが明らかになった。

一方、淡水資源需給バランスの要因分解分析に関する既往文献には、Sun et al. (2019)が存在する。同文献では、1997年から2016年の期間における中国のBeijingを対象に、水ストレスに要因分解分析を適用することにより、対象期間における水ストレスの時系列変化の要因を分析した。その結果、人口増加が水不足を高めている傾向にあるが、淡水需要がわずかに水不足を軽減している傾向にあることが示された。また、淡水需要の減少傾向にさせる要因として、産業構造の変化、淡水利用効率の改善、再生水および輸送水の利用、および家庭用水の節水が主因であることが明らかになった。ここで、同文献によると、再生水と輸送水は、Beijing地域の淡水資源を補足するために利用されるものである。同文献では、再生水は2002年以降から利用が進んでおり、輸送水の利用はBeijingへの水供給のための南北輸送計画が開始された2008年以降から増加傾向にあることが述べられている。これに対して、経済成長、人口増加、および環境水利用の増加は、Beijingの水不足の悪化に寄与していることが明らかとなった。

これらの既往研究は、いずれも一国内(ここでは中国)の特定の都市や流域を対象としている。しかし、世界各国を対象に、食料生産・消費に起因する淡水資源必要量や淡水資源需給バランスの逼迫度に対して要因分解分析を適用した研究事例は存在しない。実際、1.2.1節や1.2.2節で言及したような、世界規模の淡水資源必要量や淡水資源需給バランスの逼迫度を分析した既往研究においても、それらに対して要因分解分析は適用されていない。また、上述した国レベルや地域レベルで分析した既往研究についても、淡水資源必要量に対して要因分解分析は適用されていない。しかし、淡水資源必要量や淡水資源需給バランスの逼迫度は、いずれも様々な要因が重なることにより決定されるものである。そのため、これらに影響する要因を分析することは、淡水資源必要量や淡水資源需給バランスの逼迫度の評価結果に対する考察を進める上で重要である。

### 1.3 研究目的

以上のことから、次のことが言える。前述した通り、世界全体の淡水資源取水量に占める農業用水取水量の割合が突出して高いため、世界各国の食料生産や食料消費に起因する淡水資源必要量の定量評価は重要である。また、国際貿易による淡水資源の直接取引は不可能であるため、自国の国内消費を賄えるだけの食料生産に必要な淡水資源を保有していない国では、他国からの食料輸入が不可欠である。この時、輸入国は、自国の国内消費のために自国内で国内生産した食料に投入された自国の淡水資源を直接消費することに加え

て、食料輸入を通じて、輸入食料の生産時に消費された他国の淡水資源を間接消費することになる。そのため、淡水資源必要量の推計では、直接消費された淡水資源量と国際貿易に起因する淡水資源貿易量の双方を評価することが必要である。また、実際に利用可能な淡水資源必要量（淡水資源賦存量）は、気候的要因や地理的要因の違いによって地域ごとに偏在し、2国間での貿易による直接取引は困難である。そのため、各国の食料生産や消費に起因する淡水資源必要量の評価結果を当該各国の淡水資源供給可能量と比較することにより、各国の淡水資源需給バランスの逼迫度を評価することが重要である。

また、淡水資源必要量の評価では、各国の食料貿易収支や食料需給バランスの実態を把握し、淡水資源必要量の推計に反映させることが必要である。しかし、上述したような、世界規模の淡水資源必要量や淡水資源需給バランスの逼迫度を評価した既往研究では、個々の分析の背景に存在する食料貿易収支や食料需給バランスの実態は明らかにされていない傾向にあることが見受けられる。小坂ら（2012）において、輸入統計と輸出統計との間に貿易収支の不均衡問題が存在することが指摘される中で、食料貿易収支や食料需給バランスの実態が明らかにされていないことは、淡水資源必要量や淡水資源需給バランスの逼迫度の推計精度や信頼性を非意図的に低下させている可能性があると考えられる。一方で、多地域産業連関表に基づいた淡水資源必要量の研究事例を見ても、食料貿易収支や食料需給バランスは整合されていると考えられるものの、食料品目の分類数が比較的少なくなる傾向にあるように見受けられる。あるいは、多地域産業連関表を用いていない既往研究においても、国レベルの推計に限定し、食料貿易収支や食料需給バランスを整合させて、淡水資源必要量が分析されている。したがって、世界規模で各国の食料貿易収支や食料需給バランスを把握することは重要である。

さらに、世界各国の淡水資源必要量や淡水資源需給バランスの逼迫度は、様々な要因が組み合さって決定される。そのため、淡水資源必要量や淡水資源需給バランスの逼迫度の評価結果を考察する上で、これらを高めている要因を分析することは重要である。しかし、上述した世界規模の淡水資源必要量や淡水資源需給バランスの逼迫度を評価した既往研究では、これらの推計値に対する要因別の寄与までは分析されていない。そこで、淡水資源の観点から、食料問題に関する将来の持続可能性に向けた基礎的知見を提示するためには、様々な要因が併存する中で、世界各国の淡水資源必要量や淡水資源需給バランスの逼迫度を高めている要因を特定することが重要である。

以上のことを踏まえて、本研究では、以下の3つの評価を進めることを目的とする。本研究の最終目標は、これらの評価を通して、食料生産と食料消費の両方の観点から、世界各国の淡水資源需給バランスの逼迫度の増減要因に関する基礎的知見を提示することである。

**（目的1）** 世界全体の食料貿易収支と食料需給バランスの実態を把握する。

**（目的2）** 食料需給バランスに基づいて、世界全体の食料供給および食料需要に起因する淡水資源必要量を評価する。

**（目的3）** 生産ベースと消費ベースの両面から、各国の淡水資源需給バランスの逼迫度を評価し、各々の増減要因を特定する。

## 1.4 論文の構成

図 1.3 に本研究の研究フロー図を示す。この図では、本研究の一連の流れを章別に示している。本論文は 6 章構成とし、以下に各章の概要を述べる。まず、第 1 章では、本研究全体の背景について記述する。第 2 章では、本研究全体の研究対象の設定、評価対象国、および評価対象品目についてまとめる。あわせて、本研究で利用したデータ元についてもまとめる。第 3 章～第 5 章では、各章で評価手法を説明し、評価結果を考察する。第 3 章では、各国間の食料貿易収支および各国の食料需給バランスを評価する。第 4 章では、3 章で推計した食料需給バランスに基づいて、各国の食料供給量と食料需要量を推計し、食料供給および食料需要に起因する淡水資源必要量を世界規模で評価する。また、国内生産および国内消費に起因する淡水資源必要量を推計し、それぞれを生産ベースと消費ベースの淡水資源必要量とした。第 5 章では、4 章で推計した食料需給バランスに基づいて、生産ベースと消費ベースの淡水資源必要量を推計し、各々を淡水資源供給可能量と比較することにより、生産ベースと消費ベースの淡水資源需給バランスの逼迫度を世界規模で評価する。また、生産ベースと消費ベースの淡水資源需給バランスの逼迫度に対して要因分解分析を適用することにより、各々の増減要因を国別に特定する。最後の第 6 章では、本研究全体のまとめ、および今後の課題について述べる。

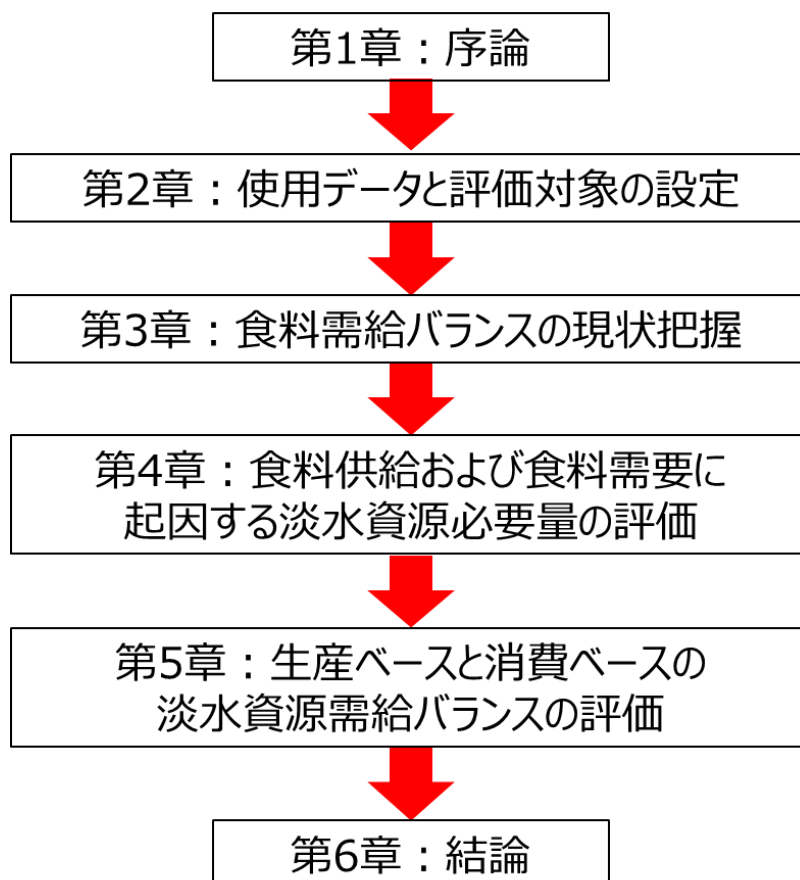


図 1.3 研究フロー図

## 第2章 使用データと評価対象の設定

### 2.1 評価対象の概要

本研究では、評価対象年を2010年とし、食料貿易収支、食料需給バランス、食料供給および食料需要に起因する淡水資源必要量を評価した。さらに、食料生産と食料消費に起因する淡水資源必要量を推計し、各々を生産ベースと消費ベースの淡水資源必要量とした。生産ベースと消費ベースの淡水資源需給バランスの逼迫度を評価し、各々に要因分解分析を適用した。以下では、各分析の概要に沿って、本研究の評価対象について述べる。

食料需給バランスは、Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (“FAOSTAT”)を主要データ元とし、消費国別、食料品目別、生産国別の食料貿易収支を加味して、国別、品目別に食料供給量と食料需要量を評価した。食料供給および食料需要に起因する淡水資源必要量は、単位生産量当たりの淡水資源消費量の原単位（“淡水消費原単位”）を用いて、食料供給量と食料需要量をそれぞれ、淡水資源必要量に換算して評価した。食料供給および食料需要に起因する淡水資源必要量はいずれも、国別、品目別に評価した。ここで、食料貿易に起因する淡水資源必要量に関しては、消費国別、食料品目別、生産国別に評価した。また、食料生産と食料消費に起因する淡水資源必要量はそれぞれ、生産ベースと消費ベースの淡水資源必要量とした。ここで、食料需給バランスの推計では、216カ国のうち、国内消費量のデータに欠如が見られた国（44カ国）に関しては、すべて評価対象から除外した。食料供給および食料需要に起因する淡水資源必要量の評価についても同様である。そのため、これら2つの分析では、評価対象国を176カ国とした。次に、生産ベースと消費ベースの淡水資源必要量を推計した後、生産ベースと消費ベースの淡水資源需給バランスの逼迫度を評価し、各々に対して要因分解分析を適用した。生産ベースと消費ベースの淡水資源需給バランスの逼迫度は、淡水資源供給可能量に対する各々の淡水資源必要量の比によって評価した。淡水資源供給可能量はFAO’s Global Information System on Water and Agriculture (“AQUASTAT”)を主要データ元とし、生産国と消費国といった区別はせず、対象国ごとに評価した。なお、生産ベースと消費ベースの淡水資源需給バランスの逼迫度に対する要因分解分析では、AQUASTATより淡水資源賦存量や淡水資源取水量などの諸統計データが取得可能な国（156カ国）のみを評価対象国として設定した。したがって、本研究の評価対象国および評価対象品目は、上記に挙げた主要な統計データベースにおける国・地域分類および食料品目分類に基づいて決定されたものである。

以上を踏まえて、本研究の評価対象国、および各国の貿易相手国は、いずれもFAOSTATのFood Balance Sheets (“FAO食料需給表”)およびDetailed Trade Matrix (“FAO貿易収支表”)における記載国のうち、216カ国とした。なお、FAOSTATでは、中国は「中国本土」、「台湾」、「香港」、および「澳門」の4カ国に分類されているが、AQUASTATでは、記載国は「中国」のみとなっている。そこで、生産ベースと消費ベースの淡水資源需給バランスの逼迫度の評価、および淡水資源需給バランスの逼迫度の要因分解分析では、これら4カ国のうち、「中国本土」のみを評価対象とした。このように、前者の3つの分析と後者の2つの分析との間で、評価対象国の数が異なることに留意する必要がある。

表 2.1 と表 2.2 はそれぞれ、本研究における地域分類別の評価対象国数を示す。表 2.1 では対象国数を 24 地域別に、表 2.2 では対象国数を 8 地域別にそれぞれ集約し、地域別に対象国数を示している。各表では、FAOSTAT に記載された地域分類コードと地域分類名を示している。なお、両表における対象国の合計は、FAO 食料需給表に記載された 216 カ国の数と等しくなる。また、表 2.3 は本研究の評価対象国の一覧表である。各表では、評価対象品目ごとに FAOSTAT に記載された国コードと国名、24 地域別の地域分類コードと地域分類名、および 8 地域別の地域分類コードと地域分類名をそれぞれ記載している。

次に、本研究の評価対象品目は、FAO 食料需給表における記載品目のうち、78 品目（“FAO 食料需給表の食料品目”）とした。ただし、食料貿易収支の評価では、FAO 貿易収支表の記載品目のうち、FAO 食料需給表の各食料品目に関する定義に基づいて 456 品目（“FAO 貿易収支表の食料品目”）を評価対象品目として設定し、後者を前者に対応させた。ここで、FAO 貿易収支表の食料品目は、FAO 貿易収支表における各国の貿易相手国別の輸入量データと輸出量データに記載された食料品目に相当する。前者を後者に対応させた後、食料貿易収支と食料需給バランスを評価し、食料供給および食料需要に起因する淡水資源必要量を推計した。これら 2 つの分析では、評価対象品目はすべて 78 品目に統一した。また、生産ベースと消費ベースの淡水資源需給バランスの逼迫度、および各々の増減要因の分析については、灌漑用水のみを対象とし、灌漑用水の淡水消費原単位が 0 であった品目（Sweeteners, Other）は評価対象から除外した。そのため、これら 2 つの分析では、評価対象品目を 77 品目とした。したがって、本研究の分析は、FAO 貿易収支表の食料品目（456 品目）に基づいたものではないことに留意する必要がある。

表 2.4 と表 2.5 はそれぞれ、食料需給バランスおよび食料貿易収支の分析における評価対象品目数をまとめた表である。表 2.4 では、FAO 食料需給表の食料品目（78 品目）について、11 品目分類の品目名を記載し、11 品目分類別に品目数を示している。一方、表 2.5 では、FAO 貿易収支表の各食料品目（456 品目）を FAO 食料需給表の各食料品目に対応させた上で、78 品目別に集約した品目数が示されており、FAO 食料需給表の各食料品目について、品目コードと品目名を記載している。各々の品目コードと品目名は、FAOSTAT に記載されたものに従って設定した。また、表 2.6 は本研究の評価対象品目の一覧である。この表では、FAO 食料需給表の各食料品目を FAO 貿易収支表の各食料品目と対応させた上で、FAO 食料需給表と FAO 貿易収支表の各食料品目について、それぞれの品目コードと品目名を記載している。なお、各々の品目コードと品目名は、FAOSTAT に記載されたものに従って設定した。



表 2.1 評価対象国数 (23 地域別)

Area Code (24 Areas)	Area Name (24 Areas)	Number of Country (216 Countries)
5101	Eastern Africa	18
5102	Middle Africa	9
5103	Northern Africa	6
5104	Southern Africa	5
5105	Western Africa	17
5203	Northern America	5
5204	Central America	8
5206	Caribbean	20
5207	South America	13
5301	Central Asia	5
5302	Eastern Asia	8
5303	Southern Asia	9
5304	South-Eastern Asia	11
5305	Western Asia	18
5401	Eastern Europe	10
5402	Northern Europe	11
5403	Southern Europe	13
5404	Western Europe	7
5501	Australia & New Zealand	2
5502	Melanesia	5
5503	Micronesia	6
5504	Polynesia	8
5600	Antarctic Region	1
252	Unspecified Area	1
	Total	216

表 2.2 評価対象国数 (8 地域別)

Area Code (Eight Areas)	Area Name (Eight Areas)	Number of Country (216 Countries)
5100	Africa	55
5203	North America	33
5207	South America	13
5300	Asia	51
5400	Europe	41
5500	Oceania	21
5600	Antarctic Region	1
252	Unspecified Area	1
	Total	216

表 2.3 評価対象国

Country Code (216 Countries)	Country Name (216 Countries)	Area Code (24 Areas)	Area Name (24 Areas)	Area Code (Eight Areas)	Area Name (Eight Areas)
29	Burundi	5101	Eastern Africa	5100	Africa
45	Comoros	5101	Eastern Africa	5100	Africa
72	Djibouti	5101	Eastern Africa	5100	Africa
114	Kenya	5101	Eastern Africa	5100	Africa
129	Madagascar	5101	Eastern Africa	5100	Africa
130	Malawi	5101	Eastern Africa	5100	Africa
137	Mauritius	5101	Eastern Africa	5100	Africa
144	Mozambique	5101	Eastern Africa	5100	Africa
178	Eritrea	5101	Eastern Africa	5100	Africa
181	Zimbabwe	5101	Eastern Africa	5100	Africa
184	Rwanda	5101	Eastern Africa	5100	Africa
196	Seychelles	5101	Eastern Africa	5100	Africa
201	Somalia	5101	Eastern Africa	5100	Africa
215	United Republic of Tanzania	5101	Eastern Africa	5100	Africa
226	Uganda	5101	Eastern Africa	5100	Africa
238	Ethiopia	5101	Eastern Africa	5100	Africa
251	Zambia	5101	Eastern Africa	5100	Africa
270	Mayotte	5101	Eastern Africa	5100	Africa
7	Angola	5102	Middle Africa	5100	Africa
32	Cameroon	5102	Middle Africa	5100	Africa
37	Central African Republic	5102	Middle Africa	5100	Africa
39	Chad	5102	Middle Africa	5100	Africa
46	Congo	5102	Middle Africa	5100	Africa
61	Equatorial Guinea	5102	Middle Africa	5100	Africa
74	Gabon	5102	Middle Africa	5100	Africa
193	Sao Tome and Principe	5102	Middle Africa	5100	Africa
250	Democratic Republic of the Congo	5102	Middle Africa	5100	Africa
4	Algeria	5103	Northern Africa	5100	Africa
59	Egypt	5103	Northern Africa	5100	Africa
124	Libya	5103	Northern Africa	5100	Africa
143	Morocco	5103	Northern Africa	5100	Africa
206	Sudan (former)	5103	Northern Africa	5100	Africa
222	Tunisia	5103	Northern Africa	5100	Africa
20	Botswana	5104	Southern Africa	5100	Africa
122	Lesotho	5104	Southern Africa	5100	Africa
147	Namibia	5104	Southern Africa	5100	Africa
202	South Africa	5104	Southern Africa	5100	Africa
209	Swaziland	5104	Southern Africa	5100	Africa
35	Cabo Verde	5105	Western Africa	5100	Africa
53	Benin	5105	Western Africa	5100	Africa
75	Gambia	5105	Western Africa	5100	Africa
81	Ghana	5105	Western Africa	5100	Africa
90	Guinea	5105	Western Africa	5100	Africa
107	Côte d'Ivoire	5105	Western Africa	5100	Africa
123	Liberia	5105	Western Africa	5100	Africa
133	Mali	5105	Western Africa	5100	Africa
136	Mauritania	5105	Western Africa	5100	Africa
158	Niger	5105	Western Africa	5100	Africa
159	Nigeria	5105	Western Africa	5100	Africa
175	Guinea-Bissau	5105	Western Africa	5100	Africa
187	Saint Helena, Ascension and Tristan da Cunha	5105	Western Africa	5100	Africa
195	Senegal	5105	Western Africa	5100	Africa
197	Sierra Leone	5105	Western Africa	5100	Africa
217	Togo	5105	Western Africa	5100	Africa
233	Burkina Faso	5105	Western Africa	5100	Africa
17	Bermuda	5203	Northern America	5203	North America
33	Canada	5203	Northern America	5203	North America
85	Greenland	5203	Northern America	5203	North America
190	Saint Pierre and Miquelon	5203	Northern America	5203	North America
231	United States of America	5203	Northern America	5203	North America

表 2.3 評価対象国（続き）

Country Code (216 Countries)	Country Name (216 Countries)	Area Code (24 Areas)	Area Name (24 Areas)	Area Code (Eight Areas)	Area Name (Eight Areas)
23	Belize	5204	Central America	5203	North America
48	Costa Rica	5204	Central America	5203	North America
60	El Salvador	5204	Central America	5203	North America
89	Guatemala	5204	Central America	5203	North America
95	Honduras	5204	Central America	5203	North America
138	Mexico	5204	Central America	5203	North America
157	Nicaragua	5204	Central America	5203	North America
166	Panama	5204	Central America	5203	North America
8	Antigua and Barbuda	5206	Caribbean	5203	North America
12	Bahamas	5206	Caribbean	5203	North America
14	Barbados	5206	Caribbean	5203	North America
22	Aruba	5206	Caribbean	5203	North America
36	Cayman Islands	5206	Caribbean	5203	North America
49	Cuba	5206	Caribbean	5203	North America
55	Dominica	5206	Caribbean	5203	North America
56	Dominican Republic	5206	Caribbean	5203	North America
86	Grenada	5206	Caribbean	5203	North America
93	Haiti	5206	Caribbean	5203	North America
109	Jamaica	5206	Caribbean	5203	North America
142	Montserrat	5206	Caribbean	5203	North America
151	Netherlands Antilles (former)	5206	Caribbean	5203	North America
188	Saint Kitts and Nevis	5206	Caribbean	5203	North America
189	Saint Lucia	5206	Caribbean	5203	North America
191	Saint Vincent and the Grenadines	5206	Caribbean	5203	North America
220	Trinidad and Tobago	5206	Caribbean	5203	North America
224	Turks and Caicos Islands	5206	Caribbean	5203	North America
239	British Virgin Islands	5206	Caribbean	5203	North America
258	Anguilla	5206	Caribbean	5203	North America
9	Argentina	5207	South America	5207	South America
19	Bolivia (Plurinational State of)	5207	South America	5207	South America
21	Brazil	5207	South America	5207	South America
40	Chile	5207	South America	5207	South America
44	Colombia	5207	South America	5207	South America
58	Ecuador	5207	South America	5207	South America
65	Falkland Islands (Malvinas)	5207	South America	5207	South America
91	Guyana	5207	South America	5207	South America
169	Paraguay	5207	South America	5207	South America
170	Peru	5207	South America	5207	South America
207	Suriname	5207	South America	5207	South America
234	Uruguay	5207	South America	5207	South America
236	Venezuela (Bolivarian Republic of)	5207	South America	5207	South America
108	Kazakhstan	5301	Central Asia	5300	Asia
113	Kyrgyzstan	5301	Central Asia	5300	Asia
208	Tajikistan	5301	Central Asia	5300	Asia
213	Turkmenistan	5301	Central Asia	5300	Asia
235	Uzbekistan	5301	Central Asia	5300	Asia
41	China, mainland	5302	Eastern Asia	5300	Asia
96	China, Hong Kong SAR	5302	Eastern Asia	5300	Asia
110	Japan	5302	Eastern Asia	5300	Asia
116	Democratic People's Republic of Korea	5302	Eastern Asia	5300	Asia
117	Republic of Korea	5302	Eastern Asia	5300	Asia
128	China, Macao SAR	5302	Eastern Asia	5300	Asia
141	Mongolia	5302	Eastern Asia	5300	Asia
214	China, Taiwan Province of	5302	Eastern Asia	5300	Asia
2	Afghanistan	5303	Southern Asia	5300	Asia
16	Bangladesh	5303	Southern Asia	5300	Asia
18	Bhutan	5303	Southern Asia	5300	Asia
38	Sri Lanka	5303	Southern Asia	5300	Asia
100	India	5303	Southern Asia	5300	Asia
102	Iran (Islamic Republic of)	5303	Southern Asia	5300	Asia

表 2.3 評価対象国 (続き)

Country Code (216 Countries)	Country Name (216 Countries)	Area Code (24 Areas)	Area Name (24 Areas)	Area Code (Eight Areas)	Area Name (Eight Areas)
132	Maldives	5303	Southern Asia	5300	Asia
149	Nepal	5303	Southern Asia	5300	Asia
165	Pakistan	5303	Southern Asia	5300	Asia
26	Brunei Darussalam	5304	South-Eastern Asia	5300	Asia
28	Myanmar	5304	South-Eastern Asia	5300	Asia
101	Indonesia	5304	South-Eastern Asia	5300	Asia
115	Cambodia	5304	South-Eastern Asia	5300	Asia
120	Lao People's Democratic Republic	5304	South-Eastern Asia	5300	Asia
131	Malaysia	5304	South-Eastern Asia	5300	Asia
171	Philippines	5304	South-Eastern Asia	5300	Asia
176	Timor-Leste	5304	South-Eastern Asia	5300	Asia
200	Singapore	5304	South-Eastern Asia	5300	Asia
216	Thailand	5304	South-Eastern Asia	5300	Asia
237	Viet Nam	5304	South-Eastern Asia	5300	Asia
1	Armenia	5305	Western Asia	5300	Asia
13	Bahrain	5305	Western Asia	5300	Asia
50	Cyprus	5305	Western Asia	5300	Asia
52	Azerbaijan	5305	Western Asia	5300	Asia
73	Georgia	5305	Western Asia	5300	Asia
103	Iraq	5305	Western Asia	5300	Asia
105	Israel	5305	Western Asia	5300	Asia
112	Jordan	5305	Western Asia	5300	Asia
118	Kuwait	5305	Western Asia	5300	Asia
121	Lebanon	5305	Western Asia	5300	Asia
179	Qatar	5305	Western Asia	5300	Asia
194	Saudi Arabia	5305	Western Asia	5300	Asia
212	Syrian Arab Republic	5305	Western Asia	5300	Asia
221	Oman	5305	Western Asia	5300	Asia
223	Turkey	5305	Western Asia	5300	Asia
225	United Arab Emirates	5305	Western Asia	5300	Asia
249	Yemen	5305	Western Asia	5300	Asia
299	Occupied Palestinian Territory	5305	Western Asia	5300	Asia
27	Bulgaria	5401	Eastern Europe	5400	Europe
57	Belarus	5401	Eastern Europe	5400	Europe
97	Hungary	5401	Eastern Europe	5400	Europe
146	Republic of Moldova	5401	Eastern Europe	5400	Europe
167	Czechia	5401	Eastern Europe	5400	Europe
173	Poland	5401	Eastern Europe	5400	Europe
183	Romania	5401	Eastern Europe	5400	Europe
185	Russian Federation	5401	Eastern Europe	5400	Europe
199	Slovakia	5401	Eastern Europe	5400	Europe
230	Ukraine	5401	Eastern Europe	5400	Europe
54	Denmark	5402	Northern Europe	5400	Europe
63	Estonia	5402	Northern Europe	5400	Europe
64	Faroe Islands	5402	Northern Europe	5400	Europe
67	Finland	5402	Northern Europe	5400	Europe
99	Iceland	5402	Northern Europe	5400	Europe
104	Ireland	5402	Northern Europe	5400	Europe
119	Latvia	5402	Northern Europe	5400	Europe
126	Lithuania	5402	Northern Europe	5400	Europe
162	Norway	5402	Northern Europe	5400	Europe
210	Sweden	5402	Northern Europe	5400	Europe
229	United Kingdom	5402	Northern Europe	5400	Europe
3	Albania	5403	Southern Europe	5400	Europe
6	Andorra	5403	Southern Europe	5400	Europe
80	Bosnia and Herzegovina	5403	Southern Europe	5400	Europe
84	Greece	5403	Southern Europe	5400	Europe
98	Croatia	5403	Southern Europe	5400	Europe
106	Italy	5403	Southern Europe	5400	Europe
134	Malta	5403	Southern Europe	5400	Europe

表 2.3 評価対象国 (続き)

Country Code (216 Countries)	Country Name (216 Countries)	Area Code (24 Areas)	Area Name (24 Areas)	Area Code (Eight Areas)	Area Name (Eight Areas)
154	The former Yugoslav Republic of Macedonia	5403	Southern Europe	5400	Europe
174	Portugal	5403	Southern Europe	5400	Europe
198	Slovenia	5403	Southern Europe	5400	Europe
203	Spain	5403	Southern Europe	5400	Europe
272	Serbia	5403	Southern Europe	5400	Europe
273	Montenegro	5403	Southern Europe	5400	Europe
11	Austria	5404	Western Europe	5400	Europe
68	France	5404	Western Europe	5400	Europe
79	Germany	5404	Western Europe	5400	Europe
150	Netherlands	5404	Western Europe	5400	Europe
211	Switzerland	5404	Western Europe	5400	Europe
255	Belgium	5404	Western Europe	5400	Europe
256	Luxembourg	5404	Western Europe	5400	Europe
10	Australia	5501	Australia & New Zealand	5500	Oceania
156	New Zealand	5501	Australia & New Zealand	5500	Oceania
25	Solomon Islands	5502	Melanesia	5500	Oceania
66	Fiji	5502	Melanesia	5500	Oceania
153	New Caledonia	5502	Melanesia	5500	Oceania
155	Vanuatu	5502	Melanesia	5500	Oceania
168	Papua New Guinea	5502	Melanesia	5500	Oceania
83	Kiribati	5503	Micronesia	5500	Oceania
88	Guam	5503	Micronesia	5500	Oceania
127	Marshall Islands	5503	Micronesia	5500	Oceania
145	Micronesia (Federated States of)	5503	Micronesia	5500	Oceania
148	Nauru	5503	Micronesia	5500	Oceania
180	Palau	5503	Micronesia	5500	Oceania
5	American Samoa	5504	Polynesia	5500	Oceania
47	Cook Islands	5504	Polynesia	5500	Oceania
70	French Polynesia	5504	Polynesia	5500	Oceania
160	Niue	5504	Polynesia	5500	Oceania
219	Tonga	5504	Polynesia	5500	Oceania
227	Tuvalu	5504	Polynesia	5500	Oceania
243	Wallis and Futuna Islands	5504	Polynesia	5500	Oceania
244	Samoa	5504	Polynesia	5500	Oceania
71	French Southern and Antarctic Territories	5600	Antarctic Region	5600	Antarctic Region
252	Unspecified Area	252	Unspecified Area	252	Unspecified Area

表 2.4 評価対象品目数 (11 品目分類別)

Item Name (11 Groups)	Number of Item (78 Items)
Cereals	13
Sugars and sweeteners	2
Vegetables	6
Nuts	1
Oil crops and oils	22
Fruits (excluding wines)	11
Beverages	7
Spices	4
Meats and eggs	10
Rice	1
Milk (excluding butter)	1
Total	78

表 2.5 評価対象品目数 (78 品目別)

Item Code (78 Items)	Item Name (78 Items)	Number of Item (456 Items)	Item Code (78 Items)	Item Name (78 Items)	Number of Item (456 Items)
2511	Wheat and products	14	2582	Maize Germ Oil	1
2513	Barley and products	7	2586	Oilcrops Oil, Other	18
2514	Maize and products	7	2601	Tomatoes and products	5
2515	Rye and products	3	2602	Onions	1
2516	Oats	3	2605	Vegetables, Other	41
2517	Millet and products	3	2611	Oranges, Mandarines	5
2518	Sorghum and products	3	2612	Lemons, Limes and products	3
2520	Cereals, Other	19	2613	Grapefruit and products	3
2531	Potatoes and products	5	2614	Citrus, Other	3
2532	Cassava and products	5	2615	Bananas	1
2533	Sweet potatoes	1	2616	Plantains	1
2534	Roots, Other	5	2617	Apples and products	3
2537	Sugar beet	1	2618	Pineapples and products	4
2542	Sugar (Raw Equivalent)	6	2619	Dates	1
2543	Sweeteners, Other	11	2620	Grapes and products (excl wine)	4
2546	Beans	1	2625	Fruits, Other	40
2547	Peas	1	2630	Coffee and products	3
2549	Pulses, Other and products	11	2633	Cocoa Beans and products	4
2551	Nuts and products	16	2635	Tea (including mate)	3
2555	Soyabeans	4	2640	Pepper	1
2556	Groundnuts (Shelled Eq)	4	2641	Pimento	1
2557	Sunflower seed	1	2642	Cloves	1
2558	Rape and Mustardseed	3	2645	Spices, Other	6
2559	Cottonseed	1	2655	Wine	2
2560	Coconuts - Incl Copra	3	2656	Beer	1
2561	Sesame seed	1	2657	Beverages, Fermented	6
2563	Olives (including preserved)	2	2658	Beverages, Alcoholic	1
2570	Oilcrops, Other	15	2731	Bovine Meat	9
2571	Soyabean Oil	1	2732	Mutton & Goat Meat	2
2572	Groundnut Oil	1	2733	Pigmeat	5
2573	Sunflowerseed Oil	1	2734	Poultry Meat	6
2574	Rape and Mustard Oil	2	2735	Meat, Other	13
2575	Cottonseed Oil	1	2736	Offals, Edible	14
2576	Palmkernel Oil	1	2737	Fats, Animals, Raw	18
2577	Palm Oil	3	2740	Butter, Ghee	6
2578	Coconut Oil	1	2743	Cream	1
2579	Sesameseed Oil	1	2744	Eggs	5
2580	Olive Oil	2	2805	Rice (Milled Equivalent)	10
2581	Ricebran Oil	1	2848	Milk - Excluding Butter	33
				Total	456

表 2.6 对象品目

Item Code (456 Items)	Item Name (456 Items)	Item Code (78 Items)	Item Name (78 Items)	Item Name (11 Groups)
110	Wafers	2511	Wheat and products	Cereals
114	Mixes and doughs	2511	Wheat and products	Cereals
115	Food preparations, flour, malt extract	2511	Wheat and products	Cereals
15	Wheat	2511	Wheat and products	Cereals
16	Flour, wheat	2511	Wheat and products	Cereals
17	Bran, wheat	2511	Wheat and products	Cereals
18	Macaroni	2511	Wheat and products	Cereals
19	Germ, wheat	2511	Wheat and products	Cereals
20	Bread	2511	Wheat and products	Cereals
21	Bulgur	2511	Wheat and products	Cereals
22	Pastry	2511	Wheat and products	Cereals
23	Starch, wheat	2511	Wheat and products	Cereals
24	Gluten, wheat	2511	Wheat and products	Cereals
41	Cereals, breakfast	2511	Wheat and products	Cereals
44	Barley	2513	Barley and products	Cereals
45	Barley, pot	2513	Barley and products	Cereals
46	Barley, pearled	2513	Barley and products	Cereals
47	Bran, barley	2513	Barley and products	Cereals
48	Flour, barley and grits	2513	Barley and products	Cereals
49	Malt	2513	Barley and products	Cereals
50	Malt extract	2513	Barley and products	Cereals
56	Maize	2514	Maize and products	Cereals
57	Germ, maize	2514	Maize and products	Cereals
58	Flour, maize	2514	Maize and products	Cereals
59	Bran, maize	2514	Maize and products	Cereals
63	Gluten, maize	2514	Maize and products	Cereals
64	Starch, maize	2514	Maize and products	Cereals
846	Feed and meal, gluten	2514	Maize and products	Cereals
71	Rye	2515	Rye and products	Cereals
72	Flour, rye	2515	Rye and products	Cereals
73	Bran, rye	2515	Rye and products	Cereals
75	Oats	2516	Oats	Cereals
76	Oats rolled	2516	Oats	Cereals
77	Bran, oats	2516	Oats	Cereals
79	Millet	2517	Millet and products	Cereals
80	Flour, millet	2517	Millet and products	Cereals
81	Bran, millet	2517	Millet and products	Cereals
83	Sorghum	2518	Sorghum and products	Cereals
84	Flour, sorghum	2518	Sorghum and products	Cereals
85	Bran, sorghum	2518	Sorghum and products	Cereals
101	Canary seed	2520	Cereals, Other	Cereals
103	Grain, mixed	2520	Cereals, Other	Cereals
104	Flour, mixed grain	2520	Cereals, Other	Cereals
105	Bran, mixed grains	2520	Cereals, Other	Cereals
108	Cereals, nes	2520	Cereals, Other	Cereals
111	Flour, cereals	2520	Cereals, Other	Cereals
112	Bran, cereals nes	2520	Cereals, Other	Cereals
113	Cereal preparations, nes	2520	Cereals, Other	Cereals
68	Popcorn	2520	Cereals, Other	Cereals
89	Buckwheat	2520	Cereals, Other	Cereals
90	Flour, buckwheat	2520	Cereals, Other	Cereals
91	Bran, buckwheat	2520	Cereals, Other	Cereals
92	Quinoa	2520	Cereals, Other	Cereals
94	Fonio	2520	Cereals, Other	Cereals
95	Flour, fonio	2520	Cereals, Other	Cereals
96	Bran, fonio	2520	Cereals, Other	Cereals
97	Triticale	2520	Cereals, Other	Cereals
98	Flour, triticale	2520	Cereals, Other	Cereals
99	Bran, triticale	2520	Cereals, Other	Cereals



表 2.6 対象品目 (続き)

Item Code (456 Items)	Item Name (456 Items)	Item Code (78 Items)	Item Name (78 Items)	Item Name (11 Groups)
116	Potatoes	2531	Potatoes and products	Cereals
117	Flour, potatoes	2531	Potatoes and products	Cereals
118	Potatoes, frozen	2531	Potatoes and products	Cereals
119	Starch, potatoes	2531	Potatoes and products	Cereals
121	Tapioca, potatoes	2531	Potatoes and products	Cereals
125	Cassava	2532	Cassava and products	Cereals
126	Flour, cassava	2532	Cassava and products	Cereals
127	Tapioca, cassava	2532	Cassava and products	Cereals
128	Cassava dried	2532	Cassava and products	Cereals
129	Starch, cassava	2532	Cassava and products	Cereals
122	Sweet potatoes	2533	Sweet potatoes	Cereals
135	Yautia (cocoyam)	2534	Roots, Other	Cereals
136	Taro (cocoyam)	2534	Roots, Other	Cereals
149	Roots and tubers, nes	2534	Roots, Other	Cereals
150	Flour, roots and tubers nes	2534	Roots, Other	Cereals
151	Roots and tubers dried	2534	Roots, Other	Cereals
157	Sugar beet	2537	Sugar beet	Cereals
158	Sugar, cane, raw, centrifugal	2542	Sugar (Raw Equivalent)	Sugars and sweeteners
159	Sugar, beet, raw, centrifugal	2542	Sugar (Raw Equivalent)	Sugars and sweeteners
162	Sugar Raw Centrifugal	2542	Sugar (Raw Equivalent)	Sugars and sweeteners
164	Sugar refined	2542	Sugar (Raw Equivalent)	Sugars and sweeteners
168	Sugar confectionery	2542	Sugar (Raw Equivalent)	Sugars and sweeteners
171	Sugar flavoured	2542	Sugar (Raw Equivalent)	Sugars and sweeteners
154	Fructose chemically pure	2543	Sweeteners, Other	Sugars and sweeteners
155	Maltose chemically pure	2543	Sweeteners, Other	Sugars and sweeteners
160	Maple sugar and syrups	2543	Sweeteners, Other	Sugars and sweeteners
161	Sugar crops, nes	2543	Sweeteners, Other	Sugars and sweeteners
165	Molasses	2543	Sweeteners, Other	Sugars and sweeteners
166	Fructose and syrup, other	2543	Sweeteners, Other	Sugars and sweeteners
167	Sugar, nes	2543	Sweeteners, Other	Sugars and sweeteners
172	Glucose and dextrose	2543	Sweeteners, Other	Sugars and sweeteners
173	Lactose	2543	Sweeteners, Other	Sugars and sweeteners
175	Isoglucose	2543	Sweeteners, Other	Sugars and sweeteners
633	Beverages, non alcoholic	2543	Sweeteners, Other	Sugars and sweeteners
176	Beans, dry	2546	Beans	Vegetables
187	Peas, dry	2547	Peas	Vegetables
181	Broad beans, horse beans, dry	2549	Pulses, Other and products	Vegetables
191	Chick peas	2549	Pulses, Other and products	Vegetables
195	Cow peas, dry	2549	Pulses, Other and products	Vegetables
197	Pigeon peas	2549	Pulses, Other and products	Vegetables
201	Lentils	2549	Pulses, Other and products	Vegetables
203	Bambara beans	2549	Pulses, Other and products	Vegetables
205	Vetches	2549	Pulses, Other and products	Vegetables
210	Lupins	2549	Pulses, Other and products	Vegetables
211	Pulses, nes	2549	Pulses, Other and products	Vegetables
212	Flour, pulses	2549	Pulses, Other and products	Vegetables
213	Bran, pulses	2549	Pulses, Other and products	Vegetables
216	Brazil nuts, with shell	2551	Nuts and products	Nuts
217	Cashew nuts, with shell	2551	Nuts and products	Nuts
220	Chestnut	2551	Nuts and products	Nuts
221	Almonds, with shell	2551	Nuts and products	Nuts
222	Walnuts, with shell	2551	Nuts and products	Nuts
223	Pistachios	2551	Nuts and products	Nuts
224	Kola nuts	2551	Nuts and products	Nuts
225	Hazelnuts, with shell	2551	Nuts and products	Nuts
226	Areca nuts	2551	Nuts and products	Nuts
229	Brazil nuts, shelled	2551	Nuts and products	Nuts
230	Cashew nuts, shelled	2551	Nuts and products	Nuts
231	Almonds shelled	2551	Nuts and products	Nuts

表 2.6 対象品目 (続き)

Item Code (456 Items)	Item Name (456 Items)	Item Code (78 Items)	Item Name (78 Items)	Item Name (11 Groups)
232	Walnuts, shelled	2551	Nuts and products	Nuts
233	Hazelnuts, shelled	2551	Nuts and products	Nuts
234	Nuts, nes	2551	Nuts and products	Nuts
235	Nuts, prepared (exc. groundnuts)	2551	Nuts and products	Nuts
236	Soybeans	2555	Soyabeans	Oil crops and oils
239	Soya sauce	2555	Soyabeans	Oil crops and oils
240	Soya paste	2555	Soyabeans	Oil crops and oils
241	Soya curd	2555	Soyabeans	Oil crops and oils
242	Groundnuts, with shell	2556	Groundnuts (Shelled Eq)	Oil crops and oils
243	Groundnuts, shelled	2556	Groundnuts (Shelled Eq)	Oil crops and oils
246	Groundnuts, prepared	2556	Groundnuts (Shelled Eq)	Oil crops and oils
247	Peanut butter	2556	Groundnuts (Shelled Eq)	Oil crops and oils
267	Sunflower seed	2557	Sunflower seed	Oil crops and oils
270	Rapeseed	2558	Rape and Mustardseed	Oil crops and oils
292	Mustard seed	2558	Rape and Mustardseed	Oil crops and oils
295	Flour, mustard	2558	Rape and Mustardseed	Oil crops and oils
329	Cottonseed	2559	Cottonseed	Oil crops and oils
249	Coconuts	2560	Coconuts - Incl Copra	Oil crops and oils
250	Coconuts, desiccated	2560	Coconuts - Incl Copra	Oil crops and oils
251	Copra	2560	Coconuts - Incl Copra	Oil crops and oils
289	Sesame seed	2561	Sesame seed	Oil crops and oils
260	Olives	2563	Olives (including preserved)	Oil crops and oils
262	Olives preserved	2563	Olives (including preserved)	Oil crops and oils
263	Karite nuts (sheanuts)	2570	Oilcrops, Other	Oil crops and oils
265	Castor oil seed	2570	Oilcrops, Other	Oil crops and oils
275	Tung nuts	2570	Oilcrops, Other	Oil crops and oils
277	Jjoba seed	2570	Oilcrops, Other	Oil crops and oils
280	Safflower seed	2570	Oilcrops, Other	Oil crops and oils
296	Poppy seed	2570	Oilcrops, Other	Oil crops and oils
299	Melonseed	2570	Oilcrops, Other	Oil crops and oils
305	Tallowtree seed	2570	Oilcrops, Other	Oil crops and oils
310	Kapok fruit	2570	Oilcrops, Other	Oil crops and oils
311	Kapokseed in shell	2570	Oilcrops, Other	Oil crops and oils
312	Kapokseed shelled	2570	Oilcrops, Other	Oil crops and oils
333	Linseed	2570	Oilcrops, Other	Oil crops and oils
336	Hempseed	2570	Oilcrops, Other	Oil crops and oils
339	Oilseeds nes	2570	Oilcrops, Other	Oil crops and oils
343	Flour, oilseeds	2570	Oilcrops, Other	Oil crops and oils
237	Oil, soybean	2571	Soyabean Oil	Oil crops and oils
244	Oil, groundnut	2572	Groundnut Oil	Oil crops and oils
268	Oil, sunflower	2573	Sunflowerseed Oil	Oil crops and oils
271	Oil, rapeseed	2574	Rape and Mustard Oil	Oil crops and oils
293	Oil, mustard	2574	Rape and Mustard Oil	Oil crops and oils
331	Oil, cottonseed	2575	Cottonseed Oil	Oil crops and oils
258	Oil, palm kernel	2576	Palmkernel Oil	Oil crops and oils
1276	Fatty acids	2577	Palm Oil	Oil crops and oils
1277	Fatty substance residues	2577	Palm Oil	Oil crops and oils
257	Oil, palm	2577	Palm Oil	Oil crops and oils
252	Oil, coconut (copra)	2578	Coconut Oil	Oil crops and oils
290	Oil, sesame	2579	Sesameseed Oil	Oil crops and oils
261	Oil, olive, virgin	2580	Olive Oil	Oil crops and oils
274	Oil, olive residues	2580	Olive Oil	Oil crops and oils
36	Oil, rice bran	2581	Ricebran Oil	Oil crops and oils
60	Oil, maize	2582	Maize Germ Oil	Oil crops and oils
1241	Margarine, liquid	2586	Oilcrops Oil, Other	Oil crops and oils
1242	Margarine, short	2586	Oilcrops Oil, Other	Oil crops and oils
1273	Castor oil, hydrogenated (opal wax)	2586	Oilcrops Oil, Other	Oil crops and oils
1274	Oil, boiled etc	2586	Oilcrops Oil, Other	Oil crops and oils
1275	Oil, hydrogenated	2586	Oilcrops Oil, Other	Oil crops and oils

表 2.6 対象品目 (続き)

Item Code (456 Items)	Item Name (456 Items)	Item Code (78 Items)	Item Name (78 Items)	Item Name (11 Groups)
264	Butter of karite nuts	2586	Oilcrops Oil, Other	Oil crops and oils
266	Oil, castor beans	2586	Oilcrops Oil, Other	Oil crops and oils
276	Oil, tung nuts	2586	Oilcrops Oil, Other	Oil crops and oils
278	Oil, jojoba	2586	Oilcrops Oil, Other	Oil crops and oils
281	Oil, safflower	2586	Oilcrops Oil, Other	Oil crops and oils
297	Oil, poppy	2586	Oilcrops Oil, Other	Oil crops and oils
306	Vegetable tallow	2586	Oilcrops Oil, Other	Oil crops and oils
307	Oil, stillingia	2586	Oilcrops Oil, Other	Oil crops and oils
313	Oil, kapok	2586	Oilcrops Oil, Other	Oil crops and oils
334	Oil, linseed	2586	Oilcrops Oil, Other	Oil crops and oils
337	Oil, hempseed	2586	Oilcrops Oil, Other	Oil crops and oils
340	Oil, vegetable origin nes	2586	Oilcrops Oil, Other	Oil crops and oils
664	Cocoa, butter	2586	Oilcrops Oil, Other	Oil crops and oils
388	Tomatoes	2601	Tomatoes and products	Vegetables
389	Juice, tomato, concentrated	2601	Tomatoes and products	Vegetables
390	Juice, tomato	2601	Tomatoes and products	Vegetables
391	Tomatoes, paste	2601	Tomatoes and products	Vegetables
392	Tomatoes, peeled	2601	Tomatoes and products	Vegetables
403	Onions, dry	2602	Onions	Vegetables
358	Cabbages and other brassicas	2605	Vegetables, Other	Vegetables
366	Artichokes	2605	Vegetables, Other	Vegetables
367	Asparagus	2605	Vegetables, Other	Vegetables
372	Lettuce and chicory	2605	Vegetables, Other	Vegetables
373	Spinach	2605	Vegetables, Other	Vegetables
378	Cassava leaves	2605	Vegetables, Other	Vegetables
393	Cauliflowers and broccoli	2605	Vegetables, Other	Vegetables
394	Pumpkins, squash and gourds	2605	Vegetables, Other	Vegetables
397	Cucumbers and gherkins	2605	Vegetables, Other	Vegetables
399	Eggplants (aubergines)	2605	Vegetables, Other	Vegetables
401	Chillies and peppers, green	2605	Vegetables, Other	Vegetables
402	Onions, shallots, green	2605	Vegetables, Other	Vegetables
406	Garlic	2605	Vegetables, Other	Vegetables
407	Leeks, other alliaceous vegetables	2605	Vegetables, Other	Vegetables
414	Beans, green	2605	Vegetables, Other	Vegetables
417	Peas, green	2605	Vegetables, Other	Vegetables
420	Vegetables, leguminous nes	2605	Vegetables, Other	Vegetables
423	String beans	2605	Vegetables, Other	Vegetables
426	Carrots and turnips	2605	Vegetables, Other	Vegetables
430	Okra	2605	Vegetables, Other	Vegetables
446	Maize, green	2605	Vegetables, Other	Vegetables
447	Sweet corn frozen	2605	Vegetables, Other	Vegetables
448	Sweet corn prep or preserved	2605	Vegetables, Other	Vegetables
449	Mushrooms and truffles	2605	Vegetables, Other	Vegetables
450	Mushrooms, dried	2605	Vegetables, Other	Vegetables
451	Mushrooms, canned	2605	Vegetables, Other	Vegetables
459	Chicory roots	2605	Vegetables, Other	Vegetables
460	Vegetables, fresh or dried products nes	2605	Vegetables, Other	Vegetables
461	Carobs	2605	Vegetables, Other	Vegetables
463	Vegetables, fresh nes	2605	Vegetables, Other	Vegetables
464	Vegetables, dried nes	2605	Vegetables, Other	Vegetables
465	Vegetables, canned nes	2605	Vegetables, Other	Vegetables
466	Juice, vegetables nes	2605	Vegetables, Other	Vegetables
469	Vegetables, dehydrated	2605	Vegetables, Other	Vegetables
471	Vegetables in vinegar	2605	Vegetables, Other	Vegetables
472	Vegetables, preserved nes	2605	Vegetables, Other	Vegetables
473	Vegetables, frozen	2605	Vegetables, Other	Vegetables
474	Vegetables, temporarily preserved	2605	Vegetables, Other	Vegetables
475	Vegetables, preserved, frozen	2605	Vegetables, Other	Vegetables
476	Vegetables, homogenized preparations	2605	Vegetables, Other	Vegetables

表 2.6 対象品目 (続き)

Item Code (456 Items)	Item Name (456 Items)	Item Code (78 Items)	Item Name (78 Items)	Item Name (11 Groups)
658	Coffee, substitutes containing coffee	2605	Vegetables, Other	Vegetables
490	Oranges	2611	Oranges, Mandarines	Fruits (excluding wines)
491	Juice, orange, single strength	2611	Oranges, Mandarines	Fruits (excluding wines)
492	Juice, orange, concentrated	2611	Oranges, Mandarines	Fruits (excluding wines)
495	Tangerines, mandarins, clementines, satsumas	2611	Oranges, Mandarines	Fruits (excluding wines)
496	Juice, tangerine	2611	Oranges, Mandarines	Fruits (excluding wines)
497	Lemons and limes	2612	Lemons, Limes and products	Fruits (excluding wines)
498	Juice, lemon, single strength	2612	Lemons, Limes and products	Fruits (excluding wines)
499	Juice, lemon, concentrated	2612	Lemons, Limes and products	Fruits (excluding wines)
507	Grapefruit (inc. pomelos)	2613	Grapefruit and products	Fruits (excluding wines)
509	Juice, grapefruit	2613	Grapefruit and products	Fruits (excluding wines)
510	Juice, grapefruit, concentrated	2613	Grapefruit and products	Fruits (excluding wines)
512	Fruit, citrus nes	2614	Citrus, Other	Fruits (excluding wines)
513	Juice, citrus, single strength	2614	Citrus, Other	Fruits (excluding wines)
514	Juice, citrus, concentrated	2614	Citrus, Other	Fruits (excluding wines)
486	Bananas	2615	Bananas	Fruits (excluding wines)
489	Plantains	2616	Plantains	Fruits (excluding wines)
515	Apples	2617	Apples and products	Fruits (excluding wines)
518	Juice, apple, single strength	2617	Apples and products	Fruits (excluding wines)
519	Juice, apple, concentrated	2617	Apples and products	Fruits (excluding wines)
574	Pineapples	2618	Pineapples and products	Fruits (excluding wines)
575	Pineapples canned	2618	Pineapples and products	Fruits (excluding wines)
576	Juice, pineapple	2618	Pineapples and products	Fruits (excluding wines)
580	Juice, pineapple, concentrated	2618	Pineapples and products	Fruits (excluding wines)
577	Dates	2619	Dates	Fruits (excluding wines)
560	Grapes	2620	Grapes and products (excl wine)	Fruits (excluding wines)
561	Raisins	2620	Grapes and products (excl wine)	Fruits (excluding wines)
562	Juice, grape	2620	Grapes and products (excl wine)	Fruits (excluding wines)
563	Grapes, must	2620	Grapes and products (excl wine)	Fruits (excluding wines)
521	Pears	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
523	Quinces	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
526	Apricots	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
527	Apricots, dry	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
530	Cherries, sour	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
531	Cherries	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
534	Peaches and nectarines	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
536	Plums and sloes	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
537	Plums dried (prunes)	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
538	Juice, plum, single strength	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
539	Juice, plum, concentrated	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
541	Fruit, stone nes	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
542	Fruit, pome nes	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
544	Strawberries	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
547	Raspberries	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
549	Gooseberries	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
550	Currants	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
552	Blueberries	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
554	Cranberries	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
558	Berries nes	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
567	Watermelons	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
568	Melons, other (inc.cantaloupes)	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
569	Figs	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
570	Figs dried	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
571	Mangoes, mangosteens, guavas	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
572	Avocados	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
583	Juice, mango	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
587	Persimmons	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
591	Cashewapple	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
592	Kiwi fruit	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)

表 2.6 対象品目 (続き)

Item Code (456 Items)	Item Name (456 Items)	Item Code (78 Items)	Item Name (78 Items)	Item Name (11 Groups)
600	Papayas	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
603	Fruit, tropical fresh nes	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
604	Fruit, tropical dried nes	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
619	Fruit, fresh nes	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
620	Fruit, dried nes	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
622	Juice, fruit nes	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
623	Fruit, prepared nes	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
624	Flour, fruit	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
625	Fruits, nuts, peel, sugar preserved	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
626	Fruit, cooked, homogenized preparations	2625	Fruits, Other	Fruits (excluding wines)
656	Coffee, green	2630	Coffee and products	Beverages
657	Coffee, roasted	2630	Coffee and products	Beverages
659	Coffee, extracts	2630	Coffee and products	Beverages
661	Cocoa, beans	2633	Cocoa Beans and products	Beverages
662	Cocoa, paste	2633	Cocoa Beans and products	Beverages
665	Cocoa, powder & cake	2633	Cocoa Beans and products	Beverages
666	Chocolate products nes	2633	Cocoa Beans and products	Beverages
667	Tea	2635	Tea (including mate)	Beverages
671	Mate	2635	Tea (including mate)	Beverages
672	Tea, mate extracts	2635	Tea (including mate)	Beverages
687	Pepper (piper spp.)	2640	Pepper	Spices
689	Chillies and peppers, dry	2641	Pimento	Spices
698	Cloves	2642	Cloves	Spices
692	Vanilla	2645	Spices, Other	Spices
693	Cinnamon (canella)	2645	Spices, Other	Spices
702	Nutmeg, mace and cardamoms	2645	Spices, Other	Spices
711	Anise, badian, fennel, coriander	2645	Spices, Other	Spices
720	Ginger	2645	Spices, Other	Spices
723	Spices, nes	2645	Spices, Other	Spices
564	Wine	2655	Wine	Beverages
565	Vermouths & similar	2655	Wine	Beverages
51	Beer of barley	2656	Beer	Beverages
26	Beverages, fermented wheat	2657	Beverages, Fermented	Beverages
39	Beverages, fermented rice	2657	Beverages, Fermented	Beverages
517	Cider etc	2657	Beverages, Fermented	Beverages
66	Beer of maize	2657	Beverages, Fermented	Beverages
82	Beer of millet	2657	Beverages, Fermented	Beverages
86	Beer of sorghum	2657	Beverages, Fermented	Beverages
634	Beverages, distilled alcoholic	2658	Beverages, Alcoholic	Beverages
867	Meat, cattle	2731	Bovine Meat	Meats and eggs
870	Meat, cattle, boneless (beef & veal)	2731	Bovine Meat	Meats and eggs
872	Meat, beef, dried, salted, smoked	2731	Bovine Meat	Meats and eggs
873	Meat, extracts	2731	Bovine Meat	Meats and eggs
874	Meat, beef and veal sausages	2731	Bovine Meat	Meats and eggs
875	Meat, beef, preparations	2731	Bovine Meat	Meats and eggs
876	Meat, beef, canned	2731	Bovine Meat	Meats and eggs
877	Meat, homogenized preparations	2731	Bovine Meat	Meats and eggs
947	Meat, buffalo	2731	Bovine Meat	Meats and eggs
1017	Meat, goat	2732	Mutton & Goat Meat	Meats and eggs
977	Meat, sheep	2732	Mutton & Goat Meat	Meats and eggs
1035	Meat, pig	2733	Pigmeat	Meats and eggs
1038	Meat, pork	2733	Pigmeat	Meats and eggs
1039	Bacon and ham	2733	Pigmeat	Meats and eggs
1041	Meat, pig sausages	2733	Pigmeat	Meats and eggs
1042	Meat, pig, preparations	2733	Pigmeat	Meats and eggs
1058	Meat, chicken	2734	Poultry Meat	Meats and eggs
1060	Fat, liver prepared (foie gras)	2734	Poultry Meat	Meats and eggs
1061	Meat, chicken, canned	2734	Poultry Meat	Meats and eggs
1069	Meat, duck	2734	Poultry Meat	Meats and eggs

表 2.6 対象品目 (続き)

Item Code (456 Items)	Item Name (456 Items)	Item Code (78 Items)	Item Name (78 Items)	Item Name (11 Groups)
1073	Meat, goose and guinea fowl	2734	Poultry Meat	Meats and eggs
1080	Meat, turkey	2734	Poultry Meat	Meats and eggs
1089	Meat, bird nes	2735	Meat, Other	Meats and eggs
1097	Meat, horse	2735	Meat, Other	Meats and eggs
1108	Meat, ass	2735	Meat, Other	Meats and eggs
1111	Meat, mule	2735	Meat, Other	Meats and eggs
1127	Meat, camel	2735	Meat, Other	Meats and eggs
1141	Meat, rabbit	2735	Meat, Other	Meats and eggs
1151	Meat, other rodents	2735	Meat, Other	Meats and eggs
1158	Meat, other camelids	2735	Meat, Other	Meats and eggs
1163	Meat, game	2735	Meat, Other	Meats and eggs
1164	Meat, dried nes	2735	Meat, Other	Meats and eggs
1166	Meat, nes	2735	Meat, Other	Meats and eggs
1172	Meat, nes, preparations	2735	Meat, Other	Meats and eggs
1176	Snails, not sea	2735	Meat, Other	Meats and eggs
1018	Offals, edible, goats	2736	Offals, Edible	Meats and eggs
1036	Offals, pigs, edible	2736	Offals, Edible	Meats and eggs
1059	Offals, liver chicken	2736	Offals, Edible	Meats and eggs
1074	Offals, liver geese	2736	Offals, Edible	Meats and eggs
1075	Offals, liver duck	2736	Offals, Edible	Meats and eggs
1081	Offals, liver turkeys	2736	Offals, Edible	Meats and eggs
1098	Offals, horses	2736	Offals, Edible	Meats and eggs
1128	Offals, edible, camels	2736	Offals, Edible	Meats and eggs
1159	Offals, other camelids	2736	Offals, Edible	Meats and eggs
1167	Offals, nes	2736	Offals, Edible	Meats and eggs
868	Offals, edible, cattle	2736	Offals, Edible	Meats and eggs
878	Liver prep.	2736	Offals, Edible	Meats and eggs
948	Offals, edible, buffaloes	2736	Offals, Edible	Meats and eggs
978	Offals, sheep,edible	2736	Offals, Edible	Meats and eggs
1019	Fat, goats	2737	Fats, Animals, Raw	Meats and eggs
1037	Fat, pigs	2737	Fats, Animals, Raw	Meats and eggs
1040	Fat, pig butcher	2737	Fats, Animals, Raw	Meats and eggs
1043	Lard	2737	Fats, Animals, Raw	Meats and eggs
1065	Fat, poultry	2737	Fats, Animals, Raw	Meats and eggs
1066	Fat, poultry, rendered	2737	Fats, Animals, Raw	Meats and eggs
1129	Fat, camels	2737	Fats, Animals, Raw	Meats and eggs
1160	Fat, other camelids	2737	Fats, Animals, Raw	Meats and eggs
1168	Oils, fats of animal nes	2737	Fats, Animals, Raw	Meats and eggs
1221	Lard stearine oil	2737	Fats, Animals, Raw	Meats and eggs
1222	Degras	2737	Fats, Animals, Raw	Meats and eggs
1225	Tallow	2737	Fats, Animals, Raw	Meats and eggs
1243	Fat, nes, prepared	2737	Fats, Animals, Raw	Meats and eggs
869	Fat, cattle	2737	Fats, Animals, Raw	Meats and eggs
871	Fat, cattle butcher	2737	Fats, Animals, Raw	Meats and eggs
949	Fat, buffaloes	2737	Fats, Animals, Raw	Meats and eggs
979	Fat, sheep	2737	Fats, Animals, Raw	Meats and eggs
994	Grease incl. lanolin wool	2737	Fats, Animals, Raw	Meats and eggs
1022	Butter of goat mlk	2740	Butter, Ghee	Meats and eggs
886	Butter, cow milk	2740	Butter, Ghee	Meats and eggs
887	Ghee, butteroil of cow milk	2740	Butter, Ghee	Meats and eggs
952	Butter, buffalo milk	2740	Butter, Ghee	Meats and eggs
953	Ghee, of buffalo milk	2740	Butter, Ghee	Meats and eggs
983	Butter and ghee, sheep milk	2740	Butter, Ghee	Meats and eggs
885	Cream fresh	2743	Cream	Meats and eggs
1062	Eggs, hen, in shell	2744	Eggs	Meats and eggs
1063	Eggs, liquid	2744	Eggs	Meats and eggs
1064	Eggs, dried	2744	Eggs	Meats and eggs
1091	Eggs, other bird, in shell	2744	Eggs	Meats and eggs
916	Egg albumine	2744	Eggs	Meats and eggs

表 2.6 対象品目 (続き)

Item Code (456 Items)	Item Name (456 Items)	Item Code (78 Items)	Item Name (78 Items)	Item Name (11 Groups)
27	Rice, paddy	2805	Rice (Milled Equivalent)	Rice
28	Rice, husked	2805	Rice (Milled Equivalent)	Rice
29	Rice, milled/husked	2805	Rice (Milled Equivalent)	Rice
30	Rice - total (Rice milled equivalent)	2805	Rice (Milled Equivalent)	Rice
31	Rice, milled	2805	Rice (Milled Equivalent)	Rice
32	Rice, broken	2805	Rice (Milled Equivalent)	Rice
33	Gluten, rice	2805	Rice (Milled Equivalent)	Rice
34	Starch, rice	2805	Rice (Milled Equivalent)	Rice
35	Bran, rice	2805	Rice (Milled Equivalent)	Rice
38	Flour, rice	2805	Rice (Milled Equivalent)	Rice
1020	Milk, whole fresh goat	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
1021	Cheese of goat mlk	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
1023	Milk, skimmed goat	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
1130	Milk, whole fresh camel	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
882	Milk, whole fresh cow	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
888	Milk, skimmed cow	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
889	Milk, whole condensed	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
890	Whey, condensed	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
891	Yoghurt	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
892	Yoghurt, concentrated or not	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
893	Buttermilk, curdled, acidified milk	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
894	Milk, whole evaporated	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
895	Milk, skimmed evaporated	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
896	Milk, skimmed condensed	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
897	Milk, whole dried	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
898	Milk, skimmed dried	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
899	Milk, dry buttermilk	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
900	Whey, dry	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
901	Cheese, whole cow milk	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
903	Whey, fresh	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
904	Cheese, skimmed cow milk	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
905	Whey, cheese	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
907	Cheese, processed	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
908	Milk, reconstituted	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
909	Milk, products of natural constituents nes	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
910	Ice cream and edible ice	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
917	Casein	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
951	Milk, whole fresh buffalo	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
954	Milk, skimmed buffalo	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
955	Cheese, buffalo milk	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
982	Milk, whole fresh sheep	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
984	Cheese, sheep milk	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)
985	Milk, skimmed sheep	2848	Milk - Excluding Butter	Milk (excluding butter)

## 2.2 使用データ

表 2.7 は本研究の使用データの一覧表である。この表では、各章の分析に用いた各種のデータについて、データ引用元、備考、および評価対象をそれぞれ記載している。なお、評価対象の項目には、当該項目に該当するデータを用いて推計した係数名または変数名を示している。以下では、章別に使用データについて概説する。

第 3 章では、FAOSTAT の統計データに基づいて、国別、食料品目別に食料貿易収支と食料需給バランスを評価した。食料貿易収支の評価では、国別、貿易相手国別、食料品目別の輸入量データと輸出量データについて、FAO 食料貿易表の統計データ (FAO, 2009a-2011a) を用いた。その際、2 種類の文献 (MLIT, 2004; USDA, 1992) の文献値、および日本食品標準成分表 2010 の統計データ (MEXT, 2010) を引用し、これらに基づいて食料品目別に原料換算係数を設定した。また、食料需給バランスの評価では、国別、食料品目別の国内生産量データと国内消費量データについて、2 種類の FAO 食料需給表の統計データ (FAO, 2009b-2011b, 2009c-2011c) を用いた。

また、第 3 章では、食料品目別にエネルギー換算係数を設定した。その際、5 種類の統計データまたは文献値 (MEXT, 2010, 2015; USDA, 2019; JAICAF, 2007; INRAE-CIRAD-AFZ, 2017) を用いて、食料品目別のエネルギー換算係数を設定した。なお、主要部位別の食肉購買動向 (ALIC, 2019) は、肉類 (牛肉, 豚肉, および鶏肉) に関するエネルギー換算係数を設定する際に使用した。その際、FAOSTAT の人口統計 (FAO, 2010) より日本人口の統計データを使用した。

第 4 章では、食料供給および食料需要に起因する淡水資源必要量を評価するために、2 種類の文献 (Mekonnen and Hoekstra, 2011b) の文献値に基づいて、国別、食料品目別に淡水資源消費原単位を設定した。さらに、Döll and Siebert (2002) の文献値に基づいて、国別・食料品目別に灌漑効率を設定した。また、淡水資源必要量の比較評価において、2010 年時点のインドネシア人口の文献値 (BPS, 2019), 世界人口 (2010 年) の統計データ (FAO, 2010a), および将来人口 (2050 年) の統計データ (UNDESA, 2019) をそれぞれ用いた。ここで、インドネシアの人口に関しては、FAOSTAT の人口統計および文献値の両方を利用した。この理由は、国レベルおよび生産地域レベルの平均値の両面から、インドネシアのパーム油の 1 人あたり国内生産量を分析したためである。さらに、FAOSTAT より国別、食料品目別の収量の統計データ (FAO, 2010-2017) を引用し、作物の生産性の評価指標として用いた。

第 5 章では、生産ベースと消費ベースの淡水資源需給バランスの逼迫度を評価するために、淡水資源供給可能量を推計した。その際、AQUASTAT より、国別の淡水資源賦存量 (FAO, 2012), 農業用水取水量 (FAO, 1994a-2012a), および総取水量 (FAO, 1994b-2012b) の統計データを取得し、淡水資源供給可能量を推計した。また、本研究で推計した淡水資源需給バランスの逼迫度の妥当性を評価するために、生産ベースと消費ベースの淡水需給バランスの逼迫度とは別に、総取水由来の水ストレスの逼迫度を推計した。その際に、AQUASTAT より、国別の産業用水取水量 (FAO, 1994c-2012c), および都市用水取水量 (FAO, 1994d-2012d) の統計データを取得し、総取水由来の水ストレスの逼迫度を推計した。各々の淡水資源需給バランスの逼迫度を評価する際、FAOSTAT の人口統計 (FAO,



2010) より強度別の人口を評価した。第 3 章で設定したエネルギー換算係数、および第 4 章で使用した淡水資源消費原単位は、生産ベースと消費ベースの淡水資源需給バランスの逼迫度の要因分解分析においても使用した。

表 2.7 使用データ

Chapter	Data Source	Note	Analysis Target
第3章	FAO (2009a-2011a)	FAOSTAT, Detailed trade matrix	食料貿易収支
	FAO (2009b-2011b)	FAOSTAT, Commodity Balances - Crops Primary Equivalent	食料需給バランス
	FAO (2009c-2011c)	FAOSTAT, Commodity Balances - Livestock and Fish Primary Equivalent	食料需給バランス
	MLIT (2004)		原料換算係数
	USDA (1992)		原料換算係数
	MEXT (2010)		原料換算係数
	MEXT (2015)		エネルギー換算係数
	USDA (2019)		エネルギー換算係数
	JAICAF (2007)		エネルギー換算係数
	INRAE-CIRAD-AFZ (2017)	INRAE-CIRAD-AFZ Feed tables	エネルギー換算係数
	ALIC (2019)	主要部位別の食肉購買動向	エネルギー換算係数
第4章	FAO (2010a)	FAOSTAT, Annual population	世界人口 (2010年)
	Mekonnen and Hoekstra (2011b)		淡水資源消費原単位
	Döll and Siebert (2002)		灌漑効率
	BPS (2019)		インドネシア人口 (2010年)
	FAO (2010a)	FAOSTAT, Annual population	世界人口 (2010年)
	UNDESA (2019)		将来人口 (2050年)
	FAO (2010-2017)	FAOSTAT, Crops	収量
第5章	FAO (2012)	AQUASTAT, Total renewable water resources	淡水資源賦存量
	FAO (1994a-2012a)	AQUASTAT, Agricultural water withdrawal	農業用水取水量
	FAO (1994b-2012b)	AQUASTAT, Total water withdrawal	総取水量
	FAO (1994c-2012c)	AQUASTAT, Industrial water withdrawal	産業用水取水量
	FAO (1994d-2012d)	AQUASTAT, Municipal water withdrawal	都市用水取水量
	FAO (2010)	FAOSTAT, Annual population	世界人口 (2010年)

# 第3章 食料需給バランスの現状把握

## 3.1 推計の流れ

図 3.1 に食料需給バランスの推計の流れ（第 3 章）を示す。同図では、使用データと評価対象の設定（第 2 章）を始点とし、食料供給および食料需要に起因する淡水資源必要量の推計（第 4 章）に至るまでの一連の流れを示した。

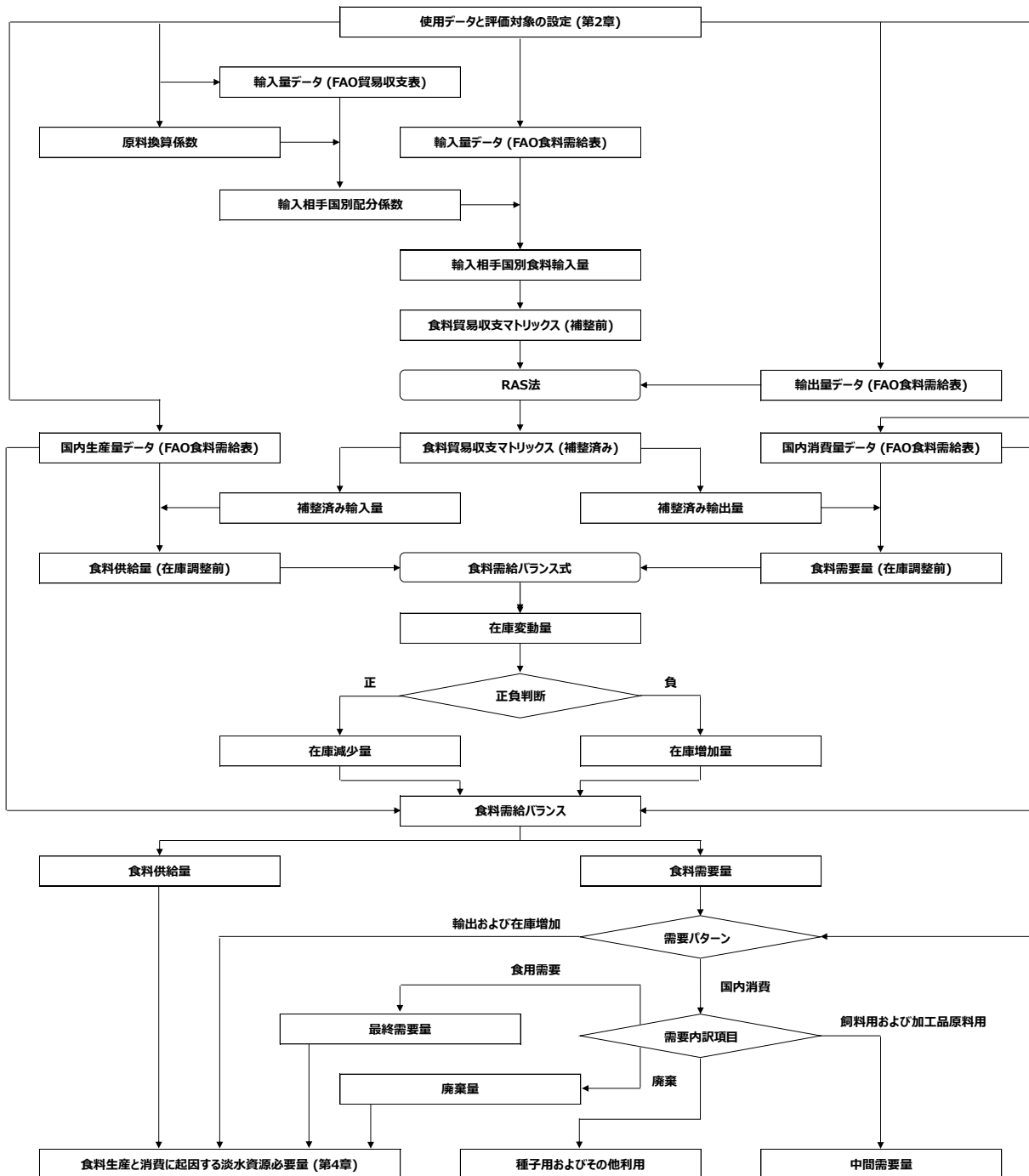


図 3.1 食料需給バランスの推計フロー図

## 3.2 食料貿易収支マトリックスの作成

### 3.2.1 貿易統計の不整合問題

食料貿易収支を推計するためには、各国間の貿易収支に関する統計データを収集する必要がある。貿易統計は各国間の詳細な貿易取引データを提供するデータベースであり、貿易収支の解析のために不可欠なツールである。しかし、小坂ら（2012）は、貿易統計には不整合問題が存在することを述べた。貿易統計の不整合問題は、輸入国が公表する輸入取引量とその貿易相手国が公表する輸出取引量のデータが互いに一致していない状況を指す。また、小坂ら（2012）によると、貿易統計の不整合問題は、様々な要因が同時に複雑に重なることによって生じているが、その主因を整理すると、不可避な要因、構造的な要因、およびエラー要因の3分類に大別される。不可避な要因は、輸入国とその貿易相手国との間に存在するタイムラグにより生じる。すなわち、異なる時空間上で両国間の輸入と輸出が行われることにより発生すると考えられる要因を表す。構造的な要因は、輸入と輸出の間で、貿易相手国の定義が異なることにより発生する。輸入においては、原産国ごとに輸入関税に差異が存在するため、貿易相手国として原産国を使用することが一般的であるとされているが、輸出においては、必ずしも最終消費国が明確であるわけではなく、貿易相手国が不明である場合には、貿易相手国として経由国が使用される。輸入と輸出の間で、このような貿易相手国の定義の差異が存在するため、構造的な要因に起因した貿易統計の不整合問題が発生する。また、エラー要因は、故意による取引量の過少申告、データ処理の誤り、あるいは密輸などの影響で発生するものとされている。貿易統計の不整合問題は、これらすべての要因が組み合わさって生じている。

貿易統計の不整合問題の判断指標として、小坂ら（2012）は輸入整合率と輸出整合率を提案し、整合率が高い数量データを抽出することにより、価額データに関する貿易統計の不整合問題を補整できる可能性を指摘した。また、Gehlhar(1996)は、輸入と輸出の整合性を高める手法として、accuracy level と reliability index の2つの指標を提案した。この文献は、輸入国により報告された輸入データと輸出国により報告された輸出データを比較し、両者のうち信頼性の高いデータを使用することにより、貿易統計の不整合問題を補整した。一方、James and McDougall (1993)は、RAS法により、産業連関表から抽出した部門別データと貿易データベースから抽出した輸入量データとの間で、両者の整合性を補整した。上記の各例に見ると、貿易統計の不整合問題に対しては、文献ごとに異なる対応策がとられていることがわかる。したがって、貿易統計の不整合問題を解決する画一的な対策は定まっていない状況にあることが見受けられる。

### 3.2.2 輸入相手国別食料輸入量の推計

貿易収支表の一例として、FAO貿易収支表がある。貿易統計には、輸入統計と輸出統計の2種類が存在する。これら2つの統計では、貿易取引量データの報告国が異なる。すなわち、前者は輸入国、後者は輸出国によって貿易取引データが報告された貿易統計である。FAO貿易収支表において、これら2つの貿易統計では、年別、報告国別、貿易相手国別、品目別に各国間の貿易取引量データが重量ベースで公表されている。しかし、輸入量や輸出量を推計する際、輸入統計と輸出統計のすべての貿易取引データを同時に計上した場合、

輸入統計と輸出統計の両方で報告されている国間の貿易取引データについて、輸入量と輸出量が同時に計上されることになる。そのため、当然ながら、輸入量と輸出量のダブルカウントが発生し、貿易収支の推計に過大評価を生じることになる。したがって、貿易収支の推計を進める際には、貿易収支の基礎データが輸入統計または輸出統計のどちらか一方に限定する必要がある。

小坂ら (2012) によると、輸入の場合は、貿易相手国として原産国が使用されるが、輸出の場合は、最終消費国ではなく、経由国が貿易相手国として頻繁に使用される。そのため、輸入と輸出の間で発生する貿易相手国の解釈の差異により、貿易統計の不整合問題が生じる可能性を指摘している。この点を踏まえると、輸入統計に基づいて貿易収支を推計することにより、輸出統計を用いた場合と比べて、経由国と原産国の間で淡水資源必要量のダブルカウントを低減できる可能性がある。また、輸入の観点から貿易収支を推計することにより、食料自給率の高さ、あるいは貿易依存度の高さなど、消費側から見た食料供給の事情を推計に反映できる可能性がある。以上の2つの理由により、輸入統計に基づくことにより輸出よりも比較的高い精度で、食料輸出がもたらす原産国の淡水資源必要量を評価できると考えられる。そこで、本研究では、食料貿易収支を推計するための基礎データとして、輸入統計を用いた。

ただし、多くの国間の貿易取引量データについては、輸入統計において輸入量データに欠如が見られた。そこで、貿易相手国別の貿易取引量データに関する利用可能なデータ数を確保するために、輸出統計から抽出した当該国間の輸出量データによって欠如データを補填した。すなわち、輸入統計における輸入量データとは重複しない一部の国間の貿易取引量データに関して、輸出統計における輸出量データを使用した。結果的には、分析対象の貿易取引データの総数 (429,515 サンプル) に対して、輸出量データは 64 % (275,903 サンプル) を占めており、この分だけ輸入量データが輸出量データで補填されていた。したがって、本研究における分析対象の貿易取引量データの中には、輸入統計から抽出したものと輸出統計から抽出したものが混在していることに留意する必要がある。

本研究では、食料需給バランスを推計するための基礎データとして、FAO 食料需給表の統計データを用いた。FAO 食料需給表では、国内生産量、輸入量、在庫変動量、国内消費量、および輸出量の需給項目についての統計データが、年別、報告国別、品目別に重量ベースで公表されている。しかし、FAO 食料需給表では、輸入国によって報告された輸入量データ、あるいは輸出国によって報告された輸出量データは公表されているものの、各データの貿易相手国別の内訳に関する情報は提示されていない。そこで、FAO 貿易収支表における輸入統計に基づいて、次式(3.1)により輸入相手国別配分係数 $R_{i,j,k}[-]$ を設定した。なお、上述した通り、輸入統計における輸入量データの欠損値は、輸出統計における輸出量データで代用した。

$$R_{i,j,k} = \sum_{l=1}^{N_{j,l}} (C_l \cdot IQ_{i,j,k,l}) / \sum_{l=1}^{N_{j,l}} \sum_{k=1}^{N_{i,k}} (C_l \cdot IQ_{i,j,k,l}) \quad (3.1)$$

(3.1)式において、添え字 $i$ は評価対象国 ( $i = 1, 2, \dots, N_i$ ,  $N_i$ は総評価対象国数) を表し、消費

国または輸入国に相当する。添え字 $j$ は評価対象品目 ( $j = 1, 2, \dots, N_j$ ,  $N_j$ は総評価対象品目数) を表し, FAO 食料需給表に記載された食料品目 (78 品目) に相当する。添え字 $k$ は $i$ 国の貿易相手国 ( $k = 1, 2, \dots, N_k$ ,  $N_k$ は総貿易相手国数) を表し, 生産国または輸出国に相当する。添え字 $l$ は輸入品目 ( $l = 1, 2, \dots, N_l$ ,  $N_l$ は総輸入品目数) を表し, FAO 貿易収支表に記載された食料品目 (456 品目) に相当する。また, この式において,  $IQ_{i,j,k,l}$ は $i$ 国が輸入相手国 $k$ から輸入した食料品目 $j$ に対応する食料品目 $l$ の輸入量[ton]を表す。また,  $C_l$ は食料品目 $l$ に関する原料換算係数[-],  $N_{j,l}$ は食料品目 $j$ に対応する食料品目 $l$ の総数, および $N_{i,k}$ は $i$ 国に関する貿易相手国 $k$ の総数をそれぞれ表す。

(3.1)式において, 原料換算係数 $C_l$ は食料加工品, 乳製品, および乾燥品などの食料品目を生鮮品当量に原料換算するための係数である。生鮮加工品, 植物油類, および飲料品に関しては, 国土交通省の報告書 (MLIT, 2004) に記載された各食料品目に該当する文献値を参照し,  $C_l$ を設定した。ただし, アルコール飲料類に関しては, 日本食品標準成分表 2010 (MEXT, 2010) に記載された単位換算係数を用いて, 容積ベースから重量ベースに単位換算したものを用いた。乾燥品を除く, 肉類, および卵類に関しては,  $C_l$ を一律に 1.00 に設定した。動物性油脂に関しては, それ自体を原料とみなして 1.00 に設定した。乳製品に関しては, アメリカ合衆国農務省のハンドブック (USDA, 1992) に記載された文献値, および日本食品標準成分表 2010 (MEXT, 2010) の統計データより, 各乳製品および生乳の乳脂肪分率をそれぞれ設定した。各乳製品の $C_l$ は, 各乳製品の生乳換算値として設定した。乾燥品に関しては, 日本食品標準成分表 2010 (MEXT, 2010) の統計データより, 各乾燥品とこれに対応する生鮮原料品の可食部水分量や廃棄率などのデータを引用し, 生鮮原料品の全体固形分量, および加工品の全体固形分量をそれぞれ見積もった。ここで, 廃棄率は食品全体の重量に対する非可食部の重量の割合, すなわち非可食部率とした。各乾燥品の $C_l$ は, 生鮮原料の全体固形分量に対する加工品の全体固形分量の比として設定した。なお, 原料換算係数の設定に関しては, 3.2.3 節で詳述する。

(3.1)式において,  $IQ_{i,j,k,l}$ には, FAO 貿易収支表の輸入統計を基礎データとして用いたが, 一部の国間の輸入量データに欠如が見られた。そこで, 輸入量データの欠損値のうち, FAO 貿易収支表の輸出統計にのみ公表されているものについては, 輸出統計より該当国間の輸出量データを抽出した後, これを輸出相手国の輸入量として捉え直し, 該当国間の輸入量データとして代用した。したがって, 輸入統計, 輸出統計の両方で公表されていない国間の貿易取引量データについては, 食料貿易収支の推計には反映されていないことに留意する必要がある。なお, 基準年における各統計データの欠如の影響を少なくするために, 輸入統計と輸出統計のデータはそれぞれ, 国別, 品目別, 貿易相手国別に 2009~2011 年の3年平均値をとった後, これを基準年値として用いた。

次に, 各国の輸入相手国別の食料輸入量は, FAO 食料需給表の輸入量データに輸入相手国別配分係数を乗じることによって推計した。すなわち, 輸入国 $i$ の貿易相手国 $k$ からの食料品目 $j$ の輸入量 (“輸入相手国別食料輸入量”)  $IQ_{i,j,k}$ [ton]は, 次式(3.2)より推計した。

$$IQ_{i,j,k} = R_{i,j,k} \cdot IQ_{i,j} \quad (3.2)$$

この式における $IQ_{i,j}$ は $i$ 国の食料品目 $j$ の輸入量[ton]を表し, FAO 食料需給表の輸入量デー

タを使用した。なお、FAO 食料需給表の輸入量データは、基準年における当該項目のデータの欠如の影響を少なくするために、国別、品目別に 2009～2011 年の 3 年平均値をとり、これを基準年値として用いた。

### 3.2.3 原料換算係数の設定

原料換算係数は、食料品目を生鮮品当量に原料換算するための係数であり、(3.1)式で定義される輸入相手国別配分係数を設定するために使用した。輸入相手国別配分係数は FAO 貿易収支表の食料品目に基づいて設定したため、FAO 貿易収支表に記載の食料品目を対象として原料換算係数を使用した。なお、本研究では、原料換算係数は食料品目間での差のみが存在し、生産国間での差は存在しないものと仮定した。したがって、すべての生産国において、同種類の食料品目と見なせる品目に関しては、当該品目と同じ原料換算係数を使用した。以下では、食料品目分類別に原料換算係数の設定の詳細について記述する。

#### 3.2.3.1 農作物の原料換算係数

農作物に属する食料品目は、MLIT (2004) に記載された食料品目を FAO 貿易収支表の食料品目と対応させて、該当する食料品目の加工品生産重量あたりの原料換算係数 (ton/ton) を使用した。また、原料品に相当する農作物に関しては、原料換算係数を一律に 1.00 と設定した。

#### 3.2.3.2 飲料品の原料換算係数

飲料品に関しては、果汁飲料品とアルコール飲料品の 2 種類に分けて、各々の原料換算係数を設定した。このうち、果汁飲料品に関しては、MLIT (2004) に記載された果汁飲料品の原料換算係数をそのまま使用した。

一方、MLIT (2004) において、アルコール飲料品に関しては、加工品生産容積あたりの原料換算係数 (ton/KL) として記載されていた。そこで、MEXT (2010) の日本食品標準成分表に記載された 100 g あたりの容積のデータを用いて、MLIT (2004) に記載された加工品生産容積あたりの原料換算係数を加工品生産重量あたりに換算し、これをアルコール飲料品の原料換算係数 (ton/ton) として用いた。

なお、本研究では、牛乳に関しては乳製品に分類したため、乳製品の原料換算係数を使用した。

#### 3.2.3.3 肉類・卵類の原料換算係数

肉類と卵類に関しては、MLIT (2004) において原料換算係数が記載されていなかったため、別途設定した。このうち、肉類に関しては、原料と加工品の原料換算係数を一律に 1.00 と設定した。また、動物性油脂に関しては、それ自体を原料とみなして 1.00 に設定した。一方、卵類に関しては、生鮮卵と乾燥卵の 2 種類が存在した。このうち、生鮮卵は加工品ではないものと見なし、原料換算係数を 1.00 と設定した。乾燥卵は乾燥品に属するため、乾燥品の原料換算係数を使用した。

### 3.2.3.4 乳製品の原料換算係数

乳製品に関しては、生乳を主原料としているため、生乳の乳脂肪分量に基づいて乳製品の原料換算係数を設定した。まず、生乳の乳脂肪分量を推計した。日本食品標準成分表 2010 (MEXT, 2010) によると、生乳 100 g あたりの乳脂肪分量は 3.7 g-Fat とされており、ここから生乳の乳脂肪率は 3.7 %となる。そこで、生乳 1g あたりの乳脂肪分量は 0.037g-Fat とした。

次に、日本食品標準成分表 2010 (MEXT, 2010) に記載された 4 種類の乳製品 (クリーム, アイスクリーム, ホエー, ヨーグルト) についても各々、生乳と同様の方法で乳脂肪率を決定し、乳製品 1 g あたりの乳脂肪分量を推計した。最後に、(3.3)式より、これら 4 種類の乳製品の原料換算係数を設定した。ここで、 $MF_l$  は乳製品 (クリーム, アイスクリーム, ホエー, ヨーグルト) の乳脂肪分量[g-Fat/g]を表す。また、0.037 は生乳の乳脂肪分量[g-Fat/g]である。(3.3)式より設定した原料換算係数は、これら 4 種類の乳製品を生乳当量に原料換算するための係数を表す。

$$C_l = \frac{MF_l}{0.037} \quad (3.3)$$

一方、上記 4 種類以外の乳製品 (バター, チーズ類, 脱脂粉乳, 缶ミルク) については、その乳脂肪分量が日本食品標準成分表 2010 (MEXT, 2010) に記載されていなかった。そこで、これら 4 種類の乳製品に関しては、USDA (1992) に記載された生乳当量の原料換算係数を用いた。

最後に、上記 8 種類の乳製品を各々、FAO 貿易収支表に記載の食料品目の分類と対応させ、各乳製品の原料換算係数として使用した。なお、本研究では、牛乳は生乳と同等のものを見なしたため、牛乳の原料換算係数を 1.00 に設定した。

### 3.2.3.5 乾燥品の原料換算係数

乾燥品に関しては、各々の乾燥品の全体固形分量に対して、各乾燥品に相当する生鮮品の全体固形分量との比をとり、原料換算係数を設定した。ここで、全体固形分量は、可食部固形分量と非可食部量の和として定義した。なお、日本食品標準成分表 2010 (MEXT, 2010) では、乾燥品と生鮮品の双方について、可食部水分量と廃棄率の統計データが提供されている。ただし、乾燥タマネギについては、日本食品標準成分表 2010 (MEXT, 2010) に可食部水分量と廃棄率の統計データが存在しなかったため、前者を 10.0 [g/100 g]、後者を 0 %と仮定した。

まず、乾燥品の全体固形分量を推計した。可食部固形分量は、次式(3.4)より可食部量と可食部水分量を用いて推計した。この式において、 $Q_{SC}$  は可食部固形分量[g]、 $Q_{Edible}$  は可食部量[g]、 $Q_{WC}$  は可食部水分量[g]をそれぞれ表す。

$$Q_{SC} = Q_{Edible} - Q_{WC} \quad (3.4)$$

次に、乾燥品の非可食部量を推計した。日本食品標準成分表 2010 (MEXT, 2010) では、

可食部のみを評価対象としているため、各品目の全体量は不明であった。そこで、全体率を1として、次式(3.5)より可食部量から全体量への逆算を試みた。この式において、 $Q_{Total}$ は全体量[g]、 $R_{Inedible}$ は非可食部率[-]を表す。なお、非可食部率の値として、日本食品標準成分表 2010 (MEXT, 2010) の廃棄率を代用した。

$$Q_{Total} = Q_{Edible} \cdot \frac{1}{1 - R_{Inedible}} \quad (3.5)$$

次に、(3.6)式の通り、全体量から可食部量を差し引くことによって、非可食部量を推計した。最後に、(3.7)式の通り、非可食部量と可食部固形量との和をとることによって、乾燥品の全体固形分量を推計した。この式において、 $Q_{Inedible}$ は非可食部量[g]、 $Q_{TSC}$ は全体固形分量[g]をそれぞれ表す。

$$Q_{Inedible} = Q_{Total} - Q_{Edible} \quad (3.6)$$

$$Q_{TSC} = Q_{SC} + Q_{Inedible} \quad (3.7)$$

一方、生鮮品に関しても乾燥品と同様、全体固形分量を推計した。生鮮品の全体固形分量は、乾燥品の場合と同様、(3.4)式～(3.7)式より推計した。乾燥品の全体固形分量に対して、当該乾燥品に相当する生鮮品の全体固形分量の比をとることによって、乾燥品の原料換算係数を設定した。すなわち、乾燥品の原料換算係数は、次式(3.8)より設定した。この式において、 $(Q_{TSC})_{Dry,l}$ は乾燥品 $l$ の全体固形分量[g]、 $(Q_{TSC})_{Fresh,l}$ は乾燥品 $l$ に相当する生鮮品の全体固形分量[g]をそれぞれ表す。(3.8)式より設定した原料換算係数は、乾燥品を生鮮品当量に原料換算するための係数を表す。

$$C_l = \frac{(Q_{TSC})_{Fresh,l}}{(Q_{TSC})_{Dry,l}} \quad (3.8)$$

なお、果物類、野菜類、および豆類の乾燥品のうち、日本食品標準成分表 2010 (MEXT, 2010) に記載されていなかった品目に関しては、各々の品目分類に属する乾燥品の原料換算係数を品目分類別に単純平均したもので代用した。

### 3.2.4 食料貿易収支の推計

#### 3.2.4.1 食料貿易収支マトリックスの概要

本研究では、列方向に輸出国 $k$ 、行方向に輸入国 $i$ をとり、輸入国別、輸出国（輸入相手国）別の食料輸入量を成分とした食料貿易収支マトリックス（“補整前の食料貿易収支マトリックス”）を作成した。補整前の食料貿易収支マトリックスは、評価対象の78品目別に作成し、すべて上記の表示形式に統一した。その際、補整前の食料貿易収支マトリックスの各成分は、(3.2)式で推計した輸入相手国別食料輸入量 $IQ_{i,j,k}$ を用いた。すなわち、輸入国 $i$ の貿易相手国 $k$ からの食料品目 $j$ の輸入量の初期値 $IQ_{i,j,k,0}$ [ton]は、次式(3.9)のように定義し、



補整前の食料貿易収支マトリックスの各成分として用いた。

$$IQ_{i,j,k,0} \equiv IQ_{i,j,k} \quad (3.9)$$

次に、各々の補整前の食料貿易収支マトリックスについて、貿易収支の精度を評価した、まず、次式(3.10)より、各々の補整前の食料貿易収支マトリックスについて、輸出国別に輸出量の和 $EQ_{j,k,0}$ [ton]をとった。

$$EQ_{j,k,0} = \sum_{i=1}^{N_i} IQ_{i,j,k,0} \quad (3.10)$$

続いて、FAO 食料需給表において公表されている輸出国 $k$ の食料品目 $j$ の輸出量 $EQ_{j,k}$ [ton]を $EQ_{j,k,0}$ と比較した。ただし、FAO 食料需給表の輸出量データについては、基準年における当該項目のデータの欠如の影響を少なくするために、国別、品目別に 2009~2011 年の 3 年平均値をとった後、これを基準年値として用いた。 $EQ_{j,k}$ と $EQ_{j,k,0}$ を比較した結果、すべての補整前の食料貿易収支マトリックスにおいて、両者の値が一致していないことがわかった。本研究では、このような矛盾を貿易収支の不整合問題と定義した。本研究では、この問題を改善するために、RAS 法により各々の補整前の食料貿易収支マトリックスの各成分を補整し、これを補整済み食料貿易収支マトリックスとした。なお、本研究における RAS 法の推計手順は、3.2.4.3 節で詳述する。

品目 ( $j$ )	輸入国 ( $i$ )					
		$i = 1$	...	$i = N_i$	総計 (初期値)	総計 (補整値)
輸出国 ( $k$ )	$k = 1$	$IQ_{1,j,1,t}$	...	$IQ_{i,j,1,t}$	$\sum_i IQ_{i,j,1,0}$	$\sum_i IQ_{i,j,1,t}$
	:	:	:	:	:	:
	$k = N_k$	$IQ_{1,j,k,t}$	...	$IQ_{i,j,k,t}$	$\sum_i IQ_{i,j,k,0}$	$\sum_i IQ_{i,j,k,t}$
	総計 (初期値)	$\sum_k IQ_{1,j,k,0}$	...	$\sum_k IQ_{i,j,k,0}$	$\sum_k \sum_i IQ_{i,j,k,0}$	
	総計 (補整値)	$\sum_k IQ_{1,j,k,t}$	...	$\sum_k IQ_{i,j,k,t}$		$\sum_k \sum_i IQ_{i,j,k,t}$

図 3.2 食料貿易収支マトリックスの概念図

図 3.2 は、作成した品目別の食料貿易収支マトリックスの概念図である。この図において、各々の食料貿易収支マトリックスの各成分 $IQ_{i,j,k,t}$ は、補整回数 $t$  ( $t = 0, 1, 2, \dots, N_T, N_T$

は総補整回数)における輸入国*i*の輸出国*k*からの食料品目*j*の輸入量[ton]を表す。総計(初期値)の列および行の欄には、補整前の食料貿易収支マトリックスの各成分から推計した輸出国別の輸出量と、および輸入国別の輸入量とがそれぞれ入る。また、総計(補整値)の列および行の欄には、補整済み食料貿易収支マトリックスの各成分から推計した輸出国別の輸出量と、および輸入国別の輸入量とをそれぞれ記載した。これらの数値は、RAS法による補整計算のために用いた。

### 3.2.4.2 RAS法の概要

前述した通り、輸入統計と輸出統計の間には、貿易統計の不整合問題が存在する。そのため、食料貿易収支を推計する際には、この問題に対して何らかの対応策をとることが合理的である。RAS法は産業連関表の投入産出データを修正するために最も一般的に使われる手法である(James and McDougall, 1993)。また、RAS法の手順は、長谷川(1991)やToh(1998)に詳述されている。

RAS法の適用事例として、James and McDougall(1993)が存在する。この文献では、RAS法により、産業連関表から抽出した部門別データと貿易データベースから抽出した輸入量データとの間で、両者の整合性が補整されている。実際、Walmsley et al.(2012)によると、国際貿易分析プロジェクト(Global Trade Analysis Project; "GTAP")データベースの作成では、Gehlhar(1996)の指標に基づいて選択した貿易データを使用した上で、James and McDougall(1993)の手法によって貿易統計の不整合問題が補整されている。ここで、Gehlhar(1996)は、輸入と輸出の整合性を高める手法として、accuracy level と reliability index の2つの指標を提案した。この文献では、輸入国により報告された輸入データと輸出国により報告された輸出データを比較し、両者のうち信頼性の高いデータを使用することにより、貿易統計の不整合問題が補整された。

一方、RAS法自体について分析した事例も存在する。たとえば、Toh(1998)において、RAS法の解釈と利便性の向上を試みた上で、その合理性を再考することを目的に、RAS法の推計手順の例をいくつか提示した。さらに、長谷川(1991)は、産業連関表の各数値に誤差が含まれていることを前提に、誤差の分布型に着目して、誤差に対するRAS法の推計結果の影響を分析した。

### 3.2.4.3 RAS法による補整計算の手順

本研究では、3.2.4.1節において定義した貿易収支の不整合問題を改善するために、RAS法による輸入相手国別食料輸入量の補整を試みた。すなわち、食料貿易収支マトリックスにおいて、輸出国(輸入相手国)別の輸入量の列和とFAO食料需給表から引用した輸出国別の輸出量データの値が一致するように、以下の手順1~6に従って、RAS法による補整計算を行った。

図3.3は、RAS法による補整計算のフロー図である。この図において、 $\varepsilon = 1.0 \times 10^{-10}$ は収束判定値を表す。RAS法による補整計算は、収束判定条件式( $\varepsilon \leq 1.0 \times 10^{-10}$ )を満たすまで繰り返される。この図に従って、本研究のRAS法による補整計算の手順を概説すると、次の通りである。手順1: 初期値の設定、手順2: 輸出補整係数の設定、手順3: 輸出量の補整、手順4: 輸入補整係数の設定、手順5: 輸入量の補整、手順6: 収束判定、とい

う順番に処理が実行される。最終的には、手順 6 において、上記の収束判定条件が満たされるまで、RAS 法による補整計算が繰り返される。以下では、手順 1~6 の具体的な手順について詳述する。

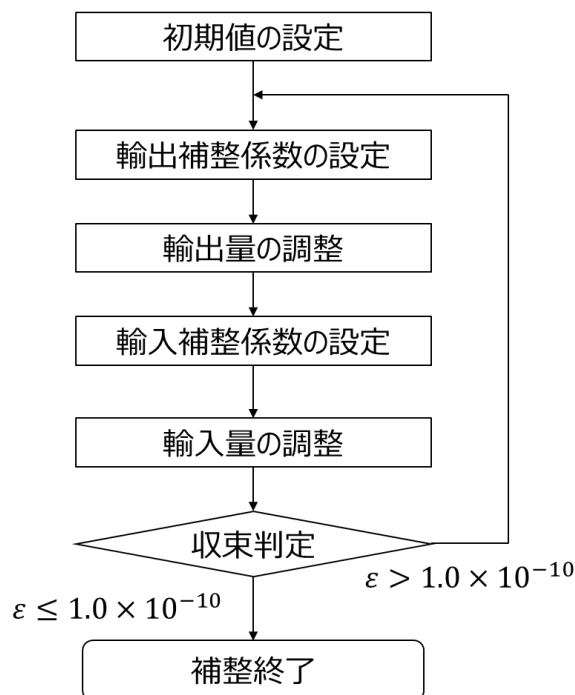


図 3.3 RAS 法による補整計算のフロー図

(手順 1) RAS 法を適用するための前処理として、次式(3.11)を満たすように、FAO 食料需給表の輸出量データを補整した。すなわち、補整回数を  $t$  とし、 $t = 0$  における輸出国  $k$  の食料品目  $j$  に関する輸出量の初期値を  $EQ_{j,k,0}$  [ton] とした。  $N_i$  と  $N_k$  はそれぞれ、輸入国  $i$  と輸出国  $k$  の数を表す。また、  $IQ_{i,j,k,0}$  は輸入国  $i$  の品目  $j$  に関する輸入量 [ton] の初期値であり、(3.2) 式より推計した輸入相手国別食料輸入量  $IQ_{i,j,k}$  に相当する。

$$\sum_k^{N_k} EQ_{j,k,0} = \sum_k^{N_k} \sum_i^{N_i} IQ_{i,j,k,0} \quad (3.11)$$

(手順 2) 次式(3.12)より、補整回数  $t$  における輸出国  $k$  の食料品目  $j$  に関する輸出補整係数  $CLM_{j,k,t}$  [-] を設定した。  $IQ_{i,j,k,t}$  は補整回数  $t$  における輸入国  $i$  の食料品目  $j$  に関する輸出国  $k$  からの輸入量 [ton] を表す。

$$CLM_{j,k,t} = EQ_{j,k,t} / \sum_i^{N_i} IQ_{i,j,k,t} \quad (3.12)$$

(手順 3) 次式(3.13)より、補整回数  $t$  における列和補整済み輸入量  $IQ_{i,j,k,t}^{CLM}$  [ton] を推計した。

$$IQ_{i,j,k,t}^{CLM} = CLM_{j,k,t} \cdot IQ_{i,j,k,t} \quad (3.13)$$

(手順 4) 次式(3.14)より、補整回数 $t$ における輸入国 $i$ の食料品目 $j$ に関する輸入補整係数 $ROW_{i,j,t}[-]$ を設定した。

$$ROW_{i,j,t} = IQ_{i,j} / \sum_k^{N_k} IQ_{i,j,k,t}^{CLM} \quad (3.14)$$

(手順 5) 次式(3.15)より、補整回数 $t + 1$ における輸入量 $IQ_{i,j,k,t+1}[\text{ton}]$ を推計した。

$$IQ_{i,j,k,t+1} = ROW_{i,j,t} \cdot IQ_{i,j,k,t}^{CLM} \quad (3.15)$$

(手順 6) (3.15)式より推計した $IQ_{i,j,k,t+1}$ は、(3.12)式における $IQ_{i,j,k,t}$ に代入し、補整回数 $t + 1$ における輸出補整係数 $CLM_{j,k,t+1}$ を設定した。以降では、下記の条件式(3.16)と(3.17)を満たすまで、手順 2~5 の処理を繰り返すことにより、食料貿易収支マトリックスの各成分を推計した。

$$\left| \frac{CLM_{j,k,t+1} - CLM_{j,k,t}}{CLM_{j,k,t}} \right| = \varepsilon \quad (3.16)$$

$$\left| \frac{ROW_{i,j,t+1} - ROW_{i,j,t}}{ROW_{i,j,t}} \right| = \varepsilon \quad (3.17)$$

両式において、 $\varepsilon$ は収束判定値を表す。収束判定値 $\varepsilon$ は補整回数 $t$ における輸出補整係数に対する補整回数 $t + 1$ における輸出補整係数からの変化率、または補整回数 $t$ における輸入補整係数に対する補整回数 $t + 1$ における輸入補整係数からの変化率として定義した。その後、食料貿易収支マトリックスのすべての列和と行和について、収束判定条件式 ( $\varepsilon \leq 1.0 \times 10^{-10}$ ) を満たすまで試行を繰り返した。

最後に、すべての食料貿易収支マトリックスに対して、上記の手順 1~6 を適用し、品目別に食料貿易収支マトリックスの各成分を推計した。

#### 3.2.4.4 RAS 法による貿易収支補整の妥当性の評価

本研究では、3.2.3.2 節において推計した輸入相手国別食料輸入量を対象に、RAS 法による貿易収支の補整計算の妥当性を評価した。まず、各々の補整前の食料貿易収支マトリックスの各成分に対して RAS 法を適用することにより、貿易収支の不整合問題がどのくらい改善されたか、その補整計算の効果を検証するために、RAS 法による補整計算前後の輸出整合率を比較した。また、RAS 法による補整計算に伴って、補整計算前後の輸入量にどのような変化が生じたか、その補整計算による輸入量への影響を分析するために、RAS 法による補整計算前後の輸入整合率の変動についても評価した。

本研究では、小坂ら (2012) を参考に、次式(3.18)と(3.19)より、 $k$ 国の食料品目 $j$ の輸出整合率 $REQ_{j,k}[-]$ 、および $i$ 国の食料品目 $j$ の輸入整合率 $RIQ_{i,j}[-]$ をそれぞれ算出した。輸出整合率が 1.0 に近づくほど、輸出の整合性は高いと判断される。同様に、輸入整合率が 1.0 に近づくほど、輸入の整合性は高いと判断される。そこで、RAS 法による補整計算前、および RAS 法による補整計算後のそれぞれについて、(3.18)式と(3.19)式を用いて、輸出整合率、および輸入整合率を算出した。すなわち、(3.18)式では輸出量の初期値 ( $EQ_{j,k,0}$ ) に対する行和 (補整済み輸出量) の比として輸出整合率を、(3.19)式では輸入量の初期値 ( $IQ_{i,j,0}$ ) に対する列和 (補整済み輸入量) の比として輸入整合率をそれぞれ定義した。なお、本研究では、 $EQ_{j,k,0}$ と $IQ_{i,j,0}$ の比較は行っていない。

$$REQ_{j,k} = \sum_{i=1}^{N_i} IQ_{i,j,k,n_t} / EQ_{j,k,0} \quad (3.18)$$

$$RIQ_{i,j} = \sum_{k=1}^{N_k} IQ_{i,j,k,n_t} / IQ_{i,j,0} \quad (3.19)$$

ここで、RAS 法による補整計算前の輸出整合率、および RAS 法による補整計算後の輸出整合率を互いに比較するために、各々を常用対数に変換した。同様に、RAS 法による補整計算前の輸入整合率、および RAS 法による補整計算後の輸入整合率を互いに比較するために、各々を常用対数に変換した。すなわち、輸出整合率あるいは輸入整合率は、その値が 1.0 に近づくほど、対数変換済み整合率は 0 に近づくようになる。ここで、双方とも、実数の整合率が 0 または発散する場合は、整合率の評価対象から除外した。なお、本研究では、貿易収支の不整合問題への対応策として輸出量データの整合性を改善するために、RAS 法による補整計算を食料貿易収支マトリックスの各成分に適用した。そのため、RAS 法による補整計算前の輸入整合率は、すべて 1.0 であることに留意しておく必要がある。

まず、表 3.1 に補整計算前後の対数変換済み輸出整合率を示す。表 3.1 より、対数変換済み輸出整合率を補整計算前後で比較すると、RAS 法による補整計算前の対数変換済み輸出整合率について、その階級値の最小値および最大値は各々、-4.53 と 3.97 であり、-0.01 ~ 0.01 の範囲にある比較的整合率の高いサンプルは全体のわずか 6.3 % (522 サンプル) である。ここで、前者の下限值と上限値は各々-0.02 と 0 (実数では各々0.95 と 1.0) であり、後者の下限値と上限値は各々0 と 0.02 (実数では各々1.0 と 1.05) である。また、RAS 法による補整計算後の対数変換済み輸出整合率について、その階級値の最小値および最大値は各々、-2.31 と 2.87 であり、-0.01 ~ 0.01 の範囲にある比較的整合率の高いサンプルは全体の 92.2 % (7,638 サンプル) である。RAS 法による補整計算前後の対数変換済み輸出整合率の標本数は、両方とも 8,287 サンプルである。さらに、双方とも、階級数と階級幅はそれぞれ、一律に 456 と 0.02 に設定した。以上を踏まえて、RAS 法による補整計算の前後で階級値の最大値を比較した場合、補整計算後の最大値が補整計算前の最大値を下回っていることがわかる。同様に、RAS 法による補整計算の前後で階級値の最小値を比較した場

合、補整計算後の最小値の絶対値が補整計算前の最小値の絶対値を下回っていることがわかる。また、 $-0.01\sim 0.01$  の範囲にある比較的整合率の高いサンプル出現比率は、補整計算前の 6.3%から補整計算後は 92.2%と大幅に増えている。これらの結果は、RAS 法による補整計算前と比べて、RAS 法による補整計算後の輸出整合率が改善したことを示唆する。したがって、RAS 法による補整計算は、輸出整合率の改善に有効であることがいえる。

次に、表 3.2 に補整計算前後の対数変換済み輸入整合率を示す。表 3.2 より、RAS 法による補整計算後の対数変換済み輸入整合率について、その階級値の最小値と最大値は各々、 $-2.87$  と  $2.31$  であった。ここで、対数変換済み輸入整合率についても、対数変換済み輸出整合率の場合と同じく、階級値を 456、階級幅を 0.02 にそれぞれ設定した。上述した通り、RAS 法による補整計算前の輸入整合率はすべて 1.0 であるため、その対数変換済み輸入整合率はすべて 0 となり、RAS 法による補整計算前には対数変換済み輸入整合率の階級値は発生しない。しかし、RAS 法による補整計算後には対数変換済み輸入整合率の階級値の最小値と最大値が生じた。このことは、RAS 法による補整計算前と比べて、RAS 法による補整計算後に輸入整合率が低下したことを意味する。したがって、RAS 法による補整計算により、輸出整合率は改善するが、同時に輸入整合率の低下を誘発する可能性が示唆された。しかし、RAS 法による補整計算前後の対数変換済み輸入整合率の変化を比較すると、補整計算後に対数変換済み輸入整合率が階級値で $-0.01\sim 0.01$  の範囲から外れたサンプル (939 サンプル) は全体 (11,657 サンプル) の 8.1%に過ぎない。この結果は、RAS 法による補整計算によって、高い輸入整合率を維持しながら、輸出整合率が劇的に改善したことを示唆する。したがって、RAS 法による補整計算は、輸出整合率の改善に有効であることがいえる。

ただし、本研究では、輸入統計における輸入量データの欠損値を輸出統計の輸出量データで補填したものの、食料貿易収支の基礎データは輸入統計に基づいている。そのため、本研究の食料貿易収支の推計は、輸入統計の精度が輸出統計よりも比較的高いことを前提としている。小坂ら (2012) が述べているように、貿易収支の推計の基礎データとして、輸入データが優先して利用される背景には、輸入量データに対して関税の影響が存在するため、輸出統計よりも厳格にデータが管理されているということが期待される。実際、NIES (2003) では、輸入量データを基礎データとして、世界の資源貿易フローが集計されている。以上より、輸入統計の精度は輸出統計よりも比較的高く、輸入統計に基づく食料貿易収支の推計は妥当なものであると判断した。

表 3.1 補整計算前後の対数変換済み輸出整合率

	階級値 ( $-0.01\sim 0.01$ )	
	補整計算前	補整計算後
サンプル数	522	7,638
サンプル出現比率	6.3	92.2

表 3.2 補整計算前後の対数変換済み輸入整合率

	階級値 (-0.01~0.01)	
	補整計算前	補整計算後
サンプル数	-	10,718
サンプル出現比率	-	91.9

注釈) 補整計算前の輸入整合率はすべて 1 であるため、階級値 (-0.01~0.01) における補整計算前の対数変換済み輸入整合率は評価対象から除外した。

### 3.3 食料需給バランスの推計

#### 3.3.1 食料需給バランスの定式化

3.2 節において作成した食料品目別の食料貿易収支マトリックスに基づいて、次式(3.20)と(3.21)より、輸入国*i*の食料品目*j*の補整済み輸入量 $AIQ_{i,j}$ [ton]、および輸出国*k*の食料品目*j*の補整済み輸出量 $AEQ_{j,k}$ [ton]を推計した。

$$AIQ_{i,j} = \sum_k^{N_k} AIQ_{i,j,k,N_t} \quad (3.20)$$

$$AEQ_{j,k} = \sum_i^{N_i} AIQ_{i,j,k,N_t} \quad (3.21)$$

両式において、 $AIQ_{i,j,k}$ は輸入国*i*の輸出国*k*から食料品目*j*の補整済み輸入量[ton]を表し、次式(3.22)により定義される。ただし、 $IQ_{i,j,k,N_t}$ は総補整回数 $N_T$ における輸入国*i*の輸出国*k*からの食料品目*j*の輸入量[ton]を表し、各々の補整済み食料貿易収支マトリックスの各成分より抽出した貿易取引量データを用いた。

$$AIQ_{i,j,k} \equiv IQ_{i,j,k,N_t} \quad (3.22)$$

次に、次式(3.23)の食料需給バランス式を用いて、国別、食料品目別に食料需給バランスを評価した。ここで、FAO 食料需給表には、5つの需給項目（国内生産、輸入、在庫変動、国内消費、および輸出）が存在し、国内生産量、輸入量、在庫変動量、国内消費量、および輸出量についての統計データが、年別、国別、品目別に重量ベースで公表されている。そこで、食料需給バランス式は、FAO 食料需給表における5つの需給項目に従って、国別、食料品目別に作成した。したがって、本研究で推計した食料需給バランスは、これら5つの需給項目に準拠する。

$$Prod_{c,j} + AIQ_{c,j} + SV_{c,j} = DSQ_{c,j} + AEQ_{c,j} \quad (3.23)$$

この式において、 $Prod_{c,j}$ はc国の食料品目jの国内生産量[ton]、 $SV_{c,j}$ はc国の食料品目jの在庫変動量[ton]、および $DSQ_{c,j}$ はc国の食料品目jの国内消費量[ton]をそれぞれ表す。各国は他の輸出国からの食料輸入を通じて輸入国（消費国）、あるいは生産国として食料輸出を通じて輸出国（生産国）となるため、消費国*i*または生産国*k*のどちらにもなり得る。そこで、各変数の国分類に関わる添え字*i*および*k*は、それぞれ添え字*c*に書き替えた。(3.23)式は在庫変動量 $SV_{c,j}$ を介して、食料供給量（国内生産量 $PRD_{c,j}$ と輸入量 $AIQ_{c,j}$ の和）と食料需要量（国内消費量 $DSQ_{c,j}$ と輸出量 $AEQ_{c,j}$ の和）が均衡している状況を表す。なお、在庫変動量は食料供給量と食料需要量との間の差を調整するために設けた。

本研究では、輸入量および輸出量は、上記の(3.20)式と(3.21)式より、補整済み食料貿易収支マトリックスの各成分から推計した。そのため、FAO食料需給表における5つの需給項目のうち、国内生産量データ、および国内消費量データを食料需給バランスの推計に用いた。各データについては、基準年における各項目のデータの欠如の影響を少なくするために、国別、品目別に2009～2011年の3年平均値をとった後、これを各項目の基準年値として用いた。したがって、在庫変動量 $SV_{c,j}$ に関しては、(3.23)式を $SV_{c,j}$ について変形し、次式(3.24)より推計した。ここで、 $SV_{c,j}$ が正の場合は在庫減少、 $SV_{c,j}$ が負の場合は在庫増加を表す。そこで、 $(DSQ_{c,j} + AEQ_{c,j}) > (Prod_{c,j} + AIQ_{c,j})$ の時、 $SV_{c,j}$ は正の値をとるため、在庫減少として食料供給補填に回るものと考え、この場合の $SV_{c,j}$ を、c国の食料品目jの在庫減少量 $SD_{c,j}$ [ton]と定義した。同様に、 $(DSQ_{c,j} + AEQ_{c,j}) < (Prod_{c,j} + AIQ_{c,j})$ の時、 $SV_{c,j}$ は負の値をとるため、在庫増加として食料供給余剰に回るものと考え、この場合の $SV_{c,j}$ を、c国の食料品目jの在庫増加量 $SI_{c,j}$ [ton]と定義した。なお、 $(DSQ_{c,j} + AEQ_{c,j}) = (Prod_{c,j} + AIQ_{c,j})$ が満たされる場合は、 $SV_{c,j} = 0$ となるため、(3.24)式より、食料供給と食料需要が在庫変動を発生させることなく、完全にバランスした状況を表す。

$$SV_{c,j} = (DSQ_{c,j} + AEQ_{c,j}) - (Prod_{c,j} + AIQ_{c,j}) \quad (3.24)$$

なお、上記の食料需給バランス式において、 $DSQ_{c,j}$ については、FAO食料需給表における国内消費の需要内訳に従って、国内消費を6つの項目に分解した。FAO食料需給表によると、国内消費量の需要内訳は、食料、廃棄、飼料、加工品原料、種子、およびその他利用の6つの項目から構成される。そこで、これら6つの項目に従って、次式(3.25)の通りに、国内消費量 $DSQ_{c,j}$ を6つの需要内訳項目に分解した。

$$DSQ_{c,j} = Food_{c,j} + Waste_{c,j} + Feed_{c,j} + Proc_{c,j} + Seed_{c,j} + OU_{c,j} \quad (3.25)$$

この式において、 $Food_{c,j}$ はc国の食料品目jの食用需要量[ton]、 $Waste_{c,j}$ はc国の食料品目jの廃棄量[ton]、 $Feed_{c,j}$ はc国の食料品目jの飼料用需要量[ton]、 $Proc_{c,j}$ はc国の食料品目jの加工品原料用需要量[ton]、 $Seed_{c,j}$ はc国の食料品目jの種子用需要量[ton]、および $OU_{c,j}$ はc国の食料品目jのその他利用量[ton]をそれぞれ表す。なお、FAO食料需要表の各需要内訳データは、基準年における各項目のデータの欠如の影響を少なくするために、国別、品目別に2009～2011年の3年平均値をとり、これを各項目の基準年値として用いた。

本研究では、飼料用需要量 $Feed_{c,j}$ および加工品原料用需要量 $Proc_{c,j}$ は中間需要量、食用



需要量 $Food_{c,j}$ は最終需要量にそれぞれ相当するものと見なした。また、種子用需要量 $Seed_{c,j}$ は、種子、孵化用有精卵など、食料の再生産用に回される消費を指す (FAO, 2001)。廃棄量 $Waste_{c,j}$ は、生産から貯蔵、流通までの各段階で発生する食料ロスに相当するが、収穫前・収穫期に生じるロス、および家庭で生じる可食部・非可食部の廃棄は含まれていない (FAO, 2001)。その他利用量 $OU_{c,j}$ は、非食用加工品の原料消費、および観光客による食料消費が該当する (FAO, 2001)。

### 3.3.2 エネルギー換算係数の設定

エネルギー換算係数は、本研究の対象品目を基準年 (2010 年) における日本食品標準成分表 2010 (MEXT, 2010) に記載された品目分類と対応させた上で、同表より該当品目の 100 g あたりエネルギー量[kcal/100 g]を取得した。また、日本食品標準成分表 2010 において欠損していた品目に関しては、日本食品標準成分表 2015 (MEXT, 2015) の 100 g あたりエネルギー量[kcal/100 g]で代用した。ここで、本研究の対象品目 (78 品目) は英名で表記しているが、このうち「other」という単語が品目名称の中に含まれているものに関しては、表 2.5 の品目分類に従い、各該当品目を構成するすべての品目の 100 g あたりエネルギー量[kcal/100 g]を取得し、それらの中央値で代用した。なお、日本食品標準成分表 2010 および日本食品標準成分表 2015 年版のいずれにも記載されていない品目に関しては、いくつかの統計データ (USDA, 2019; INRAE-CIRAD-AFZ; 2017) または文献値 (JAICAF, 2007) で代用した。

肉類のエネルギー換算係数は、該当品目の流通量により加重平均したエネルギー換算係数を用いた。各品目の流通量は、該当品目に関する主要部位別流通量 (ALIC, 2019) に日本の人口を乗じて推計した。ここで、日本の人口は、FAOSTAT の人口統計 (FAO, 2010) から取得した。ただし、羊肉・山羊肉に関しては、当該品目に関する主要部位別流通量のデータが欠如していたため、日本食品標準成分表 2010 より当該品目の 100 g あたりエネルギー量[kcal/100 g]の単純平均値として、エネルギー換算係数を設定した。また、78 品目分類におけるその他肉類を構成する品目のうち、「Meat, bird nes」は、ダチョウ肉のエネルギー換算係数で代用した。ダチョウ肉のエネルギー換算係数は、ダチョウ肉の 100 g あたりエネルギー量[kcal/100 g] (USDA, 2019) を部位別に取得し、これらの単純平均値として設定した。

### 3.3.3 食料需給バランスの推計結果

図 3.4 は世界 6 地域別のカロリーベース食料供給量の供給項目別シェアを図示したものである。また、表 3.3 に世界 6 地域別のカロリーベース食料供給量をまとめた。各図表の供給項目は、国内生産、輸入、在庫減少の 3 つの項目から構成される。各図表より、すべての地域で国内生産のシェアが突出して高く、アフリカは 76.0 % (カロリーベースでは 5,298 PJ)、アジアは 83.3 % (同 30,475 PJ)、ヨーロッパは 73.1 % (同 12,050 PJ)、北アメリカは 87.7 % (同 12,346 PJ)、オセアニアは 92.0 % (同 979 PJ)、南アメリカは 91.2 % (同 7,272 PJ) である。輸入のシェアは、特にヨーロッパやアフリカが高く、それぞれ 25.5 % (同 4,203 PJ) と 22.4 % (同 1,561 PJ) である。これに対して、南アメリカおよびオセアニアでは、輸入のシェアはそれぞれ 7.8 % (同 620 PJ) と 6.8 % (73 PJ) であり、他の 4 地域

よりも比較的低い。また、アフリカとアジアの輸入シェアはそれぞれ、22.4% (1,561 PJ) と 16.1% (5,890 PJ) である。以上より、すべての地域において、カロリーベース食料供給量のシェアを高めている主因は国内生産であることがわかる。また、ヨーロッパやアフリカでは、他の4地域よりも比較的高い輸入のシェアを示しており、これら2地域では、輸入への依存が比較的高い傾向にある。

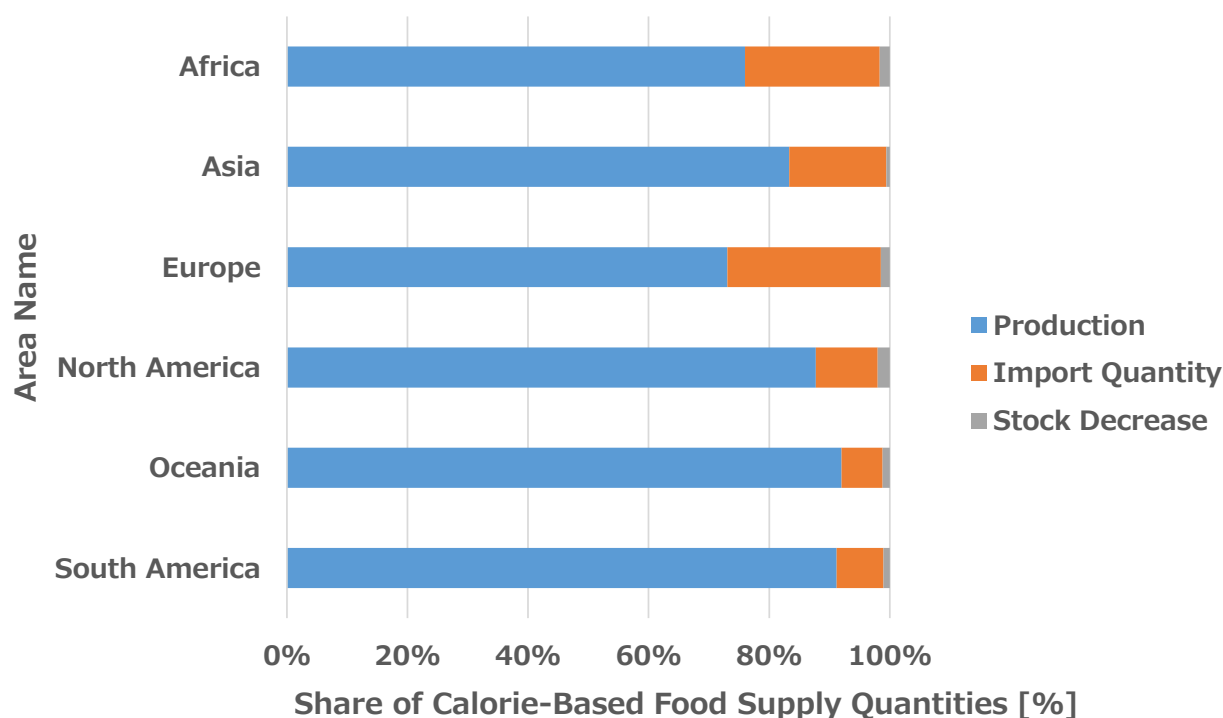


図 3.4 6 地域別のカロリーベース食料供給量の供給項目別シェア

表 3.3 6 地域別のカロリーベース食料供給量

Area Name	Production	Import Quantity	Stock Decrease	Total
Africa	5,298	1,561	114	6,973
Asia	30,475	5,890	211	36,577
Europe	12,050	4,203	240	16,494
North America	12,346	1,442	283	14,071
Oceania	979	73	12	1,064
South America	7,272	620	82	7,974
Total	68,421	13,789	943	83,153

図 3.5 は世界 6 地域別のカロリーベース食料需要量の需要項目別シェアを図示したものである。また、表 3.4 に世界 6 地域別のカロリーベース食料需要量をまとめた。各図表の需要項目は、最終需要、輸出、在庫増加、廃棄物、中間需要、種子用需要、およびその他利用の 7 つの項目から構成される。アフリカおよびアジアでは、最終需要のシェアが最も高く、それぞれ 61.2% (カロリーベースでは 4,270 PJ) と 51.3% (同 18,767 PJ) である。一方、オセアニアでは、輸出のシェアが最も高く、50.0% (同 532 PJ) である。また、ヨーロッパでは、最終需要および輸出のシェアはそれぞれ、28.0% (同 4,611 PJ) と 25.1% (同

4,133 PJ) である。北アメリカでは、最終需要および輸出のシェアはそれぞれ、24.4% (同 3,434 PJ) と 23.7% (同 3,334 PJ) である。南アメリカでは、最終需要および輸出のシェアはそれぞれ、27.6% (同 2,202 PJ) と 29.8% (同 2,372 PJ) である。また、各地域で中間需要のシェアが比較的高くなっており、それぞれアフリカは 17.2% (同 1,202 PJ)、アジアは 24.7% (同 9,020 PJ)、ヨーロッパは 34.3% (同 5,658 PJ)、北アメリカは 31.8% (同 4,481 PJ)、オセアニアは 19.4% (同 206 PJ)、および南アメリカは 30.8% (同 2,453 PJ) である。本研究では、各品目間の投入・産出の収支までは分析しなかったが、生産または輸入によって供給された作物のうちのおおよそ 2~3 割程度は、中間需要として飼料用または加工品原料用として消費されている可能性がある。各品目間の投入・産出の収支の詳細を考慮した分析は、今後の課題である。

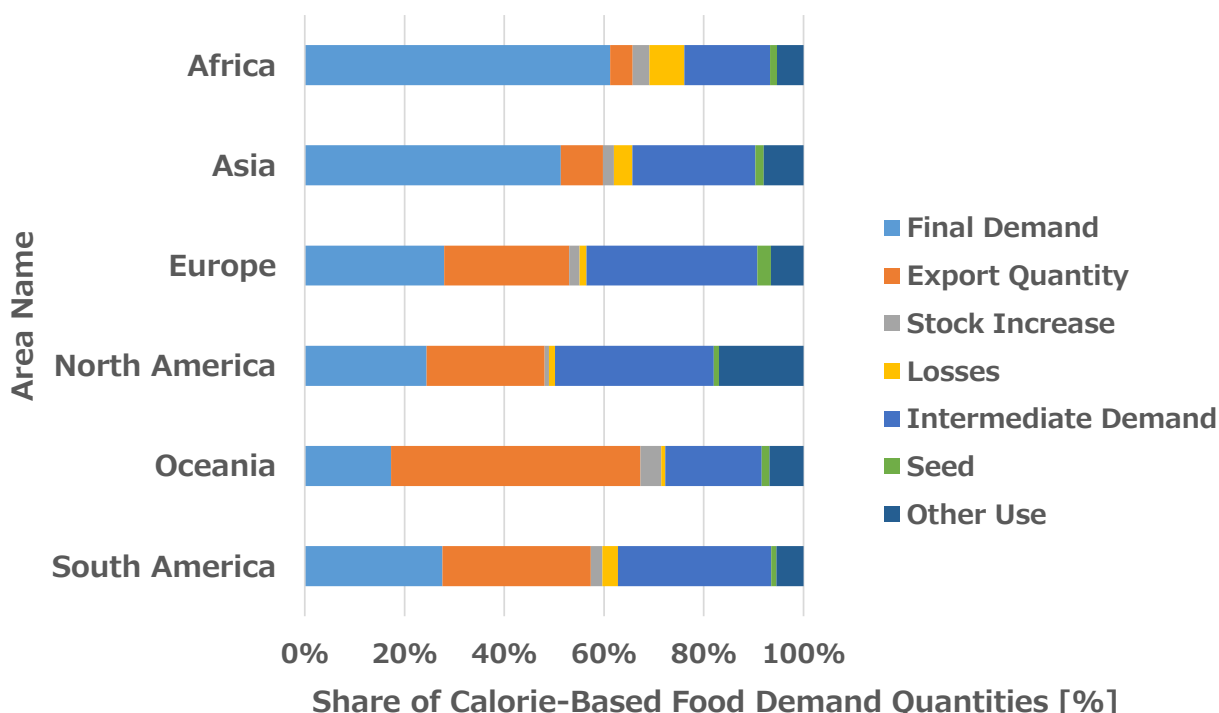


図 3.5 6 地域別のカロリーベース食料需要量の需要項目別シェア

表 3.4 6 地域別のカロリーベース食料供給量

Area Name	Final Demand	Export Quantity	Stock Increase	Losses	Intermediate Demand	Seed	Other Use	Total
Africa	4,270	313	234	488	1,202	94	373	6,973
Asia	18,767	3,105	799	1,360	9,020	596	2,930	36,577
Europe	4,611	4,133	345	223	5,658	448	1,074	16,494
North America	3,434	3,334	124	168	4,481	143	2,388	14,071
Oceania	184	532	44	8	206	16	73	1,064
South America	2,202	2,372	183	247	2,453	85	432	7,974
Total	33,468	13,789	1,730	2,494	23,020	1,382	7,270	83,153

# 第4章 食料供給および食料需要に起因する淡水資源必要量の評価

## 4.1 推計の流れ

図 4.1 に食料供給および食料需要に起因する淡水資源必要量の推計の流れ（第4章）を示す。同図では、食料需給バランスの推計（第3章）から生産ベースと消費ベースの淡水資源需給バランスの逼迫度の推計（第5章）に至るまでの一連の流れを示した。

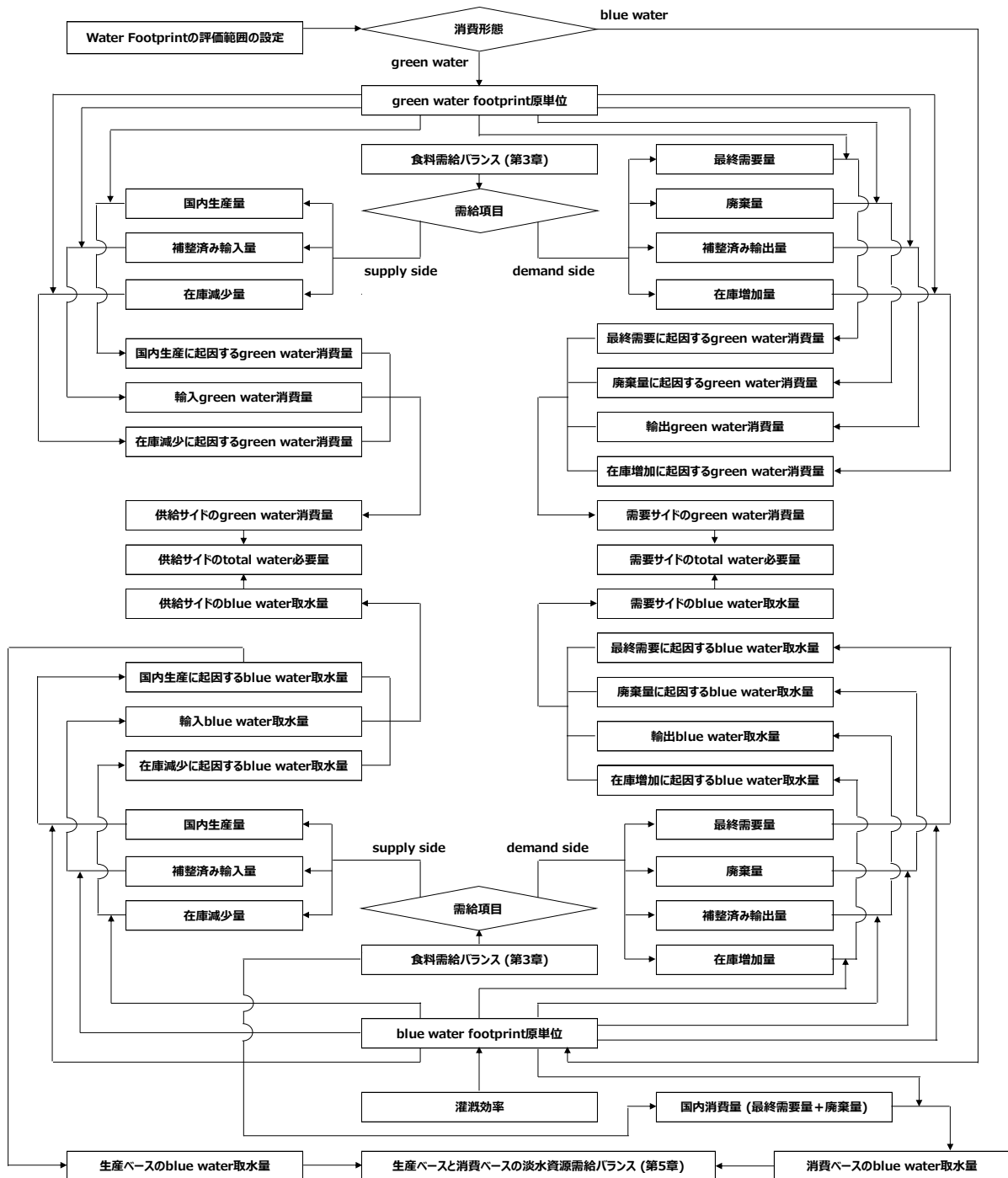


図 4.1 食料供給および食料需要に起因する淡水資源必要量の推計フロー

## 4.2 淡水資源消費の評価手法

### 4.2.1 Water Footprint の概要

国際標準化機構 (International Organization for Standardization; “ISO”) は、ISO 14046 に関する briefing note の中で、ウォーターフットプリント (water footprint; “WF”) の概念を提唱している。この文献の中で、WF は、ライフサイクルアセスメント (life-cycle assessment; “LCA”) に基づいて、水利用や水質汚染の潜在的な影響を推計するための手段を産業、政府、および非政府機関における意思決定者に提供するための評価指標として定義されている。大抵の製品やサービスは、原材料段階、加工段階、流通段階、小売段階、最終消費段階を経て、最終的には廃棄段階に至る。ここで、最終消費段階は、家庭や事業所などによって、製品またはサービスが消費される段階を指す。WF は上記の各段階における製品またはサービスに関係する淡水資源消費量を積み上げ方式で足し合わせることで計算される。

Hoekstra et al. (2011) は、国レベルでの WF を推計するための方法論を説明した。この文献において、WF は green WF, blue WF, および grey WF の 3 つの消費形態に分類されている。このうち、green WF は、green water を対象としており、天水または降水に由来する淡水資源必要量として定義される。すなわち、green water は降水を通じて直接供給されるため、地表水や地下水に直ちに還元されない、田畑や作物からの蒸発散量である。地表水や地下水に還元された一部の淡水資源は、一連の水循環プロセスを経て、blue water として灌漑用水の形態で消費され、blue WF として計上する。ここで、blue WF は、地表水や地下水に由来する淡水資源必要量として定義される。ただし、blue water は green water の不足分を補填するための手段として、人為的に供給される。そのため、作物栽培などに要求される淡水資源必要量が green water のみで賄える場合、blue water が消費されることはないと考えられる。また、grey WF は、grey water を対象としており、仮に現行の水質基準まで汚濁負荷物質を希釈する場合に必要な淡水資源量として定義される。すなわち、green WF や blue WF は、実際に消費される天水や灌漑用水の量として解釈されるが、grey WF は仮に必要な淡水資源量として解釈される。

### 4.2.2 Virtual Water の概要

国際化が急速に進行している現代では、製品やサービスの貿易取引が世界規模で頻繁に行われている。Allan (1993) は、仮想水 (virtual water; “VW”) の概念を提唱した。この文献によると、中東地域と北部アフリカ地域の各国を 5 つに分類すると、中東地域の国の人口の 36 % が食料購入の困難な食料不足国に属する。これに対して、中東地域と北部アフリカ地域の総人口の 64 % は淡水資源自給自足国または食料購入能力を有する国に属することが示された。その上で、後者に該当する各産油国は、淡水資源不足が原因となって自国で生産できない食料を購入するために石油収益金を食料購入資金に代替することが可能であるため、十分な淡水資源を持たない国、または淡水資源を必要としない国が存在することを述べている。すなわち、これらの産油国 (輸入国) は、食料輸入のために支払った対価によって、輸入食料とその生産に使用された他国の淡水資源を同時に購入したものと捉えることが可能である。言い換えると、製品やサービスの輸入を通じて、輸入国は輸入品

の生産に使用された他国の淡水資源を間接消費したものと捉えることが可能である。

また、Allan (1997) は、小麦などの淡水集約型の農産物の国際貿易は、世界規模の貿易取引システムを通じて、中東地域の淡水資源への接続を可能にすることを述べている。同文献によると、中東地域では、自然に土壌水分がほとんど生じないため、農業用水需要が厳しいことを述べている。また、エジプトは中東地域や北部アフリカ地域の一部の乾燥地域の中で、はるかに豊富な淡水資源を有している国とされている。同文献では、淡水資源の豊富な地域から淡水資源の乏しい地域に向けて、高い淡水投入量を要する産物を輸送する国際貿易システムを無視することの危険性を述べている。その上で、各年に中東地域に流れ込む淡水資源量には、仮想形態としてエジプトの年作物生産に使用された分が穀物輸入に埋め込まれていることを述べ、これを仮想水として説明している。たとえば、中東地域とエジプトの間での穀物の貿易取引を想定した場合、中東地域に向けた各年の淡水資源の流れは、地域の輸入穀物に包含される仮想水として、エジプトにおいて穀物生産のために使用された当該年の淡水資源として解釈できる。

#### 4.2.3 Real Water と Virtual Water

Hoekstra and Hung (2002) は、ある国が他国に淡水集約型の製品を輸出する場合、当該輸出国は仮想水の形で淡水資源を輸出するというように解釈できることを述べ、VW を定義した。その上で、当該輸出国の淡水集約型の製品の輸出は、淡水資源を必要とする国の支援につながる可能性を述べた。すなわち、淡水資源の乏しい国にとっては、淡水集約型の製品をすべて国内で生産する代わりに、当該製品を輸入することによって、当該輸入国の水安全保障 (water security) を達成するための有効な手段となる可能性がある。淡水資源の豊かな国にとっては、輸出向けに淡水集約型の製品を生産することによって、当該輸出国は自国の豊富な淡水資源から利益を享受できる可能性がある。そこで、Hoekstra and Hung (2002) は、次式(4.1)のように、仮想水貿易量を VW として定義した。

$$VWT_{n_e, n_i, n_c, n_t} = CT_{n_e, n_i, n_c, n_t} \times SWD_{n_e, n_c} \quad (4.1)$$

(4.1)式の各添え字について、 $n_e$ は輸出国、 $n_i$ は輸入国、 $n_c$ は作物、および $n_t$ は年をそれぞれ表す。また、この式において、 $VWT_{n_e, n_i, n_c, n_t}$ は $n_t$ 年における輸出国 $n_e$ からの輸入国 $n_i$ に向けた作物 $c$ の仮想水貿易量[m<sup>3</sup>/yr]、 $CT_{n_e, n_i, n_c, n_t}$ は $n_t$ 年における輸出国 $n_e$ からの輸入国 $n_i$ に向けた作物 $c$ の作物貿易量[ton/yr]、および $SWD_{n_e, n_c}$ は輸出国 $n_e$ における作物 $n_c$ の淡水需要量[m<sup>3</sup>/ton]をそれぞれ表す。(4.1)式の定義に従えば、仮想水貿易量は、輸入国が輸出国からの作物輸入によって、当該輸出国が当該輸入国向けの輸入作物の生産に消費した淡水資源を当該輸入国が間接消費したものと解釈できる。

さらに、Hoekstra and Hung (2002) は、(4.1)式における $VWT_{n_e, n_i, n_c, n_t}$ について、次式(4.2)と(4.3)のように、輸出国 $n_e$ 別および輸入国 $n_i$ 別に足し合わせたものをそれぞれ、 $n_t$ 年における輸入国 $n_i$ に向けた総仮想水輸入量 $GVWI_{n_i, t}$ [m<sup>3</sup>/yr]、および $t$ 年における輸出国 $n_e$ からの総仮想水輸出量 $GVWE_{n_e, t}$ [m<sup>3</sup>/yr]として定義した。その上で、次式(4.4)により、前者から後者を差し引いたものを正味の仮想水輸入量 (net virtual water import)  $NVWI_{n_x, n_t}$ [m<sup>3</sup>/yr]として定義した。なお、(4.4)式では、(4.2)式の輸入国 $n_i$ と(4.3)式の輸出国 $n_e$ をそれぞれ、

$n_x$ に置き換えている.

$$GVWI_{n_i, n_t} = \sum_{n_e, n_c} VWT_{n_e, n_i, n_c, n_t} \quad (4.2)$$

$$GVWE_{n_e, n_t} = \sum_{n_i, n_c} VWT_{n_e, n_i, n_c, n_t} \quad (4.3)$$

$$NVWI_{n_x, n_t} = GVWI_{n_x, n_t} - GVWE_{n_x, n_t} \quad (4.4)$$

加えて, Hoekstra and Hung (2002) は, VW に WF を加えたものを nation's water footprint として定義した. すなわち,  $n_t$ 年における $n_x$ 国の nation's water footprint を  $NWF_{n_x, n_t}$ とすると,  $NWF_{n_x, n_t}$ は次式(4.5)によって定義される.

$$NWF_{n_x, n_t} = WU_{n_x, n_t} + NVWI_{n_x, n_t} \quad (4.5)$$

(4.5)式において,  $WU_{n_x, n_t}$ は $n_t$ 年における $n_x$ 国の総国内淡水消費量[m<sup>3</sup>/yr],  $NVWI_{n_x, n_t}$ は $n_t$ 年における $n_x$ 国の正味の仮想水輸入量[m<sup>3</sup>/yr]をそれぞれ表す. (4.5)式はある国の総国内淡水消費量と当該国向けの総仮想水輸入量の和である. そのため, 前者は当該国内における淡水資源の直接消費量, 後者は当該国向けの輸入に伴う当該国の淡水資源の間接消費量と解釈できる. したがって, 後者は当該国の VW, 前者は当該国の real water (“RW”) として, それぞれ解釈できる.

一方, Oki and Kanae (2002) は, 各製品を生産するために要求される単位淡水資源量 (unit requirement of water resources to produce; “UW”) について, 合理的な定義の選択肢がいくつか存在するため, UW の決定に際して多くの不確実性が存在することを指摘した. その上で, 上記の不確実性が発生する例として, VW の概念を説明した. この文献によると, VW の考えの起源は輸入国においてどの程度の淡水資源を節約できるかを評価することにあるため, 輸入国の UW はどの程度の仮想水が輸入されたかを推計するために使用されるべきである. この観点から言えば, VW の本来の意味は, 輸入国の仮想淡水必要量 (virtually required water) である. そのため, 同様に考えた場合, 輸出国の UW は当該輸出国において使用された真の淡水資源量は, 真の淡水必要量 (really required water) または RW として区別できる可能性がある. この観点から, 輸出国における RW は輸入国における VW になるものの, 一般的にそれらは定量的に一致しない.

Oki et al. (2003) は, 仮に輸出国の UW に製品の輸出量を乗じた場合, その積は当該製品を生産するために使用された淡水資源であり, これを really required water として定義した. この文献の中に VW の定義式の記載は見当たらなかったが, たとえば, 輸出国 $n_e$ からの輸入国 $n_i$ に向けた作物 $n_c$ の really required water を  $RRW_{n_e, n_i, n_c}$ とすると,  $RRW_{n_e, n_i, n_c}$ は次式(4.6)によって推計される.

$$RRW_{n_e, n_i, n_c} = UW_{n_e, n_c} \times EQ_{n_e, n_c} \quad (4.6)$$

(4.6)式において、 $UW_{n_e, n_c}$ は輸出国 $n_e$ の作物 $n_c$ の単位生産量あたりの淡水資源必要量、 $EQ_{n_e, n_c}$ は輸出国 $n_e$ の作物 $n_c$ の輸出量をそれぞれ表す。(4.6)式は上記の(4.1)式と同じ形をしているが、Oki et al. (2003)はこの式を **really required water** として定義した。上述した通り、Oki and Kanae (2002)は、**really required water**がRWと等価のものであることを述べた。すなわち、これら2つの文献に従えば、輸出国の単位生産量あたりの淡水資源必要量に当該輸出国の輸出量を乗じたものはRWであり、当該輸出国におけるRWは輸入国におけるVWとして解釈される。

前述したHoekstra and Hung (2002)が提案した(4.1)式では、作物貿易量は輸入量データまたは輸出量データのどちらに準拠しているかについて言及されていない。しかし、作物貿易量を輸出量データとして解釈した場合、(4.1)式は(4.6)式と同じ形になるため、これら2つの式について、Hoekstra and Hung (2002)とOki et al. (2003)の間で、その解釈に矛盾が生じている可能性が示唆される。ただし、Hoekstra and Hung (2002)では、(4.4)式を通じて、仮想水輸入量と仮想水輸出量を差として、正味の仮想水輸入量を定義しており、これによって輸入国においてどの程度の淡水資源を節約できるかを評価することが可能となっている。Oki et al. (2003)が述べた通り、UWに関する合理的な定義の選択肢はいくつか存在する。したがって、VWの推計にあたっては、その都度VWを明確に定義しておくことが必要であり、画一したVWの定義はまだ定められていないという現状にあるといえる。

上述した通り、Oki et al. (2003)による定義では、輸出国の単位生産量あたりの淡水資源必要量を当該輸出国の輸出量に乗じた場合、この積は当該輸出国のRWとして解釈される。一方、この文献において、VWはRW貿易量に相当する輸出量の分だけ、輸入国が当該輸出国から輸入した製品を自国内で生産した場合に必要な淡水資源量として定義されている。すなわち、輸入国に向けた輸出国からの輸入量データが、当該輸出国から当該輸入国に向けた輸出量データと等しいことを仮定すれば、VW貿易量は当該輸入国の単位生産量あたりの淡水資源必要量を当該輸入国に向けた当該輸出国からの輸入量に乗じたものとなる。そのため、Oki et al. (2003)に従えば、(4.1)式と(4.6)式はともにRW貿易量、すなわちRWであると解釈される。したがって、両者ともVW貿易量、すなわちVWではないことになる。実際、吉田ら(2014)は、輸入品を自国内で仮に生産した場合に必要なと想定される淡水資源量として、VWを定義した。以上のように、RWとVWは全く異なるものであるが、Hoekstra and Hung (2002)とOki et al. (2003)を比較した際にも見られたように、両者は混同されて用いられる可能性が高い。そのため、淡水資源必要量を評価する際には、RWとVWを明確に定義することが重要である。

## 4.3 食料供給および食料需要に起因する淡水資源必要量の推計

### 4.3.1 用語の定義

本研究では、WFの概念を用いて、供給サイドと需要サイドの両方から、淡水資源必要量を評価した。ここで、「供給サイドの淡水資源必要量」は、3.3.1節において(3.25)式により推計した食料需給バランスの各供給項目(国内生産、輸入、および在庫減少)に起因する



淡水資源必要量を表し、供給側に淡水消費を割り当てた場合の淡水資源必要量である。すなわち、供給サイドの淡水資源必要量は、生産国（輸入の場合は輸入国の輸入相手国）を生産者と見なし、輸出分を含めて当該生産国が必要とする淡水資源の直接消費量として定義した。また、「需要サイドの淡水資源必要量」は、(3.23)式と(3.25)式の各需要項目のうち、食用需要、廃棄量、輸出、および在庫増加に起因する淡水資源必要量を表し、需要側に淡水消費を割り当てた場合の淡水資源必要量である。すなわち、需要サイドの淡水資源必要量は、消費国（輸出の場合は輸出国）を消費者と見なし、他国への輸出分を含めて当該消費国の需要を満たせるだけの食料を国内で生産するために必要な淡水資源の直接消費量であり、これと等量の淡水資源を消費国が国内生産によって直接消費した場合の淡水資源量として定義した。

また、本研究では、WFによる淡水資源必要量の推計において、「消費量ベースの淡水資源必要量」と「取水量ベースの淡水資源必要量」を区別した。消費量ベースの淡水資源必要量は、需給項目別の重量に単位生産量あたりの淡水資源必要量（“淡水消費原単位”）を乗じることによって推計したものであり、農作物または家畜によって直接消費される淡水資源量を表す。他方、取水量ベースの淡水資源必要量は、消費量ベースの淡水資源必要量を灌漑効率で除したものであり、上記の直接消費水に灌漑による損失分を加味した淡水資源必要量を表す。

なお、供給サイドの淡水資源必要量は、上記の3つの項目の和であるが、第5章における「生産ベースの淡水資源必要量」とは異なったものである。生産ベースの淡水資源必要量は、食料生産に起因する淡水資源必要量を指し、生産側に淡水消費を割り当てた場合の淡水資源必要量を表す。本研究において、生産ベースの淡水資源必要量は、供給サイドの淡水資源必要量のうち、国内生産に起因する淡水資源必要量に該当する。また、需要サイドの淡水資源必要量は、上記4つの項目の和であるが、第5章における「消費ベースの淡水資源必要量」とは異なるものである。消費ベースの淡水資源必要量は、食料消費に起因する淡水資源必要量を指し、消費側に淡水消費を割り当てた場合の淡水資源必要量を表す。さらに、本研究において、消費サイドの淡水資源必要量は、先に輸入量と輸出量の差をとった上で、これに淡水消費原単位を乗じることにより、VWとして淡水資源必要量を分析した。したがって、消費サイドの淡水資源必要量は、RWに基づいた淡水資源必要量となっていないことに留意する必要がある。

## 4.3.2 Water Footprint 評価範囲の設定

### 4.3.2.1 評価対象の設定

本研究では、食料供給および食料需要に起因する淡水資源必要量、すなわち、供給サイドおよび需要サイドの淡水資源必要量の推計において、green water および blue water を評価対象とし、grey water は評価対象から除外した。本研究では、淡水消費原単位としてWF原単位を用いた。WF原単位は、Mekonnen and Hoekstra (2011b) において、生産国別、品目別、3種類のWF分類（green, blue, および grey）別の文献値が公表されている。本研究では、この文献値のうち、生産国別、食料品目別の green WF および blue WF を用いた。なお、Hoekstra et al. (2011) における定義によると、grey water は実在しない仮の淡水資源消費量として見なされる。本研究では、農作物または畜産物の生産において直接

消費される淡水資源量に焦点を当てた。そのため、淡水資源必要量の推計において、grey water は淡水資源必要量の評価対象から除外し、Mekonnen and Hoekstra (2011b) における grey WF は使用しなかった。

供給サイドの淡水資源必要量は、上記の 3 つの供給項目の和として推計した。一方、需要サイドの淡水資源消費量は、上記の 4 つの需要項目の和として推計した。ここで、green water に関しては、各需給項目の重量に green WF 原単位をそれぞれ乗じることによって、消費量ベースの淡水資源必要量として評価した。本研究では、これを「green water 消費量」と定義し、天水（降水）由来の淡水資源必要量を表す指標とした。次に、blue water に関しては、各需給項目の重量に blue WF 原単位をそれぞれ乗じた後、各々を灌漑効率で除すことによって、消費量ベースの淡水資源必要量から取水量ベースのそれに換算し、取水量ベースの淡水資源必要量として評価した。本研究では、これを「blue water 取水量」と定義し、地表水または地下水由来の淡水資源必要量を表す指標とした。最後に、green water 消費量と blue water 取水量との和をとって「total water 必要量」を定義し、取水量ベースの淡水資源必要量として評価した。なお、green water は灌漑効率を伴わないため、green water には green water 消費量のみが存在することに留意する必要がある。

#### 4.3.2.2 評価範囲の設定

本研究における WF の推計では、農作物と畜産物を区別してシステム境界を設定した。そこで、評価対象の食料品目を農作物と畜産物の 2 種類に分類し、それぞれに異なる評価範囲を設定した。農作物については、栽培段階の間に作物が直接消費する淡水資源量のみを評価対象範囲とした。また、畜産物については、家畜の飼料用作物が栽培段階の間に必要とする淡水資源の直接消費量に加えて、家畜の飲料用水とその飼育環境の維持のために使用される淡水資源量として、家畜の飼育段階の間に直接消費される淡水資源量を評価対象範囲とした。なお、これら以外の他の段階の間に直接消費または間接消費される淡水資源については、すべて本研究の評価対象範囲から除外した。したがって、肥料、農薬、農業用具、および農業機械など、作物栽培のために投入される各資材の製造などに伴って生じる淡水消費は、作物栽培段階よりも上流部に位置する淡水資源の間接消費として見なし、すべて本研究の評価対象範囲から除外した。また、原料加工段階から最終消費段階を経て、廃棄処分段階に至るまでの各過程で生じる淡水消費は、作物栽培段階よりも下流部に位置する淡水消費の間接消費と見なし、すべて本研究の評価対象範囲から除外した。

図 4.2 に本研究で対象とした WF の評価範囲を示す。同図では、本研究の評価対象範囲に属する段階（プロセス）を赤枠で囲んでおり、該当範囲におけるフローの矢印を実線で示した。また、評価対象範囲から除外したプロセスについては、該当する範囲におけるフローの矢印を点線で示した。同図の各段階では、農作物と畜産物のそれぞれについて、淡水資源の直接消費と間接消費が想定される。たとえば、同図の作物栽培段階に着目し、作物栽培のために肥料や農薬が投入され、農業用具や農業機械が利用される場合を想定する。同図では、農作物や畜産物に関する作物栽培から廃棄処分までの一連の流れを示しており、肥料、農薬、農業器具、および農業機械などの投入資材に関する製造段階などの各種プロセスは記載していない。しかし実際には、たとえばこれらの投入資材の製造プロセスにおいても、淡水消費が発生していることが考えられる。この場合、これらの投入資材の製造

のために消費された淡水資源は，作物栽培段階から見れば，すべて作物栽培段階の間接消費であると解釈される．このように，WF の推計では，対象プロセスごとに淡水資源の直接消費と間接消費の解釈が変化する．そのため，想定する一連のプロセスに基づいて淡水資源必要量を推計する際には，各プロセス間の直接消費と間接消費を混同しないように注意しながら，プロセス別の WF を積み上げ方式で足し合わせる必要がある．言い換えると，プロセスごとの直接消費と間接消費を区別できていない場合，各プロセスの淡水資源必要量を積み上げた際に，直接消費と間接消費の間で WF のダブルカウントが発生し，淡水資源必要量の推計結果の過大評価を生じる恐れがある．したがって，WF による淡水資源必要量の評価では，一連のプロセスにおいてどの段階までを評価対象範囲に含めるか，あるいは各プロセスの淡水消費をどのように捉えて淡水資源必要量を評価するか，などについて明確に定義する必要がある．

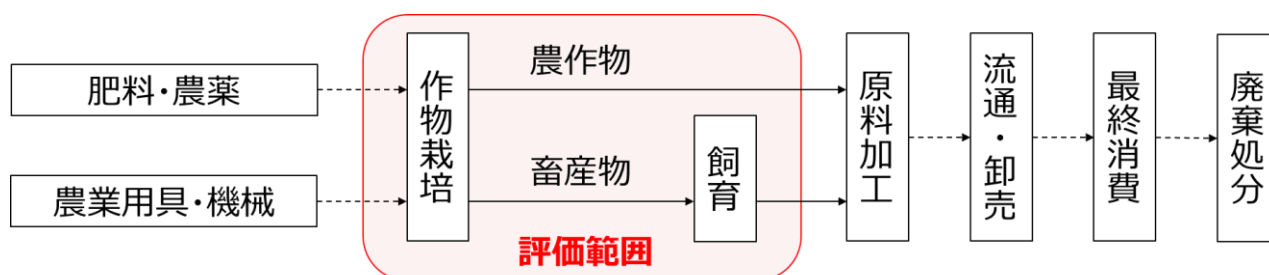


図 4.2 Water footprint の評価範囲

本研究では，国内消費量 $DSQ_{c,j}$ については，(3.25)式で示した 6 つの需要内訳項目のうち，食用需要量 $Food_{c,j}$ ，および廃棄量 $Waste_{c,j}$ のみを淡水資源必要量の評価対象とした．前者については，食用需要は最終需要に相当するものと見なした．そのため，食用需要に起因する淡水資源必要量は，本研究の評価対象に含めた．また，後者については，貯蔵や運搬の間の食品ロスから構成されており，不十分な管理から生じる食料消費の利用可能性の損失として見なした．すなわち，本来消費されていた可能性のある食料が，貯蔵や運搬の間に食品ロスとして消費できなくなった損失量として捉えた．そのため，廃棄物に起因する淡水資源必要量は，本研究の評価対象に含めた．

また，Mekonnen and Hoekstra (2010) によると，Mekonnen and Hoekstra (2011b) による畜産物の WF 原単位の中には，飼料作物の生産に要する淡水消費，家畜の飲料用水としての淡水消費，および飼育環境の維持に要する淡水消費の寄与が内包されている．そのため，畜産物に関わるこれら 3 つの用途は，淡水資源必要量の推計に反映されている．また，本研究では，飼料用需要量 $Feed_{c,j}$ および加工品原料用需要量 $Proc_{c,j}$ は中間需要の一種であり，食用需要量 $Food_{c,j}$ は最終需要であると見なした．そのため，中間需要と最終需要の WF を同時に積み上げた場合，WF のダブルカウントが発生し，淡水資源必要量の推計に過大評価を生じる恐れがある．そこで，飼料用需要および加工品原料用需要に起因する淡水消費は，本研究の評価対象から除外した．

一方，本研究では，種子用需要に関しては，収穫年と基準年が同一であると見なし，収穫年から 1 年後または 2 年後に大部分が消費されるものと仮定した．この観点から，種子栽培は各作物の栽培段階よりも上流部の間接消費の一種であると見なして，基準年の淡水

資源必要量に何ら寄与していないものと仮定した。そのため、種子用需要に起因する淡水資源必要量は、本研究の評価対象から除外した。また、その他利用については、本研究の評価対象の中に農作物や畜産物の非食用消費を含めていない点と、栽培段階よりも下流部に位置する加工段階以降の淡水消費を評価範囲から除外した点を踏まえて、本研究のシステム境界の設定とは整合しないものと判断した。そのため、その他利用に起因する淡水資源必要量は、本研究の評価対象から除外した。

#### 4.3.2.3 国際貿易の取り扱い

図 4.3 は WF の国際貿易の取り扱いを図示したものである。同図が示す通り、たとえば、A 国と B 国との間の貿易取引を考えた場合、本研究の推計モデルにおいて、A 国から B 国への食料品目  $j$  の輸出量  $EQ_{AjB}$  は、B 国の A 国からの食料品目  $j$  の輸入量  $IQ_{BjA}$  と等しくなる ( $IQ_{BjA} = EQ_{AjB}$ )。この時、 $IQ_{BjA}$  は A 国の B 国からの食料品目  $j$  の輸入量  $IQ_{AjB}$  とは異なる値をとる ( $IQ_{BjA} \neq IQ_{AjB}$ )。また、 $IQ_{AjB}$  は B 国から A 国への食料品目  $j$  の輸出量  $EQ_{BjA}$  とは等しくなる ( $IQ_{AjB} = EQ_{BjA}$ )。B 国と C 国との間の貿易取引に関しても、同様に取り扱った。本研究では、この処理を 216 カ国、78 品目の貿易取引に対して適用した。

WF の推計における国際貿易の取り扱いに関しては、その推計モデルを単純化するために、輸入食料または輸出食料は、すべて輸出国（生産国）内の淡水資源を用いて生産されている状況を仮定した。本研究では、これを「二国間貿易の仮定」と定義した。供給サイドの淡水資源必要量では、輸入に起因する淡水資源必要量を推計した。また、需要サイドの淡水資源必要量では、輸出に起因する淡水資源必要量を推計した。

ここで、輸入と輸出のそれぞれに起因する淡水資源必要量を推計する際、その方法として RW として評価する場合と VW として評価する場合の 2 通りが考えられる。前者を適用する場合、輸入に起因する淡水資源必要量は、輸入国（消費国）の輸入量に対して、当該国の輸入相手国（生産国）の WF 原単位を乗じることによって推計する必要がある。同様に考えると、輸出に起因する淡水資源必要量は、輸出国（生産国）の輸出量に対して、当該国の WF 原単位を乗じることによって推計する必要がある。一方、VW として評価する場合は、その本来の意味に従うと、国際貿易に付随する二国間での淡水資源の（仮想的な）輸送量は、輸入国（消費国）が他国から輸入した食料を仮に自国内ですべて生産した場合に必要なと想定される淡水資源量として解釈される。そのため、輸入に起因する淡水資源必要量は、輸入国（消費国）の輸入量に自国（消費国）の WF 原単位を乗じることによって推計する必要がある。同様に考えると、輸出に起因する淡水資源量は、輸出国（生産国）の輸出量に輸出相手国（消費国）の WF 原単位を乗じることによって推計する必要がある。このように、国際貿易に付随する二国間での淡水資源の輸送量を推計する際には、これを RW として捉えるか、あるいは VW として捉えるかによって、生産国と消費国の WF 原単位を使い分ける必要がある。

本研究では、二国間貿易の仮定を想定した上で、輸入と輸出のそれぞれに起因する淡水資源必要量を RW として推計した。すなわち、輸出国（生産国）の WF 原単位を用いて、輸入と輸出のそれぞれに起因する淡水資源必要量を推計した。そのため、二国間貿易の仮定の下では、輸入に起因する淡水資源必要量は、輸出国（生産国）が輸出食料を生産するために実際に自国（輸出国）内で消費された淡水資源量が、国際貿易を通して輸入国（消費

国)まで輸送されるものとして解釈される。また、輸出に起因する淡水資源必要量に関しても、同様に解釈される。したがって、本研究の推計モデルでは、輸入に起因する淡水資源必要量、あるいは輸出に起因する淡水資源必要量は、いずれも仮想水 (VW) の輸送量ではなく、実際に輸出国 (生産国) 内で消費された RW の輸送量として解釈される。

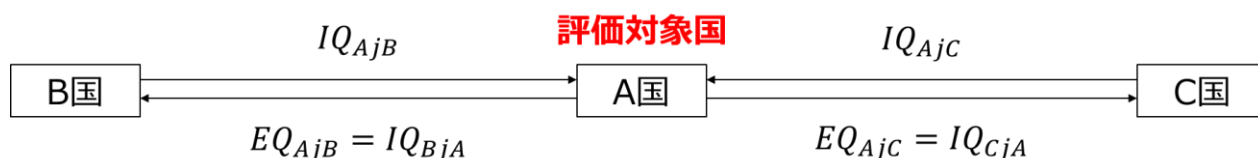


図 4.3 Water footprint の国際貿易の取り扱い

### 4.3.3 淡水資源必要量の推計

#### 4.3.3.1 淡水消費原単位の設定

本研究では、green water および blue water を評価対象とし、green WF 原単位と blue WF 原単位を用いて、green water 消費量と blue water 取水量をそれぞれ推計した。これら 2 種類の WF 原単位は、Mekonnen and Hoekstra (2011b) の文献値を用いた。この文献では、3 種類の WF 分類別、国別、品目別に単位生産量あたりの淡水資源必要量が容積ベースで公表されている。なお、本研究の対象国のうち、Mekonnen and Hoekstra (2011b) に記載されていた 173 カ国に関しては、本研究の対象国と同文献の記載国を対応させた上で、各該当国に関する同文献の文献値を用いた。Mekonnen and Hoekstra (2011b) に記載されていない国については、他国の WF 原単位、当該国が属する地域平均 WF 原単位、または世界平均 WF 原単位を代用した。表 2.3 (前述, 2.2 節) の対象国のうち、「中国本土」、「台湾」、「香港」、「澳門」に関しては、同文献における「China」の WF 原単位、「モンテネグロ」、「セルビア」に関しては、同文献における「Serbia and Montenegro」の WFN 原単位、「コンゴ」に関しては、同文献における「Congo, Dem Republic」の WFN 原単位を代用した。地域平均 WF 原単位については、FAOSTAT の地域分類に従って、世界各国を 23 地域に分類し、各地域に属する国別に WF 原単位の品目別の単純平均をとって設定した。地域平均 WF 原単位は、34 カ国に対して用いた。世界平均 WF 原単位は、Mekonnen and Hoekstra (2011b) の文献値を使用した。世界平均 WF 原単位は、2 カ国に対して用いた。また、本研究の評価対象の食料品目のうち、この文献に記載されていないものについては、他の食料品目の WF 原単位を代用した。表 2.6 (前述, 2.3 節) の対象品目のうち、「Beverages, Fermented」、「Beverages, Alcoholic」、「Alcohol, Non-Food」に該当する品目に関しては、同文献における「Wine」と「Beer」の WF 原単位の算術平均値を用いた。

#### 4.3.3.2 淡水資源必要量の推計

まず、供給サイドの淡水資源必要量は、国内生産量  $Prod_{c,j}$ 、補整済み輸入量  $AIQ_{c,j}$ 、および在庫減少量  $SD_{c,j}$  のそれぞれに起因する淡水資源必要量から構成される。これら 3 つの淡水資源必要量はそれぞれ、国内生産量  $Prod_{c,j}$ 、補整済み輸入量  $AIQ_{c,j}$ 、および在庫減少量  $SD_{c,j}$  の各々に、生産国の green WF 原単位および blue WF 原単位をそれぞれ乗じて推計した。ここで、blue water に関しては、生産国の灌漑効率を用いて、消費量ベースの淡水資

源必要量から取水量ベースのそれに換算し、blue water 取水量として評価した。したがって、供給サイドの淡水資源必要量は、上記 3 つの供給項目のそれぞれに起因する green water 消費量および blue water 取水量を推計した後、両者の和をとることにより、「供給サイドの total water 必要量」として推計した。

次式(4.7)~(4.10)に、供給サイドの淡水資源必要量の推計式をそれぞれ示す。各式において、 $TWR_{c,j}^{Prod}$ はc国の食料品目jの国内生産に起因する淡水資源必要量[m<sup>3</sup>/yr]、 $TWR_{c,j,k}^{IQ}$ はc国の食料品目jのk国からの輸入に起因する淡水資源必要量[m<sup>3</sup>/yr]、 $TWR_{c,j}^{SD}$ はc国の食料品目jの在庫減少に起因する淡水資源必要量[m<sup>3</sup>/yr]、および $TWR_{c,j}^{SS}$ はc国の食料品目jの供給サイドの淡水資源必要量[m<sup>3</sup>/yr]をそれぞれ表す。

$$TWR_{c,j}^{Prod} = Prod_{c,j} \times \left( WFI_{c,j}^{Green} + \frac{WFI_{c,j}^{Blue}}{IRE_{c,j}} \right) \quad (4.7)$$

$$TWR_{c,j,k}^{IQ} = AIQ_{c,j,k} \times \left( WFI_{j,k}^{Green} + \frac{WFI_{j,k}^{Blue}}{IRE_{j,k}} \right) \quad (4.8)$$

$$TWR_{c,j}^{SD} = SD_{c,j} \times \left( WFI_{c,j}^{Green} + \frac{WFI_{c,j}^{Blue}}{IRE_{c,j}} \right) \quad (4.9)$$

$$TWR_{c,j}^{SS} = TWR_{c,j}^{Prod} + TWR_{c,j}^{SD} + \sum_k TWR_{c,j,k}^{IQ} \quad (4.10)$$

ここで、各式の添え字について、cは評価対象国、jは食料品目、kは生産国、Prodは国内生産、AIQは輸入、SDは在庫減少、SSは供給サイド、Greenは green WF、およびBlueは blue WF をそれぞれ表す。また、各式において、 $Prod_{c,j}$ はc国の食料品目jの国内生産量[ton]、 $AIQ_{c,j,k}$ はc国の食料品目jのk国からの補整済み輸入量[ton]、 $SD_{c,j}$ はc国の食料品目jの在庫減少量[ton]、 $WFI_{c,j}^{Green}$  (または $WFI_{j,k}^{Green}$ ) はc国 (またはk国) の食料品目jの green WF 原単位[m<sup>3</sup>/ton]、および $WFI_{c,j}^{Blue}$  (または $WFI_{c,k}^{Blue}$ ) はc国 (またはk国) の食料品目jの blue WF 原単位[m<sup>3</sup>/ton]をそれぞれ表す。

なお、灌漑効率は Döll and Siebert (2002) における rice および non-rice の 2 種類についての国別または地域別の文献値を用いた。この文献では、コメ (rice) とコメ以外 (non-rice) の 2 種類について、19 カ国・地域の灌漑効率が記載されている。ただし、中部アフリカについては、灌漑効率のデータが欠如していたため、他のアフリカ 4 地域の単純平均値を代用した。なお、本研究の評価対象国のうち、Döll and Siebert (2002) に記載されていない国については、当該国が属する地域の灌漑効率、または世界平均灌漑効率で代用した。世界平均灌漑効率は、19 カ国・地域の灌漑効率の単純平均をとって設定した。また、コメについては rice の灌漑効率、コメを除くすべての対象品目については non-rice の灌漑効率をそれぞれ、一律に適用した。

また、供給サイドの淡水資源必要量のうち、国内生産に起因する淡水資源必要量は、消費国が国内生産によって消費した淡水資源量とした。輸入に起因する淡水資源必要量 (輸



入淡水資源必要量) は, 消費国 (輸入国) が食料貿易を通じて, 輸出国 (輸入国から見て輸入相手国) 内での生産によって消費された淡水資源量を間接消費したものと捉えた. ここでは, 消費国*i*が他の輸出国から食料を輸入することによって, 当該輸出国*k*が*i*国向けの輸出食料を生産する際に消費した淡水資源量を間接消費したものと考える. 在庫減少に起因する淡水資源必要量は, 在庫減少分がすべて消費国で国内生産されたものであると仮定した.

一方, 需要サイドの淡水資源必要量は, 食用需要量 $Food_{c,j}$  (最終需要量に相当), 廃棄量 $Waste_{c,j}$ , 補整済み輸出量 $AEQ_{c,j}$ , および在庫増加量 $SI_{c,j}$ のそれぞれに起因する淡水資源必要量から構成される. これら 4 つの淡水資源必要量はそれぞれ, 食用需要量 $Food_{c,j}$ , 廃棄量 $Waste_{c,j}$ , 補整済み輸出量 $AEQ_{c,j}$ , および在庫増加量 $SI_{c,j}$ の各々に, 生産国の green WF 原単位および blue WF 原単位をそれぞれ乗じて推計した. ここで, blue water に関しては, 生産国の灌漑効率を用いて, 消費量ベースの淡水資源必要量から取水量ベースのそれに換算し, blue water 取水量として評価した. したがって, 需要サイドの淡水資源必要量は, 上記 4 つの需要項目のそれぞれに起因する green water 消費量および blue water 取水量を推計した後, 両者の和をとることにより, 「需要サイドの total water 必要量」として推計した.

次式(4.11)~(4.15)に, 灌漑効率を考慮した需要サイドの淡水資源必要量の推計式をそれぞれ示す. 各式において,  $TWR_{c,j}^{FD}$ は*c*国の食料品目*j*の最終需要に起因する淡水資源必要量 [ $m^3/yr$ ],  $TWR_{c,j}^{Waste}$ は*c*国の食料品目*j*の廃棄量に起因する淡水資源必要量 [ $m^3/yr$ ],  $TWR_{c,i,j}^{EQ}$ は*c*国の食料品目*j*の*i*国向け輸出に起因する淡水資源必要量 [ $m^3/yr$ ],  $TWR_{c,j}^{SI}$ は*c*国の食料品目*j*の在庫増加に起因する淡水資源必要量 [ $m^3/yr$ ], および $TWR_{c,j}^{DS}$ は*c*国の食料品目*j*の需要サイドの淡水資源必要量 [ $m^3/yr$ ]をそれぞれ表す.

$$TWR_{c,j}^{FD} = Food_{c,j} \times \left( WFI_{c,j}^{Green} + \frac{WFI_{c,j}^{Blue}}{IRE_{c,j}} \right) \quad (4.11)$$

$$TWR_{c,j}^{Waste} = Waste_{c,j} \times \left( WFI_{c,j}^{Green} + \frac{WFI_{c,j}^{Blue}}{IRE_{c,j}} \right) \quad (4.12)$$

$$TWR_{c,i,j}^{EQ} = AEQ_{c,j,k} \times \left( WFI_{c,j}^{Green} + \frac{WFI_{c,j}^{Blue}}{IRE_{c,j}} \right) \quad (4.13)$$

$$TWR_{c,j}^{SI} = SI_{c,j} \times \left( WFI_{c,j}^{Green} + \frac{WFI_{c,j}^{Blue}}{IRE_{c,j}} \right) \quad (4.14)$$

$$TWR_{c,j}^{DS} = TWR_{c,j}^{FD} + TWR_{c,j}^{Waste} + TWR_{c,j}^{SI} + \sum_i TWR_{c,i,j}^{EQ} \quad (4.15)$$

ここで, 各式の添え字について,  $FD$ は最終需要,  $Waste$ は廃棄,  $EQ$ は輸出,  $SI$ は在庫増加,  $DS$ は需要サイドをそれぞれ表す. また, 各式において,  $Food_{c,j}$ は*c*国の食料品目*j*の食

用需要量[ton],  $Waste_{c,j}$ はc国の食料品目jの廃棄量[ton],  $AEQ_{c,i,j}$ はc国の食料品目jのi国向け補整済み輸出量[ton], および $SI_{c,j}$ はc国の食料品目jの在庫増加量[ton]をそれぞれ表す.

なお, 需要サイドの淡水資源必要量のうち, 最終需要に起因する淡水資源必要量は, 消費国内で消費される食料をすべて自国内で生産した場合に想定される淡水資源必要量とした. ここで, 最終需要に対する国内生産と輸入の内訳は不明であるため, 最終需要に起因する淡水資源必要量の推計では, VW の概念も一部含まれている可能性がある. ただし, 最終需要と中間需要との間での WF のダブルカウントによる淡水資源必要量の過大評価の可能性を避けるために, (3.25)式における国内消費量 $DSQ_{c,j}$ の需要内訳項目のうち, 食用需要量 $Food_{c,j}$  (最終需要量に相当), および廃棄量 $Waste_{c,j}$ のみを評価対象とした. 輸出に起因する淡水資源必要量 (輸出淡水資源必要量) は, 生産国 (輸出国) 内での輸出食料の生産によって消費された淡水資源量として解釈した. 在庫増加に起因する淡水資源必要量は, 在庫増加分の食料がすべて消費国内で生産されたものと仮定した.

#### 4.3.4 世界全体の淡水資源必要量の推計結果

##### 4.3.4.1 供給サイドと需要サイドの淡水資源必要量の需給項目別シェア

図 4.4 は世界 6 地域別の供給サイドの total water 必要量の供給項目別シェアを図示したものである. また, 表 4.1 に世界 6 地域別の供給サイドの total water 必要量を供給項目別に示す. 各地域の国内生産のシェアを見ると, アフリカは 83.7 % (total water 必要量に換算して 1,696 km<sup>3</sup>), アジアは 88.3 % (同 8,089 km<sup>3</sup>), ヨーロッパは 66.3 % (同 1,720 km<sup>3</sup>), 北アメリカは 82.5 % (同 1,671 km<sup>3</sup>), オセアニアは 88.5 % (同 181 km<sup>3</sup>), 南アメリカは 92.6 % (同 1,447 km<sup>3</sup>)である. すべての地域において, 国内生産のシェアが突出して高い. したがって, すべての地域において, 供給サイドの total water 必要量は, その大部分が国内生産に起因して生じているといえる. 特に, アジアの国内生産に起因する total water 必要量が突出して高い. また, 輸入のシェアを見ると, アフリカは 14.4 % (同 291 km<sup>3</sup>), アジアは 10.9 % (同 1,000 km<sup>3</sup>), ヨーロッパは 31.9 % (同 827 km<sup>3</sup>), 北アメリカは 15.5 % (同 314 km<sup>3</sup>), オセアニアは 10.3 % (同 21 km<sup>3</sup>), 南アメリカは 6.3 % (同 99 km<sup>3</sup>)である. ヨーロッパの輸入依存が比較的高い傾向にある.

以上をまとめると, すべての地域において, 供給サイドの total water 必要量は, 国内生産が主因となって生じており, とりわけアジアにおける国内生産に起因する total water 必要量が突出して高い. 一方, 供給サイドの total water 必要量に占める輸入のシェアは 1 割程度となっているが, ヨーロッパではそのシェアが約 3 割であり, ヨーロッパの輸入依存が比較的高い傾向にある.



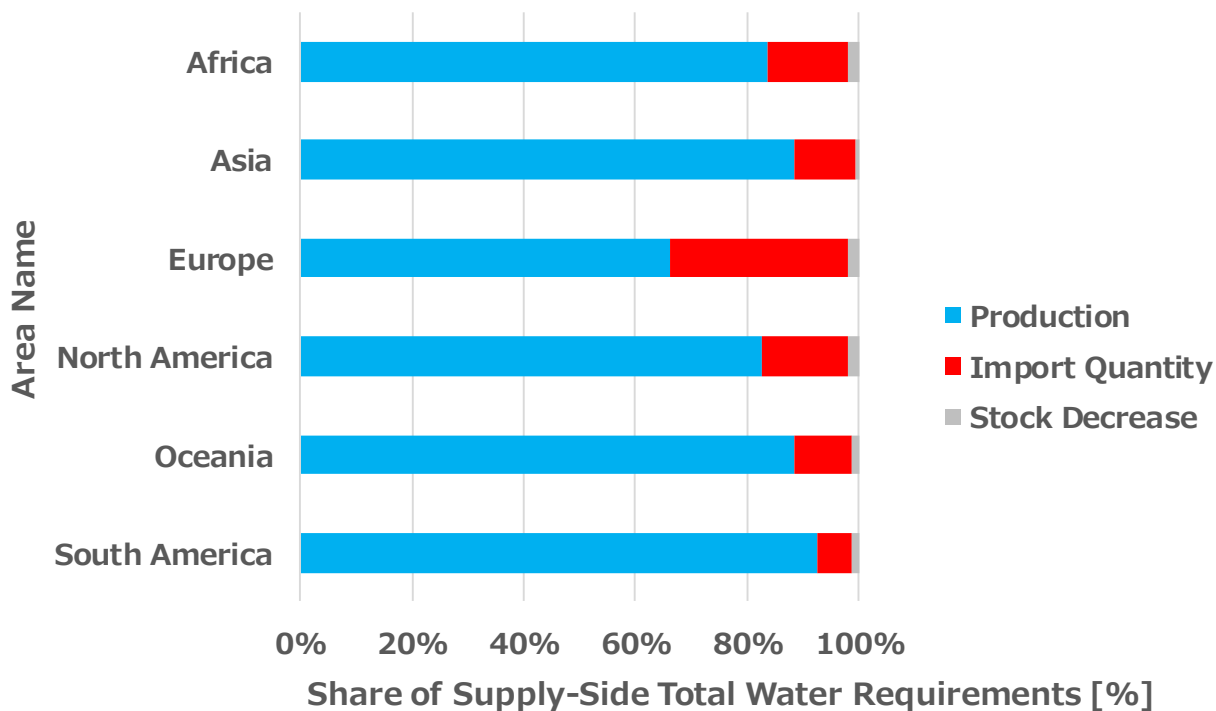


図 4.4 6 地域別の供給サイドの total water 必要量の供給項目別シェア

表 4.1 6 地域別の供給サイドの total water 必要量

Area Name	Production	Import Quantity	Stock Decrease	Total
Africa	1,696	291	39	2,026
Asia	8,089	1,000	67	9,156
Europe	1,720	827	46	2,593
North America	1,671	314	40	2,025
Oceania	181	21	2	205
South America	1,447	99	17	1,562
Total	14,803	2,553	212	17,567

注釈) 各推計値の単位は[km<sup>3</sup>]である。

図 4.5 は世界 6 地域別の需要サイドの total water 必要量の需要項目別シェアを図示したものである。また、表 4.2 に世界 6 地域別の需要サイドの total water 必要量を需要項目別に示す。各地域の最終需要のシェアを見ると、アフリカは 81.9% (total water 必要量に換算して 1,435 km<sup>3</sup>)、アジアは 82.4% (同 6,178 km<sup>3</sup>)、ヨーロッパは 60.2% (同 1,129 km<sup>3</sup>)、北アメリカは 65.5% (同 1,018 km<sup>3</sup>)、オセアニアは 37.4% (同 65 km<sup>3</sup>)、南アメリカは 61.1% (同 742 km<sup>3</sup>) である。オセアニアを除く 5 地域において、最終需要に起因する total water 必要量が突出して高い。したがって、これら 5 地域において、需要サイドの total water 必要量は、その大部分が最終需要に起因しているといえる。特に、アジアにおける最終需要に起因する total water 必要量が突出して高い。一方、オセアニアでは、輸出のシェアが最終需要のそれよりも高くなっており、前者は 56.4% (同 98 km<sup>3</sup>) である。よって、オセアニアは最終需要を上回る食料を輸出していることになり、同地域が主要な食料輸出地域であることを反映している。なお、他の 5 地域の輸出シェアを見ると、アフリ

カは 8.0 % (139 km<sup>3</sup>), アジアは 10.8 % (808 km<sup>3</sup>), ヨーロッパは 35.9 % (673 km<sup>3</sup>), 北アメリカは 30.5 % (474 km<sup>3</sup>), 南アメリカは 32.1 % (390 km<sup>3</sup>) である. 需要サイドの total water 必要量に占める輸出のシェアは, アフリカとアジアでは 1 割前後, ヨーロッパ, 北アメリカ, および南アメリカでは 3 割程度である. よって, 後者の 3 地域では, 貿易によって生じる需要サイドの total water 必要量が比較的高い傾向にある.

以上をまとめると, オセアニアを除く 5 地域では, 需要サイドの total water 必要量は, 最終需要が主因となって生じており, とりわけアジアにおける最終需要に起因する total water 必要量が突出して高い. また, ヨーロッパ, 北アメリカ, および南アメリカの 3 地域では, 供給サイドの total water 必要量に占める輸出のシェアは 3 割程度であり, これら 3 地域の貿易によって生じる需要サイドの total water 必要量が比較的高い傾向にある. 一方, オセアニアでは, 輸出のシェアが最終需要のそれよりも高く, オセアニアが主要な食料輸出地域であることを反映している.

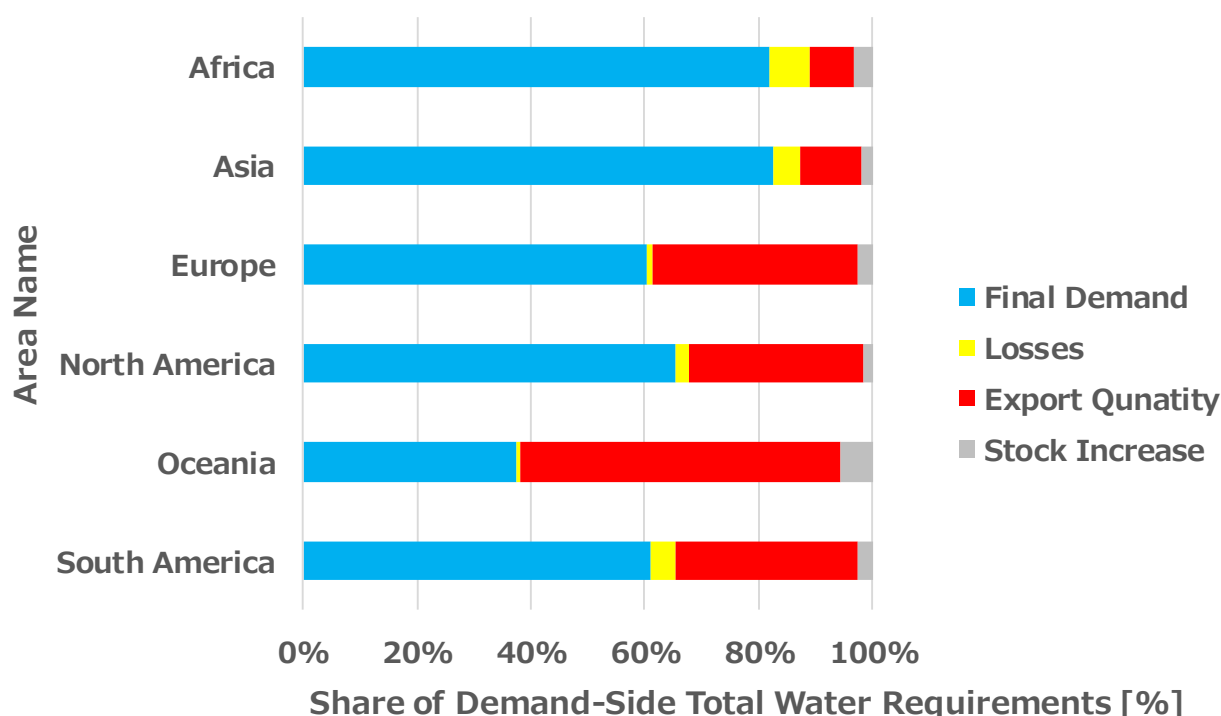


図 4.5 6 地域別の需要サイドの total water 必要量の需要項目別シェア

表 4.2 6 地域別の供給サイドの total water 必要量

Area Name	Final Demand	Losses	Export Qunatity	Stock Increase	Total
Africa	1,435	122	139	56	1,752
Asia	6,178	349	808	159	7,493
Europe	1,129	24	673	50	1,876
North America	1,018	35	474	27	1,555
Oceania	65	1.2	98	10	173
South America	742	52	390	31	1,215
Total	10,567	583	2,582	333	14,064

注釈) 各推計値の単位は[km<sup>3</sup>]である.

なお、表 4.1 と表 4.2 を比較したところ、世界全体の供給サイドの total water 必要量は 17,567 km<sup>3</sup> である。これに対して、世界全体の需要サイドの total water 必要量は 14,064 km<sup>3</sup> であり、両者の間で約 20 % 程度の差が存在する。そこで、この差の原因を分析するために、まず、中間需要等を除いた供給サイドの total water 必要量を概算した。具体的には、国内生産量、補整済み輸入量、および在庫減少量の和から、中間需要量（飼料用需要量と加工品原料用需要量との和）、種子用需要量、およびその他利用量の和を差し引くことにより、中間需要等を除いた食料供給量を国別、品目別に推計した。Green water と blue water を対象に、中間需要等を除いた食料供給量に生産国別、品目別の淡水消費原単位（WF 原単位）を乗じることにより、中間需要等を除いた食料供給に起因する total water 必要量（中間需要を除いた供給サイドの total water 必要量）を推計した。その結果、世界の 6 地域別ではそれぞれ、アフリカは 1,342 km<sup>3</sup>、アジアは 5,564 km<sup>3</sup>、ヨーロッパは 1,412 km<sup>3</sup>、北アメリカは 1,431 km<sup>3</sup>、オセアニアは 172 km<sup>3</sup>、および南アメリカは 901 km<sup>3</sup> となり、世界全体では 10,821 km<sup>3</sup> となった。また、世界全体の中間需要等を除いた供給サイドの total water 必要量は世界全体の最終需要に起因する total water 必要量（10,567 km<sup>3</sup>）とほぼ一致しており、後者を真値とした場合の相対誤差は約 2.4 % である。この結果は、世界全体で見た場合、中間需要等を除いた供給サイドの total water 必要量が最終需要に起因する total water 必要量とほぼ整合していることを表す。なお、世界全体の供給サイドの total water 必要量（17,567 km<sup>3</sup>）から、世界全体の中間需要等を除いた供給サイドの total water 必要量（10,821 km<sup>3</sup>）を差し引くと、その差は 6,746 km<sup>3</sup> であり、これが世界全体の中間需要等に起因する total water 必要量に相当すると考えられる。したがって、食料供給量における中間需要向けと最終需要向けの内訳が考慮されていないために、食料供給量の中に中間需要量と最終需要量の双方が含まれていることになり、供給サイドの total water 必要量（表 4.1 および図 4.4 を参照）に過大評価を生じている可能性がある。各品目間の投入・産出の収支の詳細を考慮した分析は、今後の課題である。

#### 4.3.4.2 供給サイドと需要サイドの淡水資源必要量の品目別シェア

図 4.6 は世界 6 地域別の供給サイドの total water 必要量の品目別シェアを図示したものである。また、表 4.3 に世界 6 地域別の供給サイドの total water 必要量を品目別に示す。アフリカの品目別シェアを見ると、穀物類は 31.6 % (641 km<sup>3</sup>) と最も高く、次いで、コメは 16.7 % (337 km<sup>3</sup>)、肉類・卵は 16.4 % (332 km<sup>3</sup>)、油糧作物・油類は 10.8 % (219 km<sup>3</sup>) である。アジアの品目別シェアを見ると、コメは 33.1 % (3,029 km<sup>3</sup>) と最も高く、次いで、穀物類は 18.6 % (1,700 km<sup>3</sup>)、肉類・卵は 14.0 % (1,281 km<sup>3</sup>)、油糧作物・油類は 14.0 % (1,280 km<sup>3</sup>) である。ヨーロッパの品目別シェアを見ると、穀物類は 25.0 % (648 km<sup>3</sup>) と最も高く、次いで、肉類・卵は 22.4 % (580 km<sup>3</sup>)、油糧作物・油類は 19.6 % (507 km<sup>3</sup>)、乳製品類は 8.7 % (227 km<sup>3</sup>) である。北アメリカの品目別シェアを見ると、穀物類は 25.1 % (508 km<sup>3</sup>) と最も高く、次いで、肉類・卵は 24.2 % (489 km<sup>3</sup>)、油糧作物・油類は 17.1 % (345 km<sup>3</sup>)、砂糖・甘味料類は 10.1 % (205 km<sup>3</sup>) である。オセアニアの品目別シェアを見ると、肉類・卵は 35.3 % (72 km<sup>3</sup>) と最も高く、次いで、穀物類は 32.9 % (67 km<sup>3</sup>)、乳製品類は 8.9 % (18 km<sup>3</sup>)、油糧作物・油類は 7.0 % (14 km<sup>3</sup>) である。南アメリカの品目別シェアを見ると、肉類は 28.6 % (447 km<sup>3</sup>) と最も高く、次いで、油糧作物・油類は 24.9 %

(389 km<sup>3</sup>), 穀物類は 16.4 % (256 km<sup>3</sup>), コメは 9.9 % (154 km<sup>3</sup>) である。なお, 穀物類, コメ, 肉類・卵, 油糧作物・油類を合わせて, アフリカは 75.4 % (1,529 km<sup>3</sup>), アジアは 79.6 % (7,290 km<sup>3</sup>), ヨーロッパは 70.1 % (1,819 km<sup>3</sup>), 北アメリカは 73.5 % (1,488 km<sup>3</sup>), オセアニアは 79.1 % (162 km<sup>3</sup>), 南アメリカは 79.7 % (1,246 km<sup>3</sup>) であった。供給サイドの total water 必要量に関しては, すべての地域において, 穀物類, 肉類・卵, 油糧作物・油類が上位を占めている。特に, 供給サイドの total water 必要量に関しては, アジアやアフリカではコメが, ヨーロッパやオセアニアでは乳製品が上位を占めている。また, 北アメリカでは, 砂糖・甘味料類が上位を占めている。

一方, 図 4.7 は世界 6 地域別の需要サイドの total water 必要量の品目別シェアを図示したものである。また, 表 4.4 に世界 6 地域別の需要サイドの total water 必要量を品目別に示す。アフリカの品目別シェアを見ると, 穀物類は 29.3 % (514 km<sup>3</sup>) と最も高く, 次いで, 肉類・卵は 19.2 % (337 km<sup>3</sup>), コメは 16.5 % (290 km<sup>3</sup>), 油糧作物・油類は 7.9 % (138 km<sup>3</sup>) である。アジアの品目別シェアを見ると, コメは 35.7 % (2,672 km<sup>3</sup>) と最も高く, 次いで, 肉類・卵は 16.9 % (1,269 km<sup>3</sup>), 穀物類は 15.9 % (1,194 km<sup>3</sup>), 油糧作物・油類は 7.9 % (588 km<sup>3</sup>), である。ヨーロッパの品目別シェアを見ると, 肉類・卵は 30.0 % (563 km<sup>3</sup>) と最も高く, 次いで, 穀物類は 16.5 % (310 km<sup>3</sup>), 油糧作物・油類は 13.3 % (249 km<sup>3</sup>), 飲料品類は 11.1 % (208 km<sup>3</sup>) である。北アメリカの品目別シェアを見ると, 肉類・卵は 29.9 % (465 km<sup>3</sup>) と最も高く, 次いで, 穀物類は 16.4 % (256 km<sup>3</sup>), 砂糖・甘味料類は 12.2 % (190 km<sup>3</sup>), 油糧作物・油類は 12.2 % (189 km<sup>3</sup>) である。オセアニアの品目別シェアを見ると, 肉類・卵は 40.6 % (70 km<sup>3</sup>) と最も高く, 次いで, 穀物類は 29.0 % (50 km<sup>3</sup>), 乳製品類は 9.2 % (16 km<sup>3</sup>) であり, 油糧作物・油類とコメがそれぞれ, 4.9 % (8.5 km<sup>3</sup>) と 4.8 % (8.3 km<sup>3</sup>) でほぼ拮抗している。南アメリカの品目別シェアを見ると, 肉類・卵は 35.7 % (433 km<sup>3</sup>) と最も高く, 次いで, 油糧作物・油類は 15.2 % (185 km<sup>3</sup>), 穀物類は 12.7 % (154 km<sup>3</sup>), コメは 11.0 % (134 km<sup>3</sup>) である。なお, 穀物類, コメ, 肉類・卵, 油糧作物・油類を合わせて, アフリカは 72.9 % (1,278 km<sup>3</sup>), アジアは 76.4 % (5,724 km<sup>3</sup>), ヨーロッパは 63.8 % (1,197 km<sup>3</sup>), 北アメリカは 67.0 % (1,042 km<sup>3</sup>), オセアニアは 79.2 % (137 km<sup>3</sup>), 南アメリカは 74.6 % (906 km<sup>3</sup>) であった。以上の結果を概観すると, すべての地域において, 穀物類, 肉類・卵, および油糧作物・油類が需要サイドの total water 必要量の上位を占めている。特に, アフリカとアジアを除く 4 地域において, 肉類・卵は需要サイドの total water 必要量の中で最も高く, またアフリカとアジアでは, 2 番目に高くなっている。他方, アフリカとアジアではそれぞれ, 穀物類とコメの需要サイドの total water 必要量が最も高い。これは食料消費において肉類・卵を嗜好する傾向が各地で強いことを示唆する。また, すべての地域において, 穀物類や油糧作物・油類の需要サイドの total water 必要量も高い傾向にある。加えて, アジア, アフリカ, オセアニア, 南アメリカの 4 地域では, コメも上位を占めている。また, ヨーロッパと北アメリカではそれぞれ, 飲料品類と砂糖・甘味料類が上位を占めている。これは欧米地域における嗜好の多様性を反映していると推察される。

以上をまとめると, 供給サイドおよび需要サイドの双方とも, total water 必要量は, コメや穀物類, 肉類・卵や乳製品類のような畜産品類, 砂糖・甘味料類 (サトウキビを含む), 油糧作物・油類 (大豆を含む) など, 淡水集約型の作物によって, 各地域の total water 必

要量が高められているといえる。特に、食料需要の観点からは、世界の各地域で肉類・卵に代表される高カロリー品目が強く嗜好される傾向にあることに加えて、欧米地域における嗜好の多様性に伴う飲料品類の生産によっても、世界全体の total water 必要量が高められている可能性がある。

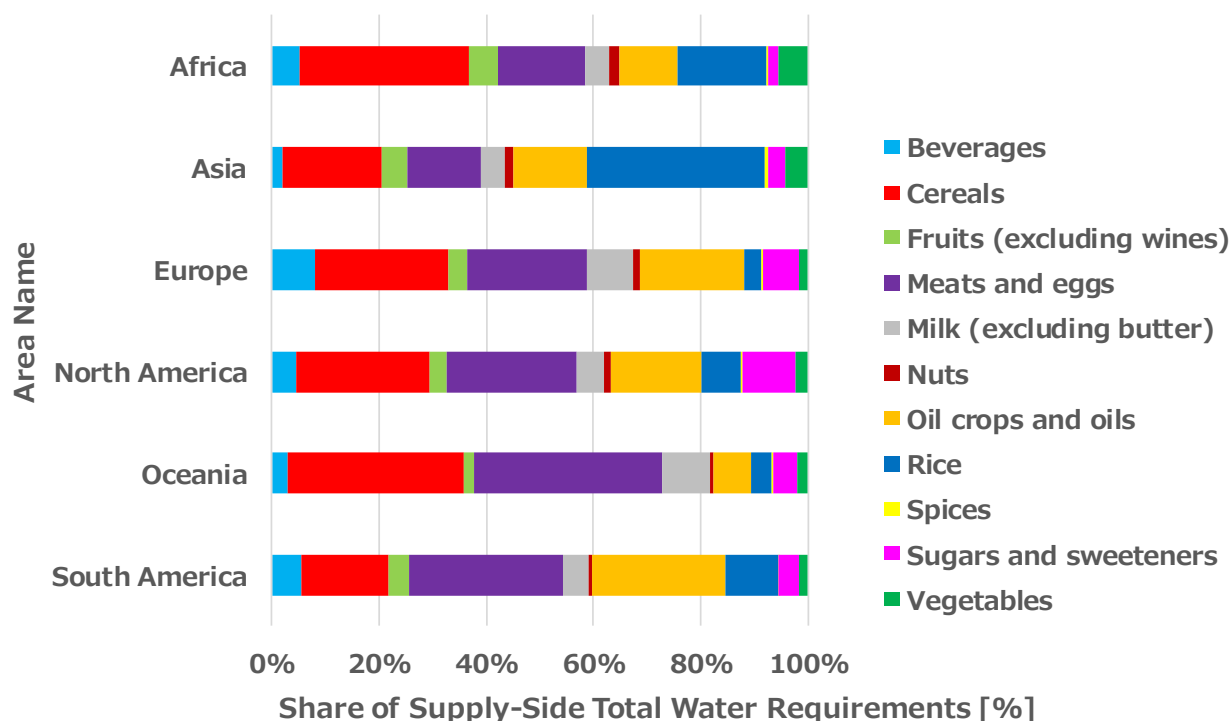


図 4.6 6 地域別の供給サイドの total water 必要量の品目別シェア

表 4.3 6 地域別の供給サイドの品目別 total water 必要量

Area Name	Item_01	Item_02	Item_03	Item_04	Item_05	Item_06	Item_07	Item_08	Item_09	Item_10	Item_11	Total
Africa	105	641	110	332	87	38	219	337	9.5	34	114	2,026
Asia	173	1,700	431	1,281	397	132	1,280	3,029	63	287	383	9,156
Europe	206	648	91	580	227	28	507	83	4.9	177	41	2,593
North America	91	508	60	489	109	23	345	146	5.0	205	43	2,025
Oceania	6.1	67	3.7	72	18	1.3	14	8.1	0.17	9.3	4.1	205
South America	84	256	61	447	77	11	389	154	1.2	60	24	1,562
Total	666	3,820	757	3,201	914	232	2,755	3,758	84	772	609	17,567

注釈) 「Item\_01」, 「Item\_02」, 「Item\_03」, 「Item\_04」, 「Item\_05」, 「Item\_06」, 「Item\_07」, 「Item\_08」, 「Item\_09」, 「Item\_10」, および「Item\_11」はそれぞれ、飲料品類、穀物類、果物類(ワインを除く)、肉類・卵、乳製品類(バターを除く)、木の実類、油糧作物・油類、コメ、香辛料類、砂糖・甘味料類、および野菜類を表す。各推計値は供給サイドの total water 必要量[km<sup>3</sup>]である。

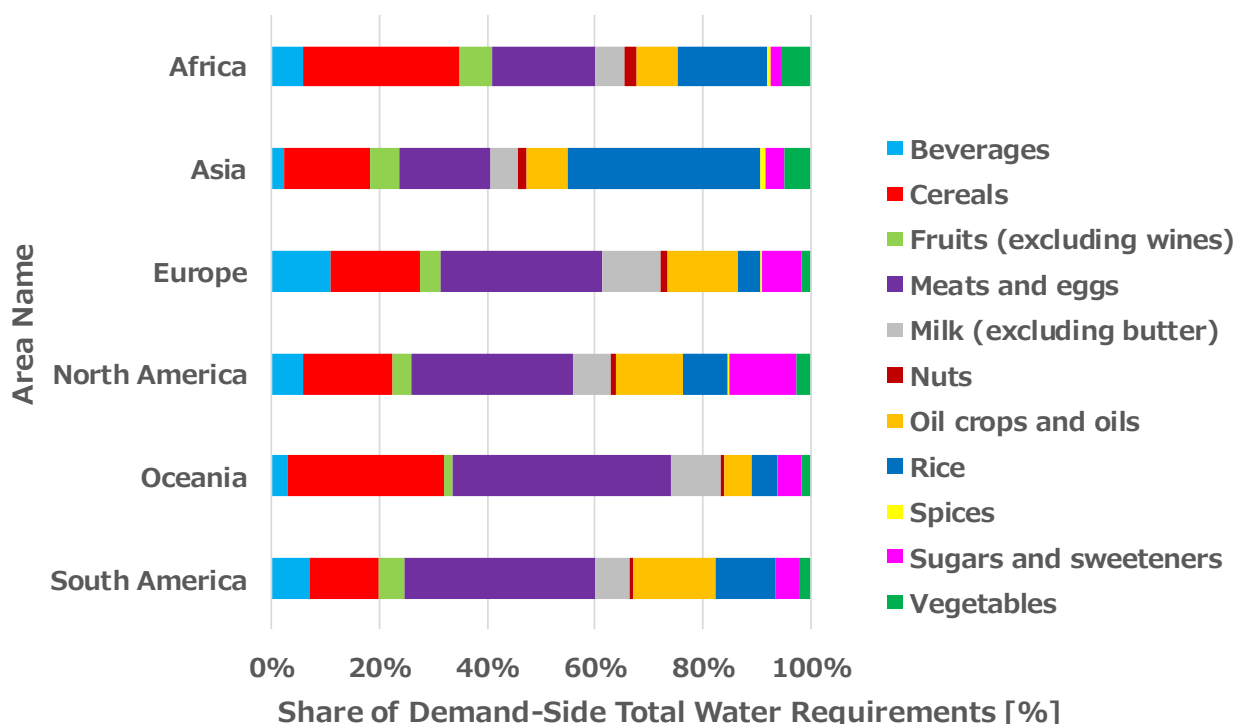


図 4.7 6 地域別の需要サイドの total water 必要量の品目別シェア

表 4.4 6 地域別の需要サイドの品目別 total water 必要量

Area Name	Item_01	Item_02	Item_03	Item_04	Item_05	Item_06	Item_07	Item_08	Item_09	Item_10	Item_11	Total
Africa	100	514	103	337	94	38	138	290	8.9	36	95	1,752
Asia	173	1,194	417	1,269	374	115	588	2,672	59	275	357	7,493
Europe	208	310	72	563	199	24	249	76	5.7	137	32	1,876
North America	92	256	55	465	108	19	189	132	5.8	190	42	1,555
Oceania	5.4	50	2.7	70	16	1.1	8.5	8.3	0.17	7.9	2.8	173
South America	86	154	58	433	74	11	185	134	1.3	55	23	1,215
Total	664	2,478	709	3,138	865	208	1,358	3,312	81	700	552	14,064

注釈) 各略称は表 4.3 と同様である。各推計値は需要サイドの total water 必要量[km<sup>3</sup>]である。

#### 4.3.4.3 淡水消費形態別の淡水資源必要量の評価

図 4.8 は世界 6 地域における供給サイドの total water 必要量の淡水消費形態別シェアを図示したものである。また、表 4.5 に淡水消費形態別の供給サイドの淡水資源必要量を世界 6 地域別に示す。ここで、total water 必要量は、green water 消費量と blue water 取水量の和であり、前者は消費量ベースの淡水資源必要量を、後者は取水量ベースの淡水資源必要量をそれぞれ表す。各地域の green water のシェアを見ると、アフリカは 79.3 % (1,606 km<sup>3</sup>)、アジアは 58.2 % (5,329 km<sup>3</sup>)、ヨーロッパは 88.9 % (2,305 km<sup>3</sup>)、北アメリカは 82.7 % (1,674 km<sup>3</sup>)、オセアニアは 89.3 % (183 km<sup>3</sup>)、南アメリカは 87.9 % (1,373 km<sup>3</sup>) である。一方で、各地域の blue water のシェアを見ると、アフリカは 20.7 % (420 km<sup>3</sup>)、アジアは 41.8 % (3,827 km<sup>3</sup>)、ヨーロッパは 11.1 % (288 km<sup>3</sup>)、北アメリカは 17.3 % (351 km<sup>3</sup>)、オセアニアは 10.7 % (22 km<sup>3</sup>)、南アメリカは 12.1 % (189 km<sup>3</sup>) である。よっ

て、地域別に green water 消費量および blue water 取水量を比較すると、すべての地域において、食料生産は green water (天水) に強く依存していることがわかる。ただし、アジアに関しては、他の 5 地域と比べて blue water 取水量が比較的高い傾向にある。これは、同地域において、多量の blue water (灌漑用水) の消費を要するコメの生産が盛んに行われていることによると考えられる。実際、図 4.6 が示すように、この傾向はアジアにおける供給サイドの total water 必要量がコメによって高められていることに整合している。

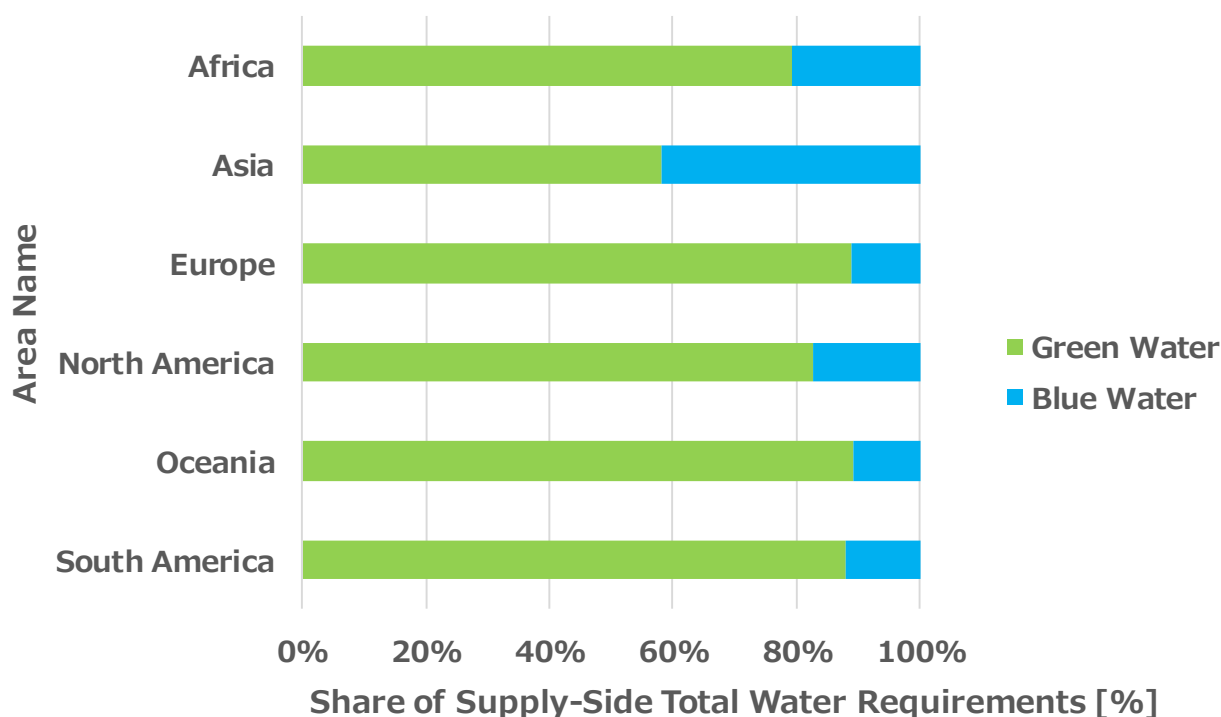


図 4.8 6 地域別の供給サイドの total water 必要量の淡水消費形態別シェア

表 4.5 淡水消費形態別の供給サイドの淡水資源必要量

Classification	Africa	Asia	Europe	North America	Oceania	South America	Total
Green Water	1,606	5,329	2,305	1,674	183	1,373	12,469
Blue Water	420	3,827	288	351	22	189	5,098
Total Water	2,026	9,156	2,593	2,025	205	1,562	17,567

注釈) 「Green Water」, 「Blue Water」, 「Total Water」はそれぞれ、供給サイドの green water 消費量, blue water 取水量, total water 必要量 (いずれも単位は[km<sup>3</sup>]) を表す。

図 4.9 は品目別に供給サイドの total water 必要量の淡水消費形態別シェアを図示したものである。また、表 4.6 に淡水消費形態別の供給サイドの淡水資源必要量を品目別に表示す。世界全体で供給サイドの total water 必要量が最も高い品目は穀物類 (3,820 km<sup>3</sup>) であり、次いで、コメ (3,758 km<sup>3</sup>)、肉類・卵 (3,201 km<sup>3</sup>)、油糧作物・油類 (2,755 km<sup>3</sup>)、砂糖・甘味料類 (772 km<sup>3</sup>) である。このうち、green water が占める割合を見ると、穀物類は 78.1 % (2,983 km<sup>3</sup>)、コメは 25.1 % (942 km<sup>3</sup>)、肉類・卵は 88.3 % (2,826 km<sup>3</sup>)、油糧作物・油類は 91.3 % (2,516 km<sup>3</sup>)、および砂糖・甘味料類は 77.0 % (594 km<sup>3</sup>) である。

各品目に関して blue water が占める割合を見ると、穀物類は 21.9% (blue water 取水量に換算して 837 km<sup>3</sup>)、肉類・卵は 11.7% (375 km<sup>3</sup>)、コメは 74.9% (2,815 km<sup>3</sup>)、油糧作物・油類は 8.7% (238 km<sup>3</sup>)、および砂糖・甘味料類は 23.0% (177 km<sup>3</sup>) である。穀物類、肉類、および油糧作物・油類に関しては、green water の割合が blue water のそれを大きく上回っている。よって、穀物類、肉類・卵、および油糧作物・油類の生産は、green water (天水) に強く依存していることがわかる。しかし、コメに関しては、blue water の割合が green water のそれを大きく上回っており、コメの生産が blue water (灌漑用水) に強く依存していることを表している。この傾向は、図 4.8 で示されている通り、アジアの blue water 取水量が高い点とも整合している。なお、上記 5 品目以外に関しても、供給サイドの total water 必要量に占める green water の割合が blue water のそれよりも比較的高い傾向にあり、これらの品目の生産が green water に強く依存していることがわかる。

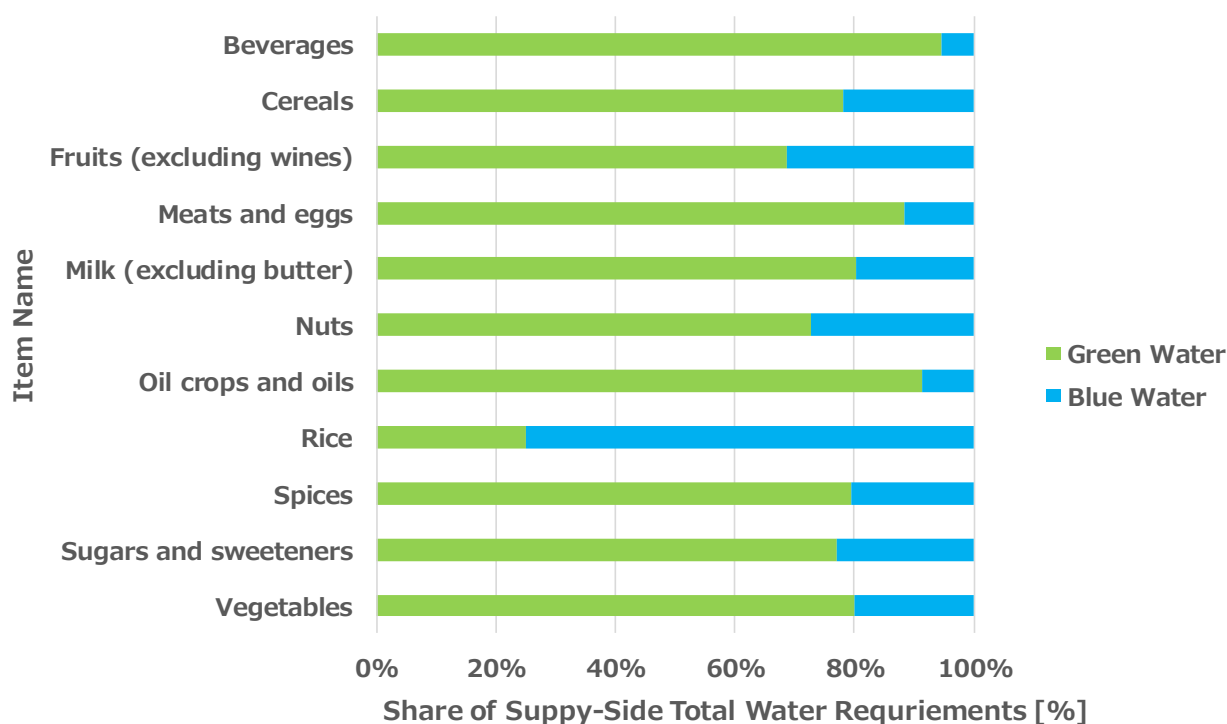


図 4.9 品目別の供給サイドの total water 必要量の淡水消費形態別シェア

表 4.6 淡水消費形態別の供給サイドの淡水資源必要量

Classification	Item_01	Item_02	Item_03	Item_04	Item_05	Item_06	Item_07	Item_08	Item_09	Item_10	Item_11	Total
Green Water	630	2,983	520	2,826	735	169	2,516	942	66	594	488	12,469
Blue Water	36	837	237	375	179	63	238	2,815	17	177	121	5,098
Total Water	666	3,820	757	3,201	914	232	2,755	3,758	84	772	609	17,567

注釈) 淡水消費形態の分類は、表 4.5 と同様である。「Item\_01」, 「Item\_02」, 「Item\_03」, 「Item\_04」, 「Item\_05」, 「Item\_06」, 「Item\_07」, 「Item\_08」, 「Item\_09」, 「Item\_10」, および「Item\_11」はそれぞれ、飲料品類、穀物類、果物類 (ワインを除く)、肉類・卵、乳製品類 (バターを除く)、木の実類、油糧作物・油類、コメ、香辛料類、砂糖・甘味料類、および野菜類を表す。各推計値の単位は[km<sup>3</sup>]である。



以上をまとめると、すべての地域において、供給サイドの total water 必要量に占める green water の割合は blue water のそれよりも高い。よって、各地域の食料生産は、green water (天水) に強く依存していることがわかる。ただし、アジアに関しては、blue water の割合が他の 5 地域よりも比較的高い傾向にある。これは、同地域において、多量の blue water (灌漑用水) の消費を要するコメの生産が盛んに行われていることを反映している。実際、品目別に供給サイドの total water 必要量に占める green water の割合と blue water のそれを比較すると、コメに関しては、blue water が green water を大きく上回っており、コメの生産が blue water に強く依存していることを示唆する。一方、穀物類、肉類・卵、油糧作物・油類といった淡水集約型の作物をはじめ、コメを除くこれら 3 品目以外の品目に関しては、green water の割合が blue water のそれを上回っており、品目別で見ても食料生産は green water に強く依存していることがわかる。

#### 4.4. アジア地域における淡水資源必要量の推計結果

##### 4.4.1 供給サイドと需要サイドの淡水資源必要量の比較

図 4.10 はアジア 5 地域 (中央アジア, 東アジア, 東南アジア, 南アジア, および西アジア) における供給サイドの淡水資源必要量を示す。また, 図 4.11 には, 同地域における需要サイドの淡水資源必要量を示す。西アジアでは, 国内生産に起因する total water 必要量 (275 km<sup>3</sup>) は, 最終需要に起因する total water 必要量 (350 km<sup>3</sup>) よりも小さい。これに対して, 東南アジアでは, 国内生産に起因する total water 必要量 (1,663 km<sup>3</sup>) は, 最終需要に起因する total water 必要量 (895 km<sup>3</sup>) よりもほぼ 2 倍近くに達する。中央アジアでは, 国内生産および最終需要に起因する total water 必要量はそれぞれ, 229 km<sup>3</sup> と 138 km<sup>3</sup> である。したがって, 主要な食料生産国は, 中央アジアや東南アジアに集中している傾向にある。これに対して, 西アジアは比較的高い食料輸入依存地域となっている可能性がある。たとえば, 東南アジアは最も大きい食料輸出地域であり, 同地域から輸出される total water 必要量 (輸出 total water 必要量) は 417 km<sup>3</sup> に達する。これはアジア 5 地域における輸出 total water 必要量の総量 (808 km<sup>3</sup>) の約 51.6 % を占めており, 東南アジアでは食料輸出が活発である可能性を示唆する。

一方, 東アジアでは, 国内生産および最終需要に起因する total water 必要量はそれぞれ, 2,454 km<sup>3</sup> と 1,972 km<sup>3</sup> である。同地域において, 前者はアジア 5 地域の国内生産に起因する total water 必要量の総量 (8,089 km<sup>3</sup>) の約 30.3 %, 後者はアジア 5 地域の最終需要に起因する total water 必要量の総量 (6,178 km<sup>3</sup>) の約 31.9 % を占めている。さらに, 東アジアは最も高い食料輸入地域であり, 同地域における輸入に起因する total water 必要量 (輸入 total water 必要量) は, アジア 5 地域における輸入 total water 必要量の総量 (1,001 km<sup>3</sup>) の約 39.4 % を占めている。また, 南アジアでは, 国内生産および最終需要に起因する total water 必要量はそれぞれ, 3,469 km<sup>3</sup> と 2,824 km<sup>3</sup> である。前者はアジア 5 地域における国内生産に起因する total water 必要量の総量の約 42.9 % を占めている。また, 後者はアジア 5 地域における最終需要に起因する total water 必要量の総量の約 45.7 % を占めている。したがって, 東アジアと南アジアでは, 国内生産および最終需要に起因する total water 必要量は, 双方とも他の 3 地域と比べてはるかに高い。アジア地域における主要な食料生産地域であると同時に, 主要な食料消費地域でもあるといえる。

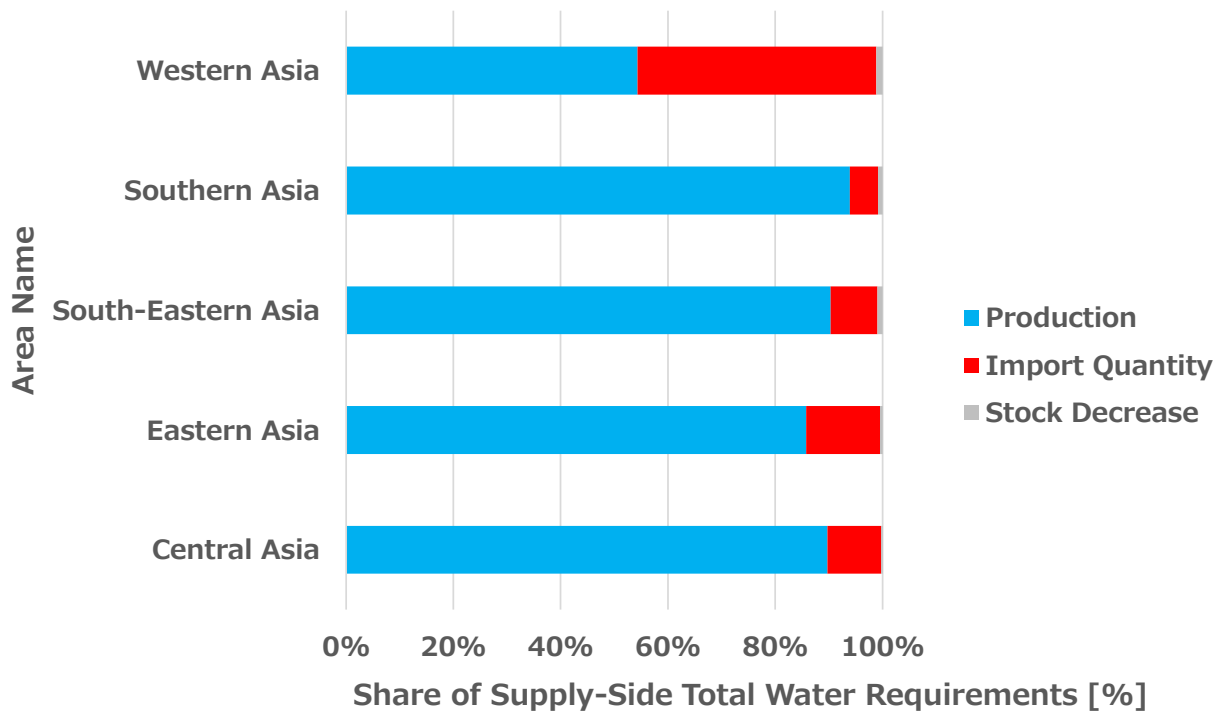


図 4.10 アジア 5 地域における供給サイドの total water 必要量の供給項目別シェア

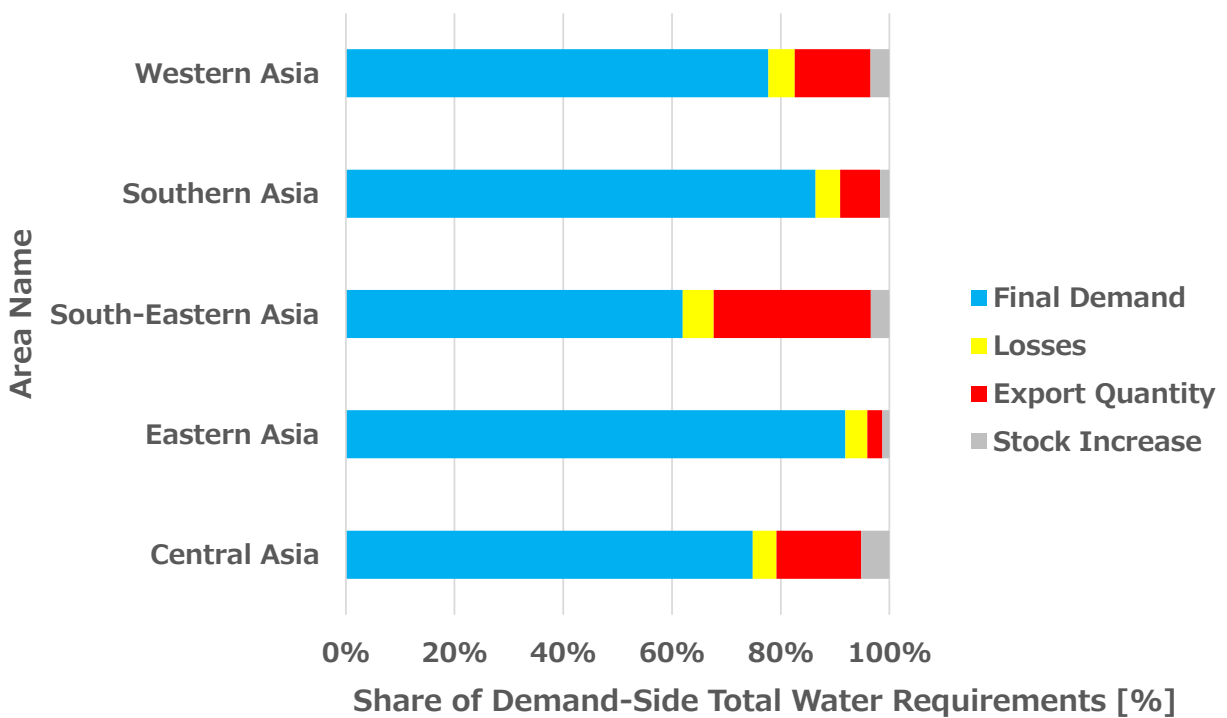


図 4.11 アジア 5 地域における需要サイドの total water 必要量の需要項目別シェア

#### 4.4.2 輸入淡水資源必要量と輸出淡水資源必要量の比較

図 4.12 はアジア 5 地域に関する輸入 total water 必要量の輸入先別シェアを示す。東アジアを除くアジア地域では、アジア地域からの輸入 total water 必要量が突出して高い。各アジア地域におけるアジアからの輸入 total water 必要量はそれぞれ、中央アジアは 17 km<sup>3</sup> (輸入シェアの約 65.5 %)、東南アジアは 103 km<sup>3</sup> (同 62.6 %)、南アジアは 130 km<sup>3</sup> (同 65.4 %)、および西アジアは 113 km<sup>3</sup> (同 49.3 %) である。一方、東アジアは、アジアに加えて、北アメリカや南アメリカなど、多地域から total water 必要量を輸入している。実際、東アジアは、アジアから 117 km<sup>3</sup> (同 29.5 %)、北アメリカから 129 km<sup>3</sup> (同 32.6 %)、南アメリカから 94 km<sup>3</sup> (同 23.8 %) の total water 必要量をそれぞれ輸入している。したがって、食料輸入の観点から見ると、東アジアは域内輸入 (アジア地域内からの輸入) と域外輸入 (アジア地域外からの輸入) がともに活発に行われているといえる。一方、中央アジア、東南アジア、南アジア、および西アジアでは、域内輸入が域外輸入よりも活発に行われているといえる。

図 4.13 はアジア 5 地域に関する輸出 total water 必要量の輸出先別シェアを示す。同図より、すべてのアジア地域に関して、アジア向けの輸出 total water 必要量が突出して大きい。実際、各アジア地域における輸出 total water 必要量はそれぞれ、中央アジアは 23 km<sup>3</sup> (輸出シェアの約 81.3 %)、東アジアは 37 km<sup>3</sup> (同 62.0 %)、東南アジアは 240 km<sup>3</sup> (同 57.1 %)、南アジアは 137 km<sup>3</sup> (56.9 %)、西アジアは 42 km<sup>3</sup> (同 67.4 %) である。したがって、食料輸出の観点から見ると、すべてのアジア地域において、域内輸出は域外輸出よりも顕著であることがいえる。

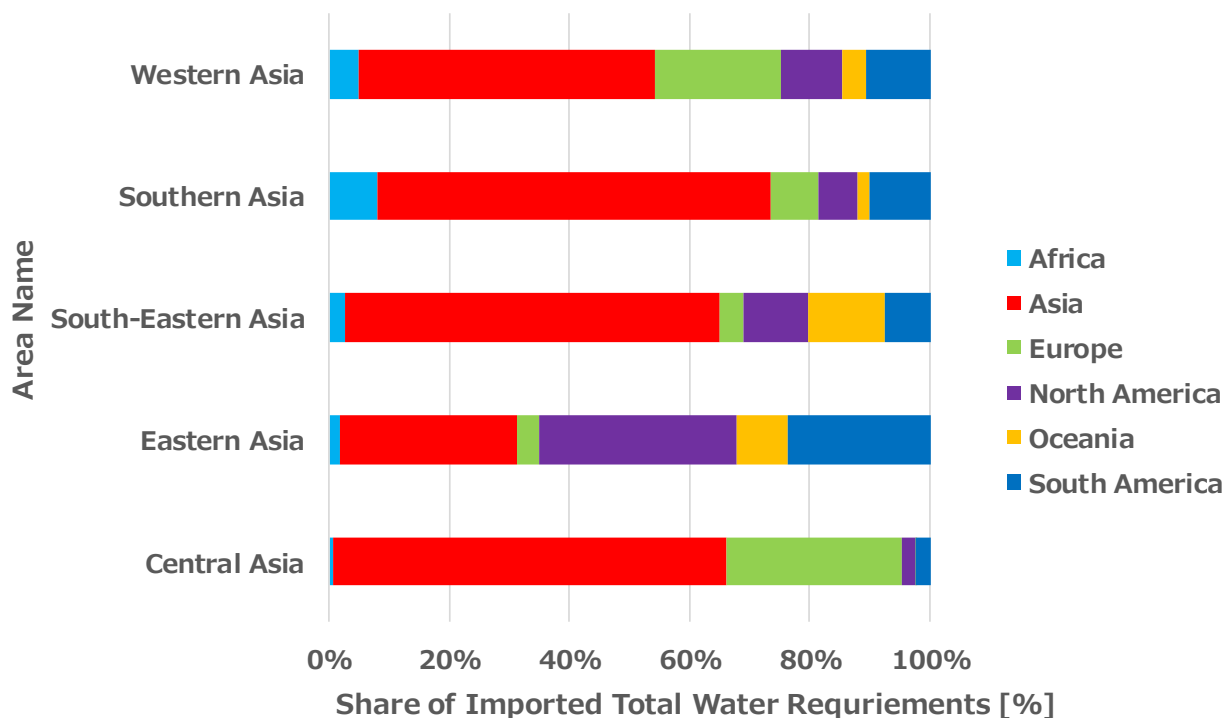


図 4.12 アジア 5 地域における輸入 total water 必要量の輸入先別シェア

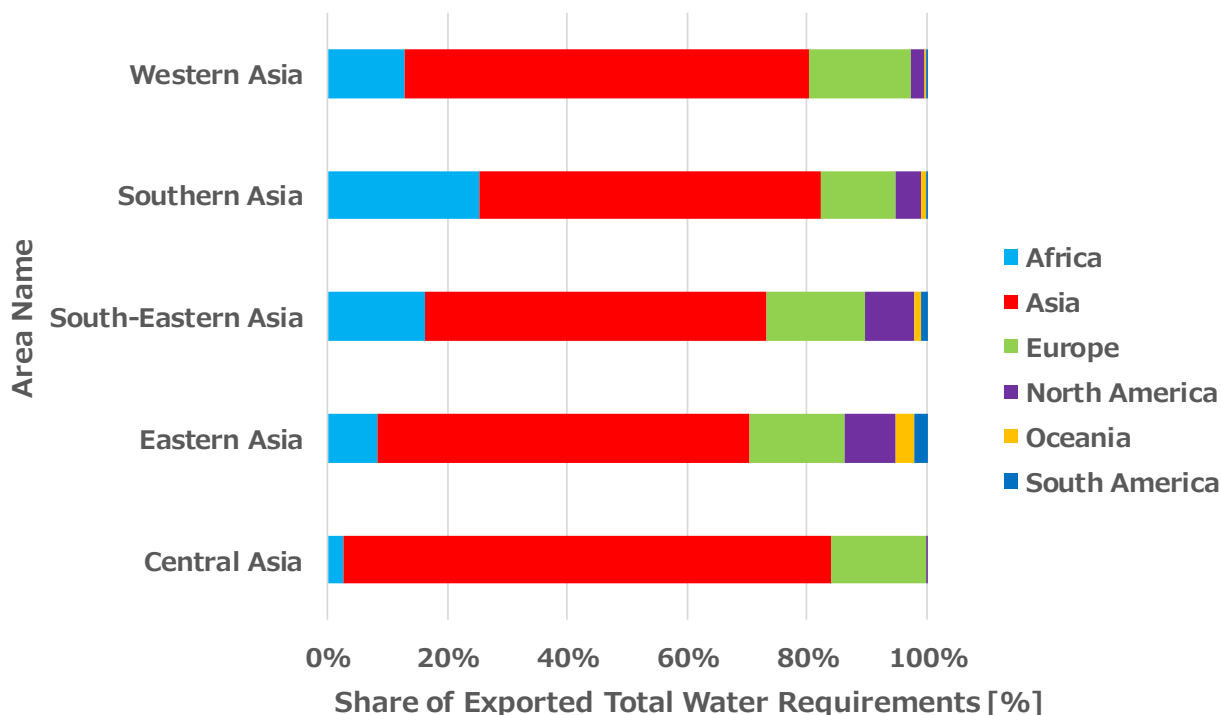


図 4.13 アジア 5 地域における輸出 total water 必要量の輸出先別シェア

図 4.14 はアジア 5 地域に関する輸入 total water 必要量の輸入品目別シェアを示す。たとえば、東アジアにおいて、油糧作物・油類の輸入 total water 必要量は突出して高く、その量は  $190 \text{ km}^3$  (輸入シェアの約 48.0 %) であり、次いで、穀物類は  $69 \text{ km}^3$  (同 17.4 %), 肉類・卵は  $59 \text{ km}^3$  (同 14.8 %) である。東アジアは、アジア 5 地域の中で最も規模の大きい輸入地域であり、同地域の輸入 total water 必要量の総量は  $397 \text{ km}^3$  である。中央アジアでは、穀物類の輸入 total water 必要量が最も高く、その量は  $12 \text{ km}^3$  (同 48.1 %) である。南アジアでは、油糧作物・油類の輸入 total water 必要量が最も高く、その量は  $61 \text{ km}^3$  (同 30.5 %) である。東南アジアでは、コメと油糧作物・油類の輸入 total water 必要量はほぼ同程度の規模を示しており、それぞれ  $42 \text{ km}^3$  (25.7 %) と  $36 \text{ km}^3$  (21.9 %) である。西アジアでは、コメと穀物類の輸入 total water 必要量はほぼ同程度の規模を示しており、それぞれ  $65 \text{ km}^3$  (28.3 %) と  $60 \text{ km}^3$  (26.4 %) である。

図 4.15 はアジア 5 地域に関する輸出 total water 必要量の輸出品目別シェアを示す。東南アジアでは、油糧作物・油類の輸出 total water 必要量は突出して高く、その量は  $180 \text{ km}^3$  (輸出シェアの約 42.8 %) であり、次いで、コメは  $105 \text{ km}^3$  (同 24.9 %), 飲料類は  $53 \text{ km}^3$  (同 12.6 %) である。中央アジアは穀物類の輸出 total water 必要量が極端に高く、その量は  $23 \text{ km}^3$  (同 79.2 %) である。南アジアはコメの輸出 total water 必要量が最も高く、その量は  $137 \text{ km}^3$  (同 56.8 %) である。西アジアでは、コメと穀物類の輸出 total water 必要量はほぼ同程度の規模を示しており、それぞれ  $14 \text{ km}^3$  (同 22.0 %) と  $11 \text{ km}^3$  (同 18.0 %) である。両者は同地域における他の品目の total water 必要量よりも高い。一方で、東アジアは多種多様な品目を輸出している。同地域における肉類・卵の輸出 total water 必要量である  $12.9 \text{ km}^3$  (21.8 %) は、砂糖・甘味料類のそれと同規模の  $13.1 \text{ km}^3$  (同 22.2 %) である。両者は、穀物類、油糧作物・油類、およびコメの輸出 total water 必要量よりも高い。

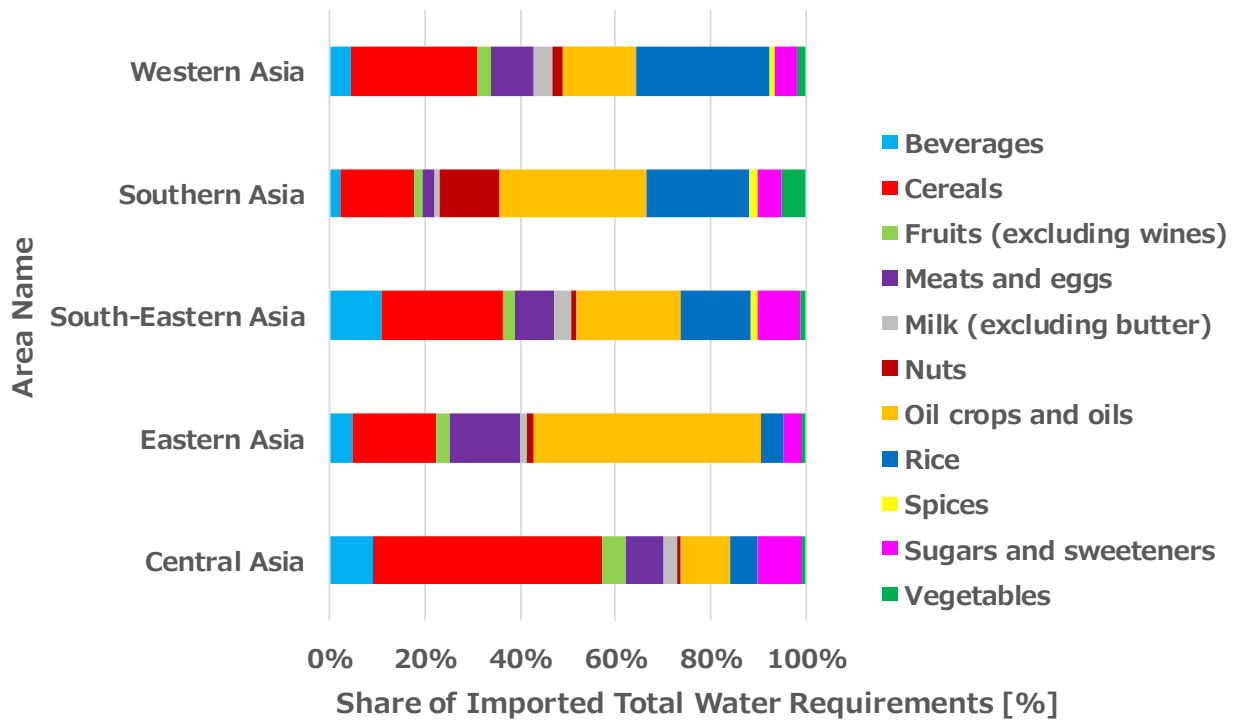


図 4.14 アジア 5 地域における輸入 total water 必要量の品目別シェア

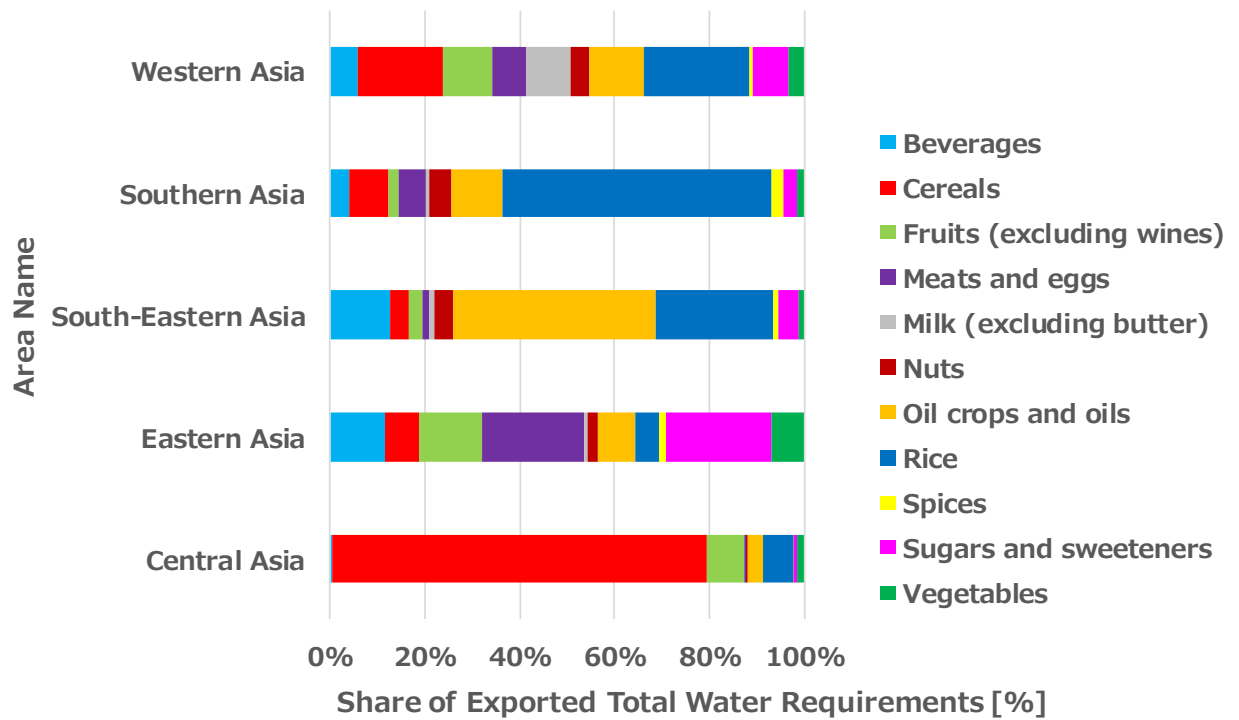


図 4.15 アジア 5 地域における輸出 total water 必要量の品目別シェア

#### 4.4.3 各国間の淡水資源必要量の比較

図 4.16 は total water 必要量で見た純輸入国と純輸出国の分布図を示す。ここで、純輸入国と純輸出国は、輸出 total water 必要量から輸入 total water 必要量を減じた際の正負によって判断した。すなわち、この差が負となった国は純輸入国、この差が正となった国は純輸出国と見なした。

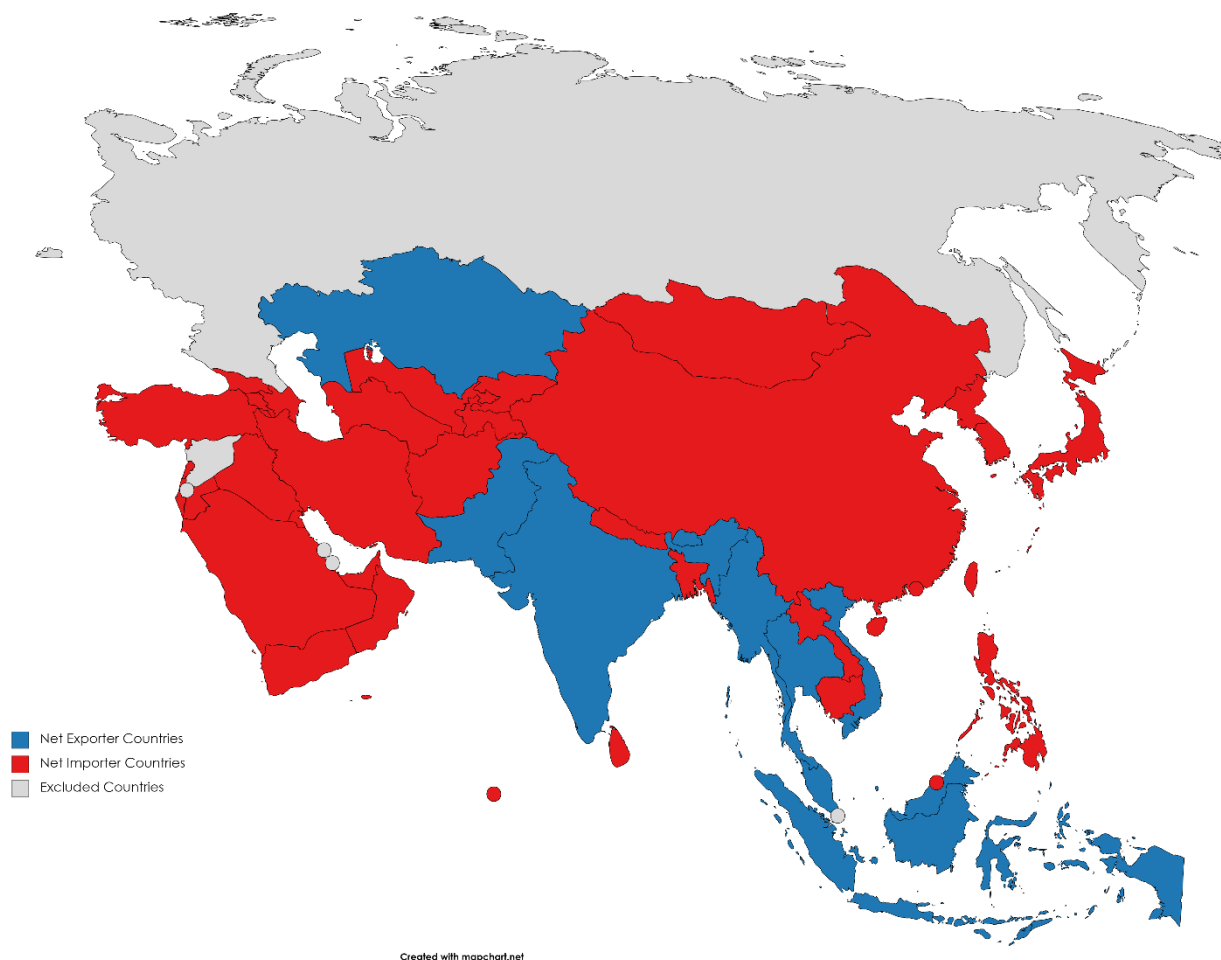


図 4.16 total water 必要量で見た純輸入国と純輸出国の分布図

注釈) 青色領域は純輸出国，赤色領域は純輸入国，灰色領域は評価対象外の国を表す。なお，同図は mapchart を用いて作成した。ここで，キプロス（西アジアに分類）に関しては，アジア地域の mapchart に用意されていなかったため，同図に反映されていない。

図 4.16 において，アジア地域の 45 カ国のうち，純輸出国は 9 カ国，純輸入国は 36 カ国となり，アジア 5 地域の 80 % の国が純輸入国に分類される。地域別に見ると，中央アジアの 5 カ国に関しては，1 カ国（カザフスタン）のみが純輸出国であり，他の 4 カ国は純輸入国に分類される。東アジアに関しては，8 カ国のすべてが純輸入国に分類される。東南アジアの 10 カ国に関しては，純輸出国が 6 カ国，純輸入国が 4 カ国である。南アジアの 8 カ国に関しては，純輸出国は 2 カ国（インド，パキスタン）であり，他の 6 カ国は純輸入国に分類される。西アジアに関しては，14 カ国のすべてが純輸入国に分類される。以上より，アジア地域に限定すれば，東南アジアや南アジアの一部の国や，カザフスタンが主要な食料輸出地域であるといえる。前述したように，全体的に見れば，アジア地域は主要な食料

消費地域であるが、アジアでは域内輸入や域内輸出が活発である。この点を踏まえると、これらの国から輸出された食料は、東アジアや西アジア、あるいは東南アジアや南アジアの一部の国によって主に消費されている可能性がある。

次に、表 4.7 に供給サイドおよび需要サイドの total water 必要量をまとめた。また、表 4.8 に供給サイドの total water 必要量を、表 4.9 には total water 必要量の品目別シェアをそれぞれ示す。一方、表 4.10 に需要サイドの total water 必要量を、表 4.11 は需要サイドの total water 必要量の品目別シェアをそれぞれ示す。

図 4.16 によると、中央アジアと西アジアのほぼすべての国は、純輸入国に分類される。たとえば、サウジアラビアは西アジアの中で最も大きい輸入 total water 必要量を示しており、その量は  $53 \text{ km}^3$  である。これは西アジアにおける輸入 total water 必要量の総量 ( $225 \text{ km}^3$ ) の約 23.3% を占めている。サウジアラビアでは、最終需要は  $60 \text{ km}^3$  に相当し、これが同国の国内生産 ( $27 \text{ km}^3$ ) と輸入 ( $53 \text{ km}^3$ ) によって賄われている。同国では、コメ ( $17 \text{ km}^3$ ) と穀物類 ( $15 \text{ km}^3$ ) の輸入 total water 必要量が比較的高く、これらの輸入品が輸入 total water 必要量を高めている。穀物類の一種である小麦に関して、同国は 1.9 百万トン (total water 必要量に換算して  $2.8 \text{ km}^3$ ) を輸入しており、輸入量が国内生産量の 1.2 百万トン (同  $2.5 \text{ km}^3$ ) を上回っている。同国では、小麦の最終需要と輸出量はそれぞれ、2.4 百万トン (同  $4.9 \text{ km}^3$ )、166 千トン (同  $0.34 \text{ km}^3$ ) である。サウジアラビアでは、国内生産では賄えない分の需要を満たすために、小麦が輸入されているものと考えられる。

カザフスタンを除いた西アジアの国々は、純輸入国に分類される。カザフスタンでは、国内生産に起因する total water 必要量は  $117 \text{ km}^3$  に達しており、最終需要に起因する total water 必要量 ( $50 \text{ km}^3$ ) よりも高い。同国の輸出 total water 必要量は  $26 \text{ km}^3$  であり、輸入 total water 必要量 ( $7.2 \text{ km}^3$ ) よりも低い。同国では、穀物類の国内生産に起因する total water 必要量が最も高く、その量は  $68 \text{ km}^3$  である。たとえば、小麦に関して、同国は 16 百万トン (total water 必要量に換算して  $56 \text{ km}^3$ ) を国内生産しており、国内生産量が国内消費量の 1.7 百万トン (同  $5.7 \text{ km}^3$ ) よりも 10 倍近く高い。同国では、小麦の輸入量は 144 千トン ( $0.34 \text{ km}^3$ ) であり、輸出量 6.3 百万トン (同  $22 \text{ km}^3$ ) よりも低い。したがって、国内生産量や輸出量が突出して高いため、カザフスタンは西アジアにおける主要な食料生産地であるといえる。

また、ウズベキスタンは西アジアの中で 2 番目に高い消費国であるが、同国の国内生産は  $52 \text{ km}^3$  であり、これは最終需要 ( $43 \text{ km}^3$ ) よりも高い。一方、同国の輸入 total water 必要量は  $8.2 \text{ km}^3$  であり、輸出 total water 必要量 ( $1.6 \text{ km}^3$ ) よりも大きい。同国では、穀物類の輸入 total water 必要量が最も大きく、その量は  $5.8 \text{ km}^3$  である。たとえば、小麦に関して、同国は 6.7 百万トン (total water 必要量に換算して  $11 \text{ km}^3$ ) を国内生産しており、国内生産量が最終需要量の 4.7 百万トン (同  $7.8 \text{ km}^3$ ) よりも高い。また、同国は 1.7 百万トン (同  $5.6 \text{ km}^3$ ) を輸入しており、輸入量が輸出量の 112 千トン (同  $0.18 \text{ km}^3$ ) よりも高い。しかし、同国の小麦の需要項目には、最終需要や廃棄量 (38.7 千トン) 以外の国内消費量 (3.4 百万トン) が存在しており、このうち飼料用需要 (2.9 百万トン) が約 85.8% を占めている。したがって、同国の食用需要と非食用需要を合わせた小麦の国内消費量は、8.2 百万トンに達する。ウズベキスタンでは、国内生産では賄えない分の需要を満たすために、小麦が輸入されていると考えられる。

表 4.7 アジア地域における total water 必要量

Area Name	Country Name	WR (Supply Side) [km <sup>3</sup> ]				WR (Demand Side) [km <sup>3</sup> ]				
		WR_PRD	WR_IQ	WR_SD	Total	WR_FD	WR_LS	WR_EQ	WR_SI	Total
Central Asia	Kazakhstan	117	7.2	0.14	125	50	5.8	26	9.4	91
Central Asia	Kyrgyzstan	10	3.4	0.12	14	8.1	0.20	0.55	0.023	8.9
Central Asia	Tajikistan	25	4.7	0.13	30	22	0.44	0.90	0.063	23
Central Asia	Turkmenistan	25	2.0	0.23	27	16	0.89	4.9E-03	3.8E-04	17
Central Asia	Uzbekistan	52	8.2	0.065	60	43	0.75	1.6	0.087	45
Eastern Asia	China, Hong Kong SAR	1.6	30	0.13	31	14	0.14	8.0	0.90	23
Eastern Asia	China, Macao SAR	0.064	0.92	2.9E-03	0.98	0.86	1.3E-03	7.4E-03	0.011	0.87
Eastern Asia	China, mainland	2,257	198	4.3	2,460	1,682	81	42	24	1,830
Eastern Asia	China, Taiwan Province of	21	23	1.1	45	30	0.47	1.7	0.33	32
Eastern Asia	Democratic People's Republic of Korea	26	2.0	3.7	31	26	1.4	0.023	6.6E-03	28
Eastern Asia	Japan	94	95	1.7	190	144	2.8	1.7	1.5	150
Eastern Asia	Mongolia	9.2	1.1	0.27	11	8.5	0.055	0.86	0.039	9.4
Eastern Asia	Republic of Korea	45	45	1.5	92	68	1.8	4.6	0.23	74
South-Eastern Asia	Brunei Darussalam	0.10	0.89	0.18	1.2	1.1	0.025	0.031	3.4E-03	1.1
South-Eastern Asia	Cambodia	47	1.8	0.15	49	22	6.2	0.94	0.73	30
South-Eastern Asia	Indonesia	576	40	6.1	623	327	31	131	16	505
South-Eastern Asia	Lao People's Democratic Republic	17	0.90	2.7E-03	17	9.6	0.77	0.69	0.10	11
South-Eastern Asia	Malaysia	115	50	5.5	170	56	2.5	94	7.2	160
South-Eastern Asia	Myanmar	201	3.7	0.12	205	81	5.5	8.8	4.8	100
South-Eastern Asia	Philippines	204	31	1.1	236	148	6.4	20	3.4	177
South-Eastern Asia	Thailand	310	15	3.5	328	131	18	117	14	280
South-Eastern Asia	Timor-Leste	2.6	0.34	0.34	3.3	2.3	0.086	0.79	0.052	3.3
South-Eastern Asia	Viet Nam	190	18	0.69	208	116	12	45	3.2	177
Southern Asia	Afghanistan	39	11	0.021	50	40	3.4	0.79	1.4	46
Southern Asia	Bangladesh	210	31	0.15	240	181	11	0.92	24	217
Southern Asia	India	2,351	64	19	2,434	1,914	99	101	23	2,136
Southern Asia	Iran (Islamic Republic of)	242	53	2.6	298	240	11	11	1.4	264
Southern Asia	Maldives	0.028	0.93	0.011	1.0	0.68	3.2E-03	0	0.050	0.74
Southern Asia	Nepal	55	8.0	0.94	64	46	4.4	0.86	0.45	52
Southern Asia	Pakistan	522	18	7.4	548	357	17	120	4.1	498
Southern Asia	Sri Lanka	50	8.3	0.14	58	45	2.4	5.1	3.0	56
Western Asia	Armenia	4.6	2.6	0.060	7.3	5.5	0.19	0.12	0.11	6.0
Western Asia	Azerbaijan	14	6.2	0.13	20	13	0.21	1.4	0.12	15
Western Asia	Cyprus	1.6	1.4	0.021	3.1	2.1	0.090	0.27	0.19	2.7
Western Asia	Georgia	5.1	3.4	0.43	9	7.9	0.12	0.47	0.076	8.6
Western Asia	Iraq	17	30	0.16	48	43	2.1	0.55	0.34	46
Western Asia	Israel	11	11	0.79	22	17	0.34	1.7	0.39	20
Western Asia	Jordan	4.7	9.7	0.35	15	11	0.40	1.7	0.17	14
Western Asia	Kuwait	1.1	8.2	0.28	10	8.6	0.31	0.57	0.12	9.6
Western Asia	Lebanon	6.1	7.0	0.077	13	10	0.23	1.0	0.26	12
Western Asia	Oman	2.8	11	0.45	14	8.6	0.30	2.4	0.16	11
Western Asia	Saudi Arabia	27	53	0.40	80	60	1.1	7.7	3.7	72
Western Asia	Turkey	157	31	1.1	189	109	9.9	22	8.0	149
Western Asia	United Arab Emirates	8.3	35	1.4	45	26	5.9	21	1.0	55
Western Asia	Yemen	14	17	0.17	31	28	0.60	1.0	1.0	30

注釈) 「WR」は total water 必要量[km<sup>3</sup>]を表す。「WR\_PRD」、「WR\_IQ」、「WR\_SD」、「WR\_FD」、「WR\_LS」、「WR\_EQ」、および「WR\_SI」はそれぞれ、国内生産、輸入、在庫減少、最終需要、廃棄物、輸出、および在庫増加に起因する total water 必要量 (いずれも[km<sup>3</sup>]) を表す。

一方、東南アジアと南アジアでは、ほぼすべての国が純輸出国に分類される。たとえば、マレーシアの場合、同国の輸出 total water 必要量は 94 km<sup>3</sup> であり、東南アジアの輸出 total water 必要量の総量 (421 km<sup>3</sup>) のうち約 22.5 %を占めている。マレーシアは東南アジアにおいて 3 番目に大きい輸出 total water 必要量を有する国である。実際、マレーシアの輸出 total water 必要量は、インドネシア (131 km<sup>3</sup>) やタイ (117 km<sup>3</sup>) のそれよりも低



い。マレーシアでは、最終需要に起因する total water 必要量 (56 km<sup>3</sup>) が輸出 total water 必要量を下回っており、国内生産に起因する total water 必要量は 115 km<sup>3</sup>、輸入 total water 必要量は 50 km<sup>3</sup> である。よって、同国では、国内生産と輸入の和は、最終需要と輸出の和を上回っているため、マレーシアは主要な食料生産地であると考えられる。

表 4.8 アジア地域における輸入 total water 必要量

Area Name	Country Name	Item_01	Item_02	Item_03	Item_04	Item_05	Item_06	Item_07	Item_08	Item_09	Item_10	Item_11	Total
Central Asia	Kazakhstan	1,114	533	1,253	1,207	602	175	1,157	328	14	765	115	7,264
Central Asia	Kyrgyzstan	305	1,557	54	315	20	4.2	308	674	0.52	162	5.5	3,405
Central Asia	Tajikistan	286	3,224	2.9	177	4.9	0	270	294	0.065	431	25	4,715
Central Asia	Turkmenistan	220	1,233	15	41	6.6	0	219	7.1	0.086	227	7.8	1,977
Central Asia	Uzbekistan	395	5,787	4.9	327	21	7.6	753	177	2.0	831	1.5	8,309
Eastern Asia	China, Hong Kong SAR	883	1,227	3,051	16,433	730	2,718	990	2,554	34	798	235	29,653
Eastern Asia	China, Macao SAR	63	69	36	330	55	8.0	47	166	1.4	127	16	917
Eastern Asia	China, mainland	3,217	15,862	4,217	9,658	2,131	842	153,603	2,895	122	4,250	1,058	197,856
Eastern Asia	China, Taiwan Province of	1,358	7,977	513	2,896	404	224	6,645	1,056	116	1,323	249	22,762
Eastern Asia	Democratic People's Republic of Korea	69	770	6.6	9.4	9.2	0	284	677	0.12	184	1.5	2,010
Eastern Asia	Japan	11,205	27,461	2,757	20,564	1,302	1,245	19,265	7,452	413	4,179	1,028	96,871
Eastern Asia	Mongolia	217	470	65	40	8.1	0.36	139	99	0.90	99	12	1,151
Eastern Asia	Republic of Korea	2,414	15,338	901	8,587	507	511	9,361	3,048	143	4,261	420	45,490
South-Eastern Asia	Brunei Darussalam	47	40	42	104	44	25	65	368	6.8	142	5.3	889
South-Eastern Asia	Cambodia	67	114	74	12	50	1.8	79	319	0.74	1,115	3.9	1,837
South-Eastern Asia	Indonesia	1,960	15,359	1,143	1,686	2,323	101	4,905	6,461	495	5,433	475	40,342
South-Eastern Asia	Lao People's Democratic Republic	123	53	139	0.95	26	0.043	3.0	341	0.049	213	0.060	899
South-Eastern Asia	Malaysia	9,895	8,571	1,127	2,945	1,040	669	13,346	7,372	974	3,220	636	49,795
South-Eastern Asia	Myanmar	506	411	53	289	110	38	1,872	74	11	374	1.2	3,739
South-Eastern Asia	Philippines	2,717	6,233	345	3,327	1,265	29	5,498	8,688	28	2,538	284	30,951
South-Eastern Asia	Thailand	1,961	4,522	491	466	703	189	5,396	432	435	664	201	15,459
South-Eastern Asia	Timor-Leste	88	28	0.30	29	22	0	31	79	0.41	59	5.3	342
South-Eastern Asia	Viet Nam	255	6,847	706	4,469	791	408	4,678	14	399	1,266	75	19,908
Southern Asia	Afghanistan	324	5,758	396	255	151	0	1,735	1,548	1.4	689	143	11,000
Southern Asia	Bangladesh	59	7,975	322	21	607	742	6,623	10,109	578	2,278	1,364	30,679
Southern Asia	India	1,532	428	1,103	81	202	19,999	31,585	273	1,507	1,930	6,353	64,993
Southern Asia	Iran (Islamic Republic of)	1,569	11,547	802	3,721	191	33	7,771	27,584	160	1,837	449	55,665
Southern Asia	Maldives	59	76	41	102	70	36	126	337	10	62	13	931
Southern Asia	Nepal	37	486	81	44	39	4,169	1,334	1,207	157	194	214	7,963
Southern Asia	Pakistan	832	2,472	494	385	224	672	10,790	106	594	993	1,265	18,827
Southern Asia	Sri Lanka	293	2,147	96	82	535	36	815	2,357	513	1,451	584	8,912
Western Asia	Armenia	440	1,066	45	431	32	8.5	293	144	1.5	132	19	2,612
Western Asia	Azerbaijan	313	4,010	126	333	109	22	474	346	5.1	449	71	6,258
Western Asia	Cyprus	133	616	36	156	68	24	186	77	3.0	142	16	1,457
Western Asia	Georgia	373	1,829	28	382	64	4.9	444	106	6.8	172	39	3,450
Western Asia	Iraq	609	7,753	725	2,660	1,260	26	5,370	12,752	18	1,268	700	33,141
Western Asia	Israel	908	3,954	156	1,196	83	205	2,012	988	40	898	75	10,516
Western Asia	Jordan	505	3,181	168	1,235	815	71	814	2,114	62	573	167	9,705
Western Asia	Kuwait	301	1,332	331	1,474	400	148	570	3,175	63	279	101	8,175
Western Asia	Lebanon	654	1,793	73	1,038	582	459	900	596	24	786	129	7,035
Western Asia	Oman	204	1,242	470	1,156	1,376	27	706	4,947	66	329	119	10,643
Western Asia	Saudi Arabia	1,603	15,183	2,175	5,953	2,318	584	4,464	17,306	651	1,791	608	52,636
Western Asia	Turkey	2,873	8,267	299	1,177	156	561	12,132	4,250	104	310	666	30,796
Western Asia	United Arab Emirates	1,477	3,782	1,382	2,804	1,050	2,454	6,155	12,251	680	2,709	1,056	35,800
Western Asia	Yemen	168	6,441	383	504	1,033	36	870	5,812	99	1,461	141	16,949

注釈) 「Item\_01」, 「Item\_02」, 「Item\_03」, 「Item\_04」, 「Item\_05」, 「Item\_06」, 「Item\_07」, 「Item\_08」, 「Item\_09」,

「Item\_10」, および 「Item\_11」 はそれぞれ、飲料品類、穀物類、果物類 (ワインを除く)、肉類・卵、乳製品類 (バターを除く)、木の実類、油糧作物・油類、コメ、香辛料類、砂糖・甘味料類、および野菜類を表す。各推計値の単位は[millions m<sup>3</sup>] である。

次に、マレーシアにおける輸入 total water 必要量と輸出 total water 必要量を比較すると、マレーシアは純輸出国に分類される。同国では、パーム油の輸出 total water 必要量は 63 km<sup>3</sup> に達しており、同国の油糧作物・油類の輸出 total water 必要量 (75 km<sup>3</sup>) の約 84.3 % を占めている。同国のパーム油の主要輸出先はアジアであり、特に東アジア向け輸出は 5.0 百万トンに達しており、同国からのパーム油のアジア向け輸出量の総量 (11 百万トン) の約 47.1 % を占めている。実際、マレーシアでは、東アジア向けのパーム油の主要輸出先のシェアを見ると、中国本土向けは 76.3 % (3.8 百万トン)、日本向けは 12.2 % (616

千トン)、および韓国向けは7.4%(374千トン)である。これら3カ国向けの輸出総量(4.8千トン)は、マレーシアからのパーム油の世界全体への輸出量の総量(11百万トン)の約45.2%を占めている。また、マレーシアは南アジア向けに3.6百万トン(世界全体の約21.4%)、西アジア向けに1.3百万トン(同7.9%)のパーム油をそれぞれ輸出している。各々の輸出 total water 必要量は、東アジア向けは19 km<sup>3</sup>、南アジア向けは13 km<sup>3</sup>、および西アジアは5.0 km<sup>3</sup>である。したがって、マレーシアは主に東アジアへの輸出向けパーム油を活発に生産しているといえる。

表 4.9 アジア地域における輸入 total water 必要量の品目別シェア

Area Name	Country Name	Item_01	Item_02	Item_03	Item_04	Item_05	Item_06	Item_07	Item_08	Item_09	Item_10	Item_11	Total
Central Asia	Kazakhstan	15	7.3	17	17	8.3	2.4	16	4.5	0.19	11	1.6	100
Central Asia	Kyrgyzstan	9.0	46	1.6	9.2	0.59	0.12	9.0	20	0.015	4.8	0.16	100
Central Asia	Tajikistan	6.1	68	0.061	3.8	0.10	0	5.7	6.2	1.4E-03	9.1	0.53	100
Central Asia	Turkmenistan	11	62	0.76	2.1	0.33	0	11	0.36	4.3E-03	11	0.39	100
Central Asia	Uzbekistan	4.8	70	0.059	3.9	0.26	0.092	9.1	2.1	0.024	10	0.019	100
Eastern Asia	China, Hong Kong SAR	3.0	4.1	10	55	2.5	9.2	3.3	8.6	0.11	2.7	0.79	100
Eastern Asia	China, Macao SAR	6.8	7.5	3.9	36	6.0	0.87	5.1	18	0.15	14	1.8	100
Eastern Asia	China, mainland	1.6	8.0	2.1	4.9	1.1	0.43	78	1.5	0.062	2.1	0.53	100
Eastern Asia	China, Taiwan Province of	6.0	35	2.3	13	1.8	0.98	29	4.6	0.51	5.8	1.1	100
Eastern Asia	Democratic People's Republic of Korea	3.4	38	0.33	0.47	0.46	0	14	34	5.9E-03	9.2	0.074	100
Eastern Asia	Japan	12	28	2.8	21	1.3	1.3	20	7.7	0.43	4.3	1.1	100
Eastern Asia	Mongolia	19	41	5.6	3.5	0.71	0.032	12	8.6	0.078	8.6	1.1	100
Eastern Asia	Republic of Korea	5.3	34	2.0	19	1.1	1.1	21	6.7	0.31	9.4	0.92	100
South-Eastern Asia	Brunei Darussalam	5.2	4.4	4.7	12	4.9	2.9	7.3	41	0.77	16	0.59	100
South-Eastern Asia	Cambodia	3.7	6.2	4.0	0.66	2.7	0.097	4.3	17	0.040	61	0.21	100
South-Eastern Asia	Indonesia	4.9	38	2.8	4.2	5.8	0.25	12	16	1.2	13	1.2	100
South-Eastern Asia	Lao People's Democratic Republic	14	5.9	15	0.11	2.8	4.7E-03	0.33	38	5.4E-03	24	6.7E-03	100
South-Eastern Asia	Malaysia	20	17	2.3	5.9	2.1	1.3	27	15	2.0	6.5	1.3	100
South-Eastern Asia	Myanmar	14	11	1.4	7.7	3.0	1.0	50	2.0	0.30	10	0.031	100
South-Eastern Asia	Philippines	8.8	20	1.1	11	4.1	0.094	18	28	0.091	8.2	0.92	100
South-Eastern Asia	Thailand	13	29	3.2	3.0	4.5	1.2	35	2.8	2.8	4.3	1.3	100
South-Eastern Asia	Timor-Leste	26	8.1	0.087	8.5	6.4	0	9.2	23	0.12	17	1.5	100
South-Eastern Asia	Viet Nam	1.3	34	3.5	22	4.0	2.1	23	0.068	2.0	6.4	0.38	100
Southern Asia	Afghanistan	2.9	52	3.6	2.3	1.4	0	16	14	0.013	6.3	1.3	100
Southern Asia	Bangladesh	0.19	26	1.0	0.070	2.0	2.4	22	33	1.9	7.4	4.4	100
Southern Asia	India	2.4	0.66	1.7	0.12	0.31	31	49	0.42	2.3	3.0	9.8	100
Southern Asia	Iran (Islamic Republic of)	2.8	21	1.4	6.7	0.34	0.059	14	50	0.29	3.3	0.81	100
Southern Asia	Maldives	6.3	8.1	4.4	11	7.5	3.8	13	36	1.1	6.6	1.4	100
Southern Asia	Nepal	0.47	6.1	1.0	0.55	0.50	52	17	15	2.0	2.4	2.7	100
Southern Asia	Pakistan	4.4	13	2.6	2.0	1.2	3.6	57	0.56	3.2	5.3	6.7	100
Southern Asia	Sri Lanka	3.3	24	1.1	0.92	6.0	0.41	9.2	26	5.8	16	6.6	100
Western Asia	Armenia	17	41	1.7	17	1.2	0.33	11	5.5	0.058	5.1	0.72	100
Western Asia	Azerbaijan	5.0	64	2.0	5.3	1.7	0.35	7.6	5.5	0.082	7.2	1.1	100
Western Asia	Cyprus	9.1	42	2.5	11	4.7	1.7	13	5.3	0.21	9.7	1.1	100
Western Asia	Georgia	11	53	0.82	11	1.9	0.14	13	3.1	0.20	5.0	1.1	100
Western Asia	Iraq	1.8	23	2.2	8.0	3.8	0.078	16	38	0.054	3.8	2.1	100
Western Asia	Israel	8.6	38	1.5	11	0.79	1.9	19	9.4	0.38	8.5	0.72	100
Western Asia	Jordan	5.2	33	1.7	13	8.4	0.73	8.4	22	0.64	5.9	1.7	100
Western Asia	Kuwait	3.7	16	4.1	18	4.9	1.8	7.0	39	0.77	3.4	1.2	100
Western Asia	Lebanon	9.3	25	1.0	15	8.3	6.5	13	8.5	0.34	11.2	1.8	100
Western Asia	Oman	1.9	12	4.4	11	13	0.26	6.6	46	0.62	3.1	1.1	100
Western Asia	Saudi Arabia	3.0	29	4.1	11	4.4	1.1	8.5	33	1.2	3.4	1.2	100
Western Asia	Turkey	9.3	27	0.97	3.8	0.51	1.8	39	14	0.34	1.0	2.2	100
Western Asia	United Arab Emirates	4.1	11	3.9	7.8	2.9	6.9	17	34	1.9	7.6	3.0	100
Western Asia	Yemen	0.99	38	2.3	3.0	6.1	0.22	5.1	34	0.59	8.6	0.83	100

注釈) 各略称は表 4.8 と同様である。ただし、各推計値は輸出 total water 必要量の品目別シェア[%]である。

また、インドは南アジアの中で最も規模の大きい消費国であり、国内生産および最終消費に起因する total water 必要量はそれぞれ、2,351 km<sup>3</sup>と1,914 km<sup>3</sup>である。前者は南アジアにおける供給サイドの total water 必要量(3,469 km<sup>3</sup>)の約67.7%を占めている。また、後者は同地域における需要サイドの total water 必要量(2,824 km<sup>3</sup>)の約67.7%を占めている。インドでは、輸入 total water 必要量は64 km<sup>3</sup>、輸出 total water 必要量は101 km<sup>3</sup>であるため、同国は純輸出国に分類される。また、同国では、コメの輸出 total water

必要量 (27 km<sup>3</sup>) が最も高く、次いで、油糧作物・油類 (24 km<sup>3</sup>)、肉類・卵 (13 km<sup>3</sup>)、穀物類 (10 km<sup>3</sup>) である。特に、コメに関しては、インドは 2.9 百万トン を輸出しており、これは total water 必要量に換算して 27 km<sup>3</sup> である。また、同国のコメの最終需要量は 86 百万トンであり、total water 必要量に換算して 801 km<sup>3</sup> である。両者は 97 百万トンの国内生産と 21 千トンの輸入から賄われており、total water 必要量に換算してそれぞれ、904 km<sup>3</sup> と 0.27 km<sup>3</sup> である。

一方、東南アジアの一例として、フィリピンは 31 km<sup>3</sup> の total water 必要量を輸入しており、20 km<sup>3</sup> の total water 必要量を輸出している。前者が後者を上回っているため、同国は純輸入国に分類される。たとえば、同国の小麦に関しては、最終需要量は 2.0 百万トン (total water 必要量に換算して 4.1 km<sup>3</sup>) であるが、国内生産量は 0 である。そのため、同国の小麦の最終需要は、概算して輸入量の 2.8 百万トン (同 5.3 km<sup>3</sup>) から輸出量の 49 千トン (同 0.10 km<sup>3</sup>) を差し引いた分から賄われていることになる。よって、フィリピンでは、小麦の供給は輸入に強く依存しているといえる。

表 4.10 アジア地域における輸出 total water 必要量

Area Name	Country Name	Item_01	Item_02	Item_03	Item_04	Item_05	Item_06	Item_07	Item_08	Item_09	Item_10	Item_11	Total
Central Asia	Kazakhstan	75	22,622	170	33	30	1.8	927	1,707	0.62	196	67	25,829
Central Asia	Kyrgyzstan	40	18	257	25	54	34	3.1	21	2.4	15	85	554
Central Asia	Tajikistan	0.77	5.6	768	0	0	0	1.5	47	0.049	0.53	75	899
Central Asia	Turkmenistan	0	0	3.4	0	0	0	0.23	0	0	0	1.3	4.9
Central Asia	Uzbekistan	22	185	1,047	0	0.10	31	32	0	26	0.53	214	1,556
Eastern Asia	China, Hong Kong SAR	148	258	1,056	5,460	98	604	253	46	5.5	120	11	8,060
Eastern Asia	China, Macao SAR	3.8	0.88	0.27	1.0	0.34	0.072	0.098	0.098	6.2.E-04	0.77	0.016	7.4
Eastern Asia	China, mainland	5,077	3,000	6,595	6,075	246	450	3,397	2,839	916	9,763	4,044	42,403
Eastern Asia	China, Taiwan Province of	358	129	132	118	11	13	291	30	5.3	624	21	1,732
Eastern Asia	Democratic People's Republic of Korea	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0.067	2.1	23
Eastern Asia	Japan	216	494	15	104	13	41	455	96	3.4	215	1.5	1,653
Eastern Asia	Mongolia	39	0	0	815	1.9.E-03	1.9	9.0	0	0	0.040	6.7.E-03	864
Eastern Asia	Republic of Korea	1,044	303	70	334	18	54	284	23	3.5	2,415	18	4,567
South-Eastern Asia	Brunei Darussalam	1.2	0.032	0.017	0.029	0.043	0	0	29	0	0.12	0	31
South-Eastern Asia	Cambodia	0.063	243	0.19	0.068	0	1.4	143	514	3.9	42	0.25	947
South-Eastern Asia	Indonesia	27,425	850	188	1,462	458	12,522	86,724	54	2,538	1,320	137	133,678
South-Eastern Asia	Lao People's Democratic Republic	275	349	32	0	0	0	31	0	0	0	0	686
South-Eastern Asia	Malaysia	13,298	511	410	830	1,740	130	74,792	352	242	1,603	142	94,048
South-Eastern Asia	Myanmar	26	64	383	0	0	30	835	3,271	217	54	4,029	8,910
South-Eastern Asia	Philippines	93	114	2,110	105	1,335	9.0	14,994	1.9	0.92	755	11	19,529
South-Eastern Asia	Thailand	2,209	10,526	8,632	3,407	300	652	2,266	75,086	141	13,472	499	117,191
South-Eastern Asia	Timor-Leste	787	0	0	0	0	0	0.14	0	0	0	0	788
South-Eastern Asia	Viet Nam	8,752	4,504	598	66	57	3,349	423	25,691	1,461	113	131	45,144
Southern Asia	Afghanistan	0	9.1	397	0	0.19	183	119	0	28	0	55	792
Southern Asia	Bangladesh	27	29	25	0.056	7.9.E-03	634	74	15	7.1	105	3.4	919
Southern Asia	India	5,883	10,379	1,445	12,999	534	6,231	23,948	26,539	4,586	6,832	1,765	101,140
Southern Asia	Iran (Islamic Republic of)	533	1,986	2,189	388	782	3,727	252	91	170	249	958	11,324
Southern Asia	Maldives	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Southern Asia	Nepal	126	172	60	50	1.2	39	115	5.7	62	8.1	224	864
Southern Asia	Pakistan	16	6,698	1,347	669	127	6.5	804	109,773	104	384	210	120,138
Southern Asia	Sri Lanka	2,825	682	77	38	3.9	51	784	82	501	9.4	85	5,139
Western Asia	Armenia	58	1.6	34	8.0	3.7	3.4	1.8	0	1.0	4.0	1.3	117
Western Asia	Azerbaijan	120	79	328	115	0.10	166	217	1.1	10	349	29	1,414
Western Asia	Cyprus	8.5	28	66	67	72	4.8	10	1.5	0.055	14	4.6	278
Western Asia	Georgia	64	82	100	8.6	4.1	149	9.6	1.4	12	35	3.2	469
Western Asia	Iraq	3.2.E-03	1.7	546	0.061	4.1.E-03	0.18	0.25	0.45	8.8.E-03	0.21	0.069	549
Western Asia	Israel	110	127	410	171	16	75	88	3.7	14	632	102	1,749
Western Asia	Jordan	73	107	148	756	181	3.4	133	25	45	135	132	1,737
Western Asia	Kuwait	9.4	103	147	23	155	37	35	20	1.1	42	2.2	574
Western Asia	Lebanon	83	152	350	138	16	32	120	6.1	9.5	67	27	999
Western Asia	Oman	65	345	44	159	986	0.28	559	224	1.5	68	32	2,484
Western Asia	Saudi Arabia	104	498	1,303	921	3,161	9.6	713	82	46	645	177	7,660
Western Asia	Turkey	2,145	8,516	1,991	1,710	177	2,013	2,330	769	150	1,591	922	22,316
Western Asia	United Arab Emirates	629	1,054	769	349	1,037	23	3,057	12,645	161	1,228	489	21,442
Western Asia	Yemen	110	215	353	27	66	16	47	53	6.6	26	82	1,001

注釈) 各略称は表 4.8 と同様である。ただし、各推計値は輸出 total water 必要量[millions m<sup>3</sup>]である。

表 4.11 アジア地域における輸出 total water 必要量の品目別シェア

Area Name	Country Name	Item_01	Item_02	Item_03	Item_04	Item_05	Item_06	Item_07	Item_08	Item_09	Item_10	Item_11	Total
Central Asia	Kazakhstan	0.29	88	0.66	0.13	0.11	6.8.E-03	3.6	6.6	2.4.E-03	0.76	0.26	100
Central Asia	Kyrgyzstan	7.2	3.2	46	4.5	9.8	6.1	0.56	3.7	0.43	2.7	15	100
Central Asia	Tajikistan	0.085	0.62	85	0	0	0	0.17	5.3	5.4.E-03	0.059	8.4	100
Central Asia	Turkmenistan	0	0	69	0	0	0	4.6	0	0	0	26	100
Central Asia	Uzbekistan	1.4	12	67	0	6.6.E-03	2.0	2.0	0	1.7	0.034	14	100
Eastern Asia	China, Hong Kong SAR	1.8	3.2	13	68	1.2	7.5	3.1	0.57	0.068	1.5	0.14	100
Eastern Asia	China, Macao SAR	51	12	3.7	14	4.6	0.98	1.3	1.3	8.5.E-03	10	0.22	100
Eastern Asia	China, mainland	12	7.1	16	14	0.58	1.1	8.0	6.7	2.2	23	9.5	100
Eastern Asia	China, Taiwan Province of	21	7.4	7.6	6.8	0.63	0.73	17	1.8	0.31	36	1.2	100
Eastern Asia	Democratic People's Republic of Korea	0	0	0	0	0	91	0	0	0	0.29	9.1	100
Eastern Asia	Japan	13	30	0.92	6.3	0.76	2.5	27	5.8	0.21	13	0.090	100
Eastern Asia	Mongolia	4.5	0	0	94	2.2.E-04	0.22	1.0	0	0	4.6.E-03	7.7.E-04	100
Eastern Asia	Republic of Korea	23	6.6	1.5	7.3	0.40	1.2	6.2	0.50	0.077	53	0.39	100
South-Eastern Asia	Brunei Darussalam	4.0	0.10	0.055	0.094	0.14	0	0	95	0	0.39	0	100
South-Eastern Asia	Cambodia	6.6.E-03	26	0.020	7.2.E-03	0	0.15	15	54	0.41	4.4	0.027	100
South-Eastern Asia	Indonesia	21	0.6	0.14	1.1	0.34	9.4	65	0.040	1.9	0.99	0.10	100
South-Eastern Asia	Lao People's Democratic Republic	40	51	4.6	0	0	0	4.5	0	0	0	0	100
South-Eastern Asia	Malaysia	14	0.54	0.44	0.88	1.8	0.14	80	0.37	0.26	1.7	0.15	100
South-Eastern Asia	Myanmar	0.29	0.72	4.3	0	0	0.34	9.4	37	2.4	0.61	45	100
South-Eastern Asia	Philippines	0.48	0.58	11	0.54	6.8	0.046	77	9.8.E-03	4.7.E-03	3.9	0.058	100
South-Eastern Asia	Thailand	1.9	9.0	7.4	2.9	0.26	0.56	1.9	64	0.12	11	0.43	100
South-Eastern Asia	Timor-Leste	99.982	0	0	0	0	0	0.018	0	0	0	0	100
South-Eastern Asia	Viet Nam	19	9.98	1.3	0.15	0.13	7.4	0.94	57	3.2	0.25	0.29	100
Southern Asia	Afghanistan	0	1.2	50	0	0.023	23	15	0	3.6	0	7.0	100
Southern Asia	Bangladesh	2.9	3.2	2.7	6.1.E-03	8.6.E-04	69	8.0	1.7	0.77	11	0.37	100
Southern Asia	India	5.8	10	1.4	13	0.53	6.2	24	26	4.5	6.8	1.7	100
Southern Asia	Iran (Islamic Republic of)	4.7	18	19	3.4	6.9	33	2.2	0.80	1.5	2.2	8.5	100
Southern Asia	Maldives	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Southern Asia	Nepal	15	20	7.0	5.8	0.14	4.5	13	0.66	7.2	0.94	26	100
Southern Asia	Pakistan	0.013	5.6	1.1	0.56	0.11	5.4.E-03	0.67	91	0.086	0.32	0.17	100
Southern Asia	Sri Lanka	55	13	1.5	0.74	0.076	1.0	15	1.6	9.7	0.18	1.7	100
Western Asia	Armenia	50	1.4	29	6.9	3.2	2.9	1.6	0	0.88	3.5	1.1	100
Western Asia	Azerbaijan	8.5	5.6	23	8.1	7.2.E-03	12	15	0.076	0.73	25	2.1	100
Western Asia	Cyprus	3.1	10	24	24	26	1.7	3.8	0.54	0.020	5.1	1.7	100
Western Asia	Georgia	14	18	21	1.8	0.88	32	2.1	0.31	2.5	7.5	0.68	100
Western Asia	Iraq	5.9.E-04	0.30	99	0.011	7.6.E-04	0.033	0.045	0.082	1.6.E-03	0.038	0.013	100
Western Asia	Israel	6.3	7.3	23	9.8	0.94	4.3	5.0	0.21	0.80	36	5.8	100
Western Asia	Jordan	4.2	6.1	8.5	43	10	0.19	7.7	1.4	2.6	7.7	7.6	100
Western Asia	Kuwait	1.6	18	26	4.1	27	6.4	6.1	3.5	0.19	7.3	0.39	100
Western Asia	Lebanon	8.3	15	35	14	1.6	3.2	12	0.61	0.95	6.7	2.7	100
Western Asia	Oman	2.6	14	1.8	6.4	40	0.011	22	9.0	0.059	2.7	1.3	100
Western Asia	Saudi Arabia	1.4	6.5	17	12	41	0.12	9.3	1.1	0.61	8.4	2.3	100
Western Asia	Turkey	9.6	38	8.9	7.7	0.79	9.0	10	3.4	0.67	7.1	4.1	100
Western Asia	United Arab Emirates	2.9	4.9	3.6	1.6	4.8	0.11	14	59	0.75	5.7	2.3	100
Western Asia	Yemen	11	21	35	2.7	6.6	1.6	4.7	5.3	0.66	2.6	8.2	100

注釈) 各略称は表 4.8 と同様である。ただし、各推計値は輸出 total water 必要量の品目別シェア[%]である。また、「n.a.」は評価対象外を表す。なお、モルディブの輸出 total water 必要量は 0 であるため、同国に関しては百分率への変換の対象から除外した。

東アジアでは、すべての国が純輸入国に分類される。たとえば、中国本土における国内生産に起因する total water 必要量は 2,257 km<sup>3</sup>、最終需要に起因する total water 必要量は 1,682 km<sup>3</sup> であり、それぞれ同国の供給サイドの total water 必要量 (2,460 km<sup>3</sup>) の約 91.8 %、同国の需要サイドの total water 必要量 (2,146 km<sup>3</sup>) の約 91.9 % を占めている。また、同国では、輸入 total water 必要量 (198 km<sup>3</sup>) は、輸出 total water 必要量 (42 km<sup>3</sup>) を上回っている。そのため、中国は純輸入国に分類される。同国の輸入 total water 必要量を品目別に見ると、油糧作物・油類は 154 km<sup>3</sup> と最も大きく、次いで、穀物類は 16 km<sup>3</sup>、肉類は 9.7 km<sup>3</sup> である。同国は 50 百万トンの大豆 (本研究では油糧作物・油類に分類) を輸入しているが、これは 98 km<sup>3</sup> の輸入 total water 必要量に相当し、同国の油糧作物・油類の輸入 total water 必要量 (154 km<sup>3</sup>) の約 64.1 % を占めている。同国の大豆輸入は、大豆の輸出と最終需要を賄うために行われていると考えられる。実際、同国では、大豆の輸出量は 281 千トン (0.73 km<sup>3</sup>) であるが、大豆の国内消費量は 62 百万トンであり、後者の中に最終需要量の 5.2 百万トン (14 km<sup>3</sup>) が含まれている。これに対して、同国において、大豆の国内生産量は 15 百万トン (39 km<sup>3</sup>) であり、同国の国内消費量を下回っている。同

国では、大豆は主にアメリカ合衆国（22 百万トン）やブラジル（18 百万トン）から輸入されており、それぞれ中国本土の大豆輸入量の合計（50 百万トン）のうちの約 45.0 %と 36.6 %を占めている。中国本土における大豆の廃棄量は 939 千トンであるため、国内消費量（62 百万トン）から最終需要量（5.2 百万トン）と廃棄量を差し引けば、残りの国内消費量は 56 百万トンとなり、元の国内消費量の約 90.0 %を占めている。よって、最終需要量と廃棄量は国内消費量のわずか 10.0 %にすぎないため、同国では、大豆需要の大部分が中間需要、種子用、その他利用といった直接食用とされない需要に回されていることがわかる。よって、中国本土は直接食用として利用されない需要を満たすために、多量の大豆を輸入しているといえる。

#### 4.4.4 既往文献値の比較

次に、本研究の推計値と既往文献値を比較する。本研究では、中国本土の輸入に起因する blue water 取水量（輸入 blue water 取水量）は 11 km<sup>3</sup>、同国の輸出に起因する blue water 取水量（輸出 blue water 取水量）は 6.4 km<sup>3</sup>と推計された。それぞれの推計値は、Han et al. (2017) によって推計された輸入量（14 km<sup>3</sup>）と輸出量（7.0 km<sup>3</sup>）にほぼ整合している。また、Zhang and Anadon (2014) は、中国本土の取水量ベースと消費量ベースの淡水資源必要量をそれぞれ評価し、各々 360 km<sup>3</sup> および 222 km<sup>3</sup> と推計している。前者は本研究で推計した、最終需要に起因する blue water 取水量（669 km<sup>3</sup>）よりも低い。これに対して、後者は本研究の最終需要に起因する blue water 消費量の推計値（131 km<sup>3</sup>）よりも高い。ここで、blue water 消費量は、消費量ベースの淡水資源必要量を表し、(4.11)式（前述、4.3.3.2 節）の灌漑効率を 1.0 とした場合の淡水資源必要量を表す。したがって、blue water 消費量は、取水量ベースの淡水資源必要量ではないため、blue water 取水量とは異なるものであることに留意する必要がある。両者の差異は、本研究と Zhang and Anadon (2014) との間の推計モデルの違いによって引き起こされた可能性がある。すなわち、本研究では、blue water 取水量を推計する際に、コメの灌漑効率として 0.1 という低い値を適用した結果、コメの blue water 取水量が blue water 消費量よりも 5 倍程度高くなったことによるものと考えられる。Han et al. (2017) と Zhang and Anadon (2014) では、双方とも他地域産業連関表（Multi-regional output-input table; MRIO）を用いた産業連関分析により、淡水資源取水量および淡水資源消費量が推計されているが、green water には言及していない。加えて、両文献とも評価対象の品目分類は本研究よりも粗いものとなっており、農業部門および食品・飲料品部門の 2 部門のみに分類されているため、各部門におけるそれ以上のより詳細な品目分類については明らかにされていない。したがって、MRIO よりも広範囲の品目分類を用いた分析を実施することによって、より詳細な品目を反映した推計が可能となる。

加えて、中国本土の最終需要に起因する 1 人あたりの total water 消費量（green water 消費量と blue water 消費量との和）を既往文献値と比較すると、本研究の推計値は Mekonnen and Hoekstra (2011b) の推計値とほぼ整合している。同文献では、品目ごとに total water 消費量が評価されている。本研究の推計値では、肉類・卵は最も大きい 1 人あたり total water 消費量（375 m<sup>3</sup>/capita）を示しており、次いで、穀物類（106 m<sup>3</sup>/capita）、コメ（99 m<sup>3</sup>/capita）、野菜類（76 m<sup>3</sup>/capita）、ワインを除く果物類（以下、果物類と表記）

(73 m<sup>3</sup>/capita), 油糧作物・油類 (46 m<sup>3</sup>/capita), バターを除く乳製品類 (以下, 乳製品類と表記) である. この傾向は, Mekonnen and Hoekstra (2011b) の文献値とほぼ整合している. すなわち, 同文献によると, 肉類・卵 (301 m<sup>3</sup>/capita) が最も大きい 1 人あたり total water 消費量を示しており, 次いで, 穀物類 (138 m<sup>3</sup>/capita), コメ (109 m<sup>3</sup>/capita), 野菜類 (57 m<sup>3</sup>/capita), 果物類 (48 m<sup>3</sup>/capita), 油糧作物・油類 (43 m<sup>3</sup>/capita), 製品類 (14 m<sup>3</sup>/capita) である. 同文献では, green water と blue water の両方が言及されている.

次に, 本研究の推計値について, 1 人あたり blue water 消費量に灌漑効率を加味して 1 人あたり blue water 取水量に換算し, 1 人あたり green water 消費量と 1 人あたり blue water 取水量の和 (1 人あたり total water 必要量) をとる. その結果, 中国本土の最終需要に起因する 1 人あたり total water 必要量は, 肉類・卵 (420 m<sup>3</sup>/capita) が最も大きく, 次いで, コメ (373 m<sup>3</sup>/capita), 穀物類 (161 m<sup>3</sup>/capita), 野菜類 (79 m<sup>3</sup>/capita), 果物類 (78 m<sup>3</sup>/capita), 油糧作物・油類 (50 m<sup>3</sup>/capita), 乳製品類 (41 m<sup>3</sup>/capita) である. この傾向は, Mekonnen and Hoekstra (2011b) とほぼ整合している. すなわち, コメの 1 人あたり total water 消費量に焦点を当てると, Mekonnen and Hoekstra (2011b) による推計値は 3 番目に大きい値を示している. しかし, 本研究では, コメは 2 番目に大きい 1 人あたり total water 必要量となっている. 本研究では, green water 消費量と blue water 取水量の和として total water 必要量を推計しており, その際に blue water は取水量ベースの淡水資源必要量として推計するためにコメの灌漑効率を 0.1 と設定した. これに対して, Mekonnen and Hoekstra (2011b) は green water 消費量と blue water 消費量の和, すなわち消費量ベースの淡水資源必要量として total water 消費量を推計した. 本研究の推計値と Mekonnen and Hoekstra (2011b) のその間で生じた違いは, 淡水資源必要量について消費量ベースと取水量ベースの違いによって生じたものと考えられる. しかし, 1 人あたり total water 必要量の傾向は既往文献とほぼ整合していることを踏まえると, 本研究で推計した total water 必要量は, おおよそ妥当なものであると推察される.

#### 4.4.5 パーム油に焦点を当てたマレーシアとインドネシアの比較

マレーシアではパーム油の輸出 total water 必要量は 63 km<sup>3</sup> であり, これは同国の油糧作物・油類の輸出 total water 必要量の総量 (75 km<sup>3</sup>) の約 84 % を占めている. マレーシアのパーム油の主要輸出先を見ると, マレーシアは中国本土 (14 km<sup>3</sup>), 日本 (2.3 km<sup>3</sup>), および韓国 (1.4 km<sup>3</sup>) を中心に東アジアに向けてパーム油を活発に輸出している. 中国本土における油糧作物・油類の輸入 total water 必要量は 154 km<sup>3</sup> であり, これは同国の輸入 total water 必要量の総量 (198 km<sup>3</sup>) の約 77.6 % を占めている. したがって, マレーシアは主に東アジア向けの輸出のために, パーム油を活発に生産していることがわかる. また, マレーシアにおけるパーム油の国内生産に起因する total water 必要量は 67 km<sup>3</sup> であり, これは同国のパーム油の輸出 total water 必要量にほぼ等しい. マレーシアの油糧作物・油類の国内生産に起因する total water 必要量は 82 km<sup>3</sup> であり, その大部分が輸出に回されている可能性がある. 一方, インドネシアは 67 km<sup>3</sup> のパーム油を輸出している. マレーシアとインドネシアを比較すると, total water 必要量に換算して, マレーシアは 6.6 km<sup>3</sup>, インドネシアは 0.30 km<sup>3</sup> のパーム油をそれぞれ輸入している. また, マレーシアにおけるパーム油の国内生産に起因する total water 必要量は, インドネシアにおけるパー

ム油の国内生産に起因する total water 必要量 (88 km<sup>3</sup>) よりも低い。淡水利用の観点から見れば、マレーシアはパーム油の国内生産や輸出を軽減させることによって淡水消費を緩和できる可能性がある。

FAOSTAT の人口統計 (FAO, 2010) によると、基準年において、マレーシアの人口は約 28.1 百万人、インドネシアの人口は約 243 百万人である。そこで、マレーシアとインドネシアにおけるパーム油の国内生産に起因する total water 必要量を、各々の人口で除すことにより、マレーシアの 1 人あたり total water 必要量は 2,369 m<sup>3</sup>/capita、インドネシアの 1 人あたり total water 必要量は 362 m<sup>3</sup>/capita となる。一方で、Afriyanti et al. (2016) によると、インドネシアにおけるスマトラ島とカリマンタン島だけで、インドネシアのパーム油のプランテーションの 95% を占めている。したがって、基準年において、インドネシアにおけるパーム油の国内生産量の総量 (21.5 百万トン) の 95% に相当する 20.4 百万トンが上記 2 州で生産されている状況を仮定した場合、パーム油の国内生産に起因する total water 必要量は 84 km<sup>3</sup> と再推計される。そこで、この推計値を基準年におけるスマトラ島の人口 (50.6 百万人) およびカリマンタン島の人口 (14.5 百万人) の和で除せば、パーム油の国内生産に起因する total water 必要量は 1,296 m<sup>3</sup>/capita と再推計される。ここで、上記 2 島の人口は Badan Pusat Statistik (BPS 2019) の統計データより取得し、スマトラ島の人口は 10 州の人口の和、カリマンタンの人口は 2010 年においてデータ欠損が見られた 1 州 (Kalimantan Utara) を除く 4 州の人口の和とした。なお、FAOSTAT の人口統計 (約 243 百万人) と BPS の人口統計 (約 238 万人) との間で、基準年におけるインドネシアの人口データに僅かな差異が存在していたことを注記しておく。パーム油の国内生産に起因する 1 人あたりの total water 必要量をマレーシアとインドネシアで比較すると、前者が後者よりも高い。マレーシアは、パーム油の国内生産のために、1 人あたりの平均でインドネシアよりも多くの淡水資源量を消費していることがわかる。

表 4.7 より、マレーシアとインドネシアの国内生産に起因する total water 必要量を比較すると、前者 (115 km<sup>3</sup>) は後者 (576 km<sup>3</sup>) よりも低い。しかし、それぞれを国内生産に起因する 1 人あたり total water 必要量に換算すると、前者 (4,088 m<sup>3</sup>/capita) は後者 (2,400 m<sup>3</sup>/capita) よりも高い。また、AQUASTAT (FAO, 2012) における基準年の淡水資源賦存量の欠損データを 2012 年のものに置き換えた上で、淡水資源賦存量に対するパーム油の国内生産に起因する total water 必要量の比をとった結果、マレーシアとインドネシアはそれぞれ、0.11 と 0.044 となり、前者は後者よりも高い淡水消費負荷を示している。

加えて、Mekonnen and Hoekstra (2011b) によると、マレーシアのパーム油の生産では、blue water は消費されないものの、green water は消費されており、その量は 3,737 m<sup>3</sup>/ton である。また、インドネシアについても、パーム油の生産に blue water は消費されないが、green water は 4,095 m<sup>3</sup>/ton 程度消費されている。この時、両国では、パーム油の生産のために blue water は消費されない。すなわち、両国の単位生産量あたりのパーム油の green water を比較すると、マレーシアはインドネシアよりも低い。実際、total water 必要量の総量を 2 国間で互いに比較した時、マレーシアの淡水消費はインドネシアよりも低い。また、パーム油の国内生産量を見ると、たとえ淡水消費の観点から基準年におけるパーム油の生産が持続可能とはいえないとしても、マレーシア (17.8 百万トン) はパーム油の世界全体の生産量 (45.6 百万トン) の約 39.1% を生産しているため、マレーシアにとっては輸

出向けパーム油の国内生産は重要な経済活動であるといえる。これは淡水消費と経済利益との間にトレードオフ関係が存在することを表している。

次に、追加の考察として、マレーシアとインドネシアにおけるパーム油の国内生産に起因する **total water** 必要量の簡易な将来推移の予測を試みた。ここでは、予測モデルを簡易なものにするために、**total water** 必要量と将来人口との間で正の比例関係を仮定し、それ以外の要因がすべて変化しない状況を想定する。この場合、マレーシアとインドネシアにおける国内生産に起因する **total water** 必要量の将来推計値は、各々の 1 人あたり **total water** 必要量に各該当国の 2050 年時点の予測人口（マレーシアは約 41 百万人、インドネシアは約 331 百万人）を乗じることによって推計される。ここで、これら 2 カ国の将来予測人口は UNDESA (2019) より取得した。その結果、2050 年時点における、マレーシアとインドネシアの国内生産に起因する **total water** 必要量はそれぞれ、 $96 \text{ km}^3$  および  $120 \text{ km}^3$  まで達することが予測される。たとえば、マレーシアについては、2010 年時点のパーム油の国内生産に起因する **total water** 必要量は  $67 \text{ km}^3$  である。したがって、このような状況下で、マレーシアにおいて 2010 年時点の水準を維持するためには、マレーシアは 2050 年時点で  $29 \text{ km}^3$  (1 人あたり **total water** 必要量に換算して  $727 \text{ m}^3/\text{capita}$ ) までパーム油の国内生産に起因する **total water** 必要量を減少させる必要がある。この予測値は、2050 年までに減少させる必要のある **total water** 必要量に相当するが、2010 年時点の **total water** 純輸出量 ( $56 \text{ km}^3$ )、すなわち輸出 **total water** 必要量から輸入 **total water** 必要量を減じて推計された量よりも低い。なお、2010 年時点では、マレーシアは 17 百万トン (**total water** 必要量に換算して  $63 \text{ km}^3$ ) のパーム油を世界中に輸出している。マレーシアのパーム油の主要な輸出先は、中国本土の 3.8 百万トン (同  $14 \text{ km}^3$ ) であるが、これはマレーシアのパーム油の総輸出量の約 23% を占めており、次いで、パキスタンの 1.7 百万トン (同  $6.4 \text{ km}^3$ )、インドの 1.2 百万トン (同  $4.3 \text{ km}^3$ ) である。一方で、インドネシアは世界中に 16 百万トン (同  $67 \text{ km}^3$ ) のパーム油を輸出している。その一部はマレーシアに向けて輸出されており、その量は 1.5 百万トン (同  $6.2 \text{ km}^3$ ) であるが、これはインドネシアのパーム油の総輸出量の約 9.2% を占めている。この量は、インド向け輸出量の 4.3 百万トン (同  $18 \text{ km}^3$ ) や、中国本土向け輸出量の 2.5 百万トン (同  $10 \text{ km}^3$ ) よりも低い。なお、マレーシアから輸出されるパーム油の総量は 17 百万トンであるが、インドネシアから輸出されるパーム油の総量は 16 百万トンであり、前者が後者よりも高い。

将来的な人口増加によるパーム油の国内生産量の拡大によって、マレーシアにおけるパーム油の国内生産に起因する淡水資源必要量を高められ、**green water** の追加消費や現在生じていない **blue water** の消費を誘発する可能性がある。そこで、一つの生産抑制の代替案として、仮にインドネシアがパーム油の国内生産に起因する **total water** 必要量を現行のマレーシアと同じ水準 ( $3,737 \text{ m}^3/\text{ton}$ ) まで低下させれば、前述した極端な前提条件と同じ状況下であっても、インドネシアは 2050 年時点で 2.8 百万トン (**total water** 必要量に換算して  $10 \text{ km}^3$ ) のパーム油を追加生産できることになり、現行の生産水準よりもパーム油の生産量が高くなる。したがって、仮にマレーシアがインドネシアで追加生産された  $10 \text{ km}^3$  に相当するパーム油をすべてインドネシアから輸入できるようになれば、マレーシアにはインドネシアからのパーム油を輸入する機会が創出され、マレーシアは輸入パーム油の生産に消費された **total water** 必要量と同じ程度の **total water** 必要量を節減できるよう



になると考えられる。次の一步として、パーム油の生産拡大に伴う **total water** 必要量の増加をおさえるためには、マレーシアとインドネシアの両国において、食料生産技術の改善、淡水利用管理、資源管理が重要になるといえる。

マレーシアにおける人口増加によるパーム油の国内生産量の拡大は、同国の森林伐採を加速させる恐れがある。Varkkey et al. (2018) によると、マレーシアは年々のパーム油生産地の拡大に伴う森林伐採を抑制するために、「マレーシア政府による森林被覆地の 50 % を維持する自主公約」を掲げている。上記のような極端な例を考えた場合、仮にマレーシアにおいて生産性や技術の改善が将来見込まれなければ、耕作地の拡大による森林伐採の抑制は難しくなることが予想される。また、原口 (2014) によると、泥炭地におけるパーム油の長期間にわたる生産は表面土壌や栄養塩類の流出を引き起こすため、パーム油生産に長期間同じ土地を利用し続けることは難しい。これは、泥炭地の長期利用に伴う土壌劣化のために、同じ耕作地においてパーム油を生産し続けることの難しさを示唆する。

ここで、Afriyanti et al. (2016) によると、インドネシアのパーム油プランテーションは、その大部分がスマトラ島とカリマンタン島に分布しており、同国のパーム油プランテーションの約 95 % を占めている。Afriyanti et al. (2016) は、両地域において、泥炭地からパーム油プランテーションへの転換が 1995 年から 2000 年まで増加傾向が続いていることを指摘した。たとえば、スマトラ島では、2005-2010 年の期間において、泥炭地からパーム油プランテーションへの転換面積は約 1.4 Mha であると推計されており、これは 1990-2000 年の期間における転換面積の約 0.4 Mha よりも大きい。スマトラ島は Afriyanti et al. (2016) における評価対象の 3 地域 (スマトラ島、カリマンタン島、およびパプア島) の中で、最も規模の大きい生産地である。Pirker et al. (2016) によると、インドネシアでは、泥炭地は土壌の排水機能が不十分であり、他の土壌はしばしば土壌中の有機物の水準が高い。Afriyanti et al. (2016) による 2010-2015 年におけるインドネシアのパーム油プランテーションの面積を見ると、パーム油は非泥炭地と泥炭地の両方で生産されており、その区分内訳は、湿地帯または湿地帯低木地 (541 kha, 36 % が泥炭土壌)、森林地帯 (原生林は 540 kha, 二次林は 45 kha, それぞれ 33 % と 25 % が泥炭土壌)、木材プランテーション (130 kha, 35 % が泥炭土壌) である。

また、Austin et al. (2017) は、国レベルの推計として、インドネシアにおける 5 分の 1 のパーム油のプランテーションが、2010-2015 年の間に 619 kha まで拡大したことを述べた。泥炭地がパーム油のプランテーションに転換される際、以前の他の利用による土地または排水機能の劣化の可能性を加味しない場合、2010-2015 年における拡大面積は、1995-2000 年における拡大面積 (305 kha) の約 2 倍に相当する。また、Austin et al. (2017) によると、インドネシアにおける森林伐採の面積は、1995-2000 年から 2010-2015 年までの期間に 788 kha から 585 kha まで縮小しており、この期間は減少傾向にあることを述べた。しかし、2000-2005 年の期間では、森林伐採の面積は 357 kha であり、すべての期間の中で最小値であった。また、2005-2010 年における森林伐採の面積は 616 kha となり、2000-2005 年と比較してリバウンドしたことがわかる。加えて、Austin et al. (2017) は、新たなプランテーションの拡大を目的とした森林伐採は、原生林 (5.1 %) よりも二次林 (94.9 %) で多く生じていることを述べた。

このように、パーム油の生産量の拡大は、マレーシアの森林伐採を加速させる恐れがあ

る。そこで、前述したように、仮にマレーシアのパーム油の生産量の拡大分をインドネシアからの輸入で賄う場合を想定すれば、次の段階として、マレーシアの森林地帯の減少を緩和させるためには、インドネシアにおけるパーム油の生産に起因する淡水消費効率を改善させることが有効な対策となる可能性がある。

別の対策の選択肢として、前述したマレーシアのパーム油の追加輸入を減少させる場合を考えると、マレーシアとインドネシアそれぞれの **green water** 消費量を減らすために、パーム油をより環境に良い品目に置き換えることが有効となる可能性がある。そこで、本研究では、この対策の有効性についても試算した。FAO (2002) によると、アブラヤシは外果皮、中果皮、内果皮、および核の 4 つの部分から構成される。パーム油はアブラヤシの果肉または中果皮から抽出される。これに対して、パーム核油はアブラヤシの核から抽出され、パーム油とは化学組成や用途が異なる。FAOSTAT では、ある程度の変動が含まれているものの、パーム油の抽出率は 17 %から 27 %として定義されている (FAO, 2010-2017)。他方、パーム核油の抽出率は 4 %から 10 %として定義されている。この点を踏まえると、アブラヤシは両方の油を供給できるため、アブラヤシの生産に起因する淡水消費について概観することは意義がある。ここで、マレーシアとインドネシアの両国において、トウモロコシはパーム油よりも少ない淡水消費で生産できるため、トウモロコシをパーム油の代替品として設定する場合を考える。

FAOSTAT の生産統計 (FAO, 2010-2017) によると、インドネシアにおけるトウモロコシの国内生産量は 2010 年から 2017 年までの間に、19 百万トンから 28 百万トンまで増加した。これに対して、マレーシアでは、2010 年から 2017 年までにかけて、トウモロコシの国内生産量は 2010 年の 48 千トンから 73 千トンまで増加した。また、Mekonnen and Hoekstra (2011b) の文献値より、トウモロコシの生産に要する単位生産量あたりの淡水資源消費量を見ると、インドネシアでは、**green water** は 1,349 m<sup>3</sup>/ton, **blue water** は 36 m<sup>3</sup>/ton である。これに対して、マレーシアでは、前者は 990 m<sup>3</sup>/ton, 後者は 33 m<sup>3</sup>/ton である。ここで、単位生産量あたり **green water** 消費量と単位生産量あたり **blue water** 消費量の和に、国内生産量を乗じることにより、インドネシアにおけるトウモロコシの **total water** 消費量は、2010 年では 25 km<sup>3</sup>, 2017 年では 39 km<sup>3</sup> と推計される。マレーシアに関しても同様に推計すると、2010 年では 49 百万 m<sup>3</sup>, 2017 年では 74 百万 m<sup>3</sup> となる。

一方、インドネシアにおけるアブラヤシの国内生産量は、2010 年から 2017 年の間に、98 百万トンから 158 百万トンまで増加した。これに対して、マレーシアでは、2010 年から 2017 年までにかけて、アブラヤシの国内生産量は 83 百万トンから 102 百万トンまで増加した。Mekonnen and Hoekstra (2011b) の文献値より、アブラヤシの単位生産量あたり淡水資源消費量を見ると、インドネシアはアブラヤシの生産のために **green water** のみ 2,362 m<sup>3</sup>/ton だけ消費しており、**blue water** を消費していない。また、マレーシアはアブラヤシの生産のために **green water** を 2,156 m<sup>3</sup>/ton だけ消費しており、**blue water** を消費していない。各国におけるトウモロコシとアブラヤシを比較すると、前者は後者よりも単位生産あたりの淡水資源必要量が高い。これは、両国において、仮にアブラヤシからトウモロコシに生産が移行すれば、トウモロコシは両国にとってより環境に良い品目になり得る可能性があることを示唆する。そこで、各国の 2010 年から 2017 年までのトウモロコシの収量の変化を比較すると、インドネシアでは、2010 年の収量は 4,436 kg/10 a であっ

たが、2017年には5,200 kg/10 aまで収量が増加した。これに対して、マレーシアでは、2010年から2017年までの間に、553 kg/10 aから692 kg/10 aまで収量が増加した。同様に、各国の2010年から2017年までのアブラヤシの収量の変化を比較すると、インドネシアでは、2010年の収量は16,920 kg/10 aであったが、2017年には17,067 kg/10 aまで収量が増加した。これに対して、マレーシアでは、2010年から2017年までの間に、17,119 kg/10 aから19,907 kg/10 aまで収量が増加した。これらすべての収量データは、FAOSTATの生産統計（FAO, 2010-2017）の統計データに基づいて推計した。これらの収量の比較は、両国において、アブラヤシの収量はトウモロコシのそれよりもはるかに大きいものであり、一年中収穫できるアブラヤシの卓越した生産性の高さを示している。したがって、両国において、アブラヤシの顕著な生産性の高さを考慮すれば、トウモロコシの生産量は2010年から2017年までの増加傾向を示しているとはいえ、現行で生産されているすべてのアブラヤシをトウモロコシに置き換えることは非現実的であると考えられる。

したがって、アブラヤシの卓越した生産性の高さが存在する状況の下では、アブラヤシの生産性を改善する取り組みを続けることが重要である。本研究の試算では、トウモロコシをアブラヤシに置き換えることがより環境に良いと見なしたが、この前提条件の下では、適切な管理の下で、徐々にアブラヤシからトウモロコシに生産を置き換えることは現実的に難しいことが示唆された。ただし、生産体制の変化や生産管理の効果を加味した、より詳細な分析に関しては、本研究における分析の範疇を越えているため、本研究の今後の課題である。

# 第5章 生産ベースと消費ベースの淡水資源需給バランスの評価

## 5.1 推計の流れ

図 5.1 に生産ベースと消費ベースの淡水資源需給バランスの逼迫度（“淡水需給逼迫度”）の推計フローを示す。同図では、生産ベースと消費ベースの blue water 取水量（第4章）から、生産ベースと消費ベースの淡水需給逼迫度を推計し、これに要因分解分析を適用して、各々の増減要因を分析するまでの一連の流れを示した。

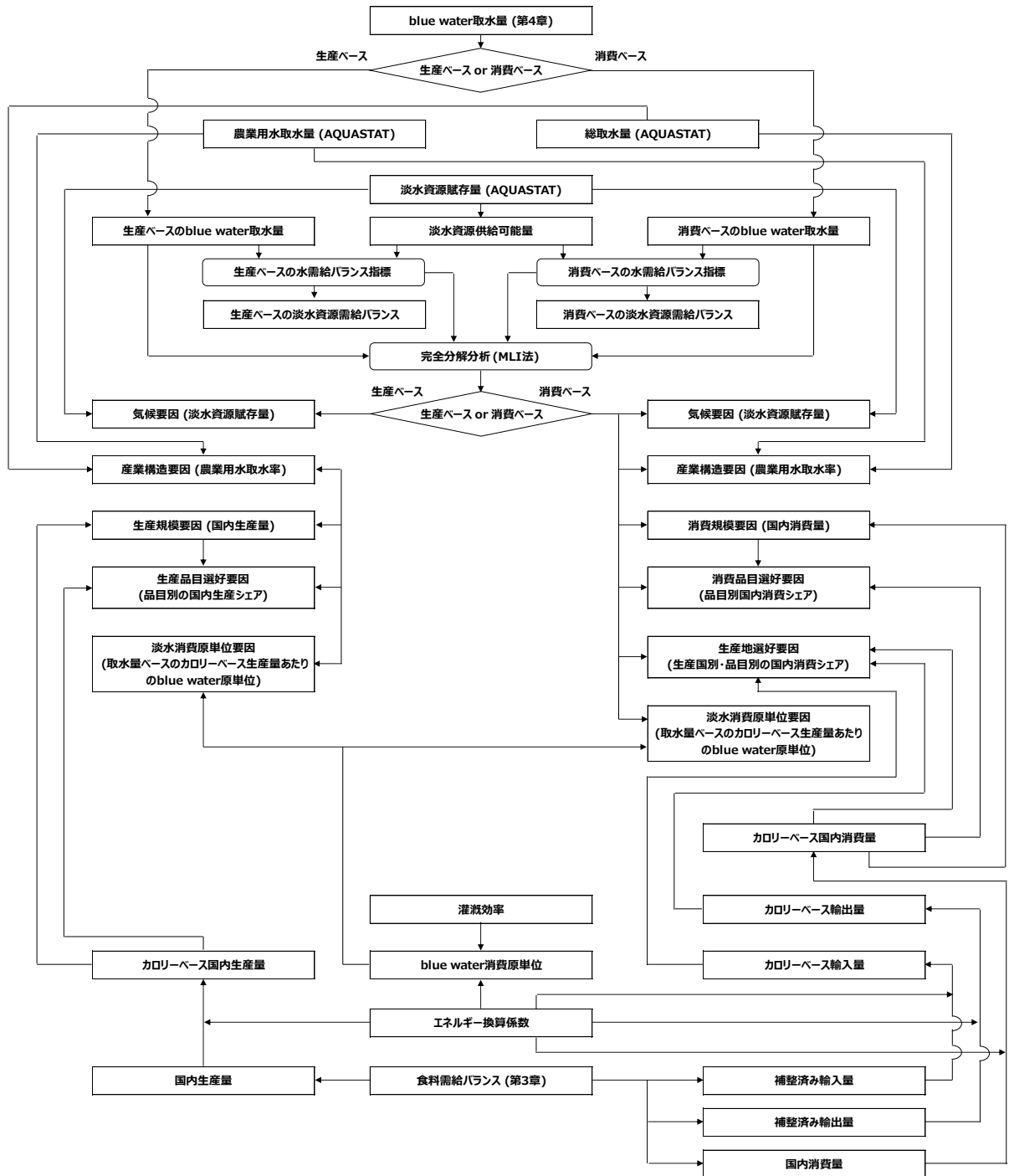


図 5.1 生産ベースと消費ベースの淡水資源需給バランスの推計フロー

## 5.2 淡水資源需給バランスの評価

### 5.2.1 水ストレス指標の概要

Raskin et al. (1997) は, use-to-resource ratio (資源量に対する利用量の比) に基づいて, 水ストレス指標を定義し, 淡水需給逼迫度を世界規模で評価した. 同文献では, 年淡水取水量を年淡水賦存量で除すことにより, 水ストレス指標が定義されている. 同文献は, 1995 年と 2025 年における各国の水ストレス強度を推計し, これを 4 段階の強度に分けて評価している. 同文献は水ストレス強度を 4 段階に分類し, 0.1 未満は分類 1, 0.1-0.2 は分類 2, 0.2-0.4 は分類 3, 0.4 より高い場合は分類 4 としており, それぞれを no stress, low stress, stress, および high stress と呼んでいる.

水ストレス指標の一つである withdrawals to availability ratio (利用可能量に対する取水量の比) ("WWR") は, 既往文献においてしばしば利用されている (たとえば, Arnell, 1999; Vörösmarty et al., 2000; Oki et al., 2001). Arnell (1999) は従来型発展シナリオに気候変動シナリオを加味した場合としない場合の両方に関して, 4 期間 (1990 年, 2025 年, 2050 年, 2085 年) を対象に水ストレス強度を世界規模で評価した. Vörösmarty et al. (2000) は, 年平均地表・地下流出量 (河川流量の累積値) に対して, 国内部門, 産業部門, および灌漑農業部門の 3 部門を合わせた年平均取水量の比をとることにより, 水ストレス指標を定義し, 世界規模で水ストレス強度を評価した. Oki et al. (2001) は, 年淡水賦存量に対して, 年淡水取水量から脱塩水量を減じたものとの比をとることにより, 水ストレス指標を定義し, 世界規模で水ストレス強度を評価した.

一方で, 既往文献において, WWR 以外にも様々な水ストレス指標が考案されている (Alcamo et al., 2007; Hanasaki et al., 2008). Alcamo et al. (2007) は consumption to Q90 ratio (90 パーセントイル月流量 ("Q90") に対する平均月取水量の比) ("CQ90") を考案した. ここで, Q90 は乾燥状況下で生じる月河川流量の尺度である. 同文献は, CQ90 と比較した場合の WWR の利点として, CQ90 で要求される消費量データよりも容易に, 多くの部門や国の取水量データが利用可能であることを述べている. 一方で, 同文献によると, CQ90 と比較した場合の WWR の欠点として, 後者の水ストレス強度の閾値に対する物理的な解釈が, 前者のそれよりも困難であることが挙げられている. また, Hanasaki et al. (2008) は cumulative withdrawal to demand ratio (淡水需要量に対する累積取水量の比) ("CWD") を考案した. WWR を用いた場合の欠点として, Hanasaki et al. (2013) によると, 年平均河川流量を推計する際に, 洪水リスクや飢餓リスクの頻度や規模の増加による河川流量の変化が平準化され, これらのリスクを非意図的に過小評価する恐れがあるとされている.

以上をまとめると, 他の 2 つの指標と比べて, WWR は多くの部門や国の淡水資源必要量に関連するデータがより容易に利用可能であるといえる. しかし, 気候変動の影響を加味した淡水需給逼迫度を評価する場合, WWR では季節変動の影響を十分に反映させることが難しいという欠点が存在する.

なお, 水ストレス指標は, その分子に生産側の淡水資源必要量が用いられるため, 生産側の淡水需給逼迫度の評価を目的としたものであると考えられる. したがって, この指標を消費ベースの淡水需給逼迫度の評価に用いることは適切ではないと考えられる. そのた

め、消費ベースの淡水需給逼迫度を評価するためには、水ストレス指標とは異なる指標を用いることが必要であると考えられる。

また、4.2.1 節で述べたように、green water (天水) と blue water (灌漑用水) の関係性を見ると、blue water は、green water では賄えない分の淡水消費を補うために利用されているものである。すなわち、green water のみで淡水消費を賄える場合、blue water を利用する必要はないといえる。上記の既往文献において、水ストレス指標の分母には、主に河川流量が用いられている。地表水・地下水から人為的に取水される淡水資源が blue water に相当するため、水ストレス指標の分母には、blue water 取水量を用いることが適切であると考えられる。以上の点を踏まえると、水ストレス指標による淡水需給逼迫度の評価では、blue water のみを対象とすることが適切であり、green water を対象に含めることは適切ではないと考えられる。したがって、淡水需給逼迫度の評価では、その対象を blue water のみとする必要があると考えられる。

## 5.2.2 淡水資源需給バランスの推計

### 5.2.2.1 淡水資源供給可能量の推計

本研究では、農業に最大限利用可能な淡水資源量として「淡水資源供給可能量」を定義した。すなわち、評価対象国 $c$ の淡水資源供給可能量 $AWR_c$ は、次式(5.1)より推計した。

$$AWR_c = TRWR_c \times \frac{AWW_c}{TWW_c} \quad (5.1)$$

ここで、 $TRWR_c$  は $c$ 国の淡水資源賦存量[ $\text{km}^3/\text{yr}$ ],  $AWW_c$ は $c$ 国の農業用水取水量[ $\text{km}^3/\text{yr}$ ], および $TWW_c$ は総取水量[ $\text{km}^3/\text{yr}$ ]をそれぞれ表す。各変数に関しては、AQUASTAT より、基準年における国別の淡水資源賦存量 (FAO, 2012), 農業用水取水量 (FAO, 1994a-2012a), および総取水量 (FAO, 1994b-2012b) の統計データを取得し、該当する変数の値として用いた。また、基準年値に欠如が見られた国に関しては、基準年に最も近い年の値で代用した。ただし、農業用水取水量と総取水量に関しては、代用する場合であっても、両方で代用データの年を揃えた。したがって、農業用水取水量と総取水量が互いに同一年のもので代用できない国に関しては、農業用水取水量と総取水量の両方が利用不可であると見なし、評価対象国から除外した。

本研究では、食料需給バランスの推計において、216 カ国のうち、国内消費量のデータに欠如が見られた国 (44 カ国) に関しては、すべて評価対象から除外した。加えて、食料需給バランスの評価対象国 (172 カ国) のうち、一部の国 (14 カ国) に関しては、淡水資源賦存量、農業用水取水量、総取水量のいずれかのデータに欠如が見られたため、評価対象から除外した。したがって、淡水資源供給可能量の評価対象国は、食料需給バランスの評価対象国であり、かつ、代用データを使用した場合も含めて、淡水資源賦存量、農業用水取水量、総取水量の3つの統計データがすべて利用可能な国のみとし、評価対象国数は156カ国とした。

### 5.2.2.2 水需給バランス指標の定義

本研究では、生産ベースの淡水需給逼迫度を評価するために、生産ベースの水需給バランス指標を次式(5.2)のように定義した。すなわち、生産ベースの水需給バランス指標は、淡水資源供給可能量に対する生産ベースの blue water 取水量の総和の比として定義した。ここで、生産ベースの blue water 取水量は、生産国側が要する取水量ベースでの blue water (灌漑用水) の消費量を表す。そのため、生産ベースの水需給バランス指標は、blue water の消費を生産国側に割り当てることにより、生産国側の淡水需給逼迫度を評価することが可能になる。なお、従来の水ストレス指標は、生産側の淡水需給逼迫度を評価することを目的としたものである。したがって、生産ベースの水需給バランス指標は、従来の水ストレス指標と同じ意味を持つ。

$$WBI_k^{PB} = \frac{\sum_j (WW_{k,j}^{Blue,PB})}{AWR_k} \quad (5.2)$$

(5.2)式の各添え字に関して、 $j$ は食料品目、 $k$ は生産国、 $PB$ は生産ベース、および $Blue$ は blue water をそれぞれ表す。また、 $WBI_k^{PB}$ は生産国 $k$ における生産ベースの水需給バランス指標、 $WW_{k,j}^{Blue,PB}$ は生産国 $k$ における食料品目 $j$ の生産ベースの blue water 取水量、および $AWR_k$ は生産国 $k$ の淡水資源供給可能量をそれぞれ表す。なお、 $AWR_k$ は(5.1)式を用いて生産国 $k$ ごとに推計した。ここで、 $WW_{k,j}^{Blue,PB}$ は次式(5.3)により推計した。

$$WW_{k,j}^{Blue,PB} = Prod_{k,j} \times \frac{WFI_{k,j}^{Blue}}{IRE_{k,j}} \quad (5.3)$$

(5.3)式において、 $Prod_{k,j}$ は生産国 $k$ における食料品目 $j$ の国内生産量[ton/yr]、 $WFI_{k,j}^{Blue}$ は生産国 $k$ における食料品目 $j$ の単位生産量あたりの blue water 消費量 (“blue water 消費原単位”) [m<sup>3</sup>/ton]、および $IRE_{k,j}$ は生産国 $k$ における食料品目 $j$ の灌漑効率[-]をそれぞれ表す。

次に、消費ベースの淡水需給逼迫度を評価するために、消費ベースの水需給バランス指標を次式(5.4)のように定義した。すなわち、消費ベースの水需給バランス指標は、淡水資源供給可能量に対する消費ベースの blue water 取水量の総和の比として定義した。ここで、消費ベースの blue water 取水量は、消費国側が要する取水量ベースでの blue water (灌漑用水) の消費量を表す。そのため、消費ベースの水需給バランス指標は、blue water の消費を消費国側に割り当てることにより、消費国側の淡水需給逼迫度を評価することが可能になる。なお、従来の水ストレス指標は生産国側の淡水需給逼迫度を評価することを目的としたものである。そのため、消費国側の淡水需給逼迫度を評価するために、水ストレス指標を利用することは適切ではない。そこで、本研究では、消費ベースの水需給バランス指標を定義し、消費国側の淡水需給逼迫度を評価した。

$$WBI_i^{CB} = \frac{\sum_k \sum_j (WW_{i,j,k}^{Blue,CB})}{AWR_i} \quad (5.4)$$

(5.4)式の各添え字に関して、 $i$ は消費国、および $CB$ は消費ベースをそれぞれ表す。また、 $WBI_i^{CB}$ は消費国 $i$ における消費ベースの水需給バランス指標、 $WW_{i,j,k}^{Blue,CB}$ は消費国 $i$ と生産国 $k$ の間の食料品目 $j$ の消費ベースの貿易 blue water 取水量 ( $i \neq k$ ) または消費国 $i$ における食料品目 $j$ の国内生産由来の国内消費 blue water 取水量 ( $i = k$ )、および $AWR_i$ は生産国 $i$ の淡水資源供給可能量をそれぞれ表す。なお、 $AWR_i$ は(5.1)式を用いて消費国 $i$ ごとに推計した。ここで、 $WW_{i,j,k}^{Blue,CB}$ は次式(5.5)により推計した。

$$WW_{i,j,k}^{Blue,CB} = COM_{i,j,k} \times \frac{WFI_{k,j}^{Blue}}{IRE_{k,j}} \quad (5.5)$$

(5.5)式において、 $COM_{i,j,k}$ は消費国 $i$ と生産国 $k$ の間の食料品目 $j$ の貿易量 ( $i \neq k$ ) または消費国 $i$ の国内生産由来の国内消費量 ( $i = k$ ) を表す。なお、中継貿易による輸出 blue water 取水量の過大評価を避けるために、消費国 $i$ における食料品目 $j$ の国内生産量 $Prod_{i,j}$ 、および消費国（輸入国） $i$ における生産国（貿易相手国） $k$ からの食料品目 $j$ の補整済み輸入量 $AIQ_{i,j,k}$ により、輸入国 $i$ ・食料品目 $j$ ごとに WFI 加重平均値を別途定義した。ここで、輸入国 $i$ における食料品目 $j$ の WFI 加重平均値は、貿易相手国 $k$ によらず、輸入国 $i$ ・食料品目 $j$ ごとに同じ値をとり、 $i \neq k$ かつ $COM_{i,j,k} > 0$ の場合にのみ、(5.5)式右辺の第 2 項の $WFI_{k,j}^{Blue}$ の代わりに用いた。その上で、消費国 $i$ と生産国 $k$ の等号関係に依じて、 $COM_{i,j,k}$ は以下の(5.6)式または(5.7)式より推計した。

まず、消費国 $i$ と生産国 $k$ が同一である ( $i = k$ ) 場合、 $COM_{i,j,k}$ は消費国 $i$ における食料品目 $j$ の国内生産由来の国内消費量[ton/yr]を表し、その量は次式(5.6)より推計した。

$$COM_{i,j,k} = Prod_{i,j} + SV_{i,j} - Feed_{i,j} - Proc_{i,j} - Seed_{i,j} - OU_{i,j} \quad (i = k) \quad (5.6)$$

(5.6)式において、 $Prod_{i,j}$ は消費国 $i$ における食料品目 $j$ の国内生産量[ton/yr]、 $SV_{i,j}$ は消費国 $i$ における食料品目 $j$ の在庫変動量[ton/yr]、 $Feed_{i,j}$ は消費国 $i$ における食料品目 $j$ の飼料用需要量[ton/yr]、 $Proc_{i,j}$ は消費国 $i$ における食料品目 $j$ の加工品原料用需要量[ton/yr]、 $Seed_{i,j}$ は消費国 $i$ における食料品目 $j$ の種子用需要量[ton/yr]、および $OU_{i,j}$ は消費国 $i$ における食料品目 $j$ のその他消費量[ton/yr]をそれぞれ表す。各変数は 3.3.1 節と同様の手法で推計した。

一方、消費国 $i$ と生産国 $k$ が異なる ( $i \neq k$ ) 場合、 $COM_{i,j,k}$ は消費国 $i$ と生産国 $k$ の間の食料品目 $j$ の貿易量[ton/yr]を表し、その量は次式(5.7)より推計した。

$$COM_{i,j,k} = AIQ_{i,j,k} - AEQ_{i,j,k} \quad (i \neq k) \quad (5.7)$$

ここで、 $AIQ_{i,j,k}$ は消費国 $i$ と生産国 $k$ の間の食料品目 $j$ の補整済み輸入量[ton/yr]、および



$AEQ_{i,j,k}$ は消費国*i*と生産国*k*の間の食料品目*j*の補整済み輸出货量[ton/yr]をそれぞれ表す。各変数は3.3.1節と同様の手法で推計した。なお、本研究では、4.3.2.3節で述べたように、輸入国は消費国、輸出国（輸入相手国）は生産国と見なした。そのため、消費国*i*は輸入国*i*、生産国*k*は輸出国（輸入相手国）*k*であると解釈される。また、本研究では、 $AIQ_{i,j,k} < 0.095$ を満たす補整済み輸入量[ton/yr]、および $AEQ_{i,j,k} < 0.095$ を満たす補整済み輸出货量[ton/yr]に関しては、淡水需給逼迫度に対してほとんど寄与しないものと見なし、すべて0に置き換えて分析した。

本研究では、生産ベースと消費ベースの淡水需給逼迫度の判断基準はそれぞれ、Smakhtin et al. (2004) に基づいて設定した。ここで、同文献では、水ストレス指標*WSI*に対して、 $WSI < 0.1$ は no water stress,  $0.1 \leq WSI < 0.2$ の場合は low water stress,  $0.2 \leq WSI < 0.4$ の場合は moderate water stress,  $WSI \geq 0.4$ の場合は high water stress としており、特に $WSI > 0.8$ の場合は very high water stress と呼んでいる。ここで、本研究では、no water stress の場合も低位の水ストレスが存在しているものと捉え、no water stress と low water stress を合わせた、 $0 \leq WSI < 0.2$ の場合を low water stress を見なした。また、high water stress と very high water stress はともに、高位の水ストレスであると捉えるものとし、 $0.4 \leq WSI$ の場合を high water stress とした。なお、 $0.2 \leq WSI < 0.4$ の場合は、Smakhtin et al. (2004) の判断基準を引用し、moderate water stress とした。

本研究では、生産ベースの水需給バランス指標*WBI<sup>PB</sup>*は、従来の水ストレス指標*WSI*と同じ意味を持つものと捉えているため、*WBI<sup>PB</sup>*の逼迫度の判断基準は、Smakhtin et al. (2004) を参考に再設定したものと同様の閾値として設定した。そこで、 $0 \leq WBI^{PB} < 0.2$ は low water scarcity,  $0.2 \leq WBI^{PB} < 0.4$ は moderate water scarcity,  $0.4 \leq WBI^{PB}$ は high water scarcity とした。一方、消費ベースの水需給バランス指標*WBI<sup>CB</sup>*は、従来の水ストレス指標*WSI*とは異なったものであるが、*WBI<sup>PB</sup>*の逼迫度と同じ基準で比較するために、*WBI<sup>PB</sup>*の逼迫度の判断基準と同じ閾値を設定した。したがって、 $0 \leq WBI^{CB} < 0.2$ は low water scarcity,  $0.2 \leq WBI^{CB} < 0.4$ は moderate water scarcity,  $0.4 \leq WBI^{CB}$ は high water scarcity とした。

本研究で設定した*WBI<sup>PB</sup>*と*WBI<sup>CB</sup>*（この2つの指標をまとめて*WBI*と表記）の逼迫度の判断基準を表5.1に示す。以下では、low water scarcity は「低位の淡水需給逼迫度」、moderate water scarcity は「中位の淡水需給逼迫度」、および high water scarcity は「高位の淡水需給逼迫度」とそれぞれ表記する。

表 5.1 水需給バランス指標の逼迫度の判断基準

Ranges of WBI	Intensities of WBI
$0 \leq WBI < 0.2$	Low water scarcity
$0.2 \leq WBI < 0.4$	Moderate water scarcity
$0.4 \leq WBI$	High water scarcity

## 5.2.3 生産ベースと消費ベースの淡水資源需給バランスの比較

### 5.2.3.1 強度分布図による比較

図 5.2 は生産ベースの淡水資源需給バランスの強度分布図である。同図より、42 カ国は高位の淡水需給逼迫度、16 カ国は中位の淡水需給逼迫度、98 カ国は低位の淡水需給逼迫度を示している。よって、生産ベースの淡水需給逼迫度が比較的高い国は、中緯度地域に集中している傾向にある。特に、人口規模の高い国、乾燥地帯に属する国、ヨーロッパを中心とした工業国などで、生産ベースの淡水需給逼迫度が比較的高い傾向にある。アフリカやカリブ海域における一部の国に関しても、生産ベースの淡水需給逼迫度が比較的高い。

図 5.3 は消費ベースの淡水資源需給バランスの強度分布図である。同図より、49 カ国は高位の淡水需給逼迫度、23 カ国は中位の淡水需給逼迫度、84 カ国は低位の淡水需給逼迫度を示している。よって、消費ベースの水需給バランス指標で見た場合にも、図 5.2 と同様の傾向がいえ。すなわち、消費ベースの淡水需給逼迫度が比較的高い国は、中緯度地域に集中している傾向にある。特に、人口規模の高い国、乾燥地帯に属する国、ヨーロッパ地域を中心とした工業国などで、消費ベースの淡水需給逼迫度が比較的高い傾向にある。また、アフリカやカリブ海地域の一部の国に加えて、北欧の一部の国でも、消費ベースの淡水需給逼迫度が比較的高い傾向にある。

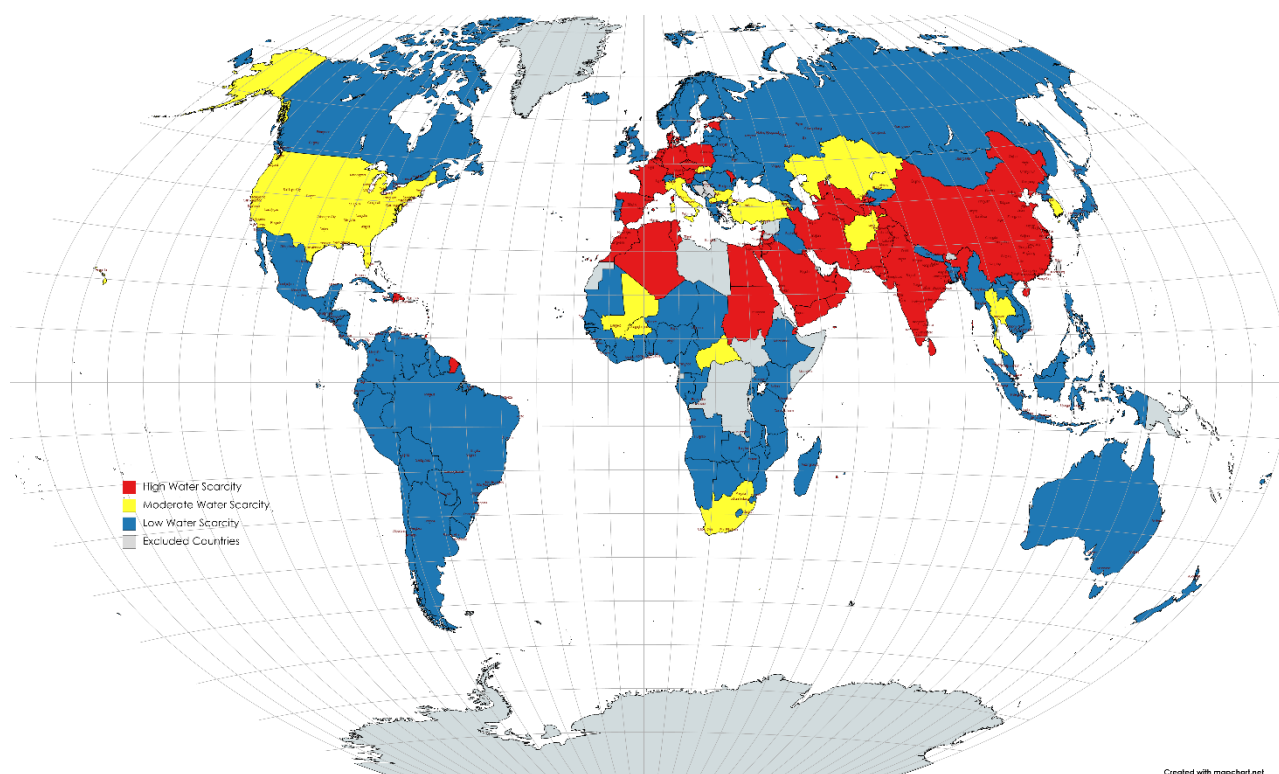


図 5.2 生産ベースの淡水資源需給バランスの強度分布図

注釈) 赤色領域は高位の淡水需給逼迫度、黄色領域は中位の淡水需給逼迫度、青色領域は低位の淡水需給逼迫度、および灰色領域は評価対象外の国をそれぞれ表す。なお、同図は mapchart を用いて作成した。

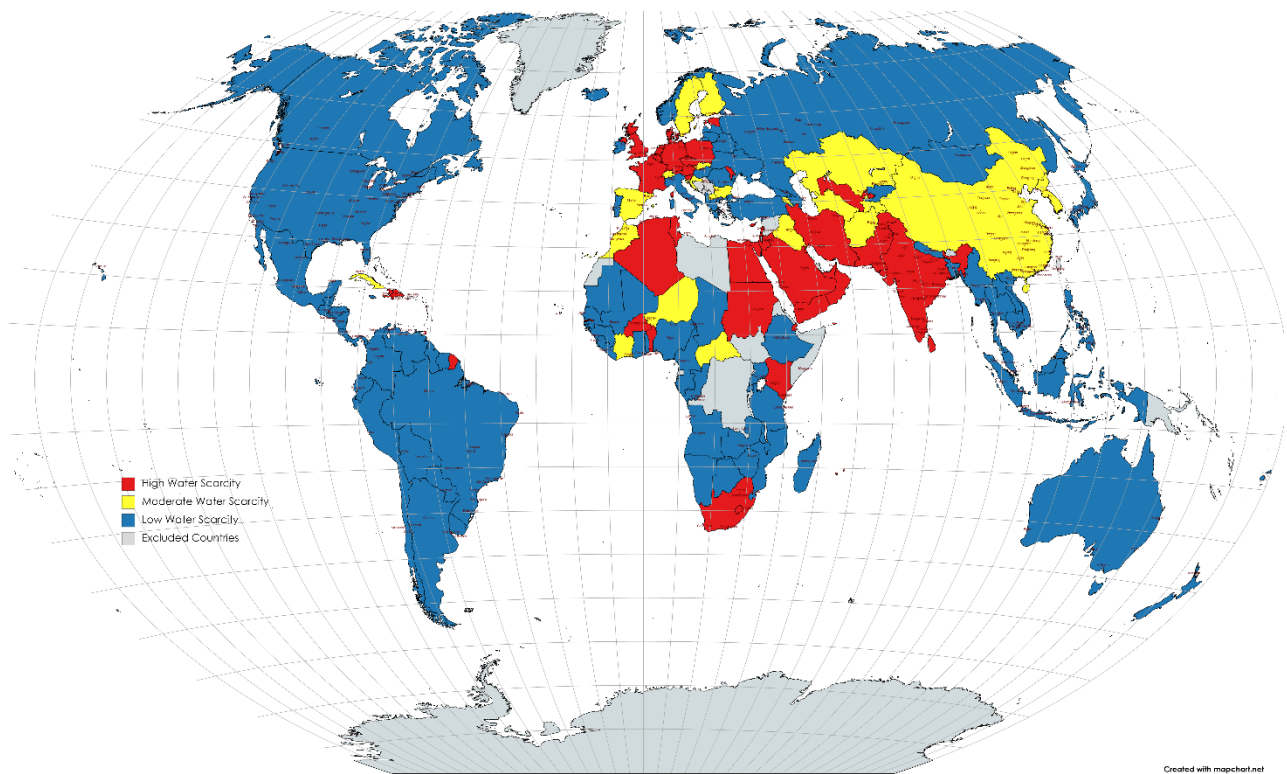


図 5.3 消費ベースの淡水資源需給バランスの強度分布図

注釈) 各色領域の解釈は、図 5.2 と同様である。なお、同図は mapchart より作成した。

次に、図 5.2 と図 5.3 を比較する。生産ベースの淡水需給逼迫度と消費ベースのそれを比べると、後者において高位または中位の淡水需給逼迫度を示す国の数が増加しており、その分だけ低位の淡水需給逼迫度を示す国の数が減少している。地域別に見ると、生産ベースと消費ベースの双方とも、淡水需給逼迫度の比較的高い国は、中東やヨーロッパに集中している。しかし、アフリカ、カリブ海域、および北欧では、生産ベースの淡水需給逼迫度と比較した場合に、消費ベースの淡水需給逼迫度が相対的に高くなる国の数が増加している。これに対して、アジアやヨーロッパでは、生産ベースの淡水需給逼迫度と比較した場合に、消費ベースの淡水需給逼迫度が相対的に低くなる国の数が減少している。

そこで、いくつかの国について、生産ベースの淡水需給逼迫度と消費ベースのそれを互いに比較する。たとえば、中国本土に関しては、前者は 0.49 (高位)、後者は 0.38 (中位) であり、前者が後者よりも高い。また、アメリカに関しても、前者は 0.20 (中位)、後者は 0.096 (低位) であり、前者が後者よりも高い。一方、イギリスに関しては、前者は 0.16 (低位)、後者は 0.61 (高位) であり、後者が前者よりも高い。また、南アフリカに関しても、前者は 0.29 (中位)、後者は 0.43 (高位) であり、後者が前者よりも高い。両者を比較して、前者がより高い国では食料生産の規模や品目選好によって、後者がより高い国では食料消費の規模や品目選好によって、淡水需給逼迫度が高められている可能性がある。

なお、消費ベースの淡水需給逼迫度が生産ベースのそれを上回る国の数は 22 カ国であり、このうち 12 カ国では高位の消費ベースの淡水需給逼迫度、10 カ国では中位の消費ベースの淡水需給逼迫度を示している。これに対して、生産ベースの淡水需給逼迫度が消費ベースのそれを上回る国の数は 10 カ国であり、このうち 5 カ国では高位の生産ベースの淡水需給逼迫度、5 カ国では中位の生産ベースの淡水需給逼迫度を示している。また、双方

の淡水需給逼迫度に差が見られなかった国の数は 124 カ国であり、そのうちの 37 カ国は生産ベースと消費ベースの両方で高位の淡水需給逼迫度、8 カ国は生産ベースと消費ベースの両方で中位の淡水需給逼迫度を示す国である。このように、大部分の国では、生産ベースと消費ベースとの間で、淡水需給逼迫度に大きな差は見られなかった。したがって、これらの国では、食料生産または食料消費の規模や品目選好とは別の要因によって、生産ベースまたは消費ベースの淡水需給逼迫度が高められている可能性がある。

### 5.2.3.2 淡水資源需給バランスの推計結果に関する妥当性の評価

表 5.2 は淡水資源需給バランスの強度別人口を 3 種類の指標で比較したものである。また、表 5.3 は淡水資源需給バランスの強度別人口の割合を 3 種類の指標で比較したものである。両表では、生産ベースと消費ベースの水需給バランス指標に加えて、淡水資源賦存量に対する総取水量の比として定義した総取水量由来の水ストレス指標を用いて、水ストレス強度を評価した。ここで、総取水量由来の水ストレス強度の推計において、本研究の生産ベースの **blue water** 取水量に工業用水取水量と都市用水取水量を加えたものを総取水量とし、これを淡水資源賦存量と比較した。なお、総取水量由来の水ストレス強度を推計するために用いた淡水資源賦存量は、生産ベースと消費ベースの淡水需給逼迫度を推計するために用いた淡水資源供給可能量とは異なる。すなわち、生産ベースと消費ベースの淡水需給逼迫度に関しては、生産ベースと消費ベースの **blue water** 取水量、すなわち食料生産および食料消費に起因する **blue water** 取水量のみを評価対象としたために、他の利用目的（工業用水や都市用水）との競合が発生することが考えられる。そのため、淡水資源賦存量のすべてを利用可能とするのではなく、農業部門に最大限利用可能な量として、淡水資源供給可能量を定義する必要があった。しかし、総取水量由来の水ストレス強度を評価する際には、農業用水に加えて、工業用水や都市用水も淡水取水に含む必要がある。そのため、生産ベースと消費ベースの淡水需給逼迫度の評価の場合とは異なり、総取水量を淡水資源賦存量と比較することが適切であると判断した。ただし、実際には水質や環境流量による制約を受ける可能性があるため、実際に利用可能な淡水資源量は淡水資源賦存量よりも小さくなると考えられる。Smakhtin et al. (2004) によると、環境流量に関して普遍的に一致した定義は存在しないが、環境流量は生態系構造、機能、および依存種の維持のために必要とされる淡水資源量を指す。本研究では、淡水資源賦存量に対するこれらの制約を加味した淡水需給逼迫度の評価は行っていない。この点を加味した分析は、本研究の今後の課題である。

なお、総取水量由来の水ストレス強度を推計する際、AQUASTAT より、基準年に関して、工業用水取水量 (FAO, 1994c-2012c)、都市用水取水量 (FAO, 1994d-2012d) の統計データを取得した。ここで、基準年値に欠如が見られた国に関しては、基準年に最も近い年の値で代用した。ただし、農業用水取水量と総取水量に関しては、代用する場合であっても、両方で代用データの年を揃えた。したがって、農業用水取水量と総取水量が互いに同一年のもので代用できない国に関しては、農業用水取水量と総取水量の両方が利用不可であると見なし、評価対象国から除外した。したがって、総取水量由来の水ストレス強度の評価に関しても、その対象国は生産ベースと消費ベースの淡水需給逼迫度の評価対象国と同じ 156 カ国とした。

表 5.2 淡水資源需給バランスの強度別人口の比較

	PB_WBI	CB_WBI	TWW_WSI
Low	2.6	2.8	3.0
Moderate	0.7	1.7	1.9
High	3.5	2.2	1.9
Total	6.8	6.8	6.8

注釈) Low は「低位の淡水需給逼迫度」、Moderate は「中位の淡水需給逼迫度」、High は「高位の淡水需給逼迫度」、および Total は世界人口をそれぞれ表す。PB\_WBI は生産ベースの水需給バランス指標、CB\_WBI は消費ベースの水需給バランス指標、および TWW\_WSI は総取水量由来の水ストレス指標をそれぞれ表す。各推計値の単位は、[10 億人]である。

表 5.3 淡水資源需給バランスの強度別人口の割合

	PB_WBI	CB_WBI	TWW_WSI
Low	38	42	44
Moderate	10	25	28
High	52	33	28
Total	100	100	100

注釈) 行名および列名の解釈は、表 5.2 と同様である。ただし、各推計値の単位は、百分率[%]である。

表 5.2 と表 5.3 によると、生産ベースの水需給バランス指標で見た場合、低位の淡水需給逼迫地域には 26 億人（世界人口の 38 %）、中位の淡水需給逼迫地域には 7 億人（同 10 %）、および高位の淡水需給逼迫地域には 35 億人（同 52 %）が属している。また、消費ベースの水需給バランス指標で見た場合、低位の淡水需給逼迫地域には 28 億人（同 42 %）、中位の淡水需給逼迫地域には 17 億人（同 25 %）、および高位の淡水需給逼迫地域には 22 億人（同 33 %）が属している。一方、総取水量由来の水ストレス指標で見た場合、低位の淡水需給逼迫地域には 30 億人（同 44 %）、中位および高位の淡水需給逼迫地域にはそれぞれ、19 億人（同 28 %）が属している。

次に、本研究の推計値と既往文献値を比較する。Wada et al. (2011) において、同文献による推計値が既往文献値とともに記載されている。ここで、同文献における各文献値には、強度ごとに属する人口には幅が存在するため、強度別人口の最小値と最大値の幅で見た。それによると、17～44 億人が低位の水ストレス（同文献では No Stress と Low Stress）、4～15 億人が中位の水ストレス（同文献では Moderate Stress）、および 4～26 億人が高位の水ストレス（同文献では Severe Stress）に属している。そこで、本研究の推計値と既往文献値を指標ごとに比較してみる。ただし、既往文献値は水ストレス指標によって評価された淡水需給逼迫度であるため、消費ベースの水需給バランス指標とは比較しないものとした。まず、生産ベースの水需給バランス指標による強度別人口を見ると、低位の淡水需給逼迫地域には 26 億人、中位の淡水需給逼迫地域には 7 億人、および高位の淡水需給逼迫地域には 35 億人が属している。高位の淡水需給逼迫地域における人口の推計値が既往文献の最大値よりも若干高くなっているものの、双方とも同様の傾向を示している。次に、総取水量由来の水ストレス指標による強度別人口を見た場合、低位の淡水需給逼迫地域に

は 30 億人、中位および高位の淡水需給逼迫地域にはそれぞれ、19 億人が属している。こちらに関しては、強度別人口の推計値がいずれも既往文献値の幅の中に収まっている。したがって、本研究で推計した生産ベースの淡水需給逼迫度および総取水量由来の水ストレス強度は、概ね妥当なものであると考えられる。

続いて、本研究で推計した生産ベースの blue water 取水量を農業用水取水量と比較し、生産ベースの blue water 取水量の推計値に関する妥当性を評価する。図 5.4 は生産ベースの blue water 取水量と農業用水取水量を比較したものである。同図では、横軸に農業用水取水量を、縦軸に生産ベースの blue water 取水量をとり、両者の間で線形単回帰分析を実行した。また、表 5.4 は図 5.4 の単回帰分析の実行結果を示した表である。表 5.4 によると、相関係数  $R$  は 0.9844、決定係数  $R^2$  は 0.9691、自由度調整済み決定係数  $\hat{R}^2$  は 0.9626 であり、いずれも 90 % を越えている。また、横軸の農業用水取水量に関する  $p$  値を見ると、その値は  $p = 6.606 \times 10^{-119}$  であり、0.01 を大きく下回っている。したがって、 $p < 0.01$  であり、農業用水取水量は生産ベースの blue water 取水量に対して危険率 1 % で統計的に有意な説明変数であるという結果となった。ただし、単回帰直線の回帰係数は 1.906 であり、これは 45° 直線の傾き 1 よりも 2 倍近い値である。仮に、生産ベースの blue water 取水量と農業用水取水量がほぼ同じ値を示すのであれば、両者の関係は 45° 直線上に反映される。図 5.4 では、農業用水取水量に対する生産ベースの blue water 取水量の比が 1.9 程度であることを示しているため、これは生産ベースの blue water 取水量が相当に過大評価となっている可能性を示唆する。本研究では、国内生産された品目に関して中間需要向けと最終需要向けの内訳は把握できていない。Water footprint の評価範囲の設定（前述、4.3.2.2 節）において、中間需要は評価範囲から除外した。しかし、食料需給バランスの推計（前述、3.3.1 節）において、食料供給量の各供給項目から食料需要量の各需要項目へ投入される品目ごとの内訳は考慮できていない。すなわち、国内生産された品目の用途として中間需要向けと最終需要向けの両方が混在しているために、生産ベースの blue water 取水量（国内生産に起因する blue water 取水量）に過大評価が生じている可能性がある。各品目間の投入・産出の収支の詳細を考慮した分析は、本研究の今後の課題である。

また、図 5.4 によると、2 つの点が突出している。すなわち、156 カ国のうち、2 カ国（インドと中国本土）が突出した生産ベースの blue water 取水量（各々 1,307 km<sup>3</sup> と 871 km<sup>3</sup>）を示している。そこで、当該 2 カ国を除いた後、再度、図 5.4 と同様の線形単回帰分析を行った。その結果、相関係数  $R$  は 0.9145、決定係数  $R^2$  は 0.8363、自由度調整済み決定係数  $\hat{R}^2$  は 0.8298 であり、いずれも 80 % を越えている。上記 2 カ国を除くことによって、除外前と比較して各統計量の値に若干の低下が見られる。また、横軸の農業用水取水量に関する  $p$  値を見ると、 $p = 5.124 \times 10^{-62}$  となり、その値は除外前と比べて若干増加したものの、0.01 を大きく下回っている。よって、上記 2 カ国を除いた場合でも、農業用水取水量は生産ベースの blue water 取水量に対して危険率 1 % で統計的に優位な説明変数であるという結果となった。しかし、単回帰直線の回帰係数は 1.520 であり、上記 2 カ国の除外前と比べて若干の改善が見られた。ただし、この場合でも、45° 直線の傾き 1 よりも 1.5 倍程度高い値であり、農業用水取水量に対する生産ベースの blue water 取水量の比が 1.5 程度であることを示している。そのため、この結果は、生産ベースの blue water 取水量が過大評価となっている可能性を示唆する。



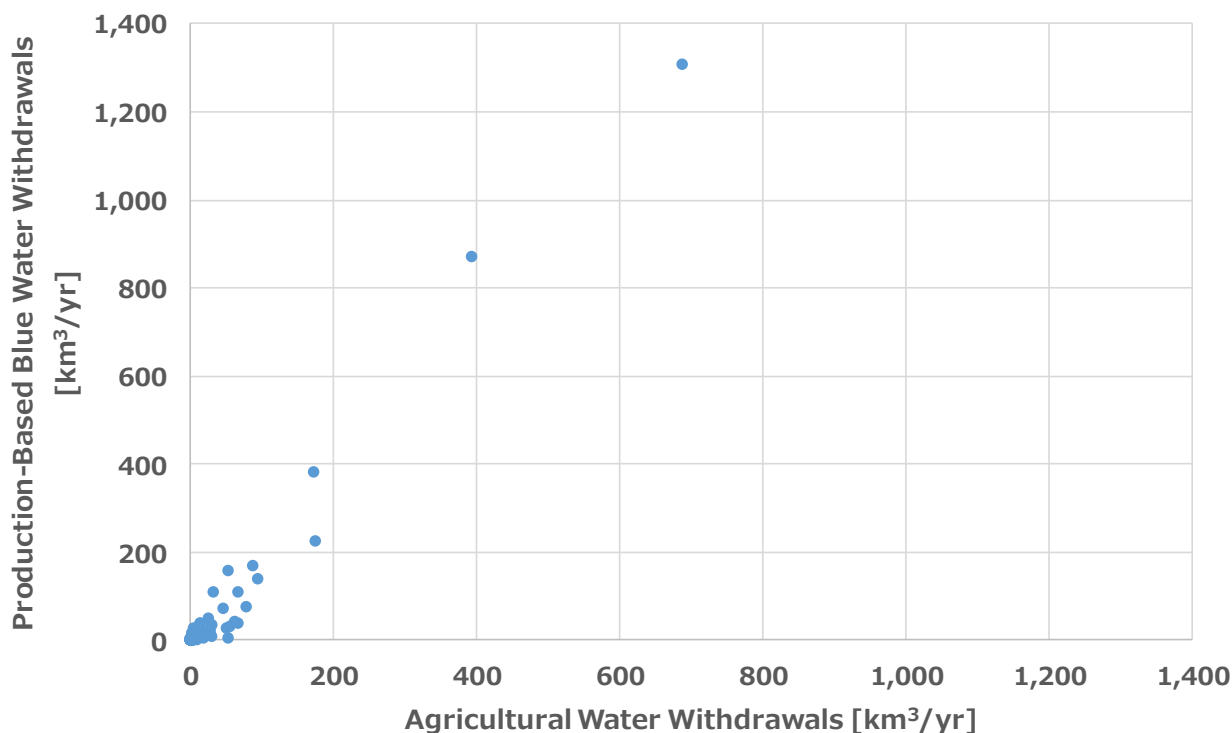


図 5.4 生産ベースの Blue Water 取水量と農業用水取水量との比較

注釈) 生産ベースの blue water 取水量は本研究の推計値である。農業用水取水量は AQUASTAT (FAO, 1994a-2012a) より取得した。

表 5.4 回帰分析の実行結果

(生産ベースの Blue Water 取水量と農業用水取水量との比較)

回帰統計	
重相関 R	0.9844
重決定 R2	0.9691
補正 R2	0.9626
標準誤差	23.62
観測数	156

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	1	2.709.E+06	2.709.E+06	4856	2.324E-118
残差	155	8.646.E+04	557.8		
合計	156	2.795.E+06			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 99.0%	上限 99.0%
切片	0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
AWW	1.906	0.02735	69.68	6.606E-119	1.852	1.960	1.835	1.977

注釈) 「n.a.」は推計されなかった統計値を表す。線形単回帰分析は、図 5.4 を対象として切片を 0 として実行したため、切片に関する統計値は推計されなかった。農業用水取水量は AQUASTAT (FAO, 1994a-2012a) より取得した。なお、本研究の食料需給バランスの推計において評価対象とした 175 カ国のうち、19 カ国に関しては農業用水取水量の統計データが欠如していたため、観測数は 156 カ国となった。

## 5.3 淡水資源需給バランスの要因分解分析

### 5.3.1 要因分解分析の概要

要因分解分析は2つの時点間または2つの対象物間での要因の変動を明らかにする方法として有用である。要因分解分析には指標分解分析 (index decomposition analysis; “IDA”) と構造分解分析 (structure decomposition analysis; “SDA”) の2種類がある。前者は部門レベルの集約データに適用されるが、後者は産業連関モデルに適用される (Hoekstra and van der Bergh, 2003)。信頼性の高い要因分解分析の結果を示すためには、2つ以上の要因間の変化量として解釈される交絡項の問題を改善することが重要である。既往文献において、交絡項を含まない要因分解分析として、様々なモデルが提唱されており、これらは完全分解分析と呼ばれる。

完全分解分析の例を以下に挙げる、Ang et al. (1998) は、交絡項が発生しないモデルとして、logarithmic mean Divisia index (“LMDI”) method (“LMDI 法”) を提唱し、各要因の変動分を積み上げた積分モデルを離散近似するために用いる重み付け関数の違いにより、LMDI I と LMDI II を提唱した (Ang and Liu, 2001)。一方、Sun et al. (1998) は、完全分解モデルとして、refined Laspeyres index (“RLI”) method (“RLI 法”) を提唱し、交絡項を構成する各要因に対して当該交絡項を均等に帰属 (配分) させることにより、交絡項の問題に対処した。三科・室町 (2011) は、RLI 法における交絡項の帰属方法と配分方法の問題があることを述べ、modified Laspeyres index (“MLI”) method (“MLI 法”) を提唱し、各要因の正負に応じた交絡項の帰属方法と各要因の寄与の程度に応じた配分方法を提唱した。

なお、Ang and Liu (2001) によると、LMDI 法は各要因の時間微分をとった後、これがある時点まで時間積分することによって分解式が導出される。そのため、LMDI 法では、各要因の変化が時間変化で決定されることを仮定している。また、LMDI 法における積分モデルを離散近似するために用いる重み付け関数には、対数平均が利用されているため、時間変化に伴って上昇または増加する要因のみが分析可能である。すなわち、減少要因に関しては分析できない分解式となっている。また、LMDI 法では、要因ごとの時間平均変化率を積み上げていることから、2つの時点間での比較が想定されていると考えられる。そのため、時系列データを用いた要因分析に適しているが、空間データを用いた要因分析には適していないと考えられる。

一方、Ang (2004) において、3つ以上の要因を対象とする場合、RLI 法では分解式が煩雑になることが指摘されている。ただし、Ang et al. (2003) は、RLI 法に関して、時間的または空間的な要因分析が可能であることを述べている。たとえば、Sun and Malaska (1998) は、1980～1994年の期間を対象に、先進国における二酸化炭素排出量の強度変化を分析した。また、三科・室町 (2011) は、RLI 法に関する帰属問題と配分問題を改良したMLI法を用いて、自家用乗用車と貨物自動車に着目した地域別の二酸化炭素排出量の変動要因を分析した。三科・室町 (2016) は自家用乗用車に着目し、MLI法による時系列要因分析と車種間要因分析を通して、乗用車による二酸化炭素排出量の減少下における地域別の変動要因を分析した。MLI法に関しても、時間的または空間的な要因分析が可能であると考えられる。



なお、上記の既往文献では、本研究の分析対象である淡水需給逼迫度に着目した分析は行われていない。しかし、上記の既往文献の中には、空間データに対して完全分解分析を適用した事例も存在する。したがって、基準年における空間データを基礎として推計した本研究の淡水需給逼迫度に対しても、完全要因分析が適用可能であると考えられる。

### 5.3.2 水需給バランス指標の要因分解分析

#### 5.3.2.1 生産ベースの水需給バランス指標の要因分解式

まず、生産国 $k$ の生産ベースの水需給バランス指標 $WBI_k^{PB}$ と生産国 $k$ の生産ベースの水需給バランス指標の基準値 $WBI_k^{PB,0}$ との差 ( $\Delta WBI_k^{PB}$ ) に対して、完全分解分析 (後述, 5.3.2.2 節) を適用した。ここで、 $WBI_k^{PB,0}$ は、生産国 $k$ から見た生産ベースの淡水資源必要量の 1 人あたり世界平均値を、淡水資源供給可能量の 1 人あたり世界平均値で除したものであり、当該国から見た世界全体の平均的な生産ベースの淡水需給逼迫度の目安 (基準値) を表す。この基準値の設定にあたって、当該国で生産されていない食料品目は、当該国の生産ベースの淡水需給逼迫度には寄与しないことから、 $WBI_k^{PB,0}$ に対する当該品目の生産ベースの淡水資源必要量の寄与は除外した。そのため、 $WBI_k^{PB,0}$ は生産国 $k$ ごとに異なる値をとることに留意する必要がある。そこで、本研究では $WBI_k^{PB}$ と $WBI_k^{PB,0}$ を 5 つの要因 (指標) に分解した。すなわち、次式(5.8)に示すように、 $\Delta WBI_k^{PB}$ を 5 つの要因に分解できることを仮定し、以下の分析を進めた。

$$\begin{aligned} \Delta WBI_k^{PB} &= WBI_k^{PB} - WBI_k^{PB,0} \\ &= \sum_j^{N_j^k} (\Delta WBI_{k,j,1}^{PB} + \Delta WBI_{k,j,2}^{PB} + \Delta WBI_{k,j,3}^{PB} + \Delta WBI_{k,j,4}^{PB} + \Delta WBI_{k,j,5}^{PB}) \end{aligned} \quad (5.8)$$

(5.8)式において、添え字 0 は基準値であることを表す。また、 $N_j^k$ は生産国 $k$ に関する評価対象の食料品目 $j$ の総数、 $WBI_k^{PB}$ は $k$ 国に関する生産ベースの水需給バランス指標[-]、および $WBI_k^{PB,0}$ は生産ベースの水需給バランス指標の基準値[-]をそれぞれ表す。 $\Delta WBI_{k,j,f}^{PB}$  ( $f = 1,2,3,4,5$ ,  $f$ は要因の番号) は、要因 $f$ に関する $WBI_{k,j,f}^{PB}$  ( $f = 1,2,3,4,5$ ) と $WBI_{k,j,f}^{PB,0}$  ( $f = 1,2,3,4,5$ ) との差である。ここで、 $\Delta WBI_{k,j,1}^{PB}$ は気候要因 (“ $\Delta F_1^{PB}$ ”),  $\Delta WBI_{k,j,2}^{PB}$ は産業構造要因 (“ $\Delta F_2^{PB}$ ”),  $\Delta WBI_{k,j,3}^{PB}$ は生産規模要因 (“ $\Delta F_3^{PB}$ ”),  $\Delta WBI_{k,j,4}^{PB}$ は生產品目選好要因 (“ $\Delta F_4^{PB}$ ”), および $\Delta WBI_{k,j,5}^{PB}$ は淡水消費原単位要因 (“ $\Delta F_5^{PB}$ ”) をそれぞれ表す。

まず、次式(5.9)に示す通りに、(5.8)式中の $WBI_k^{PB}$ を 3 つの項 (指標) に分解した。各指標は生産国別に推計した。

$$WBI_k^{PB} = \frac{1}{TRWR_k^{PC}} \times \frac{TW W_k^{PC}}{AW W_k^{PC}} \times WW_k^{Blue,PB,PC} \quad (5.9)$$

(5.9)式において、添え字 $PC$ は 1 人あたりの量であることを表す。また、 $TRWR_k^{PC}$ は生産国 $k$ の 1 人あたり淡水資源賦存量[m<sup>3</sup>/capita/yr]、 $AW W_k^{PC}$ は生産国 $k$ の 1 人あたり農業用水取水量[m<sup>3</sup>/capita/yr]、 $TW W_k^{PC}$ は生産国 $k$ の 1 人あたり総取水量[m<sup>3</sup>/capita/yr]、および

$WW_k^{Blue,PB,PC}$ は生産ベースの1人あたり blue water 取水量[m<sup>3</sup>/capita/yr]をそれぞれ表す。

ここで、各要因と(5.9)式右辺の各項との対応関係は、以下の通りである。すなわち、第1項は気候要因 (“ $\Delta F_1^{PB}$ ”) であり、淡水資源賦存量の逆数を表す。第2項は産業構造要因 (“ $\Delta F_2^{PB}$ ”) であり、1人あたり総取水量に対する1人あたり農業用水取水量の比の逆数、すなわち農業用水取水率の逆数を表す。第3項は生産ベースの blue water 取水規模要因 (“ $\Delta F_{WW}^{PB}$ ”) であり、生産ベースの1人あたり blue water 取水量を表す。

次に、次式(5.10)に示す通りに、(5.9)式中の $WW_k^{Blue,PB,PC}$ をさらに3つの項(指標)に分解した。各指標は生産国別、食料品目別に推計した。

$$WW_k^{Blue,PB,PC} = \sum_j^{N_j^k} \left( Prod_k^{CAL,PC} \times \frac{Prod_{k,j}^{CAL,PC}}{Prod_k^{CAL,PC}} \times \frac{WFI_{k,j}^{Blue}}{UCF_j \times IRE_{k,j}} \right) \quad (5.10)$$

(5.10)式において、添え字CALはカロリーベースであることを表す。また、 $Prod_k^{CAL,PC}$ は生産国kにおけるカロリーベースの1人あたり国内生産量[kcal/capita/yr]、 $Prod_{k,j}^{CAL,PC}$ は生産国kにおける食料品目jに関するカロリーベースの1人あたり国内生産量[kcal/capita/yr]、 $WFI_{k,j}^{Blue}$ は生産国kにおける食料品目jの blue water 消費原単位[m<sup>3</sup>/ton]、 $UCF_j$ は食料品目jのエネルギー換算係数[kcal/ton]、および $IRE_{k,j}$ は生産国kにおける食料品目jの灌漑効率[-]をそれぞれ表す。なお、 $UCF_j$ は3.3.2節で設定したエネルギー換算係数を用いた。 $WFI_{k,j}^{Blue}$ は4.3.3.1節で設定した Mekonnen and Hoekstra (2011b) の文献値を用いた。 $IRE_{k,j}$ は4.3.3.2節で設定した Döll and Siebert (2002) の文献値を用いた。

ここで、各要因と(5.10)式右辺の各項との対応関係は、以下の通りである。すなわち、第1項は生産規模要因 (“ $\Delta F_3^{PB}$ ”) であり、カロリーベースの1人あたり国内生産量の規模を表す。第2項は生產品目選好要因 (“ $\Delta F_4^{PB}$ ”) であり、カロリーベースの1人あたり国内生産量に対するカロリーベースの食料品目別1人あたり国内生産量の比、すなわち国内生産の食料品目別シェアを表す。第3項は淡水消費原単位要因 (“ $\Delta F_5^{PB}$ ”) である。第3項では、重量ベースの blue water 消費原単位をエネルギー換算係数で除すことによりカロリーベースに変換し、さらにこれを灌漑効率で除すことにより、取水量ベースの blue water 消費量に換算した。すなわち、第3項では、blue water 消費原単位をカロリーベース・取水量ベースに相当する原単位に換算している。そのため、第3項は blue water 消費原単位に単位変換の影響を反映させており、単位換算の影響を加味した淡水消費原単位要因の影響の程度を表す。

一方、(5.8)式の $WBI_k^{PB,0}$ は、次式(5.11)に示す通りに、3つの項(指標)に分解し、各指標の基準値を生産国別に推計した。各要因 ( $\Delta F_1^{PB}$ ,  $\Delta F_2^{PB}$ ,  $\Delta F_{WW}^{PB}$ ) と同式右辺の各項との対応関係は、(5.9)式と同様である。なお、 $WBI_k^{PB,0}$ が生産国kごとに異なる理由は、世界全体で見た場合、生産される食料品目の種類が生産国ごとに異なっており、当該生産国の生産ベースの水需給バランス指標はこの差異が存在する条件下で推計されたものとなるためである。すなわち、 $WW_k^{Blue,PB,PC,0}$ が生産国kごとに異なる値をとるためである。

$$WBI_k^{PB,0} = \frac{1}{TRWR^{PC,0}} \times \frac{TW W^{PC,0}}{AWW^{PC,0}} \times WW_k^{Blue,PB,PC,0} \quad (5.11)$$

(5.11)式において、 $TRWR^{PC,0}$ は1人あたり淡水資源賦存量の基準値[m<sup>3</sup>/capita/yr]、 $AWW^{PC,0}$ は1人あたり農業用水取水量の基準値[m<sup>3</sup>/capita/yr]、 $TW W^{PC,0}$ は1人あたり総取水量の基準値[m<sup>3</sup>/capita/yr]、および $WW_k^{Blue,PB,PC,0}$ は生産国*k*に関する生産ベースの1人あたり blue water 取水量の基準値[m<sup>3</sup>/capita/yr]をそれぞれ表す。

ここで、(5.11)式中の $TRWR^{PC,0}$ 、 $AWW^{PC,0}$ 、および $TW W^{PC,0}$ はそれぞれ、次式(5.12)～(5.14)より推計した。

$$TRWR^{PC,0} = CC_{POP_{TRWR}} \times \frac{\sum_{c_{TRWR}} TRWR_{c_{TRWR}}}{\sum_{c_{TRWR}} POP_{c_{TRWR}}} \quad (5.12)$$

$$AWW^{PC,0} = CC_{POP_{AWW}} \times \frac{\sum_{c_{AWW}} AWW_{c_{AWW}}}{\sum_{c_{AWW}} POP_{c_{AWW}}} \quad (5.13)$$

$$TW W^{PC,0} = CC_{POP_{TW W}} \times \frac{\sum_{c_{TW W}} TW W_{c_{TW W}}}{\sum_{c_{TW W}} POP_{c_{TW W}}} \quad (5.14)$$

(5.12)～(5.14)式における各添え字のうち、 $POP$ は人口、 $TRWR$ は淡水資源賦存量、 $AWW$ は農業用水取水量、および $TW W$ は総取水量をそれぞれ表す。また、添え字 $c_{TRWR}$ 、 $c_{AWW}$ 、および $c_{TW W}$ はそれぞれ、AQUASTATにおいて、淡水資源賦存量、農業用水取水量、および総取水量の統計データが利用可能な国を表す。利用可能と判断された国の中には、基準年に最も近い年のもので代用した国も含まれる。また、 $TRWR_{c_{TRWR}}$ は $c_{TRWR}$ 国の淡水資源賦存量[m<sup>3</sup>]、 $AWW_{c_{AWW}}$ は $c_{AWW}$ 国の淡水資源賦存量[m<sup>3</sup>]、 $TW W_{c_{TW W}}$ は $c_{TW W}$ 国の淡水資源賦存量[m<sup>3</sup>]、 $POP_{c_{TRWR}}$ は $c_{TRWR}$ 国の人口[persons]、 $POP_{c_{AWW}}$ は $c_{AWW}$ 国の人口[persons]、および $POP_{c_{TW W}}$ は $c_{TW W}$ 国の人口[persons]をそれぞれ表す。ここで、(5.12)～(5.14)式の第2項はそれぞれ、1人あたり世界平均淡水資源賦存量、1人あたり世界平均農業用水取水量、および1人あたり世界平均総取水量を表し、それぞれ該当データに関するAQUASTATに記載された国をすべて対象として推計した。

なお、AQUASTATの記載国のすべてを対象に、上記3つの項目それぞれについて、1人あたり世界平均値を推計した理由は、各統計データの利用可能な国数が本研究の要因分解分析の対象国数を上回っているためである。すなわち、AQUASTATにおいて、各統計データの利用可能な国数を見ると、淡水資源賦存量は182カ国、農業用水取水量は173カ国、総取水量は173カ国であった。これらはいずれも、本研究の要因分解分析の対象国数(156カ国)を上回っているため、本研究の対象国のみで1人あたり世界平均値を推計した場合、その中に内包される情報がより過小なものになる恐れがある。そこで、この場合の1人あたり世界平均値は、全球の代表値として不適切であると判断した。

しかし、この場合、AQUASTATに記載された国の人口から推計した世界人口と、本研究の対象国のみから推計した世界人口との間に差異が生じる。そのため、世界人口の差異

を補正しなければ，完全分解分析（後述，5.3.2.3 節）の推計において誤差を生じる恐れがある．そこで，このような差異を補正するために，次式(5.15)～(5.17)により， $CC_{POP_{TRWR}}$ ， $CC_{POP_{AWW}}$ ，および $CC_{POP_{TWW}}$ をそれぞれ設定した．これら 3 つの補正係数はそれぞれ，1 人あたり世界平均淡水資源賦存量，1 人あたり世界平均農業用水取水量，および 1 人あたり世界平均総取水量に対して，世界人口による差異を補正するための係数である．

$$CC_{POP_{TRWR}} = \frac{\sum_{c_{TRWR}} POP_{c_{TRWR}}}{\sum_c POP_c} \quad (5.15)$$

$$CC_{POP_{AWW}} = \frac{\sum_{c_{AWW}} POP_{c_{AWW}}}{\sum_c POP_c} \quad (5.16)$$

$$CC_{POP_{TWW}} = \frac{\sum_{c_{TWW}} POP_{c_{TWW}}}{\sum_c POP_c} \quad (5.17)$$

(5.15)～(5.17)式において， $POP_c$ は対象国 $c$ の人口[persons]を表す．各式を用いて，それぞれの補正係数を推計したところ， $CC_{POP_{TRWR}} = 0.818$ ， $CC_{POP_{AWW}} = 0.815$ ， $CC_{POP_{TWW}} = 0.815$ であった．

次に，次式(5.18)に示す通りに，(5.11)式中の $WW_k^{Blue,PB,PC,0}$ をさらに 3 つの項（指標）に分解し，各指標の基準値を生産国別に推計した．各要因（ $\Delta F_3^{PB}$ ， $\Delta F_4^{PB}$ ， $\Delta F_5^{PB}$ ）と同式右辺の各項との対応関係は，(5.10)式と同様である．なお， $WW_k^{Blue,PB,PC,0}$ が生産国 $k$ ごとに異なる理由は，世界全体で見た場合，生産される食料品目の種類が生産国ごとに異なっており，当該生産国の生産ベースの blue water 必要量はこの差異が存在する条件下で推計されたものとなるためである．すなわち， $N_j^k$ が生産国 $k$ ごとに異なる値をとるためである．

$$WW_k^{Blue,PB,PC,0} = \sum_j^{N_j^k} \left( Prod^{CAL,PC,0} \times \frac{Prod_j^{CAL,PC,0}}{Prod^{CAL,PC,0}} \times \frac{WFI_j^{Blue,0}}{UCF_j \times IRE_j^0} \right) \quad (5.18)$$

(5.18)式において， $Prod^{CAL,PC,0}$ はカロリーベースの 1 人あたり国内生産量の基準値[kcal/capita/yr]， $Prod_j^{CAL,PC,0}$ は食料品目 $j$ に関するカロリーベースの 1 人あたり国内生産量の基準値[kcal/capita/yr]， $WFI_j^{Blue,0}$ は食料品目 $j$ に関する世界平均の blue water 消費原単位[m<sup>3</sup>/ton]，および $IRE_j^0$ は食料品目 $j$ に関する世界平均の灌漑効率[-]をそれぞれ表す．なお， $UCF_j$ は 3.3.2 節で設定したエネルギー換算係数を用いた． $WFI_j^{Blue,0}$ は Mekonnen and Hoekstra (2011b) の文献値を用いた． $IRE_j^0$ は Döll and Siebert (2002) の文献値より，国別または地域別の灌漑効率の単純平均値をとったものを用いた．

ここで，(5.18)式中の $Prod^{CAL,PC,0}$ および $Prod_j^{CAL,PC,0}$ はそれぞれ，次式(5.19)と(5.20)より推計した．

$$Prod^{CAL,PC,0} = \frac{\sum_c Prod_c^{CAL}}{\sum_c POP_c} \quad (5.19)$$

$$Prod_j^{CAL,PC,0} = \frac{\sum_c Prod_{c,j}^{CAL}}{\sum_c POP_c} \quad (5.20)$$

(5.19)式と(5.20)式において、 $Prod_c^{CAL}$ は対象国*c*におけるカロリーベースの国内生産量[kcal/yr]、および $Prod_{c,j}^{CAL}$ は対象国*c*における食料品目*j*に関するカロリーベースの国内生産量[kcal/yr]をそれぞれ表す。

### 5.3.2.2 消費ベースの水需給バランス指標の要因分解式

次に、消費国*i*の消費ベースの水需給バランス指標 $WBI_i^{CB}$ と消費国*i*の消費ベースの水需給バランス指標の基準値 $WBI_i^{CB,0}$ との差( $\Delta WBI_i^{CB}$ )に対して、完全分解分析(後述、5.3.3.2節)を適用した。ここで、 $WBI_i^{CB,0}$ は、消費国*i*から見た消費ベースの淡水資源必要量の1人あたり世界平均値を、淡水資源供給可能量の1人あたり世界平均値で除したものであり、当該国から見た世界全体の平均的な消費ベースの淡水需給逼迫度の目安(基準値)を表す。この基準値の設定にあたって、当該国で消費または貿易されていない食料品目は、当該国の消費ベースの淡水需給逼迫度には寄与しないことから、 $WBI_i^{CB,0}$ に対する当該品目の消費ベースの淡水資源必要量の寄与は除外した。そのため、 $WBI_i^{CB,0}$ は消費国*i*ごとに異なる値をとることに留意する必要がある。そこで、本研究では $WBI_i^{CB}$ と $WBI_i^{CB,0}$ を6つの要因(指標)に分解した。すなわち、次式(5.21)に示すように、 $\Delta WBI_i^{CB}$ を6つの要因に分解できることを仮定し、以下の分析を進めた。

$$\begin{aligned} \Delta WBI_i^{CB} &= WBI_i^{CB} - WBI_i^{CB,0} \\ &= \sum_k^{N_k^{i,j}} \sum_j^{N_j^i} (\Delta WBI_{i,j,k,1}^{CB} + \Delta WBI_{i,j,k,2}^{CB} + \Delta WBI_{i,j,k,3}^{CB} + \Delta WBI_{i,j,k,4}^{CB} + \Delta WBI_{i,j,k,5}^{CB} \\ &\quad + \Delta WBI_{i,j,k,6}^{CB}) \end{aligned} \quad (5.21)$$

(5.21)式において、 $WBI_i^{CB}$ は*i*国に関する消費ベースの水需給バランス指標[-]、 $WBI_i^{CB,0}$ は消費ベースの水需給バランス指標の基準値[-]、 $N_k^{i,j}$ は消費国*i*に関する食料品目*j*別の貿易相手国*k*の総数、および $N_j^i$ は消費国*i*に関する評価対象の食料品目*j*の総数をそれぞれ表す。 $\Delta WBI_{i,j,k,f}^{CB}$  ( $f = 1,2,3,4,5,6$ ,  $f$ は要因の番号)は、要因*f*に関する $WBI_{i,j,k,f}^{CB}$  ( $f = 1,2,3,4,5,6$ )と $WBI_{i,j,k,f}^{CB,0}$  ( $f = 1,2,3,4,5,6$ )との差である。 $\Delta WBI_{i,j,k,1}^{CB}$ は気候要因(“ $\Delta F_1^{CB}$ ”),  $\Delta WBI_{i,j,k,2}^{CB}$ は産業構造要因(“ $\Delta F_2^{CB}$ ”),  $\Delta WBI_{i,j,k,3}^{CB}$ は消費規模要因(“ $\Delta F_3^{CB}$ ”),  $\Delta WBI_{i,j,k,4}^{CB}$ は消費品目選好要因(“ $\Delta F_4^{CB}$ ”),  $\Delta WBI_{i,j,k,5}^{CB}$ は生産地選好要因(“ $\Delta F_5^{CB}$ ”), および $\Delta WBI_{i,j,k,6}^{CB}$ は淡水消費原単位要因(“ $\Delta F_6^{CB}$ ”)をそれぞれ表す。

まず、次式(5.22)に示す通りに、(5.21)式中の $WBI_i^{CB}$ を3つの項(指標)に分解した。各指標は消費国別に推計した。

$$WBI_i^{CB} = \frac{1}{TRWR_i^{PC}} \times \frac{TW W_i^{PC}}{A W W_i^{PC}} \times W W_i^{Blue,CB,PC} \quad (5.22)$$

(5.22)式において、 $TRWR_i^{PC}$ は消費国*i*の1人あたり淡水資源賦存量[m<sup>3</sup>/capita/yr]、 $A W W_i^{PC}$ は消費国*i*の1人あたり農業用水取水量[m<sup>3</sup>/capita/yr]、 $T W W_i^{PC}$ は消費国*k*の1人あたり総取水量[m<sup>3</sup>/capita/yr]、および $W W_i^{Blue,CB,PC}$ は消費ベースの1人あたり blue water 取水量[m<sup>3</sup>/capita/yr]をそれぞれ表す。

ここで、各要因と(5.22)式右辺の各項との対応関係は、以下の通りである。すなわち、第1項は気候要因 (“ $\Delta F_1^{CB}$ ”) であり、淡水資源賦存量の逆数を表す。第2項は産業構造要因 (“ $\Delta F_2^{CB}$ ”) であり、1人あたり総取水量に対する1人あたり農業用水取水量の比の逆数、すなわち農業用水取水率の逆数を表す。第3項は消費ベースの blue water 取水規模要因 (“ $\Delta F_{WW}^{CB}$ ”) であり、消費ベースの1人あたり blue water 取水量を表す。

次に、次式(5.23)に示す通りに、(5.33)式中の $W W_i^{Blue,CB,PC}$ をさらに4つの項(指標)に分解した。各指標は消費国別、食料品目別、生産国別に推計した。

$$W W_i^{Blue,CB,PC} = \sum_k^{N_k^{i,j}} \sum_j^{N_j^i} \left( COM_i^{CAL,PC} \times \frac{COM_{i,j}^{CAL,PC}}{COM_i^{CAL,PC}} \times \frac{COM_{i,j,k}^{CAL,PC}}{COM_{i,j}^{CAL,PC}} \times \frac{WFI_{i,j}^{Blue}}{UCF_j \times IRE_{i,j}} \right) \quad (5.23)$$

(5.23)式において、 $COM_i^{CAL,PC}$ は消費国*i*におけるカロリーベースの1人あたり国内消費量[kcal/capita/yr]、および $COM_{i,j}^{CAL,PC}$ は消費国*i*における食料品目*j*に関するカロリーベースの1人あたり国内消費量[kcal/capita/yr]をそれぞれ表す。 $COM_{i,j,k}^{CAL,PC}$ は消費国*i*と生産国*k*の間の食料品目*j*に関するカロリーベースの1人あたり貿易量( $i \neq k$ ) [kcal/capita/yr]、または消費国*i*における食料品目*j*に関するカロリーベースの1人あたり国内生産由来の国内消費量( $i = k$ ) [kcal/capita/yr]を表す。また、 $WFI_{i,j}^{Blue}$ は消費国*i*における食料品目*j*の blue water 消費原単位[m<sup>3</sup>/ton]、 $UCF_j$ は食料品目*j*のエネルギー換算係数[kcal/ton]、および $IRE_{i,j}$ は消費国*i*における食料品目*j*の灌漑効率[-]をそれぞれ表す。ここで、 $UCF_j$ は3.3.2節で設定したエネルギー換算係数を用いた。 $WFI_{i,j}^{Blue}$ は4.3.3.1節で設定した Mekonnen and Hoekstra (2011b) の文献値を用いた。 $IRE_{i,j}$ は4.3.3.2節で設定した Döll and Siebert (2002) の文献値を用いた。

ここで、各要因と(5.23)式右辺の各項との対応関係は、以下の通りである。すなわち、第1項は消費規模要因 (“ $\Delta F_3^{CB}$ ”) であり、カロリーベースの1人あたり国内消費量の規模を表す。第2項は消費品目選好要因 (“ $\Delta F_4^{CB}$ ”) であり、カロリーベースの1人あたり国内消費量に対するカロリーベースの食料品目別1人あたり国内消費量の比、すなわち国内消費の食料品目別シェアを表す。第3項は生産地選好要因 (“ $\Delta F_5^{CB}$ ”) であり、消費国*i*と生産国*k*との間の関係によって、2通りの指標を用いた。すなわち、 $i \neq k$ の時、第3項はカロリーベースの食料品目別1人あたり国内消費量に対するカロリーベースの食料品目別・生産国別1人あたり国内消費量の比、すなわち食料品目別・貿易相手国別シェアを表す。一方、 $i = k$ の時、第3項はカロリーベースの食料品目別1人あたり国内消費量に対する1人あたり国

内生産由来の国内消費量の比，すなわち国内生産由来の国内消費の食料品目別シェアを表す．第4項は淡水消費原単位要因（“ $\Delta F_6^{CB}$ ”）である．ここで，第4項では，重量ベースの blue water 消費原単位をエネルギー換算係数で除すことによりカロリーベースに変換し，さらにこれを灌漑効率で除すことにより，取水量ベースの blue water 消費原単位に換算している．すなわち，第4項では，blue water 消費原単位をカロリーベース・取水量ベースに相当する原単位を表す．そのため，第4項は blue water 消費原単位に単位変換の影響を反映させており，単位換算の影響を加味した淡水消費原単位要因の影響の程度を表す．

一方，(5.21)式の  $WBI_i^{CB,0}$  は，次式(5.24)に示す通りに，3つの項（指標）に分解し，各指標の基準値を消費国別に推計した．各要因（ $\Delta F_1^{CB}$ ， $\Delta F_2^{CB}$ ， $\Delta F_{WW}^{CB}$ ）と同式右辺の各項との対応関係は，(5.22)式と同様である．なお， $WBI_i^{CB,0}$  および  $WW_i^{Blue,CB,PC,0}$  が消費国  $i$  ごとに異なる理由は，世界全体で見た場合，消費あるいは貿易取引される食料品目の種類が消費国ごとに異なっており，当該消費国の消費ベースの水需給バランス指標はこの差異が存在する条件下で推計されたものとなるためである．すなわち， $WW_i^{Blue,CB,PC,0}$  が消費国  $i$  ごとに異なる値をとるためである．

$$WBI_i^{CB,0} = \frac{1}{TRWR^{PC,0}} \times \frac{TWW^{PC,0}}{AWW^{PC,0}} \times WW_i^{Blue,CB,PC,0} \quad (5.24)$$

(5.24)式において， $TRWR^{PC,0}$  は1人あたり淡水資源賦存量の基準値 [ $m^3/capita/yr$ ]， $AWW^{PC,0}$  は1人あたり農業用水取水量の基準値 [ $m^3/capita/yr$ ]， $TWW^{PC,0}$  は1人あたり総取水量の基準値 [ $m^3/capita/yr$ ]，および  $WW_i^{Blue,CB,PC,0}$  は消費国  $i$  に関する消費ベースの1人あたり blue water 取水量の基準値 [ $m^3/capita/yr$ ] をそれぞれ表す．ここで， $TRWR^{PC,0}$ ， $AWW^{PC,0}$ ，および  $TWW^{PC,0}$  はそれぞれ，(5.12)式，(5.13)式，および(5.14)式より推計した．

次に，次式(5.25)に示す通りに，(5.24)式の  $WW_i^{Blue,CB,PC,0}$  をさらに4つの項（指標）に分解し，各指標の基準値を消費国別に推計した．各要因（ $\Delta F_3^{CB}$ ， $\Delta F_4^{CB}$ ， $\Delta F_5^{CB}$ ， $\Delta F_6^{CB}$ ）と同式右辺の各項との対応関係は，(5.23)式と同様である．なお， $WW_i^{Blue,CB,PC,0}$  が消費国  $i$  ごとに異なる理由は，世界全体で見た場合，生産される食料品目の種類が消費国ごとに異なっており，当該消費国の消費ベースの blue water 必要量はこの差異が存在する条件下で推計されたものとなるためである．すなわち， $N_j^i$  が消費国  $i$  ごとに異なる値をとるためである．

$$WW_i^{Blue,CB,PC,0} = \sum_j^{N_j^i} \left( COM^{CAL,PC,0} \times \frac{COM_j^{CAL,PC,0}}{COM^{CAL,PC,0}} \times \frac{COM_{j,h}^{CAL,PC,0}}{COM_j^{CAL,PC,0}} \times \frac{WFI_j^{Blue,0}}{UCF_j \times IRE_j^0} \right) \quad (5.25)$$

(5.25)式において，添え字  $h$  は貿易取引 ( $h = 0$ ) または国内生産由来の国内消費 ( $h = 1$ ) を区別するためのものである． $COM^{CAL,PC,0}$  はカロリーベースの1人あたり国内消費量の基準値 [ $kcal/capita/yr$ ]， $COM_j^{CAL,PC,0}$  は食料品目  $j$  に関するカロリーベースの1人あたり国内消費量の基準値 [ $kcal/capita/yr$ ] をそれぞれ表す． $COM_{j,h}^{CAL,PC,0}$  は食料品目  $j$  に関するカロリーベースの1人あたり貿易量の基準値 ( $h = 0$ ) [ $kcal/capita/yr$ ]，または食料品目  $j$  に関するカロリーベースの1人あたり国内生産由来の国内消費量の基準値 ( $h = 1$ ) [ $kcal/capita/yr$ ] を表す．

ただし、 $h = 0$ の時、 $COM_{j,h}^{CAL,PC,0} = 0$ である。この理由は、3.2.4.3節で述べたように、世界全体の輸入量と輸出量が食料品目 $j$ ごとに等しくなるように、各国間の貿易量を補整したためである。また、 $WFI_j^{Blue,0}$ は食料品目 $j$ に関する世界平均の blue water 消費原単位[m<sup>3</sup>/ton]、および $IRE_j^0$ は食料品目 $j$ に関する世界平均の灌漑効率[-]をそれぞれ表す。なお、 $UCF_j$ は3.3.2節で設定したエネルギー換算係数を用いた。 $WFI_j^{Blue,0}$ は Mekonnen and Hoekstra (2011b)の文献値を用いた。 $IRE_j^0$ は Döll and Siebert (2002) の文献値より、国別または地域別の灌漑効率の単純平均値をとったものを用いた。

ここで、(5.35)式中の $COM^{CAL,PC,0}$ および $COM_j^{CAL,PC,0}$ はそれぞれ、次式(5.26)と(5.27)より推計した。

$$COM^{CAL,PC,0} = \frac{\sum_c COM_c^{CAL}}{\sum_c POP_c} \quad (5.26)$$

$$COM_j^{CAL,PC,0} = \frac{\sum_c COM_{c,j}^{CAL}}{\sum_c POP_c} \quad (5.27)$$

(5.26)式と(5.27)式において、 $COM_c^{CAL}$ は対象国 $c$ におけるカロリーベースの国内消費量[kcal/yr]、および $COM_{c,j}^{CAL}$ は対象国 $c$ における食料品目 $j$ に関するカロリーベースの国内消費量[kcal/yr]をそれぞれ表す。

### 5.3.2.3 水需給バランス指標の完全分解分析

本研究では、三科・室町 (2011) によって考案された Modified Laspeyres Index method (“MLI 法”) を生産ベースと消費ベースの水需給バランス指標にそれぞれ適用した。以下に示す完全分解式により、交絡項を考慮して、生産ベースと消費ベースの淡水需給逼迫度の増減要因を分析した。ここで、交絡項は2つ以上の変化要因どうしの積を含む項を指す。

三科・室町 (2011) によると、MLI 法では、仮に増加要因と減少要因が、これらの要因から構成される交絡項の中に同時に混在する場合、当該交絡項は増加要因側のみに帰属される。一方、仮に増加要因または減少要因のどちらか片方のみから交絡項が構成される場合、すなわち増加要因と減少要因がこれらの要因から構成される交絡項の中に同時に混在しない場合、当該交絡項が増加要因のみから構成される場合は各増加要因に、減少要因のみから構成される場合は各減少要因にそれぞれ帰属される。

まず、生産ベースの淡水資源必要量に関しては、次式(5.28)～(5.30)に示す通りに、

$$\Delta WW_{k,j,f}^{Blue,PB} = WW_{k,j,f}^{Blue,PB} - WW_{k,j,f}^{Blue,PB,0} \quad (f = 1,2,3) \text{ に対して、MLI 法を適用した。ここで、}$$

$\Delta WW_{k,j,f}^{Blue,PB}$ は、(5.28)～(5.30)式に示す3つの要因から構成され、これら3つの要因の総和と等しくなる。



$$\begin{aligned} \Delta WW_{k,j,1}^{Blue,PB} &= \Delta x_1 x_2^0 x_3^0 + \frac{a_1}{a_1 + a_2} \Delta x_1 \Delta x_2 x_3^0 + \frac{a_1}{a_1 + a_3} \Delta x_1 x_2^0 \Delta x_3 + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_3} \Delta x_1 \Delta x_2 \Delta x_3 \end{aligned} \quad (5.28)$$

$$\begin{aligned} \Delta WW_{k,j,2}^{Blue,PB} &= x_1^0 \Delta x_2 x_3^0 + \frac{a_2}{a_1 + a_2} \Delta x_1 \Delta x_2 x_3^0 + \frac{a_2}{a_2 + a_3} x_1^0 \Delta x_2 \Delta x_3 + \frac{a_2}{a_1 + a_2 + a_3} \Delta x_1 \Delta x_2 \Delta x_3 \end{aligned} \quad (5.29)$$

$$\begin{aligned} \Delta WW_{k,j,3}^{Blue,PB} &= x_1^0 x_2^0 \Delta x_3 + \frac{a_3}{a_1 + a_3} \Delta x_1 x_2^0 \Delta x_3 + \frac{a_3}{a_2 + a_3} x_1^0 \Delta x_2 \Delta x_3 + \frac{a_3}{a_1 + a_2 + a_3} \Delta x_1 \Delta x_2 \Delta x_3 \end{aligned} \quad (5.30)$$

一方、消費ベースの淡水資源必要量に関しては、次式(5.31)～(5.34)に示す通りに、 $\Delta WW_{i,j,k,f}^{Blue,CB} = WW_{i,j,k,f}^{Blue,CB} - WW_{i,j,k,f}^{Blue,CB,0}$  ( $f = 1,2,3,4$ ) に対して、MLI法を適用した。ここで、 $\Delta WW_{i,j,k,f}^{Blue,CB}$  は、(5.31)～(5.34)式に示す4つの要因から構成され、これら4つの要因の総和と等しくなる。

$$\begin{aligned} \Delta WW_{i,j,k,1}^{Blue,CB} &= \Delta x_1 x_2^0 x_3^0 x_4^0 + \frac{a_1}{a_1 + a_2} \Delta x_1 \Delta x_2 x_3^0 x_4^0 + \frac{a_1}{a_1 + a_3} \Delta x_1 x_2^0 \Delta x_3 x_4^0 \\ &+ \frac{a_1}{a_1 + a_4} \Delta x_1 x_2^0 x_3^0 \Delta x_4 + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_3} \Delta x_1 \Delta x_2 \Delta x_3 x_4^0 \\ &+ \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_4} \Delta x_1 \Delta x_2 x_3^0 \Delta x_4 + \frac{a_1}{a_1 + a_3 + a_4} \Delta x_1 x_2^0 \Delta x_3 \Delta x_4 \\ &+ \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4} \Delta x_1 \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta x_4 \end{aligned} \quad (5.31)$$

$$\begin{aligned} \Delta WW_{i,j,k,2}^{Blue,CB} &= x_1^0 \Delta x_2 x_3^0 x_4^0 + \frac{a_2}{a_1 + a_2} \Delta x_1 \Delta x_2 x_3^0 x_4^0 + \frac{a_2}{a_2 + a_3} x_1^0 \Delta x_2 \Delta x_3 x_4^0 \\ &+ \frac{a_2}{a_2 + a_4} x_1^0 \Delta x_2 x_3^0 \Delta x_4 + \frac{a_2}{a_1 + a_2 + a_3} \Delta x_1 \Delta x_2 \Delta x_3 x_4^0 \\ &+ \frac{a_2}{a_1 + a_2 + a_4} \Delta x_1 \Delta x_2 x_3^0 \Delta x_4 + \frac{a_2}{a_2 + a_3 + a_4} x_1^0 \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta x_4 \\ &+ \frac{a_2}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4} \Delta x_1 \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta x_4 \end{aligned} \quad (5.32)$$

$$\begin{aligned}
\Delta WW_{i,j,k,3}^{Blue,CB} &= x_1^0 x_2^0 \Delta x_3 x_4^0 + \frac{a_3}{a_1 + a_3} \Delta x_1 x_2^0 \Delta x_3 x_4^0 + \frac{a_3}{a_2 + a_3} x_1^0 \Delta x_2 \Delta x_3 x_4^0 \\
&+ \frac{a_3}{a_3 + a_4} x_1^0 x_2^0 \Delta x_3 \Delta x_4 + \frac{a_3}{a_1 + a_2 + a_3} \Delta x_1 \Delta x_2 \Delta x_3 x_4^0 \\
&+ \frac{a_3}{a_1 + a_3 + a_4} \Delta x_1 x_2^0 \Delta x_3 \Delta x_4 + \frac{a_3}{a_2 + a_3 + a_4} x_1^0 \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta x_4 \\
&+ \frac{a_3}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4} \Delta x_1 \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta x_4
\end{aligned} \tag{5.33}$$

$$\begin{aligned}
\Delta WW_{i,j,k,4}^{Blue,CB} &= x_1^0 x_2^0 x_3^0 \Delta x_4 + \frac{a_4}{a_1 + a_4} \Delta x_1 x_2^0 x_3^0 \Delta x_4 + \frac{a_4}{a_2 + a_4} x_1^0 \Delta x_2 x_3^0 \Delta x_4 \\
&+ \frac{a_4}{a_3 + a_4} x_1^0 x_2^0 \Delta x_3 \Delta x_4 + \frac{a_4}{a_1 + a_2 + a_4} \Delta x_1 \Delta x_2 x_3^0 \Delta x_4 \\
&+ \frac{a_4}{a_1 + a_3 + a_4} \Delta x_1 x_2^0 \Delta x_3 \Delta x_4 + \frac{a_4}{a_2 + a_3 + a_4} x_1^0 \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta x_4 \\
&+ \frac{a_4}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4} \Delta x_1 \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta x_4
\end{aligned} \tag{5.34}$$

(5.28)～(5.34)式において、 $\Delta x_m$ および $a_m$ （生産ベースの淡水資源必要量の場合は $m = 1,2,3$ 、消費ベースの淡水資源必要量の場合は $m = 1,2,3,4$ ）はそれぞれ、次式(5.35)と(5.36)より定義した。

$$\Delta x_m = x_m - x_m^0 \quad (m = 1,2,3 \text{ または } m = 1,2,3,4) \tag{5.35}$$

$$a_m = \frac{\Delta x_m}{\frac{x_m + x_m^0}{2}} \quad (m = 1,2,3 \text{ または } m = 1,2,3,4) \tag{5.36}$$

生産ベースの淡水資源必要量の場合、(5.35)式と(5.36)式において、 $x_m$ は $m$ 番目の要因に対応する指標の食料品目別、生産国別の推計値を表し、(5.10)式右辺の各項がこれに相当する。すなわち、各要因の番号 $m$ は、(5.10)式右辺の第1項が $m = 1$ 、第2項が $m = 2$ 、および第3項が $m = 3$ にそれぞれ相当する。また、 $x_m^0$ は $m$ 番目の要因に対応する指標の食料品目別、生産国別の推計値を表し、(5.18)式右辺の各項がこれに相当する。すなわち、各要因の番号 $m$ は、(5.18)式右辺の第1項が $m = 1$ 、第2項が $m = 2$ 、および第3項が $m = 3$ にそれぞれ相当する。なお、 $x_m$ および $x_m^0$ に対して、添え字 $j, k$ の記載は省略した。

一方、消費ベースの淡水資源必要量の場合、(5.35)式と(5.36)式において、 $x_m$ は $m$ 番目の要因に対応する指標の消費国別、食料品目別、生産国別の推計値を表し、それぞれ(5.23)式右辺の各項がこれに相当する。すなわち、各要因の番号 $m$ に関して、(5.23)式右辺の第1項は $m = 1$ 、第2項は $m = 2$ 、第3項は $m = 3$ 、および第4項は $m = 4$ にそれぞれ相当する。また、 $x_m^0$ は $m$ 番目の要因に対応する指標の消費国別、食料品目別、生産国別の推計値を表

し、(5.25)式右辺の各項がこれに相当する。すなわち、各要因の番号 $m$ に関して、(5.25)式右辺の第1項は $m = 1$ 、第2項は $m = 2$ 、第3項は $m = 3$ 、および第4項は $m = 4$ にそれぞれ相当する。なお、 $x_m$ および $x_m^0$ に対して、添え字 $i, j, k$ の記載は省略した。

ここで、生産ベースと消費ベースの淡水資源必要量の双方において、(5.28)～(5.34)式の各配分係数に関して、その分母を構成する $a_m$ がすべて $\Delta x_m \geq 0$ を満たす場合、当該分母を構成する $a_m$ の総数に関係なく、当該分母を構成する $a_m$ についてすべて、各々の $a_m$ の値をそのまま用いた。一方、各配分係数に関して、その分母を構成する $a_m$ のうち $\Delta x_m < 0$ を満たす $a_m$ の総数が、当該分母を構成する $a_m$ の総数よりも小さい場合、前者に当該する $a_m$ の値はすべて $a_m = 0$ と設定した。また、各配分係数に関して、その分母を構成する $a_m$ がすべて $\Delta x_m < 0$ を満たす場合、当該配分係数は1から当該配分係数を減じたもので置き換えた。

生産ベースの淡水資源必要量 ( $m = 1, 2, 3$ ) に関しては、たとえば、(5.28)式の配分係数を置き換える場合を想定すると、 $[a_1/(a_1 + a_2)]$ ,  $[a_1/(a_1 + a_3)]$ ,  $[a_1/(a_1 + a_2 + a_3)]$ はそれぞれ、 $[1 - \{a_1/(a_1 + a_2)\}]$ ,  $[1 - \{a_1/(a_1 + a_3)\}]$ , および $[1 - (1/2) \times \{a_1/(a_1 + a_2 + a_3)\}]$ に置き換えた。(5.29)式と(5.30)式に関しても、各式の配分係数を置き換える場合は、各配分係数に対して同様の方法で置換式を設定し、各配分係数をそれらに置き換えた。

一方、消費ベースの淡水資源必要量 ( $m = 1, 2, 3, 4$ ) に関しては、たとえば、(5.31)式の配分係数を置き換える場合を想定すると、 $[a_1/(a_1 + a_2)]$ ,  $[a_1/(a_1 + a_3)]$ ,  $[a_1/(a_1 + a_4)]$ はそれぞれ、 $[1 - \{a_1/(a_1 + a_2)\}]$ ,  $[1 - \{a_1/(a_1 + a_3)\}]$ ,  $[1 - \{a_1/(a_1 + a_4)\}]$ に置き換えた。同様に、 $[a_1/(a_1 + a_2 + a_3)]$ ,  $[a_1/(a_1 + a_2 + a_4)]$ ,  $[a_1/(a_1 + a_3 + a_4)]$ はそれぞれ、 $[1 - (1/2) \times \{a_1/(a_1 + a_2 + a_3)\}]$ ,  $[1 - (1/2) \times \{a_1/(a_1 + a_2 + a_4)\}]$ ,  $[1 - (1/2) \times \{a_1/(a_1 + a_3 + a_4)\}]$ に置き換えた。同様に、 $[a_1/(a_1 + a_2 + a_3 + a_4)]$ は、 $[1 - (1/3) \times \{a_1/(a_1 + a_2 + a_3 + a_4)\}]$ に置き換えた。(5.32)～(5.34)式に関しても、各式の配分係数を置き換える場合は、各配分係数に対して同様の方法で置換式を設定し、各配分係数をそれらに置き換えた。

なお、三科・室町 (2011) には、MLI 法における配分係数の分母が2つの $a_m$ で構成される場合に用いる置換式のみが記載されている。そのため、同法における配分係数の分母が3つ以上の $a_m$ で構成される場合の置換式については、三科・室町 (2011) には記載されていない。したがって、ここで提示した置換式のうち、3つ以上の $a_m$ で構成される置換式は、いずれも三科・室町 (2011) をもとに本研究で独自に立式したものである。

次に、生産ベースの水需給バランス指標に関しては、次式(5.37)～(5.39)に示す通りに、

$$\Delta WBI_{k,j,f}^{Blue,PB} = WBI_{k,j,f}^{Blue,PB} - WBI_{k,j,f}^{Blue,PB,0} \quad (f = 1, 2, WW) \text{ に対して, MLI 法を適用した.}$$

ここで、 $\Delta WBI_{k,j,f}^{Blue,PB}$ は(5.37)～(5.39)式に示す3つの要因から構成され、これら3つの要因の総和と等しくなる。

一方、消費ベースの水需給バランス指標に関しては、(5.37)～(5.39)式左辺について、 $\Delta WBI_{k,j,1}^{PB}$ ,  $\Delta WBI_{k,j,2}^{PB}$ ,  $\Delta WBI_{k,j,WW}^{PB}$ をそれぞれ、 $\Delta WBI_{i,j,k,1}^{CB}$ ,  $\Delta WBI_{i,j,k,2}^{CB}$ ,  $\Delta WBI_{i,j,k,WW}^{CB}$ に置き換えた。その上で、(5.37)～(5.39)式に示す通りに、 $\Delta WBI_{i,j,k,f}^{Blue,CB} = WBI_{i,j,k,f}^{Blue,CB} - WBI_{i,j,k,f}^{Blue,CB,0}$

( $f = 1, 2, WW$ ) に対して、MLI 法を適用した。ここで、 $\Delta WBI_{i,j,k,f}^{Blue,CB}$ は3つの要因 ( $\Delta WBI_{i,j,k,1}^{CB}$ ,

$\Delta WBI_{i,j,k,2}^{CB}$ , および  $\Delta WBI_{i,j,k,WW}^{CB}$ ) から構成され, これら 3 つの要因の総和と等しくなる.

$$\begin{aligned} \Delta WBI_{k,j,1}^{PB} &= \Delta y_1 y_2^0 y_{WW}^0 + \frac{b_1}{b_1 + b_2} \Delta y_1 \Delta y_2 y_{WW}^0 + \frac{b_1}{b_1 + b_{WW}} \Delta y_1 y_2^0 \Delta y_{WW} \\ &+ \frac{b_1}{b_1 + b_2 + b_{WW}} \Delta y_1 \Delta y_2 \Delta y_{WW} \end{aligned} \quad (5.37)$$

$$\begin{aligned} \Delta WBI_{k,j,2}^{PB} &= y_1^0 \Delta y_2 y_{WW}^0 + \frac{b_2}{b_1 + b_2} \Delta y_1 \Delta y_2 y_{WW}^0 + \frac{b_2}{b_2 + b_{WW}} y_1^0 \Delta y_2 \Delta y_{WW} \\ &+ \frac{b_2}{b_1 + b_2 + b_{WW}} \Delta y_1 \Delta y_2 \Delta y_{WW} \end{aligned} \quad (5.38)$$

$$\begin{aligned} \Delta WBI_{k,j,WW}^{PB} &= y_1^0 y_2^0 \Delta y_{WW} + \frac{b_{WW}}{b_1 + b_{WW}} \Delta y_1 y_2^0 \Delta y_{WW} + \frac{b_{WW}}{b_2 + b_{WW}} y_1^0 \Delta y_2 \Delta y_{WW} \\ &+ \frac{b_{WW}}{b_1 + b_2 + b_{WW}} \Delta y_1 \Delta y_2 \Delta y_{WW} \end{aligned} \quad (5.39)$$

(5.37)~(5.39)式において,  $\Delta y_n$  および  $b_n$  ( $n = 1, 2, WW$ ) はそれぞれ, 次式(5.40)と(5.41)より定義した.

$$\Delta y_n = y_n - y_n^0 \quad (n = 1, 2, WW) \quad (5.40)$$

$$b_n = \frac{\Delta y_n}{\frac{y_n + y_n^0}{2}} \quad (n = 1, 2, WW) \quad (5.41)$$

生産ベースの水需給バランス指標の場合, (5.40)式と(5.41)式において,  $y_n$  は  $n$  番目の要因に対応する指標の食料品目別, 生産国別の推計値を表し, それぞれ(5.9)式右辺の各項がこれに相当する. すなわち, 各要因の番号  $n$  は, (5.9)式右辺の第 1 項が  $n = 1$ , 第 2 項が  $n = 2$ , および第 3 項が  $n = WW$  にそれぞれ相当する. また,  $y_n^0$  は  $n$  番目の要因に対応する指標の食料品目別, 生産国別の推計値を表し, (5.11)式右辺の各項がこれに相当する. すなわち, 各要因の番号  $n$  は, (5.11)式右辺の第 1 項が  $n = 1$ , 第 2 項が  $n = 2$ , および第 3 項が  $n = WW$  にそれぞれ相当する. なお,  $y_n$  および  $y_n^0$  に対して, 添え字  $j, k$  の記載は省略した.

一方, 消費ベースの水需給バランス指標の場合, (5.40)式と(5.41)式において,  $y_n$  は  $n$  番目の要因に対応する指標の消費国別, 食料品目別, 生産国別の推計値を表し, それぞれ(5.22)式右辺の各項がこれに相当する. すなわち, 各要因の番号  $n$  は, (5.22)式右辺の第 1 項が  $n = 1$ , 第 2 項が  $n = 2$ , および第 3 項が  $n = WW$  にそれぞれ相当する. また,  $y_n^0$  は  $n$  番目の要因に対応する指標の消費国別, 食料品目別, 生産国別の推計値を表し, (5.24)式右辺の各項がこれに相当する. すなわち, 各要因の番号  $n$  は, (5.24)式右辺の第 1 項が  $n = 1$ , 第 2 項が  $n = 2$ , および第 3 項が  $n = WW$  にそれぞれ相当する. なお,  $y_n$  および  $y_n^0$  に対して, 添え字

$i, j, k$ の記載は省略した。

ここで、生産ベースと消費ベースの淡水資源必要量の双方において、(5.37)～(5.39)式の各配分係数に関して、その分母を構成する $b_n$ がすべて $\Delta y_n \geq 0$ を満たす場合、当該分母を構成する $b_n$ の総数に関係なく、当該分母を構成する $b_n$ についてすべて、各々の $b_n$ の値をそのまま用いた。一方、各配分係数に関して、その分母を構成する $b_n$ のうち $\Delta y_n < 0$ を満たす $b_n$ の総数が、当該分母を構成する $b_n$ の総数よりも小さい場合、前者に当該する $b_n$ の値はすべて $b_n = 0$ と設定した。また、各配分係数に関して、その分母を構成する $b_n$ がすべて $\Delta y_n < 0$ を満たす場合、当該配分係数は1から当該配分係数を減じたもので置き換えた。たとえば、(5.37)式の配分係数を置き換える場合を想定すると、 $[b_1/(b_1 + b_2)]$ 、 $[b_1/(b_1 + b_{WW})]$ 、 $[b_1/(b_1 + b_2 + b_3)]$ はそれぞれ、 $[1 - \{b_1/(b_1 + b_2)\}]$ 、 $[1 - \{b_1/(b_1 + b_{WW})\}]$ 、 $[1 - (1/2) \times \{b_1/(b_1 + b_2 + b_3)\}]$ に置き換えた。(5.38)式と(5.39)式に関しても、各式の配分係数を置き換える場合は、各配分係数に対して同様の方法で置換式を設定し、各配分係数をそれらに置き換えた。なお、前述した理由により、ここで提示した置換式のうち、3つの $b_n$ から構成されるものは、三科・室町(2011)をもとに本研究で独自に立式したものである。

最後に、生産ベースの水需給バランス指標に関しては、次式(5.42)のように、(5.28)～(5.30)式の総和として $\Delta y_{WW}$ を定義し、これを(5.37)～(5.39)式におけるそれぞれの $\Delta y_{WW}$ に代入した上で、(5.37)～(5.39)式の総和をとった。この式の各項を(5.8)式右辺の各要因に関連する項ごとに整理し、 $\Delta WBI_{k,j,f}^{Blue,PB}$ を5つの要因( $\Delta F_1^{PB} \sim \Delta F_5^{PB}$ )に分解した。

$$\Delta y_{WW} = \Delta WW_{k,j,1}^{Blue,PB} + \Delta WW_{k,j,2}^{Blue,PB} + \Delta WW_{k,j,3}^{Blue,PB} \quad (5.42)$$

一方、消費ベースの水需給バランス指標に関しては、次式(5.43)のように、(5.31)～(5.34)式の総和として $\Delta y_{WW}$ を定義し、これを(5.37)～(5.39)式(ただし、 $\Delta WBI_{k,j,1}^{PB}$ 、 $\Delta WBI_{k,j,2}^{PB}$ 、および $\Delta WBI_{k,j,WW}^{PB}$ をそれぞれ、 $\Delta WBI_{i,j,k,1}^{CB}$ 、 $\Delta WBI_{i,j,k,2}^{CB}$ 、および $\Delta WBI_{i,j,k,WW}^{CB}$ に置き換えた式)におけるそれぞれの $\Delta y_{WW}$ に代入した上で、(5.37)～(5.39)式の総和をとった。この式の各項を(5.21)式右辺の各要因に関連する項ごとに整理し、 $\Delta WBI_{i,j,k,f}^{Blue,CB}$ を6つの要因( $\Delta F_1^{CB} \sim \Delta F_6^{CB}$ )に分解した。

$$\Delta y_{WW} = \Delta WW_{i,j,k,1}^{Blue,CB} + \Delta WW_{i,j,k,2}^{Blue,CB} + \Delta WW_{i,j,k,3}^{Blue,CB} + \Delta WW_{i,j,k,4}^{Blue,CB} \quad (5.43)$$

### 5.3.3 生産ベースと消費ベースの淡水資源需給バランスの要因分析結果の比較

図5.5と図5.6はそれぞれ、生産ベースの淡水需給逼迫度の主要増加要因と主要減少要因を強度別の国数として図示したものである。ここで、主要増加要因は寄与の値が最大のもの、主要減少要因は寄与の値が最小のものである。両図を比較すると、低位の淡水需給逼迫度を示す地域(“低位の淡水需給逼迫地域”)では、気候要因(31カ国)や産業構造要因(30カ国)を主要な増加要因とする国が過半数を占めている。これに対して、同地域の減少要因を見ると、半数以上の国では、気候要因(32カ国)や生産品目選好要因(36カ国)が

主要な減少要因となっている。また、中位の淡水需給逼迫度を示す地域（“中位の淡水需給逼迫地域”）中位では、気候要因（6カ国）や産業構造要因（6カ国）を主要な増加要因とする国が大部分を占めている。これに対して、同地域の減少要因を見ると、大部分の国では、生產品目選好要因（6カ国）や淡水消費原単位要因（6カ国）を主要な減少要因となっている。高位の淡水需給逼迫度を示す地域（“高位の淡水需給逼迫地域”）では、気候要因（20カ国）と淡水消費原単位要因（10カ国）を主要な増加要因とする国が大部分を占めている。これに対して、同地域の減少要因を見ると、要因ごとの国数はほぼ均等に分かれており、気候要因は7カ国、産業構造要因は8カ国、生産規模要因は10カ国、生產品目選好要因は8カ国、および淡水消費原単位要因は9カ国である。

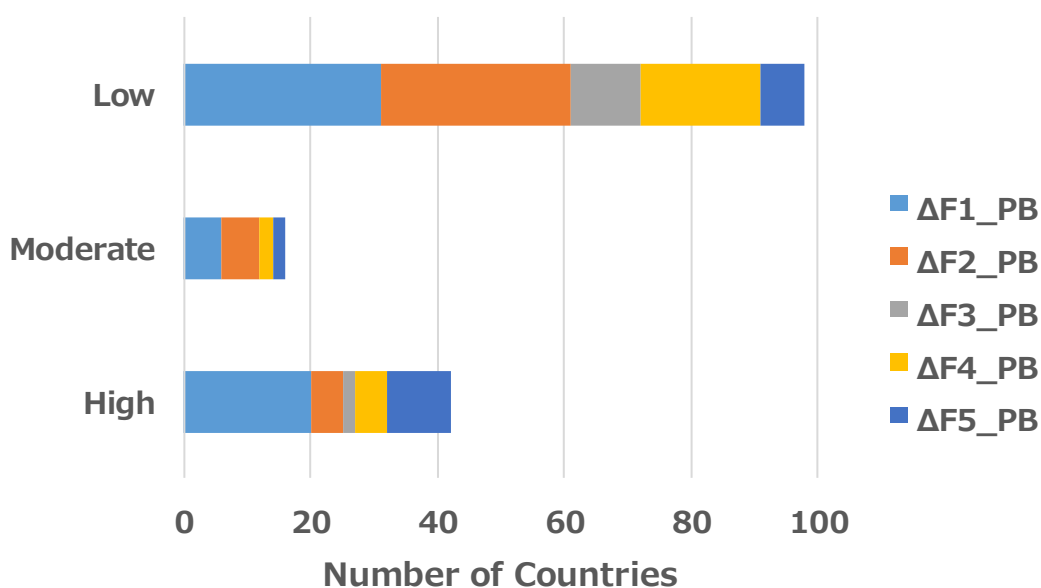


図 5.5 生産ベースの淡水資源需給バランスの主要増加要因

注釈) Low は低位の淡水需給逼迫度、Moderate は中位の淡水需給逼迫度、および High は高位の淡水需給逼迫度をそれぞれ表す。また、 $\Delta F1\_PB$  は気候要因、 $\Delta F2\_PB$  は産業構造要因、 $\Delta F3\_PB$  は生産規模要因、 $\Delta F4\_PB$  は生產品目選好要因、および $\Delta F5\_PB$  は淡水消費原単位要因をそれぞれ表す。

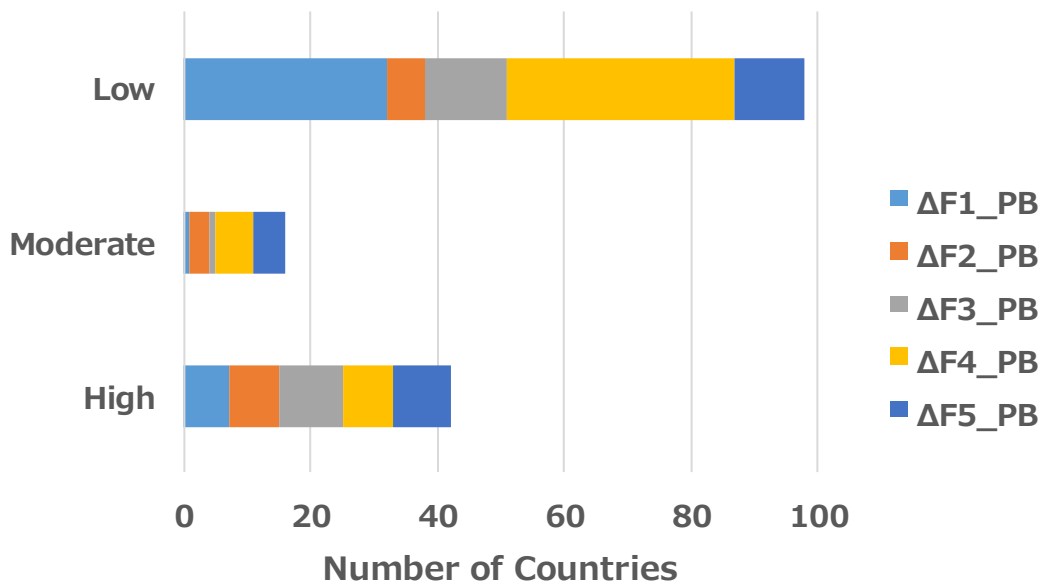


図 5.6 生産ベースの淡水資源需給バランスの主要減少要因

注釈) 各淡水需給逼迫度および各要因の解釈は、いずれも図 5.5 と同様である。

以上をまとめると、生産ベースの淡水需給逼迫度の評価に関しては、全体的な傾向として、気候要因、産業構造要因、淡水消費原単位要因といった、食料生産規模や生産品目選好とは異なる要因によって、生産ベースの淡水需給逼迫度が高められている国の数が多い。これらの国では、淡水資源の枯渇、工業を主とする経済基盤、単位生産あたりの淡水消費効率の低さといった、食料生産の規模や品目選好とは異なる要因によって、生産ベースの淡水需給逼迫度が高められている可能性がある。一方、低位や中位の淡水需給逼迫地域では、気候要因や淡水消費原単位要因が減少要因となる国も存在する。これらの国では、淡水資源が潤沢であること、単位生産あたりの淡水消費効率が高いことなどによって、生産ベースの淡水需給逼迫度が抑えられていると考えられる。また、高位の淡水需給逼迫地域では、国ごとの主要な減少要因に多様性が見られる。ただし、淡水需給逼迫度の強度によらず、いずれの地域においても、生産品目選好要因を主要な減少要因とする国が存在する。特に、低位の淡水需給逼迫地域では、生産品目選好要因が生産ベースの淡水需給逼迫度の主要な減少要因となる国の数が多い傾向にある。これらの国では、主にカロリー量の比較的低い品目が生産されていると考えられる。

一方、図 5.7 と図 5.8 はそれぞれ、消費ベースの淡水需給逼迫度の主要増加要因と主要減少要因を強度別の国数として図示したものである。ここで、主要増加要因は寄与の値が最大のもの、主要減少要因は寄与の値が最小のものである。まず、図 5.7 を見ると、淡水需給逼迫度の強度によらず、消費品目選好要因が主要な増加要因となっている。すなわち、消費品目選好要因を主要な増加要因とする国の数を見ると、低位の淡水需給逼迫地域では 47 カ国、中位の淡水需給逼迫地域では 11 カ国、および高位の淡水需給逼迫地域では 20 カ国である。また、消費品目選好要因以外の要因を見ると、低位の淡水需給逼迫地域では淡水消費原単位要因 (22 カ国)、中位の淡水需給逼迫地域では気候要因 (6 カ国)、高位の淡水需給逼迫地域では気候要因 (14 カ国) を主要な増加要因とする国が比較的高い傾向にある。

よって、淡水需給逼迫度の強度によらず、いずれの地域においても、過半数以上の国では消費品目選好要因が主要な増加要因であり、それ以外の一部の国では気候要因や淡水消費原単位要因が主要な増加要因であることがわかる。これに対して、図 5.8 を見ると、淡水需給バランスの逼迫度によらず、いずれの地域においても、大部分の国において生産地選好要因が主要な減少要因となっている。すなわち、生産地選好要因を主要な減少要因とする国の数を見ると、低位の淡水需給逼迫地域では 80 カ国、中位の淡水需給逼迫地域では 19 カ国、および高位の淡水需給逼迫地域では 34 カ国である。生産地選好要因以外の要因に関しては、特に高位の淡水需給逼迫地域では、気候要因（5 カ国）や産業構造要因（5 カ国）を主要な減少要因とする国も見られる。よって、淡水需給逼迫度の強度によらず、いずれの地域においても、大部分の国では生産地選好要因が主要な減少要因であるが、高位の淡水需給逼迫地域では気候要因や産業構造要因を主要な減少要因とする国も若干存在することがわかる。

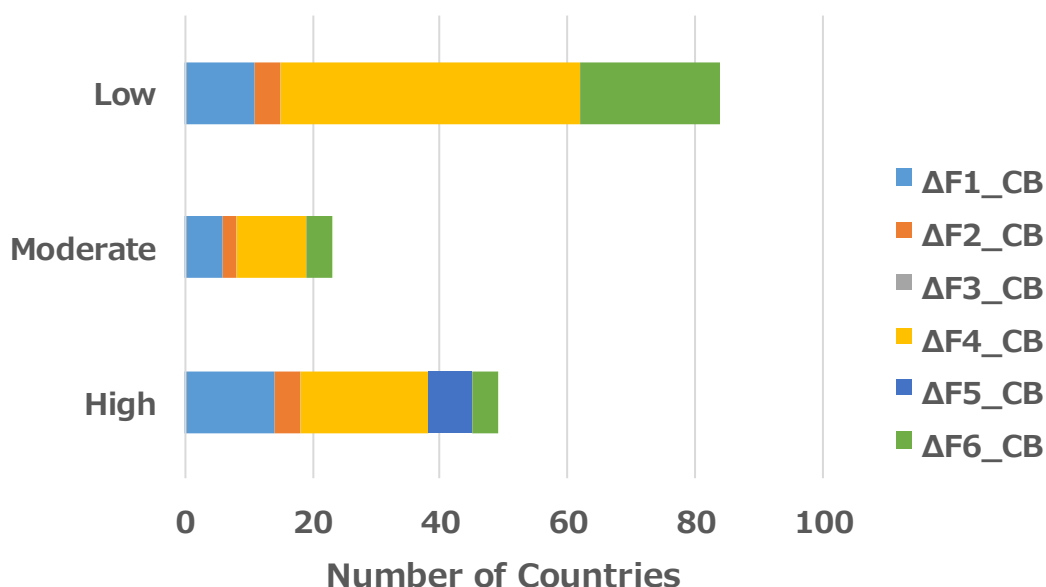


図 5.7 消費ベースの淡水資源需給バランスの強度別の主要増加要因

注釈) 各淡水需給逼迫度の解釈は、図 5.5 と同様である。また、 $\Delta F1\_CB$  は気候要因、 $\Delta F2\_CB$  は産業構造要因、 $\Delta F3\_CB$  は消費規模要因、 $\Delta F4\_CB$  は消費品目選好要因、 $\Delta F5\_CB$  は生産地選好要因、および  $\Delta F6\_CB$  は淡水消費原単位要因をそれぞれ表す。



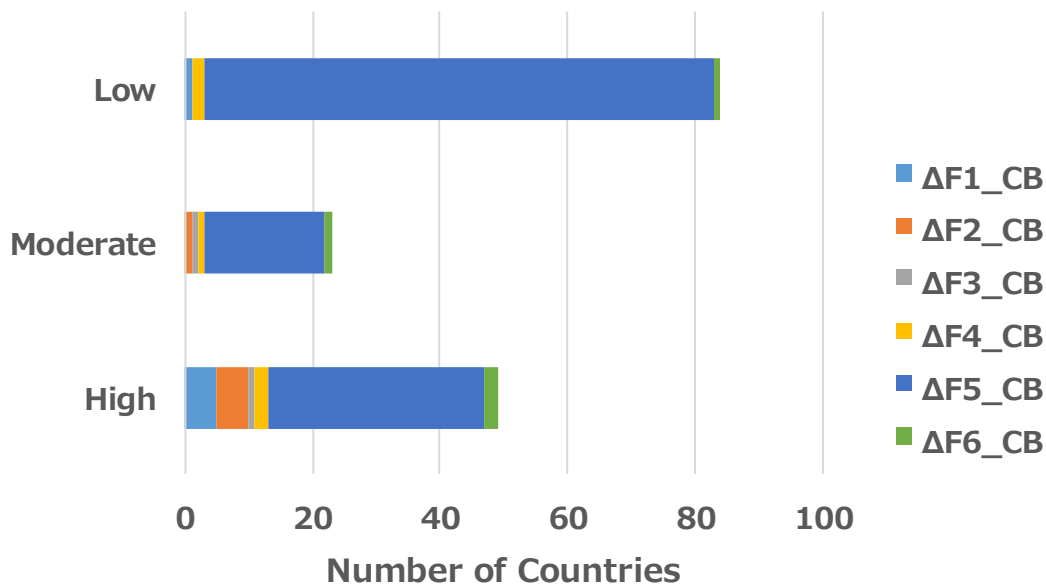


図 5.8 消費ベースの淡水資源需給バランスの強度別の主要減少要因

注釈) 各淡水需給逼迫度と各要因の解釈は、いずれも図 5.7 と同様である。

以上をまとめると、消費ベースの淡水需給逼迫度の評価に関しては、全体的な傾向として、淡水需給逼迫度の強度によらず、いずれの地域においても、消費品目選好要因によって消費ベースの淡水需給逼迫度が高められている国の数が多い。これらの国では、カロリー量の比較的高い品目の消費によって、消費ベースの淡水需給逼迫度が高められている可能性がある。ただし、すべての国に関して、消費品目選好要因が主要な増加要因であるわけではなく、低位の淡水需給逼迫地域では淡水消費原単位要因、中位や高位の淡水需給逼迫地域では気候要因によって、消費ベースの淡水需給逼迫度が高められている国も存在する。これらの国では、単位生産あたりの淡水消費効率の低さ、淡水資源の枯渇など、食料消費の規模や品目選好とは異なる要因によって、消費ベースの淡水需給逼迫度が高められていると考えられる。一方で、主要な減少要因を見ると、淡水需給逼迫度の強度によらず、いずれの地域においても、生産地選好要因によって消費ベースの淡水需給逼迫度が低下している国の数が多い。これらの国では、輸入相手国への食料輸出によって、消費ベースの淡水需給逼迫度が抑えられている可能性がある。また、高位の淡水需給逼迫地域では、気候要因や産業構造要因を主要な減少要因とする国もわずかに存在する。

## 第6章 結論

### 6.1 まとめ

本研究では、以下の3つの目的について新たな知見を得た。以下に各章の概要を述べる。

(目的1) 世界全体の食料貿易収支と食料需給バランスの実態を把握する。

(目的2) 食料需給バランスに基づいて、世界全体の食料供給および食料需要に起因する淡水資源必要量を評価する。

(目的3) 生産ベースと消費ベースの両面から、各国の淡水資源需給バランスの逼迫度を評価し、各々の増減要因を特定する。

第1章では、本研究の背景と目的、および本論文の章構成について述べた。本研究の目的は上記の通りである。

第2章では、本研究の対象設定と使用データについて述べた。本研究では、評価対象年を2010年とし、評価対象国は216カ国、評価対象品目は78品目とした。

第3章では、評価対象年における食料需給バランスの現状を分析した。世界全体の輸入量の和と世界全体の輸出量の和が品目別に整合するように、RAS法を用いて各国間の食料貿易収支を品目別に補整した。その際、RAS法による補整計算の妥当性を評価するために、補整前後で輸出整合率と輸入整合率を比較評価した。対数変換済み輸出整合率を補整前後で比較すると、 $-0.01 \sim 0.01$ の範囲にある比較的整合率の高いサンプル出現比率は、補整前の6.3%から補整後は92.2%と大幅に増えた。また、RAS法による補整前後の対数変換済み輸入整合率の変化を比較すると、補整後に対数変換済み輸入整合率が階級値で $-0.01 \sim 0.01$ の範囲から外れたサンプルは全体の8.1%に過ぎない。これらの結果は、RAS法による補整計算によって、高い輸入整合率を維持しながら、輸出整合率が劇的に改善したことを示唆する。したがって、RAS法による補整計算は、輸出整合率の改善に有効であることがいえる。また、食料需給バランス式に基づいて、各国の品目別の食料供給量と食料需要量が等しくなるように、各国間の品目別の食料貿易収支を加味した食料需給バランスを国別、品目別に分析した。世界6地域別のカロリーベース食料供給量を分析した結果、すべての地域において、国内生産のシェアが最も高くなった。また、ヨーロッパやアフリカでは、他の4地域よりも比較的高い輸入のシェアを示しており、これら2地域では、輸入への依存が比較的高い傾向にあった。一方、世界6地域別のカロリーベース食料需要量を分析した結果、アフリカとアジアでは最終需要のシェア、オセアニアでは輸出のシェアが最も高く、他の3地域では最終需要と輸出のシェアが同程度を示した。

第4章では、供給サイドおよび需要サイドの淡水資源必要量を分析した。Green water (天水) と blue water (灌漑用水) を対象に、water footprintにより、食料供給量と食料需要量をそれぞれ、供給サイドと需要サイドの淡水資源必要量に換算した。すなわち、green water 消費量 (消費量ベース) と blue water 取水量 (取水量ベース) の和として、total water 必要量を分析した。農作物については、栽培段階の間に作物が直接消費する淡水資源量のみを評価範囲とした。また、畜産物については、家畜の飼料用作物が栽培段階の間に必要とする淡水資源の直接消費量に加えて、家畜の飲料用水とその飼育環境の維持のために使用される淡水資源量として、家畜の飼育段階の間に直接消費される淡水資源量を評価範囲とした。世界6地域別の供給サイドのtotal water 必要量を見ると、すべての地域に

において、国内生産のシェアが最も高くなった。特に、アジアの国内生産に起因する **total water** 必要量 (8,089 km<sup>3</sup>) が世界 6 地域の中で突出して高くなった。これに対して、ヨーロッパでは輸入のシェアが比較的高い傾向を示した。また、世界 6 地域別の需要サイドの **total water** 必要量を分析した結果、オセアニアを除く 5 地域では、最終需要のシェアが最も高くなった。特に、アジアの最終需要に起因する **total water** 必要量 (6,178 km<sup>3</sup>) が 6 地域の中で突出して高くなった。一方、オセアニアでは、輸出のシェアが最終需要のそれよりも高くなった。供給サイドと需要サイドの **total water** 必要量の双方とも、穀物類、コメ、肉類・卵、および油糧作物・油類のシェアが比較的高くなった。また、世界の 6 地域すべてにおいて、供給サイドの **total water** 必要量は **green water** に強く依存している。特に、アジアの供給サイドの **total water** 必要量に対して、アジアの **blue water** 取水量のシェアは 41.8 % であり、世界 6 地域の中で最も高くなった。一方で、コメの供給サイドの **total water** 必要量に対して、コメの **blue water** 取水量のシェアは 74.9 % であり、世界全体で見ると突出して高くなった。次に、アジア 5 地域のすべてにおいて、供給サイドと需要サイドの **total water** 必要量では各々、国内生産と最終需要のシェアが最も高くなった。アジア 5 地域のうち、東アジアでは域内輸入と域外輸出が双方とも活発であるが、他の 4 地域では域内輸入が活発であることが示唆された。一方、域外輸出はアジア 5 地域のすべてにおいて活発であることが示唆された。また、アジアでは、穀物類、コメ、油糧作物・油類の輸出入が活発であることが示唆された。さらに、アジアの 45 カ国のうち、純輸出国は 9 カ国、純輸入国は 36 カ国となり、アジア 5 地域の 80 % の国が純輸入国に分類され、大部分の国が輸入に依存していることがわかった。特に、マレーシアの **total water** 必要量に関しては、国内生産 (115 km<sup>3</sup>) と輸入 (50 km<sup>3</sup>) の和が最終需要 (56 km<sup>3</sup>) と輸出 (94 km<sup>3</sup>) の和を上回ることがわかった。最後に、マレーシアとインドネシアのパーム油に焦点を当てた比較評価を通して、パーム油の生産拡大に伴う **total water** 必要量の増加を抑えるためには、食料生産技術の改善、淡水利用管理、資源管理が重要になることが示唆された。

第 5 章では、各国の生産ベース（生産側に淡水消費を割り当てた場合）と消費ベース（消費側に淡水消費を割り当てた場合）の淡水需給バランスの逼迫度（“淡水需給逼迫度”）を水需給バランス指標により評価した。また、各々に完全分解分析を適用することにより、それぞれの増減要因を分析した。ここで、生産ベースの淡水需給逼迫度に関しては、気候要因、産業構造要因、生産規模要因、生産品目選好要因、および淡水消費原単位要因の 5 つの要因に分解し、その増減要因を分析した。一方、消費ベースの淡水需給逼迫度に関しては、気候要因、産業構造要因、消費規模要因、消費品目選好要因、生産地選好要因、および淡水消費原単位要因の 6 つの要因に分解し、その増減要因を分析した。生産ベースと消費ベースの淡水需給逼迫度を比較した結果、後者において高位または中位の淡水需給逼迫度を示す国の数が増加しており、その分だけ低位の淡水需給逼迫度を示す国の数が減少していた。特に、生産ベースの水需給バランス指標で見れば 35 億人（世界人口の 52 %）、消費ベースの水需給バランス指標で見れば 22 億人（同 33 %）が高位の淡水需給逼迫地域に属していることがわかった。また、高位の淡水需給逼迫地域における逼迫度の増加要因は、生産ベースの淡水需給逼迫度に関しては気候要因、消費ベースの淡水需給逼迫度に関しては消費品目選好要因であった。

## 6.2 今後の課題

本研究では、以下の4点が主な課題として挙げられる。1つ目の課題点として、各品目間の投入・産出の収支の詳細を考慮した分析が必要である。本研究では、中間需要と最終需要との間の **water footprint** のダブルカウントを避けるために、中間需要は需要サイドの淡水資源必要量の評価対象から除外した。しかし、第3章で見たように、食料需給バランスの評価では、各地域で中間需要のシェアが比較的高くなる結果となった。そのため、需要サイドの淡水資源必要量に対する中間需要のシェアが比較的高い可能性がある。また、第5章において、本研究で推計した生産ベースの **blue water** 取水量と農業用水取水量との間で線形単回帰分析を実行したところ、生産ベースの **blue water** 取水量が相当に過大評価となっている可能性が示唆された。本研究では、国内生産された品目に関して中間需要向けと最終需要向けの内訳は把握できていない。すなわち、国内生産された品目の用途として中間需要向けと最終需要向けの両方が混在しているために、国内生産に起因する **blue water** 取水量に過大評価が生じている可能性がある。各品目間の投入・産出の収支の詳細を考慮した分析は、本研究の今後の課題である。

2つ目の課題点として、時系列データを用いた生産体制の変化や生産管理の効果を加味した分析が必要である。第4章において、マレーシアとインドネシアのパーム油に焦点を当て、パーム油の国内生産に起因する **total water** 必要量の簡易な将来推移の予測を試みた。両国では、基準年におけるパーム油の国内生産には、**green water** のみが消費されている。しかし今後、**green water** の消費効率の変化、収量の変化、代替作物への転換による **green water** と **blue water** の消費内訳の変化など、人口増加以外の要因によって、両国のパーム油の国内生産に起因する **total water** 必要量が将来的に変化する可能性がある。時系列データに基づくこれらの変化を加味した分析は、本研究の今後の課題である。

3つ目の課題点として、淡水資源賦存量の利用に対する制約を加味した分析が必要である。第5章において、生産ベースと消費ベースの水需給バランス指標の推計では、淡水資源賦存量に関して農業用水取水率による補整以外の他の制約は加味しなかった。また、総取水量由来の水ストレス指標の推計では、淡水資源賦存量に対して何らの制約も加味しなかった。しかし、実際には、淡水資源賦存量の利用にあたって水質や環境流量による制約を受ける可能性があるため、実際に利用可能な淡水資源量は淡水資源賦存量よりも小さくなると考えられる。本研究では、淡水資源賦存量に対するこれらの制約を加味した淡水資源需給バランスは評価していない。この点を加味した分析は、本研究の今後の課題である。

4つ目の課題点として、時系列データに基づいた淡水資源需給バランスの要因分解分析が必要である。本研究では、各国間で比較した場合の生産品目、消費品目、貿易取引品目の違いを加味し、生産ベースの淡水需給逼迫度に関しては生産品目選好要因、消費ベースの淡水需給逼迫度に関しては消費品目選好要因と生産地選好要因について、国ごとに異なる基準値を用いた。また、これら以外の要因に関しては、1人あたり世界平均値を用いた。しかし、要因分解分析は基準値に基づいた相対的なものであるため、その結果は設定した基準値によって容易に変動しうる。そのため、本研究における各要因や各指標に関連する時系列データを用いた分析など、時間的な変動を考慮した追加的な分析が必要である。時系列データに基づいた淡水資源需給バランスの要因分解分析は、本研究の今後の課題である。

## <参考文献>

- Abdelkader, A., Elshorbagy, A., Tuninetti, M., Laio, F., Ridolfi, L., Fahmy, H., and Hoekstra, A. Y. (2018): National water, food, and trade modeling framework: The case of Egypt, *Science of the Total Environment*, 639, pp.485-496.
- Afriyanti, D., Kroeze, C., and Saad, A. (2016): Indonesia palm oil production without deforestation and peat conversion by 2050, *Science of the Total Environment*, 557-558 (1), pp.562-570.
- Alcamo, J., Flörke, M., and Märker, M. (2007): Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climate changes, *Hydrological Sciences Journal*, 52 (2), pp.247-275.
- ALIC (独立行政法人農畜産業振興機構) (2019): 畜産物の需給関係の諸統計データ, Available online: <[https://www.alic.go.jp/joho-c/joho05\\_000073.html](https://www.alic.go.jp/joho-c/joho05_000073.html)>, downloaded on 9th October 2019, last assessed on 17th December 2020.
- Allan, T. (1993): Fortunately there are substitutes for water: otherwise our hydropolitical futures would be impossible, *Proceedings of the Conference on Priorities for Water Resources Allocation and Management, Natural Resources and Engineering Advisers Conference, Southampton, July 1992*, pp.13-26, Available online: <<https://www.ircwash.org/sites/default/files/210-93PR-11967.pdf>>, last assessed on 17th December 2020.
- Allan, T. (1997): ‘Virtual water’: a long term solution for water short Middle Eastern economies?, presented at the 1997 British Association Festival of Science, Roger Stevens Lecture Theatre, University of Leeds, Water and Development Session – TUE.51, 14.45, 9th September 1997, pp.1-21, Available online: <<https://www.soas.ac.uk/water/publications/papers/file38347.pdf>>, last assessed on 17th December 2020.
- Ang, B. W., Zhang, F. Q., and CHIO, K. H. (1998): Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition, *Energy*, 23 (6), pp.489-495.
- Ang, B. W. and Liu, F. L. (2001): A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation, *Energy*, 26 (6), pp.537-548.
- Ang, B. W., Liu, F. L., and Chew, E. P. (2003): Perfect decomposition techniques in energy and environmental analysis, *Energy Policy*, 31 (14), pp.1561-1566.
- Ang, B. W. (2004): Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? *Energy Policy*, 32 (9), pp.1131-1139.
- Arnell, N. W. (1999): Climate change and global water resources, *Global Environmental Change*, 9, pp.S31-S49.
- Arto, I., Andreoni, V., and Rudeda-Cantucho, J. M. (2016): Global use of water resources: A multiregional analysis of water use, water footprint and water trade balance, *Water Resources and Economics*, 15, pp.1-14.
- Austin, K. G., Mosnier, A., Pirker, J., McCallum, I., Fritz, S., and Kasibhatla, P. S.

- (2017): Shifting patterns of oil palm driven deforestation in Indonesia and implications for zero-deforestation commitments, *Land Use Policy*, 69, pp.41-48.
- BPS (Badan Pusat Statistik) (2019): Perkembangan beberapa indikator utama sosial-ekonomi Indonesia (Trends of the selected socio-economic indicators of Indonesia), in *Bad (Unit) 2: Penduduk dan ketenagakerjaan (Population and employment)*, Table 2.4, p.13.
  - Chen, Z. M. and Chen G. Q. (2013): Virtual water accounting for the globalized world economy: National water footprint and international virtual water trade, *Ecological Indicators*, 28, pp.142-149.
  - Döll, P. and Siebert, S. (2002): Global modeling of irrigation water requirements, *Water Research Research*, 38 (4), 1037 (pp.8-1-8-10).
  - FAO (国際連合食糧農業機関) (2001): Food balance sheets – A handbook, in Chapter II: Concepts and Definitions Used in Food Balance Sheets, in Section 2: Supply and Utilization Elements, Available online: <[http://www.fao.org/3/X9892E/X9892e02.htm#P430\\_31575](http://www.fao.org/3/X9892E/X9892e02.htm#P430_31575)>, last assessed on 17th December 2020.
  - FAO (2002): Small-scale palm oil processing in Africa, *FAO Agricultural Services Bulletin* 148, in Chapter 2: Oil Palm, in Section 2.1: Origin of oil palm, Available online: <<http://www.fao.org/3/y4355e/y4355e03.htm#bm03.1>>, last assessed on 17th December 2020.
  - FAO (1994a-2012a): AQUASTAT database, Agricultural water withdrawal, downloaded on 9th May 2017, last assessed on 17th December 2020.
  - FAO (1994b-2012b): AQUASTAT database, Total water withdrawal, downloaded on 9th May 2017, last assessed on 17th December 2020.
  - FAO (1994c-2012c): AQUASTAT database, Industrial water withdrawal, downloaded on 9th May 2017, last assessed on 17th December 2020.
  - FAO (1994d-2012d): AQUASTAT database, Municipal water withdrawal, downloaded on 9th May 2017, last assessed on 17th Decemeber 2020.
  - FAO (2012): AQUASTAT database, Total renewable water resources, downloaded on 9th May 2017, last assessed on 17th December 2020.
  - FAO (2009a-2011a): FAOSTAT, Detailed trade matrix, Available online: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/TM>>, downloaded on 1st April 2017, last assessed on 17th December 2020.
  - FAO (2009b-2011b): FAOSTAT, Commodity Balances – Crops Primary Equivalent, Available online: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/BC>>, downloaded on 31th December 2015, last assessed on 17th December 2020.
  - FAO (2009c-2011c): FAOSTAT, Commodity Balances – Livestock and Fish Primary Equivalent, Available online: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/BL>>, downloaded on 31th December 2015, last assessed on 17th December 2020.

- FAO (2010): FAOSTAT, Annual Population, Available online: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/OA>>, downloaded on 24th September 2019, last assessed on 17th December 2020.
- FAO (2010-2017): FAOSTAT, Crops, Available online: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>, downloaded on 12th and 18th August 2019, last assessed on 17th December 2020.
- Gehelhar, M. J. (1996): Reconciling bilateral trade data for use in GTAP, GTAP Technical Paper No.10, pp.1-27.
- Han, M., Dunford, M., Chen, G., Liu, W., Li, Y., and Liu, S. (2017): Global water transfers embodied in Mainland China's foreign trade: Production- and consumption-based perspectives, *Journal of Cleaner Production*, 161, pp.188-199.
- Han, M. Y., Chen, C. Q., and Liu Y. L. (2018): Global water transfers embodied in international trade: Tracking imbalanced and inefficient flows, *Journal of Cleaner Production*, 184, pp.50-64.
- Hanasaki, N., Kanae, S., Oki, T., Masuda, K., Motoya, K., Shirakawa, N., Shen, Y., and Tanaka, K. (2008): An integrated model for the assessment of global water resources – Part2: Application and assessments, *Hydrology and Earth System Sciences*, 12, pp.1027-1037.
- Hanasaki, N., Fujimori, S., Yamamoto, T., Yoshikawa, S., Masaki, Y., Hijioka, Y., Kainuma, M., Kanamori, Y., Masui, T., Takahashi, K., and Kanae, S. (2013): A global water scarcity assessment under Shared Socio-economic Pathways – Part 2: Water availability and scarcity, *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, pp.2393-2413.
- Hoekstra, A. Y. and Hung, P. Q. (2002): Virtual water trade – A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade, *Value of Water Research Report Series No. 11*, IHE Delft, the Netherlands, 120pp.
- Hoekstra, A. Y. (2003): Virtual water: An introduction, *Virtual water trade – Proceeding of the international expert meeting on virtual water trade*, *Value of Water Research Report Series No. 12*, IHE Delft, the Netherland, pp.13-23.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., and Mekonnen, M. M. (2011): *The water footprint assessment manual – Setting the global standard*, Earthscan, London, UK, 228pp.
- Hoekstra, A. Y. and Mekonnen, M. M. (2012): The water footprint of humanity, *PNAS*, 109 (9), pp.3232-3237.
- Hoekstra, R. and van der Bergh, J. J. C. J. M. (2003): Comparing structural and index decomposition analysis, *Energy Economics*, 25 (1), pp.39-64.
- INRAE-CIRAD-AFZ (2017): INRAE-CIRAD-AFZ Feed tables, Available online: <<https://www.feedtables.com/>>, downloaded on 13th October 2019, last assessed on 17th December 2020.
- ISO (国際標準化機構): Measuring the impact of water use and promoting efficiency in water management, *ISO 14046 Briefing Note*, pp.1-2, Available online:

<[https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/iso14046\\_briefing\\_note.pdf](https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/iso14046_briefing_note.pdf)>, last assessed on 17th December 2020.

- JAICAF (社団法人国際農林業協力・交流協会) (2007): 西アフリカにおけるマメ類の生産から流通までーベナン共和国の事例から域内市場と地域住民の生活向上を考えるー, 2章: 西アフリカの農業とマメ類, 2-5節: 西アフリカのマメ類, その重要性と将来性, 表 I - 5, p.20.
- James, M. and McDougall, R. (1993): FIT: An input-output data update facility for SALTER, SALTER Working Paper No. 17, pp.1-104.
- Liu, X., Hewings, J. D. G., Chen, X., and Wang S. (2016): A factor decomposing model of water use efficiency at sector level and its application in Beijing, *Journal of Systems Science and Complexity*, 29, pp.405-427.
- Mekonnen, M. M. and Hoekstra A. Y. (2010): The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products, *Value of Water Research Report Series No. 48*, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, 50pp.
- Mekonnen, M. M. and Hoekstra A. Y. (2011a): National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption, *Value of Water Research Report Series No. 50 (Volume 1: Main Report)*, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, 50pp.
- Mekonnen, M. M. and Hoekstra A. Y. (2011b): National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption, *Value of Water Research Report Series No. 50 (Volume 2: Appendices)*, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, 94pp.
- MEXT (文部科学省) (2010): 日本食品標準成分表 2010, Available online: <[https://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/houkoku/1298713.htm](https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/houkoku/1298713.htm)>, downloaded on 27th March 2018, last assessed on 17th December 2020.
- MEXT (2015): 日本食品標準成分表 2015 版 (七訂), Available online: <[https://www.mext.go.jp/a\\_menu/syokuhinseibun/1365297.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/1365297.htm)>, downloaded on 26th July 2019, last assessed on 17th December 2020.
- MLIT (国土交通省) (2004): 自然界の物質循環への負荷の少ない社会を目指した資源消費水準のあり方検討調査報告書, 国土交通省国土計画局, 参考 3-1-参考 3-4.
- NIES (独立行政法人国立環境研究所) (2003): マテリアルフローデータブック ～ 日本を取りまく世界の資源のフロー ～ 第 2 版, 第 II 章: 貿易フロー図・貿易マトリックスの作成方法, pp.II-1-II-21.
- Oki, T., Agata, Y., Kanae, S., Saruhashi, T., Yang, D., and Musiake, K. (2001): Global assessment of current water resources using total runoff integrating pathways, *Hydrological Sciences Journal*, 46 (6), pp.983-995.
- Oki, T., Sato, M., Kawamura, A., Miyake, M., Kanae, S., and Musiake, K. (2003): Virtual water trade to Japan and in the world, *Virtual water trade – Proceedings of the international expert meeting on virtual water trade*, *Value of Water Research Report Series No. 12*, IHE Delft, the Netherlands, pp.221-235.



- Oki, T. and Kanae, S. (2004): Virtual water trade and world water resources, *Water Sciences and Technology*, 48 (7), pp.203-209.
- Oki, T. and Kanae, S. (2006): Global hydrological cycles and world water resources, *Science*, 313 (5790), pp.1068-1072.
- Pirker, J., Mosnier, A., Kraxner, F., Havlík, P., and Obersteiner, M. (2016): What are the limits to oil palm expansion? *Global Environmental Change*, 40, pp.73-81.
- Raskin, P., Gleick, P., Kirshen, P., Pontius, G., and Strzepek, K. (1997): Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world, *Water Futures: Assessment of Long-Range Patterns and Problems*, 92pp., Available online: <<https://www.ircwash.org/sites/default/files/210-97CO-14037.pdf>>, last accessed on 17th December 2020.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R. W., Fabry, V. J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., and Foley, J. A. (2009a): A safe operating space for humanity, *Nature*, 461 (24), pp.472-475.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R. W., Fabry, V. J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., and Foley, J. A. (2009b): Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity, *Ecology and Society*, 14 (2), Art. 32.
- Shen, Y., Oki, T., Utsumi, N., Kanae, S., and Hanasaki, N. (2008): Projection of future world water resources under SRES scenarios: water withdrawals, *Hydrological Sciences Journal*, 53 (1), pp.11-33.
- Smakhtin, V., Revenga, C., and Döll, P. (2004): Taking into account environmental water requirements in global-scale water resources assessments, *Comprehensive Assessment Research Report 2*. Colombo, Sri Lanka: Comprehensive Assessment Secretariat, 32pp.
- Sun, J. W. (1998): Changes in energy consumption and energy intensity: A complete decomposition model, *Energy Economics*, 20 (1), pp.85-100.
- Sun, J. W. and Malaska, P. (1998): CO<sub>2</sub> emission intensities in developed countries 1980-1994, *Energy*, 23 (2), pp.105-112.
- Sun, S., Fu, G., Bao, C., and Fang, C. (2019): Identifying hydro-climatic and socioeconomic forces of water scarcity through structural decomposition analysis: A case study of Beijing city, *Science of the Total Environment*, 687, pp.590-600.
- Toh M. H. (1998): The RAS approach in updating input-output matrices: An instrumental variable interpretation and analysis of structural change, *Economic*

Systems Research, 10 (1), pp.63-78.

- UN DESA (国際連合経済社会局) (2019): World Population Prospects 2019, Available online: <<https://population.un.org/wpp/Download/Standard/CSV/>>, downloaded on 25th June 2019, last assessed on 17th December 2020.
- USDA (アメリカ合衆国農務省) (1992): Weights, measures, and conversion factors for agricultural commodities and their products, Agricultural Handbook No. 697, Economic Research Service, Table 18, p.28, Available online: <[https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/41880/33132\\_ah697\\_002.pdf?v=0](https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/41880/33132_ah697_002.pdf?v=0)>, last assessed on 17th December 2020.
- USDA (2019): FoodData Central, Available online: <<https://fdc.nal.usda.gov/>>, downloaded on from 6th to 16th September 2019, last assessed on 17th December 2020.
- Varkkey, H., Tyson, A., and Choiruzzad, S. A. B. (2018): Palm oil intensification and expansion in Indonesia and Malaysia: Environmental and socio-political factors influencing policy, Forest Policy and Economics, 92, pp.148-159.
- Vörösmarty, C. J., Green P., Salisbury J., and Lammers, R. B. (2000): Global water resources: vulnerability from climate change and population growth, Science, 289 (5477), pp.284-288.
- Wada, Y., van Beek, L. P. H, Viviroli, D., Dürr, H. H., Weingartner, R., and Bierkens M. F. P. (2011): Global monthly water stress: 2. Water demand and severity of water stress, Water Resources Research, 47, W07518 (pp.1-17).
- Walmsley, T. L., Aguiar, A. H., and Narayanan, B. (2012): Introduction to the global trade analysis project and the GTAP data base, GTAP Working Paper No. 67, pp.1-19.
- White, D. J., Hubacek, K., Feng, K., Sun, L., and Meng, B. (2018): The water-energy-food nexus in East Asia: A tele-connected value chain analysis using inter-regional input-output analysis, Applied Energy, 210, pp.550-567.
- Xie, J. and Su, X. (2017): Decomposition of influencing factors on irrigation water requirement based on LMDI method, Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 33 (7), pp.123-131 (in Chinese).
- Yang, H., Wang, L., Abbaspour, K. C., and Zehnder A. J. B. (2006): Virtual water trade: an assessment of water use efficiency in the international food trade, Hydrology and Earth System Sciences, 10, pp.443-454.
- Zhang, C. and Anadon, L. D. (2014): A multi-regional input-output analysis of domestic virtual water trade and provincial water footprint in China, Ecological Economics, 100, pp.159-172.
- Zhi, Y., Yang, F., and Yin, X. A. (2014): Decomposition analysis of water footprint changes in a water-limited river basin: a case study of the Haihe River basin, China, Hydrology and Earth System Sciences, 18, pp.1549-1559.
- Zou, M., Kang, S., Niu, J., and Lu, H. (2018): A new technique to estimate regional

irrigation water demand and driving factor effects using an improved SWAT model with LMDI factor decomposition in an arid basin, *Journal of Cleaner Production*, 185, pp.814-828.

- 小坂浩之, 布施正暁, 鹿島茂 (2012): 貿易統計の不整合問題－既存研究の整理と数量データを用いた調整－, *運輸政策研究*, 15 (2), pp.020-031.
- 長谷川雅志 (1991): RAS 法における誤差の推計結果の統計的分布への影響について, *地域学研究*, 22 (1), pp.185-204.
- 原口昭 (2014): 泥炭火災と地球環境, *環境と消防*, 3(1), pp.2-7.
- 三科善則, 室町泰徳 (2011): 自家用乗用車および貨物自動車の地域別 CO<sub>2</sub> 排出量の変動要因分析, *土木学会論文集 D3 (土木計画学)*, 67 (5) (土木計画学研究・論文集第 28 巻), pp.I\_89-I\_100.
- 三科善則, 室町泰徳 (2016): 乗用車 CO<sub>2</sub> 排出量減少下における自家用乗用車利用の地域別変動要因分析, *土木学会論文集 D3 (土木計画学)*, 72 (2), pp.128-137.
- 吉田奈津紀, 矢野伸二郎, 花崎直太, 沖大幹 (2014): 近年の日本における仮想的な水輸入の変化, *土木学会論文集 B1 (水工学)*, 70 (4), pp.I\_481-I\_486.

## 謝辞

本論文は様々な方からご支援いただいたことにより、完成に至りました。皆様からのご支援がなければ、本論文の執筆は実現できませんでした。ここに記して謝意を表します。

指導教員の天野耕二教授には、学部4回から現在までの長期にわたって、研究活動への数々のご指導とご鞭撻を頂きました。また、本論文および各副論文に対して、構想段階から執筆に至るまで、数多くのご意見を頂きました。特に、一本目の副論文に関して、査読結果への対応方法に関して相談に乗っていただき、査読付き論文の執筆の基礎について丁寧なご指導を頂きました。また、博士論文の提出に向けて、何度もご助言を頂きました。加えて、私自身のペースで自由に研究を進められる環境を構築してくださいました。この環境がなければ、私はここまで研究活動を続けられなかったと存じます。深く感謝申し上げます。

講師の吉川直樹先生には、学部4回から現在までの長期にわたって、研究活動への数多くのご助言を頂きました。研究活動に詰まった際に、何度も相談に乗っていただきました。特に、要因分解分析では、構想段階から分析結果の提示に至るまで、なかなか成果が出ない中で数多くのご助言を頂きました。また、Excelの機能や関数処理、マクロを用いたプログラミングといった、解析ツールのスキルに関するご教示いただきました。これらのツールがなければ、本研究のデータ分析は実現できませんでした。加えて、学会や論文執筆など、研究成果を発表できる機会を数多くご提示いただきました。深く感謝申し上げます。

橋本征二教授には、本研究への貴重なご意見を頂きました。学会発表や論文執筆を通して研究成果を発表する際に、毎回共同研究者となってくださり、その度に客観的な視点から数々の貴重なご意見をいただきました。深く感謝申し上げます。

初任助教の福原大祐先生には、Accessの機能やクエリ、Pythonを用いたプログラミングといった、解析ツールのスキルに関してご教示いただきました。これらのツールがなければ、本研究のデータ分析は実現できませんでした。深く感謝申し上げます。

田村賢人氏には、一本目の副論文の執筆に際して、貴重な推計データをご提供いただきました。このデータがなければ、副論文の投稿は実現できませんでした。深く感謝申し上げます。

最後に、学部時代から現在に至るまでの長い学生生活を支えてくださり、本論文の執筆にご支援いただいた家族に深く感謝申し上げます。

2020年12月  
立命館大学大学院理工学研究科  
環境都市専攻博士課程後期課程  
環境システム研究室  
山口 陽平