

# 気候変動する地球でこれから何を食べていくのか

天 野 耕 二

## 要旨

人為起源の気候変動はすでに世界中の地域で多くの気象および気候の極端現象との関係が論じられており、極端気象による自然災害や食料供給への影響も取りざたされるようになってきた。食をめぐるサプライチェーンは農業・林業・水産業分野から商業・流通業・国際貿易等にも波及することから、グローバル経済に及ぼす影響も計り知れない。食は気候変動から多大な影響を受ける一方で、同時に温室効果ガス（GHG）の主要な排出源でもある。「食料システム」としてのGHG排出量を削減することが、気候変動影響を低減することにつながる。GHG負荷で見ると、牛肉は植物ベース食品の10倍以上の負荷となっているが、植物由来の代替肉として大豆など高タンパクの農作物を使った疑似的な肉は市場に出回り始めている。こうした植物由来のタンパク質すら使わない代替肉として細胞培養した人工肉の開発も始まっている。また、昆虫は畜産よりも飼料効率が高いタンパク源として各地で研究開発が進んでいる。微細藻類も光合成により効率よく増殖できることから、環境負荷の低いタンパク源として期待されている。このような代替タンパク源は、畜産による赤身肉と比較して温室効果ガス排出や水資源消費等の環境負荷が一般的に低いということが研究面でも実証されており、持続可能な食料安全保障の観点からも、代替タンパク源など新しい食の技術やサービスの開発状況を見ながら、これから何を食べていくのかを考えねばならない。

キーワード：気候変動、温室効果ガス、緩和と適応、代替肉、タンパク源

## 目次

- 第一章 迫りくる気候変動
- 第二章 気候変動が及ぼす食料供給への影響
- 第三章 食料消費が及ぼす気候変動への影響
- 第四章 温室効果ガスの主要な排出源としての畜産物
- 第五章 肉食を減らす代替タンパク源の可能性
- 第六章 普及し始めた植物肉
- 第七章 昆虫食・藻類・培養肉の可能性
- 第八章 代替タンパク源と環境負荷
- 第九章 おわりに

## 第一章 迫りくる気候変動

2021年7月から8月にかけて、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第54回総会及び同パネル第1作業部会(WG1、気候システム及び気候変動の自然科学的根拠についての評価を行う部会)第14回会合が開催され、2013年のIPCC第5次評価報告書以来8年ぶりとなる、第6次評価報告書(AR6)WG1報告書(自然科学的根拠)の政策決定者向け要約が承認された。この6次評価報告書では、気候システムにおける人間の影響について、第5次評価報告書で示された「気候システムの温暖化には疑う余地がない。気候システムに対する人間の影響は明瞭である。」から「人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない。広範囲にわたる急速な変化が、大気、海洋、雪氷圏及び生物圏に起きている。」という一歩踏み込んだ記載になっている。

また、「人為起源の気候変動は、世界中の全ての地域で、多くの気象及び気候の極端現象に既に影響を及ぼしている。熱波、大雨、干ばつ、熱帯低気圧のような極端現象について観測された変化に関する証拠、及び、特にそれら変化を人間の影響によるとする原因特定に関する証拠は、AR5（第5次評価報告書）以降、強化されている。」とも記されていて、ここ数年世界各地で頻発している気象及び気候の極端現象と地球温暖化の関係にも言及している。

## 第二章 気候変動が及ぼす食料供給への影響

わが国においても、気象及び気候の極端現象による自然災害や食料供給への影響がここ数年大きく取りざたされるようになってきた。2018年夏（6～8月）は東日本の平均気温が平年比+1.7℃と1946年の統計開始以降で最も高くなり、同年6月下旬から7月上旬にかけては、前線や台風の影響により、西日本を中心に広い範囲で記録的な豪雨となる一方、東日本では猛暑と雨不足の影響で葉物野菜を中心に生育不良が起きた。キャベツは8月上旬時点で東京都中央卸売市場の卸値が前年同期比で9割程度上昇した（日本経済新聞2018年8月19日付朝刊）。西日本豪雨では21,168ヘクタールの農地で農産物に被害が出たほか、農地や農業施設の破損により1,400億円以上の損害を被った（農林水産省「平成30年7月豪雨による被害状況等について」）。

世界に目を向けると、米海洋大気局（NOAA）は2021年7月の世界の平均気温（速報値）は約16.7℃で、1880年の観測開始以降で最も暑い月だったと発表している。また、ドイツの豪雨と洪水、北アメリカ大陸や南ヨーロッパ、シベリアでの熱波や森林火災といった事象が各地で発生しており、これらの個々の気象現象について気候変動との関連を明確に立証することは難しいが、将来さらなる気温上昇が起こればこれらの異常気象の頻度が増加することが予想されている。気候変動がそのまま進めば、食料生産・供給により強い影響を及ぼすことが想像されよう。さらには、世界の人口は今後も増加し続けることが予想されている。そのような状況下で将来、気候の大きな変化が起こった場合に、世界の人口を養い続けることは可能なのだろうか。

気候変動影響評価報告書（環境省、2020）では、気温や水温、二酸化炭素濃度の上昇といった気候変動の直接的な原因に加えて、水資源量の変化や自然生態系の変化を介した間接的な原因により、作物の生育や栽培適地の変化、病害虫・雑草の発生量や分布域の拡大、家畜の成長や繁殖などに気候変動が影響を及ぼすとされている。代かき期における融雪流出量の減少による農業用水の不足、強雨による低標高の水田における洪水被害リスクの増加等、水資源需給バランスの攪乱による被害も無視できない。また、食をめぐるサプライチェーンは農業・林業・水産業分野から商業・流通業・国際貿易等にも波及することから、グローバル経済に及ぼす影響も計り知れない。

FAO（国際連合食糧農業機関、Food and Agricultural Organization of the United Nations）が2016年に公表した報告書「The State of Food and Agriculture 2016」では、世界各地の作付け品目ごと、地域ごと、気温上昇幅ごとに推定される作物単収の変化についてまとめられており、亜熱帯地域における小麦の単収減が著しいこと、小麦やとうもろこしについては、世界全体で見ても単収が減少すると推定されている。一方で、大豆や米に関しては単収が増加する予想もあり、気候変動による単収の変化は品目や地域によって異なることがわかる。また、気温上昇の程度によっても変化の程度は異なり、平均気温の上昇1.5℃のケースと2.0℃のケースを比較すると、多くの品目・地域で2.0℃のケースで単収が低くなっている。

農林水産技術会議の報告「地球温暖化が農林水産業に与える影響と対策」（2007年）によると、日本では、今後の地球温暖化により水稻の単収は北海道では増加し、東北以南では減少することが予想されている。また、リンゴの栽培適地は、気温上昇に伴い北上し、北海道はほぼ全域が適地になる一方、関東以南はほぼ範囲外となるなど、栽培適地の移動が予測される。また、農産物の品質についても品目により低下が危惧されている。たとえば水稻の白未熟粒の増加や、みかんの日焼け果の増加といった現象は、現在も高温障害の被害として報告されており、このような被害が増加することが懸念される。

2019年8月、気候変動と人間の土地利用の関係について、これまでの科学的知見をまとめたIPCC特別報告書「気候変動と土地（Climate Change and Land）」が公表されたが、そこでは地球温暖化に伴う気候変動の影響により、今世紀末までに世界の海全体の生物の量が最大20%減り、漁獲可能な魚の量が最大24%減少する可能性があるという



摘されていて、水産資源全体の減少傾向も懸念されている。

### 第三章 食料消費が及ぼす気候変動への影響

食というのは気候変動の一時的な被害者ということになるのだろうか。前述の IPCC 特別報告書「気候変動と土地」では、気候変動に伴う豪雨、干ばつ、土壌劣化、熱波、森林火災等により自然の恵みに発している食料の生産と消費がこれまで通りではなくなることに言及しつつ、食料増産のための大規模な自然の改変は、温室効果ガスの排出と吸収、大気と陸や海との熱交換、水資源の循環等を変化させ、気候システムに大きな影響を与えていることを指摘している。

この報告書によると、農業、林業、その他の土地利用からの人為的な GHG (Green House Gas, 温室効果ガス) の排出量は約 12.0Gt CO<sub>2</sub>eq/年 (2007 ~ 2016 年の CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> を含めた値で CO<sub>2</sub> 等価換算量, Gt はギガトン = 10 億トン) で、世界の総 GHG 排出量の約 22% に相当し、運輸セクターや産業セクターからの排出に匹敵する大きな排出源となっている。さらには、食料の生産に直接関連する GHG 排出に加え、加工・流通を経て最終的に消費されるまでのプロセス全体を考慮した「食料システム」全体からの GHG 排出は世界の総 GHG 排出量の 21 ~ 37% を占めるとされている。

すなわち、食は気候変動から多大な影響を受ける一方で、同時に気候変動を引き起こす温室効果ガスの主要な排出源でもある。農林水産業由来の温室効果ガスは、窒素の施肥や牛など家畜の消化管発酵、家畜排せつ物管理、稲作による水田からのメタン排出、農業機械の燃料消費による排出など多岐にわたる。これら「食料システム」としての GHG 排出量を削減することが、将来の気候変動影響を低減することにつながる。

「食料システム」としての GHG 排出を消費者側から考えると、いつ、どこで、なにを、どのくらい、どのようにして食べるか? という「GHG 削減に向けた食生活シフト」がテーマとなってくる。「いつ」は旬産旬消や定時の食事 (店舗営業時間のマネジメントなど)、「どこで」は地産地消、食品の輸送距離および消費者の移動距離、「なにを」は (特に) 牛肉以外、低投入型食材 (省資源・省エネ)、規格外食品など (賞味期限間際を含めて、食べられるもの全部)、「どのくらい」は食べる量ちょうどを購入 (ロス最小化・過剰生産回避)、「どのようにして」は内食 (保存と調理の省エネ)、外食、中食 (容器包装最小化) など様々な関わりで地球温暖化緩和に向けた食のライフスタイルを考えさせられる。

加えて、他の消費活動と比べて食の問題を複雑にしているのが食の機能単位をどのように捉えるのかという課題である。食材で見るのか? 食品として見るのか? 量でよいのか? カロリー? 炭水化物? タンパク質? メニューとして考えるのか? 食品ロス最小化とプラスチック容器包装最小化のトレードオフ問題についての最適解はあるか? 少子高齢化・単身世帯増加・家事のアウトソーシング進展などにより、一人当たりの食サービスについては、その量 (食べる量) と質 (食嗜好を含む) にどのような変化が予想されるか? そのときの GHG は?

栄養価値を考慮した GHG 負荷で見ると、Clark らの研究 (Michael Clark and David Tilman, 2017) では、植物ベースの食品が最も低負荷であり、卵、乳製品、豚肉、鶏肉、非底引き網漁による魚、非循環型養殖による魚は中間的な負荷であり、牛肉 (反芻動物の肉) は植物ベース食品の最大 100 倍 (食品の熱量 kcal あたり) の負荷と推計されている。また、タンパク質 1g あたりの GHG 排出量では、卵、乳製品、豚肉、鶏肉、底引き網漁法以外の魚は 24 ~ 37g-CO<sub>2</sub>eq/g だが、牛肉・羊肉は 222g-CO<sub>2</sub>eq/g である。有機農法は、慣行農法と比較して、より大きな土地利用と高い富栄養化負荷を生じ、エネルギー消費は少ないが GHG 排出は (単収の違いによる生産効率を考慮しても) 同程度である。また、牧畜は飼料飼育と比較してより大きな土地利用を生じ、GHG 排出は同程度である。魚については、底引き網漁法と比較して、低投入型の養殖や底引き網以外の漁法による生産は GHG 排出が 3 分の 1 程度と極めて少ない。

#### 第四章 温室効果ガスの主要な排出源としての畜産物

FAOによると、人間の活動で排出される温室効果ガスの14.5%が家畜に由来するもので、このうち牛の生育（牛肉・牛乳生産）からの排出が約65%、豚肉の生産による排出が9%、鶏肉と卵の生産が8%とされている。食肉を生産する畜産は人間が排出する温室効果ガスのうち大きな比率を占めている。現代の典型的な食生活から排出される温室効果ガスのうち、肉類は41%、卵・乳製品が25%など実に77%が動物性タンパク質に起因する。すなわち、肉も乳製品も取らない完全菜食のヴィーガンでは、典型的な食生活パターンに比べて食に伴う温室効果ガスの排出量は4分の1程度にまで減る。菜食主義だが卵や乳製品は取るベジタリアンでも半分以下まで温室効果ガスの排出を減らすことができる。

海外での調査によると、アメリカでは2014年から2017年の間にヴィーガンが500%増加して1,960万人に達し、また人口の約3分の2が2015～2018年の3年間で肉を食べる量を減らしたという(Alcorta et al., 2021)。また、オーストラリアではベジタリアンとフレキシタリアンを合わせた人口が2012年から2016年の間に全体の9.7%から11.2%に増加したという(Roy Mogan Research, 2016)。一般的にベジタリアンは肉や魚の摂取を避け、卵や乳製品やハチミツは摂る。対してヴィーガンは「徹底的な菜食主義(者)」のことで、肉や魚のみならず乳製品や卵など動物由来の食品を摂取しない。また、フレキシタリアンは「柔軟な菜食主義(者)」で基本的にはベジタリアンと同様の食生活であるが、時と場合に応じて肉や魚を柔軟に取り入れる。菜食主義の考え方には共感するが、制約に厳密に従うよりも生活に気軽に取り入れたいと考える層である。フレキシタリアンは、肉食を減らすことによる健康上のメリットに期待しているだけでなく、畜産のもたらす環境負荷を減らすことを意識していることが多い。

このように、肉食を避ける消費者は多様化かつ拡大しており、増大するニーズに対応して代替タンパク源の市場が拡大している。矢野経済研究所によると、2020年における代替肉（ここでは植物由来肉・培養肉を指す）の世界市場規模はメーカー出荷金額ベースで約2,570億円、2030年には約1兆8,720億円に成長すると予測されている。また、アメリカにおける代替乳製品（豆乳やオーツミルク等）市場は、2009年から2015年の間に2倍以上に増加し、210億ドルに達したという(Silva et al., 2020)。

#### 第五章 肉食を減らす代替タンパク源の可能性

畜産は飼料として膨大な穀物を使い、家畜が排出するメタンガス(CH<sub>4</sub>)は二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の約25倍の温室効果を持ち地球温暖化を促進させる。また、主要な穀物は当面、需給のバランスを保つとみられているが、その多くを飼料用が占めている。人口増で不足するタンパク質を増産しようとすれば主たるカロリー源である穀物の直接食用分を減らしてしまう。この二律背反を解消する技術として古くから議論されてきたのが植物由来の代替肉である。大豆など高タンパクの農作物を使った疑似的な肉は市場に出回り始めてきている。こうした植物由来のタンパク質すら使わない代替肉として細胞培養した人工肉の開発も始まっている。肉だけではなく、世界で初めてクロマグロの細胞培養に成功したフィンレス・フーズというベンチャー企業は、2023年ごろに培養マグロ肉による刺し身の提供を目指し、サーモンの細胞培養も計画している。

植物由来の肉や魚などの代替食品は、2025～2030年にも世界中で供給が必要に追いつかなくなる「タンパク質危機」の切り札とも目される。主に肉類や魚類などから摂取しているタンパク質を代替食品で補えられれば、肉食を抑えることにもつながり、地球温暖化の抑制や生物多様性の維持にもつながる。もうひとつ、タンパク質危機を解決するための新しい食料資源として期待されているのが、昆虫食である。FAOの昆虫食に関わる報告書「Edible insects: Future prospects for food and feed security」によると、2050年代にはタンパク質摂取量の3分の1が昆虫由来になるという予測すらある。昆虫は牛や豚、鶏などを生育するのに比べて、生育期間や飼料、水、必要な土地など環境負荷が圧倒的に低い一方で、タンパク質をはじめとして食物繊維や鉄分、ビタミンなど栄養価は非常に高く、肉や魚と比較して食材として非常に効率が高いと言える。FAOによれば、既に世界中で実に1900種を超える昆虫が食べられており、少なくとも20億人以上が伝統的に昆虫を食料として食べているという。こうした状



況を受けて、昆虫食に取り組む新興企業も相次いで登場している。

## 第六章 普及し始めた植物肉

植物肉は、大豆などの植物由来のタンパク源に、植物油や調味料など植物由来の副原料を加えて食肉に近い味や食感、見た目を再現した製品である。同様の製品は以前から存在したが、近年の技術革新によりその品質が高まっている。その動きを牽引してきたのが米国スタートアップのインポッシブル・フーズ（Impossible Foods）社とビヨンドミート（Beyond Meat）社である。両社は2010年前後に創業し独自技術により再現性を高めた肉製品、たとえばハンバーガー用パティやソーセージ、ミートボール等を販売し、急成長を遂げている。インポッシブル・フーズはタンパク源として大豆を、ビヨンドミートはエンドウ豆・緑豆・玄米などを用い、ココナッツオイル等の油脂や結着材、調味料などの副原料を合わせることで肉の味・食感・栄養に近づけた製品を作り上げている。2020年のアメリカでは、コロナ禍により一部の食肉工場が一時的に操業を停止し、品薄により牛肉の価格が上昇した。その際でも植物肉は変わらず生産することができたことから価格差が薄まり、この期間の植物肉の需要は大きく伸長した。

日本でも、国内メーカーや外食・小売が植物肉への参入を始めている。食肉大手の日本ハム・伊藤ハム、食品メーカーの不二製油グループや大塚食品、ニチレイフーズや味の素と業務提携を行うスタートアップのDAIZなどが植物肉の開発、製造を行い、モスフードサービスなどの外食産業やセブンイレブン、イオンなど小売業での採用も進んでいる。今後の市場の拡大が見込まれる。

## 第七章 昆虫食・藻類・培養肉の可能性

昆虫は畜産よりも飼料効率が高く、より少ない飼料で生産できるたんぱく源として各地で研究開発が進んでいる。世界で食されている約1900種類の食用昆虫のうち、養殖による生産が行われているのは9種程度であるとされている（EFSA Scientific Committee, 2015）。近年参入する事業者にとっての昆虫食の課題は、より環境負荷の低い生産方式の追求や、消費者に受け入れられやすい製品の開発である。日本では、無印良品が、「コオロギせんべい」を2020年5月に発売した。雑穀を中心にしながらも雑食性の昆虫であるコオロギは、徳島大学発のベンチャー企業であるグラリスより提供を受けている。コオロギをパウダー状にしてせんべいに練りこむことで、食べられない消費者の抵抗感を和らげている。

微細藻類は光合成により効率よく増殖できることから、こちらも環境負荷の低いタンパク源として期待されている。微細藻類は従来からバイオ燃料の生産にそのポテンシャルが着目されていた。また、スピルリナやクロレラ、ユーグレナ等が健康食品として生産されてきた。近年ではこれをタンパク源として広く食品に利用することを目指し、研究開発が進められている（日本の株式会社タベルモなど）。

培養肉は、ウシなどの動物から取り出した細胞を体外で組織培養することによってつくられる。環境負荷の高い畜産を避けられることから、持続可能な食肉として期待されている。2013年にマーストリヒト大のマーク・ポスト氏が培養肉によるバーガーを初めて発表した。その際のコストは1個25万ユーロと非常に高価だったという。同氏はモサ・ミート社を設立し、研究開発を続けている。日本では、東京大学と日清食品が従来技術では難しい牛ステーキ肉の再現を目指して研究を進めている。

## 第八章 代替タンパク源と環境負荷

最近の代替タンパク源の開発・研究は、環境負荷の低減を目指していることが特徴である。環境への影響について、ライフサイクルアセスメントの観点から環境負荷を定量的に評価した例を紹介したい。植物肉に関しては、ビヨンドミート社から研究を受託したミシガン大学の研究者が成果を報告している。これによると、4分の1ポンド（約113グラム）の植物肉「ビヨンド・バーガー」が生産されて小売店に届くまでに二酸化炭素換算で3.4kgの温室効果ガス

を排出するという。これは一般的な牛肉の約10分の1であった。また、排出量の57%が原材料の生産に由来するものであった。他の環境負荷に関しても牛肉よりも低く、たとえば土地利用は約10分の1、水資源の使用は約200分の1であった（表1, Heller and Keoleian, 2018）。

表1 植物肉の環境負荷の評価例

環境負荷の種類	牛肉を100としたときの植物肉の環境負荷
温室効果ガス	10.3
エネルギー消費	54.0
土地利用	7.1
水使用	0.5

（出所：Heller and Keoleian 2018 より作成）

豆類が原料の製品を対象とした他の研究でも、タンパク質含有量あたりの温室効果ガス排出量は、豚肉と比較して6分の1と、低いことが示されている（Zhu and Ierland, 2004）。

食用昆虫についてライフサイクルアセスメントの考えに基づき評価した例では、ミールワーム（飼育動物の生餌とするために飼育・増殖されている幼虫の総称）養殖に関する研究（Oonincx and Boer, 2012）があり、温室効果ガスの排出量は牛肉や豚肉と比べて低く、鶏肉と同等程度であるという。また、土地利用は牛肉・豚肉・鶏肉と比べて少なく済む。一方、タイでのコオロギ養殖を扱った研究によると、その生産で排出される温室効果ガスは鶏肉の3分の2であった。今後大規模化が進めば生産効率が高まり、排出量をさらに3割程度削減できるという。

藻類の事例として、珪藻類を扱った研究では、タンパク質1kgあたりの温室効果ガス排出量は、生産方法によって、大豆と同等程度から2倍程度であり、水の消費量は生産方式によっては大豆の200分の1以下にすることが可能であるという（表2, Draaisma et al., 2013）。

表2 藻類由来のタンパク質の生産による環境負荷の評価例

環境負荷の種類	タンパク質1kgあたりの環境負荷（大豆=1とする）	
	オープンポンド	フォトバイオリクター
温室効果ガス	1.9	1.0
水使用	7.4	0.004

（出所：Draaisma et al., 2013 より作成）

これらの研究の大部分はケーススタディであり、ある一定条件の下での推算である。そのため、いつでもどこでも同様の結果となるわけではない。たとえば、場所がかわれば気候や土壌の条件が変わり、農業に関わる環境負荷は変わってくる。また比較対象である牛肉・豚肉・鶏肉といった赤身肉の計算結果も、研究により異なっている。それでもこれらのデータから、代替タンパク源は赤身肉よりも、温室効果ガスや水資源の消費等の環境負荷が一般的に低いということが推察できる。なお、培養肉については実験室レベルの開発段階であり、商業規模での生産を行った際の環境負荷は明らかではない。今後の研究が待たれるところである。

## 第九章 おわりに

気候変動への対策は「緩和」と「適応」に分類される。これまで見てきたように、食料の生産と消費は気候変動から多大な影響を受けると同時に温室効果ガスの主要な排出源でもある。これから起こり得る影響に対応する適応策では、変化した気候に応じた品目への作付け変更、高温や異常気象に強い品種改良などが考えられる。日本では高温障害に強い水稻品種（たとえば「にこまる」等）の開発・普及が進みつつある。また、水稻の作付け時期を遅くするこ



とで、品質の低下（胴割れ米の発生）を防ぐ栽培技術なども提案されている。

このように、気候変動による影響を予測するとともに、新たな技術や栽培の工夫によって、食料生産への影響を最小限にする取り組みが進められている。さらには、農林水産業における緩和策に加えて、将来起こり得る気候変動を踏まえた持続可能な食生活ライフスタイルの構築が重要となる。肉類を代替する新しいタンパク源の開発への期待も大きい。

日本は、グローバルサプライチェーンが進化する恩恵を受けて食卓を豊かにしてきた結果、食料自給率はカロリーベースで37%（農林水産省、2020年）にとどまり、畜産に大量に使われ豊かな食を支えるもととなる飼料の自給率は25%（同上）にすぎない。大規模な気候変動が起きなくても、食料の多くを輸入に頼っている以上、食料危機は常に背中合わせと考えねばならない。気候変動だけでなく国際情勢は年を追うごとに不透明になっており、食料自給を現状のまま放置していいはずはないが、従来の農業や畜産だけでは限界がある。持続可能な食料安全保障の観点からも、代替タンパク源など新たな食ビジネスを始めとして食と農畜水産物に関わる新しい技術やサービスの開発状況を鑑みつつ、これから何を食べていくのかを考えねばならない。

## 参考文献

- IPCC (2021), AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis,  
 <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>>
- 日本経済新聞 (2018) 「世界的猛暑、農産物襲う、値上げ、秋にも食卓に、小麦6年ぶり減産、オレンジ品質悪化」2018年8月19日付朝刊
- 農林水産省 (2019) 「平成30年7月豪雨による被害状況等について」,  
 <<https://www.maff.go.jp/j/saigai/ooame/20180628.html>>
- 環境省 (2020年) 気候変動影響評価報告書, <<https://www.env.go.jp/press/108790.html>>
- FAO (2016) 「The State of Food and Agriculture 2016」,  
 <<https://www.fao.org/publications/sofa/2016/en/>>
- 農林水産省農林水産技術会議 (2007) 「地球温暖化が農林水産業に与える影響と対策」, 農林水産研究開発レポート No.23
- IPCC (2019), Climate Change and Land, <<https://www.ipcc.ch/srccl/>>
- Michael Clark and David Tilman (2017) Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice, *Environ. Res. Lett.* 12
- Alcorta, A.Porta, A. Tárrega, M.D. Alvarez, M.P. Vaquero (2021) "Foods for Plant-Based Diets: Challenges and Innovations" *Foods* 2021, 10, 293.
- Roy Mogan Research (2016) "The slow but steady rise of vegetarianism in Australia"
- 株式会社矢野経済研究所 (2020) 「代替肉（植物由来肉・培養肉）世界市場に関する調査を実施」,  
 <[https://www.yano.co.jp/press-release/show/press\\_id/2430](https://www.yano.co.jp/press-release/show/press_id/2430)>
- Aline R.A. Silva, Marselle M.N. Silva, Bernardo D. Ribeiro (2020) "Health issues and technological aspects of plant-based alternative milk", *Food Research International*, 131, 108972.
- FAO (2013) 「Edible insects: Future prospects for food and feed security」
- EFSA Scientific Committee (2013) "Risk profile related to the production and consumption of insects as food and feed", *EFSA Journal*, 4257,  
 <<http://dx.doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4257>>
- Martin C. Heller and Gregory A. Keoleian (2018) "Beyond Meat's Beyond Burger Life Cycle Assessment: A detailed comparison between a plant-based and an animal-based protein source", the University of Michigan Document.
- Xueqin Zhu and Ekko C. van Ierland (2004) "Protein Chains and Environmental Pressures: A Comparison of Pork and Novel Protein Foods", *Environmental Sciences*, 1 (3), pp254-276.
- Dennis G. A. B. Oonincx and Imke J. M. de Boer (2012) "Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans - A Life Cycle Assessment", *PLOS ONE*, 7 (12), e51145.
- Rene´ B Draaisma, Rene´ H Wijffels PM (Ellen) Slegers3, Laura B Brentner, Adip Roy and Maria J Barbosa, (2013) "Food commodities from microalgae", *Current Opinion in Biotechnology*, 24, pp169-177.
- 吉積巳貴・島田幸司・天野耕二・吉川直樹 (2021) 『SDGs時代の食・環境問題入門』, 240pp, 昭和堂。

(あまの こうじ 立命館大学食マネジメント学部・教授)

