

## 論 説

## 環境税導入による日中における経済分析

——CGE モデルによるシミュレーション分析——

申 雪 梅

## 目次

## はじめに

1. 主要国のエネルギー消費量と CO2 排出量
2. 日中産業別 CO2 排出量の推計
  - 2.1 日本の CO2 排出量推計
  - 2.2 中国の CO2 排出量推計
  - 2.3 日中部門別 CO2 排出量比較
3. 社会会計マトリックス (SAM) と CGE モデル
  - 3.1 日中の SAM テーブル
  - 3.2 モデルの基本構造
  - 3.3 シナリオ
  - 3.4 排出量規制制度と環境税のメカニズム
4. 分析結果
  - 4.1 閉鎖経済のもとにおける CO2 削減政策による日中のマクロ経済インパクト
  - 4.2 開放経済のもとで日本の CO2 削減政策のマクロ経済インパクト
  - 4.3 日本の環境税導入のマクロ経済インパクト
5. おわりに

## はじめに

本研究の背景は、京都議定書の第一約束期間（2008-2012年）に続く、国際的ルールを決める国連気候変動枠組条約第15回締約国会合（COP15, 2009年<sup>1)</sup>）で、日本は2020年までに、1990年を基準年に削減目標を25%に設定したのに対し；中国は2005年に比べ2020年まで、GDP比で温室効果ガスを40%～45%削減するように努めると発表し、環境政策に対する思惑が相違することにある。

環境政策の影響を評価する指標としてよく Computable General Equilibrium (CGE) モデルが使われる。CGE モデルで環境税導入政策のシミュレーション分析を一国モデルで行う先行研究が多いが（小山田1997, 黄2003）、その場合炭素リーケージ（Carbon-Leakage）、即ち海外との貿易によって国内マクロ経済に与える影響が薄まれるにも関わらず、過大評価してしまう恐れがある。また、CGE モデルを作成する時、多くは既存の GTAP モデルの国際産業連関表や GTAP モデルの CO2 排出量をそのまま適用している（武田他（2010）、伴（2011））。しかし、GTAP モデルの

CO2 排出量が実際値より大きく見積られ、環境政策を正確に反映できないなどの問題点がある。

本稿では、日中両国の間で、CO2 排出量削減政策及び環境税の導入により、両国のマクロ経済に与える影響を比較分析する。その場合まず、閉鎖経済と開放経済という異なる前提条件を設ける。そして、CO2 排出量規制を導入する場合も、一国レベルで規制を設けるケースと、両国で統一の規制を設けるケースに分けてシミュレーション分析を行う。そのために、データとして経済産業省の日中国際産業連関表 (2007年) に基づいて、社会会計マトリックス (Social Accounting Matrix: SAM テーブル) を作成し、それを基に静学 CGE モデルを構築した。

本稿では、閉鎖経済と開放経済という違う前提条件を設け比較することにより、開放経済のもとで一国だけが CO2 排出量規制を設けた場合、貿易を通じて相手国の CO2 排出量を増加させる、炭素リーケージ (carbon leakage) 現象の発生が確認でき、必ずしも全体の CO2 排出量削減には有効に働かないことがシミュレーションで明らかになった。

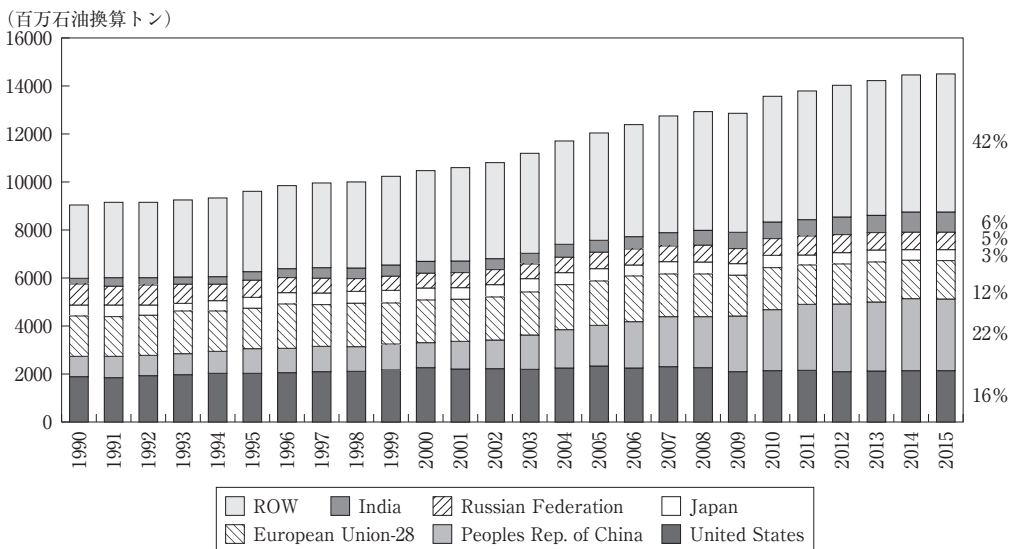
従い、同じ経済圏で統一の規制を設けることが望ましいと思われる。ところが、経済圏の中の国々が、異なる経済発展段階におかれていることよって、エネルギー依存度が異なるため、同じ CO2 排出量規制のもとでは、国内経済に与える影響に差が生じ、経済への歪み具合に強弱が発生することが浮き彫りになってきた。

以下本稿の構成は、1 節では主要国のエネルギー消費と CO2 排出量の現状を把握し、2 節では日中 CO2 排出量の推計を行い、3 節では社会会計マトリックス (SAM) と CGE モデルを解釈し、4 節は分析結果で、5 節のおわりには本稿のまとめと今後の課題について整理する。

## 1. 主要国のエネルギー消費量と CO2 排出量

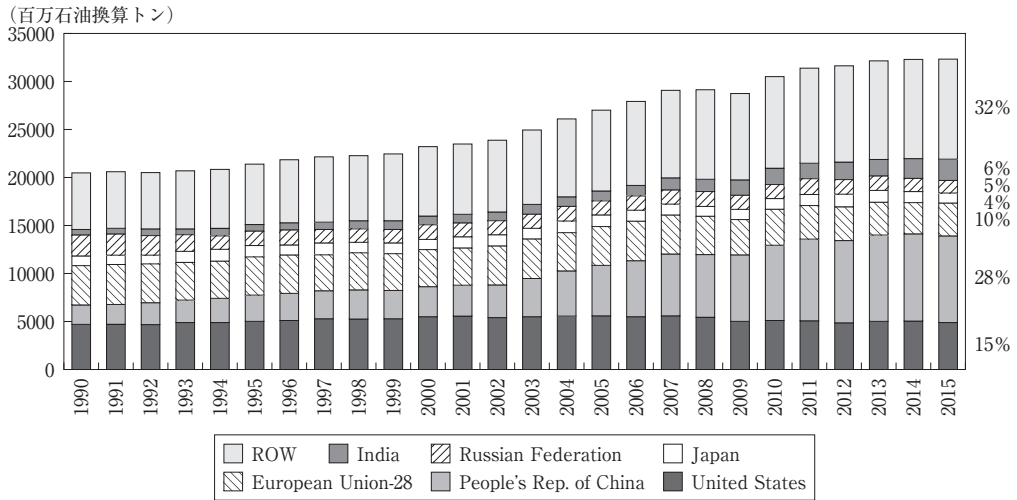
まず図 1 から、エネルギー主要消費国のエネルギー消費量の推移をみると、アメリカ、日本、

図 1. 主要国・地域のエネルギー供給量



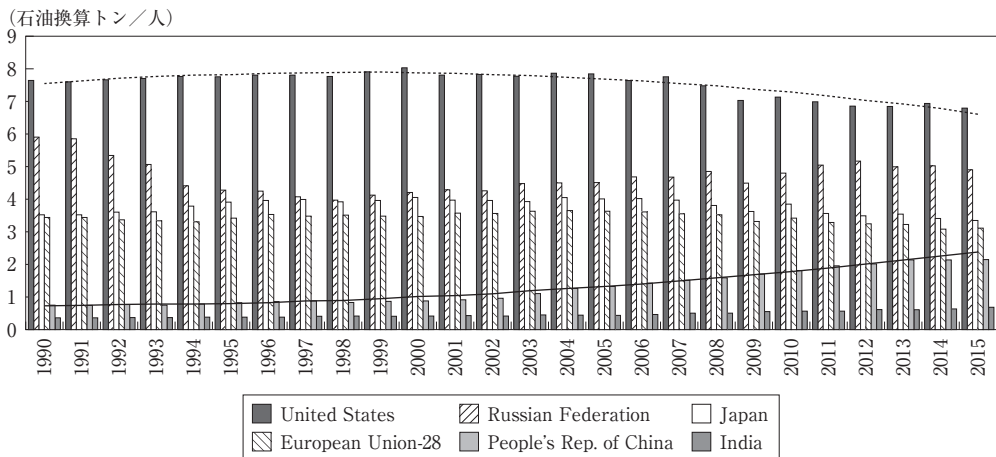
出所: International Energy Agency (IEA) CO2 Emissions from Fuel Combustion 2017

図 2. 主要国・地域の CO2 排出量



出所：International Energy Agency (IEA) CO2 Emissions from Fuel Combustion 2017

図 3. 主要国・地域の一人当たりエネルギー消費量



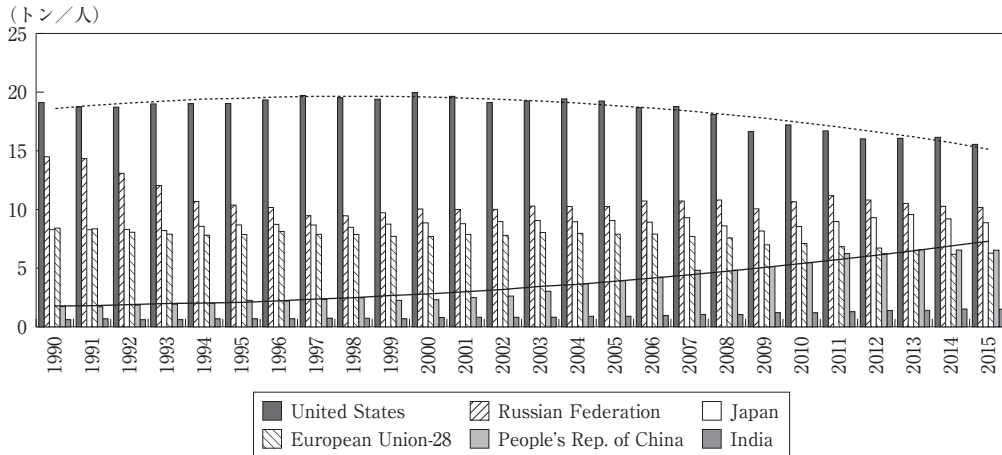
出所：International Energy Agency (IEA) CO2 Emissions from Fuel Combustion 2017

EU などの先進国では90年代以降エネルギー消費量が落ち着いているのに対し、中国、インドの途上国でエネルギー消費量が2000年代以降特に急増している。この6つの主要国・地域でのエネルギー消費量は全体の6割強を占めている。

エネルギー消費量と比例して、近年中国、インドの CO2 の排出量も急増し、中国はエネルギー消費では2009年でアメリカを抜いたが、CO2 排出量は2006年アメリカを抜いて、世界でもっとも排出量の多い国となっている（図2参照）。2015年、中国の CO2 排出量は世界の28%を占め、主要エネルギー消費国のアメリカが（15%）、EUで（10%）インド（6%）、ロシア（5%）、日本（4%）と合わせて世界の CO2 排出量の7割を占めている。

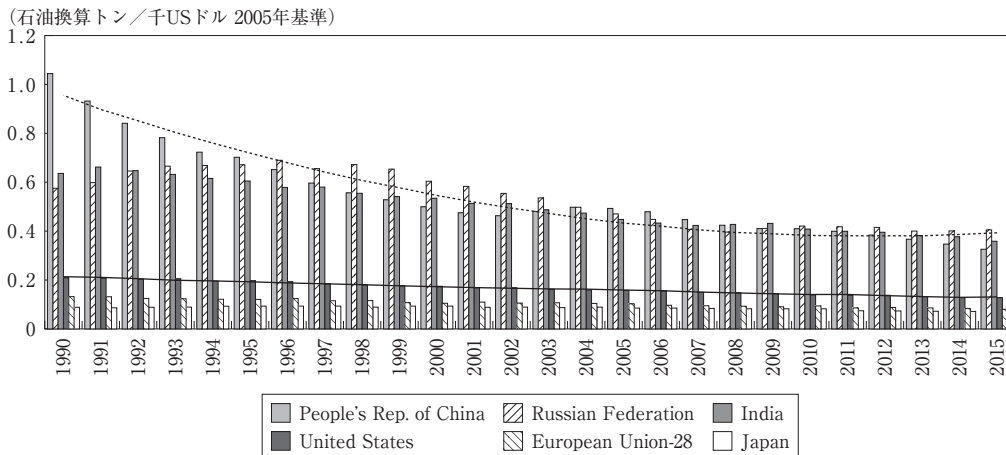
ところが、一人あたりのエネルギーの消費量（図3参照）や一人あたりの CO2 の排出量（図4

図4. 主要国・地域の一人当たりCO2排出量



出所: International Energy Agency (IEA) CO2 Emissions from Fuel Combustion 2017

図5. 主要国・地域のGDP当たりのエネルギー消費量 (TPE/GDP)



出所: International Energy Agency (IEA) CO2 Emissions from Fuel Combustion 2017

参照)は先進国のほうが途上国より多い。そして、経年では途上国の一人当たりのエネルギー消費量が上昇する一方で、先進国での一人当たりのエネルギー消費量は減少している。

下の図5では主要国・地域のGDPあたりのエネルギー消費量を表し、途上国のほうがGDPあたりのエネルギー消費量は多く、効率が悪いものの、年々改善されていることが分かる。

上記のようにエネルギー消費が途上国では急増しているなか、エネルギーを効率よく使用する面では先進国と距離があり、途上国の効率的使用によって、全体のCO2の排出量も抑えられることが分かる。その意味では、京都議定書に盛り込まれた「クリーン開発メカニズム (CDM)<sup>2)</sup>」の発揮が期待できる。

そこで、本稿では先進国である日本と途上国である中国が、環境政策の面で足並みを揃えることがどのような意義があるのかを、計量分析で明らかにする。

## 2. 日中産業別 CO2 排出量の推計

CO2 排出量は通常、産業連関表、エネルギーバランス表より推計することができる。CO2 排出量推計式はこのように表される。

$$EP(\text{CO2 排出量}) = EF(\text{排出係数 } C) * X(\text{燃料消費量 } D)$$

そして、排出係数 EF は CO2 排出量/燃料消費量で求めることができる。

### 2.1 日本の CO2 排出量推計

まず、日本の CO2 排出係数を推計する。CO2 排出係数（Appendix1.1 参照）のデータは『産業連関表による環境負荷原単位データブック（3EID）2007年』を参照し、燃料消費量はエネルギーバランス表のデータを参照した。CO2 排出係数は、単位資源発熱量当たりの CO2 排出量に、資源発熱量をかけて求めることができる。そこに、各産業別燃料消費量（Appendix1.2 参照）をかけて、CO2 排出量を推計することができる。

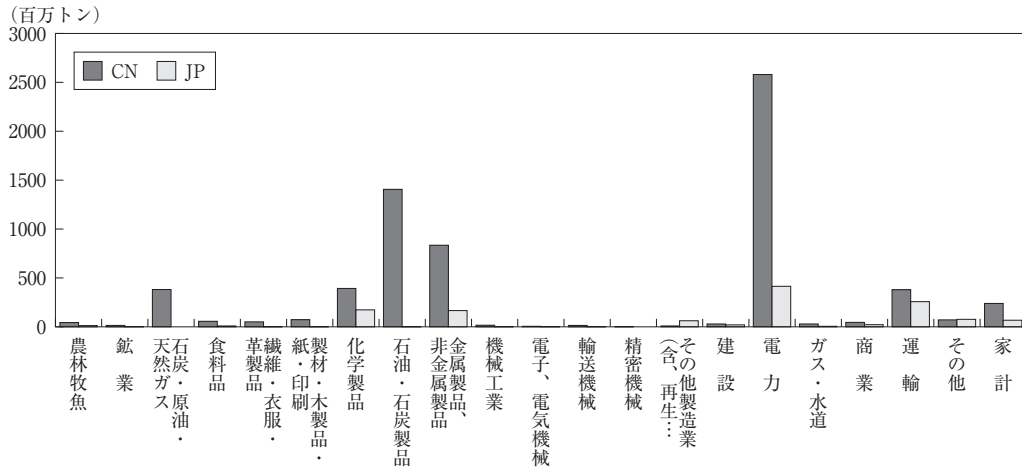
### 2.2 中国の CO2 排出量推計

中国の CO2 排出量も同様にまず CO2 排出係数を推計（Appendix2 参照）する。そこに、各産業別燃料消費量（Appendix2.2 参照）をかけて、中国の CO2 排出量を推計することができる。データとして、係数は“Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006)”<sup>3)</sup>を参照し、資源発熱量は『中国エネルギー年鑑』

表 1. 日中産業別 CO2 排出推計量と IEA の比較

単位：百万トン	中国	日本	単位：百万トン	中国	日本
AGRI	45	13	SEMI	0	0
MN	15	1	OTHMANU	9	59
FUEL	383	0	CONST	31	21
FOOD	58	10	ELEC	2,582	415
TEXT	52	1	UTILITY	30	7
WDPAPE	74	1	COMMC	47	23
CHEM	394	173	TRANS	380	259
PETRO	1,406	0	OTH	71	78
GOLD	835	166	Household	urban : 115	68
MACHN	17	0		rural : 124	
ELEMACHN	7	0	推計値	6,691	1,298
TRASMACHN	16	3	IEA	6,028	1,242
				111.0%	104.5%

図6. 日中産業別 CO2 排出量比較



を参照した。そして、エネルギー消費量は同じく、中国エネルギー年鑑を参照した。

### 2.3 日中部門別 CO2 排出量比較

推計した日中 CO2 排出量を比較すると、表1のようになる。中国の全産業・家計の CO2 排出量が日本の5倍となっている。家計の排出量は、中国は14億人の人口で、日本の1.2億人口の3倍くらいの排出量となっており、1人当たりの排出量は日本が中国の4倍くらいに相当する。そして、両国とも CO2 排出量の推計値が International Energy Agency (IEA) の推計量より多く推計されている。これは、エネルギー効率、焼却されないエネルギーなど考慮してないことによるものと思われる。

これをグラフ化すると図6のようになる。排出量の多い部門としては、電力・ガス・水道部門、運輸部門と金属製品・非金属製品部門となっている。

## 3. 社会会計マトリックス (SAM) と CGE モデル

本稿では、経産省の日中国際産業連関表2007年に基づいて、日中それぞれの国の SAM テーブルと日中国際 SAM を構築する。産業連関表から各産業の生産活動に必要な中間投入量、労働・資本の投入量、間接税などの情報が取得できる。そして、77部門表を20部門に部門統合 (Appendix3 参照) を行う。

### 3.1 日中の SAM テーブル

各国の産業は中間財を購入し、労働、資本を投入して生産を行う。各産業と家計は生産、消費すると同時に CO2 を排出する。このデータは産業連関表に依存する。企業所得税、個人所得税のデータは国民経済計算のデータを使用する。また、日中国際産業連関表2007年に基づき、さらに日中の国際 SAM テーブルを作成した。

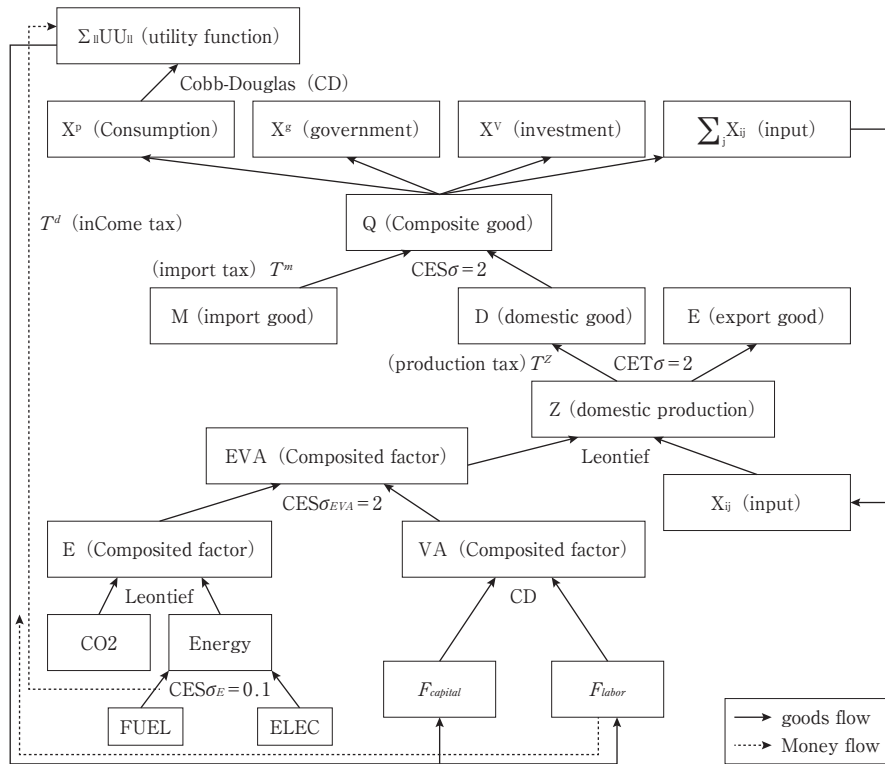


表3. 中国のSAM テーブル

CHN (100million US \$)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	LAB	CAP TAX	CP GOV	INV	EXPORT	IMPORT	TARIFF	OUTPUT
1AGRI	909	1	9	2,103	565	215	214	0	1	0	0	0	0	102	34	0	0	1	52	289		1,468	45	269	438	-272	-15	6,430
2MN	1	120	1	2	0	0	372	14	787	17	6	2	1	3	111	1	0	0	1	6		0	0	18	28	-158	-3	1,317
3FUEL	4	20	153	2	27	21	517	1,500	204	25	8	8	2	7	8	484	83	1	19	31		19	0	32	12	-678	-5	2,522
4FOOD	619	4	5	1,019	145	14	140	26	38	18	49	14	4	14	33	13	1	27	34	727		2,191	0	123	508	-248	-11	5,508
5TEXT	4	7	12	11	2,541	68	137	2	32	19	35	52	5	131	36	14	2	49	33	200		803	0	33	1,886	-331	-9	5,772
6WDPAPE	12	6	20	126	75	1,015	223	4	72	42	151	55	17	90	156	10	1	81	15	598		84	0	174	319	-289	-6	3,053
7CHEM	500	118	81	205	543	342	3,889	86	365	222	1,032	265	141	208	2,103	21	10	46	62	902		343	0	72	1,048	-1,350	-32	11,222
8PETRO	52	70	67	18	27	18	635	228	433	57	44	21	2	10	156	153	4	18	760	221		98	0	-8	56	-333	-8	2,799
9GOLD	19	39	160	33	23	93	327	19	4,117	1,399	1,794	597	78	182	1,576	23	6	5	31	114		54	0	229	824	-1,329	-23	10,390
10MACHN	41	81	147	19	54	46	227	66	396	1,032	347	406	39	9	239	41	3	11	88	131		13	0	2,134	693	-933	-17	5,311
11ELEMACHN	3	21	44	12	21	16	48	7	59	383	2,764	190	153	40	364	219	1	60	23	669		504	0	1,169	4,162	-1,598	-15	9,326
12TRASMACHN	24	17	22	8	12	22	49	13	78	88	45	1,420	8	17	39	48	5	66	284	249		318	0	1,332	644	-444	-19	4,342
13SEMI	2	4	16	3	1	3	21	3	8	9	7	6	37	2	11	25	1	1	4	95		23	0	135	526	-190	-1	757
14OOTHMANU	7	12	8	15	23	77	116	4	301	109	100	17	13	126	29	3	0	9	7	113		220	0	122	572	-157	-3	1,843
15CONST	2	0	3	2	1	1	4	2	3	2	2	1	0	0	80	1	0	13	14	142		123	0	7,768	153	-41	-30	8,249
16ELFC	61	145	174	64	96	81	649	88	565	135	133	54	10	25	111	1,542	33	61	48	271		310	0	0	-153	-354	-9	4,141
17UTILITY	1	9	6	7	8	9	45	8	27	7	13	6	2	3	4	13	13	4	8	43		85	0	1	3	-23	-1	301
18COMMC	96	17	28	142	92	69	226	62	195	137	408	141	29	33	197	32	3	26	49	301		1,023	0	287	577	-370	-8	3,792
19TRANS	101	72	90	155	109	89	357	99	245	134	213	79	22	33	634	48	5	351	307	334		388	213	41	551	-371	-7	4,291
20OOTH	205	70	146	204	231	126	547	88	410	238	700	161	53	60	419	291	28	681	463	2,431		4,640	4,370	655	846	-916	-20	17,126
LAB	3,575	188	451	406	492	267	786	144	575	455	475	333	53	130	974	276	44	551	540	3,759								
CAP	188	215	629	506	434	304	1,198	210	969	524	710	299	57	556	698	732	45	1,176	1,264	4,735								
TAX	6	80	251	426	251	159	496	139	510	250	290	213	26	63	237	150	12	553	187	767								
HOH																					14,063	14,295						
GOV																					419	1,155	5,066				241	
INV																						15,642	2,252					
INPUT	6,430	1,317	2,522	5,508	5,772	3,053	11,222	2,799	10,390	5,311	9,326	4,342	757	1,843	8,249	4,141	301	3,792	4,291	17,126								
CO2	45	15	383	58	52	74	394	1,406	835	17	7	16	0	9	31	2,582	30	47	380	71		239						



図7. モデル全体の経済構造



### 3.2 モデルの基本構造

CGE モデルは、社会会計表の数値を経済モデルとして再現するものである。モデルの経済主体は家計、企業、政府の三つを想定している。企業の生産は Constant Elasticity of Substitution (CES) 型関数で表わされる構造を持っている。化石燃料と電力は CES 関数のもとでエネルギーを形成し、エネルギーと  $CO_2$  はエネルギーを消費することによって  $CO_2$  が排出されるので、二つはレオンチェフ関数のもとでエネルギー財 (E) を生産し、労働と資本は Cobb-Douglas (CD) 関数で複合生産要素 (VA) を形成し、エネルギー財と複合生産要素はさらに CES 関数のもとで複合エネルギー財 (EVA) を生産する。複合エネルギー財はさらに、中間投入財とは代替不可能な関係なのでレオンチェフ関数の下で国内生産 (Z) を行う。国内で生産された財は CET 関数のもとで、国内財と輸出財に振り分けて供給される。国内財はアーミントンの仮定に基づき輸入財と組み合わせられ複合財 (Q) を生産する。複合財は家計と政府の消費、投資、次の中間投入に振り分けられる。家計は CD 関数のもとで、効用最大化を図る。

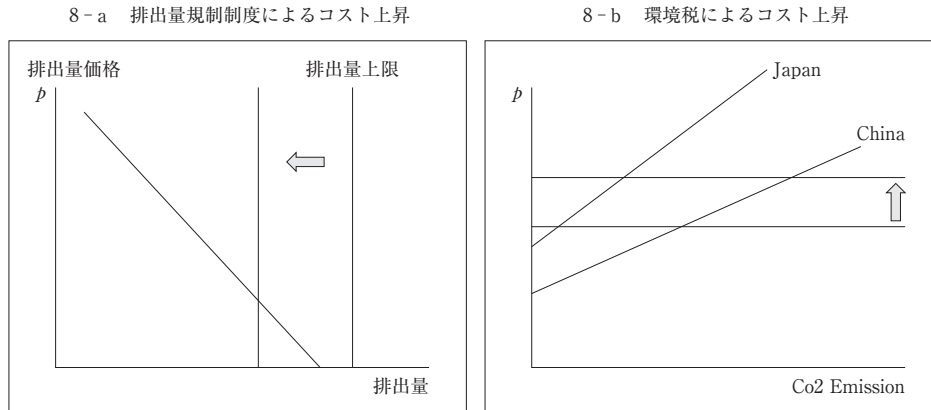
そして、日中の国際経済を想定する場合には、輸入財が相手国とその他世界が CD 関数、輸出財も同様に相手国とその他世界が CD 関数のもとで組み合わせられる。

本稿で使用したソフトは GAMS で、使用ソルバーは MPSGE である。

### 3.3 シナリオ

本稿では、 $CO_2$  排出量削減政策導入によるケース (シナリオ 1a~c) と環境税導入によるケース

図8. 排出量規制制度と環境税のメカニズム



(シナリオ 2a~b) を想定してシミュレーション分析を行う。そして、CO<sub>2</sub> 削減政策に関しては、一国経済のもとでの導入と国際経済を考慮したケースに分けてシミュレーションし、その結果を比較する。

シナリオ 1a：閉鎖経済想定のもとで、日本だけ CO<sub>2</sub> 排出量を25%削減

シナリオ 1b：閉鎖経済想定のもとで、中国だけ CO<sub>2</sub> 排出量を25%削減

シナリオ 1c：開放経済想定のもとで、日本だけ CO<sub>2</sub> 排出量を25%削減

シナリオ 2a：開放経済想定のもとで、日本だけエネルギー従価税導入

シナリオ 2b：開放経済のもとで、日中でエネルギー従価税導入

### 3.4 排出量規制制度と環境税のメカニズム

図8は CO<sub>2</sub> 排出量に対する排出量規制制度と環境税によるメカニズムを表している。排出量の規制が排出量より多ければ CO<sub>2</sub> 排出価格はゼロであり、排出規制が厳しくなれば CO<sub>2</sub> 排出価格も上昇する(図8-a) することは言うまでもない。ところが、環境税による規制の場合、二酸化炭素排出量に対しある経済圏において同じ環境税を導入したとしても、単位あたり二酸化炭素排出量のコストの増加分は異なるので、異なるコスト規制を各国は面することになる(図8-b)。

## 4. 分析結果

### 4.1 閉鎖経済のもとにおける CO<sub>2</sub> 削減政策による日中のマクロ経済インパクト

まず、日本と中国がそれぞれの国で25%の CO<sub>2</sub> 削減政策が行われた場合、日本の GDP への影響より中国の GDP へのマイナスの影響が強い。それは、中国の CO<sub>2</sub> 排出量が多いため、同じ削減政策では、中国经济がダメージを受けやすいからだと思われる。そして、CO<sub>2</sub> 削減政策より、資本財と労働の価格は減少され、個人の効用も減少される。輸出と輸入も増加されるが、輸入の増加幅が輸出より大きい。

表4. 閉じられている経済もとで、日中それぞれの国のCO2削減政策導入結果比較

Scenali01-a JP	base *単位：億ドル	alt *単位：億ドル	chg (%)	Scenali01-b CN	base *単位：億ドル	alt *単位：億ドル	chg (%)
INV*	10,725	10,728	0.03	INV*	14,587	14,602	0.10
CO2 (百万トン)	1,298	973	-25.00	CO2 (百万トン)	6,691	5,018	-25.00
CP*	24,270	24,056	-0.88	CP*	12,706	11,697	-7.95
G*	6,771	6,774	0.04	G*	4,628	4,917	6.24
EX*	7,849	7,870	0.27	EX*	13,693	14,270	4.22
IM*	7,742	7,758	0.21	IM*	10,626	11,217	5.56
GDP*	41,874	41,670	-0.49	GDP*	34,987	34,268	-2.06
VUTIL*	24,270	24,007	-1.09	VUTIL*	12,706	11,579	-8.87
RK	1.00	0.95	-4.85	RK	1.00	0.83	-17.10
PL	1.00	0.96	-4.31	PL	1.00	0.86	-13.62

INV…投資  
IM…輸入  
CP…家計消費  
base…基準均衡状態

G…政府収入  
RK…資本価格  
VUTIL…家計効用  
alt…新しい均衡状態

EX…輸出  
PL…労働価格  
CO2…CO2排出量  
chg…変化率

#### 4.2 開放経済のもとで日本のCO2削減政策のマクロ経済インパクト

各国の間取引が行われるグローバル経済を想定した場合、日本だけCO2削減政策を実施すると、日本のCO2は削減されるが、中国のCO2は日本の輸入増加によって排出量が増加される。そして、日本のGDP減少幅は、閉鎖経済のケースの時より小さくなる。中国は、日本の輸入増加により輸出が増え、GDPも増える。

#### 4.3 日本の環境税導入のマクロ経済インパクト

日本で、2012年10月1日から導入された地球温暖化対策税は、石油・天然ガス・石炭といったすべての化石燃料の利用に対し、CO2排出量に応じて課税を行うものである。具体的には、化石燃料ごとのCO2排出原単位を用いて、それぞれの税負担がCO2排出量1トン当たり289円に等しくなるよう、単体量（キロリットル又はトン）当たりの税率を設定している。

日本の環境税導入による税収で、エネルギー部門の従価税率を推計すると、エネルギー部門で1.6%の環境税を導入することになる。そこで、日本がエネルギー部門に対し、1.6%の環境税を導入すると、両国のマクロ経済へ同時に与える影響をシミュレーションする。そして、それを例え日中両国で同時に環境税（1.6%の従価税）を導入した場合と比較する。

日本だけの環境税導入（Scenali02-a）で、日本は1%弱のCO2排出量を削減できる。環境税を政府が徴収し、それを企業或いは家計に財政移転は行わないと想定する。シミュレーションによると、日本の環境税導入がGDPには大きな影響を及ぼさないが、政府税収効果として働く。そして、日中で同時に環境税を導入した場合（Scenali02-b）、単位GDPあたりエネルギーをもっと多く消費する中国の経済にはマイナスの影響を及ぼすが、日本の経済にはむしろプラスに働く可能性がある。

表5. オープン経済もとで、日本のCO2削減政策導入結果

Scenali01-c	JP (%)	CN (%)	Scenali01-c	JP (%)	CN (%)
INV .chg	-0.03	0	GDP .chg	-0.44	0.02
CO2 .chg	-25	0.09	RK .chg	-4.18	-0.14
G .chg	0.01	0.07	PL .chg	-3.78	-0.22
EX .chg	0.07	0.07	IM .chg	1.2	-0.77
CP .chg	-0.29	-0.61	VUTIL .chg	-0.46	-0.61

表6. 環境税導入によるマクロ経済への影響

Scenali02-a	JP (%)	CN (%)	Scenali02-b	JP (%)	CN (%)
CO2 .chg	-0.87	0.00	CO2 .chg	-0.86	-1.08
GDP .chg	0.00	0.01	GDP .chg	0.00	-0.01
CP .chg	-0.07	-0.02	CP .chg	-0.12	-0.56
G .chg	0.24	0.00	G .chg	0.24	2.45
EX .chg	0.02	0.02	EX .chg	0.02	0.02
IM .chg	0.06	-0.01	IM .chg	-0.05	0.08

## 5. おわりに

京都議定書 (COP3) や COP15 では、先進諸国は1990年の基準年に対して温室効果ガスの削減目標を提出している。ところが、2011年まで1990年比で、EU では1割削減できたのにもかかわらず、日本もアメリカも1割増加となっている。中国は3.5倍に、インドは3倍にCO2排出量が増加している。途上国が多い東アジア地域のCO2排出量増加が目立つので、EUのように地域レベルで環境税や排出権取引制度の導入に積極的取組が必要なものと思われる。

そのため、本稿においてCO2排出量削減政策および環境税導入政策を閉鎖経済と開放経済を想定して、その導入効果をマクロ経済に与える影響についてシミュレーション分析を行った。分析結果の要点は以下のとおりとなる。

- (i) CO2排出量削減政策および環境税導入政策による、経済に対するマイナスの影響はそれほど大きくない。
- (ii) 国際貿易が行われる状況で、一国だけが環境税を導入すると、炭素リーケージで貿易を通じて、貿易相手国のCO2の排出量を増やし、世界全体レベルのCO2排出削減効果は薄くなり、その国の税収だけを増加させることになる。
- (iii) 単位GDPあたりのCO2排出規模が異なる国同士で同時に環境税を導入した場合、GDPあたりCO2排出量が多い国(途上国のほう)ほど、経済へのダメージは大きく、その国の経済をさらに大きく歪める。

本稿では、日中両国でCO2排出量削減政策に対し、同じ規制を設けることを想定してシミュレーション分析を行ったが、経済格差の大きい(或いはエネルギー依存度の相違する)国の間でこのような統一的な環境政策規制は望ましいものとは思われない結果となった。従って、東アジア地

域で今後環境税を導入する場合、できる限り経済歪みの格差を小さくするような、環境税（或いは排出権取引制度）設計がこの経済圏には欠かせないものと思われる。また、環境税は経済への影響より、むしろその税収効果が無視できないため、例えば新技術導入のインセンティブをもたらすような税収設計によってどれくらいCO2排出量を削減できるかについて本研究は答えを出していない。

また今後の課題としては環境税だけではなく、環境税と排出権取引制度を融合した地域の環境政策を想定し、途上国への環境技術移転も考慮した地域環境モデルのシミュレーションも行ってみたいが、その際経済主体の行動をどこまで反映できるのかモデルの更なる精緻性が求められる。

#### 注

- 1) 2015年のCOP21（パリ協定）ではさらに京都議定書の代替となる国際的枠組の「パリ協定」が採択され、2030年までの締約国の目標値が提出された。
- 2) クリーン開発メカニズム（CDM）とは、先進国からの資金・技術支援により、開発途上国において、その実施国の持続可能な開発に貢献するとともに温室効果ガス（GHG）の排出削減・吸収増加を達成するプロジェクトを実施し、そのプロジェクトによるGHG削減量・吸収量をクレジットとして発行して、その全部又は一部を先進国（投資国）側に移転することで、その先進国の削減目標の達成に利用することができる制度である。
- 3) HP: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol1.html>
- 4) ゼロ利潤条件より、企業の生産関数は以下のように表すことができる。

$$\Pi_j = p_j - \sum_j X_{i,j} p_i - \theta_{VAE,j} [\theta_{E,j} (p_j^E)^{1-\sigma_{VAE}} + (1-\theta_{E,j}) (p_j^{VA})^{1-\sigma_{VAE}}] \frac{1}{1-\sigma_{VAE}} = 0$$

- 5) 労働と資本の付加価値関数は以下のように表すことができる。

$$VA_i = A_i K_i^{\alpha_i} L_i^{1-\alpha_i}$$

- 6) 代替弾力性  $\sigma$  は Rutherford T.F. and Paltsev S.V. (2000) と伴 (2011) を参照している。

#### 参考資料

- 1) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
- 2) International Energy Agency (IEA) CO2 Emissions from Fuel Combustion 2017
- 3) Manne, A.S., and R.G. Richels (1997), "On stabilizing CO2 concentrations-cost-effective emission reduction strategies" *Environmental Modeling and Assessment* 2, pp. 251-265.
- 4) Rutherford T.F. and Paltsev S.V. (2000), "GTAP-Energy in GAMS: The Dataset and Static model" *Discussion Papers in Economics*. Working Paper, University of Colorado, Department of Economics. No.00-02
- 5) Shoven, J. B. and Whalley J. (1984), "Applied general equilibrium models of taxation and international trade: An introduction and survey" *Journal of Economic Literature*, 22(3), 1007-1051
- 6) Zhang ZhongXiang. (1998), "Macroeconomic Effect of CO2 Emission Limits: A computable General Equilibrium Analysis for China." *Journal of Policy Modeling*, 20(2), pp.213-250.
- 7) Zhang ZhongXiang. (1996), "Integrated Economy-Energy-Environment Policy Analysis: A case Study for the People's Republic of China"
- 8) 有吉範敏・作間逸雄・谷口昭彦：環境SAMと環境政策上の諸課題に向けられたCGEモデルの構築、産業連関—Iノバージョン&I-Oテクニークー、環太平洋産業連関分析学会，Vol.14, No.2, pp.30

-40, 2006

- 9) 川崎研一 (1999). 『応用一般均衡モデルの基礎と応用』. 日本評論社.
- 10) 黄愛珍 (2003), 「中国 CO2 削減政策による経済成長への影響分析: CGE モデルの応用」『静岡大学経済研究8(2), pp.25-66
- 11) 小山田和彦 (1997), 「中国における環境政策の応用一般均衡分析: エネルギー課税と生産間接税免税」『国際公共政策研究』第1巻第1号。
- 12) 武田史郎・川崎泰史・落合勝昭・伴金美 (2010), 「日本経済センター CGE モデルによる CO2 削減中期目標の分析」『環境経済・政策研究』Vol.3, pp.31-42.
- 13) 伴金美 (2011). 「CO2 削減における日本と中国の役割: 世界モデルによる分析」, RIETI Discussion Paper Series, No.266.

## APPENDIX

## 1. 日本のCO2排出係数と産業別燃料消費量

## 1.1 日本のCO2排出係数

エネルギー バランス表 燃料名	3EID 対応 原燃料種名	係数 (単位：t-CO <sub>2</sub> /GJ) (A)		資源発熱量 (B)		CO <sub>2</sub> 排出係数(EF) C=A*B	
石炭製品	コークス	0.11	t-CO <sub>2</sub> /GJ	29.4	GJ/t	3.17	t-CO <sub>2</sub> /t
石油製品	石油コークス	0.09	t-CO <sub>2</sub> /GJ	29.9	GJ/t	2.78	t-CO <sub>2</sub> /kl
都市ガス	都市ガス	0.05	t-CO <sub>2</sub> /GJ	44.8	GJ/1000Nm <sup>3</sup>	2.24	t-CO <sub>2</sub> /1000Nm <sup>3</sup>
石炭	原料炭	0.09	t-CO <sub>2</sub> /GJ	29	GJ/t	2.61	t-CO <sub>2</sub> /t
原油	原油	0.07	t-CO <sub>2</sub> /GJ	38.2	GJ/kl	2.61	t-CO <sub>2</sub> /kl
天然ガス	LNG・天然ガス	0.05	t-CO <sub>2</sub> /GJ	54.6	GJ/t	2.7	t-CO <sub>2</sub> /t

出所：係数—産業連関表による環境負荷原単位データブック（3EID）2007、資源発熱量—3EID2007

## 1.2 各産業別燃料消費量

単位	石炭	石炭製品	石油製品	天然ガス	都市ガス
	10 <sup>3</sup> t Coal	10 <sup>3</sup> t Coal Products	10 <sup>3</sup> kl Oil Products	10 <sup>3</sup> t Natural Gas	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> N Natural Gas
農林牧魚	0.00	0.15	4,835.44	0.00	6.39
鉱業	2.116	7.29	150.28	67.24	1.11
石炭・原油・天然ガス	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
食料品	7.10	0.00	2,768.98	0.00	1,124.50
繊維・衣服・革製品	0.00	0.00	170.76	0.00	33.70
製材・木製品・紙・印刷	0.00	0.00	473.44	9.16	31.48
化学製品	6,368.86	2,681.64	52,342.91	743.78	381.28
石油・石炭製品	0.00	0.00	113.09	0.00	0.00
金属製品、非金属製品、 厚延加工業	10,823.22	39,768.66	2,504.02	418.79	1,636.60
機械工業	0.00	0.07	42.51	0.07	19.73
電子、電気機械	0.00	0.00	53.15	3.43	73.57
輸送機械	0.00	79.84	589.02	49.90	365.78
精密機械	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
その他製造業(含、再生資源)	894.53	12,818.50	6,841.25	12.80	637.43
建設	0.99	0.00	6,828.07	0.00	711.07
電力	0.00	0.00	21.39	0.00	0.00
ガス・水道	30.79	0.00	2,131.91	0.00	250.59
商業	0.00	0.00	4,230.46	0.00	4,973.41
運輸	0.00	0.00	93,156.92	0.00	0.00
その他	787.47	84.23	18,147.82	12.60	11,284.85
家計	0.00	0.00	16,590.71	0.00	9,649.49

出所：経済産業省・資源エネルギー庁（年度別エネルギーバランス表1990-2012）  
Energy Balance Statistics Ortho Table (EBS) 本表 2007

## 2. 中国のCO2排出係数と産業別燃料消費量

## 2.1 中国のCO2排出係数

中国語表記	英語表記	日本語表記	係数 (単位: t-CO2/GJ) (A)		資源発熱量 (B)		CO <sub>2</sub> 排出係数(EF) C=A*B	
煤	Coal	石炭	94,600	t-CO2/GJ	2.09*10 <sup>-5</sup>	TJ/kg	1.98	kg CO2/kg
原油	Raw Coal	原油	73,300	t-CO2/GJ	4.18*10 <sup>-5</sup>	TJ/kg	3.07	kg CO3/kg
天然気	Natural Gas	天然ガス	56,100	t-CO2/GJ	3.89*10 <sup>-5</sup>	TJ/m <sup>3</sup>	2.18	kg CO4/m <sup>3</sup>
汽油	Gasoline	ガソリン	69,300	t-CO2/GJ	4.31*10 <sup>-5</sup>	TJ/kg	2.99	kg CO3/kg
煤油	Kerosene	灯油	71,500	t-CO2/GJ	4.31*10 <sup>-5</sup>	TJ/kg	3.08	kg CO4/kg
柴油	Diesel	ディーゼル	74,100	t-CO2/GJ	4.27*10 <sup>-5</sup>	TJ/kg	3.16	kg CO5/kg
燃料油	Fuel Oil	燃料油	77,400	t-CO2/GJ	4.18*10 <sup>-5</sup>	TJ/kg	3.24	kg CO6/kg

出所: 係数-Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006)  
 資源発熱量-*China Energy Statistical Yearbook (last page)*  
 ※ HP: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol1.html>

## 2.2 各産業別燃料消費量

単位	石炭	原油	天然ガス	ガソリン	灯油	ディーゼル	燃料油
	万トン Coal	万トン Raw Coal	億 m <sup>3</sup> Natural Gas	万トン Gasoline	万トン Kerosene	万トン Diesel	万トン Fuel Oil
農林牧魚	2,337.80	0.00	0.00	246.83	0.94	1,875.34	1.00
鉱業	799.26	0.00	0.10	14.90	2.44	99.19	1.69
石炭・原油・天然ガス	16,860.60	1,203.93	96.22	54.01	2.86	226.90	40.42
食料品	2,937.78	0.64	2.91	35.87	1.08	86.43	44.86
繊維・衣服・革製品	2,691.82	0.48	0.89	39.29	2.59	79.18	68.24
製材・木製品・紙・印刷	3,818.18	0.77	1.25	31.90	2.78	58.42	40.02
化学製品	14,280.88	2,327.95	226.58	90.12	5.78	187.08	469.74
石油・石炭製品	25,655.94	30,309.24	26.52	26.73	1.73	45.75	395.54
金属製品, 非金属製品, 厚延加工業	42,509.03	15.13	52.28	97.62	8.34	413.52	886.13
機械工業	811.67	0.32	7.00	59.85	6.20	75.66	15.14
電子, 電気機械	264.45	0.64	8.45	40.08	2.07	89.43	47.21
輸送機械	741.55	0.11	7.15	45.21	7.57	61.99	12.21
精密機械	19.81	0.04	0.13	5.10	0.93	8.31	0.22
その他製造業(含, 再生資源)	457.24	0.01	0.06	6.53	0.58	11.90	3.49
建設	565.33	0.00	2.09	198.82	0.00	433.82	15.74
電力	131,922.92	8.42	70.78	20.87	0.25	267.38	603.68
ガス・水道	1,501.35	0.25	9.36	6.43	0.06	11.67	5.60
商業	868.27	0.00	17.11	351.73	4.90	603.94	24.78
運輸	685.45	163.66	16.89	2,763.19	1,129.98	6,794.36	1,389.95
その他	811.43	0.00	16.09	949.67	43.17	857.48	11.83
家計	8,100.61	2,267.00	133.39	434.40	19.48	205.32	0.00

出所: *China Energy Statistical Yearbook 2008*



## 3. 産業連関表と本モデルの部門対照表

産業連関表の産業部門	本モデルの 対応部門	産業連関表の産業部門	本モデルの 対応部門	本モデルの産業分類	CGE モデルの 産業コード
001 農 業	1	040 民生用電子機器・通信機械	11	1 農林牧魚	AGRI
002 畜 産	1	041 民生用電気機器・民生用機器	11	2 鉱 業	MN
003 農業サービス	1	042 半 導 体・集 積 回 路・その他の電子部品	11	3 石炭・原油・天然ガス	FUEL
004 林 業	1	043 産業用電気機器・その他の電気機器	11	4 食料品	FOOD
005 漁 業	1	044 電子計算機・同付属装置	11	5 繊維・衣服・革製品	TEXT
006 金属鉱物	2	045 自動車	12	6 製材・木製品・紙・印刷	WDPAPE
007 非金属鉱物	2	046 自動車部品	12	7 化学製品	CHEM
008 石 炭	3	047 船 舶	12	8 石油・石炭製品	PETRO
009 原油・天然ガス	3	048 鉄道車両	12	9 金属製品、非金属製品、厚延加工業	GOLD
010 肉製品	4	049 その他の輸送機械	12	10 機械工業	MACHN
011 乳製品	4	050 事務用機械・カメラ	13	11 電子、電気機械	ELEMACHN
012 精穀・製粉	4	051 計測器・測定器・時計	13	12 輸送機械	TRAS-MACHN
013 精製糖	4	052 玩具・運動用品・楽器	14	13 精密機械	SEMI
014 植物油脂	4	053 その他の製造工業製品	14	14 その他製造業（含、再生資源）	OTHMANU
015 調味料	4	054 再生資源回収・加工処理	14	15 建 設	CONST
016 簡易調理食品	4	055 建 設	15	16 電 力	ELEC
017 酒 類	4	056 電力・熱供給業	16	17 ガス・水道	UTILITY
018 その他の飲食品	4	057 ガ ス	17	18 商 業	COMMC
019 飼 料	4	058 水 道	17	19 運 輸	TRANS
020 たばこ	4	059 商 業	18	20 その他	OTH
021 繊維製品	5	060 金融・保険	20		
022 製材・木製品	6	061 不動産	20		
023 家具・装備品	6	062 運 輸	19		
024 紙・紙製品・印刷（含、情報記録物）	6	063 旅行業	19		
025 肥 料	7	064 物品賃貸業	20		
026 その他の化学製品	7	065 その他の対事業所サービス	20		
027 プラスチック・ゴム製品	7	066 郵 便	20		
028 合成樹脂・合成ゴム	7	067 通信・放送	20		
029 化学繊維	7	068 情報サービス	20		
030 塗料・印刷インキ	7	069 公務・公共サービス	20		
031 農 業	7	070 教 育	20		
032 石油精製・核燃料	8	071 研 究	20		
033 石炭製品	8	072 医療・保健・社会保障・介護	20		
034 毛皮・革製品	5	073 出版・文化・娯楽サービス	20		
035 窯業・土石製品	7	074 飲食店	20		
036 鉄 鋼	9	075 ホテル・宿泊業	20		
037 非鉄金属	9	076 その他の対個人サービス	20		
038 金属製品	9	077 分類不明	20		
039 一般機械	10				