

超長期世界エネルギー需給モデルによるエネルギーと環境に関する研究

An Analysis on Relation for Energy and Environment through Very Long Term World Energy and Demand Model

松井 賢一 (Kenichi Matsui)*伊藤 浩吉 (Koukichi Itoh)[†]
 武井 満男 (Mitsuo Takei)[‡]小野崎 保 (Tamotsu Onozaki)[§]
 高見 和幸 (Kazuyuki Takami)[¶]花房 英光 (Hidemitsu Hanafusa)[¶]

要約 エネルギー問題は、経済活動との関係だけでなく、地球環境との関係等を考慮して考えなければならないグローバルで超長期的な観点を必要とする問題である。このような観点から、近年、エネルギー、エコノミー、エコロジーの関係に関する研究が盛んとなり、モデルによる研究結果も報告されるようになってきている。

しかし、これまでに開発された主要な温暖化問題に関する世界モデルを比較分析した結果、地域として日本が独立して扱われていない、経済発展段階と人口やエネルギー消費の関係の取り込みが不十分である、エネルギー需要の所得に対する弾力性が可変的に取り扱われていない等の問題点が明らかになった。そこで本研究では、それらの要素を取り組んだ独自のモデルを構築し、将来の世界の人口、経済成長、エネルギー消費量と炭酸ガス排出量等との関係について推計を行った。

キーワード 地球環境問題、エネルギー需給モデル、経済成長、経済発展段階、炭酸ガス排出量

Abstract Energy problem is a global and long term one and can be tackled only with an economic analysis incorporating a global environmental aspect. Research on relation over energy ,economy and environment which applies econometric model analysis has been flourishing in these days. However,these models developed in the past have not treated Japan as a separate unit, have taken very poorly into account the relation among stage of economic development, growth of population and energy consumption. They did not either use a variable income elasticity of energy demand. Hence, in this research , we developed a very long term world energy demand and supply model incorporating these factors and make simulation analysis on future population, economic growth, energy consumption and CO2 emission in the world.

Keywords global environmental problem, energy demand and supply model, economic growth ,economic development

*龍谷大学 教授

[†](財)日本エネルギー経済研究所エネルギー計量分析センター

ター

[‡]名古屋経済大学

[§]旭川大学

[¶]社会システム研究所

1. はじめに

エネルギー問題は、経済活動との関係だけでなく、地球環境との関係等を考慮して考えなければならないグローバルで超長期的な観点を必要とする問題である。原子力の役割もこのような関係の中で検討される必要がある。このような観点から、近年、エネルギー、エコノミー、エコロジーの関係に関する研究が盛んとなり、モデルによる研究結果も報告されるようになってきている。

本研究は、これまでのモデルを改善した独自のモデルを構築し、将来の世界の人口、経済成長、エネルギー消費量と炭酸ガス排出量等との関係について推計を行った。

2. 本モデルの基本的開発方針と特徴

これまでに開発された主要な温暖化問題に関する世界モデルを比較分析した結果、地域として日本が独立して扱われていない、経済発展段階と人口やエネルギー消費の関係の取り込みが不十分である、エネルギー需要の所得に対する弾力性が可変的に取り扱われていない等の問題点が明らかになった。そこで本研究では、それらの点を考慮し、以下のような基本的な方針でモデルを開発した。

a. 将来のエネルギー・環境問題を考える際、その動向が極めて大きな影響を及ぼすであろうアメリカ、中国、旧ソ連、日本を明示的に扱う。

b. 今後、世界経済・エネルギー需給に大きな影響を及ぼすと考えられる環太平洋地域とりわけアジア地域についても明示的に扱う。

c. 既存モデルでは十分に扱われていない「経済発展段階と人口やエネルギー消費」との関係を示的に扱う。これと関係して「弾力性の可変性」等の相互関係をモデルに織り込む。

例えば、ロストウは、経済の発展段階を、農業中心、ニュートン以前の科学と技術に頼る伝統的社会、近代技術が組み込まれ、経済成長に対する肯定的態度が確立され、国民国家が成立する離陸のための先行条件期、成長を妨げていた要因が取り除かれ、工業が急速に発展する離陸期、成長が続き、一人あた

り所得が上昇する成熟への前進期、産業の中心が耐久消費財の生産とサービスへ移行する高度大衆消費時代に分けている。問題はそのような発展段階に応じて、エネルギー需要の所得弾力性が変化する事である。一般的に工業化の進展する時期には弾力性の値が高くなる。またエネルギー需要の拡大は流体化、電力化をもたらす。

ハムフェリーとバトルは、同じようなことが人口問題などについても当てはまるという。このような発展段階とエネルギー需要の変化の関係を取り入れると、経済発展途上のエネルギー需要の急拡大現象、エネルギー源の変化、先進国と途上国との経済関係などがよりの確に表現される。これまでのモデルにはこのような関係を明示的に取り入れたものがなかったので本モデルではこれを明示的に取り入れた。

d. 再生可能エネルギーのコスト、利用可能量を明示的に導入する。

このモデルでは新エネルギーは外生的に扱っているが、将来的にはコストや潜在的な利用可能上限等の条件を与えて、競合性・経済合理性、市場規模等に基づいて導入量を決定するモデル化を行う予定である。

e. 食料、鉄鋼、自動車などの需給シナリオを検証する。

超長期の展望を行う場合、人口、食料、エネルギー問題は極めて重要なファクターであり、またこれらは密接に関連しているため、食料需給についてもモデル化を行う。

また、「鉄鋼」は具体的にシナリオを見ていく上で、代表的な基礎物質としてモデルで取り扱う。「自動車」は生活水準、ライフスタイルを示す重要な指標であると同時に、将来の交通用エネルギーを決定する要素である。モデルで明示的に扱うことにより省エネ（燃費の改善等）の政策分析も可能となる。

f. 土地利用を考慮する。

人口、食料（耕地面積）、バイオマスエネルギーとの相互依存・トレードオフの関連を明示的にとらえる。

g. 価格均衡経路を検討する。

枯渇性エネルギー資源の需給、とりわけ資源埋蔵量と需要との整合をはかるため、需給が均衡するエネルギー価格の問題も扱えるようにモデル化を行う。

h. 環境税（炭素税）の地域別導入を可能とする。

現モデルでは世界全体の一律課税としてあるが、各地域の経済発展段階に応じた負担（あるいは援助）を明示的に扱えるようにする。

i. 温暖化効果の算定。

温暖化効果を計量的に把握するために、CO₂の排出に伴う気温上昇を測定するモデルを加える。

j. "OPEN-BOX-APPROACH"をとる。つまり分かりやすく、構造が明快なモデルとする。温暖化問題の議論には、さまざまな分野の人の意見交換が重要である。そのためにもモデルの計算結果の意味やその出てきた構造が読みとれることが必要である。

k. モデルの計算期間、対象地域、エネルギー源の種類は上記のような要件を考慮し、以下のとおりとした。

- ・ 計算期間：2100年まで
(1989, 2000, 2010, 2030, 2050, 2070, 2100年)
- ・ 対象地域：日本を明示化し、12地域に分ける。
アメリカ、中南米、アフリカ、中東、中国、日本、欧米OECD、オセアニア、旧ソ連東欧、NIES/ASEAN、インド等、その他
一大消費国、主生産国、変化の激しいところ…

・ エネルギー源の種類
(EDMCの海外データを利用)

- 最終エネルギー：固体、石油、天然ガス、電力
- 一次エネルギー：固体、石油、天然ガス、水力、原子力、再生可能エネルギー

このような基本方針で開発されたこのEDMC世

界エネルギー需給モデルは、超長期のエネルギー需給構造の決定メカニズムを定量化し、炭酸ガスを主因とする地球温暖化問題に対し、地球規模で長期にわたって何が起こるのか、環境税等の地球環境対策が世界の経済成長、エネルギー需給にどのような影響を与えるのか、そして地球環境問題に対して日本は何ができるのか等を検討するための定量的な情報を提供するものである。

このモデルの概要を図示すると、図1ようになる。またここで述べた開発の基本方針の主要なポイントを図示すると図2ようになる。

3. シミュレーション結果

シミュレーション結果の一つを中国を中心にまとめたものを表1に示しておく。

まず第1に中国のGDPは、1990年の3,600億ドル(1990年価格)から、2000年には6,560億ドル、2050年には14兆2,216億ドル、2100年には65兆8,494億ドルに達すると推定される。2040年近辺で日本を抜き、2050年をこえる辺りでアメリカを抜き、2100年には、アメリカのGDPの4倍をこえるものと推計された。

第2に中国の人口は、1990年の11億3,400万人から2000年には12億8,570万人、2050年には16億6,690万人、2100年には、19億9,790万人に達すると推定される。ちなみに日本の人口は、2010年頃におよそ1億3,000万人に達しその後徐々に減少し、2100年には9,800万に低下する。アメリカの人口は、21世紀に入っても緩やかに増大し続け、2100年には3億7,000万人に達する。

第3に一人当たり所得を見ると、中国の場合、1990年の310ドル(1990年価格)から2000年には、510ドル、2050年には7,370ドル、2100年には3万2,950ドルとなる。ちなみに2100年における日本の一人当たり所得は、9万3,170ドル、アメリカは4万1,621ドルと推定され、日本は中国の3倍、アメリカは同じく1.8倍となっている。

第4に最終エネルギー需要を見ると、中国のそれは1990年の石油換算4億9,800万トンから、

2000年には8億6,380万トン、2050年には34億2,230万トン、2100年には8億6,980万トンに達する。石炭のウエイトが高いが、2050年頃からは50%を割るようになると予想される。世界に占める中国の比率は、1990年の9.0%から2000年には13.0%、2050年には25.3%に達し、2100年には22.6%へと若干低下する。

第5に中国の一次エネルギー需要は、1990年の6億5,200万トンから2000年に11億8,400万トン、2050年に47億8,800万トン、2100年には52億7,100万トンに達すると推定された。

第6に炭酸ガスの排出量を見ると、中国の排出量は6億1,200万トンで世界のおよそ10%を占めているが、2000年にはおよそ11億トンで世界の約15%、2050年には4,310億トンで

世界のおよそ30%を占めるようになると推定された。2070年には約51億トンに達するが、その後は若干減少していくと推定された。

これは表2に見られるように、その頃から石油、天然ガスが資源の枯渇で急速に減少し、太陽エネルギー等の新エネルギーが大規模に導入されると予想される結果である。この事は中国のみならず世界的に見られるようになると予想される。

以上の結果は、比較的経済論理に忠実に構築したモデルによる推計結果である。現実がどのような姿になってゆくかはもちろん不確定な要素が多いので予測が困難であるが、ここにあげた数値は将来を考える上で一つの拠り所として有益であると考え。前提を変更することによってシミュレーションを行うことにより、さらに判断の材料が増えることになる。そこにモデルによる分析の良さがあるといえる。

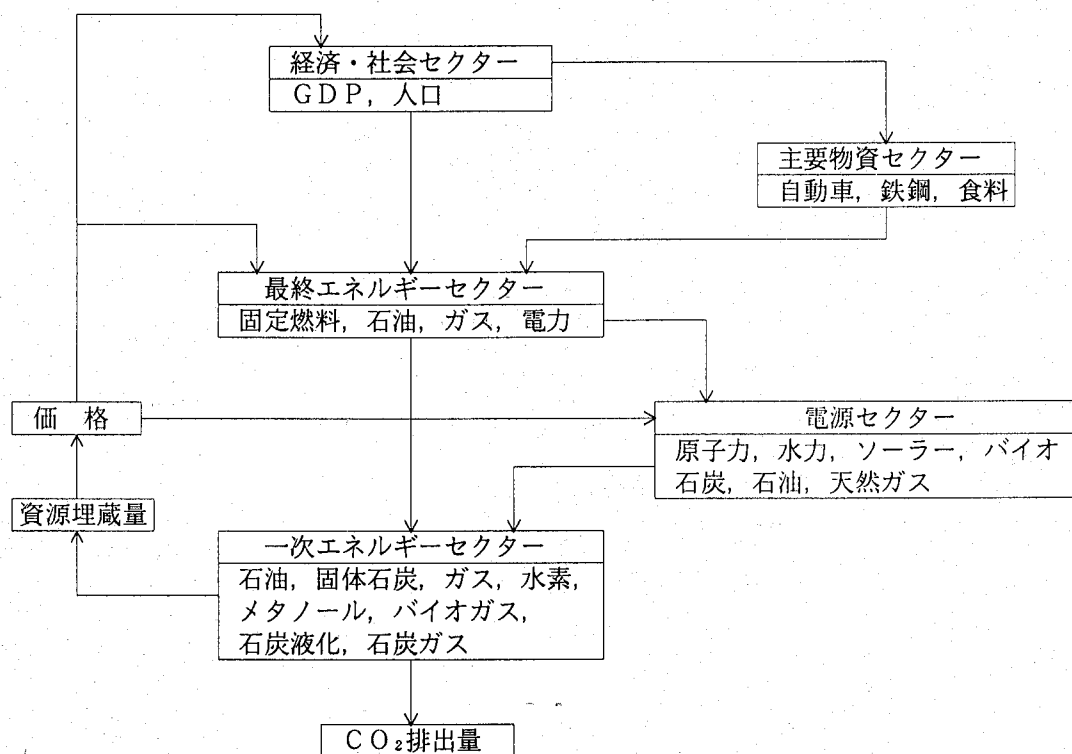


図1 EDMC 超長期世界エネルギー需給モデルの全体構成

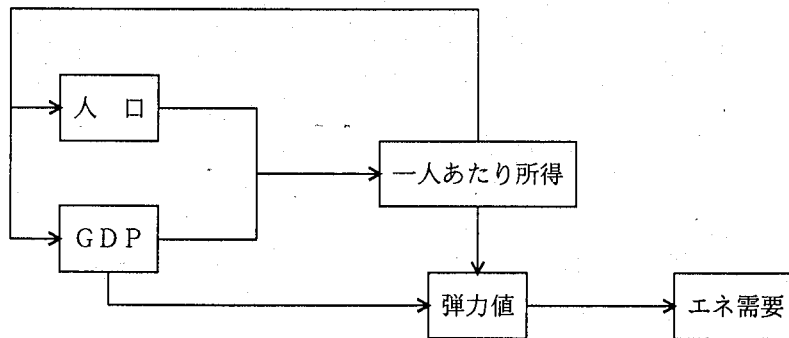
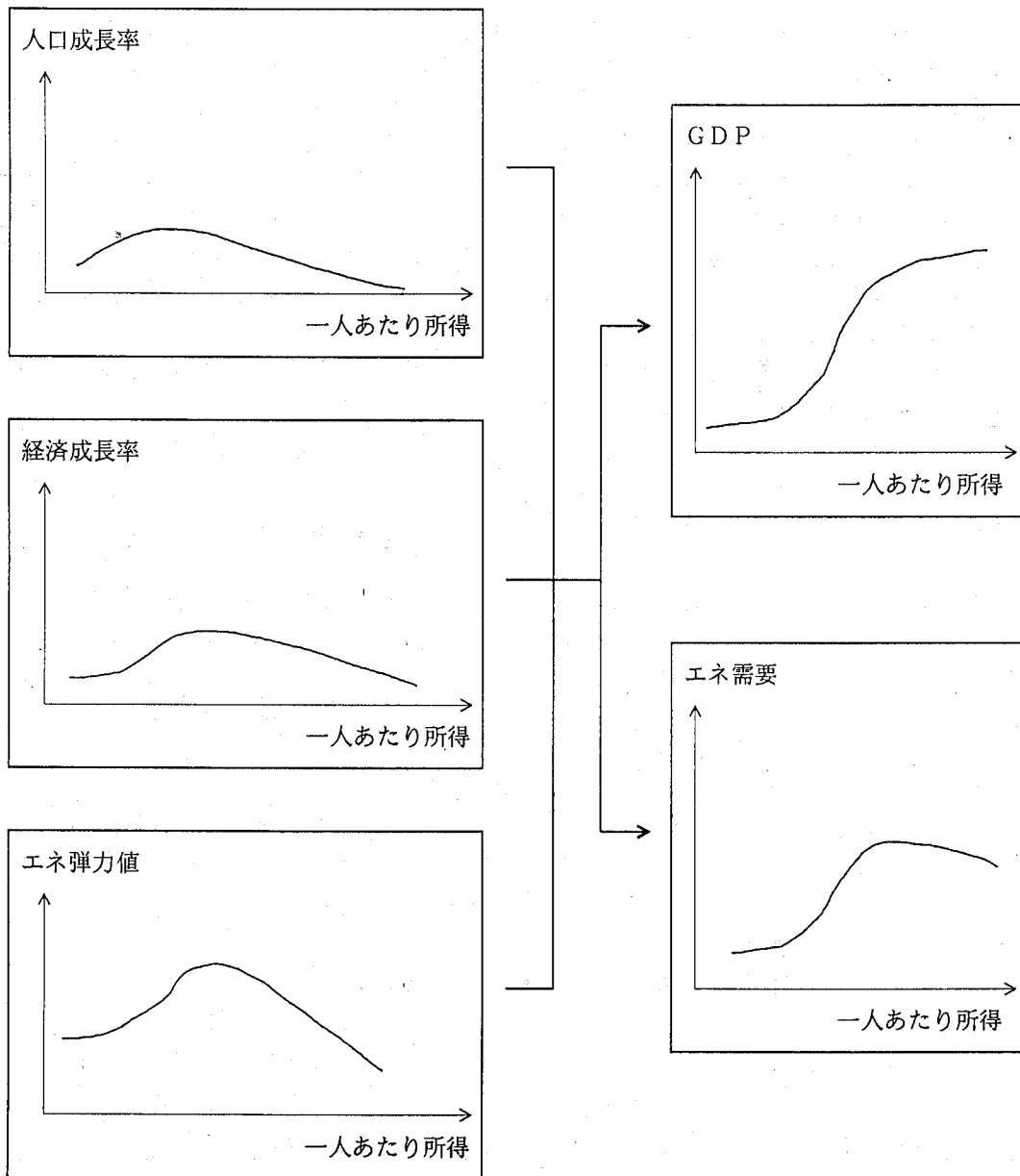


図 2 発展段階モデルの基本メカニズム

GDP (10億ドル)								
	1975年	1990年	2000年	2010年	2030年	2050年	2070年	2100年
中国	124	360	656.6	1168.8	3770.3	14221.6	29630	65849.4
日本	1449	2848	3814	4861.3	6616.7	8200.1	8867.8	9132.4
アメリカ	3168	4872	5940	7215	9635	12174	13689	15395
世界合計	13150	20171	26111.4	33534.3	53922.3	94025.9	152244.8	279829.9
中国の構成比	0.9%	1.8%	2.5%	3.5%	7.0%	15.1%	19.5%	23.6%
人口 (百万人)								
	1975年	1990年	2000年	2010年	2030年	2050年	2070年	2100年
中国	916	1134	1285.7	1455.7	1666.9	1928.5	1979.2	1997.9
日本	112	124	127.9	129.7	127.1	120.3	111.4	98
アメリカ	216	250	271	292	321	343	355	370
世界合計	3935	5083	5992.7	6990.2	8538.5	10259.4	10710.4	11543.3
中国の構成比	23.3%	22.3%	21.5%	20.8%	19.5%	18.8%	18.5%	17.3%
一人あたり所得 (1000ドル)								
	1975年	1990年	2000年	2010年	2030年	2050年	2070年	2100年
中国	0.18	0.31	0.51	0.8	2.26	7.37	14.97	32.95
日本	12.88	22.96	29.81	37.46	52.03	68.16	79.59	93.17
アメリカ	14.67	19.49	21.90	24.70	30.06	35.51	38.51	41.62
世界合計	73.76	99.67	119.03	141.36	192.35	265.48	345.81	481.53
中国の構成比	0.2%	0.3%	0.4%	0.6%	1.2%	2.8%	4.3%	6.8%
最終エネルギー需要 (M, t, o, e)								
	1975年	1990年	2000年	2010年	2030年	2050年	2070年	2100年
中国	250	498	863.8	1359.2	2475.3	3422.3	3939.2	3669.8
日本	235	298	305.7	306.3	286.2	266.5	244.2	219.2
アメリカ	1239	1374	1432	1427	1349	1295	1195	1048
世界合計	4168	5555	6628.8	7754.3	10495.3	13504.6	14926	16212.6
中国の構成比	6.0%	9.0%	13.0%	17.5%	23.6%	25.3%	26.4%	22.6%
一次エネルギー需要 (M, t, o, e)								
	1975年	1990年	2000年	2010年	2030年	2050年	2070年	2100年
中国	314.5	652.2	1184	1861.9	3437.5	4783.2	5526.6	5271
日本	302.6	384	381.1	381.8	361.2	337.7	286.7	299.8
アメリカ	1613	1811	1938	1944	1850	1819	1696	1497
世界合計	5801.5	7570.8	9245.7	10900.2	15081.8	19805.4	22264	25078
中国の構成比	5.6%	8.8%	12.8%	17.1%	22.8%	24.2%	24.8%	21.0%
炭酸ガス排出量 (百万トン)								
	1975年	1990年	2000年	2010年	2030年	2050年	2070年	2100年
中国	293.6	612.3	1094	1686.6	3017.7	4310.5	5087.6	4725
日本	244.2	292.6	280.8	272.5	221.9	216.6	162.1	105.7
アメリカ	1228	1396	1479	1442	1127	1100	1056	742
世界合計	4461.9	5846.9	7085.7	8146.9	9970.2	18741.3	16715.3	18539.4
中国の構成比	6.6%	10.5%	15.4%	20.7%	30.3%	31.4%	30.4%	25.5%

表1 中国, 日本, アメリカ, 世界の経済・エネルギー・炭酸ガス排出量長期展望

(M. t. o. e)

最終エネルギー需要量

	1975年	1990年	2000年	2010年	2030年	2050年	2070年	2100年
固体燃料	182.2	356.5	578.8	899.8	1629.4	2052.2	2046.4	1631.8
石油	49.7	87.6	170.8	270.5	493.4	799.2	1103.1	1111.1
天然ガス	4	8.4	21.3	34.2	66.5	135.6	234.2	323
電力	14	45.3	92.6	148.5	285.8	435.1	555.2	603.6
合計	249.9	497.8	863.5	1353	2475.1	3422.1	3938.9	3669.5
(構成比)								
固体燃料	72.9%	71.6%	67.0%	66.5%	65.8%	60.0%	52.0%	44.5%
石油	19.9%	17.6%	19.8%	20.0%	19.9%	23.4%	28.0%	30.3%
天然ガス	1.6%	1.7%	2.5%	2.5%	2.7%	4.0%	5.9%	8.8%
電力	5.6%	9.1%	10.7%	11.0%	11.5%	12.7%	14.1%	16.4%
合計	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

一次エネルギー需要量

	1975年	1990年	2000年	2010年	2030年	2050年	2070年	2100年
固体燃料	236.3	516	888.7	1350.9	2412.8	4157.2	5108.1	4744
石油	68	112.6	227	371.8	660	0	0	0
天然ガス	6	13.5	46	73.5	146.1	296.2	0	0
原子力	0	0	1	3	6	9	15	18
水力	4	10	12	15	16	18	21	23
再生可能エネ	0	0	9.9	47.5	196.6	302.7	382.5	486
合計	314.3	652.1	1184	1861.7	3437.5	4783.1	5526.6	5271
(構成比)								
固体燃料	75.2%	79.1%	75.1%	72.6%	70.2%	86.9%	92.4%	90.0%
石油	21.6%	17.3%	19.2%	20.0%	19.2%	0.0%	0.0%	0.0%
天然ガス	1.9%	2.1%	3.9%	9.9%	4.3%	6.2%	0.0%	0.0%
電力	0.0%	0.0%	0.1%	0.2%	0.2%	0.2%	0.3%	0.3%
水力	1.3%	1.5%	1.0%	0.8%	0.5%	0.4%	0.4%	0.4%
再生可能エネ	0.0%	0.0%	0.8%	2.6%	5.7%	6.3%	6.9%	9.2%
合計	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

表 2 中国の最終・一次エネルギー需要量 (エネルギー源別)