

# 21 世紀東アジアにおける環境とエネルギー問題の同時解決モデル分析

3E- Economy, Energy and Environment Model Analysis  
for East Asia in 21 Century Towards a Super Solution

研究代表者 埼玉大学経済学部社会環境設計学科 教授・工博 外岡 豊

Yutaka TONOOKA Prof.,Dr.Eng.  
Dept. of Social Environmental Planning, Faculty of Economics, Saitama Univ.

共同研究者 埼玉大学経済科学研究科 寧 亜東  
Yadong NING Graduate School of Economics, Saitama Univ.

共同研究者 独立法人産業総合研究所エネルギー利用研究部門 近藤 康彦  
Yasuhiko KONDOU AIST, Institute for Energy Utilization

共同研究者 独立法人産業総合研究所エネルギー利用研究部門 穆 海林  
Hailin Mu AIST, Institute for Energy Utilization

共同研究者 立命館大学政策科学部 周 ? 生  
Weisheng ZHOU Ritsumeikan Univ. Faculty of Political Science

## 和文アブストラクト

東アジアは 21 世紀前半中には一つの広域経済圏を形成すると予想される。世界的な課題としての気候変動防止には東アジアでの排出削減が必至であり、同時に中国国内における地域的な大気環境問題の解決も重要課題である。

東アジアは人口も多く地域内の経済発展格差が激しいため成長の余地も大きくその物資、エネルギー消費動向が気候変動問題、環境問題、資源枯渇問題に与える影響は極めて大きい。地域分布を含む人口計画、経済計画、エネルギー供給計画、省エネルギー計画、大気汚染防止対策計画と気候変動防止計画の各側面から詳細に検討する地域モデルを開発し、経済発展と大気汚染物質、温室効果ガスの排出削減、資源消費抑制を同時達成するシナリオ分析を行い、これらの諸問題を同時解決する東アジアの将来構想を環境とエネルギーの側面を中心に中国を主な対象として定量的かつ詳細に検討する。

## 英文アブストラクト

In the 21st century East Asia will continue to develop as a large unified economic area. A key part of Climate Change policies in the world is to reduce Green house gases emissions in this area. Simultaneously air pollution control in China would be aimed as well. The population of East Asia is extremely large, with significant regional gaps in economic development, where there is considerable potential for future growth. A rapid growth in energy demand and consumption of goods will result in increasing strains on the environment and resources.

In this study we developed the 3-E scenario model, which includes the following parameters: population; economic activity; urban activity; energy demand and saving; air pollution control, and climate change. We undertook detailed quantitative analysis, primarily for China, and pursued a simultaneous scenario resolution of economic development, air pollution control, climate change mitigation, and resource productivity.

**Keywords:** Energy Consumption, Greenhouseeffect gases Emission,CO<sub>2</sub>, 3E-Model, East-Asia,China

キーワード: エネルギー消費量、温室効果ガス排出、CO<sub>2</sub>、3E モデル、東アジア、中国

## 1. 研究目的

東アジアは 21 世紀前半中には一つの広域経済圏を形成すると予想される。世界的な課題としての気候変動防止には東アジアでの排出削減が必至であり、同時に中国国内における地域的な大気環境問題の解決も重要課題である。東アジアは人口も多く

地域内の経済発展格差が激しいため成長の余地も大きくその物資、エネルギー消費動向が気候変動問題、環境問題、資源枯渇問題に与える影響は極めて大きい。地域分布を含む人口計画、経済計画、エネルギー供給計画、省エネルギー計画、大気汚染防止対策計画と気候変動防止計画の各側面から詳細に検討する

地域モデルを開発し、経済発展と大気汚染物質、温室効果ガスの排出削減、資源消費抑制を同時達成するシナリオ分析を行い、これらの諸問題を同時解決する東アジアの将来構想を環境とエネルギーの側面を中心に中国を主な対象として定量的かつ詳細に検討する。

本研究の成果は政策検討の基礎として多面的に活用されるべきものであるが同時に大陸規模酸性化あるいは長距離輸送大気の物理化学モデル分析への基礎データとしても利用されており、省（中国）、道（韓国）、県（日本）別から都市あるいは県別（中国）を経て緯度 0.5 度のグリッド排出分布が発生源別、排出高層別、季節・時間帯別に出力できるデータ変換システムを整備している（図 1 に例示）。

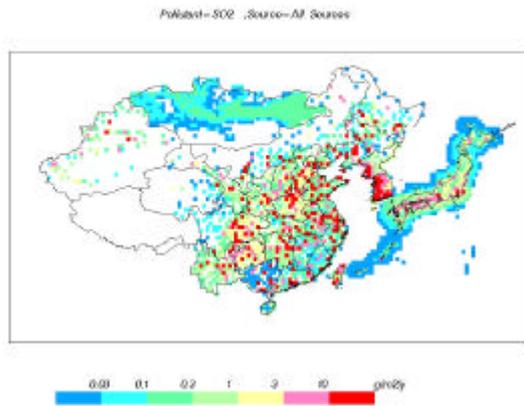


図 1 東アジア大気汚染物質排出分布 SO<sub>2</sub>

## 2. 研究対象および研究方法

本研究の対象地域は東アジアであり中華人民共和国、韓国、北朝鮮、モンゴル、台湾地域と日本である。極東ロシアはデータが乏しいので対象としない。環境負荷として気候変動と大気汚染を主に取り上げ、それに影響するすべての要因過程が研究の対象となる。最近年次の現況データを分析し 2030 年頃までの将来動向をシナリオ分析する。なお中国については省別分析を基本とした。対象とする汚染物質は大気汚染と同時に酸性化原因物質として SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SPM、NMVOC、CO および NH<sub>3</sub>、気候変動問題に関して CO<sub>2</sub> の排出を推計し、また SPM のうちエアロゾル成因物質として BC (EC)、OC についても推計しているが、BC、OC はエアロゾルとして正負の温室効果を持っており気候変動影響上も重要な汚染物質である。それらの各種物質の排出削減対策について処理除去技術、燃焼技術対策、省エネルギーや燃料転換、製造技術転換、需要構造転換などを含めて広く考察する。それら環境負荷の基礎として同時に資源供給制約の問題としてエネルギー需要を出来る限り詳細に推計分析する。とくに中国での石炭と農業廃棄物と薪などのバイオマス燃料の消費は大気汚染、気候変動両面に置いて極めて重要な研究対象である。

さらにエネルギー需要推計には通常のマクロ経済モデルで扱うような金額での国別の経済活動よりも需要と生産の地域分布を含めた各種製品生産需給を知ることが重要でありとりわけ鉄鋼、セメント、基礎化学品等の生産量と生産技術を詳細に扱ってエネルギー需要量を推計した。特に将来予測にはそれなしには定量的な分析は不可能と言ってよい。

その基礎として人口分布、とくに都市か農村か、開発が進んだ沿海地域が遅れている西部地域かによりエネルギー消費状況が大きく異なるので、人口分布を詳細に想定することがすべての将来予測の基礎となる。それには年齢別人口の推計が不可欠であり、本研究ではコーホート分析による年齢別人口を地域の都市化の段階別に推計した

## 3. 研究結果から

### 3-1 人口シナリオ分析

WTO加盟による経済自由化の影響もあり、沿岸巨大都市の経済開発が急速に進むに連れて内陸農村部との経済格差が大きくなり、巨大国家中国は南北問題を国内問題として抱え込むことになる。国際市場に開かれた市場経済を成長させようとする政策と地域格差を抑制しようとする社会主義的な政策の狭間で、沿岸先進大都市地域から内陸部に至る地域構造の将来動向変化は他国にない複雑な状況が予想される。これを一国内の統一法規で社会運営することはおそらくこの国の政府も未経験なことであり北京政府の大きな行政課題となるだろう。経済開発、経済自由化に伴う都市化の進展は都市への人口集中圧力をさらに高めるであろうが、一方人口抑制政策と都市移住を厳しく制限した現行人口政策を継続すると都市の高齢社会化を招くと予測される。このような中国の動向を正確に分析するため都市化の進展段階により地域を類型化し、人口規模により巨大都市、大都市、中小都市、農村の別に 4 種類に区分した分析を行った。都市別データを基礎に再構成した年齢別人口をコーホート分析して予測した都市部の将来人口年齢構成を図 2 に例示する。(a) は現行規制に従ったなりゆきの推計結果で、ここまでは 2030 年には都市部では異常なまでの高齢化が進むことが明らかである。(b) は都市から農村への還流移動を想定した場合で、農村での中高年層が(a)より増大して安定した年齢構成になる。

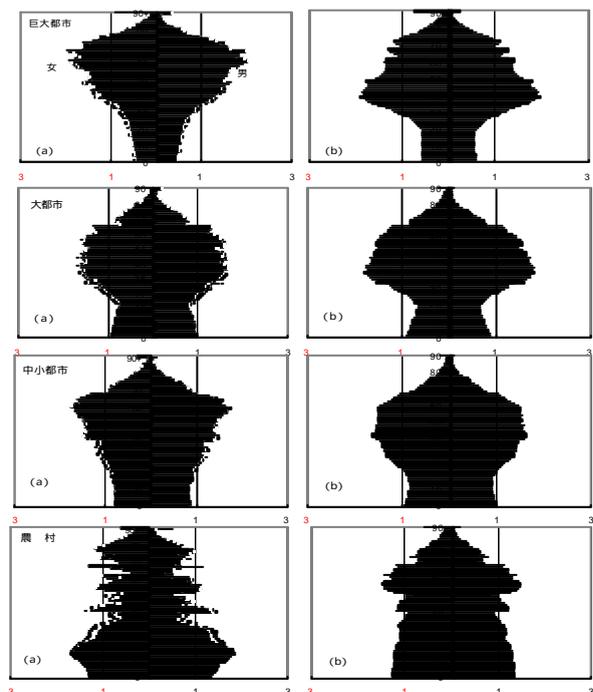


図 2 2030 年 4 地域別人口ピラミッド予測結果

(a) 純移動ケース（現行制度延長）

(b) 双方向移動ケース（都市から農村への還流想定）

### 3-2 生産動向

特にこの数年中国は急激な経済成長期に入り 2003 年実績は鉄鋼 2.2 億 t、セメント 8.6 億トン、紙 3.5 千万トン、化学肥料 3.6 千万トンであった。主要基礎品生産量動向を図 3 に示す。この傾向はエネルギー需要を増大させているはずであるがエネルギー統計の速報は公表されていない。

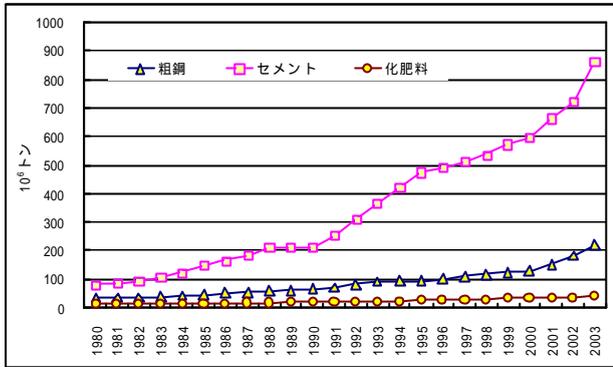


図 3 主要基礎品の生産動向

### 3-3 エネルギー需要動向分析

中国政府統計によれば 1996 年以降数年石炭需要が減少するなどエネルギー需要の動向は単調な増加ではない。この理由として国営企業炭鉱の経営建て直しのため多数の中小炭鉱を閉鎖させたので生産が減少したとされている。しかし実際には閉鎖されたはずの中小炭鉱も生産を続けている場合もあると言われており、実際の生産動向について筆者は増加傾向は継続しているが伸びは鈍化傾向にあると見ている。中国のエネルギー需給分析はまずデータそれ自体の検討が必要であり、現況値自体が不確定な中で将来予測は難しいが、本研究では図 4 はに示す修正推計値を暫定的に採用している。

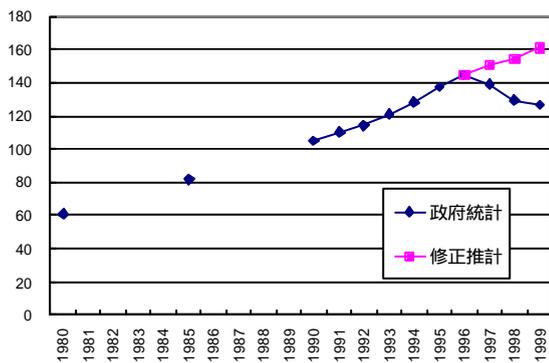


図 4 中国石炭消費量・政府統計値と現況実勢推計例～1999

ここ数年はエネルギー需要は増加しているであろうが長期的な将来においては減少に転じる時が来ると予想される。それがいつであるかをシナリオ予測することが本研究の一つの興味であるが、図 5 は Grey Model と呼ばれる数列回帰分析予測手法を用いて 2030 年までの予測を試算した事例である。

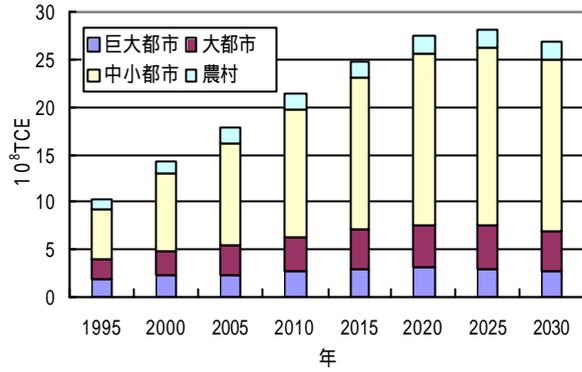


図 5 中国エネルギー消費動向将来予測～2030  
- Gray Model による

### 3-4 農村のエネルギー消費

中国におけるエネルギー消費で特に詳しく分析したのは重化学工業とともに住宅のエネルギー消費である。図 6 に比較するように住宅エネルギー消費の CO<sub>2</sub> 排出量は 1 人当たりで比較して中国は日本の 3 分の 2 である (1999 年・バイオマス含)。中国の住宅 CO<sub>2</sub> 排出の 3 分の 2 はバイオマス燃焼起源であり農業廃棄物と薪が主に使われている。バイオマスを除けば中国は日本の 3 分の 1 水準である。仮説として生活水準の向上に伴って住宅エネルギー消費が増大すると考えていたが 1990 年代の実態を分析すると意外にも微減傾向にあった。これは厨房用暖房用燃焼機器の効率が低くその改善の余地が大きいため需要増大を相殺していること、90 年代には家電機器等の電力需要消費水準がまだ低いため家電機器の普及の影響が顕著ではなかったことに起因している。都市部では今後家電機器の普及によるエネルギー消費と CO<sub>2</sub> 排出の増大があり得るが、農村部ではバイオマス燃料の消費動向と熱効率向上動向次第で省エネルギーの可能性と非バイオマス化した場合には CO<sub>2</sub> 排出量 (バイオマス排出ゼロ計算時) の増大の恐れが同時に存在する。図 7 は省別に詳細推計した中国住宅エネルギー消費構成の例でバイオマス燃料が卓越した東北地方の黒竜江省の例を示す。

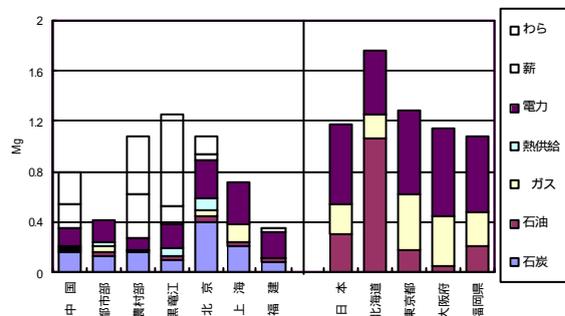


図 6 中国、日本の一人当 CO<sub>2</sub> 排出量比較 (1999 年)

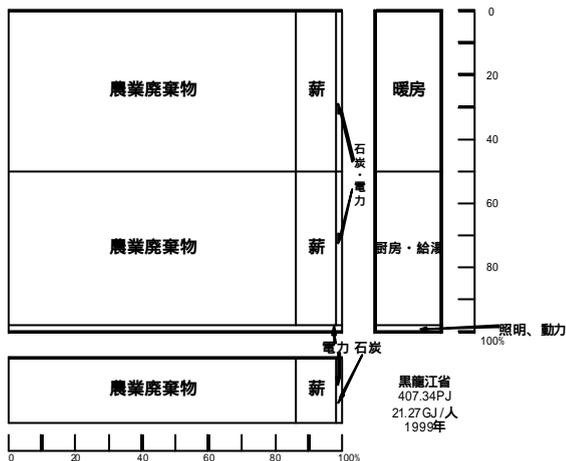


図7 1999年黒竜江省農村部家庭部門エネルギー消費のマトリクス

都市部での住宅のエネルギー消費は様相が全く異なる。現在は石炭消費が多いが都市ガス、LPGへの転換が進むであろう。問題は電力需要の増大である。近い将来において都市部住宅の電力需要増大が地域的な供給力不足面、国家1次エネルギー供給の特に輸入増の問題、CO<sub>2</sub>排出増大、都市大気汚染面で共々厳しい問題となる。

図8は2030年の都市部住宅エネルギー消費量を予測したものである。

農村部の電力需要は現状消費水準が極めて低いいため増大の余地が極めて大きく将来的には大きなCO<sub>2</sub>排出増大要因となる恐れがある。

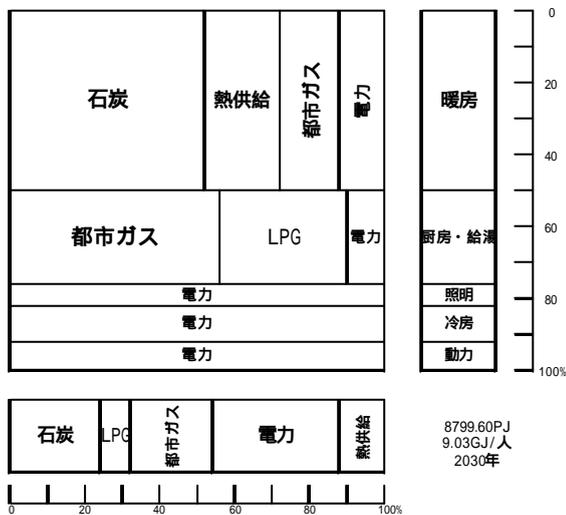


図8 2030年都市部家庭部門エネルギー消費量のマトリクス (高消費+省エネ+天然ガス転換ケース中位)

### 3-5 交通部門のエネルギー消費

中国は国土が広大であるだけに経済の広域化は内陸輸送需要の増大が必至でありそのエネルギー消費も急激に大きくなる。そこで交通需要とそのエネルギー消費について詳細分析を行っている。図9は貨物輸送の現況エネルギー消費構成である。その将来動向予測については研究作業中である。

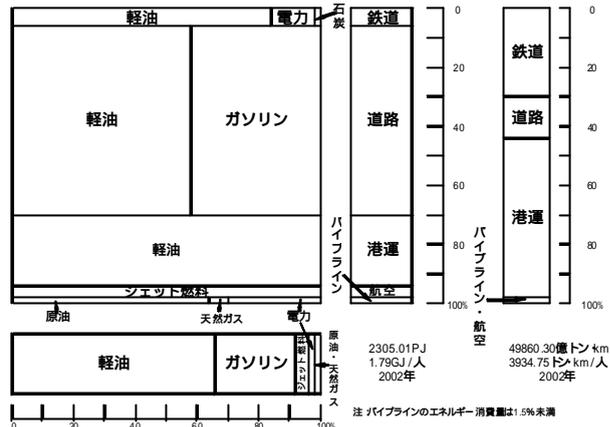


図9 貨物部門エネルギー消費マトリクスと輸送量構成(2002年)

### 3-6 大気汚染物質と温室効果ガス排出

農村部の伝統的な竈(かまど)での燃焼効率の悪い厨房エネルギー消費は不完全燃焼によるPM、NMVOC、CO等大気汚染排出をもたらすだけでなく未燃炭素がエアロゾル、BC(ブラックカーボン)として温室効果を促進する恐れがある。CO<sub>2</sub>としてはバイオマス起源ゆえ影響なしと評価されてもBCの温室効果が無視できないのである。従って温室効果ガス排出削減対策として中国農村部のバイオマス利用は高い燃焼効率で利用出来るなら大きな可能性をもっており、竈での直接燃焼から効率の良いチップ、ペレット化、ブリケット化が考えられ将来的にはガス化が期待される。

### 4. 今後の研究

中国については詳細な分析を行ってきたが韓国他については中国ほど詳細な分析を行う余裕がなかった。今後は東アジア全体にわたって整合的な分析が出来るよう研究を継続する予定である。

#### 研究成果発表

- 1) Mu H, Tonooka Y, Sakamoto K, Zhou W, Ning Y (2002). Development of Gray System Model on Energy Consumption and Emissions of Air Pollutants and GHGs in China (CGEE Model) Gray System Model on Energy Consumption in China (CGEM Model), JIE, Vol81, No8, pp738-753
- 2) Mu H, H, Tonooka Y, Sakamoto K, Zhou W, Ning Y (2002). Development of Gray System Model on Energy Consumption and Emissions of Air Pollutants and GHGs in China (CGEE Model) An Emission Model of SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and CO<sub>2</sub> (CGEM Model), JIE, Vol81, No8, pp754-769
- 3) Tonooka Y., Mu H., Ning Y., Kondo Y. (2003) Energy Consumption in Residential House and Emissions Inventory of GHGs, Air Pollutants in China, JAABE, 2 (1), pp93-100
- 4) Tonooka Y., Kannari A., Higashino H., Murano K (2003) Emission Inventory of Air Pollutants in East Asia, ASAAQ2003 Tukuba
- 5) Kondou Y., Mu H., Tonooka Y., Sakamoto K. (2003) Emissions of NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> in China Up to the Year of 2020, ASAAQ2003 Tukuba
- 6) Kondou Y., Murata A., Mu H., Sakamoto K., Tonooka Y. (2004) The Structured Energy Demand in Future Estimation Model for Some East Asian Countries, JIE (To be submitted)
- 7) 寧亞東, 外岡豊, 穆海林, 近康彦, 周? 生 (2004) 中国交通部門における輸送需要の推移及びエネルギー消費構造に関する研究, 日工誌 (投稿予定)