

# 多地域応用一般均衡モデルを用いた地域経済活動とそれがもたらす環境負荷の定量評価

- 中国を例にして -

Evaluation of Environmental Damages caused by Regional Economic Activities  
using Multi-regional Applied General Equilibrium Model : Case study to focus on China

02M43231 中島 一憲

指導教官 増井 利彦・日引 聡

## SYNOPSIS

The purposes of this study are (1) to construct the multi-regional economic model incorporating the module which quantifies environmental damages, water shortage, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, waste water, and waste residue, in China from 2000 to 2020, and consisting of the eastern, the central, and the western region, (2) to presume quantitatively environmental damages caused by the economic development and (3) to evaluate the economic activities and environmental damages in each region influenced by the capital transfer to the eastern region. The results of simulation analysis of this study are (1) capital transfer aiming at economic development changes the industrial structure of the whole country through changes of the industrial structure among regions, (2) by capital transfer, although it will lapse into a water shortage in the central region in 2013 and in the western region in 2014, even BaU case should result in a water shortage in the eastern region in 2010.

## 1. 研究の背景と目的

### 1.1 研究の背景と目的

本研究は、中国における経済発展と、それに伴う環境負荷の関係を定量的に捉え、西部への資本移転が各地域の経済活動と環境負荷に与える影響を評価することを目的とする。

中国では改革・開放政策以降、飛躍的な経済成長を続けており、1990年代には年平均9%以上の経済成長率を達成してきたが、それに伴い地域間の経済格差と環境問題が深刻化している。

この急速な経済成長によって、水需要の増加による水不足、エネルギー需要（化石燃料消費）の増加による大気汚染、産業排水による水質汚濁、産業・民生からの大量の廃棄物等の環境問題を引き起こしている。Chinese Ministry of Water Resources（2003）によると、世界人口の5分の1以上を占める中国では、年間一人あたりの水資源は約2300 m<sup>3</sup>であり、これは世界平均の4分の1でしかなく、深刻な水不足に陥っている。World Bank（1997）によると、水不足によって損失を被る工業生産額は毎年1200億元に達する。水不足は持続的な経済発展や資源利用を妨げる制約要因であり、中国は持続的な水資源の開発戦略を実行していかななくてはならない状況にある。一方、大気汚染は石炭中心のエネルギー構造と、技術が古くエネルギー効率が低いことが原因であり、健康被害や酸性雨を引き起こす。北京ではガンによる死亡が死因の第二位であるが、そのうち最大の割合を占めるのは、大気汚染に起因した肺がんである。さらに、中国は世界第2位のCO<sub>2</sub>排出国であり、1990年には世界全体の排出量の14%を占めている。中国の経済発展に伴うCO<sub>2</sub>排出量の増加は地球温暖化問題に大きな影響を与えるため、地球環境問題として世界の

焦点の1つでもある。

一方、中国の経済格差は、都市部と農村部における地域内格差と、内陸部と沿岸部における地域間格差の2つに大きく分類することができる。Heilig（2003）によると、1990年代に入り都市部と農村部の経済格差は縮小傾向にあるが、沿岸部と内陸部の経済格差は拡大傾向にあるという。地域間格差の縮小は今後の中国の経済発展を考えていく上で、避けては通れない課題となっており、中国政府は政治的・経済的安定の確保の必要から、「西部大開発」を国家プロジェクトとして進め始めた。中でも、水資源開発やエネルギー構造の調整の重要性が高まっている。

このように広大な国土をもつ中国では、地域によって産業構造や環境問題が大きく異なるため、地域間の経済活動が各地域の環境負荷と経済活動にどのような影響を及ぼすかということを検討する必要がある。

### 1.2 本研究の位置付け

中国を対象として、環境対策導入による環境負荷とマクロ経済への影響に関する研究や、経済格差を縮小させる政策導入による地域経済への影響に関する研究は数多く存在する。しかしながら、中国国内の地域を対象として、地域間の経済活動が各地域の環境負荷と経済活動へ与える影響を定量的に評価した研究はほとんどない。

本研究は、経済発展に伴い深刻化していく中国の環境問題に対して、国土の広さに起因する地域特性の違いを考慮し、地域間の経済活動による各地域の環境負荷と経済活動への影響を、環境負荷を組み込んだ応用一般均衡モデルと水需要モデルを用いて定量的に分析する。

## 2. モデル構造

本研究では、中国における経済発展と、それに伴う環境負荷を定量的に評価するために、環境負荷を定量化するモジュールを組み込んだ経済モデルの構築を行う。本研究で対象とする環境負荷は、水需要、CO<sub>2</sub> 排出量、SO<sub>2</sub> 排出量、産業廃水排出量、産業廃棄物発生量である。

経済モデルは逐次均衡型の多地域応用一般均衡モデルであり、2000 年中国多地域産業連関表を用いて構築される。一般均衡モデルでは、経済政策や環境政策の変更による各経済主体への波及効果や構造的変化を分析することができる。一方、環境負荷計量モジュールを通じて、前述の環境負荷を個別に推計する。

### 2.1 経済モデル

#### (a) 対象期間・地域

対象期間は 2000 年を基準年とし、1 年ごとに 2020 年までの 20 年間とする。また、この期間において、逐次均衡するように設定する。地域の統合は、多地域産業連関表(8 地域) から中国の三大区分に基づいて 3 地域に統合する。表 2.1 に地域統合について示す。

表 2.1 : 地域統合

モデルでの地域統合		含まれる省・市・自治区
EST	北部	北京、天津、河北、山東、上海、江蘇、浙江、広東、福建、海南
CTR	中部	遼寧、吉林、黒龍江、山西、安徽、江西、河南、湖北、湖南
WST	西部	内蒙古、陝西、甘肅、青海、寧夏、新疆、広西、重慶、四川、貴州、雲南、西藏

#### (b) 財・部門の統合

各地域の生産活動は、22 財・部門からなる。各部門は、多地域産業連関表の 30 部門を、本研究の目的に沿うように統合している。

#### (c) 生産部門

図 2.1 にモデルの全体構造を示す。各地域のすべての生産部門は、利潤最大化の下、資本、労働、エネルギー財、その他の中間財を投入要素として生産活動を行う。資本と労働の間の代替弾力性は 1 (コブダグラス関数) とし、その他の要素間の代替弾力性は 0 (レオンチェフ関数) と仮定する。なお、資本は地域、部門間を移転することはないと仮定し、労働は地域を越えて移動することはないが、部門間を移転することが可能であると仮定している。

各部門で生産された中間財・エネルギー財は、生産された地域により区別される。こうした区別は、財の需要に対して輸送コストがかかることを想定することで明示する。輸送コストと財の関係は、モデル構築において利用した産業連関表より推定している。ここで輸送コストは、生産のためにすべての地域から投入される「輸送サービス」にかかる費用を、生産のためにすべての地域からの投入財にかかる総費用で割ることにより推定している。

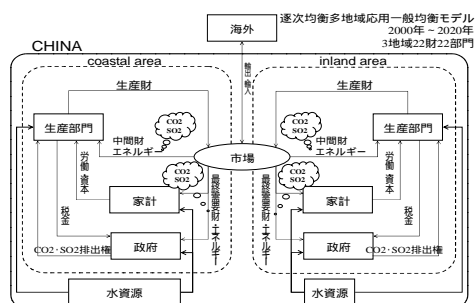


図 2.1 : モデルの全体構造

#### (d) 家計部門・政府部門

3 地域には、代表的家計と政府がそれぞれ存在する。家計は資本と労働を所有し、それを生産部門に供給することによって所得を得る。来期以降における生産活動に必要な投資を行い、所得から投資額を差し引いた残りの所得を最終消費として使用する。最終消費量は、コブダグラス関数で定義された需要関数で計算される効用を最大化するように選択される。一方、政府の収入源は、他の経済主体から税金を徴収し、政府最終消費を行う。政府最終消費も、コブダグラス関数により各財の消費量が計算される。

### 2.2 環境負荷

#### (a) 二酸化炭素・二酸化硫黄

CO<sub>2</sub> と SO<sub>2</sub> の排出量は、IEA (2000) のエネルギー・バランス表と産業連関表を用いて、1 元あたり kt-C 単位の係数を算出する。そして、この係数に各年の各経済主体の化石燃料燃焼額を掛けることにより、化石燃料を燃焼する際に排出する CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub> の排出量をそれぞれ計算する。また、生産部門においては、各部門に化石燃料の燃焼割合を用いて、燃焼による CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub> の排出量を計算する。

#### (b) 産業廃水・産業廃棄物

産業廃水と産業廃棄物の排出量については、各工業部門を対象とする。これら排出量と各部門の生産量は、比例関係にあると仮定する。つまり、産業廃水と産業廃棄物の排出量は、産業連関表で示された 2000 年の各工業生産額と、中国統計年鑑 (2001) による各工業部門からの産業廃水、産業廃棄物の排出量からそれぞれ原単位を算出し、これらの各年の工業生産額に掛けることにより計算する。

#### (c) 水需要

##### (i) 農業部門

農業部門の水需要量は、2000 年の農業生産額と農業部門での水需要から原単位を算出し、これを各年の農業生産額に掛けることにより計算する。

##### (ii) 工業部門

各工業部門の水需要量は、2000 年の工業生産額と工業部門での水需要から原単位を算出し、これを各年の工業生産額に掛けることにより計算する。ここでは、2000 年を基準として、将来も工業生産物 1 単位作るために必要な水の利用量は変化しないと仮定している。

原単位を算出する際、各工業部門の水需要量が必要であるが、利用可能なデータの制約から、各部門で使用される水需要量と廃水排出量はほぼ同程度と仮定し、工業部門全体の水需要量を各部門の廃水排出量のシェアで割ることによって、各部門の水需要原単位を算出している。

##### (iii) 家計部門

家計部門の水需要量は、人口と一人あたり GDP により決まると仮定する。これは、人口増加による水利用量の増加と、生活水準の上昇による 1 人あたりの水利用量の増加を考慮したものである。また、2020 年まで家計部門の水需要量は比例的に増加していくものと仮定する。ここでは、1960 年から 2000 年まで 5 年おきに、家計部門の水需要量を AQUASTAT から、人口と GDP を中国長期経済統計から推定している。その推定結果を以下に示す。なお、HOU は家計部門の水需要量 (km<sup>3</sup>)、POP は人口 (万人)、GDP は国内総生産 (2000 年価格万元) を表す。また、推定式において、括弧内は t 値を表し、係数の\*\*\*は 1% 有意水準を、\*は 10% 有意水準を表している。

$$HOU = -1.662 + (3.264 * 10^{-5})POP + (8.384 * 10^{-5})GDP / POP$$

$$(-3.823)^{***} \quad (6.559)^{***} \quad (1.968)^{*} \quad R^2 = 0.967$$

### 3. シミュレーション分析

#### 3.1 シナリオの設定

本研究のシミュレーション分析において、東部、中部から西部へ資本の移転が行われた際、地域間の環境負荷と経済発展にどのような影響を及ぼすかを評価するために、表 3.1 のシナリオを設定した。なお、シナリオにおける、各パラメータの設定は本節末の表 3.2 にまとめる。

表 3.1 : シナリオの設定

シナリオ	表記	シナリオの説明
BAUシナリオ	BAU	基準となるシナリオで資本移転は行われない
西部への投資シナリオ	H	東部、中部の総資本の0.1%が西部へ移転
投資+SO2基準達成シナリオ	HS	二酸化硫黄排出規制の下で、0.1%の資本移転が行われる

#### (a) BAUシナリオ

本研究において、基準となるシナリオで、中国が現在の状態で経済発展が続くものと想定している。このシナリオでは、地域を越えた投資は行われないと仮定している。

#### (b) 西部への投資シナリオ

投資シナリオは、中国の西部大開発を想定したものである。西部大開発は中央主導で進められる内陸発展のための一大プロジェクトであり、政府による投資政策が中心であるが、本研究では民間投資による西部支援策を想定している。投資シナリオでは、西部に対して東部、中部の投資のうち 0.1%を次期の資本ストックに投資として行うことによって資本蓄積を図るとしている。西部大開発ではインフラ整備を中心とした 1000 億元以上のプロジェクトが西部の様々な地域で行われているが、本研究では民間投資を想定しているため、西部全体に約 100 億元から 200 億元の投資を目安に 0.1%を設定している。なお、2011 年から 2020 年までは 0.05%としている。

#### (c) 二酸化硫黄排出基準達成シナリオ

SO2 排出基準達成シナリオでは、SO2 排出基準の下、資本移転が行われた場合の各地域の経済や環境負荷への影響を評価する。2000 年までの政策目標では、硫酸化物の年間排出量を 2100 万~2300 万トンに抑えることである。本研究では、SO2 の排出基準を 2000 万トンと設定しており、各地域の上限は 2000 年の排出実績の割合で設定している。なお、中国統計年鑑(2001)より、2000 年の中国の SO2 排出量は 1149 万トンである。

表 3.2 : シナリオにおけるパラメータの設定

パラメータ	前提
人口	国連人口予測の中位出生シナリオにおいて14億3000万人
労働人口	国連人口予測の中位出生シナリオより2020年において9億9000万人
GDP	中国に適用されたAIM/Enduseでの値。2000-2010 : 7.5%、2011-2020 : 6.5%
効率改善	1885年以降におけるわが国のGDP、人口、一次エネルギー供給の推移から年を説明変数とする式を推定し、中国各地域の現状に合致する過去の日本の年代を重ね合わせることで算出

#### 3.2 シナリオによるシミュレーション分析の結果と考察

##### (a) 総生産の変化

中国全体では、2014 年頃まで年平均 8%の経済成長が続くが、SO2 排出基準達成シナリオがある場合、2020 年には BaU と比べて総生産額は約 9%減少する。

各地域のシナリオによる影響は、投資シナリオでは、東部で 0.3%、中部では 0.8%減少する。一方、西部では東部、中部からの投資によって 2.5%増加する。しかしながら、SO2 排出基準達成シナリオでは、全ての地域で減少する。

これは SO2 排出基準によって、エネルギー財の価格が上昇したことが原因であると考えられる。

#### (b) 物流の変化

2020 年における各地域での BaU から投資シナリオへの比較による物流の変化を図 3.1 から図 3.4 に示す。

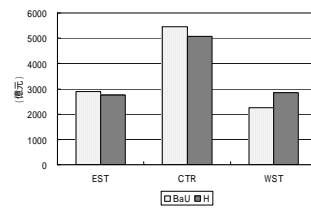


図 3.1 : 各地域の石炭生産額

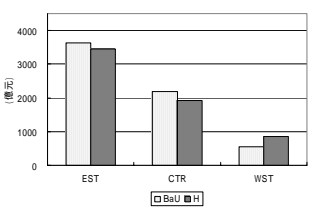


図 3.2 : 東部の石炭消費額

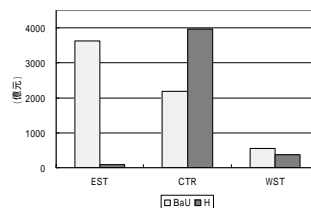


図 3.3 : 中部の石炭消費額

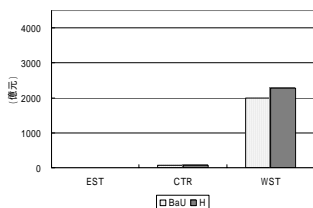


図 3.4 : 西部の石炭消費額

2020 年において、最も消費量の増減が顕著に見られるのは中部であり、消費の 57%は東部で生産されたものであるが、投資シナリオでは東部で生産された石炭の消費はわずか 2%まで減少し、中部で生産された石炭の消費は 90%まで増加している。東部では、東部、中部で生産された石炭の消費が減少する一方で、西部で生産された石炭の消費が 54%増加している。西部では、投資シナリオにおいても、その消費は 97%を占めている。

各地域の石炭生産量を見ると、中部と東部がそれぞれ 7%、5%減少している。一方、西部は 25%増加、中国全体でも 0.44%増加している。これは、西部のような発展段階の遅い地域へ、より効率の良い技術が移転されることにより、低い生産費用でより多くの財が生産できるようになっていると考えられる。また、生産費用の低い地域へ資本が移転することにより、国全体の産業構造が変化していると考えられる。

#### (c) 物価水準の変化

2020 年の物価水準は 2000 年と比較すると、BaU では各地域で約 2.8 倍の物価上昇であるのに対して、投資シナリオでは、東部で 4.45 倍、中部で 4.58 倍、西部で 4.80 倍となっており、20 年間で物価水準は 4 倍から 5 倍近くまで上昇する。これに対して、SO2 排出基準達成シナリオでは、投資シナリオより物価上昇が抑えられているが、同様に、20 年間で 4 倍から 5 倍近く上昇する。このような物価上昇は、資本移転による産業構造の変化が西部だけでなく、他の地域へも波及効果をもたらしているからと考えられる。

#### (d) 水の変化

図 3.5 から図 3.8 では、各地域での水資源供給量に占める需要量の割合を示しており、100%を超えると物理的な水不足を表す。

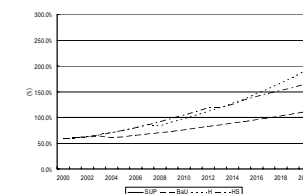


図 3.5 : 中国全体の水需給

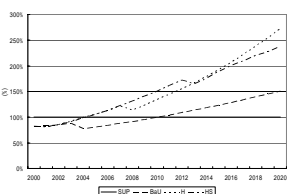


図 3.6 : 東部の水需給

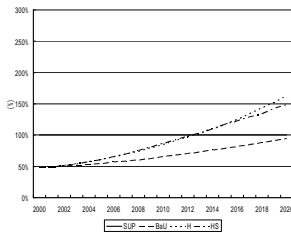


図 3.7：中部の水需給

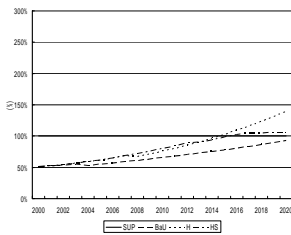


図 3.8：西部の水需給

中国全体では、このままの経済発展を続けると 2018 年に水の需要量が供給量を上回り、物理的な水不足の状態に陥る。さらに、西部支援のための投資を行うことにより、水資源への逼迫度は早まり、2011 年に水不足に陥る。また、SO<sub>2</sub> 排出基準達成シナリオでは 2010 年に水不足の状態に陥る。東部においては、2000 年の段階で、すでに水資源への逼迫度が 80% を超えており、BaU においても、2010 年に供給量を上回る。東部での水不足は投資シナリオにおいて、最大 273% にまで上る。一方、中部、西部においては、BaU で 2015 年までには水不足に陥ることは確認できない。しかしながら、西部への投資を行うことにより経済発展が促され、水資源への逼迫度は急速に高まる。中部ではどちらのシナリオにおいても 2013 年に、また西部では投資シナリオにおいて 2014 年に供給量を上回る。

(e) 二酸化硫黄排出量の変化

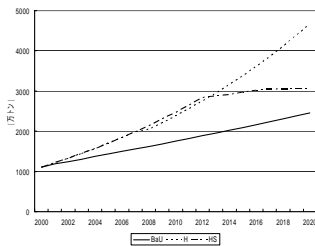


図 3.9：中国の SO<sub>2</sub> 排出総量

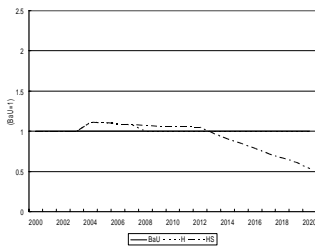


図 3.10：東部の SO<sub>2</sub> 排出

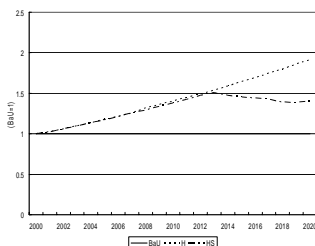


図 3.11：中部の SO<sub>2</sub> 排出

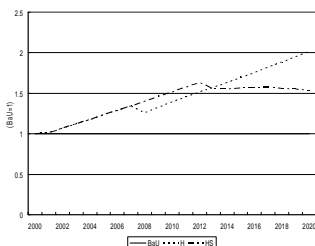


図 3.12：西部の SO<sub>2</sub> 排出

中国全体での SO<sub>2</sub> の排出量を見ると、投資シナリオでは 2020 年に 90% 増加となるが、SO<sub>2</sub> 排出基準達成シナリオでは、2013 年から排出基準を守るために化石燃料消費に削減コストが生じ始め、25% 増加となる。(図 3.9) 地域別に見ると、東部では 46% 削減されるが、中部では 41%、西部では 54% 増加する。これは SO<sub>2</sub> 排出基準によるエネルギー多消費型部門のエネルギー消費の減少が、それらの部門が生産する財の価格を SO<sub>2</sub> 削減のためのコストが上回っていることが原因であると考えられる。(図 3.10-図 3.12)

(f) 二酸化炭素排出量の変化

CO<sub>2</sub> 排出量は、中国全体では、BaU で 2000 年の 2.2 倍、投資シナリオで 4.2 倍、SO<sub>2</sub> 基準達成シナリオで 2.8 倍の増加となる。

4. 結論と今後の課題

4.1 結論

本研究でのシミュレーション分析により、以下のことが明らかになった。

- ・ SO<sub>2</sub> 排出基準達成シナリオでは、エネルギー財価格の上昇により、エネルギー多消費型部門での生産を減少させ、地域、国全体の生産を減少させる。また、投資シナリオと比べて、化石燃料消費が減少することにより、SO<sub>2</sub> だけでなく、CO<sub>2</sub> 排出量も削減される。

- ・ 発展段階の遅い地域へ、より効率の良い資本を移転することにより、その地域だけでなく、国全体の生産量を増加させる。石炭部門では、東部、中部の生産が 7%、5% 減少しているのに対し、西部での生産は 25%、中国全体では 0.44% 増加する。このような資本移転は、地域間の産業構造の変化を通じて、国全体の産業構造をも変化させる。しかしながら、急速な経済成長により、20 年間で 4~5 倍の物価上昇を引き起こす。

- ・ 資本移転による水資源への時間的な影響は、国全体では遅くても、各地域では大きな差があり、資本移転を行うことにより、水資源への逼迫度はより一層早まる。東部では BaU においても 2010 年には水不足に陥るが、中部、西部は資本移転によって 2013 年、2014 年にそれぞれ水不足に陥る。

以上のことから、西部の経済発展を目的とした資本の移転が、西部だけでなく他の地域の経済活動や環境負荷に影響を及ぼすことが分かった。特に、水資源においては、西部への資本移転を行うことにより、水資源への逼迫度が高い地域ほど、経済活動による影響は大きく、早急な水資源対策が必要であると言える。このように国全体では平均化されてしまう各地域の個々の環境問題に対して、環境負荷を定量化するモジュールを組み込んだ地域を分割したモデルの利用は有効であると言える。

4.2 今後の課題

今回の分析では、環境負荷による経済活動へのフィードバックを考慮していないため、環境負荷の増大が直接経済活動に影響を及ぼすことはなかった。しかしながら、水資源のように経済成長の制約要因となり得る自然資源への影響を評価するためには、経済活動に自然資源を考慮したモデルの構築が必要であり、これによって、環境対策が地域間の経済活動や環境負荷にどのような影響を及ぼすのかを定量的に評価することが今後の課題である。

参考文献

- [1] Chinese Ministry of Water Resource(2003). Country Report of the People's Republic of China. World Water Council.
- [2] Heilig, G. K. (2003). "China's Rural Development: Problems, Analytic Tools and Strategies". 22<sup>nd</sup> seminar of Rural Environmental Engineering Lecture Series. University of Tokyo, October 20, 2003.
- [3] IEA(2000). Energy Balance Table: China.
- [4] JETRO(2003). Multi-regional Input Output Model for China 2000. I.D.E. Statistical Data Series No.86.
- [5] World Bank(1997). Clear Water, Blue Skies: China's Environment in the New Century.