

# 気候変動による水資源の変化が中国の社会経済活動に与える影響の評価

Assessment of impacts of water resources change due to global warming on economic activities in China

## 公共システムプログラム

07M43293 張曉曦 指導教員 増井利彦

Public Policy Design Program

Xiaoxi Zhang, Adviser Toshihiko Masui

## ABSTRACT

In this study, it is assessed the climate change impacts of water resources up to 2050 on the economic activities in China, with a preparation of water account matrix. For this purpose, an integrated model is developed to link the global model, agriculture productivity model, water resources model and China model. From the simulation results, runoff changes will be quite different in each region with a range of  $\pm 40\%$ , while precipitations will change in  $\pm 20\%$ . Under the influence of water resources change, GRP in most areas of China will have remarkable fluctuations, and the total GDP of China is estimated to change in a range of  $\pm 3\%$ . Serious water shortages in north China will be occurred even there is no change on water resources supply compared with 2000. However, if some countermeasures (south-to-north water diversion project and replacement of runoff with precipitation) are introduced, the water shortages in north China will be relieved to a great extent, and total GDP of China will be mitigated by 1-2% compared to the level under the climate change.

## 1. 研究の背景と目的

### 1.1 研究の背景と目的

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第四次報告書では、20世紀には大気や海洋の世界平均温度の上昇、雪氷の広範囲にわたる融解、世界平均水位の上昇が観測されていることから、気候システムの温暖化は疑う余地がないと結論付けている。今後、地球温暖化の進行によって、様々な分野に影響が出始めると予測されている。特に、水資源分野においては21世紀半ばまでに、年間河川流量の高緯度と中緯度地域の顕著な増加と減少、強雨の頻度や洪水リスクの増加などの影響が予測されている。このような気温と降水量の変化により、農業生産、工業生産及び人々の生活に必要な水資源量を供給することが保証できなくなる恐れがあり、社会経済活動に大きな影響をもたらす可能性がある。このことから、温暖化による水資源の変動が社会経済にもたらす影響とその対策を評価することは温暖化の適応策を検討する上でも重要である。また、水資源の逼迫の特徴は、水資源の偏在などにより、流域など特定の地域、限定された地域で発生することが懸念されている。このため、世界全域、もしくは国全体をとらえて分析する場合には、注意が必要となる。

本研究は気候変動への適応力が相対的に弱い途上国として中国を取り上げ、①現時点での水資源の動きを把握するために水勘定表を作成し、②2050年までの気候変動による水資源への影響を地域レベルで推計するための統合モデルを開発し、③水資源への影響とそれが社会経済に及ぼす影響及び対策の緩和効果を

を地域レベルで定量的に評価することを目的とする。

### 1.2 既存研究と本研究の位置づけ

水資源を経済モデルに組み込んで社会経済への影響を評価する研究としては、小野塚（2006）があげられる。この研究はタイを対象に水勘定表を作成し、これを応用一般均衡モデルに組み入れることによって、水のフローと経済活動の動きを詳細に分析し、タイ国内における水需給の逼迫の可能性と、対策の効果を分析した。ただし、この研究では、温暖化による水資源量の変動は考慮されていない。また、気候変動による社会経済への影響を評価する研究としては、中国の各地域における農業分野に注目した野口（2008）があげられる。この研究は中国を8地域に分け、将来の気候変動より生じる降水と気温の変化が農業生産性の変化を引き起こし、農業影響について直接的影響と間接的影響が推計されている。そこで、本研究は野口（2008）の分析手法をもとに、水資源量に着目し、農業のみならず、工業部門や生活部門も踏まえ、温暖化による水賦存量の変動が社会経済活動に及ぼす影響を総合的に評価する。

水勘定表に関する既存研究は、統計値によるデータベースの側面が強く、そのためデータの制限が少ない先進国を対象としたものがほとんどである。その代表としては、EUROSTAT（2002）があげられる。本研究ではデータの制限を考慮したうえで、作成した水勘定表は、EUROSTAT（2002）の手法を参考に表の形式を簡潔化し、主要な用水のフローを把握することを目

的としている。

## 2.水勘定表の作成

中国における水資源の変動を評価する上で、農業、工業、生活各部門間の水のフロー全体を把握するために、水勘定表を作成する。中国を対象に勘定表から表される水フローは図2-1のようになる。

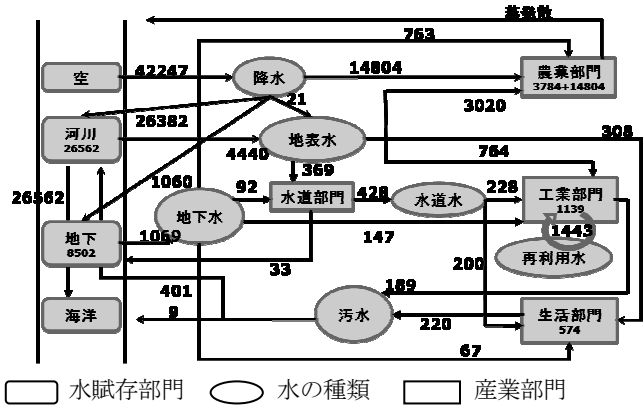


図2-1 中国全体の水フローイメージ図

本研究では計上する水を供給する部門は主に空、河川、地下の三部門を想定し、利用可能な水の種類は上記の各部門からもたらされる降水、地表水、地下水の三種類以外に、水道水、再利用水がある。また利用された水から汚水が発生し、河川または海洋に流入する。産業部門は大きく農業、工業、生活の三部門に分けた上で、次章のモデルに合わせて22部門に分割した。図の通り、工業は主に地表水と地下水に依存する一方で、農業は降水への依存度が高い。本表で使用するデータは、「中国環境年鑑」、「中国環境統計年報」、「水資源公報」であり、様々な想定のもとで、中国全体及び8地域の2000年水勘定表を作成した。

中国における水利用の特徴は、2000年全国水供給総量（地表水と地下水の合計量）のうち、地表水が80.3%、地下水が19.7%をそれぞれ占める。流域を超える調水は141億m<sup>3</sup>である。全国水需要量の中、農業用水、工業用水、生活用水それぞれ68.9%、20.7%、10.4%を占める。

地域別には、北部の地域には水資源が乏しく、地下水の利用比率が高い。逆に南部の地域は地表水だけで十分である。また、東部の地域は工業が発達し、工業用水の比率は26.3%である一方、西部の地域は工業の発展が相対的に遅れており、工業用水は11.7%しか占めない。

## 3.モデル

### 3.1 研究の枠組み

本研究では、野口（2008）の手法を参考に、世界モデル、農業生産性モデル、中国応用一般均衡モデル以外に水モデルを取り込み、四つの部分によって構成される（図3-1）。また、中国モデルでは、前章で作成した水勘定表を含めて水需給を評価できるようになっている。

世界モデルは経済活動と温室効果ガスの排出を評価できる経済モジュールと気候モジュールから構成され、その出力結果の

輸出入価格と輸出上限が直接中国モデルにおいて利用される。また、全球平均気温の変化が農業モデルに代入され、穀物生産性の変化が計算され、中国モデルにおいて農業生産性のフィードバックの推計に利用される。このほか全球河川流路網モデルTRIP及び陸水収支のバケツモデルからなる水モデルの計算結果を利用し、将来水資源量の変化が中国モデルに反映される。研究対象期間は2000年-2050年である。

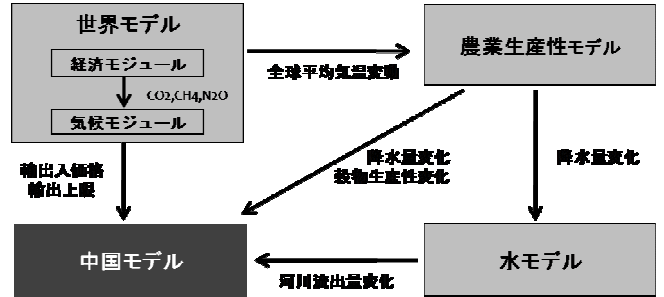


図3-1 モデルの枠組み

### 3.2 中国応用一般均衡モデル

本モデルの基準年は2000年であり、経済データはIDE(2003)の中国多地域産業連関表を参照して、8地域21部門のIO表を作成した。モデルの構造は、生産部門、最終消費部門、国内移出入部門、海外貿易部門の4つに大きく分けられる。

地域区分及び部門の定義を表3-1と表3-2に示す。

表3-1 地域区分

| 地域名  | コード | 含まれる行政区             |
|------|-----|---------------------|
| 北東地域 | NET | 黒竜江、吉林、遼寧           |
| 北部都市 | NMP | 北京、天津               |
| 北部沿岸 | NCT | 河北、山東               |
| 中部沿岸 | CCT | 江蘇、上海、浙江            |
| 南部沿岸 | SCT | 福建、広東、海南            |
| 中部内陸 | CTL | 山西、河南、安徽、湖北、湖南、江西   |
| 北西地域 | NWT | 内モンゴ、陝西、寧夏、甘肅、青海、新疆 |
| 南西地域 | SWT | 四川、重慶、雲南、貴州、広西、西蔵   |

表3-2 部門分類

| 部門名称    | コード | 部門名称 | コード |
|---------|-----|------|-----|
| 稲       | PDR | 食料品  | FOD |
| 小麦      | WHT | 繊維   | TEX |
| とうもろこし  | MZE | 石油製品 | P_C |
| その他農業   | OAG | 機械   | MCH |
| 畜産      | LVS | 電力   | ELY |
| 林業      | FRS | ガス供給 | GDT |
| 漁業      | FSH | 水道   | WTR |
| 石炭      | COA | 建設   | CNS |
| 原油・天然ガス | OIL | 輸送   | TRP |
| 鉱物      | MIN | サービス | SVC |

生産部門には中間財、資本、労働、土地、資源以外に、水を投入する。モデルでは取り扱う水は経済財として取引される水道水と、現時点では価格を伴わずに取引される水道水以外の水

に分離する。各部門で消費される水については、水源ごとに生産額あたりの水需要量を固定することとし、将来様々な対策を導入する際にその原単位が変化すると仮定する。生産される財は、自地域向け、他地域向け、輸出に分けて供給される。生産関数では野口（2008）と同様に代替弾力性の値は GTAP6 データベースなどを参照に設定している。

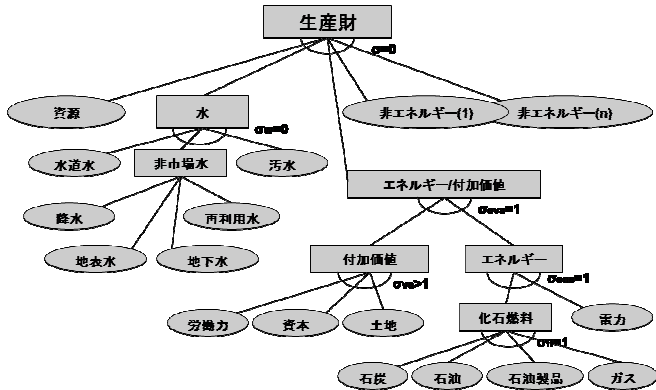


図 3-2 生産構造

最終消費部門は、政府と家計を一括して想定しており、生産要素の供給と税による収入から純輸出及び来期分の投資を差し引いたものが最終消費となる。消費財の一つとして水を想定し、生産活動と同じように、消費に対する水需要量を設定している。また、所得の向上に従って需要する財・サービスのシェアの変化は野口（2008）と同様に 108 カ国についての需要の所得弾力性を一人当たり GDP で回帰し、所得水準とそれに対応する需要の所得弾力性を求め、弾力値自体も所得の向上とともに変化するものとした。

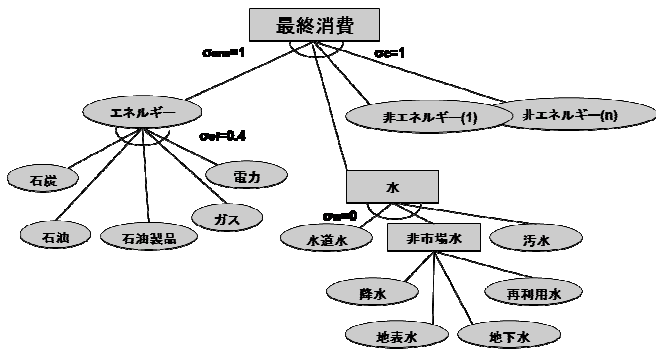


図 3-3 消費構造

海外との経済的な関係を表現するため、輸出入を行う仮想的な部門として海外の貿易部門が想定されている。なお、輸出入価格は世界モデルの計算結果から外生的に与える。同一財について、自地域財、他地域財と輸入財の間に GTAP データベースを参考して代替弾力性が設定されている。化石燃料のみ、供給源によらず同質としている。また、輸出入価格と輸出上限が世界モデルの出力結果を利用する。

### 3.3 世界モデル

世界モデルには、経済活動と温室効果ガス排出を評価する経済モジュールと全球平均気温変動を評価する気候モジュールの 2 つで構成される。経済モジュールは世界を 25 地域に分割した逐次均衡型応用一般均衡モデルであり、これによって計算され

た CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O の排出量は気候モジュールで利用される。経済モジュールにおける経済活動は大きく生産部門、最終消費部門と海外貿易部門の 3 つに分けられ、その構造は基本的には中国モデルと同じである。気候モジュールは経済モジュールで扱えるガスの種類と乖離が少ない MERGE モデルの気候サブモデルを採用している。

### 3.4 農業モデル

農業モデルは、パターンスケリング手法を利用して世界モデルで計算された全球平均気温変動に対応する各地域の平均気温及び降水量変動を計算し、そして、各地域の平均気温及び降水量変動に対応する穀物生産性（単位面積当たりの収穫量）変動を計算する。この穀物生産性の逆数である単位生産あたりに必要な土地面積の変化を生産関数における土地の投入係数として与えることにより、経済活動にフィードバックする。

### 3.5 水モデル

水資源の変動に関する予測は、現在まだ不確実性が高いものであるが、本研究では IPCC AR4 で採択されている予測結果を利用する。データの時間解像度と研究全体の統一性を考慮した上で、HadCM3 による降水量と河川流出量（即ち、本研究での地表水）の関係を推計し、農業モデルで予測した降水量をもとに、河川流出量を計算する。

## 4. シミュレーション分析

### 4.1 シナリオ概要

| シナリオ名称        | シナリオ概要                                     |
|---------------|--|
| S1. Reference | 水資源が変動しないと仮定する                             |
| S2. 影響        | 気候変動による水資源の変動及び穀物生産性の変化を考慮し、経済活動へフィードバックする |
| S3. 調水 (CM)   | 国家発展計画に基づき、南部の水を北部に調達する                    |
| S4. 降水代替 (CM) | 毎年降水量の 1% が追加で地表水として利用される                  |

### 4.2 水モデルの予測結果

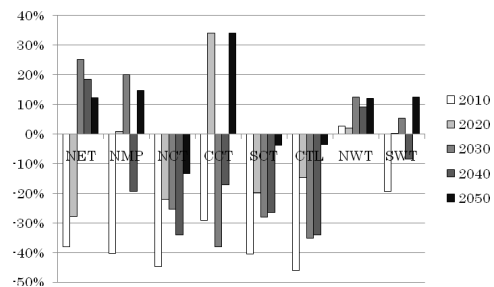


図 4-1 2000 年に対する河川流出量の変化率

図 4-1 に 2050 年まで 10 年ごとの河川流出量の 2000 年に対する変化率を示す。河川流出量は降水量と気温の変動の影響を受けるので、その変動傾向はほぼ降水量と同じであるが、降水量の変動幅が約 ±20% 以内にあるのに対し、河川流出量の変動幅がその倍の程度である。NCT、SCT と CTL 地域ではほぼ全期間に渡って減少の傾向が見られる。また、NET、NMP と CCT

での水量変動が相対的に激しい。

### 4.3 中国モデルの予測結果

#### ● 水需要量

経済発展に伴い、農業、工業生産の主要水源である地表水の需要量が大幅に上昇する。このため、水資源が乏しい北部の地域（NET、NMP、NCT）と中部沿岸（CCT）では、2010年以降地表水利用量の上限に達し、現状の水効率改善では、深刻な水不足が起こる可能性が高い。なお、中国全体の地表水需要は2000年の4460億m<sup>3</sup>から最大2040年の10786億m<sup>3</sup>まで増加する。

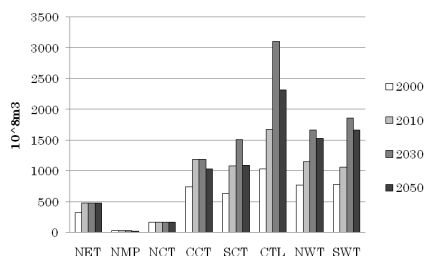


図 4-2 Reference シナリオでの地表水需要量の推計

#### ● GRP の変化

2020年まで水賦存量は経済活動が必要とする水準に満たすことができ、気候変動による水資源の変動が経済に与える影響は小さいが、2030年以降は地域によってGRPに5-10%程度の影響が出る。中国全体のGDPはReferenceシナリオと比較して2040年まで1-2%減少し、2050年は約3%増加するという結果となった。

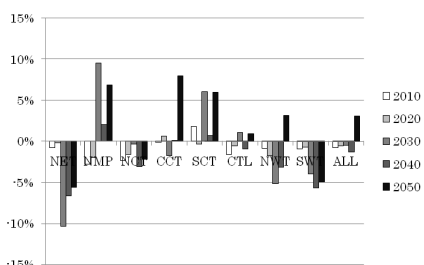


図 4-3 水資源の変動による GRP の変化

また、部門別では、農業部門において生産額の顕著な低下が見られる。工業部門では、採掘、エネルギー集約、電力供給及び水供給のような用水原単位が高い部門ほど、水資源の変動による影響が顕著である。

#### ● 対策シナリオの効果

「南水北調」は中国近年の水利建設における大きなプロジェクトであり、長江流域の水を3線路に分け、適切な量を黄河流域に調達する工程である。2020年から4段階分けて調水が実行される場合、図4-4のように北部都市（NMP）の水不足が大幅に改善され、影響シナリオに対してNMPにおけるGRPはプロジェクトの実施期間内に10%程度増加が見込まれる。その水源を提供する中部内陸（CTL）などの地域では、2-3%程度の悪影響が表れるが、中国全体としてGDPは1-2%上昇する。

また、降水の1%を追加で地表水として利用することにより、

工業が相対的に発達している沿岸地域（NMP、CCT、SCT）はGDPのロスを回復させる結果となった。工業の発展が相対的に遅れる内陸部（CTL、NWT、SWT）では農作物の国内純移出の減少によってGRPも減少の傾向が読み取れる。

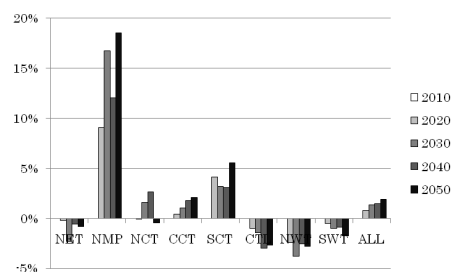


図 4-4 南水北調による GRP の変化率（対 S2）

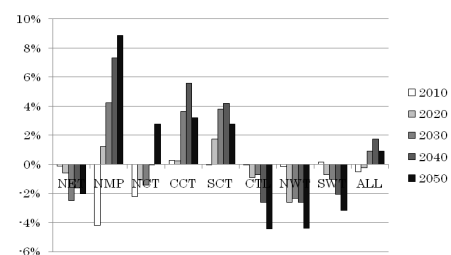


図 4-5 降水の代替利用による GRP の変化率（対 S2）

## 5 結論

以下の主な結論が導かれた。

- ◆ Referenceシナリオでは、2020年以降北部の地域は水資源の賦存量は経済活動に必要なレベルを下回り、深刻な水不足を起こる可能性が高い。
- ◆ 気候変動による水資源の変動は地域経済に大きな影響を与え、中国全体のGDPはReferenceシナリオと比較して1-3%程度の増減が予測されている。
- ◆ 調水また降水の代替利用が行われる場合、水供給量が增大する北部の地域では深刻な水不足は緩和され、GRPが増加し、中国全体も1-2%程度のGDP増加が見込まれる。

### 主な参考文献

- ・IPCC FOURTH ASSESSMENT REPORT:CLIMATE CHANGE 2007
- ・中国国家统计局, 中国統計年鑑 <http://www.stats.gov.cn/>
- ・IDE(2003)MULTI-REGIONAL INPUT-OUTPUT MODEL FOR CHINA 2000, Institute of Developing Economics, JETRO
- ・小野塚智大(2006).タイを対象とした水勘定表の作成とそれを利用した水需給シナリオの評価.東京工業大学工学部社会工学科卒業論文
- ・野口綾也(2008).中国における気候変動に起因する農業生産性変化の地域経済への影響評価.東京工業大学大学院社会理工学研究科社会工学専攻修士論文
- ・European Communities(2002).Water Accounts—Results of pilots studies, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2002
- ・Hanasaki, N., S. Kanae, T. Oki, K. Masuda, K. Motoya, N. Shirakawa, Y. Shen, and K. Tanaka (2008). An integrated model for the assessment of global water resources – Part 1: Model description and input meteorological forcing, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 12, 1007-1025, 2008.