

平成 27 年度 修士論文

中国浙江省の電源構成シナリオと環境・経済の  
両立の可能性

東京大学大学院 新領域創成科学研究科  
環境システム学専攻

47-146674 邵 沁夫

指導教員 吉田 好邦 教授

2016 年 1 月 29 日提出



# 目 次

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| 目 次 .....                            | i         |
| 図表 目次 .....                          | iv        |
| <b>第 1 章 序論 .....</b>                | <b>1</b>  |
| 1.1 背景 .....                         | 1         |
| 1.2 先行研究 .....                       | 2         |
| 1.2.1 多地域電源計画モデルに関する研究 .....         | 2         |
| 1.2.2 応用一般均衡モデルを用いた環境政策の研究 .....     | 2         |
| 1.3 研究の目的 .....                      | 3         |
| 1.4 研究の構成 .....                      | 4         |
| <b>第 2 章 中国の経済・環境・電力事情 .....</b>     | <b>5</b>  |
| 2.1 中国のマクロ経済・環境問題 .....              | 5         |
| 2.2 中国の電力事情 .....                    | 10        |
| 2.3 浙江省の概要 .....                     | 12        |
| <b>第 3 章 浙江省における電源計画モデルの開発 .....</b> | <b>15</b> |
| 3.1 多地域電源計画モデルとは .....               | 15        |
| 3.1.1 モデルの適用性と特徴 .....               | 15        |
| 3.1.2 モデル開発の手順 .....                 | 16        |
| 3.2 独立変数の設定 .....                    | 17        |
| 3.2.1 地域 .....                       | 17        |
| 3.2.2 送電線 .....                      | 17        |
| 3.2.3 電源 .....                       | 17        |
| 3.2.4 時間 .....                       | 17        |
| 3.2.5 パターン .....                     | 17        |
| 3.3 電力需要と供給の定量化 .....                | 18        |
| 3.3.1 需要パターンの再現と定式化 .....            | 18        |

|                                      |                           |           |
|--------------------------------------|---------------------------|-----------|
| 3.3.2                                | 電力供給の設定 .....             | 19        |
| 3.3.3                                | 隣省から送電の定式化 .....          | 25        |
| 3.4                                  | 制約条件 .....                | 26        |
| 3.4.1                                | パラメータと変数 .....            | 26        |
| 3.4.2                                | 設備に関する制約 .....            | 28        |
| 3.4.3                                | 地理に関する制約 .....            | 29        |
| 3.4.4                                | 経済・政治に関する制約 .....         | 29        |
| 3.4.5                                | 需給均衡制約と目的関数 .....         | 30        |
| 3.5                                  | シミュレーション結果 .....          | 32        |
| 3.5.1                                | 設備容量の推移 .....             | 32        |
| 3.5.2                                | 1日発電量の推移 .....            | 33        |
| 3.5.3                                | 隣省からの送電量 .....            | 35        |
| 3.5.4                                | CO <sub>2</sub> 排出量 ..... | 36        |
| 3.6                                  | まとめ .....                 | 38        |
| <b>第4章 浙江省における応用一般均衡モデルの開発 .....</b> |                           | <b>39</b> |
| 4.1                                  | 応用一般均衡分析とは .....          | 39        |
| 4.1.1                                | 歴史と特徴 .....               | 39        |
| 4.1.2                                | 計算アルゴリズム .....            | 40        |
| 4.1.3                                | モデル開発の手順 .....            | 42        |
| 4.2                                  | 産業連関表の修正 .....            | 44        |
| 4.3                                  | 関数とパラメータの決定 .....         | 48        |
| 4.3.1                                | 生産関数 .....                | 48        |
| 4.3.2                                | 効用関数 .....                | 49        |
| 4.3.3                                | 輸出入関数 .....               | 50        |
| 4.3.4                                | その他のパラメータの推定 .....        | 52        |
| 4.4                                  | 均衡状態の達成 .....             | 54        |
| <b>第5章 環境政策・電源構成による経済への影響 .....</b>  |                           | <b>55</b> |

|            |                        |           |
|------------|------------------------|-----------|
| 5.1        | シナリオの設定.....           | 55        |
| 5.2        | 分析結果.....              | 57        |
| 5.2.1      | 環境税による経済への影響.....      | 57        |
| 5.2.2      | 電源構成の転換による経済への影響.....  | 60        |
| 5.2.3      | 環境税と電源構成による経済への影響..... | 63        |
| <b>第6章</b> | <b>結論.....</b>         | <b>66</b> |
| 6.1        | 結論.....                | 66        |
| 6.2        | 今後の課題.....             | 68        |
|            | 参考文献.....              | 69        |
|            | 謝辞.....                | 71        |
|            | 付録.....                | 72        |

## 図表 目次

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 図 2-1  | 中国の実質 GDP 成長率の推移 .....                           | 5  |
| 図 2-2  | 第 2 次産業と第 3 次産業の実質成長率 .....                      | 6  |
| 図 2-3  | 上海株価・人民元ドルレート・1 年基準利金の推移 .....                   | 7  |
| 図 2-4  | 一人あたり GDP とエネルギー関連の CO <sub>2</sub> 排出量の遷移 ..... | 8  |
| 図 2-5  | 中国における華東電網の電力取引形態の現状 .....                       | 10 |
| 図 2-6  | 近年の浙江省の経済成長率 .....                               | 13 |
| 図 2-7  | 浙江省における産業の構造 .....                               | 13 |
| 図 3-1  | 多地域電源計画モデルの構成 .....                              | 15 |
| 図 3-2  | 浙江省における 7 つの日負荷曲線 .....                          | 19 |
| 図 3-3  | 隣省からの送電ネットワーク .....                              | 25 |
| 図 3-4  | 本研究の制約条件 .....                                   | 26 |
| 図 3-5  | ケース 1 設備容量の推移 .....                              | 32 |
| 図 3-6  | ケース 2 とケース 3 設備容量の推移 .....                       | 33 |
| 図 3-7  | ケース 1 の 1 期と 4 期の夏季平日における 1 日の発電量推移 .....        | 34 |
| 図 3-8  | ケース 2 の第 1 期と第 4 期の夏季平日における 1 日の発電量推移 .....      | 34 |
| 図 3-9  | ケース 3 の第 1 期と第 4 期の夏季平日における 1 日の発電量推移 .....      | 35 |
| 図 3-10 | ケース 1 の第 1 期のパターン別の隣省からの年間の送電量 .....             | 35 |
| 図 3-11 | ケース 1 の第 4 期のパターン別の隣省からの年間の送電量 .....             | 36 |
| 図 3-12 | 各期に電源種類別の発電量の割合 .....                            | 37 |
| 図 4-1  | 1 家計 1 産業 1 生産要素の経済モデル .....                     | 39 |
| 図 4-2  | 2 財経済におけるスカーフ・アルゴリズム .....                       | 41 |
| 図 4-3  | AGE 日本モデルの基本構造 .....                             | 42 |
| 図 4-4  | AGE 日本モデルにおける均衡計算のフローチャート .....                  | 43 |
| 図 5-1  | 研究全体の構造 .....                                    | 55 |
| 図 5-2  | 各シナリオの構造 .....                                   | 55 |
| 図 5-3  | 主な部門の価格変化率 .....                                 | 58 |
| 図 5-4  | CO <sub>2</sub> 排出量の減少率 (%) .....                | 59 |
| 図 5-5  | 主要部門の CO <sub>2</sub> 排出量の変化 (%) .....           | 62 |

|        |                                       |    |
|--------|---------------------------------------|----|
| 図 5-6  | 各シナリオの CO <sub>2</sub> 削減量            | 65 |
| 表 1-1  | 近年の多地域電源計画モデルを用いた研究                   | 2  |
| 表 2-1  | 中国主要都市の 2015 年 12 月平均空気質指数 (AQI)      | 9  |
| 表 2-2  | 近年中国における電源別の総発電設備容量 (GW)              | 11 |
| 表 2-3  | 浙江省の概要                                | 12 |
| 表 2-4  | 2010 年主要部門の輸出入額 (億元)                  | 14 |
| 表 2-5  | 2010 - 2013 年浙江省における電源別の発電設備 (万 kW)   | 14 |
| 表 3-1  | 電力量需要パターン別の日数 (日)                     | 17 |
| 表 3-2  | 浙江省における期別の年間電力需要の設定値 (GWh/年)          | 18 |
| 表 3-3  | 時期別燃料の価格 (万元/GWh)                     | 19 |
| 表 3-4  | 発電種類別の性能パラメータ                         | 20 |
| 表 3-5  | 既設発電所の設備容量 (GW)                       | 21 |
| 表 3-6  | 発電所の新規設備容量 (GW)                       | 22 |
| 表 3-7  | 発電所の廃棄スケジュール (GW)                     | 23 |
| 表 3-8  | パターン別の太陽光発電 1 日の出力データ (年間の総供給を 1 とする) | 24 |
| 表 3-9  | 各ケースの説明                               | 32 |
| 表 3-10 | 各ケースの年間 CO <sub>2</sub> 排出量 (億トン)     | 36 |
| 表 4-1  | 産業別のスケール調整                            | 45 |
| 表 4-2  | 輸出入における輸入税 (億元)                       | 46 |
| 表 4-3  | 産業連関表の調整による各要素の税率                     | 47 |
| 表 4-4  | 生産関数によるパラメータ                          | 49 |
| 表 4-5  | 効用関数に関するパラメータ                         | 50 |
| 表 4-6  | 電力部門における輸入の価格弾力性係数の推定結果               | 51 |
| 表 4-7  | 輸出入に関するパラメータ                          | 52 |
| 表 4-8  | 基準年の政府の収入・支出 (億元)                     | 52 |
| 表 4-9  | 基準年の政府と民間における消費・投資シェア (合計 1 とする)      | 53 |
| 表 4-10 | 基準年の家計に関する属性 (億元)                     | 53 |
| 表 5-1  | 各ケースの説明                               | 56 |
| 表 5-2  | 省内経済成長率の変化                            | 57 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 表 5-3  | 省内の消費・投資・輸出入額（億元） .....                     | 57 |
| 表 5-4  | 政府の税収（名目値：億元） .....                         | 58 |
| 表 5-5  | CO <sub>2</sub> 排出量（Mt-C） .....             | 59 |
| 表 5-6  | 省内経済成長率の変化.....                             | 60 |
| 表 5-7  | 省内の消費・投資・輸出入額（名目：億元） .....                  | 61 |
| 表 5-8  | 産業別財価格の変化 .....                             | 61 |
| 表 5-9  | 主要部門の CO <sub>2</sub> 排出量（Mt-C） .....       | 62 |
| 表 5-10 | 2 つモデルによる電力部門の CO <sub>2</sub> 排出量の比較 ..... | 62 |
| 表 5-11 | 各シナリオによる省内経済成長の変化 .....                     | 63 |
| 表 5-12 | 省内の消費・投資・輸出入額（億元） .....                     | 63 |
| 表 5-13 | 各シナリオにおける経済成長の変化（均衡崩壊時） .....               | 64 |
| 表 5-14 | 各シナリオの CO <sub>2</sub> 排出量.....             | 64 |



## 第1章 序論

### 1.1 背景

改革開放以来、中国経済は平均 9%以上の高度成長を続けている。多くの国民はこの経済成長の恩恵を受けて良い暮らしをしている。しかし、投資鈍化、消費低迷、人件費高騰などの要因で、2015年の実質 GDP 成長率は 7%以下で 26 年ぶりの低水準と見込まれる。中国の GDP に占める総資本形成（設備投資、公共投資、住宅投資など）の割合は 5 割に達しており、世界の中で突出して高い<sup>①</sup>。膨大な投資を長年続けてきた結果、生産能力の過剰、投資効率の低下などの問題が生じている。また、賃金・家賃の高騰で国際競争力を失いつつある中国は 2015 年 1 月-11 月輸出入の総額が 2014 年同期比 7.8%減の 3 兆 5655 億ドル（約 432 兆 2135 億円）であった<sup>②</sup>。中国経済は投資主導高度成長モデルがすでに限界に達し、今後の中低速成長モデルでの痛みを伴う経済改革が必要だと考えられている。

一方、高度経済成長に伴い、エネルギー需要も年々増え続けている。石炭に依存しているエネルギー構造は、環境への負担も深刻になっている。2007 年時点で中国は、アメリカを抜いて世界最大のエネルギー消費国及び CO<sub>2</sub> 排出国となった。2015 年 11 月の中米首脳会談で、中国国家主席・習近平は「2030 年ごろをピークに CO<sub>2</sub> 排出を減少させ、非化石燃料の発電比率を 20%にする」と言明した。しかし、過去に過度な開発による環境被害は中国各地で数多く現れている。微小粒子状物質 PM<sub>2.5</sub> などによる汚染で、2015 年 12 月 7 日に中国の首都・北京市は大気汚染に対する最高レベルの「赤色警報」が初めて発令され、8 日朝から緊急対策が実施された。学校が休校となり、屋外の工事現場も停止した。しかも、11 日後北京市の PM<sub>2.5</sub> の濃度は 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  を超え、「赤色警報」が再び発令された。

中国政府は、これらの問題を認識し、経済成長を維持するために全面的な経済改革の決意を表明した。経済構造は、政府が主導している投資から国内の消費へという転換が望まれる。国内消費を喚起するため、中国財政省は 2015 年 12 月、複数の消費財の輸入関税を来年から引き下げるという声明を発表した。また、中小企業、新型企業を支援する減税やゼロ金利制度などの政策は各地方政府で続々と出てきている。

環境問題を巡る中国政府は財政支援だけではなく、様々な環境対策に取り組んでいる。中国の再生可能エネルギーの投資額は、2013 年から 2 年連続で世界トップになっている<sup>③</sup>。2014 年末再生可能エネルギー発電設備の導入量は 4 億 kW を突破し、世界一になっている。第 13 次五カ年計画（2016 年-2020 年）では、2020 年の GDP あたりのエネルギー消費量を 2015 年より 15%以上削減する目標を出している。また、おおよそ 15 年前から検討している環境税（主に大気汚染・水質汚染・廃棄物・騒音）は 2013 年 12 月に国务院へ提出されている。

しかし、巨大な財力と人力を投入しているものの、短期では顕著的な効果が出てきていない。さらに、経済減速の背景の下で同時に環境への重視が必要かという議論も出てきている。経済発展と環境保全の両立は大きな課題となっている。

## 1.2 先行研究

石炭燃焼に伴う大気汚染に対して、最適的な電源計画を検討することは1つの解決方法だと考えられる。一方、応用一般均衡分析は経済分野で国・地域と国・地域の貿易、新たな税制の導入などの政策的な変動による各部門の変化が定量的に分析できる。本節では、研究に関する2つモデルの先行研究を簡単に紹介する。

### 1.2.1 多地域電源計画モデルに関する研究

多地域最適電源計画モデルは、電力部門による中長期的なCO<sub>2</sub>削減の分析のため、芦名ら<sup>[4]</sup>から開発されたモデルである。畑<sup>[5]</sup>は、日本を対象にして多地域電源計画モデルを用いて太陽光発電のLFC（Load Frequency Control）の制約条件を入れ、原発縮小・拡大などの様々なケースをシミュレーションした。杉浦<sup>[6]</sup>は、中国全体を対象にして多地域電源計画モデルを用いて、異なる送電損失でケースを分類して各地域における再生可能エネルギーの最適導入量を算出した。また、2011年3月の東日本大震災以降、多地域電源計画モデルを用いて原子力に変わる再生可能エネルギー導入量のポテンシャル<sup>[7][8]</sup>も多く研究されている。それらの研究は、以下の表1-1でまとめられる。

表 1-1 近年の多地域電源計画モデルを用いた研究

| 開発者               | 年度   | 対象 | 特徴                           |
|-------------------|------|----|------------------------------|
| 芦名 <sup>[4]</sup> | 2007 | 日本 | CO <sub>2</sub> 削減量を制約条件にした。 |
| 畑 <sup>[5]</sup>  | 2011 | 日本 | 太陽光発電のLFCを制約条件にした。           |
| 杉浦 <sup>[6]</sup> | 2012 | 中国 | 送電損失を変数にした。                  |
| 白木 <sup>[7]</sup> | 2012 | 日本 | 従来発電と新型発電を分けて評価した。           |
| 大村 <sup>[8]</sup> | 2014 | 日本 | 再生可能エネルギーの導入ポテンシャルを分析した。     |

### 1.2.2 応用一般均衡モデルを用いた環境政策の研究

応用一般均衡分析は、環境政策による経済への影響の評価に多く使われている。モデルの計算のメカニズムを見ると、静態モデルと動態モデルの二種類がある。解析の目的を見ると、主に環境政策による経済効果（GDP・輸出入・消費）とCO<sub>2</sub>削減の感度の分析である。それに関する研究は主に2つの種類がある。QIAO<sup>[9]</sup>らは、応用一般均衡モデルを用いて中国国内の税の使用用途にわけていくつかの炭素税の税率を設定し、税率による経済効果とCO<sub>2</sub>排出量を定量的に評価した。一方、環境政策による厚生変化の研究も多い。鶴田<sup>[10]</sup>は1995年の日本の産業連関表を用いて基準年（1990年度）に対して6%のCO<sub>2</sub>排出量を削減という制約条件を設定した。厚生変化に関する民間消費は、6億3000万円減少という結果を得た。また、増井<sup>[11]</sup>らも応用一般均衡モデルを用いて、環境負荷を削減するという環境制約が経済活動に及ぼす影響と、こうした環境制約を緩和させる政策の効果を定量的に評価した。

### 1.3 研究の目的

石炭火力発電が中心となっている中国の電源構成は、環境への負担がますます増加している。電源構成の転換、再生可能エネルギーの導入、電力の改革（発電・送電・配電会社の分離）などの対策は、現時点の中国にとって必要不可欠である。本研究では、以上のことを認識して、期間内で中国浙江省の最適電源構成を予測して環境税導入による電源構成への影響を評価することを目的としている。一方、環境と経済の両立に着目し、環境税の導入と電源構成の転換による経済への影響も定量的に評価することを目指す。

中国では、電源計画モデルによる最適な電源構成予測の研究が多くない。日本及び海外の研究は、中国におけるデータを取得できないことで代替データを使用するため、結果の信頼性が高くない。また、様々な気候・生活習慣のある中国に対して、全般的な評価はできるが、地域別の差異などの内生問題が見にくい。本研究では、出来る限り現地のデータを使用し、パターンによる電力需要を再現し、現実合うように多くの制約条件をモデルに入れる。

環境政策による経済への影響に関する研究は、政策の変化が外生変数として通常シミュレーションされる。しかし、電源構成の転換による経済への影響を環境税の導入と比較し、これらを同時に評価する研究はまだない。本研究では、電源計画モデルから得られる最適電源構成が経済成長に良い影響を与える可能性を検証する。

#### **1.4 研究の構成**

本研究の論文は以下の内容により構成されている。

まず、第1章で本研究の背景と目的を述べる。

第2章では研究の意味を強化するため、背景の部分を追加して中国のマクロ経済・環境問題・電力事情について著者の視点から議論する。また、浙江省の概要を述べる。

第3章と第4章では、浙江省における電源計画モデルと浙江省における応用一般均衡モデルの構築について説明し、シミュレーション結果を示す。

第5章では、本研究の中心となっている。第3章と第4章の結果を利用して各シナリオが総合的に比較される。

最後に、第6章で全体を結論付け、課題を展望する。

## 第2章 中国の経済・環境・電力事情

本章では、改革開放以降の中国の経済発展の経緯を整理し、現時点における経済問題・環境問題を列挙し、それらにおける中長期の発展経路を展望する。また、電力改革を巡る中国の電力事情を、政策の動向に沿って述べる。最後に、本研究で対象にしている中国浙江省の概要を紹介する。

### 2.1 中国のマクロ経済・環境問題

国際通貨基金<sup>[12]</sup>は、2015年中国の実質 GDP 成長率は 6.81% で 15 年ぶりにインドを超えると予測している。図 2-1 は、1980 年以降の中国の実質 GDP 成長率の推移である。

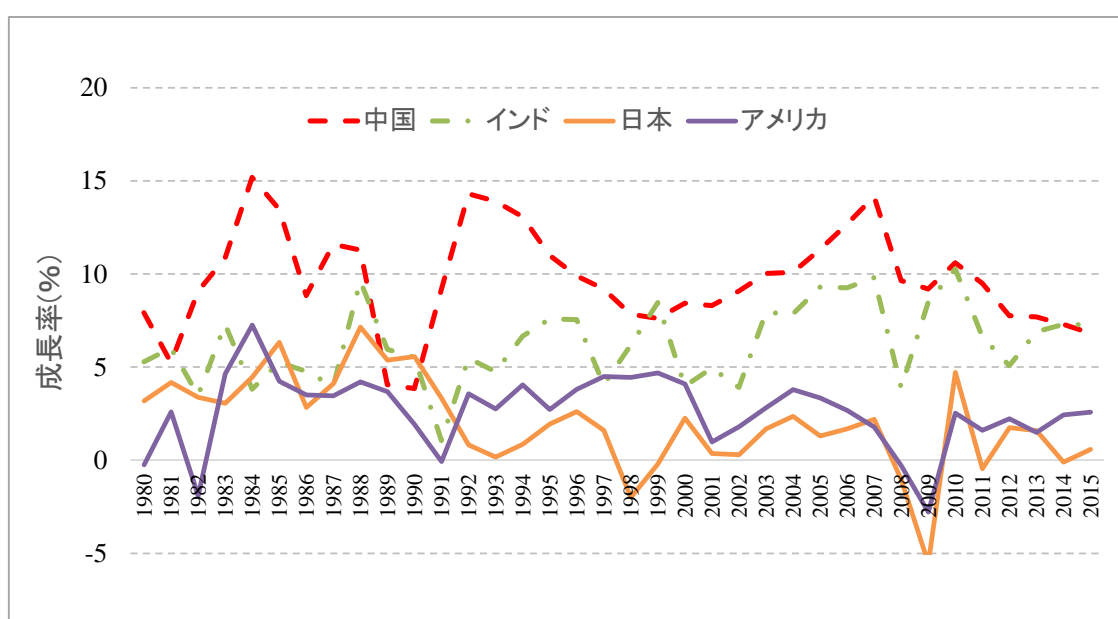


図 2-1 中国の実質 GDP 成長率の推移

中国では、改革開放政策による経済成長が長年にわたって高率で増加している。この高度成長の理由は内的な原因と外的な原因が考えられる。内的には、中国政府は 70 年代末から経済発展を中心に全面的な改革を行っている。社会主義の中国は計画経済から市場経済を導入し、発展の観念が「共有裕福」から「一部の人が先に裕福になる」へ変化した。こうした背景の下、政府が主導している投資・輸出は急速に増加している。一方、人口ボーナス、安い人件費の要因で海外からの投資にも注目が集まっている。外的には、世界で相対的には安定した環境であることから、中国自国は急速な経済発展が可能になる。この 2 つの理由により中国の実質 GDP 成長率は図 2-1 に示すように高い水準を維持している。そのなかでは、天安門事件 (1989)、アジア通貨危機 (1997)、リーマン・ショック (2008) の影響より、一部の年度の成長率が大幅に落ち込んだものの、経済構造の変化はなかった。

しかし、投資鈍化、人件費高騰、生産性低下などの原因で中国経済は投資・輸出主導高

度成長モデルがすでに限界に達している。2015年の初め、沿岸諸省で固定資産投資が25%以上を占めている不動産投資が過熱し、過剰な城鎮住宅（農村地に応じる都市住宅）の在庫が20%を超えている。不動産価格の下落に伴い、不動産に関する産業は大きく影響を受けている。この影響は2014年7-9月期からの第2次産業と第3次産業の実質成長率に見られる。これを図2-2に示す。また、「世界工場」と言われる中国は、生産コストが安いというメリットを失いつつあり、外資企業は続々中国から撤退し始めている。一方、消費観念と自国製品への不信感で、海外での爆買により自国の消費は低迷している。中国国家统计局が2016年1月9日発表した2015年の消費者物価指数(CPI)上昇率は前年比で1.4%と、政府目標の3.0%を大きく下回った。

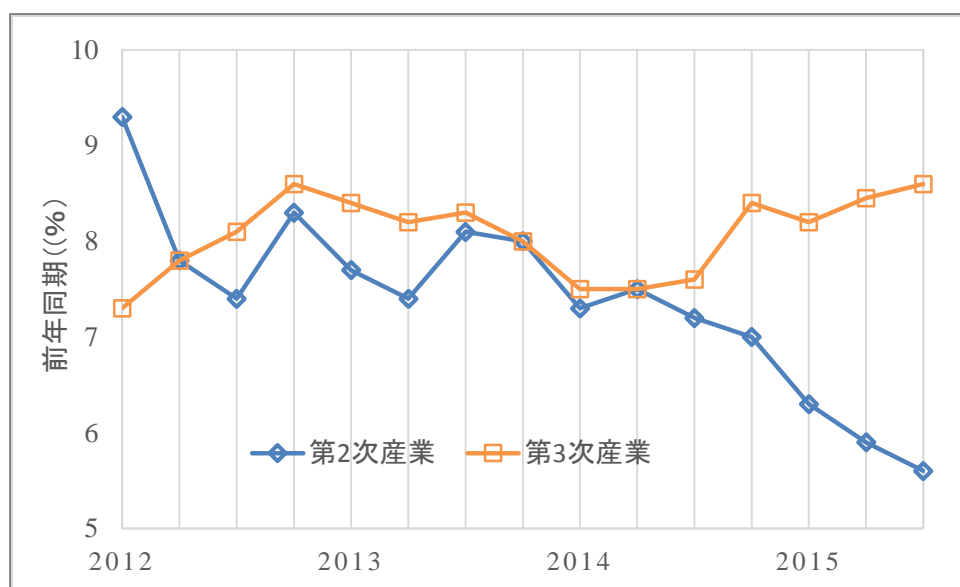


図 2-2 第2次産業と第3次産業の実質成長率

中国政府は、実体経済の成長を促すため、アジアインフラ投資銀行(AIIB)のようなインフラ投資資金を世界中からかき集め、自国の通貨発行を最小に抑えて元の価値を安定させつつ、国内のインフラ投資(高速道路、鉄道建設、再生可能エネルギー)を勧め、沿岸部の経済発展を内陸部まで広げ、内需拡大による経済発展を目指すものとみられる。また、国内の消費と投資を活性化するため、2015年10月に中国人民銀行は、景気支援に向け政策利金と銀行預金準備率を引き下げ、1年以内に6度の利下げに踏み切った<sup>[13]</sup>。

しかし、単純に外部のみの支援よりも、問題として根本的な解決が難しい。実体経済の失速によって多くの個人投資家たちは、株式投資を行っている。政府側も、株式市場から実体経済を活性化するという点からサポートしている。しかし、現実を逸脱した投資は、長期的な効果が維持できず、崩壊の可能性が高い。中国上海証券取引所のA株は、2015年6月から2015年末まで、株式時価総額の5分の2を失った。2016年1月から導入した

「サーキットブレーカー」制度は、安定的な市場変動を維持するため、株価が一定以上の変動を起こした場合に、強制的に取引を止めるなどの措置をとる。だが、単純に資本市場の制度を使用した結果、「サーキットブレーカー」導入からわずか4日間で二回7%の幅で下落し、取引が停止となった。1月8日に中国証券監督管理委員会は、緊急対策を実施し、誕生から4日間の「サーキットブレーカー」制度を停止した。一方、2016年1月に中国人民銀行は元の対ドル基準値（中間値）CNY=SAECを6.6元近く、2011年8月以来の元安水準に設定した。中国経済景気減速の懸念が高まった。図2-3<sup>[14]</sup>は、2014年7月からの上海株価、人民元・ドルレート、1年基準利金の推移である。

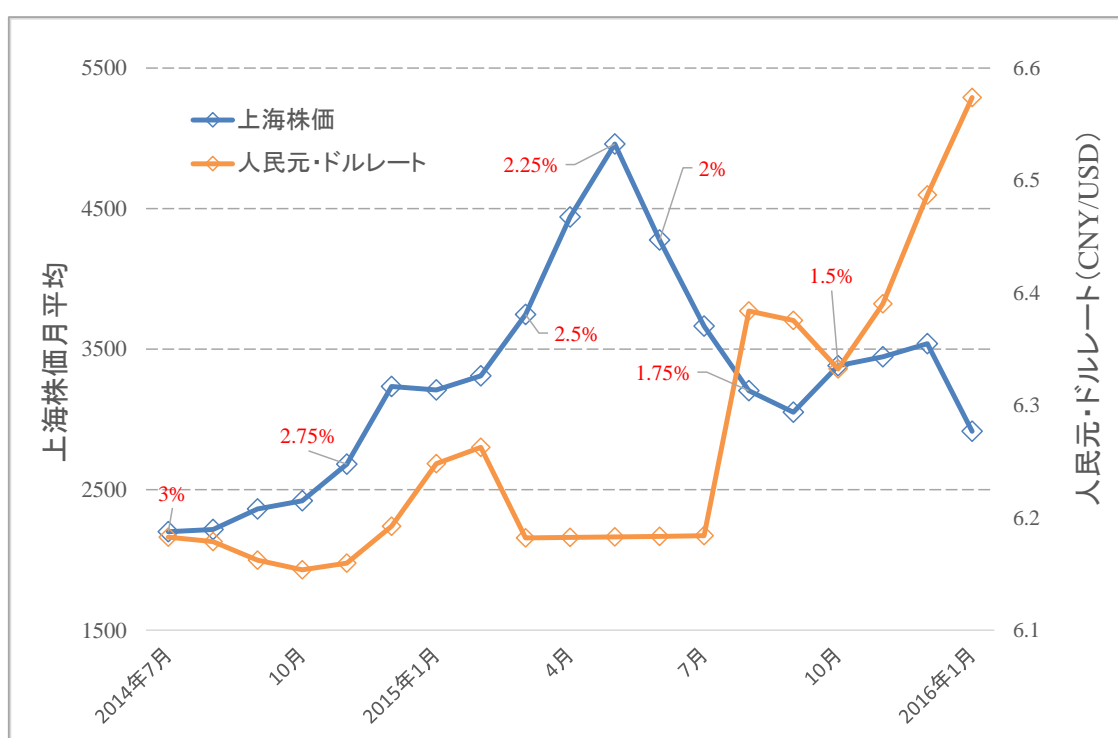


図 2-3 上海株価・人民元ドルレート・1年基準利金の推移

世界主要先進国の発展経緯を見ると、中国経済は高度成長からの減速が必然である。ただし、この減速に伴う社会課題・環境問題の解決は最も重要だと考えられる。経済の減速による失業率・犯罪率の増加、社会保障の不足などの問題は、現時点で考えなければならない。一方、過去には過度な開発による環境問題が中国各地で続々現れている。PM2.5を中心とした大気汚染、河川や湖など地表水ならびに中国北部などの水不足を補っている地下水の汚染、沿岸部で深刻化している海洋汚染、大量の未処理廃棄物、地下炭鉱火災、土壌汚染、世界最大の排出量でありながら増加に歯止めのかからない温室効果ガスなど、多くの課題がほとんど手付かずのままである<sup>[15]</sup>。

中国では、現在世界最大のエネルギー起源 CO<sub>2</sub> 排出国であり、2013年には100億トン

を超えた<sup>[16]</sup>。図 2-4 は、国際エネルギー機関より中国における一人あたり GDP とエネルギー関連の CO<sub>2</sub> 排出量の遷移である。IEA エネルギーアウトルックによると、CO<sub>2</sub> 排出量は 2030 年ごろをピークになって CO<sub>2</sub> 排出を減少させると予測されている<sup>[17]</sup>。2030 年から CO<sub>2</sub> 排出量は減少が可能であることを前提条件としても、現時点から環境への負担も増加していく。

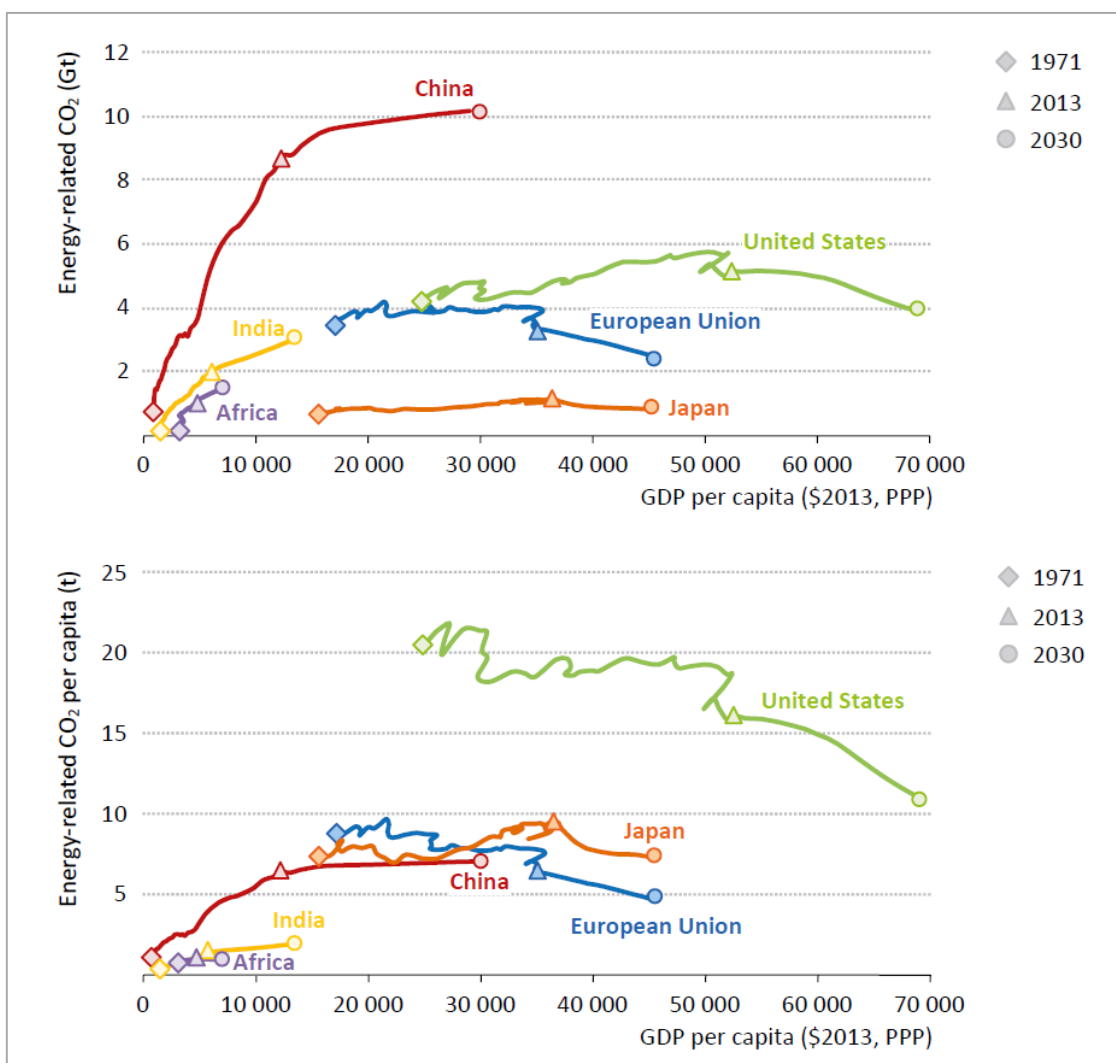


図 2-4 一人あたり GDP とエネルギー関連の CO<sub>2</sub> 排出量の遷移

微小粒子状物質 PM<sub>2.5</sub> による大気汚染は、最も深刻な環境問題のひとつとなっている。2015 年 12 月 7 日に中国の首都・北京市は大気汚染に対する最高レベルの「赤色警報」が初めて発令され、8 日朝から緊急対策が実施された。学校が休校となり、屋外の工事現場も停止した。しかも、11 日後北京市の PM<sub>2.5</sub> の濃度は 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  を超え、「赤色警報」を再び発令した。この問題は、日常生活の中の不便だけではなく、人々の健康に大きく影



響を及ぼす。2016年2月22日、王安順・北京市長は市人民体表大会の政府活動報告で今年、微小粒子状物質PM2.5の年間平均濃度を前年比5%低下させる目標を提示し、165億4000万元（約2960億円）を投入する。しかし、前年比6.2%低下という昨年の目標の達成率を見ると、今年目標の達成は厳しい。中国主要都市の2015年12月平均空気質指数<sup>[18]</sup>を、表2-1に示す。

表 2-1 中国主要都市の2015年12月平均空気質指数 (AQI)

| 地域    | 東北・華北地域 |     | 華東地域 |     | 中南地域 |     | 西北地域 |      |
|-------|---------|-----|------|-----|------|-----|------|------|
| 都市    | 北京      | 大連  | 上海   | 杭州  | 広州   | 鄭州  | 西安   | ウルムチ |
| 空気質指数 | 267     | 149 | 143  | 158 | 68   | 202 | 207  | 237  |

## 2.2 中国の電力事情

中国の電力事業は1949年の建国以来、長年にわたり国の直轄事業として行われていた。80年代に計画経済から市場経済へ転換される中、1997年に政治機能と企業機能が分離され、国家電力会社が設立された（業務開始は1998年）。そして、2002年には発電部門の競争促進、電力料金の引き下げ等を目的とした2回目の改革により、国家電力会社が解体されて、発電事業と送変配電事業が分離された<sup>[19]</sup>。最近では、発電事業者が送配電会社から徴収する料金と消費者が支払う電力料金を自由化する計画を策定している。2015年3月、中国国家発展改革委員会（発改委）は、広東省深セン市でモデル実施される送配電改革の第1期（2015年－2017年）における送配電企業の許可収入および送配電価格水準を正式に承認した。中国の電力取引形態の現状を、華東電網を例として図2-5に示す。

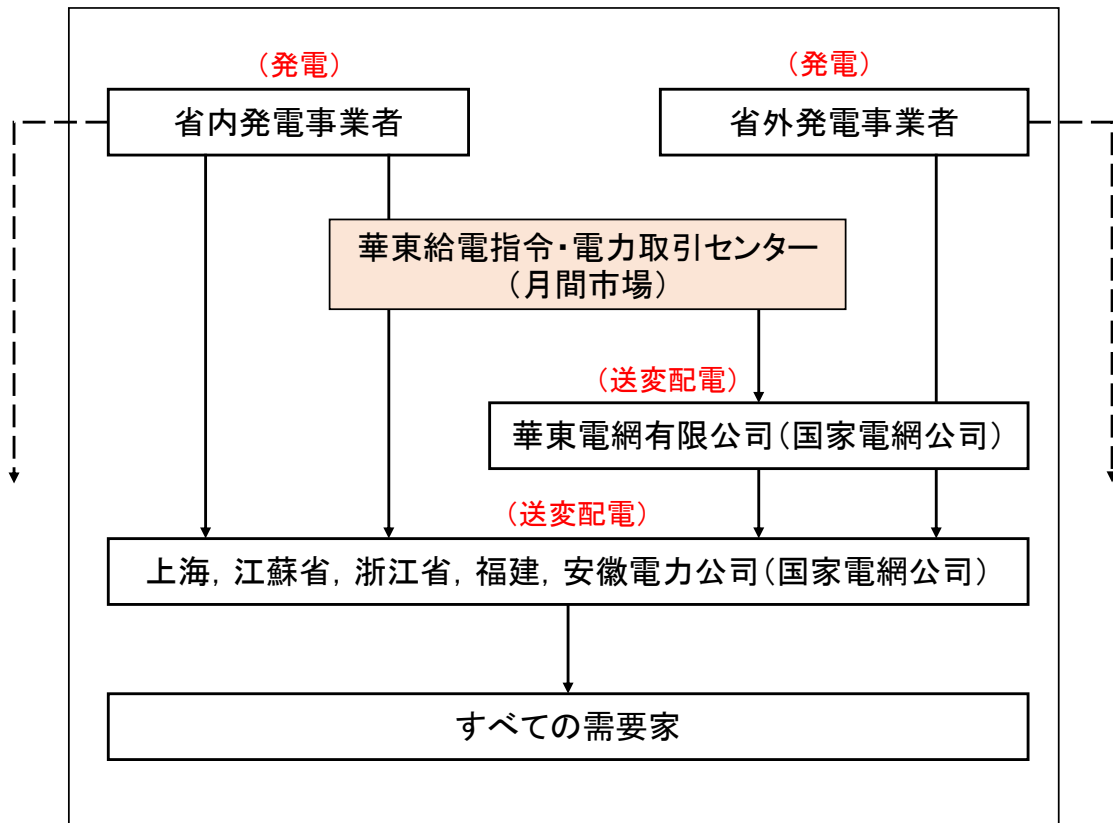


図 2-5 中国における華東電網の電力取引形態の現状

図2-5に示すように、中国の電力取引形態は、主に2段階がある。まず、発電会社による電力生産である。発電事業については、国家電力の会社が所有していた全国の発電設備容量の約半分の発電設備が5大発電会社（中国華能集团公司・中国大唐集团公司・中国華電集团公司・中国国電集团公司及び中国電力投資集团公司）に振り分けられた。5大発電会社以外に、エネルギー会社、国や省の投資会社、地方政府、外資・民間企業などが発電

所を所有している。次の送電・変電・配電については、国家の 2 社（国家电网公司与中国南方电网有限责任公司）が担当している。国家电网公司的組織は、5 つの区域电网公司（华北电网公司・東北电网公司・華東电网公司・華中电网公司・西北电网公司）→省電力会社→市供電（配電）公司→郷・鎮供電公司となっている<sup>[20]</sup>。

中国の電源構成は、長期にわたって石炭火力を中心に展開している。石油、天然ガスが乏しい中国として、埋蔵量が大きい石炭は長年高度成長に対して非常に貢献している。しかし、大量の石炭の消費とともに、環境への負担が深刻になっている。これをめぐって、各地方政府は効率が低い石炭ボイラーの廃止や大規模の効率の高い石炭ボイラーの増設などを推進している。一方、原子力の増設と再生可能エネルギーの導入も長期的な方針として急速に進んでいる。中国の再生可能エネルギーの投資額は、2013 年から連続 2 年世界トップになっている<sup>[9]</sup>。2014 年末再生可能エネルギー発電設備の導入量は 4 億 kW を突破し、世界一になっている。また、原子力発電は、日本福島第一原子力発電事故の影響で推進速度が計画より低下にし、2020 年の目標については、発電設備容量が当初予定の 70~80GW を大幅に下回る 58GW へ、2015 年までの新規着工規模が当初計画の 40GW の 40%に相当する 16GW へ下方修正された。ただし、既存原子力設備容量を見ると、かなり増加する。近年中国における電源別の総発電設備容量<sup>[21][22][23]</sup>を、表 2-2 に示す。

表 2-2 近年中国における電源別の総発電設備容量 (GW)

|       | 水力     | 火力     | 原子力   | 風力    | 太陽光   | その他  | 合計      |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|------|---------|
| 2010年 | 216.06 | 709.67 | 10.82 | 29.58 | 0     | 0.28 | 966.41  |
| 2011年 | 232.98 | 768.34 | 12.57 | 46.23 | 2.12  | 0.29 | 1062.53 |
| 2012年 | 249.47 | 819.68 | 12.57 | 61.42 | 3.41  | 0.21 | 1146.76 |
| 2013年 | 280.02 | 862.38 | 14.61 | 75.48 | 14.79 | 0.1  | 1247.38 |
| 2014年 | 301.87 | 909.67 | 20.08 | 96.2  | 22.96 | 0.9  | 1351.78 |

### 2.3 浙江省の概要

浙江省では、民営企業を中心に中国の沿岸諸省のなかでも最も先進的な省の一つである。2015年に中国の民営企業上位（営業利益）500社のなかで浙江省が占めている企業数は1位で連続18年トップになっている。省内の概要を、表2-3に示す。

表 2-3 浙江省の概要

| 人口<br>(万人)    | 面積<br>(平方km <sup>2</sup> ) | 省内GDP<br>(億元)   | 気候             | 省都 |
|---------------|----------------------------|-----------------|----------------|----|
| 5508<br>(10位) | 10.55<br>(25位)             | 42886.5<br>(4位) | 亜熱帯<br>モンスーン気候 | 杭州 |

浙江省の経済成長率は、2005年と2006年は12%台となり、2007年は14.5%を記録し、成長が加速した。リーマンショックの影響により2008年は10.1%、2009年は更に7.7%に転落し、中国全体の成長率を下回った。ただし、第三次産業をみると、外部による影響が小さく、2005年から8%以上の成長率を維持している。2015年の省内成長率は、8%を達成し、全国平均を1.1%上回った。GDPにおける産業構造としては、第二次産業、第三次産業と比較して第一次産業が全体に占める割合が低く、都市型の産業構造となっている。2014年の省内の産業構造は、第一次産業、第二次産業、第三次産業がそれぞれ46.1%、49.1%、4.8%を占めて中国全体の割合と類似している。上位の不動産、一般機械、金属製品産業は、省内の中心産業として営業利益がそれぞれ16.4%、9.2%、9.0%を占めている。近年浙江省の経済成長率<sup>[24]</sup>と浙江省における産業の構造<sup>[25]</sup>を、図2-6と図2-7に示す。

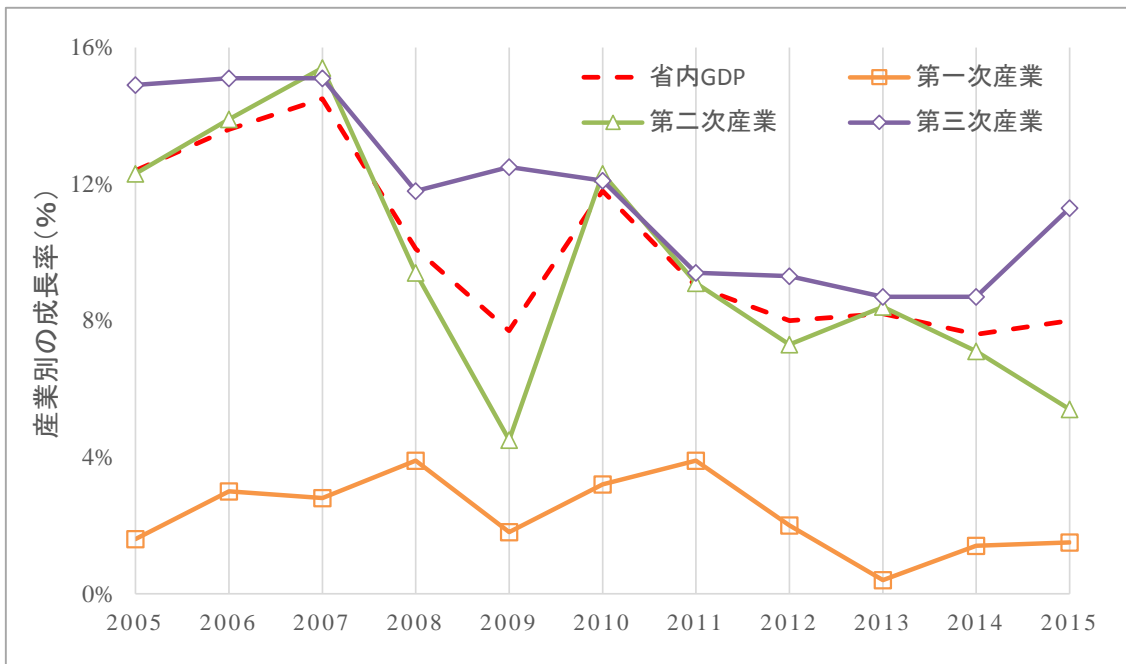


図 2-6 近年の浙江省の経済成長率

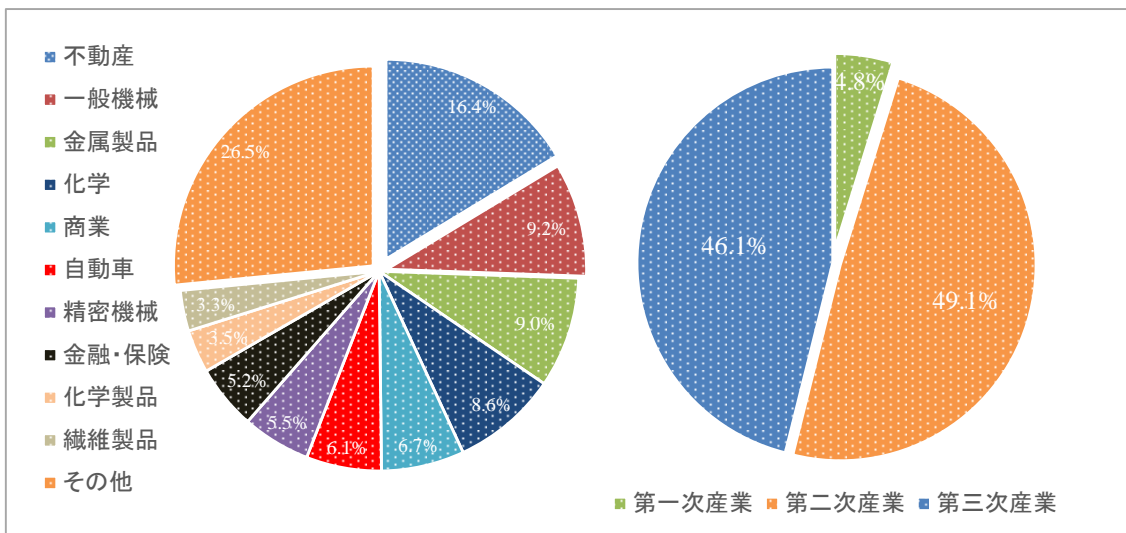


図 2-7 浙江省における産業の構造

エネルギー資源が乏しい浙江省では、石炭・石油・天然ガスがほぼ外省と海外から輸入されている。また、建設・加工によるセメント・金属鉱物など原材料も半分以上外省から輸入されている。一方、輸入の構造を見ると、繊維製品、一般機械、電気機械は圧倒的に大きいシェアを占めている。2010年主要部門の輸出入額<sup>[26]</sup>を、表 2-4 に示す。

表 2-4 2010年主要部門の輸出入額（億元）

|        | 石炭     | 石油・天然ガス | その他鉱業 | 繊維製品   | 一般機械   |
|--------|--------|---------|-------|--------|--------|
| 輸出（外省） | 0.0    | 35.5    | 2.0   | 3030.9 | 1364.4 |
| 輸出（海外） | 2.0    | 0.9     | 260.3 | 1908.7 | 927.7  |
| 輸入（外省） | 2.0    | 81.6    | 346.9 | 120.8  | 390.1  |
| 輸入（海外） | 1107.1 | 1203.4  | 116.0 | 1383.5 | 369.7  |

浙江省では、原子力発電、太陽光発電など、多様なエネルギー源から電力が供給されており、その電源構成は中国全体の割合と類似している。石炭火力の設備容量は、圧倒的に多く、全部のエネルギー源の7割以上を占めている。一方、環境を改善するため、再生可能エネルギーの導入量も年々増加している。2015年末までに、浙江省の太陽光発電の設備容量は30万kWを超え、大幅に増加した。また、2013年11月浙江省能源局副局長は、2030年まで浙江省の原子力設備が2890万kWに達成することを言明した。安価、安定、CO<sub>2</sub>排出量ゼロの原子力は、高く期待されている。

表 2-5 2010 - 2013年浙江省における電源別の発電設備（万kW）

|       | 水力   | 火力   | 原子力 | 風力   | 太陽光 | その他 | 合計   |
|-------|------|------|-----|------|-----|-----|------|
| 2010年 | 969  | 4360 | 367 | 25   |     | 0   | 5721 |
| 2011年 | 971  | 4626 | 433 | 32   |     | 1   | 6063 |
| 2012年 | 984  | 4705 | 433 | 40   | 1.2 | 0.8 | 6164 |
| 2013年 | 1007 | 4995 | 433 | 44.6 | 3.1 | 1.3 | 6484 |

### 第3章 浙江省における電源計画モデルの開発

本章では、浙江省における電源計画モデルの構築とそれを用いた試算の結果を述べる。浙江省における電源計画モデルは、既存モデルと比較して主に以下の特徴を持つ。

- (1) 浙江省に合う7つの需要パターンを定式化した。
- (2) 隣の省からの送電を定式化した。
- (3) 環境税のケースをシミュレーションした。

#### 3.1 多地域電源計画モデルとは

##### 3.1.1 モデルの適用性と特徴

多地域電源計画モデル<sup>4)</sup>では、複数年を対象にして、都道府県ごとの電力需要、発電方式の入力データ、電力会社別の電源構成、送電ネットワークなどに対する制約条件から、線形計画法によって発電コスト最小化となるような電源構成を求めるものである。

具体的には、図 3-1 に示すように丸マークをつける日本全国を 60 地域に分割し、それぞれに地域ごとの電力需要を代表する需要ノードを1つ、発電所を表す発電ノードを複数設ける。需要ノードは都道府県庁所在地に置き、発電ノードは実際の電源立地に合わせて設定する。また、隣接地域の需要ノードとの間には、実際の送電ネットワークに基づいて仮想的な送電線を設ける。

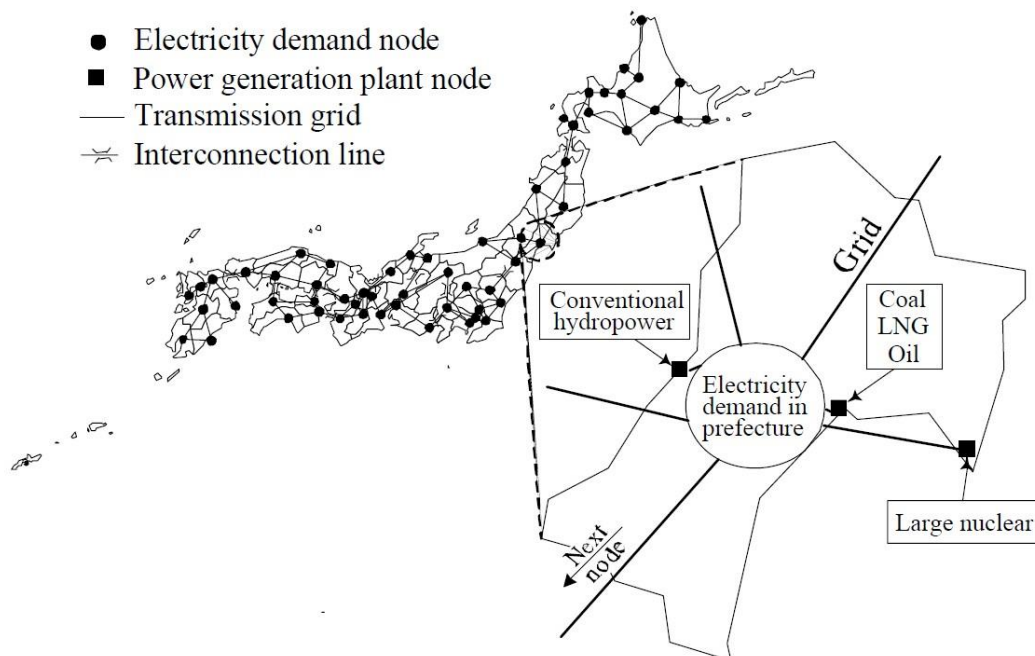


図 3-1 多地域電源計画モデルの構成

### 3.1.2 モデル開発の手順

浙江省における電源計画モデルでは、多地域電源計画モデルをもとに、電力需要に対して供給容量が足りないという浙江省の現状を考慮し、隣省からの送電も変数として設定した開放型モデルにした。本モデルは4つの期（第1期：現状，第2期：2016-2020年，第3期：2021-2025年，第4期：2026-2030年）を設定し、夏季平日・休日，春秋平日・休日，冬季平日・休日，旧正月の7つのパターンの需要について，各需要を満たす1時間ごとの電源構成を求める。

モデルの構築については，主に3段階がある。まず，研究範囲を決めて地域の電力需要を推定する。次に，需要に対する供給も地域ごとで設定し，隣省からの送電も定式化する。最後に，現実条件に合うような制約条件を入力し，期間内の総コストの最小化を目的関数とし，数理計画ソフトのGAMS（General Algebraic Modeling System）を用い，電源構成，エネルギー消費，大気汚染等に関する結果を定量的に算出する。



## 3.2 独立変数の設定

以下は、本モデルを構成する最小単位である属性変数について説明する。

### 3.2.1 地域

本モデルでは、浙江省の11の都市（杭州市・寧波市・温州市・紹興市・台州市・嘉興市・金華市・湖州市・衢州市・麗水市・舟山市）に分類し、それぞれ1つ需要と供給ノードにした。属性変数名は  $r$  とした。

### 3.2.2 送電線

本モデルでは、需要より供給が足りないという浙江省の現状を考慮し、隣省からの3つの送電線も設定した。属性変数名は  $m$  とした。

### 3.2.3 電源

地域ごとの電力の供給は一般石炭火力、超臨界石炭火力（300MW以上ボイラ）、石炭ガス化火力、液化天然ガス（LNG）、原子力、一般水力、揚水水力、太陽光の8通りを想定している。太陽光発電は、政策主導によって導入量が決められるものであること、及び発電量が小さいことから本モデルは分析の対象外とした。属性変数名は  $g$  とした。

### 3.2.4 時間

時間の単位としては、1日を1時間ごとに24個に分けた。属性変数は  $h$  とした。また、年に関して5年間を一つ期にして2030年まで4期にした。それぞれは第1期（現状）、第2期（2016–2020年）、第3期（2021–2025年）、第4期（2026–2030年）である。

### 3.2.5 パターン

需要パターンは、通常の夏季平日・休日、春秋平日・休日、冬季平日・休日に、中国の旧正月を追加した7つである。属性変数は  $p$  とした。旧正月は、中国の一番大きな祝日として二週間ほどの休日のため、電力消費量が通常より半分以上減少する。

季節の区切りに関しては、杭州市で30年間の気象データに基づいて一日平均気温が連続3日間で10度以下になると冬季にし、26度以上になると夏季にする。地域別に夏季・冬季・春秋は全省一律とした。これを表3-1に示す。

表 3-1 電力量需要パターン別の日数（日）

| 春           |    | 夏           |    | 秋            |    | 冬            |    |     |
|-------------|----|-------------|----|--------------|----|--------------|----|-----|
| 3月14日～6月18日 |    | 6月19日～9月10日 |    | 9月11日～11月27日 |    | 11月28日～3月13日 |    |     |
| 平日          | 休日 | 平日          | 休日 | 平日           | 休日 | 平日           | 休日 | 旧正月 |
| 69          | 28 | 60          | 24 | 56           | 22 | 66           | 26 | 14  |

### 3.3 電力需要と供給の定量化

#### 3.3.1 需要パターンの再現と定式化

第1期（現状）の需要は浙江省統計信息网<sup>[24]</sup>のデータを参照し、2014年の電力需要実績を基準とした。将来に渡る電力需要の伸び率は、それぞれ3.5%、5.5%、7.5%を設定した。これを表3-2に示す。

表 3-2 浙江省における期別の年間電力需要の設定値 (GWh/年)

|     | 第1期     | 第2期     | 第3期     | 第4期     |
|-----|---------|---------|---------|---------|
| 杭州市 | 62341.6 | 65132.1 | 66393.8 | 67017.3 |
| 寧波市 | 62017.3 | 64793.3 | 66048.5 | 66668.6 |
| 温州市 | 32292.4 | 33737.9 | 34391.4 | 34714.3 |
| 紹興市 | 43460.6 | 45405.9 | 46285.5 | 46720.1 |
| 台州市 | 25301.3 | 26433.8 | 26945.9 | 27198.9 |
| 嘉興市 | 46995.0 | 49098.5 | 50049.6 | 50519.6 |
| 金華市 | 31315.0 | 32716.7 | 33350.5 | 33663.7 |
| 湖州市 | 20577.3 | 21498.4 | 21914.8 | 22120.6 |
| 衢州市 | 15161.4 | 15840.0 | 16146.8 | 16298.5 |
| 麗水市 | 8011.8  | 8370.5  | 8532.6  | 8612.7  |
| 舟山市 | 3165.3  | 3307.0  | 3371.0  | 3402.7  |

パターンごとの日負荷曲線は、生データが公開されていないため、中国の論文<sup>[27][28]</sup>と国家电网浙江省電力会社の資料<sup>[29]</sup>を参照して作成した。作成の流れを以下に示す。

(1) 韓麗娜の研究<sup>[30]</sup>で季節に関する日負荷曲線と連続2週間の実績データ（2006年月20日-2006年4月2日）の図を集め、ソフト（GetData）でデジタル化した。

(2) 上記(1)のデータに基づいて同じ季節の日負荷曲線の平均値を取り、この季節の日負荷曲線とした。ただし、春秋平日・休日パターンについては春秋の「特徴日の日負荷曲線」のみである。そのため、春秋平日と休日の区別は連続2週間の実績データに基づいて平日と休日の電力使用量の割合で同じカーブを使用した。

(3) 実績の月別の電力使用量と上記の表3-1の電力需要パターン別の日数のデータに基づいてパターンごとの割合を決定した。

上記の手順に基づいた浙江省における7つの日負荷曲線を図3-2に示す。

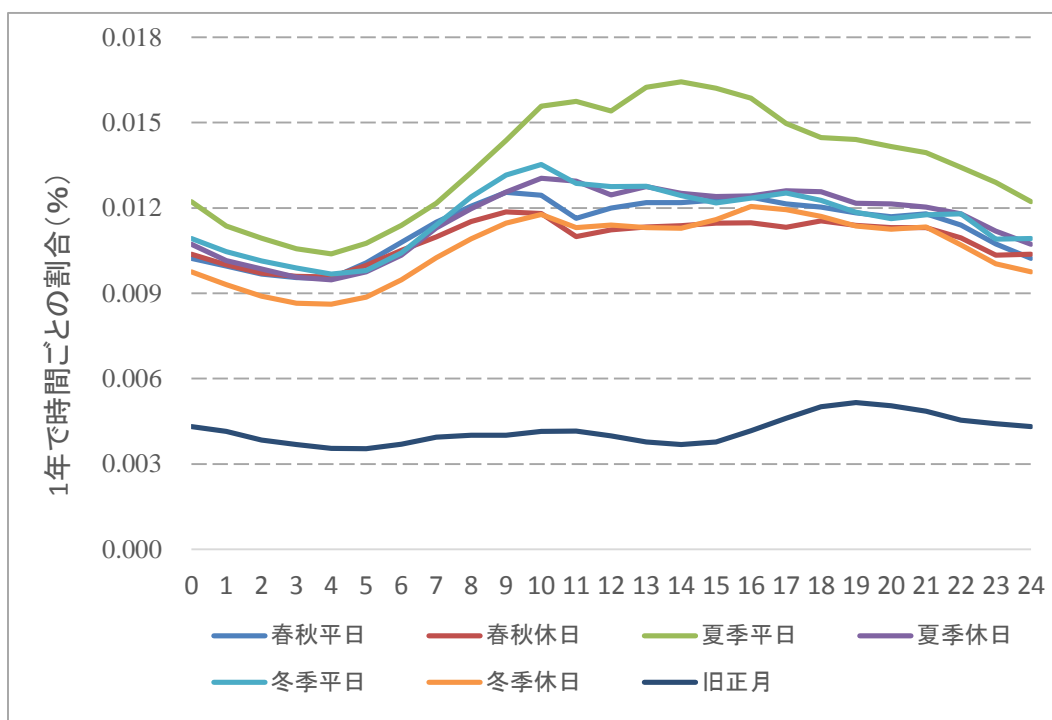


図 3-2 浙江省における 7 つの日負荷曲線

### 3.3.2 電力供給の設定

電力供給については、発電種類ごとの燃料価格、既設発電所の設備容量・新規設備容量予定・廃棄設備容量予定、太陽光発電 1 日出力についてのデータを述べる。地理的制限のため、揚水と一般水力の最大新規設備容量は、がそれぞれ 40GW と 20GW を設定した。燃料価格は、為替レートや市場の動きにより変動している。本研究は、燃料ごとの価格を秦皇島石炭網<sup>[31]</sup>で 2012 年から 2014 年までの平均価格として参照し、時期ごとの変化は世界エネルギー資源の可採年数に基づいて作成した。また、計算回数を減らすため、表 3-3 の燃料価格は、設備による性能も考慮した。発電種類ごとの性能についてのデータを表 3-4 に示す。既設発電所の設備容量を、国家统计局<sup>[32]</sup>と百度百科<sup>[33]</sup>のデータに基づいて作成し、表 3-5 に示す。発電所の新規設備容量と廃棄スケジュールをそれぞれ表 3-6 と表 3-7 に示す。ただし、製造年数のデータがない設備については、廃棄の予定を入れていない。

表 3-3 時期別燃料の価格 (万元/GWh)

|         | 第1期  | 第2期  | 第3期  | 第4期  |
|---------|------|------|------|------|
| 一般石炭火力  | 22.1 | 23.6 | 25.2 | 26.9 |
| 超臨界石炭火力 | 18.4 | 19.7 | 21.1 | 22.5 |
| 石炭ガス化火力 | 20.7 | 22.1 | 23.6 | 25.3 |
| 一般水力    | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| 揚水水力    | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| 原子力     | 12.1 | 12.8 | 13.5 | 14.3 |
| 液化天然ガス  | 49.2 | 52.6 | 56.3 | 60.1 |

表 3-4 発電種類別の性能パラメータ

|                   | 一般石炭<br>火力 | 超臨界石炭<br>火力 | 石炭ガス化<br>火力 | 一般水力  | 揚水水力  | 原子力   | 液化天然<br>ガス |
|-------------------|------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|------------|
| エネルギー転換<br>効率 (%) | 36         | 42          | 38          | 90    | 70    | 42    | 43         |
| 使用年数              | 30         | 40          | 40          | 50    | 50    | 40    | 40         |
| 建設費用<br>(億元/GW)   | 32.6       | 51.9        | 58.2        | 108.8 | 115.3 | 124.5 | 48.6       |
| 維持費用<br>(万元/GW)   | 32         | 56          | 76          | 37    | 18    | 16    | 44         |

表 3-5 既設発電所の設備容量 (GW)

|     | 一般石炭<br>火力 | 超臨界石炭<br>火力 | 石炭ガス化<br>火力 | 一般水力 | 揚水水力 | 原子力  | 液化天然<br>ガス |
|-----|------------|-------------|-------------|------|------|------|------------|
| 杭州市 | 1.52       | 0           | 0           | 1.16 | 0    | 0    | 2.75       |
| 寧波市 | 1.8        | 11.8        | 0.2         | 0    | 0.08 | 0    | 0.7        |
| 温州市 | 2.4        | 2.52        | 0           | 0.2  | 0    | 0    | 0.9        |
| 紹興市 | 1          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
| 台州市 | 2.26       | 5.32        | 0           | 0    | 1.2  | 0    | 0          |
| 嘉興市 | 1.6        | 4.4         | 0           | 0    | 0    | 4.37 | 0          |
| 金華市 | 1          | 2.4         | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
| 湖州市 | 2.2        | 0           | 0           | 0    | 1.8  | 0    | 0.87       |
| 衢州市 | 1          | 0           | 0           | 0.27 | 0    | 0    | 0.4        |
| 麗水市 | 1          | 0           | 0           | 0.9  | 0    | 0    | 0          |
| 舟山市 | 1          | 1           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |

表 3-6 発電所の新規設備容量 (GW)

|             |     | 一般石炭<br>火力 | 超臨界石<br>炭火力 | 石炭ガス<br>化火力 | 一般水力 | 揚水水力 | 原子力 | 液化天然<br>ガス |
|-------------|-----|------------|-------------|-------------|------|------|-----|------------|
| 第<br>2<br>期 | 杭州市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 1.5  | 0   | 0          |
|             | 寧波市 | 0          | 2           | 0           | 0    | 1.5  | 0   | 0          |
|             | 温州市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0          |
|             | 紹興市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0.8        |
|             | 台州市 | 0          | 2           | 0           | 0    | 1.5  | 0   | 0          |
|             | 嘉興市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 2   | 0          |
|             | 金華市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 1.5  | 0   | 0.35       |
|             | 湖州市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0          |
|             | 衢州市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 1.5  | 0   | 0.8        |
|             | 麗水市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 1.5  | 0   | 0          |
|             | 舟山市 | 0          | 1           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0          |
| 第<br>3<br>期 | 杭州市 | 0          | 0           | 0           | 0    |      | 0   | 0          |
|             | 寧波市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0          |
|             | 温州市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0          |
|             | 紹興市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0          |
|             | 台州市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 3.5 | 0          |
|             | 嘉興市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0          |
|             | 金華市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0          |
|             | 湖州市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0          |
|             | 衢州市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0          |
|             | 麗水市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0          |
|             | 舟山市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0          |
| 第<br>4<br>期 | 杭州市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0          |
|             | 寧波市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0          |
|             | 温州市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0          |
|             | 紹興市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0          |
|             | 台州市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 4   | 0          |
|             | 嘉興市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0          |
|             | 金華市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0          |
|             | 湖州市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0          |
|             | 衢州市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0          |
|             | 麗水市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0          |
|             | 舟山市 | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0   | 0          |

表 3-7 発電所の廃棄スケジュール (GW)

|             | 一般石炭<br>火力 | 超臨界石<br>炭火力 | 石炭ガス<br>化火力 | 一般水力 | 揚水水力 | 原子力  | 液化天然<br>ガス |
|-------------|------------|-------------|-------------|------|------|------|------------|
| 第<br>2<br>期 | 杭州市        | 1           | 0           | 0    | 0.01 | 0    | 0          |
|             | 寧波市        | 1           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
|             | 温州市        | 1           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
|             | 紹興市        | 1           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
|             | 台州市        | 1           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
|             | 嘉興市        | 1           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
|             | 金華市        | 1           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
|             | 湖州市        | 1           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
|             | 衢州市        | 1           | 0           | 0    | 0.1  | 0    | 0          |
|             | 麗水市        | 1           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
| 舟山市         | 1          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
| 第<br>3<br>期 | 杭州市        | 0           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
|             | 寧波市        | 0           | 0           | 0    | 0    | 0.08 | 0          |
|             | 温州市        | 0.8         | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
|             | 紹興市        | 0           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
|             | 台州市        | 0.7         | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
|             | 嘉興市        | 0.6         | 0.6         | 0    | 0    | 0    | 0          |
|             | 金華市        | 0           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0.66       |
|             | 湖州市        | 0           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
|             | 衢州市        | 0           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0.87       |
|             | 麗水市        | 0           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
| 舟山市         | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
| 第<br>4<br>期 | 杭州市        | 0           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
|             | 寧波市        | 0.6         | 1.4         | 0    | 0    | 0    | 0          |
|             | 温州市        | 0           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
|             | 紹興市        | 0           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
|             | 台州市        | 0.2         | 0.8         | 0    | 0    | 0.4  | 0          |
|             | 嘉興市        | 0           | 0           | 0    | 0    | 0    | 1.2        |
|             | 金華市        | 0           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
|             | 湖州市        | 0.6         | 0           | 0    | 0.27 | 0    | 0          |
|             | 衢州市        | 0           | 0           | 0    | 0.3  | 0    | 0          |
|             | 麗水市        | 0           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |
| 舟山市         | 0          | 0           | 0           | 0    | 0    | 0    | 0          |

また、太陽光発電設備の伸び率は、政策主導による導入量を定数として定めた。期ごとの導入量はそれぞれ 0.09GW、0.6GW、1.6GW、2.2GW とした。

本研究では、太陽光発電の 1 日の出力曲線は一定とし、NASA<sup>[35]</sup>公開している月別の平均日射量と畑<sup>[5]</sup>の太陽光発電の出力曲線を参考した結果に基づき設定した。結果を、表 3-8 に示す。

表 3-8 パターン別の太陽光発電 1 日の出力データ (年間の総供給量を 1 とする)

| 時間 | 春秋平日   | 春秋休日   | 夏季平日   | 夏季休日   | 冬季平日   | 冬季休日   | 旧正月    |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1  | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 2  | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 3  | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 4  | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 5  | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 6  | 0.0665 | 0.0665 | 0.0872 | 0.0872 | 0.0500 | 0.0500 | 0.0531 |
| 7  | 0.0565 | 0.0565 | 0.0741 | 0.0741 | 0.0425 | 0.0425 | 0.0451 |
| 8  | 0.1562 | 0.1562 | 0.2049 | 0.2049 | 0.1175 | 0.1175 | 0.1248 |
| 9  | 0.2593 | 0.2593 | 0.3400 | 0.3400 | 0.1950 | 0.1950 | 0.2071 |
| 10 | 0.3524 | 0.3524 | 0.4621 | 0.4621 | 0.2650 | 0.2650 | 0.2815 |
| 11 | 0.4255 | 0.4255 | 0.5579 | 0.5579 | 0.3200 | 0.3200 | 0.3399 |
| 12 | 0.4687 | 0.4687 | 0.6146 | 0.6146 | 0.3525 | 0.3525 | 0.3745 |
| 13 | 0.4654 | 0.4654 | 0.6103 | 0.6103 | 0.3500 | 0.3500 | 0.3718 |
| 14 | 0.4388 | 0.4388 | 0.5754 | 0.5754 | 0.3300 | 0.3300 | 0.3505 |
| 15 | 0.3590 | 0.3590 | 0.4708 | 0.4708 | 0.2700 | 0.2700 | 0.2868 |
| 16 | 0.2659 | 0.2659 | 0.3487 | 0.3487 | 0.2000 | 0.2000 | 0.2125 |
| 17 | 0.1562 | 0.1562 | 0.2049 | 0.2049 | 0.1175 | 0.1175 | 0.1248 |
| 18 | 0.0598 | 0.0598 | 0.0785 | 0.0785 | 0.0450 | 0.0450 | 0.0478 |
| 19 | 0.0997 | 0.0997 | 0.1308 | 0.1308 | 0.0750 | 0.0750 | 0.0797 |
| 20 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 21 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 22 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 23 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 24 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |



### 3.3.3 隣省から送電の定式化

浙江省は、夏季のピーク時電力の供給の4割ほどを隣省（華東電網と華中電網）から送電されている。本モデルでは、需要より供給が足りないという浙江省の現状を考慮し、隣省からの送電も変数とした。隣省からの送電ネットワークは図3-3のように仮定した。

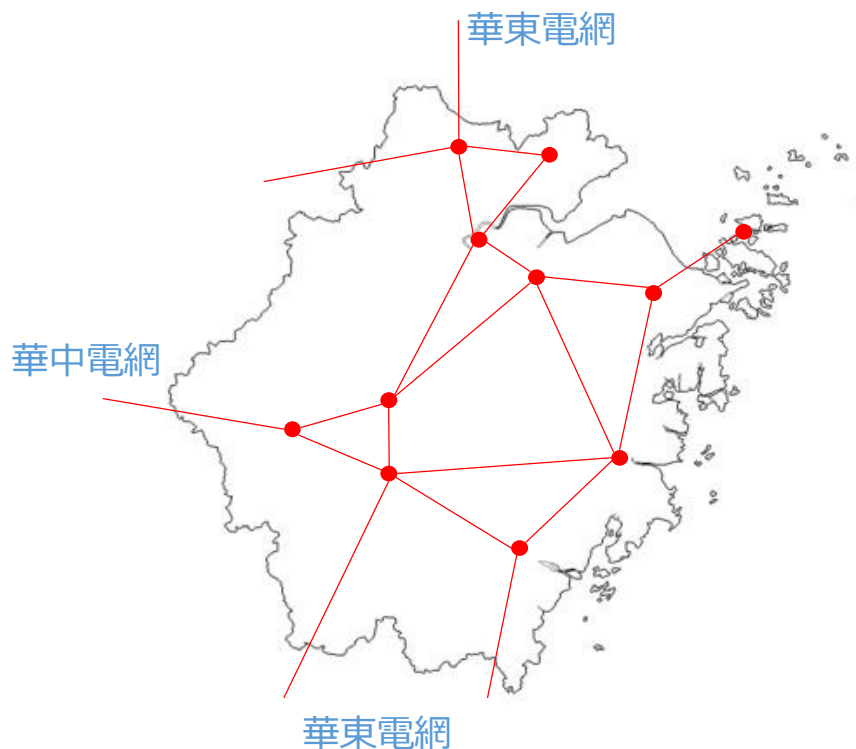


図 3-3 隣省からの送電ネットワーク

隣省からの送電については、パターンごとの送電コストのデータがないため、別の省の発電コスト<sup>[36]</sup>と3.5節のシミュレーション結果のコストに基づいて0.25元/kWhに固定した。送電のネットワークは、図3-3に示すように北方向の華東電網が湖州市と接続し、南方向の華東電網が温州市・麗水市と接続し、華中電網が金華市・衢州市・麗水市と接続した。ただし、隣省（華東電網と華中電網）との送電は浙江省へのものしかない。

### 3.4 制約条件

ここでは、発電する上で必ず満たさなければならない条件に加え、本来なら制約式という表現が適さない変数の定義上当然成り立つべき式を含めて上記の変数が満たす制約式を定めた。全ての制約条件は、図 3-4 に示すように 3 種類に分けて設備、地理、経済・政治に関する制約から成る。

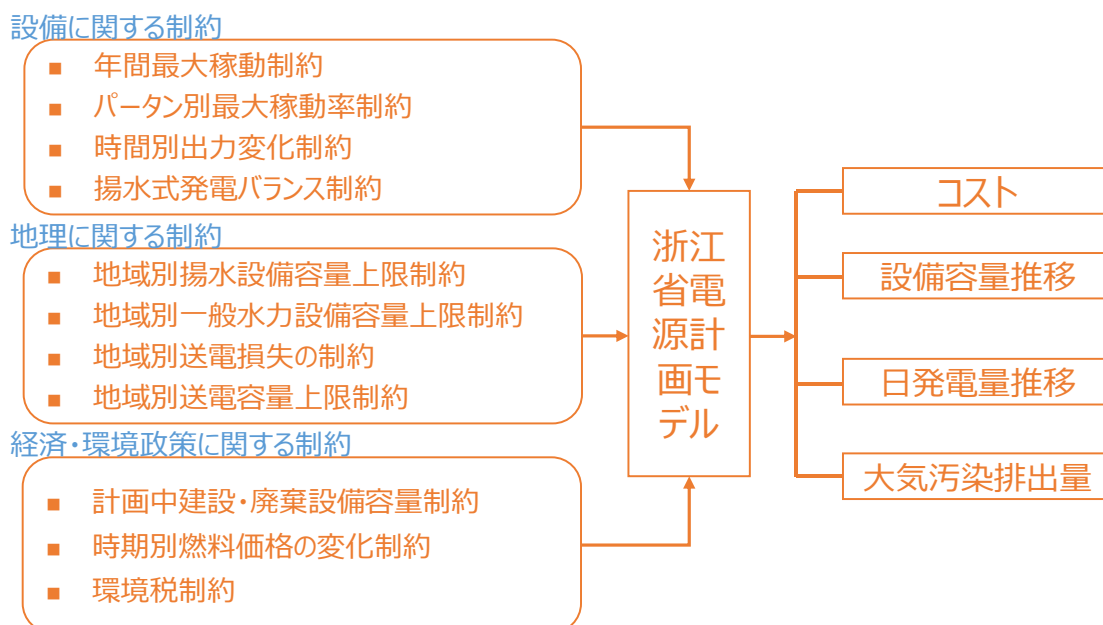


図 3-4 本研究の制約条件

#### 3.4.1 パラメータと変数

モデルのパラメータと変数は、以下に列挙し、本文に説明をしていないパラメータを付録 1 に記した。また、モデルについて変数とは、モデル内であらかじめ値が定められておらず、最適化によって値が定められるものを指し、パラメータと区別するため頭文字を大文字で表した。

##### (1) パラメータ

- $day\_pat$  ( $p$ ): パターン別日数 (表 3-1);
- $ped\_grow$  ( $t$ ): 時期別需要の伸び率 (3.3.1 文中);
- $dmd\_hour$  ( $p,h$ ): パターン別・時間別の電力需要 (図 3-2);
- $dmd\_regi$  ( $r,t$ ): 時期別・地域別の電力需要の伸び率 (表 3-2);
- $pve\_supl$  ( $p,h$ ): パターン別・時間別の太陽光発電割合 (表 3-8);
- $pve\_grow$  ( $r,t$ ): 地域別・時期別太陽光発電の伸び率 (3.3.2 文中);
- $gen\_stus$  ( $r,g$ ): 地域別・発電種類別の既設発電所の設備容量 (表 3-5);
- $gen\_nmin$  ( $t,r,g$ ): 地域別・時期別・発電種類別の新規計画発電所の設備容量 (表 3-6);

- $gen\_abol(t,r,g)$ : 地域別・時期別・発電種類別の発電所の廃棄スケジュール(表 3-7);
- $gen\_nmax(t,r,g)$ : 地域別・時期別・発電種類別の最大新規設備容量(3.3.2 文中);
- $gen\_effy(g)$ : 発電種類別の発電効率(表 3-4);
- $gen\_upld(g)$ : 発電種類別の設備利用率上限(表 3-4);
- $gen\_down(g)$ : 発電種類別の設備利用率下限(表 3-4);
- $gen\_runl(g,p)$ : 発電種類別・パターン別の利用率上限(付録 1);
- $gen\_year(g)$ : 発電種類別の原価償却率(式 3-17);
- $gen\_cfee(g)$ : 発電種類別の新規建設費(表 3-4);
- $gen\_ymax(g)$ : 発電種類別の年間最大稼働率(表 3-4);
- $gen\_mata(g)$ : 発電種類別の維持費用(表 3-4);
- $fue(g,t)$ : 発電種類・時期別の燃料費と環境税(表 3-3, 表 3-9);
- $fue\_pric(g,t)$ : 発電種類別・時期別の燃料費(表 3-3);
- $fue\_ctax(g,t)$ : 発電種類別・時期別の環境税(表 3-9);
- $geo\_pmax(r)$ : 地域別の揚水式水力発電所の最大設備容量(3.3.2 文中);
- $geo\_hmax(r)$ : 地域別の一般水力発電所の最大設備容量(3.3.2 文中);
- $trn\_tmax(m,r)$ : 隣省  $m$  から  $r$  までの最大送電量(付録);
- $trn\_nmax(r,r0)$ :  $r$  から  $r0$  までの最大送電量(付録);
- $trn\_lost(r,r0)$ :  $r$  から  $r0$  までの送電損失率(付録);
- $trn\_dist(r,r0)$ :  $r$  から  $r0$  までの相対送電距離(付録);
- $trn\_pric(m,r)$ : 隣省(華東電網と華中電網)から  $r$  までの送電価格(3.3.3 文中);

## (2) 変数

- $O(t,r,g,h,p)$ : 地域別・時期別・パターン別・発電種別の 1 時間ごとの発電量;
- $Pattenr\_gen(t,g,h,p)$ : 時期別・パターン別・発電種別の 1 時間ごとの発電量;
- $C\_stus(r,t,g)$ : 地域別・時期別・発電種別の発電所の設備容量;
- $C\_tota(r,t,g)$ : 地域別・発電種別の設備容量;
- $C\_cnew(r,t,g)$ : 地域別・時期別・発電種別の新規設備容量;
- $Pumpup(r,t,h,p)$ : 地域別・時期別・パターン別の 1 時間ごとの揚水式発電所貯蓄しておく発電量;
- $Storep(r,t,h,p)$ : 地域別・時期別・パターン別の 1 時間ごとの揚水式発電所貯蓄されている発電量;
- $Emission(t)$ : 時期別の  $CO_2$  の排出量;
- $Cost(t,r,g,h,p)$ : 地域別・発電種別の 1 時間ごとの発電量;
- $O\_trans(t,r,r0,h,p)$ : 地域別・時期別・パターン別の 1 時間ごとの  $r$  から  $r0$  までの送電量;
- $Pro\_trans(t,m,r,h,p)$ : 地域別・時期別・パターン別の 1 時間ごとの  $m$  から  $r$  までの

送電量；

- $Cost$ ：期間内の総コスト；

### 3.4.2 設備に関する制約

設備に関する制約は，発電について必ず満たさなければならない条件に加え，発電種類ごとの発電効率などの制約も含めている。

- 2014年の設備容量を既設の発電所の設備容量で固定する。

$$C\_stus(2014, r, g) = gen\_stus(r, g) \quad \text{式 3-1}$$

- ある年の設備容量と新規設備容量との関係式。

$$C\_stus(r, t+5, g) = C(t, r, g) + C\_cnew(r, t+5, g) - gen\_abol(r, t+5, g) \quad \text{式 3-2}$$

- 発電所の出力変動の上限を定める制約式。

$$O(t, r, g, h+1, d) \leq gen\_upld(g) \cdot O(t, r, g, h, d) \quad \text{式 3-3}$$

- 発電所の出力変動の下限を定める制約式。

$$O(t, r, g, h+1, d) \leq gen\_down(g) \cdot O(t, r, g, h, d) \quad \text{式 3-4}$$

- パターン別の最大出力制約式（季節別の最大出力制約式）。

$$\sum_{r, h, t} O(t, r, g, h, d) \leq gen\_runl(g, p) \quad \text{式 3-5}$$

- 年間稼働率の上限制約式。

$$\sum_{h, d} \{O(t, r, g, h, d) \cdot Days(d)\} \leq 24 \cdot 365 \cdot gen\_ymax(g) \cdot C\_stus(t, r, g) \quad \text{式 3-6}$$

- 揚水式水力発電バランスの制約式。

$$Storep(t, r, h+1, d) \leq Storep(t, r, h, d) + Pumpup(t, r, h, d) \quad \text{式 3-7}$$

- 揚水式水力発電貯水量上限制約式 1. 揚水式水力発電所で貯水できる電力の上限を，発電のための設備容量の  $PumpUpCap (=8.0)$  倍とする。ただし揚水式発電を  $PumpHdr$  とする。

$$Storep(t, r, h, d) \leq Pumpup(t, r, PumpHdr) \times PumpCap \quad \text{式 3-8}$$

- 揚水式水力発電貯水量上限制約式 2.

$$PumpUp(t, r, h, d) \leq C(t, r, PumpHdr) \quad \text{式 3-9}$$

### 3.4.3 地理に関する制約

地理に関する制約は、主に送電量の制約と地域ごとの一般水力発電と揚水式水力発電最大新規容量の制約である。

- 浙江省の設備容量が地域ごとの設備容量の総計に等しいとする制約式.

$$C\_total(t, g) = \sum_r C\_stus(r, t, g) \quad \text{式 3-10}$$

- 省内の送電量上限の制約式.

$$O\_trans(t, r, r0, h, p) \leq tran\_n \max(r, r0) \quad \text{式 3-11}$$

- 隣省からの送電量上限の制約式.

$$PRO\_trans(t, m, r, h, p) \leq tran\_t \max(m, r) \quad \text{式 3-12}$$

- 地域別の新規揚水式水力発電所の設備容量の上限式. *Pumpnew* は新規揚水式水力発電所とする.

$$C\_cnew(t, r, Pumpnew) \leq geo\_p \max(r) \quad \text{式 3-13}$$

- 地域別の一般水力発電所の設備容量の上限式. *Hydronew* は新規揚水式水力発電所とする.

$$C\_cnew(t, r, Hydronew) \leq geo\_h \max(r) \quad \text{式 3-14}$$

### 3.4.4 経済・政治に関する制約

経済・政治に関する制約は、主に環境税の税率、燃料価格の変動などの外生変数として設定する。

- 環境税は、燃料価格のなかに入れ、関係式を式 3-16 に示す.

$$fue(g, t) = fue\_pric(g, t) + fue\_ctax(g, t) \quad \text{式 3-15}$$

- 新規発電所の設備容量の最大・最小を定める制約式.

$$gen\_nmin(r, t, g) \leq C\_cnew(r, t, g) \leq gen\_nmax(r, t, g) \quad \text{式 3-16}$$

- 本モデルは、年数にわたって発電所の償却費を考慮し、資本回収係数 (Capital Recover Factor) を定式化する。この際、割引率を DR (=0.05) とした。発電所の

償却費を算出する際、実際の簿記上の計算では税制上有利である定率償却法が用いられていると思われるが、本モデルでは運転可能年数（DprYr (g)）による資本回収係数を式 3-17 から求め、それを建設費に乗じることにより単年度当たりの償却費を求めた。

$$Cpt\_Pr c(g) = \frac{DR \cdot (1 + DR)^{DprYr(g)-1}}{(1 + DR)^{DprYr(g)} - 1} \quad \text{式 3-17}$$

### 3.4.5 需給均衡制約と目的関数

発電量と電力需要は常に一致しなければならない。そのため、下記のように需給均衡制約を示す。

$$\begin{aligned} & dmd\_hour(p, h) \times dmd\_regi(r, t) - pve\_supl(p, h) \times pve\_grow(r, t) \\ &= \sum_g [O(t, r, g, h, p) - Pumpup(t, r, h, p) \\ &+ \sum_{r_1} \{O\_trans(t, r_1, r, h, p) \cdot (1 - trn\_lost(r_1, r))\} \\ &- \sum_{r_2} O\_trans(t, r_2, r, h, p)] + Pro\_trans(t, m, r, h, p) \end{aligned} \quad \text{式 3-18}$$

最後に、期間内で建設・維持コスト・燃料・環境税コストと送電コストからなる総コストはそれぞれ  $COST1$ 、 $COST2$  と設定する。 $t\_tran$  は 3.3.3 に説明した隣省からの送電料金とする。これらを、式 3-19、式 3-20、式 3-21 に示す。

$$\begin{aligned} COST1 = \sum_{r,t} [(1 + DR)^{2015-t} \times \\ \sum_{h,p,g} \{O(t, r, g, h, p) \times Day\_patt(p) \times \\ [fue\_pric(g, t) + fue\_ctax(g, t)]\} \end{aligned} \quad \text{式 3-19}$$

$$\begin{aligned} COST2 = \sum_{r,t} [(1 + DR)^{2015-t} \times \\ \sum_{h,p,m} [Pro\_tran(t, m, r, h, p) \times Day\_patt(p) \times t\_tran] \end{aligned} \quad \text{式 3-20}$$

$$COST = COST1 + COST2$$

式 3-21

上記のような入力条件及び制約式によってモデルを構築し、電力需給における期間中の総コストを最小化するように解く。このモデルでは、すべての制約式が変数に対する1次方程式として記述されているため、線形計画問題として解くことができる。本研究では最適化のツールとして GAMS というソフトを用いた。

GAMS とは一般的な代数的演算用のモデル構築用プログラミング言語である。1つの言語として大規模数理計画問題の計算が多く応用されており、用いるソルバーによって線形計画問題に限らず非線形計画問題や混合整数問題など様々な種類の問題を解くことができる。本研究ではソルバーとして xpress を適用し、最適化を行った。

また、言語の作成についてはいくつかの注意点を述べる。変数や関数を対応していない場合は、ソフト専用のエラー番号が現れる。一方、与えられた条件下で最適解が存在しない場合は、モデルが **infeasible** となる。例えば、浙江省における電源計画モデルを構築する時、需要より供給が足りない浙江省の現状を考慮しない場合には、モデルが **infeasible** となる。

### 3.5 シミュレーション結果

シミュレーション結果は、3つケースに分けて期間内の設備容量推移、1日発電量推移、隣省からの送電量、CO<sub>2</sub>排出量という順番で説明する。ケースについては、環境税なし、低い環境税、高い環境税をそれぞれケース1、ケース2、ケース3に設定し、グラフがケース1を中心に表記する。具体的なケース設定を、表3-9に示す。

表 3-9 各ケースの説明

|     | ケース1  | ケース2                           | ケース3                           |
|-----|-------|--------------------------------|--------------------------------|
| 環境税 | なし    | 20元/t-CO <sub>2</sub>          | 200元/t-CO <sub>2</sub>         |
| 説明  | 基準ケース | 期間内の税率を固定、<br>低い環境税による電源構成への影響 | 期間内の税率を固定、<br>高い環境税による電源構成への影響 |

#### 3.5.1 設備容量の推移

設備容量の推移の結果は、政府が主導している増設（表3-6）と廃棄（表3-7）を反映した上でシミュレーションしている。ケース1とケース2・ケース3はそれぞれ図3-5と図3-6に示す。

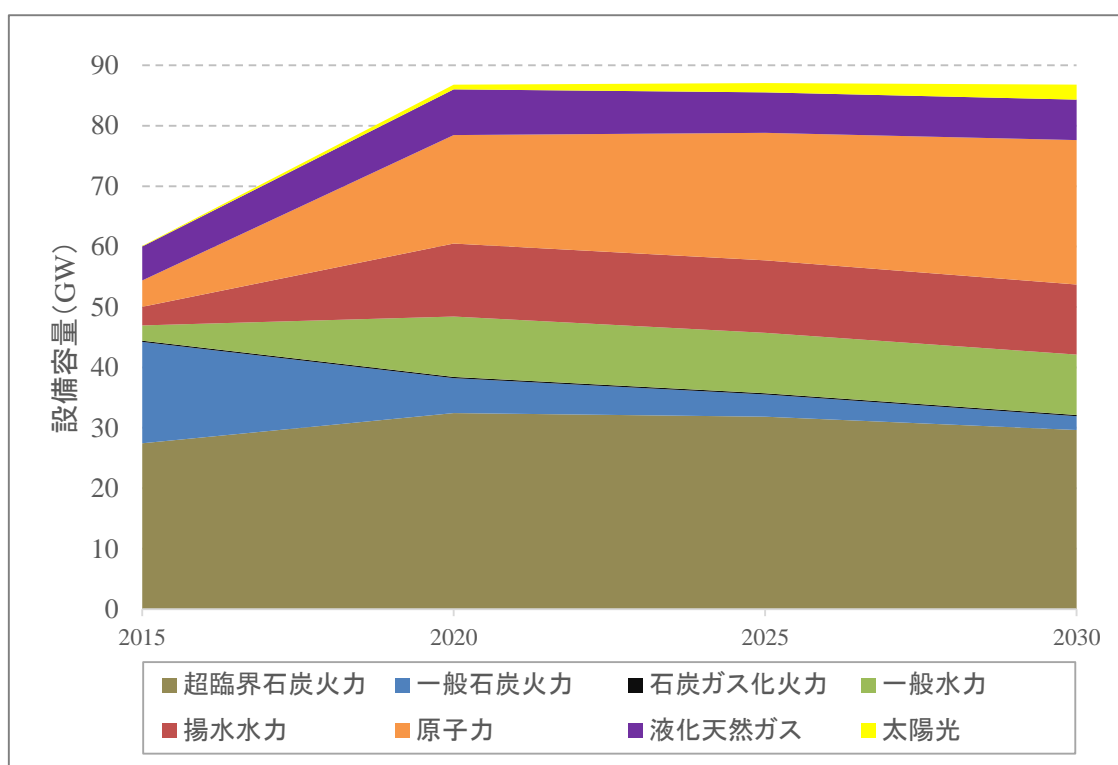


図 3-5 ケース1 設備容量の推移



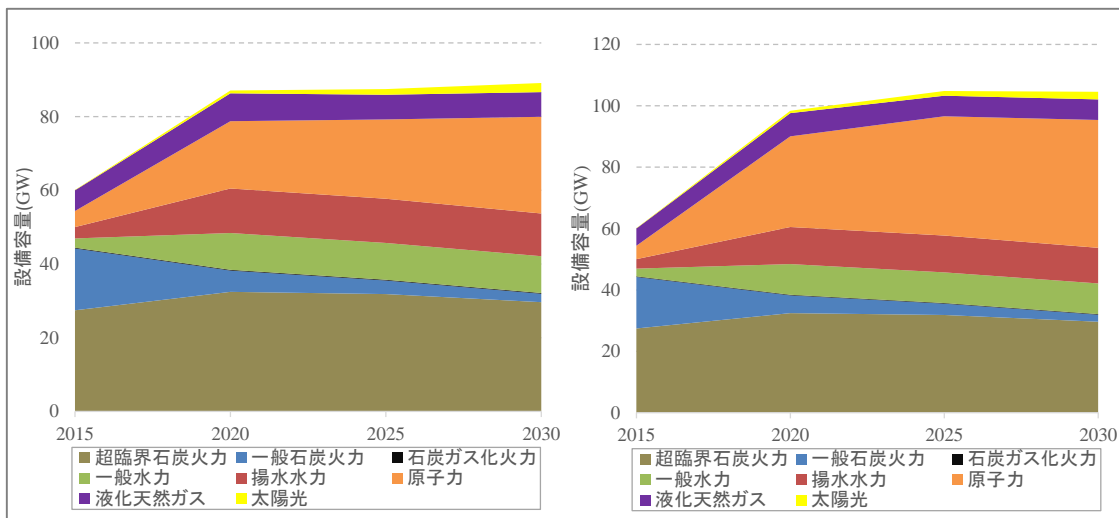


図 3-6 ケース 2 とケース 3 設備容量の推移

期間内の設備容量の推移については、3つのケースが共に石炭火力から原子力へ移動という結果を得た。基準ケース（ケース 1）の原子力設備容量は、現状の 4.3GW から 2030 年までの 23.9GW に増えた。更に、一般水力の設備容量も現状の 2.5GW から最大の 10GW に増えた。一方、政府が主導している増設によって、揚水水力の設備容量も増えた。

また高い環境税（ケース 3）と低い環境税（ケース 2）を比較すると、期間内の原子力設備の容量は 15GW 増加した。環境税税率が増加すると共に石炭価格のメリットが失われた。

### 3.5.2 1日発電量の推移

1日発電量の推移は、ケース別・期別・パターン別に計 84 通りある。ここでは、電力需要が一番多い夏季平日を例として説明する。基準ケースの 1 期・4 期の夏季平日における 1 日の発電量推移を図 3-7 に示す。

現状では、夏季平日の需要の 2 割以上が一般石炭火力で供給されるのに対し、第 4 期は 3 割以上が原子力で供給され、発電方式が転換している。更に、政府主導している太陽光発電と原子力の増設で隣省からの送電量は半分程度減少した。

一方、高い環境税のケース 3 は、現状最適の夏季平日の需要の 4 割以上が超臨界火力石炭で供給されるのに対し、第 4 期は半分以上が原子力で供給され、大幅に発電方式が転換している。環境税の税率が高いので、第 1 期に一般石炭火力の発電量はほぼ 0 になった。また、低い環境税の場合は、1 日発電量の推移が基準ケースと似ている。それぞれを図 3-8 と図 3-9 に示す。

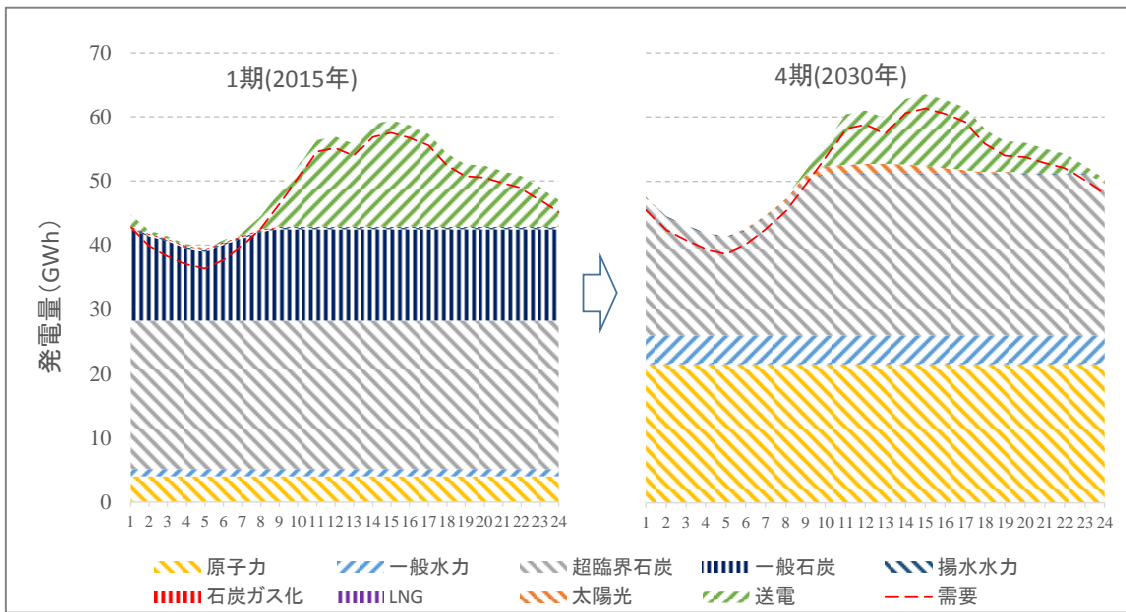


図 3-7 ケース 1 の 1 期と 4 期の夏季平日における 1 日の発電量推移

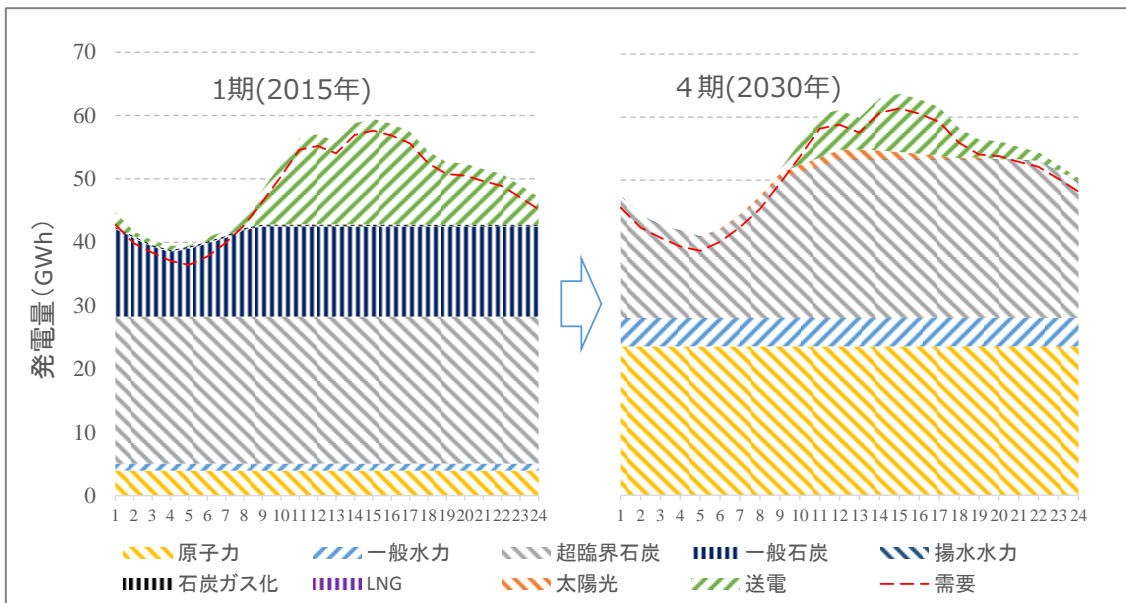


図 3-8 ケース 2 の第 1 期と第 4 期の夏季平日における 1 日の発電量推移

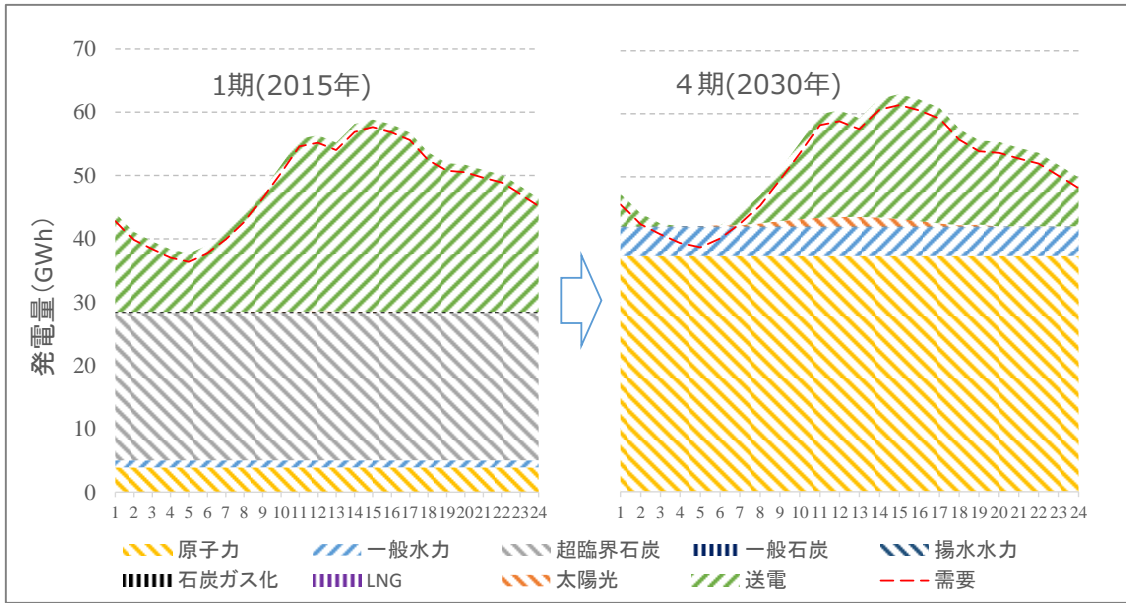


図 3-9 ケース 3 の第 1 期と第 4 期の夏季平日における 1 日の発電量推移

### 3.5.3 隣省からの送電量

基準ケースにおいて、第 1 期と第 4 期のパターンごとの隣省からの年間の送電量を図 3-10、3-11 に示す。隣省からの送電量は、第 4 期において第 1 期より半分以上の減少となる結果を得た。

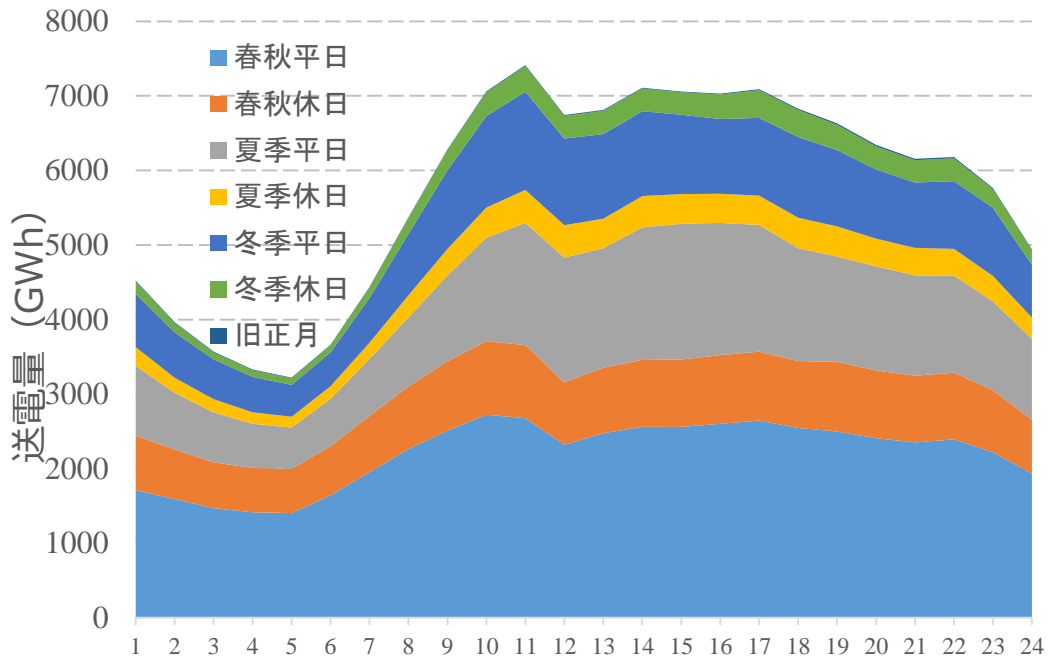


図 3-10 ケース 1 の第 1 期のパターン別の隣省からの年間の送電量

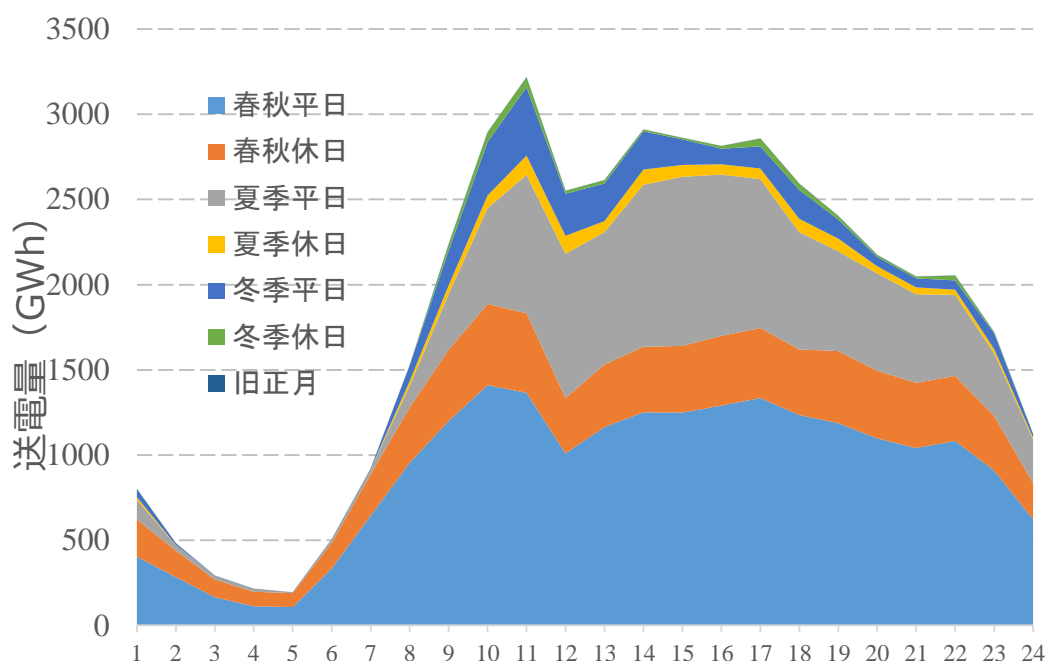


図 3-11 ケース 1 の第 4 期のパターン別の隣省からの年間の送電量

### 3.5.4 CO<sub>2</sub> 排出量

一般石炭と超臨界石炭の発電量の減少で、CO<sub>2</sub> 排出量は顕著に減少するという結果を得た。環境税なしの場合は、CO<sub>2</sub> 排出量が現状最適の 2.596 億トンから 1.434 億トンまで減少する。低い環境税の場合は、CO<sub>2</sub> 排出量が現状最適の 2.586 億トンから 1.291 億トンまで減少し、高い環境税とくらべて CO<sub>2</sub> 削減効果が小さい。その理由としては、環境税の有無によらず発電量の一定割合はコストの安い原子力に移動することが考えられる。高い環境税の場合は、CO<sub>2</sub> 排出量が現状最適の 1.614 億トンから 0.076 億トンまで減少する。ケース 1, 2, 3 の CO<sub>2</sub> 排出量を、表 3-10 に示す。

表 3-10 各ケースの年間 CO<sub>2</sub> 排出量 (億トン)

|      | 第1期   | 第2期   | 第3期   | 第4期   |
|------|-------|-------|-------|-------|
| ケース1 | 2.596 | 1.804 | 1.652 | 1.434 |
| ケース2 | 2.586 | 1.756 | 1.626 | 1.291 |
| ケース3 | 1.614 | 1.071 | 0.493 | 0.076 |

ベースケースでの電源種類ごとの発電量の割合を図 3-12 に示す。火力石炭の発電量は第 1 期の 85%から、第 4 期の 38%までに減少した。一方、原子力の発電量は第 1 期の 11%から、第 4 期の 49%に増加した。

また、ここでの結果は、次章の応用一般均衡モデルの投入変数の変化を検討する際に使用される。

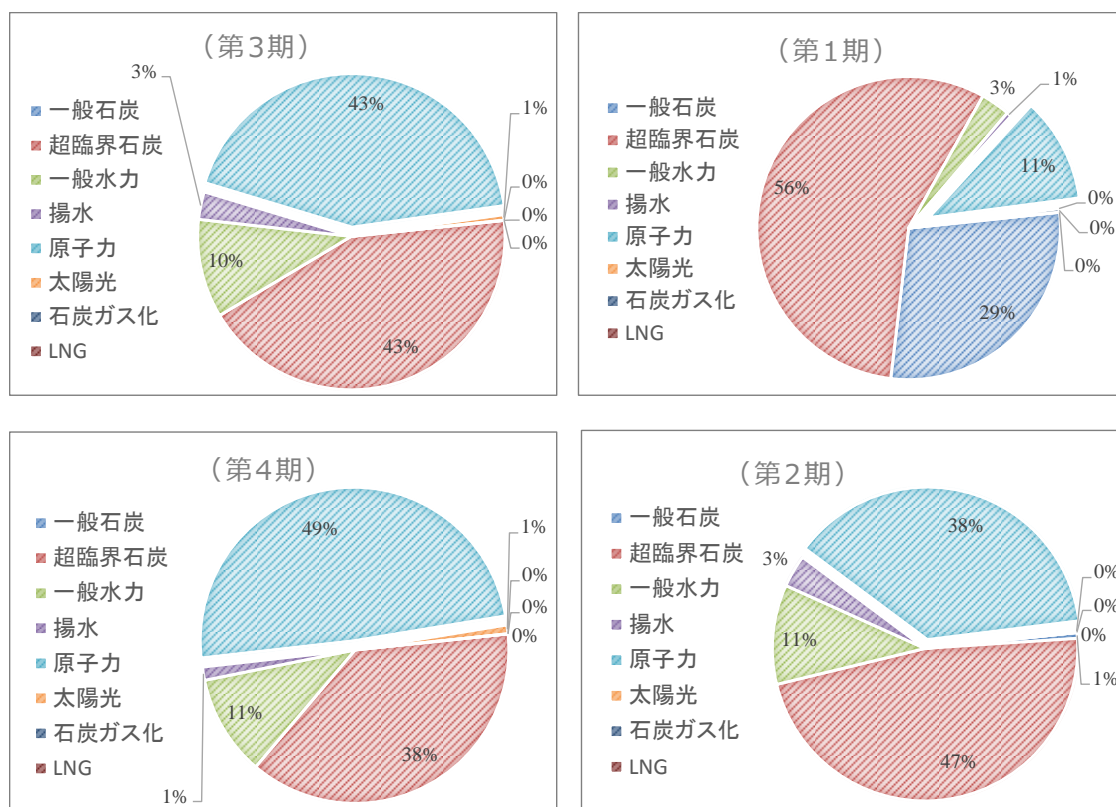


図 3-12 各期に電源種類別の発電量の割合

### 3.6 まとめ

ベースケースでの最適結果から分かるように、原子力新規の増設により、石炭火力が減少するという結果が得られた。発電・変電・送電・配電の分離を中心に、中国の電力改革は巨大なポテンシャルが存在している、特に、改革後の電力料金は現在より30%以上軽減することが見込まれる。

環境税による電源構成への影響としては、税率の高低によらずコストの安い原子力に移動していることから、環境税が原子力の増設に及ぼす影響は大きくないといえる。ただし、高い環境税の場合は移動速度を加速する効果が検証された。一方、政府が主導している原子力新規の増設の政策を見ると、そのCO<sub>2</sub>削減効果に比較して、低い環境税の導入によるCO<sub>2</sub>削減効果は顕著ではない。

本研究の目的のひとつである中国浙江省の最適電源構成を予測することと環境税導入による電源構成への影響を、第3章で示した。次章では、浙江省における応用一般均衡モデルの構築を説明する。また、その構築したモデルを用いて環境税と電源構成による経済への影響を評価する。

## 第4章 浙江省における応用一般均衡モデルの開発

本章では、経済影響を分析するツールとなる応用一般均衡モデルについての説明を行う。また、浙江省における応用一般均衡モデルの構築について、産業連関表の修正、関数・パラメータの推定と均衡状態の達成を中心に説明する。

### 4.1 応用一般均衡分析とは

応用一般均衡分析（CGE 分析）<sup>[37]</sup>は、ミクロ的な経済行動原理（家計の効用・企業利益最大化）に基づいて詳細に分類した産業・家計の行動を再現し、幅広い分野で応用されている。特に、国と国の貿易、新たな税制の導入などの政策的な変動によって各部門にどのような影響があるかについて定量的な分析が可能となる。

#### 4.1.1 歴史と特徴

一般均衡理論は、ウルラス（Walras）の「純粹経済学要論」（1874, 1877）ではじめて体系化された。この理論の中心は、全面的な完全競争の仮定のもとで、各個別主体（家計、企業など）がばらばらに意思決定する中で、市場において価格による需要調整が行われて、全ての需給が一致した一般均衡状態に導かれる過程を説明したものである。ここでの完全競争は、経済分野におけるゲーム理論<sup>[38]</sup>と区別し、商品（以降、財と呼ぶ）の価格の透明性が仮定された。そのため、価格情報と単独行動をつうじての価格支配が不可能となるだけの取引主体の存在などを保証する状況を指す。簡単に言うと、市場で取引されるすべての財に対する超過需要額（需要額－供給額）の和は、常に（均衡状態であるか否かに関わらず）0になるというものである。ここでは、山内<sup>[39]</sup>を引用して説明する。

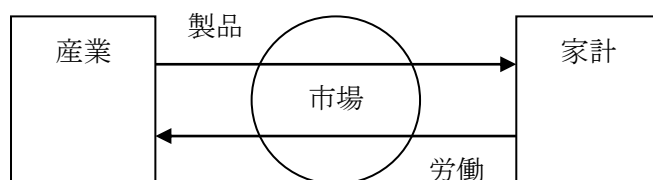


図 4-1 1 家計 1 産業 1 生産要素の経済モデル

図 4-1 は 1 産業と 1 家計が市場を通じて製品と労働を取引する様子の模式図である。産業は、家計から労働の供給を受け、製品を生産し市場に供給する。家計は、労働を供給して得た対価を持って、製品を購入する。産業と家計は、価格情報のみに依存して独立に各財に対する需要量と供給量を決定する。また、各主体内で資金の内部留保はない。以下 3 つの式で Walras の法則が簡単に導出できる。

(1) 産業内での資金の流れ

$$\text{製品価格} \times \text{製品供給量} = \text{労働価格} \times \text{労働需要} \quad \text{式 4-1}$$

(2) 家計内での資金の流れ

$$\text{労働価格} \times \text{労働供給量} = \text{製品価格} \times \text{製品需要量} \quad \text{式 4-2}$$

(3) 上記 2 式を辺々足しあわせて整理した結果を、式 4-3 に示す。

$$\text{労働価格} \times \text{労働超過需要量} = \text{製品価格} \times \text{製品超過需要量} \quad \text{式 4-3}$$

この均衡理論の発展は、パレート効率性というより大きな進歩になった。パレート効率性の概念では、ある集団が 1 つの社会状態（資源配分）を選択するとき、集団内の誰かの効用（満足度）を犠牲にしなければ他の誰かの効用を高めることができない状態を、「パレート効率的 (Pareto efficient)」であると表現する。これに基づいて、全社会均衡状態の最適解が存在するといえる。

1936 年、アメリカの経済学者であるワシリー・レオンチェフがアメリカを対象として初めて産業連関表を作成した。そのため、一般均衡理論を現実の経済に適用することが可能になった。産業ごとの生産・販売等の取引を、産業連関表を用いた均衡理論によって詳細に再現できるようになった。近年均衡理論を用いた分析については、パソコン性能の向上とともに静態的な分析に限らず、連続動態的な分析も幅広く経済分野で応用されている。

政策的な変動による経済への影響を評価するモデルのひとつとして、応用一般均衡モデルは下記の特徴がある。

- (1) 理論的な説明だけでなく、定量的分析をすることができる。
- (2) 家計・企業・政府の経済主体の行動を構造的に捉えることができる。
- (3) 産業・経済構造、経済厚生の変化を計測することができる。
- (4) データ・目的によるモデルの構造・関数が自由に変更できる。

#### 4.1.2 計算アルゴリズム

応用一般均衡モデルの計算については、スカーフ考案のアルゴリズムを簡単に説明し、改良版としてメリル (O.Merrill) により開発されたアルゴリズムについては記述を略す。

直観的に理解するため、税の存在しないもっとも単純な 2 財経済を想定し、スカーフのアルゴリズムを紹介する。2 財の価格  $P_1$ 、 $P_2$  の和を 1 に基準化すると、価格ベクトル集合は、図 4-2 ように横（縦）軸が第 1（2）財価格を表示する座標平面の第 1 象限内に傾き 45 度の右下がりの直線で示される。この直線は、均等間隔 (D とする) に細かく分割する。そして、アルゴリズムにしたがって進行する逐次反復計算のステップごとに、直線上のある 1 つの分割区間の両端点 (2 つの分割点) で示される互いに隣接する 2 つの価格ベクトルが選ばれることになる。この時各価格ベクトルには、それに対応して発生する 2 財の超過需要  $E_1$ 、 $E_2$  のうち大きいほうの財の番号  $i$  (この場合 1 か 2 かのどちらか) が「ラベル」してつけられる。



さて、スカーフ・アルゴリズムは、右最下方にある 2 つの価格ベクトルを端点とする区間からスタートして、図 4-2 の矢印が示すように左上の近隣区間へ規則的に移行しつつ、その区間の両端点で構成される価格ベクトル・ペアに上述の超過需要情報に基づく「ラベル付け」を行うのである。まず、最初の右下の端点では第 2 財価格がゼロであり、通常その超過需要はきわめて大きくなるので、端点  $(1, 0)$  で表される価格ベクトルのラベルは 2 となる。この時超過需要の連続性より、その近傍にある価格ベクトルもおそらく 2 (すなわち第 2 財の超過需要が第 1 財のそれより大) であろう。逆に、左上の端点  $(0, 1)$  の近傍の価格ベクトルのラベルは 1 となろう。したがって、アルゴリズムがスタートして間もない頃、両方とも 2 のラベルの付いた価格ベクトルを端点に持つ区間上に位置するであろうが、連続的に左上への移行を続け超過需要の大きさに応じたラベル付けを進めていく限り、必ず図 4-2 の直線上ごとかの区間で、その両端に互いに異なるラベル (すなわち 1 と 2) がつけられることになる。このような分割区間に到達することでスカーフ・アルゴリズムは完了となるのである。

上記の考え方をを用いて N 種類の財価格の場合も、近似均衡価格が見つかる。しかし、間隔  $D$  を大きくすれば、解の精度は上がるが、計算速度は遅くなる。また、計算のたびに基本単体の頂点から始めるので、計算以前に得られた情報を利用することができない。メリルのアルゴリズムは、この 2 つの点を改善し、精度を高くする。本研究は、Excel 中のソルバー機能を使用して均衡の計算を行う。

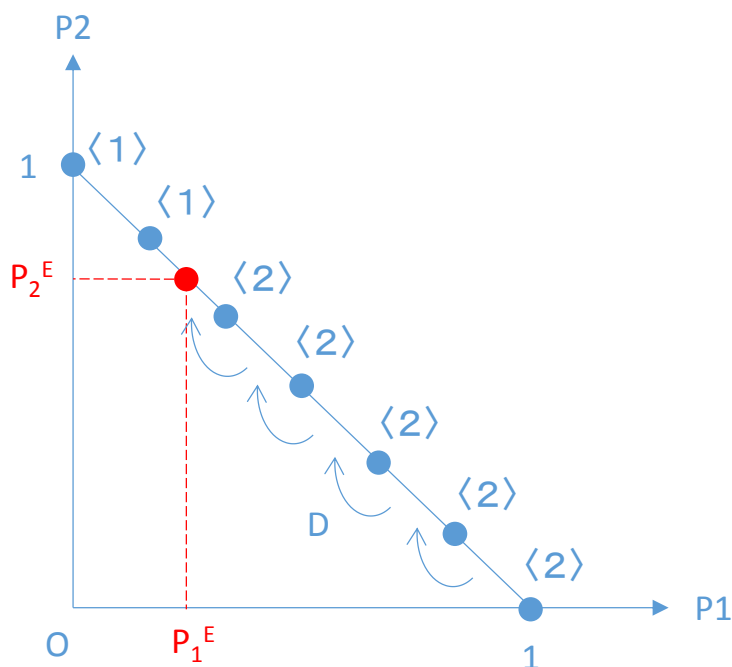


図 4-2 2 財経済におけるスカーフ・アルゴリズム

### 4.1.3 モデル開発の手順

浙江省における応用一般均衡モデルは、市岡<sup>[37]</sup>が構築した AGE 日本モデルの構造（図 4-3）と計算フロー（図 4-4）にもとに、データベースを作成し、主要な関数のパラメータも推定した。ただし、家計による階層別のデータがないため、浙江省における階層は区分しないでひとつの階層とする。構築の流れとしては下記に示す。

#### (1) データベースの作成

ある基準年を選択し、基準年における産業、家計、政府などのデータを収集し、モデルの構造及び関数に応じてデータ間で調整することを行う。

#### (2) 関数とパラメータの決定

モデルについて関数は、基本的にデータによって決められる。本モデルは、産業による生産関数、家計による効用関数などが CES 型関数、コブ・ダグラス型関数、線形支出体系型関数を用いて表現される。また、パラメータの決定は、基準年の均衡データから推定しなければならない。しかし、本モデルで必ずしもすべての基準データを入手できないが、一部の関数によるパラメータは山田<sup>[40]</sup>を参考した。

#### (3) 均衡状態の仮定

基準年における均衡は、すべての需要・供給、輸出・輸入、税の収入・支出などの要素が一致しているため、本文では「絶対均衡」と呼ぶ。浙江省における応用一般均衡モデルは、パラメータの限界により「絶対均衡」にならない。そのため、基準年における「相対均衡」で分析を行う。

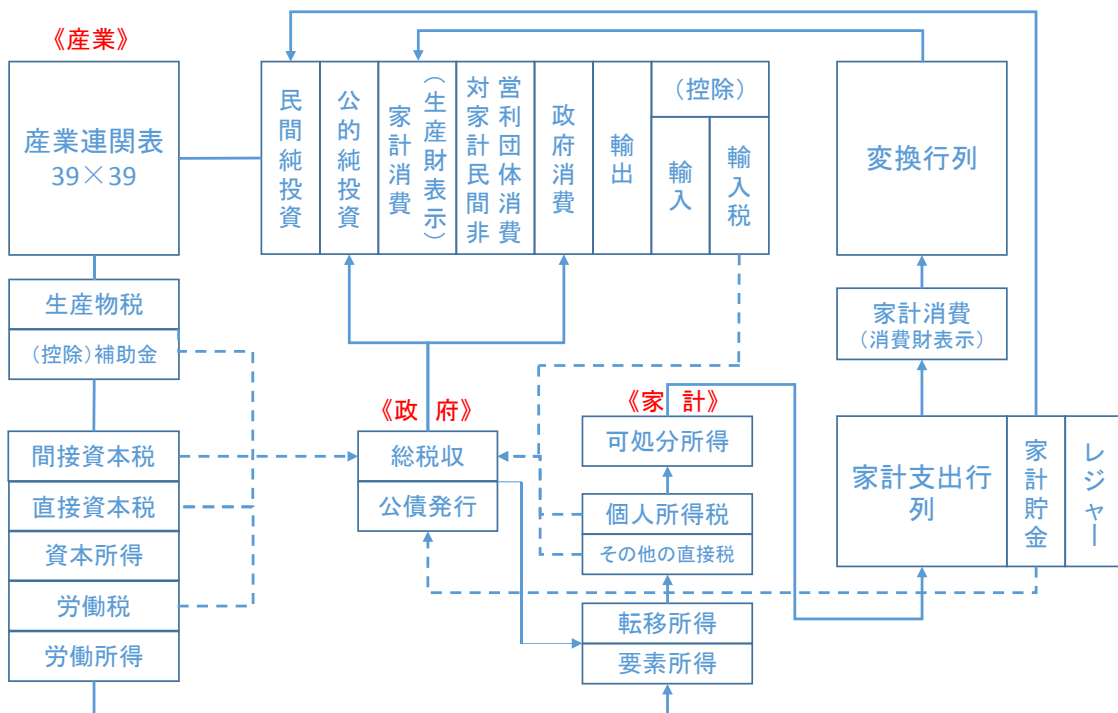


図 4-3 AGE 日本モデルの基本構造

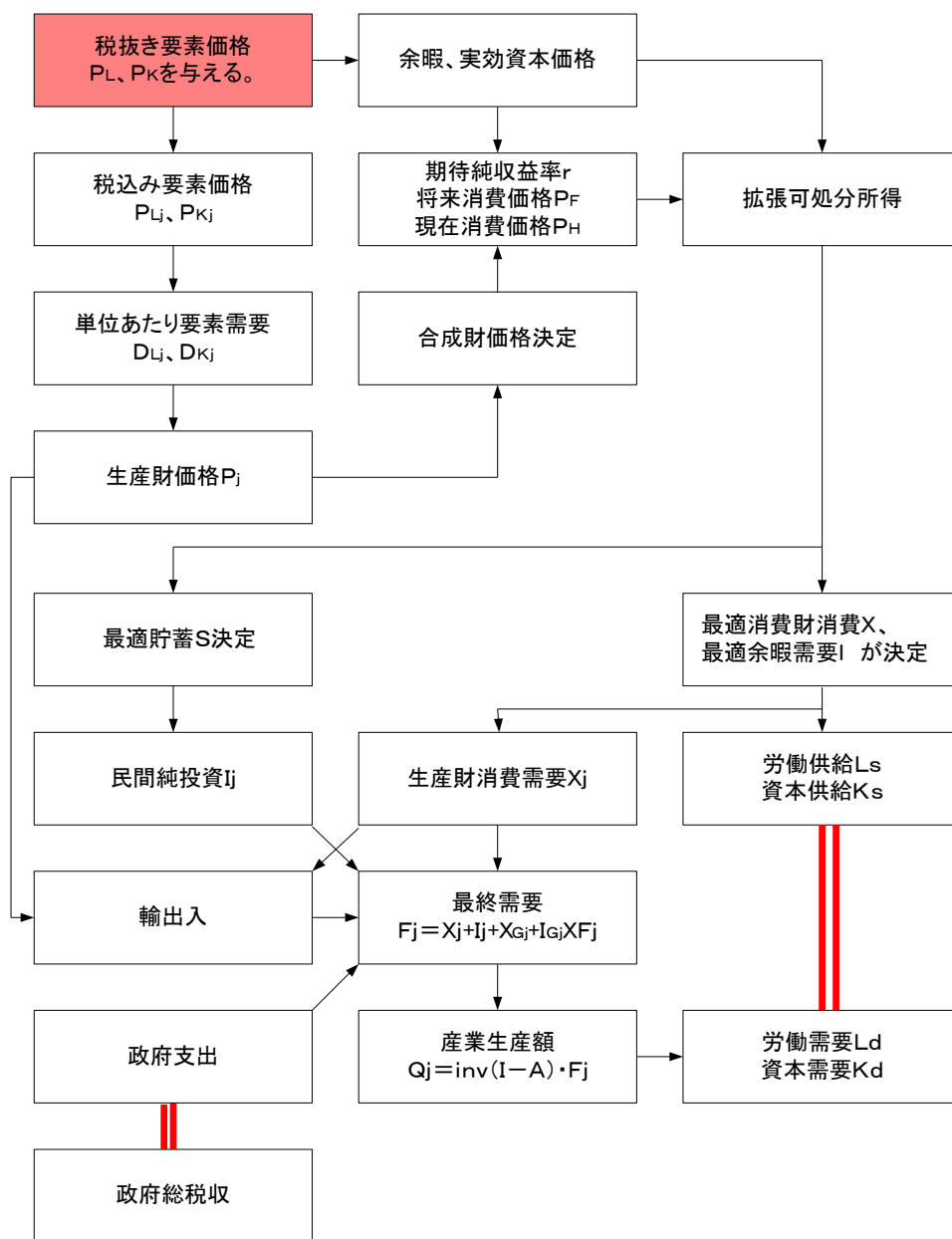


図 4-4 AGE 日本モデルにおける均衡計算のフローチャート

## 4.2 産業連関表の修正

本研究では、2010年の浙江省の産業連関表<sup>[26]</sup>に基づき、2010年を基準年としてデータベースを作成する。浙江省における産業連関表については、42産業に分類され、日本の産業連関表と比較して付加価値の部門が労働者賃金、営業余剰、固定資産減耗、生産税（補助金含む）のみの分類になっている。そのため、既存モデルと合うように必要な修正を行う。産業については、表4-1に示すように既存42部門から39部門へスケール調整を行った。統合と分割の割合は、具体的な産業の生産量によって決定する。一方、モデル計算のため、ほとんどすべてが輸入されている原油と天然ガスの省内生産量についても若干の修正を施した。

付加価値の部門は、労働税、生産物税などのデータの修正を行った。労働税は、雇用者負担している社会保険料（年金・国民健康保険など）である。この労働税の税率は、時代の移り変わりとともに変化している。税率の設定は、浙江省人力資源和社会保障庁<sup>[43]</sup>の基準を参考し、部門ごとの税率について山田<sup>[38]</sup>より税率を10%程度増加させた。生産物税は、その他鉱業（「開発税」）と食料品（タバコ税と酒税）部門のみ設定する。補助金は、山田<sup>[38]</sup>の純生産物税の税率を参照して設定した。これらを表4-3に示す。

一方、資本需要が浙江省の産業連関表の営業余剰を使用し、固定資本減耗については在庫純増のデータを使用した。政府に関する税収、公債、投資は、浙江省国家税務局<sup>[41]</sup>と浙江地稅<sup>[42]</sup>のデータを参照し、基準年の均衡のための修正を行った。これらは4.3.4（その他のパラメータの推定）でまとめられる。産業連関表の中の輸出入は、中国国内の部門ごとの輸出入における弾力係数がないため、省間の輸出入は海外の輸出入に含めた。これに関する関数とパラメータについては4.3.3（輸出入関数）で説明する。

輸入税は、データが公開されていないため、浙江省の産業連関表を用いて山田<sup>[38]</sup>のデータを参照し、スケール調整を行った。これらを表4-2に示す。所得税は、10%とした。

表 4-1 産業別のスケール調整

| 日本における産業 |              | 浙江省における産業 |                    |
|----------|--------------|-----------|--------------------|
| 1        | 農林水産業        | 1         | 农林牧渔业              |
| 2        | 石灰石          | 5         | 非金属矿及其他矿采选业(10%)   |
| 3        | 石炭           | 2         | 煤炭开采和洗选业           |
| 4        | 原油(50%)      | 3         | 石油和天然气开采业          |
| 5        | 天然ガス(50%)    |           |                    |
| 6        | その他鉱業        | 4         | 金属矿采选业(100%)       |
|          |              | 5         | 非金属矿及其他矿采选业(90%)   |
| 7        | 食料品          | 6         | 食品制造及烟草加工业         |
| 8        | 繊維製品         | 7         | 纺织业                |
|          |              | 8         | 纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业    |
| 9        | 木製品          | 9         | 木材加工及家具制造业         |
| 10       | 紙・パルプ(50%)   | 10        | 造纸印刷及文教体育用品制造业     |
| 11       | 印刷(50%)      |           |                    |
| 12       | 化学           | 12        | 化学工业               |
| 13       | 石油製品(85%)    | 11        | 石油加工、炼焦及核燃料加工业     |
| 14       | 石炭製品(15%)    |           |                    |
| 15       | 窯業・土石製品(50%) | 13        | 非金属矿物制品业           |
| 16       | セメント(50%)    |           |                    |
| 17       | 鉄鋼(76%)      | 14        | 金属冶炼及压延加工业         |
| 18       | 非鉄金属(24%)    |           |                    |
| 19       | 金属製品         | 15        | 金属制品业              |
| 20       | 一般機械         | 16        | 通用、专用设备制造业         |
| 21       | 電気機械         | 18        | 电气机械及器材制造业         |
| 22       | 自動車(60%)     | 17        | 交通运输设备制造业          |
| 23       | 輸送機械(40%)    |           |                    |
| 24       | 精密機械         | 19        | 通信设备、计算机及其他电子设备制造业 |
|          |              | 20        | 仪器仪表及文化办公用机械制造业    |
| 25       | その他の製造工業製品   | 21        | 工艺品及其他制造业          |
| 26       | 建設           | 26        | 建筑业                |
| 27       | 電力           | 23        | 电力、热力的生产和供应业(99%)  |
| 28       | 都市ガス         | 24        | 燃气生产和供应业           |
| 29       | 熱供給業         | 23        | 电力、热力的生产和供应业(1%)   |
| 30       | 上下水道         | 25        | 水的生产和供应业           |
| 31       | 廃棄物処理        | 22        | 废品废料               |
| 32       | 商業           | 30        | 批发和零售业             |
| 33       | 金融・保険        | 32        | 金融业                |
|          |              | 33        | 房地产业               |
| 34       | 不動産          | 34        | 租赁业和商务服务业          |
|          |              | 27        | 交通运输及仓储业           |
| 35       | 運輸           | 28        | 邮政业                |
|          |              | 29        | 信息传输、计算机服务和软件业     |
| 36       | 通信・放送        | 31        | 住宿和餐饮业             |
| 37       | サービス業        | 41        | 文化、体育和娱乐业          |
|          |              | 35        | 研究与试验发展业           |
|          |              | 36        | 综合技术服务业            |
|          |              | 37        | 水利、环境和公共设施管理业      |
| 38       | 政府サービス       | 38        | 居民服务和其他服务业         |
|          |              | 39        | 教育                 |
|          |              | 40        | 卫生、社会保障和社会福利业      |
| 39       | 対家計民間非営利サービス | 42        | 公共管理和社会组织          |

表 4-2 輸出入における輸入税（億円）

|      | 1       | 2       | 3        | 4       | 5       | 6       | 7        | 8        | 9         | 10      |
|------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|----------|----------|-----------|---------|
|      | 農林水産業   | 石灰石     | 石炭       | 原油      | 天然ガス    | その他鉱業   | 食料品      | 繊維製品     | 木製品       | 紙・パルプ   |
| 輸出   | 426.6   | 5.8     | 19.6     | 181.8   | 181.8   | 2617.4  | 7369.3   | 53396.0  | 7864.6    | 3998.2  |
| 輸入   | 5913.3  | 51.3    | 10767.0  | 5196.9  | 5987.7  | 4442.7  | 5090.4   | 13363.4  | 2332.5    | 1473.4  |
| 輸入税  | 307.7   | 1.5     | 323.0    | 1228.2  | 437.4   | 133.3   | 1207.9   | 1679.8   | 129.0     | 53.3    |
| 輸出入  | -5794.4 | -47.1   | -11070.4 | -6243.3 | -6243.3 | -1958.6 | 1071.0   | 38352.8  | 5403.2    | 2471.5  |
| 輸入税率 | 5.203%  | 2.947%  | 3.000%   | 23.633% | 7.305%  | 3.000%  | 23.728%  | 12.570%  | 5.531%    | 3.616%  |
|      | 11      | 12      | 13       | 14      | 15      | 16      | 17       | 18       | 19        | 20      |
|      | 印刷      | 化学      | 石油製品     | 石炭製品    | 窯業・土石製品 | セメント    | 鉄鋼       | 非鉄金属     | 金属製品      | 一般機械    |
| 輸出   | 3998.2  | 28242.6 | 10290.2  | 1815.9  | 1359.2  | 1359.2  | 4971.6   | 1570.0   | 7191.9    | 22920.9 |
| 輸入   | 1483.5  | 26281.7 | 13158.9  | 2408.2  | 1970.9  | 1979.2  | 41453.4  | 13179.7  | 11443.5   | 7377.1  |
| 輸入税  | 43.2    | 1193.6  | 926.6    | 77.5    | 76.6    | 68.3    | 1784.5   | 474.4    | 425.2     | 221.3   |
| 輸出入  | 2471.5  | 767.4   | -3795.3  | -669.8  | -688.3  | -688.3  | -38266.4 | -12084.1 | -4676.8   | 15322.5 |
| 輸入税率 | 2.911%  | 4.541%  | 7.042%   | 3.217%  | 3.886%  | 3.453%  | 4.305%   | 3.600%   | 3.716%    | 3.000%  |
|      | 21      | 22      | 23       | 24      | 25      | 26      | 27       | 28       | 29        | 30      |
|      | 電気機械    | 自動車     | 輸送機械     | 精密機械    | 他の製造工業  | 建設      | 電力       | 都市ガス     | 熱供給業      | 上下水道    |
| 輸出   | 24559.4 | 13112.0 | 8741.3   | 12465.6 | 7524.0  | 0.0     | 729.0    | 0.0      | 7.4       | 0.0     |
| 輸入   | 4191.7  | 597.4   | 398.6    | 6111.1  | 1166.5  | 0.0     | 4317.0   | 449.1    | 43.6      | 5.0     |
| 輸入税  | 125.8   | 17.9    | 11.6     | 182.6   | 77.4    | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0       | 0.0     |
| 輸出入  | 20241.9 | 12496.7 | 8331.2   | 6171.9  | 6280.1  | 0.0     | -3588.0  | -449.1   | -36.2     | -5.0    |
| 輸入税率 | 3.000%  | 2.992%  | 2.913%   | 2.988%  | 6.635%  | 0.000%  | 0.000%   | 0.000%   | 0.000%    | 0.000%  |
|      | 31      | 32      | 33       | 34      | 35      | 36      | 37       | 38       | 39        |         |
|      | 廃棄物処理   | 商業      | 金融・保険    | 不動産     | 運輸      | 通信・放送   | サービス業    | 政府サービス   | 民間非営利サービス |         |
| 輸出   | 205.9   | 7388.4  | 0.0      | 973.3   | 2155.8  | 513.4   | 4861.6   | 1167.0   | 0.0       |         |
| 輸入   | 5183.1  | 3818.1  | 0.0      | 324.6   | 2330.4  | 578.6   | 3287.3   | 1421.1   | 0.0       |         |
| 輸入税  | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 1.0      | 0.0      | 0.0       |         |
| 輸出入  | -4977.2 | 3570.3  | 0.0      | 648.7   | -174.6  | -65.2   | 1573.3   | -254.1   | 0.0       |         |
| 輸入税率 | 0.000%  | 0.000%  | 0.000%   | 0.000%  | 0.000%  | 0.000%  | 0.031%   | 0.000%   | 0.000%    |         |

表 4-3 産業連関表の調整による各要素の税率

|            | 資本使用<br>(億元) | 資本税<br>(億元) | 資本税率<br>(%) | 資本使用<br>(億元) | 資本税<br>(億元) | 資本税率<br>(%) | 生産物税<br>(億元) | 補助金<br>(億元) | 純生産物<br>税(億<br>元) | 付加価値<br>(億元) | 純生産物<br>税率(%) |
|------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------------|--------------|---------------|
| 1 農林水産業    | 1063.35      | 161.89      | 15.22%      | 7.04         | 3.24        | 46.06%      | 0.00         | -35.66      | -35.66            | 1323.51      | -2.69%        |
| 2 石灰石      | 1.67         | 0.34        | 20.12%      | 0.96         | 0.12        | 12.16%      | 0.00         | -0.01       | -0.01             | 4.67         | -0.23%        |
| 3 石炭       | 1.39         | 0.29        | 20.55%      | 2.00         | 0.25        | 12.55%      | 0.06         | -0.03       | 0.03              | 4.33         | 0.80%         |
| 4 原油       | 0.00         | 0.00        | 20.55%      | 0.00         | 0.00        | 15.71%      | 0.00         | 0.00        | 0.00              | 0.00         | -0.65%        |
| 5 天然ガス     | 0.01         | 0.00        | 20.55%      | 0.01         | 0.00        | 15.71%      | 0.00         | 0.00        | 0.00              | 0.02         | -0.65%        |
| 6 その他鉱業    | 18.22        | 3.38        | 18.57%      | 20.69        | 1.94        | 9.36%       | 0.32         | -0.20       | 0.11              | 59.33        | 0.19%         |
| 7 食料品      | 144.97       | 25.60       | 17.66%      | 250.13       | 105.34      | 42.11%      | 105.34       | -19.15      | 86.19             | 599.94       | 14.37%        |
| 8 繊維製品     | 885.58       | 164.57      | 18.58%      | 825.53       | 255.80      | 30.99%      | 0.00         | -23.25      | -23.25            | 2383.87      | -0.98%        |
| 9 木製品      | 114.96       | 22.37       | 19.46%      | 116.36       | 47.90       | 41.16%      | 0.00         | -4.35       | -4.35             | 342.25       | -1.27%        |
| 10 紙・パルプ   | 84.18        | 16.08       | 19.11%      | 84.34        | 29.64       | 35.14%      | 0.00         | -2.69       | -2.69             | 257.21       | -1.05%        |
| 11 印刷      | 84.77        | 15.50       | 18.28%      | 84.34        | 29.64       | 35.14%      | 0.00         | -2.69       | -2.69             | 257.21       | -1.05%        |
| 12 化学      | 399.67       | 75.24       | 18.82%      | 912.32       | 230.05      | 25.22%      | 0.00         | -20.91      | -20.91            | 1914.08      | -1.09%        |
| 13 石油製品    | 12.66        | 2.29        | 18.07%      | 62.05        | 103.23      | 166.38%     | 0.00         | -9.38       | -9.38             | 196.33       | -4.78%        |
| 14 石炭製品    | 2.23         | 0.40        | 18.07%      | 10.95        | 18.22       | 166.38%     | 0.00         | -1.66       | -1.66             | 34.65        | -4.78%        |
| 15 窯業・土石製品 | 61.37        | 11.90       | 19.38%      | 110.45       | 16.63       | 15.05%      | 0.00         | -1.51       | -1.51             | 247.39       | -0.61%        |
| 16 セメント    | 61.37        | 11.90       | 19.38%      | 110.45       | 16.63       | 15.05%      | 0.00         | -1.51       | -1.51             | 247.39       | -0.61%        |
| 17 鉄鋼      | 68.65        | 13.19       | 19.21%      | 204.60       | 37.72       | 18.44%      | 0.00         | -3.43       | -3.43             | 373.48       | -0.92%        |
| 18 非鉄金属    | 21.70        | 4.15        | 19.11%      | 64.61        | 11.91       | 18.44%      | 0.00         | -1.08       | -1.08             | 117.94       | -0.92%        |
| 19 金属製品    | 206.19       | 39.21       | 19.02%      | 226.82       | 72.62       | 32.02%      | 0.00         | -6.60       | -6.60             | 601.38       | -1.10%        |
| 20 一般機械    | 515.58       | 98.91       | 19.18%      | 608.36       | 193.04      | 31.73%      | 0.00         | -17.55      | -17.55            | 1606.47      | -1.09%        |
| 21 電気機械    | 280.78       | 54.30       | 19.34%      | 362.67       | 123.88      | 34.16%      | 0.00         | -11.26      | -11.26            | 911.00       | -1.24%        |
| 22 自動車     | 174.39       | 34.09       | 19.55%      | 167.42       | 56.75       | 33.90%      | 0.00         | -5.16       | -5.16             | 484.21       | -1.07%        |
| 23 輸送機械    | 116.51       | 22.47       | 19.29%      | 111.61       | 37.83       | 33.90%      | 0.00         | -3.44       | -3.44             | 322.81       | -1.07%        |
| 24 精密機械    | 220.46       | 41.35       | 18.75%      | 250.99       | 21.84       | 8.70%       | 0.00         | -1.99       | -1.99             | 610.73       | -0.33%        |
| 25 その他の製造工 | 135.61       | 25.55       | 18.84%      | 86.60        | 41.13       | 47.50%      | 0.00         | -3.74       | -3.74             | 324.44       | -1.15%        |
| 26 建設      | 971.67       | 181.66      | 18.70%      | 171.23       | 327.71      | 191.38%     | 0.00         | -29.79      | -29.79            | 1735.78      | -1.72%        |
| 27 電力      | 76.29        | 14.05       | 18.42%      | 264.96       | 24.54       | 9.26%       | 0.00         | -2.23       | -2.23             | 712.09       | -0.31%        |
| 28 都市ガス    | 2.81         | 0.56        | 19.83%      | 3.17         | 0.25        | 7.91%       | 0.00         | -2.76       | -2.76             | 16.36        | -16.86%       |
| 29 熱供給業    | 0.77         | 0.14        | 18.47%      | 2.68         | 0.25        | 9.26%       | 0.00         | -0.02       | -0.02             | 7.19         | -0.31%        |
| 30 上下水道    | 12.61        | 2.00        | 15.89%      | 15.09        | 0.46        | 3.06%       | 0.00         | -0.04       | -0.04             | 54.49        | -0.08%        |
| 31 廃棄物処理   | 17.09        | 3.23        | 18.89%      | 48.60        | 3.71        | 7.63%       | 0.00         | -0.34       | -0.34             | 77.72        | -0.43%        |
| 32 商業      | 432.35       | 77.02       | 17.81%      | 1164.90      | 760.44      | 65.28%      | 0.00         | -69.13      | -69.13            | 2529.04      | -2.73%        |
| 33 金融・保険   | 495.94       | 90.62       | 18.27%      | 1487.89      | 412.69      | 27.74%      | 0.00         | -37.52      | -37.52            | 2567.72      | -1.46%        |
| 34 不動産     | 336.63       | 56.31       | 16.73%      | 579.88       | 268.53      | 46.31%      | 0.00         | -24.41      | -24.41            | 2137.76      | -1.14%        |
| 35 運輸      | 308.07       | 60.04       | 19.49%      | 463.23       | 104.58      | 22.58%      | 0.00         | -9.51       | -9.51             | 1174.58      | -0.81%        |
| 36 通信・放送   | 117.87       | 28.00       | 23.76%      | 237.96       | 46.88       | 19.70%      | 0.00         | -4.26       | -4.26             | 609.12       | -0.70%        |
| 37 サービス業   | 292.44       | 53.59       | 18.33%      | 171.08       | 110.93      | 64.84%      | 0.00         | -10.08      | -10.08            | 715.16       | -1.41%        |
| 38 政府サービス  | 1009.45      | 229.50      | 22.74%      | 326.32       | 58.60       | 17.96%      | 0.00         | -5.33       | -5.33             | 1776.10      | -0.30%        |
| 39 対家計民間非  | 672.88       | 125.45      | 18.64%      | 3.23         | 2.95        | 91.20%      | 0.00         | -0.27       | -0.27             | 826.74       | -0.03%        |

### 4.3 関数とパラメータの決定

日本と中国の経済構造は、様々な違いがある。産業の構造、家計効用、公私投資比率などの違いにより、モデル中の関数のパラメータを独自に与えなければならない。本節では、産業における生産関数、家計における効用関数、輸出入における CES 型関数の順に説明し、関数におけるパラメータの推定を行う。また、基準年に均衡を達成するために推定されるほかのパラメータは 4.3.4（その他のパラメータの推定）でまとめる。

#### 4.3.1 生産関数

産業ごとの代替弾力性係数に関する信頼できる推定値が浙江省において利用可能でないため、本モデルでは CES 型生産関数ではなく式 4-4 に示すようにコブ・ダグラス生産関数を選択した。 $a_j$  と  $r_j$  は関数に依存している産業ごとのパラメータである。 $VA_j$ ,  $L_j$ ,  $K_j$  はそれぞれ産業ごとの付加価値、労働、資本である。また、 $a_j$  と  $r_j$  は粗要素費用最小化条件に基づき、式 4-5 と式 4-6 から算出した。 $t_L$  は労働税、 $p_L$  は労働価格、 $t_K$  は資本税、 $p_K$  は資本価格である。結果を表 4-4 に示す。

$$VA_j = r_j L_j^{\alpha_j} K_j^{(1-\alpha_j)} \quad \text{式 4-4}$$

$$\alpha_j = \frac{(1+t_{Lj})p_L L_j}{(1+t_{Lj})p_L L_j + (1+t_{Kj})p_K K_j} \quad \text{式 4-5}$$

$$r_j = \frac{(1+t_{Lj})p_L L_j + (1+t_{Kj})p_K K_j}{L_j^{\alpha_j} K_j^{(1-\alpha_j)}} \quad \text{式 4-6}$$



表 4-4 生産関数によるパラメータ

|          | 1      | 2      | 3      | 4      | 5       | 6      | 7      | 8      | 9            | 10     |
|----------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------------|--------|
|          | 農林水産業  | 石灰石    | 石炭     | 原油     | 天然ガス    | その他鉱業  | 食料品    | 繊維製品   | 木製品          | 紙・パルプ  |
| $\alpha$ | 0.9917 | 0.6499 | 0.4272 | 0.4204 | 0.4204  | 0.4885 | 0.3242 | 0.4927 | 0.4554       | 0.4680 |
| $\gamma$ | 1.2115 | 2.2408 | 2.2934 | 2.3246 | 2.3246  | 2.2747 | 2.5099 | 2.4942 | 2.6062       | 2.5425 |
|          | 11     | 12     | 13     | 14     | 15      | 16     | 17     | 18     | 19           | 20     |
|          | 印刷     | 化学     | 石油製品   | 石炭製品   | 窯業・土石製品 | セメント   | 鉄鋼     | 非鉄金属   | 金属製品         | 一般機械   |
| $\alpha$ | 0.4680 | 0.2936 | 0.0829 | 0.0829 | 0.3657  | 0.3657 | 0.2525 | 0.2525 | 0.4504       | 0.4340 |
| $\gamma$ | 2.5342 | 2.2589 | 3.3139 | 3.3139 | 2.2487  | 2.2487 | 2.0873 | 2.0869 | 2.5075       | 2.5007 |
|          | 21     | 22     | 23     | 24     | 25      | 26     | 27     | 28     | 29           | 30     |
|          | 電気機械   | 自動車    | 輸送機械   | 精密機械   | 他の製造工業  | 建設     | 電力     | 都市ガス   | 熱供給業         | 上下水道   |
| $\alpha$ | 0.4078 | 0.4819 | 0.4819 | 0.4897 | 0.5579  | 0.6980 | 0.2378 | 0.4960 | 0.2378       | 0.4845 |
| $\gamma$ | 2.5147 | 2.5339 | 2.5312 | 2.2698 | 2.5975  | 2.8723 | 1.9277 | 2.2732 | 1.9279       | 2.1807 |
|          | 31     | 32     | 33     | 34     | 35      | 36     | 37     | 38     | 39           |        |
|          | 廃棄物処理  | 商業     | 金融・保険  | 不動産    | 運輸      | 通信・放送  | サービス業  | 政府サービス | 対家計民間非営利サービス |        |
| $\alpha$ | 0.2798 | 0.2092 | 0.2358 | 0.3165 | 0.3933  | 0.3387 | 0.5510 | 0.7630 | 0.9923       |        |
| $\gamma$ | 2.0019 | 2.5717 | 2.1660 | 2.5428 | 2.3720  | 2.2962 | 2.7321 | 2.1024 | 1.2456       |        |

#### 4.3.2 効用関数

家計における効用関数は、応用一般均衡分析<sup>[37]</sup>の 2 段階 CES 型を想定し、式 4-7、式 4-8 に示す。  $U$  は効用、  $H$  は現在消費、  $C_F$  は将来消費、  $X$  は合成消費財、  $l$  はレジャー、  $\sigma_1$  は労働供給弾力性係数、  $\sigma_2$  は貯蓄弾力性係数、  $\nu$  と  $\varphi$  は  $\sigma_1$  と  $\sigma_2$  に関するパラメータである。パラメータ  $\alpha$  と  $\beta$  は、産業連関表における家計の貯蓄と消費に基づいて求める。具体的には、基準年の「相対均衡」を達成するために逆に貯蓄・消費・労働需要を定数とし、パラメータ  $\alpha$  と  $\beta$  を変数として最適値を求める。また、貯蓄の純収益率に対する弾力性 ( $\eta$ ) や労働供給量に対する労働保有比率 ( $\zeta$ ) などの家計に関するパラメータは、山田<sup>[40]</sup>の値を利用した。これらを表 4-5 に示す。

$$U = U \left[ \alpha \frac{1}{\sigma_2} H^\nu + (1-\alpha) \frac{1}{\sigma_2} C_F^\nu \right]^{\frac{1}{\nu}} \quad \text{式 4-7}$$

$$H = \left[ (1-\beta) \frac{1}{\sigma_1} X^\varphi + \beta \frac{1}{\sigma_1} l^\varphi \right]^{\frac{1}{\varphi}} \quad \text{式 4-8}$$

表 4-5 効用関数に関するパラメータ

| 説明                 | 記号         | 値       |
|--------------------|------------|---------|
| 資本純収益率             | $\delta$   | 0.063   |
| 貯蓄の純収益率に対する弾力性     | $\eta$     | 0.1     |
| 税抜き労働価格に関する労働供給弾力性 | $\xi$      | 0.05    |
| 労働供給量に対する労働保有比率    | $\zeta$    | 2.14    |
| 税抜き労働価格に関する余暇需要弾力性 | $\kappa$   | -0.0439 |
| パラメータ              | $\sigma_1$ | 0.7540  |
| 推定したパラメータ          | $\beta$    | 0.6767  |
| パラメータ              | $\sigma_2$ | 1.1123  |
| パラメータ              | $\varphi$  | -0.3263 |
| 推定したパラメータ          | $\alpha$   | 0.5904  |

#### 4.3.3 輸出入関数

輸出入は比較優位の考え方に従って、国内財と海外財の価格差と国民所得によって決まるとする。その際、アーミントン仮定を置くことで、弾力性を置いた不完全代替として定式化する。また、海外での財の需要は一定であると仮定し、輸出は国内財と海外財の価格差のみに依存するとする。輸出入、輸出、輸入の関数は、それぞれ式 4-9、式 4-10、式 4-11 に示す。 $E$  は輸出入、 $o$  は輸出、 $i$  は輸入、 $t_i$  は輸入の税率、 $p$  は生産財の価格、 $o'$  は輸出の基準値、 $p_w$  は世界価格、 $i'$  は輸入の基準値、 $c$  は消費、 $t$  は投資、 $c'$  は消費の基準値、 $o''$  は輸出の基準値、 $t'$  は投資の基準値、 $\omega$  は輸出の価格弾力性係数、 $\mu$  は輸入の価格弾力性係数、 $\theta$  は所得弾力性係数である。

浙江省の場合は、輸出入について信用できる部門ごとの価格弾力性係数がないため、山田<sup>[40]</sup> の係数を使用した。ただし、日本の場合には電力の需給がすべて国内で供給され、電力部門の輸入価格弾力性と輸出価格弾力はゼロとなった。これは、需要より供給がなりないう浙江省の現状と矛盾する。そのため、本研究で中心となる電力部門については別途、価格弾力性係数の推定を行う。

$$E_j = \frac{o_j - i_j \times (t_{i_j} + 1)}{p_j} \quad \text{式 4-9}$$

$$o_j = o'_j \left( \frac{p_j}{p_{w_j}} \right)^\omega \quad \text{式 4-10}$$

$$i_j = i'_j \left( \frac{p_j}{(t_{ij}+1) \times p_{w_j}} \right)^\mu \times \left( \frac{\sum_j c_j + \sum_j o_j + \sum_j t_j}{\sum_j c'_j + \sum_j o'_j + \sum_j t'_j} \right)^\theta \quad \text{式 4-11}$$

価格弾力性とは価格変更に対する需要の反応の尺度をいう。価格の変化率に対して需要の変化率が高いほど弾力的であり、低ければその逆となる。そのため、浙江省における電源計画モデルに基づいていくつか隣省からの送電価格を設定し、需要による輸入の価格弾力性係数が大まかに推定できる。結果を表 4-6 に示す。本モデルなかの電力部門の輸入弾力性係数は、1.95 と 1.57 の平均値 1.76 を使用した。全産業の輸出の価格弾力性係数、輸入の価格弾力性係数、所得弾力性係数を、表 4-7 に示す。世界価格は 1 で固定した。

表 4-6 電力部門における輸入の価格弾力性係数の推定結果

| 平均価格<br>(kWh/元) | 価格 (kWh/元) | 送電分 (%) | 値上げ (%) | μ値   |
|-----------------|------------|---------|---------|------|
| 0.26            | 0.2        | 50%     | -23.1%  | 1.95 |
| 0.26            | 0.25       | 6%      | -3.8%   | 1.57 |
| 0.26            | 0.3        | 0%      | 15.4%   | 0    |

表 4-7 輸出入に関するパラメータ

|          | 1     | 2     | 3     | 4     | 5       | 6     | 7     | 8      | 9            | 10    |
|----------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|--------|--------------|-------|
|          | 農林水産業 | 石灰石   | 石炭    | 原油    | 天然ガス    | その他鉱業 | 食料品   | 繊維製品   | 木製品          | 紙・パルプ |
| $\mu$    | 0.11  | 0.97  | 0.97  | 0.97  | 0.97    | 0.97  | 0.84  | 0.33   | 0.56         | 0.56  |
| $\theta$ | 0.45  | 1.08  | 1.08  | 1.08  | 1.08    | 1.08  | 0.45  | 1.10   | 1.10         | 1.10  |
| $\omega$ | -0.68 | -1.86 | -1.86 | -1.86 | -1.86   | -1.86 | -2.31 | -1.31  | -0.29        | -0.29 |
|          | 11    | 12    | 13    | 14    | 15      | 16    | 17    | 18     | 19           | 20    |
|          | 印刷    | 化学    | 石油製品  | 石炭製品  | 窯業・土石製品 | セメント  | 鉄鋼    | 非鉄金属   | 金属製品         | 一般機械  |
| $\mu$    | 0.56  | 0.03  | 0.25  | 0.25  | 1.54    | 1.54  | 0.27  | 0.27   | 0.93         | 2.43  |
| $\theta$ | 1.10  | 1.10  | 1.10  | 1.10  | 1.10    | 1.10  | 1.10  | 1.10   | 1.10         | 1.10  |
| $\omega$ | -0.29 | -1.59 | 0.00  | 0.00  | -1.71   | -1.71 | -0.60 | -0.60  | -2.19        | -1.40 |
|          | 21    | 22    | 23    | 24    | 25      | 26    | 27    | 28     | 29           | 30    |
|          | 電気機械  | 自動車   | 輸送機械  | 精密機械  | 他の製造工業  | 建設    | 電力    | 都市ガス   | 熱供給業         | 上下水道  |
| $\mu$    | 0.03  | 0.03  | 0.03  | 2.43  | 1.87    | 0.00  | 1.76  | 0.00   | 0.00         | 0.00  |
| $\theta$ | 1.10  | 1.10  | 1.10  | 1.10  | 1.10    | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00         | 0.00  |
| $\omega$ | -1.48 | -0.88 | -0.88 | -1.75 | -2.08   | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00         | 0.00  |
|          | 31    | 32    | 33    | 34    | 35      | 36    | 37    | 38     | 39           |       |
|          | 廃棄物処理 | 商業    | 金融・保険 | 不動産   | 運輸      | 通信・放送 | サービス業 | 政府サービス | 対家計民間非営利サービス |       |
| $\mu$    | 0.00  | 0.03  | 0.03  | 0.00  | 0.39    | 0.39  | 1.70  | 0.00   | 0.00         |       |
| $\theta$ | 0.00  | 1.10  | 1.10  | 0.00  | 1.10    | 1.10  | 1.10  | 0.00   | 0.00         |       |
| $\omega$ | 0.00  | -1.33 | -1.03 | 0.00  | -1.03   | -1.03 | -1.03 | 0.00   | 0.00         |       |

#### 4.3.4 その他のパラメータの推定

基準年の「相対均衡」を達成するため、多くのパラメータをもう一度構築しなければならない。政府に関する税金・公債・投資・消費，政府・民間による部門ごとの投資・消費シェア，家計に関する労働所得・資本所得・移転所得などのパラメータを説明する。政府に関する税金・公債・投資・消費の修正値を，表 4-8 に示す。政府・民間による部門ごとの投資・消費シェアを，表 4-9 に示す。

表 4-8 基準年の政府の収入・支出（億元）

| 税金     | 公債     | 政府投資   | 政府消費   | 均衡  |
|--------|--------|--------|--------|-----|
| 7896.8 | 2631.7 | 4476.9 | 6048.9 | 2.7 |

表 4-9 基準年の政府と民間における消費・投資シェア（合計1となる）

|                 | 民間     |        | 政府     |        |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|
|                 | 支出シェア  | 投資シェア  | 消費シェア  | 投資シェア  |
| 1 農林水産業         | 0.0689 | 0.0189 | 0.0039 | 0.0210 |
| 2 石灰石           | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 3 石炭            | 0.0003 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 4 原油            | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 5 天然ガス          | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 6 その他鉱業         | 0.0000 | 0.0012 | 0.0000 | 0.0000 |
| 7 食料品           | 0.1142 | 0.0022 | 0.0000 | 0.0000 |
| 8 繊維製品          | 0.0678 | 0.0106 | 0.0000 | 0.0000 |
| 9 木製品           | 0.0090 | 0.0078 | 0.0000 | 0.0054 |
| 10 紙・パルプ        | 0.0053 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0000 |
| 11 印刷           | 0.0053 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0000 |
| 12 化学           | 0.0354 | 0.0106 | 0.0000 | 0.0000 |
| 13 石油製品         | 0.0158 | 0.0021 | 0.0000 | 0.0000 |
| 14 石炭製品         | 0.0028 | 0.0004 | 0.0000 | 0.0000 |
| 15 窯業・土石製品      | 0.0056 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 |
| 16 セメント         | 0.0056 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 |
| 17 鉄鋼           | 0.0015 | 0.0049 | 0.0000 | 0.0000 |
| 18 非鉄金属         | 0.0005 | 0.0016 | 0.0000 | 0.0000 |
| 19 金属製品         | 0.0023 | 0.0184 | 0.0000 | 0.0132 |
| 20 一般機械         | 0.0002 | 0.2473 | 0.0000 | 0.2606 |
| 21 電気機械         | 0.0090 | 0.0460 | 0.0000 | 0.0400 |
| 22 自動車          | 0.0274 | 0.0190 | 0.0000 | 0.0073 |
| 23 輸送機械         | 0.0183 | 0.0126 | 0.0000 | 0.0049 |
| 24 精密機械         | 0.0218 | 0.0148 | 0.0000 | 0.0140 |
| 25 その他の製造工業製品   | 0.0169 | 0.0022 | 0.0000 | 0.0000 |
| 26 建設           | 0.0047 | 0.5096 | 0.0000 | 0.5664 |
| 27 電力           | 0.0240 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 28 都市ガス         | 0.0049 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 29 熱供給業         | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 30 上下水道         | 0.0033 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 31 廃棄物処理        | 0.0000 | 0.0014 | 0.0000 | 0.0000 |
| 32 商業           | 0.0595 | 0.0138 | 0.0000 | 0.0092 |
| 33 金融・保険        | 0.1155 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 |
| 34 不動産          | 0.1249 | 0.0363 | 0.0325 | 0.0403 |
| 35 運輸           | 0.0250 | 0.0049 | 0.0329 | 0.0043 |
| 36 通信・放送        | 0.0453 | 0.0117 | 0.0000 | 0.0130 |
| 37 サービス業        | 0.0732 | 0.0000 | 0.0165 | 0.0000 |
| 38 政府サービス       | 0.0855 | 0.0004 | 0.3749 | 0.0004 |
| 39 対家計民間非営利サービス | 0.0001 | 0.0000 | 0.5391 | 0.0000 |

家計に関する労働所得・資本所得・移転所得などのパラメータを、表 4-10 に示す。

表 4-10 基準年の家計に関する属性（億元）

| 労働所得    | 資本所得   | 移転所得  | 拡張可処分所得 | 貯蓄     | レジャー    |
|---------|--------|-------|---------|--------|---------|
| 18556.7 | 8809.5 | 417.3 | 27661.0 | 8132.1 | 10729.1 |

#### 4.4 均衡状態の達成

上記のデータとパラメータを入力し、資本価格と労働価格の基本単位を変数として基準年の均衡が達成できる。本モデルでは、すべてのパラメータの推定は行わず、データ取得の限界より一部のパラメータは山田<sup>[40]</sup>より引用する。そのため、基準年における均衡は「絶対均衡」ではなく、「相対均衡」である。よって、環境政策及び電源構成による経済への影響と CO<sub>2</sub> 排出削減の定量的な分析は必ずしも高い精度を持って推定することはできない。しかし、それでも分析結果から、この政策案の特徴や利点などを定性的に引き出すことは可能であると考えられる。

また、分析結果を表す前に、本研究で構築した浙江省における応用一般均衡モデルの留意事項を説明する。

(1) 本研究で用いた応用一般均衡モデルは静態モデルである。均衡が崩れてから再均衡を達成するまでの時間は分からない。そのため、解析の結果では、均衡になった状態、及び均衡の達成に至る過程に着目すべきであると考えられる。

(2) モデルでは、古典経済学の完全競争を前提条件として多くの単純化された関数を使用されるため、現実の経済行動と合わない可能性もある。

(3) 浙江省における石炭・原油・天然ガス・その他の鉱業・石油製品・鉄鋼・非鉄金属・窯業土石製品・セメント・廃棄物処理部門の輸入量は非常に大きく、需要の半分以上を占めている。原油・天然ガスは全て隣省と海外から輸入されている。結果の表と図の解釈する場合、この点に注意しなければならない。

(4) 中国における部門ごとの CO<sub>2</sub> 排出量原単位のデータがないが、Lin<sup>[44]</sup>を参考して作成した。部門ごとの CO<sub>2</sub> 排出量の規模は、現実と多少の違いがある。

## 第5章 環境政策・電源構成による経済への影響

本章では、3.5 のシミュレーション結果と第 4 章で構築した浙江省における応用一般均衡モデルに基づき、短期と長期の視点から 3 つのシナリオを設定し、環境税と電源構成による経済への影響を総合的に評価する。研究全体の構造を、図 5-1 に示す。

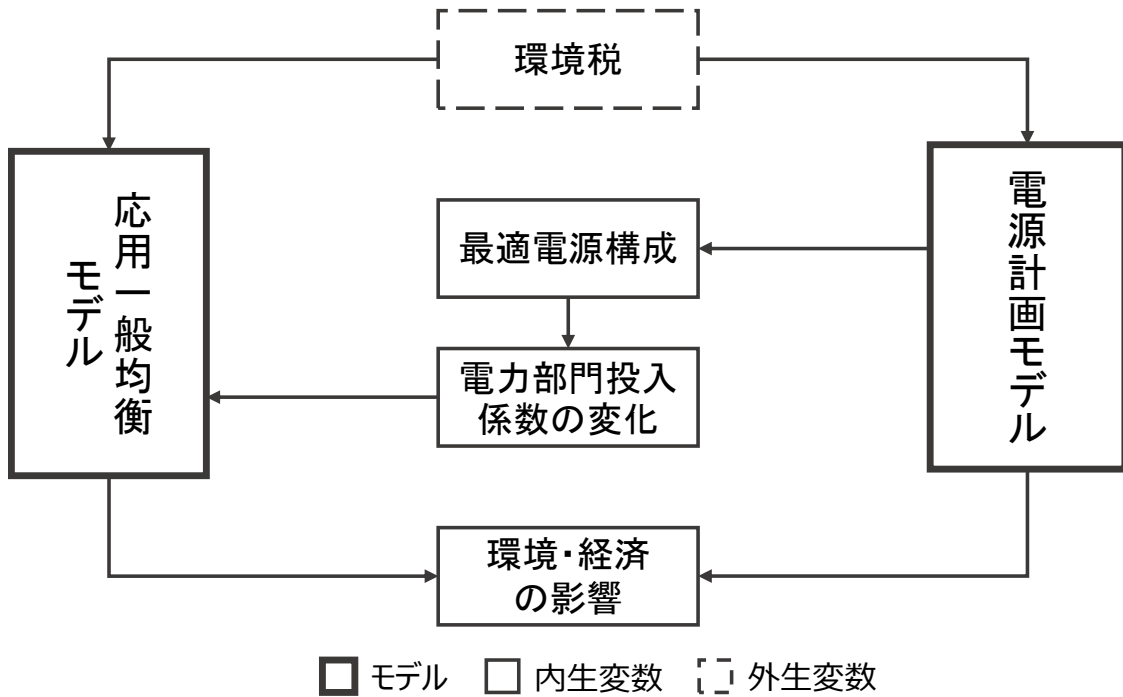


図 5-1 研究全体の構造

### 5.1 シナリオの設定

シナリオについては、環境税による経済への影響をシナリオ 1 とし、電源構成による経済への影響をシナリオ 2 とし、環境税と電源構成の二重影響をシナリオ 3 とした。各シナリオの構造は、図 5-2 に示す。具体的なケースごとの説明を、表 5-1 に示す。

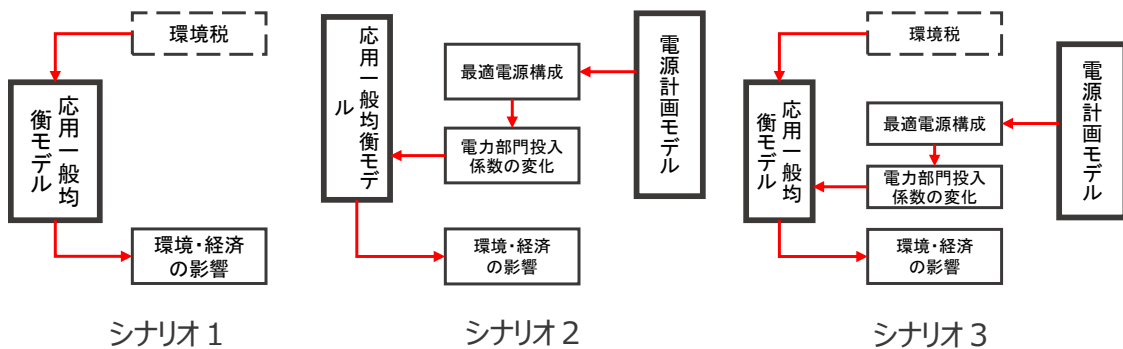


図 5-2 各シナリオの構造

シナリオ 1 は、環境税の税率が浙江省における電源計画モデルの中の税率と一致し、それぞれ CO<sub>2</sub>1 トンあたり 20 元（ケース 1）と 200 元（ケース 2）を仮定した。税金は生産物税のなかに入れ、税収の使用用途を設定しない。ここでの考察は、主に違う税率による CO<sub>2</sub>削減効果と経済影響である。経済影響は、税による産業ごとの産出変化や、省内の厚生変化などを中心に定量的な分析を行う。

シナリオ 2 は、浙江省における電源計画モデルを基づく最適電源構成による経済への影響である。ここでは、電源構成の転換を考慮した電力部門の投入係数の変更を行った。そのため、電源計画モデルの基準ケースによる各期の発電量（3.5.4 に示す）に基づいて投入係数を定めた。具体的には、第 2 期の電源構成、第 4 期の電源構成に対応する投入係数をそれぞれケース 1、ケース 2 とした。石炭火力発電が 8 割を占めている電源構成の現状から投入係数が変化する部門は、石炭部門と電力部門のみと考えてよい。石炭火力減少による石炭部門の投入係数の減少の分は、付加価値総額が一定であるとの仮定の下、電力部門以外の産業に、それらの元の投入係数に比例した均等比率で配分した。

シナリオ 3 は、環境税と最適電源構成を同時に考慮した場合の経済影響の評価である。シナリオ 1・シナリオ 2 と比較するため、シナリオ 3 は環境税の税率が CO<sub>2</sub>1 トンあたり 20 元とし、最適電源構成が 3.5 の基準ケースの第 4 期の電源構成とした。

表 5-1 各ケースの説明

|        |       | 特徴                          | 設定値   |
|--------|-------|-----------------------------|---|
| シナリオ 1 | ケース 1 | 低い環境税による経済への影響              | 環境税税率：20元/t-CO <sub>2</sub>                   |
|        | ケース 2 | 高い環境税による経済への影響              | 環境税税率：200元/t-CO <sub>2</sub>                  |
| シナリオ 2 | ケース 1 | 短期の最適電源構成による<br>経済への影響      | 石炭火力発電量減少率：44%                                |
|        | ケース 2 | 長期の最適電源構成による<br>経済への影響      | 石炭火力発電量減少率：64%                                |
| シナリオ 3 | ケース 1 | 低い環境税と長期の最適電源構成<br>による経済の影響 | 環境税税率：20元/t-CO <sub>2</sub><br>石炭火力発電量減少率：64% |



## 5.2 分析結果

### 5.2.1 環境税による経済への影響

環境税による経済への影響について、省内 GDP の変化、輸出入の変化、政府税収の変化の順で結果を述べる。また、CO<sub>2</sub>削減効果については全産業と主要部門について結果を述べる。

表 5-2 は、2 種類の環境税税率による省内の経済成長率の変化である。省内名目 GDP の伸び率は、ケース 1 とケース 2 をそれぞれ 0.04% と 0.372% になった。また、省内実質 GDP は、物価変動の影響を取り除いた結果、それぞれ 0.3% と 2.65% だけ増加した。その理由は、エネルギーに関する部門の財価格が上昇するが、再均衡に至る過程で一部の部門の財価格が減少することによる。一方、他の部門の財価格の下落とともに、輸出が増えていく。省内経済指標の変化と主要部門の財価格の変化を表 5-3 と図 5-3 に示す。ただし、均衡が崩れる瞬間（環境税導入の時）にはすべて財の価格が増え、大きな悪影響があると考えられる。

表 5-2 省内経済成長率の変化

|      | 名目GDP  | 実質GDP  |
|------|--------|--------|
| ケース1 | 0.040% | 0.300% |
| ケース2 | 0.372% | 2.647% |

表 5-3 省内の消費・投資・輸出入額（億元）

|      | 名目GDP   | 消費      | 投資      | 輸出      | 輸入      | 輸出入    |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| 基準   | 27936.5 | 12622.1 | 13765.4 | 24513.1 | 21790.9 | 1549.0 |
| ケース1 | 27947.6 | 12617.2 | 13753.9 | 24531.3 | 21839.8 | 1576.5 |
| ケース2 | 28040.4 | 12577.3 | 13652.0 | 24683.6 | 22270.2 | 1811.1 |

\* 輸出入 = 輸出 - 輸入（輸入税含み）

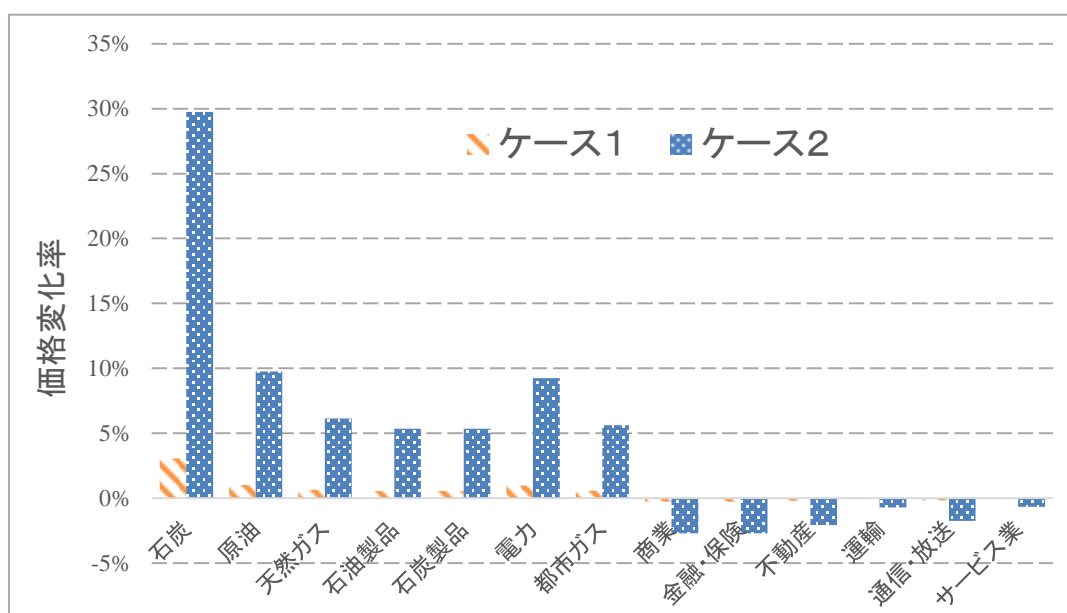


図 5-3 主な部門の価格変化率

政府の税収を、表 5-4 に示す。新たな税金を導入するが、税収が減るという結果を得た。表 5-4 に示すように、各税目のなかで資本税収は最も大きく変動した。その理由は、モデルの再均衡に至る過程で、ケース 1 とケース 2 については、資本価格（相対）がそれぞれ 1 から 0.99 と 0.95 へ変化したことである。

環境税導入による省内エネルギー部門の値上げで輸入が増加し、輸入税収が増加した。また、環境税は生産物税で扱うと設定した。生産物税収の計算は、省内の最終需要による決定される。ここで輸入の部分は、最終需要がマイナスとなっている。そのため、輸入の増加と共に、省内の生産物税が減少した。

表 5-4 政府の税収（名目値：億円）

|      | 総税収    | 労働税    | 資本税    | 純生産物税  | 輸入税    | 所得税    | その他直接税 |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 基準値  | 7896.8 | 1770.6 | 3578.9 | -268.5 | 1176.6 | 1516.6 | 122.5  |
| ケース1 | 7884.5 | 1767.6 | 3570.6 | -269.5 | 1179.1 | 1514.1 | 122.5  |
| ケース2 | 7772.1 | 1741.2 | 3498.3 | -283.1 | 1200.6 | 1492.6 | 122.5  |

\*純生産物税＝生産物税+補助金（補助金は出費であるため、マイナスとなっている）

環境税による CO<sub>2</sub> 排出量の変化は、ケース 1 とケース 2 とともに削減されるという結果を得た。石油・原油・天然ガスがほぼ輸入されているので、省内の生産量がゼロとなっているが、CO<sub>2</sub> 排出量は、石油製品などの二次製品からの排出として扱われる。ここでは、

主要部門における CO<sub>2</sub> 排出量のみを示す。CO<sub>2</sub> 排出量と CO<sub>2</sub> 排出量の減少率を、それぞれ表 5-5 と図 5-4 に示す。

全産業の総排出では、ケース 1 とケース 2 の CO<sub>2</sub> 排出量は、それぞれ 0.12% と 1.15% 減少し、850.47Mt-CO<sub>2</sub> と 841.68Mt-CO<sub>2</sub> となった。本研究は、環境税による技術の革新や省エネの導入など外部要素が考慮せず、純粋に需給変化による CO<sub>2</sub> 排出の変化となっている。そのため、環境税による CO<sub>2</sub> 削減効果は、大きくないと考えられる。

ケース 1 の場合は、環境税の税率が低いため、CO<sub>2</sub> 削減効果が顕著ではないと考えられる。部門ごとを見ると、CO<sub>2</sub> 排出量が最も大きい電力部門は、CO<sub>2</sub> の削減量と削減の割合がともに最も大きい。一方、窯業・土石製品部門とセメント部門は、高い環境税による投資の鈍化で、CO<sub>2</sub> 排出量も大きく減少すると考えられる。

表 5-5 CO<sub>2</sub> 排出量 (Mt)

|      | 全産業    | 電力     | 石油製品   | 石炭製品  | 窯業・土石製品 | セメント  |
|------|--------|--------|--------|-------|---------|-------|
| 基準値  | 851.50 | 337.60 | 22.822 | 0.288 | 43.32   | 48.69 |
| ケース1 | 850.47 | 336.59 | 22.818 | 0.288 | 43.23   | 48.59 |
| ケース2 | 841.68 | 328.05 | 22.782 | 0.287 | 42.41   | 47.66 |

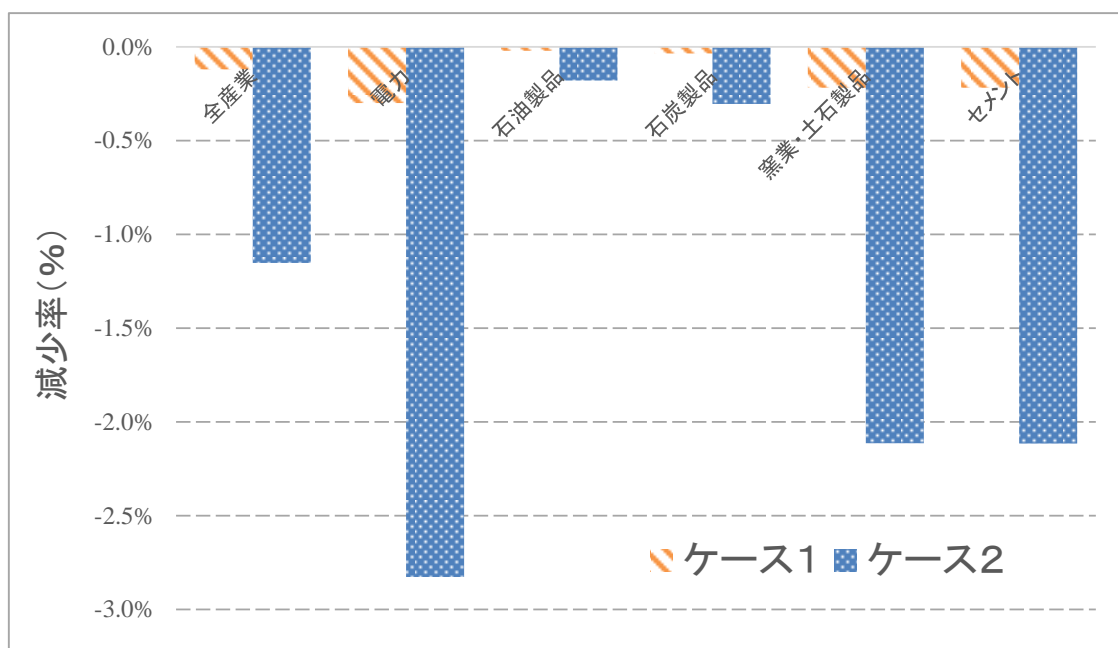


図 5-4 CO<sub>2</sub> 排出量の減少率 (%)

ここで簡単にまとめると、環境税の導入による経済への影響は、エネルギーに関する以外の部門（特に、輸出額が多い部門）の財価格の減少のため、省内の輸出が積極的な効果

を受け、全体の経済は好調になっていた。ただし、省内課税されている生産物税の影響で、省内の税収は一定程度減少した。家計の消費は、エネルギーに関する部門が減少するが、ほかの部門の消費が増加した。

### 5.2.2 電源構成の転換による経済への影響

電源構成の転換による経済への影響については、主に石炭火力の減少による、経済の変化を評価することである。また、CO<sub>2</sub>排出量の変化を示すのと同時に、第3章の最適電源構成によるCO<sub>2</sub>排出量との比較も行う。

石炭火力が減少するとともに、省内の名目GDPと実質GDPは共に正の経済影響を受けた。結果を、表5-6と表5-7に示す。火力発電が電源構成の84%を占めている現状から、第2期に47%、第4期に38%へと変化した。それに伴い、各部門から電力部門への投入量を変化させ、元の投入係数に比例する均衡比率で電力以外の部門の投入係数を調整した。

経済の変化のメカニズムについては、各財価格の変化から説明する。まず、本来の財価格は、初期均衡においてすべての財価格が1に基準化されている。投入係数の変化により、レオンチェフ逆行列も変化する。それにより、すべての財価格も変わる。表5-8によると、すべての財価格は基準より小さくなっている。この理由は、1単位の電力生産に対する直接投入の総和の変化の前後で変わらないが、レオンチェフ逆行列による波及効果を考慮した1単位の電力生産に対する直接の投入量は、投入係数の変化前と比較して減少したことが挙げられる。それにより、単位あたりの価格が下落している。具体的には、財価格の減少が省内経済活性化の原動力となり、消費、投資、輸出はともに正の影響を受けている。

まず輸出は、基準の1549億元からケース2の1563.8億元に増加し、最も大きな影響を受けている。また、省内の消費と投資も一定程度増加がみられる。表5-7に示すように、基準より全産業の輸出、消費、投資が増加するだけでなく輸入も増加している。

表 5-6 省内経済成長率の変化

|      | 名目GDP  | 実質GDP  |
|------|--------|--------|
| ケース1 | 0.054% | 0.090% |
| ケース2 | 0.079% | 0.130% |

表 5-7 省内の消費・投資・輸出入額（名目：億円）

|      | 省内GDP   | 消費      | 投資      | 輸出      | 輸入      | 輸出入    |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| 基準値  | 27936.5 | 12622.1 | 13765.4 | 24513.1 | 21790.9 | 1549.0 |
| ケース1 | 27951.6 | 12623.9 | 13768.5 | 24525.3 | 21793.3 | 1559.2 |
| ケース2 | 27958.4 | 12624.8 | 13769.9 | 24530.9 | 21794.4 | 1563.8 |

\* 輸出入＝輸出－輸入（輸入税含み）

表 5-8 産業別財価格の変化

|      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5       | 6      | 7      | 8      | 9           | 10     |
|------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|-------------|--------|
|      | 農林水産業  | 石灰石    | 石炭     | 原油     | 天然ガス    | その他鉱業  | 食料品    | 繊維製品   | 木製品         | 紙・パルプ  |
| 基準   | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000  | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000      | 1.0000 |
| ケース1 | 0.9999 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996  | 0.9996 | 0.9997 | 0.9996 | 0.9996      | 0.9996 |
| ケース2 | 0.9998 | 0.9995 | 0.9995 | 0.9994 | 0.9994  | 0.9994 | 0.9995 | 0.9995 | 0.9995      | 0.9994 |
|      | 11     | 12     | 13     | 14     | 15      | 16     | 17     | 18     | 19          | 20     |
|      | 印刷     | 化学     | 石油製品   | 石炭製品   | 窯業・土石製品 | セメント   | 鉄鋼     | 非鉄金属   | 金属製品        | 一般機械   |
| 基準   | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000  | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000      | 1.0000 |
| ケース1 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996  | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996      | 0.9996 |
| ケース2 | 0.9994 | 0.9994 | 0.9994 | 0.9994 | 0.9994  | 0.9994 | 0.9994 | 0.9994 | 0.9994      | 0.9994 |
|      | 21     | 22     | 23     | 24     | 25      | 26     | 27     | 28     | 29          | 30     |
|      | 電気機械   | 自動車    | 輸送機械   | 精密機械   | 他の製造工業  | 建設     | 電力     | 都市ガス   | 熱供給業        | 上下水道   |
| 基準   | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000  | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000      | 1.0000 |
| ケース1 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996  | 0.9996 | 0.9995 | 0.9996 | 0.9996      | 0.9996 |
| ケース2 | 0.9994 | 0.9994 | 0.9994 | 0.9994 | 0.9995  | 0.9995 | 0.9993 | 0.9995 | 0.9994      | 0.9995 |
|      | 31     | 32     | 33     | 34     | 35      | 36     | 37     | 38     | 39          |        |
|      | 廃棄物処理  | 商業     | 金融・保険  | 不動産    | 運輸      | 通信・放送  | サービス業  | 政府サービス | 対家計民間非営利サービ |        |
| 基準   | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000  | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000      |        |
| ケース1 | 0.9996 | 0.9995 | 0.9995 | 0.9996 | 0.9996  | 0.9996 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9998      |        |
| ケース2 | 0.9994 | 0.9993 | 0.9993 | 0.9994 | 0.9994  | 0.9994 | 0.9995 | 0.9996 | 0.9998      |        |

電源構成の転換により CO<sub>2</sub> 排出量は大幅に減少するという結果を得た。CO<sub>2</sub> 排出量は、電力部門の削減効果により現状の 851Mt・CO<sub>2</sub> からケース 1 とケース 2 のそれぞれ 727Mt・CO<sub>2</sub> と 690Mt・CO<sub>2</sub> まで減少した。ケース 1 とケース 2 は、電力部門における CO<sub>2</sub> 排出の削減量がそれぞれ 127 Mt・CO<sub>2</sub> と 185Mt・CO<sub>2</sub>、その他の産業がおおよそ 7Mt・CO<sub>2</sub> と 25Mt・CO<sub>2</sub> だけ増加した。このようにコスト最小化による最適電源構成の CO<sub>2</sub> 削減効果が非常に大きいといえる。CO<sub>2</sub> 削減率は、電源計画モデルによる結果とほぼ一致している。これらの結果を、表 5-9、表 5-10、図 5-5 に示す。

以上をまとめると、電源構成による経済への影響は、電力部門投入係数の変化を通して表され、その結果、部門ごとの財価格が下落した。そのため、省内の消費・投資・輸出入に関する経済要素が活性化にした。一方、電源構成の転換による CO<sub>2</sub> 削減効果は、石炭火

力の減少より大幅な減少結果を得た。

表 5-9 主要部門の CO<sub>2</sub> 排出量 (Mt)

|      | 全産業    | 電力     | 石油製品   | 石炭製品  | 窯業・土石製品 | セメント  |
|------|--------|--------|--------|-------|---------|-------|
| 基準   | 851.50 | 337.60 | 22.822 | 0.288 | 43.32   | 48.69 |
| ケース1 | 727.08 | 210.42 | 23.40  | 0.29  | 43.46   | 48.84 |
| ケース2 | 690.36 | 172.44 | 23.67  | 0.30  | 43.52   | 48.91 |

表 5-10 2つモデルによる電力部門の CO<sub>2</sub> 排出量の比較

|          | 応用一般均衡モデルに於ける電力部門 |        |        | 電源計画モデル |        |        |
|----------|-------------------|--------|--------|---------|--------|--------|
|          | 基準                | ケース1   | ケース2   | 現状最適    | 第2期    | 第4期    |
| 排出量 (Mt) | 337.6             | 210.4  | 172.4  | 259.6   | 180.4  | 143.4  |
| 減少率 (%)  | 0.00%             | 37.67% | 48.92% | 0.00%   | 30.51% | 44.76% |

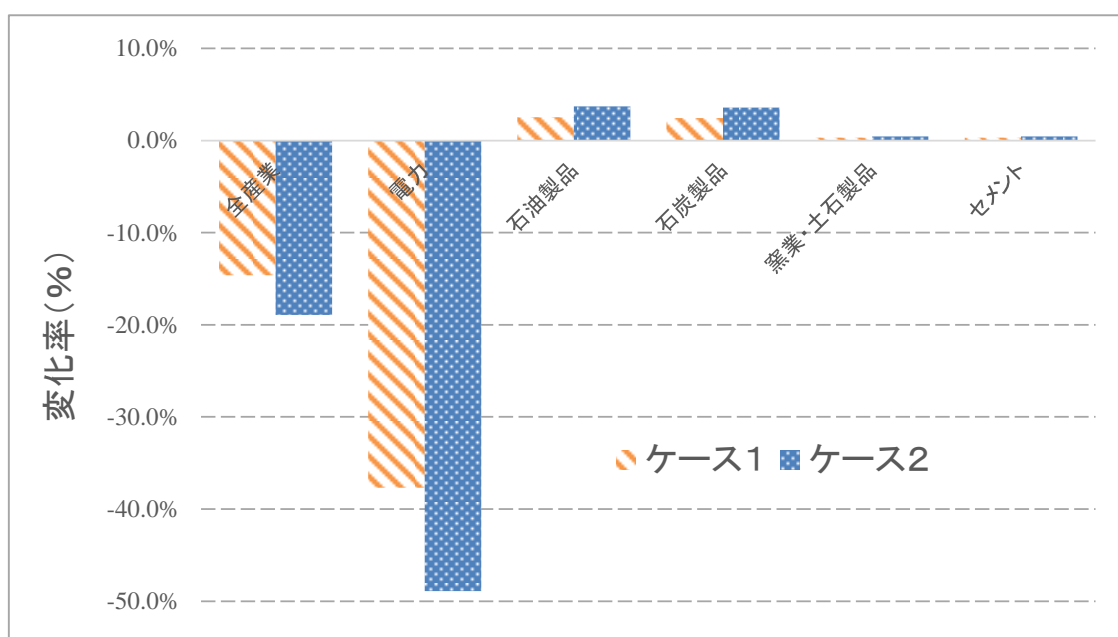


図 5-5 主要部門の CO<sub>2</sub> 排出量の変化 (%)

### 5.2.3 環境税と電源構成による経済への影響

環境税と電源構成転換は、二重に経済への影響を与えると考えられる。上記のとおり、環境税の導入と電源構成の転換はそれぞれともに正の経済影響を与えたので、さらに良い影響を与えることが考えられる。以降では、一部の結果はシナリオ 1、シナリオ 2 と比較する形で表現する。

まず、省内 GDP を見ると、環境税と電源構成の二重影響で省内の名目 GDP と実質 GDP がそれぞれ 0.1% と 0.4% 程度増加した。同じ基準のシナリオ 1 のケース 1、シナリオ 2 のケース 2 と比較しても、さらに高い成長の伸びを得た。これを、表 5-11 と表 5-12 に示す。具体的には、環境税の導入による消費と投資の悪負の影響は、電源構成の転換より相殺され、基準よりあまり変わっていない。また、省内の多くの財価格が下落したため、価格と強い関係にある輸出が大幅に増加した。

シナリオごとを見ると、電源構成の転換より、環境税のほうがより大きな経済への正の影響を与えた。ただし、均衡が崩れる瞬間にシナリオ 1 のケース 1 とケース 2 は、省内の名目 GDP が大幅減少するという結果を得た。一方、シナリオ 2 の場合は、大きな影響を受けていない。均衡を崩す瞬間の省内 GDP の変化を、表 5-13 に示す。

表 5-11 各シナリオによる省内経済成長の変化

|       | シナリオ 1 |        | シナリオ 2 |        | シナリオ 3 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
|       | ケース 1  | ケース 2  | ケース 1  | ケース 2  | ケース 1  |
| 名目GDP | 0.040% | 0.372% | 0.054% | 0.079% | 0.106% |
| 実質GDP | 0.300% | 2.647% | 0.090% | 0.130% | 0.386% |

表 5-12 省内の消費・投資・輸出入額（億元）

|       | 名目GDP   | 消費      | 投資      | 輸出      | 輸入      | 輸出入    |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| 基準値   | 27936.5 | 12622.1 | 13765.4 | 24513.1 | 21790.9 | 1549.0 |
| シナリオ3 | 27966.0 | 12621.2 | 13761.1 | 24541.5 | 21839.4 | 1583.8 |

\* 輸出入 = 輸出 - 輸入（輸入税含み）

表 5-13 各シナリオにおける経済成長の変化（均衡崩壊時）

|       | シナリオ1   |         | シナリオ2  |        | シナリオ3   |
|-------|---------|---------|--------|--------|---------|
|       | ケース1    | ケース2    | ケース1   | ケース2   | ケース1    |
| 名目GDP | -0.350% | -3.395% | 0.000% | 0.001% | -0.277% |
| 実質GDP | -0.432% | -4.945% | 0.056% | 0.056% | -0.277% |

各シナリオのCO<sub>2</sub>排出量と各シナリオのCO<sub>2</sub>削減量を、表 5-14 と図 5-6 に示す。CO<sub>2</sub>削減効果は、シナリオ1（環境税の導入）より、シナリオ2（電源構成の転換）のほうが顕著になった。環境税が導入されても、産業構造の変化はほとんどないため、CO<sub>2</sub>削減量は限られる。一方、電源構成の転換については、石炭火力発電が半分以上原子力に代替しているため、シナリオ2のケース1とケース2とも、顕著に大きなCO<sub>2</sub>削減効果が表れている。ただし、シナリオ2のケース2、シナリオ3の結果を見ると、電源構成の転換以降、環境税導入の効果が小さくなると考えられる。

表 5-14 各シナリオのCO<sub>2</sub>排出量

|                              | 基準     | シナリオ1  |        | シナリオ2   |         | シナリオ3   |
|------------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
|                              |        | ケース1   | ケース2   | ケース1    | ケース2    | ケース1    |
| 排出量<br>(Mt-CO <sub>2</sub> ) | 851.49 | 850.47 | 841.68 | 727.08  | 690.36  | 690.09  |
| 減少率 (%)                      | 0.000% | 0.120% | 1.152% | 14.611% | 18.924% | 18.955% |



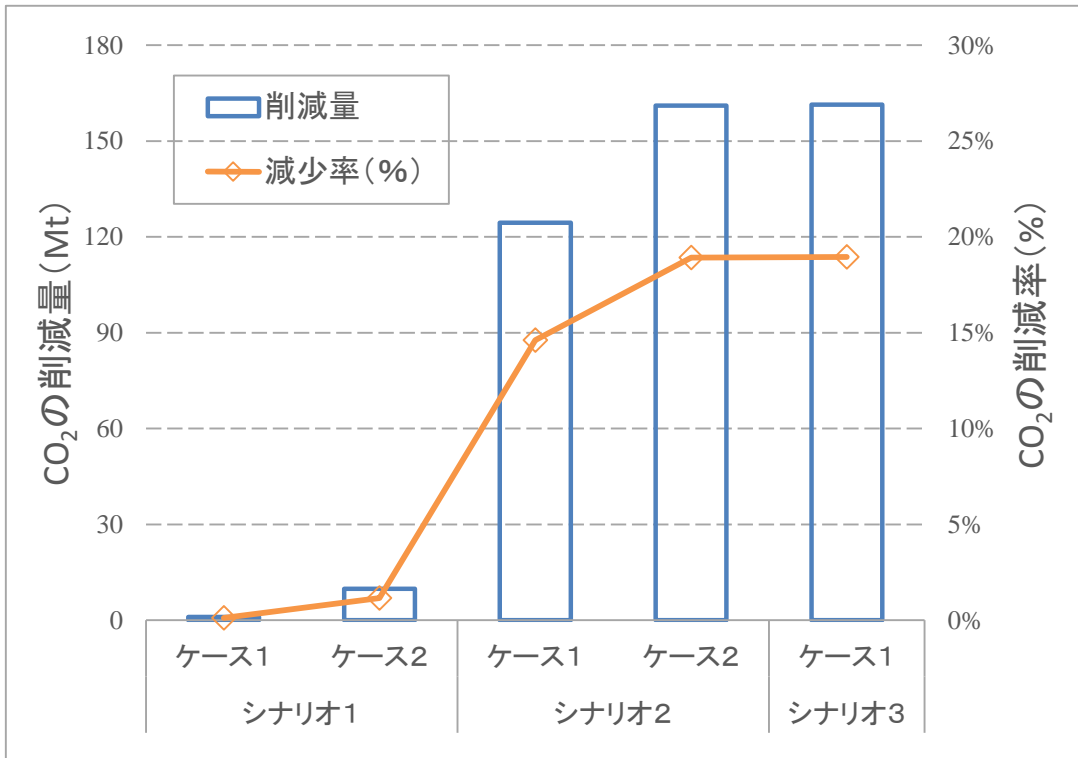


図 5-6 各シナリオの CO<sub>2</sub>削減量

## 第6章 結論

### 6.1 結論

本研究では、中国浙江省における電源計画モデルを開発し、2030年の中国浙江省の最適電源構成のシミュレーションを行い、環境税導入による電源構成への影響を評価した。

浙江省で、政府が主導している原子力の増設計画と、シミュレーションの結果は一致した。浙江省の電源構成は、石炭火力発電が84%占めている現状から2030年にはその比率が43%となり、その代わりに原子力発電の比率が現状の11%から2030年に49%を占め、設備容量が現状の4.3GWから23.9GWに増加する。また、発電効率が低い一般石炭火力は、現状で発電量の29%を占めているが、2020年までに稼働停止となる。隣省から浙江省への送電量は、原子力発電の増設により現状の夏ピーク時の21GWhから2030年に10.5GWhへ減少し、年間送電量が半分以上減少する。発電のコストを見ると、発電・変電・送電・配電の分離を中心に、中国の電力改革は巨大なポテンシャルが存在しているが、本シミュレーション結果では、改革後の電力料金は現在より30%以上軽減することが見込まれる。一方、半分以上の石炭火力が原子力に変わったため、年間のCO<sub>2</sub>排出量は現状より第4期（2026年 - 2030年）までに44.7%減少する。

環境税による電源構成への影響としては、税率の高低によらずコストの安い原子力にシフトしていることから、環境税が原子力の増設に及ぼす影響は大きくないといえる。ただし、高い環境税（200元/t-CO<sub>2</sub>）の場合は転換速度を加速する効果が示された。高い環境税の場合には、電源構成が第2期（2016年 - 2020年）から急速に転換した。そのため、CO<sub>2</sub>削減効果は非常に顕著だと考えられる。

本研究では、最適電源構成をシミュレーションした上で、その電源構成の転換と環境税の導入による省内経済への影響の分析も行った。環境と経済の両立した持続可能社会の構築を検討した。

環境税の導入と電源構成の転換はともに正の経済影響を与えた。低い環境税（20元/t-CO<sub>2</sub>）と高い環境税（200元/t-CO<sub>2</sub>）の場合では、省内の名目GDPと実質GDPが、それぞれ0.04% - 0.37%、ならびに0.30% - 2.65%増加した。省内の財価格が再均衡を至る過程で、エネルギー供給・転換以外の部門の財価格は下落した。それより省内の輸出が増加し、経済を活性化した。しかし、均衡が崩れる瞬間にはすべての財価格が上昇し、経済が大きな負の影響を及ぼしている。一方、環境税の導入による産業ごとのCO<sub>2</sub>排出量は、一定程度減少した。高い環境税に対するCO<sub>2</sub>削減量は、おおよそ10Mt-CO<sub>2</sub>で全産業の1%を占めている。

電源構成の転換による経済への影響は、均衡の達成に関わらず、正の影響を与えたが、その大きさは非常に小さかった。石炭火力から原子力への構造変化は、省内各産業の生産性の向上につながるという結果が得られた。電力産業構造の転換による財価格の下落で、省内の消費・投資・輸出は好循環になった。さらに、電源構成の転換によるCO<sub>2</sub>削減効果についても、検証し、電力部門のCO<sub>2</sub>排出量が基準より48.9%削減し、非常に大きな削減

効果といえる。また、環境税と電源構成の転換による経済への影響は、二重の効果よりさらに大きな正の影響がある。ただし、電源構成を転換してからの環境税の導入は、CO<sub>2</sub>削減効果として相対的な効果が小さくなると考えられる。

本研究では環境と経済の両立に着目し、モデル分析による評価を行った。特に、電源構成による環境と経済への影響は、ともに正の結果が得られた。ただし、新たな税としての環境税については、均衡に至る前の段階で、財の価格の上昇をもたらすため、実際の導入は慎重に判断しなければならない。

## 6.2 今後の課題

本研究で用いた浙江省における電源計画モデルを拡張することが考えられる。期間内総コストに関わる燃料価格は、為替レートや市場の動きにより大きく変動している。特に長期的な分析については、重要な外生変数である燃料価格がシミュレーションの結果が大きく影響を与えている。そのため、燃料価格の感度分析により別の視点からの最適な電源構成が得られる可能性がある。また、燃料価格については、応用一般均衡モデルを用いて外生変数から内生変数として扱うことも期待される。

浙江省における応用一般均衡モデルは、静学モデルであり、技術革新や投資による生産関数の変化などを考慮することができていなかった。また、均衡が崩れてから再均衡を達成するまで、どのような変化があるのか、また、どの程度の時間がかかるというメカニズムは解明できていない。そのため、動的なモデルを開発することも目指す。

本研究において、分析の信頼性に最も大きな影響を与えるものは、モデルのデータとパラメータである。特に、応用一般均衡モデルでは、一部のデータとパラメータを山田<sup>[40]</sup>から引用して、シミュレーションを行った。しかし、日本と中国の経済構造は、様々な違いがあり、検証していないパラメータとデータを用いることは、結果に多少の影響が生じることが考えられる。今後は、データを収集する上で浙江省に対応した関数とパラメータを構築し、信頼性の高さを追求する。

## 参考文献

- [1] 日本政策投資銀行；中国経済の「投資から消費へ」の構造転換，今月のトピックス No.233-1（2015年6月18日）.
- [2] 中国税関総署；2015年11月貿易統計データ，<http://www.customs.gov.cn/>.
- [3] Renewables 2015 Global Status Report（2016）.
- [4] 芦名秀一，藤野純一；多地域最適電源計画モデルを用いたわが国電力部門におけるCO<sub>2</sub>削減シナリオの検討，Journal of Japan Society of Energy and Resources, Vol. 29, No.1（2006）.
- [5] 畑和宏；中長期における太陽光発電の大量導入を考慮した電源構成に関する研究，東京大学工学部システム創成学科 卒業論文（2011）.
- [6] 杉浦弘太郎；中国の地域条件を考慮した再生可能エネルギー最適導入地の定量的分析，東京大学大学院新領域創成科学研究科 修士論文（2012）.
- [7] 白木裕斗，芦名秀一ら；多地域電源計画モデルを用いた2020年の日本電力部門における再生可能エネルギー導入シナリオの検討，Journal of Japan Society of Energy and Resources, Vol. 33, No.1（2012）.
- [8] 大村彬斗；原子力発電稼働率ゼロ時の再生可能エネルギー導入量と地域内経済効果の推計，東京大学大学院新領域創成科学研究科 修士論文（2013）.
- [9] Qiao Meiliang, Ying Fan, Yi Mingwei；Carbon taxation policy in China: How to protect energy-and trade-intensive sectors, Journal of Policy Modeling 29（2007） 311-333.
- [10] 鶴田拓志；応用一般均衡分析を用いた炭素税導入に伴う社会的厚生変化の計測，京都大学工学部地球工学科 卒業論文（2011）.
- [11] 増井利彦，松岡譲，森田恒幸；環境と経済を統合した応用一般均衡モデルによる環境政策の効果分析，土木学会環境システム研究論文集，Vol. 28, pp.467-475（2000）.
- [12] 人民網；<http://history.people.com.cn/peoplevision/n/2015/0508/c371452-26969495.html>，アクセス日：2016年1月13日.
- [13] 三菱東京UFJ銀行（中国）有限公司；中国人民銀行・利下げ及び預金準備率引き下げを発表，2015年10月23日.
- [14] りそな銀行 国際事業部；りそな銀行アジアニュース（2015年10月26日）.
- [15] 青山周；中国の環境問題と環境ビジネス，JRI レビュー，2015 Vol. 4. No. 23.
- [16] 呂正；中国のCO<sub>2</sub>排出量が2030年頃にピークアウトする可能性について - IEEJ, IEA エネルギーアウトルックからの示唆 - , EDMC エネルギートレンド トピック 1（2014年12月）.
- [17] Energy and Climate Change；International Energy Agency（2015）.
- [18] 天気後報；<http://www.tianqihoubao.com/>.
- [19] 海外電気事業統計2011年版；社団法人海外電力調査会（2011年9月）.

- [20] 倪春春；中国の電力体制改革—華東卸電力市場を中心に—，第 22 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス，（2006 年 1 月）。
- [21] 2012 中国電力年鑑；中国電力出版社（2012 年 12 月）。
- [22] 2013 中国電力年鑑；中国電力出版社（2014 年 1 月）。
- [23] 2014 中国電力年鑑；中国電力出版社（2015 年 3 月）。
- [24] 浙江省統計信息网；<http://www.zj.stats.gov.cn/>。アクセス日：2016 年 1 月 13 日。
- [25] 中国産業信息网；<http://www.chyxx.com/top/201512/369835.html>。
- [26] 浙江省統計局，国家統計局浙江調査総隊；浙江統計年鑑 2013，中国統計出版社（2013）。
- [27] 楊卓，李波；広西電網負荷特性分析と予測，広西電力，Vol. 37 No. 4（2014）。
- [28] 羅路平，楊超ら；江西電網負荷特性研究，江西電力，2013 年第 6 期。
- [29] 国家電網浙江省電力公司；<http://www.zj.sgcc.com.cn/>。
- [30] 韓麗娜；杭州地域電力負荷特性的分析と予測，浙江大学電氣工程学院 修士論文（2008）。
- [31] 秦皇島石炭網；<http://www.cqcoal.com/Trade/Price/>。
- [32] 中華人民共和国国家統計局；<http://www.stats.gov.cn/>。
- [33] 百度百科；<http://baike.baidu.com/>。
- [34] 北極星太陽光発電網；<http://guangfu.bjx.com.cn/news/20120816/380711.shtml>，アクセス日：2016 年 1 月 13 日。
- [35] Surface meteorology and Solar Energy；<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?rets@nrcan.gc.ca>，アクセス日：2016 年 1 月 13 日。
- [36] 易仕敏，陳慧坤ら；広東電網発電成本在線分析と補助決策，機電工程，Vol. 26, No. 7, Jul.（2009）。
- [37] 市岡修；応用一般均衡分析，有斐閣（1991）。
- [38] 奥野正寛；ミクロ経済，東京大学出版社（2013）。
- [39] 山内知昭；応用一般均衡モデルを用いた日本の京都議定書遵守方策の研究，東京大学工学部システム創成科学 卒業論文（2002）。
- [40] 山田圭吾；応用一般均衡モデルを用いた炭素税の日本経済への影響評価，東京大学地球システム工学専攻 修士論文（2001）。
- [41] 浙江省国家税務局；<http://www.zjtax.gov.cn/pub/zjgs/>。
- [42] 浙江地稅；<http://www.zj-l-tax.gov.cn/>。
- [43] 浙江省人力資源和社会保障庁；<http://www.zjhrss.gov.cn/>。
- [44] Lin Boqiang，Sun Chuanwang；Evaluating carbon dioxide emissions in international trade of China, Energy Policy, 38（2010）613-621。

## 謝辞

本研究は東京大学大学院新領域創成科学研究科環境システム学専攻，吉田研究室において行われたものです。論文の作成にあたっては，担当教員の吉田好邦教授には深く感謝します。論文が作成している段階で，ご多忙の中，吉田先生から，日本語に関する修正を含め，研究に関してたくさんのご指導をいただきました。本当に吉田先生には感謝の気持ちで一杯です。また，博士課程の小澤暁人からたくさんのお言葉をいただきました。

この2年間研究生生活を共に頑張ってきた，吉田研究室と井原研究室の皆様にも大変お世話になりました。同期の小林君，本間君，橋本君，畑君には，研究の助けだけでなく，生活に関する様々なことを教えてもらいました。

最後に，日本への留学を支援してくれている両親に，「ありがとう」と伝えたいです。

送電最大容量

|          | Hangzhou | Ningbo | Wenzhou  | Shaoxing | Taizhou  | Jiaxing  | Jinhua   | Huzhou   | Quzhou   | Lishui   | Zhoushan |
|----------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Hangzhou | 1000     | 18.75  | 9.375    | 42.85714 | 9.090909 | 33.33333 | 15       | 37.5     | 10.34483 | 10.34483 | 13.04348 |
| Ningbo   | 0        | 1000   | 11.11111 | 30       | 17.64706 | 18.75    | 13.04348 | 12.5     | 9.375    | 9.090909 | 31.57895 |
| Wenzhou  | 0        | 0      | 1000     | 10.52632 | 23.07692 | 8.108108 | 13.33333 | 6.666667 | 10.52632 | 25       | 8.450704 |
| Shaoxing | 0        | 0      | 0        | 1000     | 13.63636 | 27.27273 | 18.18182 | 20.68966 | 12.2449  | 10.98901 | 16.21622 |
| Taizhou  | 0        | 0      | 0        | 0        | 1000     | 9.677419 | 13.95349 | 8.450704 | 9.677419 | 14.28571 | 11.11111 |
| Jiaxing  | 0        | 0      | 0        | 0        | 0        | 1000     | 12.5     | 33.33333 | 9.677419 | 8.695652 | 13.04348 |
| Jinhua   | 0        | 0      | 0        | 0        | 0        | 0        | 1000     | 11.53846 | 33.33333 | 26.08696 | 9.230769 |
| Huzhou   | 0        | 0      | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1000     | 10       | 8.219178 | 9.677419 |
| Quzhou   | 0        | 0      | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1000     | 17.64706 | 7.407407 |
| Lishui   | 0        | 0      | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1000     | 7.5      |
| Zhoushan | 0        | 0      | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1000     |

單位：GWh/h

送電距離

|          | Hangzhou | Ningbo | Wenzhou | Shaoxing | Taizhou | Jiaxing | Jinhua | Huzhou | Quzhou | Lishui | Zhoushan |
|----------|----------|--------|---------|----------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|----------|
| Hangzhou | 0        | 160    | 320     | 70       | 330     | 90      | 200    | 80     | 290    | 290    | 230      |
| Ningbo   | 0        | 0      | 270     | 100      | 170     | 160     | 230    | 240    | 320    | 330    | 95       |
| Wenzhou  | 0        | 0      | 0       | 285      | 130     | 370     | 225    | 450    | 285    | 120    | 355      |
| Shaoxing | 0        | 0      | 0       | 0        | 220     | 110     | 165    | 145    | 245    | 273    | 185      |
| Taizhou  | 0        | 0      | 0       | 0        | 0       | 310     | 215    | 355    | 310    | 210    | 270      |
| Jiaxing  | 0        | 0      | 0       | 0        | 0       | 0       | 240    | 90     | 310    | 345    | 230      |
| Jinhua   | 0        | 0      | 0       | 0        | 0       | 0       | 0      | 260    | 90     | 115    | 325      |
| Huzhou   | 0        | 0      | 0       | 0        | 0       | 0       | 0      | 0      | 300    | 365    | 310      |
| Quzhou   | 0        | 0      | 0       | 0        | 0       | 0       | 0      | 0      | 0      | 170    | 405      |
| Lishui   | 0        | 0      | 0       | 0        | 0       | 0       | 0      | 0      | 0      | 0      | 400      |
| Zhoushan | 0        | 0      | 0       | 0        | 0       | 0       | 0      | 0      | 0      | 0      | 0        |

單位：km



隣省からの最大送電量

|        | Hangzhou | Ningbo | Wenzhou | Shaoxing | Taizhou | Jiaxing | Jinhua | Huzhou | Quzhou | Lishui | Zhoushan |
|--------|----------|--------|---------|----------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|----------|
| trans1 | 100      | 0      | 0       | 0        | 0       | 100     | 0      | 100    | 0      | 0      | 0        |
| trans2 | 0        | 0      | 0       | 0        | 0       | 0       | 150    | 0      | 200    | 150    | 0        |
| trans3 | 0        | 0      | 100     | 0        | 0       | 0       | 0      | 0      | 0      | 0      | 0        |

単位:GWh

送電損失

|          | Hangzhou | Ningbo | Wenzhou | Shaoxing | Taizhou | Jiaxing | Jinhua  | Huzhou  | Quzhou  | Lishui  | Zhoushan |
|----------|----------|--------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Hangzhou | 0.02     | 0.04   | 0.08    | 0.0175   | 0.0825  | 0.0225  | 0.05    | 0.02    | 0.0725  | 0.0725  | 0.0575   |
| Ningbo   | 0        | 0.02   | 0.0675  | 0.025    | 0.0425  | 0.04    | 0.0575  | 0.06    | 0.08    | 0.0825  | 0.02375  |
| Wenzhou  | 0        | 0      | 0.02    | 0.07125  | 0.0325  | 0.0925  | 0.05625 | 0.1125  | 0.07125 | 0.03    | 0.08875  |
| Shaoxing | 0        | 0      | 0       | 0.02     | 0.055   | 0.0275  | 0.04125 | 0.03625 | 0.06125 | 0.06825 | 0.04625  |
| Taizhou  | 0        | 0      | 0       | 0        | 0.02    | 0.0775  | 0.05375 | 0.08875 | 0.0775  | 0.0525  | 0.0675   |
| Jiaxing  | 0        | 0      | 0       | 0        | 0       | 0.02    | 0.06    | 0.0225  | 0.0775  | 0.08625 | 0.0575   |
| Jinhua   | 0        | 0      | 0       | 0        | 0       | 0       | 0.02    | 0.065   | 0.0225  | 0.02875 | 0.08125  |
| Huzhou   | 0        | 0      | 0       | 0        | 0       | 0       | 0       | 0.02    | 0.075   | 0.09125 | 0.0775   |
| Quzhou   | 0        | 0      | 0       | 0        | 0       | 0       | 0       | 0       | 0.02    | 0.0425  | 0.10125  |
| Lishui   | 0        | 0      | 0       | 0        | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0.02    | 0.1      |
| Zhoushan | 0        | 0      | 0       | 0        | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0.02     |

単位:%