

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

2016年3月修了予定 環境システム学専攻

指導教員：吉田 好邦 教授

47-146674 邵沁夫

キーワード：応用一般均衡モデル，多地域電源計画モデル，CO₂排出量，環境税

1. 序論

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。しかし，投資鈍化，人件費高騰，人口ボーナス終了などの要因で，2015 年の実質 GDP 成長率は 7%以下で 25 年ぶりの低水準が見込まれる。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 CO₂ 排出国となった。中国政府は，財政支援だけでなく，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 年連続世界トップになっている。しかし，経済発展と環境保全の両立は大きな課題となっている。

浙江省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 18 年連続トップになっている。省内では，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。

本研究では，中国浙江省を対象にして多地域電源計画モデルを用い，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ひとつの目的としている。さらに，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を定量的に評価することも目指す。

2. 開発したモデル

本研究では，最適電源構成を求めるため

に，芦名¹⁾が構築した多地域最適電源計画モデルを用いて開放型供給のモデルを拡張した。また環境税と電源構成転換の経済影響を分析するために，市岡²⁾が構築した応用一般均衡モデルを参考にして，浙江省における応用一般均衡モデルを構築した。

2.1 浙江省における電源計画モデル

本研究では，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を構築した。更に，結果の信頼性を高めるために，電力需要についても，浙江省の実際のデータを使用してシミュレーションした。

具体的には，図 1 のように浙江省を 11 地域に分割し，それぞれに地域内の電力需要と供給ノードを一つ設定した。隣省（華東電網と華中電網）からの送電は固定コストで設定した。モデルでは 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た。

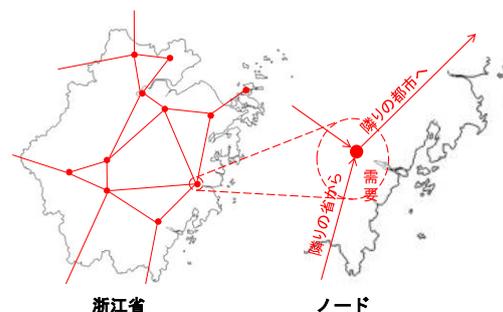


図 1 浙江省における電源計画モデルの概要

電力の供給は一般石炭火力、超臨界石炭火力、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。また、モデル計算では、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 を用い、電源構造、エネルギー消費、大気汚染等に関する結果が定量的に算出される。

本モデル中の発電コストは、建設・維持コスト、燃料コスト・送電コストからなる。また、将来のコストは割引率 5%にて現在価値に換算し、総発電コストを算出した。モデルにて用いた目的関数を式(1)に示す。 C_T は総発電コスト、 $C_c(g)$ は建設費の減価償却分、 $C_o(g)$ は運転維持費、 $P_c(l,g,y)$ は設備容量、 $C_f(g)$ は燃料費、 $C_l(g)$ は環境税、 $O_g(p,t,l,g,y)$ は発電ノードの単位出力、 $C_s(l)$ は隣省の送電費、 $T_l(p,t,l,y)$ は送電量、 p は需要パターン、 t は時間、 l は発電ノードの位置、 g は発電方式、 y は解析年度(yr)である。

$$\text{Min}C_T = \sum_y \frac{1}{(1+i)^y} \left\{ \begin{aligned} & \left[\sum (C_c(g) + C_o(g)) \times P_c(l,g,y) \right] + \\ & \left[\sum (C_f(g) + C_l(g)) \times O_g(p,t,l,g,y) \right] \\ & + \left[\sum C_s(l) \times T_l(p,t,l,y) \right] \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

3.2 浙江省における応用一般均衡モデル

応用一般均衡分析(CGE 分析)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

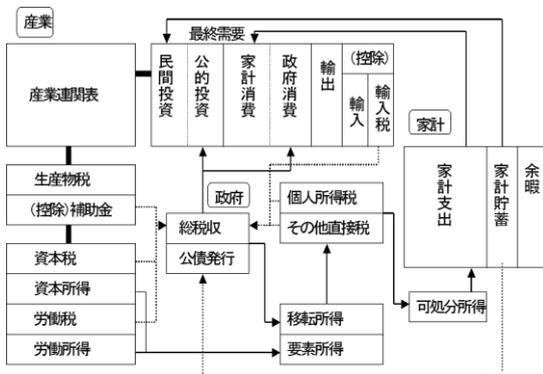


図 2 応用一般均衡モデルの構造

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。具体的な構造を図 2 に示す。

(1) モデルに関するパラメータの推定

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要因で、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。本文では、浙江省 2010 年の産業連関表³⁾に基づいて 42 部門を、39 部門に統合した。家計における効用関数は、2 段階 CES 型を想定し、これを式 2 と式 3 に示す。浙江省における家計の効用関数のパラメータは、浙江省の貯蓄と消費データに基づいてパラメータ α と β を算出した。 U は効用、 H は現在消費、 C_F は将来消費、 X は合成消費財消費、 l はレジャー消費、 σ_1 は労働供給弾力性係数、 σ_2 は貯蓄弾力性係数、 ν と ϕ は σ_1 と σ_2 に関するパラメータである。

$$U = U \left[\alpha \frac{1}{\sigma_2} H^\nu + (1-\alpha) \frac{1}{\sigma_2} C_F^\nu \right]^{\frac{1}{\nu}} \quad (2)$$

$$H = \left[(1-\beta) \frac{1}{\sigma_1} \bar{X}^\phi + \beta \frac{1}{\sigma_1} l^\phi \right]^{\frac{1}{\phi}} \quad (3)$$

浙江省は 39 部門の信頼できる代替弾力性係数の推定値がないため、本モデルではコブ=ダグラス型生産関数を仮定し、生産関数の 2 つのパラメータの値は産業連関表のデータに基づいて推定する。これらを式 4 と式 5 に示す。 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、 L は労働、 K は資本である。

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

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

(2) 均衡状態の仮定

上記推定したパラメータや修正したデータなどを入力し、資本価格と労働価格を変数として基準年の均衡が達成できる。ただし、基準年における均衡は、本来すべての需要・供給、輸出・輸入、税の収入・支出などの要素が一致しているが、本研究ではパラメータの限界により、基準年における相対均衡で分析を行う。

3. シミュレーション結果

3.1 最適電源構成

シミュレーション結果は、3つのケースに分けて期間内の設備容量の推移、1日発電量の推移、CO₂排出量の順番に示す。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、具体的なケース設定内容を、表1に示す。

表1 各ケースの概要説明

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

(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と廃棄の計画を反映した上でシミュレーションしている。原子力の設備容量は、現状の4.3GWから2030年までの23.9GWに増えた。更に、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。

(2) 1日の発電量の推移

1日発電量の推移は、図3に示す需要が最も多い夏季平日を例として説明する。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。

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

力に転換していることから、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転換速度を加速する効果が検証された。

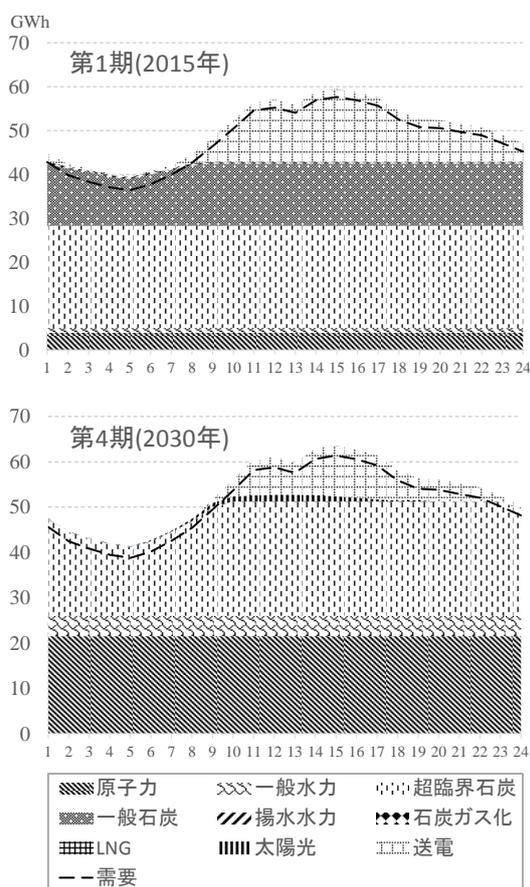


図3 夏季平日における1日の発電量の推移

(3) CO₂排出量の変化

一般石炭と超臨界石炭の発電量の減少で、CO₂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、CO₂排出量が現状最適の259 Mt-CO₂から143 Mt-CO₂まで減少する。低い環境税と高い環境税の場合は、CO₂排出量が現状最適よりそれぞれ129 Mt-CO₂、8 Mt-CO₂まで減少した。

3.2 環境税・電源構成による経済への影響

環境税の導入と電源構成の転換による経済への影響は、表2を示すように短期と長期の視点から3つのシナリオを設定した。

表 2 各シナリオの説明

シナリオ 1	ケース 1	環境税税率：20元/t-CO ₂
	ケース 2	環境税税率：200元/t-CO ₂
シナリオ 2	ケース 1	石炭火力発電量減少率：44%
	ケース 2	石炭火力発電量減少率：64%
シナリオ 3	ケース 1	環境税税率：20元/t-CO ₂ 石炭火力発電量減少率：64%

(1) 経済への影響

環境税の導入による経済への影響は、エネルギーに関連以外の部門（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。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。ただし、均衡が崩れる瞬間にはシナリオ 1 のケース 1 とケース 2 は、省内の名目 GDP と実質 GDP が大幅減少するという結果を得た。

電源構成の転換による経済への影響は、電力部門の投入係数の変化を通して表され、その結果、部門ごとの財価格は下落した。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した。結果を、表 3 に示す。

表 3 省内 GDP 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
均衡状態	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%
均衡崩壊	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%

(2) 環境への影響

CO₂ 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、CO₂ 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 とともに、顕著に大きな

CO₂ 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に導入される、環境税は、その効果が小さくなると考えられる。これらを図 4 に示す。

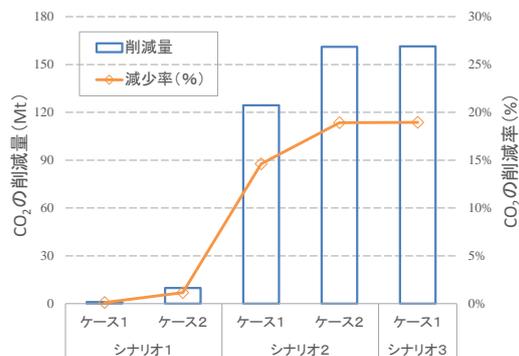


図 4 各シナリオ CO₂ の削減量

4. 結論

中国浙江省で政府が主導している原子力の増設計画とは、シミュレーションの結果により再現された。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。また、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。

参考文献

- 1) 芦名秀一, 藤野純一; 多地域最適電源計画モデルを用いてわが国電力部門における CO₂ 削減シナリオの検討, Journal of Japan of Energy and Resources, Vol. 29, No. 1(2006).
- 2) 市岡修; 応用一般均衡分析, (1991), 有斐閣.
- 3) 浙江省統計局; 浙江省統計年鑑 2013, (2014), 中国統計出版社.