

## 中国における再生可能エネルギーに関する計量分析

学生番号 086928 王 希

指導教員 元橋一之 教授

### 1. 序論

中国はエネルギー消費大国であり、2007年の一次エネルギー消費量は26億5000万トン標準炭に相当し、世界2位のエネルギー消費国になった。しかし、人口が多いため、1人当たりの消費量は先進国と比べてまだ少ない。中国は発展途上国であり、今後も経済発展が想定されることから、これに伴いエネルギー消費量も増加すると考えられる。

中国ではエネルギーの輸入依存度が高まり、エネルギー安定供給を確保することが喫緊の課題となっている。化石エネルギーは(石炭、石油、天然ガス)一次エネルギー消費総量の90%以上も占める。化石燃料起源の二酸化炭素排出量は急増し、国際エネルギー機関(IEA)が9月に発表した最新の統計によると、中国の二酸化炭素排出量が世界一になった。

要するに、将来の中国エネルギーの発展はエネルギー安定供給と気候変動に対する厳しい課題に直面する。

中国における再生可能エネルギー開発促進によって、エネルギー安全供給問題と気候変動問題を緩和することができる。さらに、農村開発(経済格差問題・農業促進・地方電化)に大きく貢献する。

そこで、中国政府は再生可能エネルギーの開発を重視し、2007年中国発展改革委員会は「中国再生可能エネルギー中長期計画」を発表した。そして、ニューヨークの国連気候変動サミットの中で胡錦濤主席は2020年に二酸化炭素原単位を2005年比で40%から45%を低減し、非化石燃料の一次エネルギーに占める割合を15%に拡大する目標を発表した。

このような状況から、今後の中国再生可能エネルギー利用がどのように変化するか、その問題は中国国内の問題に留まらず、世界のエネルギー需給構造や地球温

暖化問題として世界から注目を集めている。再生可能エネルギー生産量の予測モデルを構築することは、これらの問題への対応として、また中国政府の政策や目標の検討において、重要性が高い。

このような背景を受け、本研究では、中国における2020年までの再生可能エネルギー生産量および二酸化炭素排出量を、計量モデルにより推計することを目的とする。

この目的を達成するため、中国の再生可能エネルギー(太陽、風力、地熱、バイオマス、水力)とその駆動力である技術要因、再生可能エネルギー分布とエネルギー生産への資金投資の関係を分析する。この関係式を用いて、2020年中国再生可能エネルギーの生産量を推計し、「再生可能エネルギー中長期発展計画」の妥当性について検討する。また、再生可能エネルギーの生産量とエネルギー需要量によって、化石燃料起源の二酸化炭素の排出量を推計し、2020年までに二酸化炭素原単位を2005年比で40%~45%を低減する目標を達成する可能性について検討する。

### 2. 研究方法

#### 2.1 研究モデル

再生可能エネルギー生産量および二酸化炭素排出量を推計するため、研究モデル(図1)を構築した。研究モデルは以下の三つのモジュールで構成する。

- イノベーションモジュール
- 生産量推計モジュール
- 二酸化炭素排出量推計モジュール

イノベーションモジュールと生産量推計モジュールでは、中国30個省レベルの行政区分で研究を行う。二酸化炭素排出量推計モジュールでは、中国全体として推

計する。

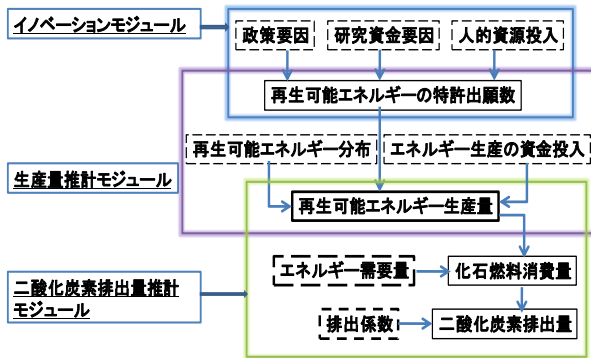


図1 研究モデルの概要

2020年のエネルギー需要量は国際エネルギー機関(IEA: International Energy Agency)の推計結果を採用する。

## 2.2 イノベーションモジュール

イノベーションモジュールにおいては、再生可能エネルギー特許出願数は被説明変数として、説明変数が政府の政策数、研究資金の投入額と人的資源投入量を採用した。図2にイノベーションモジュールの構造を示す。

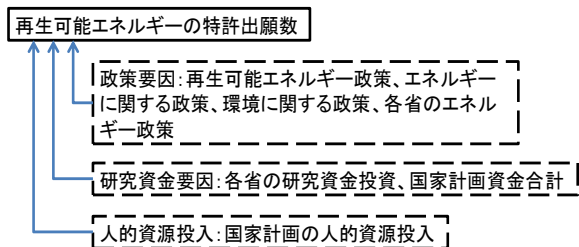


図2 イノベーションモジュールの構造

## 2.3 生産量推計モジュール

生産量推計モジュールでは、被説明変数は再生可能エネルギー生産量で、説明変数は再生可能エネルギーの特許出願数、分布およびエネルギー生産の資金投入額の新規、ストック量を採用する。図3に再生可能エネルギー生産量推計モジュールの構造を示す。

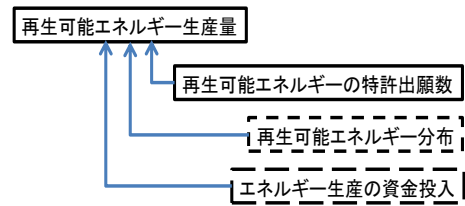


図3 生産量推計モジュールの構造

再生可能エネルギーの利用形式によって、推計対象を詳しく分類した。具体的各再生可能エネルギーと説明変数は表1に示す。

表1 生産量推計モジュールの変数一覧

被説明変数	説明変数
水力エネルギー生産量	水力特許数 水力発電設備蓄蔵量 固定資産投資
太陽発電エネルギー生産量	太陽エネルギー特許数 太陽エネルギー資源ランク 固定資産投資
太陽熱エネルギー生産量	太陽エネルギー特許数 太陽エネルギー資源ランク 農村エネルギー投資
バイオマス発電のエネルギー生産量	バイオエネルギー特許数 農作物の面積 農村エネルギー投資
メタンガスのエネルギー生産量	バイオエネルギー特許数 家畜し尿発生量 農村エネルギー投資
風力エネルギー生産量	風力特許数 風力発電設備蓄蔵量 固定資産投資
地熱エネルギー生産量	地熱特許数 地熱エネルギーの熱量蓄蔵 固定資産投資
農村水力のエネルギー生産量	水力特許数 小型水力発電設備蓄蔵量 農村水力投資

## 2.4 二酸化炭素排出量推計モジュール

本研究においては、中長期的な温室効果ガス排出削減の必要性の観点から、2020年の二酸化炭素排出量を推計する。図4に二酸化炭素排出量推計モジュールの構造を示す。IEAが推計したエネルギー需要量と生産量推計モジュールで得られた再生可能エネルギー生産量によって、化石燃料の消費量を計算した。化石燃料の消費量と二酸化炭素排出係数を使って、二酸化炭素排出量を推計する。ただし、化石燃料の二酸化炭素排出係数は中国发展改革委員会エネルギー研究所の研究結果を採用する。

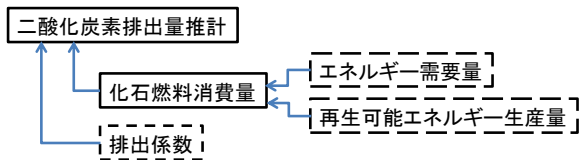


図4 二酸化炭素排出量推計モジュール

### 3. 回帰分析の結果と考察

#### 3.1 イノベーションモジュールの回帰分析結果

イノベーションモジュールの回帰分析結果は表2に示す。[\*]をつけたのは5%水準で有意、[\*\*\*]をつけるのは1%水準で有意である。[+]は正の相関、[-]は負の相関で表せる。

表2 特許推計の回帰分析結果

	太陽	風力	バイオマス	水力	地熱
各省研究資金	***(+)	***(+)	***(+)	***(+)	***(+)
国家計画資金					***(+)
再生可能エネルギー政策	***(+)	***(+)		***(+)	
エネルギー政策					
環境政策					
各省エネルギー政策	***(+)	***(+)	***(+)	***(+)	
R2	0.4609	0.5165	0.2532	0.3671	0.1384

風力、太陽と水力分野において、各省の研究資金、各省のエネルギー政策と再生エネルギー政策が有意と分かる。地熱分野には、国家計画資金合計と各省の研究資金が有意である。バイオエネルギーにおいて、各省の資金投資と各省のエネルギー政策数と正の相関が見られる。

再生可能エネルギー政策は太陽エネルギー、風力と水力の特許出願を促進する作用があるが、環境政策と省エネ政策などは影響がないことが分かった。

各省の研究開発資金は企業の資金で、各再生可能エネルギーに正の相関が見られる。企業の資金投入は特許出願に対して、推進の作用があると分かる。また、国の政策と資金よりは、地方の資金投資と政策は影響力が大きいと考えられる。

#### 3.2 生産量推計モジュールの回帰分析結果

各再生可能エネルギーとそれぞれの説明変数の関係を求めた結果は表3を示す。

表3 生産量推計モジュールの回帰分析結果

	風力	地熱	水力	太陽電池	太陽熱	農村水力	バイオマス発電	メタンガス
新規各省特許							*(+)	
新規全国特許								
蓄蔵量	***(+)	***(+)	***(+)	***(+)	*(+)	***(+)	***(+)	***(+)
各省特許ストック	***(+)							
全国特許ストック		*(+)					*(+)	
資金ストック			***(+)		***(+)	***(+)		***(+)
新規資金投資								
R2	0.30	0.53	0.53	0.14	0.29	0.95	0.24	0.66

表3によると、蓄蔵量は再生可能エネルギー分野の全体に正の相関を持つ。水力、太陽熱、農村水力とメタンガス分野は資金ストック量と正の相関を持つことが分かる。一方、風力分野は各省の特許ストック数、地熱は全国の特許ストック数、バイオマス発電は新規各省の特許数や全国の特許ストック数と正の相関が見られる。

中国ではエネルギー生産量が大きい、技術が比較的に成熟している再生可能エネルギーはエネルギー生産量が資金ストックと正の相関が見られる。一方、新エネルギーの方は特許すなわち技術要因と正の相関を持つことが分かる。

### 4 将来推計の結果と考察

#### 4.1 シナリオ設定

2020年の再生可能エネルギー生産量を推計するには、基準ケースと推進ケースを設定した。太陽電池については、生産量推計モジュールの回帰分析の結果によると、エネルギー分布だけと関係があるので、関係式で将来の生産量を推計することができない。ここで太陽電池の将来のエネルギー生産量は成長率で推計した。基準ケースの成長率は1985年から2007年の平均値を使って、推進ケースでは、成長率は2001年から2007年の平均値を採用した。

表4 シナリオの設定

変数名	設定
各省の研究資金	2015年まで成長、その以降は2015年の金額で保持
再生可能エネルギー政策	2010年まで成長、その以降は新政策はない
各省エネルギー政策	2015年まで成長、その以降は新政策はない
エネルギー生産の資金投資	2015年まで成長、その以降は2015年の金額で保持
各省の研究資金	2020まで成長
再生可能エネルギー政策	2010年まで成長、その以降は毎年5件
各省エネルギー政策	2015年まで成長し、その後は2015年の政策数を保持
エネルギー生産の資金投資	2020まで成長

#### 4. 2再生可能エネルギー生産量の推計結果

2020年再生可能エネルギー生産量の推計結果と再生可能エネルギー研究組および中国再生可能エネルギー中長期計画目標の比較は表5を示す。

各省のエネルギー蓄蔵量を用いて、推計した結果を修正した。修正の方法は、各省の2020年までに推計した結果の中でエネルギー蓄蔵量を超えた場合は、蓄蔵量に近く、かつ蓄蔵量より少ない値をそのまま2020まで持続することにした。

表5 再生可能エネルギー生産量の推計結果

2020年 万吨標準炭	本研究		再生可能エネルギー研究組			中長期 計画	2007年 実際値
	基準	推進	保守	中間	積極		
風力	1559	2792	1970	5240	6550	884	176
地熱	810	1188	1030	1030	1030	1200	240
水力	33599	39369	35570	35570	35570	33170	16032
農村水力	9698	9699	-	-	-	8292	-
バイオマス発電	4320	7578	2340	3120	4680	2928	185
メタンガス	2997	3573	3460	3460	3460	3142	731
太陽熱	12112	14527	6730	8450	10800	6000	4320
太陽電池	81	93	70	190	370	77	3
総量	55458	69103	51170	57060	62460	47400	21688
エネルギー消費量	422000(IEA低成長ケース)						265583
消費量に占める割合	13.14%	16.38%	12.13%	13.52%	14.80%	11.23%	8.17%

表6再生可能エネルギーの成長率

単位%	太陽熱	太陽光 発電	水力発電	風力発電	地熱	バイオマ ス発電	メタン ガス	農村水 力
2000	30.00	14.97	13.15	28.51	10.00	6.73	13.33	-
2001	23.08	68.42	24.73	16.59	10.00	11.41	35.56	-
2002	25.00	40.63	-11.14	16.92	10.00	7.45	21.67	-
2003	35.32	22.22	15.07	20.85	10.00	10.69	23.36	-
2004	13.19	18.18	24.64	34.68	10.00	24.17	20.79	14.57
2005	22.41	7.69	12.30	65.75	10.00	34.29	23.52	11.26
2006	20.00	14.29	9.77	105.21	10.00	24.91	3.23	12.97
2007	20.00	25.00	11.35	126.98	10.00	172.20	43.76	-
平均値	23.63	26.42	12.48	51.94	10.00	36.48	23.15	12.93
基準	8.25	27.93	4.23	18.25	6.77	33.43	11.41	3.40
推進	9.78	29.27	5.51	23.67	9.74	39.32	12.94	3.40
中長期計画	2.56	27.42	4.13	13.20	9.82	28.33	11.87	2.25

表6は再生可能エネルギー生産量の成長率を示す。中長期計画と本研究の成長率は、2007年から2020までは同じ成長率で維持することを仮定して、得られた。

基準ケースの推計した結果は、再生可能エネルギー生産量は5.55億トン標準炭に相当し、エネルギー消費量の13.14%になる。再生可能エネルギー研究組の中間案の結果に近く、中長期計画の目標値より高い。推進ケースでは、6.9億トン標準炭に相当し、エネルギー消費量に占める割合を16.38%に拡大した。

水力は一次エネルギー供給量から見ると、石炭と石油に続いて、三番目に大きいエネルギー供給源である。2006年中国水力の開発率は23.74%になって、ほかの再生可能エネルギーより高い。将来は、新エネルギー技術の進歩によって、水力開発に投入する資金は続けて高い成長率を維持することが難しいと思う。表6によって、中長期計画の成長率は新エネルギーの方が高い。もう広く応用している再生可能エネルギー、太陽熱、水力、メタンガスの2020年までの成長率は2000年～2007年の成長率の平均値より半分以上も低減する傾向がある。そこで、推進ケースより、基準ケースの水力エネルギー生産量の推計値の可能性が高いと思う。

風力では、本研究の推計結果は基準ケースの場合には1559万吨標準炭で、中長期計画の2倍弱であるが、再生可能エネルギー研究組の中間と積極案よりは少ない。表6によると、風力発電が高い成長を見せ、特に、2006年と2007年の成長率は100%も超えた。ここ数年で、中国における風力発電の設備製造業はすでに産業化の初期段階に入った。風力発電は現在の新エネルギー発電の中で技術が最も成熟し、大規模開発の条件と商業化の前途を備えた発電方式で、短期計画の重点である。2007年末までには、設備容量5904MWに達し、中国の「再生可能エネルギー中長期計画」における2010年に風力発電容量5000MWを達成させる目標を3年繰り上げて実現した。以上のことによって、中長期計画の風力分野の目標は高く調整する必要がある。

地熱、メタンガスと太陽電池の結果は中長期計画の目標値と近い。

バイオマス発電と太陽熱エネルギーの蓄蔵量を表す指標は、農作物面積と太陽エネルギーランクを採用した。蓄蔵量で結果を修正することができないので、結果は再生可能エネルギー研究組と中長期計画より大きい。表6の成長率から見ると、基準ケースを達成する可能性があると思う。

本研究の推計した結果によると、中国再生可能エネルギー中長期計画の目標を達成することができる。そして、原子力などの非化石エネルギー源の生産量を加え

て、非化石燃料の一次エネルギーに占める割合を 15% に拡大の目標を達成する可能性が大きい。

#### 4. 3 二酸化炭素排出量の将来推計結果

2020 年のエネルギー消費量は IEA の低成長ケースの推計結果 42.2 億トンを採用し、再生可能エネルギー生産量をマイナスにし、基準ケースでは化石燃料の消費量は 36.65 億トンで、推進ケースでは約 35.29 億トンを得られた。化石燃料を使用することによって、二酸化炭素の排出量は基準ケースでは 9005Mt-CO<sub>2</sub>、推進ケースでは 8670Mt-CO<sub>2</sub>を算出した。(表7)

また、再生エネルギーの利用によって、毎年 1362Mt-CO<sub>2</sub>(基準ケース)や 1698Mt-CO<sub>2</sub> (推進ケース)の二酸化炭素を低減できる。それは、2006 年世界の二酸化炭素排出量の 4.9%と 6.1%に相当する。

GDP の予測値を IEA の推計結果を使って、2020 年の GDP あたり二酸化炭素排出量は基準ケースでは約 0.409t-C/billions\$、推進ケースでは 0.394 t-C/billions\$である。結果を 2005 年比で基準ケース約 44.64%、推進ケースでは 46.70%を低減することができる。中国政府の 40%~45%を低減する目標を達することが可能である。(表7)

表7 GDP あたり二酸化炭素排出量推計

	2005	2020 基準	2020 推進
二酸化炭素の炭素排出量(Mt-C)	1398	2456	2364
二酸化炭素排出量(Mt-CO <sub>2</sub> )	5128	9005	8670
GDP(billion\$ 2005), IEAの推計結果	1893	6006	6006
GDPあたり二酸化炭素排出量 (t-CO <sub>2</sub> /billion\$)	2.708	1.499	1.443
GDPあたり二酸化炭素排出量 (t-C/billion\$)	0.739	0.409	0.394
削減率(2005年との比率)		44.64%	46.70%

本研究と各研究機関の 2020 年の二酸化炭素の推計結果の比較は表8に示す。IEA(450ppm)は国際エネルギー機関(IEA)は、温室効果ガス濃度を 450ppm(CO<sub>2</sub>換算)で安定化させる道筋を示す新たな研究成果である。IEA(450ppm)の結果は 2020 年の二酸化炭素排出

量は 84 億トンで、EU 要求の値や推進ケースの値に近い。本研究の基準ケースと中国エネルギー研の省エネシナリオの研究結果は 2005 年の二酸化炭素原単位より 40%以上削減できるが、IEA の 450ppm シナリオよりは大きい。

表8 二酸化炭素排出量の結果比較

シナリオ	2005	2020
基準ケース	51.28	90.04
推進ケース	51.28	86.70
中国エネルギー研:省エネ(CO <sub>2</sub> 原単位-44%)	51.66	100.83
IEA(BAU)	50.55	96.00
IEA(450ppm)	50.55	84.00
IEA(CO <sub>2</sub> 原単位-40%)	50.55	93.11
IEA(CO <sub>2</sub> 原単位-45%)	50.55	85.35
EU:BAU	51.66	103.33
EU要求(BAUから16%削減)	51.66	84.70

#### 5. 結論

再生可能エネルギーの技術要因を分析することによって、各省の研究資金投資、各省のエネルギー政策と再生エネルギーに関する政策は特許出願を促進する作用があるが、環境政策と省エネ政策などは影響がないことが分かった。また、国の政策と資金よりは、各省の資金投資と政策はもっと影響力があることが分かる。

再生可能エネルギー生産量は蓄蔵量と強い正の相関が見られた。また、中国ではエネルギー生産量が大きい、技術が比較的成熟している再生可能エネルギーのエネルギー生産量は資金ストックと正の相関があり、一方、新エネルギーの方は特許すなわち技術要因と正の相関を持つことが分かった。

2020 年再生可能エネルギー生産量の推計結果標準ケースでは 5.55 億トン標準炭で、推進ケースでは 6.9 億トン標準炭に相当する。中国再生可能エネルギー中長期計画の目標を達成できる。再生可能エネルギーはエネルギー需要量の 13%から 17%の割合を占める。非化石燃料の一次エネルギーに占める割合を 15%に拡大する目標は達成の可能性が大きい。

再生エネルギーの利用によって、毎年1362Mt-CO<sub>2</sub>(基準ケース)から1698Mt-CO<sub>2</sub>(推進ケース)の二酸化炭素を低減できる。

また、基準ケースでは2020年化石燃料の需要量は36.65億トンで、推進ケースでは約35.29億トンになる。化石燃料を利用することによって、9004Mt-CO<sub>2</sub>と8670Mt-CO<sub>2</sub>の二酸化炭素を排出することを算出した。

2020年のGDPあたり二酸化炭素排出量は基準ケースでは約0.409t-C/billions\$, 推進ケースでは0.394t-C/billions\$である。2005年比で基準ケース約44.64%を削減することができ、推進ケースでは46.70%を削減することができる。中国政府の40%~45%を削減する目標を達成できる。本研究の基準ケースと中国エネルギー研の省エネシナリオの研究結果は2005年の二酸化炭素原単位より40%以上削減できるが、IEAの450ppmシナリオよりは大きい。

以上の結果をまとめると、中国再生可能エネルギーの開発利用によって、ニューヨークの国連気候変動サミットの中で胡錦濤主席は発表した、1)2020年にCO<sub>2</sub>原単位を2005年比で顕著に低減(40%~45%)、2)非化石燃料の一次エネルギーに占める割合を15%に拡大、この二つの目標を実現する可能性が高い。ところが、IEAの450ppmシナリオの二酸化炭素排出量84億トン以下の目標を達成するには、再生可能エネルギーを推進するとともに、低炭素技術の開発、発電効率の向上や森林面積を拡大などの政策を全面的に実行する必要がある。

#### 参考文献

中国統計年鑑 1990-2008

中国科学技術統計年鑑 1991-2008

中国工程院再生可能エネルギー研究組, 中国再生可能エネルギー発展戦略

中国再生可能エネルギー産業報告 2008

中国エネルギー統計年鑑 1989-2008

中国農村エネルギー統計年鑑 1999-2006

OECD Factbook 2009

Key world energy statistics2009, IEA International energy agency

CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion highlights2009, IEA statistics

The Conference Board and Groningen Growth and Development Centre, Total Economy Database, January 2009;

中国再生可能エネルギー中長期発展計画

「A strategic studies on energy conservation and emission reduction in china」

「中国エネルギー50年(1949-1999)」; 中国エネルギーに関する政策中国エネルギーに関する政策

「中国政府資料データベース」; 国家政策情報(2001年~)

CNKIの中国法律知識資源法律法規庫