

中国・日本における再生可能エネルギー利用に関する考察

東京農工大学
東京農工大学
電子技術総合研究所

片岡 克成*
黒川 浩助
村田 晃伸

1. はじめに

化石資源の枯渇問題や環境問題などエネルギーを取り巻く問題は地球的規模で関係があり、各国独自に対応するだけでなく協力して取り組まなくてはならないことである。地球温暖化、酸性雨などの環境問題は環境負荷物質（二酸化炭素、硫黄酸化物、窒素酸化物 etc）が国境を越えて被害を及ぼすからである。

アジア地域において、中国のエネルギー需要は増大する人口に伴って消費量が増加していく。増大する消費量の影響はアジア地域だけでなく地球的規模の問題として考えられる。消費量 = 需要に対する供給の安定化が必要不可欠である。過去の日本などと同じように、単一の化石燃料から多様なエネルギー源を利用するようになると考えられる。エネルギー供給源として、化石資源による供給と共に、莫大なエネルギー資源として存在する再生可能エネルギーも利用される。

本論文では、アジア地域を対象にしたグローバルモデル GOAL を用いて、中国における再生可能エネルギーの利用形態について論じる。そして、中国における資源の利用量が日本のエネルギー事情への影響について考察する。

2. モデルの概要⁽¹⁾

本解析に使用するモデルは、長期多地域型エネルギーモデル GOAL (Global Optimal Assessment Links) である。

2.1 モデルの対象

GOAL (長期線形最適化モデル) は 10 年を 1 期とした 1990 年 (基準年) を中心とする期 (1986 年 ~ 1995 年) から 2050 年を中心とする期 (2046 年 ~ 2055 年) までの 7 期 70 年間を分析期間とする。図 1 に GOAL モデルの対象地域を示す。

モデル対象地域はアジア - 日本、中国、インドネシア、マレーシア、シンガポール、タイ、フィリピンの 7 ヶ国である。地域性を表すために広大な面積を持つ中国に対しては東北・北部、東部・中南部、西北・西南部の 3 地域に、島国であるインドネシアは内島部、外島部として、7 地域 (10 内部地域) に分割してモデル化されている。

モデル中のエネルギー媒体は以下に示す。

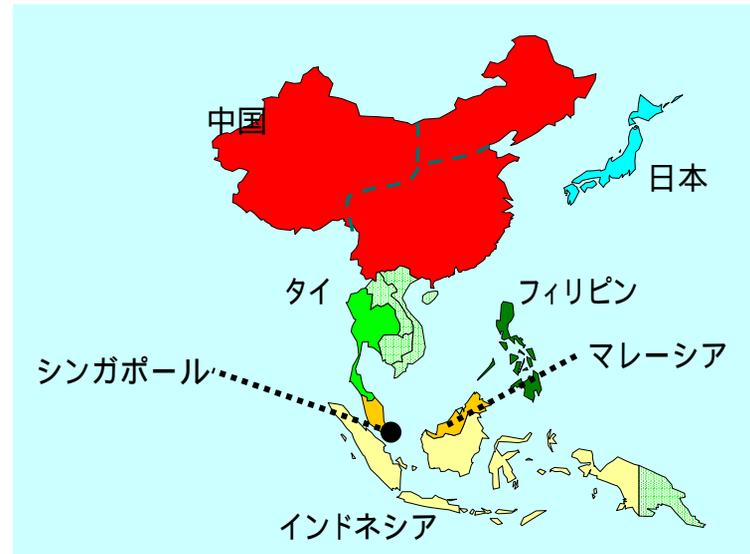


図 1 GOALモデルの対象地域

- ・石油(Oil)
- ・石炭(Coal)
- ・天然ガス(LNG)
- ・軽水炉燃料(LWR Fuel)
- ・炭層メタン(Coal Bed Methane)
- ・水素(Hydrogen)
- ・太陽光(PV)
- ・バイオマス(Biomass)
- ・自動車用燃料
- ・原料需要 (石炭、コークス、天然ガス、ナフサ)
- ・水素

2.2 導入技術

導入技術は地域ごとに導入時期を設定している。モデル化されている技術を以下に示す

発電技術

石炭火力、PFBC、IGCC、石油火力、天然ガス、ガスタービン、ディーゼル発電 (分散型) 複合サイクル発電、原子力発電、風力発電、水力発電、地熱発電、太陽光発電 (大規模型、集中型、分散型) バイオマス発電 (都市ゴミ、STIG)、燃料電池

輸送技術

タンカー輸送、パイプライン輸送、鉄道輸送、電力送電

転換技術

石油精製、天然ガス処理、ガソリン (軽油) 製造

2.3 環境排出物

環境排出物は以下の4種類を対象とする。

- 二酸化炭素、及びメタン（温室効果）
- 硫黄酸化物（酸性雨、光化学スモッグ）
- 窒素酸化物（酸性雨、光化学スモッグ）
- ばいじん（近隣地域へ影響）

モデル中ではこれらの排出量の計算を発電・転換技術ごとに排出係数⁽²⁾⁽³⁾として設定し、入力エネルギーに対する発生量を計算する。CO₂に関しては浄化技術（脱硫、脱硝、脱塵 etc）にあたるものがなく、利用された資源ごとに発生量を算出している。

3. 分析の前提

本モデルを用いた最適化は基本的に総システムコストを最小化する。総システムコストは国別のエネルギーシステムコストと対象国間のエネルギー輸送費用の総和として計算する。国別のエネルギーシステムコストは採掘・転換・内部地域間輸送の各段階における設備建設費用・運転保守費用・エネルギー費用・その他の世界(ROW)とのエネルギー輸出入費用の総和である。モデル上では7カ国の総和である。

モデルで最適化を行う際、制約式として硫黄酸化物と二酸化炭素の排出量を規制することとした。制約式は以下ようになる。

$$\text{環境負荷物質排出量} < \text{排出規制割合} \times \text{無規制排出量} \\ (\text{硫黄酸化物} \cdot \text{二酸化炭素})$$

ここで、無規制排出量とは排出規制をしない場合の排出量を示す。

分析はGOALモデルの電力部門を対象に行う。

4. ケーススタディ

4.1 想定ケース

現在、中国では硫黄酸化物の排出規制が行われている。その排出規制による電力供給技術に対する影響を検討するために硫黄酸化物の排出規制を行った。図2はSO_x排出量規制を「0%、50%、80%」と「1990年レベル排出量を維持」の4ケースの排出規制を想定した硫黄酸化物排出量である。詳細は表1中のケースA～Dにまとめておく。

排出規制の上限値は規制をせずに総システムコストを最小化した最適化の結果で得られた排出量を基準にして、各年ごと50%、80%をかけた値である。また、それらのケースでは排出規制なしの曲線に従った規制量となるので、排出量を一定値に規制したケースも想定した。

次に硫黄酸化物の排出量に加えて、二酸化炭素の排出量に規制を加えた。中国は地球温暖化防止会議において

二酸化炭素の排出規制の対象ではないが、将来二酸化炭素の排出規制が実施される可能性を考慮して想定した。それぞれの排出規制量は表1にまとめたとおりである。

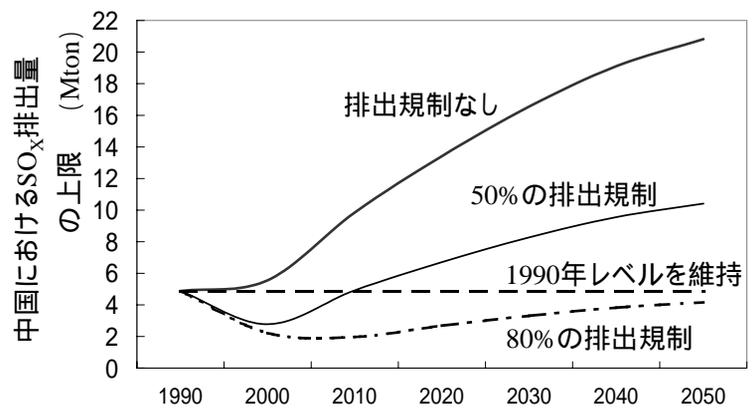


図2 SO_x排出規制量の年推移

表1 SO_x, CO₂の排出規制ケース

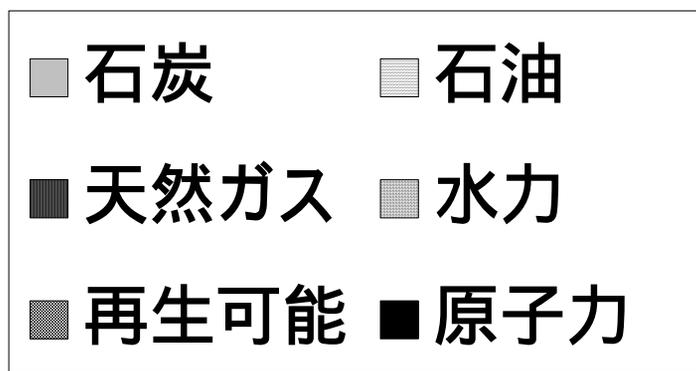
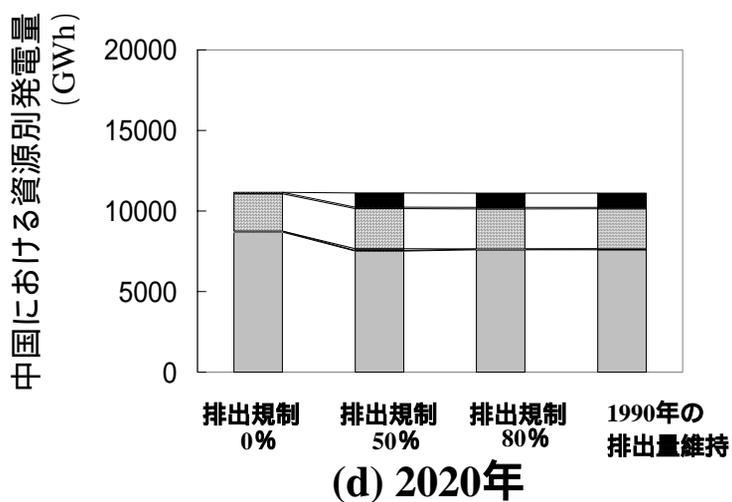
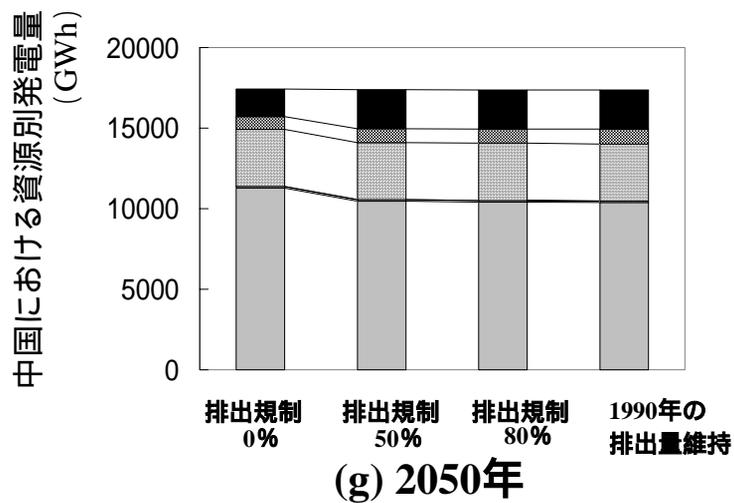
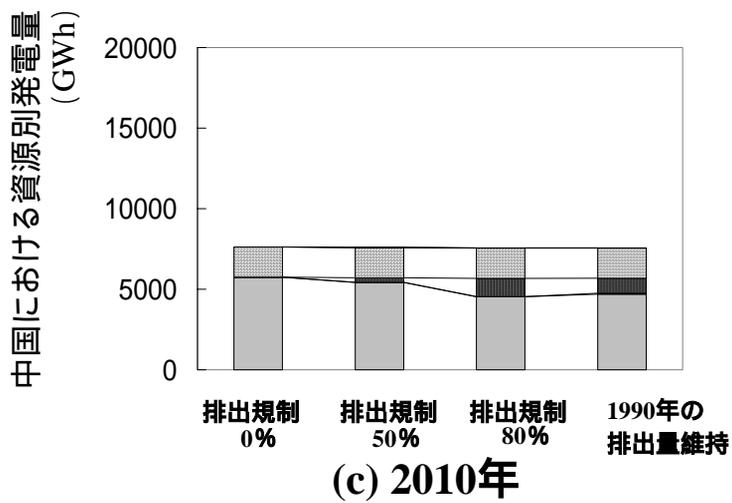
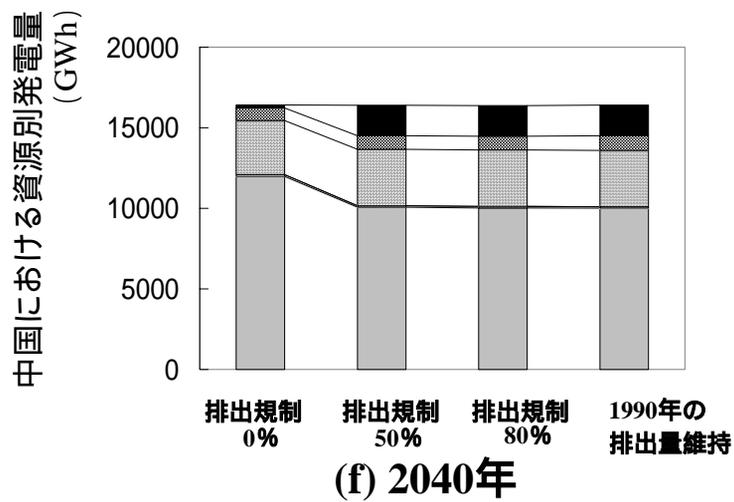
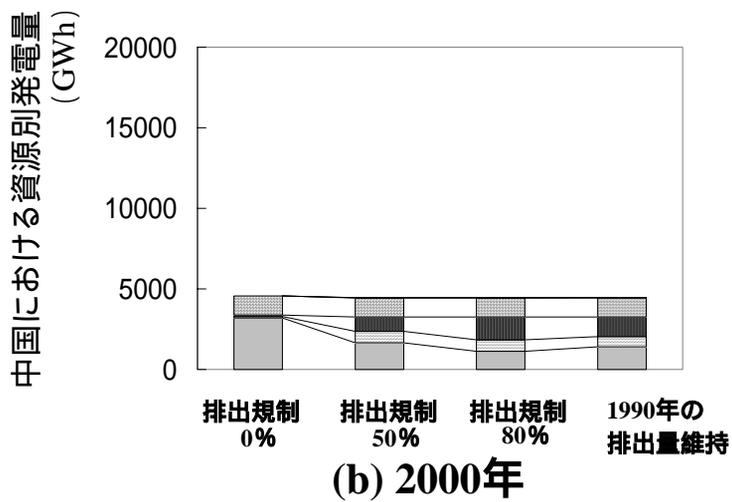
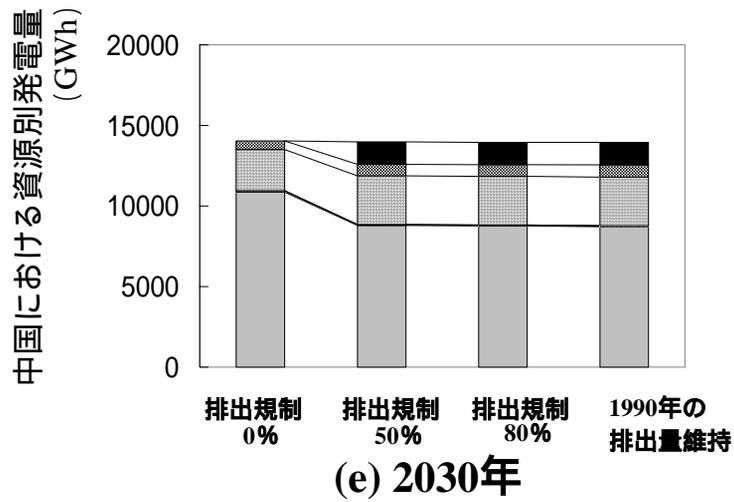
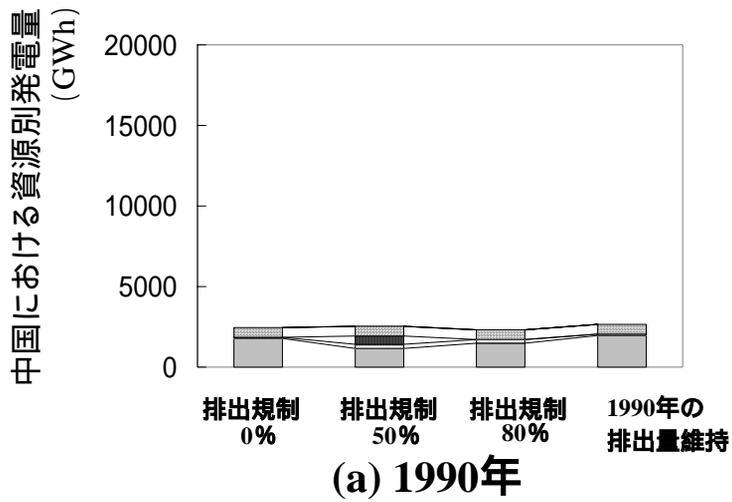
	SO _x 排出規制 (%)	CO ₂ 排出規制 (%)	備考
ケースA	規制なし	0%	中国以外に 対して 全て排出 規制なし
ケースB	50%	0%	
ケースC	80%	0%	
ケースD	1990年レベル維持	0%	
ケース1	20%	10%	
ケース2	60%	10%	
ケース3	1990年レベル維持	10%	
ケース4	20%	20%	
ケース5	60%	20%	
ケース6	1990年レベル維持	20%	
ケース7	20%	30%	
ケース8	60%	30%	
ケース9	1990年レベル維持	30%	

4.2 モデル解析結果

4.2.1 SO_x排出規制による影響

ケースA～Dの規制をかける場合の結果を図3に示す。(a)～(g)はケースA～Dにおける利用燃料の変化をわかりやすくするために、各年ごとに分けてグラフにした。

硫黄酸化物の排出規制によりケースB～Dの石炭の利用量はケースAの利用量に対して5～8%の減少がみられる。この石炭の減少分は2000～2010年にかけては天然ガスにより代替され、2020年以降は原子力により代替されている。この傾向はそれぞれのケースで共通とである。石炭の利用量が数%の減少で硫黄酸化物の排出量を抑制できる理由は石炭を利用する技術が脱硫技術やクリーンコール技術に代替されることによるものである。再生可能エネルギーの全発電量に対する割合はケースA：23.9%、ケースB：25.4%、ケースC：25.5%、ケースD：25.7%であった。また、ケースAに対する増分コストの割合はケースA：12%、ケースC：15%、ケースD：14%となる。



再生可能に風力と太陽光エネルギーをまとめている

図3 SO_x排出量規制ごとの中国における燃料別発電量推移

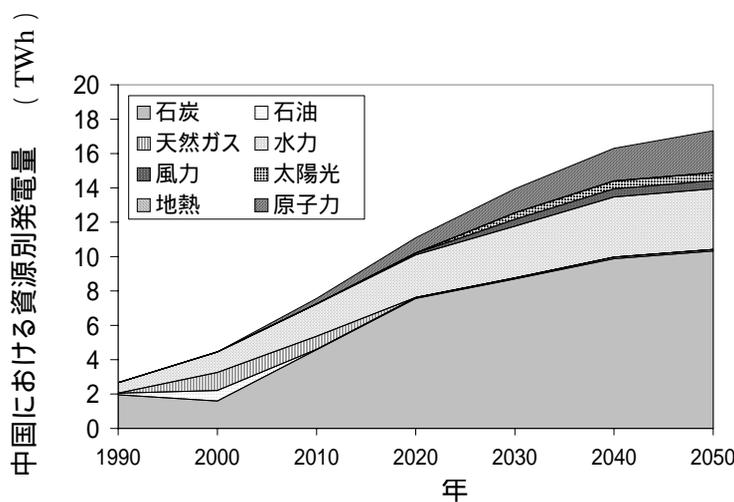
4.2.2 SO_xとCO₂排出量規制の影響

二酸化炭素と硫酸化物の排出量を規制するケースで最適化した。ケース1～3、4～6、7～9のそれぞれ燃料構成でほとんど変化しなかったしかし、二酸化炭素排出規制で比べてみるとケース1とケース8を比べると利用される燃料の構成で大きな変化をした。図3はケース1とケース7の規制で最適化を行った場合の結果である。(1)がケース1、(2)がケース7である。

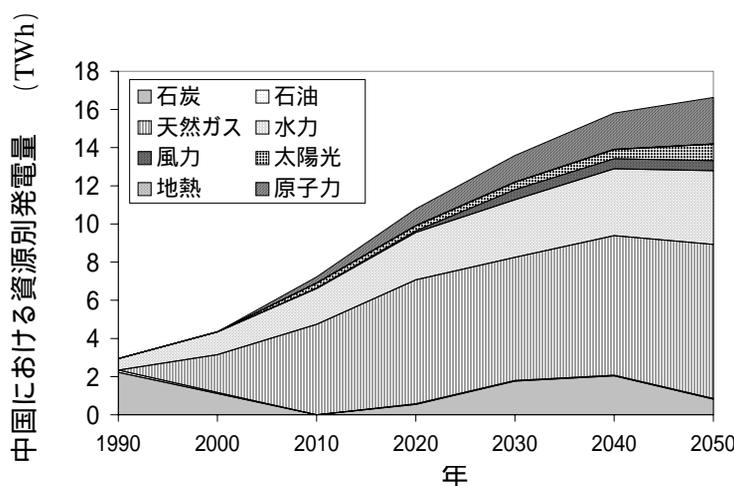
ケース1に対する中国のシステムコスト増分はケース7の場合で20%である。利用エネルギーの構成はケース1に比べてケース8の石炭利用量の20%まで減少している。その差分の供給は天然ガス、原子力、再生可能エネルギーで代替されている。減少した石炭の利用量に対する代替燃料の割合は次の表2のように天然ガスが95%と大半をしめる。このときの二酸化炭素削減の平均費用は30%削減の場合20.2ドル(1990年US\$)となる。

表2 燃料別代替率

	構成比(%)
天然ガス	95
水力	1.0
風力	0.8
太陽光	2.8
地熱	0.04
原子力	0.04



(1) ケース1の結果: SO_x (20%)、CO₂ (10%) 規制



(2) ケース8の結果: SO_x (20%)、CO₂ (30%) 規制

図4 ケース1, 8における燃料別発電量推移

5. 考察

電力供給において単一の資源に頼るシステムでは安定供給が可能であるとはいえない。電力供給の安定化のための手段として、システムの燃料構成の分散化が考えられる。本論では、避けられない環境問題を考慮して硫酸化物と二酸化炭素の排出規制による影響を調べてきた。結果として硫酸化物の排出規制では供給システムの構成(再生可能エネルギーの利用量など)に大きな影響を与えないことがわかった。

硫酸化物排出規制の最適化では、硫酸化物の排出量を削減するために脱硫技術やPFBCなどのクリーンコール技術が導入されている。脱硫技術は石炭火力に増設される

硫酸化物と二酸化炭素の排出規制を考えると、二酸化炭素の排出量を削減するために二酸化炭素排出原単位が小さい天然ガスが多く利用されることがわかる。二酸化炭素排出量を規制する事が硫酸化物に比べて、電力供給のシステム構成に影響を与えることがわかった。しかし、どのケースにおいても再生可能エネルギーの発電量に対する利用割合は低いものであった。

6. 終わりに

中国には石炭など採掘資源や広大な大地に太陽エネルギー、ウィンドファームが豊富にあり、エネルギー供給には自給自足が十分可能であるが、環境問題を抜きにエネルギー需給について考えることはできない。エネルギー供給の安定化を図るために多様な資源による供給が必要であり、自然エネルギーの利用を促進するべきである。

本論の解析は硫酸化物と二酸化炭素の排出規制であるが、その他の排出物質の規制をすることによりエネルギー多様化が可能であるか解析したいと考えている。そのために排出規制の対象となる排出物質を複合的に規制していこうと考えている。また、中国の資源利用に対する日本の利用エネルギーへの影響についても引き続き検討を続ける。

文献

- (1) アジア地域のエネルギー利用と地球環境: 科学エネルギー庁科学技術政策研究所編
- (2) アジア地域の発電部門の最適化モデルを用いた環境問題の評価、第15回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス 講演論文集
- (3) Environmental Manual by World Bank