

世界エネルギー需給モデルを用いた 京都メカニズムの定量的評価に関する研究

学生証番号 56219 氏名 両澤 光一
(指導教員 山地 憲治 教授)

Key Kyoto , Kyoto Mechanism, Greenhouse Gas Emission, CDM

1. 本研究の背景

従来、温室効果ガス削減対策として先進諸国は、排出量の少ない燃料への転換、省エネの実施などを行ってきた。しかし、双方とも技術やコストの面で困難である。さらに発展途上国に至っては今後確実に人口増加が予想され、温室効果ガス排出量はさらに増加すると考えられる。

このような背景を踏まえて、先進諸国と途上国が協力し、環境面・排出削減コストの抑制という経済面の双方を満たす枠組みが温室効果ガス削減には必要であり、その具体的な方策の一つとして、COP3で京都議定書が採択された。中でも、排出取引(ET)、共同実施(JI)、クリーン開発メカニズム(CDM)という制度が、温室効果ガス排出目標達成という公益性の強い問題を解決する目的で採用された。

2. 本研究の目的

本研究では、京都メカニズムの一つであるCDMについて、特に盛んな中国における風力・水力発電事業の現状を調査して、CO₂排出およびコストの面双方の様相を把握する。

その上で、世界総エネルギーシステムコスト最小化のもと、CO₂排出量制約のツールとして京都メカニズムがどのくらい貢献することができるのかについて、マクロな観点から定量的評価する。

3. クリーン開発メカニズム事業の実態

2008年1月現在、国連CDM理事会登録済みプロジェクトは全部で909件あり、年間排出削減予測量は 2.0×10^8 トン(CO₂/年)となっている。排出削減予測量は中国、インドが上位を占めている。

本項では、発展途上国の中でも特に多くのプロジェクトが国連CDM理事会に登録されている中国の風力・水力発電に関して、その予想発電コストおよび予想クレジット価格に関して、現状の中国の電力事情および世界炭素市場価格と比較検討することで、事業のコスト・利益面などの実態を把握する。

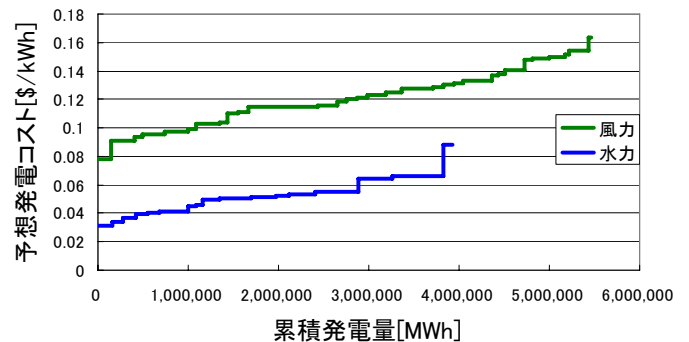


図1. 中国の風力発電CDM事業の予想発電コスト

図1より、中国の風力発電CDM事業の予想発電コストは平均して0.1から0.13\$/kWh程度であるのに対して、現状の中国の卸売電力料金は高く約0.4元/kWh(=約0.06 \$/kWh)となっており、割高となっている。一方で水力発電については、予想発電コストが、平均して0.05 \$/kWh程度、現状の中国の卸売電力料金は、約0.2から0.3元/kWh(=約0.03から0.04 \$/kWh)と、差がそれほど無い。CER価格についても、世界平均が約7.5\$/t-CO₂であり、風力発電CER価格が約6\$/t-CO₂であるのに対して、水力発電は8\$/t-CO₂と平均を上回っている。

4. 京都メカニズムのマクロ的解析

世界細分化エネルギー需給モデルを用いて、評価対象を2010年、エネルギー産業起源のCO₂のみを対象とし、世界全体を12地域に分ける(①アメリカ、②カナダ、③西欧、④日本、⑤オセアニア、⑥中国、⑦その他アジア、⑧中東・北アフリカ、⑨その他アフリカ、⑩中南米、⑪ロシア、⑫東欧)。以下に定式化およびケース設定を行う。

$$\begin{aligned} J &= \min_{\mathbf{x}_n} \sum_n ({}^T \mathbf{c}_n \cdot \mathbf{x}_n) \\ \text{s.t.} & \\ \mathbf{A} \cdot \mathbf{x} &= \mathbf{rhs} \end{aligned} \quad \mathbf{x} = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{x}_n \\ \vdots \\ \mathbf{x}_{\text{REGION}} \end{pmatrix} \quad (1)$$

J : 目的関数, x_n : 第 n 地域の変数ベクトル,
 x : x_n を縦に並べた列ベクトル,
 c_n : 第 n 地域のコスト係数ベクトル,
 A : 世界モデル係数行列,
 rhs : 右辺定数項ベクトル,
 n : 第 n 地域のRegion番号(=1,...,12)

$$G_n x_n \leq e_n \quad n \in Annex1 \quad (2)$$

$$\sum_{n \in Annex1} G_n x_n \leq \sum_{n \in Annex1} e_n \quad (3)$$

$$\sum_{n \in Annex1} G_n x_n \leq \sum_{n \in Annex1} G_n x_n^* \quad (4)$$

$$\chi_n^*: \text{ケース2の排出目標設定ケースにおける第}n\text{地域の最適解}$$

$$\sum_{n=1} G_n x_n \leq \sum_{n \in Annex1} e_n + \sum_{n \notin Annex1} G_n x_n^* \quad (5)$$

表1 ケース設定

ケース1	レファレンスケース
ケース2	京都議定書遵守(国内対策のみ)
ケース2'	京都議定書遵守(含豪, 国内対策のみ)
ケース2+	京都議定書遵守(含米・豪, 国内対策のみ)
ケース3	京都議定書遵守 + ET実施
ケース3'	京都議定書遵守 + ET実施(含豪)
ケース3+	京都議定書遵守 + ET実施(含米・豪)
ケース4	京都議定書遵守 + JI実施
ケース4'	京都議定書遵守 + JI実施(含豪)
ケース4+	京都議定書遵守 + JI実施(含米・豪)
ケース5	京都議定書遵守 + ET&CDM実施
ケース5'	京都議定書遵守 + ET&CDM実施(含豪)
ケース5+	京都議定書遵守 + ET&CDM実施(含米・豪)

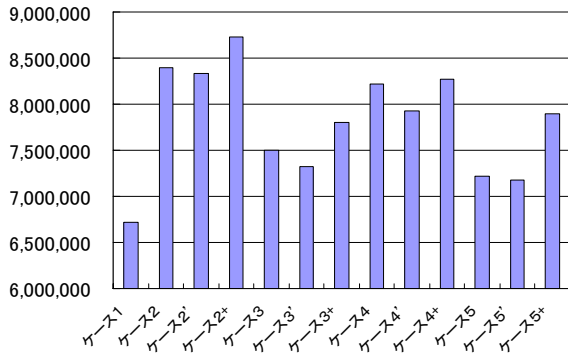


図2各ケースの世界総エネルギーシステムコスト [10⁶\$]

ケース1を基準とすると、国内対策のみのケースと比較して、京メカを用いるケースの方がコストを抑制できる。またロシアなどのホットエアーがないJIケースは他の京メカケースと比較してコストが上昇する。さらに米豪を含む場合世界全体で、ET→690 Mt-C、JI→980Mt-C、CDM&ET→550Mt-C程度削減可能となる。

5. エージェントベース世界エネルギー需給モデルを用いた京都メカニズムの評価

世界排出権市場(世界各地がET、JI、CDMを用い

てクレジット取引を行う市場を想定)におけるクレジット価格に関して、強化学習などの理論を元に構築されたエージェントベース世界エネルギー需給モデルを用いて、世界各地域が各自でとる価格戦略の様相を表現した。

なおケース設定は第4項と同じで、CO2制約について世界12地域ごとにかけ、米豪を含むAnnex1は、京都議定書目標値、非Annex1はケース1の排出量を上限値とした。図3に最適化計算およびRegion別システムコスト算出計算フローを示す。この後強化学習を用いて、各Regionの価格戦略が決定される。

$$J^k = \min_{x_n^k, CER_TR_n^k} \sum_n (c_n \cdot x_n^k + CER_TR_n^k \cdot Q_n^k)$$

s.t.

$$(A \ B) \begin{pmatrix} x^k \\ CER_TRADE^k \end{pmatrix} = rhs$$

$$G \cdot x_n^k + H \cdot TR_n^k - CER_TR_n^k \leq e_n$$

$$\sum_{n \in Region} CER_TR_n^k = 0$$

x_n^k : 各種燃料Region間貿易量以外の各変数ベクトル, x^k : x_n^k を縦に並べた列ベクトル
 c_n^k : 各種燃料Region間貿易量変数以外の各コスト係数ベクトル, $CER_TR_n^k$: creditのRegion間貿易量(輸入正, 輸出負)
 CER_TRADE_k : $CER_TR_n^k$ を縦に並べたベクトル
 Q_n^k : 第 n Regionにおけるcreditの貿易価格戦略値(輸出価格のpremiumまたは輸入関税の上げ幅)
 A, B : 世界モデル係数行列, rhs : 右辺定数項ベクトル
 G, H : 排出原単位変換ベクトル
 e_n : 第 n RegionにおけるCO2京都議定書排出目標値
 n : Region番号(=1,...,REGION) 今回Region数は12
 k : 繰り返し計算回数(=1,...,CALC)

$$R_n^k = {}^T c_n \cdot x_n^{k*} + {}^T TR_n^{k*} \cdot \lambda_n^{k*} + CER_TR_n^{k*} \cdot (v_n^{k*} - Q_n^k)$$

図3. Region別システムコスト算出計算フロー

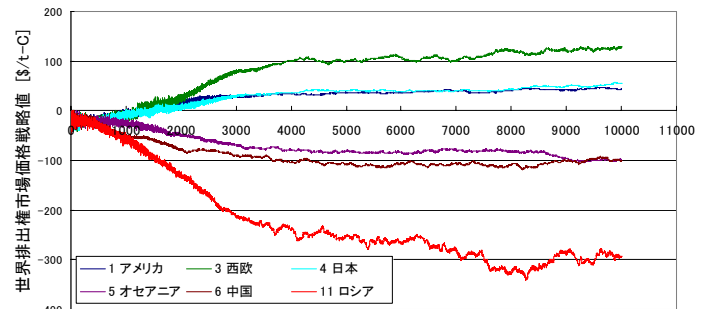


図4 世界各地域における世界排出権市場価格戦略

図4より、先進諸国の戦略値が正の値(市場価格を吊り下げようとする)なのに対して、途上国は負の値(市場価格を吊り上げようとする)であることがわかる。

5.まとめ

- ①中国におけるCDM事業は、水力発電は低コスト・高CER価格であるが、風力は双方の点で厳しい。
- ②世界細分化エネルギーモデルにて、京メカ利用時のコスト削減などの妥当な結果を得たことで、本研究モデルの環境戦略への適用が可能であることを示した。
- ③エージェントベースモデルにて、世界排出権価格を先進諸国は吊り下げ、途上国は吊り上げる戦略を表現することが出来た。さらに利己的なエージェントをもってしても京メカ利用により、CO2限界削減費用の削減につながる可能性を示した。