

# ポスト京都の枠組みの総合的比較分析

2008年3月修了 環境システム学専攻 66767 森博雅 (指導教員 松橋隆治教授)

キーワード: ポスト京都、枠組み、DEMATEL、AHP、クロスインパクト、鉄鋼、削減ポテンシャル

## 1. 序論

京都議定書の第一約束期間(2008~2012年)が始まったが、2013年以降のポスト京都の枠組みに関する議論も2005年のCOP11並びにCOP/MOP1から始まった。2007年にはCOP13並びにCOP/MOP3が開催され将来枠組みに関する議論も行われたが、各国の思惑が交錯し具体的な合意の段階には至っていないというのが現状である。

ポスト京都には様々な提案がなされているが、各提案が長所短所を持ち合わせており、一概に決定しづらいのが難点である。研究者の国籍やスタンスにより様々な提案が出てくる原因には、研究者ごとに考える指標やその重要度合いが違うことが考えられる。本研究の目的は中立の立場から客観的・定量的な枠組み分析を行うことである。

## 2. 評価指標間の影響関係の定量化・階層構造化

### 2-1. DEMATEL アンケート

枠組みの「評価」に当たり評価指標を考えるが、評価指標間に相互影響があると考える。その相互影響をDEMATEL法により分析する。評価指標の抽出(右の表1に「枠組み評価」という総合目的指標を加えた11指標とする)後、専門家11名を対象にアンケートを行った。その内訳は以下の通りである。

●所属別=学者2名(A,B氏)、独立行政法人・財団法人研究者4名(C,D,H,I氏)、コンサルタント1名(E氏)、NPO/NGO1名(F氏)、行政2名(G,J氏)、企業関係者1名(K氏)

●国別=日本人9名、アメリカ人1名(I氏)、中国人1名(K氏)

本来DEMATEL法は影響度を全てプラス値で評価するが、指標間の影響として正負双方が考えられるため、負の影響が考えられる場合はマイナス値で評価を依頼した。

<DEMATEL法を用いた総合影響行列の計算>

アンケートで指標*i*が指標*j*に及ぼす直接的影響の影響度を質問し、それを*ij*成分にとった直接影響行列*X\**を作成する。各行の総和の最大値で各要素を割ることにより正規化直接影響行列*X*を作成し、間接影響も含めた総合影響行列*T*を次式から算出する。

$$X+X^2+X^3+\dots+X^n+\dots=X(1-X)^{-1}=T$$

### 2-2. 回答分析による階層構造化

奥村<sup>1)</sup>に従って行った。具体的には、各人の総合影響行列の絶対値上位25%の影響のみを取り扱い、下位階層から上位階層へ影響が及ぶ構造とした。階層構造は評価者により大きく異なるものとなったが、例としてD氏の結果を図1に載せる。また、11人の階層構造

表1 取り上げた評価指標

指標	説明
1 地球環境保全の確実性	気候変動影響を小さく抑えるため確実に実質的な排出抑制につながる取り組みが可能となるか
2 地球環境保全の柔軟性	各国の状況変化や地域差等に柔軟に対応して効果的な枠組みとなりうるか
3 経済への影響	温暖化に対する費用対効果の高くなる場合は正の影響、低くなる場合は負の影響
4 途上国参加の問題	途上国が参加しやすいものであるかどうか
5 米国参加の問題	米国が参加しやすいものであるかどうか
6 途上国の持続可能な発展	途上国の政治・経済・技術などの面での持続可能な発展に資するかどうか
7 過去の排出責任	過去の排出実績をその国の責任とみなして削減させる考え方に則ったものであるか
8 合意形成上の問題	現実性に基づき確実に政治的に合意に至れる提案かどうか
9 一人当たり排出量の平等	全ての人が等しく温室効果ガスを排出しようという平等原則にのっとっているか
10 負担能力の衡平性	一人当たりGDPが高いほど、より多くの負担を引き受ける形になっているか

をまとめた結果、評価指標を以下の4タイプに分けることができた。

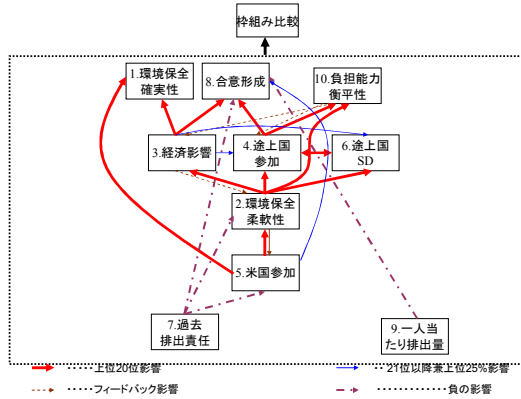


図1 D氏の回答に基づく各指標の階層構造

- ①最上位層型・・・下位階層からの影響を受けるが、自分からは影響を与えにくい（合意形成、環境保全確実性）
- ②中間階層型・・・下位階層からの影響を受け、上位階層へ影響を与える（環境保全柔軟性、途上国参加、米国参加、途上国SD）
- ③最下位層型・・・上位階層へ影響を与えるが、他の指標からは影響を受けにくい（過去排出責任、一人当たり排出量）
- ④その他・・・評価者により階層位置が全く異なる（経済影響、負担能力衡平性）

### 3. 枠組み評価並びに評価点算出

#### 3-1.AHP（絶対評価法）アンケート

表1の10の評価指標に対するポスト京都枠組みの評価をAHP（絶対評価法）により行う。ポスト京都枠組みの抽出（表2）後、専門家6名（DEMATELアンケート対象者のうち回答を得たA,B,C,D,I,K氏）を対象にアンケートを行った。

#### 3-2.枠組み評価点算出

i) DEMATEL アンケート結果

より評価指標間の相互影響も考慮した枠組み評価の際の重要度算出 ii) AHP アンケート結果からの各評価指標に対する枠組み評価と合わせ、枠組み評価点算出の2ステップにより行う。

i) は、総合目的と評価指標を表した超行列を作り、「枠組み評価」への影響度をベースに他指標への影響分を差し引きして評価指標jの枠組み評価の際の重要度 $a_j$ を求める。結果は右図である。

ii) は、まず固有値法により評価結果を重み付けし、枠組みiの各評価指標jに対する重み $p_{ij}$ を出す。

$$\text{そして、} S_i = \sum_{j=1}^{10} (a_j \times p_{ij}) \text{により枠組み} i \text{の}$$

評価点を算出する。6名の結果を算術平均したのが右表である。

表2 取り上げたポスト京都枠組み

枠組み	説明
I 京都議定書の継続	現在の京都議定書の枠組みを継続するもの。国家は数値目標を設定し、その目標に向かい削減する。
II 炭素集約度目標提案	GDP当たりの温室効果ガスのトン数で目標設定する。
III 完全セクターアプローチ	国内の温室効果ガスを全て部門別に分類し、各部門別に目標となるエネルギー原単位または温室効果ガス排出原単位を設定して、その目標に向かい削減する。
IV 部分的セクターアプローチ	鉄鋼、セメント、電気など一部のエネルギー多消費産業やエネルギー転換部門に限定して部門別の原単位目標を設定し、それらを国家の数値目標から切り離す。IとIIIの折衷型。
V 部分的セクターアプローチ+CDM	IVと同じく一部のエネルギー多消費産業のみ国家の数値目標から切り離してセクターアプローチを導入する形であるが、切り離された産業についてはベンチマークなどの分かりやすい原単位指標を設け、それを越えた技術を移転する場合に、煩雑な審査なくCDMと認める。
VI マルチステージアプローチ	経済発展などの指標を基に、異なる種類の義務が課される段階（stage）を設け、国の状況がどのように変化したら担うべき義務がどう変わるのかをあらかじめ定めておき、その規則にしたがって、京都議定書が他の削減義務を負う国々を徐々に拡大していく。

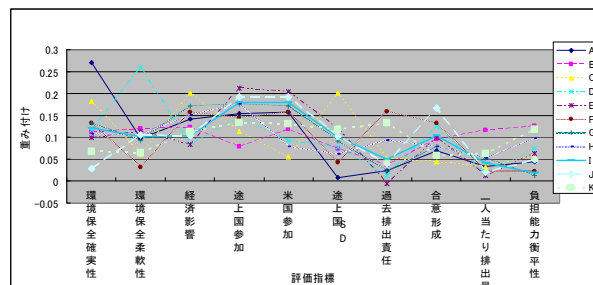


図2 個人別評価指標重要度

表3 算術平均による枠組み評価点

枠組み	総合点	順位
京都議定書の継続	0.1614	4
炭素集約度目標提案	0.1712	3
完全セクターアプローチ	0.1231	6
部分的セクターアプローチ	0.1389	5
部分的セクターアプローチ+CDM	0.2022	2
マルチステージアプローチ	0.2032	1

#### 4.クロスインパクト法による枠組み可能性の予測

##### 4-1.クロスインパクト法アンケート

事象間の影響関係を含めてシナリオの生起確率を求めるのに優れたクロスインパクト法を用い、先進国、途上国別に枠組みの「予測」を行う。取り上げた事象は表4の通りである。専門家アンケートにより、事象単独の生起確率とインパクト確率（期間の当初にある事象が生起しているという条件の下で、その期間内に別の事象が生起する確率）の推定値を得る。

表4 クロスインパクト法で取り上げた事象

A	第一約束期間と同様に、先進国に国家の数値目標が課せられる。
B	第一約束期間とは異なり、途上国に国家の数値目標が課せられる。
C	先進国においては、一部のエネルギー多消費産業のGHG排出量が国家の数値目標から控除されて、セクターアプローチによって管理される。
D	途上国においては、一部のエネルギー多消費産業のGHG排出量が国家の数値目標から控除されて、セクターアプローチによって管理される。
E	CDMのような柔軟性措置が世界中に普及する。
F	先進国においては、全部門のGHG排出量が国家の数値目標ではなくセクターアプローチによって管理される。
G	途上国においては、全部門のGHG排出量が国家の数値目標ではなくセクターアプローチによって管理される。

アンケート対象13名の内訳は以下の通り。

- 所属別＝学者4名、独立行政法人・財団法人研究者5名、行政2名、企業関係者1名、学生1名（森）

<二次計画法を用いたシナリオ生起確率の算出>

$$J = \sum_i U_i [P(i) - \sum_k \theta_{ik} \pi_k]^2 + \sum_i \sum_j V_{ij} [P(i,j) - \sum_k t_{ijk} \pi_k]^2 \rightarrow \min$$

$$P^*(i) = \sum_k \theta_{ik} \pi_k \quad P^*(i,j) = \sum_k t_{ijk} \pi_k$$

左式で、推定値 P(i) および P(i,j) との差を最小化するように、各シナリオの生起確率  $\pi_k$  によって表される理論的に整合性のある確率  $P^*(i)$  および  $P^*(i,j)$  を求める。

$\theta_{ik}$  : 事象 i が生じた時のみ 1 をとるパラメータ  $t_{ijk}$  : 事象 i, j とともに生じた時のみ 1 をとるパラメータ  
 $U_i, V_{ij}$  : ウェイトパラメータ

##### 4-2.生起確率を考慮したシナリオ生起確率算出

アンケート結果より、各シナリオの生起確率を求め、13名の平均を求めたのが図3である。また、そこから枠組み別の生起確率を算出すると図4のようになった。

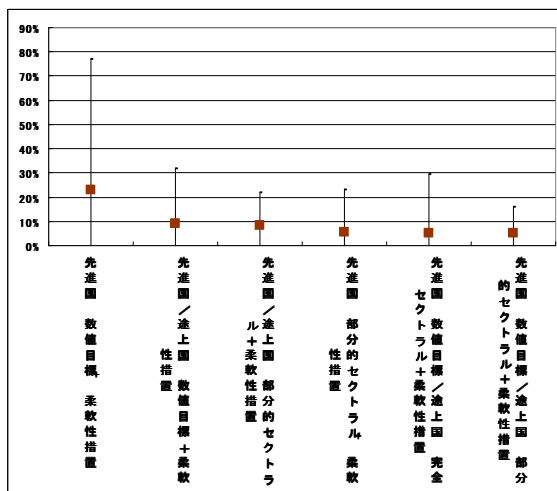


図3 全体平均のシナリオ生起確率

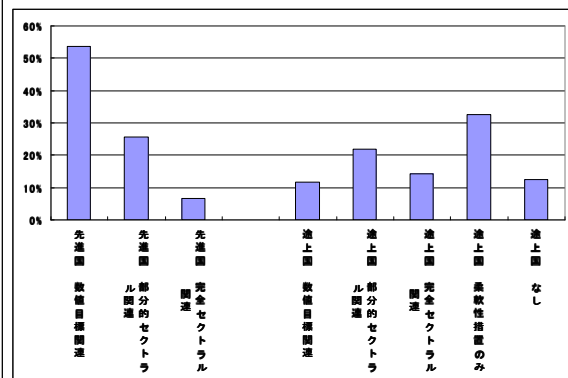


図4 全体平均の枠組み別生起確率

## 5 鉄鋼業における CO2 削減ポテンシャル算出

セクトラルアプローチやボトムアップ式の数値目標が設定される場合、部門別に目標を掲げることになる。これに関連し、CO2 排出量が産業部門別で最も多い<sup>2)</sup>鉄鋼業における2013年の年間CO2削減ポテンシャルを算出し、部門別削減を考える際の一つの目安となることを目指す。

一貫製鉄所におけるエネルギーフローから次式によりエネルギー原単位を計算する。

$$U_e = F_{in} + E_{in} \quad F_{in} = F_0 + (V_0 - V_b) - G_f - R \quad E_{in} = E_0 - E_b - G_e$$

$U_e$ :エネルギー原単位  $F_{in}$ :追加燃料  $E_{in}$ :追加電力  $F_0$ :所要燃料  $V_0$ :所要蒸気  $V_b$ :副生蒸気  $G_f$ :副生ガス内燃料  $R$ :プロセス合理化による省熱量  $E_0$ :所要電力  $E_b$ :副生電力  $G_e$ :副生ガス内電力 単位は全て[TOE/t-CS] (粗鋼トン当たり石油換算トン)

ここからCO2排出原単位を計算し、現状と、省エネ技術の普及率が100%になる場合の差をとり、2013年予測生産量を掛け合わせることでポテンシャルが算出できた。結果は397Mt-CO2となり、京都議定書における全削減目標の40%ほどであった。長期的には現状より相当大きな削減を課す必要があり、部門別目標を考える

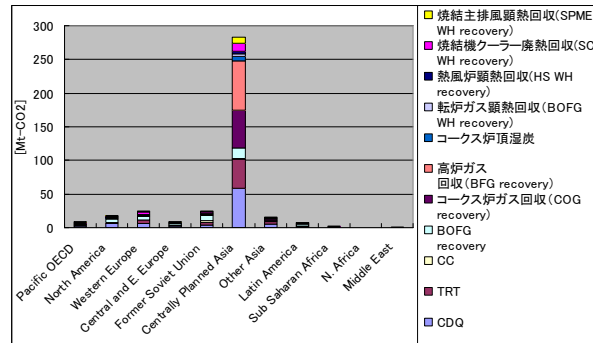


図5 鉄鋼業のCO2削減ポテンシャル

るにしても、鉄鋼のみならず、セメント、紙・パルプ、電気などエネルギー多消費産業にも目標を課す必要が出てくると考えられた。

## 6. 結論

本研究では専門家による「評価」と「予測」の2面でポスト京都の枠組みを分析するための手法を確立し、中立の立場から客観的・定量的な分析を行った。マルチステージアプローチや部分的セクトラルアプローチ+CDMの「評価」が高くなった。先進国と途上国を分けての「予測」では、先進国は数値目標型の確率がかなり高く、途上国は柔軟性措置のみの確率がわずかに高くなった。個人差も大きく、今回の結果からどの枠組みが最も望ましい、また確率が高いと断言はできないが、専門家の評価と予測の傾向を示すことができた。1月26日世界経済フォーラムにおける福田首相の演説では、日本はボトムアップ式の国別総量目標を提案するというものであった。この場合、鉄鋼業の削減ポテンシャルを考えると不可欠になるだろう。全世界にとって少しでも有益で幸福をもたらすポスト京都の枠組み作りを心から期待したい。

### 参考文献

- 1) 奥村清香：ホスト国の持続可能な発展に貢献するCDMプロジェクトの評価手法並びに推進施策の研究 平成18年度東京大学修士論文 2006 pp. 58-66
- 2) NEDO: 平成16年度成果報告書 地球環境国際連携推進事業 地球温暖化の国際的な将来枠組み検討に関する基礎調査 2004 pp. 40-41