

〈特集〉

持続可能な社会像をどのようにして描くか

松 岡 譲

京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻

(〒615-8540 京都市西京区京都大学桂Cクラスター E-mail: matsuoaka@env.kyoto-u.ac.jp)

概 要

低炭素社会は、社会の持続可能性を支える重要な要素の一つである。本稿では、低炭素社会を例にとり、その実現に向けてどのようにデザインするのか、またそこに至るロードマップをどのように描いたらよいかを、これまでのわれわれの経験などに基づいて方法論的側面から論じる。

キーワード：低炭素社会、地球温暖化問題、シナリオ手法、バックキャストイング、ロードマップ

原稿受付 2010.1.30

EICA: 14(4) 33-36

1. 今後半世紀に課せられた厳しい環境制約

1.1 大幅なCO₂削減の必要性とその困難性

地球温暖化の影響をある程度回避し持続可能な態様で乗り切るには、今世紀前半のうちに、世界全体の排出量を1990年に比べ半減する必要がある。このことは、かなり以前から判明していたことであるが、実際の政策目標として取り上げられるようになったのは最近のことである。2003年に当時英国首相であったブレアによる2050年英国排出量60%削減の宣言は、世界を低炭素社会に向け舵切らせた一つのきっかけであったが、このあたりから世界各国は、持続可能社会の重要な側面としての低炭素社会の必然性、さらに大規模削減の必要性について、共通認識を有するようになってきた。一昔間の懐疑論を知っているものとしては、よくここまで来たなどの感慨深いものがあるが、それでは、この削減を各国でどのように負担するのかなどの具体論については、議論百出している最中である。衡平性、排出責任、削減能力など様々な観点からの検討が必要であろうが、おおよその所ではどの程度だろうか。簡単のため、極端に割り切った二つの考え方で試算してみる。まず、将来のある時点以降にて、どの国・地域でも一人あたり排出量を同じ値にすると考えてみる。この場合、この分配目標達成後の各国の許容排出量は、世界排出量に人口比(国人口/世界人口)を乗じた値となる。しかし、この方法だと、今後、人口増が見込まれる国に有利であるとか、エネルギー効率改善のインセンティブに直接つながらないなど、欠点も多い。したがって、第二の考え方として各国の[温室効果ガス排出量/GDP](排出強度)を各国共通にしようとする考え方もあろう。

Table 1は、こうした二つの考え方に基づいて試算

してみた2050年半減を実現するための各国別必要削減率である。日本の場合、一人あたりの排出量を等しくする方法では、1990年比85%の削減率であり、排出強度を等しくする方法では35%となっている。なお、35%に続く()内の数字はGDP設定の相違により生ずる幅である。この表からはこれ以外にも様々なことがわかるが、おおよそ先進国ではおしなべて40%から90%程度の削減が必要となり、とりわけ、最初の考え方に基づくならば、2050年には1990年比で80%以上の削減が必要な結果となっている。

それでは、このような大幅な削減は可能なのだろうか。ポイントを具体的にするために、排出量変化を次

Table 1 Allocation of GHG emission by country in 2050 in case of 50% global emission reduction

国・地域名	一人あたり等排出量方式		等排出強度方式	
	排出量 百万炭素トン	削減率 1990年比	削減率 1990年比	
米国	207	89%	49%	(2%~63%)
カナダ	22	87%	61%	(33%~65%)
日本	53	85%	35%	(-23%~44%)
オーストラリア	14	89%	66%	(44%~73%)
ニュージーランド	3	89%	70%	(51%~75%)
西ヨーロッパ	343	74%	50%	(37%~62%)
東ヨーロッパ	49	87%	83%	(75%~92%)
ロシア	55	94%	91%	(75%~94%)
他 CIS	72	89%	90%	(87%~93%)
韓国	22	75%	36%	(-104%~75%)
中国	728	34%	29%	(-69%~46%)
インド	852	-97%	48%	(-168%~66%)
他アジア	644	-45%	8%	(-27%~49%)
メキシコ	68	52%	19%	(-13%~59%)
ブラジル	130	37%	5%	(-23%~80%)
他中南米	197	29%	12%	(-12%~71%)
中東	232	35%	34%	(20%~84%)
アフリカ	1028	-68%	51%	(17%~92%)
世界全体	4719	50%	50%	(50%~50%)
議定書B国	705	87%	63%	(37%~67%)
非議定書B国	4014	-2%	35%	(29%~66%)

$$\text{排出量} = \frac{\text{排出量}}{\text{一次エネルギー消費量}} \cdot \frac{\text{一次エネルギー消費量}}{\text{経済活動量}} \cdot \frac{\text{経済活動量}}{\text{人口}} \cdot \text{人口} \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

のように要因別に分解して考えてみよう。

わが国の場合、温室効果ガス排出のほとんどは二酸化炭素であり、しかもエネルギー消費に起因する。またエネルギー消費の大部分は人々の経済活動に由来する。したがって、式(1)では、左辺の排出量を、右辺の四項、すなわち、一単位のエネルギー消費量あたりの排出量（炭素集約度）、一単位の経済活動量あたりのエネルギー消費量（エネルギー集約度）、一人あたりの経済活動量及び人口の積に分解している。このままでも良いが、さらに両辺の対数微分をとって考えると、左辺は、排出量の年あたりの変化率となり、これが右辺四項の和となるから都合よい。

まず、左辺から考える。現在から2050年までの40年間で1990年比80%の削減を行うためには、1990年から現在までに15%程度増加したことを考慮すると、 $1 - ((1 - 0.8) / (1 + 0.15))^{1/40} = 4.3\%$ /年以上の削減速度が必要となる。一方、右辺に関し、まず人口については今後40年の間は0.5%/年程度の減少速度である。また、一人あたりの経済活動量として一人当たりGDP成長率とし、これを年1~2%程度の増加と想定すると、右辺第一項、第二項を、年4.8~5.8%以上で減少させる必要がある。しかし、わが国の過去の実績はせいぜい年1%程度の減少速度であり、これまでの努力を少々強化した程度では到底及ばない範囲である。右辺第一項の炭素集約度の低下は、炭素吸収・隔離の導入効果を除けば、いかにして供給エネルギー種を低炭素なもの置き換えられるかであるが、エネルギーインフラの更新タイミングとか供給技術普及見通しなどから想定しうる範囲は、せいぜい1%/年程度以下である。つまり、低炭素社会実現の可能性は、第二項のエネルギー集約度の改善をどれだけ行えるにかかっていることになる。

式(1)の右辺第二項（エネルギー集約度）は、[一次エネルギー/GDP]であった。これを[エネルギーサービス/GDP]と[一次エネルギー/エネルギーサービス]と分けてみる。前者は、もっぱらエネルギーサービスの効率に関わる項であり、後者は、エネルギー技術（施設・装置）の効率に関わる項である。前者を左右するのは、産業構造、国土・都市構造やライフスタイルの変革であり、後者を左右するのは省エネルギー技術の革新・普及である。このように分解すると、大幅削減を実現するためには、省エネ技術の革新・普及（この部分で稼げるのは、これまで実績からするとせいぜい1~2%程度）はもちろんのこと、これらに加

え、広範囲にわたる社会改革を含む社会全体としてのエネルギーサービス効率性向上を全力で推進しないかぎり、到達できないことがわかる。しかもそれを、今後40年の間、倦まずたゆまずし続けて始めて到達できる目標なのである。

1.2 バックキャストिंग・アプローチ

それでは、こういった困難ではあるが必ず克服しなければならない課題に対し、どのように臨んだらよいのだろうか。このままでは、到達不可能なのは自明である。将来目標を明確に認識し、この目標から遡ってすべきことを、リストアップ・スケジュール化し、それを着実にこなす必要がある。1990年代から「バックキャストिंग」と言う名で喧伝されたアプローチ法¹⁾であり、エネルギー政策などのように数十年の時間スケールと遡及性に欠く要素を多く含み、しかも、ある程度の頑張りをしなければ到達しえない課題に適したものである。つまり、ある将来時点（例えば2050年）に目標社会に到達するには、現在から2050年までの40年の間に、いつ、どんなことを、どの程度しておかなければならないかと言ったことを明確に認識し、それらに基づいて、例えば今後5年間の行動計画を決める。さらに、5年後には、この作業を再度繰り返し、次の5年間の行動計画を建て直す。こうした営みを繰り返すことによって、長期的目標に向け漸近的に接近していく。手法自体、具体的細部を除けば、目新しいところに乏しいかも知れないが、低炭素社会の課題は、このアプローチ法の適用を、実際社会相手に余儀なくさせている。さらに、このアプローチ法以外には適切なものが見当たらないことに、この問題の大きな特徴をみることができる。

2. 低炭素社会の実現に向けて

上のような問題意識に基づき、取り上げるべき「低炭素社会」とはどのようなものなのか。我々のグループでは、取り敢えず以下のようなイメージを設定している。すなわち、

- ① ダイナミックに変貌する経済・社会環境の進展を前提にしつつも、
- ② 今世紀半ば頃までには、地球全体、国全体の低炭素目標に整合した地域的な削減目標を、
- ③ その地域に賦存する再生エネルギー資源及び土地資源などに係わる制約条件下において、地域

特徴を生かした独自の方策を展開することにより達成するとともに、

- ④ 低炭素社会政策及び関連する持続可能社会政策による共便益 (co-benefit) を最大限享受し、
- ⑤ 温暖化影響を初めとする種々の環境影響に対する頑健な適応能力を有し続ける社会。

また、これらを実現するために制御しうる変数として、

- ⑥ エネルギー生産・消費施設・機器・技術 (エネルギー供給施設, 省エネ技術, 機器供給システム, ……)
- ⑦ 社会インフラ (低炭素化に向けた交通インフラ, 都市インフラ, ……)
- ⑧ 人的資本 (低炭素社会経営を行うテクナート, エンジニア, 市民の受容能力, ……)
- ⑨ 制度 (エネルギー・機器などの効率的市場制度, decentralization, privatization, 国際的・国内的資金調達制度, 炭素税・排出権取引, ……)
- ⑩ 社会関係資本・慣習・規範 (コミュニティーレベルの社会的環境効率向上, 地域固有のライフスタイルの維持, 低エネルギー・低物質型ライフスタイル, ……)

などを取り上げ、これらをどのように展開すれば、前述した社会ビジョンに到達しうるかを、この課題に対する問題設定としている。

先ほどのバックキャスト・アプローチに即して言えば、この課題は、現時点の社会・経済・エネルギーシステムを初期条件に、目標年での②～⑤の条件やそれ以降の持続性に関するなんらかの適切な条件を終端条件とし、両条件間を結ぶ工学的、社会的及び経済的な意味においてフィージブルな経路の探索問題であり、その経路への誘導に向け、⑥～⑩などの変数を、改善あるいは充実する政策のスケジュールをデザインすることである。その際、上記の⑥～⑩が、いずれもストック型変数で数年から数十年以上の時定数を有しており、その変革には長期的かつダイナミック・プロセスな取り扱いが必須であることは、1.1の議論と合致するものである。

3. 低炭素社会デザインのフレームとその適用

それでは、前章に述べたストーリーに沿って、どのように低炭素社会デザインを行っていけばよいか。例えば、初期条件が外生なのは良いとしても、終端条件は外生条件と割り切ってよいのか、それとも内生変数とすべきなのであるだろうか、など様々な疑問が頭をよぎる。我々の経験に即して言うならば、この回答は、こ

の問題の具体的なオーディエンスによっており、例えば、IPCCなどの国際的かつ学術的ニュアンスが強い場合と、地方自治体の具体的計画策定の場合では大きく異なる。さらにまた、対象とする地域の他地域に対する社会・経済・技術的依存性や、低炭素社会計画の策定 (検討) 熟度によっても、内生変数とするパラメーターを適宜、変更する必要がある。

そのあたりの事情を、これまでの経験に基づき、検討熟度に応じ段階化し、各段階で焦点となった課題を抽出すると次のようになる。すなわち、第一段階としては、排出量削減の技術的、費用的な可能性が、第二段階ではマクロ経済的、社会的な影響の程度とその補償に関する検討が、第三段階では関与政策群の政策統合及び政策・施策の時系列的な展開スケジュールが大きな課題となる。ただ、これは、例えば、第一段階においては、政策統合や施策ダイナミクスを無視してよいというということではなく、これらについては、ひとまず仮置きすることによって検討や認識合意を進め、第三段階までを一通り終わった段階で、各段階では外生として取り扱ったものを改めて内生変数として解き直し、計画全体としての整合性を高める操作を行うことを前提とした話である。

おおよそ、以上のような方針に基づき、我々のグループは、過去10年間にわたり、国立環境研究所、立命館大学などと共同し、低炭素社会デザインをサポートするツール (モデル) 群の開発やその実際場への適用を行ってきた。Fig. 1は、上の三段階の観点からこれまで開発してきたツール (モデル) 群を配置したものであり、対象地域・ステークホルダーらの関心に基づき、これらを取捨選択しながら使用している。ほとんどのツールの実体は、数理計画法用のプログラミング言語であるGAMSを用いてコーディングした計算機プログラムである。財・サービス・エネルギーの需給均衡などと言ったスタティックな構成方程式と、技術開発・普及やコーホートなどのダイナミックな構成方程式を、適宜必要に応じ追加した制約条件下で求解するものである。対象に応じ、社会的厚生関数や財政的費用に関する最適値問題として、あるいは相補性問題としての定式化を容易に切り替えて行うような工夫に努めており、このような弾力性の確保は、ここに述べたアプローチ法を実際場に根付かせるための必須条件と考えている。

現在までに、この方法を用い、各地域の研究機関と共同することによって、日本、インド、中国、インドネシアなど国レベルへの適用、滋賀県、京都市、マレーシア・イスカンダール地域、インド・アーメダバード市、インド・ボパール市、中国・広州市、中国・大連市などの地域レベルの低炭素社会デザイン研究を行ってきた。それらのいくつかは、行政当局によ

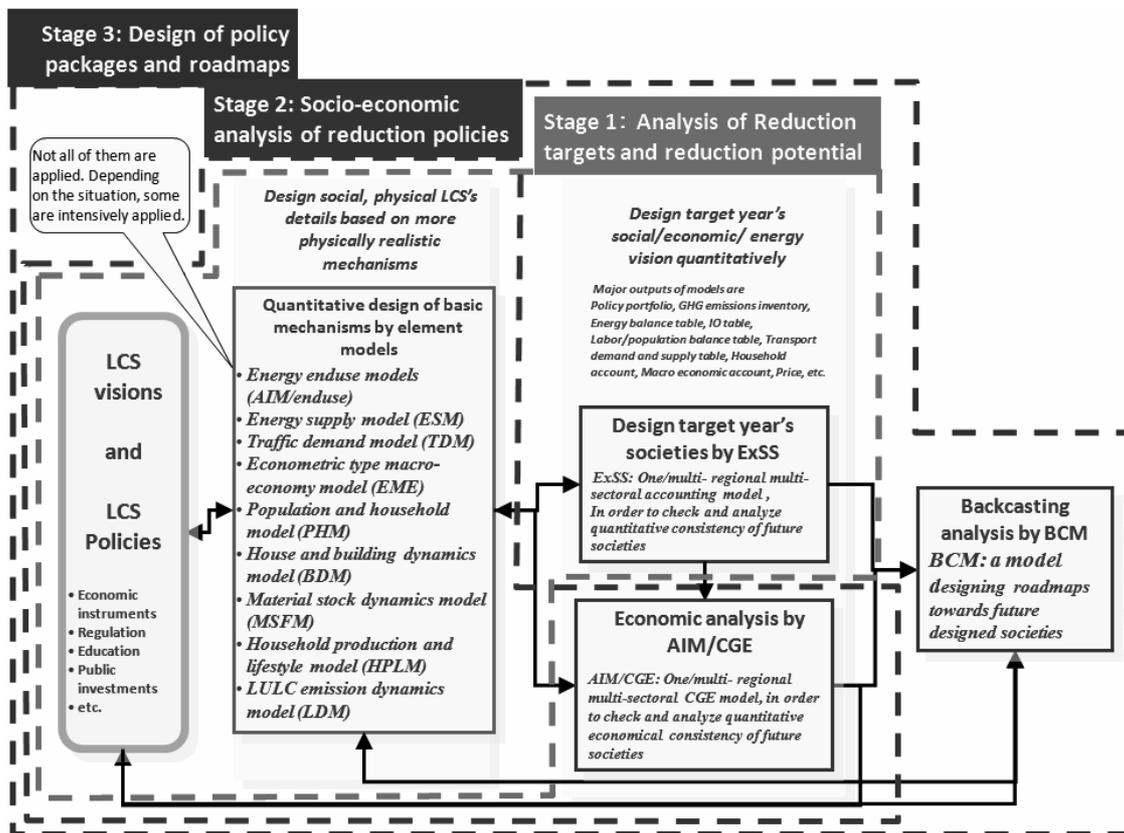


Fig. 1 Deployment and allocation of models/tools for LCS design in our study

り実装段階までに至っているものもあるし、研究・提案段階に留まっているものもある。また、上記地域以外に、Fig. 1 に記したツール群を現場研究機関が独自に使用し、低炭素社会をデザインしている例もいくつか報告されるようになった。

4. おわりに

長期的な社会・経済計画のデザイン・コントロールにOR的なアプローチで接近することは古くから行われてきたが、低炭素社会の問題はそれに改めて焦点を当てなおし、しかも新たな課題を付け加えている。グローバルからコミュニティーレベルにわたる重層的かつ分散的なインターアクション、ICTによる情報伝播・制御の可能性、新エネルギー技術の革新・普及の強力な推進の必要性などがそれである。さらにこの課題は、予想される排出量削減の大きさを考えると、こ

れまでのほとんどの環境計画が前提としていた既存社会の摂動問題ではなく、社会・経済フレーム自体を大幅に修正しようとする内生化かつ計画期間を数十年以上としない限り、答えが出てこない問題となっている。「バックキャスト」などと言った、今となってはお蔵入りになっていた言葉を改めて持ち出したことからわかるように、この問題は、これまでの社会・経済システムのデザイン手法をその原点に立ち帰って基本的なところから再点検・再充実する格好のチャンスを与えてくれている。

参考文献

- 1) 例えば J. B. Robinson: Futures under glass, a recipe for people who hate to predict, Futures, October, pp. 820-841 (1991)