

バックキャストによる脱温暖化社会実現の対策経路

増井 利彦^{1*}・松岡 譲²・日比野 剛³

(¹ 国立環境研究所・² 京都大学大学院・³ みずほ情報総研)

* e-mail : masui@nies.go.jp

摘 要

どのような行動を選択するかは、将来の状況を踏まえた上で決定されるが、無数に存在する将来の可能性から1つの像を描くことは容易ではない。不確実な将来を取り扱うツールとして、シナリオが様々な意思決定の場において活用されている。温暖化対策においても同様で、将来の社会・経済活動の動向を見通した上で対策が求められる一方、将来の気候の安定化のためには、温室効果ガス排出量の大幅な削減が必要となる。本稿では、将来の目標を定義した上で、現在からその目標に至る道筋を明らかにするバックキャストの手法を用いて、低炭素社会への道筋を明らかにする。すなわち、2050年を対象に二酸化炭素排出量を大幅に削減する社会像を示した上で、そうした目標となる社会像をどのように実現させていくのかについて、本分析用に開発した動学的最適化モデルによる分析をもとに明らかにする。

開発した動学的最適化モデルは、2000年を基準に、5年ごとに2070年までを対象とした線形モデルである。モデルでは日本の経済活動を26部門に分割し、割引現在価値で評価された効用を最大にするように消費、投資といった活動が決定される。二酸化炭素排出量については、2030年から削減を開始し、2050年には1990年比70%削減を実現するような制約条件を設定する。現状で導入が見込まれる様々な炭素削減対策についてそれらの導入上限と費用を設定し、炭素制約下において、2050年までにどのような対策が導入され、どのような影響が発生するかを分析する。その結果、炭素制約が課されていない2030年以前から一部の炭素削減対策が導入されるとともに、これらの対策の導入がGDPを押し上げる結果となった。一方、今回の対策の想定では、2040年にほぼすべての対策が導入され、2040年以降においては経済活動への影響も見られるようになる。これは、二酸化炭素排出量の制約を満たすために経済活動を縮小しようとするもので、そうした状況を回避するためには、より多様で削減量の大きい対策の開発や導入も必要となる。こうした対策を現実のものとするためには、2040年までの期間を有効に使用しなければならない。

キーワード：温暖化対策、シナリオ、動学的最適化モデル、バックキャスト

1. はじめに：シナリオとバックキャスト

地球温暖化対策に限らず、様々な意思決定を行うにあたって、将来をどのように見通すかは重要である。しかしながら、将来に至る道筋は無数に存在するとともに様々な不確実要素があり、これらの不確実性をすべて取り除いて見通すことは不可能である。そこで、『シナリオ・プランニング』と呼ばれる手法を用いて、様々な将来の可能性をシナリオとして描くことが行われている¹⁾。地球温暖化問題をはじめとする環境問題においても、こうしたシナリオ・プランニングの手法が適用されている。これは、地球温暖化問題は対象とする領域が広く、また様々な不確実性を有していることから、環境対策を決定する上で科学的な知見の

蓄積が必ずしも十分ではないためであるといえる。松岡ら²⁾は、「現時点の行動・判断を将来に投影し問題解決の材料とすることは、地球環境問題において特に必要であり、またシナリオアプローチの本質的意義でもある。」とし、「シナリオアプローチは、回避・対策法を講ずる際のほぼ唯一の接近法であり、その意味において社会的意義を有するのである。」と述べ、地球環境問題を対象としたシナリオ作成の重要性、有効性を示している。なお、「シナリオ」そのものの定義は非常に多岐にわたる³⁾が、ここでは「将来についての複数の描写」と定義しておく。

シナリオの描写は、定性的なもの、定量的なものなど様々である。Alcamo⁴⁾は、「Story-and-simulation」アプローチを提案し、IPCC(気候変

動に関する政府間パネル)のSRES(排出シナリオに関する特別報告書)⁵⁾、UNEP(国連環境計画)のGEO(世界の環境見通し)⁶⁾、MA(ミレニアム・エコシステム・アセスメント)のシナリオ⁷⁾などでは、この手法をもとに定性的な描写と定量的な分析を組み合わせた将来のシナリオが描かれている。定性的なシナリオでは、将来の社会像や環境問題の関係や、様々な環境対策とその効果が叙述的に描かれている。これに対して定量的なシナリオでは、様々なモデルを用いて現状の様々な活動と環境負荷の関係を踏まえた上で、将来における社会・経済活動と環境負荷の関係が整合的に描写され、どのような対策をどの程度導入すれば、その効果がいくらかになるかについて定量的に示される。これら定性的なストーリーと定量的なモデル分析が組み合わさって、シナリオが形成される。

シナリオを描く手法として、バックキャストとフォアキャストがある。現状を出発点として、将来の目標に縛られることなく、現状からの積み重ねとして未来像を描く方法が「フォアキャスト」である。一方、「バックキャスト」では将来のビジョンや目標をあらかじめ定義しておき、現在からその将来像、目標に至る道筋(望ましくない将来像の場合にはそれを避ける道筋)を描く方法である。フォアキャストでは、現状の社会構造やドライビングフォースを前提として、将来の目標を明示することなく社会像や環境像が描写される。バックキャストでは、将来の社会像や環境像について、どのような社会にしたいのか、どのような環境の中で生活したいのかといったイメージを描き、それをステークホルダー間で共有し、描かれた社会・環境像を実現させるためにどのような対策を導入する必要があるか—既存の環境政策で十分か、足りない場合はどのような追加的な取り組みが有効になるか、どのような施策を組み合わせることで効果が高まるかなど—を議論したり、さらにはより根本の社会・経済活動そのものをどのように変化させていく必要があるかを議論する。

これら2つの手法は、それぞれに長所と短所がある。フォアキャストで描かれる将来像は現状からの行動の積み重ねとして説明できるが、それが目標を達成しているかどうかは不明である。一方、バックキャストでは設定された目標に至る道筋を示すことができるが、そのチェックにとどまる危険性があり、シナリオが持つ多様な将来像を描くという特性を狭めている可能性がある。このことから、これら2つの手法は相互に補完的な役割をもつといえる。

本稿で示す低炭素社会の実現に向けた描写では、フォアキャストによって予想される将来の実現可能な個々の技術進歩を前提として、これにバックキャストの手法を適用し、はじめに2050年の社会像を示し、次いでそれを実現するような二酸化炭素排出削減の道筋について分析を行う。

2. 2つの2050年の社会・経済活動の姿と二酸化炭素排出量

既に述べたように、様々な不確実性を考慮すると、将来の社会像・環境像は無数に存在する。シナリオでは将来像を描写するにあたって、構成要素の中から不確実性そのものが大きなもの、不確実性の影響が大きな要素を取り出して、記述することが多い。今回の低炭素社会の描写では、本特集号の榎原ら⁸⁾の表4や表5に示されるように、経済活動を軸に活発に活動する社会(シナリオA)と、ある程度国内で活動が閉じる社会(シナリオB)の2つを対象とする。まずは、2050年におけるこれら2つの社会像を対象に低炭素社会像を描き、さらに、それらに至る道筋を検討する。2050年時点における低炭素社会を実現する対策として、表1に示されている対策を取り上げる。なお、この対策については本特集号の藤野ら⁹⁾の表2と同じであり、将来導入が見込まれる比較的手堅い対策である。

2050年時点を対象とした計算結果を取りまとめたものが図1である。図1に記されている様々な対策を実現させることで、わが国の二酸化炭素排出量はシナリオA、シナリオBどちらの社会においても、2050年の二酸化炭素排出量を1990年比70%削減することが可能となることが示されている。

このように、想定する社会像が異なっても、2050年において二酸化炭素排出量を1990年比70%削減させる低炭素社会像を描くことは可能であることがわかる。また、こうした社会は経済活動を犠牲にして実現した社会ではなく、それぞれの社会において想定された経済発展が確保された社会であり、経済発展と温暖化対策が両立した社会であるといえる。こうした社会を構築するために必要となる追加的な費用は、シナリオAで1兆1,000億～2兆円、シナリオBでは8,000億～1兆9,000億円である。なお、これらの費用には温暖化対策以外を目的とした対策—例えば、コンパクトシティの建設など—は含まれていない。つまり、温暖化対策にもつながらるような様々な施

表 1 将来，導入が見込まれると想定した対策の一覧。

部門	主要な対策
家庭・業務部門	高効率ヒートポンプエアコン，高効率電気給湯器，高効率ガス給湯器，高効率石油給湯器，太陽熱給湯器，高効率ガスこんろ，高効率電気調理器，高効率照明，高効率映像機器，高効率冷蔵庫，高効率搬送動力，ガスヒートポンプ，燃料電池ヒートポンプ，太陽光発電，BEMS，高断熱住宅，エコライフナビゲーションシステム，嵩高紙，電子新聞・電子雑誌など
運輸部門	高効率レシプロエンジン自動車，ハイブリッドエンジン自動車，バイオアルコール自動車，電気自動車，プラグインハイブリッド自動車，天然ガス自動車，燃料電池自動車，自動車車両の軽量化，自動車車両の空気抵抗低減，低転がりタイヤ，高効率鉄道，高効率船舶，高効率航空機，高度道路交通システム，リアルタイム & セキュリティ交通システム，サプライチェーンマネジメント，バーチャルコミュニケーションシステムなど
産業部門	高効率ボイラ，高効率工業炉，高効率モーター，高効率自家発電装置，次世代コークス炉，廃プラスチック原料化，エコセメント，接触分解プロセス，メタンカップリング，黒液ガス化発電など
エネルギー転換部門	高効率石炭火力発電(石炭ガス化複合，アドバンスト加圧流動床，バイオマス混焼など)，高効率天然ガス火力発電，高効率バイオマス火力発電，風力発電(陸上・洋上)，原子力発電，水力発電，副生水素，天然ガス改質水素製造，バイオマス改質水素製造，電気分解水素製造，水素ステーション，水素パイプライン，水素タンクローリー，CCS(炭素隔離貯留)など

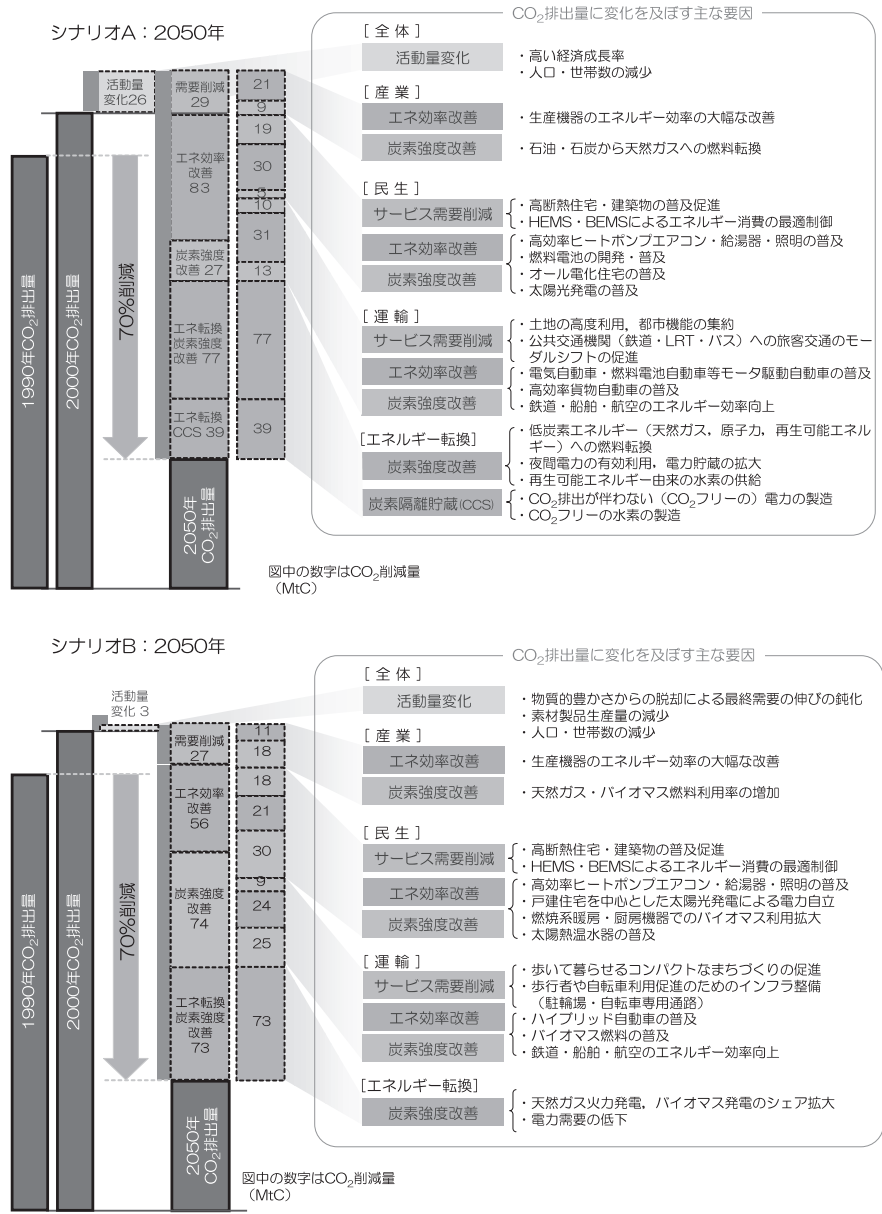


図 1 2050年に低炭素社会を実現する対策とその効果。

策を適切に組み合わせることで、二酸化炭素排出量の削減のみを目的とした対策の費用は低い水準に抑えることが可能となる。

3. 低炭素社会をどのように実現するか？

前章では、2050年の二酸化炭素排出量を1990年比70%削減させる低炭素社会を描くことは可能であることを示した。次に、そうした社会が、現在の社会から到達可能かどうかを検討する。検討に使用したモデルは、経済企画庁¹⁰⁾および経済審議会¹¹⁾で示されている動学的最適化モデルを参考に開発したものである。表2にモデル中の生産部門の分類を示す。このモデルは2000年を基準年とし、2070年までを対象に、二酸化炭素排出量の制約条件下において、割引率で重み付けされた効用の現在価値の合計が最大となるように、各年の資源配分や生産、消費等の経済活動を計算するモデルである。目標年である2050年を超えて2070年まで分析期間をとっているのは、動学的最適化モデルで発生する終端条件の問題を回避するためである。

図2にモデルの構造を示す。表2に示した各生産部門は、資本、労働、エネルギー、その他の中間財を投入して財を生産する。本モデルでは、生産関数としてレオンチェフ関数を仮定し、投入要素間の代替はないものと仮定している。ただし、生産資本は省エネ資本を除いて導入される期が明確に区分され、生産資本が導入される期によって、投入係数が変化する。これにより、資本と労働等の代替が設備の置き換えによって可能となるようにしている。表1の対策のうち、省エネ技術による対策は従来の技術に置き換わることで、エネルギー需要を抑えつつ生産活動を行うことが可能となる。このほか、設備に依らない省エネ対策(例えば、エコドライブなど)についても、評価が可能となるようにモデルには組み込まれている。

二酸化炭素排出量の制約については、気温安定化のために必要な二酸化炭素排出量の経路の分析結果を参考に2030年から設定した。このモデル

に、表1に示した対策が導入可能となるように設定し、個々の分野においてどのような対策が、いつ、どれだけ導入されるかを解析した。なお、各対策の導入については、前項で示した2050年の導入量を上限としている。また、本モデルのなりゆきケースにおける2050年の結果は、前項で想定した活動水準とは完全に一致していない点をあらかじめ断っておく。本モデルは、線形の方程式体系で構成されており、モデルのプログラミングにはGAMS(General Algebraic Modeling System)を用い、モデルを解くにあたっては線形計画法のソルバーであるCPLEXを使用した。

3.1 モデル構造

バックキャストリングモデルを構成する式を以下に示す。式の番号および式中の各変数は、図2に示されたものと一致し、それぞれの説明の中において示す。以下は、共通で使われている変数を特定する集合とその要素である。

- t : 年(2000年, 2005年, 2010年, ..., 2065年, 2070年)
- tm : t 年から $t+1$ 年の期間(5年).
- i : 財の種類(表2を参照).
- j : 部門の種類(表2を参照).
- nef : i の一部(非エネルギー非耐久消費財).
- nes : i の一部(耐久消費財).
- nkf : 固定資本形成を構成する財のうち、サービスに相当するもの.
- en : i の一部(エネルギー財).
- ff : en の一部(化石燃料).
- k : ストックのコホート(設備等のストックの設置年により区別される).
- l : 技術の種類を示す(既存技術を含む).
- la : 技術 l のうち、対策技術.

①期間全体の総効用の計算

$TW = \sum udf \cdot W$: 期間全体の総効用 TW は、各年の効用 W の割引現在価値合計である。 udf は割引因子を示す。なお、今回の計算では、割引率は年3%を使用した。

②各年における効用の計算

非エネルギー非耐久消費財のフロー、耐久消費

表2 本モデルで想定した生産部門の定義.

農林水産業	石炭製品	精密機械	卸売・小売業
鉱業	窯業・土石製品	その他の製造業	金融・保険業
食料品	一次金属	建設業	不動産業
繊維	金属製品	電気	運輸・通信業
パルプ・紙	一般機械	ガス	公共サービス
化学	電気機械	水道業	その他のサービス業
石油製品	輸送用機械		

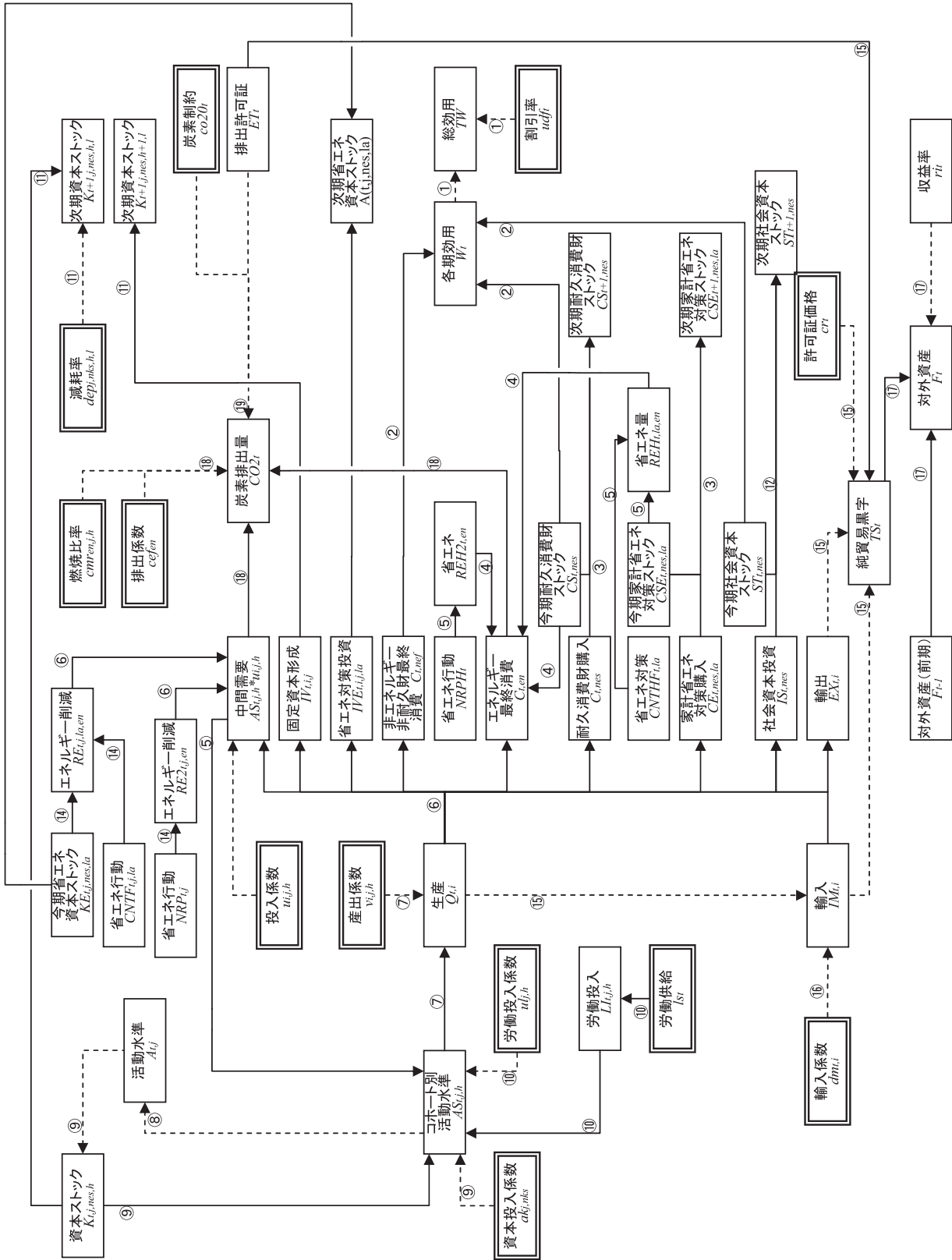


図2 バックキャスティングモデルの構造。
 (注: 図中の数字は本文中の式の番号に一致する)

財のストック、社会資本ストックから効用が計算されるとした。

$W_t \leq f1_{t,nef} \cdot C_{t,nef}$ ：各年の効用 W は、エネルギーを除く非耐久消費財のフロー C から定義される。

$W_t \leq f2_{t,nes} \cdot CS_{t,nes}$ ：家計が保有する耐久消費財 CS も、効用 W を構成する要素とする。

$W_t \leq f3_{t,nes} \cdot ST_{t,nes}$ ：社会資本ストック ST も、効用 W を構成する要素とする。

各年 t において、効用 W は C 、 CS および ST からの効用のうち、最も小さいものとして定義される。なお、 $f1$ 、 $f2$ および $f3$ は、2000 年において各変数からの効用が等しくなるように、それぞれ 2000 年の C 、 CS 、 ST の値の逆数としている。

③家計における耐久消費財のストック

$CS_{t+1,nes} = CS_{t,nes} \cdot (1 - dep_{nes})^{tm} + tm \cdot C_{t,nes}$ ：来期の家計の耐久消費財のストック CS は、今期のストック CS と今期に購入された耐久消費財 C により計算される。 dep は減耗率で各耐久消費財の耐用年数をもとに設定している。

$CSE_{t+1,nes,la} = CSE_{t,nes,la} \cdot (1 - dep_{nes,la})^{tm} + tm \cdot CE_{t,nes,la}$ ：来期の家計の省エネ機器ストック CSE は、今期の省エネ機器ストック CSE と、今期に購入された省エネ機器 CE により計算される。

④家計におけるエネルギー需要

$C_{t,en} = fef_{t,en} \cdot CS_{t,nes} - \sum_{la} REH_{t,la,en} - REH2_{t,en}$ ：家計が消費するエネルギー需要量 C は、家計が保有している耐久財のストック CS から計算される分と、対策等による削減量 REH 、 $REH2$ から計算される。 fef は耐久財 1 単位あたりのエネルギー消費量を示す。

⑤対策技術によるエネルギー需要の削減

$REH_{t,la,en} = \sum_{nes} CSE_{t,nes,la} \cdot khse_{la,nes,en}$ ：家計における対策によるエネルギー需要の削減量 REH の一部は、対策技術のストック CSE により決定される。 $khse$ は、対策技術ストック 1 単位あたりのエネルギー節約量を示す。

$REH_{t,la,en} = CNTHF_{t,la} \cdot khfe_{la,en}$ ：エネルギー需要削減量 REH は、ストックに依らない対策 $CNTHF$ によるものもある。 $khfe$ は、対策 $CNTHF$ 1 単位あたりのエネルギー削減量を示す。

$REH2_{t,en} = NRPH_t \cdot hfe_{en}$ ：エネルギー需要削減量 $REH2$ はその他の対策 $NRPH$ によるものである。 hfe は、その他の対策 1 単位あたりのエネルギー削減量を示す。

⑥財の需給バランス(財の市場)

$Q_{t,nef} + IM_{t,nef} + wst_{t,nef} \geq C_{t,nef} + EX_{t,nes} + \sum_j \sum_h AS_{t,j,h} \cdot u_{nef,j,h} + \sum_j IV_{t,nef,j} + IS_{t,nef} + stc_{t,nef}$
：非エネルギー非耐久財市場

$Q_{t,nes} + IM_{t,nes} + wst_{t,nes} \geq C_{t,nes} + \sum_{la} CE_{t,nes,la} + EX_{t,nes} + \sum_j \sum_h AS_{t,j,h} \cdot u_{nef,j,h} + \sum_j IV_{t,nef,j} + \sum IVE_{t,nes,j,la} + IS_{t,nes} + stc_{t,nes}$
：耐久財市場

$Q_{t,en} + IM_{t,en} + wst_{t,en} \geq C_{t,en} + EX_{t,en} + \sum_j \sum_h AS_{t,j,h} \cdot u_{en,j,h} + stc_{t,nef} - \sum_j \sum_{la} RE_{t,j,la,en} - \sum_j RE2_{t,j,en}$
：エネルギー市場

wst は最終需要部門からの屑の発生量であり、期間を通じて変化しないと仮定した。

u はコホート別の投入係数である。 stc は在庫品変動であり、2000 年については実績値を、それ以外の年については 0 とした。

⑦生産活動(産出)

$Q_{t,i} = \sum_j \sum_h AS_{t,j,h} \cdot v_{i,j,h}$ ：生産される財 Q は、コホート別に示された活動 AS とコホート別の産出表 v により計算される。

⑧活動水準

$\sum_h AS_{t,j,h} \leq A_{t,j}$ ： t 年における部門 j の活動水準 A は、コホート h 別の活動水準 AS の合計を上回ることではない。

⑨生産活動(資本投入)

$AS_{t,j,h} \cdot ak_{j,nes} \leq K_{t,j,nes,h,l} / uk_{j,h}$ ：コホートによる設備の区別が必要な活動について。特定の資本財(エネルギーを消費する機械)については、設備のストック量に対して活動量が決まる。

$A_{t,j} \cdot ak_{j,nes} \leq \sum_{h,l} K_{t,j,nes,h,l} / uk_{j,h}$ ：コホートによる設備の区別が必要でない活動について。コホートや技術による違いが活動に影響を及ぼさない資本ストックについては、部門全体の活動水準によって計算される。

ak は活動 1 単位に必要な資本の量を、 uk は資本の投入係数をそれぞれ示す。

⑩生産活動(労働投入)

$AS_{t,j,h} \cdot ul_{j,h} = LI_{t,j,h}$ ：各部門における労働投入量 LI は活動水準 AS により決定される。 ul は労働の投入係数を示す。

$\sum_j \sum_h LI_{t,j,h} \leq ls_t$ ：労働市場。部門別労働投入量 LI の合計は、労働供給量(賦存量) ls を下回る。

⑪資本ストック

生産投資として需要された財は、翌期以降、資本ストックとして利用されるが、減耗率 dep で減耗する。 inv_t はコホート h の設備が各年 t で何期経過したかを示す係数である。

$K_{t,j,nes,h} = (1 - dep_{j,nes,h0})^{tm \cdot inv_t} \cdot k0_{j,nes}$ ：初期年において既に設置されている資本ストック。 inv_t は何期目になるかを示す係数。

$K_{t,j,nes,h} = (1 - dep_{j,nes,h})^{tm} \cdot inv_{t,la} \cdot \sum_{\tau} inv_{h,\tau} \cdot tm \cdot IV_{t,nes,j}$: 初期年以降に新たに蓄積される資本ストック。
 inv は、投資が導入された年を示す係数。

$KE_{t+1,j,nes,la} = (1 - dep_{j,nes,la})^{tm} \cdot KE_{t+1,nes,la} + tm \cdot IVE_{t,nes,j,la}$: 省エネ対策として蓄積されるストック。

⑫社会資本の蓄積

$ST_{t+1,ne} = (1 - dep_{nes})^{tm} \cdot ST_{t,nes} + tm \cdot IS_{t,nes}$

⑬固定資本形成(運輸・商業マージン分)

固定資本形成において、マージンに相当する商業や運輸については、実際に蓄積される固定資本形成により計算される。

$IV_{t,nbfj} \geq invcoef_{nbfj} \cdot \sum_{nes} IV_{t,nes,j}$: 生産投資に関するマージン。 $invcoef$ は総固定資本形成に対するマージンの量を示す。

$IS_{t,nbf} \geq y_{sf,nbf} \cdot \sum_{nes} IS_{t,nes}$: 社会資本投資に関するマージン。 y_{sf} は総社会資本投資に対するマージンの量を示す。

⑭対策によるエネルギー削減量(産業)

産業部門におけるエネルギー需要量の削減も、設備を伴う対策、設備を伴わない対策、その他に分けて評価する。

$RE_{t,j,la,en} = \sum_{nes} KE_{t,j,nes,la} \cdot kjse_{j,la,nes,en}$: 設備を伴う対策によるエネルギー削減。 $kjse$ は設備1単位あたりのエネルギー削減量を示す。

$RE_{t,j,la,en} = CNTF_{t,j,la} \cdot kjfe_{j,la,en}$: 設備を伴わない対策によるエネルギー削減。 $kjfe$ は対策 $CNTF$ 1単位あたりのエネルギー削減量を示す。

$RE_{2,t,en} = NRP_{t,j} \cdot jfe_{j,en}$: その他によるエネルギー削減。 jfe は対策 NRP 1単位あたりのエネルギー削減量を示す。

⑮貿易収支

$\sum_i (EX_{t,i} - IM) \cdot p_{t,i} \geq TS_t + cr_t \cdot ET_t$: 財・サービスの輸出 EX 、輸入 IM と炭素排出量取引量 ET により、貿易収支(純貿易黒字 TS)が計算される。 p は財の国際価格、 cr は排出許可証の価格。

⑯輸入に関する追加条件

$IM_{t,ne} \geq dm_{t,ne} \cdot Q_{t,ne} \cdot 0.5$: 非エネルギー財の輸入(下限)。

$IM_{t,ne} \leq dm_{t,ne} \cdot Q_{t,ne} \cdot 1.5$: 非エネルギー財の輸入(上限)。

$IM_{t,en} \leq dm_{t,en} \cdot Q_{t,en}$: エネルギー財の輸入(上限)。

dm は国内生産に対する輸入の比率。

⑰対外資産の変化

$F_{t+1} = (1 + ri)^{tm} \cdot F_t + tm \cdot TS_t$: 当期の対外純資産 F と貿易収支 TS から、次期の対外純資産 F が計算される。 ri は海外での収益率を示す。

⑱二酸化炭素排出量

$CO_{2t} = \sum_{ff} cef_{ff} \cdot [\sum_j (\sum_h A_{t,j,h} \cdot u_{ff,j,h} \cdot cmr_{ff,j,h} -$

$\sum_{la} RED_{E_{ff,j,la}} - RED_{E_{2,ff,j}}) + C_{t,ff}]$: 家計および生産部門で燃焼される化石燃料から、二酸化炭素排出量 CO_2 が計算される。 cef は二酸化炭素の排出係数。 cmr は各部門各コホート別の化石燃料の燃焼比率を示す。

⑲二酸化炭素排出制約

$CO_{2t} \leq cl_t + ET_t$: 炭素排出量 CO_2 は、日本に割り当てられた排出上限 cl と排出枠の純購入量 ET 以下に抑える必要がある。

3.2 炭素制約を想定しないなりゆき社会

まずは、炭素排出量を想定しないなりゆきケースの結果を示す。2つの社会の相違は、将来の消費構造を示すパラメータ $f1$ や製品の長寿命化を示す dep 、技術進歩(投入係数の変化)を示す u 、 ak や ul 、輸入品の比率を示す dm によって示される。シナリオ A の構造をもったなりゆきケース A では、経済成長率が高いが技術進歩率も高いことから、2050年の二酸化炭素排出量は2000年のそれよりも1割以上増加する。一方、シナリオ B に対応するなりゆきケース B では、2050年の二酸化炭素排出量は2000年の値とほぼ同じである。いずれの社会でも温暖化対策を導入しないなりゆきケースでは、1990年比70%削減という目標達成は不可能である。

3.3 炭素制約を想定した低炭素社会

次に、2050年の二酸化炭素排出量を1990年比70%削減し、これを実現するように、表1で示した温暖化対策の導入が可能な状況を想定する。なお、シナリオ A では炭素隔離貯留技術を導入していることから、シナリオ A における二酸化炭素排出量はシナリオ B におけるそれよりも、2050年に43 MtC だけ多くなると想定した。

図3は表1の対策による二酸化炭素排出量の推移を、図4は部門別の削減量の推移をそれぞれ示している。二酸化炭素排出量の制約は2030年

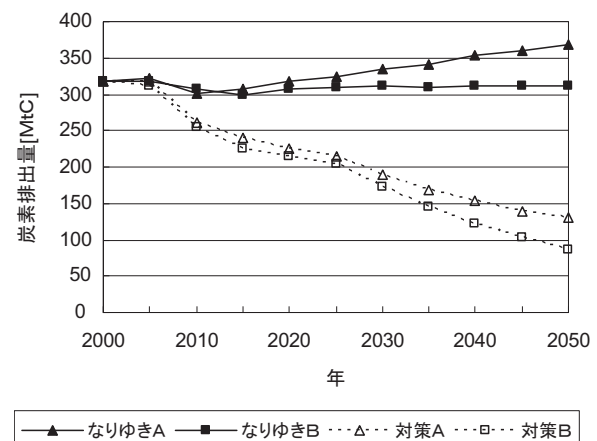


図3 各シナリオにおける二酸化炭素排出量の推移。

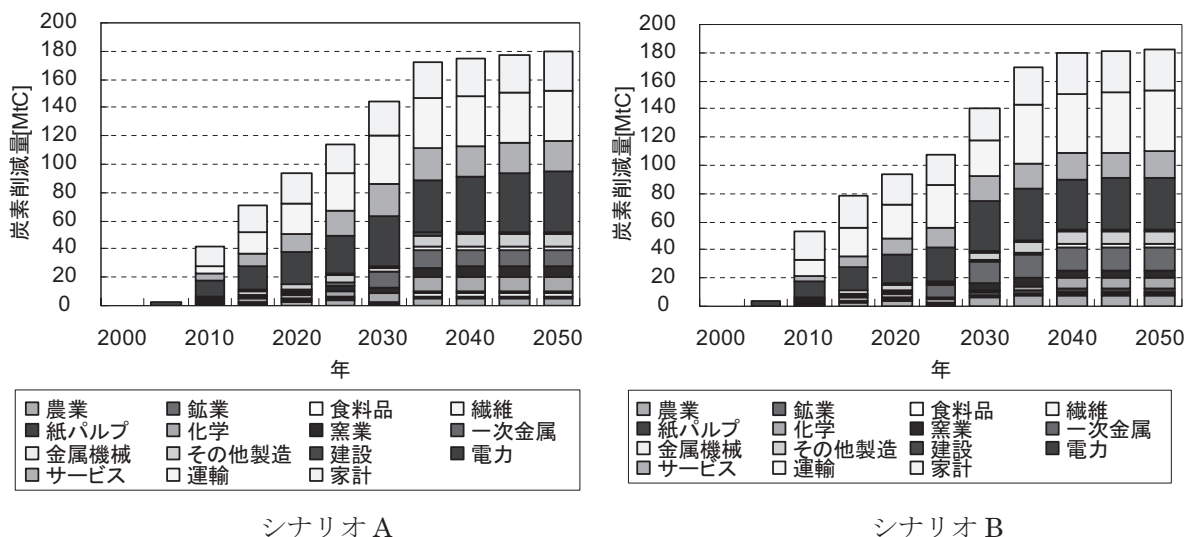


図4 想定されている温暖化対策の導入による部門別の二酸化炭素排出削減量の推移.

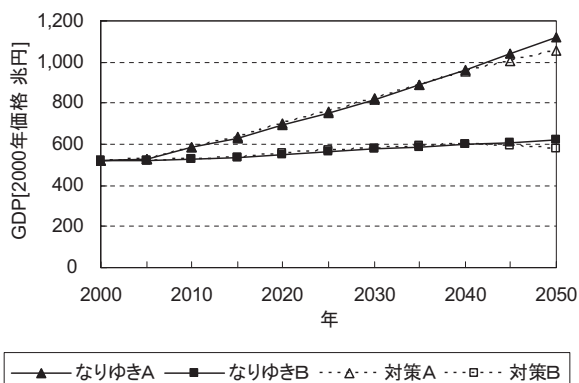


図5 バックキャストिंगモデルで計算された2つの社会像におけるなりゆきと対策時のGDPの推移.

以降に設定されているが、図4に示す通り、対策のうちいくつかは排出制約が課せられる2030年までに導入される。その結果、図3のように二酸化炭素排出量の削減は2030年よりも前から始まり、また、図5に示されている通り、2030年まではGDPを押し上げる結果となった。このことから、表1に示した温暖化対策には、効果が費用を上回る施策があることを示している。また、本モデルの想定では、シナリオAでは2035年に、シナリオBでは2040年に想定されている削減対策が、ほぼ上限いっぱいまで導入されている。このため、すべての対策が導入された後は、経済活動そのものを縮小させて炭素排出量の制約を満たすことになり、図5に示す通り、経済的な影響は2040年以降徐々に大きくなっていく。なお、2050年において低炭素社会を実現するためには、なりゆき社会と比較して、シナリオAでは約240 MtC、シナリオBでは約230

MtCをそれぞれ削減する必要がある。図4に示す二酸化炭素排出量の削減以外に、産業構造の変化(二酸化炭素排出量の少ない産業活動へのシフト)に起因する二酸化炭素排出量の削減がある。

3.4 どのような対策経路を進むべきか？

2030年までについては、二酸化炭素排出量の制約条件を課していないにもかかわらずいくつかの対策が導入され、結果的にそれらの導入によりGDPが押し上げられた。このため、対策として費用対効果の高い、とりわけ省エネ効果の高い対策を導入することが、第一歩である。

また、2030年以降に設定された炭素制約に対して、2030年より以前についても大幅な削減が実現される。すなわち、目標達成のために直前に一気に対策を導入するのではなく、その前から準備を進めることが低炭素社会の実現において重要になるといえる。建設物や都市構造など何十年も使われる設備のすべてを短期間に一気に置き換えることは不可能であるし、技術の普及といった視点からも困難な側面が多く見られる(例えば、燃料電池自動車の普及においては、自動車の技術改善とともに燃料を自動車に供給するスタンドの普及が必要となるなど)。2050年から逆算して、与えられた期間を有効に使い、各時点でできることは何か、対策を普及させるための様々な課題を解決するための条件整備は何か、といったことについて検討することが重要である。

なお、このバックキャストングモデルで推計した2050年の社会では想定された対策メニューだけでは不十分であり、経済活動にも少なからず影響を及ぼす。このため、更なる追加的な対策を検討するとともに、その実現に向けた技術開発が

経済発展と両立させた低炭素社会の実現において重要になる。

5. おわりに

本稿では、低炭素社会として、わが国の2050年の二酸化炭素排出量を1990年比70%削減する社会・経済像を目標として示すとともに、そうした社会を実現する2050年までの経路を示してきた。定量的なバックキャストモデル分析の結果から、低炭素社会の実現は絵空事ではないことを示すとともに、そうした社会が経済活動と両立できることを示した。

しかしながら、こうした社会は何の対策もなく実現されるものでは決してない。低炭素社会を築くためには、今から温暖化対策として有望な技術や施策を積極的に導入するとともに、将来の大幅な削減に備えて削減のポテンシャルを拡張しておくことが必要となる。2050年までに残された時間は長いようであるが、都市構造の転換や技術の普及といったことを考えると意外に短い。

今回のモデルでは、温暖化対策はそれぞれ個別に導入量が決定されているが、長期的な道のみを検討するにあたっては、より複合的な対策も検討する必要がある。今後の検討課題は、そうした各対策間の関係をモデルに組み込むことと、それらの評価を実施することである。

謝 辞

本稿は環境省地球環境研究総合推進費、(S-3-1)『脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの多面的かつ総合的な評価・予測・立案手法の確立に関する総合研究プロジェクト』の成果をもとに作成したものである。ここに記して謝意を表します。

引用文献

- 1) P. シュワルツ(2000)シナリオ・プランニングの技法. 埴本一雄・池田啓宏(訳), 東洋経済新報社.
- 2) 松岡 譲・原沢英夫・高橋 潔(2001)地球環境問題へのシナリオアプローチ. 土木学会論文集, 678, VII-19, 1-11.
- 3) 増井利彦・脇岡靖明・金森有子・原沢英夫(2007)環境シナリオ・ビジョンおよびその作成方法のレビューと2050年の社会・環境像. 第35回環境システム研究論文発表会講演集, 277-285.
- 4) Alcamo, J.(2001) Scenarios as tools for international environmental assessments. European Environment Agency, Environmental Issue Report, 24.
- 5) IPCC(2000) Emissions Scenarios. Cambridge.
- 6) UNEP(2002) Global Environment Outlook 3. Earthscan.
- 7) Millennium Ecosystem Assessment(2005) Ecosystems and human well-being, Vol.2 Scenarios, Island press.
- 8) 榎原友樹・藤野純一・日比野剛・松岡 譲(2007)低炭素社会検討の前提となる社会経済ビジョンの構築. 地球環境, 2, 145-152.
- 9) 藤野純一・日比野剛・榎原友樹・松岡 譲・増井利彦・甲斐沼美紀子(2007)低炭素社会のシナリオとその実現の可能性. 地球環境, 2, 153-160.
- 10) 経済企画庁総合計画局(編)(1991)シミュレーション2010年の産業経済. 大蔵省印刷局.
- 11) 経済審議会計量委員会(編)(1996)中・長期経済分析のための多部門計量モデル. 大蔵省印刷局.

(受付2007年10月16日, 受理2007年12月28日)

