

〈特集〉

地域の将来像を計算するためのツール開発

五味 馨

京都大学大学院地球環境学舎 (〒606-8530 京都市西京区京都大学桂 E-mail: g.kei@iwyh.mbox.media.kyoto-u.ac.jp)

概要

地方自治体において持続可能社会を実現するための長期的な計画を策定しようとするとき、多くの定量的情報が必要となる。ここではバックキャストイングの手法にもとづき、二つの段階に分けてそれぞれに必要な定量推計ツールを開発した。一つめは目標としての将来像を描写するための推計ツール、Extended Snapshot Tool (ExSS) である。ExSS は社会の各側面の活動指標、環境負荷排出量、そして目標を達成するために必要な対策を推計する。二つ目は目標に到達するための行動スケジュールを推計する Backcasting Tool (BCT) である。BCT は政策の検討段階から最終的な対策の普及まで、必要な行動を目標年までに完了するためのスケジュールを推計する。このとき投入可能な費用の上限も考慮する。

キーワード：低炭素社会、将来シナリオ、定量化、ロードマップ

原稿受付 2010.1.7

EICA: 14(4) 56-59

1. はじめに

1.1 ツール開発の目的

地方自治体において長期的な視点から持続可能な社会の構築を目指すとき、様々な定量的情報が必要となる。例えば温室効果ガス排出量の削減を環境面の目標とした場合、将来の排出量や必要な対策を推計するには、人口、GDP、産業構造、交通需要量などの社会の各側面の活動水準（これを「社会経済指標」と呼ぶ）についてもその値が必要である。そこで本研究では、そのような社会経済指標と環境負荷の排出量、そして必要な対策を整合的に推計する定量推計ツールを開発した。

1.2 モデリングの方針

ツール開発におけるモデリングの方針として、バックキャストイングの手法に従った。バックキャストイングとは、Robinson¹⁾によれば、「特定の目標地点から現在に向かって逆算する」ことであり、それは「その将来の物理的な実現可能性と、そこへ到達するためにどのような政策が必要になるかを究明するため」である。これを前半の「目標地点」の描写と、後半の「逆算」、すなわち目標地点へ「到達する」道筋の探索とに分けることが出来る。モデリングの視点からは、目標地点の描写において必要なモデルは静学モデルである。そのモデルは現状や過去の傾向に必ずしも縛られず、様々な社会経済の状況を柔軟に、しかし内部的には整合的に、描写するものでなければならない。一

方で、後半の道筋の探索に必要なのは動学モデルである。そのモデルは時間軸上の推移を表現する。そのとき時系列の両端、すなわち開始期＝現状と、最終期＝目標地点とは固定されており、その間をつなぐ推移を推計するものとなる。

前半の段階「目標地点の描写」を行うための定量推計ツールとして“Extended Snapshot Tool (ExSS)”を、後半の「道筋の探索」のためのツールとして Backcasting Tool (BCT) をそれぞれ開発した。以下、それぞれのツールを紹介する。

2. Extended Snapshot Tool の開発

2.1 ExSS の概要

ExSS の目的は目標像としての低炭素社会像を定量的に描写することである。社会経済指標、エネルギー需要量、エネルギー利用技術、そして二酸化炭素排出量などが含まれる。社会経済指標には人口、GDP、産業別生産額、交通需要量、建築物ストックなどが含まれる。ExSS は将来の社会経済状況の想定に基づいて、これらの指標の整合的な値を推計する。その社会経済の状況のもと、所与の排出量目標を達成するための低炭素対策を同定する。**Fig. 1** に ExSS の構造を示す。ここでは環境負荷として化石燃料の消費に由来する二酸化炭素を示しているが、適当な推計式を追加することにより、他の温室効果ガス、環境負荷にも容易に拡張可能である。滋賀県における適用例では水質汚濁負荷、京都市における適用例では廃棄物処理に由来

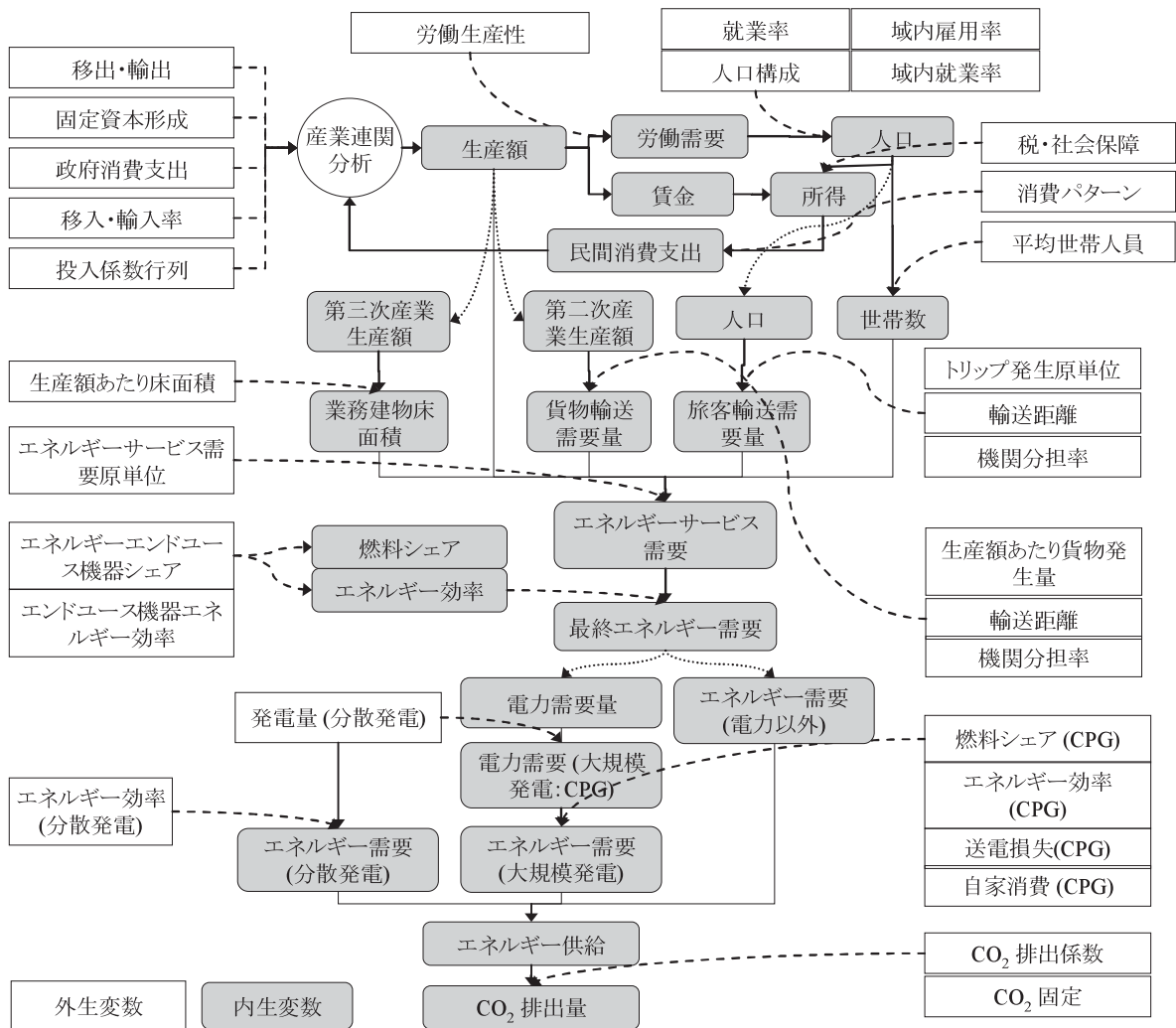


Fig. 1 定量推計ツール ExSS の構造。主な内生変数と外生変数，それらの関係を示した。実践の矢印は推計される変数を，点線の矢印は外生変数の入力を示す。CPGは大規模発電（central power generation），DPGは分散発電（dispersed power generation）を指す。

する二酸化炭素排出量に拡張してそれぞれ適用されている。

ExSSは勘定表型（accounting type）の静学モデルであり，連立方程式体系として記述されている。与えられた外生変数のもとで，ある一年間における地域内の各部門の活動の状況とエネルギー需給を統合的に推計する。

2.2 計算体系

外生の最終需要（移出・輸出，固定資本形成，政府消費支出）と，民間消費支出（内生）から，産業連関分析によって各産業の生産額を推計する。生産額と労働生産性から労働需要（就業者数）が推計される。就業者数を就業率で除し，域外との通勤関係を考慮すると域内の人口が求まる。人口と税・社会保障，そして生産額の一部である賃金から所得が推計され，所得に消費パターン（平均消費性向と消費支出の財別割合）を乗じると民間消費支出が求まる。これが産業連関分析に渡され，産業と人口の部分のモデルが閉じられる。

一方，人口からは旅客輸送需要が，第二次産業の生産額からは貨物輸送需要が求められる。人口を平均世帯人員で除して世帯数を，第三次産業の生産額から業務建築物の床面積を推計する。これらの指標を各部門の「活動量」とし，エネルギー関連の外生変数を乗じることによって最終エネルギー需要量を推計する。最終エネルギー需要量のうち，電力の需要は大規模発電と分散発電に分けられる。それぞれに需要を満たすのに必要な発電量から，発電に投入されるエネルギーの需要量が求められる。このエネルギー需要量と，電力以外の最終エネルギー需要量から，化石燃料の消費に由来する二酸化炭素排出量を推計，これから固定（吸収）量を差し引いて，対象地域の二酸化炭素排出量を推計する。

2.3 外生変数の設定

(2) 社会経済指標関連の外生変数

将来の対象地域の社会・経済状況について，様々な想定がありえる。ExSSによる将来推計では外生変数の値を設定することによってその想定を反映する。

Table 1 社会経済の外生変数と関連する想定

主な外生変数	関連する想定
生活	
平均世帯人員	生活様式
就業率	働き方
人口構成（年齢別、性別）	出生率、死亡率
人口構成（居住地区別）	都市構造
時間利用割合	生活様式
域内就業率	働き方
消費支出構成比	生活様式
産業・経済	
移輸出額	地域の基盤産業、経済成長率
移輸入率	地域の産業構造
投入係数	技術変化
政府最終消費支出	財政
公的固定資本形成	財政（社会基盤整備）
民間固定資本形成	住宅建築、設備投資
労働生産性	技術進歩、資本の蓄積
域内雇用率	周辺地域との関係
旅客輸送	
トリップ発生原単位	生活様式
輸送機関分担率	社会基盤整備、自動車保有率
平均輸送距離	都市構造、人口密度
貨物輸送	
貨物発生原単位	金額あたりの製品重量
輸送機関分担率	社会基盤整備
平均輸送距離	都市構造

Table 2 対策と対応する外生変数

対策	外生変数
高エネルギー効率機器の導入	エネルギーエンドユース機器シェア
建築物の断熱性能の改善	エネルギーサービス需要原単位
家庭・事業所における太陽光発電	発電量（分散発電）
モーダルシフト（自動車から鉄道・バスへの転換）	輸送機関分担率
コンパクトシティ	輸送機関分担率、平均輸送距離
バイオ自動車燃料の利用	エネルギーエンドユース機器シェア
省エネルギー行動	エネルギーサービス需要原単位
森林管理	CO ₂ 固定

Table 1 に主な外生変数と対応する社会経済の想定を示す。これらの変数を設定することにより、人口構成、経済成長の程度、産業構造、交通需要に関する様々な想定を行うことができる。これを ExSS に入力し各指標の値を推計することで、各分野の想定を反映しつつ、相互に整合的な社会経済指標の値を推計することが出来る。

(2) 環境対策関連の外生変数

環境目標を達成するために必要な対策の導入は、各対策が関連する外生変数を設定することによって行う。Table 2 に化石燃料由来の二酸化炭素排出量を削減するための対策と、対応する外生変数を示す。

2.4 統合プラットフォームとしての ExSS

基準年から目標年までの動学的な変化の過程は、モデル構造には含まれない。このような構造としたのは、

バックキャストの第一段階として低炭素社会を「デザインする」ためである。ただし、入力する外生変数を他の動学的モデルを用いて推計することは可能である。たとえば移出・輸出、固定資本形成、政府消費支出を計量経済モデルによって推計する、人口構造を人口モデルによって推計する、コンパクトシティの形成を土地利用モデルで描写し平均輸送距離を推計する、などである。この場合、ExSS は様々な要素モデルをつなぐ統合プラットフォームとして機能する。

3. Backcasting Tool の開発

3.1 BCT の概要

BCT は ExSS で推計・同定した環境目標を目標年までに達成するための行程表を構築する定量ツールである。目標年に必要な対策、対策間の関係、各対策が要する投入資源、毎年の投入資源の上限などを与えると、各対策のスケジュール、毎年の投入資源、毎年の排出削減量などを推計する。混合整数計画法として定式化されており、GAMS プログラムで記述されている。

3.2 対策に関連する概念の整理

BCT における用語を説明する。まず「対策」とは、直接または間接に GHG 排出量を削減する個別の行動である。そのうち直接に GHG 排出量を削減するものを「直接対策」、他の対策への影響を通じて間接的に GHG 排出量を削減するものを「間接対策」と呼ぶ。各対策にはその実施主体があり、それは行政、住民、事業者のいずれかである。

対策の実施の進捗度合いは「効果」によって表現される。それぞれの対策を実行したときの直接的な「効果」の程度は、その対策及びその対策の効果発揮に関連する対策（関連対策）が目標水準に達したときの水準を 1 とし、0~1 の間の数値で表す。対策はある年に「開始」し、効果持続及び効果増大に必要な「資源」の投入によって効果を持続あるいは増加させる。ここでいう資源とは人的資源と直接費用の双方を指す。最終年には全ての対策の効果は 1 になる。相対量ではなく物理的次元を持った対策の効果量は対策によって異なる。目標年における効果が 1 の時の物理的次元を持った対策の効果量は ExSS を使用し求める。対策実施により、GHG 削減以外の効果が得られることがある。これを「総合効果」（GHG 削減効果を除く）と呼ぶ。例えば、「歩道の拡幅」という対策には、GHG 排出量を削減する以外に、交通環境の改善としての効果がある。

ある対策の効果を発揮させるためには、他の対策の実施が必要な場合がある。その関連の仕方には二種類

ある。一つ目は「必要先行対策」である。ある対策Aの効果を発揮させるためには他の対策（例えば対策B）が完了しその効果が1に達していることが必要な場合がある。このとき対策Bを対策Aの「必要先行対策」と呼ぶ。例えば「交通計画の策定」は「交通計画の実施」の必要先行対策である。二つ目は「必要並行対策」である。ある対策Cの効果拡大には、他の対策（対策D）の効果を拡大させることが必要なとき、対策Dを対策Cの「必要並行対策」と称することにする。例えば「太陽光発電への補助金の給付」は、「太陽光発電の導入」の必要並行対策である。これらを、影響を受ける対策の「関連対策」と呼ぶ。

3.3 BCTの計算体系

Fig. 2にBCTの計算体系の概念を示す。上述の通り、BCTは混合整数計画法として記述されている。その制約条件は次のとおりである。①全ての対策の効果は最終年（目標年）に1にならなければならない。②対策の効果を拡大するには所与の資源が必要である。③前年までに拡大した対策の効果を維持するためには所与の資源が必要である。④ある年に投入する資源は所与の上限を超えてはいけない。⑤所与の開始可能年以前に対策を開始することは出来ない。⑥必要先行施策がある場合、必要先行施策の効果が1になるまで効果を拡大できない。⑦必要並行施策がある場合、同年

の必要並行施策の効果よりも効果を拡大することは出来ない。⑧対策の効果に比例して総合効果が発揮される。

目的関数は総合効果と維持に必要な資源の差を最大化するよう定式化されている。総合効果を大きくするためには、より総合効果の大きな対策から先に可能な限り早い時期に全ての対策を実施する。一方で維持に必要な資源を最小化するには、なるべく対策の実施を遅らせる。これら両面を勘案することによって対策の実施順序を決定することが出来る。

BCTの出力は対策別の開始年、効果の拡大過程、完了年、毎年の投入資源と排出削減量である。これはExSSを利用して求めた目標年において必要な対策を実行するための行動スケジュールを示している。

4. ま と め

本研究では地方自治体における持続可能な社会構築のための長期的な行動を支援するための定量推計ツールとして、ExSSとBCTを開発した。これらのツールを利用することにより、長期的な計画に定量的な根拠を与えることが出来るだろう。また計画の策定段階の議論においてこれらのツールを利用し、関係者の意見を反映させながら再計算を繰り返すことで、その地域において最も望ましい目標像と行程表を構築することが出来るものと考えている。

謝 辞

本研究は、環境省の地球環境研究総合推進費(S-6-1)、京都学術共同研究機構共同研究プロジェクト、及び科学研究費補助金(20・56391)の支援により実施された。また、京都市総合企画局地球温暖化対策室および京都大学大学院工学研究科の越智雄輝氏、同工学部の福田堯氏にご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) J. B. Robinson: Futures under glass A recipe for people who hate to predict, Futures, Vol. 22, No. 8, pp. 820-842 (1990)

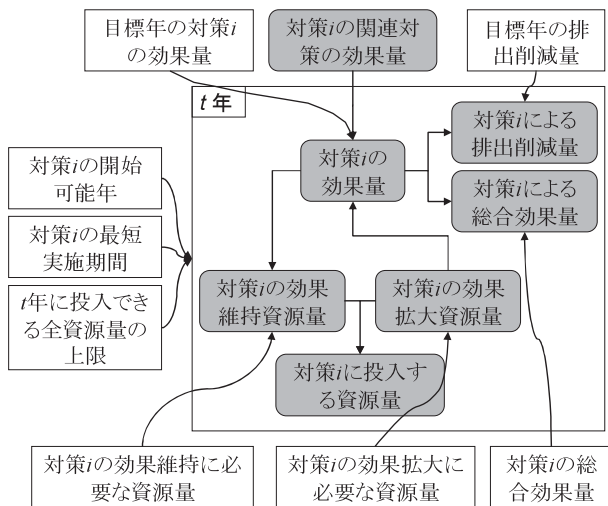


Fig. 2 Backcasting Tool の構造