

8 総合的評価に基づいた低炭素社会シナリオ構築手法の開発

京都大学 福田 堯 五味 馨 松岡 譲

A Study on Integrated Assessment Methodology of Low-Carbon Society Scenarios

Kyoto Univ. Takashi FUKUDA, Kei Gomi, Yuzuru MATSUOKA

1. はじめに

気候変動による、生態系や人類への大きな被害を避けるためには温室効果ガス(GHG)の排出を大幅に削減する必要がある¹⁾。そのために、各国は国全体で対策を講じなければならない。しかし、一国の中でも地理的条件や人口、産業構造などが地域によって異なるため、その地域に適した対策を実施する必要がある。

五味ら²⁾は、地域の将来社会像を定量的に描写し、社会経済の状況、環境負荷の排出、低炭素施策の導入相互関連を分析して、環境目標の達成に必要な対策を同定するためのツールExSS(Expanded Snapshot tool)を開発した。ExSSでは、将来社会の想定を行い、地域の産業構造を仮定することで移出額を決定し、その移出額から産業連関分析を応用して就業者数、人口、消費支出を同時に決定する。次いで生産額、人口から運輸部門の輸送量と業務部門の床面積を決定する。決定したこれらの活動量と、利用技術等の仮定からエネルギー需要量及び環境負荷の排出量の推計を行う。

京都持続可能社会研究会³⁾は、ExSSにより推計した目標年における施策の導入量をもとに、施策をスケジュール化するためのツールBCT(Backcasting Tool)を開発した。ExSSで推計する、目標年における低炭素施策導入量と、BCTで推計する、現在から目標年までの施策のスケジュールを合わせたものを低炭素社会シナリオとよぶ。なお、施策を構成する個別の取組みを事業と定義する。BCTに入力する事業の要件及びそれらの定義を表1.1に示す。

既往の低炭素社会シナリオの構築手法には2つの問題がある。一つ目はExSS中での低炭素施策導入量の決定時に、明確な選定基準が設けられていないことである。二つ目はBCT中で扱う事業の副次的総合効果量を定量化するための明確な手法が確立されていないことである。これらの問題により、その地域にとって最適な低炭素社会シナリオが構築されていない可能性がある。そこで、本研究では、まず施策を様々な側面から評価するためのツールを開発する。さらにその評価を低炭素施策導入量の決定及び、事業のスケジュールに反映させる手法を開発する。これによって、地域により適した低炭素社会シナリオの構築が可能になる。

表 1.1 事業の要件定義

事業の要件	定義
GHG排出直接削減量	事業の100%実施により得られるGHG排出削減量
事業実施労力量	事業の100%実施に必要な労力投入量(初期投入量)
事業継続労力量	事業の100%実施を継続するのに必要な年間労力投入量
事業副次的総合効果量	事業の100%実施時における直接・間接のGHG排出削減以外の事業の効果(相対値)
最短実施期間	事業の100%実施に掛かるとされる最短の期間
開始可能年	事業を開始できる最早年。開始可能年以前には事業を実施できない。
必要先行事業	事業Aを実施する前に、事業Bを100%実施することが必要な場合、事業Bを事業Aの必要先行事業とする。
必要並行事業	事業Aを100%実施するためには事業Bの実施が必要な場合、事業Bを事業Aの必要並行事業とする。

2. 開発した手法

施策の評価にはAHPと呼ばれる手法を用いる。AHPとは、ある問題に取り組むときに考えられる案(代替案)が複数ある場合、複数の評価項目のもとで各代替案を比較し、選好順位を決定するための手法である⁴⁾。

2.1 低炭素施策の評価体系の構築

施策を様々な側面から評価するために、施策を評価する上での複数の評価項目を選定し、評価項目の階層図を形成する。なお、階層図の最上層に総合評価、最下層に低炭素施策、そして中間層に評価項目を入れる。次に、各評価項目の重要度を相対的に比較した一対比較行列を形成し、その行列の固有ベクトルを求めることにより、第 a 階層における評価項目 j からみた各評価項目の重要度 W_j^a を算出する。最後に階層図上で低炭素施策と直接つながっている各評価項目の評価水準を決定し、評価項目と同様にして重要度を算出する。

2.2 低炭素施策情報の収集

導入する低炭素施策の候補として、図 2.1 のような施策体系図を構築する。施策体系図では、施策を第 1 レベル施策、第 2 レベル施策、第 3 レベル施策の 3 つに分けている。また、4 階層目には第 3 レベル施策を構成する事業が入る。施策体系図の構成要素及びその定義を表 2.1 に示す。

2.3 低炭素施策の評価

階層図上で低炭素施策の直接上にくる各評価項目において、評価水準に基づいた評価を行い、評価項目 j における施策 i の評価値 S_{ij} を算出する。 n 階層の階層図の場合、式(2.1)で施策 i の総合評価値 Z_i を算出する。

$$Z_i = S_{ij} \cdot W_j^{n-2} \cdots W_j^1 \quad (2.1)$$

なお、評価時には第 3 レベル施策の現実的に可能な最大実施規模及び、その実施によって得られる第 2 レベル施策最大導入量を想定し、評価対象はその最大実施した場合の施策とする。

2.4 低炭素施策導入量の決定

総合評価値の高い第 3 レベル施策から順に最大導入量まで導入していき、目標削減量に達した時点で導入を終了する。なお、導入施策の中で順位が最も低い施策は最大導入量まで導入せず、目標が達成された時点で導入を終了する。

2.5 低炭素施策導入時期の決定

目的関数は以下の式で表わされ、これを最大化するような各事業のタイムスケジュールが推計される。

$$U = \sum_{I3} \sum_t (\overline{WP}_{I3}^t \times P_{I3}^t) \rightarrow \max \quad (2.2)$$

WP_{I3} : 第 3 レベル施策 $I3$ の副次的総合効果量

P_{I3}^t : t 年における第 3 レベル施策の効果量

効果量とは施策の実施完了度合いを示すものであり、0 から 1 の値をとる。すなわち、 $P_{I3}^t=0$ のとき施策はまったく実施されていない状態、 $0 < P_{I3}^t < 1$ のとき施策は実施中、 $P_{I3}^t=1$ のとき施策は完了した状態である。

表 2.1 施策体系図の構成要素

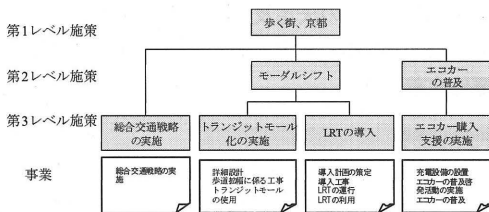


図 2.1 施策体系図の例

構成要素	定義
第1レベル施策	分類の仕方は自由であるが、低炭素施策シナリオ構築の作業は地方自治体を中心となっていくことが多いので、主として地方自治体の行動計画として適当な分類を検討する。
第2レベル施策	ESSに投入する直接施策によって構成される。これらの施策は各エネルギー需要部門における、エネルギーサービス需要原単位を下げる行動や、エネルギー効率の改善、燃料の転換などである。
第3レベル施策	第2レベル施策を引き起こす個々の施策と、それらの施策の実施を可能にする施策から構成される。例えば、第2レベル施策にモーダルシフトが属する場合、モーダルシフトを引き起こす個々の第3レベル施策として、「トラジットモーダル化の実施」や「LRTの導入」などが挙げられる。また、「トラジットモーダル化の実施」などの施策を促進する「総合交通戦略の実施」が第3レベル施策に属する。
事業	第3レベル施策を構成する全ての個別の取組みを事業という。例えば、トラジットモーダル化の実施に関する事業には「詳細設計」、「歩道整備に係る工事」、「トラジットモーダル化の使用」が挙げられる。BCTではこれらの事業のスケジュールを推計する。

3. 京都市への適用

京都市を対象として、2030 年の低炭素社会像及び、2030 年までのロードマップを描く。なお CO₂ 排出量の削減目標は 1990 年比で 40% とする。本研究では低炭素施策を導入した場合の CM ケースについて、評価項目の重み付けを変化させて 2 通りの推計を行い、BaU ケース及び基準年のデータには京都持続可能社会研究会の推計を用いる。ここで言う BaU ケースとはエネルギーサービス需要原単位、燃料シェア、エネルギー効率、輸送機関分担率が全て基準年の値と変わらないとしたケースである。なお、人口や産業等社会経済の想定は両ケースで共通である。

3.1 低炭素施策の評価体系の構築

京都市基本計画第 2 次推進プラン⁴⁾では「安らぎのある暮らし」、「華やぎのあるまち」、「市民との厚い信頼関係」の構築を目指しているため、それを参考に図 3.1 のような評価項目の階層図を形成した。評価項目

の重み付けについては、施策にかかる行政費用よりも、その施策によって得られる副次的効果を重要視したケース(Case1)と、副次的効果よりも行政費用を重要視したケース(Case2)の2通りのCMケースの推計を行う。各ケースの評価項目の重要度の対比較行列を表3.1に示す。次に評価水準の重み付けを行う。副次的効果の評価水準は、評価項目と同様に対比較行列を形成して行う。また、行政費用に関しては、費用が安いほどその施策の評価が高くなるよう、式(3.1)で表わされる式で重み付けを行う。

$$S_{13} = \frac{C_{\max} - C_{13}}{C_{\max}} \quad (3.1)$$

S_{13} : 第3レベル施策13の「行政費用」に関する評価値

C_{13} : 第3レベル施策13の実施にかかる行政費用

$C_{\max}$: 第3レベル施策の中で最も高い行政費用

3.2 低炭素施策情報の収集

京都持続可能社会研究会が作成した京都市施策体系図を利用した。その一部を図3.2に示す。

3.3 低炭素施策の評価

副次的効果における評価は、筆者が主観的に行ったものであり、ほんの一例に過ぎない。なお、本来は、地方自治体と協力し、十分な議論及び調査を経て、施策の評価を行うべきである。行政費用は京都持続可能社会研究会のデータを利用した。その結果得られた上位9位まで及び下位9位までの各施策の総合評価値を図3.3、図3.4に示す。Case1では、「トランジットモール化の実施」の総合評価値が39施策の中で最も高い値となった。しかし、費用重視のCase2では、「トランジットモール化の実施」の総合評価値は最も低くなった。この施策の行政費用が350(百万円)と最も高い値であったためである。また、副次的効果において評価が低く、行政費用も全体の中で6番目に高い「バイオガス発電の導入」は、Case1では最下位、Case2では下から5番目と、いずれのケースでも低い順位となった。

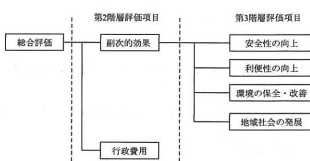


図 3.1 評価項目の階層図

表 3.1 評価項目の重み付け

各評価項目の 対比較(Case1)	副次的効果	行政費用
副次的効果	1	9
行政費用	1/9	1

各評価基準の対 比較(Case2)	副次的効果	行政費用
副次的効果	1	1/9
行政費用	9	1

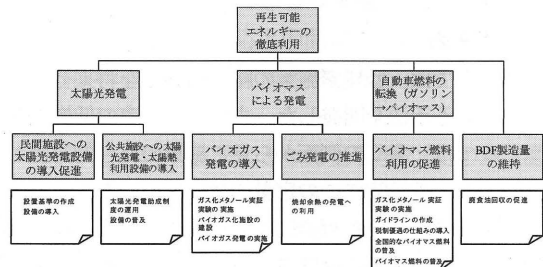


図 3.2 京都施策体系図の一部

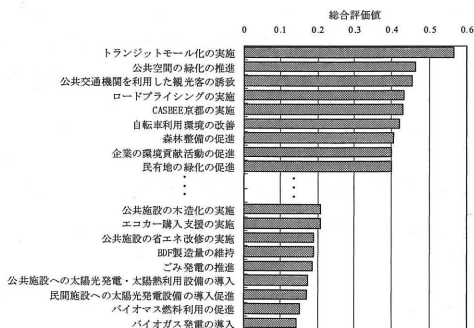


図 3.3 施策の総合評価値(Case1)

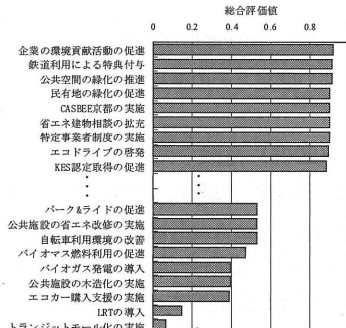


図 3.4 施策の総合評価値(Case2)

3.4 低炭素施策導入量の決定

低炭素目標を達成するために、Case1 では総合評価値が 32 番目の「エコカー購入支援の実施」までの導入が必要であった。一方、Case2 では 34 番目の「バイオマス燃料利用の促進」までの導入が必要であった。

3.5 低炭素施策導入時期の決定

推計した行程表の一部を図 3.5、図 3.6 に示す。「ロードプライシングの実施」が Case1 では 2018 年に完了しているのに対し、Case2 での実施完了年は 2027 年と遅い値を示している。これは、この施策の総合評価値の順位が Case1 では 4 位と非常に高い順位であるのに対し、Case2 では 29 位と低い順位であるためである。また、「自転車利用の環境改善」も Case1 では 2016 年に完了しているのに対し、Case2 での実施完了年は 2023 年と遅い値を示している。この施策も「ロードプライシングの実施」と同様に、総合評価値の順位が Case1 では 6 位と非常に高い順位であるのに対し、Case2 では 33 位と低い順位であるためである。

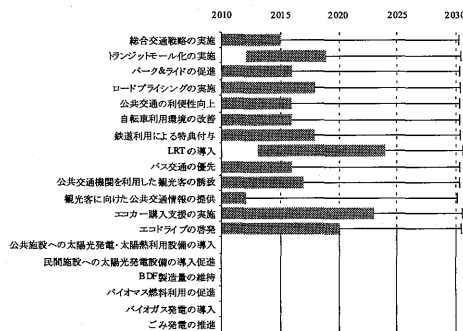


図 3.5 第 3 レベル施策の行程表(Case1)

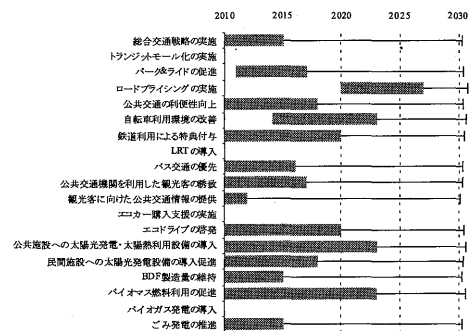


図 3.6 第 3 レベル施策の行程表(Case2)

4. まとめ

本研究では、低炭素施策の総合的評価を将来社会における低炭素施策の導入量及び、導入時期の決定へと反映させる手法を開発した。また、その中で低炭素施策の評価を行うための AHP ツールを開発した。AHP ツールでは、多くの側面から見た施策の総合的評価が評価値という定量的情報として求められる。低炭素社会シナリオ構築時にこの定量的情報を用いることによって、施策の導入量及び導入時期の決定に一定の客観性を付加することが可能になった。また、様々な評価項目を設定することが出来る上に、評価項目間の相対的な重要度が評価に反映されるため、その地域により適した低炭素社会シナリオの構築が可能となった。さらにこの手法を京都市に適用し、CO₂ 排出量を 1990 年比で 40%削減するための低炭素社会シナリオの例を示した。残された課題として、この手法を地方自治体関係者が活用することによって有用性を示すことである。

謝辞 本研究は、地球環境研究総合推進費(S-6-1)「アジア低炭素社会に向けた中長期的政策オプションの立案・予測・評価手法の開発とその普及に関する総合的研究」による研究成果の一部である。ここに記して感謝の意を示す。

参考文献

- 1) 松岡 譲(2005): 危険な気候変化のレベルと気候変動政策の長期目標, 環境研究, 138, 7-16
- 2) 五味 馨(2008): 地域経済の開放性を考慮した低炭素社会シナリオ構築手法の開発と京都市への適用.
- 3) Saaty(1980): The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation.
- 4) 京都持続可能社会研究会(2009): 低炭素都市への京都ロードマップ.
- 5) 京都市(2004): 京都市基本計画第二次推進プラン

キーワード: AHP、総合評価、低炭素社会、CO₂ 排出量

Key Words: AHP, integrated assessment, low-carbon society, CO₂ emissions