

定量的なバックキャスティング手法を用いた 低炭素施策行程表の構築手法の開発

五味 馨¹・越智雄輝²・松岡 譲³

¹学生会員 京都大学大学院地球環境学舎博士後期課程 (〒606-8530 京都市西京区京都大学桂)

E-mail: g.kei@iwyh.mbox.media.kyoto-u.ac.jp

²非会員 京都大学大学院工学研究科 (〒606-8530 京都市西京区京都大学桂)

³正会員 工学博士 京都大学大学院工学研究科教授 (〒606-8530 京都市西京区京都大学桂)

低炭素社会の構築には、まず目標像を描写し次にそこに至る道筋を探索する「バックキャスティング」の手法が有効である。本研究ではその後半である道筋の探索を定量的に行う手法を開発した。低炭素目標実現には直接温室効果ガス排出量を削減する対策だけでなく、それらを普及させる政策・制度等を含む多数の行動(施策)が必要である。複雑な施策間の関係を整理し、各施策の開始、普及、完了を推計するツールとしてバックキャスティングモデル(BCM)を開発した。BCMの適用例として京都市の環境モデル都市行動計画から行程表を構築した。また間接的な施策の排出量削減への寄与度を評価した。BCMは各施策に求められる成果と期限を明確にし、低炭素施策の議論をより実質的なものにするこ

とが出来ると考える。

Key Words: policy assessment, climate change, low-carbon society, scenario approach, policy modelling

1. 背景と目的

(1) 低炭素社会実現への長期目標

温室効果ガス(GHG)の排出を大幅に削減した社会、いわゆる低炭素社会、の実現に向けた研究、政策、実践が各所で行われている。長期的な GHG 排出量の目標として今世紀半ばまでに現状の半減程度という目標がしばしば掲げられる。2008 年に首相官邸は環境モデル都市を公募し、82 の自治体が提案書を提出した。図-1はそこで示された GHG 排出量目標である。2050 年までに半減あるいはそれ以上の目標を掲げている自治体が多い。

(2) 低炭素社会研究におけるバックキャスティングの活用

このような長期的かつ大幅な変革を伴うであろう目標を達成するために、バックキャスティングの手法がしばしば適用される。バックキャスティングとは、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。

これまでに低炭素社会の実現に関して明示的にバックキャスティングの手法を使用した研究は、日本^{2), 3)}、英国^{4), 5), 6)}、オランダ⁷⁾、滋賀県^{8), 9)}、京都市¹⁰⁾を対象としたものがある。これらの研究では目標年における将来像を定量的に描写し、GHG

排出量を推計、排出量目標を達成するために必要な対策を示している。これはバックキャスティングの前半の段階、「目標地点」を描写することにあたり、その手法は確立されつつあるといえる。後半の「道筋」の探索は時間軸上の行動過程、すなわち行程表の構築となる。英国の研究⁹⁾ではボトムアップ型の技術選択モデル(MARKAL)を用いて技術の導入過程を推計している。しかし目標年までに低炭素技術のような直接的な対策を必要量普及させるには、その前提となる政策・制度などの間接的な行動の時間軸上の実施過程も検討する必要がある。いつまでに、どのような行動を、どれくらいすべきであるかを具体的に示すこと、そして各行動の GHG 排出量削減への貢献を定量的に評価することが、実質的な議論には必要である。しかし、上記のうち日本³⁾を除いた例ではこれを明示していない。また、日本の例では「12 の方策」と称し、おおまかな政策のスケジュールを示しているが、行程表の構築手法は必ずしも明示的でない。

そこで本研究では、低炭素社会の構築において、バックキャスティングの後半である行程表の構築を体系的かつ定量的に行う手法を開発する。その中で、直接的および間接的な低炭素対策の分類法を提案する。また、行程表の計算ツールとして「バックキャスティングモデル」(以下、BCM)を開発する。BCM の設計には経営学分野で開発されているプロジェクト・マネジメントの手法¹¹⁾のうち、時間管理の手法を参考にする。さらに、開発した手法の適用例を京都市の低炭素施策(後述)を用いて示す。

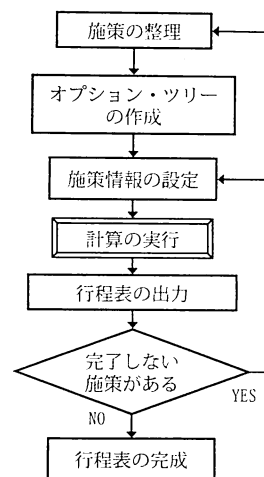
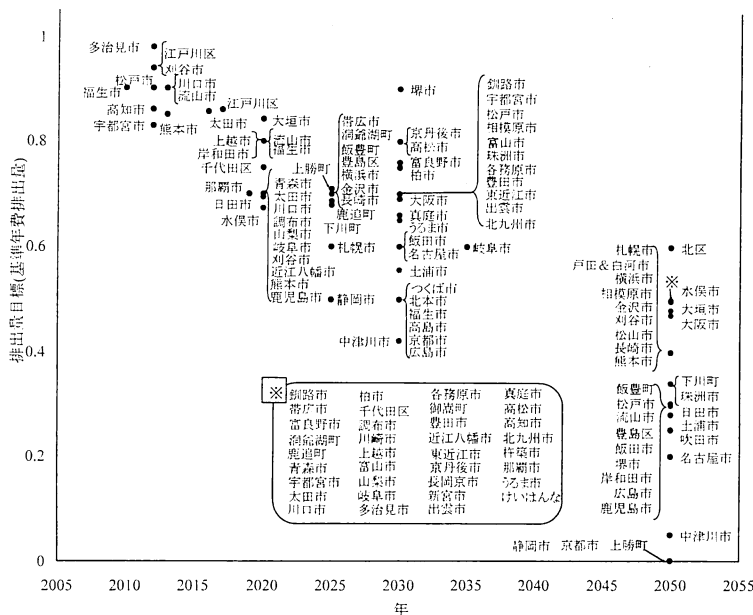


図-2 BCMの利用手順

なお、本研究では政策等のスケジュールに注目し、実施に必要となる費用の評価は含まない。また GHG 排出量の推計手法については先行研究の手法を利用する。

2. バックキャストイングモデルの開発

(1)「施策」とBCMの概要

低炭素社会の実現に関わる行動には、個別の技術の普及、技術普及のための政策・制度のほかに、各種の計画策定、自発的な省エネルギー行動、教育や啓発など様々な種類のものがある。これらの一つ一つを、本研究ではすべて「施策」と定義する。施策の実施過程を時間軸上に配置したものを「行程表」と、施策を大きな分野ごとにまとめたものを「方策」と呼ぶ。

BCMの利用手順を図-2に示す。BCMは各施策の定量的な情報を入力すると、各施策の開始年、順序、各年の普及過程、排出量削減への貢献を計算するツールである。BCMの利用者は施策の入力情報を設定してGHG排出量削減の進捗を繰り返しシミュレートし、目標年に排出量目標を達成するのに必要な施策を検討することが出来る。

(2) 低炭素施策の概念整理

プロジェクト・マネジメントの手法¹¹⁾を参考にして施策に関する概念を表-1のように整理した。施策間の関係を図示する方法を開発した。これをオプション・ツリーと呼ぶ。その例を図-3に示す。

(3) 定式化とBCMの利用手順

BCM に入力する主な情報は、直接施策の導入量と排出削減量、各施策の導入開始可能年、標準実施期間、施策間の関係、加速施策による期間短縮率である。BCM は浸透度を基準年から順に計算する。浸透度の計算体系を図-4に示す。各年の施策の導入量、浸透度、間接施策の影響がない時の浸透速度、加速率は式(1)～(4)によって表される。

$$Q'_i = Q_{c_i} \times P'_i \quad (1)$$

$$P'_i = P'^{-1}_i + V'_i \quad (2)$$

$$V_{C_i} = \frac{1}{T_i} \quad (3)$$

$$Ac_{ij} = \frac{1}{1 - \alpha_{ij}} \quad (4)$$

 Q_i^t : t 年における施策 i の導入量

O_{Ci} : 施策 i の最終的な導入量

 P_i^t : t 年における施策 i の浸透度
$$V_i: t \text{ 年における施策 } i \text{ の浸透速度(年あたりの浸透度増加量)}$$
 V_{ci} : 間接施策による影響がない時の施策 i の浸透速度 T_i : 施策 i の標準実施期間(年)

Ac_j : 加速施策 j の浸透が完了しているときの加速施策 j による施策 i の加速率 (浸透速度に対する乗数)

α_{ij} : 加速施策 j による施策 i の期間短縮率.

表-1 低炭素施策の概念整理

用語	説明
施策	二酸化炭素排出量や他の環境負荷を低減させるための個別の行動。
方策	関連のある複数の施策をまとめたもの。
導入量	施策の実施状況を示す量。単位は施策によって異なり、高エネルギー効率機器なら「普及率」、太陽光発電では「設置された発電容量」、モーダルシフトでは「転換した割合」、緑化では「面積」が、それぞれ導入量の単位となる。
浸透	施策はその導入開始から完了までの間、「拡がっていく」段階にある。この「拡がる」過程を浸透と呼ぶ。
浸透度	最終的な施策の導入量を1としたときの、ある時点での相対的な導入量。0～1の範囲で示される。
開始年と完了年	それぞれ施策の浸透が開始する年、完了する年。
行程表	方策に含まれる施策の開始年、完了年、浸透過程を示したもの。ガント・チャートの形式で表示する。
開始可能年	他の施策による影響がない場合に、施策を始めることが可能となる年。
標準実施期間	他の施策の影響を受けない場合に、施策の開始から完了までに掛かる時間。
継続	浸透完了後も施策の実施が継続されること。
直接施策	施策のうち、直接に環境負荷を低減させるもの。例えば「自動車から公共交通機関へのモーダルシフト」、「家庭における機器のエネルギー効率改善」等がこれに当たる。
間接施策	施策のうち、他の施策の実施を可能にしたり、浸透を早めたりするもの。間接施策の実施それ自体は環境負荷を低減させない。例えば「エコカー購入に対する助成制度の実施」という施策は直接に二酸化炭素の排出を削減しない。間接施策は「先行施策」「部分先行施策」「並行施策」「加速施策」に分類される。
先行施策	間接施策のうち、ある施策を実施する前に必ず実施、浸透を完了していなければならないもの。例えば「公共交通機関のインフラ整備」は「自動車から公共交通機関へのモーダルシフト」にとって先行施策となる。
部分先行施策	間接施策のうち、複数の間接施策がひとつの施策の先行施策となっている場合に、そのいずれかの浸透が完了すれば次の施策が開始する施策。
並行施策	間接施策のうち、この施策の浸透と同じ速さで他の施策の浸透が進むもの。例えば「市民の意識の向上」が浸透し始めると「家庭での省エネ行動」も浸透し始める。なお、一つの施策には並行施策か先行施策のどちらかしかないものとする。
加速施策	間接施策のうち、他の施策の浸透を早めるもの。例えば「省エネ製品の普及」は「省エネ製品の選択」を加速させる。
期間短縮率	浸透の完了した加速施策により実施期間が短縮される割合。

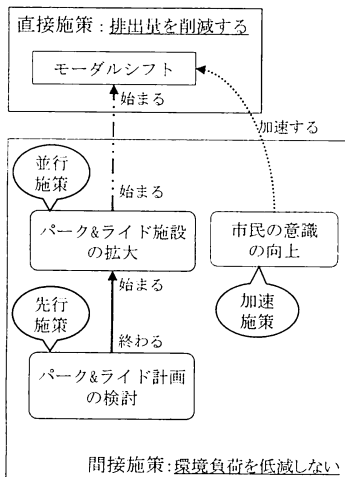


図-3 オプション・ツリーの例

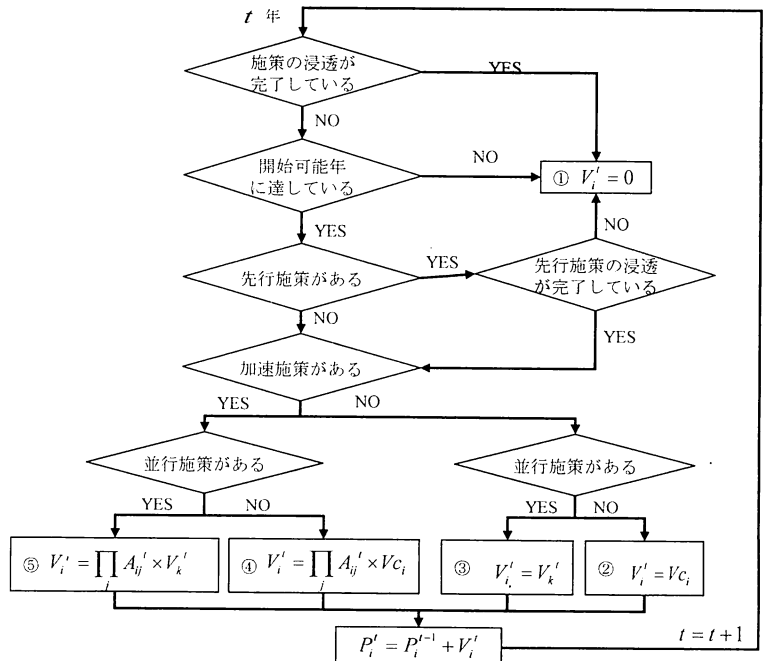


図-4 BCMの計算体系

浸透度は前年の浸透度と当年の浸透速度により計算されるが、浸透速度は、開始可能年に達しているかどうかや、その施策に対する間接施策の有無等によって決まる。浸透度の求め方は次に示す5通りに分けられる。以下の①～⑤は図-4中の番号に対応している。

①施策*i*が、「既に完了している」、「開始可能年に達していない」、「先行施策が完了していない」のいずれかの場合、浸透は行われず浸透速度 V_i^t はゼロとなる。

$$V_i^t = 0 \quad (5)$$

以下に示す②から⑤は施策が浸透中の場合である。施策*i*が浸透中とは、施策*i*が開始可能年に達しており、かつ浸透が完了していない状態である。先行施策がある場合はさらに先行施策が完了していなければならない。並行施策がある場合はさらに並行施策が開始していなければならない。

②施策*i*が浸透中で、加速施策も並行施策もない場合、浸透速度 V_i^t は式(6)で表される。

$$V_i^t = Vc_i \quad (6)$$

③ 施策*i*が浸透中で、加速施策がなく、かつ並行施策 *k* がある場合、浸透速度 V_i^t は式(7)で表される。

$$V_i^t = V_k^t \quad (7)$$

V_k^t : *t*年における施策*i*の並行施策 *k* の浸透速度

④ 施策*i*が浸透中で、加速施策 *j* があり、かつ並行施策がない場合、浸透速度 V_i^t は式(8)で表される。加速率は加速施策それ自体の浸透度にも影響される(式(9))。

$$V_i^t = \prod_j A_{ij}^t \times Vc_i \quad (8)$$

$$A_{ij}^t = P_j^t \times Ac_{ij} \quad (9)$$

A_{ij}^t : *t*年における施策*i*の加速施策 *j* による加速率

P_j^t : *t*年における加速施策 *j* の浸透度

⑤ 施策*i*が浸透中で、加速施策 *j* も並行施策 *k* もある場合、浸透速度 V_i^t は式(10)で表される。

$$V_i^t = \prod_j A_{ij}^t \times V_k^t \quad (10)$$

これらの式では、一つの施策に対し複数の間接施策(部分先行施策或いは並行施策)がある場合は計算できない。この場合、その一つの施策をその間接施策の数に等分し、分割施策として扱うことで計算を可能にする。式(11)により、分割施策の浸透速度の平均を分割前の施策の浸透速度とする。

$$V_i^t = \frac{\sum_d V_d^t}{n} \quad (11)$$

d: 施策*i*の分割施策

n: 施策*i*の分割施策の数

全期間の施策の浸透度の計算が終了したら、施策の開始年と完了年を求める。開始年、完了年はそれぞれ以下の式で表される。

$$S_i = t \quad (P_i^t > 0, P_i^{t-1} = 0) \quad (12)$$

$$C_i = t \quad (P_i^t = 1, P_i^{t-1} < 1) \quad (13)$$

S_i : 施策*i*の開始年

C_i : 施策*i*の完了年

推計プログラムの記述には GAMS を用いた。不連続非線形連立方程式として定式化し、求解にはソルバー CONOPT を用いた¹³⁾。

3. 京都市行動計画への BCM の適用

(1) 適用の概要

京都市は環境モデル都市の公募に対して応募し、環境モデル候補都市に選定された後、2008年10月に「京都市環境モデル都市行動計画(素案)」(以下、「行動計画」)を提出¹²⁾、2009年1月に環境モデル都市に選定された。ここでは行動計画中の施策の情報を BCM に入力して行程表を構築し、行動計画の内容を評価する。目標年は行動計画の中期目標である2030年、基準年は2005年、対象とする温室効果ガスは化石燃料の燃焼に由来する二酸化炭素、目標年の排出量目標は1990年比50%減とする。ただし、目標年の将来像と、各直接施策による排出削減量は五味ら¹⁰⁾の手法を利用して独自に推計する。

(2) 目標年の定量的描写

五味ら¹⁰⁾の開発したツール(Extended SnapShot tool, ExSS)を利用して目標年の定量的描写を行った。基準年を同研究の2000年から2005年に更新するため、基準年の情報を得るために利用した統計を表-2、表-3に示す。2030年における社会経済の想定は同研究と同様とした。

主な社会経済指標の推計結果を表-4に示す。二酸化炭素排出量の推計結果を表-5に示す。対策を導入しない場合(BaU)の二酸化炭素排出量は9373ktCO₂となり2005年比で17%の増加となった。直接施策として同研究の「対策」に加え、産業部門のオペレーションの改善によるエネルギーサービス需要量の削減を想定し¹⁵⁾、排出量目標を達成するための対策導入量を同研究の手法で同定した。

(3) 行動計画の施策情報の BCM への入力

行動計画中の各施策を表-1の定義に従って分類し、施策間の関係を検討してその情報を整理した。施策の分類、開始可能年、標準実施期間、期間短縮率を表-6に示す。全施策の関係を図示したオプション・ツリーを図-5に示す。施策情報のうち、行動計画に明示されていないものについてはそれ

ぞれ値を想定した。特に加速施策による期間短縮率については行動計画では検討がなされていないため、ここで設定した値はあくまで著者らの想定である。BCM の活用にあたっては、これらの値を関係者の会合において検討すべきものと考ええる。直接施策による排出削減量は ExSS の推計結果を利用した。以上の情報を BCM への入力とした。

表-2 社会経済関連の利用統計

統計	年次
京都市民経済計算	2005年度
京都府民経済計算	2005年度
工業統計	2005年
事業所・企業統計	2004年
国勢調査	2005年
京阪神都市圏旅客流動調査	2000年
京阪神物流基礎調査	2005年
学校基本調査	2005年度
京都府産業連関表	2000年

表-3 エネルギー関連の利用統計

統計・資料	年次
京都市エネルギーバランス表	2000年
総合エネルギー統計エネルギーバランス表	2000年度
京都市産業連関表	2000年
京都市産業連関表	2005年
平成12年産業連関表(日本)	2000年
平成17年産業連関表(日本)	2005年
自動車輸送統計年報	2005年度
自動車保有台数月報	2004年3月
京都市統計書	平成18年版
鉄道統計年報	平成17年度
交通関係エネルギー要覧	平成19年版
陸運統計要覧	平成17年版
京都市地域新エネルギービジョン策定調査報告書	平成12年3月

表-4 主な社会経済指標の推計結果

	2005年	2030年	2030年/2005年
人口(万人)	147	139	0.94
世帯数(万世帯)	65	64	0.99
GDP(十億円)	6124	7893	1.29
一人当たりGDP(百万円)	4.15	5.69	1.37
生産額(十億円)	9938	13318	1.34
第一次産業	17	18	1.06
第二次産業	2735	3691	1.35
第三次産業	6947	8159	1.17
旅客輸送量(百万人・km)	9251	8381	0.91
貨物輸送量(百万トン・km)	3484	4837	1.39

表-5 二酸化炭素排出量の推計結果 (ktCO₂)

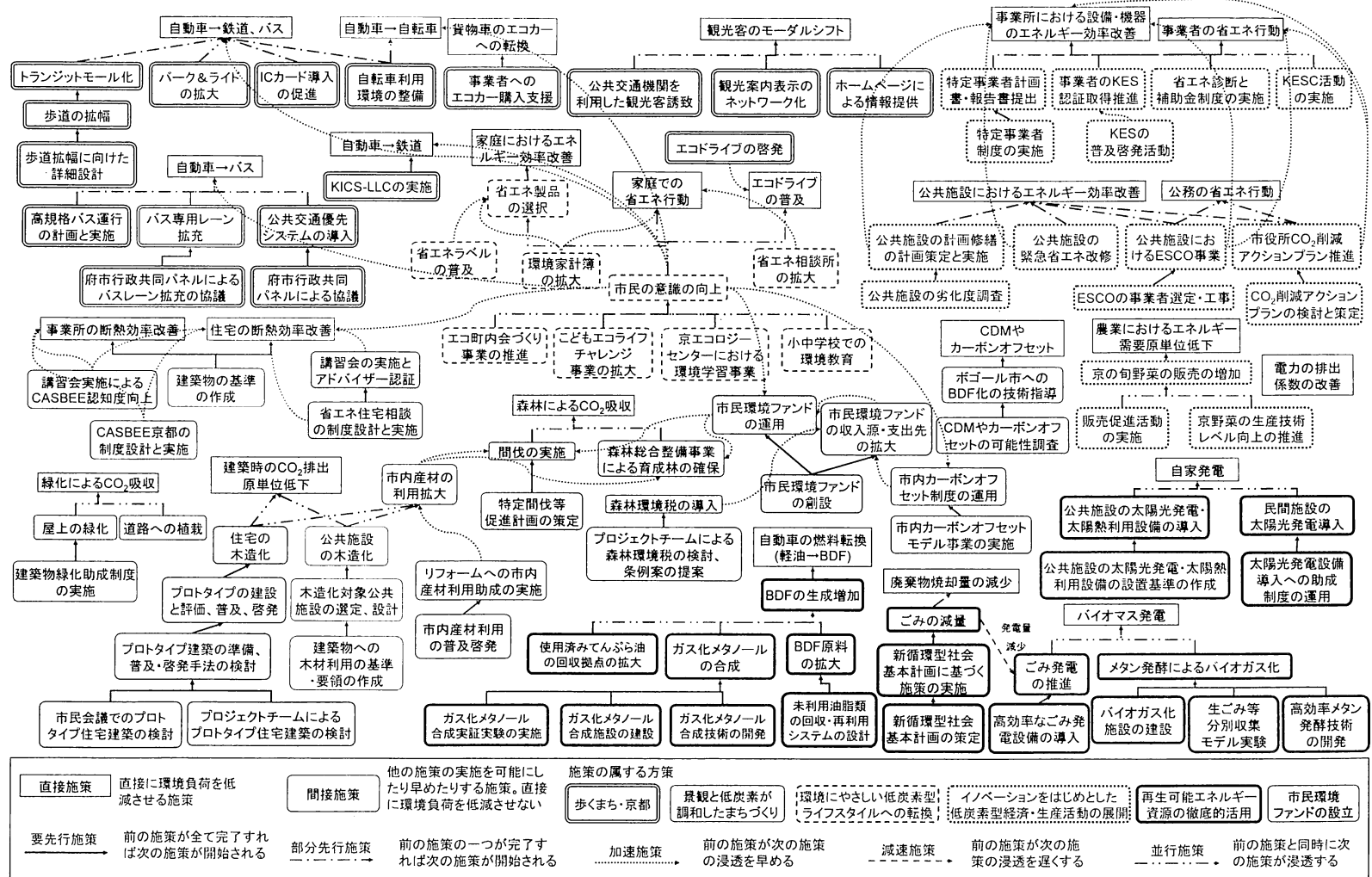
BaUとはGHG排出量削減施策を導入しない場合、CMは導入した場合を指す。

	1990年	2005年	2030年		BaU/1990	CM/1990
			BaU	CM		
家庭	1740	1826	1801	608	1.04	0.36
業務	1680	2204	2272	586	1.35	0.36
産業	2080	1256	2430	1551	1.17	0.75
旅客輸送	1506	1689	1515	464	1.01	0.26
貨物輸送	504	566	778	261	1.54	0.53
廃棄物	258	474	577	349	2.24	1.35
合計	7768	8015	9373	3820	1.21	0.49

表-6 京都市行動計画施策の一覧と定量化のための設定
加速・被加速、先行・後続などの施策間の関係については図-5を参照のこと。

施策	開始 可能 年	標準実 施期間 (年)	施策	開始 可能 年	標準実 施期間 (年)	期間 短縮 率
直接施策						
モーダルシフト(自動車→鉄道・バス)	2005	20	先行施策			
モーダルシフト(自動車→自転車)	2005	5	公共施設への太陽光発電・太陽熱利用設備の設置基準作成	2008	2	
モーダルシフト(自動車→バス)	2005	20	太陽光発電設備導入への助成制度の運用	2005	1	
モーダルシフト(自動車→鉄道)	2005	20	市民環境ファンドの創設	2008	2	
観光客のモーダルシフト	2005	16	市内カーボンオフセットモデル事業の実施	2008	2	
エコカーへの転換	2005	20	先行・加速施策			
エコドライブの普及	2005	50	省エネ住宅相談の制度設計と実施	2008	2	0.2
事業所の断熱効率改善	2005	40	公共施設の計画修繕の計画策定と実施	2008	2	0.15
住宅の断熱効率改善	2005	50	公共施設の緊急省エネ改修	2008	2	0.15
建築時のCO ₂ 排出原単位低下	2005	25	公共施設におけるESCO事業	2008	2	0.15
森林によるCO ₂ 吸収	2005	25	市役所CO ₂ 削減アクションプラン実施	2008	5	0.15
緑化によるCO ₂ 吸収	2005	25	並行施策			
家庭におけるエネルギー効率改善	2005	20	パーク&ライドの拡大	2005	25	
家庭での省エネ行動	2005	33	自転車利用環境の整備	2006	5	
事業所における設備・機器の効率改善	2005	14	ホームページによる公共交通情報提供	2008	20	
事業者の省エネ行動	2005	25	事業者へのエコカー購入支援	2008	20	
公共施設におけるエネルギー効率改善	2005	10	住宅の木造化	2005	10	
公務の省エネ行動	2005	5	公共施設の木造化	2005	8	
農業におけるエネルギー需要原単位低下	2005	20	間伐の実施	2007	25	
自動車の燃料転換(軽油→BDF)	2005	10	森林総合整備事業による育成林の確保	2005	25	
バイオマス発電	2005	10	屋上の緑化	2005	25	
廃棄物焼却量の減少	2005	14	建築物緑化助成制度の実施	2005	25	
自家発電	2005	5	道路への植栽	2008	3	
(電力の排出係数の改善)	2005	25	省エネ商品の選択	2005	5	
先行施策				エコ町内会づくり事業の推進	2008	20
トランジットモール化	2009	1	こどもエコライフチャレンジ事業の拡大	2007	5	
歩道の拡幅	2009	3	京エコロジーセンターにおける環境学習事業	2005	10	
歩道拡幅に向けた詳細設計	2009	2	小中学校での環境教育	2005	20	
ICカード導入の促進	2009	3	事業者のKES認証取得推進	2005	25	
高規格バス運行の計画と実施	2005	5	KESC活動の実施	2005	25	
バス専用レーン拡充	2008	4	京の旬野菜の販売の増加	2007	20	
府市行政共同パネルによる協議	2008	2	販売促進活動の実施	2007	20	
公共交通優先システムの導入	2008	4	BDFの生成増加	2005	10	
府市行政共同パネルによるバスレーン拡充の協議	2008	2	使用済みてんぷら油回収拠点の拡大	2005	10	
KICS-LLCの実施	2006	5	ガス化メタノールの合成	2005	10	
公共交通機関を利用した観光客誘致	2007	3	BDF原料の拡大	2005	10	
観光案内表示のネットワーク化	2008	3	メタン発酵によるバイオガス化	2005	10	
建築物の基準の作成	2005	4	ごみ発電の推進	2005	8	
プロトタイプ建築の評価、普及、啓発	2008	4	新循環型社会基本計画に基づく施策の実施	2005	14	
プロトタイプ建築の準備、普及・啓発手法の検討	2008	1	公共施設への太陽光発電・太陽熱利用設備の導入	2008	17	
市民会議でのプロトタイプ住宅建築の検討	2008	2	民間施設の太陽光発電導入	2005	20	
プロジェクトチームによるプロトタイプ住宅建築の検討	2008	2	並行・加速施策			
木造化対象公共施設の選定、設計	2008	1	市民の意識の向上	2005	10	0.35
木材利用の基準・要領の作成	2007	1	ごみの減量	2005	14	-0.3
特定間伐等促進計画の策定	2007	4	加速施策			
プロジェクトチームによる森林環境税の検討、条例案の提案	2009	1	エコドライブの啓発	2008	4	0.3
特定事業者計画書・報告書提出	2005	1	CASBEE京都の制度設計と実施	2009	3	0.4
特定事業者制度の実施	2005	5	講習会実施によるCASBEE認知度の向上	2010	5	0.25
省エネ診断と補助金制度の実施	2005	2	講習会の実施とアドバイザー認証	2011	4	0.1
公共施設の劣化度調査	2008	2	市内産材の利用拡大	2005	10	0.25
ESCOの事業者選定・工事	2005	2	リフォームへの市内産材利用助成の実施	2008	10	0.3
CO ₂ 削減アクションプランの検討と策定	2008	5	市内産材利用の普及啓発	2009	5	0.1
京野菜の生産技術レベル向上の推進	2005	6	森林環境税の導入	2005	5	0.3
ガス化メタノール合成実証実験の実施	2005	10	省エネパネルの普及	2005	5	0.3
ガス化メタノール合成施設の建設	2005	6	環境家計簿の拡大	2005	10	0.3
ガス化メタノール合成技術の開発	2005	2	省エネ相談所の拡大	2007	10	0.3
未利用油脂類の回収・再利用システムの設計	2012	2	KESの普及啓発活動	2005	5	0.3
バイオガス化施設の建設	2005	4	市民環境ファンドの運用	2008	10	0.3
生ごみ等分別収集モデル実験	2005	1	市民環境ファンドの収入源・支出先の拡大	2008	5	0.3
高効率なごみ発電設備の開発	2012	1	市内カーボンオフセット制度の運用	2008	2	0.3
高効率なごみ発電設備の導入	2005	5				
新循環型社会基本計画の策定	2005					

図-5 京都市行動計画による施策のオプション・ツリー



(4) 構築した方策

BCM を実行して構築したガント・チャートを方策別に図-6～図-11に示す。ここでは行動計画の「取り組み内容」の大分類ごとに一つの方策とした。また ExSS で推計した二酸化炭素排出削減量を方策ごとに分類したものを表-7に示す。削減量は BaU に対する排出削減量である。ここで削減量の合計が表-5よりも小さいのは、ExSS で推計した直接施策のうち、行動計画に含まれていない自動車のバイオマス燃料への転換を除いたためである。また ExSS の直接施策には含まれていないが、行動計画に示されている直接施策として、『森林吸収』と、『道路への植栽』や『屋上緑化』による『CO₂ 吸収』の2つがある。これらの削減量は行動計画の値を示している。

方策Ⅰは、輸送部門における施策をまとめたものである。削減量は 960ktCO₂ で、削減量全体の 19%を占めている。最も早く浸透が完了する直接施策は「自動車から自転車へのモーダルシフト」で、2011 年となった。これは並行施策である自転車利用環境の整備が5年で完了するためである。

方策Ⅱは、主に建築や森林吸収に関する施策をまとめたものである。方策Ⅱによる削減量は 471ktCO₂ で、全体の 9%を占めている。「家庭系の断熱改善」、「業務系の断熱改善」の完了が、それぞれ 2027 年、2029 年と、他の施策に比べて遅く、目標年間際になった。これは行動計画で、住宅の更新速度が 2.0%/年、業務系の建築物の更新速度が 1.5%/年と

っているためである。

方策Ⅲは、家庭部門における施策をまとめたものである。方策Ⅲによる削減量は 660ktCO₂ で、全体の 13%を占めている。市民の心掛けやそれを促進する施策ばかりなので、浸透完了後も目標年まで継続している。

方策Ⅳは、業務部門と産業部門における施策をまとめたものである。6 つの方策の中で、この方策による削減量が最も大きく 1863ktCO₂ であり、全体に占める割合は 36%である。中でも「設備・機器の効率改善」による削減量が 1725ktCO₂ と非常に大きい。

方策Ⅴは、主に太陽光やバイオマス等の新エネルギーに関する施策をまとめたものである。削減量は 469ktCO₂ で、全体の 9%を占めている。「電力からバイオマスへの転換」の開始が他の施策に比べて遅いのは、部分先行施策である「バイオマス化施設の建設」が 2014 年に、「高効率な発電設備の導入」が 2013 年に完了するためである。

方策Ⅵは、環境ファンドに関する施策をまとめたものである。市民環境ファンド自体は直接に二酸化炭素排出量を削減しないため、この方策による削減量は取り上げていない。ここでは行動計画を基に、「市民環境ファンドの運用」の方策Ⅱの「間伐の実施」と「森林総合整備事業による育成林の確保」に対する加速施策と設定した。

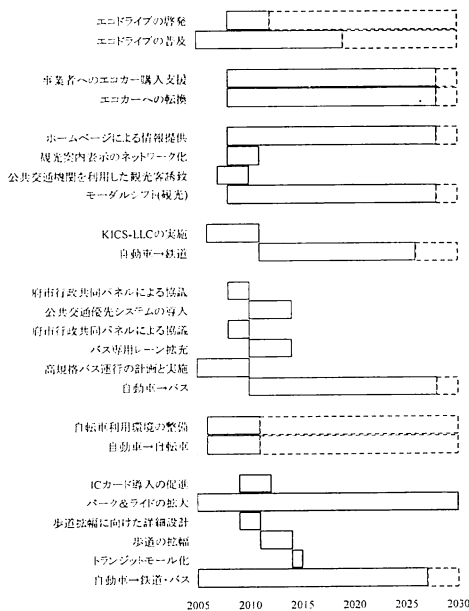


図-6 方策Ⅰ「歩くまち・京都」実線に囲まれた部分は浸透が進行中、点線に囲まれた部分は浸透が完了した後も継続していることを示す。図-7～図-11も同じ。

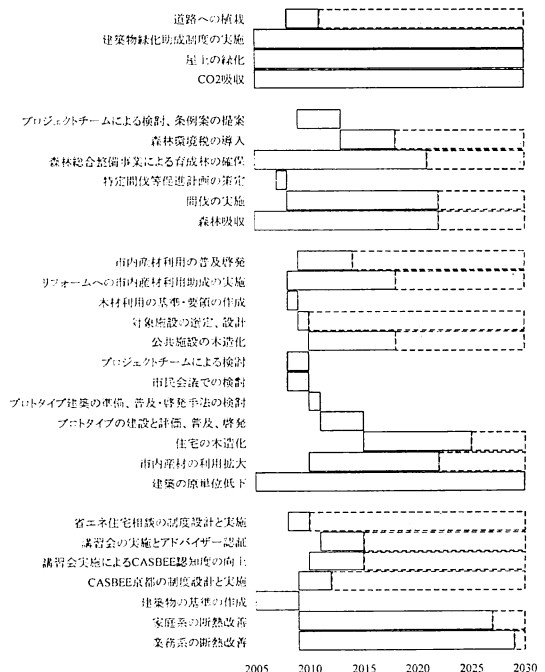


図-7 方策Ⅱ「景観と低炭素が調和したまちづくり」

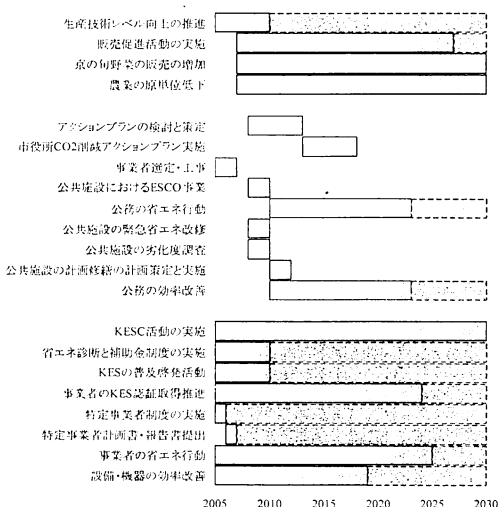
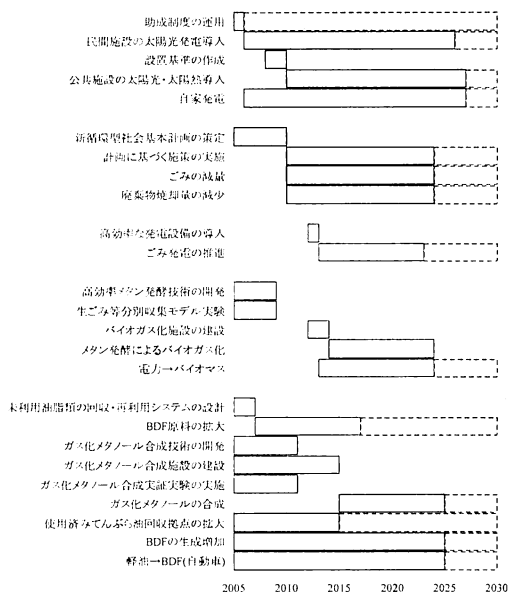
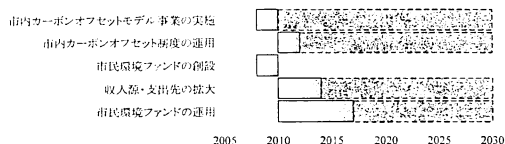
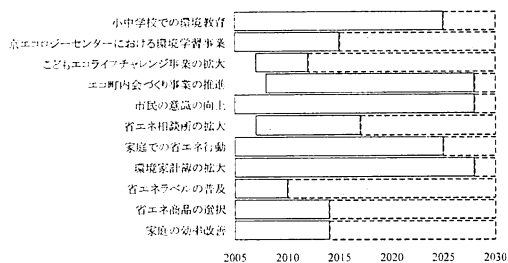


表-7 方策別の直接施策による排出削減量

方策	直接施策	削減量 (ktCO ₂)	方策	直接施策	削減量 (ktCO ₂)
I 歩くまち・京都		960	IVイノベーションをはじめとした低炭素型経済・生産活動の発展		1863
モータールシフト		330			
自動車→鉄道・バス(市民)				設備・機器の効率改善	1725
自動車→自転車(市民)				公務の効率改善(削減量は上に含む)	
自動車→バス(市民)				事業者の省エネ行動	138
自動車→鉄道(市民)				公務の省エネ行動(削減量は上に含む)	
自動車→鉄道・バス(観光客)				農業のサービス原単位改善	0.3
エコカーへの転換		513	V再生可能エネルギー資源の徹底的活用		469
エコドライブの普及		117		軽油→BDF(自動車)	22
II 景観と低炭素が調和したまちづくり		471		電力→バイオマス	54
業務系の断熱改善		216		自家発電	165
家庭系の断熱改善		126		廃棄物焼却量の減少	228
建築のサービス原単位改善		9	VI市民環境ファンドの創設		
森林吸収		120	発電部門の対策 ※行動計画の方策ではない		720
CO ₂ 吸収		0		電力の排出係数の改善	720
III環境にやさしい低炭素型ライフスタイルへの転換		660			
家庭の効率改善		541	合計		5144
家庭での省エネ行動		119			

4. 間接施策の寄与度評価

(1) 寄与度評価の方法

ここでは間接施策による各年の排出削減への寄与度を評価する。間接施策は直接施策の導入の前提となる(先行施策、並行施策)か、直接施策の浸透を加速する(加速施策)ことによって排出削減に貢献する。それぞれの間接施策による寄与度は、その間接施策が実施されなかった場合の排出増加量によって評価できると考えられる。具体的には、まず全ての施策を導入したときの、直接施策による削減量をその施策の開始年から完了年まで線形補完して各年の排出削減量を推計する。次に、一つの間接施策を導入しないよう設定し、BCMを実行して毎年の削減量を推計する。全ての施策を導入した場合の削減量との差を、そのとき導入しなかった間接施策の寄与度とする。

ただし、二つ以上の施策の間に一直線の先行・後続関係のみがあり、他の施策との関連がない場合には、後続の施策のみを評価対象とした。このような場合にはこれら全ての施策に同じ寄与度が推計され、寄与度の比較にあたって同順位のものが多い数現れてしまうためである。例えば図-5左上上の「トランジットモール化」「歩道の拡幅」「歩道拡幅に向けた詳細設計」の場合、「トランジットモール化」のみを評価対象とする。これは後続の施策が直接施策である場合も同様とした。そのた

めある年の間接施策の寄与度の合計は、その年の直接施策による削減量と必ずしも一致しない。

(2) 間接施策の寄与度

この方法で推計した間接施策の2010年、2020年、2030年における寄与度を図-12に示す。また、各年の寄与度の上位12位までの施策の推移を図-13に示す。一貫して上位となっている間接施策は「事業者のKES認証取得推進」であり全期間にわたって1～3位である。また、期間の終盤、2022年以降では、「省エネ診断と補助金制度の実施」が1位となった。これらは後続する直接施策である業務部門、産業部門のエネルギー効率改善による排出削減量が多いことによる。一方、期間の前半では「子どもエコライフチャレンジ事業の拡大」や、「京エコロジーセンターにおける環境学習」といった広い意味での環境教育の順位が高い。これは、これらに後続する直接施策である家庭での省エネルギー行動、エコドライブ、自動車からのモーダルシフトなどは直ちに実施可能であることによると考えられる。それに対して、設備・機器の効率改善などには更新の時間が必要であるため、期間の後半に順位が高くなっていると考えられる。なお、これらの結果の解釈においては、各間接施策は設定した直接施策の実施または加速に成功するという前提をおいていることに注意が必要である。

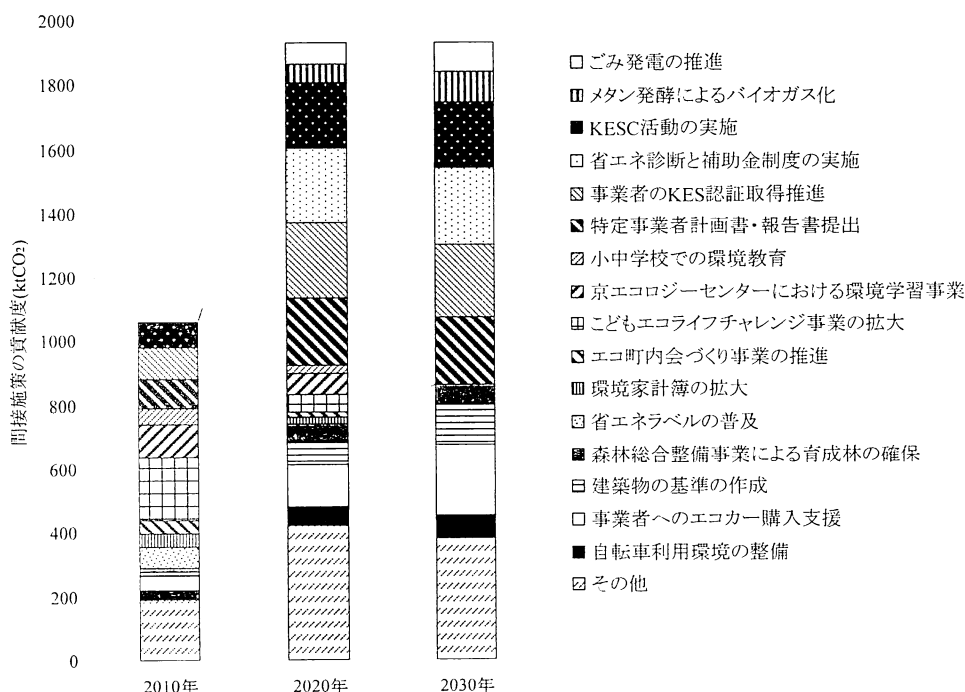


図-12 間接施策の寄与度

5. 京都市行動計画の問題点

以上の適用から、現在の行動計画の改善すべき点として次のものが指摘できる。

(1) 施策の実施期間、期間短縮率

本研究では、行動計画に示されていない標準実施期間、期間短縮率については表-6に示した値を仮定した。しかし行動計画を実行して目標を達成するためには、実施期間や期間短縮率等の施策の情報をより具体的に検討することが長期目標が達成可能な方策を構築し、実行につなげるために必要である。

(2) 中長期的な施策間の関係

行動計画には 2013 年から 2030 年までの施策間の関係が明示されていない。本研究では、ExSS で設定した直接施策を導入するのに十分なだけ、行動計画の間接施策が実施されると仮定している。しかし 2013 年以降については必ずしも施策間の関係が明確に示されていないため、行動計画の間接施策で十分であるか検討する必要がある。例えば「設備・機器の効率改善」による削減量 1726ktCO₂ を、行動計画の間接施策で達成できるかどうか検討しなければならない。検討した結

果、その間接施策では不十分と判断される場合、間接施策の規模拡大や、新たな間接施策の導入等が必要である。

(3) 他の政府機関の施策との関係

他の政府機関(国、京都府など)の低炭素施策を考慮していないのは、行動計画が市の計画であるためと考えられる。しかし、実際の排出削減には様々なレベルの政策が関与し、それを考慮しない場合には削減量を過大あるいは過小に評価する恐れがある。例えば ExSS で推計した「自動車燃料のバイオマスへの転換」は、行動計画ではごくわずかしき含まれていない。だが国の施策によって国や企業がバイオマス燃料生成に関する研究を行い、企業が製造施設を建設して燃料を製造し、販売し、バイオマス燃料が流通すれば、より大幅なバイオマス燃料への転換が可能になる。あるいは逆に、行動計画で示されている施策が実は国による何らかの施策を暗に前提としている可能性もある。そのため、他の政府機関の施策との関係をシナリオとして想定することで、より現実的な方策を構築できるだろう。

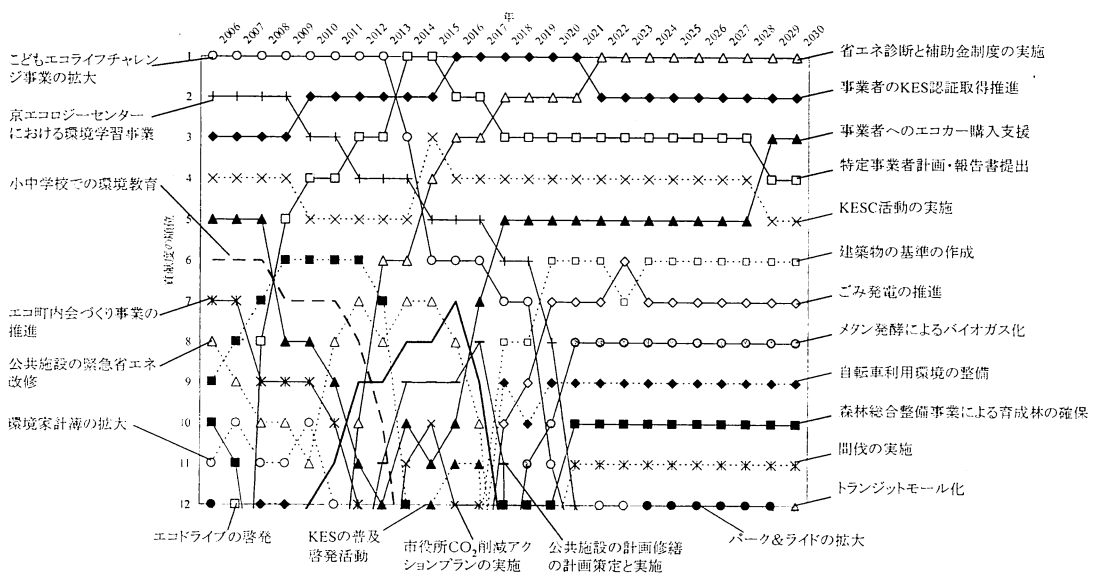


図-13 寄与度上位 12 施策の推移

6. まとめ

本研究では低炭素社会実現のための行程表を構築するための手法を開発し、その計算ツールとしてバックキャストモデル(BCM)を構築した。内容を以下にまとめる。

①BCM では多数の施策間の関係を整理し、全施策の行程表を構築し、さらに間接的な施策の削減への寄与度を評価する。

②京都市の環境モデル都市行動計画を入力としてBCMを実行し、2030年までの行程表を構築した。

③行動計画の間接施策の寄与度を評価した結果、期間の序盤では環境教育に関する施策が、期間の中盤以降では業務・産業部門の効率改善のための制度に関する施策の寄与度が高かった。

④行動計画には、施策の実施期間・期間短縮率の想定、中長期的な施策間の関係の想定、他の政府機関の施策との関係に關してさらに工夫できる可能性があることを指摘した。

BCM は様々な施策に求められる成果を明確にし、「いつまでに」という具体的な期限を示すことが出来る。これは観念的で曖昧になりがちな低炭素社会構築の議論をより実質的にすることができると考えられる。残された課題として、施策実施に必要な費用の評価や、施策の情報・効果(標準実施期間や加速率など)の推計方法の開発が挙げられる。

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にご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) Robinson, J., B.:Futures under glass A respite for people who hate to predict, *Futures*, pp820-842, 1990.
- 2) 「2050 日本低炭素社会」シナリオチーム: 2050 日本低炭素社会シナリオ:温室効果ガス 70%削減可能性検討, 2007.
- 3) 「2050 日本低炭素社会」シナリオチーム: 低炭素社会に向けた12の方策, 2008.
- 4) Mander, S. L., Bows, A., Anderson, K.L., Shackley, S., Agnolucci, P. and Ekins, P. :The Tyndall decarbonisation scenarios—Part I: Development of a backcasting methodology with stakeholder participation, *Energy Policy*, Vol.36, 3754-3763, 2008.
- 5) Anderson, K.L., Mander, S. L., Bows, A., Shackley, S., Agnolucci, P. and Ekins, P. :The Tyndall decarbonisation scenarios—Part II: Scenarios for a 60% CO₂ reduction in the UK, *Energy Policy*, Vol.36, 3764-3773, 2008.
- 6) Starachan, N., Pye, S. and Hughes, N.:The role of international drivers on UK scenarios of a low-carbon society, *Climate Policy*, Vol.8, pp125-139, 2008.
- 7) Kok, M., W. Vermeulen, A. Faaji and D. Jager: Global Warming and Social Innovation: The Challenge of a Climate-Neutral Society, Earthscan, London, 2003.
- 8) 島田幸司, 田中吉隆, 五味馨, 松岡謙: 低炭素社会に向けた長期的地域シナリオ形成手法の開発と滋賀県への先駆的適用, 環境システム研究, Vol. 34, pp. 143-154, 2006.
- 9) 五味馨, 島田幸司, 松岡謙: 地方自治体における統合環境負荷推計ツール開発と滋賀県への適用, 環境システム研究, Vol. 35, pp. 255-264, 2007.
- 10) 五味馨, 仲座伯方, 松岡謙: 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, 環境システム研究, Vol. 36, pp. 1-9, 2008.
- 11) 日本プロジェクトマネジメント協会: P2M プロジェクト&プログラムマネジメント標準ガイドブック, 日本能率協会マネジメントセンター, 2007.
- 12) 京都市: 京都市環境モデル都市行動計画(素案), 2008.
- 13) GAMS Home page <http://www.gams.com/>
- 14) 首相官邸 HP「環境モデル都市 提案リスト」: <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/tiiki/teiannaiyou.html>
- 15) 省エネルギーセンターHP「工場の省エネルギー診断サービス」: <http://www.eccj.or.jp/audit/fct3/04.html>

EVALUATION OF KYOTO CITY'S LOW-CARBON POLICY USING QUANTITATIVE BACKCASTING METHOD

Kei GOMI, Yuki OCHI and Yuzuru MATSUOKA

In order to develop a low-carbon society scenario, backcasting method which set a target first and then seek a roadmap to reach there is thought effective. In this study, we developed a quantitative method to develop a roadmap, which correspond to the second step of backcasting. Towards a low-carbon society, we need many "options" including indirect policies, such as regulation, economic incentive and education, as well as measures reducing greenhouse gas emissions directly. A tool called "backcasting model (BCM)" was developed in order to organize complex relationship and estimate penetration process of the options. "Environmental model city action plan" of Kyoto city was input to BCM and roadmaps were developed. In addition, contribution to emission reduction of indirect options were assessed. BCM clarify output required to each option and its time frame and contribute to make discussions of low-carbon society more substantial.