

バックキャスティングアプローチに基づいた 体系的な低炭素社会シナリオ構築手法の開発

越智 雄輝¹・五味 馨²・福田 亮³・島田 幸司⁴・松岡 譲⁵

¹ 非会員 京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻修士課程 (〒606-8530 京都市西京区京都大学桂)

E-mail: yu-ki83@iris.eonet.ne.jp

² 正会員 工学博士 京都大学大学院工学研究科特定研究員 (〒606-8530 京都市西京区京都大学桂)

³ 非会員 京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻修士課程 (〒606-8530 京都市西京区京都大学桂)

⁴ 正会員 工学博士 立命館大学経済学部教授 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

⁵ 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)

地方自治体において低炭素社会を実現するには、長期目標と具体的な計画、すなわち低炭素社会シナリオが必要である。本研究では先行研究で開発された手法とツールを統合し、地方自治体における体系的な低炭素社会シナリオの構築手法を提示する。手法は4段階からなる。(1)目標設定と現状の情報収集、(2)低炭素社会施策の予備評価、(3)低炭素社会ビジョンの描写、(4)低炭素社会ロードマップの構築。次の各ツールを新たに開発した。社会経済の定性的な想定を定量化するための「想定テンプレート」、低炭素社会施策の総合評価を行う「AHPT」、手法の各段階で施策の情報を整理して格納し、実際の低炭素社会計画の資料とするための「施策個票」。また、各段階で参加すべき主体を示した。以上の開発によって低炭素社会シナリオ構築手法は概ね整ったと考える。最後に、手法の京都市への適用例を示す。

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

1. はじめに

(1) 低炭素社会シナリオの構築手法とバックキャスティング

低炭素社会の実現に向けて、特に具体的な対策の実施にあたっては、地方自治体の行動が必要と考えられる。低炭素社会の実現には長期間を要することから、その計画は数十年間を対象とせざるを得ない。ここではそのような目標とその実現のための計画とを合わせて「低炭素社会シナリオ」と称する。しかし、多くの地方自治体の低炭素社会に関する具体的な計画は5年間程度のもが多く、低炭素社会シナリオの構築には、そのための方法論の整備が必要とされる。

低炭素社会シナリオの構築手法としては国レベルでの研究として、日本¹⁾、英国²⁾、オランダ³⁾などがある。これらの研究では、シナリオ構築手法の基本的な考え方としてバックキャスティングの方法論を採用している。ここにバックキャスティングとは、「特定の目標地点から現在に向かって逆算すること」⁴⁾と定義され、二段階に分けることが出来る。前半は目標とする将来像の描写、後半が目標へ到達するための道筋の探索である。低炭素社会シナリオにバックキャスティングが採用される理由は、低炭素社会の実現はこれまでの傾向の延長では不可能であること、長期的な目標の達成と現在の行動とを整合させる必要があることであると考えられる。

(2) 先行研究の問題点と本研究の目的

このような背景のもと、筆者らはバックキャスティングの手法を応用し、地方自治体において低炭素社会シナリオを構築するための手法及び必要な推計ツールを開発してきた⁷⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。またそれを滋賀県¹²⁾⁽¹³⁾、京都市¹⁴⁾⁽¹⁵⁾、及びマレーシアジョホール州のイスカンダーマレーシア地域¹⁶⁾⁽¹⁷⁾において適用してきた。しかしながら、これまでに開発してきた手法及びツールは、バックキャスティングの前半・後半のそれぞれにおいて個別に利用するものとなっており、一つの体系的な手法には位置づけられていない。またそのような手法及びツールを実際の政策策定課程で利用するためには、その各段階において、誰が、どのように参加し、どのような議論を行い、どのような成果物を得るべきか、必ずしも明示されていない。

そこで本研究では、これまでに開発された手法及びツールを統合し、利用主体の関与の仕方を明示して、一つの体系的な手法として提示する。そこで、推計ツールを利用するための補助的なツール「想定テンプレート」、低炭素社会施策の総合的な評価を行い、それを単一の指標に定量化するための「Analytic Hierarchy Process Tool (AHPT)」を新たに開発する。また、各低炭素社会施策について、必要な情報を整理・格納する様式「施策個票」も新たに開発する。さらに、以上の手法の適用例として京都市における例を紹介する。

2. 開発した手法の全体像

(1) 用語の定義

まず、本研究で用いる用語の定義を示す。

地域 ある国の一部分。

地方自治体 行政上の区画された地域。

低炭素社会 温室効果ガス(GHG)排出量を気候変動の危険な影響を避けられる水準まで大幅に減少または抑制した社会。ただしその排出量水準の具体的な値はここでは定義しない。

低炭素社会シナリオ 低炭素社会としての長期的な目標とそれを達成するための計画。ここでいう長期的とは20年間以上を指すものとする。

低炭素社会施策 GHG 排出量を削減するための個別の行動。その実行主体は政府(地方自治体、国)だけではなく、民間事業者や住民、市民団体のこともある。低炭素社会施策のことを単に「施策」と書くこともある。

直接施策 低炭素社会施策のうち、直接に GHG 排出量を削減または抑制する施策。

間接施策 直接には排出量を削減または抑制しないが、他の施策を実行する前提となったり他の施策の浸透を速めたりする施策。前者を先行施策、後者を並行施策と称する。施策によっては、直接施策であると同時に、他のある施策に対して間接施策であるということがあり得る。

低炭素社会ビジョン 将来のある時点における、低炭素社会としての地域の将来像。単に「ビジョン」と書くこともある。

低炭素社会ロードマップ 現在から低炭素社会ビジョンに到達するための施策のスケジュールを示した行程表。単に「ロードマップ」と書くこともある。

(2) 手法の概要

図-1に手法全体の概要を示す。ここで提示する手法は次の4つの段階からなる。また、図-2に各段階のより詳細な手順を示す。なお、図-2では以下の4段階の作業についてのみ表し、検討や見直し等の手順は省略した。

第1段階 まず、目標の決定と情報の収集を行う。目標の決定は、作成するビジョン及びロードマップの対象範囲や枠組みを決めることになる。情報は主として統計データであり、Extended Snapshot Tool (ExSS)による推計が必要となる。十分な情報が得られない場合は、推計により補う。実際の作業においてはかなりの労力をこの段階に費やすことになる。

第2段階 低炭素社会施策の予備評価を行う。まず、候補となる直接施策の情報を収集する。そして、そのうち目標年までに導入の可能性がないものはこの時点で除外し、可能性のあるものについては詳細な情報を収集する。

第3段階 将来社会の想定を行う。社会経済の全体像について、定性的なシナリオをまず叙述し、次にそれを定量的な想定に反映する。一方で AHPT を利用して直接施策の評価

を行う。これらから ExSS で社会経済指標・GHG 排出量・直接施策導入量を推計する。出来上がった低炭素社会ビジョンを検討し、各段階において必要があれば修正していく。

第4段階 直接施策の導入に必要な間接施策を挙げて「オプション・ツリー」を描く。次に AHPT で各施策を評価する。各施策の定量的要件(費用を含む)と制約条件(総費用の上限、中間年の目標)を設定し、Backcasting Tool (BCT)を用いてロードマップを構築する。BCT の結果とこれまでの情報から施策個票を完成させる。出来上がった低炭素社会ロードマップを検討し、各段階において必要があれば修正していく。

こうして構築された低炭素社会施策が実行に移されたならば、それは時間の経過とともに見直す必要があるだろう。例えば5年毎にその進捗を監視し、その時点を出発点として再び低炭素社会ビジョンとロードマップを構築し、施策を実行する。このプロセスを反復することによって、漸進的に目標とする低炭素社会に近づいていくことが出来ると考えられる。

(3) 関与する主体

ここで各段階に関与する主体を3つに分けて示す。すなわち、政府担当者、モデリング・チーム、そして関係者会合である。以下に各主体の役割を示す。

政府担当者 地域の代表として施策の策定プロセス全体を運営するとともに、統計情報の収集や低炭素社会施策体系の構築にあたっての情報提供が期待されている。

モデリング・チーム 大学の研究者やコンサルタント等が主として担当し、推計ツールの操作を行う。必要な場合は事前に推計作業を行ってから関係者会合に臨む。

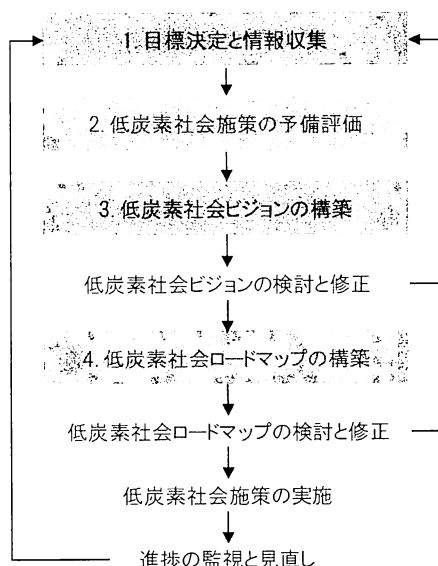


図-1 開発した手法の概要

関係者会合: それぞれの段階での要件に応じて参加者の意見を反映し、関係者が合意し得るビジョン及びロードマップを構築していく。関係者会合には上二者のほか、その地域の意志決定に参画する多様な主体が参加可能である。例えば地域住民、地域内で活動する事業者の代表、NPO等の市民団体の代表である。本研究で利用する推計ツールは、一回のシミュレーションにかかる推計時間が1分あるいはそれ以下であるため、関係者の意見をその場で反映しつつ推計を反復し、意見が収斂する推計結果にその場で到達することが出来る。そのため、モデリング・チームの関係者会合への参加は必須である。

3. 各段階の作業, 担当者及びツール

(1) 目標決定と情報収集

a) 低炭素目標の決定

低炭素目標には、対象とする温室効果ガスの範囲と、その排出量水準が含まれる。温室効果ガスの範囲とは、何に由来するどのガスを対象とするかである。排出量水準とはその量の目標であり、総量目標と原単位(密度)目標があり得る。前者は人口や経済活動水準などに関わらず、排出量を一定の値以下にすることを指すものである。全ての部門での排出量を差別なく対象とするのか、各部門別に目標を設定するのかを決める必要がある。後者の原単位(密度)目標とは、

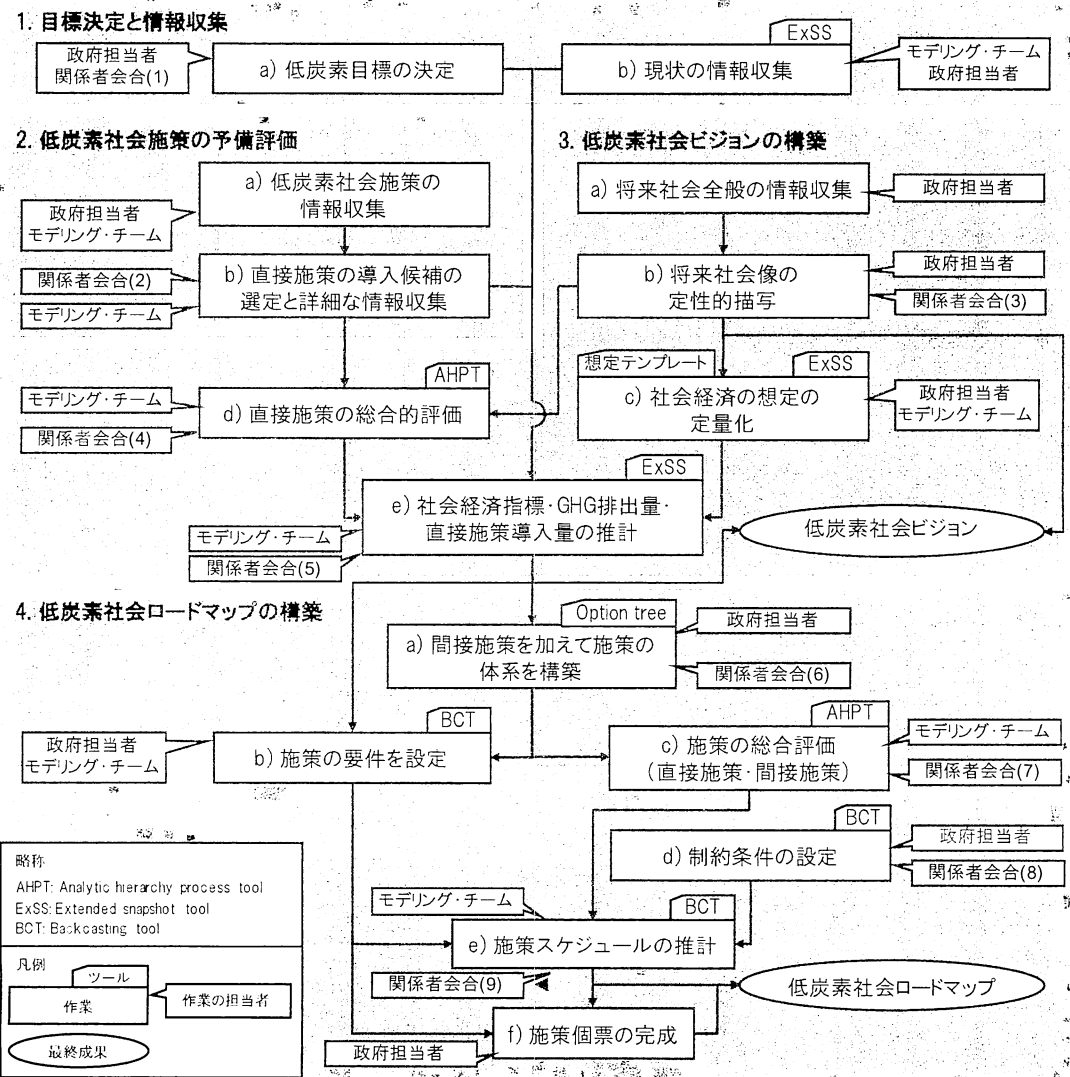


図-2 手法の手順, 担当者及び利用するツール

b) 現状の情報収集

(2) 低炭素社会施策の予備評価

a) 低炭素社会施策の情報収集

b) 直接施策の導入候補の選定と詳細な情報収集

表-1 必要な統計情報

データ	区分
人口	性別, 年齢, 就業状態
世帯数	-
産業連関表	産業部門(少なくとも30部門程度)
建築物床面積	用途
旅客輸送量	輸送機関
貨物輸送量	輸送機関
エネルギーバランス表	エネルギー需要部門 エネルギー供給部門 エネルギー種
エネルギー技術ストック	エネルギー需要部門 エネルギーサービス種 エネルギー種別
再生可能エネルギー賦存量	

(3) 低炭素社会ビジョンの描写

a) 将来社会全般の情報収集

b) 将来社会像の定性的描写

c) 社会経済の想定 の 定量化

移出出
固定資本形成
政府消費支出
民間消費支出
投入係数行列
移出入

労働生産性
就業率
人口構成
人口

税・社会保障

産業連関分析

生産額
労働需要
資金
所得
消費
人口
世帯数

消費・バウチャー
平均世帯人員

三次産業生産額
第二次産業生産額
一次産業生産額
実物輸送必要量
旅客輸送必要量
貨物輸送必要量

トリップ数
平均移動距離
機関分相率

生産額対り消費
CO₂排出係数
炭素吸収

生産額対り炭素発生量
輸送距離
機関分相率

CO₂排出量

図-3 ExSSの構造

d) 直接施策の総合評価

低炭素社会施策は社会の様々な分野で実施されるため、の中には GHG 排出量の低減以外の側面にも好ましい影響を及ぼすものがあると考えられる。そのような影響をここでは「総合効果」と称する。低炭素社会施策の組み合わせあるいはその実施の優先順位を検討するにあたっては、総合効果の高いものを優先的に実施すべきと考えられる。本研究では、様々な側面から低炭素施策を評価し、それを定量化するために「AHPT」を開発した。これを利用して直接施策の総合評価を行い、その総合的な好ましさについて定量的に評価する。評価項目の例として、「安全性の向上」「快適性の向上」「環境の改善」「地域社会の発展」などがある。この総合評価に応じて直接施策の優先順位が決まるので、政府担当者は慎重に評価項目を設定しなければならない。AHPT について詳しくは 4 章で説明する。

e) 社会経済指標・GHG 排出量・直接施策導入量の推計

低炭素社会施策の技術的情報から、AHPT による総合評価をもとに ExSS におけるエネルギー関連の外生変数を設定し、これと d) で設定された社会経済の外生変数を入力として ExSS を実行、社会経済指標、GHG 排出量、そして低炭素目標達成に必要な直接施策の導入量を推計する。推計のための ExSS の操作はモデリング・チームが行うが、推計結果について目標とする低炭素社会像として相応しいかを関係者会合で議論し、参加者からの提案があれば取り入れて再推計を行う。これを合意が得られるまで反復し、低炭素社会ビジョンを構築する。これがバックキャスティングの前半である「目標とする将来像」に相当する。

(4) 低炭素社会ロードマップの構築

a) 間接施策を加えて施策の体系を構築

低炭素社会ビジョンで導入が想定された直接施策を実施するために必要な間接施策を検討する。補助金や税制などの経済的誘引の実施、建築物への規制の策定、都市計画・交通計画の策定、社会基盤の整備、教育や啓発の活動などが挙げられる。間接施策の多くは政府(地方自治体、国)によって行われると考えられるが、他の主体によって行われる場合もあり得る。例えば教育や啓発は学校でも行われるであろうし、多くの民間非営利団体が施策の普及を促進する活動に関わっている。この時、施策間の関係を明示するために、「オプション・ツリー」を構築する。オプション・ツリーの例を図-4に示す。この作業は政府担当者及び関係者会合において行う。

b) 施策の要件を設定

ロードマップの構築は Backcasting Tool (BCT) を利用して行う。BCT は、与えられた制約条件のもとで、全ての施策を目標年までに実施するよう、各施策について開始年、普及過程、完了年を推計するツールである。毎年の投入資源及び排出削減量も推計される。五味ら¹³⁾によって単純な行程表推計プログラムとして開発された後に、費用等の制約条件を加えた

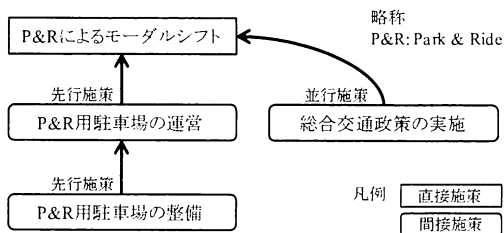


図-4 オプション・ツリーの例

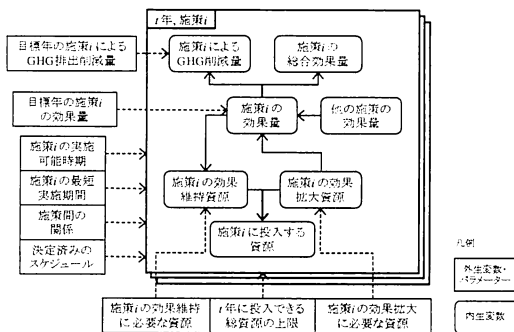


図-5 BCT の構造

混合整数計画問題として拡張された¹⁴⁾¹⁵⁾。計算プログラムは GAMS で記述され、入出力ファイルは Excel である。BCT の構造を図-5 に示す。各施策について、排出削減量、施策の実施及び継続に必要な資源(人的資源と直接費用の両方を含む)、最短実施期間、開始可能年、実施主体、関連施策との関係を施策個票に書き込み、BCT への入力とする。政府担当者とモデリング・チームによってこれを行う。

c) 施策の総合評価

関係者会合において、AHPT を利用して施策の総合評価を行う。ここでは直接施策・間接施策の双方を対象とする。ビジョンとは異なり、ロードマップの構築には時間の次元が加わる。そこで評価項目に「緊急性」と「不確定性」を加える。

d) 制約条件の設定

政府担当者及び関係者会合において、ロードマップに対する制約条件を設定する。投入可能な資源の上限、中間年の GHG 排出削減量、そして既に予定されている決定済みの施策スケジュールなどである。

e) 施策スケジュールの推計

以上の情報を入力として BCT を実行する。推計結果を関係者会合で検討し、合意が得られるまで人力変数の設定と推計を反復する。これがバックキャスティングの後半である「道筋」に相当する。

f) 施策個票の完成

得られた施策スケジュールの情報を施策個票に書き込み、施策個票を完成させる。

4. ツールの開発

(1) 将来社会の想定テンプレート

ExSSを利用した将来推計では、将来の定性的な想定を各外生変数の値に反映させる。その時、各変数の背景にある事象についての知識が必要である。そのような知識を政府担当者や関係者会合の参加者が常に備えているとは考えられない。そこで、定性的な想定から外生変数の値を設定する作業を支援するツール「想定テンプレート」を開発した。その各頁ではまず、その変数に関連する要因について、基本的には三択の質問を提示する。選択肢は「増える 減る 現状程度」といったように、その事柄の変化の方向を選択する。その後、それらの影響した結果としての変数の値を書き込む。テンプレートにはその変数の基準年の値や過去からの変化の傾向、他の地域の値、他の研究による将来値の例などが示されている。テンプレートの頁の例を図-6に示す。

①生活 (1) 『1世帯あたりの平均人数』

1世帯あたりの人数は【増加 現状程度 減少】して、平均で【 】人となっている。

現状：【 】人 出典：傾向：

背景の想定

結婚年齢は【遅くなっている 現状程度 早くなっている】
一人暮らしをする人は【増えている 現状程度 減っている】
三世帯で居住する世帯の割合は【増えている 現状程度 減っている】
その他

説明

- ・人口×世帯数=1世帯あたりの平均人数
- ・定数推計ツールでは人口をこれに代して世帯数を推計する
- ・全国的な現在の傾向は、小さくなる方向にある
- ・1世帯の人数が少ないほど、1人あたりのエネルギー消費量は増加する傾向がある。

参考例

- ・237人(全国、2025年) 出典：国立社会保障・人口問題研究所(2003)「日本の世帯数の将来推計」
- ・265人(道東圏、2050年、2005年は235人) 出典：「しが2010の姿」検討ワーキンググループ(2006)「みんなで描くしがの未来」
- ・227人(シナリオA)、236人(シナリオB) (いずれも全国、2050年) 出典：「2050日本低炭素社会」プロジェクトチーム(2007)「2050日本低炭素社会シナリオ 温室効果ガス70%削減可能性推計」

図-6 想定テンプレートの頁の例

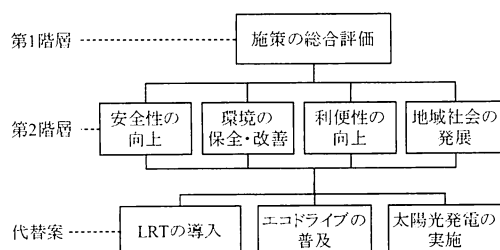


図-7 AHPTにおける代替案(低炭素社会施策)と評価項目の階層構造の例

(2) AHPT

AHP (Analytic hierarchy process)とは、ある問題に対して考えられる案(代替案)が複数ある場合に、複数の評価項目のもとでそれぞれの代替案を比較し、選好順位を決定するための手法である¹⁹⁾。代替案と評価項目によって階層構造を構築するためにこの名がある。本研究では、低炭素社会施策にAHPの手法を応用し、AHPTを開発した²⁰⁾。図-7に階層構造の例を示す。ここでは評価項目の第1階層は「施策の総合評価」、第2階層に4つの評価項目、代替案に3つの低炭素社会施策を示している。評価項目の選定と階層化はツールの利用者が任意に行うことが可能である。例えば階層をさらに増やして3階層の評価項目を構築することも出来る。

総合評価値の算出においては、まず各評価項目*j*の重要度*w_j*を成分とする重要度ベクトル*w*を一对比較によって算出する。これは、図-7の例で考えると、「安全性の向上」や「環境の保全・改善」等の各評価項目にどう重点を置くかを定めることになる。次に各低炭素社会施策*i*について各評価項目の評価値*s_{ij}*を与え、これを成分とする評価マトリックス*S*を作成する。これは、「LRTの導入」等の各施策が「安全性の向上」等の各評価基準に対してそれぞれどの程度影響を及ぼすかという評価を表す。これらの積が、総合評価値ベクトルとなる式(1)、*z*の各成分が各施策の総合評価値である。

$$z = S \cdot w \quad (1)$$

本研究の手法の中では、ビジョンの描写において総合評価値の高い直接施策から導入していくことで、ロードマップの構築においては混合整数計画法の目的関数に総合評価値をおくことで、総合評価の高さを低炭素施策の選択及び実施順序にそれぞれ反映させている。

(3) 施策個票

施策個票とは、個々の低炭素社会施策に関する情報を格納した様式であり、構築した低炭素社会シナリオの実施に必要な各施策の情報を提示するものである。シナリオ作成者が何らかの根拠をもとに記入する項目と各ツールの出力を記入する項目があり、可能な項目から随時記入を行っていく。各段階での推計に必要な入力値となる項目もある。施策個票の例を図-8に示す。個票は Excel のシートにを入力する形式で、同じ内容・値となる項目はリンクにより自動更新されるよう設定されている。

まずは手法の第2段階において、低炭素社会ビジョンを作成するために必要な直接施策の情報を図-8のAの項目に書き込む。具体的には、直接施策の内容、エネルギー効率などの技術的情報、実施主体、目標年に実施可能か否かである。AHPTにより推計した施策の総合評価値も記入する。

次に第4段階において、低炭素社会ロードマップの構築に必要な直接・間接施策の情報の記入を、図-8のBの項目

A. ビジョンの描画に必要な情報												
直接効果名称	モーダルシフト			実施主体	市民							
直接効果内容	自動車から公共交通機関及び自転車、徒歩への転換											
施策内容の出典	環境モデル都市行動計画			目標年の実現	可能		0.415					
総合効果	総合評価値 (AHPT)											
安全性の向上	「少し良い影響を与える」			環境の保全・改善	「少し良い影響を与える」							
利便性の向上	「少し良い影響を与える」			地域社会の発展	「少し良い影響を与える」							
不確実性	ほぼ確定的である											
B. ロードマップの構築に必要な情報												
施策コード	GW TM 03			方策名称	歩く街・京都							
施策名称	トランジットモールの使用			実施主体	市民							
施策内容	施策内容の出典 環境モデル都市行動計画											
市民がトランジットモールを使用することにより、自動車を利用する人が減り、公共交通機関への転換が進む。												
実施開始可能年	2010			短期実施年数	1							
ExSSにより推計された直接効果「モーダルシフト」の導入量及び排出削減量	導入量			20% 排出削減量	321.4 ktCO ₂							
施策「トランジットモールの使用」による排出削減量	31.6 ktCO ₂											
必要資源	市民			産業	政府		必要資源の算定機					
実施必要資源	継続必要資源											
総合効果	総合評価値 (AHPT)											
安全性の向上	「少し良い影響を与える」			環境の保全・改善	「少し良い影響を与える」							
利便性の向上	「少し良い影響を与える」			地域社会の発展	「少し良い影響を与える」							
不確実性	ほぼ確定的である											
間接効果名称	施策コード			施策内容	並行効果 並行効果の算定機							
並行効果となる施策	GW TM 02			先行								
総合交通戦略の実現	GW MM 01			並行	0.8 交通に特化した施策であり、与える影響が大きい							
環境負荷削減の導入	LS EL 01			並行	0.95 「幅広い分野に影響を与える施策であり、単体の施策に及ぼす影響は小さい」							
エコ町内会事業の実現	LS EL 03			並行	0.95 「幅広い分野に影響を与える施策であり、単体の施策に及ぼす影響は小さい」							
京エコロジセンターによるエコメイト及びエコポーターの育成	LS HR 01			並行	0.95 「幅広い分野に影響を与える施策であり、単体の施策に及ぼす影響は小さい」							
KESCOの実現	IN CS 01			並行	0.95 「幅広い分野に影響を与える施策であり、単体の施策に及ぼす影響は小さい」							
C. 施策情報												
施策コード	GW TM 03			方策名称	歩く街・京都							
施策名称	トランジットモールの使用			実施主体	市民							
施策内容	施策内容の出典 環境モデル都市行動計画											
市民がトランジットモールを使用することにより、自動車を利用する人が減り、公共交通機関への転換が進む。												
施策「トランジットモールの使用」による排出削減量	31.6 ktCO ₂											
間接年 (BCT)	2020			完了年 (BCT)	2021							
投入資源 (BCT)	市民 産業 政府											
実施必要資源	継続必要資源											
総合効果	総合評価値 (AHPT)											
安全性の向上	「少し良い影響を与える」			環境の保全・改善	「少し良い影響を与える」							
利便性の向上	「少し良い影響を与える」			地域社会の発展	「少し良い影響を与える」							
不確実性	ほぼ確定的である											
期待される総合効果	期待される総合効果											
街中における自転車乗降の減少や駅周辺の活性化が期待される。												
モニタリング指標												
鉄道やバス利用者の増加、パーセントリフト増減などによりモーダルシフトの進捗を判断する。												
間接効果名称	施策コード			施策内容	並行効果 並行効果の算定機							
並行効果となる施策	GW TM 02			先行								
総合交通戦略の実現	GW MM 01			並行	0.8 交通に特化した施策であり、与える影響が大きい							
環境負荷削減の導入	LS EL 01			並行	0.95 「幅広い分野に影響を与える施策であり、単体の施策に及ぼす影響は小さい」							
エコ町内会事業の実現	LS EL 03			並行	0.95 「幅広い分野に影響を与える施策であり、単体の施策に及ぼす影響は小さい」							
京エコロジセンターによるエコメイト及びエコポーターの育成	LS HR 01			並行	0.95 「幅広い分野に影響を与える施策であり、単体の施策に及ぼす影響は小さい」							
KESCOの実現	IN CS 01			並行	0.95 「幅広い分野に影響を与える施策であり、単体の施策に及ぼす影響は小さい」							

図-8 施策個票の記入例

表-2 社会経済の想定

指標	設定	背景の定性的描写
人口構成	国立社会保険・人口問題研究所(2003)「日本の市区町村別将来推計人口」による2030年	高齢化の進展
人口配置	単刀直入に利用 基準年に比べて都心部(上京区、中京区、下京区、東山区)の構成比が2%減少(20.2% → 18.2%) 西京(西京区、右京区)の構成比が2%増加(24.3% → 26.3%)	景観保全のため中心市街地の高度利用は抑制される
平均世帯人員	2.15人 (2000年 2.36人)	平均的な世帯規模は若干減少
時間利用	男性就業・家事時間0.5時間増加、仕事時間1時間減少、学習・研究・趣味・娯楽・ボランティア活動0.5時間増加 女性・家事時間1時間減少、学習・研究・趣味・娯楽・ボランティア活動1時間増加	労働時間は比較的短い、家事は家族で分担、生涯学習が盛ん、ボランティア活動を大事に
就業率	男性 60代:70% (2000年 57%) 70代以上:40% (2000年 18%) 女性 60代:50% (2000年 31%) 70代以上:15% (2000年 7%)	仕事と生活のバランス
消費の内訳	第三次産業への支出の割合が4.5%増加(86.4% → 90.9%)	趣味・娯楽・娯楽関連のサービスが伸びる
移輸出額	1.43%/年で成長:織物、染色整理、商業、娯楽サービス、飲食店、旅館・その他の宿泊所、研究	全体では1.3%/年の成長率とし、叙述シナリオで言及のあった産業を高め、それ以外の産業を低めに設定

について行う。ここでは、ExSS により推計された直接施策の導入量及び排出削減量の他、施策の内容、必要資源、最短実施期間、最早開始可能年、実施主体、施策間の関係を入力する。評価項目に「不確定性」と「緊急性」を加えて AHPT により再推計した総合評価値も記入する。

最後に、BCT による推計から得られた施策の開始年、完了年、投入資源と、期待される総合効果、施策のモニタリング指標を記入する。これらは図-8の C に該当する。モニタリング指標とは、施策の効果がシナリオの想定通りに表れているかどうかを判断する指標である。定期的にモニタリングを実施し、施策の内容を再検討し、シナリオを再び構築する。

5. 京都市での適用例

(1) 低炭素目標と情報収集

京都市は 2009 年、首相官邸から環境モデル都市に選定された。本研究では同市の策定した「京都市環境モデル都市行動計画」²¹⁾に倣い、2030 年における化石燃料の消費または廃棄物の焼却に由来する CO₂ 排出量を 1990 年比で 40% 削減することを目標とした。

本研究では「現状」の情報として、データの入手可能性から 2005 年を基準年とした。京都市は政令指定都市であるため現状の把握に必要なほとんどのデータは公開されていた。しかし同市は産業連関表とエネルギーバランス表を作成・公表していないため、2005 年の京都市産業連関表及びエネルギーバランス表を独自に推計した。

(2) 低炭素社会施策の予備調査

導入する候補となり得る直接施策の情報として、京都市を対象とした低炭素社会シナリオの先行研究である五味ら¹¹⁾のデータを用い、施策個票にその情報を記入した。京都市には景観保護の政策として、建築物の高さに対する規制が存在するため、コンパクトシティを目指す施策は除外した。また、風力発電についても、京都市との会合でポテンシャルが十分でない²²⁾と判断したため、導入の候補から除いた。

(3) 低炭素社会ビジョンの描写

まず、将来社会像の定性的描写には、京都市が 2007 年に作成した同市の将来社会の構想に関する内部資料、「2030 年の京都市の社会像」²³⁾を利用した。これをもとに、想定テンプレートを用いて、社会経済の各側面を定量的に表した。その一部を表-2に示す。

つづいて、AHPT による直接施策の総合評価を行った。福田²⁴⁾を参考に、評価項目を「安全性の向上」「快適性の向上」「環境の改善」「地域社会の発展」の 4 つとし、各施策の総合評価値を AHPT により計算した。総合評価値の高い直接施策が優先的に導入されるよう ExSS の直接施策の設定を行った。

また、施策個票の総合評価に関する項目を記入した。そしてこれまで設定してきた情報をもとに、ExSSを実行し、2030年の京都市の社会経済指標、CO₂排出量、そして低炭素目標の達成に必要な直接施策の導入量を推計した。主な社会経済指標、CO₂排出量の推計結果と、直接施策の総合評価値、直接施策の導入量をそれぞれ表-3から表-6に示す。

地域内交通と市内地域間交通において、車から他の移動手段への転換率が52%と非常に高い値となった。これは、「モーダルシフト」の総合評価値が最も高い値であったためである。一方、最も評価値の低かった施策は「太陽光・太陽熱の利用」であり、太陽光発電の導入率及び太陽熱温水器の普及率は20%となった。CO₂排出量40%削減という低炭素目標を達成するためには、評価値の低い施策も、高い施策ほ

表-3 主な社会経済指標

	2000年	2030年対策	対策/2000年
人口(万人)	147	140	94.8%
世帯数(万世帯)	65	65	99.4%
GDP(10億円)	6,124	8,305	135.6%
生産額(10億円)	9,938	13,400	134.8%
第一次産業	17	19	113.0%
第二次産業	2,735	3,542	129.5%
第三次産業	6,947	9,507	136.9%
旅客輸送量(百万人・km)	9,251	8,347	90.2%
貨物輸送量(百万トン・km)	3,484	4,571	131.2%

表-4 部門別のCO₂排出量 (kt-CO₂)

	1990年	2005年	2030年 現状固定	2030年 対策	対策/1990
家庭	1,740	1,826	1,815	746	42.9%
業務	1,680	2,204	2,420	805	47.9%
産業	2,080	1,256	1,674	1,320	63.5%
旅客	1,506	1,689	1,655	789	52.4%
貨物	504	566	756	421	83.5%
廃棄物	258	474	577	349	135.3%
合計	7,768	8,015	8,897	4,430	57.0%

表-5 直接施策の総合評価値

直接施策	総合評価値
モーダルシフト	0.415
観光客のモーダルシフト	0.356
エコカーへの転換	0.253
エコドライブの普及	0.253
住宅の断熱効率改善	0.253
事業所の断熱効率改善	0.253
木造の増加による建築のCO ₂ 排出原単位の低下	0.253
森林によるCO ₂ 吸収	0.313
緑化によるCO ₂ 吸収	0.313
家庭におけるエネルギー効率改善	0.253
家庭での省エネ行動	0.211
家庭ごみの焼却量減少	0.296
産業活動における設備・機器のエネルギー効率改善	0.253
事業所での省エネ行動	0.211
公共施設の省エネ化	0.211
農業のCO ₂ 排出原単位の低下	0.253
事業所からの廃棄物の焼却量減少	0.296
太陽光・太陽熱の利用	0.211
自動車燃料のバイオマスへの転換	0.211
バイオマスによる発電	0.211

どではないが、現状よりも積極的に実施しなければならない。

(4) 低炭素社会ロードマップの構築

まず、京都市の環境モデル都市行動計画をもとに、低炭素社会ビジョンで導入を想定した直接施策の実施に必要な間接施策を挙げた。そして、京都市へのヒアリングにより各施策の要件の設定を行い、それを施策個票に記入した。直接施策についてはExSSで推計された導入量及び排出削減量も記した。低炭素社会施策の総数は124個となった。

次に、評価項目に「不確定性」と「緊急性」を加え、AHPT

表-6 直接施策の導入量

直接施策	導入量
モーダルシフト	自動車から
地域内交通	他の移動手段への転換: 52%
市内地域間交通	他の移動手段への転換: 52%
対市外交通	鉄道への転換: 40%
観光客のモーダルシフト	他の移動手段への転換: 40%
エコカーへの転換	普及率: 80%
エコドライブの普及	普及率: 40%
住宅の断熱効率改善	次世代断熱水準住宅の普及率: 50%
事業所の断熱効率改善	普及率: 40%
木造の増加による建築のCO ₂ 排出原単位の低下	木造建築の普及率: 30%
森林によるCO ₂ 吸収	CO ₂ 吸収量: 120.2ktCO ₂
緑化によるCO ₂ 吸収	CO ₂ 吸収量: 0.009ktCO ₂
家庭におけるエネルギー効率改善	高効率機器の普及率: 80%
家庭での省エネ行動	HEMSの普及率: 40%
家庭ごみの焼却量減少	普及率: 34%
産業活動における設備・機器のエネルギー効率改善	高効率機器の普及率: 80%
事業所での省エネ行動	BEMSの普及率: 40%
公共施設の省エネ化	普及率: 34%
農業のCO ₂ 排出原単位の低下	旬野菜の販売割合: 40%
事業所からの廃棄物の焼却量減少	削減率: 40%
太陽光・太陽熱の利用	太陽光発電の導入率: 20%
自動車燃料のバイオマスへの転換	太陽熱温水器の普及率: 20%
バイオマスによる発電	転換率: 20%
	発電量: 18.8ktoe

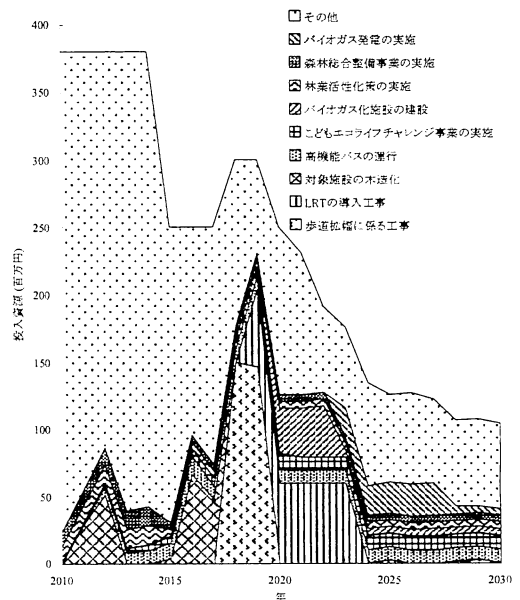


図-9 各施策に掛かる投入資源

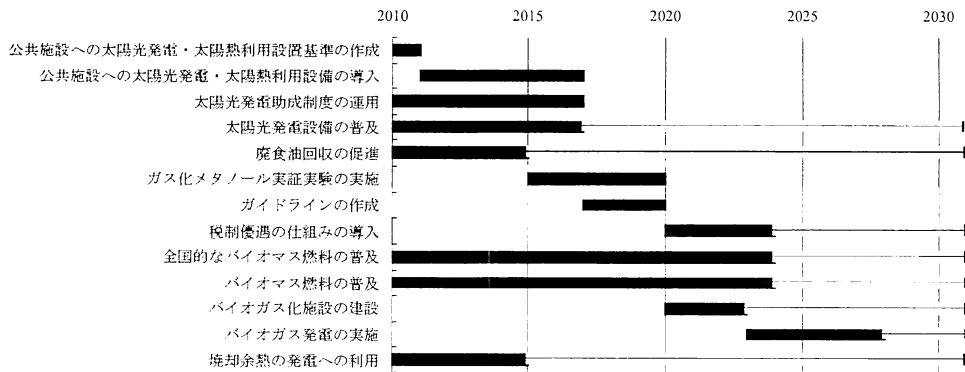


図-10 再生可能エネルギーの利用に関する施策の実施スケジュール

により各施策の総合評価値を再計算した。また、投入可能な資源の上限を、最初の5年間は3.8億円、その他は3億円に設定した。なお、今回は行政に掛かる資源のみを考慮した。

施策個票に書き込まれた情報を入力してBCTを実行し、各施策の実施スケジュール、各年の排出削減量、投入資源を推計した。施策の実施スケジュール及び投入資源を図-9、図-10に示す。施策の数が多いため、図-9では上位10個以外の施策をその他とした。図-10には、再生エネルギーの利用に関する施策のみを示した。「バイオガス発電の実施」の開始が他の施策に比べて遅く、2023年から実施されている。これは「バイオマスによる発電」の総合評価値が最も低い上、先行施策である、「ガス化メタノールの実証実験」、「バイオガス化施設の建設」の最短実施期間が長いためである。

BCTにより推計された施策の開始年や完了年、投入資源等の情報を施策個票に記入した。最後に、期待される総合効果と施策のモニタリング指標を、これまでに記入された施策の情報をもとに検討し、記述した。

6. まとめ

本研究では、先行研究において開発された手法に加え、それを実際に政策策定の現場で活用するためのいくつかのツールを新たに開発し、統合された体系的な手法として提示した。またその京都市における適用例も示した。その内容を以下にまとめる。

- 1) 手法は4つの段階からなる。第1段階は情報収集と低炭素目標の設定、第2段階は低炭素施策の予備評価、第3段階は低炭素社会ビジョンの描写、第4段階は低炭素社会ロードマップの構築である。そのうち第3、第4段階はバックキャストの二つの段階、目標とする将来像の描写と道筋の探索にそれぞれ対応している。
- 2) この手法では主に二つの定量推計ツールを利用する。一つは低炭素社会ビジョンの描写に利用するExSSで

ある。ExSSは整合的かつ定量的に将来社会の活動状況とGHG排出量を推計し、目標年において導入されているべき低炭素社会施策を同定する。ExSSの活用を補助するためのツールとして、将来像の描写のための「想定テンプレート」を新たに開発した。

- 3) もう一つの定量推計ツールはBCTである。BCTは施策の要件と予算等の制約条件に従って、全ての施策を目標年までに完了するための施策スケジュール及び投入資源を推計する。
- 4) 低炭素社会施策の総合的な評価のためのAHPTを手法に組み入れた。これにより各施策の、低炭素以外の側面から見た好ましさを定量的に評価し、低炭素社会ビジョンにおける施策の選択及び、低炭素社会ロードマップにおける実行順序の決定に反映させられる。
- 5) 低炭素社会施策の情報を整理し、その政策としての実行を支援するために、「施策個票」を新たに開発した。各段階の入出力情報を記入していくと、最終的に政策として必要な情報が格納された様式が完成する。

以上の開発によって、地方自治体において低炭素社会シナリオを構築するための手法は概ね整ったものとする。ただし、関係者会合における地域住民・事業者・市民団体等の各参加者の役割を明確にすることが今後の課題である。

2010年3月現在、京都市では筆者らと協力し、実際にこの手法を活用した条例及び計画の策定過程が進行中である。それが完了した後に、その過程、成果、及びそこから得られた知見について事例を報告したい。

さらに、本論文では京都市への適用例を示したが、京都府と滋賀県を合わせた地域を対象に、手法の適用を現在行っている。地域(複数の県を含む)レベル、県レベル、市レベルで手法を適用する際は、県と市の各ロードマップの間に矛盾が生じないように、県レベルの目標が決定してから市レベルへの適用を行うなどの調整が必要と考えられる。また、県と県の間の交易を考慮した社会経済指標の推計を行うことが出来る。これについても作業の完了後にその成果を報告したい。

謝辞

本研究は、地球環境研究総合推進費 BC-088「統合評価モデルを用いた気候変動統合シナリオの作成及び気候変動政策分析」の支援を受けている。また、京都市環境政策局地球温暖化対策室にご協力を頂いた。ここに記し謝意を表する。

参考文献

- 1) 「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.
- 2) 「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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) Kok, M., W. Vermeulen, A. Faaji and D. Jager: Global Warming and Social Innovation: The Challenge of a Climate-Neutral Society, Earthscan, London, 2003.
- 7) Robinson, J., B.: Futures under glass A respite for people who hate to predict, *Futures*, pp820-842, 1990.
- 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) 五味馨, 越智雄輝, 松岡謙: 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, 環境システム研究, Vol. 37, pp. 435-446, 2009.
- 12) 滋賀県持続可能社会研究会, 持続可能社会の実現に向けた滋賀シナリオ, 2007.
- 13) 滋賀県持続可能社会研究会, 2030 年 持続可能な滋賀へのロードマップ, 2009.
- 14) 京都市持続可能社会研究会, 低炭素都市への京都ロードマップ, 2009.
- 15) Research Team of Sustainable Society Kyoto, A Roadmap towards Low Carbon Kyoto, 2010. (Available online at: http://2050.nies.go.jp/2009_CD/)
- 16) Ho, C. S., A. Spian, M. Z. S. Hussein, Y. Matsuoka, G. Kurata, T. Fujiwara, K. Shimada, K. Gomi, K. Yoshimoto, J. J. Simson: Low Carbon City 2025 Sustainable Iskandar Malaysia, 2009. (Available online at: http://2050.nies.go.jp/2009_CD/)
- 17) Simson, J. J., 吉本皓亮, 五味馨, 松岡謙: A Sustainable Low Carbon Development in Iskandar Malaysia, 環境衛生工学研究, Vol. 23 No.3, pp.88-91, 2009
- 18) Kei Gomi, Yuki Ochi, Yuzuru Matsuoka, A concrete roadmap towards a low-carbon society in case of Kyoto city, *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, Printing.
- 19) 木下栄蔵, 大屋隆生: 戦略的意思決定手法 AHP, 朝倉書店, 2007.
- 20) 福田 亮, 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, 京都大学特別研究, 2010.
- 21) 京都市, 京都市環境モデル都市行動計画, 2009.
- 22) 京都市, 2030 年の京都市の社会像, 2007.

A STUDY ON SYSTEMATIC METHODOLOGY TO DEVELOP LOW-CARBON SOCIETY SCENARIOS BASED ON BACKCASTING APPROACH

Yuki OCHI, Kei GOMI, Takashi FUKUDA, Koji SHIMADA and Yuzuru MATSUOKA

In order to achieve a low-carbon society (LCS) in a municipality, a long term goal and a concrete plan, a LCS scenario, is required. In this study, a systematic method to develop LCS scenarios is proposed by integrating methods and tools which have been developed in preceeding studies. The method consists of four steps: (1) target setting and information collections, (2) screening of LCS measures, (3) development of LCS visions, and (4) development of LCS roadmaps. Following tools were newly developed: "Assumptions template" to quantify qualitative future descriptions, "AHP tool" for integrated assessment of LCS measures, "Measures' data sheet", a format which contains information of each measure in each step and offer a background information for actual policy documents. In addition, bodies who should participate in each step are also mentioned. We consider the methodology to develop LCS scenarios is almost ready for use. An application example in case of Kyoto city is also shown in this paper.