

### S - 3 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

#### 1. 温暖化対策評価のための長期シナリオ研究

##### (1) 中長期温暖化対策シナリオの構築に関する研究

##### 中長期温暖化対策モデルの構築に関する研究

独立行政法人国立環境研究所

社会環境システム研究領域 統合評価モデル研究室

甲斐沼美紀子・増井利彦

藤野純一・花岡達也

京都大学大学院 地球環境学

松岡 譲・河瀬玲奈

立命館大学 経済学部

島田幸司

< 研究協力者 > 独立行政法人国立環境研究所

西岡秀三

〔要旨〕日本2050年脱温暖化社会に向けたシナリオ構築に資する研究を行った。

(1) 気候安定化に向けて、産業革命以前からの温度上昇を2度以下に抑えるためには、2050年における世界全体の温室効果ガス排出量を1990年に比べて半減させる必要に迫られる可能性が高い。そこで、日本における温室効果ガス排出量を60～80%削減する脱温暖化社会シナリオを構築するため、最初に2050年の脱温暖化社会像を描き、そこから行うべき対策を見つけ出すバックキャストリングの手法に基づいた研究を進めた。

(2) 2050年脱温暖化社会像を決定するドライビング・フォースとして、人々の考え方の主たる潮流を想定した。多様な考え方がある中で、代表的な2つの叙述シナリオ(シナリオAとシナリオB)を構築し将来像をイメージした。2050年における主要な要因(人々の考え方、人口、国土・都市、生活・家庭、経済、産業)についてシナリオ間の差異を表現した。

(3) シナリオAに近い2050年社会経済像に対して二酸化炭素排出量を1990年に比べて70%削減することが可能かどうか検討した。すると、徹底した需要対策によって最終エネルギー需要を約35%削減できることが、さらに原子力や再生可能エネルギーなどの大幅導入を見込めば全体で70%削減も達成しうることがわかったが、実現可能性についてより詳細な検討を行う必要がある。

(4) シナリオの実現可能性を詳細に評価するため、人口・世帯動態モデル、家計生産・ライフスタイルモデル、マクロ経済モデル、一般均衡モデル、物質ストック・フローモデル、建築物動態モデル、交通需要推計モデル、エネルギー需給バランスモデル、エネルギー技術ボトムアップモデル、バックキャストリングモデルなど各種モデル群の開発を進めた。

(5) 日本脱温暖化研究の成果について各種シンポジウムにより国内外に広く知らせた。また、日英共同研究プログラム「低炭素社会の実現に向けた脱温暖化2050プロジェクト」を推進し、世界各国の低炭素社会作りにつながる活動を行うことになった。

〔キーワード〕脱温暖化、2050年、バックキャストリング、叙述シナリオ、数値モデル

## 1．はじめに

温暖化による深刻な影響を避けるため、大気の温度上昇を産業革命以前から比べて2度以下に抑えることを目標にした場合、2050年の世界全体の温室効果ガス排出量を1990年レベルから約50%削減する必要に迫られる可能性がある。先進国である日本はそれ以上、たとえば60から80%削減を求められたとき、温室効果ガスをほとんど出さない脱温暖化社会像を描く必要がある。

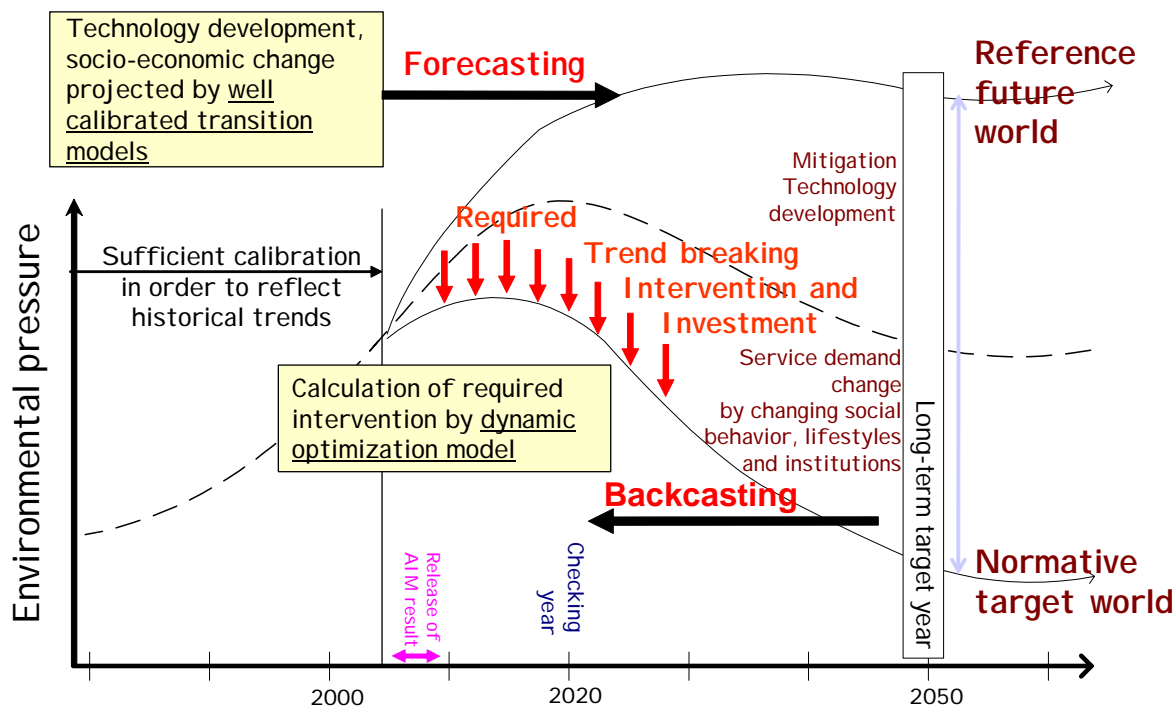


図1 バックカスティングによる脱温暖化2050シナリオの構築

## 2．研究目的

昨年度の検討では、2020年の削減可能量について各種モデルを用いて分析したが、今までの対策の延長だと15%程度しか削減できないことがわかった。また、既存の日本中長期温室効果ガス排出量シナリオを茅恒等式で要因分析し、そこで想定されているエネルギー集約度（エネルギー投入 / GDP）の改善率および炭素集約度（二酸化炭素排出量 / エネルギー投入）の改善率を2050年まで継続させてもせいぜい1990年比の40%近くまでしか削減できないことがわかった<sup>1)</sup>。既存の排出量シナリオは、現在考えられている対策を2030年ぐらいまでの将来まで延長するフォアキャスト的な手法で作成されていたが、60から80%削減といった大幅な削減を目指すためには、2050年脱温暖化社会をまず描き、実現に必要な対策を組み合わせしていくバックキャスト的なシナリオアプローチが必要になる。

今年度は図1の考え方に基づいて、脱温暖化した2050年の望ましい社会経済像（Normative target world）を叙述的に記述し（叙述シナリオ）、各種定量化シミュレーションモデルを用いてシナリオの整合性を分析する枠組みを開発した。

## 3．研究方法・結果

### （1）大幅な温室効果ガス削減の道筋を実現する手法の検討

2050年の温室効果ガス排出量を1990年比の60から80%削減した脱温暖化社会を定性的かつ定量的に表現しようとする、図2のように、将来社会や脱温暖化対策を定性的に表現した叙述的なシナリオ、2050年などある一時点のフローのやりとりを表現するスナップショットモデル、現時点から2050年までのフローとストックの経過を表現するトランジションモデルの3つの要素に分けてアプローチする方法が考えられる。

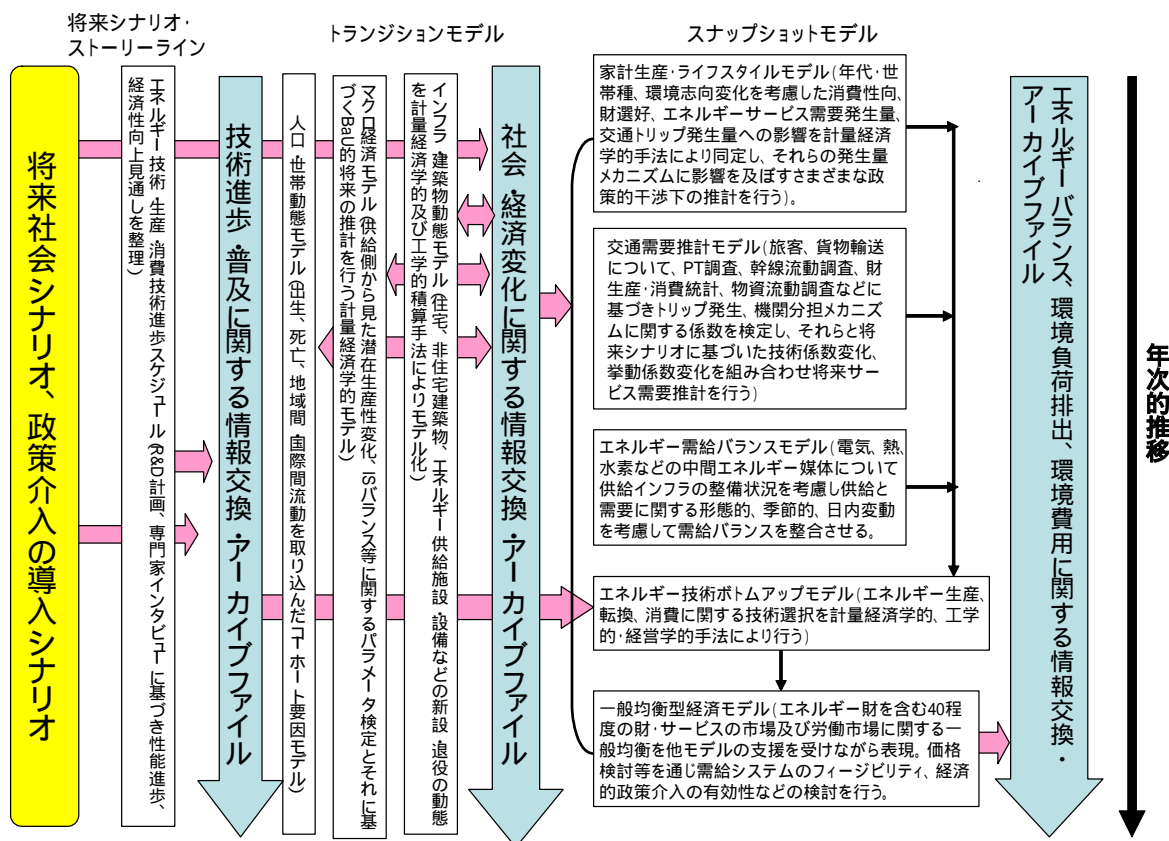


図2 脱温暖化した2050年の将来像を示すためのシナリオと定量化モデルの関係

## (2) 日本2050年脱温暖化社会の定性的な記述

バックカスティングでは、まずゴールとなる2050年の脱温暖化社会像を描くことが必要だが、人々が好む社会像は多種多様である。ここでは、社会像を決定するドライビング・フォースを、人々の考え方の主たる潮流と想定し、表1のような二つのシナリオを作成した。シナリオAは、現状のスタイルが継続されながら技術革新が起こるイメージ、シナリオBは、現在一部で見られているコミュニティのつながりを重視するスローな豊かさを求める傾向が強まりながらそれに適したイノベーションが起こるイメージである。このとき、2050年における主要な要因（人々の考え方、人口、国土・都市、生活・家庭、経済、産業）についてどのような差異が起こりうるかシナリオ毎に想定し、幅をもった表現を試みた（表2）。都市、旅客交通、産業については別途詳細な叙述シナリオを作成し、他のサブテーマの研究者とその妥当性について一緒に検討している。

そして、設定した叙述シナリオに基づいた定量的な入力条件を想定し、数値シミュレーションモデルを用いた整合的な試算を試みた。

表1 叙述シナリオのドライビング・フォース「人々の考え方の主たる潮流」の想定

シナリオA	
企業や政府などの積極的な技術開発投資を背景に技術進歩率は高く、また社会全体として経済活動は活発であり、一人あたり年間経済成長率2%/人・年を維持している。	
これらの高い経済成長率を支える要素としては、技術進歩に加えて個人レベルでの活発な消費と高い労働意欲が挙げられる。就業に関しては老若男女や国籍の区別がほとんどなく、個人の能力、特性、専門性に応じた雇用が標準となり、機会の平等が実現している。	
これまで女性が担ってきた家事は大部分が外部化・機械化されており、仕事以外の空いた時間は自分のキャリアアップのために活用するなど人々は「自分の夢」のために費やす時間が多い。また、消費に関しては新しい技術や製品・サービスを積極的に受け入れるため、消費は旺盛であり買い替えのサイクルも比較的短い。一世帯の構成人数は減少し、家族よりも個が重視され、若者や高齢者の一人暮らしが増加する。地方より都心部、戸建て住宅よりも集合住宅に居住する人口が増加し、利便性の高い生活を好む風潮が強い。	
シナリオB	
一人あたり年間経済成長率は1%/人・年であるが、ボランティア活動など経済として現れない活動も活発に行われるため、必要なサービスは充分享受できる。	
地方においても十分な医療サービスや教育を受けることが可能になるなど、不便のない生活が可能になっていくため、自らのライフスタイルに合った特色のある地域(地方等)に移り住んでいく人が増加し、結果的に都心から地方への人口・資本の分散が進む。	
また、農村などで庭付き一戸建てを持つ人が増加するなど、戸建て住宅に居住する人が増加し、一世帯あたりの構成人数と床面積が増加する。	
ワークスタイルとしては、夫が外で働き、妻が家庭内で家事をするという従来の標準的なスタイルから、各家庭のライフプランにあわせて二人でバランスをとりながら収入を確保するスタイルが普及・定着している。家事については家族内で分担されたり、地域内のボランティアやNGOなどがそれぞれの地域で提供している無償のサービスなどを活用したりするケースが多く見られる。一方で家族と過ごす時間が増加し、余暇時間には趣味やスポーツ、習い事などのほかに、ボランティア活動や農作業、地域活動に従事する人が増加する。ひとつの地域の中にも多様な個性が存在するが、その分他者を尊重し、共に強みを出し合って協力し合う知恵を持って生活している。	

表2 シナリオを構成する主要因とその想定

キーワード	シナリオA	シナリオB
人々の考え方		
人生目標	・社会的「成功」	・社会的「貢献」
居住地	・都市居住志向	・地方居住志向
家族	・独立志向	・共生志向
先進技術	・積極的受け入れ	・受け入れに慎重
人口		
出生率	・低下	・やや回復
外国人	・積極的受け入れ	・現状程度
出国者	・増加	・現状程度
国土・都市		
人口移動	・三大都市圏へ集中	・地方へ分散
都市部	・中心部へ人口集中 ・土地の高度利用進展	・郊外居住者の大幅減少 ・最低限の機能のみ保持

地方	・人口大幅減少 ・土地資源利用ビジネスの進展	・人口減少抑制 ・NGO、市民などによるまちづくり
生活・家庭		
労働	・プロフェッショナルの増加 ・高所得・長時間労働者の増加	・ワークシェアリングの普及 ・労働時間の短縮・均等化・残業の削減
家事	・外部化・機械化進展	・家族・地域内で協力、助け合い
自由時間	・仕事 ・キャリアアップ ・スキルアップ	・家族との時間 ・趣味 ・ボランティア活動
住宅	・集合住宅比率増加	・戸建て住宅比率増加
消費	・買い替えサイクル短い	・買い替えのサイクル長い
経済		
成長率	・一人あたりGDP成長率2%	・一人あたりGDP成長率1%
技術進歩	・高い	・シナリオAほど高くない
産業		
市場	・規制緩和進展	・適度の規制された市場ルール浸透
第一次産業	・シェア低減 ・輸入依存率の増加	・シェア回復 ・農林業復興
第二次産業	・高付加価値化進展 ・生産拠点の海外移転	・シェア低減 ・地域ブランドによる多品種少量生産
第三次産業	・シェア増加 ・生産性向上	・シェアやや増加 ・ボランティアなどが普及

### (3) 2050年CO2排出量70%削減シナリオの試算

主にシナリオAに基づいた社会経済像に対して、2050年時点におけるCO2排出量70%削減(1990年比)が可能かどうか、以下の手順に従って試算した。

#### 最終エネルギー需要量の推計

まず、エネルギー需要サービス量を推計した。2050年の人口として国立社会保障・人口問題研究所(以下、人口研)の中位予測<sup>2)</sup>1億59万4千人、1人あたり経済成長率を年率2%と想定した。民生(家庭・業務)、運輸サービス量は2020年まで過去のトレンドで変化しそれ以降人口等の変化に応じて増減すると想定した。産業別のサービス量は叙述シナリオで示される傾向と過去の生産額の変化をRAS法で分析した傾向を組み合わせながら、設定した経済成長が確保されるように試算した。2050年の最終エネルギー需要量に対して、各種文献調査により得られた様々な需要側対策を徹底したケースを試算した。例えば、家庭部門においては図2に示した高効率ヒートポンプ、LED照明、高断熱住宅普及、HEMSなどの徹底的な普及で、2050年の需要量を57%削減しうることがわかった(図3)。なお、脱温暖化対策を想定しないケースでも、人口・世帯数が減少に向かうこと、多少の技術改善が行われることを想定したため、2000年の需要量と殆ど変わらない結果になった。その他、業務部門対策、運輸部門対策、産業部門対策を想定し、2050年の最終エネルギー需要量を推計すると約210Mtoeとなり1990年の需要量323Mtoeの約35%削減にあたる。



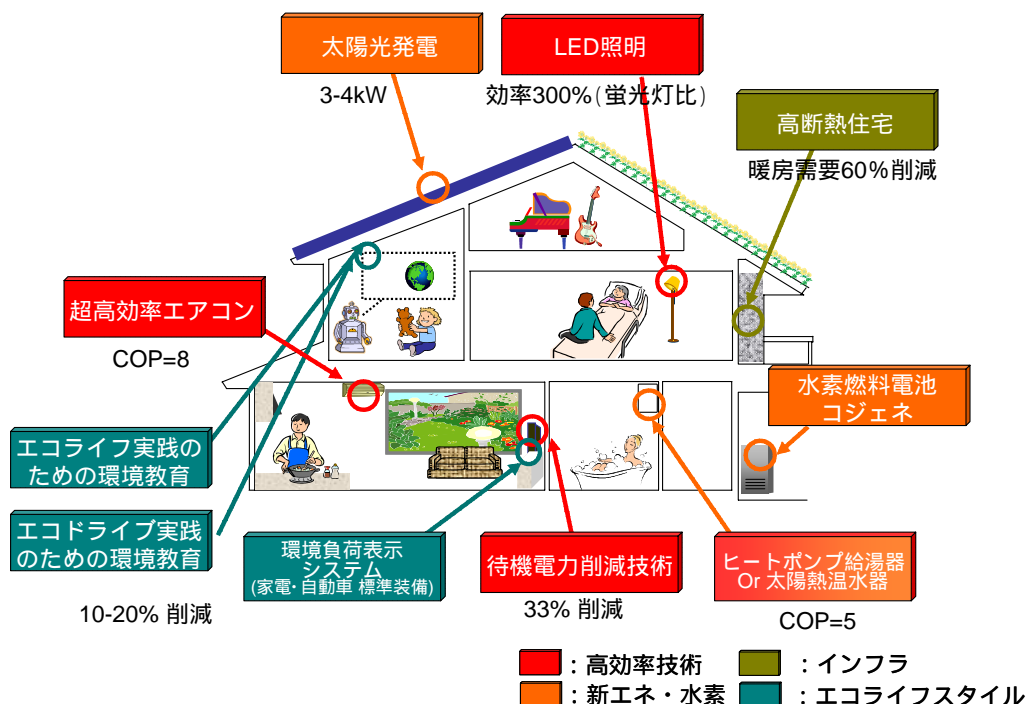


図2 2050年家庭部門における対策の例

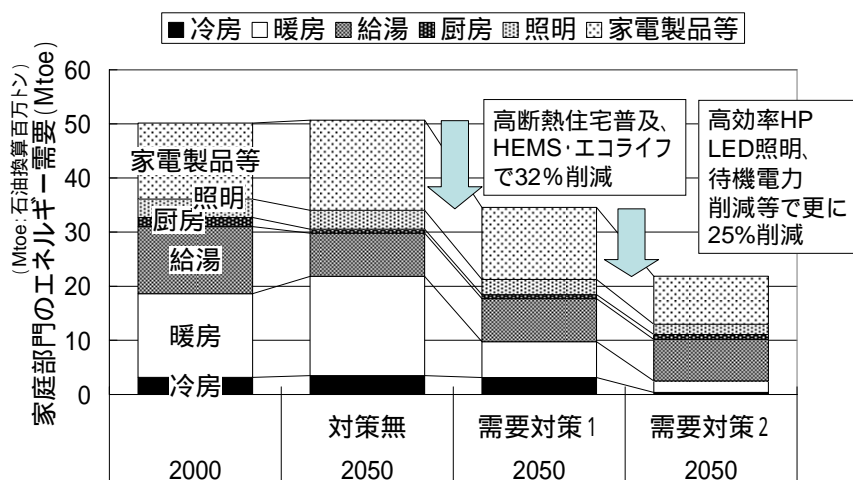


図3 家庭部門におけるエネルギー需要削減の可能性について

#### 供給側対策の想定

求めた最終エネルギー需要を満たすため、ケース1：天然ガス・原子力・炭素隔離中心、ケース2：水素・バイオマス中心、ケース3：バイオマス・新エネ中心（水素なし）の3つのケースを想定した。どのケースでも化石燃料が利用されている（図4）のは、産業用エネルギー需要での非化石燃料への代替が完全には進まないと想定しているためである。ケース1および2では水素技術が進展し、運輸および民生需要に対し約30Mtoe供給すると想定した。

ケース1では、天然ガス改質水素を製造する際に発生する二酸化炭素を炭素隔離貯留で処分する。また総発電量の50%を原子力で賄うため、新エネルギーの導入量は少ないが、夜間電力の有効

利用（例えば、電気自動車のバッテリー充電等）について考慮する必要がある。ケース2では、水素をバイオマスおよび風力から供給すると想定した。また、電力の多くをバイオマスおよび太陽光・風力で供給すると想定している。出力が不安定な太陽光・風力と系統電力および水素の組み合わせについて考慮する必要がある。ケース3では、水素技術が発達せず、交通需要の大部分はバイオ液体燃料+ハイブリッド自動車で満たされると想定したため、ケース2以上にバイオマスの供給が必要となり、どのようにしてバイオマスを確保するかが課題になる。需要供給両面の徹底的な対策を行うことで2050年の二酸化炭素排出量を1990年から70%削減も達成しうることがわかったが、その実現可能性についてより詳細な検討を行う必要がある。

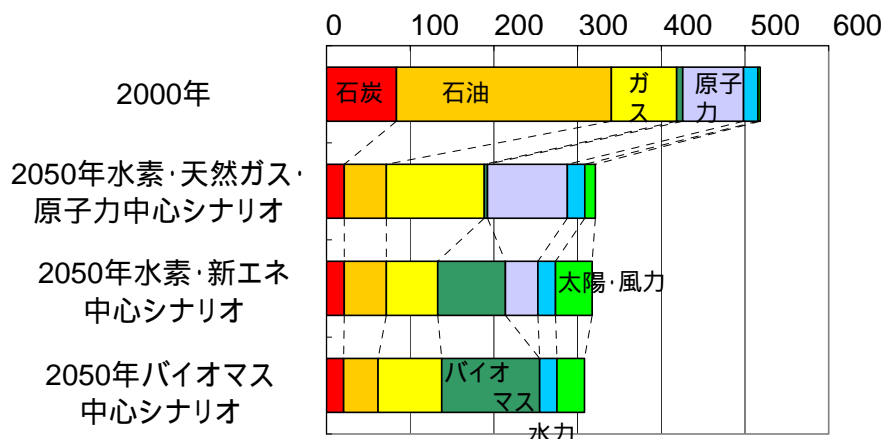


図4 2050年におけるエネルギー供給シナリオの検討

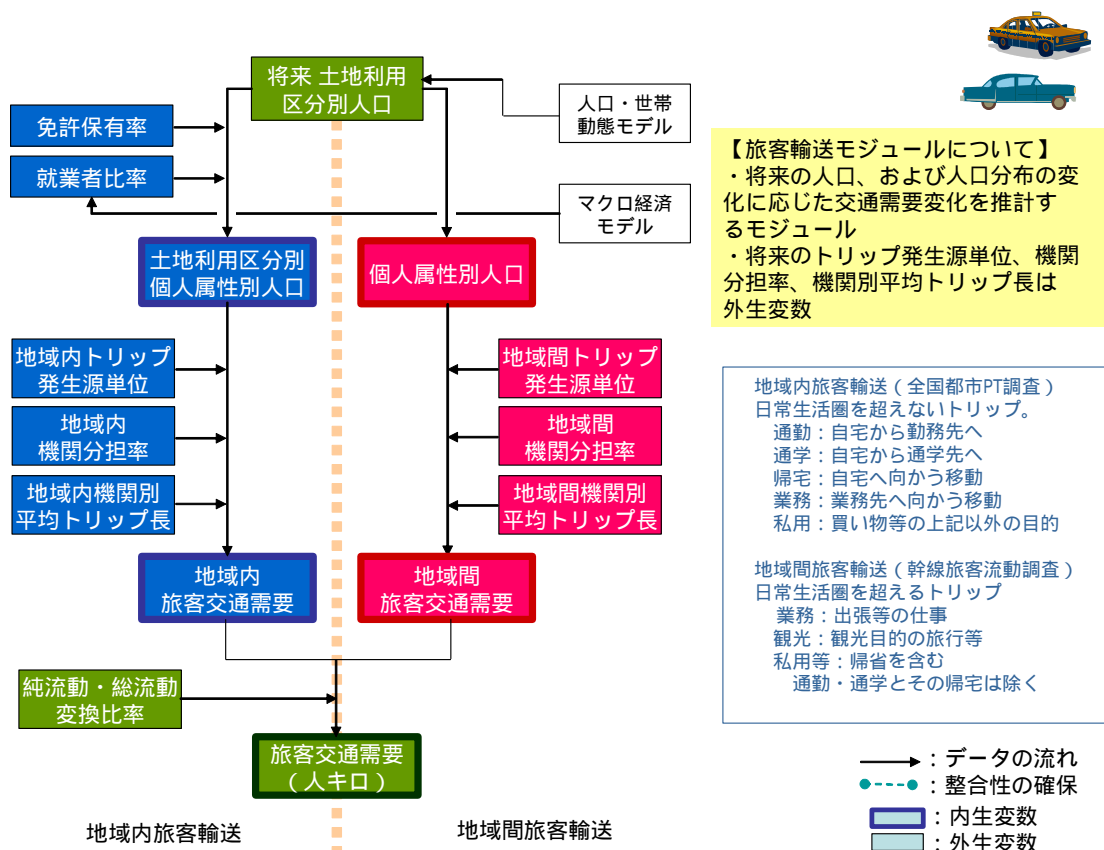


図5 旅客交通需要推計モデルの構造

#### (4) 2050年脱温暖化社会の定量的な記述に必要なモデル群の構築

脱温暖化シナリオの実現可能性を検討するためには、財のバランス、エネルギーのバランス、時間のバランスなどの各種整合性を定量的に評価する必要がある。そこで、図2に示したような、将来想定されうる社会経済像を様々な視点から分析する各種モデル群(人口・世帯動態モデル、家計生産・ライフスタイルモデル、マクロ経済モデル、一般均衡モデル、物質ストック・フローモデル、建築物動態モデル、旅客・貨物交通需要推計モデル、エネルギー需給バランスモデル、エネルギー技術ボトムアップモデル、バックカスティングモデルなど)の開発を進めている。

たとえば、旅客交通需要推計モデルは、人口分布や都市構造、ライフスタイル、社会背景の変化などを含めた分析を行う必要がある。そのため、国土交通省の交通需要予測モデルを参考に、図5のように目的別交通需要の発生率や機関分担率、平均トリップ距離などのパラメータを外生的に与えて交通需要が推計できるフレームワークを構築し、図6のような推計を行った。

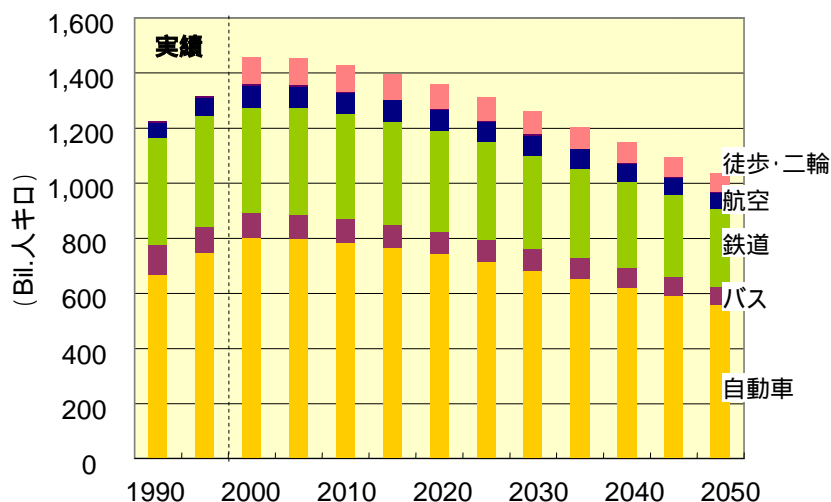


図6 旅客交通需要推計の例

#### (5) 2050年脱温暖化研究の協力に向けた各種活動

温暖化問題の解決には、日本だけでなく、世界全体で脱温暖化シナリオを描く必要がある。そこで、COP11 and COP/MOP1のサイドイベント "Global Challenges Toward Low-Carbon Economy-Focus on Country-Specific Scenario Analysis-" を2005年12月3日、Montrealで主催した。米国、カナダ、英国、フランス、ドイツ、日本、中国、インドにおける2050年までの排出量シナリオについて各国の研究者が発表を行い、脱温暖化シナリオの必要性について議論した(図7)。

2006年2月16日には、シンポジウム「脱温暖化社会に向けた挑戦 - 京都議定書発効から1年 - 」を開催し、その場で環境省および英国環境食料地方開発省が共同して「低炭素社会の実現に向けた脱温暖化2050プロジェクト」を推進することを発表した。世界各国の同様の研究を集大成する国際ワークショップを2006年及び2007年に開催するもので、日本脱温暖化研究がその中核を担うことになった。

また、地方に目を向けると、地域の特徴を活かした滋賀県シナリオの構築を進めた。



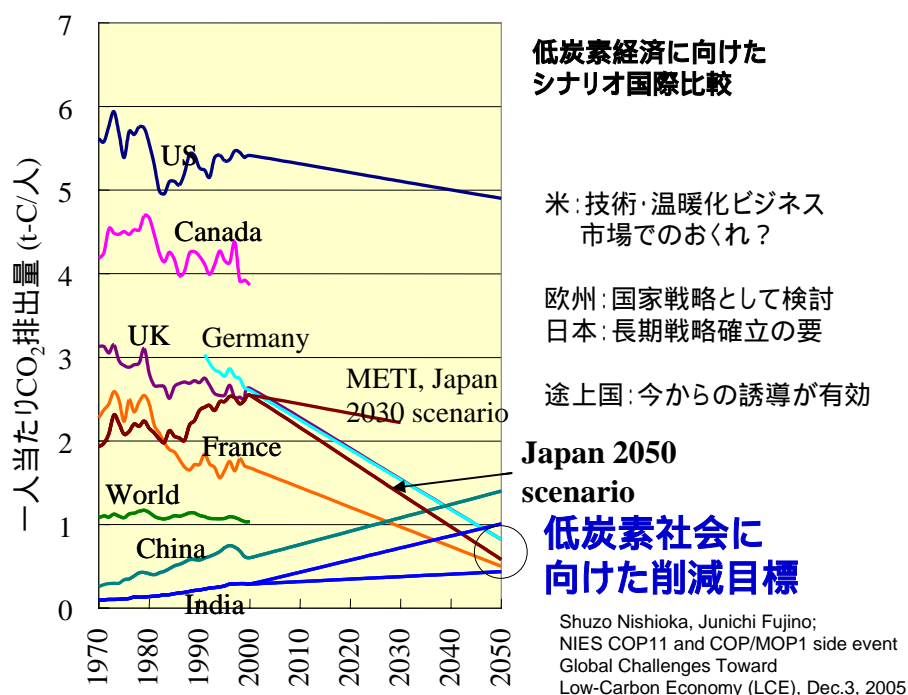


図7 サイドイベントで報告された国別一人当たり二酸化炭素排出量の現状と予測

#### 4. 考察

本年度は、バックカスティングの手法に基づき、脱温暖化2050年社会像の叙述シナリオ開発、脱温暖化対策の洗い出し、モデルフレームワークの構築などを着実に進めた。来年度は3年計画の最終年にあたり、脱温暖化社会に向けた具体的な対策ロードマップの提示が求められる。そのため、開発したモデル群を用いた叙述シナリオの定量化、整合性のチェックを進める必要がある。また、脱温暖化研究を現実のものにするため、研究成果を国内・国外に広く知らせるだけでなく、研究の枠組みに汎用性をもたせ、中国やインド、タイなどのアジア諸国やその他の国や地域に適用し、持続可能な発展につながる脱温暖化への道筋を検討することも重要である。

#### 5. 本研究により得られた成果

- ・バックカスティングの手法に基づいた研究の枠組みを提示した。
- ・2050年脱温暖化社会像に関する2つの叙述シナリオを構築し、わかりやすいイメージを与えた。
- ・徹底的な対策を行うことで2050年に二酸化炭素を70%削減する試算を示した。
- ・社会経済像を様々な角度から分析する各種モデル群の開発を進めた。
- ・日本脱温暖化研究の成果を日本だけでなく世界にも紹介し、広く連携を呼びかけた。
- ・滋賀県シナリオを構築し、地域発のビジョンを示した。

#### 6. 引用文献

- 1) R.Kawase, Y.Matsuoka, J.Fujino: Energy Policy, 34,15,2113-2122(2006)  
"Decomposition analysis of CO2 emission in long-term climate stabilization scenarios"
- 2) 国立社会保障・人口問題研究所; 日本の将来推計人口(平成14年1月推計), (2002)

## 7. 国際共同研究等の状況

2006年2月16日環境省および英国環境食料地方開発省は「低炭素社会の実現に向けた脱温暖化2050プロジェクト」を推進することを発表し、日本脱温暖化研究がその中核を担うことになった。

## 8. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文(査読あり)>

山下隆久、村上正晃、松岡 譲：環境衛生工学研究，19,3,114-119(2005)

「わが国におけるエネルギー技術の革新に伴うCO<sub>2</sub>排出量削減効果の分析」

金森有子、松岡譲：環境システム研究論文集，33,285-294(2005)

「ライフスタイル分析のための家計・環境勘定の構築」

T.Masui, Y.Matsuoka, and M.Kainuma: Environmental Economics and Policy Studies, 7,3,347-366(2006)"Long-term CO2 emission reduction scenarios in Japan"

R.Kawase, Y.Matsuoka, J.Fujino:Energy Policy, 34,15,2113-2122(2006)

"Decomposition analysis of CO2 emission in long-term climate stabilization scenarios"

島田幸司、田中吉隆、五味馨、松岡譲：環境システム研究論文集：環境システム論文集，34, 143-154, 2006

「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」

#### <その他誌上発表(査読なし)>

松岡譲：国際経済，56,5-29(2005)「気候変動問題の統合評価モデリング」

松岡譲：環境研究,138,7-16(2005)「危険な気候変化のレベルと気候政策の長期目標」

河瀬玲奈、松岡譲：環境研究，138,77-83(2005)「欧州諸国の長期シナリオ策定における気候安定化目標に関する議論」

藤野純一：かんきょう，30,10, 42-43(2005)「脱温暖化2050研究 - 2050年日本温室効果ガス排出量大幅削減への道筋 - 」

西岡秀三：都道府県展望,564,4-8(2005)「進行する気候変化：脱温暖化社会に向けた今すぐの一步」

西岡秀三：資源環境対策,42,2,25-31 (2006)「低炭素社会に向けた日本の環境リーダーシップ」

藤野純一：産業と経済、2,21-24 (2006)、「脱温暖化社会の実現に向けて - 問われる日本の総合力 - 」

小池勲夫編：地球温暖化はどこまで解明されたか - 日本の科学者の貢献と今後の展望2006、丸善、209 - 215 (2006)「6.5 日本の脱温暖化シナリオ(執筆担当：藤野純一)」

### (2) 口頭発表(学会)

R. Kawase and Y. Matsuoka: Proceedings of the second seminar of JSPS-VCC Group7 in 2005, 85-93(2005) "A review of national long-term CO2 emission scenarios"

河瀬玲奈、松岡 譲、甲斐沼美紀子、花岡達也：環境システム研究論文発表会講演集，33,269-274(2005)「世界主要国の二酸化炭素排出量削減シナリオの解析」

藤野純一：第24回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集，69-72(2005)「温室効果ガス排出削減に資する水素供給の一考察」

藤野純一、増井利彦、河瀬玲奈、榎原友樹：第24回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集,107-110(2005)「2050年低炭素社会に向けたシナリオ開発研究(その1)」

河瀬玲奈、松岡 譲、藤野純一：第24回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, 53-56(2005)「気候安定化に向けた国別シナリオの要因分析」

R. Kawase, Y. Matsuoka, J. Fujino, M. Kainuma: International Energy Workshop 2005, PA3-1-1-4(2005)“Analysis of CO2 emissions in long-term national scenarios for climate stabilization”

J. Fujino, T. Masui, T. Ehara, Go Hibino, R. Kawase, Y. Matsuoka: International Energy Workshop 2005, PA3-1-1-5(2005) “ Scenario Development of Japan Low Carbon Society toward 2050:Research Framework and Current Results”

藤野純一、増井利彦、榎原友樹、日比野剛、疋田知士、第14回日本エネルギー学会講演要旨集, 366-367 (2005)「2050年脱温暖化に資するエネルギー供給システムの一考察」

藤野純一：環境経済・政策学会 2005年大会(2005)「2050年脱温暖社会構築に向けたシナリオアプローチに関する研究」

河瀬玲奈、松岡 譲：環境経済・政策学会 2005年大会(2005)「先進諸国における長期気候安定化計画の解析」

(3) 出願特許

特になし

(4) シンポジウム、セミナーの開催(主催のもの)

温暖化研究最前線：気候変動と温暖化対策研究への日本の取組(2005年11月11日、三田共用会議所、観客300名)

COP11 and COP/MOP side event Global Challenges Toward Low-Carbon Economy - Focus on Country - Specific Scenario Analysis-(2005年12月3日、Montreal、観客100名)

脱温暖化社会に向けた挑戦 - 京都議定書発効から1年 - (2006年2月16日、青山スパイラル、観客350名)

(5) マスコミ等への公表・報道等

仏Le Monde誌(2005年5月26日、DEVELOPPEMENT DURABLE, XI) “Le scenario pour 2050: changer !”

NHK9時のニュース(2006年2月16日、「脱温暖化社会に向けた挑戦 - 京都議定書発効から1年 - 」の様子を紹介)

毎日新聞(2006年2月17日、2面)「温室効果ガス半減へ 日英 が共同研究」他、朝日、日経NHKBSハイビジョン(2006年3月21日)「気候大異変 第2回 環境の崩壊がとまらない」

NHK教育(2006年4月15日)「サイエンスゼロ 地球温暖化 環境の崩壊を回避せよ」

NHK教育(2006年4月29日)「土曜フォーラム 脱温暖化社会に向けた挑戦～京都 議定書発効から1年～」

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

第30回総合エネルギー対策推進閣僚会議(2005年6月17日)で小池百合子環境大臣が総理らを前に「2050年脱温暖化シナリオの検討(2050年脱温暖化プロジェクト研究より)」を発表した他、国会での答弁で何度か取り上げられる。総合科学技術会議など各所に情報を入力した。