

低炭素社会を目指した都道府県別 CO₂排出量の将来推計モデルの開発

大西 暁生¹・奥岡 桂次郎²・高島 健志³・石 峰⁴・森杉 雅史⁵

¹正会員 富山県立大学講師 工学部環境工学科 (〒939-0398富山県射水市黒河5180)

E-mail: akio123@pu-toyama.ac.jp

²学生会員 名古屋大学JSPS特別研究員DC-1 大学院環境学研究科 (〒464-8601 愛知県名古屋市中種区不老町)

³非会員 株式会社NTTファシリティーズ 建築事業本部 (〒108-0023 東京都港区芝浦3-4-1 グランパークタワー)

⁴正会員 名古屋大学研究員 大学院環境学研究科 (〒464-8601 愛知県名古屋市中種区不老町)

⁵正会員 名城大学准教授 都市情報学部 (〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3)

現在、地球温暖化防止に向け、低炭素社会への移行が急がれている。また、福島原発事故に伴い日本のエネルギー政策や低炭素政策は大きな転換点を迎えており、自然エネルギーに対する期待が高まりつつある。こうした新エネルギーの導入の可能性や逆都市化時代に対応した都市構造のあり方、さらには人口減少や女性の社会進出といった影響を考慮しながら低炭素社会の実現を目指していく必要がある。

本研究では、異なった社会像を反映した複数のシナリオ（現状維持型、都市集約型、地方分散型）を設定することによって、2000年から2050年までの都道府県別CO₂排出量を推計するモデルを開発した。このモデルは、人口とGDPを基本的な駆動力とし、各需要部門、すなわち民生（家庭と業務）部門、運輸（県内・県間のそれぞれ旅客と貨物）部門、産業（製造業素材系、製造業非素材系、非製造業）部門の活動量と、そのCO₂排出量を推計できる。さらには、シナリオを簡単に設定し、瞬時に結果が見られるような対話型のモデルとして開発している。

Key Words : *Low-carbon society, Prefecture, CO₂ emission, Future estimation model*

1. はじめに

地球温暖化問題に警鐘が鳴らされてすでに久しい。近年では、低炭素社会が浸透し始め、温暖化防止に向け徐々に歩みつつある。

昨今、東北地方太平洋沖地震による福島原発事故が起これ、日本のエネルギー政策及び低炭素政策は大きな転換点にある。さらに、人口減少社会、高齢化社会、逆都市化時代といった社会的な転換点も同時に迎えており、新たな時代の到来がはじまっている。とりわけ、震災以来高まっている、太陽光発電や風力発電といった自然エネルギーへの期待を切欠に、新エネルギーの導入可能性とその効果をより具体的に検討していくことが重要となる。そして願わくは、各地域において、中長期的な目標を確立し、実現可能なロードマップを具体的に且つ早急に進めていくことが急務となる。

低炭素社会を実現するには、温室効果ガスの削減目標やその具体的な対策の効果を知る必要があり、とりわけ温室効果ガスの排出実態を把握することは重要である。都道府県レベルでは、「地球温暖化対策地域推進計画」

において各地域の温室効果ガスの排出量が推計され公表されている¹⁾。ただし、「地球温暖化対策地域推進計画策定ガイドライン²⁾」に基づいて排出量を推計しているものの、都道府県によっては、その推計方法や用いた統計資料が異なることから、その統一した推計方法が確立されているとは言い難い¹⁾。そのため、その得られた結果の妥当性や都道府県間での比較も困難なのが実情である。

低炭素社会の実現を目指すため、これに関連した書籍や研究論文がすでに多く発表されている。その一例として、例えば大西・小林³⁾は都市に着目し、逆都市化時代に対応した都市政策や環境政策のあり方、とりわけ低炭素化に向けたまちづくりについて、現在日本が直面している大きな課題についてまとめている。村上ら⁴⁾は21世紀を低炭素社会が実現される「環境共生の世紀」にするため、省エネルギー（以下、省エネとのみ略する）・省CO₂排出を目指した社会全体のエネルギー・資源学⁵⁾は低炭素社会を実現するために必要であると考えられる様々な側面、すなわち鉱物資源をめぐる状況、

再生可能エネルギーの利用ポテンシャル、エネルギーの変換や貯蔵技術、交通物流、建築物、スマートエネルギーネットワークなどの社会システムの状況と今後のあり方を示している。また上記の書籍以外にも西岡⁹⁾はCO₂排出量を70%削減させるためのシナリオを科学的に検証し、藤野⁷⁾は低炭素社会に向けた12の方策を示すことによって将来像・ビジョンを共有・理解し、それを実現するための個々の役割について示している。このように、国内外で行われた様々な研究プロジェクトを総括し、また多数の有識者が各々の専門分野から低炭素社会の実現に向けた取り組みを紹介している。また、研究論文では、例えば長谷川¹⁾はRAS法を用いて「未知部門」を推計することで都道府県別のCO₂排出量を推計している。伊香賀⁸⁾は住宅及び事務所ビルからのCO₂排出量の削減可能性を様々な省エネ対策のもとで2050年までの予測を行っている。また、島津²⁾は旅客交通を対象に、都市構造とCO₂排出量の関係を把握している。さらに、岡崎・細井¹⁰⁾は市町村で入手可能な既存の統計データを用いて、自動車からのCO₂排出構造を明らかにし、それに基づいて合理的なCO₂排出の抑制方策の検討を試みた。松橋¹¹⁾は、市町村別に運輸部門のCO₂排出量の手法について検討した。また、環境自治体会議¹²⁾においては、「環境自治体白書」を発行しており、この中で市町村別の温室効果ガス排出量の推計手法とデータが示されている。

このように、各自治体において温室効果ガスの削減目標の設定や温室効果ガスの排出実態の把握が進められ、研究分野においても低炭素社会の実現を進めるための書籍や研究論文は多数存在するものの、統一的な推計方法の確立や細分化された専門分野を束ねる共通の推計ツールの作成、さらには同一の社会経済基盤のもとで描かれた社会像のもとに、すべての需要部門（民生部門、運輸部門、産業部門）を統一し評価できるツールは少ない。とりわけ、都道府県レベルにおける中長期的なCO₂排出量の推移と、各種部門の対策を同時に扱える推計モデルはほぼ存在しない。

そのため本研究では、低炭素社会を実現するためのロードマップ作りに貢献するため、需要部門（民生部門、運輸部門、産業部門）ごとの活動量、エネルギー消費原単位、CO₂排出係数などのデータを整理するとともに、異なった社会像を反映した複数のシナリオを設定することによって、2000年から2050年までの都道府県別CO₂排出量を推計するモデルの開発を試みる。具体的には、エネルギー供給部門では従来のエネルギー（灯油、石炭、電気、ガスなど）に加え、自然エネルギーの中の太陽光発電の導入とその供給能力などについて分析を行う。さらに、需要部門では、民生（家庭と業務）部門、運輸（旅客と貨物）部門、産業（製造業素材系、製造業非素材系、非製造業）部門の活動量と、そのエネルギー消費

原単位などの検討を行う。とりわけ、2050年までを考えた場合、民生部門、運輸部門、産業部門における各種対策の普及と技術進歩を十分に考慮する必要がある。さらに、どのような社会を目指すのかによって、需要部門の活動量が変化する。とりわけ、都市計画分野における都市構造の集約化も検討する。このように、都道府県別に巨視的且つ中長期的なビジョンを持って分析することによって、低炭素社会の実現に向けたビジョンを描ける将来推計モデルを開発する。これによって、今後の環境政策や都市政策に貢献することが本研究の目的である。

2. 将来推計モデルの開発

本研究では、都道府県を対象に2000年から2050年までのCO₂排出量を推計する。推計間隔については、人口コーホート要因法を用いるため5年とする。将来推計モデルは、人口動態及び県内総生産を基本的な駆動力とし、各分野の活動量を推計し、これにエネルギー消費原単位とCO₂排出係数を乗じることで、CO₂排出量に換算していく。この場合、将来の異なる社会像を描くため、BAU（Business As Usual）を基本とした「現状維持型」に加え、異なる社会像を表わす2種類のシナリオ、すなわち「都市集約型」と「地方分散型」を設定し、このシナリオ下におけるCO₂排出量をそれぞれ推計する。

(1) 人口・世帯の推計

人口の推計は、平成12年の国勢調査¹³⁾の都道府県別・男女5歳階級別人口を用い、コーホート要因法によって2050年までの人口を推計する。ここで、コーホート要因法を用いて人口を推計するには、合成特殊出生率（以下、出生率とのみ略する）、死亡率（もしくは生存率）、男女出生比、男女別5歳階級別純移動率の情報が必要である。「現状維持型」の出生率については、平成13年度人口動態統計特殊報告¹⁴⁾の出産可能年齢別の出生率をもとに推計し用いた。他の2つのシナリオについては、過去のデータなどから、出生率の増減を勘案し、他年の値を用いて推計する。死亡率については、第20回生命表¹⁵⁾を用いる。男女出生比については、平成18年10月～19年9月の都道府県、男女別出生児数及び死亡者数¹⁶⁾から推計し用いる。男女別5歳階級別純移動率については、平成12年国勢調査と平成17年国勢調査¹⁷⁾及び第20回生命表から人口の自然増数と社会増加数を求め、その差分から推計している。次に、推計した人口をもとに、世帯主率法を用いて世帯の数を推計する。世帯主率法とは、5歳階級別の人口及び5歳階級別の世帯主の数をもとに推計する手法のことである。ここでは、「現状維持型」には平成12年国勢調査から得られた男女5歳階級別

の人口と世帯の数をを用いて世帯主率を推計し、これを当該年の人口に乗ずることによって世帯の数を求める。他の2つのシナリオについては、次章で詳しく説明するが、女性の社会進出などを考慮し、この女性の有業率の向上を反映した世帯主率を設定し用いる。

(2) 県内総生産の推計

県内総生産は、県民経済計算¹⁸⁾の2000年の値(実質：平成12年連鎖価格)を用い、その将来の成長率は設定するシナリオごとに変えた。産業(第1次、第2次、第3次の産業)ごとの総生産並びにその割合も同様の出所の統計を用いている。一人あたり県内総生産は、県内総生産を前節で推計した都道府県別の人口で除したものである。

(3) 産業構造の推計

産業構造の変化は、例えば産業部門全般、民生部門とりわけ業務部門、運輸部門の貨物部門に大きな影響を与え、この構造の推移によってはCO₂排出量も大きく異なってくる。ここでは、産業構造を各産業の比率によって表わし、国際協力銀行¹⁹⁾や大西ら²⁰⁾などの研究を参考に、ロジスティック関数によって得られた推定式を、各都道府県に適用する。使用したデータは、1990年から2007年の日本全体の値¹⁸⁾である。推計の結果から、第1次と第3次の産業については第2次産業より相関が良かったため、第1次と第3次の産業の比率をはじめに求めてから、その後全体から差し引くことで第2次産業の比率を求める。第1次産業の相関係数は0.84であり、第3次産業のそれは0.73であった。産業比率は、シナリオごとに設定・推計する人口と県内総生産の変化に従い、それぞれ期間ごとに異なった値が算出される。

(4) 民生部門の推計

民生部門は、家庭部門と業務部門に分けられる。

家庭部門CO₂排出量を推計するには、まず、住宅を建て方別(戸建・集合)、構造別(木造・非木造)の計4種類に分類し、且つ、この4種類の住宅がどの程度の規模の延床面積を有しているのかを知る必要がある。ここで構造に関しては、CO₂排出量には直接関係しないが、延床面積の規模には影響することから、あえて4種類に分類している。まず、住宅の建て方によって一世帯あたり延床面積及び構造に違いが生じるため、住宅の建て方別の世帯割合を推定し、前節で算出された世帯数を乗じることによって建て方別の世帯数を推計した。ここでは、戸建住宅の世帯割合の推定に際し、被説明変数に平成12年の国勢調査から推計した戸建住宅世帯の割合を、説明変数に住宅の建て方に影響を与える各要因、すなわち3次産業比率と人口密度(人口/建物用地面積²¹⁾)を設定し重回帰分析によって求める。長屋建住宅は、居住形

態を考慮し戸建住宅に含めている。集合住宅世帯割合については、全割合から推定した戸建住宅世帯割合を差し引くことによって求めた。これら推計した戸建と集合それぞれの住宅世帯割合に世帯数を乗ずることで戸建・集合のそれぞれの世帯数を求める。

次に、戸建と集合の世帯が、どのような構造(木造・非木造)で、どの程度の規模の延床面積の住宅に住んでいるのかを知る必要がある。そのため、平成15年住宅・土地統計調査²²⁾の都道府県別のデータを用い、建て方別(戸建・集合)に、木造・非木造それぞれの世帯がどの程度の規模の延床面積(29m²以下、30~49m²、50~69m²、70~99m²、100~149m²、150m²以上)に住んでいるのかを、その割合として把握した。これによって、各世帯が建て方別・構造別・延床面積別によって分類され、これら分類ごとの世帯数と一世帯あたり延床面積の各平均値(例えば30~49m²であれば39.5m²)を乗じることによって延床面積が推計できる。ただし、将来推計では、戸建世帯と集合世帯の割合はシナリオごとで変化するものの、その内訳である構造と延床面積の規模の割合は変わらないものと仮定した。

上記で得られた建て方別の延床面積に、民生部門エネルギー消費実態調査(家庭部門編 I&II)^{23),24)}に掲載されている建て方別・延床面積の規模別・地方別(北海道、関東、近畿、九州)・エネルギー種別(電気、都市ガスとLPG、灯油)の世帯あたりエネルギー消費原単位を乗ずることでエネルギー消費量を求めた。ここまでで推計された都道府県別の家庭部門のエネルギー消費量に、それぞれエネルギー種別ごとにCO₂排出係数を乗じることによってCO₂排出量を推計した。ここで、都市ガスとLPG、灯油のCO₂排出係数は「事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン(試案ver1.6)」²⁵⁾を参考に、電気については「電気事業者別のCO₂排出係数(2009年度実績)」²⁶⁾を参考に設定した。

ここで、家庭部門における省エネ対策として、コージェネレーションシステム(熱電併給システム、CGS: Cogeneration System、以下CGSとのみ記す)の吸収式冷凍機有りとヒートポンプ(HP: Heat Pump以下、HPと記す。)を設定する。この推計方法については、高島の研究²⁷⁾を参考に、エネルギー消費原単位を推計している。

業務部門のCO₂排出量を推計するには、活動量を表わす業務建物用途別の延床面積と、用途別・エネルギー種別の延床面積あたりのエネルギー消費原単位、さらにエネルギー種別のCO₂排出係数が必要となる。

業務建物には通常、事務所、百貨店、スーパー、卸小売、飲食店、病院、学校、ホテル、公共施設などが含まれる。これらの建物需要は、就業・学業、医療・介護、また提供されるサービスを楽しむ人々の選択、休日の余暇の過ごし方といった多様なニーズが反映され決定さ

れる。本来なら、このような要因を詳細に分析する必要があるが、ここではサービス規模すなわち人口規模と産業構造のみに応じて延床面積が決定するものと仮定した。

使用したデータは、土地総合情報ライブラリー²⁸⁾の法人建物調査から得られる業務建物データを産業別（第1次、第2次、第3次の産業）に大別したものである。これらのデータは、工場敷地以外の建物と工場敷地内の建物を合算した延床面積である。将来推計については、2000年の各産業の業務建物の一人あたり延床面積を決定し、前節の産業比率の変化に伴い当該年における一人あたり延床面積を推計する。

これら一人あたり延床面積に各年の人口を乗じることによって、都道府県別・産業別の業務建物延床面積が推計できる。さらに、これら産業別の延床面積を建物用途別に大別するため、法人建物調査の15種類の業種を、農・林・漁業を第1次産業、鉱業、建設業、製造業を第2次産業とまとめ、それ以外の業務建物を業種別（建物用途別）第3次産業の延床面積として個別に把握した。

エネルギー消費原単位については、民生部門エネルギー消費実態調査（業務部門編 I & II）^{29), 30)}に掲載されている地方別（東北、関東、中部・北陸、中国・四国、九州）・建物用途別・エネルギー種別（電気、都市ガスとLPGと地域熱供給、A重油と灯油）の延床面積あたりエネルギー消費原単位を用いた。ここで、地方別となっているため、家庭部門と同様に、それぞれの地方に属する都道府県のエネルギー消費原単位として使用した。そして、ここまでで推計された都道府県別の業務部門のエネルギー消費量に、それぞれエネルギー種別ごとにCO₂排出係数を乗じることでCO₂排出量を推計した。ここで、家庭部門と同様に、都市ガスとLPGと地域熱供給、A重油と灯油のCO₂排出係数は「事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン（試案ver1.6）」²⁵⁾を参考に、電気については「電気事業者別のCO₂排出係数（2009年度実績）」²⁶⁾を参考に設定した。

業務部門においても、家庭部門同様に、省エネ対策として、CGSとHPを設定する。

さらに、省エネ対策として、太陽光発電の効果を検討する。太陽光パネルの設置場所は住宅などの屋上面とし、その面積は平成9年度の国土数値情報土地利用3次メッシュデータの建物用地面積²¹⁾とした。ただし、この建物用地面積は、推計人口と建物用地面積で表わされる人口密度（人口/建物用地面積）によって、都市構造のシナリオをどの程度の密度に設定するかによって変わる。また、その建物用地面積に対する導入率もシナリオによって設定する。太陽光発電の推計で必要な日射量については、過去30年間（1961～1990年）の全国日射量平均値データマップ³¹⁾から、各都道府県の年間最適傾斜角の日射量を用いた。また、設置面積は建物用地面積の37%

³²⁾とし、変換効率は0.16³³⁾とした。ここで、太陽光発電によって発電された電力の効果は、都道府県ごとに推計される家庭部門の電力消費から差し引くこととした。

上記をまとめると、各年の民生部門のCO₂排出量は家庭部門と業務部門ごとに求められる。ただし、戸建・集合世帯の割合や、省エネ対策の普及率（導入率）、さらに同対策によってエネルギー消費原単位が変わる。

(5) 運輸部門の推計

ここで、運輸部門におけるCO₂排出量を推計するため、旅客と貨物をそれぞれ県内と県間の4種類に分類しモデルを開発する。

旅客部門（県内）については、通勤と通学を主要なトリップと考え、それぞれ有業している男性と女性、また通学に公共交通機関を利用する学生を対象とすることとした。ここで、有業している男性と女性に関しては、15歳から64歳までの生産年齢のそれぞれの人口に男女別の有業率を乗じることで、その人口を推計した。ここで、有業率については、平成14年就業構造基本調査³⁴⁾のデータを用いた。また、この女性の有業率については、シナリオによって変化する。通学に公共交通機関を利用する学生に関しては、その対象年齢を5歳から19歳まで（小学校から高校までであるが、コーホート要因法で用いた男女5歳階級別人口のデータの関係から、この年齢層を対象としている）とし、これに公共交通機関の利用率を乗じることで、その人口を推計した。公共交通機関の利用率については、青森県弘前市で行われた調査³⁵⁾の非積雪時の公共交通機関利用の値を用いている。ここでは、学生の公共交通機関の利用はバスと仮定している。次に、通勤における分担率は自動車、鉄道、バスの3種類を仮定し、これらの推計には、集計ロジックモデルを用いた。モデルの推定は、府県相互間輸送人員表³⁶⁾の機関別（自動車、鉄道、バス）の旅客県内輸送人員数を全機関のそれで除いたものをそれぞれの分担率とする被説明変数と、都市構造の集約化を表わす人口密度と所得水準を表わす一人当たりGDPを説明変数として用いた。バスの分担率に関しては、自動車と鉄道の分担率の合計から差し引いたものを用いている。一般的に、人口密度が上がれば自動車の分担率は、鉄道やバスにシフトすることから、ここでは都市構造の集約化のシナリオによって、分担率が変化することを表わしている。トリップ生成原単位は、通勤・通学の行き帰りの1人1日あたり2トリップとしている。各機関別のトリップ長については、輸送機関別1人平均輸送キロの推移³⁷⁾の平成12年度の値を用いている。最後に、各機関別のCO₂排出原単位については、運輸部門における温室効果ガス排出量等の推移³⁸⁾の値を用いた。また、HEV（Hybrid Electric Vehicle、ハイブリッドカー）やEV（Electric Vehicle、電気自動

車)を導入するシナリオの場合は、自動車の通勤者を対象とし、その導入率は2050年にかけて全自動車の60%をHEVが、40%をEVとなるように設定した。HEVとEVのCO₂排出原単位については、環境時代の自動車パワーtrain戦略—Hybrid, Diesel, Bio-ethanol, EVの将来—³⁹⁾の値を参考にしている。

旅客部門(県間)の各都道府県の発生と集中の交通量の原単位は、府県相互間輸送人員表³⁶⁾の全機関のそれぞれの交通量を人口で除したもので作成した。次に、府県相互間輸送人員表³⁶⁾のOD表を用いて、推計される発生と集中の交通量を、現在のトリップパターンが将来も変化しないものと仮定する現在パターン法によって分布交通量として推計した。分担率については、府県相互間輸送人員表³⁶⁾の自動車、鉄道、バス、旅客船、航空の交通量から計算される分担率を用いた。トリップ長については、GIS(Geographic Information System, 地理情報システム)を用いて各都道府県の中心点から計算される距離を用いることとした。CO₂排出原単位については、自動車、鉄道、バスについては、旅客部門(県内)と同様であり、残りの旅客船、航空については、運輸部門における温室効果ガス排出量等の推移³⁸⁾の値を用いた。また、自動車に関しては、旅客部門(県内)と同様に、HEVとEVの効果をシナリオによって設定する。

貨物部門(県内)については、第1次産業と第2次産業を個別に推計する。すなわち、この第1次産業と第2次産業の推移によって、貨物部門(県内)での交通量が変化する。まず、各都道府県の発生と集中の交通量の原単位は、府県相互間輸送トン数表(総貨物及び9品目分類)⁴⁰⁾から得られる県内の交通量をそれぞれの生産額で除したもので作成した。また、以降も第1次産業と第2次産業の別に、分担率については、自動車、鉄道、海運の別で、府県相互間輸送トン数表(総貨物及び9品目分類)⁴⁰⁾の交通量から推計した。ただしここで、自動車については、自家用貨物自動車と営業用貨物自動車によってCO₂排出原単位が異なることから、「営業率」(自動車総貨物輸送トンキロ数に占める営業用貨物自動車による貨物輸送トンキロ数の割合)をシナリオによって設定することとし、営業用貨物自動車の割合を上げる(一般的に自家用貨物自動車より営業用貨物自動車のCO₂排出原単位の方が大幅に低い)。次に、トリップ長については、輸送機関別1トン当たり平均輸送キロの推移⁴¹⁾の平成12年度の値を用いている。最後に、CO₂排出原単位については、運輸部門における温室効果ガス排出量等の推移³⁸⁾の値を用いた。

貨物部門(県間)についても、第1次産業と第2次産業を個別に推計する。まず、各都道府県の発生と集中の交通量の原単位は、府県相互間輸送トン数表(総貨物及び9品目分類)⁴⁰⁾から得られる県間の交通量をそれぞれの

生産額で除したもので作成した。次に、以降も第1次産業と第2次産業の別に、府県相互間輸送トン数表(総貨物及び9品目分類)⁴⁰⁾のOD表を用いて、推計される発生と集中の交通量を、現在パターン法によって分布交通量として推計した。分担率については、府県相互間輸送トン数表(総貨物及び9品目分類)⁴⁰⁾の自動車、鉄道、海運の交通量から計算される分担率を用いた。トリップ長については、旅客部門(県間)と同様に、GISを用いて各都道府県の中心点から計算される距離を用いることとした。最後に、CO₂排出原単位については、運輸部門における温室効果ガス排出量等の推移³⁸⁾の値を用いた。

運輸部門のCO₂排出量は、旅客と貨物をそれぞれ県内と県間に分けた4種類から推計され、その総和として表わされる。

(6) 産業部門の推計

産業部門のエネルギー消費量及びCO₂排出量は、技術、経済、産業活動水準、産業構造変化などで変わる⁴²⁾。産業部門のエネルギー消費量とCO₂排出量は、とくに燃料を多く使用する製造業の素材系業種(本研究では、1次金属、化学、窯業・土石製品、バルブ・紙)に大きく依存し、特に日本では鉄鋼、セメントなどの生産が盛んであるため、この部門での生産水準が影響を与える⁴³⁾。

産業部門とは、第1次産業と第2次産業、すなわち日本の標準産業分類による農林水産業、鉱業、建設業(ここまでの3つの部門で非製造業と称す)及び製造業のことである⁴²⁾、⁴³⁾。また、本研究では産業部門の中の業種分類として、非製造業と、製造業の中の素材系と非素材系とといった3種類に大別している。本研究における製造業の非素材系とは、食料品、繊維、石油・石炭製品、金属製品、一般機械、電気機械、輸送用機械、精密機械、その他の製造業としている。

産業部門のCO₂排出量の推計には、各業種の産業生産額とエネルギー消費原単位、またCO₂排出係数が必要となる。各業種の産業生産額は、前節で設定したシナリオごとの県内総生産の推計値と産業比率を用いることによって、第1次と第2次産業の生産額を推計する。業種別の生産額は、県民経済計算¹⁸⁾の2000年の値の各業種の割合を参考に上記の第1次と第2次産業の生産額に乗じることで求める。ただし、経済成長が進めば第1次と第2次産業の産業比率が低下し生産額自体も減少するので、必然的に産業部門からのCO₂排出量は削減されることとなる。エネルギー原単位は、2000年のエネルギーバランス表⁴⁴⁾の業種別・エネルギー種別消費量を参考に、2000年の業種別生産額で除したものを使用した。また、CO₂排出係数については、エネルギーバランス表にある炭素換算表記の排出係数を用い、後に二酸化炭素の量に換算した。

3. シナリオの設定

人口減少社会においては、現行と同じ社会・経済状況であればCO₂排出量は現状より減少すると考えられる。しかし、どのような社会・経済へ移行するかによっては、CO₂排出量の大幅な削減も可能である一方、エネルギー消費社会がさらに進めば増加することも考えられる。本研究では、このような都道府県別のCO₂排出量が、将来、どのような推移を辿るのかを省エネ対策などの効果も含めて考察する。ここで、シナリオごとに変化させる社会・経済の要因は、出生率、女性の有業率（世帯主率に関係）、県内総生産の成長率、人口密度である。女性の有業率とは、女性が普段収入を得ることを目的として仕事を有していることであり、ここではこの割合が増加すれば女性の社会進出が進み、世帯主となる女性が増加すると仮定している。さらに、本研究で扱った省エネ対策は、民生部門ではCGSの吸収式冷凍機有り、HP、太陽光発電の導入を、運輸部門では、HEVとEVの導入、また営業用貨物自動車の比率を増加させることとした。産業部門では、産業構造の調整を行うことで、エネルギー消費の多い製造業素材系の業種比率を削減させる。

以下に、3つのシナリオとその将来像について説明する。こうしたシナリオのたて方や、その設定方法などについては、西岡⁶⁾や藤野ら⁷⁾の書籍を参考としている。ただし、設定した数値などは異なっている場合がある。

① 現状維持型

現状維持型の出生率は、2000年基準（全国平均値1.36）とし、世帯主率に関わる女性の有業率、人口密度も2000年と同様とした。県内総生産は、1980年から2010年までのIMF（International Monetary Fund、国際通貨基金）の実質成長率のデータ⁴⁵⁾から、近年の傾向として、1990年から2010年までの平均成長率0.93%を仮定し、これを中位の成長率のシナリオとしている。

② 都市集約型

都市集約型では、各都道府県の人口密度を2050年には現在より2倍高くし、人々が集中して居住する社会を想定している。つまり、2000年の全国都道府県平均が5,966人/km²であるのに対して、2050年には11,932人/km²となり、例えば現在の東京都の人口密度（15,101人/km²）に埼玉県、千葉県、愛知県、京都府、兵庫県、広島県、福岡県、沖縄県などの都道府県が匹敵するようになる。また、県内総生産成長率は、IMFの実質成長率のデータ⁴⁵⁾をもとに、バブル景気を含む1980年から2010年までの平均成長率2.22%を仮定し、これを高位の成長率のシナリオとしている。この成長によって、産業構造が現状維持型と比較して1次・2次産業から3次産業へと移行することになる。さらに、現状の女性の有業率（48.22%）は2050年に各都道府県の2002年時点の男性の有業率（71.07%）と同

等となると仮定した。これによって、女性の社会進出が進むことで出生率が低下し、この出生率は昭和22年以降で最も少ない2005年レベル（全国平均値1.26）とする⁴⁶⁾。すなわち、将来的には人口は低下するものの、女性の独立によって単身世帯の増加が進み、核家族化がさらに進む。また、人口密度が増加することによって集合住宅の割合が増え、また旅客部門（県内）の分担率は自動車から鉄道やバスといった公共交通にシフトしていく。省エネ対策では、民生部門ではCGSの吸収式冷凍機有り（2050年の導入率：50%）、HP（同年の導入率：50%）、太陽光発電（同年の導入率：10%）を、運輸部門ではHEV（同年の導入率：60%）とEV（同年の導入率：40%）の導入を、また営業用貨物自動車の比率を増加（同年の導入率：100%）させる。さらに、産業部門では、製造業の中の素材系の業種比率を削減（2050年の削減率：100%）させる。このように、低炭素社会に向けて、省エネ対策や都市の空間構造の集約化が進むが、人口減少や核家族化、高齢化社会が進む社会となる。

③ 地方分散型

最後のシナリオは、現状維持型とは対照的に過去の日本の社会像に照らし合わせた地方での定住型を目指した社会を想定している。すなわち、各都道府県の人口密度を2050年には現在の半分とすることで、人々が分散して居住する社会を想定している。このため、2050年には全国都道府県平均で2,983人/km²となる。また、県内総生産成長率は、IMFの実質成長率のデータ⁴⁵⁾をもとに、1980年から2010年までの平均成長率の内、マイナス成長を除く一番低い1993年の成長率0.17%を仮定し、これを低位の成長率のシナリオとしている。この成長によって、産業構造の変化は現状維持型と比較して遅くなる。ただし、経済成長率はさほど進まないものの、出生率は向上し、その値は1990年レベル（全国平均値1.54）¹⁴⁾とする。女性の有業率は2000年基準とした。これによって、将来的には人口と世帯は増加するものの、人口密度が低下することで戸建住宅の割合が増える。また、分散することで、旅客部門（県内）の自動車の分担率が高くなる。省エネ対策については、都市集約型と同様とする。これによって、地方分散型と都市集約型において、社会像の違いのみによって、それぞれの効果の違いが検討できる。

4. 結果

ここでは、CO₂排出量の推計結果を考察する前に、この排出量に影響を与える人口、県内経済生産、産業構造といった社会・経済要因の変化と、これによって変わる各活動量の推計結果を考察する。ただし、それぞれの結果は、頁の都合上、日本全体の結果のみ示している。

(1) 人口・世帯の推計結果

図-1に、シナリオ別の日本の総人口の推計結果を示す。この結果、日本の総人口は、2000年の126.70百万人から、2010年の現状維持型で129.23百万人、都市集約型で128.31百万人、地方分散型で130.57百万人と増加し、2050年の現状維持型で97.67百万人、都市集約型で93.55百万人、地方分散型で103.97百万人と減少する。総人口の違いは、その出生率に依存しており、都市集約型で最も減少が著しい。

図-2に、シナリオ別の日本の総世帯の推計結果を示す。この結果、日本の総世帯は、2000年から2015年までは増加し、2000年の45.69百万世帯から、2015年の現状維持型で49.08百万世帯、都市集約型で49.38百万世帯、地方分散型で49.08百万世帯となった。ここで、総人口と比較して世帯の増加のピークが2010年ではなく2015年なのは、若年層が減少することによって総人口は低下するものの、世帯主となり得る人口層（すなわち高齢化していく）が2015年までは増加し続けることが原因である。また、現状維持型と地方分散型を比較した場合、2015年までは世帯数は変わらないものの、出生率が高く若年層が多く生まれる地方分散型では世帯の減少が少ないのに対して、現状維持型では若年層がさほど増加しないため、その減少が大きい。都市集約型ではこれがさらに顕著である。そのため世帯は、2015年以降はすべてのシナリオにおいて減少し、2050年の現状維持型で38.92百万世帯、都市集約型で38.74百万世帯、地方分散型で40.30百万世帯となる。ここで、都市集約型において総人口がもっとも減少するものの、世帯の減りが少ないのは、女性の社会進出が進み、これによって世帯主となり得る女性の人口が増加するためである。

(2) 県内総生産の推計結果

図-3に、シナリオ別の日本の国内総生産の推計結果を示す。この結果、国内総生産は2000年の521.32兆円から

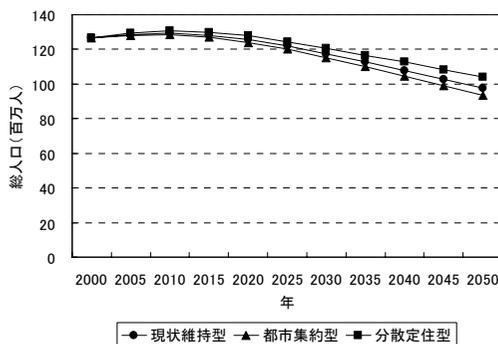


図-1 シナリオ別の日本の総人口の推計結果

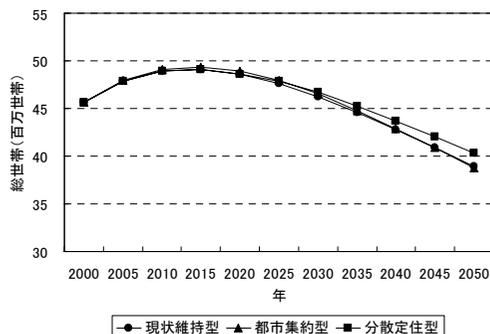


図-2 シナリオ別の日本の総世帯の推計結果

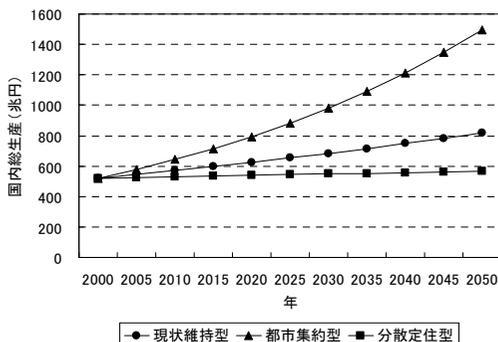
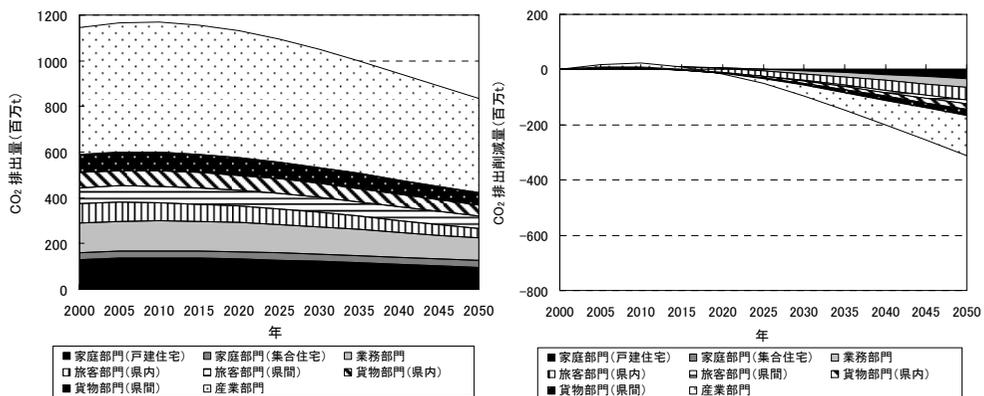


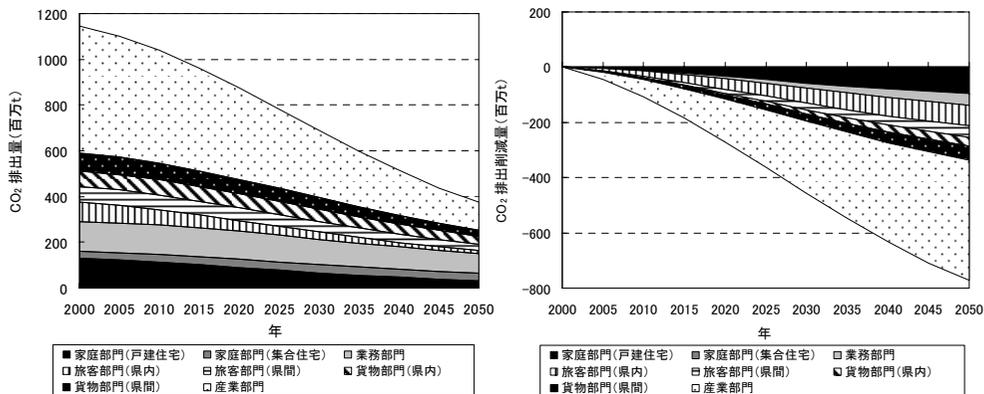
図-3 シナリオ別の日本の国内総生産の推計結果

表-1 シナリオ別の日本の産業構造の推計結果 (単位: %)

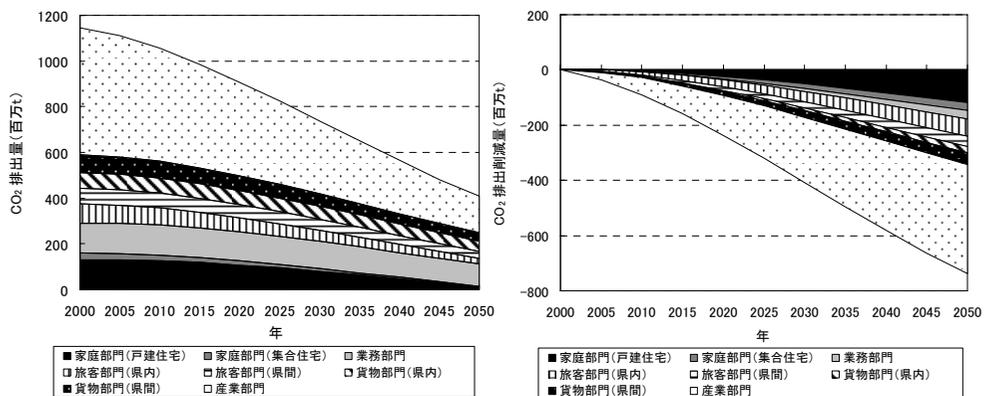
年	1次産業			2次産業			3次産業		
	現状維持型	都市集約型	地方分散型	現状維持型	都市集約型	地方分散型	現状維持型	都市集約型	地方分散型
2000	1.77	1.77	1.77	30.75	30.75	30.75	67.47	67.47	67.47
2005	1.70	1.55	1.80	29.99	28.33	31.13	68.31	70.12	67.06
2010	1.60	1.33	1.80	28.94	25.72	31.17	69.46	72.95	67.03
2015	1.48	1.12	1.77	27.58	22.97	30.84	70.95	75.91	67.40
2020	1.34	0.93	1.70	25.95	20.15	30.18	72.71	78.92	68.12
2025	1.20	0.76	1.62	24.13	17.39	29.27	74.67	81.85	69.11
2030	1.07	0.61	1.53	22.23	14.78	28.23	76.71	84.60	70.25
2035	0.94	0.49	1.44	20.33	12.42	27.16	78.73	87.09	71.41
2040	0.82	0.39	1.35	18.47	10.31	26.05	80.70	89.29	72.60
2045	0.72	0.31	1.26	16.69	8.49	24.88	82.59	91.20	73.86
2050	0.62	0.24	1.17	14.99	6.94	23.69	84.38	92.82	75.14



現状維持型



都市集約型



地方分散型

図4 シナリオ別の日本の主要部門別CO₂排出量とその2000年からの削減量の推計結果

2050年の現状維持型で820.40兆円，都市集約型で1,495.29兆円，地方分散型で567.65兆円となり，2000年と比較して，現状維持型で1.57倍，都市集約型で2.87倍，地方分散型で1.09倍となる。

(3) 産業構造の推計結果

表-1に，シナリオ別の日本の産業構造の推計結果を示

す。この結果，2000年において1次産業，2次産業，3次産業の割合は，それぞれ1.77%，30.75%，67.47%となっていたが，これが経済成長とともに1次と2次の産業から徐々に3次産業へと移行していく。とりわけ，経済成長率の高い都市集約型では，2050年の3次産業の割合が92.82%となり，これは現状維持型の84.38%や地方分散型の75.14%のそれと比較しても高い値となっている。

表-2 シナリオ別の日本の主要部門別 CO₂排出削減割合の推計結果
(2000年を0%とした場合)

%	現状維持型							
	家庭部門 (戸建住宅)	家庭部門 (集合住宅)	業務部門	旅客部門 (県内)	旅客部門 (県間)	貨物部門 (県内)	貨物部門 (県間)	産業部門
2000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2020	1.45	13.99	-1.47	-18.28	0.47	-2.56	-1.57	-0.14
2050	-26.00	3.41	-24.75	-51.20	-19.90	-31.23	-29.01	-25.97
%	都市集約型							
	家庭部門 (戸建住宅)	家庭部門 (集合住宅)	業務部門	旅客部門 (県内)	旅客部門 (県間)	貨物部門 (県内)	貨物部門 (県間)	産業部門
2000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2020	-30.96	21.80	-5.49	-45.29	-20.26	-8.35	-19.28	-28.06
2050	-75.93	9.89	-33.28	-83.79	-59.91	-48.84	-64.95	-78.06
%	地方分散型							
	家庭部門 (戸建住宅)	家庭部門 (集合住宅)	業務部門	旅客部門 (県内)	旅客部門 (県間)	貨物部門 (県内)	貨物部門 (県間)	産業部門
2000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2020	-17.86	-36.05	-1.55	-30.32	-17.79	-6.25	-17.02	-26.15
2050	-91.12	-97.33	-23.62	-72.18	-55.25	-32.70	-53.68	-70.97

マイナスは2000年から減少した割合を、プラスは増加した割合を示している。

(4) CO₂排出量の推計結果

図-4に、シナリオ別の日本の主要部門別CO₂排出量とその2000年からの削減量の推計結果を示す。この結果、総CO₂排出量は、2000年の1,145.78百万トンから、2050年の現状維持型で834.76百万トン、都市集約型で374.99百万トン、地方分散型で408.83百万トンとすべてのシナリオで減少する。最も削減量が大いなのが都市集約型であり、2000年から770.79百万トン低下し、次いで地方分散型の736.95百万トン、現状維持型の311.02百万トンとなっている。それぞれの2000年からの削減割合は、現状維持型が27.14%、都市集約型が67.27%、地方分散型が64.32%である。現状維持型の削減量の内訳は、家庭部門（戸建住宅）が33.85百万トン、業務部門が31.93百万トン、旅客部門（県内）が44.39百万トン、旅客部門（県間）が13.87百万トン、貨物部門（県内）が20.94百万トン、貨物部門（県間）が22.60百万トン、産業部門が144.43百万トンの減少となった一方で、家庭部門（集合住宅）が0.99百万トンの増加となった。都市集約型の削減量の内訳は、家庭部門（戸建住宅）が98.87百万トン、業務部門が42.93百万トン、旅客部門（県内）が72.65百万トン、旅客部門（県間）が41.75百万トン、貨物部門（県内）が32.75百万トン、貨物部門（県間）が50.59百万トン、産業部門が434.12百万トンの減少となった一方で、家庭部門（集合住宅）が2.87百万トンの増加となった。地方分散型の削減量の内訳は、家庭部門（戸建住宅）が118.65百万トン、家庭部門（集合住宅）が28.28百万トン、業務部門が30.46百万トン、旅客部門（県内）が62.59百万トン、旅客部門（県間）が38.51百万トン、

貨物部門（県内）が21.93百万トン、貨物部門（県間）が41.81百万トン、産業部門が394.71百万トンの減少となった。ここで参考までに、表-2にシナリオ別の日本の主要部門別CO₂排出削減割合の推計結果を示す。

図-5に、シナリオ別・都道府県別のCO₂排出量の推計結果を示す。この結果、まずCO₂排出量が多い都道府県は、東京都、神奈川県、大阪府、愛知県、北海道などであり、特に東京都や神奈川県では2000年に70百万トンを超えている。これ以外にも、埼玉県、千葉県、福岡県、兵庫県などでCO₂排出量が多い。また、部門別のCO₂排出量の特徴を見ると、2000年において、各都道府県の総排出量に対して、家庭部門（戸建住宅）の割合が多いのが青森県、沖縄県、北海道、東北地方の都道府県であり、家庭部門（集合住宅）の割合が多いのが東京都、沖縄県、大阪府、神奈川県、埼玉県などであった。また、業務部門の割合が多いのが島根県、沖縄県、鳥取県、岡山県、東京都、長野県、山口県などであった。さらに、旅客部門（県内）の割合が多いのが埼玉県、千葉県、長崎県、沖縄県、熊本県などであり、旅客部門（県間）の割合が多いのが東京都、埼玉県などであり、貨物部門（県内）の割合が多いのが和歌山県、奈良県、北海道などであり、貨物部門（県間）の割合が多いのが奈良県、和歌山県、秋田県などであった。産業部門の割合の場合は、大阪府、兵庫県、京都府、神奈川県などでその割合が多かった。2050年におけるシナリオごとのCO₂排出量の結果を見ると、東京都や沖縄県では現状維持型でCO₂排出量が増加し、特に沖縄では2000年と比較して20%増加する結果となった。また、それ以外の都市集約型や地方分散型では、CO₂排出量は低下するものの、その減少の割合は他の都

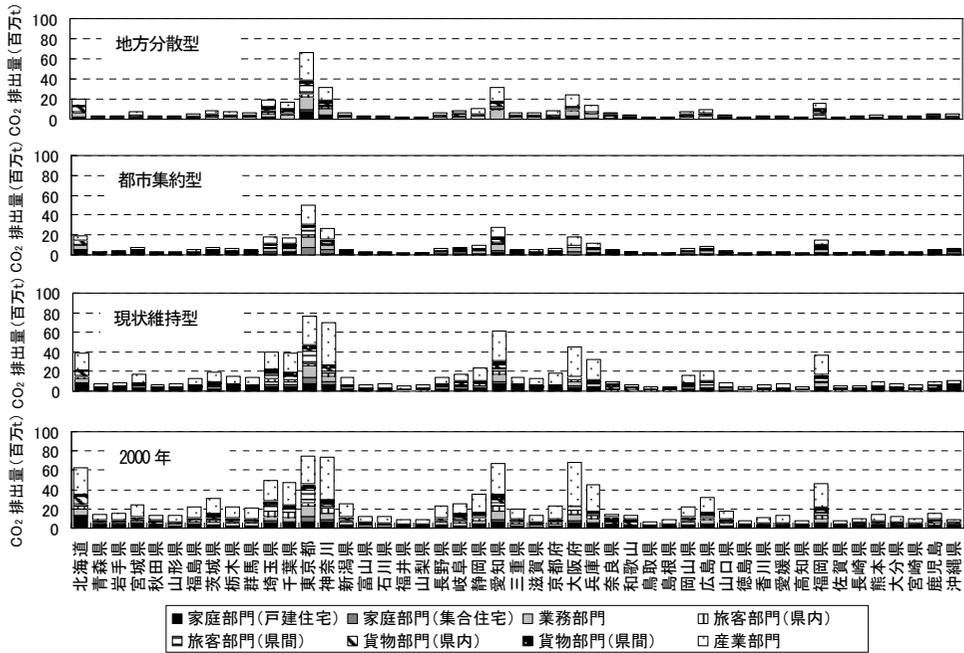


図5 シナリオ別・都道府県別の主要部門別CO₂排出量の推計結果
現状維持型、都市集約型、地方分散型については2050年の結果である。

道府県と比較してさほど大きくはなかった。また、これらの都道府県以外にも、神奈川県、愛知県、滋賀県などでは現状維持型において削減割合が小さいことが分かった。これらの都道府県では、人口の増減が少ないことが起因していると考えられる。一方、最もCO₂排出量の削減の割合が多いのは、現状維持型の場合は秋田県、和歌山県、山口県などであり、都市集約型の場合は秋田県、山口県、新潟県であり、地方分散型では秋田県、福島県、山口県であった。

最後に図-6に、対話型将来推計モデルの外観を示す。開発している将来推計モデルの特徴は、例えば意思決定者がシナリオを自ら設定し、シミュレーションを開始すれば、その結果を瞬時に見ることができる。

5. おわりに

低炭素社会を実現するには、温室効果ガスの削減目標を設定し、それに向けた具体的な対策のあり方を検討する必要がある。しかし、都道府県ごとで行われている温室効果ガスの排出実態を把握するための手法は、未だ統一・確立されているとは言い難く、すべての都道府県を横並びで比較することは困難である。こうした中、各自治体のロードマップ作りに役立てられ、且つ、利用が容易な分析フレームとそのモデルの開発が重要である。

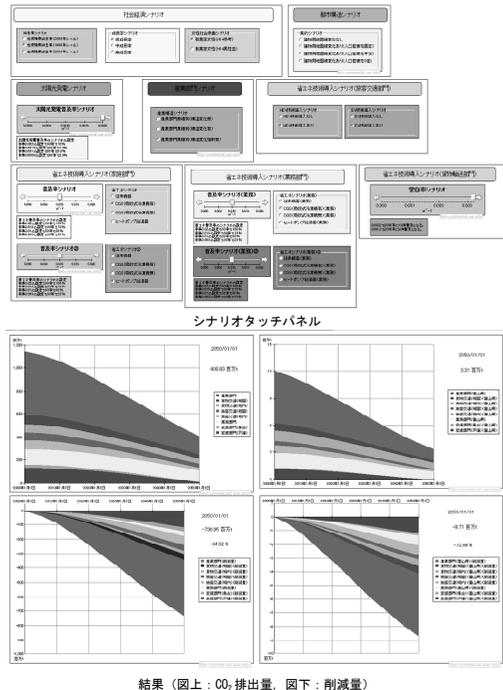


図-6 対話型将来推計モデルの外観

本将来推計モデルは、上図のタッチパネルでシナリオを設定し、瞬時に結果が見られるように開発している。左図が日本全体の結果であり、右図が富山県の結果である。

そのため本研究では、需要部門（民生部門、運輸部門、

産業部門) ごとの活動量, エネルギー消費原単位, CO₂ 排出係数などのデータを整理するとともに, 異なった社会像を反映した複数のシナリオを設定することによって, 2000年から2050年までの都道府県別CO₂排出量を推計するモデルの開発を試みた。ここでは, 民生部門, 運輸部門, 産業部門における各種対策の普及と技術進歩を考慮すると共に, 都市計画分野における都市構造の集約化も検討に入れた。さらに, 出生率や女性の社会進出といった社会的な要因についてもシナリオとして扱った。このように, 都道府県別に巨視的且つ中長期的なビジョンを持って分析することによって, 低炭素社会の実現に向けたビジョンが描けると考えられる。

謝辞: 本研究は, 富山県立大学重点領域研究「富山県における地球温暖化の影響とその対策」(代表: 大西暁生)の一環として行われたものである。

参考文献

- 1) 長谷川良二: RAS 法を用いた都道府県別 CO₂ 排出量の推計, 六甲フォーラムワーキングペーパー, 2006.
- 2) 地球温暖化対策地域推進計画策定ガイドライン(第3版): <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/suishin/g/>
- 3) 大西隆, 小林光(編): 低炭素都市—これからのまちづくり(東大まちづくり大学院シリーズ), 学芸出版社, 2010.
- 4) 村上周三, 茅陽一, 柏木孝夫, 石谷久, 中上英俊: 低炭素社会におけるエネルギーマネジメント, 慶應義塾大学出版会, 2010.
- 5) 一般社団法人エネルギー・資源学会(編): 炭素社会への挑戦—資源・エネルギー・社会システムから切り開く未来—, オーム社, 2010.
- 6) 西岡秀三(編): 日本低炭素社会のシナリオ: 二酸化炭素 70%削減の道筋, 日本工業新聞社, 2008.
- 7) 藤野純一, 榎原友樹, 岩渕裕子: 低炭素社会に向けた 12 の方策, 日刊工業新聞社, 2009.
- 8) 伊香賀俊治: 住宅および事務所ビルにおける温暖化対策の 2050 年までの予測, 地球環境, Vol. 12, No.2, pp.191-199, 2007.
- 9) 島津郁美, 三浦秀一, 阿部成治, 外岡豊: 旅客交通における CO₂ 排出量の地域特性に関する研究, 日本建築学会東北支部研究発表会, pp.101-104, 1999.
- 10) 岡崎誠, 細井由彦: 市町村単位の自動車からの CO₂ 排出実態の解析に関する研究, 鳥取環境大学紀要, 4, pp.19-25, 2006.
- 11) 松橋啓介, 工藤祐揮, 上岡直見, 森口祐一: 市区町村の運輸部門 CO₂ 排出量の推計手法に関する比較研究, 環境システム研究論文集, Vol. 32, pp.235-242, 2004.
- 12) 環境自治体会議: 環境自治体白書 2010 年版—低炭素自治体への道標—, 生活社, 2010.
- 13) 総務省政府統計の総合窓口「e-Stat」, 平成 12 年国勢調査: <http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2000/index.htm>.
- 14) 総務省政府統計の総合窓口「e-Stat」, 平成 13 年度人口動態統計特殊報告: http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020103.do?_toGL08020103_&i

- stID=000001049181&disp=Other&requestSender=search.
- 15) 厚生労働省, 第 20 回生命表: <http://www.mhlw.go.jp/tokei/saikin/hw/life/20th/index.html>.
 - 16) 総務省政府統計の総合窓口「e-Stat」, 都道府県, 男女別出生児数及び死亡者数: <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001026128>.
 - 17) 総務省政府統計の総合窓口「e-Stat」, 平成 17 年国勢調査, <http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2005/index.htm>.
 - 18) 内閣府, 県民経済計算: <http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/sonota/kenmin/kekka/h19/main.html>.
 - 19) 国際協力銀行: 中国北部水資源問題の実情と課題—黄河流域における水需給の分析—, JBIC Research Paper, 28, 2004.
 - 20) 大西暁生, 井村秀文, 白川博章, 韓 驥: 黄河流域水資源需給の時間・空間構造の把握に関する研究, 環境システム研究論文集 34, pp. 611-622, 2006.
 - 21) 国土交通省国土数値情報ダウンロードサービス, 平成 9 年度国土数値情報土地利用 3 次メッシュデータ: <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/jpgis/datalist/KsjTmplt-L03-a.html>.
 - 22) 総務省政府統計の総合窓口「e-Stat」, 平成 15 年住宅・土地統計調査: <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/NewList.do?tid=000000050002>.
 - 23) (財) 日本エネルギー経済研究所: 平成 10 年度民生部門エネルギー消費実態調査(家庭部門編 I)「大都市」.
 - 24) (財) 日本エネルギー経済研究所: 平成 11 年度民生部門エネルギー消費実態調査(家庭部門編 II)「中小都市」, 「町村部」.
 - 25) 環境省 HP, 事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン(試案 ver1.6): http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/guide/pdf1_6/mat_01.pdf.
 - 26) 環境省 HP, 電気事業者別の CO₂ 排出係数(2009 年度実績): http://www.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/material/denkishaishutu/list_ef_eps.pdf.
 - 27) 高島健志: 都市の高密度化と各種省エネルギー技術導入による CO₂ 排出削減ポテンシャル, 2008 年度群馬大学工学部電気電子工学科卒業論文, 2009.
 - 28) 国土交通省, 土地総合情報ライブラリー平成 15 年法人建物調査: http://tochi.mlit.go.jp/kihon/h15_kihon/tatemono/t_index.html.
 - 29) (財) 日本エネルギー経済研究所: 平成 13 年度民生部門エネルギー消費実態調査(業務部門編 I)「事務所ビル」, 「卸・小売業」, 「飲食店」.
 - 30) (財) 日本エネルギー経済研究所: 平成 14 年度民生部門エネルギー消費実態調査(業務部門編 II)「学校」, 「ホテル・旅館」, 「病院」, 「その他サービス」.
 - 31) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO), 全国日射量平均値データマップ: http://www.nedo.go.jp/library/shiryou_application.html.
 - 32) 増尾渉, 小峰裕己: 住宅密集地に建つ戸建住宅における太陽光発電と太陽熱給湯による省エネルギー効果に関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集, 134, pp.47-51, 2008.

- 33) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
新エネルギー技術開発部：太陽光発電ロードマップ
(PV2030+) - 2030年に向けた太陽光発電ロードマ
ップ (PV2030) に関する見直し検討委員会報告書 -
2009.
- 34) 総務省政府統計の総合窓口「e-Stat」, 平成14年就業
構造基本調査 : [http://www.e-
stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000000130149&cycode=0](http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000000130149&cycode=0).
- 35) 大橋忠宏：弘前市の交通実態と乗合バスサービスの
現状と課題, 人文社会論叢 - 社会科学篇, 21, pp.1-
28, 2009.
- 36) 国土交通省, 貨物・旅客地域流動調査 旅客地域流動
調査 平成12年度分 - 府県相互間輸送人員表 :
[http://www.mlit.go.jp/k-
toukei/search/excelhtml/17/17200000x00200.html](http://www.mlit.go.jp/k-toukei/search/excelhtml/17/17200000x00200.html).
- 37) 国土交通省, 交通関連統計資料集 - 輸送機関別1人
平均輸送キロの推移 - : [http://www.mlit.go.jp/k-
toukei/search/excelhtml/23/23000000x00012.html](http://www.mlit.go.jp/k-toukei/search/excelhtml/23/23000000x00012.html).
- 38) 国土交通省, 運輸部門における温室効果ガス排出量
等の推移 - 平成18年11月 - :
[http://www.mlit.go.jp/singikai/koutusin/koutu/kankyoush/8/s
hiryoush2-2.pdf](http://www.mlit.go.jp/singikai/koutusin/koutu/kankyoush/hiryoush2-2.pdf).
- 39) 野村総合研究所 小林敬幸, 環境時代の自動車パワ
ートレーン戦略 - Hybrid, Diesel, Bio-ethanol, EV の将
来 - :
[http://www.nri.co.jp/souhatsu/research/2009/pdf/act20090
4_01.pdf](http://www.nri.co.jp/souhatsu/research/2009/pdf/act200904_01.pdf).
- 40) 国土交通省, 貨物・旅客地域流動調査 貨物地域流動
調査 平成12年度分 - 府県相互間輸送トン数表 (総貨
物及び9品目分類) : [http://www.mlit.go.jp/k-
toukei/search/excelhtml/17/17200000x00100.html](http://www.mlit.go.jp/k-toukei/search/excelhtml/17/17200000x00100.html).
- 41) 国土交通省, 交通関連統計資料集 - 輸送機関別1ト
ン当たり平均輸送キロの推移 - :
[http://www.mlit.go.jp/k-
toukei/search/excelhtml/23/23000000x00012.html](http://www.mlit.go.jp/k-toukei/search/excelhtml/23/23000000x00012.html).
- 42) 財団法人日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニ
ット : 改訂版図解 エネルギー・経済データの読み方
入門, 財団法人省エネルギーセンター, 2004.
- 43) 全国地球温暖化防止活動推進センター, 4-10 二
酸化炭素の部門別排出量の「部門」について知りた
い : http://www.jceca.org/faq/faq04_10.html.
- 44) 経済産業省資源エネルギー庁, エネルギーバラン
ス表 :
[http://www.enecho.meti.go.jp/info/statistics/jukyu/result-
2.htm](http://www.enecho.meti.go.jp/info/statistics/jukyu/result-2.htm).
- 45) International Monetary Fund (IMF), World Economic and
Financial Surveys: World Economic Outlook Database,
[http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2010/02/weodata/
index.aspx](http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2010/02/weodata/index.aspx).
- 46) 総務省政府統計の総合窓口「e-Stat」, 平成18年
度人口動態統計特殊報告 : [http://www.e-
stat.go.jp/SG1/estat/GL08020103.do?_toGL08020103_&
listID=000001046785&requestSender=search](http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020103.do?_toGL08020103_&listID=000001046785&requestSender=search).
- 47) 厚生労働省, 平成21年人口動態統計の年間推計 :
[http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/suikiei09/i
ndex.html](http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/suikiei09/index.html).

(2011.8.8受付)

DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL FOR FUTURE SCENARIO ANALYSIS OF CO₂ EMISSIONS IN EVERY JAPANESE PREFECTURE TOWARD A LOW-CARBON SOCIETY

Akio ONISHI, Keiji OKUOKA, Kenji TAKASHIMA,
Feng SHI and Masafumi MORISUGI

Owing to the accident at the Fukushima nuclear power plant after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, the Japanese low carbon policy now need to be reexamined. In addition, renewable energies such as solar, wind, and water energy need to be provided. The reexamination of policies and people's requirements as well as the expectation of the provision of new energies should impact CO₂ emission levels in the future.

The objective of this study is to contribute to the policy-making process and to guide the process in the right direction by constructing a simulation model that can estimate the CO₂ emission level for each prefecture of Japan from year 2000 to 2050 and can also test the effects of the introduction of energy-saving technologies, changes in social requirements, trends of the economy, etc. The simulation model covers different sectors such as domestic, transportation and industrial sectors. The CO₂ emission level in each sector were estimated by using the values of the amount of activity, energy units (energy consumption per activity), and CO₂ emission factor. By using the constructed model, we tested the technological effects from photovoltaic power generation, cogeneration systems, heat pumps, hybrid electric cars, etc. and also estimated the effects of urban planning (compact city or sprawling city) and economic and social trends for different scenarios (business as usual, urbanized society and localized society). We also incorporated an operation touch panel into the model that allows policy makers to easily examine the parameters for different scenarios by selecting the scenarios; it also enables them to see the simulation results in the form of graphs and tables in real time.