

研究概要

1. 序（研究背景等）

近年のわが国の部門別CO₂排出量の推移をみると、交通部門は民生（家庭・業務）部門とともに、増加が著しい。第一次オイルショック後の30年間に着目した場合、交通部門の排出増加はさらに顕著であり、GDPの伸びとほぼ比例した傾向を示している。部門別CO₂排出量に占める交通部門のシェアは約20%と、他の先進諸国と比較した場合にはむしろ小さめであるが、このことに寄与してきた鉄道をはじめとする公共交通機関・自動車以外の輸送モードのシェアが低下しつつあることを考慮すれば、交通部門の対策の重要性はますます高まると想定される。また、高齢化の進展や、余暇交通など生活の質の向上を求める交通需要の多様化・拡大が進むことも予想される。

こうした「交通と環境」の問題については、内外で活発な研究がなされているが、輸送機器の技術面の研究、大気汚染などの環境影響面の研究、交通需要面の研究、土地利用や空間形態からのアプローチ、インフラ政策やこれと密接に関連する財源策に関する研究などに細分化されており、これらを横断的・統合的にみた大局的な検討は困難な状況にあった。このため、国立環境研究所・京都大学らが開発してきた統合評価モデル（AIM：Asian-Pacific Integrated Model）においても、交通部門のサブモデルの強化が要請されている。

また、交通需要に占める自動車の分担率はますます高まっており、その技術革新の可能性と燃料供給源の選択は、交通部門のCO₂削減可能性の鍵を握っているといっても過言ではない。近年、ガソリン・軽油等以外の代替燃料を使用する自動車の性能向上は著しく、環境問題への意識が高まる中で、徐々に普及も進みつつある。また、従来のエンジン駆動に代わり、エンジンとモーターとのハイブリッド駆動を経て、燃料電池ないし二次電池との組み合わせによるモーター駆動へと変遷していく兆しがみられる。これらの代替技術については、自動車用燃料の十分な低炭素化が進み、かつ末端のエネルギー補給施設整備が十分に行われることが、CO₂削減効果をあげつつ大量普及を進めるための必要条件となるが、これには明確な政策誘導とリードタイム（準備期間）を要する。一方、鉄道など、自動車以外の輸送機関への転換を考慮する場合には、同様に長いリードタイムと強力な政策誘導が必要と考えられる。

さらに、OECDによるEST（Environmentally Sustainable Transport:持続可能な交通）プロジェクトで実施された、いくつかの国・地域のケーススタディでは、環境上の目標をまず定め、これを達成するために必要な諸条件を「シナリオ」として示すバックカスティングアプローチが採用されてきた。日本についても、2003年3月に開催されたEST名古屋会議で本課題の担当者らが2030年を目標年次とする事例報告を行っており、80%削減という極めて厳しい削減目標のために、描かれたシナリオが現実感に乏しいきらいがあるが、バックカスティングの有用性自身は認められたと考えられる。

2. 研究目的

本課題では、2020年まで、2050年までの2つのタイムスパンについて、交通部門からのCO₂排出量

の大幅削減のための中長期戦略を策定することを目的とする。図 - 1 に示すとおり、2020 年についての検討では、対策の投入時期と効果の発現時期とのタイムラグを考慮した対策効果評価手法を構築し、ボトムアップ型技術選択モデルで必要とされる要素技術の効果や費用に関する基礎情報など、戦略研究プロジェクト全体からの要求に応じて、必要な知見を提供する。また、2050 年についての検討では、不確実性の高い予測を行うのではなく、削減目標をまず与え、その達成に必要な技術革新・交通行動変化のシナリオを描くバックキャスト手法を適用して、目指すべき長期的な将来像とそこへの道筋を提示する。

サブテーマ(1)では、2020 年頃に向けて、現時点で実用化済み、ないし実用化に近い技術の大量導入による CO₂削減効果を、導入決定時期と実際に効果が現れる時期とのタイムラグや、一次エネルギー供給技術、燃料供給インフラの整備などの周辺条件を考慮して評価する手法を開発するとともに、削減促進のための政策手段との関係を明らかにすることを目的とする。

サブテーマ(2)では、2050 年頃を目標年次として、現在のトレンドのまま推移した場合(BAU: Business as Usual)をベースに交通部門からの CO₂削減の数値目標に到達するために必要な削減量を求め、技術革新および交通行動変化の両面の組み合わせによって達成する数種類のシナリオを提示するとともに、その社会、経済への影響を把握することを目的とする。また、そのために短期のうちに着手すべき政策の方向性について検討を行う。

3. 研究の内容・成果

(1) リードタイムを考慮した新技術導入の効果評価と政策手段に関する研究

自動車用燃料の原料調達段階から製造・流通を経て自動車に搭載されるまでの、エネルギーチェーンサイクル全体での環境負荷を定量的に評価する Well to Wheel(WtW)分析の枠組を用いて、2020 年の基準シナリオの構築および対策シナリオの検討に必要な技術改善予測値を定量的に示した。自動車用燃料供給段階については、日本での最新の WtW 分析事例のレビューにより基礎データの収集と考え方の整理を行った上で自動車用燃料のインベントリを構築し、各種自動車用燃料のエネルギー消費原単位と CO₂排出原単位を算出した。

走行段階については、乗用車を中心とする火花点火エンジン車(ガソリン、合成燃料、バイオエタノール等を燃料とする)、乗用車、商用車、トラック・バスとして使われている圧縮着火エンジン車(軽油、合成燃料、バイオディーゼル(脂肪酸メチルエステル)等を燃料とする)を対象に、現在利用されている低燃費技術と 2020 年と 2050 年時点で実用可能と予想される技術について、エンジンの熱力学サイクルに関する数値シミュレーションとヒアリング・文献調査により詳しく評価するとともに、次世代自動車(電気自動車、ハイブリッド自動車、燃料電池自動車等)の低燃費技術の調査を行い、既存の自動車燃費改善技術に対する優位点とその成立条件を明らかにした。

その結果、2020 年と 2050 年時点での対策の実効性においては、ハイブリッド車が最も有力な自動車技術の一つであると考えられた。従来型の乗用車に関しては、2010 年比として 2020 年時点では 20～30%の CO₂、2050 年時点では、石油から再生可能な燃料への転換が進み、おおむね 50～70%の CO₂低減が可能と予想される。また、電気自動車については、都市部の近距離の移動手段として活用が有効である(図 - 2)。さらに、燃料電池車の大量普及のためには、コストと燃料供給面が課題であり、いずれも 2020 年までに克服することは困難と考えられる。2050 年時点を目指して戦略的に水素社会を目指すことによる脱石油と CO₂の削減の有効性が検証されれば、インフラ整備を先行させて普及をうながす必要があり、同時に再生可能な資源を使った水素製造に本格的に取り組む必要がある。

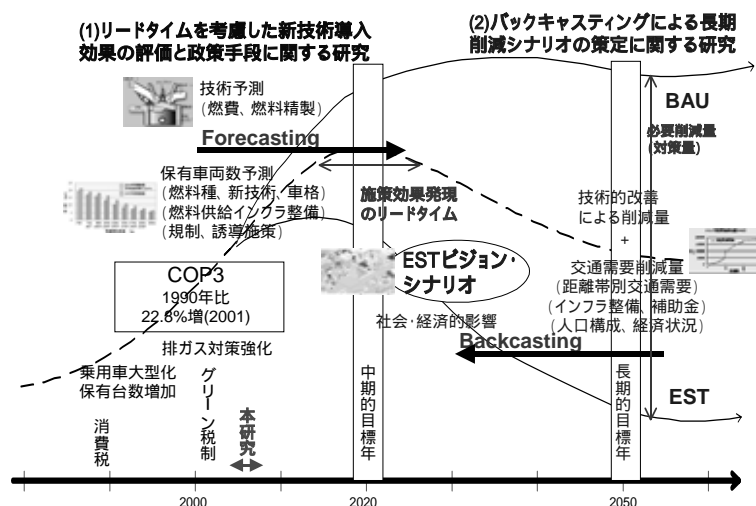


図 - 1 時間軸から見た本課題の枠組み

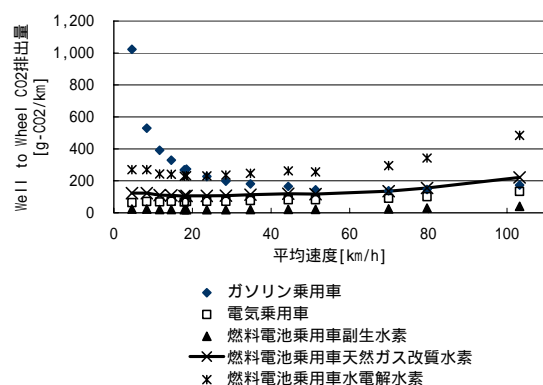


図 - 2 WtW CO₂排出量の比較

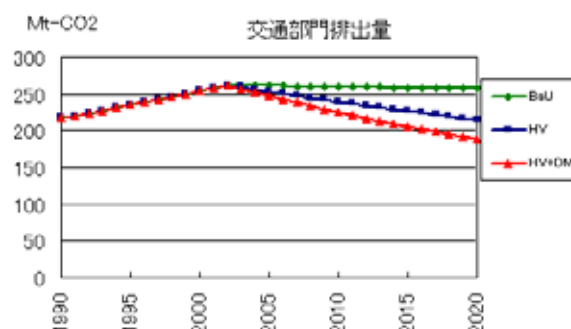


図 - 3 基準シナリオと対策シナリオによる2020年交通CO₂排出量予測例

代替燃料スタンド最適整備戦略モデルの開発に関する研究では、昨年度は、茨城県南地域として、1回の燃料補給期間における自動車の移動状態を再現するために、ある1日の多数の自動車の移動に関するデータと、車載型の走行状態計測記録装置を用いて取得する長期間に渡る自動車の移動に関するデータを組み合わせる方法論を開発した。しかしながら、燃料補給行動のモデル化においては、まだいくつかの解決すべき課題が残されていた。モデルの分析単位となるゾーン区分が粗く、移動状態の把握に関して出発地と到着地はわかるものの走行経路が把握されていないなど、自動車の移動状態の把握としては不十分であった。さらに、長期間の走行距離分布に強引な仮定をおいているという問題があり、給油のタイミングが考慮されていない、あるいはセイフティ・レコーダ(SR)のサンプル数が不足している、1日で長距離を移動する場合の再現ができていないなどの課題も残されていて、改良が必要であると考えられた。そこで本年度は、これらの残された問題点を解消することで、より精度の高い、代替燃料スタンドの配置とスタンドへの遭遇の関係を示すモデルへと改良した。

改良したモデルによるシミュレーションをもとに、昨年度同様、茨城県南地域の主として個人が使用する自家用乗用自動車の1ヶ月間の走行シミュレーションを行った。これをもとに、代替燃料スタンドの設置数と1ヶ月内におけるスタンドへの接近確率の関係を試算した。本研究においては、既存のガソリンスタンドのうち、発着トリップ数の多かったゾーンから順に1ヶ所ずつ代替燃料スタンドへ転換したと想定し、そのゾーンを通過することでスタンドへの接近とみなすこととして、1ヶ月間においてどのくらいの割合の車両が代替燃料スタンドに接近するかを計算しているが、シミュレーションによれば、対象地域内において約1割のスタンドを代替燃料スタンドへ転換すると、99%以上の車両が適切な給油タイミングにおいてスタンドに接近することが分かった。

これらを踏まえて、2020年のシナリオ策定を行った。中期的な燃費改善技術と次世代自動車技術の可能性に関する多様な調査結果を踏まえて関係者間で議論を積み重ね、特に強い温暖化防止策を導入しない場合(BAU)について、交通部門において車種別にどのような燃料・エンジンの技術が普及するか想定した2020年「基準シナリオ」を策定した。また、車両製造設備の整備や車両の購入・普及にかかるタイムラグを考慮できるよう、コホートに基づく技術導入対策効果評価モデルの詳細設計と開発を行うとともに、2020年に脱温暖化に向けた対策を導入した場合の「対策シナリオ」を策定した。2020年対策シナリオでは、ハイブリッド乗用車および電気軽乗用車の大量普及を想定した。乗用車の生産設備のほぼ100%をハイブリッド車向けに置き換えるために、ハイブリッド車の生産設備を毎年2倍という加速度的なペースで6年間拡充し、400万台の新車のほぼ全数をハイブリッド車で提供可能とする必要があると考えられた。しかし、ここで想定した技術面の対策のみでは、本部門の2020年の排出量は、90年比-1%にとどまる。90年レベルから排出量を大幅に減少させるためには、急速な設備拡充のみでは不十分であり、交通需要面も含めたさらなる対策が必要になると考えられた。例えば、自動車交通需要の削減(BAU比乗用車-20%、貨物車-10%)を組み合わせることで、90年比-14%の達成が可能との示唆が得られた(図-3)。

(2) バックカスティングによる長期削減シナリオの策定に関する研究

2020年・2050年に向けての削減シナリオ構築のためにまず整理しておくべきは、その前提条件となる、社会経済的変化やそれに伴う交通システム変化のマクロな方向性である。そこで、その基礎資料を収集するために、環境・交通・都市等の各分野における有識者を対象としてグループインタビュー調査を行った。その知見とシナリオ策定手法を踏まえて、交通のシナリオに与える影響の大

きい社会的要因(ドライビングフォース)を意見の相違の観点から整理した。その結果、S-3全体に関するものでは、移民受け入れ、中国・インドの経済水準、意思決定の仕組み、原油価格が挙げられた。本課題に関連するものでは、居住の動向、根源的な移動ニーズ、速度ニーズ、資源循環の規模、燃料電池車の普及可能性が挙げられた。

次に、交通施策によるCO₂削減を実施していく際に特に重要となる、地域の特性に応じた削減対策群の提示を行うために、全国の地域区分別の人口と一人当たり排出量の算出結果を整理した。また、交通に起因するCO₂排出の構造を示す式を作成した。両者を組合せ、地域特性別に交通サービス量、アクセス当たり移動距離、交通手段、輸送効率、燃費、燃料当たりCO₂排出原単位の各要因の削減策の積み重ねによって60%の削減が可能となる試算を行った。

大都市(200万規模)と地方都市(10～30万規模)を対象にケーススタディを行った都市構造やライフスタイルの変革、新技術の導入を促す施策が含まれたCO₂削減目標設定型戦略パッケージ(実現に向けた工程表(ロードマップ))を導出するための枠組みを他の規模の都市について拡大した。

さらに、昨年度実施した市区町村別自動車起源CO₂排出量推計結果を基に、2020年および2050年における全国の各市区町村(2000年現在の区分)における自動車CO₂排出量を乗用車を対象に推計するモデルを構築した。このモデルでは、都市郊外化や人口減少に伴う人口分布の低密化が乗用車保有率や走行距離に与える影響を表現しており、これらにはたらきかける交通施策や都市・地域構造変更策のマクロな検討を行うことが可能である。なお、日本全体の排出量に占める地域類型別の寄与や、交通手段の代替可能性を考えると、東京都市圏の小都市や郡部、中京都市圏の各地域、その他地方の大都市や中都市を対象とした交通需要面の対策の導入が重要なことが再確認された。

4. 考察

検討の結果、2020年時点での対策の実効性においては、ハイブリッド乗用車が最も有力な自動車技術の一つであるとの見通しが得られた。燃料電池車の普及に関しては、コストや燃料供給面に課題が残されており、2020年時点に効果が現れるほどの大量普及を見込むことは困難と考えられた。一方で、将来的に炭素を排出しない方法での水素生成が可能との見込みが得られれば、先行して燃料供給スタンドの整備を行うこともあり得る。その普及にかかるリードタイムを考慮するため、代替燃料スタンド最適整備戦略モデルの開発し、走行実態調査を踏まえてシミュレートした結果、従来に比べて大幅に少ない数のスタンドの設置で燃料供給を賄うことができることが示唆された。

これらの知見を踏まえて、2020年の交通部門の基準シナリオと対策シナリオ案を作成した。脱温暖化のために、乗用車のほとんどをハイブリッド車に軽乗用車のほとんどを電気自動車に切り替える必要があり、そのためには、生産設備の急速な拡充が重要と考えられた。また、本部門の2020年の排出量を1990年レベルから大幅に減少させるためには、ここで想定した技術面の対策だけでは不十分であり、交通需要面も含めたさらなる対策が必要になると考えられた。乗用車の車格別の走行量と排出量を分析する枠組みを構築し、近年の走行量と排出量が横ばいから減少に転じていることを確認した。

2050年脱温暖化シナリオ策定に向けて、バックキャスティング手法を用いた交通ビジョン策定事例のレビューを行い、日本の2050年における社会・経済やライフスタイルの状況の想定が最も重要であると考えられた。その基礎資料を得るためにグループインタビュー形式で有識者ヒアリングを行い、シナリオを左右する要因を抽出した。これらの要因は、S-3全体との調整、地域特性を考慮したシナリオ作り、複数のシナリオ作りに役立てられる。

一方、交通需要面の対策の導入可能性を検討するために、大都市(200万規模)と地方都市(10～30万規模)をケーススタディ対象として行った、交通状況やCO₂排出量等の指標の整備と政策実施のフィージビリティに関する諸要因の整理を他の都市規模へと拡張した。なお、交通施策の実施にあたっては、地域特性によって施策の実施効果や実施可能性が異なることに留意が必要である。東京・大阪大都市圏の周辺都市、その他の大都市圏の中心部において削減余地が大きく、それら地域での集中実施が求められることが明らかとなった。また、地域類型別の一人当たり自動車CO₂排出量と類型別人口を元に、地域特性に応じた交通CO₂排出要因別の施策の組合せによる大幅削減の試算を行い、一定の目途が得られた。

5. 研究者略歴

課題代表者：森口祐一

1959年生まれ、京都大学工学部卒業、博士(工学)、現在、独立行政法人国立環境研究所

循環型社会形成推進・廃棄物研究センター長

主要参画研究者

(1) : 森口祐一 (同上)

八木田浩史

1960年生まれ、東京大学大学院工学系研究科博士課程修了、工学博士、
現在、独立行政法人産業技術総合研究所ライフサイクルアセスメント研究センターエネルギー評価研究チーム長

工藤祐揮

1972年生まれ、東京大学大学院工学系研究科博士課程修了、博士(工学)、
現在、独立行政法人産業技術総合研究所ライフサイクルアセスメント研究センターエネルギー評価研究チーム研究員

石田東生

1951年生まれ、東京大学工学部土木工学科卒業、工学博士、
現在、筑波大学大学院システム情報工学研究科教授

岡本直久

1966年生まれ、東京工業大学工学部土木工学科卒業、博士(工学)、
現在、筑波大学大学院システム情報工学研究科助教授

堤盛人

1968年生まれ、東京大学工学部土木工学科卒業、博士(工学)、
現在、筑波大学大学院システム情報工学研究科 助教授

大聖泰弘

1946年生まれ、早稲田大学大学院理工学研究科博士課程修了、現在、早稲田大学理工学術院 教授

(2) : 松橋啓介

1971年生まれ、東京大学大学院工学系研究科修士課程卒業、博士(工学)、
現在、独立行政法人国立環境研究所PM2.5・DEP研究プロジェクト交通公害防止研究チーム主任研究員

加藤博和

1970年生まれ、名古屋大学大学院工学研究科博士後期課程修了、博士(工学)、
現在、名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻助教授

6 . 成果発表状況 (本研究課題に係る論文発表状況。査読のあるものに限る。投稿中は除く。)

Moriguchi, Y., H. Kato: European J. Transport and Infrastructure Research, 4(1), 121-145, 2004.

"EST case studies and perspectives in Japan"

松橋啓介, 工藤祐揮, 上岡直見, 森口祐一: 環境システム研究論文集, 32, 235-242, (2004)

「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」

松橋啓介, 都市計画論文集, 39(3), 331-336(2004)

「大規模市民参加型まちづくりワークショップの事例報告 - 西オーストラリア州パース都市圏におけるフォーラム『都市との対話』の取り組み -」

Kudoh Y., Kondo Y., Matsushashi K., Kobayashi S., Moriguchi Y., Applied Energy, 79/3, 291-308(2004)

" Current status of actual fuel-consumptions of petrol-fuelled passenger vehicles in Japan "

Yuki Kudoh, Takahiko Hasegawa, Yoshinori Kondo, Keisuke Matsushashi, Yuichi Moriguchi, Yoshikuni Yoshida, Ryuji Matsushashi and Hisashi Ishitani, Proceedings of the 21st Worldwide Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exhibition, Monte Carlo, Monaco, April 2nd-6th, 2005.

"Environmental Impacts of Introducing FCEVs and BEVs within Road Traffic System of Tokyo"

工藤祐揮, 松橋啓介, 森口祐一, 近藤美則, 小林伸治, 土木学会論文集, 793/IV-68, 41-48, (2005)

「ガソリン乗用車の実燃費マクロ推計式の構築」

久保則夫, 大聖泰弘他「固体高分子形燃料電池における輸送現象に関する基礎研究(第2報) - ガス流れ方向およびGDLの拡散性がセル性能におよぼす影響に関する諸検討 - 」, 自動車術会論文集, Vol.36, No.5, 2005年9月

久保則夫，大聖泰弘他「固体高分子形燃料電池における輸送現象に関する基礎研究(第 3 報) - 低加湿運転時の分極特性に関する諸検討 - 」，自動車術会論文集，Vol.36，No.5，2005 年9月

H.Kato, Y.Hayashi, K.Jimbo: Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.6, pp.3241-3249, 2005.

“A framework for benchmarking environmental sustainability of transport in Asian mega-cities”