

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：15101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760414

研究課題名(和文) ソーシャルネットワークを活用した長期自動車排出ガス管理施策

研究課題名(英文) Dynamic management system of car CO2 emission using social network

研究代表者

桑野 将司 (KUWANO, Masashi)

鳥取大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70432680

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、自動車の購入から利用、買い替えや廃車の決定に至るまでの一連の自動車保有・利用行動を表現できる世帯行動モデルを構築した。さらに構築した世帯行動モデルをサブモデルとして組み込んだCO₂管理施策立案モデルを定式化することによって、施策目標を達成可能、かつ総施策実施費用が最小、すなわち最適な施策シナリオを、バックカスティング・アプローチに基づいて導出する分析システムを開発した。

研究成果の概要(英文)：Effective politics are required to reduce the car CO₂ emission. This study purpose is to develop the dynamic approach for CO₂ management policies including the investment, timing and its amount choice of available policy measure, in order to meet the reduction target under the policy-cost minimization standard. Our analysis is organized as follows. This study develops integrated model that simultaneously analyze vehicle purchase, vehicle use, and duration of vehicle ownership behavior. The models are used as the sample generator of the target area. The optimization problem which designs the dynamic policy type and amount is formulated with the constrained condition about the reduction target, for the cost minimization of policy implementation. Through empirical application of the proposed model system, the effectiveness of the simulation system is clarified.

研究分野：土木計画学・交通工学

科研費の分科・細目：交通計画

キーワード：バックカスティング 自動車保有利用行動 低公害車普及 動的計画法 集団意思決定

1. 研究開始当初の背景

地球環境問題への対策として、自家用車からのCO₂やNO_x等の排出量削減のために、自動車利用の抑制や電気自動車などの低公害車への転換が推進されている。需要密度が低い地方都市で、公共交通機関の持続的成立が困難なことをふまえると、現実的には環境負荷の小さい低公害車への転換が必要であろう。特に、電気自動車は走行時に二酸化炭素を排出しないこと、および出力面ではガソリンを燃料とする軽自動車に劣らない走行性能を有していることなどから、その普及による排出ガス削減効果が期待されている。しかし、現在販売されている電気自動車は、ガソリン自動車やハイブリッド自動車と比較して、航続距離が短い、車両価格が高いなど、普及に関する課題は多い。

電気自動車の普及によるCO₂排出削減効果を予測するためには、長期的な普及予測手法が必要である。このための計画立案手法として、既往研究ではフォアキャスティング・アプローチが用いられてきた。この方法は、温室効果ガス削減施策を例にとると、分析者が予め施策シナリオを設定し、それを施行した場合の電気自動車の普及台数を予測する方法である。最適な施策オプションは用意した複数のシナリオから、政策目標の達成可能性や費用効率性に配慮して選ばれる。しかし、通常のフォアキャスティング・アプローチでは、途中の施策実施シナリオを明示的に考慮していない場合が多い。また実際には、複数の施策手段間に補完性や代替性が存在するため、施策の効果がその実施順序に左右されるという動的性質を有している場合がほとんどである。そこで、近年では、バックキャスティング・アプローチに基づく施策の検討が着目されている。バックキャスティング・アプローチとは、削減目標を確実に達成可能かつ最適な施策シナリオを、将来の目標時点から現在に向かって逆向きに導出する方法である。

2. 研究の目的

本研究では、自動車からのCO₂排出削減目標量のもとで、目標を達成するための具体的な方策や対策について、バックキャスティング・アプローチを動的最適化問題として定式化し、施策の実施時期や期間、施策の程度を検討できる長期CO₂管理システムの開発を目的とする。

3. 研究の方法

(1) 自動車保有・利用行動モデルの構築

世帯の自動車保有・利用行動は、どのような車を保有し(購入段階)、その車をどのように利用し(走行段階)、いつ廃車・売却するか(維持段階)の3段階に分類できる。これら3つの段階は、互いに密接に関連し合い、ある行動変化が他の行動変化を引き起こす可能性がある。

本研究では、「購入段階」、「維持段階」、および「走行段階」を、それぞれを車種選択、自動車走行距離、および買い替え・廃棄車齢と対応させて、各段階における世帯行動を記述できるモデル構築を行う。そして、構築したモデルを統合し、購入から廃車・売却に至るまで一連の行動を総合的に分析できる統合型自動車保有・利用行動モデルを開発する。さらに、開発した統合型モデルを用いて、施策実施による世帯の自動車保有・利用行動の変化が、地域全体の自動車販売シェアや保有シェアに及ぼす影響、およびCO₂排出量に及ぼす影響を明らかにする。

(2) 最適なCO₂管理施策の導出

構築した統合型自動車保有・利用行動モデルをサブモデルとして組み込んだ、CO₂管理施策立案モデルを、バックキャスティング・アプローチとして定式化し、その解を求めることによって、全世界帯が保有する自動車からのCO₂排出量を、2020年に1990年比で25%削減可能、かつ総施策実施費用が最小となる施策シナリオを導出する方法論を提案する。

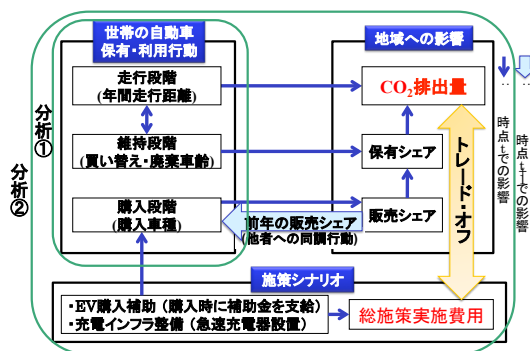


図1 研究のフレームワーク

4. 研究成果

(1) 世帯の自動車購入段階の分析

自動車保有・利用行動における「購入段階」では、世帯の車種選択行動に着目し、効用最大化理論に基づく離散選択モデルを用いた行動分析を行った。ここで、環境負荷削減のための施策として、電気自動車に着目し、世帯の車種選択行動メカニズムを分析するとともに、電気自動車の普及要因を実証分析によって明らかにした。

マーケティング分野において、電気自動車のような消費者になじみが薄い商品を普及させるためには、まずその商品の性能等の情報を認知させ、消費者の興味を刺激し、商品を購入したいという欲望を生み出し、購入時の選択肢の1つとして考慮させる必要があるとされている。また、新製品に関する情報収集の動機や興味、欲望生成には、流行や口コミなど他者の行動や評価が強く影響を及ぼすことが知られている。ロジャーズは、電気自動車を始めとする新技術の社会への普及プロセスは、採用者と追従者との間でおこる直接

的な情報交換による同調効果に加えて、世論や政策を通じて追従者に影響を及ぼす間接的な社会的同調効果の影響が強いと考察している。さらに、新製品購入者の中でも他者からの影響の受けやすさや、財の選好特性が異なる消費者が存在することも指摘されている。新製品の購入に関するこれらの特徴は、選択肢集合形成段階の存在、社会的同調効果、および潜在的異質性と呼ばれる選択特性にそれぞれ対応しており、これらを無視したモデルを推定すると、パラメータ推定値にバイアスが生じる可能性がある。

そこで、本研究ではマーケティング分野での新製品普及プロセスに関する概念を参考に、電気自動車の購入に至るまでのプロセスを、電気自動車を選択肢集合に含めるか否かを決定する選択肢集合形成段階、その選択肢集合の中から最も望ましい選択肢を選ぶ車種選択段階の2段階に別けモデル構築を行った。そして、選択肢集合形成段階と車種選択段階の各段階で、他者の行動結果が個人の選好に及ぼす社会的同調効果の影響を考慮した。さらに、他者への同調行動の程度や選好特性が個人間で異なる異質性を明示的に分析可能なモデル構築を行った。

異なる条件のもとで、ガソリン自動車、ハイブリッド自動車、電気自動車のうち最も購入したい自動車を質問した選好意識調査データを用いて、構築したモデル推定を行った。推定結果より、選択肢集合形成段階と車種選択段階の両方において、社会全体での普及率が高くなれば、個人の選択確率も高くなるという、社会的同調行動の存在が明らかとなった。さらに、選好が異なる複数の消費者群の特性を把握することができた。これらの結果は、普及の初期段階で、強力な普及促進を行うことによって、一部の消費者に電気自動車保有を促せば、その後は社会的同調行動によって、普及率を高位均衡点にまで上昇させられることを示唆している。すなわち、大多数の個人を対象とするのではなく、購入可能性が高い層を適切に捉えることによって、効率的な施策検討が可能となる。また、電気自動車普及に関するシミュレーション結果から、車両価格の減少などの経済的施策と同等以上の効果が、自動車利用自粛運動への参加やエコドライブの促進などによる環境意識の向上によっても得られることが明らかとなった。

(2) 世帯の自動車走行段階と維持段階の分析

自動車保有・利用行動における「走行段階」と「維持段階」の分析には、それらを構成する日々の行動要素の時間的な集計結果として観測される年間走行距離と買い替え・廃棄車齢に着目し分析を行った。

各種政策の実施による自動車の走行費用と維持費用の変化を考えると、これら費用の変化は走行距離と買い替え・廃車時期のそれぞれに直接影響を及ぼすものと考えられる。さらに、走行費用の影響を受けた走行距離の変

化が買い替え・廃棄時期に及ぼす影響と、維持費用の影響を受けた買い替え・廃棄時期が走行距離に及ぼす影響の双方向の因果関係が存在する。世帯はこのような双方向の因果関係を同時に配慮して自動車の保有・利用に関する意思決定を行うと考えられる。しかし、既往研究における買い替え・廃車車齢を目的変数、走行距離を説明変数としたモデルでは、買い替え・廃車車齢と走行距離の因果関係を単方向に固定しており、走行距離と買い替え・廃車車齢の相互依存性を取り扱うことができない。

本研究では、走行距離と買い替え・廃棄時期の因果関係を仮定せずに、それらの相互依存性を考慮するために年間走行距離と買い替え・廃棄車齢の同時決定モデルを構築した。分析に際して、年間走行距離と買い替え・廃棄車齢の周辺分布に生存時間モデルを適用し、変量間の相互依存性をコピュラ関数によって表現した。

保有している自動車属性や利用実態を質問したアンケート調査データを用いた実証分析の結果、年間走行距離と買い替え・廃棄車齢の相互依存性を表現するコピュラ・パラメータが負で有意な値となった。すなわち、年間走行距離と買い替え・廃棄車齢の間には弱い負の相関が存在することが明らかとなった。これは買い替え・廃棄車齢が長い自動車は年間走行距離が短く、買い替え・廃棄車齢が短い自動車は年間走行距離が長い傾向を示す結果であり、自動車の耐久性を考慮すると合理的な結果である。

得られたモデル推定結果を用いて、自動車関連税制の変更や石油価格の変化による走行費用、および維持費用の増加を想定し、モデルの感度分析を行った。分析の結果、自動車排出ガス削減のための施策として、走行距離削減の観点からは、年間総走行距離削減に直接影響する走行費用の増加が有効であることがわかった。また、自動車保有行動と利用行動の相互依存性に着目することにより、走行費用の変化が世帯の自動車保有行動に及ぼす影響、および保有費用の変化が自動車利用行動に及ぼす影響を同時に把握することができた。

(3) 統合型モデルの構築

「購入段階」の車種選択モデル、「走行段階」と「維持段階」の年間走行距離と買い替え・廃棄車齢の同時決定モデルを統合して、世帯による自動車の購入から利用、買い替え・廃棄に至るまでの一連の自動車保有・利用行動を総合的に取り扱うことができる統合型モデルシステムを構築した。同モデルでは、車種選択モデルから算出される車種選択による期待効用を、年間走行距離と買い替え・廃棄車齢の同時決定モデルの共変量として導入することにより、過去の自動車利用が「購入段階」の車種選択選好に及ぼす影響と、自動車市場の変化や自動車取得に関する税制改定等の

「購入段階」の変化が「利用段階」と「維持段階」に及ぼす影響を同時に分析することができる。

アンケート調査結果を用いたモデル推計を行った後、購入費用、走行費用、維持費用の変化を想定し、世帯行動のシミュレーション分析を行った。そして、施策実施による世帯の自動車保有・利用行動の変化や、自動車販売シェア、保有シェア、CO₂排出量の変化を定量的に明らかにし、提案モデルが自動車保有・利用行動分析を行う上で有効な分析ツールであることを検証した。

(4) CO₂管理施策設計問題の定式化

バックキャスト・アプローチの考え方を応用して、ハイブリッド自動車や電気自動車などの低公害車の普及による長期 CO₂管理システムの開発を行った。具体的には、CO₂管理施策立案モデルを動学的最適化問題として定式化し、施策目標を確実に達成可能、かつ総施策実施費用が最小な施策シナリオを導出するシステムを開発した。

動学的最適化問題を解く主な手法としては動的計画法がある。しかし、動的計画法の代表的な例である資源配分問題の制約条件は、各段に配分する資源量を設計変数として、総資源量を制約条件とする。すなわち、全段を通じた資源量が制約条件となる。一方、CO₂管理施策設計問題では、最終時点の CO₂排出量のみが制約条件となる。ここで、各時点それぞれの CO₂排出量に制約条件を設けることは可能であるが、その場合、電気自動車の普及に関するインフラ整備や社会的同調効果などの状態依存効果、すなわち施策実施時点以降の将来にわたって、先決した施策が後時点の普及率に影響するという、本問題の特性が表現できず、長期の施策を検討する意義が失われてしまう。そのため、各時点に CO₂排出量制約を設けた定式化は不適切と考えられる。

また、資源配分問題では、各段に配分した資源量からその段での利得が直接得られる。しかし、CO₂管理施策設計問題においては、各時点での CO₂削減必要量を設計変数とした場合、施策実施費用と CO₂排出量の間には、世帯の車種選択、販売シェア、保有シェアが介在する。それらの逆関数演算は複雑なため、ある時点の CO₂削減必要量から直ちにその時点での施策実施費用を算出することは容易ではない。

以上より本研究では、CO₂管理施策設計問題を、動的計画法の枠組みで定式化可能な組み合わせ最適化問題として定式化し、最終時点の CO₂排出量のみ制約条件とした。ただし、設定した問題の最適解の導出を解析的に行うことは容易でないため、本問題の性質を踏まえて、解法として遺伝的アルゴリズムを適用して最適解を求める方法論を開発した。

(5) 低公害車普及による最適な CO₂管理施策
本研究では、中国地方の世帯属性の分布を再現した約 400 万台（中国地方の保有自家用乗用車数）に対して、CO₂管理施策設計問題を上述の遺伝的アルゴリズムを用いて解き、中国地方での低公害車普及による最適な CO₂管理施策の導出を行った。ここで、施策目標値は、2020 年の CO₂削減目標を 1990 年比 25%削減と設定した。2010 年の国内全ての自家用乗用車からの CO₂排出量の 1990 年比増加率 43.2%を基準とすると、1990 年比の削減目標は、2010 年比に換算すると、47.6%に相当する。したがって、2020 年の CO₂排出量は 2010 年比 47.6%削減を制約条件としてモデルに施した。目標達成に用いる施策の種類は、電気自動車の 1 台当たりの購入補助金、および急速充電器新規設置数の 2 種類とした。また、2010 年から 2020 年までを想定期間とし、1 年間を 1 時点として、各時点での世帯の自動車年間走行距離、および世帯の自動車買い替え時期（買い替えスケジュール）、そして買い替えの際の車種選択行動は、統合型モデルのパラメータ推計結果を用いてシミュレーションした。

提案した長期 CO₂管理システムによる分析の結果、削減目標量を達成可能、かつ総施策実施費用が最小となる時点別の電気自動車補助金額、および急速充電器の新規設置数を得ることができた。導出された施策では、電気自動車 1 台当たりの購入補助金額は、エコカー補助金制度で設定されていた補助金額よりも小さい金額となった。また、経済産業省が提示している「次世代自動車戦略」では、2020 年の急速充電器累積設置台数の目標値を全国で 5000 台としているが、本シミュレーション分析の結果からは、現在の充電インフラ整備に対する投資方法では、自家用乗用車部門での CO₂削減目標を達成できない可能性があることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 4 件）

- ① Masashi Kuwano, Akimasa Fujiwara, Junyi Zhang, and Makoto Tsukai, Taxation policies for promoting fuel-efficient vehicle ownership and use, In A. Fujiwara & J. Zhang (Eds.), Sustainable Transport Studies in Asia, 査読有, 2013, 192-210
- ② Masashi Kuwano, Makoto Tsukai, and Tsukasa Matsubara, The influence of social conformity in promoting electric vehicle sales, In M. J. Roorda & E. J. Miller (Eds.), Travel Behaviour Research: Current Foundations, Future Prospects, Toronto: Lulu Press, 査読有, 2013, 369-388

- ③ 桑野将司, 塚井誠人, 岩本真由子, 低公害車普及による長期 CO2 管理システムの開発, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 査読有, Vol. 69, No. 5, 2013, I_479-I_488
- ④ 松原司, 桑野将司, 塚井誠人, 選別・選択段階における他者への同調効果を考慮した電気自動車普及要因に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 査読有, Vol. 68, No. 5 (土木計画学研究・論文集第 29 巻), 2012, I_691-I_699

[学会発表] (計 3 件)

- ① Makoto Chikaraishi, Akimasa Fujiwara, Masashi Kuwano, and Junyi Zhang, Functionings enhanced by social networks in elder's activity participations: The capability approach, Paper presented at the 92st Annual Meeting of the Transportation Research Board, 査読有, 2013. 1. 16, DVD-ROM
- ② Masashi Kuwano, Akimasa Fujiwara, Junyi Zhang, and Makoto Tsukai, Analysis of household vehicle usage and ownership under different taxation policies, Paper presented at the 92st Annual Meeting of the Transportation Research Board, 査読有, 2013. 1. 15, DVD-ROM
- ③ Masashi Kuwano, Makoto Tsukai, and Tsukasa Matsubara, Analysis on promoting factors of electric vehicles with social conformity, Proceedings of 13th International Conference on Travel Behaviour Research, 査読有, 2012. 7. 16, DVD-ROM

6. 研究組織

(1) 研究代表者

桑野 将司 (KUWANO, Masashi)
鳥取大学・工学研究科・准教授
研究者番号：7 0 4 3 2 6 8 0