

低公害車普及による 長期CO2管理システムの開発

岩本 真由子¹・桑野 将司²・塚井 誠人³

¹正会員 西日本旅客鉄道 (〒530-0012 大阪市北区芝田2-4-24)

E-mail: mayuko-iwamoto@westjr.co.jp

²正会員 神戸大学大学院助教 工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

E-mail: kuwano@port.kobe.ac.jp

³正会員 広島大学大学院准教授 工学研究科 (〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1)

Email: mtukai@hiroshima-u.ac.jp

本研究では、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、バックキャスト・アプローチに基づいて、中国地方を対象とするCO₂管理施策立案モデルを定式化することによって導出するシステムを開発した。従来のフォアキャスト・アプローチでは、最適な施策が必ずしも得られるとは限らなかった。しかし、本研究では、施策目標「中国地方の全自家用乗用車からの2020年のCO₂排出量を1990年比25%削減」を達成可能、かつ、総施策実施費用が最小となる時点別のEV購入補助金額、および急速充電器の設置数を得ることができた。また、充電インフラの整備に対する支出額の割合がEV購入補助に対する支出額の割合よりも大きく、現在の車両に対する補助金政策が十分でない可能性を明らかにした。

Key Words : household car ownership and use, backcasting, GA

1. はじめに

本研究では、低公害車の普及による長期CO₂管理システムの開発を目的とする。具体的には、中国地方の全世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提示する。本研究で開発するシステムは2段階で構成される。第1段階では、世帯の自動車保有・利用行動を明らかにするために、世帯の自動車「購入段階」、「維持段階」、および「走行段階」から成る自動車保有・利用行動を表現するモデルを構築する。そして、構築したモデルを用いて、施策実施による世帯の自動車保有・利用行動の変化が、中国地方全体の自動車販売シェア、車種保有シェア、CO₂排出量に及ぼす影響を分析する。第2段階では、先に構築したモデルをサブモデルとして組み込んだ、動的なCO₂管理施策立案モデルを提案する。このモデルは、削減目標達成可能で、かつ総施策実施費用が最小な施策シナリオを、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バックキャスト・アプローチ¹⁾として定式化したモデルであり、最適解は遺伝的アルゴリズムによって算出する。本研究の枠組みを図-1に示す。

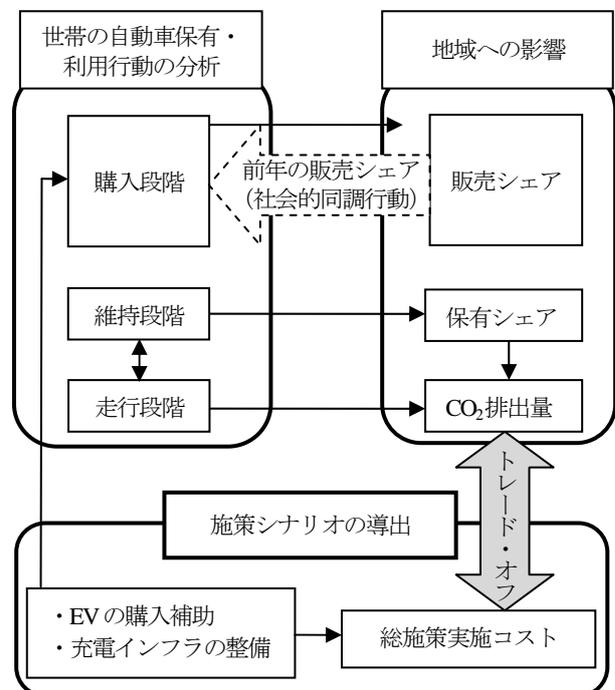


図-1 本研究の枠組み

2. 使用データの概要

本研究では、中国地方の5県を対象地域とした2つの調

査結果に基づいて分析を行う。まず、2006年に実施した世帯の自動車保有・利用に関する調査（以下、2006年調査）に基づいて、世帯の自動車「維持段階」、および「走行段階」の分析を行う。次に、2006年調査の質問項目に、将来の購入車種に関する質問項目を加えて2010年に実施した調査（以下、2010年調査）に基づいて、「購入段階」の分析を行う。両調査の概要を表-1に示す。本研究では、「維持段階」、および「走行段階」の分析を、2010年調査の結果ではなく、2006年調査の結果に基づいて行う。これは、各調査で回答が得られたそれぞれの全自動車に対する買い替え・廃棄時点が観測されている（過去の保有）自動車の割合が、2010年調査の方が2006年調査よりも高く、第3章で構築する「維持段階」および「走行段階」を分析するモデルの推定が容易なためである。なお、本研究では、両調査の形式がほぼ同一で調査間隔も短いため、世帯の自動車保有・利用行動に影響を及ぼす要因は、両調査間で同一と仮定して分析を行う。

表-1 調査の概要

調査期間	2006/10/12~2006/10/18	2010/1/29~2010/2/3
調査対象世帯	・世帯人数2-4人 ・自動車保有台数1-2台	・世帯人数1-6人 ・自動車保有台数1台以上
調査対象地域	中国地方各県（鳥取県、島根県、岡山県、広島県、山口県）	2006年調査と同じ
調査方法	Web調査	2006年調査と同じ
サンプル数	・回収数：500世帯 ・有効数：415世帯	・回収数：1001世帯 ・有効数：903世帯
質問項目	・世帯属性：年齢、年収など ・世帯構成員属性：性別、年齢、職業、免許の有無など ・現在保有している自動車（最大2台）、過去10年間で保有した自動車（最大4台）の属性：メーカー名、排気量など ・世帯イベント：結婚、出産などの発生年	・世帯属性、世帯構成員属性、自動車属性：2006年の調査と同じ質問項目 ・現在保有している自動車（1台）、過去10年間で保有した自動車（1台）の属性：メーカー名、排気量など ・将来の購入車種：SPカードに示すGV、HV、EVのうち最も購入したい車種

3. 世帯の自動車保有・利用行動の分析

(1)世帯の自動車購入段階の分析

本研究では、保有自動車の買い替えによって世帯が新たに自動車を購入する際の選択車種について、ロジットモデルを適用して分析を行う。車種の選択肢 j は、ガソリン自動車 (GV)、ハイブリッド自動車 (HV)、電気自動車 (EV) の3車種 ($j = GV, HV, EV$) とする。世帯 i が車種 j を選択する確率 p_{ij} を式(1)、対数尤度関数 $LogL$ を式(2)に、それぞれ示す。

$$p_{ij} = \exp(V_{ij}) / \sum_j (\exp(V_{ij})) \quad (1)$$

$$LogL = \sum_i (\sum_j (\delta_{ij} \times \ln p_{ij})) \quad (2)$$

ここで、 V_{ij} は世帯 i の車種 j に関する効用の確定項、世帯 δ_{ij} は世帯 i が車種 j を選択する場合1、そうでない場合0となるダミー変数である。

提案モデルでは、他者の購入動向に自身の意思決定が部分的に左右される社会的相互作用を考慮する。具体的には、前年の新車販売台数のうち当該車種が占める割合（以下、前年の新車販売シェア）を社会的相互作用に関する代理変数として、効用関数に導入する。車種 j の効用関数を式(3)に示す。

$$V_{ij} = \beta x_{ij} + \gamma z_{ij} + \eta s_{ij} \quad (3)$$

ここで、 x_{ij} は車両特性に関する説明変数ベクトル、 z_{ij} は世帯・メインドライバー属性に関する説明変数ベクトル、 s_{ij} は前年の新車販売シェア、 β 、 γ 、 η は未知パラメータである。

2010年調査のSP調査結果を用いて、式(1)~式(3)で定式化したモデルの推定結果を表-2に示す。表-2より、急速充電器設置密度に関するパラメータ推定値が正で有意な値となった。これは、EVの急速充電器設置数の増加がEVの普及を促進する傾向にあることを示している。購入価格に関するパラメータ推定値は、負で有意となっており、期待された符合条件を満たしている。前年の新車販売シェアに着目すると、そのパラメータ推定値は正で有意となった。これは、前年の新車販売シェアが高い自動車の購入確率が高くなることを示しており、社会的同調行動が存在することが確認された。

(2)世帯の自動車維持段階と走行段階の分析

本節では、既往研究の多い単変量生存時間モデルを、多変量間の依存構造を表現可能なコピュラ関数²⁾を用いて多変量生存時間モデルへと展開し、維持段階、および走行段階の依存関係を考慮した買い替え車齢 $T(\xi)$ と年間走行距離 $D(\zeta)$ の同時決定モデルの定式化を行う。その際、異なる依存構造を表現可能な4種類のコピュラ関数を仮定し、最も当てはまりの良いコピュラ関数を選定する。

車齢 t において買い替え行動が生起しておらず、また年間走行距離 d で1年の自動車利用が終了しない確率を同時生存関数 S で表す、 t と d の同時分布関数を F とすれば、単変量生存関数は、それぞれ $S^T = F(t, -\infty)$ 、 $S^D = F(-\infty, d)$ である。さらに、同時確率密度関数を f とすると、 t と d に関する同時生存関数 S は、生存コピュラ関数 \hat{C} を用いて式(4)で表される。

表-2 世帯の車種選択モデル推定結果

説明変数	推定値	t値
自動車属性に関する説明変数		
購入価格(万円)(1,2,3) ^{b)}	-0.008	-7.476 **
走行費用(万円/km)(3) ^{b)}	-0.477	-2.066 *
急速充電器密度(箇所/km2)(3) ^{b)}	0.560	2.129 *
世帯属性に関する説明変数		
世帯年収(万円/年)(1,2) ^{b)}	0.001	4.052 **
メインドライバー属性に関する説明変数		
メインドライバーの性別(男性=1,女性=0)(1,2) ^{b)}	-1.132	-6.268 **
社会的相互作用に関する説明変数		
前年の販売シェア(%)(1,2,3) ^{b)}	0.015	10.983 **
定数項(2) ^{b)}	2.215	23.052 **
定数項(3) ^{b)}	1.855	3.376 **
サンプル数	3612	
初期対数尤度	-3968.188	
最終対数尤度	-3650.770	
自由度調整済み尤度比	0.080	

a)購入価格=車両価格-購入補助金額
 b)括弧内の1,2,3は説明変数が入力された選択肢を示す
 (1:GV,2:HV,3:EV)
 *:5%有意, **:1%有意

$$S(t, d) = \Pr[T > t, D > d] = \int_d^\infty \int_t^\infty f(\xi, \zeta) d\xi d\zeta \quad (4)$$

$$= \hat{C}(S^T(t), S^D(d))$$

生存コピュラ関数の密度関数を \hat{c} , $T(\xi)$, $D(\zeta)$ の確率密度関数を $f^T(t)$, $f^D(d)$ とすると, 式(4)の同時生存関数より, 式(5)を得る.

$$f(t, d) = \hat{c}(S^T(t), S^D(d)) \times f^T(t) \times f^D(d) \quad (5)$$

このとき対数尤度関数は, 式(6)で表される.

$$l(\alpha, \beta, \theta) = \sum_i \{ \ln \hat{c}((S^T(t_i); \alpha), (S^D(d_i); \beta); \theta) + \ln f^T(t_i; \alpha) + \ln f^D(d_i; \beta) \} \quad (6)$$

ここで, t_i , d_i はそれぞれ自動車 i の車齢と年間走行距離, α , β は未知パラメータベクトル, θ はコピュラに関するパラメータである.

2006年調査の結果を用いた買い替え車齢と年間走行距離の同時決定モデルについて, 4種類のコピュラ関数を仮定した推定した結果の最終対数尤度, およびBICを表-3に示す. 表-3より, クレイトン・コピュラを仮定した場合, 最終対数尤度が最大, BICは最小となつて, 最も当てはまりが良いモデルとなつた.

クレイトン・コピュラを仮定したときのモデル推定結果を表-4に示す. コピュラ関数のパラメータ推定値は, 正で絶対値が大きいほど, 買い替え車齢と年間走行距離の間で正の依存度合が高く, 負で絶対値が大きいほど負の依存度合が高い傾向を意味する. 表-4より, コピュラ関数のパラメータ推定値から, 買い替え車齢と年間走行距離の間には, 弱い負の依存関係が存在することが明らかとなつた.

表-3 最終対数尤度の比較

	最終対数尤度	BIC ¹⁾
ガンベル・コピュラ	-22629	4595.5
クレイトン・コピュラ	-22584	4586.4
フランク・コピュラ	-22597	4589.1
正規・コピュラ	-22601	4589.9

¹⁾: BIC (Bayesian Information Criterion): $\ln(Lc) - 0.5 * p * \ln(N)$

表-4 買い替え・廃棄車齢と年間走行距離の同時決定モデル推定結果

	推定値	t値
買い替え・廃棄車齢(年)に関する共変量		
尺度パラメータ	0.016	4.008 **
形状パラメータ	2.349	27.845 **
メインドライバーの年齢(歳)	0.019	3.668 **
メインドライバーの男性ダミー	-0.187	-1.957 +
世帯構成員人数(人)	0.188	3.965 **
年間走行距離(万 km/年)に関する共変量		
尺度パラメータ	0.680	6.836 **
形状パラメータ	1.893	43.741 **
メインドライバーの年齢(歳)	-1.334x10 ⁴	-0.040
メインドライバーの性別(男性=1, 女性=0)	0.247	3.860 **
世帯構成員人数(人)	-0.112	-3.362 **
コピュラ関数のパラメータ		
クレイトン・コピュラ (順位相関係数)	-0.119 (-0.063)	-5.141 **
サンプル数	1063	
最終対数尤度	-2258.376	
BIC	4586.441	

** : 1%有意, + : 10%有意

4. 低公害車普及による最適なCO₂管理施策の導出

(1)CO₂管理施策設計問題の定式化

本研究では, 「2020年に中国地方が保有する自家用乗用車からのCO₂排出量の1990年比25%削減」を施策目標(制約条件)として設定し, 目標が達成可能で, かつ施策の実施に要する総費用が最小となる各時点の施策実施規模の組み合わせ(施策シナリオ)を, 1年間を1時点として, 動学的最適化問題を解くことによって導出する. ただし, 目標を達成するために用いる施策の種類として, 各時点におけるEV1台当たりの購入補助金額, および急速充電器新規設置数の2種類を取り扱う. また, CO₂排出量削減想定期間は, 2011年から2020年までの10年間とする.

目的関数と制約条件を, それぞれ式(7), 式(8)に示す.

$$\min_{c_1, I_2} [(\rho \otimes c)' \cdot I] \quad (7)$$

$$s.t. \quad CO_{2T} \leq (1 - 0.25) \times CO_{2B} \quad (8)$$

ここで, \otimes は行列の要素積, ρ は将来の施策実施費用を現在の価値に換算するための割引率ベクトル, c は施策1単位当たりの実施費用ベクトル, I は施策に関する数量ベクトル, CO_{2B} と CO_{2T} はそれぞれ基準時点

(1990年)と目標年(2020年)のCO2排出量である。ただし \mathbf{p} , \mathbf{I} の各要素は, 時点を表している。

本研究では, EV 購入補助金額と急速充電器新規設置数の2施策を扱うため, \mathbf{p} と \mathbf{c} の要素数は施策実施期間を T とすると, $2T$ である。施設実施費用ベクトル \mathbf{c} は次式で与える。

$$\mathbf{c} = (\mathbf{c}_1, \mathbf{c}_2)' \quad (9)$$

$$\mathbf{c}_1 = (c_{1,1}, \dots, c_{1,t}, \dots, c_{1,T})' \quad (10)$$

$$\mathbf{c}_2 = (c_{2,1}, \dots, c_{2,t}, \dots, c_{2,T})' \quad (11)$$

ここで, \mathbf{c}_1 はEV1台当たりの購入補助金額ベクトル, \mathbf{c}_2 は急速充電器1台当たりの設置費用である。なお, 本研究では, 急速充電器1台の設置費用は, 充電器本体の価格と工事費用をあわせて1,000万円と設定した。次に, 施策に関する数量ベクトル \mathbf{I} は, 式(12)~(14)で定義する。

$$\mathbf{I} = (\mathbf{I}_1, \mathbf{I}_2)' \quad (12)$$

$$\mathbf{I}_1 = (I_{1,1}, \dots, I_{1,t}, \dots, I_{1,T}) \quad (13)$$

$$\mathbf{I}_2 = (I_{2,1}, \dots, I_{2,t}, \dots, I_{2,T}) \quad (14)$$

ここで, \mathbf{I}_1 はEV販売台数ベクトル, \mathbf{I}_2 は急速充電器新規設置台数ベクトルである。

\mathbf{I}_1 の要素である時点 t でのEV販売台数 $I_{1,t}$ は, 時点 t での年間自動車台数によって, 式(16)~(20)で表わす。

$$I_{1,t} = A_t \times P_{EV,t} = \sum_i p_{i,EV,t} \quad (\text{ただし, } i \in A_t) \quad (16)$$

$$N_t = N_{t-1} + A_t - D_t \quad (\text{ただし, } N_t = \text{const}, A_t = D_t) \quad (17)$$

$$P_{i,EV,t} = P_{i,EV,t}(V_{i,EV,t}) \quad (18)$$

$$V_{i,EV,t} = V_{i,EV,t}(c_{1,t}, P_{EV,t-1}, ST_t, \boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{x}_{i,t}) \quad (19)$$

$$ST_t = ST_{t-1} \times (1 - w_t) + I_{2,t} \quad (\text{ただし, } ST_0 = 0) \quad (20)$$

ここで, A_t は年間購入自動車の台数(自動車販売台数), D_t は年間廃棄自動車台数, N_t は時点 t の中国地方の自家用乗用車保有台数, $P_{j,t}$ は車種 j の新車販売シェア, $p_{i,j,t}$ は自動車 i が車種 j に買い替えられる確率, $V_{i,j,t}$ は自動車 i を保有している世帯の車種 j に関する効用の確定項, ST_t は急速充電器累積設置台数, $\boldsymbol{\beta}$ はパラメータベクトル, $\mathbf{x}_{i,t}$ は説明変数ベクトル, w_t は急速充電器の年間故障率である。さらに, 急速充電器の年間故障率 w_t は, 基準生存関数は指数分布に従うと仮定すると, w_t は, 式(21)で表される。

$$\begin{aligned} w_t &= S(t-1) - S(t) \\ &= \exp\{-\lambda \times (t-1)\} - \exp(-\lambda \times t) \\ &= 1 - \exp(-1/T_c) = w \end{aligned} \quad (21)$$

ここで, T_c は急速充電器の耐用年数の期待値である。なお, 本シミュレーションでは, 中国地方が保有する全

自家用乗用車台数 N_t は時点により変化しない, すなわち世帯は保有台数の削減あるいは追加購入は行わず, 買い替えのみを行うと仮定する。また, 2011年以降の購入自動車は全て新車とする。

自動車 i の時点 t の年間走行距離 $\hat{d}_{i,t}$, 買い替えられる期間 \hat{t}_i は, それぞれ式(22), 式(23)で推定する。さらに, 時点 t 以前の最近の買い替え時点 $\tilde{t}(i)$ は式(24)で定義する。

$$\left[\int_0^\infty (1 - F_{i,t}(\tau, d)) dd \right]^{-1} = IS_{i,t}(r) = \hat{d}_{i,t} \quad (22)$$

$$\left[\int_0^\infty (1 - F_{i,t}(\tau, d)) d\tau \right]^{-1} = IS_{i,t}(r) = \hat{t}_i^n \quad (\text{ただし, } r = r[0,1]) \quad (23)$$

$$\tilde{t}^n(i, t) = \tilde{t}^{n-1}(i, t) + \hat{t}_i^n \quad (\text{ただし, } n \geq 1, \tilde{t}^0 = 0, \tilde{t}^n \leq t \leq \tilde{t}^{n+1}) \quad (24)$$

ここで, $F_{i,t}$ は期間 τ と年間走行距離 d に関する同時分布関数, n は買い替え回数である。なお, \hat{t}_i^n は, 自動車の買い替えが起こる時点, すなわち $\tilde{t}^n(i, t) = t$ となる時点のみで評価する。式(22)~式(24)で決定した, 自動車 i の買い替えスケジュールの例を図-2に示す。なお, 初期時点である, 2010年の自動車 i の車種 j , および, 年式, 中古車と新車の別は既知とする。また, 自動車の買い替えは, 年度期首に起こると考える。

また, 時点 t での車種 j の保有シェアは式(25)で表される。

$$P_{j,t} = (\sum_{i \in A_t} p_{i,j,t} + \sum_{i \in (N_t/A_t)} p_j(\tilde{t}(i, t))) / N_t \quad (25)$$

図-2より最終年次である2020年のCO2排出量 $CO2_{i,T}$ は, 式(26)で表される。

$$CO2_{i,T} = \begin{cases} \hat{d}_{i,T} \sum_j (k_j p_{i,j,T}) & (i \in A_T) \\ \hat{d}_{i,T} \sum_j (k_j p_j(\tilde{t}^*(i))) & (i \in N_T \text{かつ } i \notin A_T) \end{cases} \quad (26)$$

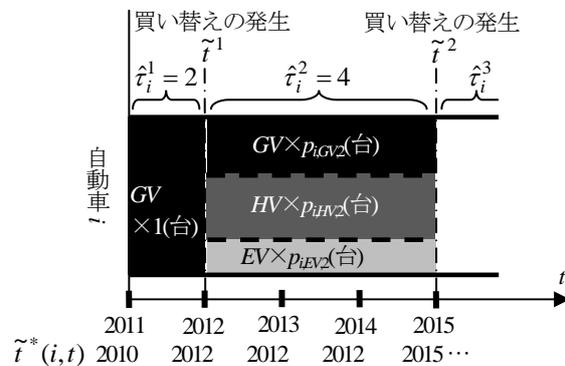


図-2 自動車 i の買い替えスケジュールと保有台数の算出 (自動車 i の車種 $j=GV$ が, 2012年と2015年に買い替えられる場合)

ここで、 k_j は車種 j の排出係数、 $\tilde{r}^*(i)$ は最終年次である2020年時点直近の買い替え時点である。

(2) 遺伝的アルゴリズムの適用

動学的最適化問題を解く主な手法としては、変分法、最適制御理論、および動的計画法³⁾ (dynamic programming, 以下 DP) が存在する。しかし、DPの代表的な例である資源配分問題は、各時点に配分する資源量を設計変数としており、その制約条件は総資源量、すなわち全時点を通じて設定される。一方、CO₂管理施策設計問題では、最終時点のCO₂排出量のみ制約条件が設定される。これは、CO₂管理施策設計問題では、フローとして排出される年間CO₂自体が非平衡な環境系の中で複雑な相互作用を経て、たとえば、同じく状態(フロー)の変数である年間平均気温や年間平均海水面に影響すると考えられるためである。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、EV普及に関する状態依存効果(インフラ整備や社会的相互作用など)、すなわち施策実施時点以降の将来にわたって、先決した施策が後段のEV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。以上より、各時点にCO₂排出量制約を設ける定式化は、本分析には馴染まない。

また、資源配分問題では、各時点に配分した資源量から、その時点内で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、CO₂管理施策設計問題の最適解を、DPの枠組みで定式化可能な組み合わせ最適化問題の解として解析的に導出を行うことは容易ではないと考えられる。そこで解法として、遺伝的アルゴリズム⁴⁾ (genetic algorithm, 以下GA) を適用する。

(3) 低公害車の普及による最適な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、式(7)、式(8)のCO₂管理施策設計問題を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う。分析に際して、第3章で構築した車種選択モデル、および買い替え車齢と年間走行距離の同時決定モデルに用いる世帯属性およびメインドライバー属性については、統計データを用いて、中国地方全体の分布を算出し、乱数によって1000サンプル

ル分を発生させることとする。ただし、サンプルの発生によるばらつきを抑えるため、サンプルの生成を10回行い、それぞれのサンプルセットに対して最適施策を導出することで、解のロバスト性を確保することとした。

導出された施策シナリオに沿った各年のCO₂排出量を、図-3に示す。本研究では、バックキャスティング・アプローチを適用した動学的最適化問題を定式化したことによって、10回全てのサンプルセットにおいて2020年において目標を達成できており、制約条件を満たす解が得られていることが確認できる。また、10回のサンプルセットごとに最適な施策が少し異なるが、安定した解が得られていることがわかる。したがって、以下、導出した解の平均値に着目する。

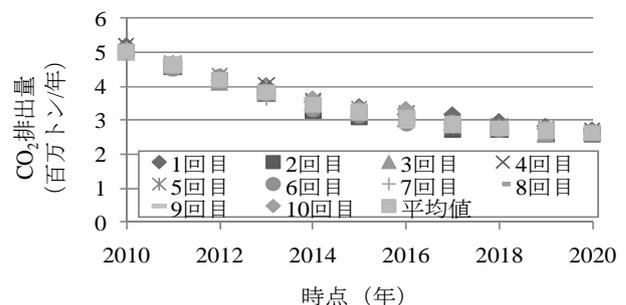


図-3 最適施策を施行した場合のCO₂排出量

CO₂管理施策設計問題の設計変数である、各時点のEV1台当たりの購入補助金額を図-4に、急速充電器の新規設置台数を図-5に示す。図-4より、EV1台当たりの購入補助金額は現在エコカー補助金制度によって設定されている金額(約100万円)よりも小さい金額となった。また、図-5より、急速充電器の新規設置台数は、2時点、3時点目(2012年、2013年)で最も多い。また、2020年での移動急速充電器台数は、約13,000台となった。経済産業省が提示している「次世代自動車戦略⁵⁾」では、2020年の急速充電器累積設置台数の目標値を全国で5,000台としており、本シミュレーション分析の結果からは、現在の政策では、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。

また、各施策に対する支出額の現在価値を図-6に示す。なお、サンプル10セットそれぞれの最適な総施策実施費用の平均値は、約2,700億円であった。また、10年間での、延べEV販売台数は約300万台であり、販売されたEV1台当たりにより要した費用は、10年間で約9万円であった。図-6より、いずれの時点においても、充電インフラに対する支出額の割合が、EV購入補助に対する支出額の割合よりも大きいことがわかる。これは、各自動車に対して直接補助金を支給するEV購入補助よりも、1台の設置で複数の自動車に影響が及ぶ充電インフラ整備の方が、総施策実施費用が小さく、EV普及に寄与するためと考えられる。

上述の施策シナリオを施行した場合の各車種の販売シェアを、図-7に示す。図-7より、EV販売シェアは、最終時点の2020年では、約55%、HVは約40%となる結果が得られた。環境省が提示している「地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ⁶⁾」では、2020年の低公害車の新車販売シェアの目標値を50%と設定されており、本シミュレーション分析結果の約95%（2020年のHVとEVの販売シェア）よりも小さい。したがって、環境省が提示している政策では、CO₂削減目標は達成できない可能性があることが明らかとなった。また、後半で、減少傾向にあ

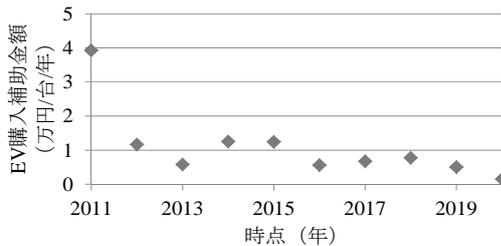


図-4 EV1台当たりの購入補助金額

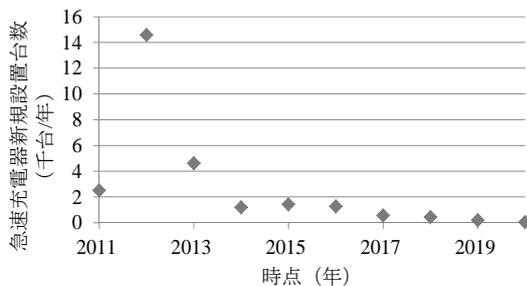


図-5 急速充電器の新規設置台数

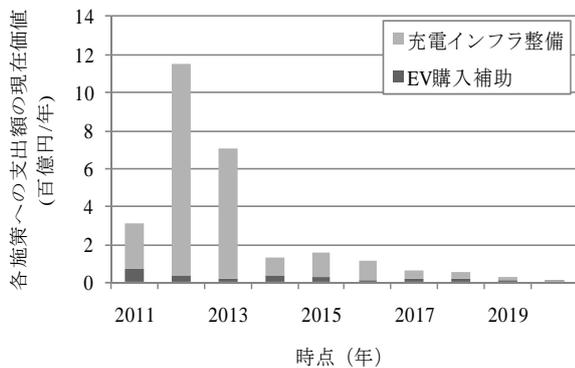


図-6 各施策に対する支出額の現在価値

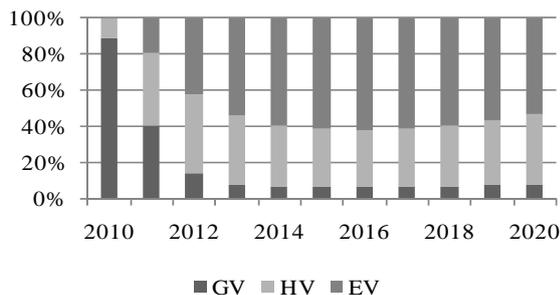


図-7 最適施策を施行した場合の販売シェア

るのは、急速充電器の減耗や、販売シェアの経年低下による社会的相互作用の影響が考えられる。なお、生成サンプルの計画期間中の平均買い替え回数は、自動車1台当たり1.49回であった。

5. 結論

本研究では、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、バックキャスティング・アプローチに基づいて、中国地方全体を対象とするCO₂管理施策立案モデルを定式化し、遺伝的アルゴリズムを適用して、最適解を求めることによって導出するシステムを開発した。これまで、将来計画の立案手法として用いられてきたフォアキャスティング・アプローチ（現在の状態を改善する施策オプションを複数準備しておき、その中から、施策目標を達成可能なオプションを選ぶ方法）では、施策目標が達成可能、かつ総施策実施費用が最小な施策が必ずしも得られるとは限らなかった。しかし、本研究で導出された施策では、予め施策の目標として設定した「中国地方の全自家用乗用車からの2020年のCO₂排出量を1990年比25%削減」を達成可能、かつ、総施策実施費用が最小となる時点別のEV購入補助金額、および急速充電器の新規設置数を得ることができた。また、本研究で導出された施策では、充電インフラに対する支出額の割合がEV購入補助に対する支出額の割合よりも大きく、現在の車両に対する補助金政策が十分でない可能性が明らかとなった。さらに、現在行われている充電インフラ整備に対する投資方法では、CO₂削減目標は達成できない可能性があることが明らかとなった。

今後の課題として、本研究では、計画期間を10年間として施策を検討したため、コーホート効果による年齢別人口変動を考慮していない。しかし、国勢調査などを基に行った人口変動に関する将来予測から考慮することによって、より長期的な施策の検討が可能である。さらに、本シミュレーション分析で自動車価格は一定としている。しかし、実際の市場では普及率が上がるにつれて製品の価格が低下する量産効果が存在する。したがって、普及率と価格変動のメカニズムが導入できれば、より現実的な施策の提示が可能である。

参考文献

- 1) 高見幸子：日本再生のルール・ブック-ナチュラル・ステップと持続可能な社会-、海象社、2003。
- 2) Nelsen, B.R.: An Introduction to Copulas, Springer, 1999。
- 3) 鍋島一郎：動的計画法、森北出版、1968。
- 4) 棟朝雅晴：遺伝的アルゴリズム-その理論と先端的

手法, 森北出版, 2008.

- 5) 経済産業省 : 次世代自動車戦略 2010, <http://www.meti.go.jp/press/20100412002/20100412002-2.pdf>, 閲覧日 2011年2月10日.
- 6) 環境省 : 地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ, <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=12381>, 閲覧日 2011年2月10日.

DYNAMIC CO₂ MANAGEMENT SYSTEM IN LOW EMISSION VEHICLE PROMOTION

Mayuko IWAMOTO, Masashi KUWANO, and Makoto TSUKAI,

In Japan, the government promised to reduce CO₂ emission in 2020 by 25% comparing with 1990's levels. For that purpose, the reduction in passenger car emission is necessarily, since passenger cars shows around 18% of total CO₂ emission in 2010. This study develops a dynamic management system evaluating CO₂ reduction policies about household car ownership in order to achieve the reduction target under minimization of the policy implementation cost. The system consists of two major parts. The first part is to analyze the household behavior includes vehicle type choice, renewal timing, and annual vehicle use kilometer. The second part is to design the optimal dynamic policies with fulfilling the emission reduction target as to minimize the policy implementation cost based on the household behavior. Through empirical application of the proposed model system, the effectiveness of the system is clarified.