

政策評価のための小規模ミクロ経済モデル ～乗用車部門における温暖化対策の評価～

藤原徹¹・蓮池勝人²・金本良嗣³

要 旨

本稿の目的は、政策評価の現場において活用可能な小規模政策評価モデルの構築法を解説することである。本稿が採用するアプローチは、政策評価に必要なフレキシビリティをもちながら、扱いの容易な CES 型関数を用いて、完璧な整合性をもつ小規模モデルを構築するというものである。

政策評価モデルの例として、乗用車部門における温暖化対策の評価をとりあげる。まず、第 1 部で、簡単な 1 期モデルを用いて CES 型効用関数を用いた小規模政策評価モデルの構築法を解説する。第 2 部では、このモデルを多期間に拡張して、政策評価モデルとして使うに足る現実性をもたせる。ただし、この多期間モデルも、基礎的なミクロ経済学・計量経済学を学んだ政策担当者やコンサルタントが活用できる程度にシンプルな構造としている。

現在、乗用車からの CO₂ 排出は我が国における温室効果ガス排出の最も大きな増加要因の一つであり、その削減策は重要な政策課題になっている。本稿では、乗用車部門における CO₂ 排出量削減のために自動車税制を用いる政策を評価する。

本稿のシミュレーション結果によれば、取得・保有段階の税を用いるよりも燃料税を用いる方が効果的に CO₂ の排出を削減できる。「グリーン」税制のように、税収中立性を維持しながら、燃費の悪い車に取得・保有税を重課する政策は、CO₂ 排出量の削減効果がほとんどない(約 0.1%)。ただし、燃料税の増税が相対的に効果的であるといっても、絶対的な効果は大きくない。単純に燃料税を増税する場合には、現行よりも 25 円/ℓ増税することが望ましいが、走行距離の燃料価格弾力性が小さい(0.2 程度)ので、CO₂ の排出削減効果は 4.3%程度と小さく、税制の変更による社会的純便益も、自動車一台あたりで年間約 360 円と小さい。

現行の取得・保有税による歪みが大きいので、燃料税の増税と保有税の減税とを組み合わせた税収中立的な税制改革がファースト・ベストに近い便益を発生させる。最適な増税額は 45 円/ℓであり、約 5.4%の CO₂ の排出削減効果と約 1,200 円/台・年の社会的純便益が生じる。

キーワード：地球温暖化、税制の「グリーン化」、環境政策、道路交通、自家用自動車、CO₂ 排出量

JEL classification: H2, Q21, Q25, Q28, R48

¹ 明海大学不動産学部 専任講師

² 株式会社野村総合研究所 主任コンサルタント

³ 東京大学公共政策大学院・大学院経済学研究科 教授

本稿は、独立行政法人経済産業研究所における「政策評価のための小規模ミクロ経済モデルの構築」研究プロジェクトの成果の一部をとりまとめたものである。経済産業研究所の支援と研究プロジェクトにおいて開催された研究会メンバーのコメントに感謝したい。なお、本稿の内容や意見は、筆者達個人に属し、経済産業研究所の公式見解を示すものではない。

はじめに

経済成長が鈍化している今日、より効率的な社会構造を構築するための有効な政策が求められている。平成 14 年 4 月 1 日以降は、政策評価法（「行政機関が行う政策の評価に関する法律」）に基づき、政策評価が実施されている。しかしながら、費用便益分析等の政策を定量的に評価するためのツールは、公共投資の事業評価以外ではほとんど使われていない。規制や税、補助金等のより幅広い政策についても、具体的かつ定量的に政策評価を行うニーズは高い。

定量的な政策評価モデルとして、応用一般均衡分析が用いられることが多くなっている。しかし、一般均衡モデルを構築し、そのシミュレーション分析を行うには、多大の労力が必要であり、政策企画立案の現場において簡単に使えるものではない。また、評価方法、結果、その解釈などを公表して、複数のステークホルダーが評価結果を容易にチェックできるようにすることが必要である。応用一般均衡モデルは一般に複雑になりがちで、シミュレーションの結果を見ても、モデルの中で何が起きているかを理解することは容易でない。

一方、部分均衡の枠組みは、モデルの信頼性を評価しやすく、またモデルの挙動をすばやく把握できるので、政策評価モデルとして有効であると考えられる。金本 (2004) では、政策評価において需要曲線の左側の面積を用いる「消費者余剰アプローチ」の適用可能性の広さを示している。しかし、複数の市場を同時に対象にする政策の場合には、単純な消費者余剰アプローチの適用は困難であり、これらの市場を整合的に表現するシミュレーション・モデルを用いた分析が必要になる。

政策評価の現場においては、複数市場に対する政策を扱わなければならないことも多い。たとえば、本稿で取り上げる自動車税制は、大きさや燃費の異なる自動車に対して異なる効果を持ち、また、自動車を保有するかどうか、保有するとすればどのタイプの自動車にするか、保有している自動車をどの程度利用するかといった様々な意思決定に対して異なった影響をもたらす。こういった政策については、モデルを用いた定量的シミュレーションがほとんど必須である。ところが、政策評価の現場では、政策担当者自身かコンサルタントが短期間で実施でき、外部の人たちが容易に結果をチェックできるような簡単な構造を持ったモデルでなければ、活用が困難である。本稿は、こういった困難な要請に対応しようという試みである。

本稿のアプローチは、①複数の市場への影響を整合的に評価できる、②政策評価に必要なフレキシビリティを持つ、③容易に構築でき、外部の人間にとっても簡単に理解できるという 3 つの要請に対応するために、適度なフレキシビリティをもちながらも扱いの容易な CES 型関数¹を、部分均衡の枠組みのなかに組み込むというものである。以下では、このアプローチを、自動車関係税制による地球温暖化対策を例にとって解説する。

¹ CES は Constant Elasticity of Substitution の略で、CES 型関数は代替の弾力性が一定の関数形である。

1997 年に採択された京都議定書では、2010 年前後をめどに CO₂ 排出量を 1990 年水準から 6% 削減することが求められている。しかしながら、2002 年度の温室効果ガスの総排出量は 1990 年比で約 7.6% の増加となっており、6% 削減の目標達成には困難が予想される。運輸部門ではとりわけ排出量が大きく増加しており、1990 年度比 20.4% の増加率を示している。運輸部門のなかでも、エネルギー最終消費について最大のシェアを占めている自家用乗用車部門の増加が著しく、この分野における温暖化対策が大きな課題となっている。

自動車部門における温暖化対策の一環として、2001 年に自動車税制の「グリーン化」が行われた。その概要は、

(1) 自動車税について、環境負荷の小さい車を購入する場合には税を軽減し、環境負荷の大きい古い型式の車に関しては重課する。税額は税収が中立となるように調整する

(2) 自動車取得税について、環境負荷の小さい車の税を軽減する

というものである。自動車税制の「グリーン化」は自動車の保有と取得に関する税制を政策手段として用いたものであるが、燃料消費に課税する環境税の導入も議論されている。

本稿では、自動車関係税制が、地球温暖化を含む自動車の外部不経済に対してどのような効果があり、それにとまなう国民の実質的負担はどの程度であるかを評価する。

第 1 部では、CES 型効用関数による政策評価の基本的な考え方を解説する。まず 2 財のモデルで CES 型関数の基本的性質を見た後に、それを準線形効用関数の中に埋め込んだ 3 財モデルを取り上げる。ここでは、モデルの構造、パラメータ推定の方法、シミュレーションの方法を示し、自動車関連税制の変更に関する政策評価例を解説する。

第 2 部では、自動車サービスの効用関数をさらに拡張し、車種を 3 車種（普通車、小型車、軽自動車）にして、5 期間にわたる消費の最適化をモデル化する。

第1部 CES 型効用関数による政策評価

公共投資の費用便益分析に見られるように、部分均衡の枠組みにおける政策評価においては、シミュレーション・モデルを用いない例も多い。投資を行う場合と行わない場合の価格と需要量を予測し、台形公式を用いて便益を推計するのがその典型例である²。しかしながら、複数の財・サービスに影響する政策を分析したい場合には、モデルの数値シミュレーションが必要になるケースが多い。本稿が対象とするのはそういった事例である。

本稿では、モデルの複雑化を避けるために部分均衡の枠組みを採用する。部分均衡アプローチが有効なのは、政策対象になる市場が経済全体から見れば小さいケースである。たとえば、本稿では自動車交通に対する政策を考慮するが、自動車に対する支出は家計支出全体の約9%程度に過ぎないので、部分均衡アプローチを採用することによるバイアスは大きくない。しかしながら、住宅に対する支出シェアは大きいので、住宅市場全体に影響する政策の場合には、部分均衡アプローチは避けた方が良い可能性が大きい。

第1部では、CES 型効用関数を用いる政策評価の基本を解説する。CES 型効用関数の長所は、代替の弾力性を自由に設定できるために、適度のフレキシビリティを持つことである。例えば、コブ・ダグラス関数を用いる場合には、各財への支出構成比が所得水準にかかわらず一定になり、非現実的な場合が多い。CES 型効用関数を用いることによって、こうした仮定を緩めることができる。一方、CES 型効用関数は、関数の構造が簡便であり、扱いやすいという特徴を持っている。そのため、第3章で示すような層化構造を導入することも容易となり、より現実的なモデリングが可能になる。

自動車の保有のように、耐久性を持つ消費財を多期間にわたって利用するような場合には、第1部で示す1時点のモデル（いわゆるワンショットのモデル）では、厳密性に欠ける。より精度の高い分析のためには、次の第2部で述べる異時点間の消費の最適化を行うモデルが必要となる。

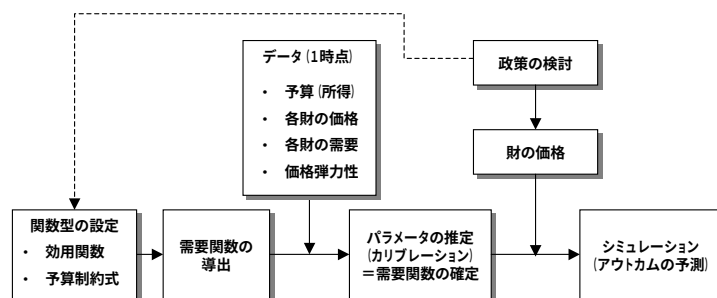
第1部の構成は以下の通りである。第1章において、複数財モデルによる政策評価の基本的な考え方を示す。第2章は2財のモデルについて、CES 型効用関数の性質を解説する。第3章では、準線形効用関数の一部に CES 関数を埋め込んだ層化関数を用いて、部分均衡アプローチによる政策評価を行う。具体的な事例として乗用車分野における温暖化対策を考え、自動車の車種選択や保有と走行の代替関係をモデル化して、定量的な分析を行う。第4章は第1部のまとめである。

1. 複数財モデルによる政策評価の基本的な考え方

モデルの構築および政策評価は、（1）政策評価対象分野の特定、（2）モデルの構築、（3）

データの整備、（４）パラメータの特定化（カリブレーション）、（５）政策代替案のモデルにおける特定化、（６）シミュレーション分析、といった流れで行う。以下にそれぞれの内容について簡単な説明を加える。

図 1 複数財の効用関数を用いたモデル構築・政策評価フロー



関数型の選択

効用関数および予算制約式を設定する。この時、評価する政策をより正確に評価できるような関数型を設定しておく必要がある。しばしば活用される関数に、コブ＝ダグラス型、レオンチェフ型、CES 型、準線形などがある。本稿では CES 型を中心としたモデルを取り上げる。

需要関数の導出

設定した効用関数と予算制約式から、効用最大化問題を解き、需要関数を導出する。

データの整備

カリブレーションを行うために、所得（あるいは、総支出額）、各財の価格、各財の需要量等のデータを収集する。このデータは一時点のもので良いが、時期による変動をならすために、一定期間の平均的な値を用いることも多い。

カリブレーション

価格弾力性等の情報と収集したデータから需要関数のパラメータを設定する。CES 型効用関数の場合には、代替の弾力性と分配のパラメータが必要である。既存研究における価格弾力性の推定値等から代替の弾力性を設定すると、価格と需要量のデータさえあれば、分配のパラメータが計算できる。

この「カリブレーション」が複数財モデルによる政策評価の大きな特徴である。カリブレーションは、応用一般均衡モデルで一般的に用いられる手法である。関数のパラメータは実際のデータに基づいて、計量経済学的な手法を用いて推定するのが通常であるが、カリブレーションにお

² 金本 (2004) を参照。

いては、既存研究に基づいて妥当と思われる値から設定することが多い。

対象政策の具体化・シミュレーション

上でカリブレートされたモデルを用いて、政策の変更が財の価格や所得をどのように変化させるかのコンピューター上での仮想実験(シミュレーション)を行う。このシミュレーションでは、各政策代替案によってもたらされる市場均衡価格及びそのもとでの需要量を計算する。各財の需要の変化が求めれば、社会的厚生の変化を計算することができる。本稿で行っているように、外部不経済の変化を考慮に入れた純便益も計算することができる。

2. CES 型効用関数による 2 財選択モデル

金本(2004)で解説しているように、1 財のみを対象とする政策の場合には、その財の需要曲線を何らかの方法で推定すれば、消費者余剰の概念を用いて政策評価を行うことができる。税制、独占力、外部性等によって、価格体系に歪みがある場合には、関連する他の市場における変化を考慮に入れる必要があるが、この場合でも、消費者余剰アプローチを拡張することによって対応することが可能である。しかし、複数の市場に同時に影響を及ぼす政策については、これらの市場を整合的に表現するモデルを構築する必要がある。

こういったモデルを構築する場合に、財の数が多くなれば、モデルも煩雑になり、その信頼性の評価も困難になる。そこで、分析の有効性を損なわない範囲で、単純な分かりやすいモデルを用いる必要がある。以下で示すように、CES 型効用関数は適度な柔軟性を持ちながらカリブレーションが容易であるので、政策評価モデルとして非常に有効である。

2.1. CES 型効用関数による 2 財モデル

CES 型効用関数は以下のように表される。

$$(1) \quad u(x_1, x_2) = \left(\alpha_1^{1/\sigma_0} x_1^{1-1/\sigma_0} + \alpha_2^{1/\sigma_0} x_2^{1-1/\sigma_0} \right)^{\sigma_0/(\sigma_0-1)}$$

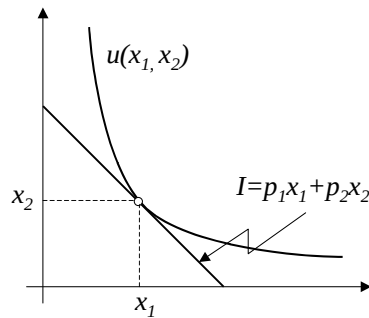
ここで、 α_i と σ_0 は効用関数のパラメータであり、 σ_0 は代替の弾力性に等しく、 α_i は分配のパラメータと呼ばれる。代替の弾力性と分配のパラメータは非負 ($\alpha_i \geq 0$ 、 $\sigma_0 \geq 0$) であり、分配のパラメータは通常

$$\alpha_1^{1/\sigma_0} + \alpha_2^{1/\sigma_0} = 1$$

を満たすように基準化される。

CES 型効用関数の無差別曲線は以下の図のように、原点に対して凸になる。

図 2 CES 型効用関数の無差別曲線



CES 型効用関数の特長は、実証分析でしばしば用いられるコブ＝ダグラス型よりも柔軟性があることである。図 3は、 σ_0 の値を変化させると、無差別曲線の形状がどう変わるかを示している。無差別曲線と予算制約線の接点が各財の需要を与えるので、 σ_0 が小さくなるほど相対価格（予算制約線の傾き）が変化した場合の需要の変化が大きくなる。

以下のように、コブ・ダグラス型やレオンチェフ型は CES 型の特殊形である。

① $\sigma_0 \rightarrow \infty$

代替の弾力性が無限大の時には、財 1 と財 2 は完全代替になり、無差別曲線は、図 3のように直線になる。そのため、たまたま、無差別曲線の傾きが予算制約線の傾きと同じ場合を除いて、最適な消費は予算制約線の端点になる（すなわち、いずれか一方の財だけを消費する）。無差別曲線と予算制約線の傾きが等しい場合には、予算制約線上のすべての点が最適になる。

② $\sigma_0 = 1$

代替の弾力性が 1 に等しいケースは、コブ・ダグラス型である。この場合には、各財の支出シェアが所得や価格によらず一定になる。コブ・ダグラス型効用関数は以下の形をしている。

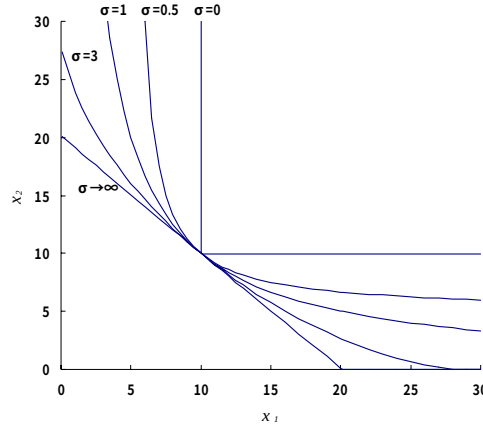
$$(2) \quad u(x_1, x_2) = x_1^{\alpha_1} x_2^{1-\alpha_1}$$

③ $\sigma_0 = 0$

代替の弾力性がゼロの時には、レオンチェフ型になる。無差別曲線は図 3のように L 字型を示し、予算制約線とは L 字の頂点で交わる。レオンチェフ型効用関数は以下のように書ける。

$$(3) \quad u(x_1, x_2) = \text{Min}(\alpha_1 x_1, \alpha_2 x_2)$$

図 3 CES 型効用関数の無差別曲線の例とその特殊ケース



CES 型効用関数による消費者の効用最大化問題は、以下のように表すことができる。

$$(4) \quad \begin{aligned} \text{Max}_{x_1, x_2} \quad & u(x_1, x_2) = \left(\alpha_1^{1/\sigma_0} x_1^{1-1/\sigma_0} + \alpha_2^{1/\sigma_0} x_2^{1-1/\sigma_0} \right)^{\sigma_0/(\sigma_0-1)} \\ \text{s.t.} \quad & p_1 x_1 + p_2 x_2 \leq I \end{aligned}$$

この効用最大化問題を解くと、以下の需要関数が得られる。

$$(5) \quad x_i = \frac{\alpha_i I}{p_i^{\sigma_0} (\alpha_1 p_1^{1-\sigma_0} + \alpha_2 p_2^{1-\sigma_0})}$$

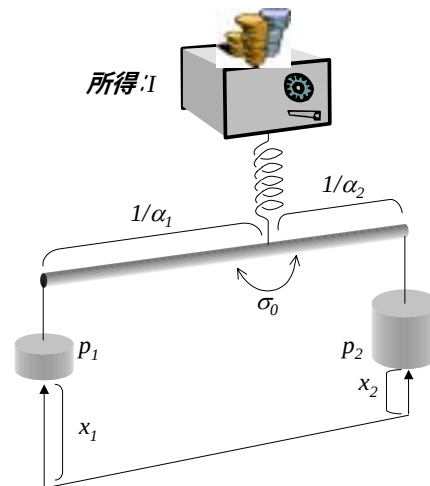
CES 型効用関数は代替の弾力性 σ_0 を自由に選ぶことができるというフレキシビリティを持っているので、コブ・ダグラス型やレオンチェフ型より消費選択をより柔軟に表現できる。この理由で、消費の実証分析には有用な関数である。生産活動についても、生産関数を CES 型にすることによって同様なことができる。また、3 章で示すように、層化モデルに拡張して、3 財以上の場合に柔軟性を確保することも比較的容易である。

CES 型効用関数による消費選択は図 4 のように天秤でイメージすることができる³。ある所得のもと、天秤に 2 つのオモリが下げられており、オモリの重さが価格 p_i に相当する。オモリの高さが需要 x_i を示す。所得 I が高いほど、天秤全体が上に持ち上げられる。オモリが重くなる（価格が高くなる）とオモリは下がる（需要は減少する）。天秤の支点から各オモリの下げられているところまでの長さが分配のパラメータの逆数に相当し、それが短い（分配のパラメータが大きい）とオモリが浮く（支出シェアが大きくなる）。また、天秤の支点における天秤の回りやすさが代替の弾力性 σ_0 に相当し、それが小さいと価格弾力性が小さく、価格の変化に対する消費量の変化は小さくなる。さらに、全体としてオモリが重くなると天秤全体が下がり、両方のオモリが下がる（需要が減少する）。

³ 数学的には必ずしも厳密な対応関係があるわけではなく、あくまでもラフなイメージとして対応しているということである。

上記の CES 型効用関数の特殊形もこの天秤で表現することができる。代替の弾力性が ∞ の場合には、天秤のまわりやすさが無限大となり、いずれか一方のオモリが下がりきるまで天秤は回転する。逆に代替の弾力性がゼロの場合には、天秤は全く回らず、所得や価格（オモリの重さ）が変化しても各財の需要の比は一定を保つ。

図 4 CES 型効用関数の概念



3. 層化 CES 型効用関数による 3 財選択モデル

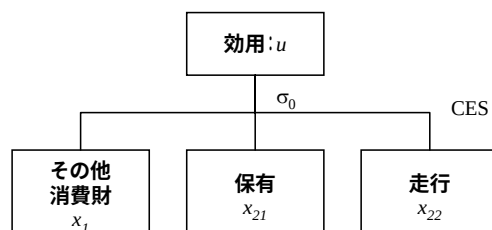
3.1 層化 CES 型効用関数

次に、自動車交通の例を用いて、財の数を 2 財から 3 財に増やした場合のモデルを考えてみよう。消費者は、自動車交通サービスとして乗用車の「保有」と、その乗用車による「走行」の 2 つの財、さらに、自動車交通サービス以外の全てをまとめた「その他の消費財」の 3 財を消費しているとする。これら 3 財の消費を CES 型効用関数で表現する方法を考える。

上記の 2 財の CES 型効用関数を 3 財に拡張する最も単純な方法は、CES 型効用関数に財を 1 つ増やし、3 財の CES 型効用関数とすることである（図 5）。ただ、この場合には、保有も走行もその他消費財も代替関係が等しくなってしまうという問題が発生する。もう少し正確には、一つの財の価格が変化したときの残る 2 つの財の需要の変化に関する価格弾力性、すなわち、交

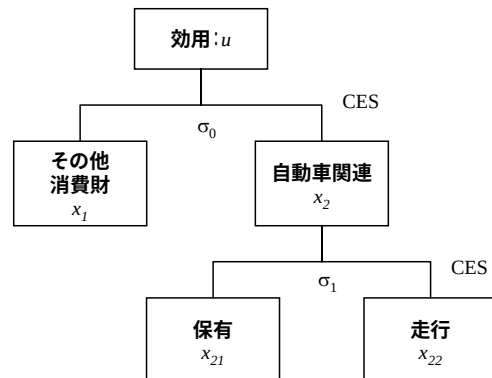
差価格弾力性が等しくなる⁵。これはきわめて強い仮定であり、非現実的である。たとえば、走行価格が変化したときには、密接な関係にある自動車保有の方がその他消費財よりも大きな影響を受けると考えられるが、こういった可能性が排除されてしまう。

図 5 3 財の CES 型効用関数



そこで、自動車関連サービスの消費をまとめて、層化構造にした層化 CES 型効用関数（Nested CES utility function）を考えてみよう（図 6）。こうすれば、上記のような問題は起きず、より柔軟性の高いモデルになる。モデルの構造がやや複雑になるものの、依然として四則演算および指数計算の範囲で十分計算可能である。なお、上述した天秤の例では、層化 CES 型効用関数は、モビールのような天秤に更に天秤がぶら下がっているイメージに相当する。

図 6 層化 CES 型効用関数の構造



3.2 準線形モデルによる簡略化

次に、この層化 CES 型効用関数を、政策評価モデルとして扱いやすい形にさらに簡便化する方法を考える。

⁵ 財 i の需要の財 j の価格に対する交差価格弾力性 ε_{ij} は、 $\varepsilon_{ij} = (p_j / x_i)(\partial x_i / \partial p_j) = (\sigma - 1)W_j$ となる。したがって、3 財の CES 型効用関数において、ある財の価格が変化したときの、別の 2 財の交差価格弾力性は等しくなる。例えば「保有」と「その他消費財」の需要の、「走行」の価格に対する交差価格弾力性は、いずれも同じ $(\sigma - 1)W_2$ で表され（ W_2 は「走行」の支出シェア）、走行価格が 1% 上昇したとき、「保有」と「その他消費財」の需要は同じ割合で減少することになる。

一般的な層化 CES 型効用関数においては所得効果が存在するために、消費者余剰の計算が面倒である。また、課税により生じた税収を所得として再配分することを想定すると、正確に便益を計算するためには、収束計算を行うことが必要になる。実際の政策現場では、こうした煩雑なシミュレーションは避けた方がよい。そこで、第一段階の関数形を CES 型に代えて準線形にすることによってモデルを簡略化する。

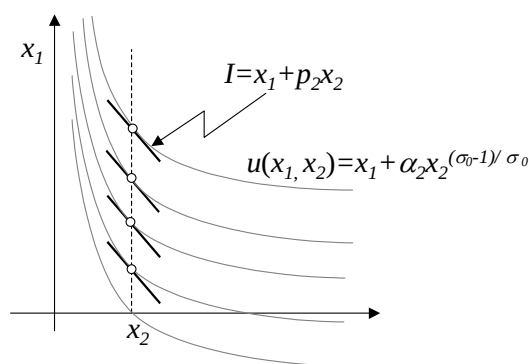
3 財の場合を例にとると、準線形効用関数⁶は

$$(6) \quad u(x_1, x_2, x_3) = x_1 + f(x_2, x_3)$$

のようにある消費財 x_1 について線形であり、その他の財 x_2, x_3 について非線形である効用関数である。簡単化のために、線形の消費財をニューメレールとして、その価格を 1 と置くことが多い。

この効用関数について x_1, x_2 に関する無差別曲線と予算制約線を図示すると、図 7 のように、 x_2 の値が同じであれば、無差別曲線の傾きがどの点でも等しくなる。このために、 x_2 の需要は価格だけによって決まり、所得水準に依存しない。すなわち、準線形効用関数を持つ消費者は、所得が増加しても x_2 の消費は増加させず、増加した分をすべてニューメレール財の消費に振り向ける。準線形効用関数を仮定すると、政府の税収を消費者へ還流させても、その所得はニューメレール財の消費に費やされ、自動車交通の需要は変化しない。また、効用が貨幣単位で表されているので、消費者余剰の計測において政策実施前後の効用の差をそのまま用いることができる⁷。

図 7 準線形効用関数の効用無差別曲線



準線形効用関数を用いて、図 6 で示した層化 CES 型効用関数を書き直したツリー構造が図 8 である。「その他消費財」と「自動車関連サービス」の関係を CES 型ではなく準線形としたところが異なる。このように、準線形効用関数を用いることによって、効用のツリー構造を活かし

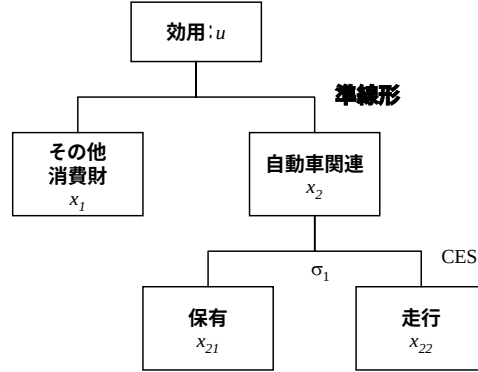
⁶ 擬線形効用関数とも言う。英語では quasilinear utility function。

⁷ 準線形効用関数を用いない場合には、EV (Equivalent valuation: 等価変分) や CV (Compensate valuation: 補償変分) 等によって消費者余剰の変化を貨幣単位で計測することができる (Varian (1984) を参照)。

⁹ 付録 2 で、CES 型に代えて準線形を用いることによるバイアスの評価を行っている。

つつ、シミュレーションを大幅に省力化することができる。財 x_2, x_3 に対する支出シェアが小さい場合には、この関数で近似しても問題は発生しない⁹。

図 8 準線形層化 CES 型効用関数の構造



準線形層化 CES 型効用関数を数学的に表現すると、

$$(7) \quad u(x_1, x_2) = x_1 + \alpha_2 x_2^{(\sigma_0-1)/\sigma_0}$$

$$(8) \quad x_2(x_{21}, x_{22}) = \left(\alpha_{21}^{1/\sigma_1} x_{21}^{1-1/\sigma_1} + \alpha_{22}^{1/\sigma_1} x_{22}^{1-1/\sigma_1} \right)^{\sigma_1/(\sigma_1-1)}$$

の 2 段階の関数になる。なお、効用関数の第 2 項（自動車関連サービス）を $\alpha_2 x_2^{(\sigma_0-1)/\sigma_0}$ としているのは、代替の弾力性が一定で σ_0 に等しくなるようにするためである。

上の 2 式から構成される効用関数を、所得制約

$$(9) \quad x_1 + p_{21}x_{21} + p_{22}x_{22} \leq I$$

のもとで最大化するのが消費者の最適化問題である。

この効用最大化問題は、2 段階に分解して解くのが便利である。第 1 段階はその他消費財 x_1 と自動車関連サービス x_2 の決定であり、第 2 段階は自動車関連サービス x_2 の保有 x_{21} と走行 x_{22} への配分である。問題なのは、第 1 段階と第 2 段階は相互に関連しているので、別々に解くわけにはいかないことである。こういった問題に対する常套手段は、最後の意思決定問題から解いていくことである。したがって、ここではまず第 2 段階の問題を考える。その際に、第 1 段階における自動車関連サービス x_2 の需要とその価格 p_2 が、とりあえず、ある値に決まっているとして第 2 段階の問題を定式化する。

第 2 段階の問題は、自動車関連サービスに対する支出額 $I_2 = p_2 x_2$ が所与であるとして、

$$(10) \quad \begin{aligned} \text{Max}_{x_1, x_2} \quad & x_2(x_{21}, x_{22}) = \left(\alpha_{21}^{1/\sigma_1} x_{21}^{1-1/\sigma_1} + \alpha_{22}^{1/\sigma_1} x_{22}^{1-1/\sigma_1} \right)^{\sigma_1/(\sigma_1-1)} \\ \text{s.t.} \quad & p_{21}x_{21} + p_{22}x_{22} \leq I_2 \end{aligned}$$

を解くことである。これを解くと、以下の第 2 段階の需要関数が導出できる。

$$(11) \quad x_{2j} = \frac{\alpha_{2j}}{p_{2j}^{\sigma_1}} \frac{I_2}{\alpha_{21} p_{21}^{1-\sigma_1} + \alpha_{22} p_{22}^{1-\sigma_1}} \quad (j=1, 2)$$

次に、自動車関連サービスの価格 p_2 を求める。これは、自動車関連サービス x_2 1 単位当たりの費用であるので、 $p_2 = I_2 / x_2$ を満たさなければならない。第 2 段階での最適化から

$$(12) \quad x_2 = \left(\alpha_{21} p_{21}^{1-\sigma_1} + \alpha_{22} p_{22}^{1-\sigma_1} \right)^{1/(\sigma_1-1)} I_2$$

であるので、

$$(13) \quad p_2 = \left(\alpha_{21} p_{21}^{1-\sigma_1} + \alpha_{22} p_{22}^{1-\sigma_1} \right)^{\frac{1}{1-\sigma_1}}$$

となる。

こうして求めた自動車関連サービス価格 p_2 を与件として、第一段階の効用最大化が行われる。数学的には、この問題は

$$(14) \quad \begin{aligned} \text{Max}_{x_1, x_2} \quad & u(x_1, x_2) = x_1 + \alpha_2 x_2^{(\sigma_0-1)/\sigma_0} \\ \text{s.t.} \quad & x_1 + p_2 x_2 \leq I \end{aligned}$$

と表される。これを解くと、第一段階の需要関数

$$(15) \quad x_1 = I - \left(\frac{\sigma_0 - 1}{\sigma_0} \frac{\alpha_2}{p_2} \right)^{\sigma_0} p_2, \quad x_2 = \left(\frac{\sigma_0 - 1}{\sigma_0} \frac{\alpha_2}{p_2} \right)^{\sigma_0}$$

が導出される。これからわかるように、 x_2 に対する消費は所得に依存しない。

3.3 カリブレーション

次のステップでは、カリブレーションによって係数（代替の弾力性 σ_0 、 σ_1 、分配のパラメータ α_2 、 α_{21} 、 α_{22} ）の値を特定する。以下に、代替の弾力性と分配のパラメータの推定方法を示す。

代替の弾力性の推定

財 2 の自己価格弾力性は、需要関数から以下になる。

$$(16) \quad \varepsilon_{2,2} = -\sigma_0$$

また、財 2j の自己価格弾力性は、

$$(17) \quad \varepsilon_{2j,2j} = -\sigma_1 + (\sigma_1 - \sigma_0) W_{2j}$$

となる。ただし、 W_{2j} は支出シェアで、 $W_{2j} = p_{2j} x_{2j} / p_2 x_2$ を満たす。

代替の弾力性の推計においては、

- ① 自己価格弾力性 $\varepsilon_{21,21}$ と $\varepsilon_{22,22}$ の実証データを用いて、上式の方程式を解く

のが望ましい。しかし、十分な実証データがなく、これが不可能なケースも多い。その場合には、

- ② σ_0 と σ_1 を適当に調整して計算される自己価格弾力性 $\varepsilon_{21,21}$ または $\varepsilon_{22,22}$ が文献の値に合

うようにする

といった対応をせざるを得ない。

分配のパラメータの推定

分配のパラメータは、2 財モデルと同様、各財の価格、需要量、代替の弾力性から計算できる。

まず、 α_{2j} は

$$(18) \quad \alpha_{2j} = \left(\frac{p_{2j} x_{2j}^{1/\sigma_1}}{\sum_j p_{2j} x_{2j}^{1/\sigma_1}} \right)^{\sigma_1}$$

で求められる。こうやって計算された分配のパラメータを、(13)式に代入して価格インデックス p_2 を計算する。それを用いて、

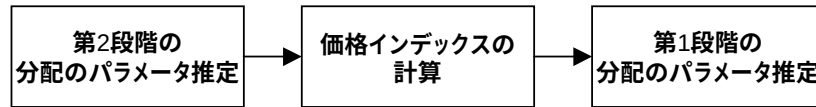
$$(19) \quad x_2 = \frac{I - x_1}{p_2}$$

と

$$(20) \quad \alpha_2 = \frac{\sigma_0}{\sigma_0 - 1} x_2^{\sigma_0} p_2^{\frac{1}{\sigma_0 - 1}}$$

を計算する。したがって、分配のパラメータの計算は、下図のように下層から上層へと進んでいく。

図 9 パラメータ推定の流れ



3.4 シミュレーション

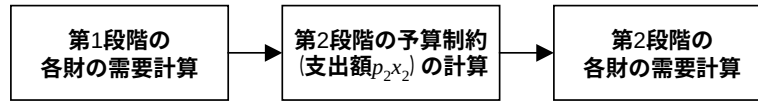
上述のカリブレーションによって需要関数を特定できた。次にこの推定した需要関数を用いて、財の価格体系が変化した時に、財の需要がどのように変化するかのシミュレーションを行う。例えば税制の変更によって、消費者価格が p_{22} から p_{22}' に変化する場合は、各財の需要の計算を考える。ただし、代表的消費者の所得 I 、各財の価格 p_{21} 、 p_{22} は既知である。

まず、すべての価格インデックスを計算しておく必要がある。3 財モデルの場合、必要な価格インデックスは「自動車関連サービス」 x_2 の価格インデックス p_2 であり、これは(13)式によって計算する。

次に各財の需要を層化効用関数の上から順に計算する。まず、所得、価格、代替の弾力性、分配のパラメータの各値と、(15)式を用いて、「その他消費財」 x_1 、「自動車関連サービス」 x_2 の需要を計算する。さらに、得られた「自動車関連サービス」 x_2 をはじめ、各データを(11)式に代入すると保有需要 x_{21} 、走行需要 x_{22} が得られる。

パラメータの推定とは逆に、シミュレーションにおいては上層から下層へと計算していくので、下図のような流れになる。

図 10 シミュレーションの流れ



3.5 社会的純便益の計算

税制の変更等の政策は消費財の価格を変化させ、それによって財の需要や消費者の効用水準が変化する。また、消費が外部性を伴う場合には、需要量に変化することによって外部便益や外部費用を発生させる。通常の費用便益分析では、こうした消費者の効用（消費者余剰）と外部便益の和を社会的純便益として貨幣単位で評価する¹⁰。これは、ある政策変更によってもたらされる国民の実質的負担（あるいは負担の軽減）の度合を金銭的に評価したものと言える。以下では、準線形層化型 CES 効用関数を用いる場合の社会的純便益の評価方法を解説する。

効用関数の第一段階に準線形を用いず CES 型を用いた場合には所得効果が存在するので、税収を消費者に還流させると、 x_2 の需要（自動車関連消費）が変化し、税収も変わる。そのため、変化後の税を還流させ需要を計算し、そのときの税収をまた還流させるという収束計算が必要になる。効用関数の第一段階に準線形を用いると所得効果が存在しないので、こうした収束計算が不要になる。さらに、効用が貨幣単位であるため、政策実施前後の効用の差を取れば、改めて効用を貨幣価値換算する必要もない。

第一段階に準線形を用いた場合には、政策を実施する場合の効用（ u^1 ）としない場合の効用（ u^0 ）の差 $\Delta u = u^1 - u^0$ が金銭価値換算された効用の変化を表す。また、政策を実施しない場合とする場合の税収を T^0 、 T^1 とすると、それらの差 $\Delta T = T^1 - T^0$ が税収の変化を表す。

政策によって外部性に変化が生じる場合、その便益も貨幣単位で計測しておく必要がある。外部便益の増加（あるいは、外部費用の減少）を ΔEXT と表すと、社会的純便益 $\Delta welfare$ は以下のようなになる。

$$(21) \quad \Delta welfare = \Delta u + \Delta T + \Delta EXT$$

3.6 応用

問題設定

消費者は、所得を自動車の保有（車両の年間レンタル換算）と走行の2つの財に加え、その他消費財（住宅、食費、衣料等をすべて含む）に配分すると考える。

¹⁰ 社会的純便益には、生産者余剰も含まれるが、ここでは、完全競争市場において消費者が生産し、長期的な均衡を達成しているものとみなし、生産者余剰をゼロとして考えている。また、代表的消費者の効用関数に外部性を含め、その効用を最大化する方法もある。

表 1 予算と各財の需要と価格

所得	282,894 十億円
保有価格（年間レンタル）	441 千円/台
保有台数	36 百万台
ガソリン価格	100 円/リットル
燃費	8.0 km/リットル
走行距離	371 十億 km
燃料価格に対する走行距離の弾力性	-0.20

カリブレーション

上で述べたように、代替の弾力性のカリブレーションの際には、自己価格弾力性 $\varepsilon_{21,21}$ 、 $\varepsilon_{22,22}$ の実証データを用いるのが望ましいが、それが不可能であるので、②の方法（すなわち、文献値を参考に代替の弾力性を調整する方法）によって推計した。

Goodwin (1992)、Oum, et.al. (1992)、二村(2000)等の既存の実証研究を参考に、燃料価格に関する走行距離の弾力性 $\varepsilon_{22,22}$ が -0.20 となるように、代替のパラメータを設定する。走行需要に対する支出シェア $W_{22}=23\%$ なので、満たすべき方程式は(17)式より、

$$(22) \quad -\sigma_1 + (\sigma_1 - \sigma_0) \times 0.23 = -0.23\sigma_0 - 0.77\sigma_1 = -0.2$$

である。未知数は σ_0 、 σ_1 の2つであるので、この式からだけでは一意には決まらない。ただし、代替の弾力性の条件から、 $\sigma_0 > 0$ 、 $\sigma_1 > 0$ であり、保有需要の自己価格弾力性 $\varepsilon_{21,21}$ は負である。こうした一連の条件から σ_0 、 σ_1 が取り得る範囲は図 11の太線部分になる。この範囲内であれば、(17)式より保有需要の自己価格弾力性は $-0.68 < \varepsilon_{21,21} < -0.06$ と負であるので条件を満たしている。¹² $\sigma_0=0.3$ とすると(22)より $\sigma_1=0.17$ なので、保有需要の自己価格弾力性は $\varepsilon_{21,21} = -0.2$ と妥当な値になる。したがって、これらの値を代替の弾力性として用いる。

σ_0 の設定値によって結果が異なる可能性があるので、実際の政策評価にあたっては σ_0 の値を変えてみて感度分析を行い、結果に大きな影響を与えないことを確認する必要がある。

¹² もしこの $\varepsilon_{21,21}$ が取り得る範囲が実証分析の値と大きく乖離していて現実的な値でなければ、モデルそのものを見直す必要がある。

図 11 代替の弾力性の取り得る範囲と対応する保有需要の価格弾力性

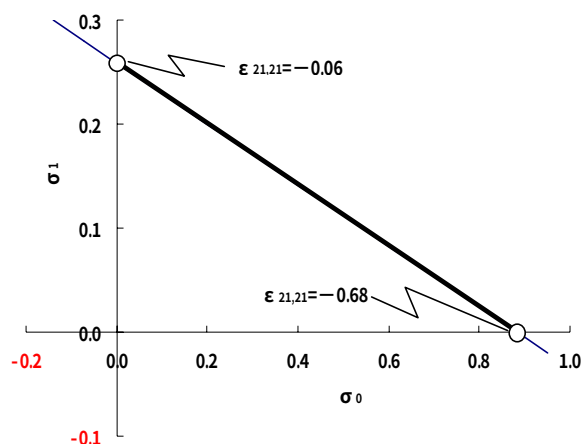


表 2 代替の弾力性の設定

σ_0	0.30
σ_1	0.17

分配のパラメータについては、まず、第 2 段階の分配のパラメータ α_{2j} を (18) 式を用いて推定する。推定に必要なデータは、第 2 段階の財（自動車の保有と走行）の需要および価格である。

次に、第 1 段階の分配のパラメータ α_2 を (20) 式を用いて推定する。推定に必要なデータは、第 1 段階の財（その他の財および自動車関連サービス）の需要および価格（一般化費用）である。また、自動車関連サービスの需要は第 2 段階で得られる効用であり、(19) 式で計算できる。価格は自動車の保有と走行の合成価格 p_2 であり、(13) 式から計算される。

表 3 分配のパラメータの設定

α_{21}	0.1775
α_{22}	0.9999935
α_2	-4.27×10^9

外部不経済

自動車交通に関する外部性には、①CO₂ 排出による地球温暖化の外部不経済、②SPM、NO_x 等による大気汚染の外部不経済、③混雑の外部不経済、④交通事故の外部不経済がある¹³。温暖化ガスについては、ガソリン 1 リットルあたりの CO₂ 排出量（炭素換算）が 644.3gC/ℓ¹⁴であるとして、ガソリン消費 1 リットルあたりの外部不経済は、19.3 円/ℓ¹⁵である。

¹³ 詳細は、付録を参照。

なお、温暖化ガス、大気汚染の原因ガスの排出量は主にガソリンの消費量に比例し、混雑、事故は走行距離に比例するものとしている。

表 4 外部不経済の設定（中位ケース）

外部不経済	単位あたりの外部不経済
温暖化ガス	19.3円/ℓ (30 千円/tC)
大気汚染	9.9円/ℓ
混雑	7円/km
事故	2.5円/km

したがって、自動車交通の外部不経済の変分 ΔEXT は下式によって表せる。ただし、 P_{CO_2} 、 P_{Air} 、 P_{Cong} 、 P_{Acci} はそれぞれ温暖化ガス、大気汚染、混雑、事故の単位あたり外部不経済、 Δx_2 は走行距離の増分、 e は燃費である。

$$(23) \quad \Delta EXT = -(p_{CO_2} + p_{Air}) \frac{\Delta x_2}{e} - (p_{Cong} + p_{Acci}) \Delta x_2$$

燃費 e が 8.0km/ℓ のとき、式(23)は $\Delta EXT = -13.15 \Delta x_2$ と書き換えられる。

燃料税増税の効果

燃料税を 25 円/ℓ だけ増税することを想定する¹⁴ ¹⁵。その場合、48.6 円/ℓ から 73.6 円/ℓ へと増額され、ガソリン価格はモデルのカリブレーションにおいて想定した 100 円/ℓ から消費税分も含め 126.3 円/ℓ へと上昇することになる。

以下の通り、税負担の拡大により走行費用が上昇するので、保有、走行とも需要が減少する。したがって、税収は増加するものの、利用者便益 $\Delta u + \Delta T$ は -1,600 億円とマイナスになる。一方、燃料消費量の減少、走行距離の減少に伴い、各種外部不経済が削減され、 $\Delta EXT = 2,150$ 億円となる。したがって、外部不経済の削減分 ΔEXT が利用者便益の減少分 $\Delta u + \Delta T$ を上回り、社会的純便益 $\Delta Welfare = \Delta u + \Delta T + \Delta EXT$ は 550 億円のプラスになる。なお、CO₂ 排出量は、走行距離の削減率と同様、4.4%削減される。

¹⁴ 本稿では、揮発油税、地方道路税を総称して「燃料税」と記す。

¹⁵ 燃料税 25 円/ℓ は、炭素税換算で炭素トンあたり 39,000 円/C-t に相当する。

表 5 シミュレーション結果

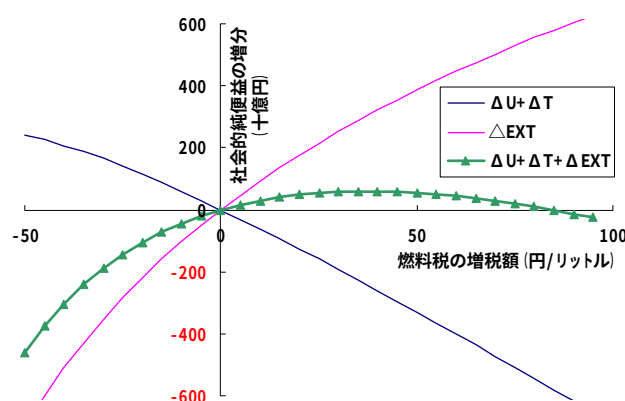
需要	保有台数 x_{21}	35.7百万台	(▲0.7%)
	走行距離 x_{22}	354.5十億 km	(▲4.4%)
効用水準増分 Δu		-1,134十億円	
税収	保有税	2,258十億円	
	燃料税	3,709十億円	
	計	5,967十億円	
	増分 ΔT	974十億円	
利用者便益 $\Delta u + \Delta T$		-160十億円	

表 6 外部不経済の変化と社会的純便益

外部不経済・社会的順便益	金額
温暖化ガス	39十億円
大気汚染	20十億円
混雑	114十億円
事故	41十億円
合計 ΔEXT	215十億円
社会的純便益 $\Delta u + \Delta T + \Delta EXT$	55十億円

こうした燃料税の増減税幅を変化させて、社会的純便益の水準が増減税によってどのように変化するかは、下図のとおり横軸に増減税幅を、縦軸に社会的純便益の増分をとることによって示すことができる。効用水準の増分に税収を加えた利用者便益 $\Delta u + \Delta T$ は、増税額が高くなるほど小さくなり、その傾きはきつくなる。外部性の増分（外部不経済の削減分） ΔEXT は逆に増税額が高くなるほど大きくなり、傾きは緩くなる。そのため、社会的純便益の増分は、上に凸の曲線を描く。頂点は約 40 円/リットルである。このモデルでは、燃料税の増税のみで社会的純便益を最大化させたい場合、40 円/リットル燃料税を増税すれば良いことになる。なお、このとき乗用車による CO₂ 排出は 6.6%削減される。

図 12 燃料税の増減税幅に応じた社会的純便益の変化



保有税の増税

自動車重量税・自動車税の自動車は走行してはじめて混雑や大気汚染等の外部不経済を生じることから、保有税¹⁶は、ゼロであることが望ましい¹⁷。したがって、保有税を増税し保有台数を抑えることは、ひずみが大きいはずである。

ここでは保有税の 100%増税を想定する。この場合、自動車の保有コストは、441 千円/台・年から 505 千円/台・年に増加することとなる。

下表に示す通り、税負担の拡大により保有費用が上昇するため、保有、走行とも需要が減少し、税収は増加するものの、利用者便益 $\Delta u + \Delta T$ は -1,580 億円とマイナスになる。燃料税増税と比較して、走行距離よりも保有台数の方が減少幅は大きくなる。

表 7 シミュレーション結果

需要	保有台数 x_{21}	34.6百万台 (▲3.6%)
	走行距離 x_{22}	365.8十億 km (▲1.4%)
効用水準増分 Δu		-2,232十億円
税収	保有税	4,385十億円
	燃料税	2,682十億円
	計	7,067十億円
	増分 ΔT	2,074十億円
利用者便益 $\Delta u + \Delta T$		-158十億円

外部不経済については、走行距離の減少、それにともなう燃料消費量の減少によって削減されるものの、その削減分 ΔEXT は、661 億円にとどまる。これは、上記の利用者便益 $\Delta u + \Delta T = -1,580$ 億円に比べ小さいため、社会的純便益 $\Delta Welfare = \Delta u + \Delta T + \Delta EXT$ は -920 億円のマイナスになる。

表 8 外部不経済と外部不経済の変化

外部不経済・社会的順便益	金額
温暖化ガス	12.1十億円
大気汚染	6.2十億円
混雑	35.2十億円
事故	12.6十億円
合計 ΔEXT	66.1十億円
社会的純便益 $\Delta u + \Delta T + \Delta EXT$	-92十億円

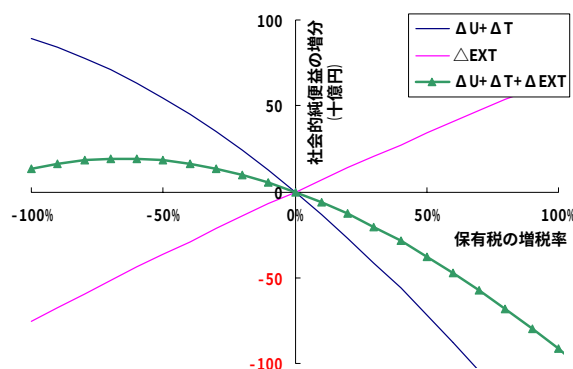
燃料税の増税の時と同様、保有税の増減税幅を変化させて、社会的純便益の水準が増減税によってどのように変化するかを見ているのが、以下の図 13である。社会的純便益 $\Delta u + \Delta T + \Delta EXT$ は増税に伴い減少し、保有税の 100%増税によって社会的純便益の減少は 1,000 億円近くに達す

¹⁶ 本稿では、自動車重量税、自動車税を総称して「保有税」と記す。

¹⁷ ファースト・ベストの税については第 2 部を参照。

る。逆に減税することによって社会的純便益は向上し、70%減税するときが最大となり 190 億円の社会的純便益が得られる。

図 13 社会的純便益



4. まとめ

第 1 部においては、自動車関連税の評価を例に CES 型効用関数による政策評価の基本的な考え方とその構築プロセスを示した。

2 章では CES 型効用関数の基本的考え方を示した。政策が複数の財の市場に影響を及ぼす場合の政策評価において、CES 型効用関数が有効であることを示した。すなわち、複数の財の市場を整合的に表現し、柔軟性を持ちつつも、需要関数をカリブレーションという手法によって特定化することによって、比較的容易に需要関数を推定できる。また、税収を消費者に還元することを想定すると、政策による社会的純便益の変化は、消費者の効用の変化に税収の増分を加え、さらに外部不経済の削減分を加えることによって計測できる。

3 章では層化効用関数への発展を示し、簡単なシミュレーションを行った。層化効用関数の第 1 段階に準線形効用関数を用いることによって、効用を貨幣単位で測ることができ、政策による効用の変化も容易に計測できることを示した。シミュレーションにおいては、自動車交通を例に取り上げ、課税による地球温暖化を中心とした効果の評価を行った。

その結果、燃料税は現状では過少であり、40 円程度増税することが望ましいことが示された。この場合、乗用車からの CO₂ 排出量は 6.6%削減される。一方、保有税は過剰であり、減税することが望ましいことが示された。

ただし、自動車交通を扱う場合、このモデルではまだ十分でない面がある。これは、以下の点である。

- ・耐久消費財の消費は、1 期だけの選択では決定されていない。
- ・日本の乗用車の構成比を見ると、軽自動車を見捨てることはできない。

特に、第一点目については、短期の価格弾力性が低くても、政策によって低燃費の自動車への代替が進むことによって、一層の効果が期待できるが、第一部で示した 1 期モデルでは、こうした効果を織り込めていない。第 2 部では、こうした点を考慮したモデルを構築し、必要以上に高度にならず、さらに精度の高いモデルとして動学的層化 CES 型モデルへの発展を試みることにする。

第2部 動学的層化 CES 型効用関数への発展

1. はじめに

第2部では、第1部に引き続き、自動車関係税制を活用した地球温暖化対策の評価を行う。ここでは、複数の政策代替案を定量的に比較・検討するために最低限必要な要素を含みつつ、できるだけ簡便なモデルを構築して分析することがポイントである。

わが国では、自動車関係税制を活用した地球温暖化対策として、2001年に自動車税制の「グリーン化」が導入された。また、燃料消費に課税する環境税の導入も議論されている。直観的には、CO₂の排出（ガソリンの消費）に直接的に課税する燃料税の増税が最も効果的であり、間接的な課税である保有税や取得税の増税は、温暖化対策としてはあまり効果がないと考えられる。また、CO₂排出量の削減効果にだけ着目するのではなく、それらの政策が自動車利用者の利便性をどの程度低下させ、環境改善による社会的な便益がどの程度の額になるのかといった国民の実質的な負担を（貨幣単位で）分かりやすく示す必要がある。

ここでは、わが国の実際の統計データを利用して、

（1）単純な増税によって CO₂排出量を削減しようとする場合、燃料税、保有税、取得税のどれを増税するのが最も有効か、

（2）自動車税制の「グリーン化」のような税収中立型の取得・保有税改革は、CO₂排出量の削減に有効なのか、

についてシミュレーション分析を行う。シミュレーション分析の意義は、望ましい税額や、そのときの CO₂排出量削減効果、社会的便益等を定量的に示すことができる点である。なお、データの制約から、グリーン税制そのものの評価は行えなかったが、ここでの分析はグリーン税制の影響についても示唆を与えることが期待される。

外部費用に対するピグー税という観点から考えると、ファースト・ベストの取得・保有税額はゼロであり、現行の取得・保有税はこれと比較して非常に高い水準にある。したがって、

（3）燃料税の増税による税収を保有税の減税に使う政策オプションについてシミュレーション分析を行う。

また、取得・保有税の歪みに関しては、軽自動車に焦点を当て、

（4）数度の規格改正を経て、軽自動車の車両特性が小型車に近くなったことを理由に税制上の優遇措置を撤廃した場合、それは燃費の良い自動車に対する増税となるが、地球温暖化対策とは矛盾しないか、

についても検討する。

これら进行分析するためのモデルの構築に際して、以下のような点を考慮することが必要である。

第一に、自動車に関する消費者の選択においては、どんな種類の車をいつ購入するかという車両の取得・保有に関する意思決定と、保有している自動車をどの程度走行させるかという意思決定とが絡み合っている。また、現行の自動車関係の税は、自動車の取得・保有・走行の各段階にそれぞれ課税されるシステムとなっている。したがって、これらを矛盾なく表現できるモデルを考える必要がある。ここでは、自動車の走行距離と保有台数を合成した「自動車サービス」という架空の財を考えることで、取得・保有に関する意思決定と走行距離に関する意思決定とをモデルの中に整合的に組み込んでいる。また、自動車の車種や車齢の違いについても明示的に考慮している。これらを表現するためには、第1部でも用いた層化CES型関数が有用である。

第二に、自動車のような耐久消費財は、将来時点における消費も考慮に入れて購入の意思決定がなされる。また、現時点での中古車ストックすなわち過去の意志決定の結果が、現在および将来の新車購入の意思決定に影響を与える。このようなケースでは、政策評価をより精密に行うためには、一時点でのシミュレーション・モデルではなく、動学的なシミュレーション・モデルを構築する必要がある。動学的なシミュレーション・モデルを考えることで、より精緻な政策評価ができるだけでなく、例えば、ガソリン税を増税した場合に、京都議定書の第一約束期間である2010年前後においてCO₂排出量がどの程度削減可能かといった、将来にわたる政策の影響を予測することが可能になる。

一方、モデルの簡便性を損なわないために、(a) 既存の自動車の廃車行動を外生化する、(b) その他消費財と自動車サービスとの関係をCES関数ではなく、準線形の関数で表現するという2つの単純化の仮定をおいている。自動車税制の「グリーン化」のように、自動車の取得・保有行動に大きな影響を与えることが予想される場合には、自動車の廃車行動はモデルの中で内生的に扱うほうがより望ましい。また、第1部でも触れたように、準線形の関数は支出シェアが大きい財の場合には分析結果に大きなバイアスを生む可能性がある。末尾の付録では、この2点の単純化がもたらす、シミュレーション結果へのバイアスを定量的に評価し、モデルを簡便化することの弊害が大きくないことを確認している。

自動車関係税制を活用した地球温暖化対策の定量的評価に関する先行研究は、海外においてはEUに焦点を当てたKoopman (1995)、Denis and Koopman (1998)、ブリュッセル都市圏に焦点を当てたProost and Van Dender (2001)などがあり、日本においては上田・武藤・森杉(1998)、太田他(2002)、鹿島他(2002a)(2002b)、林・加藤・上野(1999)、森杉(2002)、吉田他(2002)などがある。第2部で紹介するモデルは、日本全国を対象とし、ガソリンエンジンの自家用乗用車に焦点を当て、分析の内容を税制の変更によるCO₂排出量の削減効果と社会的純便益の評価のみに絞ることで、これら先行研究よりも小規模で単純化したモデルを構築している。したがって、上田・武藤・森杉、鹿島他、森杉などの研究で行われているような、公共交通の整備、税収と道路投資の問題、低燃費車の普及への補助策等についての分析はできないが、構造がシンプルであり、政策効果の発現メカニズムが比較的理解しやすいという利点を持っている。ま

た、大気汚染や混雑等の外部費用についてのサーベイを踏まえ、これらの削減便益も考慮に入れている点に特徴がある。

第2部は以下のような構成になっている。次の2章でシミュレーション・モデルの概略を紹介する。3章において、実際の統計資料や実証研究の結果を利用して、シミュレーション・モデルにおけるパラメータを設定する方法について簡単にまとめる。4章でシミュレーション結果を紹介し、5章でまとめる。

2. モデル

2.1 モデルの概略

すべての消費をまとめた代表的消費者の存在を仮定し、その代表的消費者の効用最大化問題を考える。代表的消費者は、車両保有と走行を合成した乗用車サービスと、その他消費財を消費することから効用を得る。したがって、代表的消費者は、自動車の保有台数と走行距離、及びその他消費財の消費量に関して意思決定を行う。

ここでは、分析対象とする自動車をガソリンエンジンの自家用乗用車に絞る。車種については、「普通車」（3ナンバー相当）、「小型車」（5ナンバー相当）、「軽自動車」の3車種を想定する。さらに、車齢による相違を考慮に入れる。ここでは、車齢が0～4歳のものを「新車」、5～9歳のものを「中古車1」、10歳以上のものを「中古車2」と呼ぶ。したがって、ここでは3車種、3車齢で合計9種類の「乗用車」を考える。

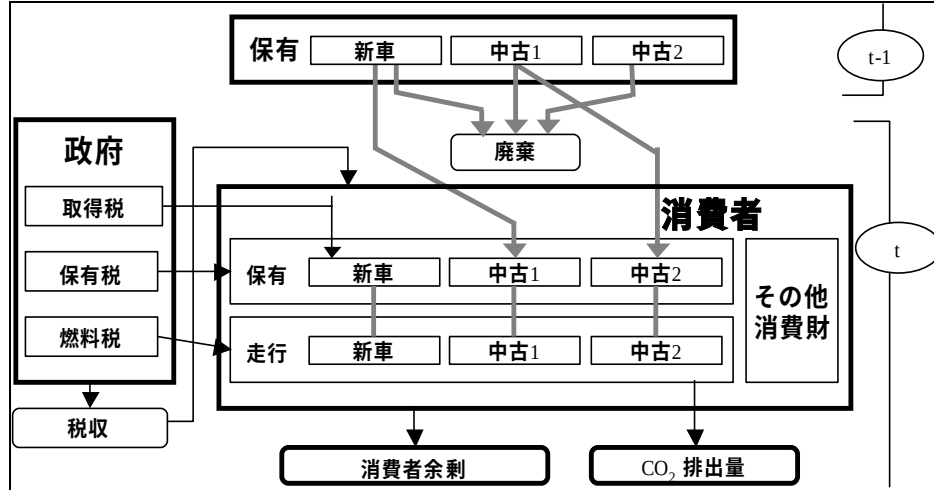
前述のように、自動車は耐久消費財であるので、動学的なモデルを考える。1期の長さは5年とし、代表的消費者が保有している今期の新車が、次期には一定の割合で廃棄され、残った車両が次期中古車1として保有され、さらに、次期中古車1が次々期に一定の割合で廃棄され、残った車両が次々期中古車2として保有されると考える。したがって、今期の新車購入の意思決定は、次期、次々期の保有も考慮に入れて行われる。また、代表的消費者がすべての自動車を保有しているので、代表的消費者がすべての中古車を需要かつ供給することになる（海外との中古車の取引は捨象して考える）。末尾の付録において、普通車と小型車の2車種を想定して、既存車両の廃車行動を内生化したモデルを構築している。ここでは、軽自動車をも考慮に入れるため、既存車両の廃車行動を外生化することで、モデルが複雑になることを避けている。ただし、既存車両の廃車行動を外生化することで発生するシミュレーション結果のバイアスは大きくない。詳細については付録を参照されたい。

1999年までの統計データを利用し、シミュレーション・モデルの第1期を2000年初めから2004年終わりまでとする。京都議定書の目標年次が2010年前後なので、CO₂排出量については第3期の排出量に着目する。また、第3期において内生的に決定される新車購入台数に整合性を持た

せるため、5期間のシミュレーションを行っている。

モデルの概略を図 14に模式的に示している。このモデルを用いて、燃料税、取得税、保有税の変更によってCO₂排出量がどのように変化するか、またそのとき発生する社会的純便益はどの程度なのかシミュレーション分析を行う。

図 14 モデルの概略



2.2 代表的消費者の効用関数

上述のように、1期を5年とした5期間のモデルを想定する。代表的消費者は、 t 期の効用 z_t ($t=1,2,3,4,5$)の割引現在価値の総和

$$(24) \quad z \equiv \sum_{t=1}^5 \frac{1}{(1+r)^t} z_t$$

の最大化を目的とする (r は割引率)。

各期の効用 z_t は其他消費財の消費量 c_t と乗用車サービス全体の消費量 x_t を合成したものであり、以下のような準線形の効用関数を仮定する。

$$(25) \quad z_t = c_t + \alpha_{xt} x_t^{\frac{\sigma_z - 1}{\sigma_z}}$$

準線形の効用関数を用いるとシミュレーションが非常に容易になるものの、価格体系が変化した場合の需要の変化は代替効果のみで所得効果がない。したがって、支出シェアが大きい財については、準線形の効用関数を用いるとシミュレーション結果に大きなバイアスをもたらす可能性がある。末尾の付録において、CES型の効用関数を仮定した場合と準線形の効用関数を仮定した場合とでシミュレーション結果がどの程度異なるのか比較し、パラメータを適切に設定すれば準線形の効用関数を用いても問題がないことを確認している。

準線形の効用関数を仮定した場合、乗用車サービスの需要の所得弾力性はゼロになるが、実際には、今後も所得の増大とともに乗用車サービスに対する需要も増大していくことが予想される。したがって、パラメータ α_{xt} が時間の経過と共に一定の率 (ρ) で大きくなっていくと仮定することで、シミュレーションにおいて乗用車サービスに対する需要が時間とともに増大していくように設定する。つまり、

$$(26) \quad \alpha_{xt} = \alpha_x (1 + \rho)^t$$

と仮定する。

乗用車サービス x_t は、普通車、小型車、軽自動車の3車種によるサービスに分解され、以下のようなCES型の関数で表されるとする。

$$(27) \quad x_t = \left(\sum_{i=1}^3 \alpha_{it}^{\sigma_x} x_{it}^{\frac{\sigma_x-1}{\sigma_x}} \right)^{\frac{\sigma_x}{\sigma_x-1}}, \quad i=1,2,3$$

ここで、 i は車種に関するインデックスであり、普通車は $i=1$ 、小型車は $i=2$ 、軽自動車は $i=3$ で表す。また、 α_i は分配のパラメータ、 x_{it} は各車種によるサービスの消費量を表す。 σ_x は車種間の代替の弾力性を表すパラメータである。以下の(28)、(29)式も同様に、 α は分配のパラメータ、 σ は代替の弾力性のパラメータを表す。

各車種によるサービス x_{it} は、車齢毎の乗用車サービス x_{ijt} に分解され、以下のようなCES型の関数で表現できるとする。

$$(28) \quad x_{it} = \left(\sum_{j=1}^3 \alpha_{ij}^{\sigma_i} x_{ijt}^{\frac{\sigma_i-1}{\sigma_i}} \right)^{\frac{\sigma_i}{\sigma_i-1}}, \quad i=1,2,3$$

ここで、 j は車齢に関するインデックスで、 $j=1$ であれば新車を、 $j=2$ であれば中古車1を、 $j=3$ であれば中古車2をそれぞれ表す。

各車種・車齢の乗用車サービス x_{ijt} は、車両保有台数 x_{ij1t} と走行距離 x_{ij2t} を合成したものであり、

$$(29) \quad x_{ijt} = \left(\sum_{k=1}^2 \alpha_{ijk}^{\sigma_{ij}} x_{ijk}^{\frac{\sigma_{ij}-1}{\sigma_{ij}}} \right)^{\frac{\sigma_{ij}}{\sigma_{ij}-1}}, \quad i=1,2,3, j=1,2,3$$

と表現する。ここで、 k は保有・走行に関するインデックスであり、 $k=1$ は保有台数を、 $k=2$ は走行距離を示す。

上述のように、代表的消費者が保有する今期の新車が、次期にはある一定の割合で廃棄され、残った車両が次期中古車 1 として保有される。したがって、既存車両の残存率を s_{ijt} とおくと、中古車 1 の保有車両数は、

$$(30) \quad x_{i21t} = s_{i2t} x_{i11,t-1}$$

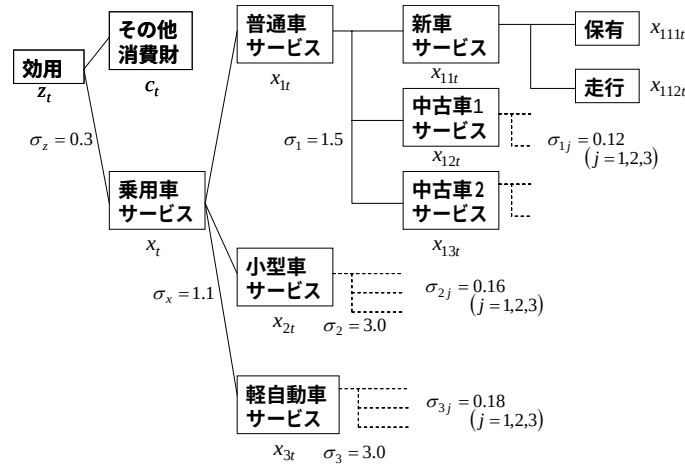
と表せる。中古車 2 の保有台数についても同様に、

$$(31) \quad x_{i31t} = s_{i3t} x_{i21,t-1} = s_{i3t} s_{i2,t-1} x_{i11,t-2}$$

と表すことができる。既存車両の残存率は、実際のデータを用いて外生的に与える。

図 15 はここで定式化した層化 CES 型関数の構造を図示している。¹⁹

図 15 層化 CES 型効用関数の概略



消費者が直面する価格体系は以下のように設定する。その他消費財の価格を 1 に基準化し、車両の保有及び走行に関する価格を p_{ijkt} とおく。走行にかかる価格 p_{ij2t} は税を含めた走行コストであり、

$$(32) \quad p_{ij2t} \equiv \frac{fuel_t + FuelTax_t}{effic_{ijt}}$$

と表すことができる。ここで、 $fuel_t$ は燃料価格、 $FuelTax_t$ は燃料税額、 $effic_{ijt}$ は各車種・車齢の燃費である。

保有に関する価格 p_{ij1t} には、車両本体の価格に加えて、保有税、取得税、修理・整備費用等の保有コストが含まれる。新車価格 p_{i11t} に含まれるのは、車両価格（1 期 5 年で償却すると仮定）、修理・整備費用、駐車場代、保険費用、保有税、取得税である。中古車 1 および中古車 2 の保有

¹⁹ 図中の σ の値は、シミュレーションで実際に用いた値である。設定方法については後述する。

コスト p_{i2t} および p_{i3t} は、修理・整備費用、駐車場代、保険費用、保有税からなる。

以上をまとめると、代表的消費者の予算制約式は

$$(33) \quad \sum_{t=1}^5 \frac{1}{(1+r)^t} \left[c_t + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 p_{ijkt} x_{ijkt} \right] \leq W + Transfer$$

となる。ここで、 W は代表的消費者が保有する総資産（将来所得を含む）の割引現在価値を表す。既存の税体系の下での税収は道路投資等に充てられ、政策の変更による自動車関係税の増収分は代表的消費者に一括補助金として還元されると仮定する。(33)式では $Transfer$ が一括補助金の割引現在価値を表す²⁰。シミュレーションを行う最適化問題の詳細については末尾の付録を参照されたい。

2.3 社会的厚生の評価

ある政策を評価する場合に、例えば CO_2 排出量がどのように変化するかといった量の変化も重要であるが、それ以上に重要なのは、その政策がどの程度の額の社会的便益や費用（国民の実質的負担）をもたらすのかという点である。ここで注意しなければならないのは、我々のモデルにおける代表的消費者の効用水準は、社会的厚生の一部しか捉えていないことである。第一に、地球温暖化及びその他の外部費用（大気汚染、混雑、交通事故等）が含まれていないので、これらの外部費用削減便益を別立てで計上しなければならない。第二に、自動車関係税以外の税（所得税や自動車以外に対する消費税等）が捨象されており、それらの影響を考慮に入れる必要がある。

ここでは、政策による社会的厚生の変化として、以下の5つの側面を考慮する。

（A） 代表的消費者の効用水準の変化

政策の実施に伴い、自動車利用者が直面する価格（あるいは、コスト）が変化し、消費パターン（自動車の保有と走行及びその他消費財の消費）にも変化が生じる。このことが、代表的消費者にとっての費用あるいは便益をもたらす。我々のモデルでは、代表的消費者の効用水準の変化を貨幣換算したものがこのメカニズムでの効果を表す。

（B） 燃料消費量の減少にともなう地球温暖化ガス、大気汚染物質削減便益

燃料消費量の変化は、地球温暖化の原因となる CO_2 の排出量や大気汚染の原因となる SPM の発生量を変化させ、それらによって生じていた外部費用の削減便益（増加の場合はコスト）をもたらす。ここでは、地球温暖化ガスや大気汚染原因物質は燃料消費量に比例して発生すると仮定する。

²⁰ その他消費財と乗用車サービスとの関係を準線形で表した場合、シミュレーションにおいて、

(C) 走行距離の減少にともなう混雑、交通事故削減便益

自動車の走行距離の変化は、混雑や交通事故による外部費用の削減便益をもたらす。ここでは、この2つの外部費用は走行距離に比例して発生すると仮定する。

(D) 自動車関係税以外の税による歪みの減少

自動車関係税の増収分は一括補助金として代表的消費者に還元すると仮定しているが、所得税など自動車関係税以外の減税財源として用いることも可能である。このとき、他の税による歪みを減少させる追加的な便益が発生する。課税によって、外部費用の削減便益に加え、他の税による歪みが緩和される場合には、「二重の配当」が発生するという。

(E) 自動車関係の消費税率の変化

消費税はすべての財・サービスに広く課税されるものである。消費税率については他の自動車関係税とは違った取り扱いが必要である。ここでは、一律の消費税はすべての消費が負担すべき社会的費用（それぞれの財サービスの生産に必要な社会インフラの限界費用）であると考えられる。つまり、消費税を含んだ価格がその財・サービスの社会的限界費用を表すと考えられる。

我々のモデルでは、消費税について自動車とそれ以外の消費とで異なった扱いがされている。自動車以外の消費については、価格が消費税を含んでおり、消費税率は明示的に出てこないが、自動車関係の消費税率はその税率を消費者に還元することになっている。したがって、社会的厚生計算においては、自動車関係の消費税率をコストとして差し引く必要がある。

以上をまとめると、何ら政策がとられないBAU（Business As Usual）ケースを基準として、ある政策がとられた場合の社会的厚生の変化は

$$(34) \quad \Delta Welfare = (z - z_{base}) - \sum_{t=1}^5 \frac{\theta^f}{(1+r)^t} \left\{ \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \frac{\Delta x_{ij2t}}{effic_{ijt}} \right\} - \sum_{t=1}^5 \frac{1}{(1+r)^t} \left\{ \sum_{i=1}^3 \theta_i^d \left(\sum_{j=1}^3 \Delta x_{ij2t} \right) \right\} \\ + (MCPF - 1) \cdot Transfer - \Delta CT$$

と表すことができる。

ここで、右辺の最初の項は代表的消費者の効用を貨幣換算したものであり、上記の（A）に相当する。この項における z_{base} は、BAU ケースの効用水準である。

右辺第2項は、燃料の消費量の減少による地球温暖化ガスや大気汚染の削減便益であり、上記の（B）に相当する。 θ^f は燃料消費1単位あたりの外部費用を表す。

右辺第3項は走行距離の減少による混雑や交通事故の外部費用削減便益であり、上記の（C）に相当する。 θ_i^d は各車種の走行距離1単位あたりの外部費用を表している。

既存の税による歪みの緩和の効果は第4項に表されている。これは上記（D）に相当する。 $MCPF$ は公共資金の限界費用（Marginal Cost of Public Funds）であり、公共資金の限界費用が1

一括補助金の割戻しによる繰返し計算が不要になり、計算が大幅に簡略化される。

より大きい場合には、自動車関係の税の増収分による他の税の減税が追加的な社会的便益をもたらす。

右辺の最後の項は自動車関係の消費税収（CT）の変化を表している。これは上記（E）に相当する。

以下では、これらの合計を政策の実施に伴って発生する「社会的純便益」と呼ぶ。

3. パラメータの設定

3.1 パラメータの設定の概略

シミュレーション・モデルにおけるパラメータのカリブレーションは、入手可能なデータに基づいて以下の順で行った。その際に利用した主な統計資料は、表 9のとおりである。

表 9 パラメータの設定に用いた価格及び需要に関する統計資料

項目			資料
所得			国民経済計算年報：経済企画庁
需要量	保有台数		自動車保有車両数：自動車検査登録協会の 自動車年鑑ハンドブック：日刊自動車新聞社
	走行距離		陸運統計年報：国土交通省 中古車市場データ（『カーセンサー』）：リクルート
	燃料		自動車輸送統計年報：国土交通省
価格	保有	新車価格	自動車価格月報：オートガイド
		駐車場賃料	家計調査年報：総務省
		保険料	自動車保険の概況：自動車保険料算定会
		修理・整備	家計調査年報：総務省
	走行	ガソリン価格	石油価格統計集：セキツウ
		燃費	自動車輸送統計年報：国土交通省
			自動車燃費一覧：国土交通省

パラメータの設定の流れ

- （１） 統計資料から価格・数量に関する値を設定する（詳細は付録を参照）。
- （２） 効用関数のパラメータを決定する。
- （３） 既存の実証研究を参考に、外部費用の貨幣評価原単位を決める。
- （４） 最終期の自動車保有台数および走行距離を設定する。

政策評価モデルにおいて最も重要なパラメータは、政策の量的な効果を決定する需要の価格弾力性に関するパラメータと、社会的費用/便益の評価に用いる外部費用等の貨幣評価原単位である。この２種類のパラメータの値については、感度分析などによってシミュレーション結果に与える影響をチェックする必要がある。

さらに、ここで用いているような動学的なモデルを考える場合には、以下の２点に注意しなければならない。

第一に、ある程度長い期間を考慮するので、効用関数のパラメータ等の設定では、一時点でのデータを用いるよりも、一定期間の平均的な値を用いた方が、時期による変動がならされるので、望ましい。ここでは、効用関数のパラメータを決める際に使用する自動車保有台数は、一時点でのデータではなく、過去のデータも用いて平均的な値を設定している。

第二に、最終期の需要量等は外生的に与えて固定する必要がある、これらの値はシミュレーション結果に大きな影響を与える。これらの値を決める際には、シミュレーションにおいて内生的に決まる値のトレンドから大きくかけ離れてはならない。したがって、最終期の需要量等の値を設定する際には何らかの工夫が必要である。ここでは、外生変数の値を仮に設定し、シミュレーションを行い、その結果を基に外生変数の値を再度設定するという作業を繰り返して最終期の需要量を決定している。

3.2 効用関数のパラメータの設定

効用関数のパラメータは、代替の弾力性 σ と分配のパラメータ α の2種類である。CES 型関数では、需要の価格弾力性は財の支出シェアと代替の弾力性の値から決まるので、代替の弾力性の値の設定には注意が必要である。ここでは、需要の価格弾力性に関する実証研究の結果と整合的になるように代替の弾力性の値を外生的に与える。代替の弾力性に関する感度分析については、藤原・蓮池・金本（2002）を参照されたい。分配のパラメータは、設定した代替の弾力性及び価格・数量データを需要関数に代入することによって求められる。

代替の弾力性

表 10 代替の弾力性の設定値

代替関係	車種	記号	設定値
保有－走行	普通車 (全車齢)	σ_{1j} $j=1,2,3$	0.12
	小型車 (全車齢)	σ_{2j} $j=1,2,3$	0.16
	軽自動車 (全車齢)	σ_{3j} $j=1,2,3$	0.18
新車－中古車 1 - 中古車 2	普通車	σ_1	1.5
	小型車	σ_2	3.0
	軽自動車	σ_3	3.0
普通車 - 小型車 - 軽自動車		σ_x	1.1
乗用車サービス－消費財		σ_z	0.3

需要の価格弾力性のうち、走行距離の燃料価格弾力性が既存の研究と整合的になるように設定した。詳細は表 10のとおりである。この場合、走行距離の燃料価格弾力性は約 0.18 になり、

Goodwin (1992)、Oum et.al (1992)、二村(2000)等の実証研究で得られた推定値 0.11～0.23 の範囲内である。

分配のパラメータ

分配のパラメータは、代替の弾力性及び価格・数量データから決定される。効用最大化の条件から、分配のパラメータは以下の関係を満たす。

$$(35) \quad \alpha_{ijk} = \left(p_{ijk} x_{ijk}^{1/\sigma_{ij}} / \sum_{k=1}^2 p_{ijk} x_{ijk}^{1/\sigma_{ij}} \right)^{\sigma_{ij}}$$

$$(36) \quad \alpha_{ij} = \left(p_{ij} x_{ij}^{1/\sigma_i} / \sum_{j=1}^3 p_{ij} x_{ij}^{1/\sigma_i} \right)^{\sigma_i}$$

$$(37) \quad \alpha_i = \left(p_i x_i^{1/\sigma_x} / \sum_{i=1}^3 p_i x_i^{1/\sigma_x} \right)^{\sigma_x}$$

$$(38) \quad \alpha_x = \frac{\sigma_z}{\sigma_z - 1} p_x x^{\frac{1}{\sigma_z}}$$

ここで、 p_{ij} は価格インデックスで、 $p_{ij} = \left(\sum_{k=1}^2 \alpha_{ijk} p_{ijk}^{1-\sigma_{ij}} \right)^{\frac{1}{1-\sigma_{ij}}}$ を満たす。(37)式の p_i と(38)式の p_x

も同様に計算している。

これらの式に、上で設定した代替の弾力性、保有と走行に関する費用、実際のデータから得られる保有台数及び走行距離をそれぞれ代入し、分配のパラメータを設定した。その際に2つの問題が発生するが、それらは以下のように処理した。

第一の問題は、実際には中古車の廃車は修理・整備費用等に依存して決まると考えられ、中古車の保有価格が内生的に決定されるので、分配のパラメータの計算に際しては平均価格ではなく、限界価格（シャドープライス）を用いる必要があるという点である。この点については、新車のシャドープライスと中古車のシャドープライスとが等しいと仮定してシャドープライスを計算した²²。シャドープライスの計算方法については付録を参照されたい。

²² 新車と中古車とは同質ではなく差別化されていると仮定しているので、一般にはこれらのシャドープライスは等しくならない。しかし、新車と中古車は密接な代替関係にあるので、シャドープライスが大きくは異ならないと考え、パラメータの設定の際には、これらのシャドープライスが等しいすなわち新車と中古車とが完全代替であると仮定している。

第二の問題は、効用関数のパラメータを求めるには定常的な状態での車齢構成を考える必要があるが、実際のデータから得られる自動車ストックの値は定常的なものとは考えにくいという点である。そこで、定常的な自動車保有台数を以下のように仮想的に計算した。

- ① 自動車保有車両数のデータから、年式毎に残存率を計算する。
- ② 1995 年度から 1999 年度の残存率の平均を求める。
- ③ 1999 年度の新車登録台数に、②で求めた残存率の平均値を乗じ、年式毎の車両台数を求める。
- ④ 年式毎の台数を、「新車」、「中古車 1」、「中古車 2」に集計する。

こうして求めた「定常状態」における自動車保有台数は表 11に示されている。付録 1 の表 28 と表 11を比較すると分かるように、現在の車齢構成は、定常状態での車齢構成と比較して、普通車及び軽自動車の中古車保有台数が少なくなっている。この原因としては、以下の二つが考えられる。第一は、1989 年の税制改正によって普通車と小型車の税率格差が撤廃され、普通車の新車販売台数が急激に増加した影響が残っていることである。第二は、1990 年および 1998 年の軽自動車の規格改正によって、軽自動車と小型車とが比較的似通った車両特性になったにもかかわらず、取得・保有に関する税制が軽自動車に有利なままであり、軽自動車の新車販売台数が急激に増加し続けていることである。

表 11 1999 年新車ベースの「定常状態」における自動車保有台数（単位：千台）

	新車	中古 1	中古 2	合計
普通車	6,098	5,597	3,911	15,607
小型車	10,241	7,816	2,255	20,311
軽自動車	6,156	5,756	3,562	15,474
合計	22,495	19,170	9,728	51,392

表 11を用いて分配のパラメータを計算した。その結果は表 12のとおりである。なお、その他消費財への支出額は、国民経済計算年報の家計消費支出（1999 年度）の値から、(15) 式までを計算して求められる自動車関係支出額を差し引くことで求めている。乗用車サービスへの支出シェアが約 8.8%であり、準線形の効用関数を仮定しても大きな問題はないと考えられる。

割引率等

割引率 r は 0.2（年平均約 4%）とした。乗用車サービスに対する需要量の伸び率を 5%（年平均 1%）とし、パラメータ α_x の増加率 ρ を、 $\rho = 0.05/\sigma_z \cong 0.17$ とした²³。さらに、家計消費

²³ 乗用車サービスの需要関数は $x_t = \left(\frac{\sigma_z - 1}{\sigma_z} \frac{\alpha_{xt}}{\rho_x} \right)^{\sigma_z}$ であるので、乗用車サービス需要の成長率と

支出額について5期間の総額の割引現在価値を計算し、代表的消費者が保有する総資産の割引現在価値 W を約998兆円としている。

表 12 分配のパラメーター一覧

	価格 p_i	価格 インデックス	消費量 x_i	支出額 e_i	支出シェア w_i	分配パラメータ α_i
新車保有（普通）	535.9		6.1	3267.9	0.75633	0.134591116
中古1保有（普通）	535.9		5.6	2999.8	0.75633	0.134591116
中古2保有（普通）	535.9		3.9	2096.2	0.75633	0.134591116
新車保有（小型）	366.6		10.2	3754.1	0.79261	0.187038647
中古1保有（小型）	366.6		7.8	2865.3	0.79261	0.187038647
中古2保有（小型）	366.6		2.3	826.5	0.79261	0.187038647
新車保有（軽）	227.0		6.2	1397.6	0.78506	0.259939311
中古1保有（軽）	227.0		5.8	1306.8	0.78506	0.259939311
中古2保有（軽）	227.0		3.6	808.6	0.78506	0.259939311
新車走行（普通）	15.1		69.5	1052.8	0.24367	0.999999993
中古1走行（普通）	15.1		63.8	966.4	0.24367	0.999999993
中古2走行（普通）	15.1		44.6	675.3	0.24367	0.999999993
新車走行（小型）	10.1		97.3	982.3	0.20739	0.999995495
中古1走行（小型）	10.1		74.2	749.7	0.20739	0.999995495
中古2走行（小型）	10.1		21.4	216.3	0.20739	0.999995495
新車走行（軽）	9.0		42.3	382.6	0.21494	0.999898921
中古1走行（軽）	9.0		39.6	357.8	0.21494	0.999898921
中古2走行（軽）	9.0		24.5	221.4	0.21494	0.999898921
新車（普通）		75.366	57.3	4320.8	0.39072	0.226874311
中古1（普通）		75.366	52.6	3966.2	0.35866	0.208258258
中古2（普通）		75.366	36.8	2771.5	0.25062	0.145527445
新車（小型）		65.705	72.1	4736.4	0.50418	0.062659200
中古1（小型）		65.705	55.0	3615.0	0.38481	0.047824133
中古2（小型）		65.705	15.9	1042.8	0.11100	0.013795222
新車（軽）		58.975	30.2	1780.3	0.39784	0.045015718
中古1（軽）		58.975	28.2	1664.6	0.37198	0.042089704
中古2（軽）		58.975	17.5	1030.0	0.23018	0.026044705
普通		223.529	49.5	11058.6	0.44363	0.404327197
小型		186.380	50.4	9394.1	0.37686	0.337285852
軽		175.322	25.5	4474.9	0.17952	0.159685984
乗用車		565.179	44.1	24927.6	0.08812	-73,426,876
消費財				257966.5		
総消費				282894.1		

α_{xt} の増加率とは、 $\frac{\Delta x_t}{x_t} = \sigma_z \frac{\Delta \alpha_{xt}}{\alpha_{xt}}$ という関係になる。したがって、乗用車サービス需要の成長率を5%（年率1%）と仮定すると、 $\rho = 0.05/\sigma_z$ である。

3.3 外部費用の貨幣評価原単位の設定

環境政策の評価においては、外部費用を定量的に評価することが必要になる。この面の研究はわが国においては端緒についたばかりであり、十分であるとはいえないが、欧米諸国ではかなりの数の研究成果が出てきている。ここでは欧米の研究成果を中心に文献調査し、それらを基礎に、現時点でベストと思われる推計値を採用する。また、環境外部費用の推計値には大きな誤差があるので、幅をもった推計を行う。具体的には、現時点でベストと思われる推計値を中位値とし、一定程度の信頼性があると思われる推計結果のうちで最低水準のものと最高水準のものとをそれぞれ低位値及び高位値として設定する。文献調査の詳細については付録を参照されたい。

この研究の対象は乗用ガソリン車であるので、外部費用はガソリン車を対象に推計する。ディーゼル車についてはかなり異なった値になることに注意が必要である。大まかな傾向としては、ディーゼル車はガソリン車より燃費が良いので地球温暖化費用は低くなるが、NO_x 及び SPM の排出量が大きいため大気汚染費用が高くなる。

ここで設定した外部費用の推計値をまとめたのが、以下の表 13である。外部費用の要因の中で最大のものは混雑外部費用であり、中位ケースでは外部費用の約半分（13.9 円/km中 7 円/km）を占める。混雑外部費用以外の外部費用は、地球温暖化ガス（2.9 円/km）、交通事故（2.5 円/km）、大気汚染（1.5 円/km）の順に大きな要因となっている。外部費用全体に占める環境外部費用（地球温暖化ガス及び大気汚染）の割合は約 32%（13.9 円/km中 4.4 円/km）とそれほど大きくない。また、環境外部費用については、地球温暖化ガスの方が大きな要因となっている。前述のように、省エネが進んでいる日本における地球温暖化対策費用が世界レベルより高いことと、大気汚染の原因となる SPMは軽油車による排出が大きいのにに対してガソリン車はほとんど排出しないことから、ここで分析対象としているガソリン車では地球温暖化ガスの方が大気汚染よりも大きな外部費用をもたらすと考えられる。

公共資金の限界費用については、特に断りのない限り、1 と仮定する。

表 13 外部費用の貨幣評価原単位

外部費用 タイプ	温暖化ガス	大気汚染 (NO _x 等)	消費税	混雑	事故被害
	燃料消費 千円/tC (円/ℓ)	燃料消費 円/ℓ	付加価値 %	走行距離（普通車） 円/km	
低位	5 (3.2)	6.6	5	4.2	1.0
中位	30 (18.9)	9.9	5	7.0	2.5
高位	50 (31.5)	66.0	5	15.0	7.0

表 14は、表 13における外部費用の推計値を前提にしたときのファースト・ベストの税体系と

現行税制とを比較している。中位値においてファースト・ベストの燃料税（34 円/ℓ）は現行燃料税（58.56 円/ℓ）より低いが、普通車の場合で 9.5 円/km の走行距離税が必要とされる。この走行距離税を、平均燃費を用いて燃料税に単純換算すると 62.7 円/ℓとなり、これだけで現行燃料税を若干上回ることになる。これとファースト・ベストの燃料税を合計すると、96.7 円/ℓとなり、現行燃料税を 30 円/ℓ近く上回る。保有税についてはゼロ、取得税については、消費税部分以外はゼロとするのがファースト・ベストとなる。以下で検討する税体系の変更はファースト・ベストを目指すものではないが、通常はファースト・ベストに近い方向の税制改革がより大きな社会的純便益をもたらすことになる。

表 14 ファースト・ベストの税体系と現行税制

税の タイプ (単位)	燃料税 (円/ℓ)				走行距離税（普通車） (円/km)			燃料税＋ 走行距離 税 (円/ℓ)	取得税 (千円/台)			保有税 (千円/台・年)	
	温暖化 ガス	大気汚 染	消費税	燃料税 計	混雑	事故被 害	走行距 離税計	燃料税換 算	普通車	小型車	軽	普通車	小型車
低位	3.2	6.6	4.76	14.5	4.2	1.0	5.2	48.8	150	75	50	0	0
中位	18.9	9.9	4.76	33.6	7.0	2.5	9.5	96.3	150	75	50	0	0
高位	31.5	66.0	4.76	102.3	15.0	7.0	22.0	247.5	150	75	50	0	0
現行				58.56			0	58.56	300	150	80	76.2	53.4

3.4 第4期・第5期における自動車保有台数と走行距離

ここでは5期間のシミュレーション・モデルを考えているが、シミュレーションに際しては、第4期と第5期における新車購入台数と走行距離の値を外生的に与える必要がある。これらの値を決める際には、シミュレーションにおいて内生的に決まる第3期までの値のトレンドとかけ離れないようにするのが望ましい。したがって、以下のような整合性条件を設定する。

第4期・第5期の外生変数設定における整合性条件：新車購入台数は、車種別の（中古車を含む）総保有台数が年率1%（乗用車サービス需要の成長率と同率）で成長すると仮定して車種別総保有台数を計算し、中古車保有台数を差し引いて求める。ここで差し引く中古車保有台数については、前期の新車及び中古車1の保有台数に付録1の表29の残存率をかけて計算する。つまり、第4期中古車1及び中古車2の保有台数は第3期の新車及び中古車1の保有台数（内生）に残存率をかけて計算する。第5期については第4期の新車及び中古車1の保有台数に残存率をかける。車種車齢別の総走行距離は、前述の1台あたり走行距離の推計値に保有台数をかけて計算する。

この条件を満たすような第4期・第5期の外生変数（自動車保有台数と走行距離）を求めるに

は、第3期までの内生変数の値が必要であるので、以下のような繰り返し計算を行う。最終的な外生変数の値は、シミュレーション結果とともに表 15に示す。

- ① 第4期・第5期の外生変数の値を仮に設定する。
- ② ①で設定した値の下でシミュレーションを行う。
- ③ シミュレーションで得られた内生変数の値を用いて、整合性条件を満たす第4期・第5期の外生変数の値を計算する。
- ④ 整合性条件から計算された外生変数の値を用いて再度シミュレーションを行う。
- ⑤ シミュレーションの前に設定した外生変数と整合性条件から計算した値とがほぼ一致するまで繰り返し計算を行う。

4. シミュレーション結果

4.1 BAUケース

はじめに、各種政策を比較検討するベンチマークとして、自動車関係税制が現行のまま推移する場合（BAU ケース）のシミュレーションを行った。自動車保有台数や走行距離及び CO₂排出量のシミュレーション結果は表 15のとおりである。

乗用車サービスの需要量の成長率を1期あたり5%と仮定したため、車種間の保有構成に変化がなければ、第3期においては各車種とも保有台数がおよそ15%増加(0期比)するはずである。しかしながら、われわれのシミュレーション結果では、軽自動車及び普通車の保有台数は大きく伸び、小型車の保有台数は減少している。このような結果が得られた原因としては、主として以下の2点が考えられる。第一に、1990年および1998年の軽自動車の規格改正によって、軽自動車と小型車とが比較的似通った車両特性になったにもかかわらず、取得・保有に関する税制が軽自動車に有利なままであることが挙げられる。このことにより、小型車から軽自動車への転換が進むと予想される。第二に、1989年の税制改正によって普通車と小型車の税率格差が撤廃され、普通車販売台数が急激に増加し、0期における普通車の車齢別構成が、新車車両数が多く、中古車車両数が少ない構成になっているため（表 28および表 11参照）、これが時間と共に調整されていく結果、普通車の総保有台数が大きく増加すると考えられる。

表 15 シミュレーション結果：BAU ケース

		0 期 (1999)	1 期 (～2004)	2 期 (～2009)	3 期 (～2014)	4 期 (～2019)	5 期 (～2024)	3 期における 伸び率 (0 期比)
普通車	保有台数 (百万台)	12.8	16.6	17.5	17.9	18.7	19.7	39.0%
	走行距離 (10 億 km)	146.3	188.9	199.1	203.8	213.6	224.3	39.3%
	1 台当たり 走行距離 (千km)	11.4	11.4	11.3	11.4	11.4	11.4	0.2%
小型車	保有台数	27.9	22.6	22.1	23.4	24.5	25.8	-16.2%
	走行距離	265.0	213.2	209.9	222.3	233.1	244.7	-16.1%
	1 台当たり 走行距離	9.5	9.4	9.5	9.5	9.5	9.5	0.1%
軽	保有台数	9.0	14.3	17.1	17.8	18.7	19.7	98.5%
	走行距離	61.7	100.5	116.8	122.6	128.6	135.1	98.6%
	1 台当たり 走行距離	6.9	7.0	6.8	6.9	6.9	6.9	0.1%
合計	保有台数	49.7	53.5	56.7	59.0	62.0	65.1	18.8%
	走行距離	473.0	502.5	525.8	548.7	575.3	604.1	16.0%
	1 台当たり 走行距離	9.5	9.4	9.3	9.3	9.3	9.3	-2.3%
CO ₂ 排出量 (百万トン)		35.1	37.3	39.0	40.6	42.5	44.7	15.7%

第3期におけるCO₂排出量については、約4千万tCと、1999年比で15.7%の伸びが予測される。自家用乗用車のCO₂排出量に関する統計は入手できないので、自動車輸送統計年報のガソリン消費量のデータから推計すると、1999年（0期）は1990年比で約49.1%の伸びとなっている。したがって、単純に計算すると第3期におけるCO₂排出量は1990年比で約72.6%増となる。二村（2000）は、2010年の自動車ガソリン需要について1990年比53%増と予測している。また、林・加藤・上野（1999）は、2010年のCO₂排出量について、1990年比80%増と予測している。政府の予測では、運輸部門のBAUケースでは、2010年には1990年比40%増が予測されているが、これは道路整備による平均走行速度改善効果等を考慮に入れた値であり、さらに、ここで分析対象としている自家用乗用車部門は、運輸部門の中でも最大のCO₂排出量シェアを占めていて、その増加も著しいため、自家用乗用車部門だけ取り出した場合には40%より大きい値であると予想される。したがって、われわれのシミュレーション結果はおおむね妥当な結果で

あると考えられる。

当然のことながら、CO₂排出量の予測値は、燃費改善に関する仮定に大きく依存する。われわれのモデルでは、年平均1%の率で燃費が改善していくと仮定すると、CO₂排出量は約3,700万tC（1990年比57.7%増）になり、年平均2%の率で燃費が改善していくと仮定すると、CO₂排出量は約3,500万tC（1990年比44.8%増）になる。ここで注意したいのは、燃費が改善されると走行価格が低下し、そのことによって走行距離およびCO₂排出量が増加する効果（リバウンド効果）があることである。例えば、燃費が年平均2%改善したにもかかわらずリバウンド効果がないと仮定した場合、CO₂排出量は約3,200万tC（1990年比で約36.8%増）になる。したがって、燃費の改善によるCO₂排出量の削減効果は、リバウンド効果によってその一部が相殺される。燃費改善効果の影響については、表24にまとめられている。以下のシミュレーションは、特に断りのない限り、燃費改善効果がないケースについて分析している。

4.2 税制の変更の定量的評価

ここでは、自動車関係税制の変更を伴ういくつかの政策オプションについてシミュレーションを行い、それらの政策の効果を定量的に評価・比較する。ここで着目するのは、第3期におけるCO₂排出量の削減率（BAU比）と、社会的純便益である。シミュレーション分析によって、各政策オプションのうちで社会的純便益が最大となるような税額/率と、そのもとでのCO₂排出量の削減率を求める。

以下では4つのテーマでシミュレーション分析を行う。まず、

- （1）単純な増税によってCO₂排出量を削減しようとする場合、燃料税、保有税、取得税のどれを増税するのが最も有効か

についてシミュレーション分析を行う。直観的には、CO₂の排出（ガソリンの消費）に直接的に課税する燃料税の増税が最も効果的であり、間接的な課税である保有税や取得税の増税は、温暖化対策としてはあまり効果がないと考えられる。シミュレーション分析の意義は、実際にどの程度の額の税額が望ましいのか、そのときにどれくらいのCO₂排出量の削減効果があって、どの程度の社会的費用や便益が発生するのかといったことを定量的に示することができる点である。

地球温暖化対策としては、

- （2）自動車税制の「グリーン化」のような税収中立型の取得・保有税改革は、CO₂排出量の削減に有効なのか

についても検討する。上述のように、CO₂の排出に対して間接的に働きかける政策がどの程度の効果があるのかシミュレーション分析によって確かめる。

先に見たように、ファースト・ベストの保有税額はゼロであり、現行の保有税はこれと比較して非常に高い水準にある。（1）のシミュレーション分析において、自動車関係の税収は、BAUケースにおける税収を超えた分については代表的消費者に一括補助金という形で還元すると

仮定している²⁴が、燃料税を増税するとともに、その財源で保有税を減税すれば、地球温暖化対策と保有税の歪みの緩和とが両立でき、社会的に大きな便益を生むことが予想される。したがって、

(3) 燃料税の増税による税収を保有税の減税に使うことは、CO₂排出量の削減や社会的厚生にどのような影響を与えるのか

についてもシミュレーション分析を行う。

保有税（および取得税）の歪みに関しては、軽自動車に焦点を当て、

(4) 数度の規格改正を経て、軽自動車の車両特性が小型車に近くなったことを理由に税制上の優遇措置を撤廃した場合、それは燃費の良い自動車に対する増税となるが、地球温暖化対策とは矛盾しないか

についても検討する。

(1) 増税による温暖化対策の効果

はじめに、燃料税、保有税、取得税それぞれを単純に増税していくケースを考える。燃料消費の段階で課税するのと、自動車の保有あるいは取得の段階で課税するのと、どちらが CO₂排出量の削減に対して有効なのか、また社会的純便益が最大になる税額/率はおおよそいくらになるのかシミュレーションによって求める。

シミュレーション結果は図 16 および表 16 にまとめてある。図 16 は、横軸に CO₂削減率、縦軸に年平均の社会的純便益をとり、さまざまな税額/率のシミュレーション結果をプロットしたものである。また、表 16 はある税額/率における社会的純便益を項目別にまとめたものである²⁵。

図 16 および表 16 から分かるように、保有税や取得税の増税は CO₂削減効果が小さい。また、ファースト・ベストの取得・保有税額はゼロ（除消費税）であるので、取得・保有税の増税による利用者便益の低下は大きなものになる。したがって、利用者便益の低下（代表的消費者の効用水準の変化を貨幣換算したもの）が混雑緩和・環境改善便益を上回り、社会的純便益はマイナスになる。

一方、燃料税の増税は、取得税・保有税の増税に比べると CO₂削減効果は大きい、絶対的な削減量としては小さい。たとえば、燃料税を現行よりも 25 円/ℓ 増税した場合、BAU 比の CO₂削減率は約 4.3% 程度であり、CO₂排出量は 90 年比でおよそ 65.2% 増 (38.8 百万トン) となる。削減量が小さいのは、走行距離の燃料価格弾力性の値が約 0.18 と小さいためである。したがって、CO₂の排出量を大きく削減するには、増税額を大きくするか、排出権の購入等、他の手段を併用することが必要であり、その際には、増税額を大きくした場合と、その他の政策手段を採る

²⁴ BAU ケースにおける税収は道路投資等に充てられると仮定している。

²⁵ 見通しを良くするため、社会的純便益は自動車 1 台あたりに直して示している。自動車の総保有台数は約 5・6 千万台程度なので、1 台あたりの便益に 0.5 億をかければ便益の総額のおおよそが把握できよう。

場合にかかる費用/便益を定量的に比較・検討することが必要となる。

図 16 CO₂削減効果と社会的純便益の比較

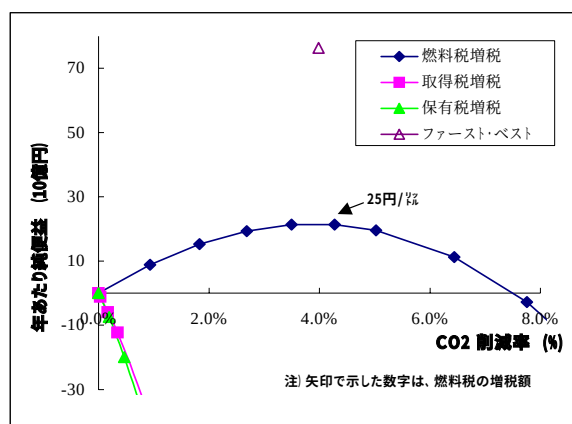


表 16 CO₂削減効果と一台あたり社会的純便益の比較（詳細）

増税 タイプ	税額/率	CO ₂ 削減率	一台あたり社会的便益 (円/台・年)					純便益
			利用者 便益	CO ₂ 削減 便益	大気汚染 削減便益	混雑・事故 削減便益	消費税 減少	
燃料税	25 円/ℓ	4.3%	-2,799	606	317	2,010	227	362
保有税	50%	0.92%	-1,622	148	77	491	154	-752
取得税	50%	0.17%	-261	28	14	92	28	-99

燃料税を増税する場合、純便益が最大となる増税額は 25 円/ℓであり、このときに発生する純便益は約 362 円/台・年と小さい。発生する便益のうち最大のものは、混雑・事故費用削減便益であり、およそ 2,010 円/台・年である。CO₂の削減便益はこれよりかなり小さく、約 606 円/台・年である。ここではガソリン車に対象を絞っているため、大気汚染の削減便益はさらに小さく、約 317 円/台・年である。一方、自動車利用者が負担するコスト（利用者便益の低下）はおよそ 2,799 円/台・年であり、混雑緩和・環境改善便益をほぼ相殺する。その結果として、社会的純便益が約 362 円/台・年と小さな値になっている。

外部費用のうちの約半分が混雑外部費用であることを反映して、発生する便益も混雑削減便益が最も大きくなっている。ここでは混雑外部費用について日本全国の平均的な値を想定しているが、混雑度に応じて混雑料金を課した場合、社会的純便益はここでの値よりもかなり大きくなる可能性がある。地域や路線による差の考慮は、今後の課題とする。

（２） 税収中立的な保有税・取得税の変更

2001 年にわが国で導入された自動車税制の「グリーン化」は、税収中立を前提として、環境負荷の小さい車の税を軽減し、環境負荷の大きい古い型式の車の税を重課するものである。ここでは、「グリーン化」のような、車両の燃費に応じた保有税・取得税の重軽課が CO₂排出量の削減にどの程度有効なのか、また、発生する社会的便益はどのくらいになるかシミュレーション

分析を行う。ただし、データの問題等から、「グリーン化」そのもののシミュレーションはできないため、ここでは燃費が比較的悪い普通車の税を増税し、燃費が比較的よい小型車の税を減税した場合についてシミュレーション分析をする。保有税についてのシミュレーション結果は表 17にまとめられている。表 17は表 16と同様に、社会的純便益が最大となる増（減）税額と、そのときに発生する便益/費用を項目別にまとめたものである。

表 17 CO₂削減効果と一台あたり社会的純便益の比較（保有税（中立）ケース）

増税額（千円/台・年）			CO ₂ 削減率	一台あたり社会的便益（円/台・年）					
普通車	小型車	軽		利用者便益	CO ₂ 削減便益	大気汚染削減便益	混雑・事故削減便益	消費税減少	純便益
9.1	-6.8	0	0.10%	-48.0	14.7	7.7	48.7	4.8	27.9

表 17から分かるように、税収中立的な保有税の変更は、CO₂排出量をほとんど削減できない。その原因としては、二点が考えられる。

第一に、CO₂削減率を高めるためには、税額の変更を大きくする必要がある。しかしながら、以下のような理由により、税額の変更をあまり大きくしない方が、効率的である。表 14に示したように、現行の保有税はファースト・ベストの税と大きく乖離しており、課税による歪みが大きくなっている。この歪みは、税額が大きくなるにつれて加速度的に大きくなり、たとえ小型車の減税によって歪みの一部が相殺されたとしても、普通車を増税することによる歪みは非常に大きくなってしまうため、社会的純便益を大きくするためには増税率を小さくする必要がある（約 12%の増税のときが最大）。したがって、保有費用総額に占める増（減）税額の割合も小さくなり、税額の変更には保有台数、走行距離に大きな影響を与えない（表 18参照）。

第二に、表 18にも示されているように、普通車から小型車への転換は、保有コストおよび走行コストの低下をもたらすので、リバウンド効果によって総保有台数および総走行距離が増加する可能性がある。したがって、車両の小型化に伴って平均的な燃費が向上したとしても、トータルでは CO₂削減効果が小さくなると考えられる。

表 18 保有台数、走行距離の変化（保有税（中立）ケース）

	増減税額の総保有費用に占める割合	保有台数の変化率（BAU比）	走行距離の変化率（BAU比）
普通車	4.0%	-0.96%	-0.87%
小型車	3.8%	+1.19%	+1.00%
軽自動車	0.0%	-0.04%	-0.04%
合計		+0.17%	+0.08%

以上の分析では、軽自動車の保有税（軽自動車税）が市町村税であって、今回の税制の「グリーン化」の対象となっていないことから、軽自動車の保有税額は一定としている。藤原・蓮池・金本（2003）では、税収中立を前提として、普通車の増税とともに小型車を減税し、同時に軽自

動車の優遇税制を廃止して、小型車と軽自動車の税額を均等にする場合についても分析している。この場合でも CO₂排出量の削減の効果はない（0.05%増加）。したがって、CO₂の排出に対して間接的に働きかける保有税の変更は効果がないことが分かる。保有税の場合と同様の理由から、税収中立的な取得税の変更も CO₂削減効果はほとんどない。詳細については、藤原・蓮池・金本（2003）を参照されたい。

（3） 燃料税の増税と保有税の減税の組み合わせ

表 14で見たように、現行の保有税はかなり高い水準になっており、このことによる歪みも大きいことが予想される。ここでは、燃料税の増税による税収を保有税の減税財源として用いた場合の社会的純便益を計算し、税収を一括補助金で消費者に戻す場合と比較する。ただし、燃料税の増税による税収と保有税の減税総額とは等しく、税収中立的であると仮定する。以下ではこのケースを「燃料税増税・保有税減税」ケースと呼び、燃料税の増税による税収を一括補助金で消費者に戻す場合を「燃料税増税」ケースと呼ぶ。燃料税増税ケースは、①で取得・保有税の増税と比較したものと同一ものである。

シミュレーション結果の概要は以下の図 17および表 19のとおりである。図 17は図 16と同様の図である。表 19には、社会的純便益が最大となるような増税額を賦課した場合に発生する社会的純便益を項目別に示してある。また、比較対象として、表 14に示したファースト・ベストの税体系を実現できた場合についても示してある。

図 17 CO₂削減効果と社会的純便益の比較

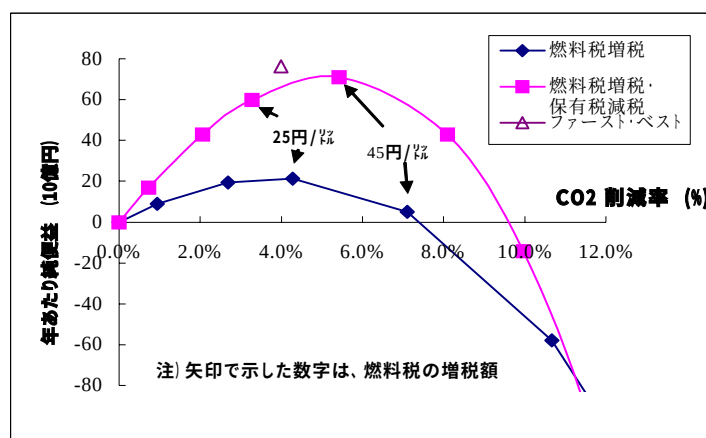


表 19 CO₂削減効果と一台あたり社会的純便益の比較（詳細）

税制の変更の種類	税額/率	一台あたり社会的便益（円/台・年）						
		CO ₂ 削減率	利用者便益	CO ₂ 削減便益	大気汚染削減便益	混雑・事故削減便益	消費税減少	純便益
燃料税増税	25 円/ℓ	4.3%	-2,799	606	317	2,010	227	362
燃料税増税・保有税減税	45 円/ℓ	5.4%	-2,364	720	377	2,387	71	1,191
ファースト・ベスト		4.1%	-1,151	512	268	1,699	-58	1,270

燃料税増税・保有税減税ケースは、燃料税を 45 円/ℓ程度増税する場合に社会的純便益が最大になる。燃料税増税ケースと同様、走行距離の燃料価格弾力性が小さいために、CO₂排出量の削減効果は大きくない。また、保有税の減税によって保有台数が伸びる効果があるため、燃料税を同じ額だけ増税した場合には、燃料税増税・保有税減税ケースのほうが燃料税増税ケースよりも CO₂削減率は当然小さくなる。

燃料税の 45 円/ℓの増税によって発生する社会的純便益は 1,191 円/台・年と燃料税増税ケースの約 3 倍である。また、燃料税を 45 円/ℓ増税することで保有税が約 97%減税できるので、ファースト・ベストの保有税額（ゼロ）に近づく。このことを反映して、税体系をファースト・ベストのものに変更した場合に発生する社会的純便益（約 1,270 円/台・年）に近い額の社会的純便益が発生する。45 円/ℓ以上増税していくと、保有税額がマイナスになり、ファースト・ベストの保有税額から遠ざかることによる歪みが発生し、社会的純便益は減少していく。

燃料税の増税による税収を保有税の減税に用いる燃料税増税・保有税減税ケースでは、燃料税の増税による外部費用の削減便益と、保有税の減税による税の歪みの減少を通じた利用者便益の改善という二つの効果によって、発生する社会的純便益は燃料税増税ケースよりも大きくなる。税による歪みが減少していることは、燃料税増税・保有税減税ケースの方が燃料税増税ケースよりも純便益が最大となる場合の増税額が大きいにもかかわらず、利用者便益の低下は小さくなっていることから確認できる。

（４）軽自動車の優遇税制の撤廃

数度の規格改定によって大排気量化、大型化した現在の軽自動車は、小型車に非常に近い車両特性になっている。一方で、軽自動車に対する自動車取得税が 3 % である（普通・小型車は 5 %）など、軽自動車の税負担は小型車に比べて軽いものになっている（付録の表 26 参照）。ここでは、この軽自動車に対する優遇税制を撤廃し、軽自動車と小型車とで同等の課税をした場合に、CO₂排出量や社会的厚生がどのように変化するかシミュレーションする。

表 20 保有台数及び走行距離の変化（軽自動車の小型車並み課税）

	普通	小型	軽	合計
総保有台数（５期合計）	+1.3%	+1.5%	-10.2%	-2.0%
総走行距離（５期合計）	+1.4%	+1.5%	-8.3%	-0.7%

表 21 CO₂削減効果と一台あたり社会的純便益（軽自動車の小型車並み課税）

CO ₂ 削減率	一台あたり社会的便益（円/台・年）					
	利用者 便益	CO ₂ 削減便益	大気汚染 削減便益	混雑・事故 削減便益	消費税 減少	純便益
0.14%	-497	41	22	137	55	-242

シミュレーション結果は表 20と表 21のとおりである。比較的燃費のよい軽自動車に対する増税策なので、CO₂排出量削減政策と矛盾するように思われるが、われわれのシミュレーションの結果によれば CO₂排出量は増加せず、若干ではあるが減少する。これは、軽自動車から普通・小型へのシフトがあまり起きず、軽自動車の保有台数・走行距離が減少する効果の方が大きいためである。また、ファースト・ベストの取得・保有税額はゼロであるので、軽自動車の取得・保有税の増税は税の歪みをより大きくする。したがって、税の変更に伴って発生する社会的便益はマイナスになる。

4.3 感度分析

前述のように、政策評価モデルにおいて最も重要なパラメータは、政策の量的な効果を決定する、需要の価格弾力性に関係するパラメータと、社会的費用/便益の評価に用いる、外部費用等の貨幣評価原単位である。われわれのモデルで言えば、代替の弾力性のパラメータと外部費用の貨幣評価原単位がシミュレーション結果に決定的な影響を与える。

ここでは、外部費用の貨幣評価原単位に関して感度分析を行う。表 13で見たように、外部費用の貨幣評価原単位は非常にばらつきが大きいので、社会的費用/便益の評価は幅を持たせたほうが望ましい。代替の弾力性に関する感度分析は藤原・蓮池・金本（2002）を参照されたい。

前節のシミュレーションでは、保有税の歪みの大きさに着目したが、所得税など、自動車関係以外の税による歪みのほうが大きい可能性もある。そこで、公的資金の限界費用のパラメータを変化させることで、自動車関係税収を財源にして自動車関係以外の税を減税し、税の歪みを緩和させた場合の社会的費用/便益を評価する。

最後に、これまでは捨象してきた燃費改善効果について考慮に入れる。現在の温暖化対策は燃費の改善に重点が置かれており、燃費改善効果がシミュレーション結果にどのような影響を与えるかチェックする必要がある。

これらはすべてパラメータの設定値を変えてシミュレーションを行うので、パラメータの感度分析と呼んでよいであろう。

外部費用等の貨幣評価原単位の変更

前述のように、ここでは社会的純便益の要素として、①利用者便益（代表的消費者の効用水準）

の変化、②地球温暖化ガス、大気汚染物質削減便益、③混雑・交通事故削減便益、④自動車関係税以外の税による歪みの緩和、⑤自動車関係の消費税収の変化という5つを考えている。これらのうち、外部費用に関する項目（②と③）は、外部費用の貨幣評価原単位を外生的に与えて社会的純便益を計算している（表13参照）。外部費用の貨幣評価原単位は、現時点でベストと思われる推計値を中位値とし、一定程度の信頼性があると思われる推計結果のうちで最低水準のものと最高水準のものとをそれぞれ低位値及び高位値として設定している。ここでは、外部費用の貨幣評価原単位を変えることによって社会的純便益が最大となる税額や発生する社会的純便益がどの程度異なった値になるのか計算する。ただし、CO₂削減効果が実質的にほとんどない税変更のオプションは省略し、燃料税増税ケースと燃料税増税・保有税減税ケースのみ分析する。各ケースにおける社会的純便益は表22のとおりである。

表13（再掲） 外部費用の貨幣評価原単位

外部費用 タイプ	温暖化ガス	大気汚染 (NOx等)	消費税	混雑	事故被害
	燃料消費 千円/tC (円/ℓ)	燃料消費 円/ℓ	付加価値 %	走行距離（普通車） 円/km	
低位	5 (3.2)	6.6	5	4.2	1.0
中位	30 (18.9)	9.9	5	7.0	2.5
高位	50 (31.5)	66.0	5	15.0	7.0

表22 外部費用の貨幣評価原単位の高低による一台あたり社会的純便益の格差

燃料税増税ケース

貨幣評価 原単位	税額/率	CO ₂ 削減率	一台あたり社会的便益（円/台・年）					
			利用者 便益	CO ₂ 削減 便益	大気汚染削 減便益	混雑・事故 削減便益	消費税 減少	純便益
低位	-20 円/ℓ	-4.3%	1,982	-100	-209	-1,085	-214	375
中位	25 円/ℓ	4.3%	-2,799	606	317	2,010	227	362
高位	175 円/ℓ	19.1%	-23,051	4,761	9,978	21,952	1,156	14,796

燃料税増税・保有税減税ケース

貨幣評価 原単位	税額/率	CO ₂ 削減率	一台あたり社会的便益（円/台・年）					
			利用者 便益	CO ₂ 削減 便益	大気汚染削 減便益	混雑・事故 削減便益	消費税 減少	純便益
低位	10 円/ℓ	1.4%	-415	31	66	343	23	49
中位	45 円/ℓ	5.4%	-2,364	720	377	2,387	71	1,191
高位	125 円/ℓ	11.6%	-8,962	2,059	5,257	11,566	59	10,429

燃料税増税ケースでは、外部費用が低位値であるとする、20 円/ℓ減税すると社会的純便益が最大となる。ただし、この場合は CO₂排出量が増加してしまう。逆に、外部費用が高位値で

あるとすると、約 175 円/ℓの増税が必要となり、そのときには自動車 1 台当たり平均で年間 15,000 円近い純便益が発生することになる。

燃料税増税・保有税減税ケースでは、外部費用が低位値であっても 10 円/ℓ程度の増税が必要であるが、発生する社会的純便益は約 49 円/台・年とごくわずかである。外部費用が高位値であるとする、125 円/ℓ程度の増税が望ましく、約 10,000 円/台・年という大きな便益が生まれる。

外部費用が中位値である場合、燃料税増税・保有税減税ケースの方が燃料税増税ケースよりも社会的純便益の最大値が大きいのにに対して、外部費用が低位値・高位値である場合には燃料税増税ケースの方が社会的純便益の最大値は大きい。外部費用が高位値の場合、燃料税の増税額が大きくなるため、燃料税増税・保有税減税ケースでは保有税額がマイナスになることの歪みが大きくなる。また、外部費用が低位値であると、環境悪化の費用が小さいため、燃料税の減税による利用者便益の向上が環境悪化の費用を上回る。しかしながら、燃料税増税・保有税減税ケースでは、燃料税を減税すると税収を中立にするためには保有税を増税しなければならず、そのことによる歪みが大きい。したがって、外部費用が低位値・高位値である場合には、燃料税増税・保有税減税ケースよりも燃料税増税ケースの方が社会的純便益の最大値が大きくなる。

これらの結果が示すように、外部費用の推計値が変わると、社会的純便益が最大となる税額やそのときに発生する社会的費用/便益は全く違った値になる。日本における外部費用の定量的な推定は進んでいないので、この分野での研究の蓄積が必要である。

公的資金の限界費用

前節では、燃料税の増税による税収を一括補助金ではなく、保有税の減税財源として用いると、保有税による歪みが減少することで比較的大きな社会的便益が発生するという結果を得た。ここでは、燃料税や取得・保有税の増税による税収を、保有税以外の歪みをもたらししている税の減税に用いた場合についてシミュレーションする。公的資金の限界費用は、Mayers and Proost(2001)、別所・赤井・林(2003)などを参考に、1.05 であるとして計算する。また、自動車走行がもたらす外部費用については中位値を用いる。

表 23 CO₂削減効果と一台あたり社会的純便益の比較 (MCPF=1.05)

税制の変更の種類	増税額 (率)	CO ₂ 削減率	一台あたり社会的便益 (円/台・年)						
			利用者 便益	CO ₂ 削減便益	大気汚染 削減便益	混雑・事故 削減便益	消費税 減少	税の歪み の緩和	純便益
燃料税 増税	75 円/ℓ	10.7%	-9,062	1,542	808	5,117	598	3,497	2,500
燃料税増税・ 保有税減税	45 円/ℓ	5.4%	-2,364	720	377	2,387	71	-58	1,133
保有税 増税	75%	1.4%	-2,522	218	114	723	227	1,651	412
取得税 増税	500%	1.6%	-2,932	264	138	875	271	1,766	382
燃料税増税 (MCPF = 1)	25 円/ℓ	4.3%	-2,799	606	317	2,010	227	0	362

シミュレーション結果をまとめた表 23からわかるように、燃料税や取得・保有税の税収を他の既存の税による歪みの緩和に用いる場合、歪みがないと仮定した場合に比べて大きな便益が発生し、社会的純便益が最大となる税額/率も大きくなる。燃料税増税ケースの場合、社会的純便益が最大となる増税額は 75 円/ℓと、歪みのないケースの約 3 倍の値になる。そのときに発生する便益は約 2,500 円/台・年と、歪みのないケースの約 7 倍となり、燃料税増税・保有税減税ケースよりも約 2 倍程度便益が大きい。

取得税・保有税の増税ケースでも、他の既存の税による歪みの緩和効果が大きく、若干の社会的純便益が発生する。

自動車関係の税を増税する場合、環境外部費用に対する課税という側面の他に、その税収を既存の税による歪みの緩和に用いることができるという側面もあり（「二重の配当」）、われわれのシミュレーション結果を見る限り、その効果は決して小さくない。ここでは環境対策に焦点を当てているため、その他の税による歪みについては外生化して考えている。所得税と労働供給の関係を考慮に入れる等、自動車関係税以外の税の歪みを内生化した議論は今後の課題とする。

燃費改善効果の考慮

最後に、燃費改善効果を考慮に入れることで、シミュレーション結果がどういった影響を受けるのかを見る。ここでは、各車種とも新車の燃費が年平均 1 % もしくは 2 % 改善されると仮定してシミュレーションを行う²⁷。

²⁷ 国土交通省が公表している「自動車燃費一覧」から計算すると、2010 年度の燃費目標基準を達成するには、1999 年度の燃費実績から、普通車については約 12.7% (7.9 km/ℓ→8.9 km/ℓ)、小型車については約 14.0% (11.4 km/ℓ→13.0 km/ℓ) の燃費向上が必要である。この値は 10・15 モードの燃費なので実走行時の燃費とは異なるが、一応の目安として考えている。

表 24 燃費の改善と CO₂排出量の変化

燃費改善率（年平均）		0%	1%	2%
BAUケースでの CO ₂ 排出量	(百万 t C)	40.6 (72.6%)	37.1 (57.7%)	34.0 (44.8%)
リバウンド効果がないと 仮定した場合の CO ₂ 排出量	(百万 t C)		36.3 (54.3%)	32.2 (36.8%)
社会的純便益が最大となる 燃料税増税額	(円/ℓ)	25	25	30
そのもとでの CO ₂ 排出量	(百万 t C)	38.8 (65.2%)	35.5 (51.1%)	32.4 (37.8%)
そのもとでの社会的純便益 (中位ケース)	(円/台・年)	362	466	571

注：カッコ内は 90 年比増加率

燃費の改善効果と CO₂排出量の関係は表 24にまとめてある。燃費の改善によって CO₂排出量は削減されるものの、走行価格の低下による走行距離・燃料消費・CO₂排出量の増加（リバウンド効果）があるため、燃費の改善効果は一部相殺される。われわれのシミュレーション結果では、リバウンド効果はおよそ 100～200 万 t C 程度あり（BAU ケース）、決して小さくない。

社会的純便益が最大となるような燃料税の増税額は、燃料価格弾力性と外部費用の貨幣評価原単位に大きく依存するが、燃費の改善効果による影響は小さい。

5. おわりに

第 2 部では、自動車関係税制を活用した地球温暖化対策がどの程度の CO₂排出量削減効果を持ち、社会的費用/便益をどの程度発生させるかについて、精緻な評価を行うために動学的層化 CES 型モデルを用いたシミュレーション分析によって定量的に評価した。動学的層化 CES 型モデルを用いることによって、税制の効果を 1 期で評価するのではなく、自動車という財の特徴を踏まえ、税制の長期にわたる効果を評価することができた。

税制の評価を行う場合、CO₂削減など、直接的な目的に対する効果に加え、利用者便益への影響についても配慮することが必要である。本稿におけるシミュレーションでも、CO₂は削減されても、利用者便益への負の影響が大きく社会的純便益の改善はさほどでも無い政策や、逆に、CO₂削減効果は大きくないが、社会的純便益の改善効果が高い政策などがあることがわかる。

まず強調しておきたいことは、取得税や保有税は(消費税を除き)ゼロであることが望ましく、それらの増税によって混雑や大気汚染、CO₂の排出をコントロールしようとする社会純便益をマイナスにしてしまうことである。シミュレーションでも示したように、保有税・取得税の増税は保有台数を削減するため、税の歪みによる効用の損失が大きく、ただちにマイナスの社会的純便益を生む。一方で、外部費用の削減は大きく進まない。

そのため、「グリーン」税制のように、税収中立のもとで燃費に応じて取得税・保有税の税額を変更する政策は、CO₂削減について、増税の効果と減税の効果が相殺し、効果は小さい。小さ

い効果を大きくするために税の格差を大きくすると、取得税・保有税の歪みを一層拡大させる。すると、利用者便益の低下が外部費用の削減を上回り、社会的純便益はマイナスになる。シミュレーションでは、社会的純便益が最大になるよう収税中立的な税額を設定したが、CO₂の削減はBAU比で約0.1%にとどまり、得られる社会的純便益も乗用車1台あたり年間28円にすぎない。

効果的にCO₂削減を行うためには、その原因となる燃料に課税することが必要である。ただし、燃料税の増税のシミュレーションにあるように、混雑・事故を中心に外部費用を削減するものの走行距離減少にともなう利用者便益の低下が大きく、社会的純便益も乗用車1台あたり年間362円にとどまる。また、単なる増税は、社会的な受容を得がたいため、政治的なコストを要するとも考えられる。

そこで、燃料税の増税と取得税・保有税の減税を一体的に行い、外部費用を削減する一方で、利用者便益の低下を最小限に食い止ればよい。社会的純便益が最大になる燃料税の額は45円/ℓと大きいので、CO₂は5.4%削減される。社会的純便益も1台あたり年間1,191円と、ファースト・ベストの税のもとでの社会的純便益1台あたり年間1,270円に近い便益が得られる。

また、軽自動車の税が小型車と比べ低く、小型車並みに増税すべき、との議論がなされることがある。本稿では、軽自動車の取得税・保有税を小型車並にした場合のCO₂削減効果、社会的純便益への影響についてシミュレーションを行った。その結果、小型車などへの乗り換えを促すものの、むしろ軽自動車の取得・保有を抑制するため、CO₂排出量を増加させることはない（BAU比約0.1%減）。ただし、保有税の増税により税の歪みをさらに悪化させるため、社会的純便益がマイナス（-243円/台・年）になる。

付録1 シミュレーション・モデルに関する補論

1.1 シミュレーションを行う最適化問題（まとめ）

代表的消費者は(10)式で表される予算制約の下で5期間の効用水準の割引現在価値の総和を最大化する。シミュレーションを行う最適化問題をまとめると、以下のようになる。なお、式中の $\bar{x}$ 、 $\bar{s}$ は、外生的に与えられた値であることを示している。

$$\begin{aligned}
 \text{Max} \quad & \sum_{t=1}^5 \frac{1}{(1+r)^t} z_t \\
 \text{s.t.} \quad & \frac{1}{1+r} \left[c_1 + \sum_{i=1}^3 p_{i11} x_{i11} + \sum_{i=1}^3 p_{i21} \bar{s}_{i21} \bar{x}_{i110} + \sum_{i=1}^3 p_{i31} \bar{s}_{i31} \bar{x}_{i210} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 p_{ij21} x_{ij21} \right] \\
 & + \frac{1}{(1+r)^2} \left[c_2 + \sum_{i=1}^3 p_{i12} x_{i12} + \sum_{i=1}^3 p_{i22} \bar{s}_{i22} x_{i11} + \sum_{i=1}^3 p_{i32} \bar{s}_{i32} \bar{s}_{i21} \bar{x}_{i110} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 p_{ij22} x_{ij22} \right] \\
 & + \frac{1}{(1+r)^3} \left[c_3 + \sum_{i=1}^3 p_{i13} \bar{x}_{i113} + \sum_{i=1}^3 p_{i23} \bar{s}_{i23} x_{i112} + \sum_{i=1}^3 p_{i33} \bar{s}_{i33} \bar{s}_{i22} x_{i111} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 p_{ij23} x_{ij23} \right] \\
 & + \frac{1}{(1+r)^4} \left[c_4 + \sum_{i=1}^3 p_{i14} \bar{x}_{i114} + \sum_{i=1}^3 p_{i24} \bar{s}_{i24} x_{i113} + \sum_{i=1}^3 p_{i34} \bar{s}_{i34} \bar{s}_{i23} x_{i112} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 p_{ij24} x_{ij24} \right] \\
 & + \frac{1}{(1+r)^5} \left[c_5 + \sum_{i=1}^3 p_{i15} \bar{x}_{i115} + \sum_{i=1}^3 p_{i25} \bar{s}_{i25} \bar{x}_{i114} + \sum_{i=1}^3 p_{i35} \bar{s}_{i35} \bar{s}_{i24} x_{i113} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 p_{ij25} x_{ij25} \right] \\
 & \leq W + \text{Transfer} ; \\
 & z_t = c_t + \alpha_{xt} x_t^{\frac{\sigma_x - 1}{\sigma_x}} ; \\
 & \alpha_{xt} = \alpha_x (1 + \rho)^t ; \\
 & x_t = \left(\sum_{i=1}^3 \alpha_{it}^{\frac{\sigma_x}{\sigma_x - 1}} x_{it}^{\frac{\sigma_x - 1}{\sigma_x}} \right)^{\frac{\sigma_x}{\sigma_x - 1}} ; \\
 & x_{it} = \left(\sum_{j=1}^3 \alpha_{ij}^{\frac{\sigma_i}{\sigma_i - 1}} x_{ijt}^{\frac{\sigma_i - 1}{\sigma_i}} \right)^{\frac{\sigma_i}{\sigma_i - 1}} ; \\
 & x_{ijt} = \left(\sum_{k=1}^2 \alpha_{ijk}^{\frac{\sigma_{ij}}{\sigma_{ij} - 1}} x_{ijk t}^{\frac{\sigma_{ij} - 1}{\sigma_{ij}}} \right)^{\frac{\sigma_{ij}}{\sigma_{ij} - 1}} ; \\
 & x_{i21t} = \bar{s}_{i2t} x_{i11, t-1} ; \\
 & x_{i31t} = \bar{s}_{i3t} \bar{s}_{i2, t-1} x_{i11, t-2} ;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
TFuelTax_t &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \frac{FuelTax_t}{effic_{ijt}} x_{ij2t} \quad ; \\
TAcqTax_t &= \sum_{i=1}^3 AcqTax_{it} x_{i11t} \quad ; \\
TOwnTax_t &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 OwnTax_{ijt} x_{ij1t} \quad ; \\
Transfer &= \sum_{t=1}^5 \frac{1}{(1+r)^t} \{TFuelTax_t + TAcqTax_t + TOwnTax_t - BaseTax_t\} \quad .
\end{aligned}$$

この最適化問題の選択変数は

$z_t, c_t, x_t, x_{it}, x_{ijt}, x_{ijkt}, TFuelTax_t, TAcqTax_t, TOwnTax_t, Transfer, BaseTax_t$

であり、 p_{ij2t} と p_{ij1t} は

$$\begin{aligned}
p_{ij2t} &= \frac{fuel_t + FuelTax_t}{effic_{ijt}} \\
p_{ij1t} &= VC_{ijt} + AcqTax_{it} + OwnTax_{it}
\end{aligned}$$

を満たす。なお、

$fuel_t$: 税抜き燃料価格、 $FuelTax_t$: 燃料税額、 $effic_{ijt}$: 燃費、

VC_{ijt} : 税以外の車両保有コスト、 $AcqTax_{it}$: 取得税額、

$OwnTax_{it}$: 保有税額、 $TFuelTax_t$: 燃料税収、 $TAcqTax_t$: 取得税収、

$TOwnTax_t$: 保有税収、 $BaseTax_t$: BAU ケースにおける自動車関係税収

である。

1.2 パラメータの設定方法の詳細

1.2.1 価格・コストに関するパラメータ

走行に関する費用

走行に関する費用はガソリン価格、燃料税、燃費から決定される。これらは全て外生的に与える。

まず、石油価格統計集のガソリン（レギュラー）価格を参考に、税込みのガソリン価格を 100 円/ℓとした。この場合、現行の燃料課税は、58.56 円/ℓとなる。内訳は、揮発油税 48.6 円、地方道路税 5.2 円、消費税 4.76 円である。なお、ガソリンになる前の段階でこれに加えて石油税 2.04 円、石油関税 0.215 円がかかっているが、これらはガソリンのコストの一部とみなして、税抜き価格の方に含めている。

車種別の燃費について、普通車及び小型車に関しては、登録車全体しかデータがない(約 8.4km/

ℓ) ため、小型車の燃費は普通車より 1.5 倍程度良いと仮定し²⁸、燃料消費量のデータと整合的になるように車種別の燃費を推計した。その結果、普通車・小型車の燃費はそれぞれ 6.6 km/ℓ、9.9 km/ℓとなった。具体的には以下のような過程で計算した。

- ① 車種別の 1 台当たり走行距離の推計値を求める（具体的な推計方法については後述）。
- ② ①で求めた 1 台当たり走行距離の推計値に、普通車及び小型車の台数を乗じて、車種別総走行距離の推計値を求める。
- ③ ②の結果を基礎に、燃料消費量のデータに見合うように普通車及び小型車の燃費を決定する。

軽自動車に関しては、陸運統計要覧の走行キロ及び燃料消費量のデータ（99 年度実績値）から計算した（11.1 km/ℓ）。

以上をまとめると、車種別の燃費及びキロメートルあたり走行コストは表 25 のようになる。

表 25 車種別燃費及び走行コスト

車種	燃費 (km/ℓ)	走行コスト (円/km)
普通車	6.6	15.1
小型車	9.9	10.1
軽自動車	11.1	9.0

車両の取得及び保有に関する費用

自動車の取得・保有に関する費用としては、表 26 のように、（１）新車車両価格、（２）取得税及び保有税、（３）駐車場代、（４）保険費用、（５）修理・整備費用の 5 つを考えた。

（１）の新車価格については、普通車 300 万円、小型車 150 万円、軽自動車 100 万円とした。これらは 1 期で償却すると仮定している。また、エンジン排気量を普通車 3 リットル、小型車 1.5 リットル、重量を普通車 2 トン、小型車 1.5 トンと仮定し、1 年あたりの保有税を計算すると、普通車については 76.2 千円、小型車については 53.4 千円となる。軽自動車の保有税は 11.6 千円/年である。取得税については、普通車及び小型車は新車価格の 10%（自動車取得税 5%、消費税 5%）であり、軽自動車については新車価格の 8%（自動車取得税 3%、消費税 5%）である。車両価格の安い軽自動車の税率が低く設定されているため、普通車、小型車に比べて軽自動車の税額が圧倒的に安くなっている。

（３）の駐車場代は、家計調査から車種に関わらず 1 年あたり 21.4 千円とした。また、（４）の保険費用は、自動車保険料算定協会発行の「自動車保険の概況」から、普通車については 101.4 千円/年、小型車については 75.0 千円/年、軽自動車については 54.2 千円/年とした。（５）の修

²⁸ 国土交通省が公表している「自動車燃費一覧」によると、普通車（排気量 2.5 ℓ以上）の燃費が 7～8 km/ℓ、小型車（排気量 1.5～2 ℓ）の燃費が 12～13 km/ℓとなっている。したがって、小型車の燃費は普通車より 1.5 倍程度良いと仮定している。

理・整備費用は、家計調査から平均費用を1年あたり30.2千円とした。

表 26 車両の取得・保有に関する費用

車両タイプ	車齢	車両価格 (千円)	修理・整備 (千円/年)	駐車 (千円/年)	保険 (千円/年)	税 (千円/年)	合計 (千円/年)
普通車	新車	3,000	30.2	21.4	101.4	136.2	889.2
	中古 1		30.2	21.4	101.4	76.2	229.2
	中古 2						
小型車	新車	1,500	30.2	21.4	75.0	83.4	510.0
	中古 1		30.2	21.4	75.0	53.4	180.0
	中古 2						
軽自動車	新車	1,000	30.2	21.4	54.2	27.6	333.4
	中古 1		30.2	21.4	54.2	11.6	117.4
	中古 2						

車両保有のシャドープライスの計算

第2部で用いたシミュレーション・モデルでは、既存車両の残存率は実際の統計データを基に外生的に与えていた。実際には、修理費用が高い車ほど廃車される確率が高まると考えられ、中古車の廃車は修理・整備費用に依存すると考えられる。この場合、中古車の保有価格は内生的に決定されるので、パラメータを設定する際には、平均価格ではなく限界価格(シャドープライス)を用いる必要がある。ここでは、新車のシャドープライスと中古車のシャドープライスとが等しいと仮定して車種別のシャドープライスを計算した。シミュレーション・モデルにおいては、新車と中古車とは同質のものではなく、差別化された別の財として扱っているため、シャドープライスは一般には等しくならない。しかし、新車と中古車とは密接な代替関係にあるため、シャドープライスの差はそれほど大きくないと考えられる。

代表的消費者の効用最大化問題の一階の条件から得られる、各車齢の車両保有のシャドープライスは、

$$\begin{aligned}
 p_{i3t} &= R_{i3t}(s_{i3t}) + R_{i3t}'(s_{i3t})s_{i3t} \\
 p_{i2t} &= [R_{i2t}(s_{i2t}) + R_{i2t}'(s_{i2t})s_{i2t}] - \frac{1}{1+r} \left[R_{i3,t+1}'(s_{i3,t+1})s_{i3,t+1} \right] s_{i3,t+1} \\
 p_{i1t} &= R_{i1t} - \frac{1}{1+r} \left[R_{i2,t+1}'(s_{i2,t+1})s_{i2,t+1} \right] s_{i2,t+1}
 \end{aligned}$$

である。ここでは、修理・整備費用は既存車両の残存率 s_{ijt} に依存すると仮定している。これらの式を $m_{ij} = R_{ij}'(s_{ij})s_{ij}$ を用いて書き換えると

$$\begin{aligned}
 p_{i31} &= R_{i3} + m_{i3} \\
 p_{i21} &= R_{i2} + m_{i2} - \frac{s_{i3}}{1+r} m_{i3} \\
 p_{i11} &= R_{i1} - \frac{s_{i2}}{1+r} m_{i2}
 \end{aligned}$$

となる。シャドープライスが等しいと仮定すると、

$$m_{i3} = R_{i1} - R_{i3} - \frac{S_{i2}}{1+r} m_{i2}$$

$$R_{i2} + m_{i2} - \frac{S_{i3}}{1+r} m_{i3} = R_{i1} - \frac{S_{i2}}{1+r} m_{i2}$$

が成り立つので、

$$(1 + \frac{S_{i2}}{1+r} + \frac{S_{i2}S_{i3}}{(1+r)^2}) m_{i2} = R_{i1} - R_{i2} + \frac{S_{i3}}{1+r} (R_{i1} - R_{i3})$$

が得られる。したがって、

$$m_{i2} = \frac{R_{i1} - R_{i2} + \frac{S_{i3}}{1+r} (R_{i1} - R_{i3})}{1 + \frac{S_{i2}}{1+r} + \frac{S_{i2}S_{i3}}{(1+r)^2}}$$

$$\begin{aligned} m_{i3} &= R_{i1} - R_{i3} - \frac{S_{i2}}{1+r} \frac{R_{i1} - R_{i2} + \frac{S_{i3}}{1+r} (R_{i1} - R_{i3})}{1 + \frac{S_{i2}}{1+r} + \frac{S_{i2}S_{i3}}{(1+r)^2}} \\ &= \frac{\frac{S_{i2}}{1+r} (R_{i1} - R_{i2}) + (1 + \frac{S_{i2}}{1+r}) (R_{i1} - R_{i3})}{1 + \frac{S_{i2}}{1+r} + \frac{S_{i2}S_{i3}}{(1+r)^2}} \end{aligned}$$

となる。これを他のパラメータと整合的にするようにカリブレーションをすると、各車種のシャドープライスが以下の表 27 のようになる。

表 27 車両保有のシャドープライス

普通車	p_{1j1}	535.9 千円/年
小型車	p_{2j1}	366.6 千円/年
軽	p_{3j1}	227.0 千円/年

1.2.2 数量に関するパラメータ

軽自動車の車齢別保有台数の推定

軽自動車の保有台数に関する統計は、総保有台数（1960 年から）と新車販売台数（1964 年から）しか入手できないので、各年における車齢別の保有台数データを推定する必要がある。ここでは、ある製造年 i の車両の残存率について、以下の式で示されるようなロジスティック関数に従うと仮定して推定を行い、その結果を用いて車齢別の保有台数データを推定した。

$$r_{ijt} = \frac{1}{\frac{1}{k} + ab^j}$$

ここで、 r_{ijt} は t 年における、 i 年製造の車両（ j 歳）の残存率（ $j=0,1,2,\dots$ ）である。簡単化のため、 k を 1 とし、 a 、 b は 1960 年を基準とした、経過年の累乗関数であるとする。したがって、

$$a = m_1(t - 1959)^{n_1}$$

$$b = m_2(t - 1959)^{n_2}$$

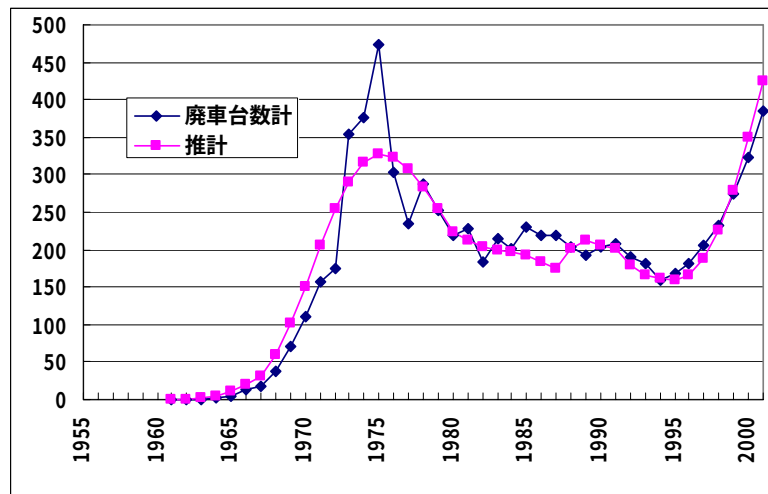
となる。このように仮定すると、ある年 t における i 年製造の車両（車齢 j 歳）の保有台数 x_{ijt} および廃車台数 y_{tij} が以下のように計算できる。

$$x_{tij} = x_{t-1ij-1} - y_{tij}$$

$$y_{tij} = x_{t-1ij-1}(r_{tij} - r_{t-1ij-1})$$

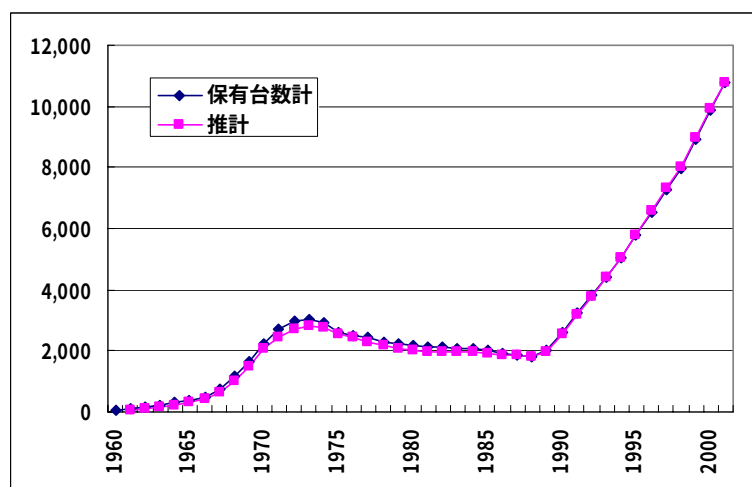
ここでは、 y_{tij} が 1961 年から 2001 年までの廃車台数の実績値に合うよう、パラメータ m_1 、 n_1 、 m_2 、 n_2 を推定した。推定は廃車台数の実績と推定の二乗和が小さくなるよう、エクセルのソルバー機能を用いて計算した。ただし、総保有台数は 1960 年から、新車販売台数および廃車台数は 1964 年から推定実績値として得られたため、例えば、1970 年における車齢 11 歳以上の廃車台数は得られないが、1960 年末の保有台数が約 3 万 8 千台であることから、古い年次の高齢の廃車台数は無視できるものと考えた。廃車台数の推定結果は以下の図 18 に、保有台数の推定結果は図 19 に示してある。いずれも実績値への当てはまりはよく、おおむね妥当な推定と考えてよいであろう。

図 18 廃車台数の推定結果



注) 台数の単位は千台である。

図 19 保有台数の推定結果



注) 台数の単位は千台である。

初期車両保有台数

初期（1999 年末）における車両保有台数は、普通車、小型車については陸運統計年報のデータを利用して、車齢別に集計した。軽自動車については上記の方法による推定結果を用いている。車種別の初期車両保有台数は表 28のとおりである。

表 28 初期車両保有台数

	車両数（単位：千台）			
	新車	中古 1	中古 2	合計
普通車	7,514	4,752	573	12,839
小型車	11,635	11,825	4,436	27,896
軽自動車	4,946	3,622	414	8,982
合計	24,095	20,198	5,423	49,716

既存車両の残存率

既存車両の残存率は外生的に与える。1 期を 5 年としているので、1990～1994 年の保有台数と、1995 年～1999 年の保有台数から残存率を計算した。表 29に示したように、軽自動車の残存率が高くなっている。先に見たように、軽自動車の保有コストは安いので、中古車市場では性能がほぼ同等な小型車よりも高い価格で取引されると予想される。これは、軽自動車の残存率が高くなる一因になると考えられる。

表 29 既存車両の残存率

	新車→中古車 1	中古車 1→中古車 2
普通車	91.8%	60.6%
小型車	75.7%	26.3%
軽自動車	92.2%	31.7%

1 台あたり走行距離

シミュレーションにおいては、走行距離は内生的に決定されるが、パラメータの設定の際には1台あたりの走行距離に関するデータが必要となる。

普通車と小型車に関しては、1台あたり走行距離に関する車種別のデータがないので、普通車1台あたりの走行距離が小型車のその1.2倍であると仮定して²⁹、自家用車の総走行距離と車種別車両台数が、陸運統計要覧から得られる自家用車の走行距離と整合するよう、車種別の1台あたり走行距離を算出した。その結果は、普通車が11.4千km/年、小型車が9.5千km/年である。軽自動車に関しては、陸運統計要覧から、6.9千km/年（1999年度の実績値）とする。

1.2.3 外部費用に関する実証研究

CO₂排出による地球温暖化費用

地球温暖化の原因はCO₂排出だけではないが、自動車関係ではCO₂が圧倒的に大きな要因であるので、ここではCO₂に限定して評価を行う。

CO₂排出量はその中に含まれる炭素の量で計測し、排出係数は環境省が設定している値を用いる。つまり、1リットルのガソリン消費によって643.3グラムの炭素が排出されると仮定する。

地球温暖化費用の推定方法としては、（1）地球温暖化による被害を予防する費用（対策費用）を推定する手法と、（2）地球温暖化による損害額（農作物の収穫減少、自然災害の増加等）を積み上げていく手法とがある。

対策費用を用いた研究の例として、森田（1999）がある。この研究では、京都議定書で定められた削減目標を達成するための限界削減費用を推計し、日本の場合には2010年時点で234\$/tCという結果を得ている。また、INFRAS/IWW（1995）では、ヨーロッパにおいて、2025年までに1990年比で25%のCO₂排出量の削減を目標とした場合、平均削減費用は184ECU/tC（1995年価格、34,480円/tC）になるとしている。損害額積み上げ手法を用いた研究の例としては、Hohmeyer and Gartner（1992）がある。この研究では、地球温暖化によってもたらされる自然災害による死亡者数の増加等の費用を積み上げ、1,467ECU/tC（1995年価格で274,239円/tC）という推定値を示している。Parry and Small（2001）、Tol et al.（2000）、兒山・岸本（2001）等は、これらの外部費用に関する研究を広くサーベイしている。

²⁹ サンプル数は大きくないが、東京の中古車市場のサンプル（『カーセンサー』）では、クラウン（普通車と想定できる）の走行距離（約8.3万km/年）はカローラ（小型車と想定できる）の走行距離（約6.8万km/年）の約1.2倍となっている。

表 30 CO₂ 排出による地球温暖化費用の推計例（単位：円/tC）

推定例	低位	中位	高位
Bruce et al. (1996)	760		18,848
ECMT (1998)	304		1,520
Nordhaus (1994)	106.4	638.4	
Parry and Small (2001)	106.4	760	6,080
兒山・岸本 (2001)	850	34,408	274,329
本稿の設定値	5,000	30,000	50,000

表 30は、過去の推計例の典型的なものと、ここで設定した値を、「円/tC」に単位を揃えて示している。為替レートの変換は、2000 年の購買力平価に基づいて 1 \$ = 152 円で行っている。この表から分かるように、地球温暖化費用の推計値は 1 炭素トン当たり 100 円程度から 27 万円程度まで幅広い値を示している。わが国における対策費用の推計値が 3 万円程度なので、ここでは中位ケースとして 3 万円/tC を用いることとする。低位値及び高位値としては、100 円と 27 万円を用いることも考えたが、あまりに幅が大きくなるので、ここでは 5 千円と 5 万円を用いている。

なお、Tol et al. (2000) は幅広い文献調査をもとに、地球温暖化費用は 50 \$ /tC を上回らないと結論づけており、ここでの低位値がこの水準にほぼ相当する。省エネが進んでいる日本における地球温暖化対策費用は世界レベルよりもはるかに高く、3 万円/tC 程度となっている。排出権取引等によって日本における対策費用を世界レベルにもっていくことができれば、我々の用いた低位値が地球温暖化費用の推計値としてほぼ妥当なものになると考えられる。

以下に示す大気汚染、混雑、事故等地球温暖化以外の外部費用の推計結果は、推計単位がすべて走行距離 1 キロメートル当たりなので、表 30の地球温暖化費用の推計値を走行距離あたりの値に直したものを以下の表 31に示す。表 31の値は普通車のものであり、小型車の燃費と普通車の燃費の比率は 2 対 3 であると仮定しているので、小型車の走行に伴う地球温暖化費用の推計値は普通車の推計値の 3 分の 2 の大きさである。軽自動車についても同様に計算できる。

表 31 CO₂ 排出による地球温暖化費用の推計例（単位：円/km）

推定例	低位	中位	高位
Bruce et al. (1996)	0.07		1.84
ECMT (1998)	0.03		0.15
Nordhaus (1994)	0.01	0.06	
Parry and Small (2001)	0.01	0.07	0.59
兒山・岸本 (2001)	0.08	3.35	26.74
本稿の設定値（普通車）	0.49	2.92	4.87

SPM, NO_x 等による大気汚染費用

SPM（浮遊粒子状物質）や NO_x の排出による被害のうちで最も大きな問題は喘息等の健康被害である。したがって、大気汚染の外部費用に関する既存研究の主要な部分は、大気汚染による

健康被害額の推計である。

CO₂が地球温暖化という大域的な問題であるのに対して、SPM や NO_x による大気汚染は局地的な問題であるので、既存研究の引用に際しては、推定の対象国や地域に特に留意する必要がある。また、ガソリン車とディーゼル車とでは排出ガスの特性が異なるため、車種別の推定値が必要である。前述のように、ここではガソリン車を対象にしている。欧米諸国に比較して日本の乗用車は小型であり、ガソリン消費量が少ないと思われるので、ここでは走行距離（km）あたりの大気汚染費用は若干低めに設定してある。なお、大気汚染物質の排出は走行距離よりも燃料消費により密接に関係しているので、以下でのシミュレーションでは平均燃費を用いてガソリン消費 1 リットルあたりに変換している。

表 32 SPM, NO_x 等による大気汚染費用の推計例（単位：円/km）

推定例	対象国・地域	低位	中位	高位
ECMT (1998)	イギリス		1.1	
US FHA (2000)	アメリカ地方高速		1.1	
	アメリカ都市高速		1.2	
Mayeres&Proost (2001) ^{注1}	ベルギー		1.4	
McCubbin and Delucchi (1999)	アメリカ	1.3		17.7
Quinet (1997)	ヨーロッパ	0.35		2.6
Small and Kazimi (1995)	ロサンゼルス	1.3	3.1	11.3
東京都ロードプライシング検討委員会 (2001) ^{注1}	東京都区部	1.0		17.0
Parry and Small (2001)	アメリカ、イギリス	0.4	1.9	9.5
兒山・岸本 (2001) ^{注2}	日本	1.1	1.8	2.6
本稿の設定値（普通車）	日本	1.0	1.5	10.0

注 1：地球温暖化を含めたコスト。

注 2：乗用車、SPM のみ。

混雑外部費用

混雑外部費用の推定に当たっては、混雑による時間損失を、賃金率等を用いて貨幣換算する方法が一般的である。既存研究では、賃金率の何%を時間価値とみなすかによって、推定値に幅をもたせていることが多い。例えば、兒山・岸本（2001）は賃金統計の賃金率の 100%を時間価値とみなす場合を高位ケース、50%の場合を中位ケース、20%の場合を低位ケースとしている。アメリカの Federal Highway Cost Allocation Study (US FHA (1997)) は、賃金率の 60%を時間価値とする場合を中位ケースとし、30%、90%の場合をそれぞれ低位ケース、高位ケースとしている。

混雑の外部費用は、時間や国・地域によって大きな差がある。例えば、Mayeres and Proost (2001) はピーク時とオフピーク時とで 6 倍程度の格差があるとしているし、US FHA (1997) では都市部と地方とで 10 倍近い格差がある。また、計量計画研究所 (2000)によると、ピーク時における走行速度は、ボストンで約 52km/h、ロンドンで約 30km/h、東京、宇都宮で約 20km/h となっているので、日本における混雑費用は欧米諸国よりかなり高いものと考えられる。

表 33は主要な既存研究の推計結果とここでの設定値をまとめている。ここでは全国一本の値

を用いているが、地域や時間帯で混雑費用は大きく異なるので、より詳細な推計が望ましい。また、混雑費用は車両の大きさに依存するので、小型車と軽自動車は普通車よりも小さな値であると考えられる。車種別の外部費用に関する実証研究は非常に少ないので、ここでは、小型車および軽自動車をもたらす外部費用は、燃費のよさに反比例して小さくなると仮定している。例えば、小型車の燃費は普通車の燃費の 1.5 倍よいと仮定しているので、小型車の走行による混雑・事故外部費用は普通車の 3 分の 2 であると仮定する。このように仮定することで、燃料 1 リットルあたりに換算した外部費用が全ての車種で等しくなる。

表 33 混雑外部費用の推計例（単位：円/km）

推定例	対象国	低位	中位	高位
Delucchi (1997)	アメリカ		2.3	
US FHA (1997)	アメリカ地方高速		0.7	
	アメリカ都市高速		7.3	
Mayeres and Proost (2001)	ベルギー（オフピーク）		5.5	
	ベルギー（ピーク）		31.1	
Newbery (1990)	イギリス	9.4		11.3
東京都ロードプライシング検討委員会 (2001)	東京都区部	18.0		36.0
Parry and Small (2001)	アメリカ	1.4	3.3	8.4
	イギリス	2.8	6.6	14.1
兒山・岸本 (2001)	日本	2.9	7.3	14.6
本稿の設定値（普通車）	日本	4.2	7.0	15.0

交通事故の外部費用

交通事故の費用については、事故を起こした車両が負担する部分とそれ以外の部分とがあり、外部費用は后者である。事故費用における外部費用部分の推計結果の主要なものは表 34 にまとめられている。これらの研究結果を参考にして、ここでは交通事故の外部費用を、普通車については低位ケースで 1.0 円/km、中位ケースで 2.5 円/km、高位ケースで 7.0 円/km と仮定する。また、混雑費用と同様に、事故費用についても車両の大きさに依存して費用が異なると考え、混雑費用と同様の仮定の下で小型車および軽自動車の外部費用をそれぞれ計算した。

表 34 交通事故外部費用の推計例（単位：円/km）

推定例	対象国	低位	中位	高位
Mayeres and Proost (2001)	ベルギー		4.1	
Newbery (1988) 注	イギリス	1.0		4.4
Delucchi (1997) 注	アメリカ	0.9		7.8
US FHA (1997)	アメリカ地方高速		0.9	
	アメリカ都市高速		1.1	
Parry and Small (2001)	アメリカ	1.1	2.8	7.0
	イギリス	0.9	2.3	5.6
兒山・岸本 (2001)	日本	7.1	7.1	7.1
本稿の設定値（普通車）	日本	1.0	2.5	7.0

注：Parry & Small による修正値

付録2 モデルの簡便化の方法と簡便化に伴うバイアスの評価

自動車税制の「グリーン化」のように、自動車の保有選択に大きな影響を与える場合、既存車両の残存率を内生化したモデルを構築したほうが、より精密な評価ができると考えられる。また、準線形の効用関数を用いる場合、所得効果がないので、支出シェアの大きい財について分析すると、シミュレーション結果のバイアスが大きくなる可能性がある。これらの点を考慮すると、第2部で用いたモデルは、（1）既存車両の残存率を外生化している、（2）その他消費財と自動車サービスとの関係をCES関数ではなく、準線形の関数で表現しているという2点において、モデルを簡便化しているといえる。

一方、精密なモデルを構築するにはモデルの大規模化・複雑化が避けられず、モデルの信頼性のチェックが困難である等の問題が生じる恐れがある。特に、経済厚生の変化は上澄み部分であるので、モデルの定式化の誤りやカリブレーションの細かい相違に大きく影響される。したがって、簡便化しても結果にそれほど大きな影響を与えない部分については、簡便化したモデルでシミュレーションを行うほうがよいと考えられる。

ここでは、第2部で用いたモデルをベースとした2車種（普通車および小型車）のモデルを用いて、上記2点の簡便化がシミュレーション結果にどの程度のバイアスをもたらすのかを検討する。また、モデルを簡便化する際に注意すべき点についても整理する。

2.1 モデルの概要

ここでは、普通車および小型車の2車種のみを考える。既存車両の残存率に関する仮定、および、自動車サービスとその他消費財との関係に関する仮定の異なったモデルを用いる。

表 35 付録2で用いるモデルの相違点

	モデルA	モデルB	モデルC
既存車両の残存率	内生	外生	外生
自動車サービスと その他消費財との関係	CES 関数	CES 関数	準線形

注1：モデルAとモデルB ⇒ 残存率を外生化することによるバイアスの評価

注2：モデルBとモデルC ⇒ 準線形の効用関数を仮定することによるバイアスの評価

表35に示したように、モデルA、モデルB、モデルCの3種類を考える。モデルAは既存車両の残存率を内生化して考え、自動車サービスとその他消費財との関係をCES型効用関数で表現する。モデルBは自動車サービスとその他消費財との関係をCES型効用関数で表現するものの、既存車両の残存率を外生化して考える。モデルCは、既存車両の残存率を外生化して考えるとともに、自動車サービスとその他消費財との関係を準線形の効用関数で表現する。以下では、

モデルAとモデルBの結果を比較することによって、既存車両の残存率を外生化することによるバイアスの評価を行う。同様に、モデルBとモデルCの結果を比較することによって、準線形の効用関数を仮定することによるバイアスの評価を行う。

図 20 層化 CES 型関数の構造

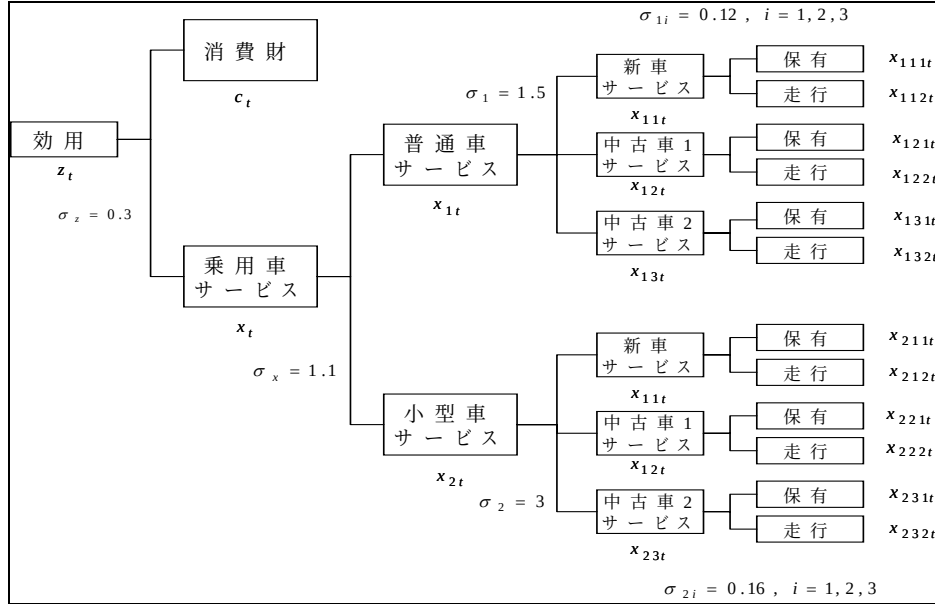


図 20に模式的に示したように、ここで用いる2車種のモデルは、本文で紹介した3車種のモデルと基本的な構造は同じである。以下では、3車種のモデルと違った設定をした2箇所についてのみ簡単に説明する。詳細については、藤原・蓮池・金本（2002）を参照されたい。

モデルAでは、既存車両の残存率を内生変数として扱う。したがって、中古車の「価格」 p_{i2t} および p_{i3t} は、既存車両の残存率に依存して内生的に決まる。これは、中古車の一部は修理・整備費用がかかりすぎるために廃車されるという現象をモデル化するためである。中古車の修理・整備費用は個々の車両によって異なっており、それが一定額以上になると廃車されると仮定する。この仮定のもとでは、中古車の保有コスト（価格）は、残存率 s_{ijt} に依存する関数として、

$$p_{ijt} = R_{ijt}(s_{ijt}) \quad j=2,3$$

のように定式化できる。ここで、 t 期における残存率 s_{ijt} は、前期すなわち $(t-1)$ 期に代表的消費者によって保有されていた車両のうち、どれだけの割合が t 期において廃棄されずに保有されるかを示したもので、中古車1の残存率 s_{i2t} は、

$$s_{i2t} = x_{i21t} / x_{i11,t-1}$$

と表され、中古車2の残存率 s_{i3t} は、

$$s_{i3t} = x_{i31t} / x_{i21,t-1} = x_{i3t} / (s_{i2,t-1} x_{i11,t-2})$$

と表される。なお、残存率を内生的に決定するのは第3期までであり、第4期及び第5期の残存率は実際のデータを踏まえて外生的に与える。

シミュレーションにおいては、修理・整備費用は、家計調査から平均費用を1年あたり30.2千円とした。残存車両の修理・整備費用の平均値が対数正規分布に従うと仮定し、中古車の保有コスト関数を

$$p_{ijt} = R_{ijt}(s_{ijt}) = A_{ij} + \text{logninv}(s_{ijt}, \mu_{ij}, SD_{ij}), \quad i = 1, 2, j = 2, 3$$

の形に設定する。ここで、 A_{ij} は保有税、駐車場代、保険費用の和である。また、 $\text{logninv}(s_{ijt}, \mu_{ij}, SD_{ij})$ は、平均 μ_{ij} 、標準偏差 SD_{ij} の対数正規分布の逆関数の s_{ijt} における値を表す。残存率 s_{ijt} は自動車検査登録協会の自動車保有車両数のデータを用いて、各車種車齢について計算した。また、平均 μ_{ij} と標準偏差 SD_{ij} は、①シャドープライスが新車と中古車とで等しくなるという条件と、②データから推計した残存率の値を s_{ijt} に代入すると $\text{logninv}(s_{ijt}, \mu_{ij}, SD_{ij})$ が30.2千円になるという条件の2つから求めた。

モデルAとモデルBでは、自動車サービスとその他消費財との関係をCES型関数で表現する。したがって、 t 期の効用水準 z_t は、その他消費財の消費量 c_t と、自動車サービスの消費量 x_t によって決まり、次のようなCES型の関数であるとする。

$$z_t = \left(\alpha_c^{\sigma_z} c_t^{\frac{\sigma_z-1}{\sigma_z}} + \alpha_x^{\sigma_z} x_t^{\frac{\sigma_z-1}{\sigma_z}} \right)^{\frac{\sigma_z}{\sigma_z-1}}$$

ここで、 α_c 及び α_x は、その他消費財と自動車サービスの分配のパラメータを、 σ_z は代替の弾力性をそれぞれ表している。消費と貯蓄の意思決定に関しては、効用水準が一定の率 λ で上昇していくという単純化の仮定を置く。つまり、 t 期の効用水準 z_t は、初期時点（0期）で評価した効用水準を z とおくと、

$$z_t = z(1+\lambda)^t$$

となる。この仮定を置いた主たる理由は、これ以外のケースではシミュレーションにおいて均衡解に収束させることが困難であったことである。

2.2 既存車両の残存率を外生化することによるバイアスの評価

ここでは、モデルAとモデルBを用いてシミュレーションを行い、既存車両の残存率を外生化することによるバイアスを定量的に評価する。

はじめに、BAUケースにおける既存車両残存率の差を確認する。以下の表36は第1期から第3期における既存車両の残存率をまとめたものである。表中の「内生」は残存率を内生化したモデルAによるシミュレーション結果、「外生」は残存率を外生化したモデルBにおいて、統計データを用いて外生的に与えた残存率の値を示している。普通車の中古車1の残存率を除くと、

それほど大きな差は見られない。また、そのことから推測されるとおり、第 3 期における CO₂ 排出量、0 期時点での効用水準 z にもほとんど差が見られない（表 37 参照）。

表 36 既存車両残存率の比較（BAU ケース）

		1 期		2 期		3 期	
		内生	外生	内生	外生	内生	外生
普通車	新車→中古車 1	92.8	93.1	93.3	93.1	93.4	93.1
	中古車 1→中古車 2	60.2	57.8	58.3	57.8	59.1	57.8
小型車	新車→中古車 1	75.3	75.5	76.0	75.5	75.8	75.5
	中古車 1→中古車 2	23.1	23.5	24.0	23.5	24.2	23.5

表 37 CO₂ 排出量と効用水準の比較（BAU ケース）

	内生	外生	乖離率
第 3 期における CO ₂ 排出量 (99 年比伸び率)	35.9 百万 t C (14.0%)	35.9 百万 t C (14.0%)	-0.07%
0 期の効用水準 z	263536.7	263532.4	0.00%

次に、いくつかの政策オプションについてシミュレーションし、その結果を比較する。外部費用の貨幣評価原単位については、中位値を用いて計算する。

表 38 純便益が最大となる税額/率と CO₂ 削減率、社会的純便益

	税額/率		CO ₂ 削減率 (BAU ケース比)		社会的純便益 (億円/年)	
	内生	外生	内生	外生	内生	外生
燃料税増税	20 円/ℓ	20 円/ℓ	3.3%	3.3%	164	166
燃料税増税 ・保有税減税	45 円/ℓ	45 円/ℓ	5.3%	5.3%	558	561
保有税（中立）	15%	12%	0.15%	0.12%	17	16
取得税（中立）	50%	50%	0.09%	0.09%	14	15

注 1：保有税（中立）ケース、取得税（中立）ケースとは税込中立的な保有税および取得税の変更をいう

注 2：保有税（中立）ケース、取得税（中立）ケースの増税率は普通車についてのものである

表 38 は、各政策オプションについて、社会的純便益が最大となる税額/率と、その税額/率の下での CO₂ 排出量削減率、社会的純便益をまとめたものである。ただし、保有税（増税）ケースと取得税（増税）ケースは、社会的純便益が負になるので省略してある。

保有税（中立）ケースで若干の違いが見られるものの、残存率が内生の場合と外生の場合とで、社会的純便益が最大となる税額/率に大きな違いは見られない。また、CO₂ 排出量削減率、社会的純便益にも大きな差はなく、既存車両の残存率を外生化することによるバイアスはほとんどないと考えられる。なお、保有税（中立）ケースの最適税率が異なるのは、社会的純便益の水準が低く、また、最適税率の近傍での純便益がきわめてフラットに近いためであり、社会厚生上は有意な差ではないと考えられる。

次に、同じ税額/率で、残存率内生ケースと残存率外生ケースを比較する。ただし、燃料税増税ケース、燃料税増税・保有税減税ケース、取得税（中立）ケースは、表 38と重複するので省略する。

表 39からも分かるように、税額/率を固定して比較した場合でも、残存率を内生化したモデルAと外生化したモデルBとで結果に大きな差は見られない。

表 39 同一の税額/率での比較

	税額/率	CO ₂ 削減率 (BAU比)		社会的純便益 (億円/年)	
		内生	外生	内生	外生
保有税（増税）	50%	0.91%	0.92%	-372	-368
取得税（増税）	50%	0.16%	0.17%	-53	-51
保有税（中立）	15%	0.15%	0.15%	17	14

注）保有税（中立）ケースの増税率は普通車についてのものである。

表 40は、各税オプションにおける社会的純便益を外部費用の項目ごとに比較したものである。保有税（中立）ケースの乖離率についても、項目ごとに比較すると、それほど大きな乖離があるとはいえない。

以上から分かるように、既存車両の残存率を外生化することによるシミュレーション結果へのバイアスは大きくない。したがって、第2部で紹介した軽自動車を含む3車種のモデルに拡張する際には、既存車両の残存率を外生化して、モデルの大規模化・複雑化を避けている。

表 40 社会的純便益の各項目の比較

燃料税増税ケース（+20 円/ℓ）

	CO ₂ 削減率	利用者 便益	CO ₂ 削減便益	大気汚染 削減便益	混雑・事故 削減便益	消費税 減少	純便益
内生	3.3%	-1,100	246	126	798	90	164
外生	3.3%	-1,090	245	126	796	90	166
乖離率	+0.3%	-0.5%	-0.3%	-0.3%	-0.3%	-0.6%	+1.2%

燃料税増税・保有税減税ケース（+45 円/ℓ）

	CO ₂ 削減率	利用者 便益	CO ₂ 削減便益	大気汚染 削減便益	混雑・事故 削減便益	消費税 減少	純便益
内生	5.3%	-1,217	364	187	1,184	39	558
外生	5.3%	-1,239	370	190	1,201	39	561
乖離率	+1.1%	-1.8%	+1.4%	+1.4%	+1.4%	+0.6%	+0.6%

保有税（中立）ケース（+15%）

	CO ₂ 削減率	利用者 便益	CO ₂ 削減便益	大気汚染 削減便益	混雑・事故 削減便益	消費税 減少	純便益
内生	0.15%	-47	13	6	41	4	17
外生	0.15%	-46	12	6	39	4	14
乖離率	+1.9%	+1.5%	-4.7%	-4.7%	-4.7%	-0.3%	-12.8%

注）便益の単位は億円/年

2.3 準線形の効用関数を仮定することによるバイアスの評価

次に、モデルBとモデルCを用いて、準線形の効用関数を仮定することによるバイアスを評価する。上で見たとおり、既存車両の残存率を外生化することによる影響は非常に小さいので、ここでも既存車両の残存率は外生変数であると仮定する。モデルBとモデルCの違いを整理すると、以下の表 41のようになる。

表 41 効用関数の変更点

	モデルB (CES)	モデルC (準線形)
消費財と乗用車サービスの選択	$z_t = \left(\alpha_c^{\sigma_z} c_t^{\frac{\sigma_z-1}{\sigma_z}} + \alpha_x^{\sigma_z} x_t^{\frac{\sigma_z-1}{\sigma_z}} \right)^{\frac{\sigma_z}{\sigma_z-1}}$ $(\sigma_z = 0.3)$	$z_t = c_t + \alpha_{xt} x_t^{\frac{\sigma_z-1}{\sigma_z}}$ $(\sigma_z \cong 0.28)$
		$\alpha_{xt} = \alpha_x (1 + \rho)^t$ $\rho : \text{パラメータの増加率}$
目的関数	$z = \frac{z_t}{(1 + \lambda)^t}$	$\sum_{t=1}^5 \frac{1}{(1 + r)^t} z_t$
	$\lambda : \text{効用水準の成長率}$ $\lambda = 0.05 \text{ (年平均 1\%)}$	$r : \text{割引率}$ $r = 0.2 \text{ (年平均 4\%)}$

CES 効用関数の場合は需要の所得弾力性が1であるのに対して、準線形の効用関数の場合、需要の所得弾力性はゼロである。したがって、準線形の効用関数を用いる場合には、①所得の増加による自動車サービス需要の増加をどのようにモデルに組み込むか、②需要の価格弾力性は、所得効果のない補償された需要の弾力性を基準に考えなければならない、という2点に特に注意する必要がある。われわれのモデルに即して言えば、モデルCにおいて、乗用車サービスの需要量およびその増加率に影響を与えるパラメータ α_x (α_{xt})、 ρ と、乗用車サービスの価格弾力性に影響するパラメータ σ_z の設定に注意が必要である。

モデルCにおいて、乗用車サービスの需要関数は $x_t = \left(\frac{\sigma_z - 1}{\sigma_z} \frac{\alpha_{xt}}{p_x} \right)^{\sigma_z}$ であるから、乗用車サービスの需要量の増加率と α_{xt} の増加率は、 $\frac{\Delta x_t}{x_t} = \sigma_z \frac{\Delta \alpha_{xt}}{\alpha_{xt}}$ という関係になる。モデルBでは、効用水準の伸び率を1期あたり5%と仮定していたので、乗用車サービスの需要量の伸び率 $\frac{\Delta x_t}{x_t}$ も約5%である。この関係式を利用してパラメータ $\rho (= \frac{\Delta \alpha_{xt}}{\alpha_{xt}} = \frac{0.05}{\sigma_z})$ を設定している (σ_z の設定方法については後述)。また、 α_x については、BAUケースでの乗用車サービスの需要量の

水準が、CES 関数を用いたモデルBにおける値と近くなるようにシミュレーション繰り返して試行錯誤しながら設定した。

パラメータ σ_z については、乗用車サービス需要の自己価格弾力性の値が、モデルBとモデルCとで等しくなるように設定した。モデルCにおける乗用車サービス需要の自己価格弾力性はパラメータ σ_z の値に等しい。準線形の効用関数なので、所得効果はゼロとなっている。

一方、CES型効用関数を仮定しているモデルBでは、乗用車サービス需要の自己価格弾力性 ($\varepsilon_{x,x}$) は

$$\varepsilon_{x,x} = -\sigma_z + w_x(\sigma_z - 1)$$

となる。ここで、 w_x は乗用車サービス需要の支出シェアである。これは通常の需要関数から求めているので、所得効果も含んだ弾力性である。したがって、この値をそのままモデルCに用いると、モデルBとモデルCとでシミュレーション結果が大きく異なってしまう。

モデルBにおいて、補償需要関数から補償された需要の価格弾力性 ($\tilde{\varepsilon}_{x,x}$) を求めると、

$$\tilde{\varepsilon}_{x,x} = \sigma_z(w_x - 1) = \varepsilon_{x,x} + w_x$$

となる。弾力性の値をそろえてモデル同士の比較をするためには、こちらの値を用いなければならない。モデルBでは $\varepsilon_{x,x} \cong 0.35, \tilde{\varepsilon}_{x,x} \cong 0.28$ という値を設定しているので、モデルCにおけるパラメータ σ_z は、 $\sigma_z = \tilde{\varepsilon}_{x,x} \cong 0.28$ と設定している。

表 42は、BAUケースのシミュレーション結果を比較したものである。モデルBとモデルCのシミュレーション結果の差がこの程度小さくなるようにモデルCにおける α_x の値を設定した。

表 42 BAUケースの比較

	モデルB (CES)	モデルC (準線形)	乖離率
第3期における CO ₂ 排出量 (99年比伸び率)	35.9 百万 t C (14.0%)	35.9 百万 t C (13.9%)	-0.02%
自動車関連支出 (5期間合計)	69.9 兆円	70.0 兆円	0.14%
5期間の効用 (実質所得)の総和	898,564	899,933	0.15%

BAUケースのシミュレーション結果を踏まえ、各政策オプションのシミュレーション結果を比較する。この結果が大きく異なる場合には、需要の価格弾力性に関するパラメータの設定が不適切である可能性が高い。表 42にあるように、BAUケースにおける CO₂排出量、効用水準等が若干異なるので、純便益の絶対値だけでなく、各政策オプションの相対関係にも留意する。

主な政策オプションのシミュレーション結果は表 43にまとめてある。社会的純便益の計算の際には外部費用の貨幣評価原単位については中位ケースの値を用いている。

燃料税増税ケースにおける社会的純便益の値が若干異なることを除いて、社会的純便益が最大となる税額/率、発生する社会的純便益にほとんど差はない。保有税(増税)ケース、取得税(増

税) ケースは純便益が負になるので表にはしていないが、他の政策オプション同様、効用関数を準線形にすることによる影響は非常に小さい。

表 43 社会的純便益が最大となる税額/率と CO₂削減率、社会的純便益

	税額/率		CO ₂ 削減率 (BAU比)		社会的純便益 (億円/年)	
	CES	準線形	CES	準線形	CES	準線形
燃料税増税	20 円/ℓ	20 円/ℓ	3.3%	3.3%	166	170
燃料税増税 ・保有税減税	45 円/ℓ	45 円/ℓ	5.3%	5.3%	561(3.4)	562(3.3)
保有税 (中立)	12%	12%	0.12%	0.12%	16(0.09)	16(0.09)
取得税 (中立)	50%	50%	0.09%	0.09%	15(0.09)	15(0.09)

注 1) 保有税 (中立) ケース、取得税 (中立) ケースの増税率は普通車についてのものである。

注 2) 純便益のカッコ内の数値は、燃料税増税ケースを 1 とした場合の比率である。

表 44 社会的純便益の各項目の比較

燃料税増税ケース (20 円/ℓ)

	CO ₂ 削減率	利用者 便益	CO ₂ 削減便益	大気汚染 削減便益	混雑・事故 削減便益	消費税 減少	純便益
CES	3.3%	-1,090	245	126	796	90	166
準線形	3.3%	-1,074	243	124	789	88	170
乖離率	-1.0%	+1.4%	-0.9%	-0.9%	-0.9%	-1.9%	+2.1%

燃料税増税・保有税減税ケース (45 円/ℓ)

	CO ₂ 削減率	利用者 便益	CO ₂ 削減便益	大気汚染 削減便益	混雑・事故 削減便益	消費税 減少	純便益
CES	5.3%	-1,239	370	190	1,201	39	561
準線形	5.3%	-1,225	367	188	1,194	37	562
乖離率	-0.8%	+1.1%	-0.6%	-0.6%	-0.6%	-5.4%	+0.2%

保有税中立ケース (12%)

	CO ₂ 削減率	利用者 便益	CO ₂ 削減 便益	大気汚染 削減便益	混雑・事故 削減便益	消費税 減少	純便益
CES	0.12%	-34	10	5	32	3	16
準線形	0.12%	-33	10	5	31	3	16
乖離率	-0.5%	+2.2%	-1.2%	-1.2%	-1.2%	-2.8%	+0.8%

注) 便益の単位は億円/年

表 44は、社会的純便益が最大となる税額/率における社会的純便益を項目別に比較したものである。項目によっては若干の差が生じているが、総じて微小な差にとどまっている。

一般に、支出シェアが小さいほど所得効果も小さい。ここで用いているモデルでは、0 期時点における乗用車サービスの支出シェアは約 7 % であり、この程度の支出シェアであれば準線形モデルを仮定することによるバイアスはごくわずかであると考えられる。

2.4 まとめ

ここでは、モデルの簡便化の方法と簡便化によるシミュレーション結果のバイアスについて、既存車両の残存率を外生化する場合と、準線形の効用関数を仮定する場合の2つの例を分析した。その結果、それぞれの簡便化がもたらすシミュレーション結果への影響は非常に微小であることが分かった。したがって、既存車両の廃車行動に焦点を当てる場合を除いては、残存率を外生化してモデルを単純化することが可能であると考えられる。また、支出シェアの小さい財に焦点を当てるのであれば、準線形の効用関数を選択しても問題はないと考えられる。ただし、準線形の効用関数を用いる場合、（１）所得の増加による需要の増加をどのようにモデルに組み込むか、（２）需要の価格弾力性は、所得効果のない補償された需要の弾力性を基準に考えなければならないという2点に特に注意してパラメータを設定する必要がある。

参考文献

- Bruce, J. P., Lee, H. and Haites, E. F. eds.: *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change*, Cambridge University Press, 1995.
- Delucchi, Mark A.: *The Annualized Social Cost of Motor-Vehicle Use in the US, 1990-1991: Summary of Theory, Data, Methods, and Results, Report #1, The Annualized Social Cost of Motor-Vehicle Use in the United States, based on 1990-1991 Data, Report UCD-ITS-RR-96-3(1)*, Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, 1997.
- Denis, C. and G.J. Koopman.: *EUCARS: A spatial equilibrium model of EUropean CAR emissions. (Version 3)*, European Commission, 1998.
- ECMT: *Efficient Transport for Europe: Policies for Internalization of External Costs*. European Conference of Ministers of Transport, Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, 1998.
- Goodwin, P.B.: A review of new demand elasticities with special reference to short and long run effects of price changes, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.27 (2), pp.155-169, 1992.
- Hohmeyer, O. and Gartner, M.: *The Costs of Climate Change*, Karlsruhe, 1992.
- INFRAS/IWW: *External Cost of Transport*, UIC, 1995.
- Koopman, G.J.: Policies to Reduce CO₂ emissions from Cars in Europe: A Partial Equilibrium Analysis, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.30, pp.53-70, 1995.
- Mayeres, I. and Proost, S.: Should diesel cars in Europe be discouraged? , *Regional Science and Urban Economics*, Vol.31, pp.453-470, 2001.
- McCubbin, Donald R., and Mark A. Delucchi.: *The Health Costs of Motor-Vehicle-Related Air Pollution*, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.33, pp.253-286, 1999.
- Newbery, David M.: Road User Charges in Britain, *Economic Journal* Vol.98, pp.161-176, 1988
- Newbery, David M.: Pricing and Congestion: Economic Principles Relevant to Pricing Roads, *Oxford Review of Economic Policy*, Vol.6 No.2, pp.22-38, 1990.
- Nordhaus, William D.: *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*, Cambridge, MA, MIT Press, 1994.
- Oum, T.H., W. G. Waters and J. S. Yong.: Concepts of price elasticities of transport demand and recent empirical estimates, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.27 (2), pp.139-154, 1992.
- Parry, Ian W.H., and Small, Kenneth A.: Does Britain or The United States Have the Right Gasoline Tax?, UCI Department of Economics Working Papers No.01-02-02, 2001.
- Proost, S. and K. Van Dender.: *The Welfare Impacts of Alternative Policies to Address Atmospheric Pollution in Urban Road Transport*, *Regional Science and Urban Economics*, Vol.31, pp.383-411, 2001.
- Quinet, Emile.: *Full Social Cost of Transportation in Europe, The Full Costs and Benefits of Transportation*, David L. Greene, Donald W. Jones, and Mark A. Delucchi.eds., Springer-Verlag,

- pp.69-111, 1997.
- Small, Kenneth A., and Camilla Kazimi.: On the Costs of Air Pollution from Motor Vehicles, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.29, pp.7-32, 1995.
- Tol, Richard S.J., Samuel Fankhauser, Richard Richels and J.Smith.: How much Damage will Climate Change Do? Recent Estimates, *World Economics*, 1, pp.179-206, 2000.
- US FHWA: 1997 Federal Highway Cost Allocation Study Final Report, US Federal Highway Administration, Department of Transportation, Washington, D.C., 1997.
- US FHWA: Addendum to the 1997 Federal Highway Cost Allocation Study Final Report, US Federal Highway Administration, Department of Transportation, Washington, D.C., 2000.
- Varian, H.R. (1984): *Microeconomic Analysis* (Second Edition), W.W. Norton & Company (邦訳:ミクロ経済分析) .
- 上田孝行, 武藤慎一, 森杉壽芳: 自動車交通による外部不経済抑制政策の国民経済的評価—静学的応用一般均衡 (C G E) と動学的応用一般均衡 (D C G E) の比較分析—, *運輸政策研究*, Vol.1 No.1, pp.39-53, 1998.
- 太田勝敏他: 運輸部門におけるCO₂排出抑制策に関する研究, 日交研シリーズ A-321, 2002.
- 鹿島茂他: 自動車関連税制の変更が自動車の保有・使用に及ぼす影響の分析, 日交研シリーズ A-308, 2002.
- 鹿島茂他: 自動車関連税制が環境目標達成のために果たせる役割に関する研究, 日交研シリーズ A-324, 2002.
- 金本良嗣: 消費者余剰アプローチによる政策評価, RIETI Discussion Paper 04-J-042, 経済産業研究所, 2004.
- (財) 計量計画研究所: データで見る国際比較 ～交通関連データ集～ 2000, (財) 計量計画研究所, 2000.
- 兒山真也, 岸本充生: 日本における自動車交通の外部費用の概算, 『運輸政策研究』, Vol.4 No.2, pp.19-30, 2001.
- 地球温暖化対策推進本部: 地球温暖化対策推進大綱, 2002.
- 東京都ロードプライシング検討委員会: 東京都ロードプライシング検討委員会報告書, 東京都環境局, 2001.
- 林良嗣, 加藤博和, 上野洋一: 自動車関連税制の課税レベルと税間バランスによるCO₂削減効果の差異に関する分析, *運輸政策研究*, Vol.2 No.1, pp.2-13, 1999.
- 藤原徹, 蓮池勝人, 金本良嗣: 自動車関係税制を活用した地球環境対策の評価, 日交研シリーズ A-321, 2002.
- 藤原徹, 蓮池勝人, 金本良嗣: 環境政策における自動車税制活用の定量的評価, 日交研シリーズ A-340, 2003.
- 二村真理子: 地球温暖化と自動車交通—税制のグリーン化と二酸化炭素排出削減—, *交通学研究* 1999 年研究年報, 2000.
- 別所俊一郎, 赤井伸郎, 林正義: 公的資金の限界費用, 『日本経済研究』, No.47, 1-19, 2003.

- 森杉壽芳：L C A的視点による自動車交通の二酸化炭素排出量抑制政策に関する研究－自動車交通関連炭素税の市場経済的不便益の計測－，日交研シリーズ A328，2002.
- 森田恒幸：地球温暖化と経済，『岩波講座 地球環境学 3 大気環境の変化』，安成哲三，岩坂泰信編，第 6 章，pp.249-279，1999.
- 吉田好邦，中塚晋一郎，松橋隆治，石谷久：車種選好モデルに基づく自動車保有税のグリーン化による CO₂ 排出削減効果の分析，電気学会論文誌，122 巻-C 5 号， pp868-877， 2002.