

10. 技術革新を考慮した地域特性格乗用車 CO₂ 中長期削減シナリオの検討

CO₂ Reduction Policy Scenario in Transport Sector in Consideration of Consistency of Technological Innovations and Local Characteristics

中條 将史*, 森本 貴志**, 森田 紘圭**, 加藤 博和**

Masashi CHUJO*, Takashi MORIMOTO**, Hiroyoshi MORITA** and Hirokazu KATO**

ABSTRACT; The study has been undertaken with a view to formulate appropriate policies for targeted CO₂ reduction from transport sector. For this a two step approach is adopted. As a first step, a model for forecasting CO₂ emissions from passenger cars by municipalities is developed. This model takes into account the car ownership and trip length model. The application of the proposed model to the municipalities of Japan show that CO₂ emissions will continue to increase at the national level and the increase of these emissions is remarkable in local municipalities. As a second step the targeted total CO₂ emissions of Japan are allocated to different municipalities under different sets of policy scenarios. The examination of the five type of EST1 policy scenarios show that the target CO₂ emissions cannot be achieved in most municipalities except metropolis. Eight types of EST2 policy scenarios, considering the local characteristics are therefore examined. The examination of the proposed EST2 policy scenarios and their mixed scenarios shows that more extensive policies are required since the targeted CO₂ emissions cannot be achieved only by EST2 policies.

KEYWORDS ; Global Environment Policy, Environmentally Sustainable Transport (EST), CO₂, Local Characteristic

1 はじめに

2005 年 2 月の京都議定書発効により、先進国や市場経済移行国では温室効果ガス排出目標が義務化された。日本においても 2008~2012 年の平均で 1990 年比 6% の削減を求められている。更に「ポスト京都」に関する検討も既に進んでおり、将来的には削減目標は更に厳しくなることが予想される。国立環境研究所が進める「脱温暖化 2050 プロジェクト」¹⁾では、2050 年の日本の CO₂ 排出目標を 1990 年比 60~80% 減と設定している。

日本の CO₂ 排出量は 1990 年から 2003 年の間に総量で 12.2% 増であるのに比べ、運輸部門は 19.8% 増となっており、その削減方策実施は急務である。これは、モータリゼーション進展の結果である。運輸部門の CO₂ 排出量の 8 割以上を自動車起源が占める。運輸部門の CO₂ 排出削減を推進するためには、自動車起源分について排出構造を詳細に分析する必要がある。

*岩谷産業株式会社

*Iwatani International Corporation

**名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻

**Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi, Japan

近年、各自動車メーカーは低燃費自動車を次々に投入しており、運輸部門のCO₂排出量増加を鈍化させる要因となっている。しかしその効果も、乗用車の保有台数や走行台キロの伸び、大型化によって相殺されている。車両・燃料技術の進展は、今後もCO₂削減に一定の効果を発揮すると期待されるものの、前述のように将来にわたって必要となる大幅削減をこれだけでまかなうことは困難であり、交通システムや交通行動を変化させる施策の併用が検討される必要がある。その検討にあたっては、排出削減目標を明確化し、それを達成するためにいかなる施策が必要かをあらゆる方向から分析した上で、パッケージとして施策を立案する、という「Backcasting」のアプローチが必要である。具体的には、全国一律での実施が有効な車両・燃料施策と、地域による特性の違いに配慮する必要がある交通施策という特徴に配慮し、今後起こる車両・燃料技術革新をできる限り織り込んだ上で、それでは足りない分については各地域の特性を加味した「適材適所」の交通施策を立案・実施することが求められる。

そこで本研究では、運輸部門のCO₂排出の約半分を占め、増加の主な要因となっている乗用車を対象に、日本の市区町村単位でのCO₂排出量を将来にわたって推計するモデルを構築し、中期（2020年）および長期（2050年）の推計を試みる。その際、技術革新トレンドについていくつかのシナリオを設定する。さらに、交通量を削減させるための施策を実施することによるCO₂削減効果について検討を試みる。

なお、本稿で公表する値は暫定値であり、今後、より詳細な検討を行って値の信頼性を高めていく予定であることを付記しておく。

2 CO₂ 排出量削減目標達成シナリオ作成の考え方

本研究が設定するCO₂排出量削減目標達成シナリオの全体構造を図-1に示す。本研究は乗用車の走行に伴うCO₂排出を対象とする。CO₂削減目標値は、OECDのESTプロジェクトで示されている目標を参考に「日本全体で2020年に2000年比25%削減および2050年に2000年比60%削減（1990年比約50%削減）」とする。

CO₂削減目標の各市区町村への割り当て方法は、本研究では最も簡便な基準として、人口に比例して削減量を割り当てるものとする。つまり、どの市区町村でも削減率は同じとなる。なお、市区町村は2000年10月現在の構成を用いる。削減目標値は「総量比」、「1人あたり排出量比」で示される。

次に、燃料・車両技術に関する施策（EST1）の全国的な進展による削減量の中・長期（2020、2050年）で見積もる。そしてCO₂排出量（BAU）を推計し、技術政策（EST1）の効果を見込んだ上で、削減目標を補えない分について交通施策（EST2）による必要削減量を算出する。最後に交通施策（EST2）のシナリオ分析を行い、必要実施量の検討を行う。

3 技術施策（EST1）による削減量の見積もり

技術施策（EST1）の全国的な進展によるCO₂排出削減量を見積もる。乗用車の保有台数、総トリップ長は一定とし、技術革新によって生じる乗用車の部品提供など資源的問題は考慮していない。また、乗用車の区分はエンジンの種類のみとし、買い替え時期の変更は起こらないものとする。

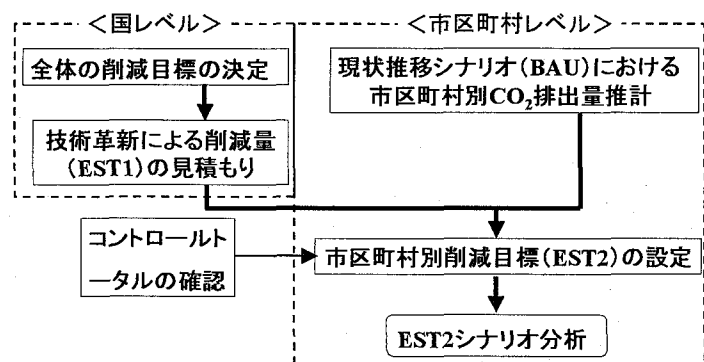


図-1 CO₂排出量削減目標達成シナリオ作成の全体フロー

表-2 中期(2020年)技術シナリオ

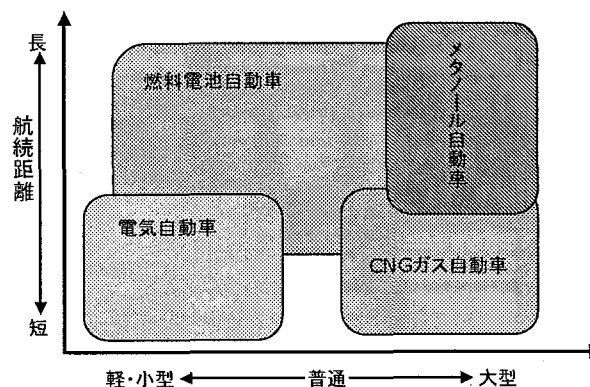
シナリオ	普及率			CO ₂ 削減率(2000年 比台キロあたり)
	ハイブリッド	低燃費自動車	それ以外	
ハイブリッド大量普及	83%	17%	—	43.4%
ハイブリッド普及停滞	1%	55%	44%	5.7%
ハイブリッド・低燃費自動車共存	42%	45%	13%	29.2%

3. 1 中期(2020年)技術トレンドシナリオ

中期技術トレンドシナリオとして、既存インフラを用いるハイブリッド自動車や低燃費・低排出ガス車の普及を考える。なぜなら新規燃料補給所を伴う代替燃料自動車はインフラ整備に多くの時間を要し、2020年の時点で広く普及しているとは考えにくいためである。本研究では、最も多くCO₂排出量を削減できるハイブリッド車に着目し、「ハイブリッド大量普及シナリオ」、「ハイブリッド普及停滞シナリオ」、「ハイブリッド・低燃費自動車共存シナリオ」の3種類を作成する。なおハイブリッド車は全てガソリン自動車とする。「ハイブリッド大量普及シナリオ」は、日本自動車販売協会連合会²⁾が公開している新車登録台数を年間の乗用車の買い替え台数として、乗用車の買い替えた車が全てハイブリッド乗用車であるとして普及率を算出する。「ハイブリッド普及停滞シナリオ」では国土交通省が発表した2000年から2003年までの低燃費車普及率の推移³⁾を2020年まで一定とする。「ハイブリッド・低燃費自動車共存シナリオ」では上述した2つのシナリオの中間値を設定する。作成したシナリオによるCO₂削減率(台キロあたり)の見積もりを表-2に示す。

3. 2 長期(2050年)技術トレンドシナリオ

2050年には、新規インフラを伴う代替燃料自動車が普及すると考えられ、既存インフラを用いる代替燃料自動車、新規インフラを用いる代替燃料自動車、双方の普及についての検討が必要である。新規インフラを用いる4種類の代替燃料自動車の適応範囲を図-2に示す。この図から、メタノール自動車およびCNG自動車は大型乗用車向きであること、電気自動車は燃料充填による1回の可能走行距離が短いことから、乗用車として広く普及するには難がある。このため本研究では、新規代替燃料自動車として燃料電池自動車を考えてシナリオ作成を行う。

図-2 代替燃料車の適応範囲³⁾

長期においても中期と同様に3種類のシナリオを作成する。全ての乗用車が燃料電池自動車に変わりガソリンを燃料に用いる乗用車は存在しない「燃料電池自動車大量普及型シナリオ」、燃料電池自動車の普及が技術的な問題などで全く普及しないと想定した「ハイブリッド自動車中心シナリオ」、両者の中間程度に普及する「燃料電池・ハイブリッド共存シナリオ」である。シナリオ作成時の各乗用車の原単位は中期技術トレンドと同様に、日本自動車工業会が公表している平均燃費を用いる。また「燃料電池自動車大量普及型シナリオ」についても中期技術シナリオで用いた買い替え台数を用いる。燃料電池自動車の燃料である水素を生成する方法は副生水素を利用すると仮定する。

表-3 長期(2050年)技術シナリオ

シナリオ	普及率			CO ₂ 削減率(2000年 比台キロあたり)
	燃料電池	ハイブリッド	低燃費自動車	
燃料電池自動車大量普及	90%	8%	2%	62.8%
ハイブリッド中心	—	93%	7%	49.4%
燃料電池・ハイブリッド共存	45%	50%	5%	56.2%

作成したシナリオを表-3に示す。この結果、燃料電池自動車大量普及シナリオでは技術施策（EST1）のみで62.8%のCO₂排出量削減が可能となる。ただし、乗用車の走行キロが増加すれば、この削減量は相殺されることになる。

4 市区町村別 CO₂排出量の現状推移（BAU）シナリオの作成

4. 1 モデルの全体構成

各市区町村における CO₂ 削減目標を決定するために、BAU シナリオにおける中期（2020 年）、長期（2050 年）の CO₂ 排出量を推定する。BAU シナリオとは、経済・人口・土地利用等の社会経済指標の伸び、および技術水準や施策の実施水準が、現状のまま推移していくものと仮定した場合の交通需要の趨勢的な伸びを設定した上で CO₂ 排出量を推計するもので、施策効果を計るためのベースラインとなる。

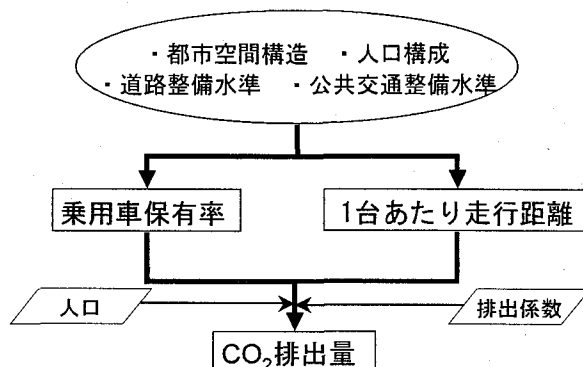


図-3 市区町村別 CO₂ 排出量推計モデルの構成

各市区町村の CO₂ 排出量推計モデルは、松橋ら⁴⁾による推計モデルを参考とし、図-3に示すとおり、都市空間構成、人口密度、道路整備水準、公共交通整備水準などから乗用車保有率と1台あたり走行距離の2つのサブモデルを作成し、それらを用い、市区町村別の乗用車保有率と乗用車1台あたり走行距離を予測する。それらに人口および排出係数を乗じることで、市区町村別 CO₂ 排出量予測を行う。

4. 2 乗用車保有率モデル

図-4に乗用車保有率モデルのフローを示す。

モデルの定式化は、市区町村間の差異を空間構造やインフラ整備水準で表現するとともに、時系列推移に関しては、国土交通省が示した日本全国値の予測結果⁵⁾をコントロールトータルとして用い、この値と各市区町村モデルによる推計結果の総和との比を乗じることで調整を行う。

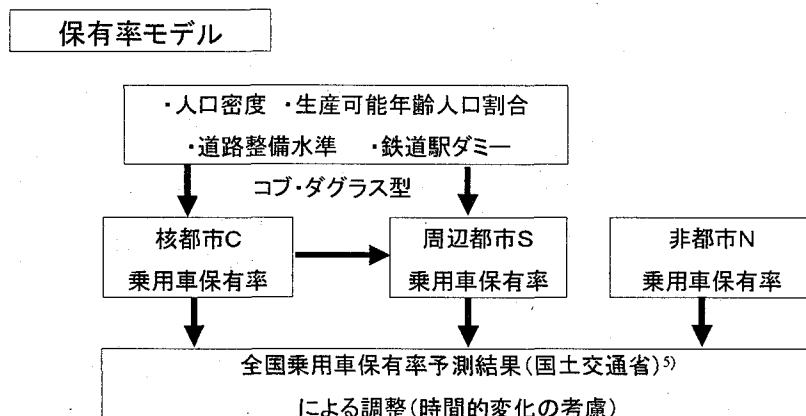


図-4 乗用車保有率モデルのフロー

本研究では国土交通省の都市・地域レポートで示した広域都市圏の定義を用いて、推計モデルを3つの地域分類に分けて構築する。

C：核都市

- 人口10万人以上で、昼夜間人口比率が100以上の市区町村
- a)の都市で都市間距離が20km以内のものは1つにまとめる。

S：周辺都市

- 核都市への通勤・通学者が500人以上の市町村
- 核都市への通勤・通学者／在住通勤・通学者が0.05を上回る市町村

ただし a)、b)の基準より2つ以上の都市圏に含まれる市町村は、核都市への通勤・通学者の多いほうの都市圏に含まれるものとする。

N：非都市

- 1)、2)に当てはまらない市町村

周辺都市 S のように経済活動や生活基盤が核都市の影響を受けている場合、核都市 C の影響が大きいことからその乗用車保有率に補正係数を乗じることにより推計を行う。また非都市 N においては、市区町村によって産業・年齢別人口に極端な差が生じているため、本研究では 2000 年現在の値をそのまま用いる。したがって全国平均値と同じ増加率となる。

核都市 C のモデルは(1)式のようにコブ・ダグラス型とする。

$$y_c = \gamma \cdot D_d^{\gamma_2} \cdot A^{\gamma_3} \cdot R^{\gamma_4} \cdot \exp(\gamma_5 \cdot d_s) \quad (1)$$

ここで、 y ：乗用車保有率[台/1000 人] A ：生産可能年齢人口割合[%]
 D_d ：DID 人口密度[人/km²] R ：人口一人あたり道路延長[km/人]
 d_s ：鉄道駅ダミー ($d_s=0,1$) $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5$ ：パラメータ

周辺都市 S のモデルは(2)、(3)式に示すように定式化する。

$$y_s = y_c \cdot g \quad (2)$$

$$g = \alpha \cdot D^{\kappa_1} \cdot \left(\frac{R}{R_c} \right)^{\kappa_2} \cdot A^{\kappa_3} \quad (3)$$

ここで、 g ：補正係数、 D ：可住地人口密度[人/km²]、 R_c ：核都市の

$\alpha, \kappa_1, \kappa_2, \kappa_3$ ：パラメータ

補正係数 g はその都市固有の要因を示す指標であり、可住地人口密度、道路延長整備水準、成年人口比率を説明変数とする。DID 人口密度ではなく可住地人口密度を利用したのは、人口集中地区が存在しない市町村が多くあるためである。また、公共交通整備水準は外し、代わりに核都市に対する対象都市の乗用車の利便性を考慮している。

4. 3 乗用車走行距離モデル

図-5 に乗用車走行距離モデルのフローを示す。今後の人口減少によって人口密度が低下する結果、通勤などの移動距離が増加することを表現するような定式化を行っている。乗用車保有率モデルと同様の地域分類を用い、さらに、周辺都市は核都市の影響を受けると考え、説明変数に核都市からの影響を考慮する。

核都市 C のモデルは (4) 式のコブ・ダグラス型とする。

$$L_c = \alpha_0 \cdot P^{\alpha_1} \cdot \exp(\alpha_2 \cdot S) \cdot R^{\alpha_3} \cdot F^{\alpha_4} \quad (4)$$

ここで、 L ：乗用車一台あたり走行距離[km/台] S ：駅数[駅]
 P ：可住地人口密度[人/km²] R ：道路実延長[km]
 F ：人口一人あたり事業所数[所/人] $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ ：パラメータ

次に周辺都市 S のモデルを (5) 式に示す。周辺都市では核都市への通勤者が多いため核都市との距離（中心地点間）を加える。

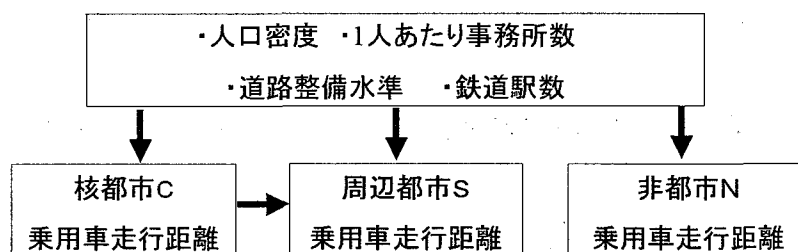


図-5 乗用車走行距離モデルのフロー

$$L_s = \alpha_0 \cdot P^{\alpha_1} \cdot \exp(\alpha_2 \cdot S) \cdot R^{\alpha_3} \cdot F^{\alpha_4} \cdot d^{\alpha_5} \quad (5)$$

ここで、 d ：核都市との都市間距離[km]

最後に非都市圏 N のモデルを (6) 式に示す。説明変数には、産業構造とともに生活水準として小売店数を加えている。

$$L_N = \alpha_0 \cdot P^{\alpha_1} \cdot R^{\alpha_2} \cdot B^{\alpha_3} \cdot F^{\alpha_4} \quad (6)$$

ここで、 B ：小売店数[飲食店数]

4. 4 現状推移 (BAU) シナリオでの市区町村別 CO₂ 排出量推計結果

以上で構築したモデルを用い、現在の排出技術で固定（燃費、車両構成が不変）とした場合（BAU）の 2020 年、2050 年の市区町村別推計を行う。

図-6 に乗用車保有率、図-7 に乗用車走行距離、図-8 に乗用車 CO₂ 排出量、図-9 に 1 人あたり CO₂ 排出量の推計結果を示す。

推計より、乗用車保有率は引き続き増加し、人口減少により乗用車保有台数は減少に向かうが、1 台あたり走行距離が増加するため、CO₂ 排出量推計は増加する。2020 年、2050 年の CO₂ 排出量推計の増加率は各 2000 年比 1.71、1.97 となる。したがって BAU の場合、CO₂ 排出量は増加の一途を辿ることがわかる。

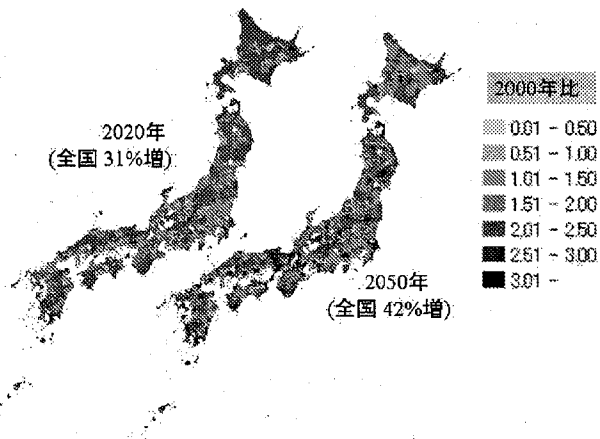


図-6 乗用車保有率推計結果

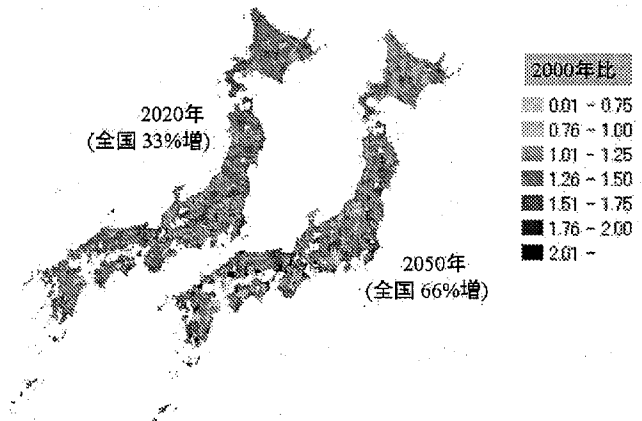


図-7 乗用車走行距離推計結果

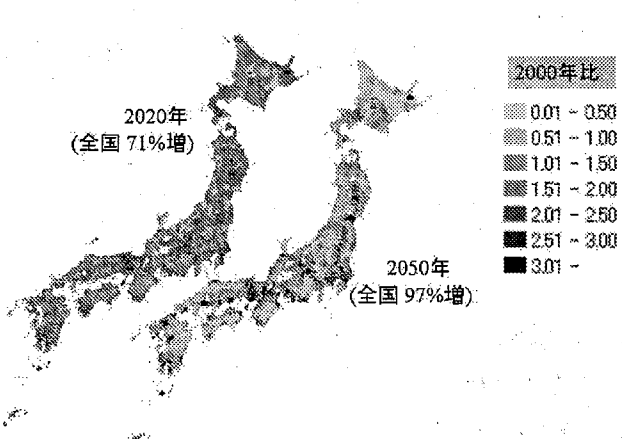


図-8 乗用車 CO₂ 排出量推計結果

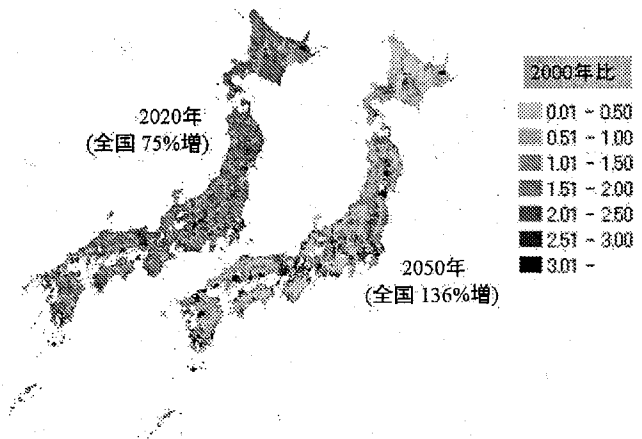


図-9 1人あたり乗用車 CO₂ 排出量推計結果

5 市区町村別削減目標（EST2）の設定

本章では、EST2 による市区町村別削減目標の設定を行う。2 章で示した削減目標値から算出される CO₂ 排出量と、上述の現状推移（BAU）シナリオにおける CO₂ 排出量推計値の差が、EST1 および EST2 によって削減すべき目標量である。その目標量から 3 章で見積もった EST1 による削減量を差し引いた値が EST2 による削減目標量となる。

EST1 として最も削減効果の高い「ハイブリッド大量普及シナリオ」、「燃料電池自動車大量普及シナリオ」をそれぞれ適用した場合の残りの必要削減量を図-10、11 に示す。この図から、中長期ともに CO₂ 排出量削減目標達成可能な市区町村がいくつか見受けられるが、1 人あたりにすれば必要削減量は大きく、依然不十分であることがわかる。これは、大幅な人口減少によるものであり、人口減少が著しい地方部に必要削減量の大きい地域が多いことがわかる。

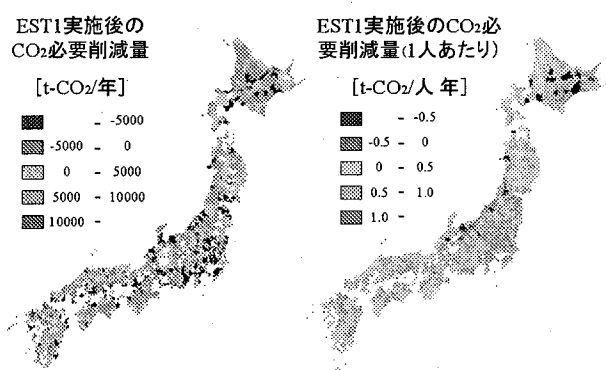


図-10 2020 年 CO₂ 必要削減量
(EST1「ハイブリッド大量普及シナリオ」適用)

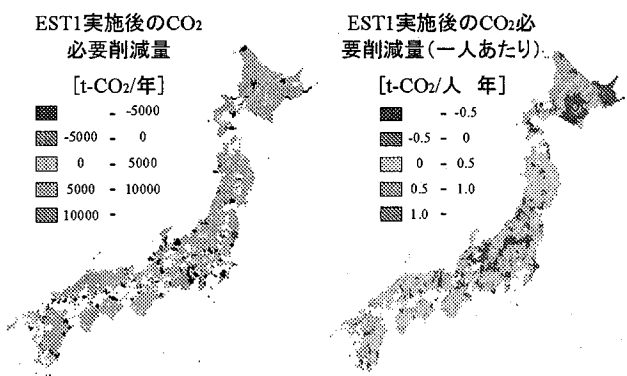


図-11 2050 年 CO₂ 必要削減量
(EST1「燃料電池自動車大量普及シナリオ」適用)

6 都市地域の空間構造の変更による削減量の見積もり

EST2 の施策としては様々なものが考えられるが、本稿では都市構造の改変によって乗用車走行距離自体を低下させるシナリオを考える。シナリオの設定を以下の（1）から（4）に示す。

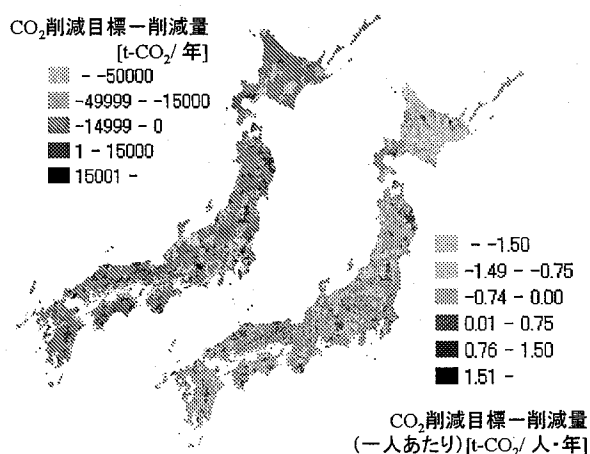


図-12 2020 年 (CO₂ 削減量目標-削減量)
(EST1「ハイブリッド普及停滞シナリオ」適用)

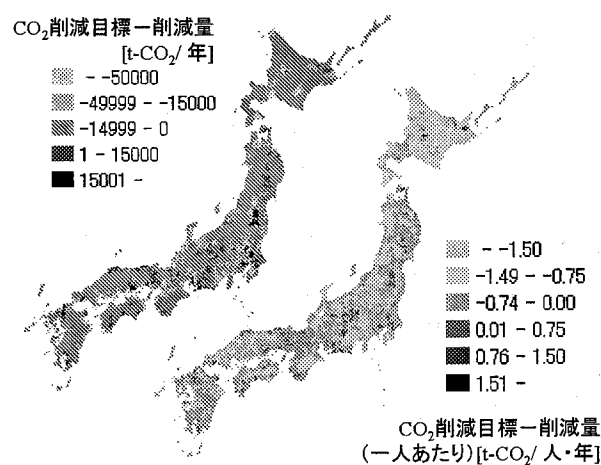


図-13 2050 年 (CO₂ 削減量目標-削減量)
(EST1「ハイブリッド中心シナリオ」適用)

- (1) 人口減少の場合、人口密度は変化せず、可住地面積が減少する。
- (2) 人口増加の場合、人口密度が増加し、可住地面積は変化しない。
- (3) インフラ・都市施設整備量は可住地面積の減少に応じ、産業規模（ここでは事務所数）は人口の増減に応じて、比例的に変化する。
- (4) 燃費の将来変化については、日本自動車工業会²⁾、トヨタ自動車およびみずほ情報総研⁶⁾による推計値を用いる。

分析した結果、2020年および2050年の総CO₂削減目標達成可能であることがわかる。これは、上述した技術革新シナリオのいずれを適用した場合も達成可能であり、燃料電池大量普及シナリオでは、全市区町村において目標が達成され、2050年には1990年比70%以上のCO₂削減効果を得る。図-12および図-13から、特に非都市において目標達成不可能な都市も見受けられるが、大都市部においてはCO₂削減効果が顕著であることがわかる。これは人口密度増加と都市施設の減少によって乗用車保有率が大きく減少したことが要因と考えられる。

7 おわりに

本研究では、市区町村単位で構築したCO₂排出量推計モデルを用い、2050年までの全市区町村の乗用車CO₂排出量の値を算出した。その結果、全国ほとんどの地域において大きな増加が見られ、技術施策だけで「2050年に1990年比50%削減」を達成することは困難であることがわかった。次に全国の削減目標量を各市区町村に配分し、都市のコンパクト化を実施した場合の削減効果を推計し、その効果を明らかにした。本研究での現段階の推計結果は暫定値である。今後は、

- －地域区分の精査（実施施策パッケージとの関係も考慮）
- －走行距離モデルの妥当性検討
- －機関分担率モデルの導入
- －貨物や公共交通を加える

が必要である。

謝辞

本研究は、環境省地球環境研究推進費S-3-5「技術革新と需要変化を見据えた交通部門のCO₂削減中長期戦略に関する研究」を受けて実施した。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 国立環境研究所「脱温暖化2050プロジェクト」, URL : <http://2050.nies.go.jp/index.html>
- 2) 日本自動車工業会, クルマと環境
- 3) 堀洋一: 電気自動車の技術動向, (シンポジウム: 電気自動用バッテリーの技術動向), 平成9年電気学会全国大会, No.S.14-1, 1997
- 4) 松橋啓介, 工藤祐揮, 上岡直見, 森口祐一: 市区町村の運輸部門CO₂排出量の推計手法に関する比較研究, 環境システム研究論文集 Vol.32, pp235-242, 2004
- 5) 国土数値情報ダウンロードサービス, 国土交通省
- 6) トヨタ自動車株式会社, みずほ情報総研株式会社: 輸送用燃料のWell-to-Wheel評価・日本における輸送用燃料製造(Well-to-Tank)を中心とした温室効果ガス排出量に関する研究報告書, 2004