

i) CO2 削減率 40%以上(全車種)のゾーン人口

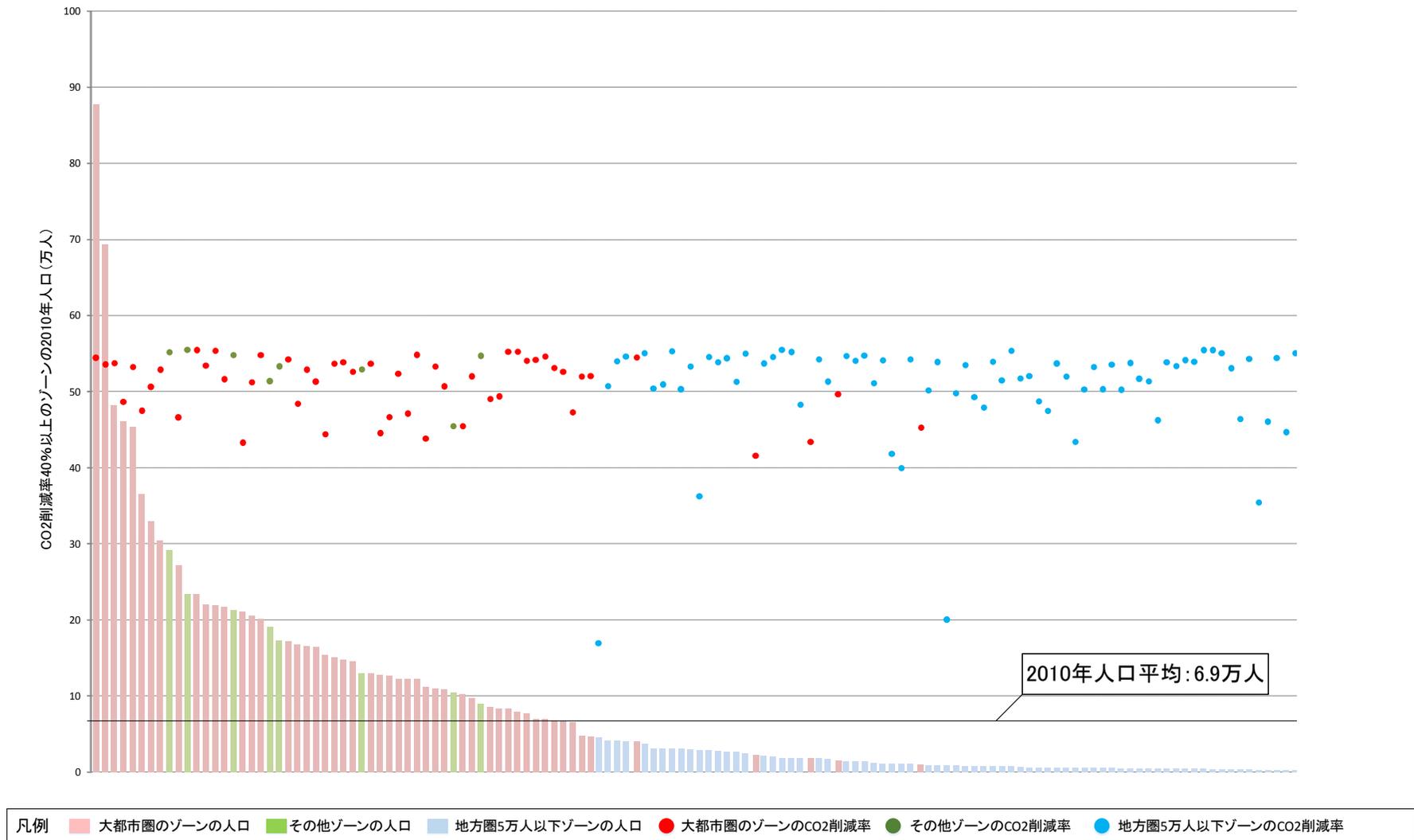


図 1 2-26 図 1 2-27 CO2 削減率 40%以上のゾーンと人口 (全車種)

ii) CO2 削減率 40%以上(乗用車)のゾーン人口

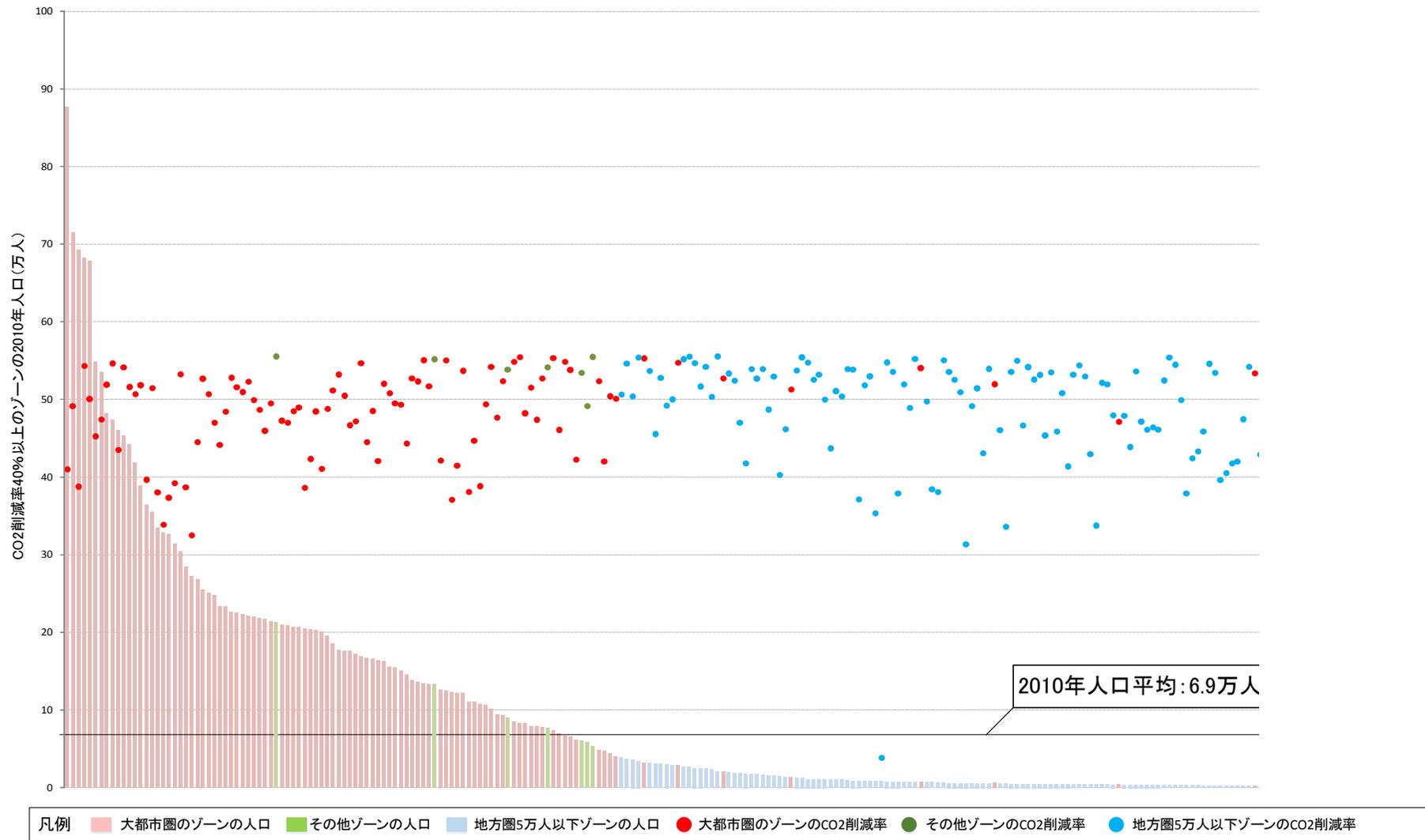


図 1 2-28 CO2 削減率 40%以上のゾーンと人口 (乗用車)

iii) CO2 削減率 20%以上 (小型貨物) のゾーン人口

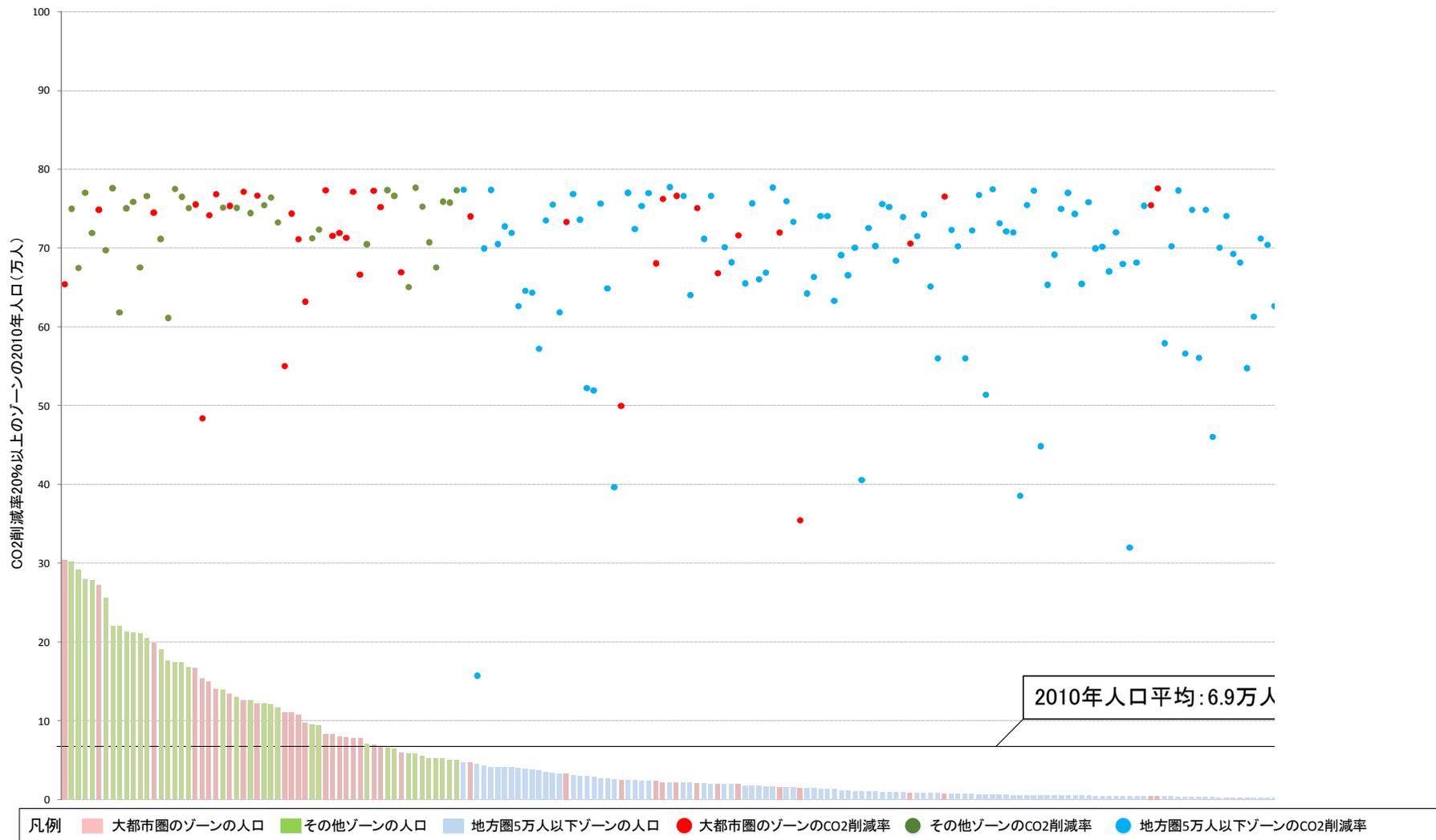


図 1 2-29 CO2 削減率 20%以上 (小型貨物) のゾーン人口

iv) CO2 削減率 50%以上 (普通貨物) のゾーン人口

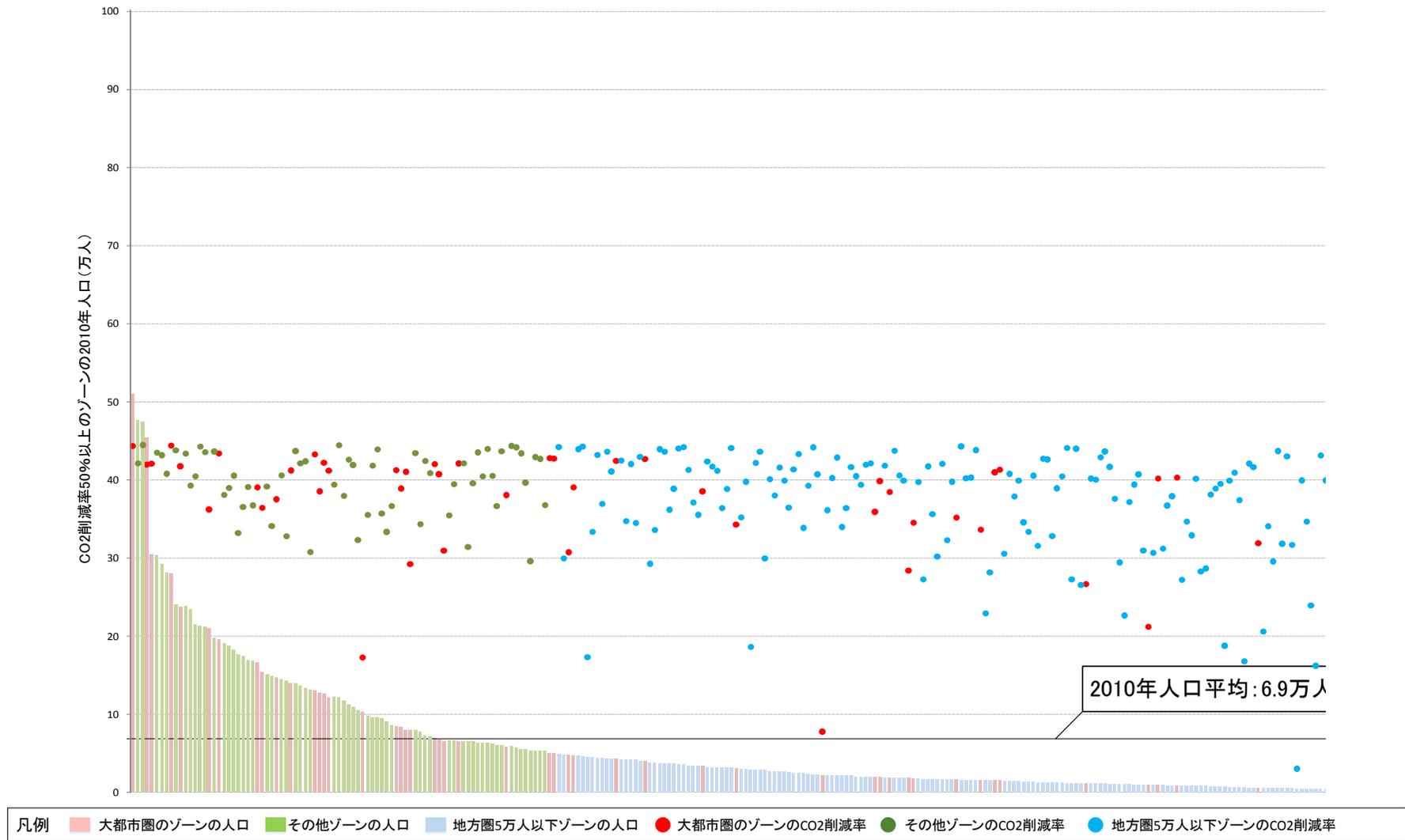


図 1 2-30 CO2 削減率 50%以上 (普通貨物) のゾーン人口

### ⑥1人当たりCO2排出量

1人当たりCO2排出量を人口規模別にみると、ガソリン税導入による削減効果は、削減量では人口5万人以下の市町村が最も大きく、削減率では人口100万人以上の都市で大きい。

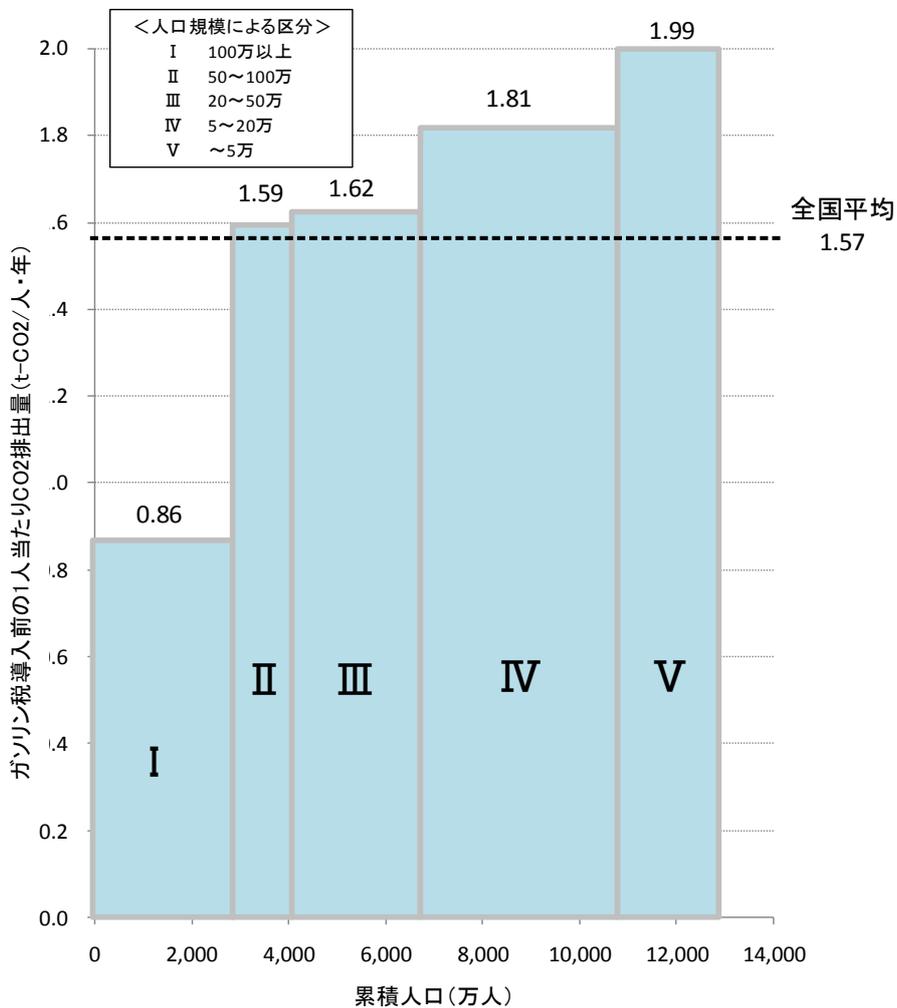
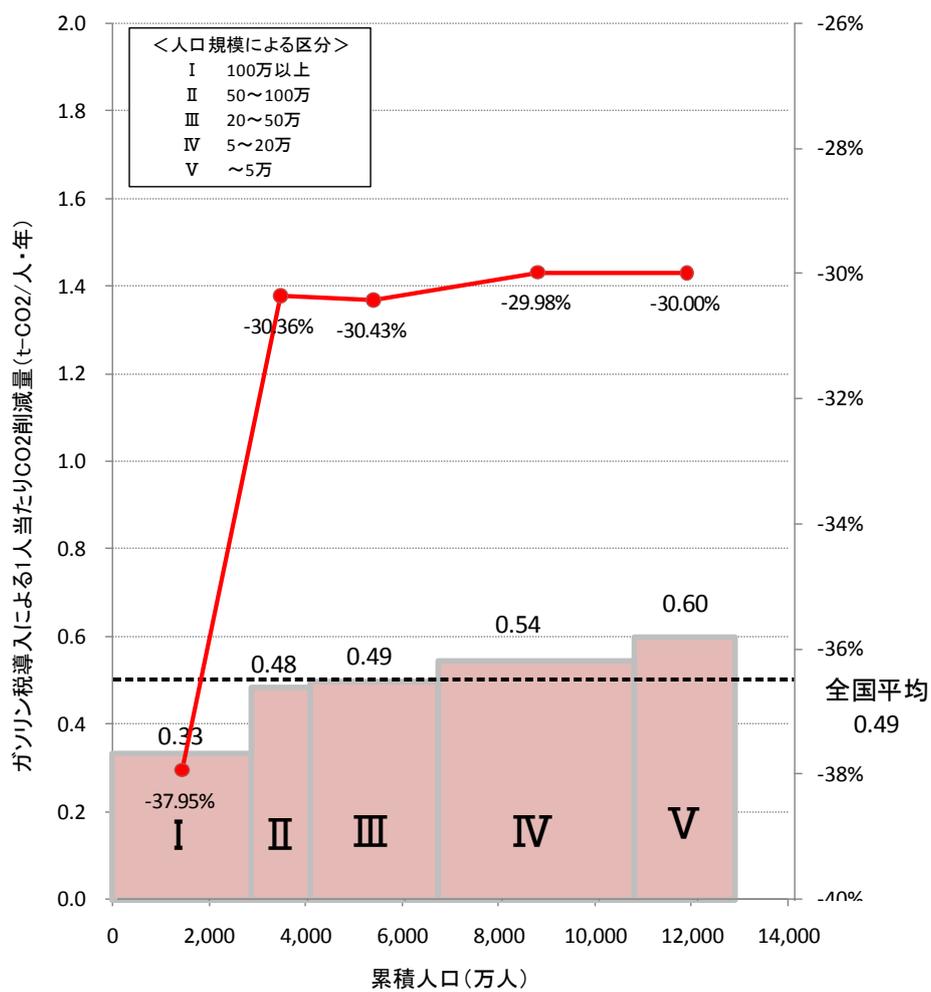


図 12-31 ガソリン税導入前の人口規模別1人当たりCO2排出量



■ 1人当たりCO2排出削減量(左軸)    ● CO2排出量削減率(右軸)

図 1 2-32 ガソリン税導入後の人口規模別 1人当たり CO2 排出削減量

## (6) 推計結果：経済効果

### 1) 結果概要

ガソリン税導入による経済被害は、負の便益（EV）で約▲77.23 兆円となった。ゾーン別では、主には CO2 排出量削減率の高いゾーンでの経済被害が大きくなっている。

以下、ガソリン税導入による経済被害を図示する。

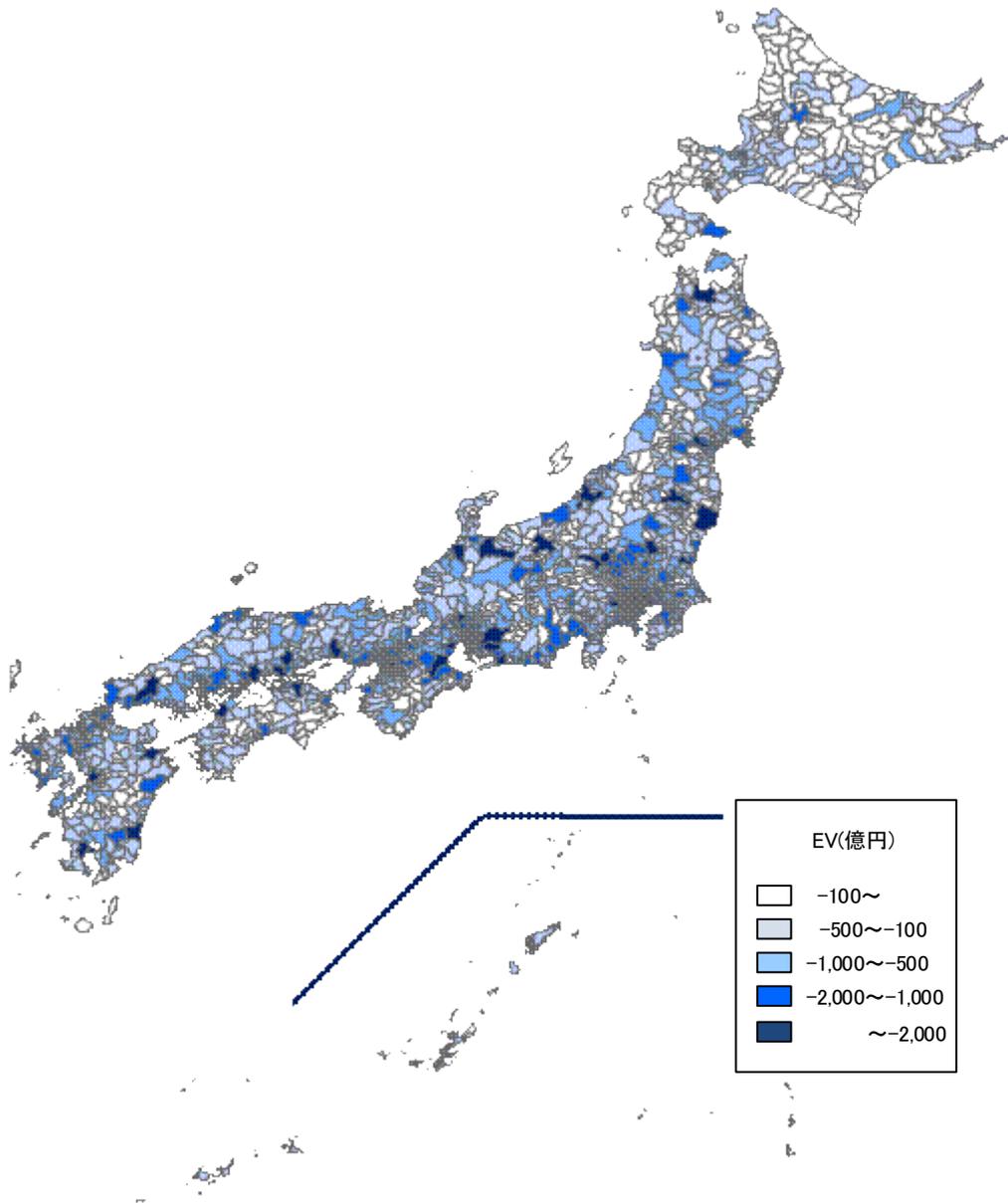


図 1 2-33 ガソリン税導入による負の便益（EV ベース、単位：億円/年）

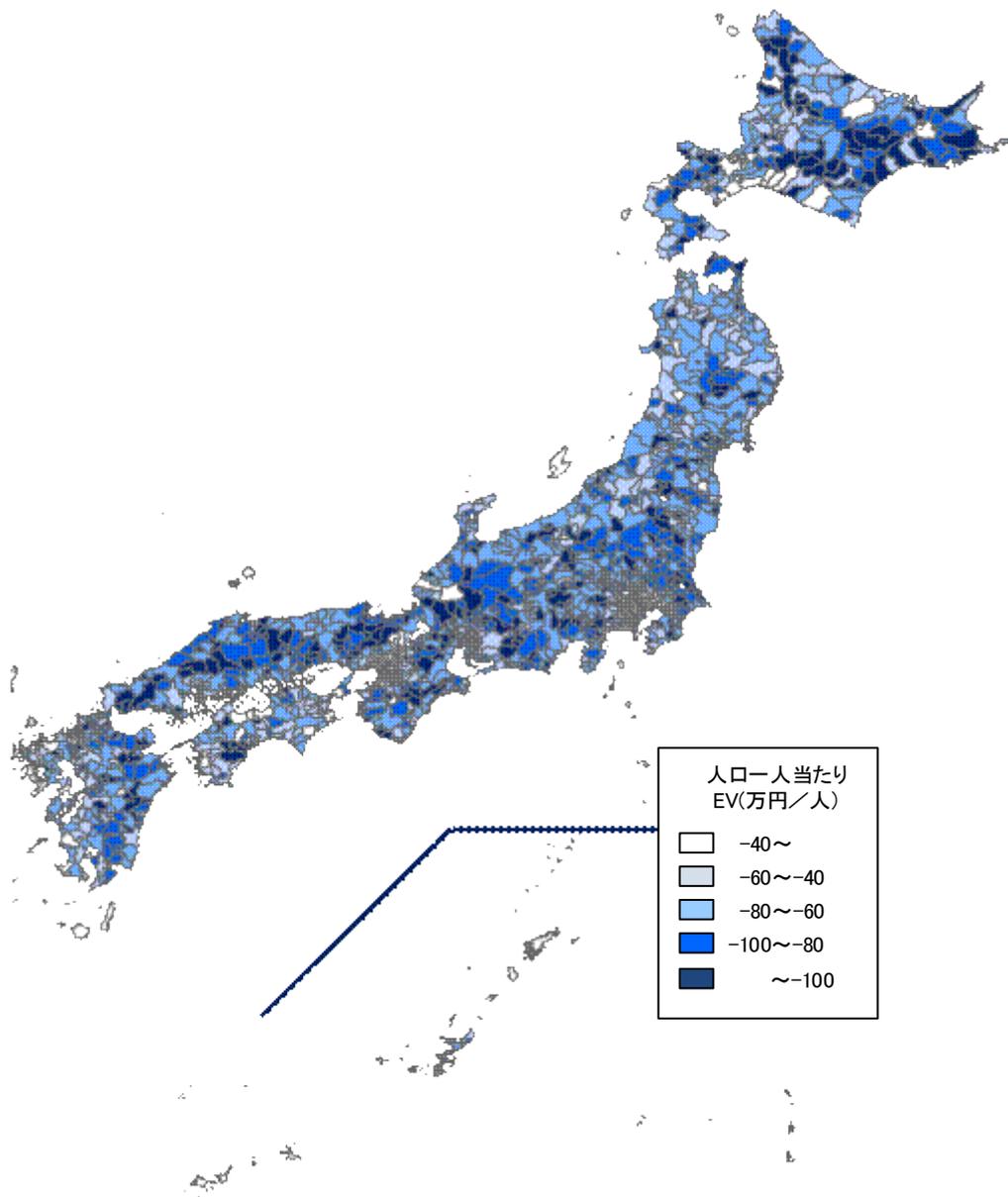


図 1 2-34 ガソリン税導入による1人当たり負の便益 (EV ベース、単位：億円/年)

## 2) CO2 排出削減と経済被害の関係

ガソリン税導入による影響推計にあたっては、CO2 排出量変化は発生ベース、経済被害は帰着ベースで計測している。そのため、1人当たり CO2 排出削減量が多いゾーンで1人当たり経済被害が大きい傾向はあるものの、すべての市町村であてはまるとは限らない。下図は1人当たり CO2 排出削減量と1人当たり経済被害額を並べたものであるが、大都市圏の人口の少ないゾーンで被害が大きい傾向にあることが見て取れる。

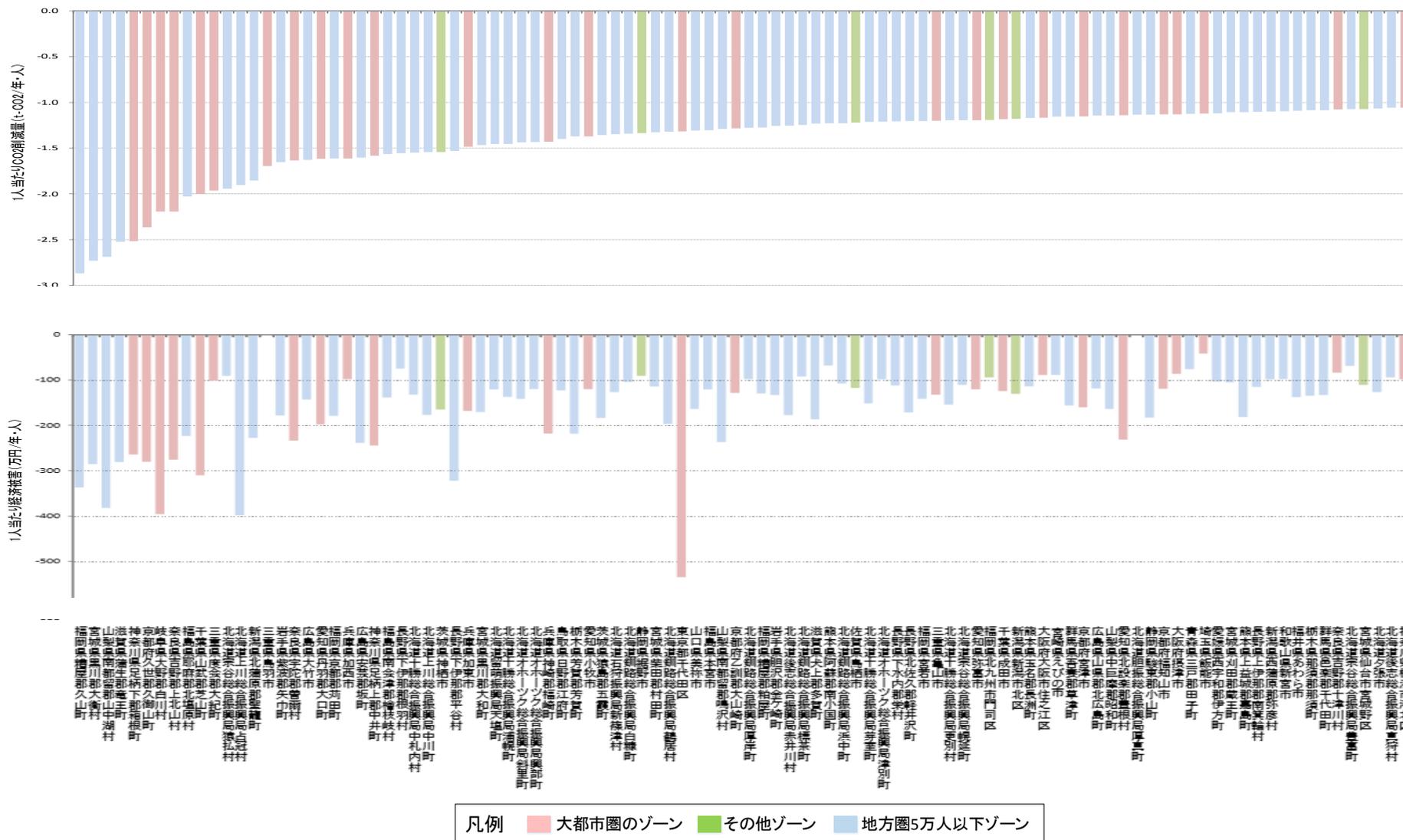


図 1 2-35 1人当たりCO2排出削減量及び1人当たり経済被害(ともに全車種、上位100ゾーン)

図 1 2-36 はガソリン税導入前の人口規模別の 1 人当たり GRP を示したものであるが、図 1 2-37 を見ると、ガソリン税導入による経済被害は、1 人当たり負の便益ベースでは人口 5 万人以下の市町村で最も大きく、必ずしも GRP の大きいところで経済被害が大きいとはいえない。

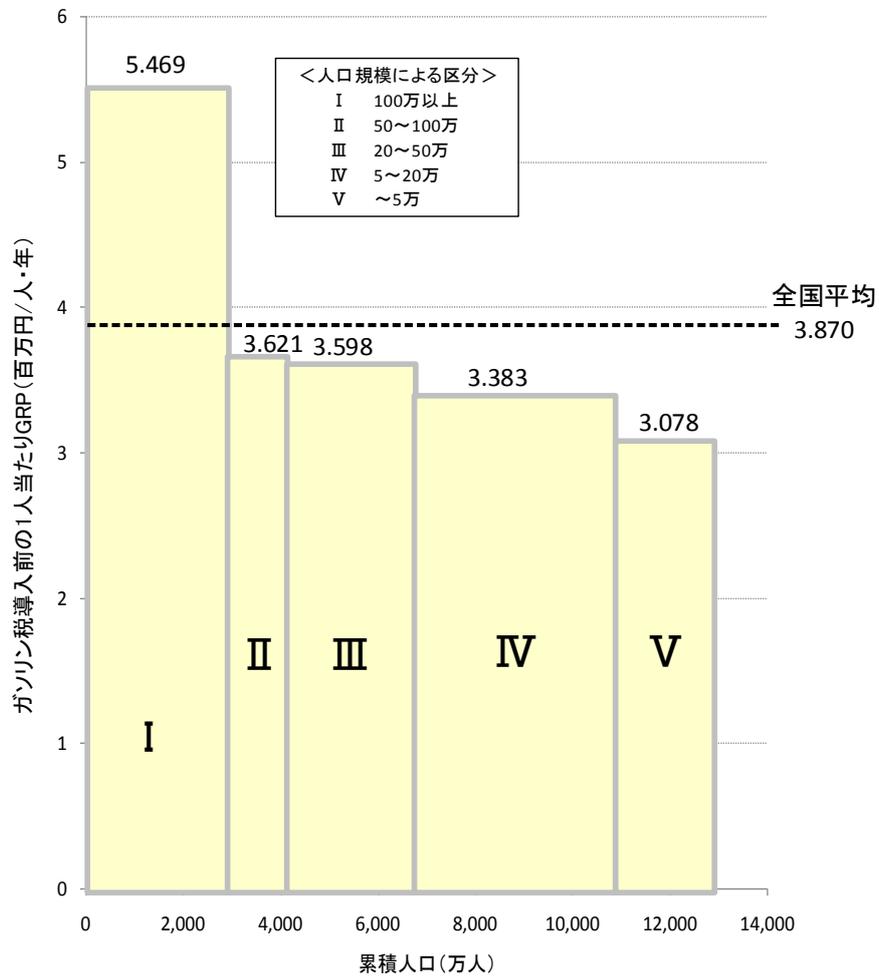


図 1 2-36 ガソリン税導入前の人口規模別 1 人当たり GRP

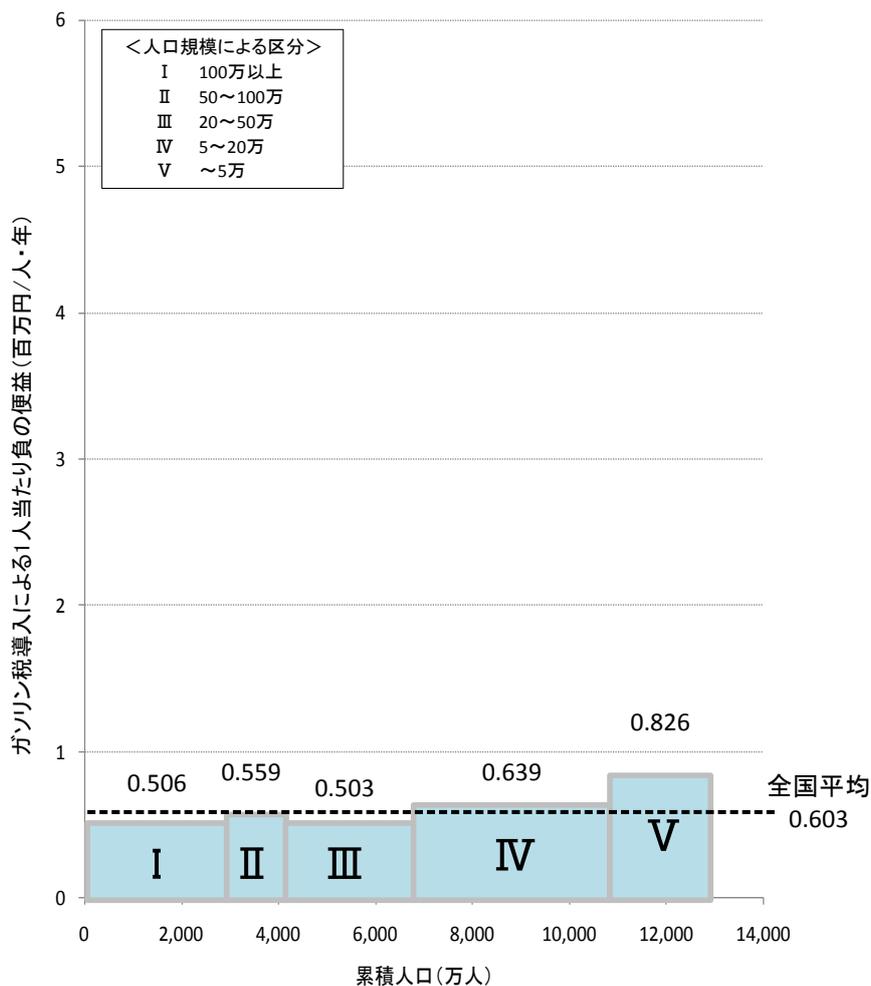


図 1 2-37 ガソリン税導入による人口規模別 1人当たり負の便益 (EV)

一方で、人口 100 万以上の都市では 1 人当たり CO2 削減量は他の人口規模の市町村を大きく下回るが (図 1 2-31)、1 人当たり負の便益では人口 20~100 万の市町村と同程度の経済被害が表れている。

### 3) ガソリン税導入による税収の変化と CO2 排出対策効果

1,500 円/L のガソリン税導入による税収を現状の揮発油税の税収と比較すると、約 77.15 兆円の税収増となる。上述のガソリン税導入による負の便益▲77.23 兆円を考慮すると、ガソリン税導入によって CO2 排出量を 31.1%削減するための対策費用は、約 800 億円となる。これは、1 億円当たり約 7 万 8 千トン-CO2 の排出量削減効率、また CO2 削減量 1 トン-CO2 当たり約 1,269 円の単位削減費用に相当する。

税収および対策費用については、以下の方法で算出を行った。

#### ①ガソリン税導入による税収増額

ガソリン税導入による税収増額（円）＝ ガソリン税導入後の自動車走行台キロ×（ガソリン税+揮発油税<sup>28</sup>）－ ガソリン税導入前の自動車走行台キロ×揮発油税）

#### ②ガソリン税導入によるCO2削減対策費用

ガソリン税導入によるCO2削減対策費用（円）＝ ガソリン税導入による税収増額 ＋ ガソリン税導入による負の便益

#### ③ガソリン税導入によるCO2削減効率

ガソリン税導入のCO2削減効率（千トン-CO2/億円）＝ ガソリン税導入によるCO2削減量/ガソリン税導入によるCO2削減対策費用

#### ④ガソリン税導入による単位CO2削減費用

ガソリン税導入による単位CO2削減費用（円/トン）＝ ガソリン税導入によるCO2削減対策費用/ガソリン税導入によるCO2削減量

なお、排出権取引制度による排出枠価格は現在約 1,039 円/t-CO2<sup>29</sup>であり、本節での推計値に近い結果となっている。

---

<sup>28</sup>現状の揮発油税は税率 53.8 円/L で計算。

<sup>29</sup> 7.56 ユーロ/t-CO2（ICE ECX EUA Futures ベース、2015 年 2 月 18 日終値）。1 ユーロ＝137.47 円で換算。

## 1 2-5 経済モデル、交通モデル（全国版）による推計：3環状道路整備による影響予測

### (1) 概要

本節では、前節と同様、大規模なインフラ整備による影響を把握する観点から、経済モデルと交通モデル（全国版）を用いて、3環状道路によるCO2排出量の変化と経済効果を一体的・統合的に推計する。

### (2) 分析方法

#### 1) 分析の考え方

3環状道路のネットワークとそのゾーン間一般化費用を設定して交通モデル（全国版）を実行し、全国及び各地域のCO2排出量への影響を計測する。

さらに、交通モデルにおけるゾーン間一般化費用の変化を用いて経済モデルを実行し、各ゾーンに帰着する便益を各ゾーンの家計の効用の増加率と施策なしの場合の所得を用いて等価変分で計測する。施策全体の便益はこの各ゾーンの便益の総和である。

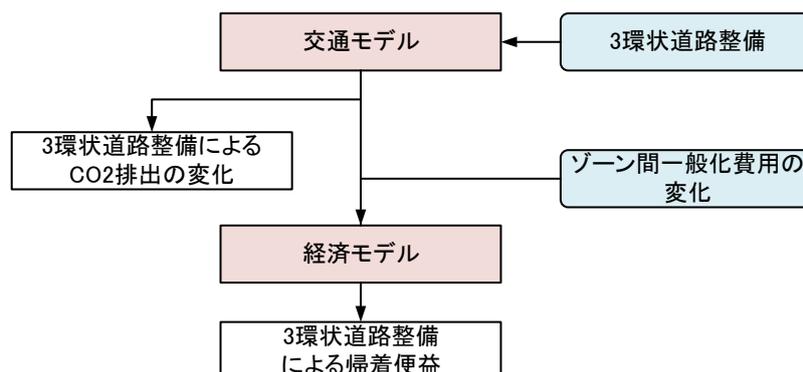


図 1 2-38 3環状道路整備効果の推計フロー

#### 2) 推計式

3環状道路整備の経済効果は、EV（等価変分）を用いて推計する。推計式は以下の通りである。

$$EV_i = \frac{U_i^w - U_i^o}{U_i^o} \cdot I_i^o, \quad EV = \sum_i EV_i$$

EV：等価変分

$U_w$ ：施策なしの効用

$U_o$ ：施策ありの効用

$I_o$ ：施策なしの所得

$i$ ：ゾーンを表す添え字

### 3) 3環状道路のネットワーク設定

以下では、H22 時点での道路ネットワーク（都道府県道以上を対象）を現状のネットワークとし、計画されているすべての3環状の路線を追加した場合のCO2 排出量を算出した。

下図の赤色で示した路線が、H22 以降に整備される3環状道路であり、この推計ではこの路線の追加がすべて追加されると想定する。

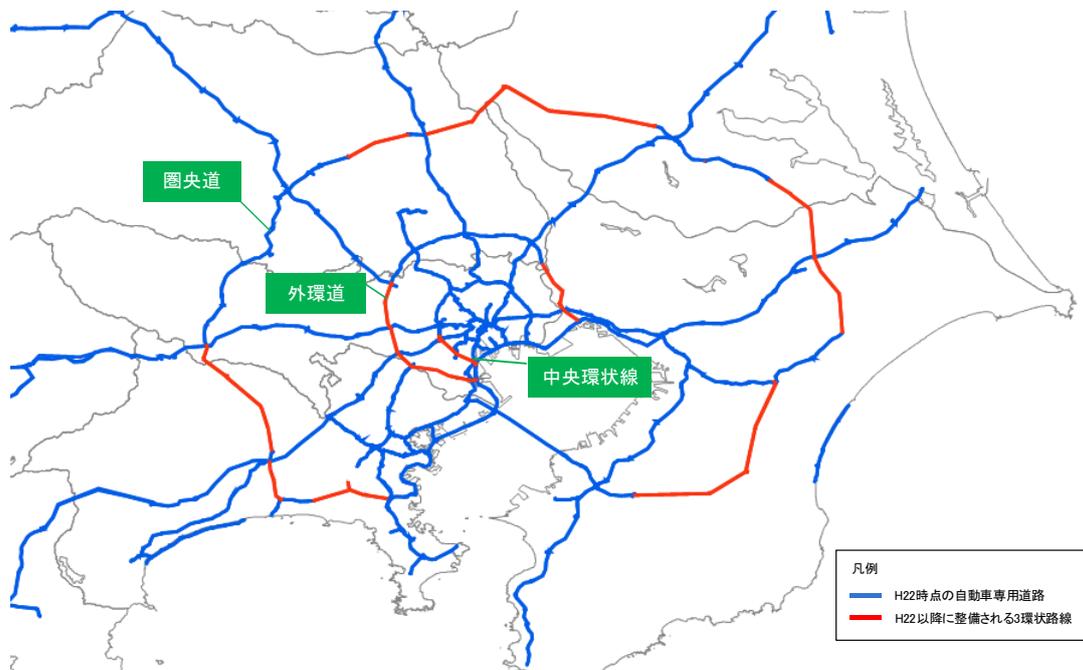


図 1 2-39 H22 以降に整備される3環状路線

なお、この推計では3環状道路整備によって目的地、交通手段の変更があり、誘発される交通量があると想定する。すなわち、自動車旅行速度や交通手段分担率が変化することにより、自動車台数による走行台数、目的地変更による走行距離の変化などを考慮した、インフラ整備による長期的な影響を想定している。

### (3) 推計結果：リンク交通量変化

交通モデルを用いた3環状道路整備によるリンク交通量の予測値は以下の通りとなった。3環状道路整備に伴う誘発交通により、3環状道路沿いだけでなく、東北・中部地方につながるリンクでも交通量が増加している箇所が存在する。

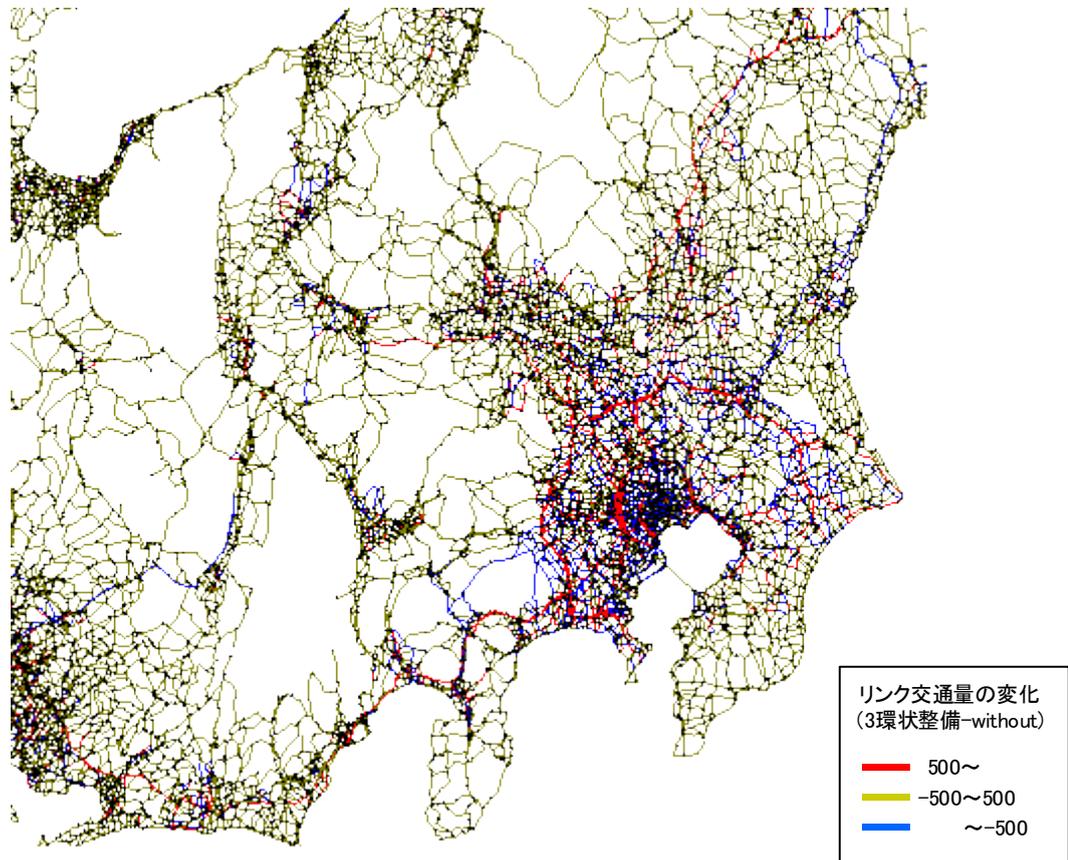


図 1 2-40 3環状道路整備によるリンク交通量の変化（広域）

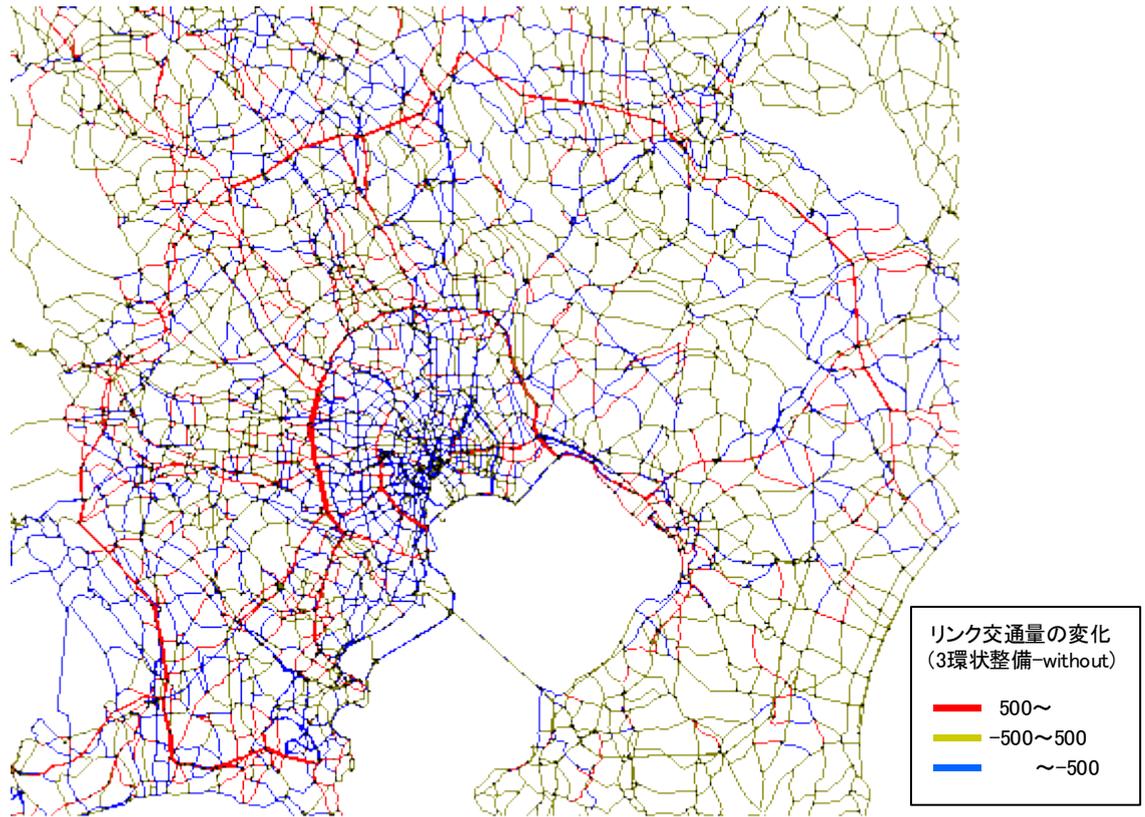


図 1 2-41 3環状道路整備によるリンク交通量の変化（関東拡大）

(4) 推計結果：CO2 排出量

1) 全国の CO2 排出削減

3 環状道路整備により、CO2 排出量は現況と比較し 30.1 (万トン CO2/年) 増加する。これは、整備によって平均旅行速度は改善し、自動車走行台時も減少するものの、誘発交通によって平均トリップ長および自動車走行台キロが増加するためである。

表 1 2-5 現況と 3 環状整備時の CO2 排出量

現況の CO2 排出量 (万 t-CO2)	3 環状整備時の CO2 排出量 (万 t-CO2)	3 環状整備による CO2 排出量の変化量 (万 t-CO2)	3 環状整備による CO2 変化率(%)
20,063.0	20,093.1	30.1	0.1%

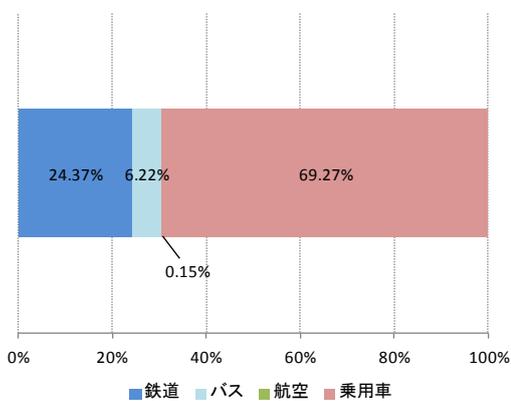


図 1 2-42 現況の手段分担率

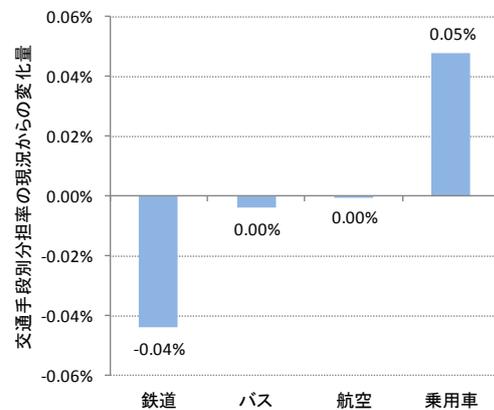


図 1 2-43 施策時の手段分担率の変化

地域別にみると、CO2 排出量の増加は、3 環状道路が整備される関東地方だけでなく、広く中部、近畿まで影響が及んでいる。

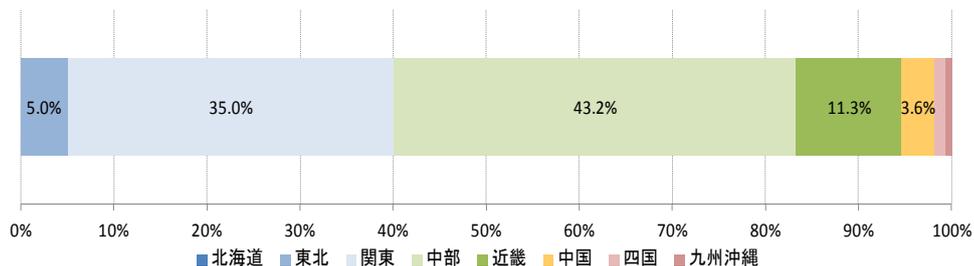


図 1 2-44 CO2 増加量の地域別割合

以下、3 環状道路整備による CO2 排出への影響を図示する。

## 2) 市町村別のCO2 排出削減

3 環状道路の一部の区間でCO2 排出が減少しているものの、関東・中部を中心に広く自動車分担率、自動車トリップ長の増大等によるCO2 排出増が見られる。

### ①CO2 排出変化量

#### i)CO2 排出変化量(関東・中部)

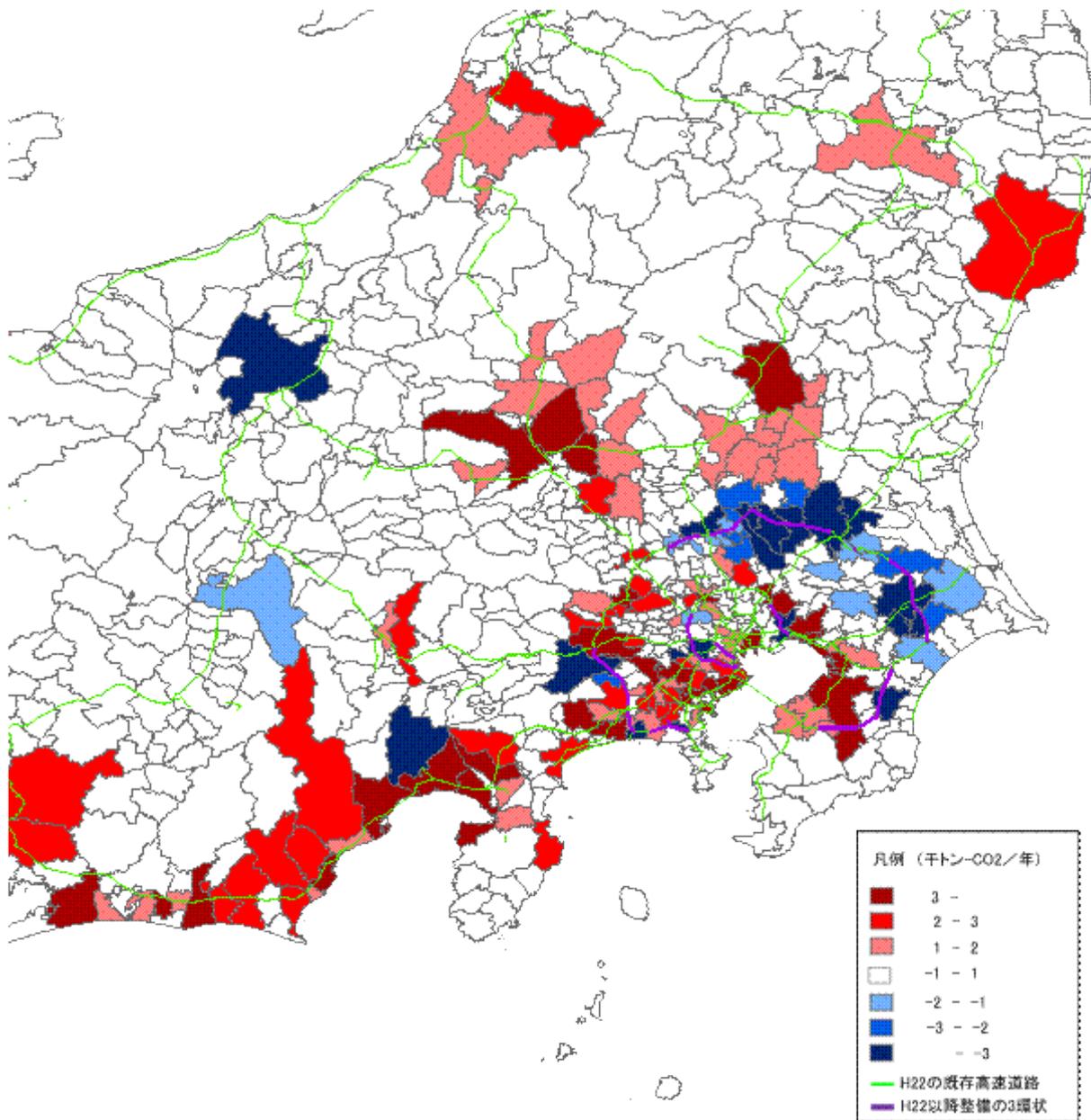


図 1 2-45 CO2 排出量の現況からの変化量 (関東・中部)

ii) CO2 排出変化量(関東拡大)

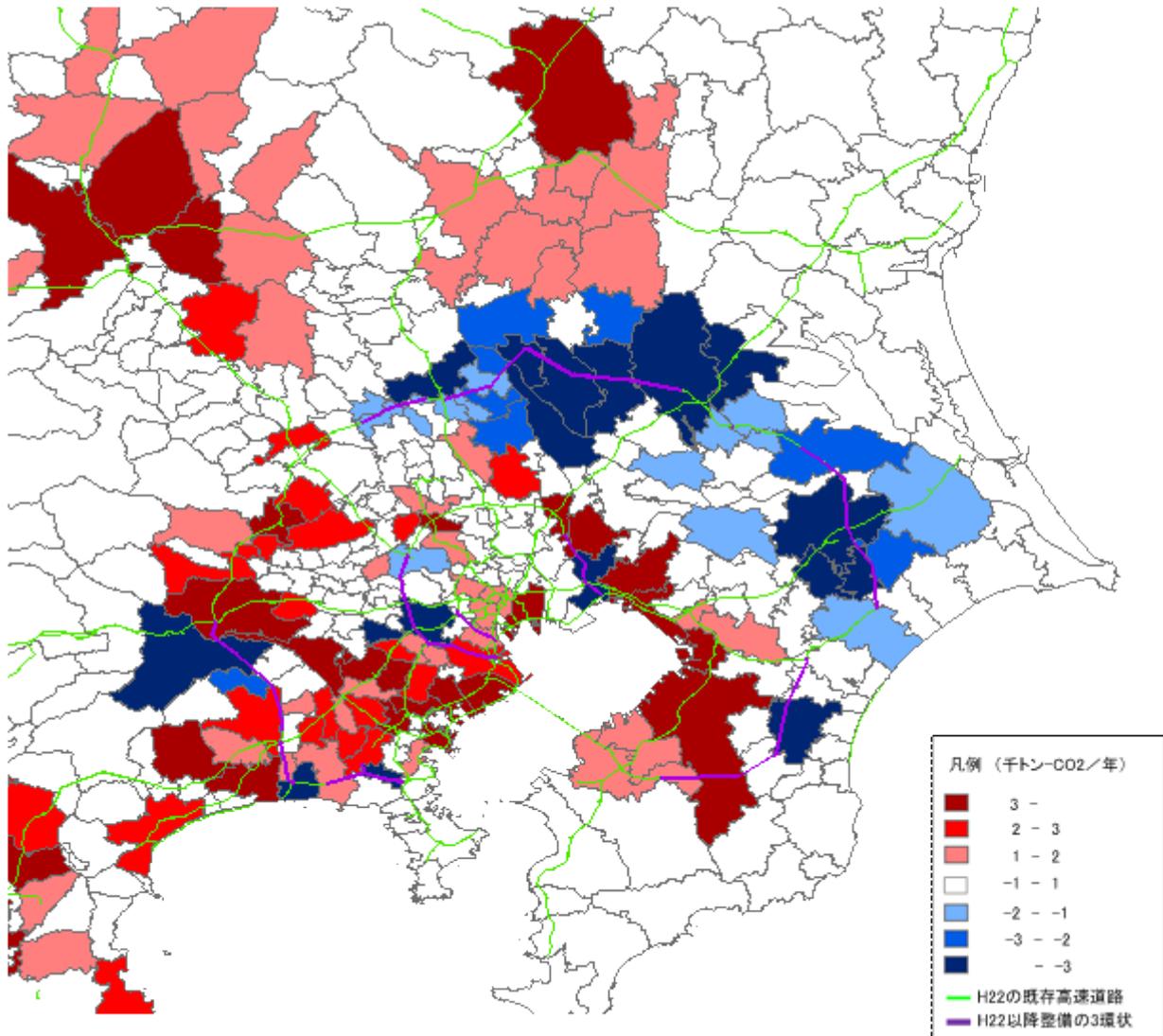


図 1 2-46 CO2 排出量の現況からの変化量 (関東拡大)

②1人当たりCO2排出変化量

i)1人当たりCO2排出変化量(関東・中部)

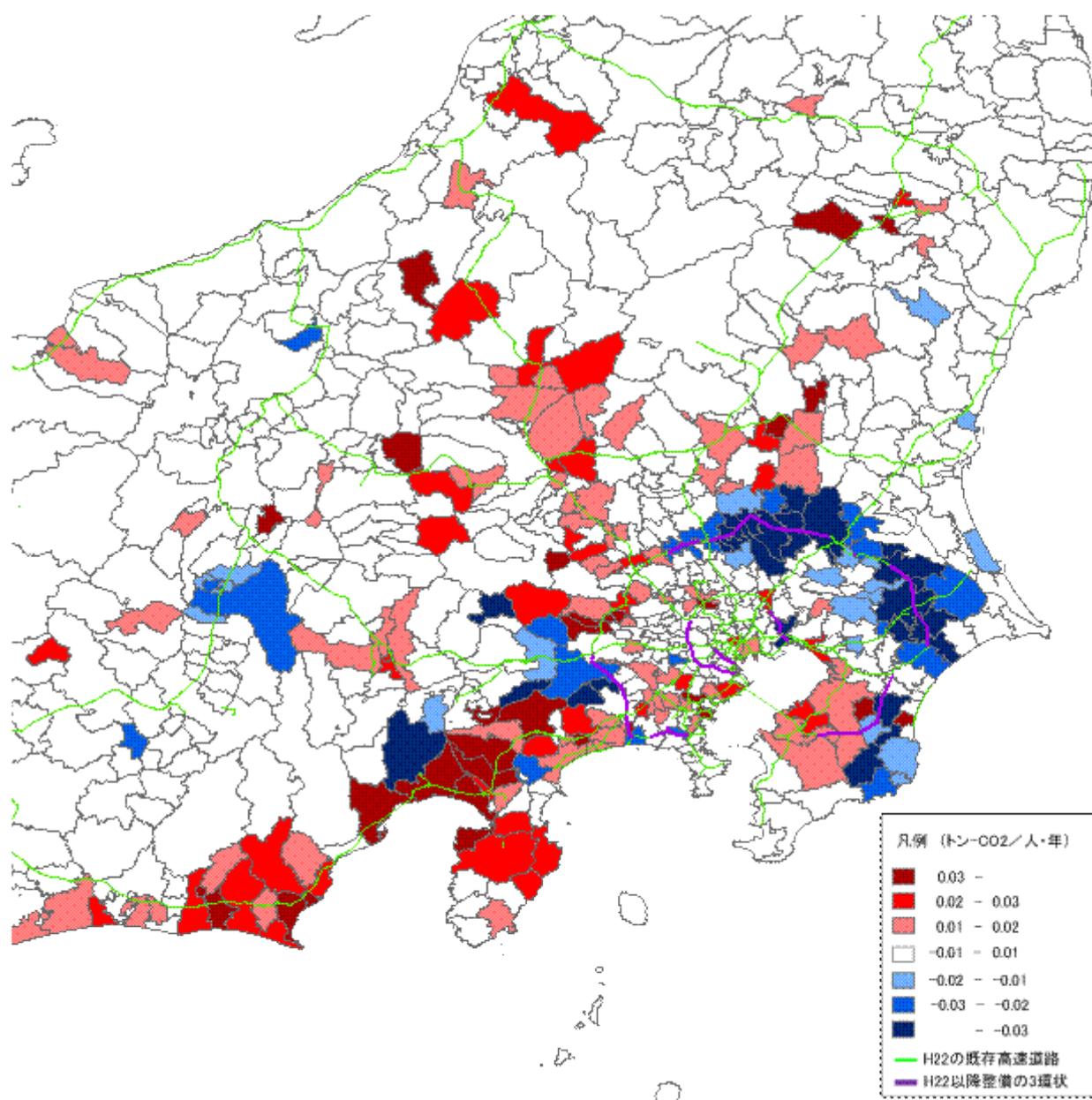


図 1 2-47 1人当たりCO2排出量の現況からの変化量(関東・中部)

ii) 1人当たりCO2排出変化量(関東拡大)

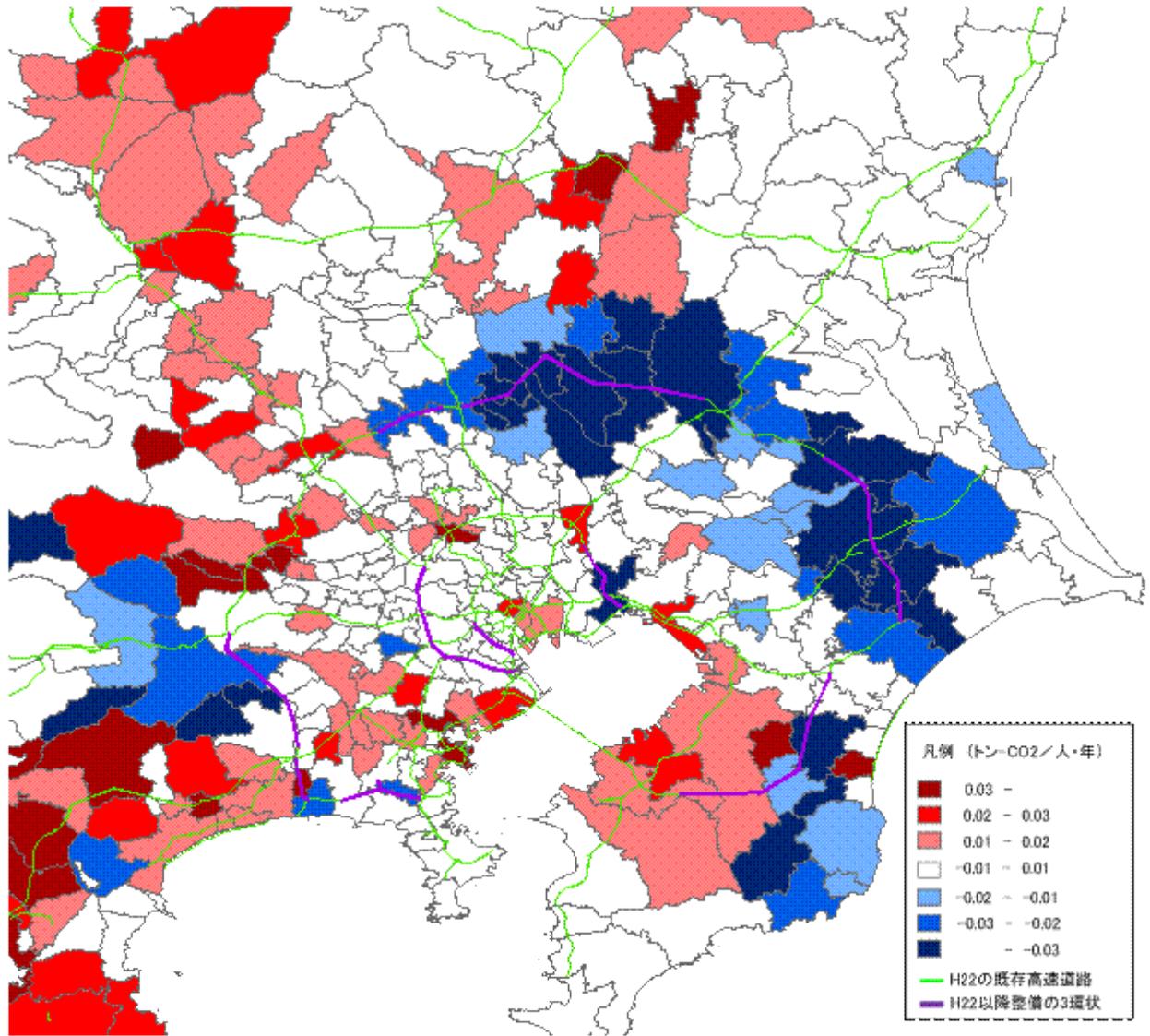


図 1 2-48 一人当たりCO2排出量の現況からの変化量(関東拡大)

③CO2 排出量変化率

i) CO2 排出量変化率(関東・中部)

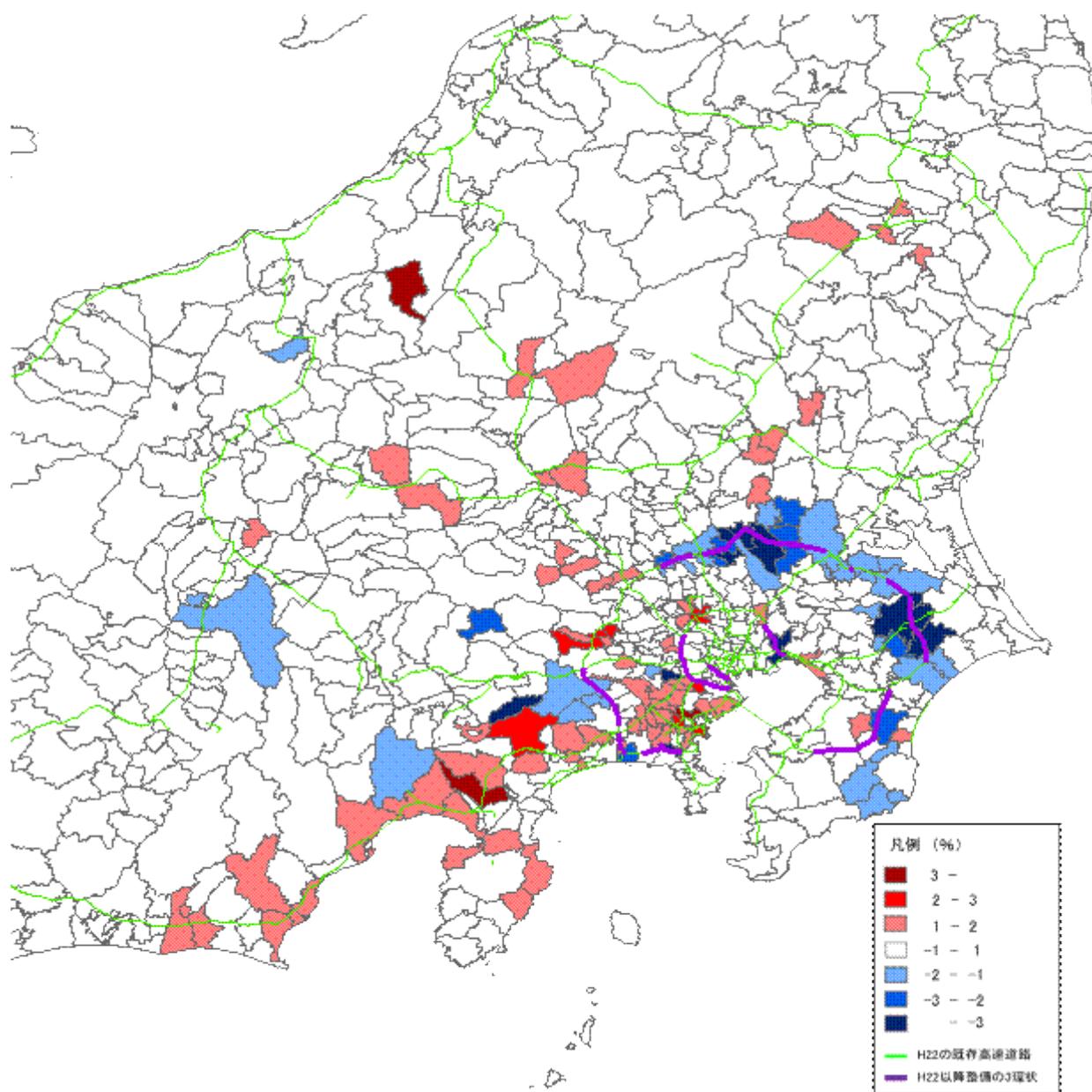


図 1 2-49 CO2 排出量の現況からの変化率 (関東・中部)

ii) CO2 排出変化率(関東拡大)

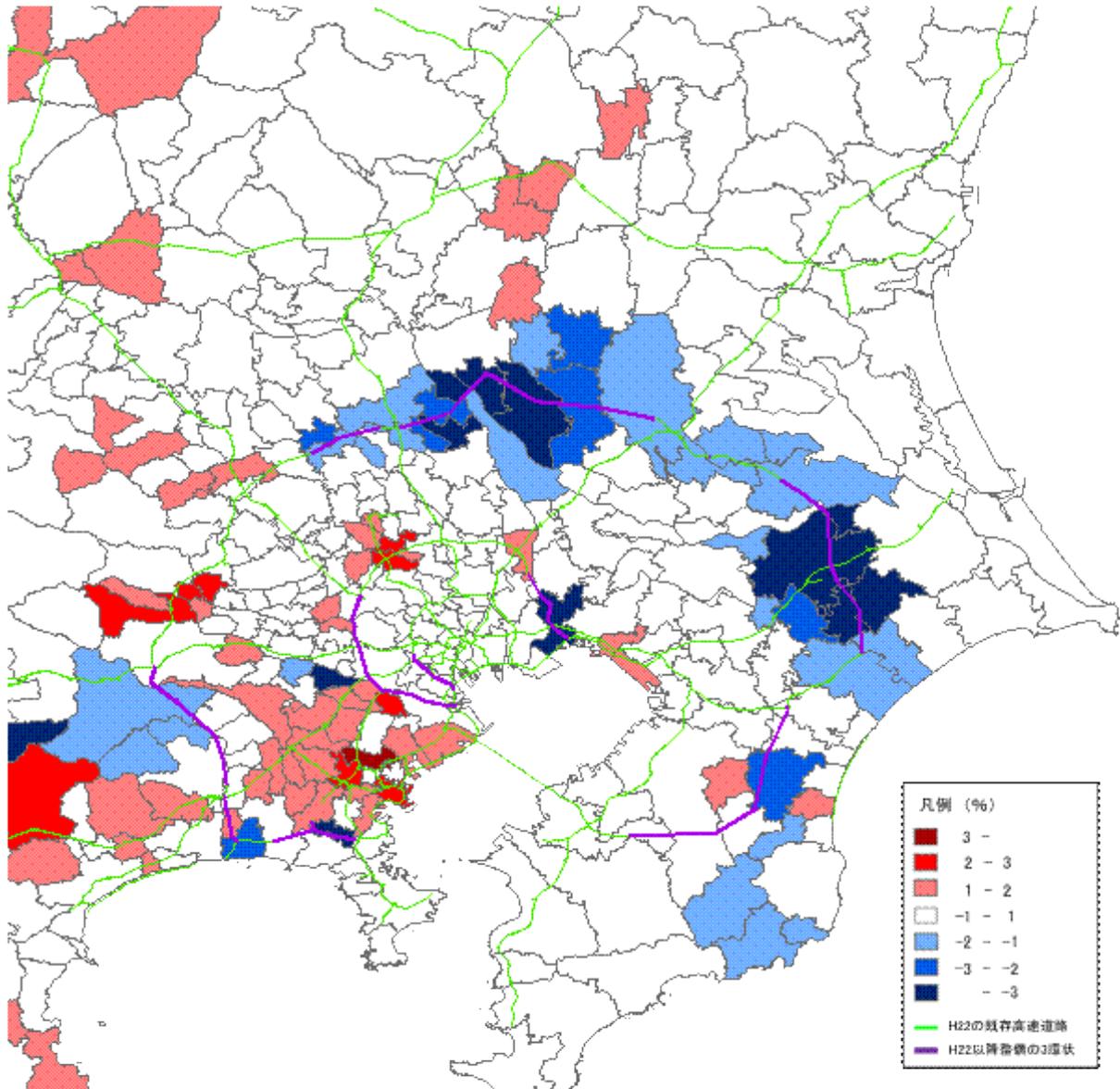


図 1 2-50 CO2 排出量の現況からの変化率(関東拡大)

## (5) 推計結果：経済効果

### 1) 結果概要

3環状道路整備による経済効果は、帰着便益で約6,627億円となった。3環状道路整備による経済効果は、3環状道路沿いを中心に広がっている。東京湾岸の一部地域では、混雑発生により負の便益が表れている。

以下、3環状道路整備による経済効果を図示する。

#### ①帰着便益（全国）

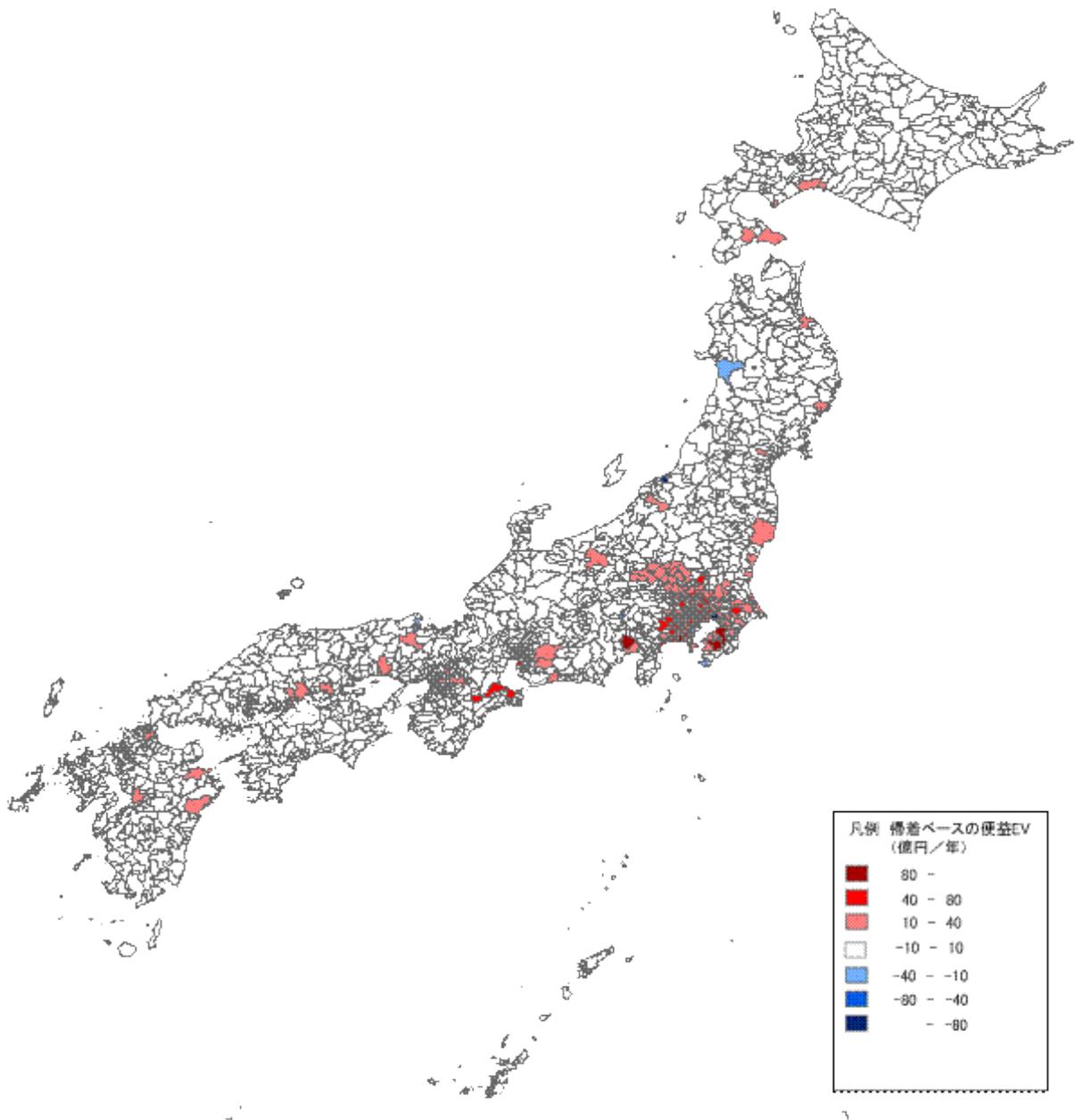


図 1 2-51 帰着便益（単位：億円/年、日本全国）

②帰着便益（関東拡大）

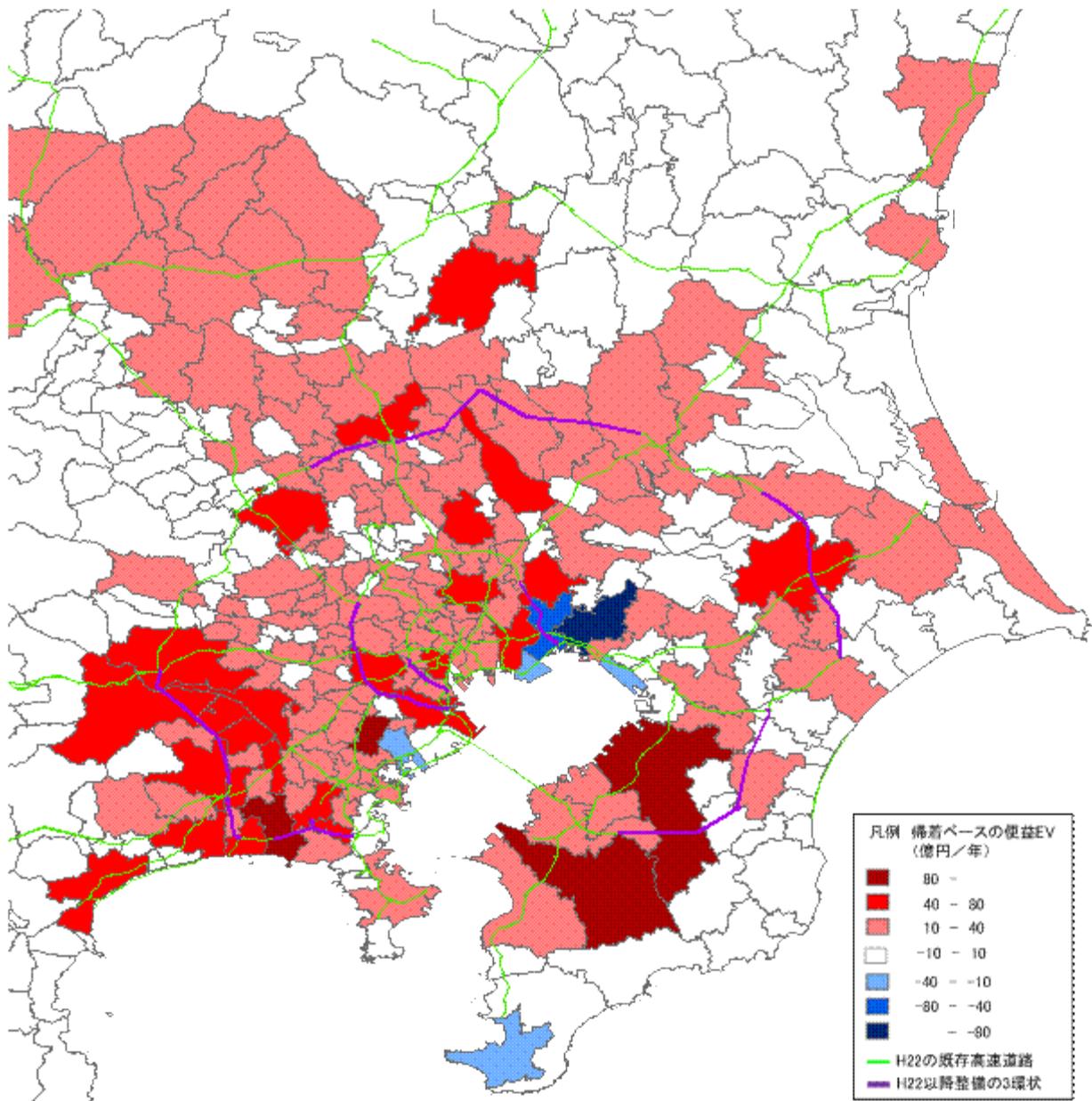


図 1 2-52 帰着便益（単位：億円/年、関東拡大）

## 1 2-6 土地利用・交通モデルによる推計：都市類型ごとに有効な低炭素化施策の評価

### (1) 概要

公共交通機関を骨格としたコンパクトシティ構築等の土地利用及び交通に関わる施策の影響は、既存のインフラ整備状況や都市構造に大きく依存する。しかし、コンパクト化施策は地域の構造を変える施策であり、投資規模も大きく地域住民の生活にも大きく影響を与えるものである。地方自治体が、このようなコンパクト化施策を地域における低炭素化施策として推進していくためには、当該自治体にはどのようなコンパクト化施策が有効か、事前に施策を評価できることが望ましい。

そこで、本研究では様々な都市類型の自治体をケーススタディとして土地利用・交通モデルを適用し、都市類型ごとに有効な低炭素化施策の評価を行った。

### (2) 分析方法

#### 1) 評価ケースの設定

「公共交通機関を骨格としたコンパクトシティ」を実現するための主要な対策・施策は、基本的には交通面では公共交通機関の充実を図り自動車からの転換を促しながら、土地利用面では中心部の土地利用の高度化と市街地の縮小によってメリハリのある都市構造の構築である。

こうした考えに基づき、本研究では、下表の施策ケースを設定した。

表 1 2-6 評価施策の一覧

低炭素化施策	内容
Case1 自転車利用環境整備	二輪の利用速度を 2km/h 増加
Case2 既存公共交通の増便	バス・鉄道頻度 2 倍→待ち時間の短縮
Case3 既存公共交通の速度向上	公共交通の利用速度を 5km/h 増加
Case4-1 市街化区域外人口 1/2	市外化区域外ゾーンの人口・従業者数を 1/2 にする
Case4-2 市街化区域外人口 1/4	市外化区域外ゾーンの人口・従業者数を 1/4 にする
Case4-3 市街化区域外人口ゼロ	市外化区域外ゾーンの人口・従業者数をゼロにする
Case5 パッケージ施策	上記のすべて（郊外の立地規制は Case4-3 を適用）

## 2) シミュレーションの適用都市

シミュレーションの適用都市として、人口規模や従業者数、DID人口密度、市街化区域の利用状況、公共交通機関の整備度、幹線道路の整備度などの経済・土地利用・交通に関わる指標のばらつきを考慮し、柏市、青梅市、徳島市、高知市、宇都宮市、甲府市、松山市、長崎市の8都市を選定した。これらの都市は、人口規模としては地方中心都市～中核都市である。

表 12-7 適用都市8都市の概要

	柏市	青梅市	徳島市	高知市	宇都宮市	甲府市	松山市	長崎市
人口(人, 2010年)	404,012	139,339	264,548	343,393	511,739	198,992	517,231	443,766
DID人口密度(人/km <sup>2</sup> , 2010年)	9,079	6,229	5,125	6,199	5,414	4,986	6,307	7,239
都市化度 <sup>*</sup>	0.891	0.772	0.706	0.804	0.752	0.810	0.828	0.739
町の成り立ち	東京の衛星都市	宿場町	城下町	城下町	門前町～城下町・宿場町	城下町・宿場町	城下町・温泉街	港町
従業者数(人, 2009年)	146,518	57,236	149,713	164,984	270,467	117,767	245,396	216,336
路面電車	なし	なし	なし	土佐電鉄	なし	なし	伊予鉄道市内線	長崎電車軌道
世帯当たり乗用車保有台数(台/世帯, 2010年)	0.92	1.06	1.21	1.00	1.48	1.33	1.01	0.81

※都市化度=DID人口/総人口

出所：H22 国勢調査、H21 経済センサス、市区町村別自動車保有車両数

なお、本分析では実在の都市のデータを用いてシミュレーションを行ったが、これは本分析において独自に条件を設定してケーススタディを行ったものであり、必ずしも実際の各自治体の政策方針を反映しているものではない。

### 3) モデルゾーンの設定

各都市のモデルゾーンは下図の通りである。

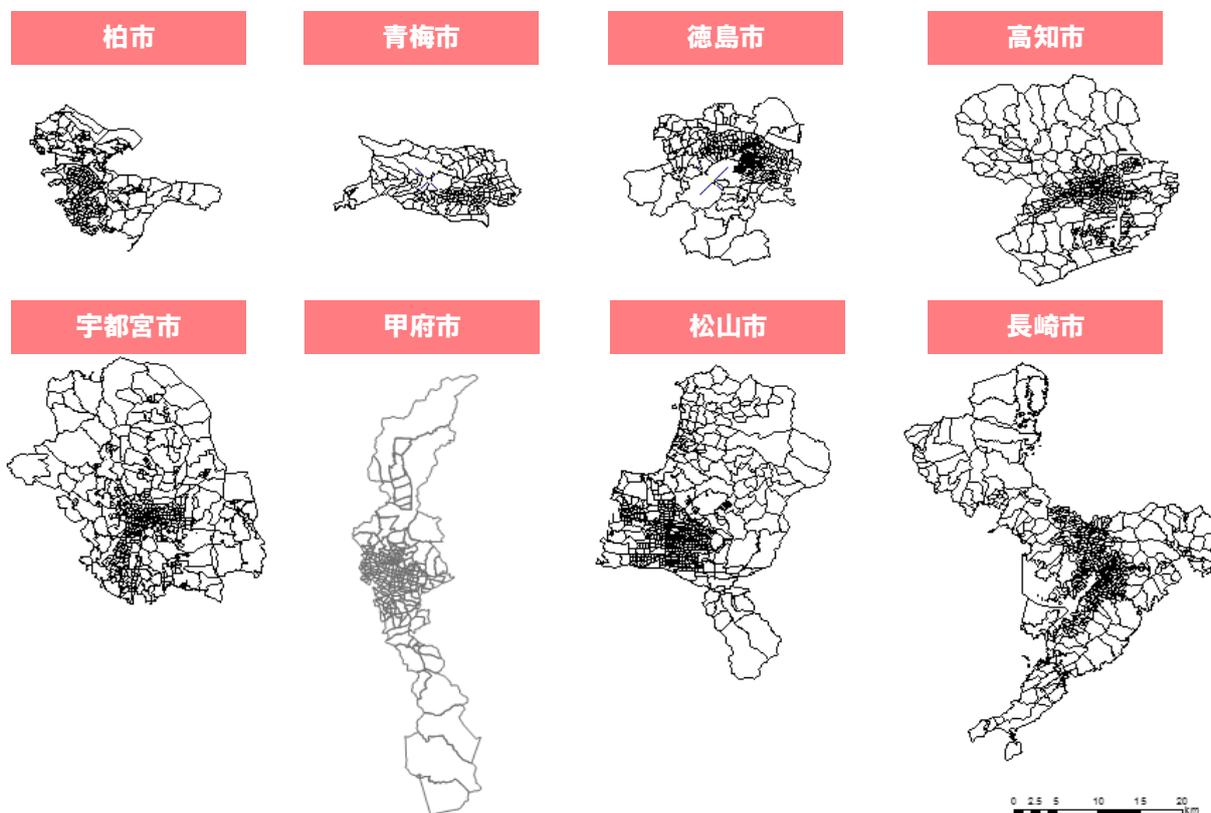


図 12-53 都市ごとのモデルゾーン設定

### 4) 各施策ケースの推計方法

#### ①Case1 自転車利用環境整備

自転車専用レーンの整備等により、自転車速度が向上することを想定する。分析上は、自転車速度が一律に2km増加するものとして交通モデルを実行する。

#### ②Case2 既存公共交通の増便

ここでは、既存公共交通としてバスおよび鉄道を想定する。既存公共交通の増便については、待ち時間や乗り換えに要する時間を短縮することでモデル化する。

#### ③市外化区域外の人口制限

各都市に市街化区域ゾーンを設定し、当該ゾーンにおける人口を規制する。市街化区域ゾーンの人口・従業者数を現状の1/2～ゼロに設定し、土地利用モデルを実行する。

### (3) 推計結果

各都市の施策ケースごとの推計結果は以下の通りである。

表 12-8 適用都市8都市の推計結果

施策ケース	柏市	青梅市	徳島市	高知市	宇都宮市	甲府市	松山市	長崎市
Case1 自転車利用環境整備	-3.6%	-3.4%	-8.4%	-8.4%	-2.5%	-0.4%	-0.7%	-1.6%
Case2 既存公共交通の増便	-24.5%	-9.4%	-2.8%	-4.5%	-1.8%	-8.9%	-2.7%	-6.3%
Case3 既存公共交通の速度向上	-5.9%	-3.6%	-0.7%	-1.2%	-0.4%	-0.3%	-0.1%	-1.3%
Case4-1 市街化区域外人口1/2	-0.9%	-3.7%	-8.3%	-4.0%	-2.5%	-0.2%	-1.4%	-1.1%
Case4-2 市街化区域外人口1/4	-1.2%	-5.4%	-12.6%	-5.7%	-3.5%	-0.3%	-2.0%	-1.9%
Case4-3 市街化区域外人口ゼロ	-1.4%	-7.1%	-16.9%	-7.4%	-4.4%	-0.3%	-2.5%	-2.7%
Case5 パッケージ施策	-33.8%	-21.9%	-28.8%	-23.2%	-9.4%	-10.6%	-5.5%	-10.9%

#### ① 柏市

柏市におけるCO2排出削減率は以下の通りである。柏市は元々公共交通手段の分担率が10.1%と高く、また、比較的バスの頻度が低いが人口が居住しているエリアがあるため、既存公共交通の増便が最も効果が高くなっている。

#### ② 青梅市

青梅市におけるCO2排出削減率は以下の通りである。既存公共交通の増便と人口の立地規制が比較的強く効いている。

#### ③ 徳島市

徳島市におけるCO2排出削減率は以下の通りである。徳島市は市街化区域外の居住人口割合が15.6%と比較的高いため、人口の立地規制の効果が比較的高く出ている。

#### ④ 高知市

高知市におけるCO2排出削減率は以下の通りである。高知市は、市街化区域外の居住人口割合は5.6%であり、徳島市ほどではないが人口の立地規制の効果が高い。

#### ⑤ 宇都宮市

宇都宮市におけるCO2排出削減率は以下の通りである。宇都宮市は拡散型の都市構造であり道路が面的に広がっているため自転車利用環境整備と人口の立地規制の効果が高い。

⑥甲府市

甲府市における CO2 排出削減率は以下の通りである。甲府市は元々バス等の公共交通機関の頻度が少ないため、既存公共交通の増便の効果が強く表れている。

⑦松山市

松山市における CO2 排出削減率は以下の通りである。松山市は元々集約型の都市構造で、すでに公共交通も比較的高い密度で整備されているため、ここでの設定ケースの削減効果は比較的小さい結果となっている。

⑧長崎市

長崎市における CO2 排出削減率は以下の通りである。長崎市は発生トリップの大きいゾーンで公共交通が整備されているため、既存公共交通の増便の効果が比較的強く表れている。

2) 都市類型ごとに有効な低炭素化施策

前項の 8 都市における土地利用・交通に係る低炭素化施策効果の推計より、以下のように都市類型ごとに有効な低炭素化施策をまとめることができる。

表 1 2-9 集約型都市構造と低炭素化施策の効果

土地利用・交通に係る低炭素化施策	集約型都市構の特徴	施策投入の効果
自転車利用環境整備	自転車が利用可能な道路が少ない	×
既存公共交通の増便	既存公共交通はあるが頻度が低い 既存公共交通が整備されてかつ追加需要が高い	○
既存公共交通の速度向上	既存公共交通が整備されてかつ追加需要が高い	○
市街化区域外人口	市街化区域内に人口が集約されている	×

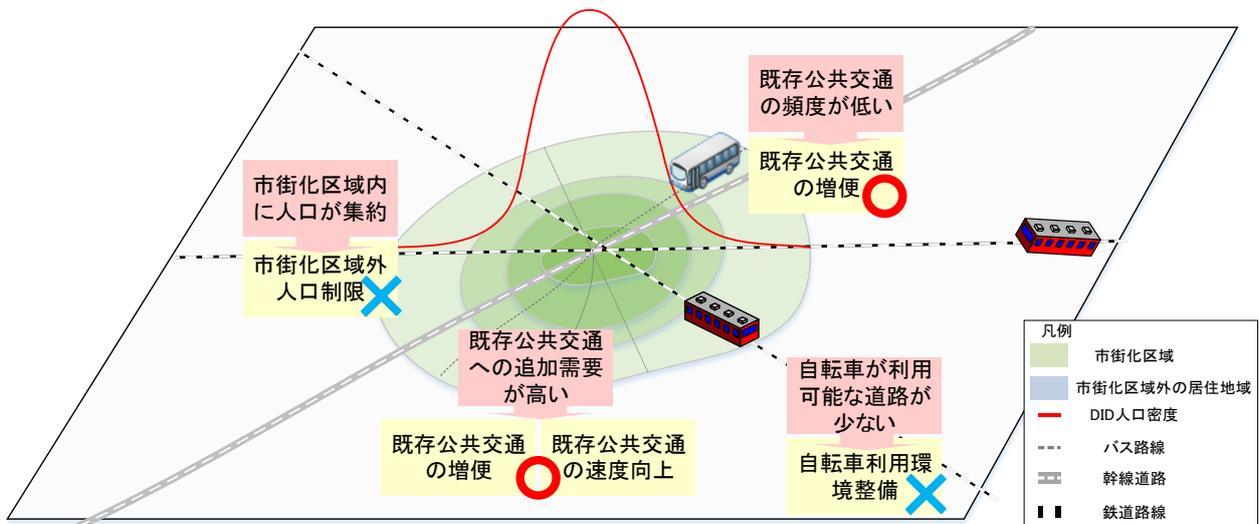


図 1 2-54 集約型都市構造と比較的効果の高い低炭素化施策

表 1 2-10 拡散型都市構造と低炭素化施策の効果

土地利用・交通に係る低炭素化施策	拡散型都市構造の特徴	施策投入の効果
自転車利用環境整備	自転車が利用可能な道路が面的に広がっている	○
既存公共交通の増便	自動車利用率が高く、公共交通がほとんど衰退している	×
既存公共交通の速度向上		×
市街化区域外人口	市街化区域外の人口が多い	○

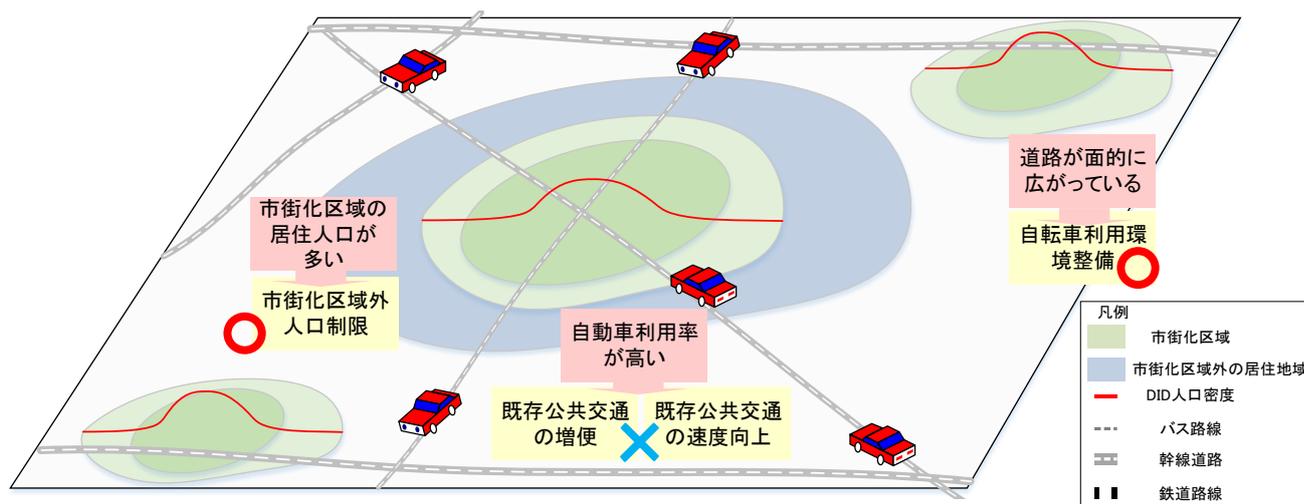


図 1 2-55 拡散型都市構造と比較的効果の高い低炭素化施策



## 1 2-7 経済モデルによる推計：東日本大震災の影響試算

### (1) 概要

経済モデルを用いて、構築したモデルとデータベースの挙動を確認する目的で、東日本大震災の地域経済への影響を分析する。再生可能エネルギー導入等、本格的な環境政策の経済評価は次年度以降に行う。

### (2) 分析方法

本分析では、東日本大震災の被災地のうち、岩手県・宮城県・福島県・茨城県の4県において企業の財生産における生産効率が低下したものと考えて、これによる影響を分析する。モデルにおける生産効率パラメータの低下は、各県の内陸・沿岸別の推定資本ストック被害率<sup>30</sup>をそのまま生産効率パラメータの低下率として用いることで表現する。下表に各県の内陸・沿岸別の生産効率パラメータ低下率を示す。

表 1 2-11 モデルにおける震災の影響の設定

		生産効率パラメータ低下率
岩手県	内陸部	2.9%
	沿岸部	47.3%
宮城県	内陸部	5.1%
	沿岸部	21.1%
福島県	内陸部	3.7%
	沿岸部	11.7%
茨城県	内陸部	2.1%
	沿岸部	6.8%

<sup>30</sup> 日本政策投資銀行（2011）

### (3) 推計結果

震災時の地域別の便益（EV）を市区町村別に求めた。結果は下図の通りであり、被災地を中心に大きく負の便益が出ている。

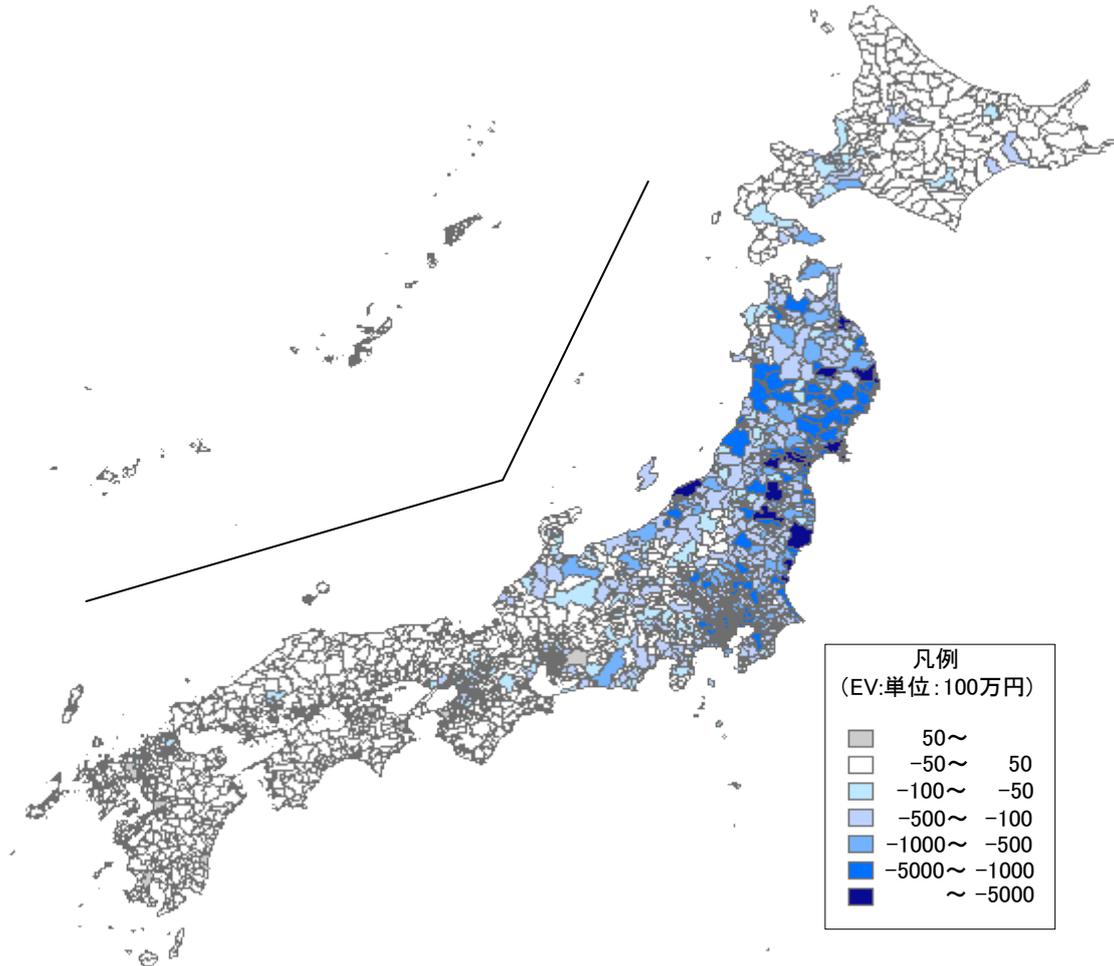


図 12-57 震災時の便益（単位：百万円）

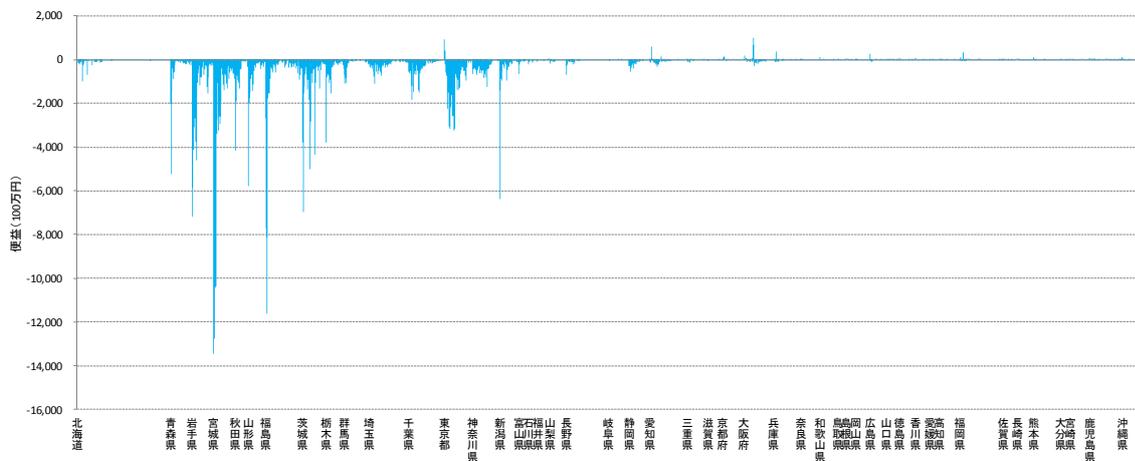


図 12-58 震災時の便益（単位：百万円）

次の図は、地域別の人口1人当たり便益（EV）である。被災地の特に沿岸部に被害が大きいことが分かる。

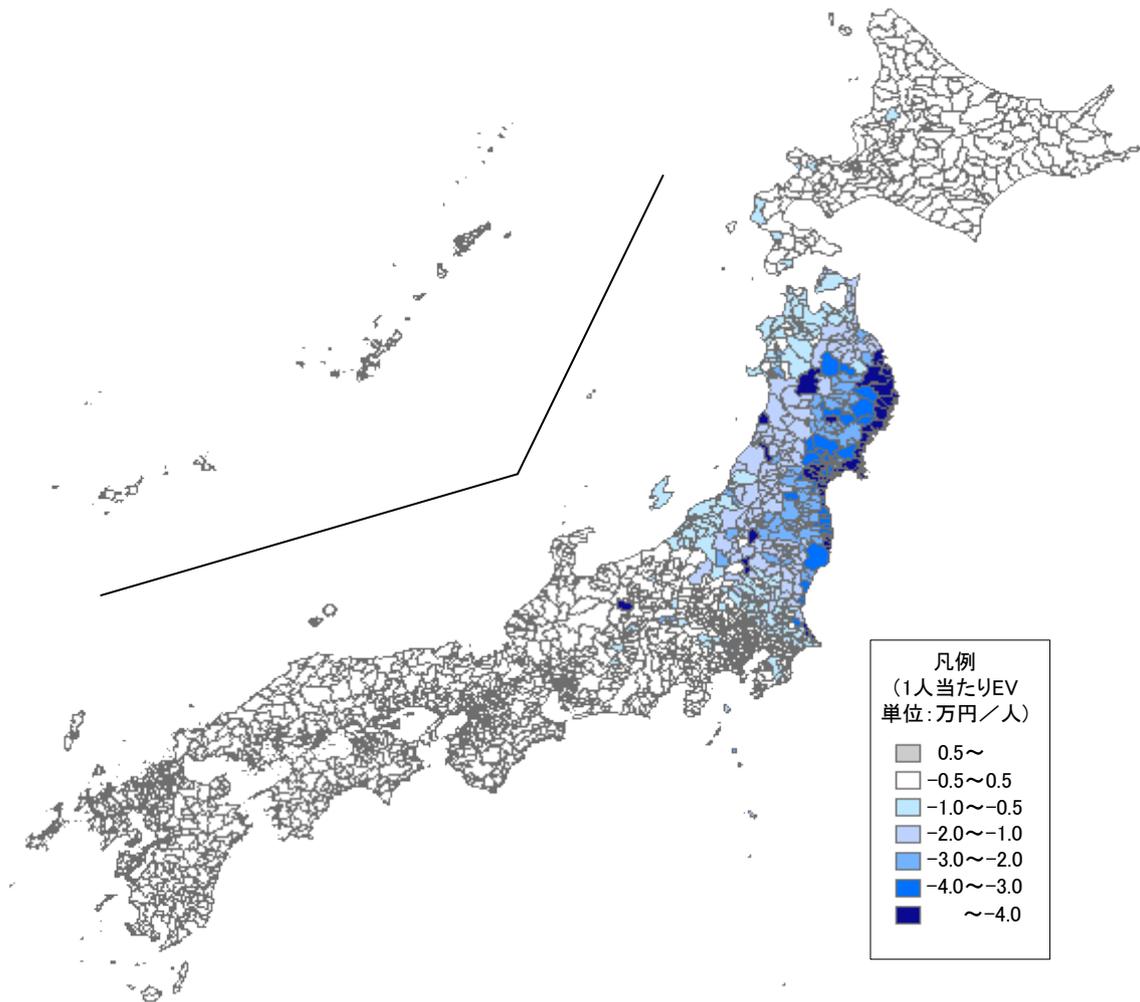


図 1 2-59 震災時の人口1人当たり便益（単位：万円/人）

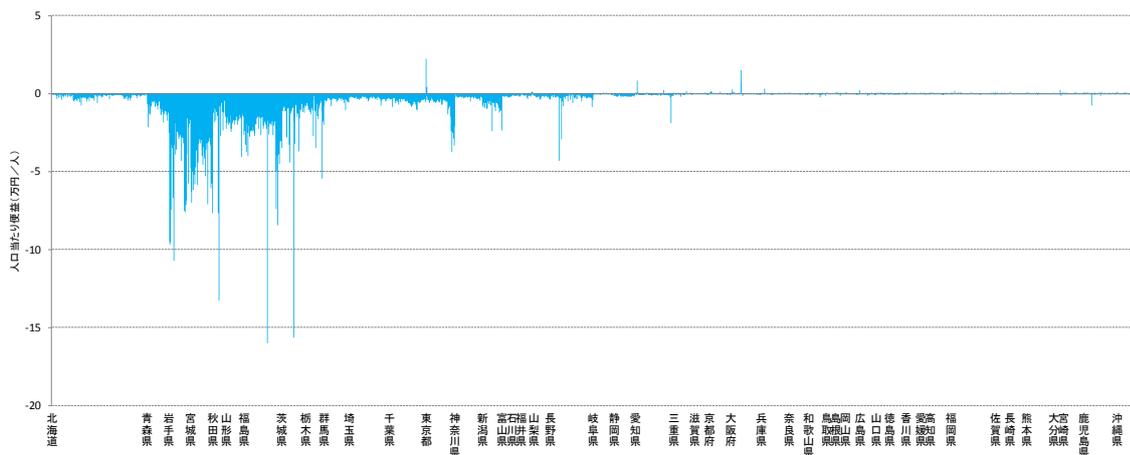


図 1 2-60 震災時の人口1人当たり便益（単位：万円/人）

## 1 2-8 経済モデルによる推計：地域における再生可能エネルギー導入の影響推計

### (1) 概要

経済モデルの構造は空間的応用一般均衡モデルの枠組みであり、産業連関分析のように潜在的な需要拡大を計測するだけでなく、供給サイドと価格メカニズムを考慮したモデルであるため、過大な効果は計測されないことが大きな特徴である。

本節では、この経済モデルを用いて再生可能エネルギー導入を行った場合の地域への波及を計測する。

### (2) 分析方法

#### 1) 市町村別の再生可能エネルギーポテンシャル量

全国の再生可能エネルギー<sup>31</sup>のポテンシャル量はCO<sub>2</sub>換算で約21億トン-CO<sub>2</sub>である<sup>32</sup>。これは、全国の現況CO<sub>2</sub>排出量12億トン-CO<sub>2</sub><sup>33</sup>に対し約1.75倍であり、再エネ導入のポテンシャルは十分に存在すると考えられる。

そのうち、熱エネルギーのポテンシャルは約4.3億トン-CO<sub>2</sub>である。ただし、これは需要側とのマッチングを考慮した導入ポテンシャル推計値であるため、全国の分布の特徴としては、主に都市部でのポテンシャルが大きい傾向にある。

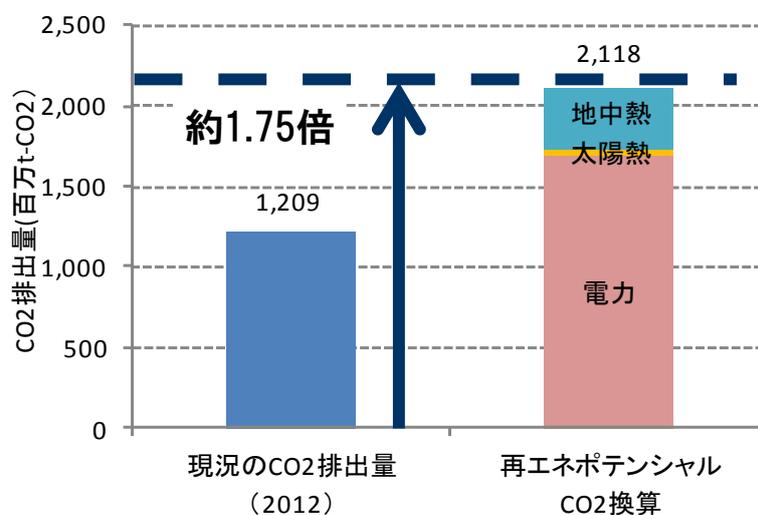


図 1 2-61 国全体のCO<sub>2</sub>排出量と再生可能エネルギーポテンシャル量

再生可能エネルギーの全国の分布を下図に示す。

<sup>31</sup>電力エネルギーは太陽光、陸上風力、洋上風力、中小水力（河川部）、地熱発電を含む。熱エネルギーは太陽熱、地中熱を含む。

<sup>32</sup>平成24年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書（2013年、環境省）

<sup>33</sup>部門別CO<sub>2</sub>排出量の現況推計（2012年、環境省）

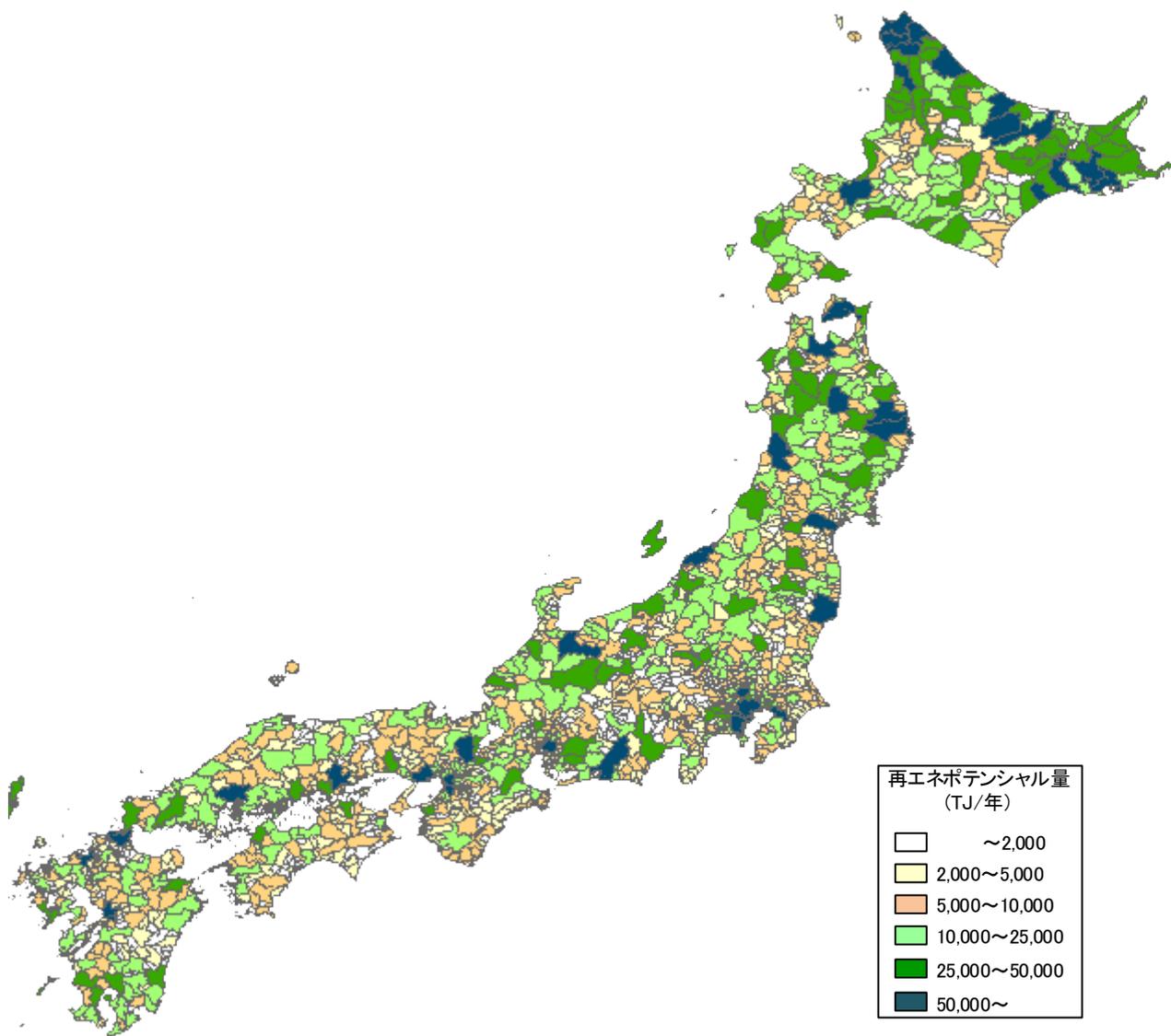


図 1 2-62 再生可能エネルギーポテンシャル量（電力+熱）

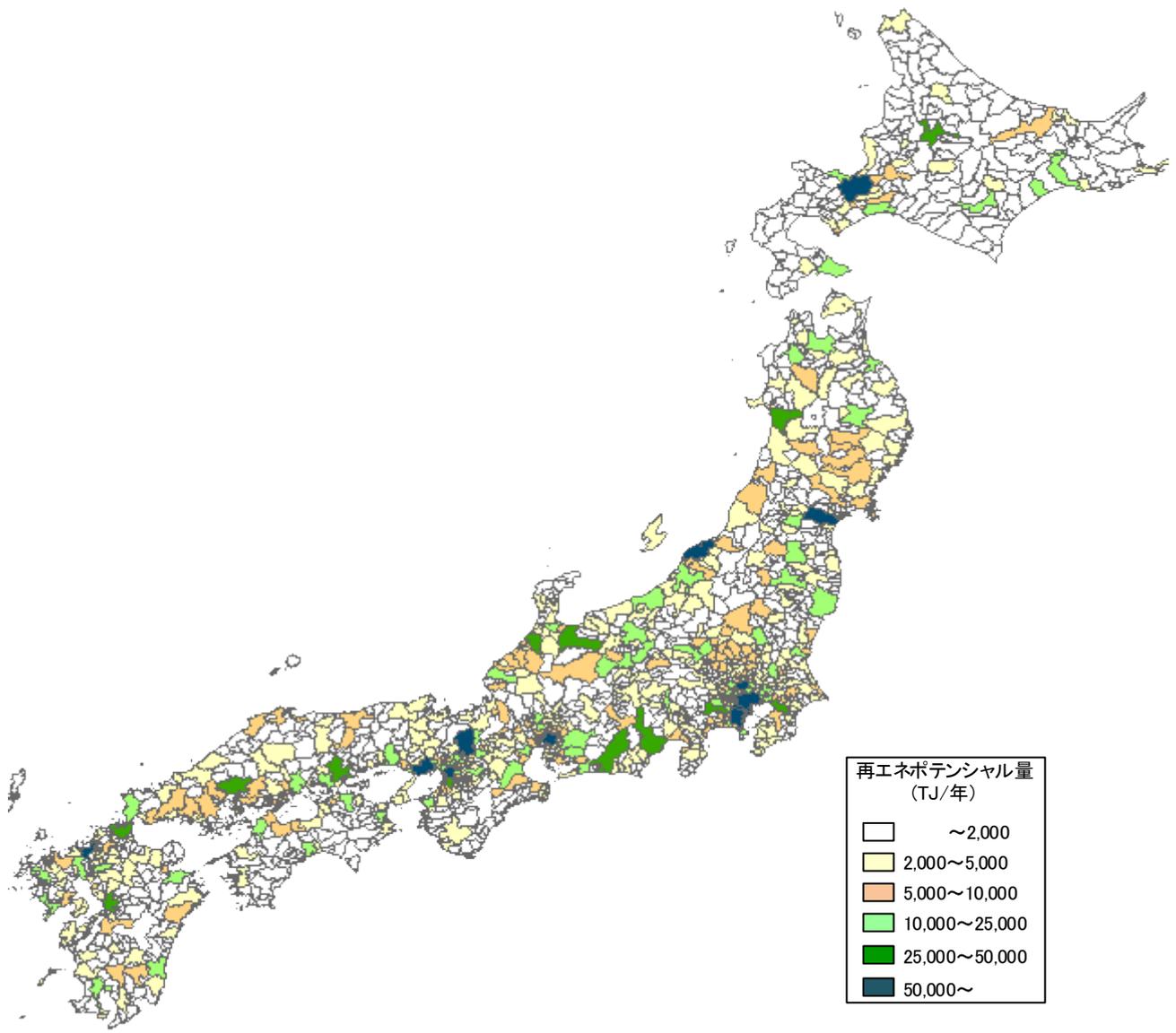


図 1 2-63 再生可能エネルギーポテンシャル量 (熱)

## 2) 経済モデルで捉えた地域の再生可能エネルギー導入のメカニズム

本節では、上述の再生可能エネルギーを地域に導入した場合の効果を、経済モデル（空間的応用一般均衡モデル）を用いて計測する。生産・消費の各主体の最適化行動と消費財、資本財の価格調整メカニズムを考慮した多地域の経済モデルを用いることにより、地域ごとのエネルギー生産量の増分の効果を推計するとともに、エネルギー財（石油・石炭）および他財との生産と消費の関係、エネルギー財の輸送費削減による影響等を推計することが可能となる。

以下では、地域における低炭素化施策の影響予測を経済モデルで行う際のメカニズムを、再生可能エネルギー導入を例に説明する。

経済モデルによる自治体単位での再生可能エネルギー導入の評価は、まず、政策変数として再生エネルギー生産設備を外生的に設定し、その生産量の増分を計測する。

化石燃料部門（石炭・石油）の取引の輸送手段は船舶が半分以上を占めており、輸送範囲は広域的であり、輸送費も高い。したがって、自地域でのエネルギー需給率の上昇に伴い輸送費も大幅に削減される。

さらに、自地域の再生可能エネルギー生産設備での生産増は製造業の生産増であり、それに伴い自地域の経済が活性化する。

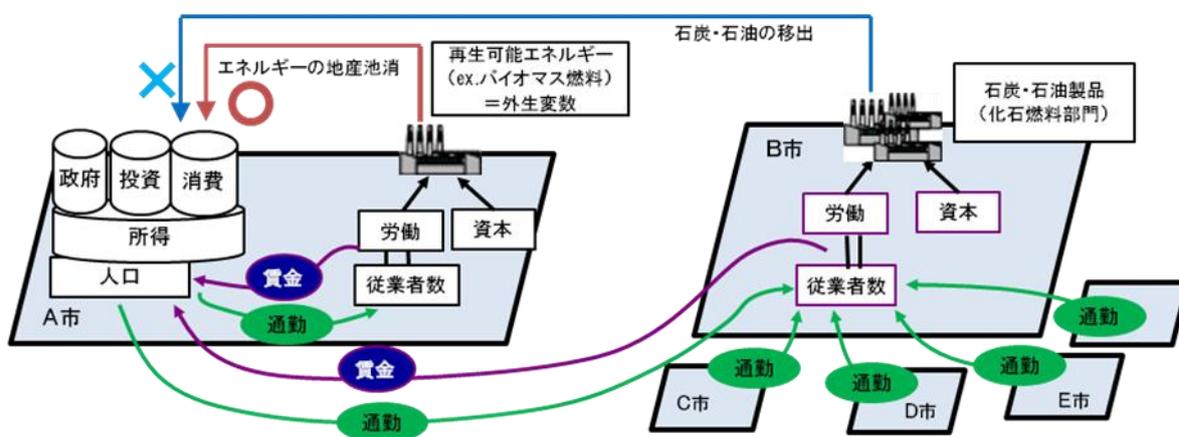


図 1 2-64 経済モデルで捉えた地域の再生可能エネルギー導入のメカニズム

このようなメカニズムによって、ある自治体での低炭素化施策の導入が、空間的に隣接、あるいは経済的に関連している他の自治体への影響を把握し、全国で整合した地域における低炭素化施策の検討が可能となる。

### 3) 分析の前提条件

本分析では、導入する再生可能エネルギーは地中熱とし、図 1 2-64 図 1 2-63 の全国の地中熱ポテンシャル分布を用いて、導入量が5億円を超える市町村のみを考慮し、金額ベースで約9,864億円導入した。

各地域の地中熱は自地域のみに供給され、市外への移出は考慮しない、すなわち、導入量はエネルギー需要を超えないものとする。また、自地域に供給される地中熱は、他地域からの移入も含めたエネルギー産業と完全代替とすると想定する。なお、本分析では、石油・石炭産業をエネルギー産業とみなす。

また、地中熱による熱供給は、エネルギー産業によるエネルギー価格よりも低いものとする。さらに、自地域への熱供給には輸送費はかからないものとする。

### 4) 地中熱導入量の設定方法

地中熱導入量の設定は、以下のフローで行う。

#### ①市町村別の地中熱供給ポテンシャル（金額ベース）の設定

市町村別の地中熱供給ポテンシャル（金額ベース）＝地中熱供給ポテンシャル（熱量ベース、GJ/年）×熱供給価格<sup>34</sup>（円/GJ）×付加価値率<sup>35</sup>

#### ②市町村別のエネルギー需要（金額ベース）の設定

市町村別のエネルギー需要（金額ベース）＝市町村別の石油・石炭産業の支出額<sup>36</sup>×熱需要比率<sup>37</sup>

#### ③市町村別の地中熱導入量（金額ベース）の設定

以下の条件を満たすものを導入量とする。

min（供給ポテンシャル量、需要量） かつ 5億円以上

<sup>34</sup> H25年熱供給事業便覧の地域別熱販売単価を用いて算出。

<sup>35</sup> H24年工業統計調査における石油製品・石炭製品製造業の付加価値額/製造業製品出荷額として算出

<sup>36</sup> 付加価値ベース。

<sup>37</sup> H26年エネルギー・経済統計要覧の家庭部門・業務部門の用途別エネルギー消費量のうち、「暖房用」「給湯用」消費量を熱需要として算出。

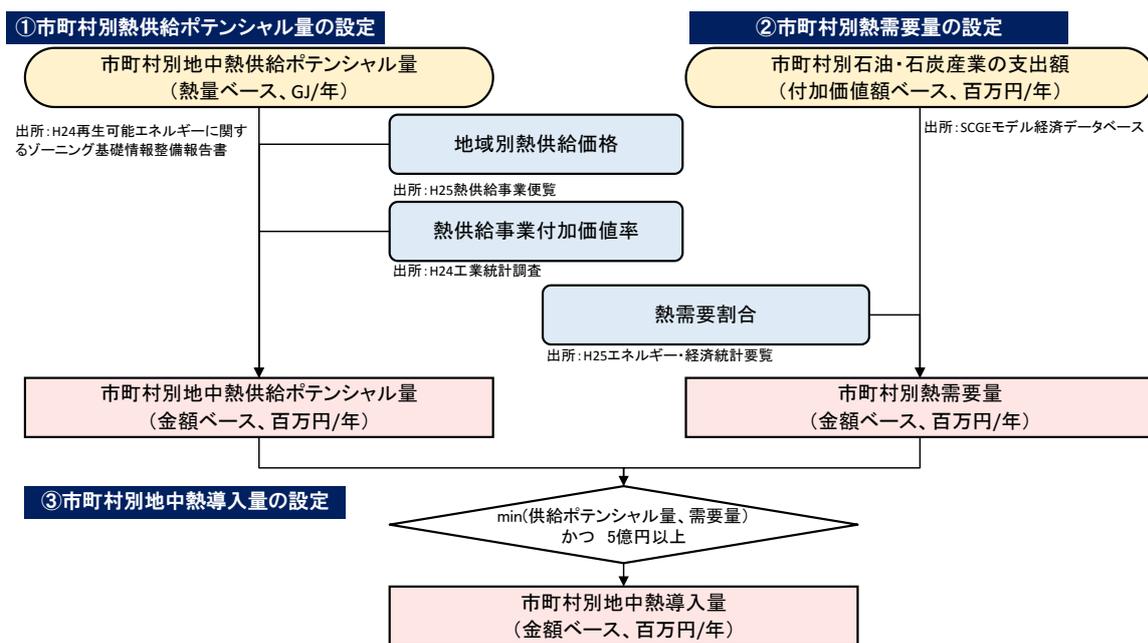


図 1 2 -65 地中熱導入量の設定フロー

### 5) 再生可能エネルギー（地中熱）導入による CO2 削減率

地中熱導入による日本全国の CO2 排出削減率は、以下の計算式によって算出した。

$$\text{地中熱導入による CO2 排出削減率} = \text{地中熱導入量 (CO2 換算)} / \text{全国の CO2 排出量}^{38}$$

<sup>38</sup> 部門別 CO2 排出量の現況推計（環境省、2012 年）

## 6) エネルギー産業（石油・石炭産業）の生産量

エネルギー産業（石油・石炭産業）の生産量（付加価値ベース）は、総額約4兆円であり、石油・石炭産業の多くは太平洋ベルト地帯の沿岸部を中心に分布している。

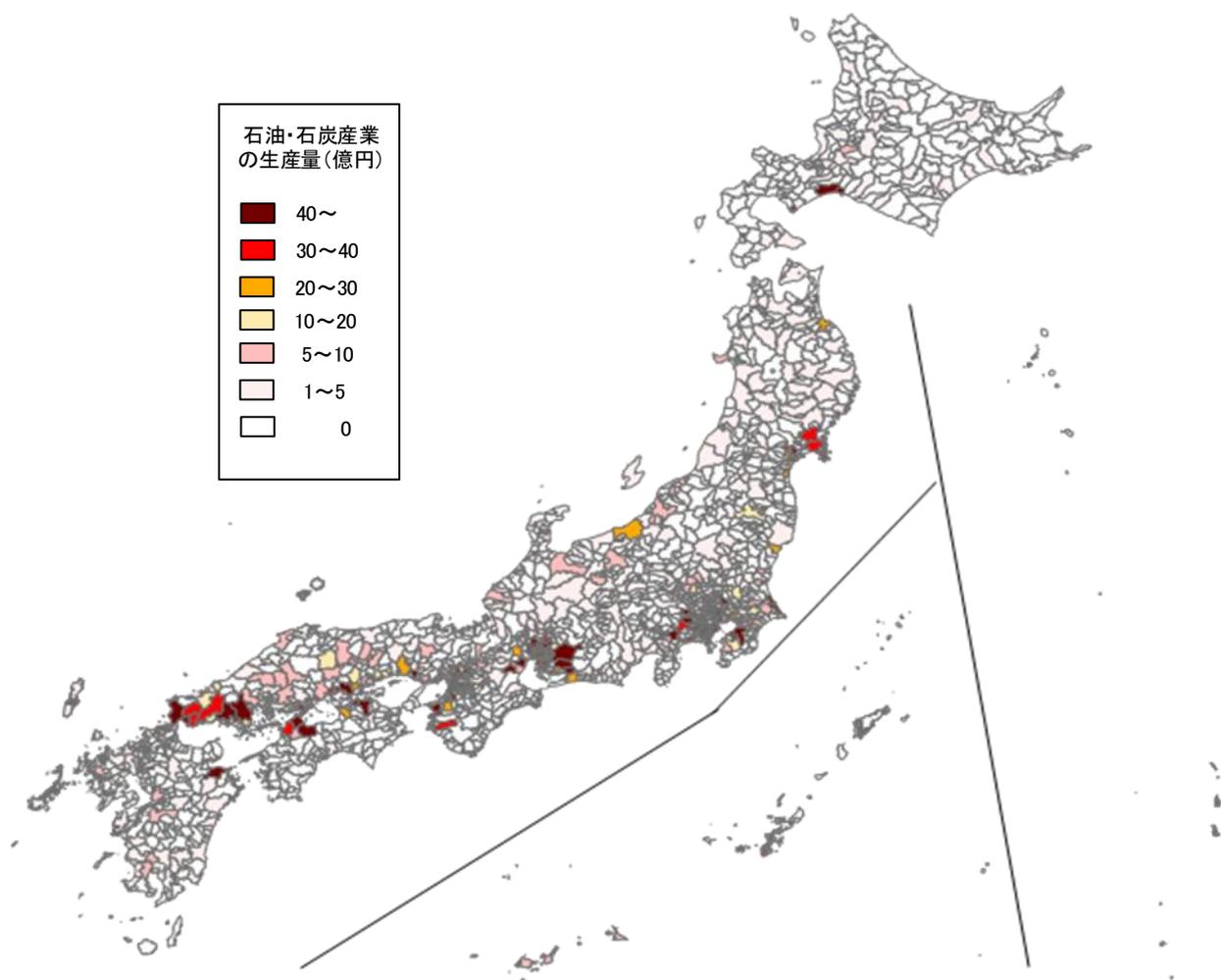


図 1 2-66 エネルギー産業（石油・石炭産業）の生産量（金額ベース、億円）

## 7) 再生可能エネルギー（地中熱）導入量

再生可能エネルギー（地中熱）は金額ベースで総額約9,864億円、下図のような分布で導入した。

前述の通り、ここでの地中熱導入量は需要側とのマッチングを考慮した導入ポテンシャル推計値に基づくため、都市部での導入量が多くなっている。また、エネルギー産業の生産量と比較すると、地中熱は太平洋ベルト地帯沿岸部のみならず、内陸の都市部にも多く分布している。

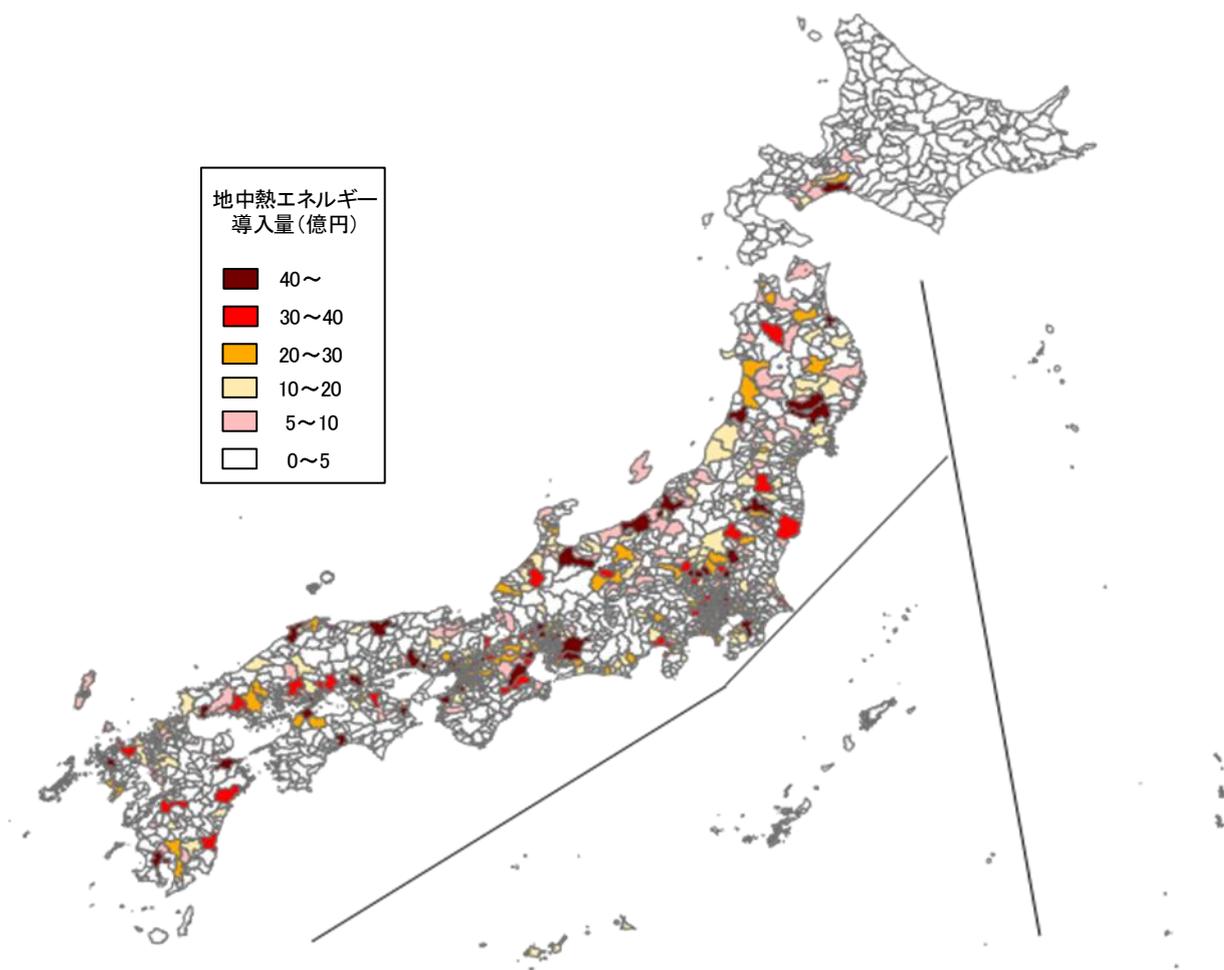


図 1 2-67 再生可能エネルギー（地中熱）導入量（金額ベース、億円）

### (3) 推計結果：経済効果

再生可能エネルギー導入による経済効果は、付加価値額で総額約1,160億円の増額となった。地域別の分布では、再エネ投資を行った地域では、概ね付加価値額が増加する結果となっている。

また、既存のエネルギー産業（石油・石炭産業）の付加価値額は、再生可能エネルギー（地中熱）導入によって5,029億円減少、減少率は▲12.9%である。減少額の大きい主な地域は、元々石油・石炭産業の生産量が多かった地域である。

以下、地中熱導入による経済効果を図示する。

#### 1) 再エネ導入による付加価値額の変化

##### ①再エネ導入による付加価値額（合計）の変化量

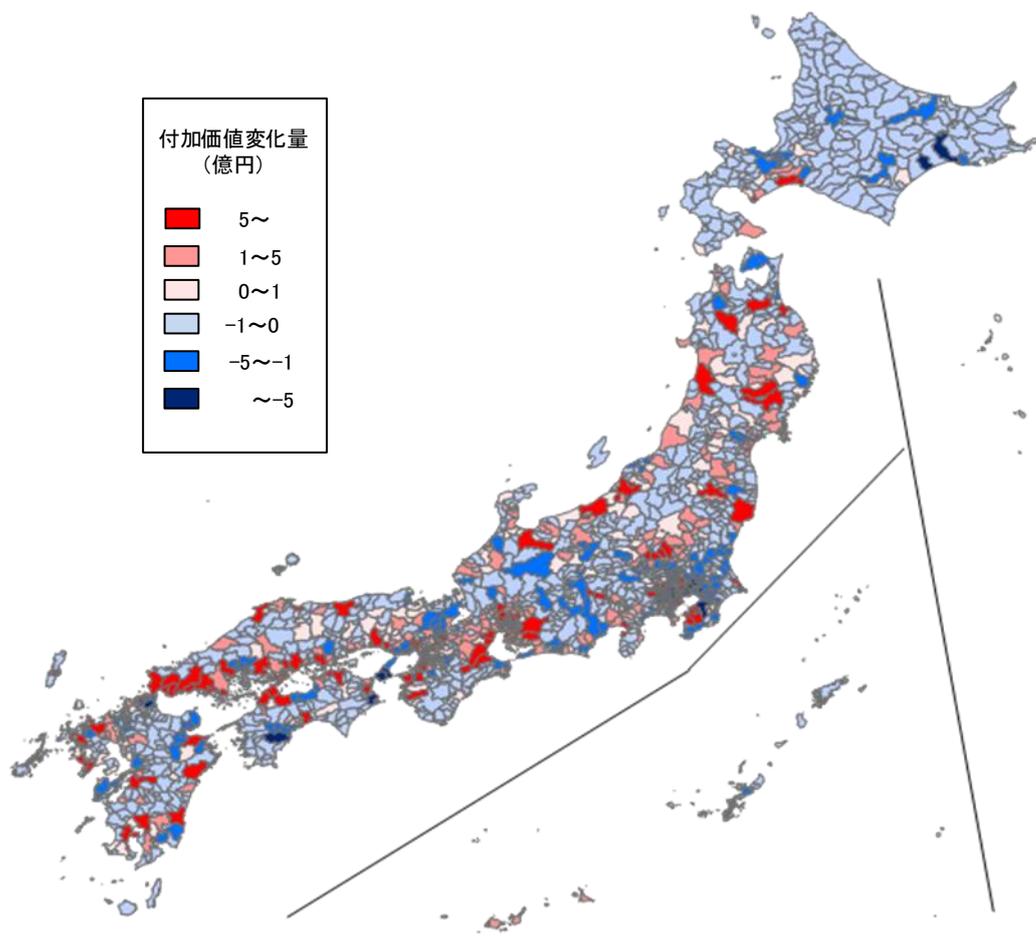


図 1 2-68 地中熱導入による付加価値額変化量（億円/年）

②再エネ導入による石油・石炭産業の付加価値額の変化量

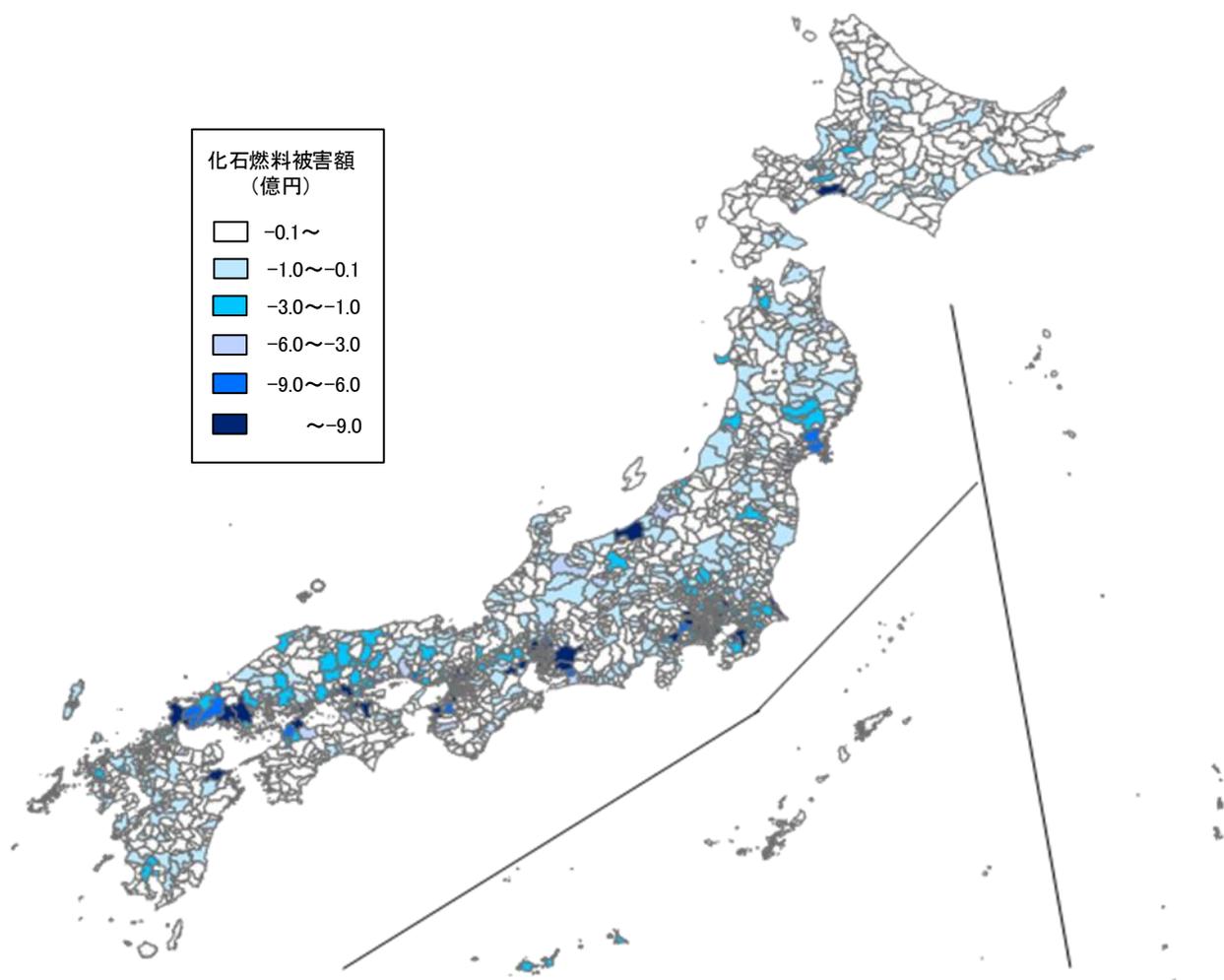


図 1 2-69 地中熱導入による付加価値額変化量 (億円/年)

## 2) 再生可能エネルギー導入による地域の傾向

上述の通り、再生可能エネルギー導入による経済効果を地域別にみると、付加価値額の合計では総額約1,160億円の増額であり、再生可能エネルギーを導入した地域は概ね付加価値額が増加している。一方、既存のエネルギー産業（石油・石炭産業）の付加価値額は合計で5,029億円減少しており、主に元々石油・石炭産業の生産量が多かった地域での減少額が多しい。

以上のような地域の傾向をツリー図で表示したのが以下の図である。

再生可能エネルギーを導入した地域は、500地域中409地域（81.8%）でGRPが増加している。

一方、再生可能エネルギーを導入していない地域では、1,360地域中1,265地域（93.0%）でGRPが減少している。

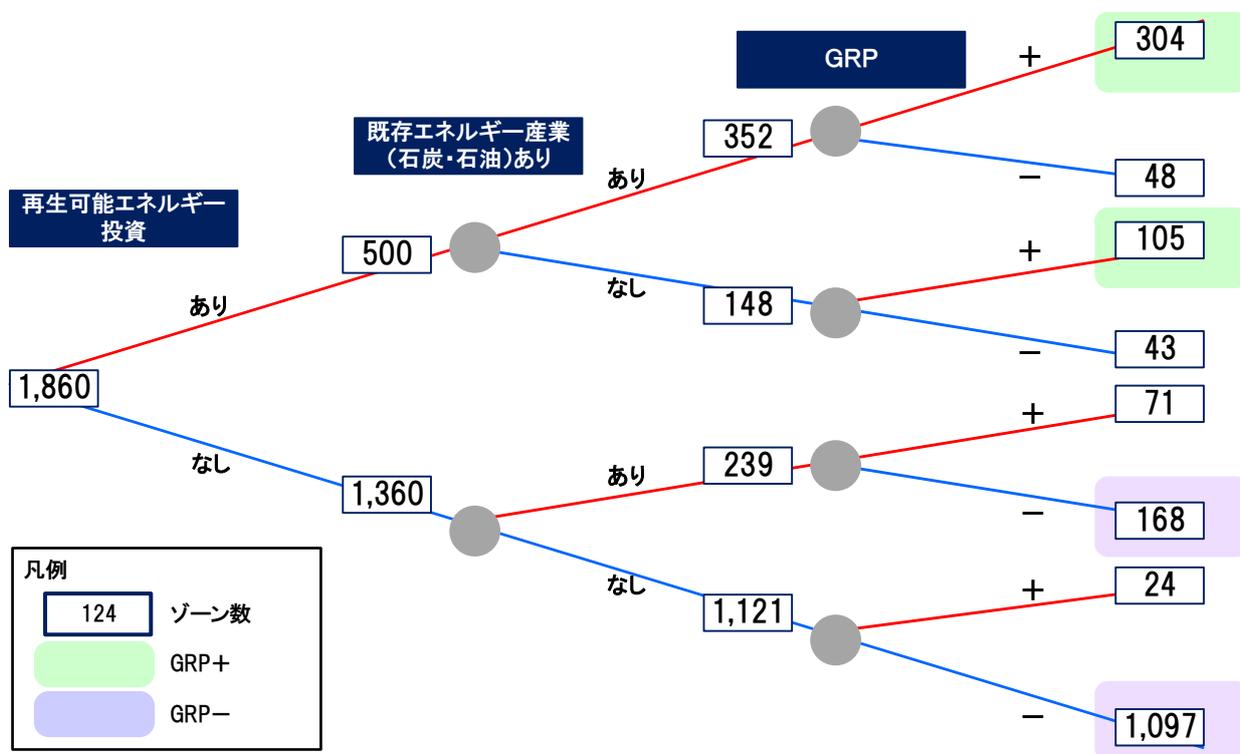


図 12-70 地域別の再エネ投資とGRPの変化

## 1 2 - 9 経済モデルによる推計：地域における省エネルギー機器導入の影響推計

### (1) 概要

本節では、前節と同様、経済モデルを用いて地域における省エネルギー機器を導入した場合の地域への波及を計測する。

### (2) 分析方法

#### 1) 分析の前提条件

ボイラー等を生産に係る機器の省エネルギー化（高効率ボイラーへの置き換え等）を補助金等によって促進すると想定する。このような補助金等によって省エネ機器の導入を促進する地域は、付加価値（GRP）で1,000億円以下の小規模な自治体とし、導入自治体は全体で約970である。

#### 2) 施策導入の設定方法

経済モデルでの施策導入の設定にあたっては、省エネルギー機器の導入によって、石油・石炭産業を除いた製造業において、以下の生産関数における全要素生産性（TFP）が5%上昇すると仮定し、自地域及び他地域へ及ぼす影響を把握する。

$$Y_i^m = \eta_i^m (L_i^m)^{\alpha_i^m} (K_i^m)^{1-\alpha_i^m}$$

Y：付加価値額、L：資本投入量、K：労働投入量

$\alpha$ ：企業の生産関数の分配パラメータ

$\eta$ ：企業の生産案数の効率パラメータ（全要素生産性）

i：ゾーンを表す添え字、m：産業を表す添え字

### 3) 省エネルギー機器導入前の GRP

省エネルギー機器導入前の日本全体の GDP は、約 495 兆円であり、都道府県庁所在地を中心に GRP の高い地域が分布している。

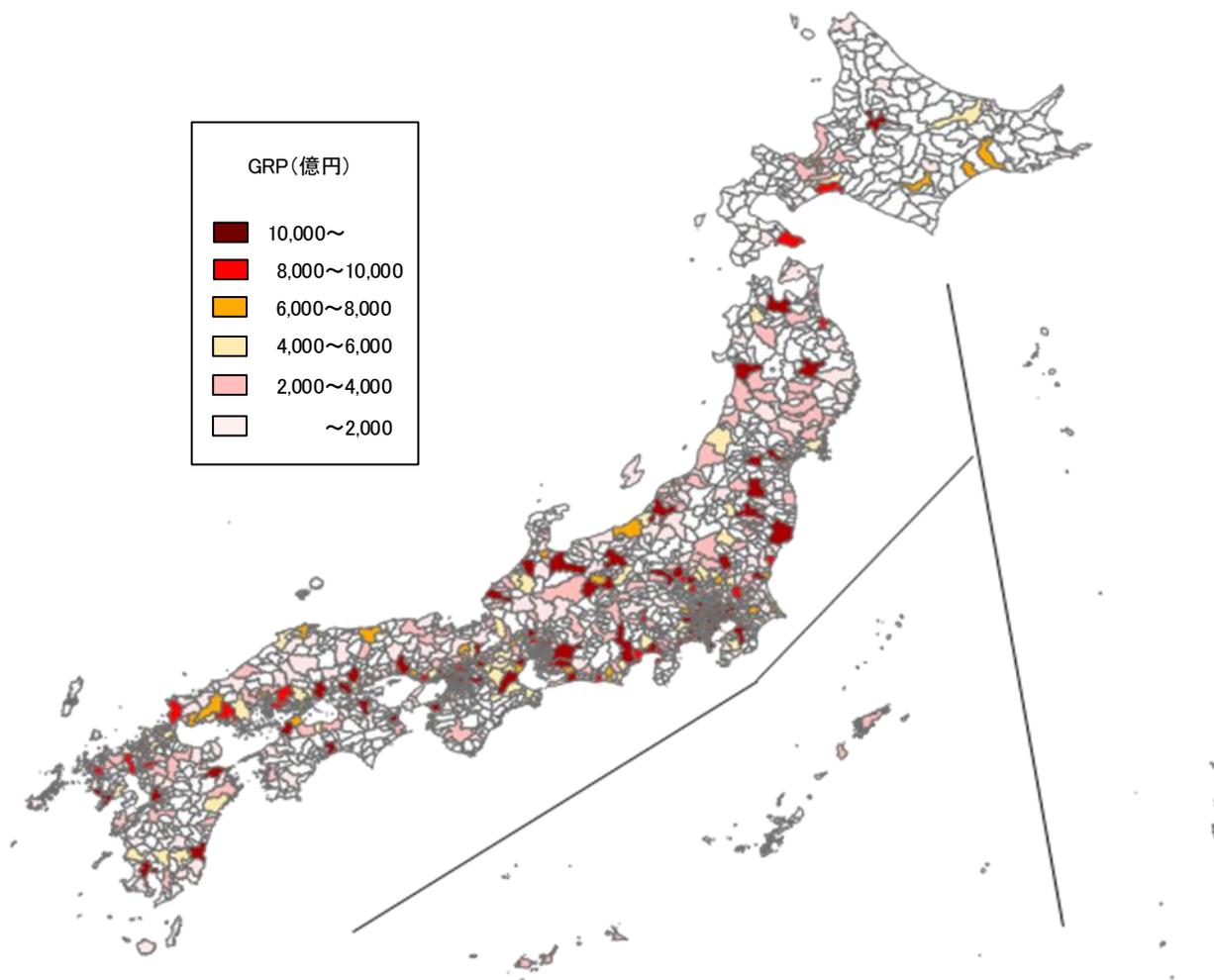


図 1 2-71 省エネルギー機器導入前の GRP (億円/年)

#### 4) 省エネルギー機器の導入地域

省エネルギー機器を導入付加価値（GRP）で1,000億円以下の小規模な自治体約970自治体に省エネルギー機器を導入する。

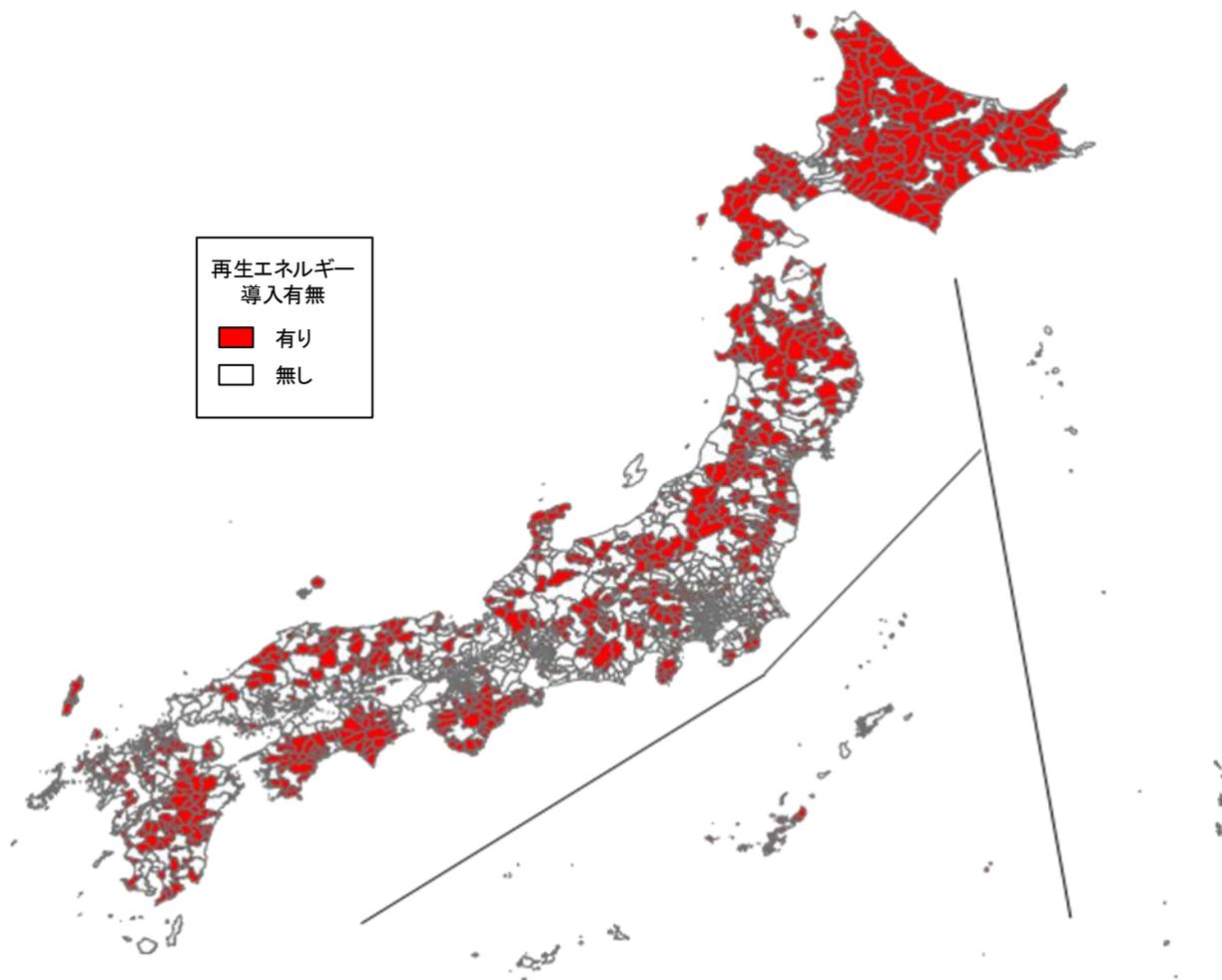


図 1 2-72 省エネルギー機器の導入地域

### (3) 推計結果：経済効果

#### ①付加価値額の変化

省エネ機器の導入による付加価値額の増分は、全体で7,219億円、うち製造業（石油・石炭産業を除く）で6,070億円、製造業以外で1,149億円となった。

付加価値額の変化を地域ごとに見ると、省エネ機器を導入した地域で製造業の付加価値額が増加し、製造業以外の産業で付加価値額が減少する。一方、省エネ機器を導入していない地域では製造業の付加価値額が減少し、製造業以外の産業で付加価値額が増加している。これは省エネ機器を導入した地域では製造業の生産性が上がったことによって、製造業以外の生産要素（労働・資本）が製造業へシフトし、製造業以外の産業の生産額が減少したためである。

一方、省エネ機器を導入していない地域では、製造業製品価格の低下により、省エネ機器を導入した地域からの移入が起こる。これにより、省エネ機器を導入していない地域では製造業が打撃を受け、生産要素が製造業以外の産業にシフトすることで生産が増加し、地域全体としては付加価値額が増加する。

#### ②便益の変化

省エネ機器の導入による便益は、約13.2兆円となった。これは、製造業の生産増により日本全体で製造業製品価格が下落し消費量が増加するためである。

省エネ機器を導入した地域では製造業製品の生産増により価格が下落し、消費が増加することにより、地域の便益はプラスとなる。

一方、省エネ機器を導入していない地域では、上述の通り省エネ機器を導入した地域からの製造業製品の移入に加え、製造業以外の産業でも生産が増加し価格下落と消費増が起こる。これにより、製造業、製造業以外の産業ともに消費量が増加し、全体として便益が大きくプラスとなっている。

以下では、省エネ機器導入による経済効果を図示する。

2) 市町村別の経済効果

①省エネ機器導入による付加価値額増分（合計）

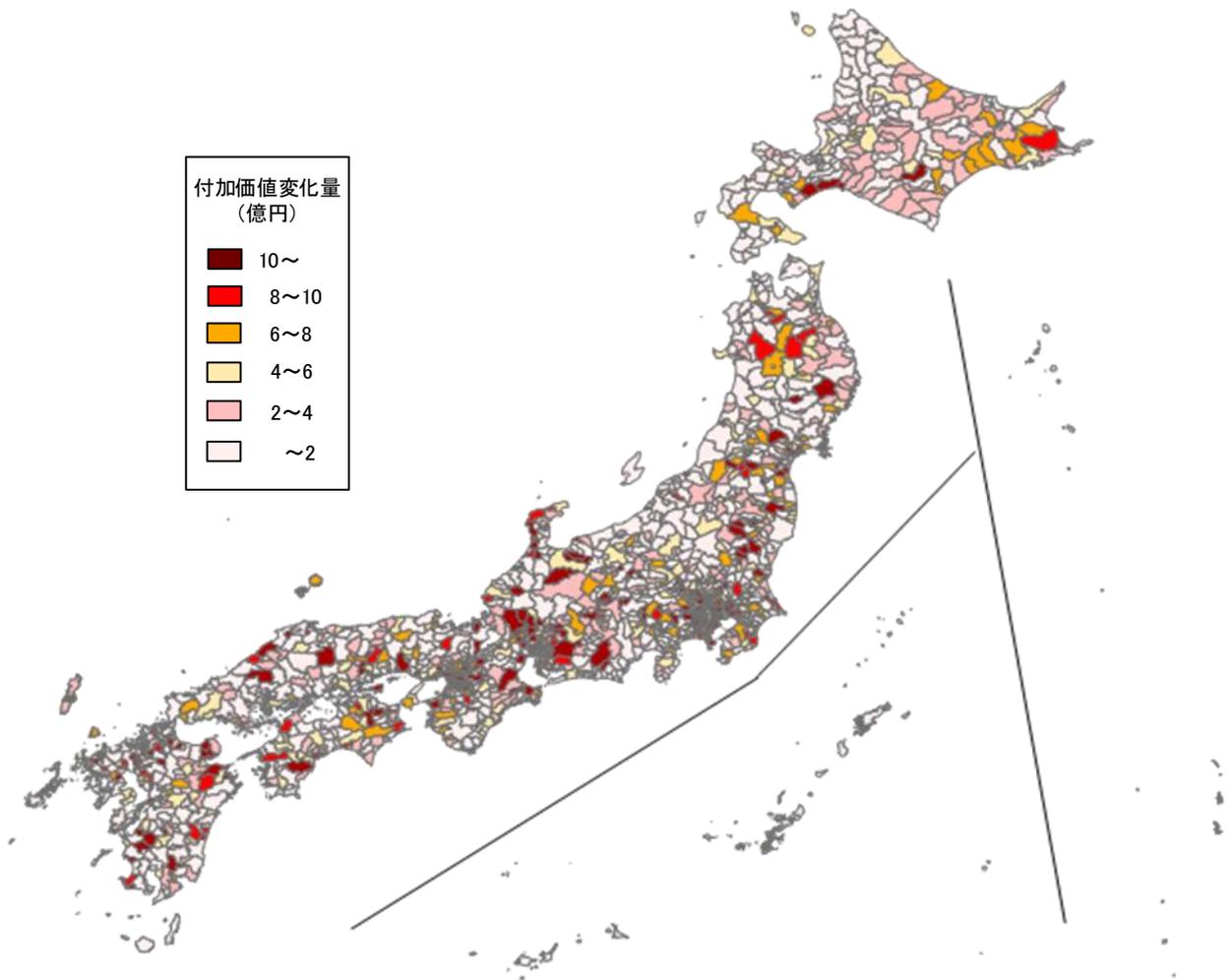


図 1 2-73 省エネ機器導入による付加価値額増分（合計、億円/年）

②省エネ機器導入による付加価値額増分（製造業）

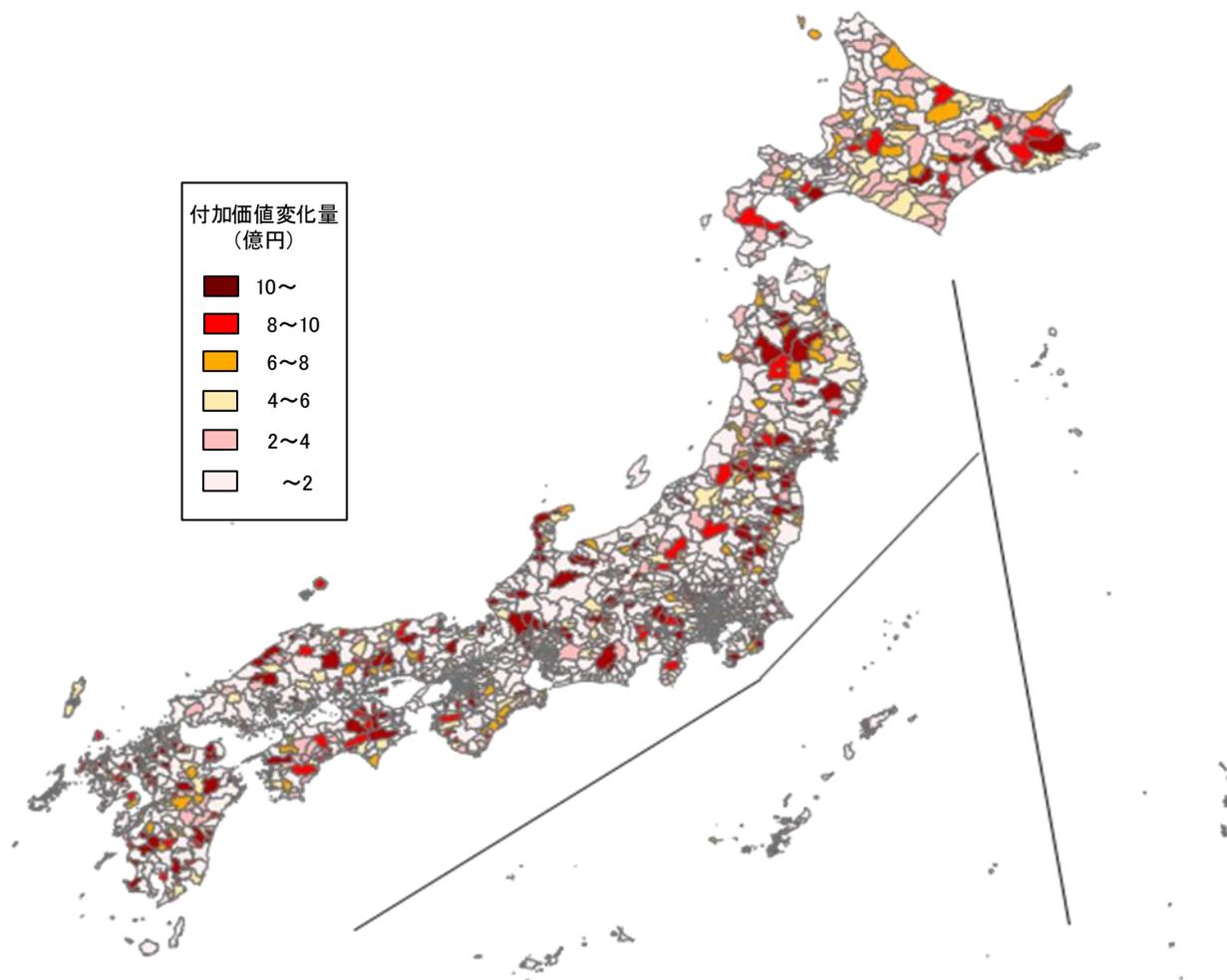


図 1 2-74 省エネ機器導入による付加価値額増分（製造業、億円/年）

③省エネ機器導入による付加価値額増分（製造業以外）

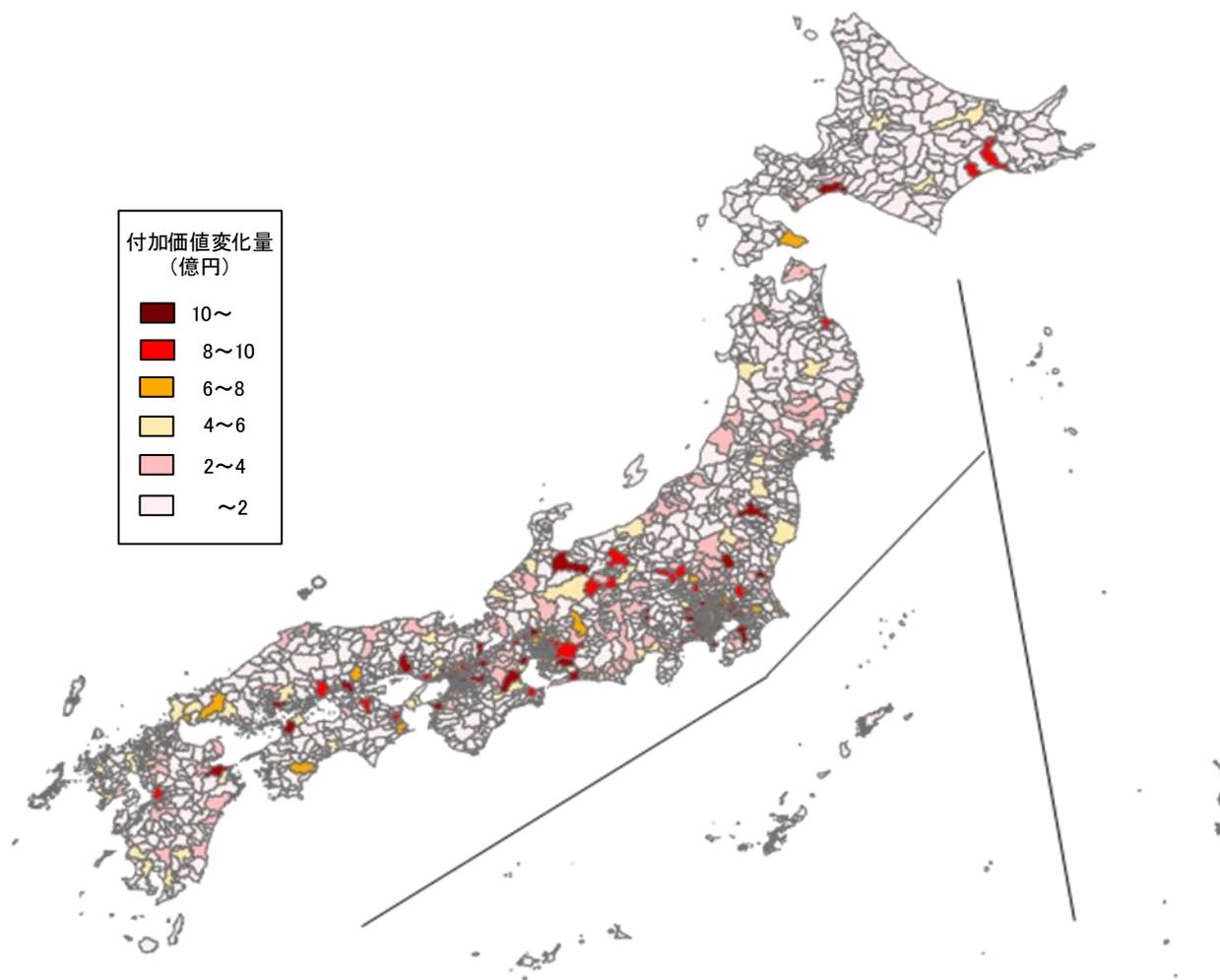


図 1 2-75 省エネ機器導入による付加価値額増分（製造業以外、億円/年）

④省エネ機器導入による便益 (EV)

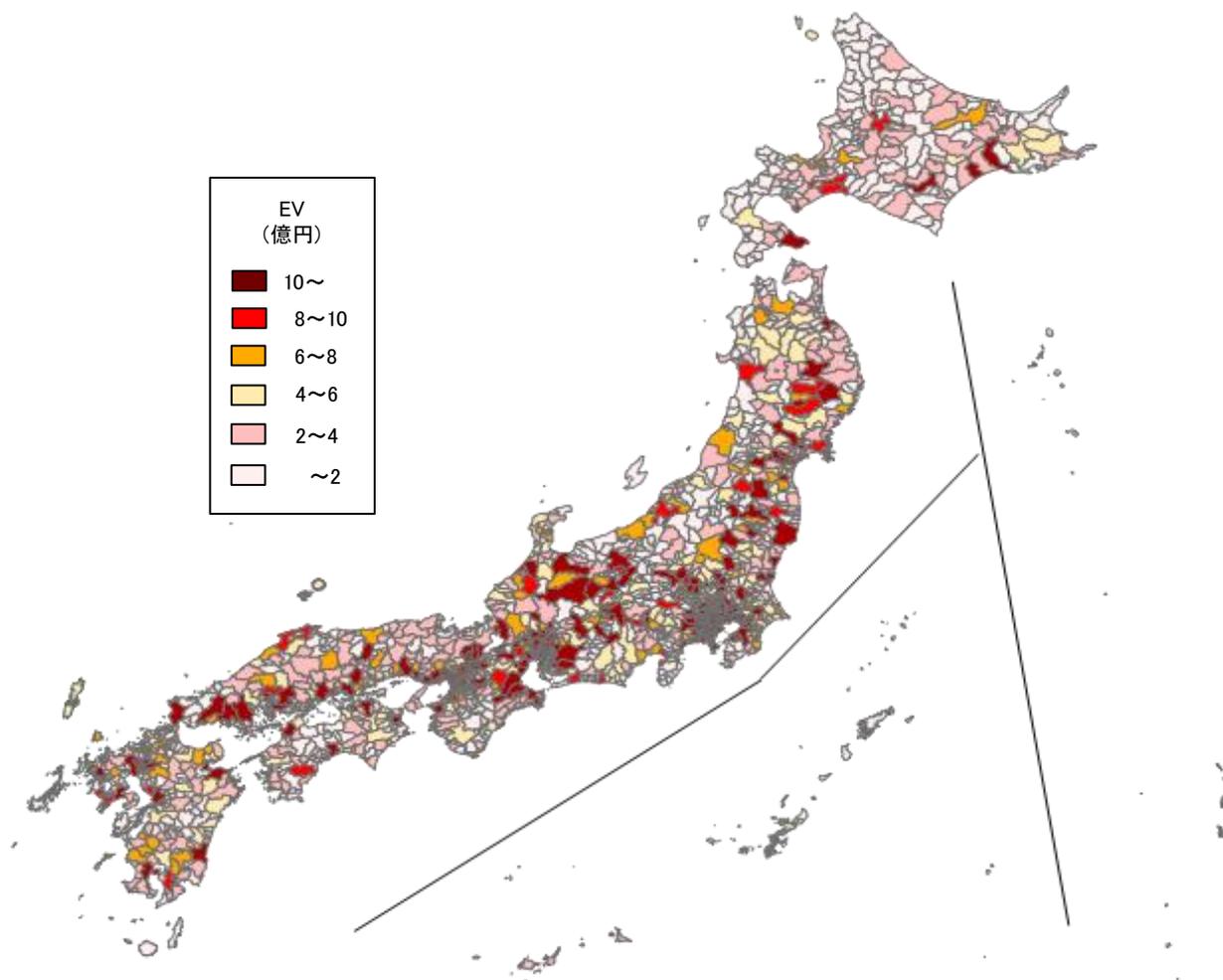


図 1 2-76 省エネ機器導入による便益 (億円/年)

## 12-10 結論

### (1) まとめ

本章では、経済・土地利用・交通の統合モデルを用い、様々な施策（事業・規制）の環境、経済の影響を市町村単位での詳細な推計を行った。

施策投入による市町村別のCO2排出量と経済への影響は、その施策の種類や市町村の人口規模・都市構造等の特性に応じて影響の大きさや正の影響、負の影響まで様々であることが、空間での表現（地図）によって視覚的にも示された。

表 12-12 モデルによる施策効果の推計結果まとめ

施策	CO2 変化率		経済影響
	総量	うち自動車	
ガソリン税導入 (1,500 円/L)	-5.35%	-31.10%	帰着便益 ▲77.3 兆円
3 環状道路整備	0.02%	0.10%	帰着便益 6,627 億円
リニア新幹線整備	-0.81%	-4.70%	帰着便益 4,040 億円
地域再エネ導入	-9.00%	-	付加価値額 1,160 億円増
地域省エネ機器導入	-	-	付加価値額 7,219 億円増

### (2) 行政ニーズとの関連及び環境政策への貢献

前述の推計結果に見た通り、施策投入により正の影響を受ける市町村だけでなく、打撃を受ける市町村が存在する可能性がある。したがって、低炭素化施策を行う場合には、打撃の大きい市町村に対してどのような補助を行うべきか、といった観点から、複数施策の組合せによって施策効果を補完させる必要がある。

このような複数施策の組合せやその補完の影響、またどの程度の補助が正当化されるかといった検討に対しても、本研究の統合モデルは有効であると考えられる。

### 1 3. 本論 4：地方公共団体実行計画策定のためのフレームの提示と要因分析手法の確立

#### 1 3-1 概要

地方公共団体が実行計画策定等において温暖化対策を検討する際には、地域特性に応じた効果的な対策を実施することが重要である。そのためには、まず地域特性を把握し、CO<sub>2</sub> 排出との因果関係を理解しなければならない。特に本研究が対象とする民生部門及び運輸部門の CO<sub>2</sub> 排出は、直接的にはエネルギー消費や交通のあり方に依存するが、さらにそれらは企業や家計の立地、交通基盤の整備状況、その他様々な要因に依存している。

このような要因分析の必要性は大きいにも関わらず、それらを網羅的に分析するには膨大なデータの収集や加工を必要とすることもあり、その方法は必ずしも確立されていない。本研究では、自治体の計画策定支援の観点から、要因分析手法の確立を目指し検討を行った。

具体的には、地方公共団体が温暖化対策を検討する際に、自らの地域の特性と CO<sub>2</sub> 排出の因果関係を把握し、それを踏まえた上で効果的な対策・施策を選定できるよう、交通、土地利用、経済等の多様な面から CO<sub>2</sub> 排出の要因分析を行う手法について検討した。

さらに、前章までに構築したデータベースおよび経済・土地利用・交通の統合モデルからのアウトプットを用いて、要因分析の簡便化、普及促進のためのシステム・ツール化に向けて、人口や産業などの都市類型に関わる指標や CO<sub>2</sub> 排出量の現況と BAU、また、全国の CO<sub>2</sub> 削減目標を達成した場合に費用を最小にする各市町村の削減量割り当て（削減目標設定の目安）のフレーム提示の検討を行った。

#### 1 3-2 要因分析の分析項目検討

要因分析の簡便化と普及促進のため、要因分析のシステム・ツール化のための仕様（要因分析の必要項目）の検討を行った。要因分析を大きく交通面、土地利用面、経済面の3つに分けて、下記の通り検討した。

##### （1）交通面の要因分析項目

###### 1）交通量の分布

都市の居住者や従業者がどこからどこへ、どの程度移動しているのかを OD 表により空間的に把握する。自動車交通量の多さや移動距離の長さは、CO<sub>2</sub> 排出の増加に直結する。OD 表の作成は、自動車に関しては、道路交通センサス起終点調査を用いる。他の交通手段については、都市圏パーソントリップ調査実施都市であれば、そのまま用いることができるが、そのようなデータが無い場合には、別途推計を行う。

###### 2）交通ネットワーク

交通量分布は、当然ながら道路、鉄道、バス等の交通ネットワークに依存する。道路網が郊外部まで広く整備されていたり、公共交通網が未熟な場合には、自動車がよく利用され、移動距離も長くなるため、CO<sub>2</sub> 排出量が大きくなる要因となる。

### 3) 交通量の内訳

交通手段分担率を把握する他、セグメント別に有効な対策を実施するために、交通量をさらに細かく見ていく。例えば、旅客は移動目的別、貨物は車種や品目別に内訳を把握する。

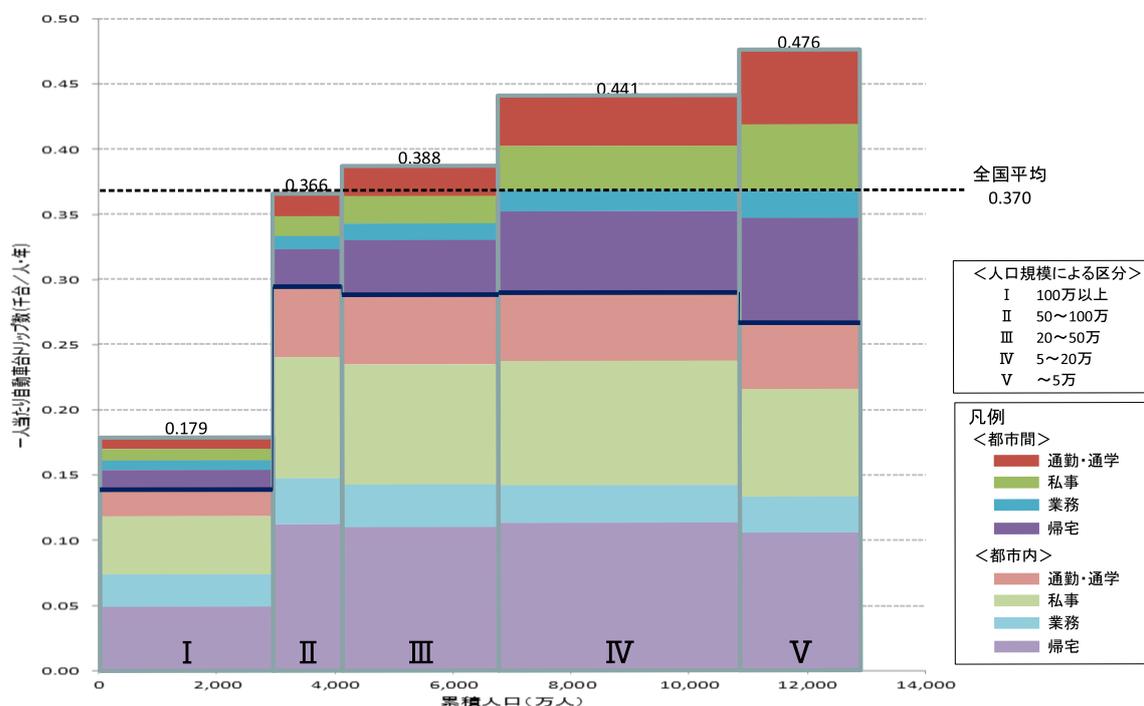


図 1 3-1 旅客自動車台トリップの目的別・着地別内訳 (全国)

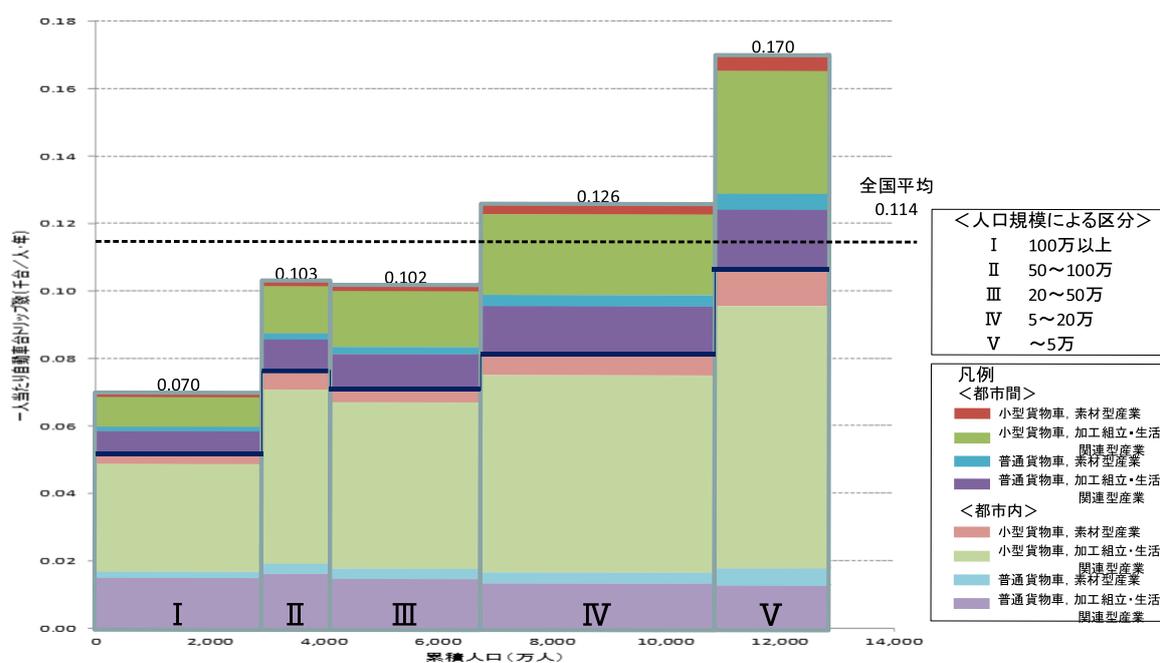


図 1 3-2 貨物自動車の台トリップの品目別・着地別内訳 (全国)

## (2) 土地利用面の要因分析項目

### 1) 人口・従業者の分布

人口や従業者の分布は、移動の目的地選択等に影響を与えるため、これらを把握することは重要である。また、その集中・分散の程度は、都市構造の集約化がどの程度なされているかを示し、コンパクト化関連施策の検討のための基礎情報ともなる。さらに、都市計画の状況と照らし合わせて、目指すべき都市構造と都市計画の整合を担保することも重要である。

### 2) 建物用途・建て方

人口や従業者の分布だけでなく、実際にどのような建物が利用されているかは、エネルギーの効率的利用の観点から重要な情報となる。工場の排熱等は熱エネルギーの供給源となり得るし、一方で需要側では、例えば戸建よりも集合住宅の方が需要が集中するため効率的にエネルギーを活用できる可能性がある。このような地域の未利用熱等の供給と需要の空間的な分布を把握し、効果的なCO2排出削減施策の検討につなげる。

## (3) 経済面その他の要因分析項目

都市の経済構造からも、いくつかの観点から要因分析を行うことが可能である。例えば、中心市街地と郊外のどちらが発展しているかは、人々の目的地選択に影響を与え、自動車からのCO2排出量の要因となる。あるいは、産業構造によって、物流の経路が異なるため、これも主に貨物自動車からのCO2排出を左右し得る。また、同じ製造業でも、工場からの排熱等は産業によって大きく異なるため、未利用熱のポテンシャルの把握にも役立つと考えられる。

### 1 3 - 3 実行計画策定のための要因分析・フレーム提示のシステム・ツール化

本節では、前節で検討した要因分析項目に沿って、本研究で構築したデータベースおよび統合型評価システムのアウトプットを用いた多様な指標に関するBAUと将来フレーム提示のためのシステム・ツールの構築を検討した。

#### (1) システム・ツールのインターフェイス

##### 1) 市町村を選択

まず、自治体情報入力画面にて表示したい自治体の都道府県名および市町村名を選択する。

図 1 3 - 3 自治体情報入力画面例

## 2) 将来シナリオ設定

図 1 3-3 の「将来見通し（フレーム）」ボタンをクリックすると、フレーム提示ツール画面に遷移する。将来の見通し（フレーム）とは、将来のわが国全体の人口フレーム、GDP フレームおよび、交通インフラ整備などを加味したシナリオに応じた市町村別の BAU フレームである。

国の人口成長の将来シナリオとして、国立社会保障・人口問題研究所の「出生中位死亡中位」、および内閣府「選択する未来」委員会・出生率向上ケースの 2 ケースを選択可能とした。

国の経済成長の将来シナリオについては、政府、民間ともに様々な将来 GDP の推計値が存在するが、ここでは「2013 年以降の対策・施策に関する報告書（平成 24 年 6 月）」で用いられている「シナリオ A」と内閣府「選択する未来」委員会の「生産性向上ケース」の 2 ケースを選択可能とした。

人口成長と経済成長のシナリオを選択すると、それぞれのシナリオに応じた労働需要、労働供給の将来値が表示される（図 1 3-4）。

労働需要(〇〇市の将来人口)		労働供給(〇〇市のGFP変化)	
2010年人口(現況値)	xxxxxxx人	GRP変化率(→2020年)	xxx%
2020年人口(推計値)	xxxxxxx人	GRP変化率(→2030年)	xxx%
2030年人口(推計値)	xxxxxxx人		

図 1 3-4 将来シナリオ設定画面例

## 3) BAU フレーム推計結果表示

図 1 3-5 の「フレーム提示」ボタンをクリックすると、当該市町村における BAU フレームの表示画面に遷移する。

ここでの BAU フレームは、産業部門における第 1～3 次産業ごとの従業者数及び世帯数、自動車走行台キロである。また、この BAU フレームに対応した CO2 排出量の BAU 推計結果が表示される。



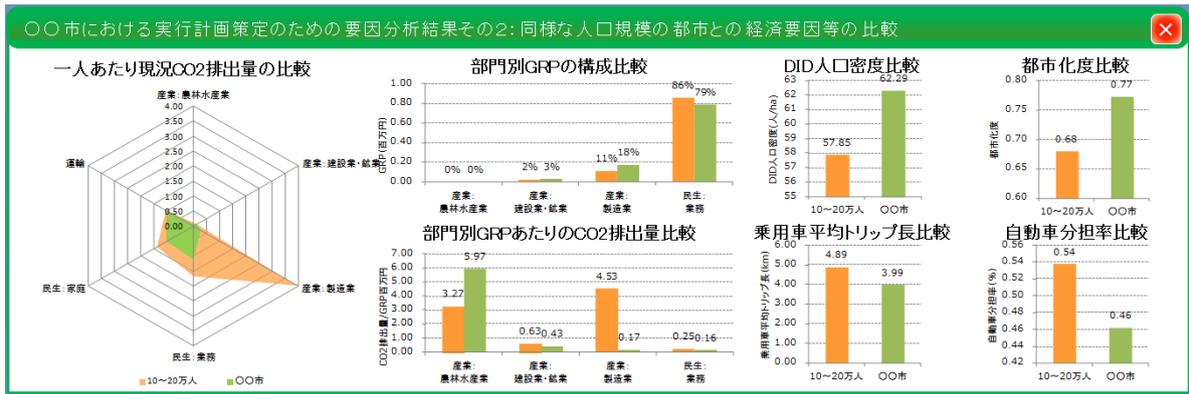


図 1 3-7 現況の CO2 排出要因分析（同様人口規模都市平均との比較）表示画面例

### 5) 将来削減目標設定

自動車からのCO2の全国削減目標を達成する場合の削減費用が最小となる市町村別のCO2排出削減量を表示する。なお、ここでは、暫定的に前述の市町村別CO2排出量およびCO2排出削減ポテンシャルの推計結果を用い、2030年で自動車からのCO2排出量削減目標を30.4%とした場合の結果を表示している。

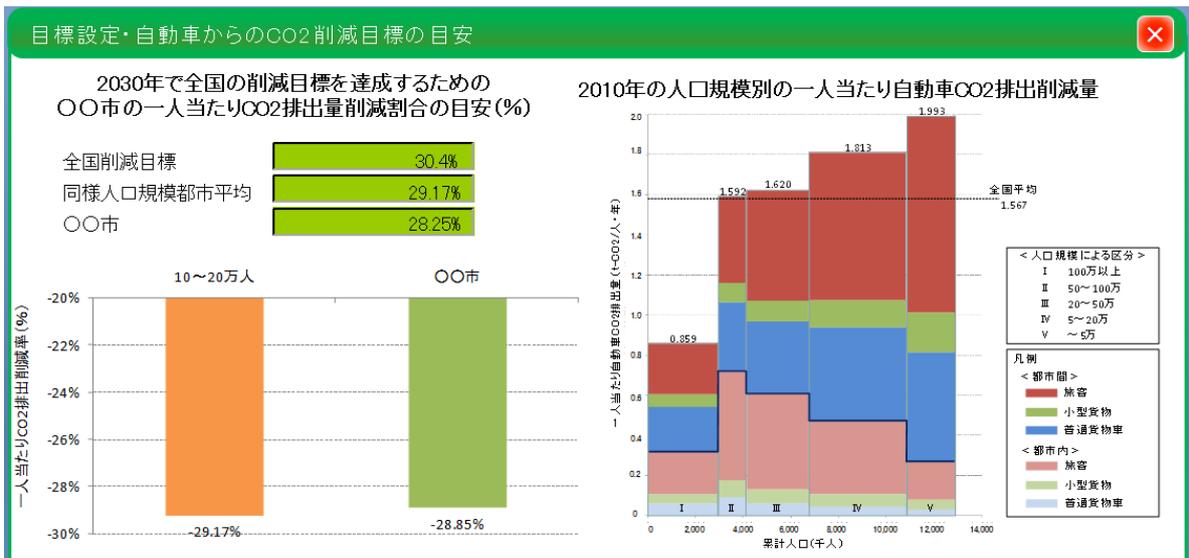


図 1 3-8 将来 CO2 削減目標の目安（削減割当て）表示画面例

## 1 3-4 結論

### (1) まとめ

#### 1) CO2 排出要因分析の分析項目検討

本研究における要因分析手法は、我が国の都市圏を横断的に比較して各都市圏の特徴を導出すること、そして、各都市圏の行政や市民が他都市圏との違いを把握して施策検討を行うための基礎資料としての分析手法である。この要因分析手法の検討として、経済面、土地利用面、交通面からの

分析項目の検討と整理を行った。

## 2) 実行計画策定のための要因分析・フレーム提示のシステム・ツール化

地方公共団体における実行計画策定の大きな障壁となっていた CO2 排出要因分析作業や、人口分布や経済の自治体単位の将来の見通し (BAU) の把握などについて、担当者の作業負担を軽減しつつ、全国で統合的なフレームを提示するため要因分析とフレーム提示のための分析とシステム・ツールの構築を行った。

これにより、自治体と設定された将来シナリオを選択すれば、CO2 排出要因分析結果や将来の経済・人口等のフレーム、CO2 削減目標の目安等を自動的に表示することが可能である。

### (2) 行政ニーズとの関連及び環境政策への貢献

今後、現在実行計画未策定の自治体および、現時点では策定義務のない特例市未満の自治体の実行計画策定を促進していくためには要因分析及び将来の見通し (BAU) の把握等の作業負担を軽減していくことが重要であり、上記のようなシステム・ツールによってそれが可能となると考える。

さらに、各自治体において策定された実行計画の人口・経済等の将来フレームおよび自治体独自に定める低炭素化施策の国の削減目標との整合性を担保するため、全国で統合的なフレームを提示することが可能となる。

なお、本研究のシステム・ツールは CO2 排出要因分析と BAU フレームの提示ツールであり、当該自治体の施策効果を表示する仕様にはなっていない。実行計画策定のためのシステム・ツールとしてのさらなる高度化のためには、自治体単位の施策効果を表示するシステム構築が残された課題となった。

## 14. 結論（全体とりまとめ）

### 14-1 研究成果による政策インプリケーション

構築したデータベース及び統合モデルを用いた現実的な評価（シミュレーション）から得られた政策インプリケーションを以下にまとめる。

#### （1）運輸部門における人口規模別のCO<sub>2</sub>排出量

現況の市町村別の一人当たりCO<sub>2</sub>排出量は、人口5万人以下の市町村が最も大きく、人口規模が大きくなるにつれ減少する。

#### （2）ガソリン税導入による人口規模別のCO<sub>2</sub>削減効果効果

ガソリン税導入によりCO<sub>2</sub>排出量を仮に約30%削減させる場合、東京、大阪などの大都市部と地方部の双方で効果が高い。特に乗用車は、人口10万人以下の市町村で、削減率が40%以上となるところが多い。

大都市部では公共交通機関が高密度に整備されているものの、公共交通の利便性の向上によって更なる転換を図る可能性があることを示唆している。一方、地方部では一般に自動車利用が高く代替交通手段が乏しいため自動車からの転換を促すことは困難であるが、ガソリン税導入によって外出回数や目的地選択などの行動に関する転換が起こる可能性があることを示唆している。

#### （3）都市類型ごとに有効な低炭素化施策の評価

低炭素化施策は、拡散型都市構造、集約型都市構造、公共交通の整備度等の都市類型ごとに有効な施策が異なる。拡散型都市は主に自転車利用環境整備や市街化区域外の居住人口制限、集約型都市では公共交通の利便性増進の施策が有効である。

#### （4）大規模交通インフラ整備によるCO<sub>2</sub>排出量と経済効果への影響評価

リニア中央新幹線整備によってCO<sub>2</sub>排出量は全国で約4.7%減少する。一方、整備による経済効果は帰着便益で約4,042億円である。リニア中央新幹線は既存新幹線と接続しているため、東北から九州まで既存新幹線のルート上に広く経済効果が表れる。

3環状道路整備によってCO<sub>2</sub>排出量は全国で約0.1%増加する。一方、整備による経済効果は帰着便益で6,627億円である。3環状道路のルート沿を中心に概ね正の便益が表れるが、東京湾岸沿いの一部では混雑発生により、負の便益が現れるゾーンが存在する。

### 14-2 統合モデルの活用に向けて

施策投入による市町村別のCO<sub>2</sub>排出量と経済への影響は、その施策の種類や市町村の人口規模・都市構造等の特性に応じて、影響の大きさや正の影響、負の影響まで様々であるが、統合モデルによってこれらの影響を詳細に推計することが可能である。

本研究で目指した、自治体が策定する実行計画等のCO<sub>2</sub>削減目標と国の削減目標との整合性の評価や低炭素化施策効果の環境・経済・社会等の多様な側面からの定量的・空間的把握等に加えて、以下

のような活用方法が考えられる。

#### (1) 複数施策の組合せの検討

前述のシミュレーション結果の通り、ある低炭素化施策の導入によって利益を得る市町村だけでなく、打撃を受ける市町村が存在する可能性もある。これらの市町村に対してどのような補助を行うべきかという観点から、複数施策を組み合わせ、その影響やどの程度の補助が正当化されうるかといった検討に対しても、本研究の統合モデルは有効である。

#### (2) 環境・経済・社会等の側面から最適な都市構造の検討

都道府県レベルでこの統合モデルを用いることにより、どこにどの程度の居住地・都市機能・産業等を集約させれば、環境・経済・社会等の多様な側面から最適な配置が可能か、といった都市構造の検討が可能である。

このように、本研究の統合モデルの可能性は様々であり、施策効果の環境・経済・社会等の多様な側面からの定量的・空間的把握という特徴を活用した現実的な施策評価に広く資するものと考えられる。

### Ⅲ. 添付資料

#### 15. 参考文献

道路投資の評価に関する指針検討委員会編, 「道路投資の評価に関する指針(案)」, 1998.

経済産業省, 「地域経済構造分析の手引き」, 2005.

上田孝行編著, 「Excelで学ぶ地域・都市経済分析」, コロナ社, 2010.

日本政策投資銀行, 「東日本大震災資本ストック被害金額推計」, 2011.

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CO<sub>2</sub>排出量の推計手法に関する比較研究」, 環境システム論文集, Vol.32, pp.235-242, 2004.

J. Bröcker, “Operational spatial computable general equilibrium modeling”, The Annals of Regional Science, Vol.32, No.3, pp.367-387, 1998.

PROPOLIS, “PROPOLIS final report”, 2004.

([http://www.ltcon.fi/propolis/propolis\\_final\\_report.pdf](http://www.ltcon.fi/propolis/propolis_final_report.pdf))

Monzon, Ndiaye, Pfaffenbichler and Wegener, “Evaluation of TRANS-TOOLS” (Report for the European Commission Joint Research Center), 2010.

([ftp://ftp.jrc.es/users/transtools/public/Documentation/TT\\_Review\\_v7a\\_260210.pdf](ftp://ftp.jrc.es/users/transtools/public/Documentation/TT_Review_v7a_260210.pdf))

#### 16. 参考資料

##### 【査読付き論文】

小池淳司・佐々木剛・佐々木康朗・山崎清, 「市区町村単位のSCGEモデルを用いた東日本大震災の経済被害の空間的把握」 土木学会論文集D3, Vol.70, No.5, pp.I\_151-I\_160, 2014.

小池淳司・佐々木康朗・山崎清, 「全国の詳細な地域分割に基づく交通データ及び需要予測モデルを用いた効率的な地域別CO<sub>2</sub>削減割当ての検討」, 運輸政策研究, Vol.17, No.2, pp.2-12, 2014.

# 全国の詳細な地域分割に基づく交通データ及び需要予測モデルを用いた効率的な地域別CO<sub>2</sub>削減割当ての検討

本研究では、全国の詳細な地域分割に基づく交通データ及び需要予測モデルを構築する。これを用いて、現在の国土構造・交通体系のもとで効果的なCO<sub>2</sub>排出削減を推進するための地域別削減割当てについて検討する。モデル分析では、自動車燃料課税の強化を想定して、CO<sub>2</sub>削減効果を地域別に計測し、さらにその結果が全国の排出削減の総費用最小化を達成するという性質に着目して、経済効率的な地域別CO<sub>2</sub>削減割当てを決定する一つの考え方を提示する。本分析の設定条件のもとでは、課税による1人あたりCO<sub>2</sub>削減量は、都市部よりも地方部で大きくなるが、削減率で見ると都市部の方が若干大きくなることが示された。

キーワード | 交通需要予測, 地球温暖化, 自動車燃料課税, CO<sub>2</sub>削減割当て, 限界削減費用

**小池 淳司**  
KOIKE, Atsushi

博(工) 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻教授

**佐々木 康朗**  
SASAKI, Yasuo

博(工) 北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科助教  
前 株式会社価値総合研究所パブリックコンサルティング事業部研究員

**山崎 清**  
YAMASAKI, Kiyoshi

博(工) 株式会社価値総合研究所パブリックコンサルティング事業部主席研究員

## 1 はじめに

本研究では、都市内及び都市間の両方の交通を網羅した、全国の詳細な地域分割（道路交通センサスゾーン単位）に基づく交通需要予測モデルを構築する。これを用いて、現在の国土構造・交通体系のもとで効果的なCO<sub>2</sub>排出削減を推進するための地域別（地方自治体単位）の削減割当てについて検討する。具体的には、地球温暖化対策として自動車燃料課税の強化を想定して、CO<sub>2</sub>削減効果を地域別に計測する。さらに、その結果が全国の排出削減の総費用最小化を達成するという性質に着目し、この意味で経済効率的な地域別CO<sub>2</sub>削減割当てを決定する一つの考え方を提示する。

本論文の背景にある社会問題は、地球温暖化である。現時点（2013年11月時点）のわが国の方針としては、COP16でのカンクン合意をふまえて2020年の排出削減目標達成に向けて引き続き積極的に地球温暖化対策に取り組むこと、さらに長期的には2050年に80%の温室効果ガス削減を目指すことが確認されている<sup>1)</sup>。本研究では、運輸部門のCO<sub>2</sub>排出、特にその大半を占める自動車からのCO<sub>2</sub>排出に着目する。2011年のわが国のCO<sub>2</sub>排出量のうち運輸部門は18.6%を占め、さらにそのうち87.8%が自動車からの排出によるものである<sup>2)</sup>。本論文では特に断らない限り、CO<sub>2</sub>といった場合に、自動車利用により発生するものを指す。

自動車からのCO<sub>2</sub>排出削減に関して、本研究の貢献は大きく2点ある。1点目は、地球温暖化対策として自動車燃

料課税を強化した場合のCO<sub>2</sub>削減効果を定量的に計測することである<sup>注1)</sup>（以下、この追加的な課税を単に「(自動車)燃料課税」という）。これは、化石燃料に課税することでその需要を抑制し、CO<sub>2</sub>排出を抑える経済的手法であり、一般に炭素税と呼ばれる。1990年代から欧州のいくつかの国で実施されていたが、わが国では、2012年10月より「地球温暖化対策のための税」として、CO<sub>2</sub>排出量に比例して、従来の石油石炭税に上乗せして課税する形で導入された。税は直接的には燃料を供給する企業に課せられるが、消費者価格に転嫁されることになる。本研究では、価格メカニズムを含む人々の交通行動を明示したモデルを構築することで、燃料課税によるCO<sub>2</sub>削減効果が定量的に計測可能であることを示し、実際に数値計算を行う。

本研究の貢献の2点目として、その結果をもとに、社会全体の経済効率性の観点から、地域別の削減割当ての検討を行う。ここで削減割当てとは、温暖化対策の実効性を高めるために、様々な主体（地域別や部門別）に達成すべき排出削減量を割り当てる仕組みである。わが国では導入されていないが<sup>注2)</sup>、海外では、部門別の削減目標を明記した英国の炭素削減計画（Carbon Budget）<sup>3)</sup>や、都市圏別の削減割当てを明記した米国カリフォルニア州のSB375（気候保護法）等の事例がある。削減割当てにおける目標値の設定に関しては、確立された方法はなく、様々な可能性が考えられる。本論文では、経済学的には化石燃料への課税が社会全体の費用を最小化するCO<sub>2</sub>排出削減を導く（排出量に比例して課税される場合）という性質に着目して、わが国全体の削減目標を経済効率的に達成するような地

地域別の削減割当てのあり方について検討を行う。また、実際に得られた分析結果に基づいて、この考え方のもとでの削減割当てを示し、地域別にどのような特徴が見られるかを考察する。

分析結果の政策上の活用の可能性については、以下の通りである。現在、わが国全体のCO<sub>2</sub>排出削減目標に関して、具体的にどの主体がどれだけの責任を負うべきかは明確にされていない。地域単位でのCO<sub>2</sub>排出削減目標に関しては、各地方自治体が地球温暖化対策地方公共団体実行計画において設定するものとされているが、それぞれ独自に設定されるため、全国の削減目標との整合は担保されていない。このため、全国の目標達成のために、より実効性を高める仕組みとして、地域別の削減割当ての設定が有効との意見がある<sup>4)</sup>。前述の海外の導入事例では、割当て分の削減を達成できなかった場合に罰則規定を設けている例もあるが、わが国でもそのような厳格な制度を導入するかはさておき、少なくとも各地方自治体が削減目標設定の際の拠り所とすべき目安となる数値を国が示す必要性は高いと考えられる。本研究は、この数値を決定する際の一つの考え方とそのため方法を提案するものである。なお、本論文の分析では削減割当てを算出する際に燃料課税を想定した試算を行うが、これは、実際に各地域に割り当てられた目標を達成する手段を国の政策である燃料課税に限定することを要請するものではない(2.4節参照)。

本研究に関連する既存研究として、自動車燃料への課税に関しては、最適な税率に関する理論・実証研究<sup>5)</sup>や課税によるCO<sub>2</sub>削減効果の試算例<sup>6)</sup>はあるが、いずれも一国全体を対象とし(地域を区分しない)、エネルギー消費に係る価格弾性値等をもとに分析している。これに対して本研究では、人々の交通行動を明示したモデルを構築することでより精緻な計算を行うとともに、細かく地域を分割することで、地域別のCO<sub>2</sub>削減効果を算出する。また、交通需要予測モデルに関しては、従来は、パーソントリップ調査のように対象とする都市(圏)を限定したものか、航空需要予測<sup>7)</sup>のように全国を対象としつつもゾーニングが粗いため都市内の交通は捉えられないもののみであった。これに対して本研究では、全国のCO<sub>2</sub>削減目標と地域別のCO<sub>2</sub>削減割当てを統合的に捉えるという目的から、全国を対象とし、かつ十分に細かなゾーニングのもと、都市内及び都市間の両方の交通を網羅したモデルを構築する。地方公共団体実行計画が地方自治体単位で策定されることから、少なくとも市区町村レベルでアウトプットを得られるモデルが必要であり、さらに自治体内の移動も捉えるため、本研究では、道路交通センサスBゾーン単位(一般に市区町村をさらに複数に分割)でゾーン分割を定義する。

論文の構成は以下の通りである。2章では、地域別CO<sub>2</sub>

削減割当てに関して、燃料課税と関連付けることの経済学的な意味と、本分析における応用について整理する。3章では分析に用いるモデルについて、その構造やデータ作成について述べる。4章では、実際にモデルを用いて燃料課税の効果を分析し、その結果に基づき削減割当てを設定する際の地域別の傾向等について考察する。最後に5章で、結論と今後の課題にふれる。

## 2——地域別CO<sub>2</sub>削減割当ての考え方と理論的背景

### 2.1 「効率的な」削減割当て

地域別の削減割当てを検討する際に、困難となる問題の一つが、実際に各地域に割り当てる削減量の決め方である。割り当ての設定基準には、様々な考え方があり得るためである。例えば、地域間の公平性を重視する立場からは、全ての地域に一律の削減率を課すことや、人口1人当たりの排出量を全国一律にすることを目指すような基準が考えられる。しかし、これらの場合には、CO<sub>2</sub>排出削減の費用構造に関する地域間の違い(代替交通手段の整備状況等)を考慮していないため、社会全体での効率性が担保されない。すなわち、全国で同じ削減量を達成するのに、より少ない費用で行える可能性がある。限界削減費用(追加的な1単位のCO<sub>2</sub>排出削減に要する費用)に地域差がある場合、追加的な排出削減は限界削減費用のより小さい地域で行うことが、社会全体では効率的なためである。

本研究では、経済効率性の観点から、全国の削減目標を最小の費用で達成するような削減割当てについて検討する。これは、全ての地域で限界削減費用が等しくなるよう各地域に削減量を配分することと同じである<sup>注3)</sup>。このことは、直感的には上の議論からも明らかであるが、以下の費用最小化問題より導かれる<sup>8)</sup>。すなわち、1, ..., nのCO<sub>2</sub>排出主体が存在する社会において、各主体の排出削減量を $y_i$ 、そのための費用を $A_i(y_i)$ としたとき、社会全体の削減目標が $\bar{Y}$ であるならば、これを達成するための社会全体の費用最小化問題は以下のように定式化できる。

$$\begin{aligned} \min \sum_{i=1}^n A_i(y_i) \\ \text{s.t.} \sum_{i=1}^n y_i = \bar{Y} \end{aligned} \quad (1)$$

この問題のラグランジュアンは、

$$L = \sum_{i=1}^n A_i(y_i) + \lambda \left[ \sum_{i=1}^n y_i - \bar{Y} \right] \quad (2)$$

となるから、一階の条件は、

$$\frac{dA_i(y_i)}{dy_i} = \lambda, \quad \forall i \quad (3)$$

となる。この式の左辺は主体iの限界削減費用であるから、

総費用最小化のためには、全ての主体の限界削減費用が等しくなることが必要となることを意味する。

## 2.2 燃料課税と経済効率性

自動車燃料への課税が、単位排出量当たり一律になされる場合には、上記の意味での経済効率性が達成される。各主体は、自らの限界削減費用が課税後のCO<sub>2</sub>排出の価格（＝課税後の単位量あたり燃料価格であり、全ての主体にとって等しい）と等しくなるまでCO<sub>2</sub>排出量を減らすためである。すなわち、課税により自動車利用の価格が上昇するのを受けて、各主体は上記のCO<sub>2</sub>排出削減に相当する分の自動車利用を減少させる。この課税分は、いわゆるピグー税に相当する<sup>注4)</sup>。

このことを、例としてAとBの2主体からなる社会で図示したのが図一である。図中には、各主体の（自動車からの）CO<sub>2</sub>排出に関する限界削減費用曲線が示されている。主体Aに着目すると、現状の自動車利用の価格（CO<sub>2</sub>排出量当たり） $p$ のもとでは、限界削減費用曲線と $p$ を通る水平線の交点の量、すなわちO<sub>A</sub>BのCO<sub>2</sub>排出に相当する分、自動車を利用する。これより少ない排出量では、削減費用が排出のための費用を上回るので排出量を増やし、逆にこれより多い排出量では、削減費用の方が小さくなるので排出量を減らすためである。課税により価格が $p'$ に上昇すると、主体Aは自動車利用を減らし、O<sub>A</sub>A'までCO<sub>2</sub>排出を減少させる。このときの減少幅A'B'が主体AのCO<sub>2</sub>削減量である。他方、主体Bの削減量は同様にしてCDとなるので、社会全体の削減量はA'B'+CDである。したがって、社会全体の削減量がA'B'+CDであるとき、主体AとBがそれぞれA'B', CDだけ削減するのが経済的となる。

一般には、課税による全国のCO<sub>2</sub>削減量が $Y$ であったとすると、それだけのCO<sub>2</sub>排出削減のためには、このとき各主体が削減した分だけ、それぞれ排出量を減らすことが最も効率的である。ここで、限界削減費用曲線は主体ごとに異なるが、これはCO<sub>2</sub>排出削減のしやすさの違いを表している。曲線の傾きが急であるほど、排出削減量の増加に伴

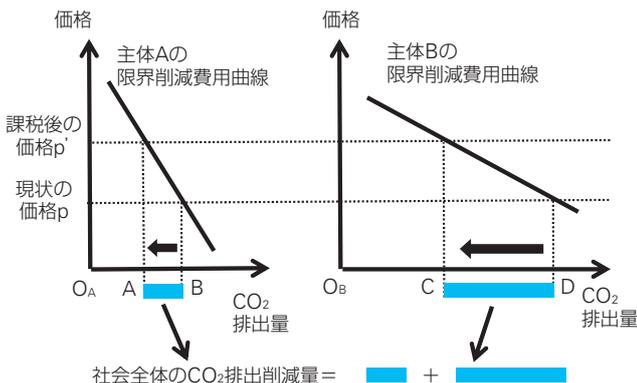
う削減費用の上昇の程度が大きくなり、追加的な削減により大きな費用を要することを意味する。例えば、公共交通等の他の交通手段への転換が比較的しやすい場合や、目的地選択の候補が多く近距離の移動への切り替えが可能な場合には、追加的な排出削減のための費用は比較的小さく、曲線の傾きは緩くなる。一般には個々の主体の限界便益曲線を知ることはできないが、このような課税方式の利点は、それらの情報がなくても、個人が主体的に行動した結果、社会全体で効率的な削減が達成できることにある。

## 2.3 本分析への応用

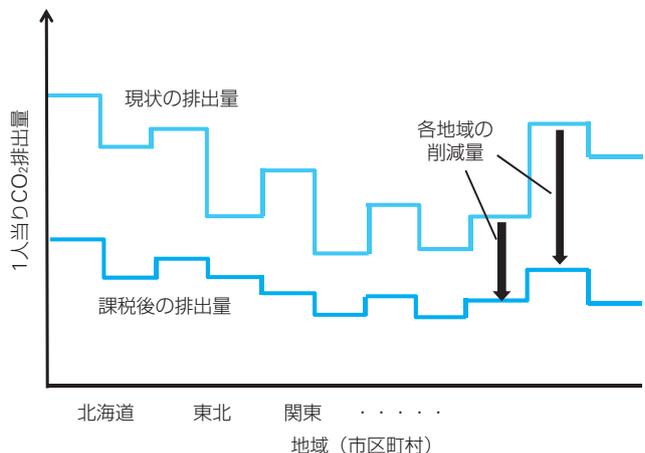
本分析では、上記の考え方を応用して、全国を対象とした交通需要予測モデルにおいて自動車利用の交通費用を一律に増加（燃料課税を想定）させた際の各地域（市区町村）のCO<sub>2</sub>削減量を求め、その値をこのときの全国の総削減量を達成するための地域別割当てと考える。上記の議論において主体を地域と捉えると、全ての地域 $i$ にとって、課税によるCO<sub>2</sub>削減量 $y_i$ が、全国で $Y$ に相当するCO<sub>2</sub>削減を達成するための効率的な削減割当てとなるためである。イメージとしては図二のように、交通費用の増加により地域別のCO<sub>2</sub>削減量が求まる。このとき、限界削減費用は地域によって異なるため、削減量は地域別に異なるが、これを（全国の削減量が $Y$ のときの）各地域の削減割当てとする。

なお、このときの全国の排出削減量 $Y$ はモデル実行の結果判明するため、ある決まった削減目標値 $\bar{Y}$ を達成するための削減割当ての検討は、探索的に行う必要がある。そのための分析手順は以下のようになる（図三）。

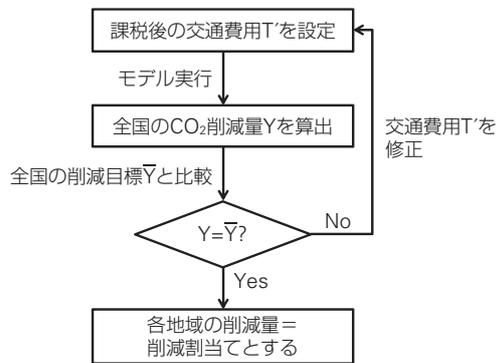
まず、現状の自動車の交通費用 $T$ をもとに、燃料課税を想定して、課税後の交通費用 $T'$ を設定する（ここで、 $T$ 及び $T'$ は全てのODの交通費用（4.2節の $t_{ij}$ 及び $t'_{ij}$ に相当）を要素とするベクトル）。モデルを実行し、交通費用 $T'$ のもとでの全国のCO<sub>2</sub>削減量 $Y$ が得られる。 $Y=\bar{Y}$ であれば、この



■図一 交通費用加算時のCO<sub>2</sub>排出削減



■図二 地域別のCO<sub>2</sub>排出削減のイメージ



■図—3 削減目標を達成する削減割当ての検討フロー

ときの各地域の削減量を削減割当てとすればよい。そうでなければ、交通費用 $T$ を修正して( $Y < \bar{Y}$ であれば課税を強化する方向に、 $Y > \bar{Y}$ であれば緩和する方向に)、再度モデルを実行する。このプロセスを、 $Y = \bar{Y}$ となるまで繰り返す。

本論文では、全国の削減目標 $\bar{Y}$ は明示せず、ある交通費用 $T$ のもとで、全国の削減量 $Y$ およびこのときの地域別の削減量 $y_i$ を求めるプロセスを示す。また、この $y_i$ は仮に全国の削減目標が $Y$ に等しいときの削減割当てに相当するので、その場合の地域別の割当ての傾向について考察する。

## 2.4 分析の前提、留意事項

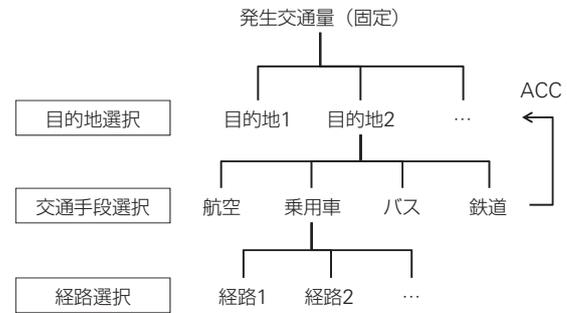
本研究では、冒頭に述べたように「現在の国土構造・交通体系のもとで」分析を行う。すなわち、土地利用条件（人口分布等）や交通インフラ等が現状のまま変化しないことを前提としている。また、交通費用の変化に伴う目的地の変更や他交通手段への転換（旅客のみ）を考慮するが、自動車の燃費改善（消費者による低燃費車の選択、自動車メーカーによるエネルギー効率向上等）は考慮しない。したがって、ここでの分析結果の解釈としては、これらの条件を固定とすることがある程度妥当な期間（目安として数年～10年程度の短中期）での削減割当てといえる<sup>注5)</sup>。以下で言及する「効率性」は、このような前提に基づくものである（これらの仮定の緩和については5.2.3項参照）。

また、本研究では、2.3節に示したように燃料課税を想定して地域別の削減割当てを算出するが、これは、実際に割り当てられた目標を達成する手段を燃料課税に限定することを要請するものではない。あくまで、各地域（自治体）が応分の費用を負担して排出削減に取り組むことが、総費用最小化の観点からは必要であるという示唆である。

## 3——本分析で用いるモデル

### 3.1 モデルの概要

本研究では、都市内及び都市間の両方の交通を網羅し、全国を対象とする交通需要予測モデルを構築する（旅客交通と貨物交通の両方を考慮）。価格メカニズムを含む



注：ACC=アクセシビリティ指標。

■図—4 モデル構造（旅客）

■表—1 距離帯別の利用可能交通手段

	航空	乗用車	バス	鉄道
100km未満		○	○	○
100km～300km		○	○	○
300km～1,000km	○	○	○	○
1,000km以上	○			○

注：○が利用可能な交通手段。

交通行動を明示し、燃料課税の効果が評価可能なモデルである。なお、モデルの構築年次は2005年である。本章では、モデルの構造やデータ作成について述べる。

#### 3.1.1 旅客

旅客のモデル構造を図—4に示す。ゾーン別の発生交通量は固定とし、目的地選択、交通手段選択、経路選択を扱う。旅行目的は「通勤・通学」「私事」「業務」の3つに区分し、それぞれモデルを構築する。また、距離帯についても、「100km未満」「100km～300km」「300km～1,000km」「1,000km以上」の4つに区分する。交通手段は、「航空」「乗用車」「バス」「鉄道」の4つを考慮するが、各距離帯で利用可能な交通手段が異なるものとし、表—1の通り設定する。本研究では、CO<sub>2</sub>排出削減に結び付く自動車からの主な転換先は、都市内のごく短距離のトリップを除いて、鉄道やバス、航空であると考え、徒歩や自転車は考慮しない。

目的地選択および交通手段選択は、二段階ネスティッドロジットモデルとして一体的に扱う。すなわち、交通手段選択において算出される各ODのアクセシビリティ指標（ログサム効用）が、目的地選択に反映される。交通手段選択モデルの説明変数は一般化時間（所要時間に運賃・料金を時間換算して加算）及び自動車保有台数を考慮する。目的地選択モデルの説明変数は、アクセシビリティ指標と集客力指標（ここでは目的地の従業者数で、モデルの説明力を高めるため導入）である。本研究では、集客力指標の変化は考慮しないので、アクセシビリティ指標の変化のみが目的地選択に反映される<sup>注6)</sup>。

#### 3.1.2 貨物

貨物のモデル構造を図—5に示す。交通手段は、データ制約により（自動車以外の貨物交通については道路交通