

人口分布からみた乗用車CO₂排出量の分析 —メッシュの周辺人口集積度に基づいて—

陳 鶴¹・有賀 敏典²・松橋 啓介³

¹正会員 国立環境研究所社会環境システム研究センター(〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

E-mail: chen.he@nies.go.jp

²正会員 国立環境研究所社会環境システム研究センター(〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

E-mail: ariga.toshinori@nies.go.jp

³正会員 国立環境研究所社会環境システム研究センター(〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

E-mail: matuhasi@nies.go.jp

低炭素化を進める上で、都市内の人口分布の集約による乗用車CO₂排出量の削減効果が期待されている。そのため、地域の特徴を反映することのできる乗用車CO₂排出量の評価手法が重要である。本研究では、3次メッシュ人口規模とメッシュ周辺人口集積度を考慮した地域タイプに基づき、一人あたり乗用車CO₂排出量を推計する方法を検討した。その結果、地域タイプによる算出は、市街地全体の特徴を把握した推計が可能であることを示した。人口規模5千人から1万人になる際に、排出量が40%減少し、DID地域における乗用車CO₂排出量の抑制効果が顕著であることを明らかにした。人口が少ない地域では、5×5メッシュの範囲内に500人を集めると、乗用車CO₂排出量を約60%削減できる可能性のあることを示した。

Key Words : low carbon, transport sector, regional population distribution, mesh population census

1 はじめに

近年、温暖化など地球環境問題が深刻化しており、世界的な取り組みが活発に行われてきている。2015年第21回気候変動枠組条約締約国会議が開催され、日本は2050年までにCO₂排出量を80%削減する約束草案を提出した¹⁾。また、「地球温暖化対策計画」²⁾を策定し、「地方公共団体実行計画(区域施策編)策定・実施マニュアル」³⁾や「低炭素まちづくり実践ハンドブック」⁴⁾などに基づいて、都道府県及び市町村は低炭素政策の策定を進めている。

CO₂排出量のうち運輸部門が17.4%を占めており⁵⁾、運輸部門からのCO₂排出量の削減が期待されている。このような状況の中で、人口・施設を駅などに集約するコンパクトシティという都市構造が乗用車CO₂排出量削減にもっとも有効な方策と期待されている。つまり、都市の総人口が同じでも、人口分布が異なることによって、環境に異なる影響を及ぼしており、乗用車CO₂排出量が少ない地域内人口分布へ誘導することが重要と考えられている。

乗用車CO₂排出量の評価は、主にマクロ統計データから保有台数等による按分する計算方法と、個別データから積み上げ計算する方法がある。積み上げ方法は、推計結果に地域特性を反映しやすく、対策・施策の検討に結び易い特徴がある⁶⁾。積み上げ計算法を用いる推計例として、都市圏パーソントリップ調査(PT調査)⁷⁾、全国都市交通特性調査(全国PT調査)⁸⁾と、全国道路・街路交通情勢調査自動車起終点調査(道路交通センサスOD調査)のデータを用いた研究がある⁹⁾。OD調査のデータに基づいた計算は、調査範囲が広くサンプル数が多いことから、全国の広い範囲で多くの地域の値を得ることができる特徴を持っている⁸⁾。

また、OD調査データに基づく推計結果を用いて、メッシュ人口規模別乗用車CO₂排出量の関係を分析した研究がある¹⁰⁾。しかし、これらの研究は個別のメッシュ人口だけを考慮しており、市街地全体の状況を表現できないため、地方都市中心と大都市中心の排出量が同様になるケースが見られた。そのため、周辺メッシュとの関係などを表現できるような改善が課題である。

なお、都市全体の構造形態が乗用車CO₂排出量に与え

る影響を分析した研究⁷⁾があるが、具体的な排出量の推計はされていない。また、都市形態を対象にした研究は、多くの都市を比較対象にした研究が少なく、人口規模の小さい地域（小都市・町村）を含まれた研究も見当たらない。

そこで本研究では、全国の地域内人口分布に基づき、周辺メッシュを考慮して、乗用車 CO₂排出量を簡易に評価する手法を開発することを目的にする。まず、比較するため、最新のデータを用いて、メッシュ人口規模別一人当たり乗用車 CO₂排出量の推計を行う。また、メッシュと周辺人口集積度を考慮した地域タイプ別一人当たり乗用車 CO₂排出量の推計方法を提案する。さらに、メッシュ人口規模と地域タイプの二つ算出方法を検討し、それぞれの結果と特徴を分析する。

なお、メッシュ人口を加えて、周辺の公共交通利便性や施設数などを用いたより詳細な分類方法の検討も考えられるが、本研究では全国自治体に共通で適用できる簡易的な手法として、メッシュ人口に着目した分析を行う。

2 使用データと分析方法

(1) 使用データ

乗用車 CO₂排出量に関しては、松橋ら⁷⁾による 2010 年における全国市町村別年間乗用車 CO₂排出量の推計結果を用いる。これは道路交通センサス OD 調査（全国道路・街路交通情勢調査自動車起終点調査）をベースとし、車両が登録されている市町村別にトリップ単位の走行距離、車種、平休日などを集計し、各車種別 CO₂排出係数を乗じ、拡大係数で補正して求めたものである。車種別 CO₂排出係数は、自動車輸送統計年報¹¹⁾からの車種別の燃料消費量と走行距離の統計値と、総合エネルギー統計¹²⁾の燃料種別発熱量及び燃料種別炭素排出係数を乗じて求められている。

3 次メッシュ人口に関しては、国勢調査による、2010 年の全国 3 次メッシュ別人口データを用いる。

(2) 分析方法

本研究では、メッシュ人口の分布と乗用車 CO₂排出量の関係から、人口分布が与えられた場合の年間一人当たり乗用車 CO₂排出量を推計する回帰式を構築する。方法の比較のため、人口分布に関しては、メッシュ人口規模と、周辺人口集積度を考慮した地域タイプの二つの基準によって算出し、それぞれの推計式を構築する。その上、両方法を比較し、相違点と特徴を明らかにする。

3 地域における一人当たり乗用車 CO₂排出量の推計

(1) メッシュ人口規模別一人当たり乗用車 CO₂排出量

(a) 算出方法

メッシュ人口規模による乗用車 CO₂排出量の算出は有賀ら⁹⁾の方法を参考とする。具体的には、2 章(1)節で述べた乗用車 CO₂排出量を市町村人口で除した市町村別一人当たり乗用車 CO₂排出量を被説明変数、メッシュ人口規模別人口を説明変数とする回帰式を作成する。回帰式の各パラメータは、人口規模別の一人当たり乗用車 CO₂排出量となる。回帰式は式(1)に表す。

$$CO_{2(i,y)} = \frac{1}{P_{(i,y)}} \times \sum_{r=1}^n (CO_{2(i,r,y)} \times P_{(i,r,y)}) \quad (1)$$

CO_{2(i,y)} : y 年の市町村 i における一人当たり乗用車 CO₂排出量

CO_{2(i,r,y)} : y 年の市町村 i のメッシュ人口 r における一人当たり乗用車 CO₂排出量

P_(i,y) : y 年市町村 i における人口

P_(i,r,y) : y 年の市町村 i のメッシュ人口 r における人口

被説明変数の 2010 年市町村別一人当たり乗用車 CO₂排出量に関しては、松橋ら⁸⁾の算出結果を用いる。また、市町村の道路交通センサス OD 調査の信頼性を、母比率検定により判定し、信頼係数 95% に満たないサンプル数を持つものについては除外した。なお、本研究は 2010 年の市町村区分に統一し、札幌・東京・大阪などの政令市は「区」単位とする。その結果、857 の市町村が分析対象になる。

メッシュ人口規模に関しては、有賀ら⁹⁾が三大都市圏と地方都市の人口閾値を基に、千人未満、千人以上、3 千人以上、1 万人以上の 4 分類としたが、人口の少ない地域と人口集中地域の排出量特徴が把握できない。よって、本研究では、人口集中地域では 2 万人、1 万人及び 5 千人を閾値にした 4 分類、町村では千人及び百人を閾値にした 3 分類とする。人口規模は全部 7 分類にし、それぞれのメッシュ数シェアと人口シェアは表-1 を参照する。全体として、少人口メッシュは、総面積に占める割合は大きいですが、総人口に占める割合は小さい。

(b) 結果

以上の算出方法によって、メッシュ人口規模別の一人当たり乗用車 CO₂排出量を推計した。結果を表-1 に示す。推計したパラメータを用いて 2010 年の一人当たり乗用車 CO₂排出量の推計値と、市町村の元データの値（実際値）の対応を示す分布図を図-1 に示す。自由度調整済み決定係数と有意水準から、パラメータの構築は妥当と判断できる。

表-1の結果から人口規模が大きいほど、一人当たりの乗用車CO₂排出量は少なくなっていることがわかった。これは既往研究⁹⁾の傾向と一致している。既往研究⁹⁾の結果と合わせて見ると、1万人以下の規模に関しては、一人当たり乗用車CO₂排出量が1999年に最大値になって、1999年から2010年が徐々に減少している。1万人以上の規模に関しては、1980年から1999年に排出量の変化が少ない、2005年に以前の約半分に減少し、2010年にまた1999年前の水準に戻した。

また、人口規模千人～5千人の場合、一人当たり乗用車CO₂排出量の変化が少ないが、人口規模5千人以上になると約40%を減った。人口集中地域(DID)の一人当たりCO₂排出量が少ないことは様々な研究により証明されたが、本研究では初めて3次メッシュレベルで詳細な排出量の値を算出し、コンパクト化による乗用車CO₂排出量の削減効果を明らかにした。

(2) メッシュ周辺人口集積度を考慮した地域タイプ別一人当たり乗用車 CO₂ 排出量

本節では、メッシュだけではなく、周辺の人口集積度を考慮した地域タイプに基づき、一人当たり乗用車 CO₂ 排出量の推計を行う。

メッシュと周辺人口集積度の考え方は、セルラーオー

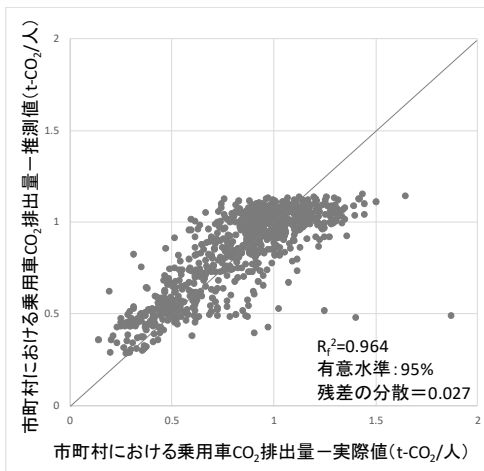


図-1 2010年一人当たり乗用車CO₂排出量の市町村の推測値と実際値（メッシュ人口規模別）

表-1 2010年メッシュ人口規模別一人当たり乗用車CO₂排出量

3次メッシュ人口規模	百人未満	百人以上	千人以上	3千人以上	5千人以上	1万人以上	2万人以上
年間一人当たり乗用車CO ₂ 排出量 (t-CO ₂)	1.27	1.12	0.99	0.95	0.60	0.41	0.23
規模別メッシュ数シェア	51.9%	34.0%	7.8%	2.7%	2.4%	1.1%	0.1%
規模別人口シェア	2.2%	16.2%	19.2%	15.0%	23.8%	19.9%	3.7%

トマタ (Cellular Automata, 以下 CA) を参考にした。CAは格子状のセルを適切なルールを構築することによって、多種類の行動をシミュレーション化する手法である。都市分野でのCAの活用は、近隣の土地利用パターンとの関連性の分析¹⁵⁾¹⁶⁾や、人口¹⁵⁾・市街地¹⁶⁾の拡大変化のモデル構築研究などがある。これらの研究によって、住宅・商業・工業・自然用地などは、近隣の土地利用に影響を与えていて、その影響は2.5～3.5km以内で最大になることを示されている。

本節では、周辺メッシュとの関係を表現しようとするため、メッシュを中心にした一定の範囲内の状況を把握する。また、人口分布(住宅)はその他の土地利用と複雑な相互関係を持ちいるため、本節はメッシュ人口だけを分析対象にする。

(a) 算出方法

メッシュ地域タイプ別乗用車CO₂排出量は回帰分析による算出する。被説明変数は3章(1)節と同様に、市町村別一人当たり乗用車CO₂排出量を用いる。説明変数は地域タイプ別人口を用いる。回帰式の各パラメータは、メッシュ地域タイプ別一人当たり乗用車CO₂排出量となる。回帰式は式(2)に表す。

$$CO_{2(i,y)} = \frac{1}{P_{(i,y)}} \times \sum_{k=1}^n (CO_{2(i,k,y)} \times P_{(i,k,y)}) \quad (2)$$

CO_{2(i,k,y)}: y年の市町村iのメッシュ地域タイプkにおける一人当たり乗用車CO₂排出量

P_(i,k,y): y年の市町村iのメッシュ地域タイプkにおける人口

被説明変数に関しては、節(1)と同様に松橋ら⁸⁾の算出結果を用いる。説明変数に関しては以下のように算出する。

「地域メッシュ統計の概要」¹⁷⁾からメッシュの区分方法を把握することができる。それによって、3次メッシュを中心から四方へ、どの範囲まで拡大すると何人がいることを集計する。i×i範囲のイメージ図は図-2に示す。

どの範囲まで拡大すると何人がいることによって、メッシュ周辺の人口集積度を把握し、メッシュ地域タイプを分類する。具体的な分類のフローチャート図は図-3に示す。まず、各メッシュにおける人口は5百人（小売店・郵便局・一般診療所など基礎的なサービスが集まる人口規模¹⁸⁾）に満たしているかどうかを判断する。500人に満たしていないメッシュに対して、どの範囲まで達成できるかを算出する。その範囲に関しては、5×5範囲（車約5分内）を閾値にして2分類し、5×5以内を「集落」、5×5以外を「過疎地域」と定義する。

5百人以上のメッシュに対して、3×3の範囲内に5万人（市になる要件）に満たしているかを判断する。満たしていないメッシュに対して、5万人に達成できる範囲を計算し、5×5以内を「都市」、5×5以外を「都市郊外」と定義する。

3×3範囲内に5万人に満たしているメッシュに対して、50万人（大都市）の達成範囲を算出する。また、大都市の範囲は広いと考えられたため、5×5と7×7を閾値にして3分類し、5×5以内を「大都市中心」、7×7以内を「大都市」と7×7以外を「中都市」と定義する。以上によって、全てのメッシュを7分類にし、各分類の平均人口密度を表-2に示す。

都市郊外から大都市の地域タイプが、人口シェアは90%以上あるが、メッシュ数シェアは30%未満である。約8%の人は集落と過疎地域に広く分散している。具体

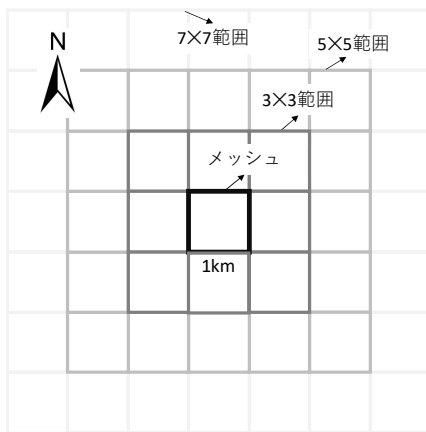


図-2 メッシュ範囲のイメージ図

的な人口とメッシュ数のシェアは表-2に示す。

(b) 結果

以上の算出方法によって、メッシュ地域タイプ別一人当たり乗用車CO₂排出量を推計した。結果を表-2に示す。推計したパラメタを用いて、2010年の一人当たり乗用車CO₂排出量の推計値と市町村の元データの値（実際値）の対応を示す分布図を図-4に示す。自由度調整済み決定係数と有意水準から、パラメタの構築は妥当と判断できる。

表-2の結果からメッシュ周辺人口集積程度が高くなるほど、一人当たりの乗用車CO₂排出量が少なくなっていることがわかる。都市（5×5範囲以内に5万人）から中都市（3×3範囲以内に5万人）まで約30%削減し、都市のコンパクトによる乗用車CO₂排出量の削減効果がわかる。また、過疎地域から集落（5×5範囲以内に5百人）まで約60%の削減があり、人口の少ない地域においても、半径2~3km以内に500人を集めると、乗用車CO₂排出量

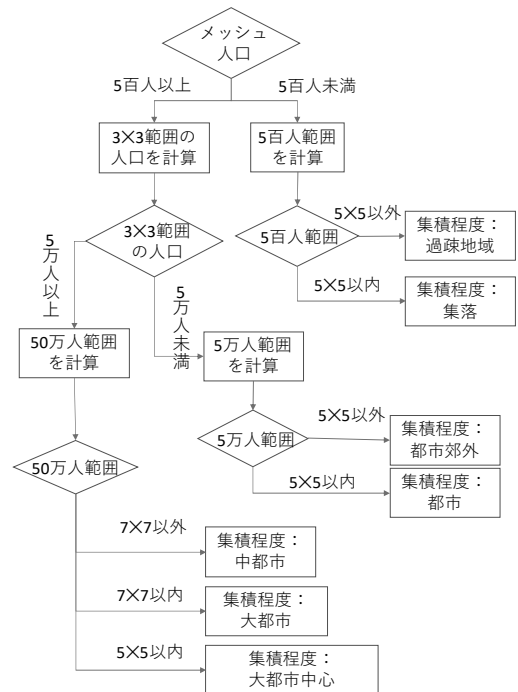


図-3 メッシュ地域タイプの分類手順

表-2 2010年メッシュ地域タイプ別一人当たり乗用車CO₂排出量

メッシュ周辺人口集積程度	過疎地域	集落	都市郊外	都市	中都市	大都市	大都市中心
年間一人当たり乗用車CO ₂ 排出量 (t-CO ₂)	2.852	1.134	0.993	0.801	0.546	0.350	0.275
集積程度別メッシュ数シェア	10.4%	60.0%	18.0%	7.4%	3.1%	1.0%	0.1%
集積程度別人口シェア	0.2%	7.7%	25.5%	25.7%	25.9%	13.7%	1.3%
平均人口密度 (人/km ₂)	20	20~5百	5百~2千	2千~5.5千	5.5千~1万	1万~2万	2万

を大幅に削減することができる。

(3) 比較

本節は上記の両方法を用いて、関東における一人当たり乗用車CO₂排出量のメッシュ分布図を描き、図-5に示す。図-5から以下のことを明らかにした。

人口規模に基づいた方法（方法1）は、個別のメッシュ人口によって算出しているため、一人当たり乗用車CO₂排出量の分布が点になっており、隣接メッシュの排出量の差が大きいケースが沢山見られている。一方、メッシュ地域タイプに基づいた方法（方法2）は、周辺の人口を踏まえて算出しているため、一人当たり乗用車CO₂排出量の分布は面になっており、都市中心から郊外へどんどん増加している傾向を示している。

方法2は個別のメッシュより、市街地全体の特徴を表している。例えば、方法1によって、千葉県松戸市においては、東京都の主な地域と同じに、2010年に一人当たり乗用車CO₂排出量は0.41tになるメッシュが多数存在している。方法2によって、東京都は主に大都市と大都市中心の地域タイプであるが、松戸市は主に中都市の地域タイプであり、一人当たり乗用車CO₂排出量は0.1t以上の差がある。

4 おわりに

本研究では、全国の地域内人口分布に基づき、乗用車CO₂排出量を簡易的に評価する方法を構築した。メッシュ人口規模別による算出は、最新のデータに基づき、より詳細の規模区分を用いた。メッシュ地域タイプ別によ

る算出は、メッシュ周辺人口集積度を考慮した分類に基づき、市街地全体の特徴を表せるモデルを構築した。

人口規模が大きいほど、人口周辺集積度が高いほど、一人当たりの乗用車CO₂排出量が少なくなることを明らかにした。人口規模5千人以上になる際に、排出量が大幅に減少し、人口集中地域における乗用車CO₂排出量の抑制効果が顕著であることがわかった。また、人口の少ない地域においては、5×5メッシュの範囲内に500人を集めると、乗用車CO₂排出量は大幅に削減できる可能性があることを示した。人口減少地域に対して、小さな拠点などの地域対策に有益な示唆を得られた。

本研究では、人口の分布から一人当たり乗用車CO₂排出量を算出しているため、道路整備、公共交通、商業施設などの周辺環境を明示的に表現できないという限界がある。今後は、様々な周辺環境との相互作用を踏まえて、

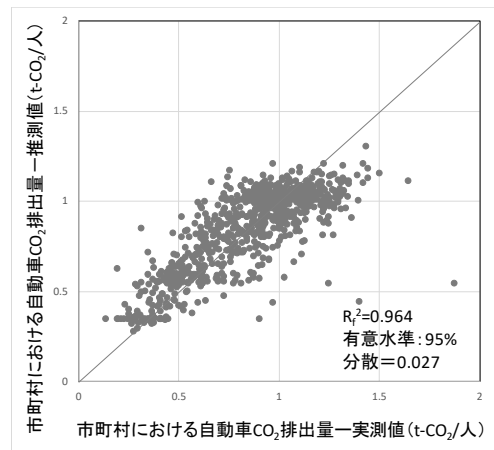
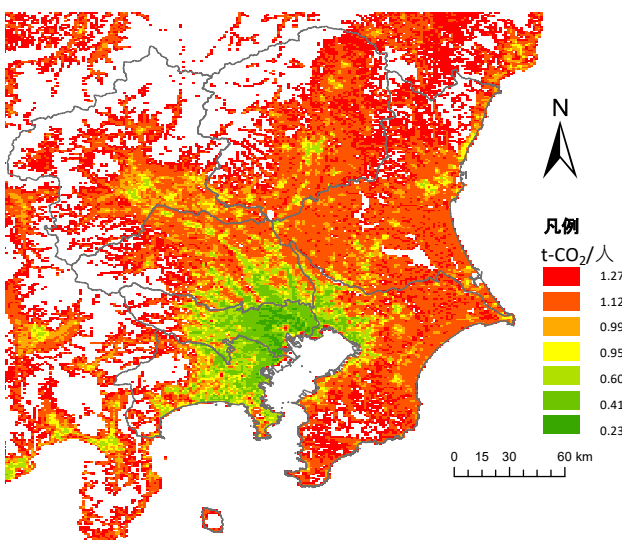
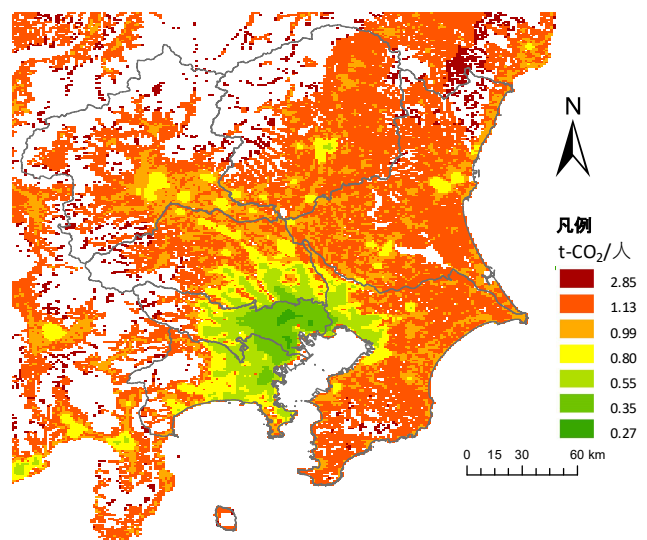


図4 2010年一人当たり乗用車CO₂排出量の市町村の推測値と実際値（メッシュ地域タイプ別）



2010年一人あたり乗用車CO₂排出量の推測
（メッシュ人口規模別）



2010年一人あたり乗用車CO₂排出量の推測
（メッシュ周辺人口集積程度別）

図5 2010年一人あたり乗用車CO₂排出量の推測

総合的に低炭素化政策の検討が期待される。

謝辞：本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(2-1711)により実施された。

参考文献

- 1) 環境省：「パリ協定を踏まえた地球温暖化対策の取組方針について」<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/cop21_paris/paris_conv-b.pdf>, 2015.
- 2) 環境省：「地球温暖化対策計画」<<http://www.env.go.jp/press/files/jp/102816.pdf>>, 2016.
- 3) 環境省：「地方公共団体実行計画(区域施策編)策定・実施マニュアル」<http://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/kuiki/data/manual_main.pdf>, 2017.
- 4) 国土交通省：「低炭素まちづくり実践ハンドブック」<<https://www.mlit.go.jp/common/001023244.pdf>>, 2013.
- 5) 国土交通省：「運輸部門における二酸化炭素排出量」<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html>
- 6) 森本章倫, 小美野智紀, 品川純一, 森田哲夫: 東京都市圏における PT データを用いた輸送エネルギー推計と都市構造に関する実証的研究, 土木計画学研究論文集 No.13, pp.361-368, 1996.
- 7) 谷口守・松中亮治・平野全宏: 都市構造からみた自動車 CO₂ 排出量の時系列分析, 都市計画論文集, No.43, pp.121-126, 2008.
- 8) 松橋啓介・米澤健一・有賀敏典: 地域別乗用車起因 CO₂ 排出量の 2010 年版の推計と考察, 都市計画論文集, 49(3):891-896, 2014.
- 9) 有賀敏典・松橋啓介: 地域内人口分布シナリオの乗用車 CO₂ 排出量推計による評価, 土木学会論文集 G(環境), 69(6):II_79-II_84, 2013.
- 10) 有賀敏典・松橋啓介: 地域内人口分布の偏在化・均一化シナリオ構築手法の開発- 国勢調査 3 次メッシュデータを用いて-, 都市計画論文集, 47(3):745-750, 2012.
- 11) 国土交通省: 「自動車輸送統計年報」<<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/06/annual/index.pdf>>, 2015.
- 12) 経済産業省・資源エネルギー庁: 「2013 年度以降適用する標準発熱量・炭素排出係数一覧表」<http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/pdf/stte_016.pdf>, 2013.
- 13) White, R., Engelen, G.: Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns, Environmental and Planning A, volume 25, pages 1175-1199, 1993.
- 14) Peter H. Verburg, Ton C.M. de Nijs, Jan Ritsema van Eck, Hans Visser, Kor de Jong: A method to analyse neighbourhood characteristics of land use patterns, Computer, Environment and Urban Systems, vol.28, 667-690, 2004.
- 15) 生田目将慎・松葉育雄: 都市成長のセルラオートマタモデルとフラクタル解析, 日本応用数理学論文誌, vol.13, NO. 4, p461-469, 2003.
- 16) 渡辺公次郎・大貝彰・五十嵐誠: セルラオートマタを用いた市街地形態変化のモデル開発, 二本建築学会計画系論文集, 第 533 号, 105-112, 2000.
- 17) 総務省統計局: 「地域メッシュ統計の概要」<<http://www.stat.go.jp/data/mesh/gaiyou.htm>>, 2017. 07 最終閲覧
- 18) 国土交通省国土政策研究会: 「国土のグランドデザイン 2050」が描くこの国の未来, 株式会社大成出版社, 2015.

(?受付)

REGIONAL PASSENGER-CAR CO₂ EMISSION - BASED ON 1KM² MESH AND THE SURROUNDING POPULATION INTEGRATION DEGREE -

He CHEN, Toshinori ARIGA, Keisuke MATSUHASHI

The CO₂ emissions are effectively reduced by the intensive population distribution. Therefore, in the process of low carbonization, it is important to evaluate the CO₂ emission of passenger vehicles by regional characteristics. In this study, method of the passenger vehicle CO₂ emissions were studied by using 1km² mesh population data. And the method considered the mesh population size, and the regional type classified by the surrounding population integration degree. The results show that: 1) According to the calculation of regional type, the characteristics of urban district can be grasped; 2) When the population increased from 5,000 to 10,000, the passenger vehicle CO₂ emissions were reduced by 40 percent, shows that the effect of CO₂ emissions in the DID area was significant; 3) In sparsely populated areas, when the population gathered 500 within the scope of mesh 5*5, the passenger vehicle CO₂ emissions reduce about 60% per people.