

# 都市の構造的な特徴が人口集約時のCO<sub>2</sub>削減効果に及ぼす影響

稲原 宏<sup>1</sup>・関本稀美<sup>1</sup>・馬場 剛<sup>2</sup>・下出大介<sup>3</sup>・石田栄作<sup>3</sup>・谷口 守<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 一般財団法人計量計画研究所 都市地域・環境部門(〒162-0845東京都新宿区市谷本村町2-9)  
E-mail: hinahara@ibs.or.jp, msekimoto@ibs.or.jp

<sup>2</sup>非会員 一般財団法人計量計画研究所 研究本部(〒162-0845東京都新宿区市谷本村町2-9)  
E-mail: tbaba@ibs.or.jp

<sup>3</sup>非会員 国土交通省 都市局 都市政策課 都市環境政策室  
E-mail: shimode-d8310@mlit.go.jp, ishida-e28m@mlit.go.jp

<sup>4</sup>正会員 筑波大学大学院 システム情報系 社会工学域 教授  
E-mail: mamoru@sk.tsukuba.ac.jp

我が国の温室効果ガス排出量は、まちづくりと関係の深い運輸部門、業務その他部門、家庭部門で半数以上を占めると指摘され、分野横断的な手法として都市構造の集約化による地球温暖化対策効果の見える化が期待されている。そのような中、立地適正化計画制度の創設により、161都市において計画が作成・公表される(H30年5月1日時点)など、自治体において都市構造の集約化に向けた具体的な計画と取組が進められるようになってきた。しかしながら、環境負荷低減の観点から、誘導区域を設定している事例は少なく、客観的な評価に基づき都市構造を集約化するためにも都市の構造的な特徴による削減効果の違いについて全国を対象に把握することが必要になる。本研究では、都市の構造的な特性に着目し、削減効果に与える影響を分析することを目的とする。

**Key Words :** *Low carbonization, Urban structure, Policy evaluation, Nation wide*

## 1. はじめに

我が国では、温室効果ガスの排出量は、まちづくりと関係の深い運輸部門、業務その他部門、家庭部門で半数以上を占めると指摘され、分野横断的な手法として都市構造の集約化による地球温暖化対策が期待されている。

都市の集約化については、地球温暖化対策の推進に関する法律(平成10年法第117号)(以下「地球温暖化対策推進法」という。)に地域施策として記載され、また、地球温暖化対策計画(H28年5月閣議決定)においても位置づけられたものの、これまで施策目標の根拠となる都市毎の具体的な集約化シナリオがないことから、その効果の定量的な評価(見える化)は困難であり、中央環境審議会総合政策部会等において「効果の見える化が必要」と指摘を受けている。

そのような中、立地適正化計画制度の創設から約4年が経過し、161都市において計画が作成・公表(H30年5月1日時点)されるなど、自治体において都市構造の集約化に向けた具体的な計画と取組が進められるようになってきている。しかしながら、集約化による環境負荷低減の

視点からの評価を踏まえ、誘導区域を設定している事例は少ない。パリ協定等を踏まえ、我が国でも2050年に向けて80%のCO<sub>2</sub>の削減を進めるためには、個別の都市レベルでの政策においても、どの程度の効果が期待できるかを把握し、都市政策に反映することができれば、国全体で得られるCO<sub>2</sub>削減効果は大きい。

これまで、都市構造とCO<sub>2</sub>排出量の関係については、1989年に初めてNewmanら<sup>1)</sup>によって人口密度とガソリン消費量の関係が図化され、都市単位で見た場合、人口密度の上昇が交通エネルギーの消費を下げることを明らかにしている。わが国では、谷口ら<sup>2)</sup>により全国67都市の分析から、市街化区域の人口密度が高いほど一人当たりのガソリン消費量が少ないことが示され、その後、越川ら<sup>3)</sup>によってCO<sub>2</sub>排出量と人口密度の関係性を経年的に分析することで、居住者一人当たりのCO<sub>2</sub>排出量の格差は経年的に拡大しており、一時点の静的な結果だけでなく、経年的な動的結果も踏まえることの重要性が指摘されている。また、森本ら<sup>4)</sup>は、全国78都市を対象とした分析から交通エネルギー消費量と土地利用との関係について言及するなど全国の都市を対象に都市構造とCO<sub>2</sub>の関

係性について現状把握が進められてきた。

また、集約化政策の評価という視点では、森本ら<sup>5)</sup>によって東京都市圏にて、藤原ら<sup>6)</sup>によって広島都市圏にて、古田ら<sup>7)</sup>によって宇都宮都市圏にて、小島<sup>8)</sup>らによって仙台都市圏にて集約化を図った場合のCO<sub>2</sub>削減効果が都市圏パーソントリップ調査の結果を用いて検討され、集約パターンによる削減効果の違いが示されてきた。しかしながら、これらの集約化政策の評価に関する研究は、エリアを限定した評価（都市圏単位）であり、全国を対象として集約化政策を実施した場合の効果を評価した研究は見受けられない。

以上のことを踏まえ、本研究では全国を対象として、集約化政策の実施により、期待されるCO<sub>2</sub>削減効果について、都市の構造的な特性が与える影響を検証することを目的とする。

本研究の特徴は、立地適正化計画という具体的な集約化に向けた計画に基づき、全国の都市で削減効果を試算し、都市の構造的な特徴と比較することで削減効果に与える要因を解明する点にある。これにより、今後、新たに立地適正化計画等を策定し、都市構造の見直しを図る際、都市の構造的な特徴を踏まえた環境負荷低減の視点からの評価を実施し、政策立案するための基礎情報を提供することができる。

## 2. 前提条件の整理

### (1) 分析対象都市

分析対象都市は、平成30年5月1日現在で立地適正化計画を公表している161都市のうち、都市機能誘導区域と居住誘導区域の両方を設定し、且つ将来の人口規模に関する具体的な目標を設定している98都市を対象とする。

### (2) 推計方法

集約前後のCO<sub>2</sub>排出量の推計は、国土交通省都市計画課が開発したCO<sub>2</sub>-Reduction Effect Simulation Tool（以下「CREST」という）を活用する。CRESTは、「低炭素まちづくり計画作成マニュアル」に記載された「道路交通センサスOD調査データを用いた算定手法」を活用し、都市構造・交通分野における低炭素化施策によるCO<sub>2</sub>削減効果を全国の市区町村単位で推計するもので、500mメッシュ単位で誘導区域を設定し、人口集約による効果を試算することが可能である。なお、CRESTは、簡便に各種施策によるCO<sub>2</sub>排出量削減効果の試算を行うことを目的とした便宜的な手法であり、ベースとなる交通量データが道路交通センサスOD調査データによるBゾーン間OD交通量を人口データで500mメッシュに按分し設定しているため、以下の点を考慮できないことに留意が必要である。

- ①自治体レベルでの政策を想定し、市域を跨いだ効果は考慮していない
- ②趨勢的な人口変化によるCO<sub>2</sub>排出量の変化は考慮していない
- ③集約化により、公共交通サービスの水準が高まり、交通手段の選択が変化する効果は考慮していない
- ④データの制約上、同一ゾーン内の交通特性は同じとなるため、市域に対してゾーンが一つの都市は都市内の交通特性の違いは考慮できない（そのため、本分析対象から除外）

### (3) 人口の集約規模の設定方法

人口の集約規模の設定は、市の総人口に対して、誘導区域内で増加する人口（以下集約人口という）の割合を集約率として設定する。集約人口は、誘導区域外の全域から同一の比率で集めるものとする。

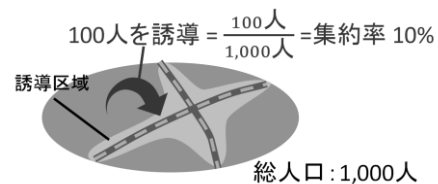


図-1 集約率の設定イメージ

その際、誘導区域内の増加量は、各都市の立地適正化計画に定められている目標値に基づき設定することとし、目標の設定状況によって以下のように集約率を定めた。

#### a) 居住誘導区域について

- ①目標値が現状の人口・人口密度維持の場合  
現況値と、トレンド（国立社会保障・人口問題研究所（以下「社人研」という）の将来推計人口）との差分を集約人口と設定した。
- ②目標値が現状よりも減るが、トレンドよりは増える場合  
目標値とトレンド（社人研の将来推計人口）との差分を集約人口と設定した。
- ③目標値が現状よりも増える場合  
目標値とトレンド（社人研の将来推計人口）との差分を集約人口と設定した。

#### b) 都市機能誘導区域について

都市機能誘導区域は人口に関する目標値が無い場合、居住誘導区域と同一の目標値を設定した。

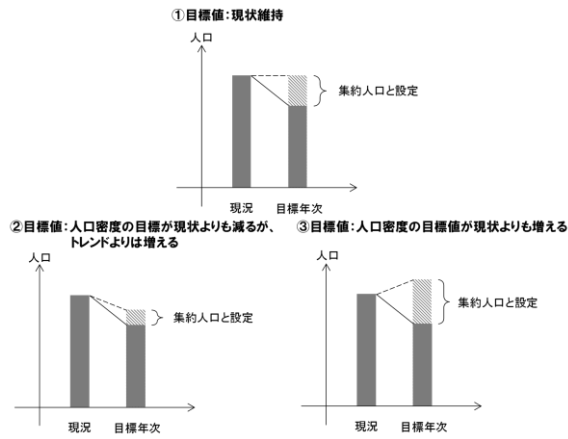


図-2 立地適正化計画の目標年次と集約人口設定の関係性

### 3. 立地適正化計画に基づき集約化した場合のCO<sub>2</sub>削減効果

立地適正化計画の誘導区域内が目標値を達成した場合

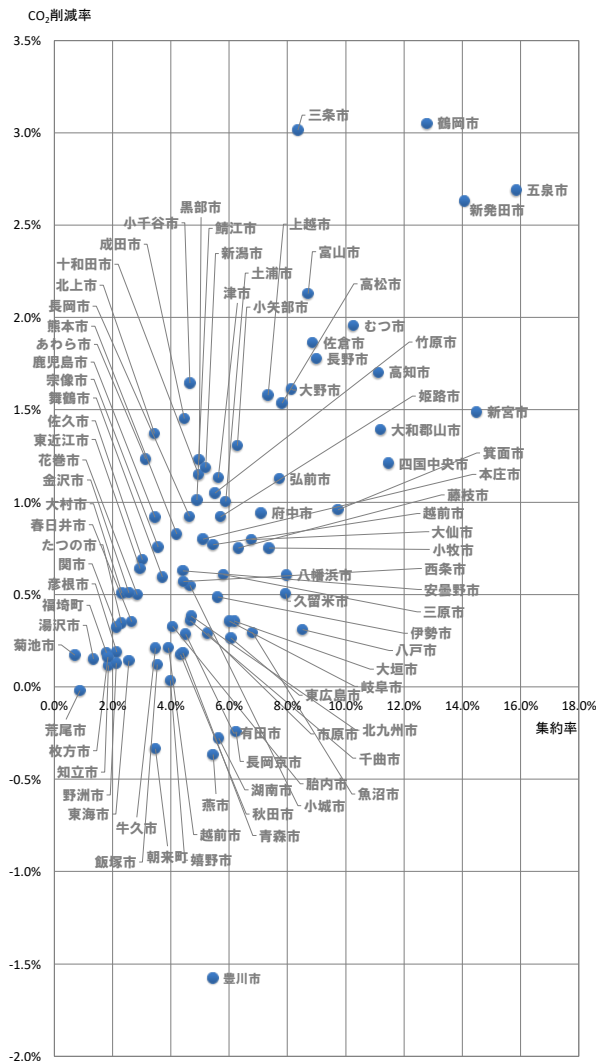


図-3 集約率とCO<sub>2</sub>削減率の関係

の集約率とCO<sub>2</sub>削減率の関係性を図-3に示す。集約率が高まることで緩やかにCO<sub>2</sub>削減率も高まる傾向が伺える。一方で、豊川市や燕市、長岡京市など一部の都市では、誘導区域に人口が集まることでCO<sub>2</sub>排出量が増加している。CO<sub>2</sub>削減率が高まる都市を比較すると、同じ集約率でも都市により削減率には幅があることから、要因の検証を実施する。

### 4. 集約化によるCO<sub>2</sub>削減効果と都市の構造的な特徴との関係性

自動車からのCO<sub>2</sub>排出量は、交通量、移動距離、交通手段との関係から式(1)のように示されることから、本検討では、CO<sub>2</sub>の排出構造に着目し、交通量を“人口密度”、移動距離を“都市計画区域に対する市街化区域の割合”（以下「市街地の広がり」という）、CO<sub>2</sub>排出原単位を“自動車分担率”として分析対象都市を分類し、集約率とCO<sub>2</sub>削減率の関係性を検証する。また、地域区分による違いにも着目し、集約率とCO<sub>2</sub>削減率の関係性を検証する。なお、本分析にて、“都市計画区域に対する市街化区域の割合”で分類する場合には、非線引きの都市は分析対象から除外している。

$$\text{CO}_2\text{排出量} = \text{交通量(活動量が影響)} \times \text{移動距離} \times \text{CO}_2\text{排出原単位 (交通手段が影響)} \quad (1)$$

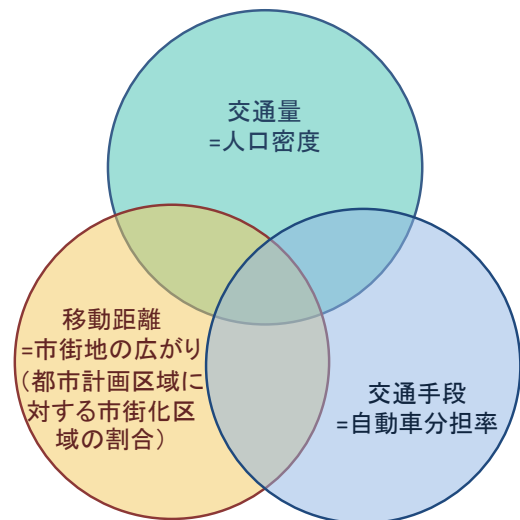


図-4 分析の視点の整理

#### (1) 人口密度との関係性

はじめに、人口密度を基に4つのランクに分け、集約率とCO<sub>2</sub>削減率の関係を図-5に示す。2,000人/km<sup>2</sup>未満のランクでは概ね同じ傾向になっているものの、2,000人/km<sup>2</sup>以上のランクでは傾きが緩やかになる傾向が伺える。既

往研究からも人口密度が高まることで一人当たりCO<sub>2</sub>排出量も減少する傾向が示されているが、今回分析対象とした都市についても図-6のように同様の傾向が確認できる。つまり、人口密度の高い都市では、これまでの土地利用政策や公共交通政策によって一定程度環境負荷の低い都市構造になっているため、同じ政策の投入量でも発現効果が低くなったと考えられる。

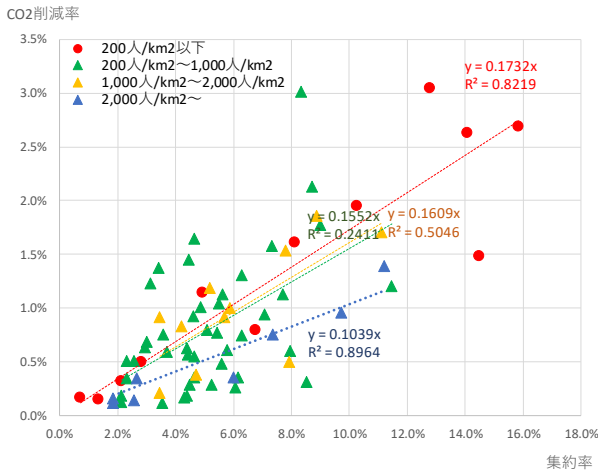


図-5 人口密度別の集約率とCO<sub>2</sub>削減率の関係

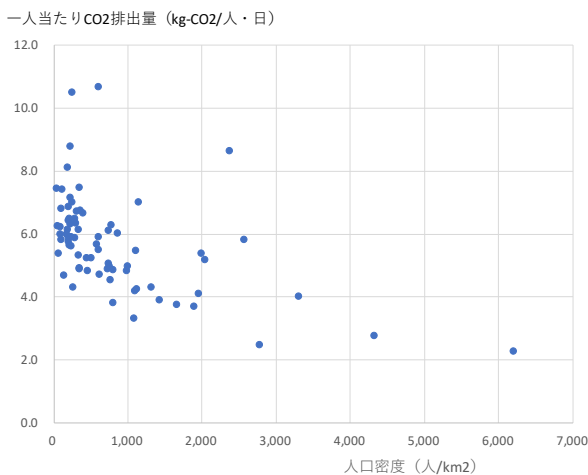


図-6 人口密度と一人当たりCO<sub>2</sub>排出量の関係

## (2) 市街地の広がりとの関係性

次に、市街地の広がりから、3つのランクに分け、集約率とCO<sub>2</sub>削減率の関係を図-7に示す。市街地の広がり狭くなるにつれて集約率に対するCO<sub>2</sub>削減率は高まる傾向が伺える。市街地の広がり狭いということは、これまで計画的に市街地をコンパクトに形成してきた都市であり、既存市街地の中で移動距離が短く、自動車に過度に依存しない生活ができていと考えられる。立地適正化計画の誘導区域は、市街化区域の中に設定する必要があるため、コンパクトに集まった市街地に人口の集積が

より高まることから、環境負荷の低い暮らしができるようになる人が増えたと考えられる。

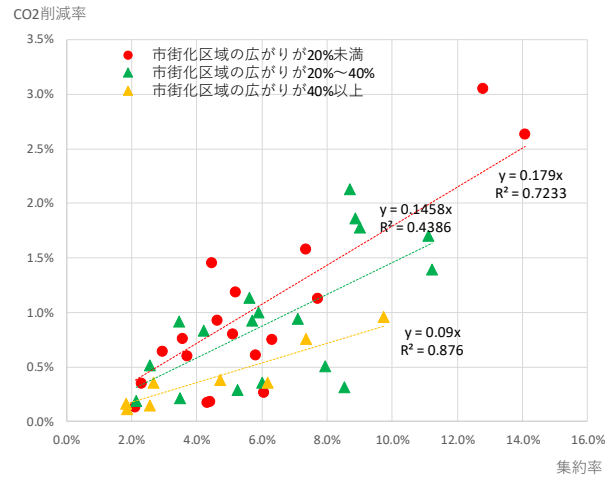


図-7 市街地の広がり別の集約率とCO<sub>2</sub>削減率の関係

## (3) 自動車分担率との関係

国勢調査による通勤通学時の自動車分担率を整理し、4つのランクに分け、集約率とCO<sub>2</sub>削減率の関係を図-8に示す。自動車分担率が70%を超えると削減効果が高くなることが伺える。もともと自動車利用が多い都市では、少しの改善でも一定の効果を得ることができるものの、これまで様々な対策をし、自動車分担率が低い地域では更なる上積みをしようとすると多くの対策が必要になるため、政策の投入量に対する削減効果にも差が出ていると考えられる。

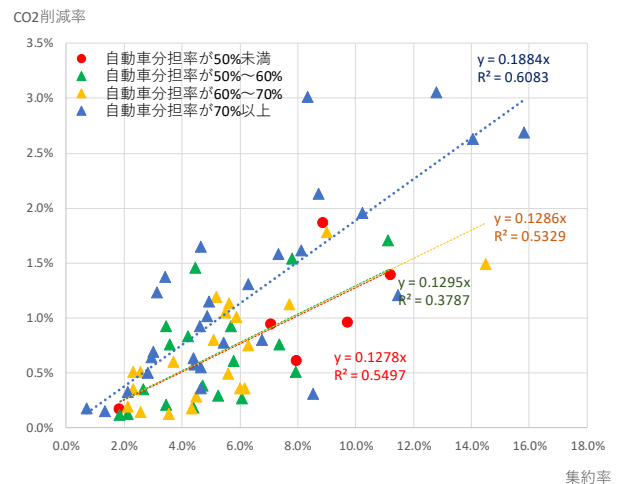


図-8 自動車分担率別の集約率とCO<sub>2</sub>削減率の関係

## (4) 地域区分との関係

地域区分による違いの影響を検証するために、分析対象都市をいくつかの地域に分類を試みる。地域の分け方については様々な方法が考えられるが、本検証では、全



国都市交通特性調査における都市類型を参考に分類を実施する。具体的には表-1の通り分類した。

表-1 地域区分と全国都市交通特性調査における都市類型の関係性

地域区分	全国都市交通特性調査における都市類型
地方都市圏 (中心都市)	<ul style="list-style-type: none"> <li>地方中核都市圏 (40万人以上) : 中心都市</li> <li>地方中核都市圏 (40万人未満) : 中心都市</li> <li>地方中枢都市 : 中心都市</li> <li>地方都市圏・その他</li> </ul>
地方都市圏 (周辺都市)	<ul style="list-style-type: none"> <li>地方中核都市圏 (40万人以上) : 周辺都市</li> <li>地方中核都市圏 (40万人未満) : 周辺都市</li> <li>地方中枢都市 : 周辺都市</li> </ul>
三大都市圏	<ul style="list-style-type: none"> <li>三大都市圏 : —</li> <li>三大都市圏 : 周辺都市1</li> <li>三大都市圏 : 周辺都市2</li> </ul>

この3つの類型について集約率とCO<sub>2</sub>削減率の関係をみると、地方都市圏の中心都市と周辺都市では同程度の削減効果が発生しているものの、三大都市圏では地方都市よりも集約率に対するCO<sub>2</sub>削減率が低い結果となった。三大都市圏は、地方都市圏と比べて生活圏が広く市域を跨いだ活動が多くなっていると考えられる。また、地方都市圏よりも鉄道ネットワークが発達しており、公共交通を利用した活動の割合も高くなっていると考えられるため、削減効果が政策の投入量に対して低くなったと考えられる。

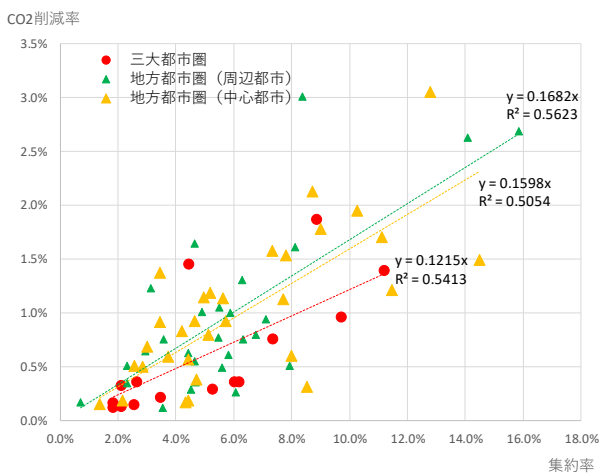


図-9 地域区分別の集約率とCO<sub>2</sub>削減率の関係

## 5. 都市内のCO<sub>2</sub>排出構造と削減効果の関係性の検証

### (1) 地域別の一人当たりCO<sub>2</sub>排出量と誘導区域の関係

図-3の散布図の中では、同じような人口規模で且つ、同程度の集約を実施しているにもかかわらず、削減率が異なる都市が見受けられる。これらの都市を対象に市内のCO<sub>2</sub>排出構造と誘導区域の関係を比較検証することで、削減効果に与える影響を分析する。

分析では、同程度の人口規模で全国都市交通特性調査にて同じ地方都市圏（中心都市）に当たる“長野市”と“高知市”を対象に実施する。長野市と高知市は、削減効果が高い都市ではあるものの、集約率の低い長野市の方が高知市よりもCO<sub>2</sub>削減率が高くなっている。

まず、長野市について居住誘導区域の設定の範囲と夜間人口一人当たりCO<sub>2</sub>排出量の関係を図-10に示す。居住誘導区域は、鉄道沿線を中心に設定されており、この鉄道沿線の地域は夜間人口一人当たりのCO<sub>2</sub>排出量が低い地域になっていることが分かる。そのため、長野市の場合、郊外の一人当たりCO<sub>2</sub>排出量が高い地域から鉄道沿線の一人当たりCO<sub>2</sub>排出量が低い居住誘導区域に移るため削減効果が高くなったと考えられる。

一方、高知市について居住誘導区域の設定の範囲と夜間人口一人当たりCO<sub>2</sub>排出量の関係を図-11に示す。居住誘導区域は、鉄道沿線に加えて桂浜周辺の市の南部と市の東部まで含まれている。この市の東部地域は、高知市の中でも比較的夜間人口一人当たりCO<sub>2</sub>排出量が高い地域となっている。従って、これらの夜間人口一人当たりCO<sub>2</sub>排出量が高い地域に人口の集約を図ったため、結果として居住誘導区域よりも環境負荷が低い地域から誘導を図ることとなり、CO<sub>2</sub>削減率としては低くなったと考えられる。

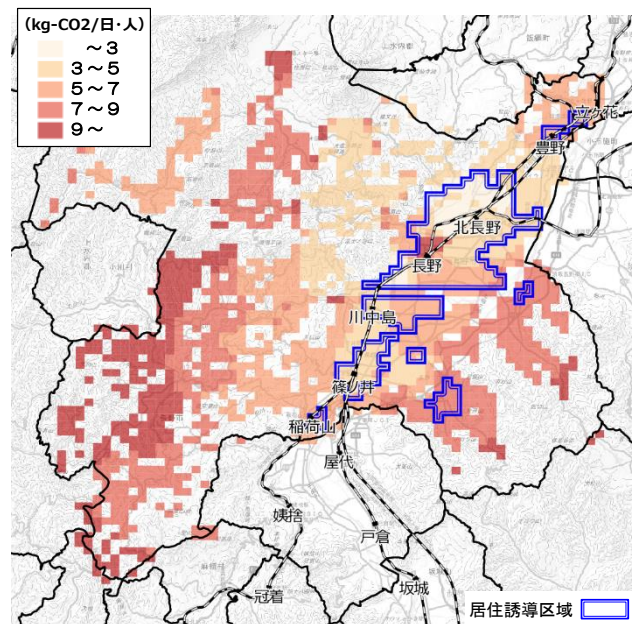


図-10 長野市における居住誘導区域の範囲と4次メッシュ別の夜間人口一人当たりCO<sub>2</sub>排出量の関係

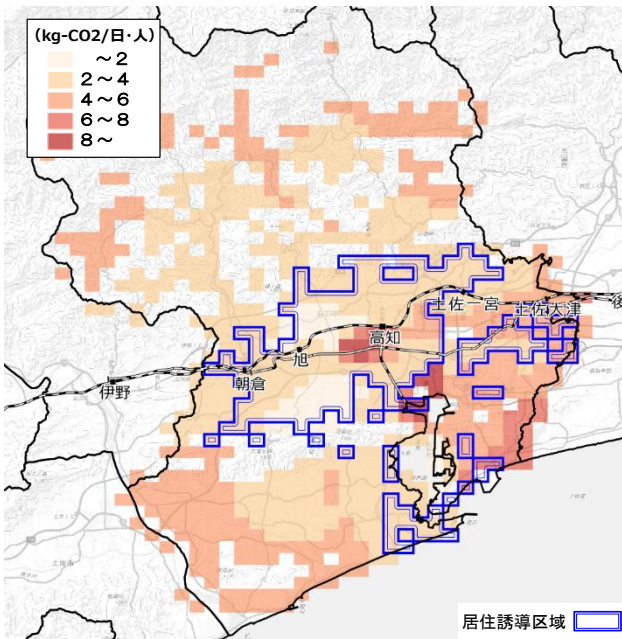


図-11 高知市における居住誘導区域の範囲と4次メッシュ別の夜間人口一人当たりCO<sub>2</sub>排出量の関係

(2) 誘導区域と移転を促進するエリアを合わせて実施した場合の削減効果

前節の検証結果を踏まえると、人口を誘導する場合、誘導区域 (Destination) のみを位置付けた場合と、誘導区域 (Destination) に加えて人口の移転を促進するエリア (Origin) をセットで位置付けた場合で削減効果に差が発生すると考えられる。そこで、都市のCO<sub>2</sub>排出構造を確認した長野市と高知市を対象に誘導区域のみを位置付けた場合と誘導区域に加えて移転を促進するエリアを位置付けた場合での削減効果の違いを検証する。

誘導区域のみを位置付けた場合は、3章、4章と同様に誘導区域外から同一の比率で移転させるものとする。

誘導区域とセットで移転を促進するエリアを位置付ける場合は、移転を促進するエリアのみから人口を移転させるものとして推計を実施する。なお、移転を促進するエリアは、市の平均よりも夜間人口一人当たりCO<sub>2</sub>排出量が高い地域を設定する。

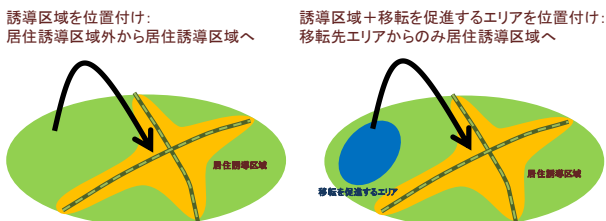


図-12 誘導区域と移転を促進するエリアをセットで位置付けたときのイメージ

具体的には、都市機能誘導区域内への集約率を5%に固定し、居住誘導区域への集約率を1%から10%まで2.5%ずつ

増加させた時のCO<sub>2</sub>削減率への影響を検証する。その結果を図-13に示す。長野市、高知市共に集約率が高まるにつれて、CO<sub>2</sub>削減率も高まる傾向が確認できる。また、誘導区域のみを設定した場合と、誘導区域と移転を促進するエリアをセットで位置付けた場合を比較すると、移転を促進するエリアをセットで位置付けることで、長野市では約1.5倍、高知市では約2.8倍もの削減効果が期待できることを確認した。

この結果より、自治体レベルでの政策を検討するにあたっては、都市のCO<sub>2</sub>排出構造を踏まえた上で、誘導区域と移転を促進させるエリアを位置付けることで高い環境負荷低減効果が期待できることから、都市の構造的な特徴に加えて、誘導政策の内容による影響も踏まえて、CO<sub>2</sub>の削減効果を検証することが重要だと考えられる。

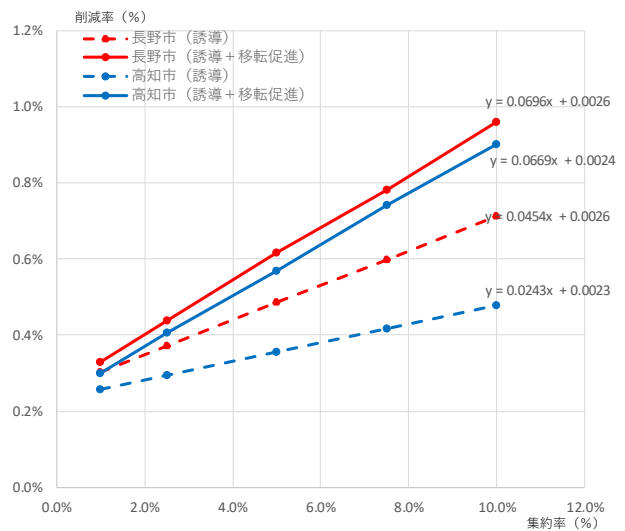


図-13 誘導区域のみを位置付けた場合と誘導区域と移転を促進するエリアをセットで位置付けた場合の集約率とCO<sub>2</sub>削減率の関係

6. まとめ

本研究の結果、得られた結果は以下の通りである。

- 1) 集約率とCO<sub>2</sub>削減率の関係性を見ると集約率が高まるとCO<sub>2</sub>削減率も高まる傾向が分かった。また、削減率の発現は都市の構造によって異なり、“人口密度が高い”、“市街地が計画的にコンパクトにまとまっている”、“自動車の依存度が高い”ことが人口の集約に対して削減率に与える影響が高いことが確認された。
- 2) 地域区別に分けた分析の結果より、生活圏の広さが削減効果に影響を与えることが確認でき、三大都市圏などの市域を跨ぐ活動が多いと想定される都市では、削減率が低いことが確認された。
- 3) 集約化の効果は、誘導政策の内容からも影響を受け、

具体的には誘導区域と移転を促進するエリアをセットで位置付けることで高い削減効果が期待できることが確認された。

今後の課題として、本試算では、都市ごとの効果として評価を実施しているものの、三大都市圏を中心に市域を跨いだ暮らしが行われているため、削減効果が過小に推計されていることが想定される。館林都市圏など隣接する複数の市町村で立地適正化計画の策定を行う動きもみられることから、広域での都市構造集約化による交通行動の変化を捉えた CO<sub>2</sub> 削減効果の検討や検討結果のまちづくりへの情報の活用が期待される。

**謝辞**：本研究は、国土交通省都市局都市政策課による持続可能な都市環境政策の展開に関する調査・検討業務における成果の一部であり、有識者との意見交換会においては、早稲田大学教授の森本先生を始め参加者の方から貴重なご助言をいただきました。ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) Peter Newman and Jeffrey Kenworthy: Cities and automobile dependence, An international sourcebook, Gower technical, 1989.
- 2) 谷口守, 村川威臣, 森田哲夫: 個人行動データを用いた都市特性と自動車利用量の関連分析, 都市計画論文, No.34, pp.967-972, 1999.
- 3) 越川知紘, 谷口守: 都市別自動車 CO<sub>2</sub> 排出量の長期的動向の精査 - 全国都市交通特性調査の 28 年に及ぶ追跡から -, 土木学会論文集 G (環境), Vol.73, No.6 (環境システム研究論文集 第 45 巻), II\_169-II\_178, 2017.
- 4) 森本章倫, 古池弘隆: 都市構造が運輸エネルギーに及ぼす影響に関する研究, 第 30 回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.685-690, 1995.
- 5) 森本章倫, 古池弘隆: 都市構造から見た運輸エネルギー削減施策の効果推計に関する研究, 第 33 回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.181-186, 1998.
- 6) 藤原章正, 岡村敏之: 広島都市圏における都市形態が運輸エネルギー消費量に及ぼす影響, 第 37 回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.151-156, 2002.
- 7) 古田真紀, 森本章倫, 古池弘隆: 土地利用の誘導と規制からみた交通環境負荷の低減に関する研究, 土木計画学研究・講演集 Vol.25, 2002.
- 8) 小島浩, 吉田朗, 森田哲夫: 環境負荷を小さくするための都市構造及び交通施策に関する研究 - 仙台都市圏を対象として -, 日本都市計画学会都市計画論文集 no.39-3, pp.541-546, 2004.
- 9) 国土交通省都市局都市計画課: 二酸化炭素削減効果シミュレーション・ツール利用マニュアル, 2014.6.  
(2019.3.10 受付)