

都市の集約化の違いがCO₂排出量に与える影響に関する研究

水本 齊¹・森本 章倫²

¹学生会員 宇都宮大学大学院 工学研究科 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2)

E-mail:mt116435@cc.utsunomiya-u.ac.jp

²正会員 宇都宮大学大学院 工学研究科准教授 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2)

E-mail:morimoto@cc.utsunomiya-u.ac.jp

本研究では、宇都宮都市圏を対象とし、郊外人口の集約過程におけるCO₂排出量を推計し、集約のパターンが環境負荷にどのような影響を与えるのかについて明らかにすることを目的とする。また、趨勢型、計画的集約型、ランダム集約型の3シナリオを設定し、人口推計や将来交通量推計等を行い、各シナリオにおいて交通シミュレーションをすることでCO₂排出量の算出を行う。その結果、都市の外側から徐々に人口を集約させる計画的集約型では効果的なCO₂削減効果が得られたのに対し、虫食い状に人口を集約させるランダム集約型においてはトリップ長が減少しにくく効果的な削減効果が得られなかった。これにより、都市の集約過程において、トリップ長が徐々に短くなるような集約方法に誘導をしなければ、効果的な環境負荷低減には繋がりにくいことが分かった。

Key Words : *Environmental burden , Aggregate Pattern , Compact City, CO₂*

1. 背景・目的

近年、産業活動の拡大に伴う、地球温暖化や砂漠化、海面上昇などの環境問題が世界的に深刻化する中で、これらの地球環境問題に対して国際環境条約や国際的枠組みが発効されている。1997年に開かれた、第3回気候変動枠組み条約締約国会議において京都議定書が採決され、2008～2012年までの期間中に先進国全体での温室効果ガスを1990年比で少なくとも5%削減する数値目標を定め、また先進国である我が国においては1990年比の6%を削減するという目標が課されている。

また、現在の日本の都市においても地方都市を中心に急激なモータリゼーションの進展などの原因により環境問題が深刻になっている。都市のスプロール化によって都市の低密・広域化が進み、これが自動車への過度な依存と相まって都心部での道路渋滞や環境負荷を引き起こすという悪循環が生じている。

このように拡散型の都市構造が広がり、自動車交通に頼りきった現在のライフスタイルから土地利用や都市構造の変化(コンパクトシティ)による都市活動の効率化によって温室効果ガス等の環境負荷を抑制することに注目が集まっている。環境負荷の少ないコンパクトシティを目指すためには郊外へ低密に拡散した人口を都市の中

心部へ集約させなければならない。しかし、集約には土地利用の変化も含めて長い時間を要し、その期間も環境への悪影響は続く。環境負荷をできるだけはやく低減するためには、都市が集約をする過程での集約パターンにおいても、環境負荷低減により効果的なものを選択する必要がある。

本研究では、宇都宮都市圏を分析対象地域とし、郊外部からの人口の集約過程におけるCO₂排出量を、マクロ交通流シミュレータを用いて推計し、集約のパターンが環境負荷にどのような影響を与えるのかについて明らかにすることを目的とする。

2. 都市の集約パターン

(1) 研究の位置づけ

これまでもコンパクト化に関する様々な研究が行われてきている。その中でも、都市のコンパクト化の効果をシミュレーションを用いて推計している研究に焦点を当ててみると、都市の集約パターンは様々である。そこで、既存研究における集約エリアや徹退エリア、また集約させる人口規模の設定など、都市の集約のパターンの分類を行う。

実際に分類をしてみると、計画的集約とランダム集約の2つのパターンに大別される。ここで計画的集約とは、ある都市または都市圏を分析対象地域とし、集約させるエリアが具体的に定まっており、撤退箇所が何らかの理由付けによって選定され、人口の移動量が地域によって異なる集約パターンである。またランダム集約とは、郊外から中心部へ一定の人口を均一的に移動させる集約である。また、集約の期間に着目すると、ある一時点で一括して人口を都心部へ集約させる場合と、人口を段階的に分割して集約させる場合に分類される。図-1に集約パターンの分割方法、表-1に既存研究の対象都市、集約パターンの分類をまとめたものを示す。

このように、いずれのタイプにおいても都市を集約させた結果としての完成像を分析対象とした研究は多くみられるが、都市の集約過程に着目した研究はほとんどみられない。本研究では、郊外人口の集約パターンに着目し、集約過程におけるCO₂排出量を推計し、それを評価指標として集約パターンの評価を行うという、経年的変化に着目したところに新規性がある。

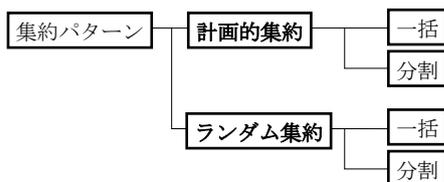


図-1. 集約パターンの分割方法

表-1. 既存研究における集約パターン分類表

タイプ	集約パターン
計画的集約	A. 災害など考慮した上で撤退箇所を選定し、人口を都心に移動 真田ら ¹⁾ (豊田市)*、谷口ら ²⁾ (豊田市)
	B. 環境面を考慮した上で撤退箇所を選定し、人口を都心に移動 森島ら ³⁾ (名古屋市)、戸川ら ⁴⁾ (名古屋都市圏)、清岡ら ⁵⁾ (岡山県南広域都市圏・都市圏周辺過疎化地域)
	C. 郊外に居住する都心部通勤者世帯を都心に移動 杉田ら ⁶⁾ 、森本ら ⁷⁾ (東京都市圏)
	D. 郊外部の夜間人口を都心に移動 小島ら ⁸⁾ (仙台都市圏)
ランダム集約	D. 郊外から一定量人口を均一的に都心に移動 黒田ら ⁹⁾ (神戸市)*、佐藤ら ¹⁰⁾ (宇都宮市)*、土屋ら ¹¹⁾ (全国) 阪本ら ¹²⁾ (京阪神都市圏・岐阜都市圏)*、谷口ら ²⁾ (豊田市)

* : 分割で人口を移動、それ以外は一括で人口を移動。
() 内は分析対象地域を表す。

(2) シナリオの設定

本研究において設定する、各シナリオの概念図を図-2に示す。都市の集約パターンとして、現在の政策が継続されたまま人口が推移していく趨勢型シナリオの他に、2つの集約シナリオを設定する。前述したような考えに

基づくと、集約の表現方法として、何らかの条件のもとで計画的に人口を集約させていく方法と、郊外から均一に人口を集約させる方法があるといえる。そこで、集約シナリオの一つとして、「都市の外側から徐々に郊外人口を都心部へ移転することで集約を進行させる」という条件をもとにした、計画的集約型を設定する。また、もう一方の集約シナリオとしては、「集約エリア以外の全エリア(各撤退ゾーン)から一定の比率の人口を抜き出し、集約エリアに各年次ごとに分割して配分する」ことで虫食い状に郊外人口を集約させるランダム集約型である。本研究では集約パターン別の経年変化に着目するため、両集約シナリオ共に人口を段階的に分割して集約させる。本研究ではこの計3シナリオを設定し、分析を進める。また各シナリオとも、集約開始年次を2010年、集約完了年次を2050年とし、10年おきにCO₂排出量を推計する。なお、集約シナリオである計画的集約型とランダム集約型では各ゾーンにおける住宅床面積を増減させることで集約を表現する。両集約シナリオにおいて10年間で増減させる住宅床面積は等しく、2050年次の都市構造は同様なものにするとする。それにより、集約パターンの違いによって環境負荷にどのような影響が生じるのかということを確認するためにCO₂排出量を評価指標とし、明らかにする。

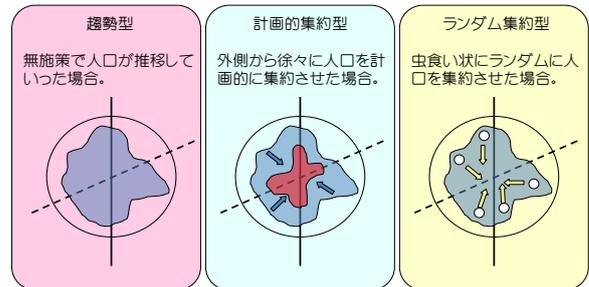


図-2 各シナリオの概念図

3. 将来予測モデルの構築・研究概要

(1) モデル構築

(a) ゾーン別将来人口推計

将来人口推計では、2006~2010年の町丁目別人口をゾーン別へ変更し、トレンド型モデルを基本として推計を行う。推計方法は表-2に示す人口増加率で分類した3種類とする。ゾーンごとに人口増加率を分類した結果、線形近似法(45ゾーン)、ロジスティック曲線法(5ゾーン)の2種類の予測式で各ゾーンにおける将来人口の推計を行った。なお、推定年次の宇都宮市全体の人口をコントロールトータルし、宇都宮市内50ゾーンの推計結果を補正している。

以上の推計式から得られた2050年のゾーン別人口を用い、2005年から2050年までの人口増加率を図-3に示

す。宇都宮市全体の人口は 2015 年をピークに減少傾向にあり、減少ゾーンが市内中心部を多く占めている。

表-2 将来人口推計方法の分類

人口増加率：A(%) (2006~2010)	予測方法	予測式	ゾーン数
A ≥ 5	ロジスティック曲線法	$y = \frac{\gamma}{1 + e^{\alpha - \beta t}}$	5
-10 < A ≤ 5	線形近似法	$y = f(t) + c$	45
A ≤ -10	累乗近似法	$y = \{f(t)\}^n$	0

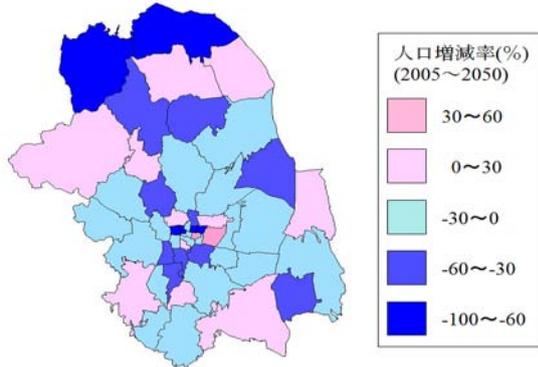


図-3 ゾーン別人口増減率

(b) 将来床面積の推計

将来床面積の推計においては、各種人口データをもとに床面積との関係性から回帰モデル式を構築し各種床面積の将来予測を行う。なお、各床面積は宇都宮都市圏総合都市交通体系調査報告書に記載されている 1992 年次のデータを使用する。また、推計を行う床面積は住宅・商業・業務・工場の 4 種類である。なお、各種床面積の中で大部分を占めている住宅床面積について、2005 年次の推計値と国勢調査（2005 年）における実績値を比較してみると誤差率が 5.7% と比較的小さい値となった。よって、推計された、2010 年から 2050 年までの値を用い、分析を進める。推計を行った宇都宮市の各種床面積の推移を図-4 に示す。

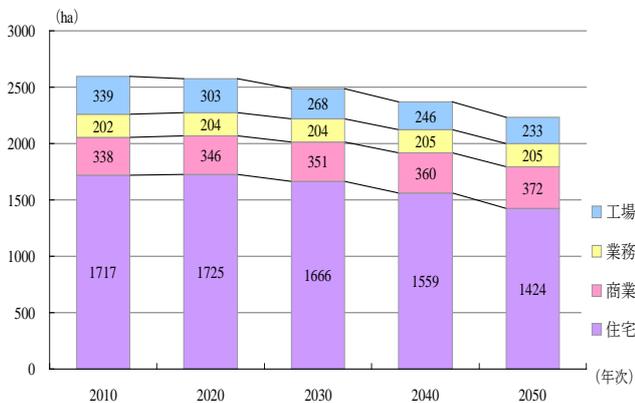


図-4 宇都宮市における各種床面積の推移

(c) 将来交通量推計

本研究では、四段階推定法を基本に将来交通量の推計を行う。まず、第 2 回パーソントリップ調査対象地域においては、平成 5 年度宇都宮都市圏総合都市交通体系調査報告書の値を基に、発生集中交通量の推計には成長率法を、分布交通量の推計には現在パターン法の平均成長率法を用いて推計を行った。

また、同調査対象外である 2007 年に宇都宮市と合併した、旧上河内町においては、各床面積と発生集中交通量の関係性から回帰モデル式を構築し、これにより推計値を算出する。

分布交通量の推計には、重力モデル法を用いて推計を行う。これらから得られた結果を組み合わせ、宇都宮都市圏の 2005 年次の OD 表を作成する。そしてこの OD 表を基本とし、平均成長率法で 2010~2050 年の交通量の推計を行う。

次に、機関分担交通量の推計においては集計ロジットモデル・バイナリーチョイス型を用いる。本研究では市内 - 市内、市内 - 市外、市外 - 市外の 3 ケースに分類し、推計を行った。各ケースにおいて最も良好な推計精度を得られたケースを採用した。

配分交通量の推計には、旅行時間が最短となる経路選択を行う利用者均衡配分を用い、経路選択には BPR 関数を用いる。

(2) 分析対象地域

本研究では第 2 回宇都宮都市圏パーソントリップ調査が実施された地域（圏域内全 84 計画基本ゾーン）に 2007 年に宇都宮市と合併した調査対象外地域である旧上河内町（3 ゾーン）を加え、計 87 ゾーン（市内 50 ゾーン、市外 37 ゾーン）を基本として分析を行う。分析対象地域を図-5 に示す。

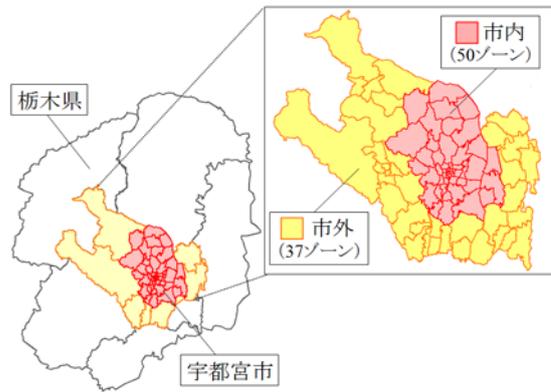


図-5 分析対象地域

(3) CO₂排出原単位について

自動車の CO₂排出原単位は、基本的にガソリン車の値を使用し、走行速度による変化を考慮するため大城ら¹³⁾の算出したものを使用する。推計式を(3a)に示す。また、

各公共交通機関のCO₂排出原単位については、国土交通白書（2002年）に記載の値を使用した。

$$EF = b_1 \frac{1}{v} + b_2 v + b_3 v^2 + b_0 \quad (3a)$$

$\left\{ \begin{array}{l} EF: \text{二酸化炭素排出原単位}(g - CO_2 / km) \\ v: \text{平均旅行速度}(km/h) \\ b_1, b_2, b_3, b_0: \text{回帰パラメータ} \end{array} \right\}$

(4) 道路ネットワークの作成

本研究では、各シナリオでの自動車のCO₂排出量を推計するため、マクロ交通流シミュレータ(TransCAD4.0)を使用する。本研究では2010年から2050年まで10年おきに推計を行うため、都市計画図に記載され、都市計画決定されている道路が2030年に全て完成すると仮定し、2030年以前と2030年以降の2つのレイヤーを作成した。

こうして、マクロ交通流シミュレータを用いて作成したレイヤーに各年次における将来交通量を取り込み、各シナリオにおけるCO₂排出量の算出を行う。2010年次のマクロ交通流シミュレータによる配分結果を図-6に示す。

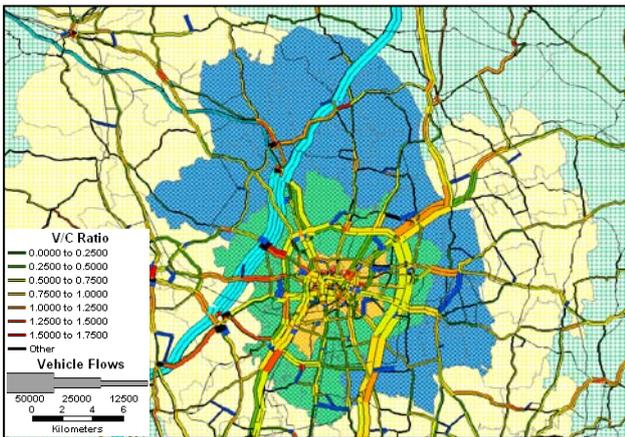


図-6. マクロ交通流シミュレータによる配分結果(2010年次)

4. 集約パターンによる環境影響評価

(1) CO₂排出量の算出方法

各シナリオにおけるCO₂排出量の算出方法としては、マクロ交通流シミュレータにより得られた断面交通量にリンク長と平均旅行速度を考慮して、リンクごとに算出された排出原単位を乗じて算出する。なお、ゾーン内々トリップに対しては排出原単位にトリップ長とトリップ数を乗じて算出する。

(2) 趨勢型シナリオ

まず、趨勢型シナリオについては、年々進行していく人口減少の影響を受け、2010年をピークに総交通量が減少し、平均旅行速度が上昇している。それにより平均

CO₂排出原単位が減少し、総CO₂排出量も減少している。この趨勢型シナリオのCO₂排出量の値を基準とし、各集約シナリオの評価を行う。趨勢型シナリオのアウトプットを表-3に示す。

表-3 趨勢型シナリオのアウトプット

年次	総交通量 (万台)	平均旅行速度 (km/h)	平均原単位 (g/km人)	総排出量 (t)	平均トリップ長 (km人)
2010	1901	30.87	140.79	2952	1.075
2020	1885	30.91	140.79	2885	1.060
2030	1787	31.67	139.53	2783	1.085
2040	1637	32.35	137.16	2496	1.079
2050	1493	32.88	135.42	2255	1.077

(2) 計画的集約型シナリオ

計画的集約型シナリオについては、図-7に示す通り市内の外側のゾーンから徐々に集約を進めていく。具体的には、2020年次は111.38ha(6ゾーン)、それに加えて2030年次に302.52ha(7ゾーン)、更に2040年次に642.53ha(7ゾーン)、そして2050年次には947.28ha(7ゾーン)の合計27ゾーンの住宅床面積を集約ゾーンに按分し集約させた。表-4に計画的集約型シナリオのアウトプットを示す。総交通量は趨勢型シナリオと同様に2010年をピークに減少している。また、趨勢型シナリオと比較をしてみると郊外の6ゾーンが集約した2020年次においては、集約する人口も少なく、トリップ長も趨勢型シナリオとは相違ないので、CO₂削減率が1.42%と低い値となっている。しかし、集約がある程度進行し、トリップ長が短くなった2030年、2040年次にはCO₂削減率がそれぞれ7.27%、10.77%と大幅な削減効果がみられた。完全に集約した2050年次においては14.19%というかなり高い削減効果が得られた。

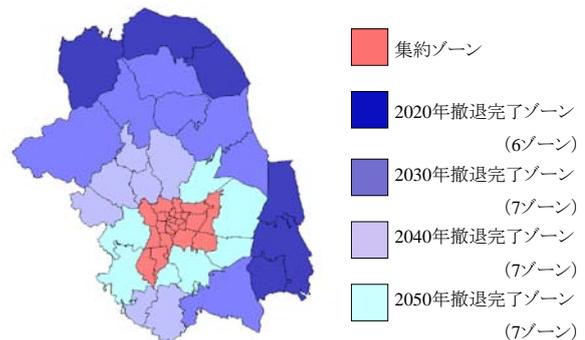


図-7 計画的集約シナリオにおけるゾーン別集約年次

表-4 計画的集約型シナリオのアウトプット

年次	総交通量 (万台)	総排出量 (t)	平均トリップ長 (km人)	削減率 (%)
2010	1901	2952	1.075	—
2020	1888	2845	1.040	1.42
2030	1758	2594	1.047	7.27
2040	1591	2253	1.024	10.77
2050	1366	1975	0.869	14.19

(3) ランダム集約型シナリオ

ランダム集約型シナリオについては、図-8に示す各撤退ゾーンの住宅床面積から2020年次に約10% (111.38ha)、2030年次には約27.8% (302.52ha)、2040年次には61.5% (642.53ha)、2050年次には100% (947.28ha) 集約ゾーンへ按分することで虫食い状に集約を進行させた。表-5にランダム集約型シナリオのアウトプットを示す。総交通量については各シナリオと同様、減少し続けている。集約開始直後である2020年次においては、計画的集約型シナリオと同様、それ程高い削減効果はみられない。しかし、集約が進行した2030年、2040年次においてもCO₂削減率は2.03%、6.11%と伸び悩んでおり、効果的なCO₂削減効果はみられなかった。集約が完全に完了した2050年次は計画的集約型シナリオと同様な都市構造となるため、とても高い削減効果がみられた。

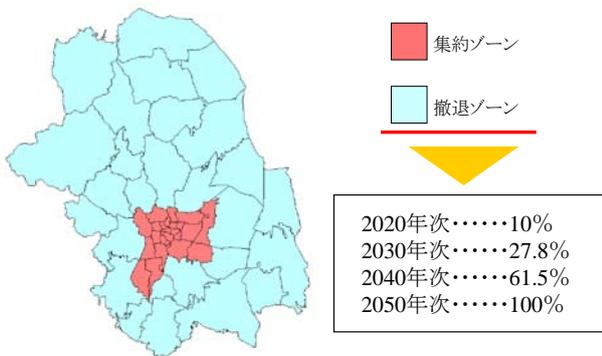


図-8 ランダム集約型シナリオにおけるゾーン別集約年次

表-5 ランダム集約型シナリオのアウトプット

年次	総交通量 (万台)	総排出量 (t)	平均トリップ長 (km人)	削減率 (%)
2010	1901	2952	1.075	—
2020	1888	2854	1.049	1.09
2030	1816	2727	1.059	2.03
2040	1651	2352	1.039	6.11
2050	1366	1975	0.869	14.19

(4) 各シナリオにおける環境影響の経年変化

両集約シナリオ間で、このような違いが生じた一番の原因としては、トリップ長であると考えられる。両シナリオとも、人口を公共交通網の整備された都心部に集約させることで、公共交通機関分担率が増加し、自動車交通量が減少しCO₂排出量は減少した。しかし、外側から徐々に都市を集約させる計画的集約型に対し、虫食い状に集約させるランダム集約型においては、郊外部に移転をしていない人口が残るため、トリップ長が減少しにくく、効果的なCO₂排出量削減に繋がらなかったと考えられる。各シナリオのCO₂排出量の推移を図-9に示す。

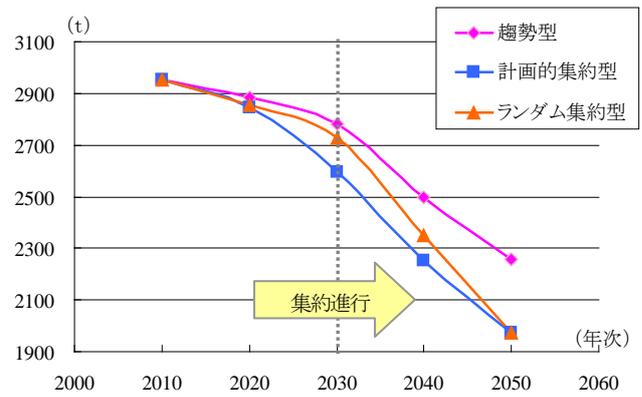


図-9 各シナリオCO₂排出量の推移

5. おわりに

研究の結果、都市を集約させても、トリップ長が徐々に短くなるような集約方法に誘導しなければ、集約過程において効果的な環境負荷低減には繋がりにくいことが分かった。現実的には郊外からの100%撤退は想定しづらいため、部分的な集約となる可能性が高い。このような状況を想定すると、都市を集約させる場合、集約パターンについても環境負荷低減を考慮した政策を実施する必要がある。

今後の課題として、本研究では宇都宮都市圏を対象とした分析を行ったが、多様な都市圏における分析を行う必要がある。また本研究におけるシナリオは、2050年次の都市構造は同一の都心居住型となっている。そのため、今後は都市の集約パターンと都市構造の形態の両視点からみた、二酸化炭素排出量についても検討する必要がある。

【参考文献】

- 1) 真田健助, 加知範康, 高木拓実, 林良嗣, 加藤博和: 「都市空間コンパクト化のための撤退・再集結地区特定に関する基礎的研究」、土木計画学・講演集、No.29、2004
- 2) 谷口守, 松中亮治, 中道久美子: 「SLIM CITY を用いた都市コンパクト化政策と水害軽減方策の連携に関する基礎的検討」、土木計画学・講演集、No.30、2004
- 3) 森島仁, 加藤博和, 久野寛, 奥宮正哉, 湯澤秀樹, 丹羽英治: 「交通起源 CO₂ 排出量を考慮した都市空間構造の将来シナリオ評価に関する研究」、土木計画学研究・講演集、No.40、2010
- 4) 戸川卓哉, 鈴木祐大, 西野慧, 加藤博和, 林良嗣, 河村幸宏, 川瀬康博: 「トリプル・ボトムラインから見た都市集約策の評価」、土木計画学・講演集、No.42、2010
- 5) 清岡拓未, 谷口守, 松中亮治: 「エコロジカルフットプリント指標を用いたローカールスケールでの持続可能型土地利用政策の検討」、日本都市計画学会学術論文集、No.40-3、pp55-60、2005
- 6) 杉田浩, 鹿島茂, 谷下雅義, 高嶋裕治: 「東京都市圏における交通行動の地域特性分析と都市構造の評価に関する研究」、土木計画学研究・講演集、No.21、pp459-462、1998
- 7) 森本章倫, 古池弘隆: 「都市構造からみた輸送エネルギー削減施策の効果推計に関する研究」、日本都市計画学会学術研究論文集、No.33-31、pp181-186、1998
- 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、pp541-546、2004

- 9) 黒田勝彦, 竹林幹雄, 藤本秀男, 田中洋史: 「CO2 排出量を考慮した土地利用モデル」、土木計画学研究・講演集 No.22、pp547-550、1999
- 10) 佐藤晃, 森本章倫: 「都市のコンパクト化の度合いに着目した維持管理費の削減効果に関する研究」、日本都市計画学会学術研究論文集、No.44-3、pp535-540、2009
- 11) 土屋貴佳, 室町泰徳: 「都市のコンパクト化による道路維持管理費用削減に関する研究」、日本都市計画学会学術研究論文集、No.41-3、pp845-850、2006
- 12) 阪本京太郎, 北村隆一: 「交通エネルギー・建設エネルギーからみたコンパクトシティの是非」、土木計画学研究・講演集、No.29、2004
- 13) 大城温, 松下雅行, 並河良治, 大西博文: 「自動車走行時の燃料消費率と二酸化炭素排出係数」、土木技術資料、Vol.43、No.11、pp50-55、2001

THE EFFECT OF AGGREGATE PATTERNS ON THE CO2 EMISSION IN COMPACT CITY

Htoshi MIZUMOTO, Akinori MORIMOTO

The purpose of this study is to examine the effect of aggregating patterns on the CO2 emission in the process of shrinking toward the compact city. There are three scenarios in this study, business as usual type and planned aggregation type and random aggregation type. Based on the estimation of future population and traffic volume, the traffic flow was simulated in order to calculate the CO2 emissions in each scenario. As a result of simulation in planned aggregation type, it is found that the CO2 emission would be reduced most effectively. On the contrary, the random aggregation was not effective due to the remanence of long trip. It is important to decrease the length of trip for reducing of CO2 emissions in the process of aggregating toward the compact city.