

23. 集約化による都市空間構造の変化 に関する基礎的研究

高平 洋祐^{1*}・大西 暁生¹・谷川 寛樹²・井村 秀文¹

¹名古屋大学大学院環境学研究科（〒464-8601 名古屋市千種区不老町）

²名古屋大学大学院工学研究科（〒464-8601 名古屋市千種区不老町）

* E-mail: ytaka@urban.env.nagoya-u.ac.jp

現在、低炭素社会を実現するため、都市での対策が求められている。そのため本研究では、名古屋市を対象に、都市空間の再編及び省エネ技術導入に伴うCO₂排出量の削減効果を評価するため、500m格子ごとの人口及び土地利用・建物データを整備することによって、2000年から2050年までの民生（家庭・業務）部門からのエネルギー消費量及びCO₂排出量を推計する。この際、住宅及び業務建物の再配置及び、対策技術の導入をシナリオとして扱う。用いたシナリオは、1) 現状の空間配置を維持する非集約型、2) 駅のそばに集約する分散集約型、3) 特定の地区に集約化する中心区集約型である。また、技術シナリオは1) コージェネレーションシステム（吸収式冷凍機あり）、2) コージェネレーションシステム（吸収式冷凍機なし）、3) ヒートポンプ給湯器、4) ソーラーパネルである。本研究では、都市空間の再編及び技術導入の違いが、エネルギー消費量及びCO₂排出量にどの程度の効果を発揮するのかを時空間で出来る限り明らかにする。

Key Words : Urban structure changes, Technical measures, Residential and commercial sectors

1. はじめに

日本におけるエネルギー起源のCO₂排出量のおよそ3割は、民生（家庭・業務）部門によって占められている¹⁾。また、この民生部門のCO₂排出量の伸びは著しく、2007年度の全国の排出量を1990年度と比較した場合には、業務部門で43.8%、家庭部門で41.2%の増加となり、他部門と比べても非常に大幅な増加傾向にあるため対策が急務となっている。また、民生部門での温暖化対策は、都市レベルにおける取組が必要不可欠であるが、産業部門とは異なり、規制や自助努力を促すなどの対策が取り難い。一方で、IPCCの4次評価報告書²⁾によれば、建築部門（建物からの排出として主に民生部門）は最も削減ポテンシャルの高い部門として位置づけられている。そのため、自治体としては、1994年以来、国が定めた環境基本計画に倣い、自らを温室効果ガスの排出事業者として計画の策定と取り組みを行ってきた。「地球温暖化対策の推進に関する法律（温対法）」³⁾のなかでも、きめこまかい実行計画の策定や他地域との連携が重要であると記されている。また、自然エネルギーの利用促進や省エ

ネその他の排出抑制の促進、ならびに、公共交通機関・緑地その他の地域環境の整備を都市計画などの施策の実施に反映させる事の必要性が謳われている。

人口減少社会や建物更新時期の到来を迎え、大幅な都市空間の再編が進められている。こうした都市空間の再編は、都市を機能的に作り変えることによって、非効率なエネルギー消費構造を改善すると共に、これまでの効用水準をさらに向上していくことを目的としている。名古屋市においても、「低炭素でも快適な都市」の形成を目標に、公共交通機関の駅の周辺に住宅や利便施設を誘導・集約する都市空間再編の方針を提示している⁴⁾。

都市空間構造のによる、エネルギー消費量、CO₂排出量の削減効果を分析した研究として、田頭⁵⁾や下田⁶⁾、また多項目環境負荷量による評価を林ら⁷⁾などが行っている。ただし、人口などの社会動態と建築物による空間構造をCO₂排出量の変化として結びつける点や、都市レベルで細密に表現する点で未だ考慮されていない部分がある。

そのため本研究では、名古屋市における都市空間の再編に伴うCO₂排出量の削減効果を評価することを目的に、

人口や世帯の増減、建物の廃棄・建て替え、またこれらの再配置を変化させた場合の、民生部門からのエネルギー消費量及びCO₂排出量を推計する。この推計は、こうした時空間の変化を最大限考慮するため、2000年から2050年までを対象に、500m格子ごとで推計を行う。

2. 分析方法

本研究では、①都市の人口動態を把握し、②住宅・建物のライフサイクルを考慮し、③都市空間構造の再編を空間的に表わし、④エネルギー消費量・CO₂排出量を推計する。この結果、都市空間構造の違いによるCO₂排出量の変化が評価できる。さらに、⑤CO₂排出量の削減に向けた技術的な対策オプションをシナリオとして扱うことによってその削減効果を評価する。対象とするのは、名古屋市における民生部門のエネルギー消費量・CO₂排出量であり、空間単位は500m格子、時間単位は2000年から2050年とする。図-1に分析フレームの全体概要を示す。

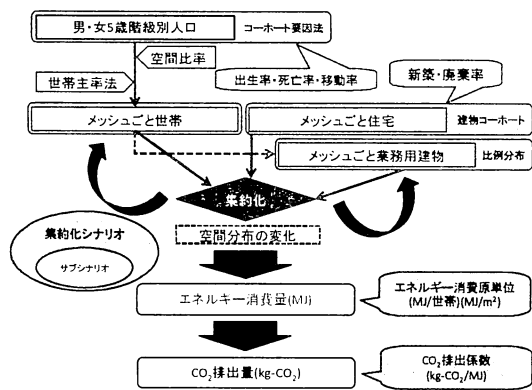


図-1 分析フレームの全体概要

(1) 人口・世帯の推計

人口の推計は、2000年の男女別・5歳階級別人口を国勢調査⁹⁾のデータより整備し、コーホート要因法を用いて行う。

次に、世帯数は推計人口から世帯主率法によって推計する。国勢調査から得られる男女・年齢5歳階級別の世帯主率を、人口に乗ずることによって世帯主数を求め、その合計によって当該年の世帯数が算出される。そして、これら世帯を世帯主の年齢別によって家族類型別(親族世帯・非親族世帯・単独世帯)に把握する。

(2) 住宅数・業務建物数の推計と集約化

a) 住宅数の推計

住宅数の推計には、戸建・集合といった建て方別と、木造・非木造といった構造別の計4種類があり、これら

それぞれにおいて住宅コーホートモデルを適用し推計する。各格子の住宅のデータは、2001年の名古屋市の都市計画基礎調査⁹⁾を用いて整備する。また、長屋建住宅については、居住形態を考慮し一戸建に含めている。

築齢5年別のコーホートは、新築・建て替え・廃棄によって変化するため、小松ら¹⁰⁾の研究から建て方別・構造別に区間残存率推計法により求められる残存率を用いて推計する。

残存率から住宅の滅失数を推計し、そこから新たに転出する世帯数を把握し、この世帯がすべて居住できるよう新たな住宅を供給する。住宅が持つ属性データは、格子ごとに、建て方別・構造別の一戸あたり平均建築面積と平均階数及び平均延床面積であり、また一世帯あたり延床面積も世帯数から推計することが可能である。一世帯あたり平均延床面積は、建て方別・構造別の住宅一戸につきその格子の一世帯が暮らす平均的な延床面積を意味するものであり、新築や建て替えを行う世帯に対して供給する住宅数などを推計するために用いる。

b) 住宅の集約化

本研究における集約化の手法は、住宅の建て替え及び転入が必要とされる世帯をある特定の地区に居住させるものである。この集約地区の場所をシナリオとして扱う。

世帯は、各格子から出ていく場合と各格子内へ入ってくる場合で、1) 居住選択世帯、2) 移入世帯、3) 移出世帯、4) 建て替え世帯、5) 転入世帯、6) 集約世帯、の6つのパターンで表される。居住選択世帯は、滅失によって住宅を失い、居住メッシュを選択する必要がある世帯を指す。また、人口に伴って世帯も増減するが、増加する場合は移入世帯とし、減少する場合は移出世帯とする。さらに、居住選択世帯の中で建て替えを行う世帯が建て替え世帯であり、移入世帯の中で当該格子内に居住する世帯が転入世帯である。そして、居住選択世帯と移入世帯の中で当該格子内に建て替え・転入を行わず、集約地区に転出する世帯を集約世帯とする。図-2に、集約化の世帯移動を示す。集約化のプロセスとしてまず、ある格子において、居住選択世帯と移入世帯について、その当該格子内で建て替え・転入を行うか他の集約地区に集約を行うかの2通りを設定する。この設定には、転入率と集約率という2つの値を用いる。転入率とは、移

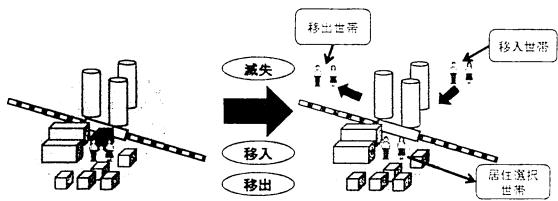


図-2 集約化の世帯移動

入世帯が当該格子内に居住する、転入世帯となる比率を示す。この比率が100%の場合、移入世帯は当該格子内へ全世帯が転入を行う。一方で、集約率は、居住選択世帯が集約区に集約を行う比率を表している。この比率が100%の場合、全世帯が集約地区に転出する集約世帯となる。図-3に、集約化の住宅供給を示す。住宅供給とは、建て替え世帯と転入世帯を対象に、収容するための住宅を供給することを意味する。供給する住宅は、建て替え世帯に対しては滅失したものと同タイプの住宅を、転入世帯に対してはメッシュ内で最も居住する世帯数が多いタイプの住宅とする。次に、建て替え・転入が行われる土地の面積から、残りの未利用地を算出し、集約地に集約世帯を収容できるサンプル住宅を新築する。ここで、サンプル住宅とは一律の建築面積と階数を持った非木造集合住宅を意味する。ただし、集約世帯を全て収容するため、階数を変化させて建築可能面積内で集約世帯を収容できる延床面積を持つ住宅を新築することとする。

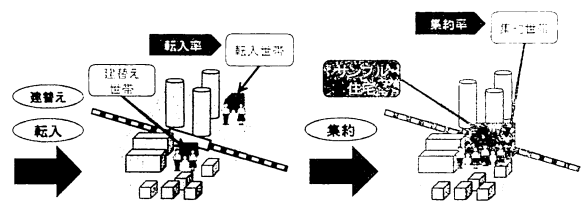


図-3 集約化の住宅供給

c) 業務建物数の推計

本研究で対象とした業務用建物は、事務所ビル、卸小売業、飲食店、ホテル・旅館、学校・試験研究機関、病院、その他サービスの6種類の用途であり、住宅と同様に都市計画基礎調査から整備する。

業務建物数の推計にあたっては、様々な用途の建物の寿命を推計することが困難なため、2000年時点での人口と用途別建物の比率から必要となる建物数を決定することとした。

d) 業務建物の集約化

建物の配置は、人口の増加局面においては、シナリオによる集約地区に配分し、人口が減少する局面では集約地区の外側から滅失していくこととした。この方法を用いれば、住宅の集約化と同様に、業務建物の分布状況はこれに合わせて変化することとなる。

(3)シナリオの設定

本研究では、都市の集約化と技術対策という2種類のシナリオを設定する。

まず、集約化のシナリオは2つの集約地区と現状を反映した非集約の場合を含む、3つの地区を設定する。集約地区は、名古屋市の繁華街である名古屋駅や栄地区を

含む中村区と中区、さらに商業・業務ビルや住宅の隣接する東区に集約させる「中心区集約型」と、鉄道駅周辺に集約させる「分散集約型」である。「分散集約型」は名古屋市の環境モデル都市提案書に基づき、「駅そば居住」を前提に、名古屋市内に存在する駅すべてを対象として設定する。この「駅そば居住」は、TOD (Transit Oriented Development) の概念に基づいており、特に名古屋市では、市内に地下鉄を含めた鉄道駅が十分に整備されている一方で、自動車への依存が高く、駅勢圏内への集約化を進めることによって、この自動車社会からの脱却を目指している。本研究では、駅勢圏を、駅を中心とした半径500mの範囲で設定し、この範囲に含まれる格子を対象とする。最後に、「非集約型」とは、転入や住宅の滅失が起こっても当該格子内の居住を維持する、現状を反映したケースである。

また、技術的な対策シナリオを表-1に示す。これは、高島¹¹⁾の研究を参考に設定したものである。また、技術的な対策を導入するタイミングとしては、住宅が建て替えられる新築時とする。

表-1 技術的な対策シナリオ

対策ケース	対策
case0	無対策ケース（都市空間構造の変化のみ）
case1	CGS（吸収式冷凍機あり）導入ケース
case2	CGS（吸収式冷凍機なし）導入ケース
case3	ヒートポンプ給湯器導入ケース
case4	ソーラーパネル導入ケース

(4)エネルギー消費量及びCO₂排出量の推計

a) エネルギー消費量の推計

エネルギー消費量の推計には、原単位を用いる。ここで、都市の空間構造の変化を考慮するため、家庭部門及び業務部門の原単位は、延床面積あたりのエネルギー量（MJ/m²）を用いる。家庭部門では住宅の建て方別で、業務部門では業務建物の用途別に分類され、それぞれについて使用燃料別に細分される。これらの原単位の採用にあたっては、エネルギー経済研究所編民生部門エネルギー消費実態調査¹²⁾の値を使用した。原単位は、経年の変化を推計する事が容易ではないため、実績値をそのまま2000年から2050年まで使用する。ただし、この点については、今後改善が必要である。エネルギー消費量は、各年ごとに次式で表される。

$$E_i = E_{r_i} + E_{c_i} \tag{1}$$

$$E_{r_i} = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K H_j \times F_{r,j,k} \tag{2}$$

$$E_{c_i} = \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K S_l \times F_{c,l,k} \tag{3}$$

E : 総エネルギー消費量 (MJ), E_r : 家庭部門エネルギー消費量 (MJ), E_c : 業務部門エネルギー消費量 (MJ), F_r : 家庭部門エネルギー原単位, F_c : 業務部門エネルギー原単位, H : 世帯数, S : 建物延床面積, i : メッシュ, j : 建て方別 (一戸建住宅, 集合住宅), k : エネルギー種類 (電気, 都市ガス, LPGなど), l : 建物用途 (事務所ビル, 卸・小売, 飲食店など)

b) CO₂排出量の推計

CO₂排出量の推計には, エネルギー種別ごとに排出係数 (kg-CO₂/MJ) とよばれる原単位を用いる. 本研究では, 対象都市を考慮し, 2000年時点の中部電力の排出係数¹³⁾を使用する.

CO₂排出量は, 各年ごとに次式で表される.

$$C_i = Cr_i + Cc_i \quad (4)$$

$$Cr_i = \sum_{j=1}^l \sum_{k=1}^k Er_{j,k} \times G_k \quad (5)$$

$$Cc_i = \sum_{l=1}^l \sum_{k=1}^k Ec_{l,k} \times G_k \quad (6)$$

C : 総CO₂排出量, Cr : 家庭部門CO₂排出量, Cc : 業務部門CO₂排出量, G : CO₂排出係数

3 結果

図-4に, 人口・世帯数及び世帯構成人数の結果を示す. 名古屋市の人口は, 2000年において224万人であり, 2015年前後にピークを迎え, その後減少傾向に向かい, 2050年には199万人程度になる. 同様に, 世帯も2015年から2020年の間にピークを迎え, 緩やかに減少していく. 世帯数が人口と比較して緩やかな減少傾向をたどるのは, 人口構成が高齢化に向かうにつれ, 世帯主となりうるこれら高齢者人口層が増加するためである. ただし, 高齢世帯の増加は, そのうちに占める単身世帯・夫婦世帯の割合が大きいことから, 平均的な世帯構成人数を減少させる.

図-5に, シナリオ別の住宅数の結果を示す. 本研究では, 転入率を0%に集約率を100%に設定した極端な集約化の傾向を反映している. この結果から, 中心区集約型と分散集約型において, 住宅の総数が圧倒的に減少していく. 一方, 非集約型は, 世帯の増減に対応し変化する.

また, 業務建物数は, 人口との関係によって設定しているため, この人口の増減に合わせて変化する.

図-6に, シナリオ別のエネルギー消費量の結果を示す. 都市の空間構造の変化を考察するため, 技術的な対策は行わず, 都市の空間構造の変化のみによるエネルギー消費量の違いを表した Case0 の結果を比較する. この結果,

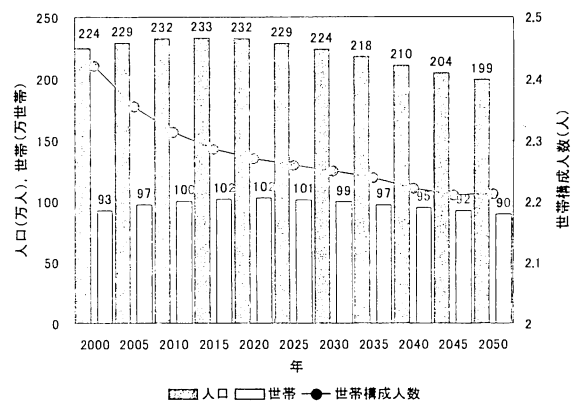


図-4 人口・世帯数及び世帯構成人数の結果

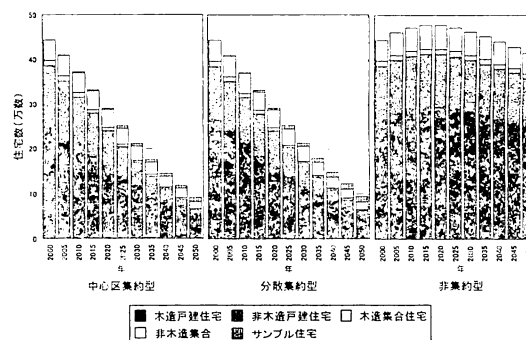


図-5 シナリオ別の住宅数の結果

2050年には非集約化の場合 1.816Mtoe (2000年比 7.904%削減) となり, 分散集約型の場合 1.713Mtoe (同比 13.140%削減), 中心区集約型の場合 1.708Mtoe (同比 13.422%) となった. ここで, 分散集約型と中心区集約型を比較した場合, 0.005Mtoe (0.282%) しか変わらず, 大幅に都市の構造を変化させる一極型より多極型の方が現実的且つ効果的に集約が可能であると考えられる.

技術対策を行った場合, エネルギー消費量はどの対策下においても減少し, 例えば非集約型の場合, 住宅・建物の数が多いことから, これらの屋上面に太陽光パネルの設置が多く可能であり, エネルギー消費量が大幅に削減される結果となった.

図-7に, シナリオ別の CO₂排出量の結果を示す. この結果, Case0 の都市の空間構造の変化による違いは, 2000年から2050年の削減割合が非集約の場合 8.056%, 分散集約型の場合 13.285%, 中心区集約型の場合 13.671%となった. エネルギー消費量同様, 集約地区による差は小さい. 技術対策を行った場合, 概ね CO₂排出量は削減され, 特に Case1 の CGS (吸収式冷凍機あり) の場合で最も削減が見込める結果となった. 一方, Case3 のヒートポンプの場合, エネルギー消費量 (図-6) としては削減されるものの, CO₂排出量としては増加する結果となった. これは, 排出係数によるものであり, 電力を作る際にどのような資源を用いているかに依存している.

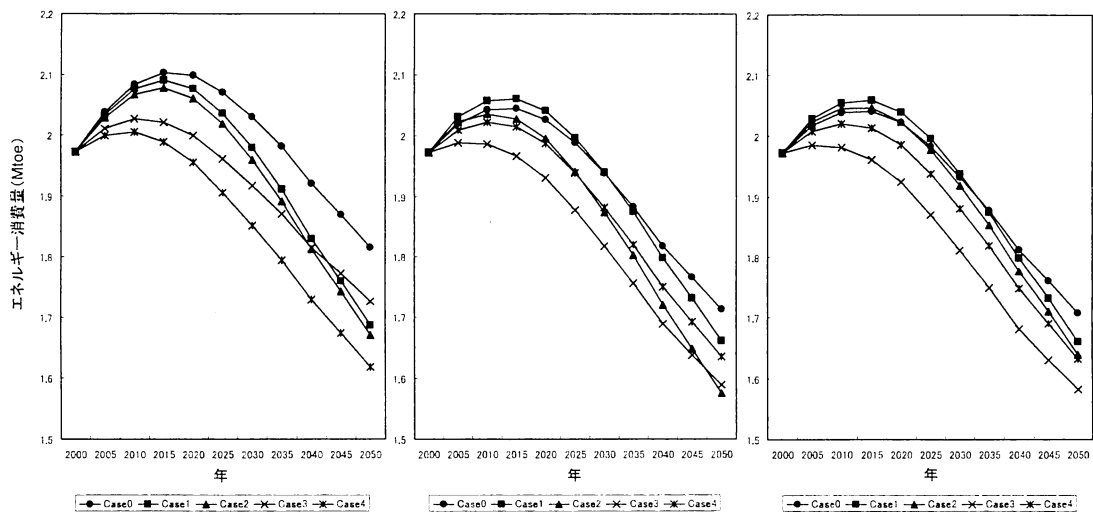


図6 シナリオ別のエネルギー消費量（左：非集約型，中：分散集約型，右：中心区集約型）

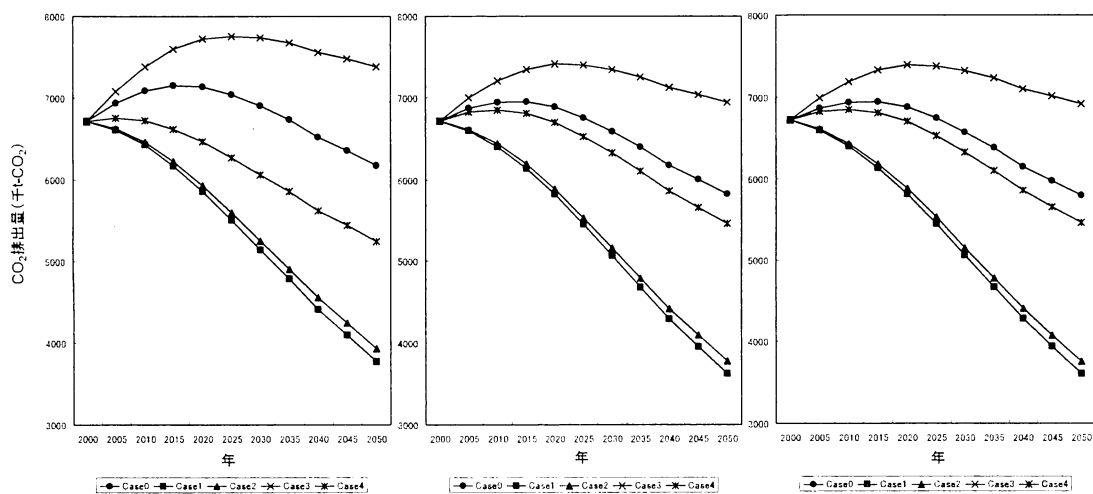


図7 シナリオ別のCO₂排出量（左：非集約型，中：分散集約型，右：中心区集約型）

ここで得られた結果はあくまでも名古屋市の空間構造の特徴を反映したものであり、また技術対策の場合も多くの変定をおいている。そのため、今後更なる検討が必要であることを付記しておく。

図-8 に、最も現実的かつ効果的であると考えられる分散集約型の場合における 2050 年での集約率と 2050 年の CO₂ 排出量、また 2000 年に対する CO₂ 排出量の削減率

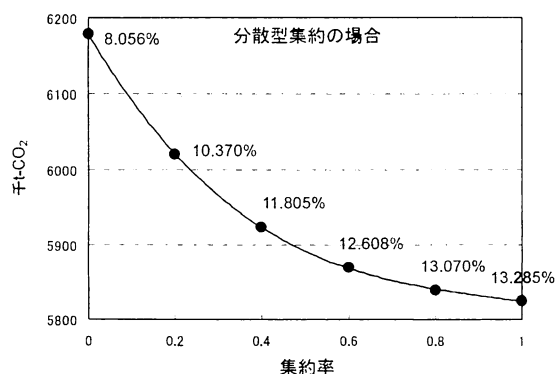


図-8 集約率と 2050 年の CO₂ 排出量

を示す。この結果、集約率と CO₂ 排出量は下に凸の関係となり、その変化量を見ると集約率が低い時に大きく、高い時に小さい。そのため、建て替え時において集約地区に少しの世帯でも移住させるならば、都市の空間構造の集約化によって CO₂ 排出量の削減効果が高く得られる可能性がある。

図-9 に、2000 年と 2050 年における CO₂ 排出量の空間分布を示す。また参考までに、分散集約型で最も削減が見込めると考えられる Case1 の CGS（吸収式冷凍機あり）の空間分布と、太陽光発電のケースを示す。これらの図によって、都市の空間構造が概観でき、さらに詳細な地域における CO₂ 排出量のパターンが確認できる。

4 まとめ

本研究では、名古屋市を対象に、都市空間の再編に伴う CO₂ 排出量の削減効果を評価するため、人口や世帯の

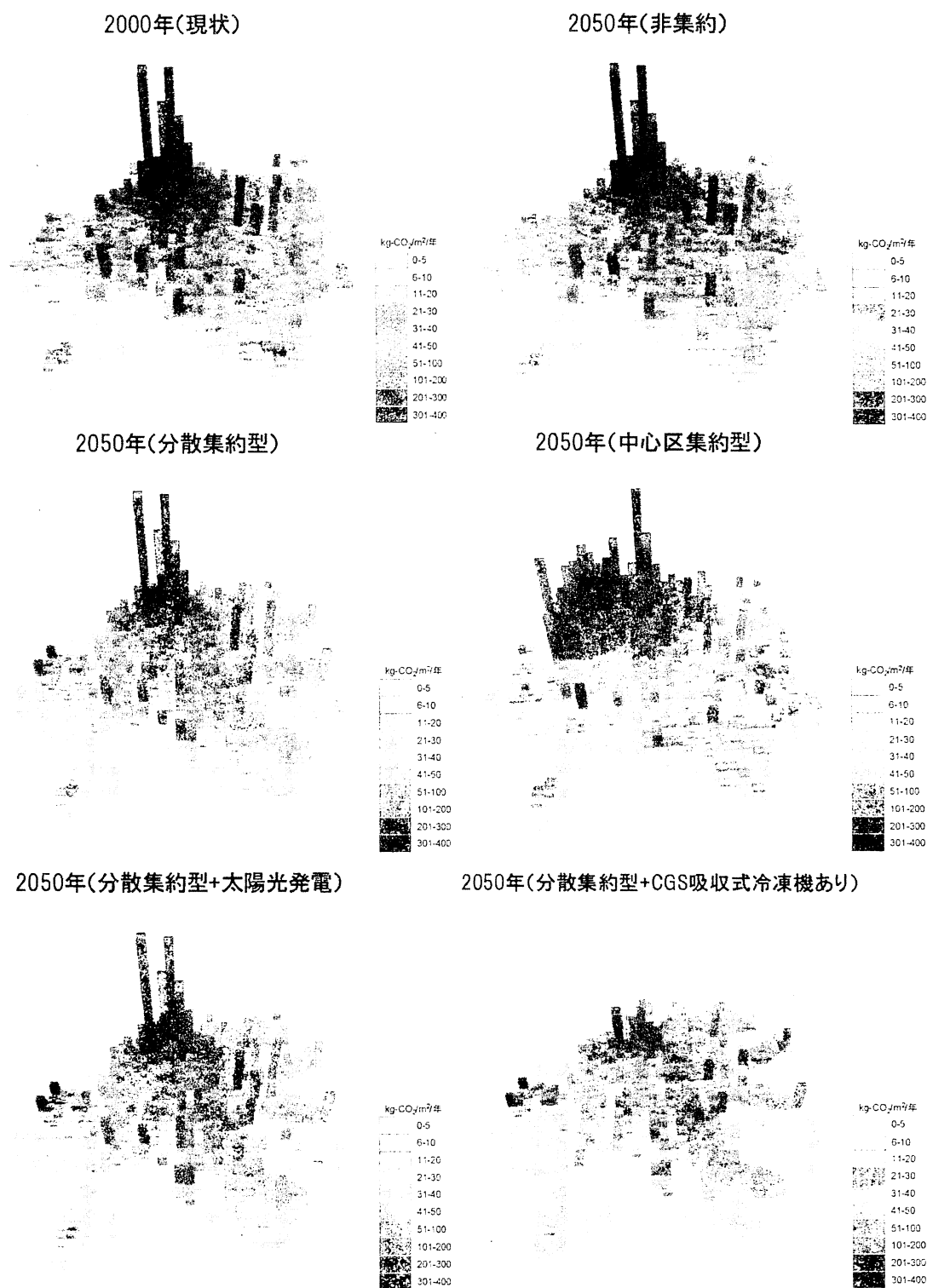


図-9 2000年と2050年におけるCO₂排出量の空間分布

増減、建物の廃棄・建て替え、またこれらの再配置を変化させた場合の、2000年から2050年までの民生部門のエネルギー消費量及びCO₂排出量を推計した。このような推計フレームを作成することによって、都市空間の再編が表現でき、この空間の配置の違いによるエネルギー消費量及びCO₂排出量が容易に推計できるようになった。

ただし、集約化に伴う温暖化対策には、立地の転換に伴うエネルギー利用形態の更新や緑地の新設の効果などを把握する必要がある。また、家庭部門の推計で用いた原単位は、世帯属性によって変化することが考えられ、このような社会変化をより詳細に考慮する必要がある。業務部門の推計については、用途別建物ごとの利用者の

増減や選択、その立地条件の変化などによって、建物の数や規模が決定されるため改善が必要である。また、対策技術に関しては、地域冷暖房や断熱効果などのような他の様々な対策が考えられ、今後とりうる対策の効果を示すことによって、さらに綿密に評価できると考えられる。加えて、建て替えにおいてはLCAの観点から、間接的なCO₂排出量を分析する必要がある。さらに、推計フレーム全体として、民生部門のみならず交通部門を考慮することによって、集約化による都市空間構造の違いの総体的な評価が可能になると考えられる。

謝辞：本研究を実施するにあたり、名古屋市環境局環境都市推進部地球温暖化対策室から、多大なるご協力を得た。関係各位に謝意を表する。また、本研究は環境省の地球環境研究総合推進費（研究課題番号Hc-086）「低炭素型都市づくり施策の効果とその評価に関する研究」（代表：井村秀文）と、文部科学省・日本学術振興会科学研究費補助金（萌芽研究）「土地利用と『水みち』に着目した田園都市空間の分析・計画・デザイン手法の創出」（代表：清水裕之）の一環として行われたものである。記して深謝する。

参考文献

- 1) 温室効果ガスインベントリオフィス：日本の温室効果ガス排出量データ(1990～2007年), <http://www-gio.nics.go.jp/index-j.html>.
- 2) 環境省 HP：IPCC 第 4 次評価報告書について, http://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th_rep.html.
- 3) 電子政府の総合窓口：地球温暖化対策の推進に関する法律, <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H10/H10HO117.html>.
- 4) 名古屋市ウェブサイト：環境モデル都市提案書, <http://www.city.nagoya.jp/shisei/organization/kankyo/nagoya00054908.html>.
- 5) 田頭直人：エネルギー削減を目指した地域の区間構造とその効果に関する分析, 日本都市計画学会学術研究論文集, 37, pp.127-132, 2002.
- 6) 下田吉之・山口容平・水野稔：大都市のエネルギーシステム変革シナリオ(大阪市を例に), 家庭・業務部門の温暖化対策, pp.43-56, 国立環境研究所, 2008.
- 7) 林良嗣・加藤博和・北野恭央・喜代永さち子：都市空間構造改変施策に伴う各種環境負荷のライフサイクル評価システム, 環境システム研究論文集, Vol. 28, pp.55-62, 2000.
- 8) 平成 12 年度国勢調査.
- 9) 平成13年度名古屋市都市計画基礎調査.
- 10) 小松幸夫・加藤裕久・吉田郎・野城智也：わが国における各種住宅の寿命分布に関する調査報告, 日本建築学会計画系論文報告集, 第439号, pp.101-110, 1992.
- 11) 高島健志：都市の高密度化と各種省エネルギー技術導入によるCO₂排出削減ポテンシャル, 群馬大学卒業論文, 2009.
- 12) (財)エネルギー経済研究所：民生部門エネルギー消費実態調査, 1997.
- 13) 環境省 HP：事業者別排出係数等一覧, www.env.go.jp/earth/hg-santeikohy/.../h17_coefficient.pdf.

Fundamental Study on Changes of Urban Spatial Structures by Concentration

Yosuke TAKAHIRA¹, Akio ONISHI¹, Hiroki TANIKAWA² and Hidefumi IMURA¹

¹ Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

² Graduate School of Engineering, Nagoya University

It is now essential to devise measures of urban toward low carbon city. Therefore, in order to evaluate effects of reductions of CO₂ emission by changing of urban structures and introducing technical measures, this study estimates CO₂ emissions from residential and commercial sectors of Nagoya city from 2000 to 2050 by 500-m meshes. The scenarios of urban structures are; 1) not concentration, 2) concentration at train and subway stations, and 3) concentration at central districts. The scenarios of technical measures are; 1) CGS (Cogeneration System) with absorption refrigerator, 2) CGS without absorption refrigerator, 3) Heat pump, and 4) PV (Photovoltaic power generation). By considering those spatial and technical scenarios of the CO₂ emission, it enables us to obtain emission situation of individual region, and we believe it would be useful information for urban planning, especially for the prevention of global warming.