低炭素都市実現に向けたシミュレータの開発

－名古屋市の民生部門を対象として－

Development of an Urban Simulator for Achieving a Low Carbon City : Target of Residential and Commercial Sectors of Nagoya City

大西　暁生*・高平　洋祐**・谷川　寛樹***・井村　秀文**
Akio Onishi *・Yosuke Takahira **・Hiroki Tanikawa ***・Hidefumi Imura **

In order to achieve a low carbon city, it is necessary to target residential and commercial sectors and transportation sector. It is also important to include aspects of mid- and long-term visions on urban planning and national land planning. Therefore, this study constructs a simulator to evaluate effects of reductions of CO_2 emission by changing of urban structures and by introducing saving energy technology. Concretely, this study estimates energy consumptions and CO_2 emissions from residential and commercial sectors of Nagoya city from 2000 to 2050 by 500-m meshes. By acquiring the results from this study, we can understand the potential of reduction of CO_2 emission by changing of urban structures and by introducing saving energy technology. Also, we believe that it would be useful information for urban planning, especially for the prevention of global warming.

Keywords: Low Carbon City, Urban Simulator, Nagoya City, Residential and Commercial Sectors
低炭素都市，都市シミュレータ，名古屋市，民生（家庭・業務）部門

1. はじめに

増え続ける温室効果ガスを削減するには，都市における省エネルギーが重要な課題であり，現在，具体的な目標達成に向けた実効性のある対策が求められている[1)]．こうした中，IPCC の 4 次評価報告書[2)]では，建築部門（建物からの排出として主に民生部門）における削減ポテンシャルが高いことを示しており，また環境モデル都市提案書[3)]に見られるように，多くの都市では民生部門での大幅な削減を目標として掲げている．さらに，自然エネルギーの利用や省エネ技術の開発・導入，ならびに，自動車社会からの脱却を目指した機能的な公共交通機関の整備，また緑地や水辺などの身近な環境の整備が，都市計画や国土計画の基軸となりつつあり，このような中長期的な見通しのもとで都市の低炭素化が進められている．

現在，多くの都市では人口減少社会や建物更新時期を迎えており，これを機に抜本的な空間の再編が検討されている．このような都市空間の再編は，都市をより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ともに，生活の場としての空間をさらに向上していくことを目的としている．例えば，本研究の対象地である名古屋市では，「低炭素でも快適な都市」の実現を目標に，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「駅そばライフ」とともに，「風水緑陰ライフ」によって生活の質を向上させていく構想が示されている[4)]．

このような都市の低炭素化を目的とした既存研究として，下田ら[5)]や田頭[6)]の研究があり，さらに生活向上といった観点を含めた研究として林ら[7)]や鈴木ら[8)]がある．これらの研究では，持続可能性を構成する環境・経済（財政）・社会（生活）といった代表的な指標をライフサイクル環境負荷・維持コスト・QOL（Quality of Life）として推計している．

本研究では，上記の研究ならびに住宅・業務建物レベルにおける省エネ技術導入の効果などの研究実績が多い建築分野の研究などを参考にしつつも，人口動態やそれによる社会変化，また建物寿命を考慮した建替え時期やその配置パターンといったことを考慮しながら，都市空間の再編及び省エネ技術導入の双方の効果を分析する．具体的には，名古屋市を対象に，人口及び土地・住宅・業務建物利用などのデータを用いて 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 CO_2 排出量を 500m 格子ごとに推計する．

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・業務建物のライフサイクルを考慮し，③都市空間の再編を建物・土地利用変化として表わし，④エネルギー消費量及び CO_2 排出量を推計する[9)]．この結果，都市空間構造の違いによる CO_2 排出量の変化が評価できる．さらに，⑤省エネ技術の導入をシナリオとして扱うことによって CO_2 排出量の削減効果を評価する[(1)]．

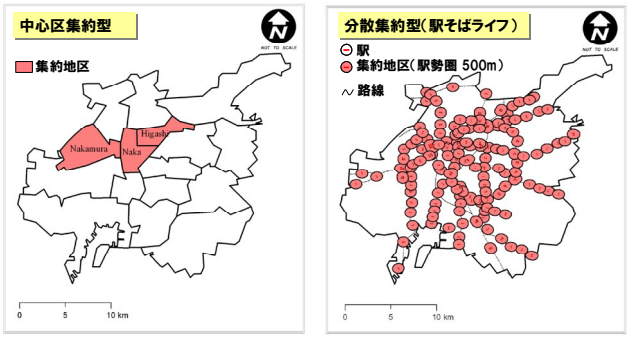
まず，家庭部門の推計には，国勢調査のデータ[10)]をもとに格子ごとの人口コーホートを用いて年齢別の人口を推計し，さらに世帯主率法・家族類型（親族，非親族，単独）などを考慮しながら，最終的に格子ごとの世帯数を求める．次に，名古屋市の都市計画基礎調査のデータ[11)]を用いて，住宅の建て方・構造別のデータを格子単位で整備し，小松ら[12)]の研究を参考にこれらの属性別に住宅の廃棄を建物コーホートによって表す．これらの人口・世帯の増減や住宅の寿命の変化によって，新築される住宅数などが決定される．

*　正会員　名古屋大学大学院環境学研究科(Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University)
**　非会員　名古屋大学大学院環境学研究科(Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University)
***非会員　名古屋大学大学院工学研究科(Graduate School and School of Engineering, Nagoya University)

業務部門の推計には，用途別の業務用建物の棟数や延床面積を都市計画基礎調査データ[11]より 500m 格子単位で整備し，将来の棟数は市内の人口に比例して決定する．

つづいて，以上の方法によって推計された人口・世帯数と住宅数・業務建物数を，集約化のシナリオに合わせ，住宅においては新築段階において，業務建物においては人口分布において，特定の地区に再配置され，集約型の都市空間を目指す場合には，人口・世帯や住宅・業務建物が任意の集約地に集つまる．本研究で設定した都市空間のシナリオは，2 つの集約型と現状を反映した非集約型の場合の計 3 通りである．まず，集約型の 1 つ目は，「中心区集約型」であり，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を含めた 3 区を設定する（図-1）．2 つ目の集約型は，駅周辺に集約させる「分散集約型」であり，名古屋市の進めている「駅そばライフ」[4]を参考としている（図-1）．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．次に，「非集約型」とは，現状の住宅・業務建物配置とほぼ同様であり、都市空間構造は変わらないこととする．

最後に，住宅・業務建物に，コージェネレーションシステム（CGS：Cogeneration System），ヒートポンプ，太陽光発電などの省エネ技術を導入した際のエネルギー消費量及び CO_2 排出量の削減効果を示す．これは，高島[13]の研究を参考に設定した．この省エネ技術導入シナリオを表-1 に示す．



【図-1】集約地区

【表-1】省エネ技術導入シナリオ

対策ケース	技術
case0	無対策ケース（都市空間再編のみ）
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

エネルギー消費量の推計には原単位法を用いる．ここで，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/m^2）を用いる．この原単位を用いる理由は，同じ都市内でも場所によって一世帯あたりの延床面積が異なる可能性があり（例えば都心のような過密な場所では一世帯あたりの延床面積は概して小さくなる傾向があると考えられる），このような居住場所の違いを考慮して，エネルギー消費量を推計するためである．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[14]の値を使用する．

ここで，省エネ技術導入シナリオの場合は，家庭部門及び業務部門によって使用されているエネルギーの種類が変わったり，原単位自体が改善されたり，もしくは使用エネルギーが太陽エネルギーに代替されることによって表される．

CO_2 排出量の推計には，エネルギー種別ごとに排出係数（$kg\text{-}CO_2/MJ$）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[15]を使用する．

3. 結果

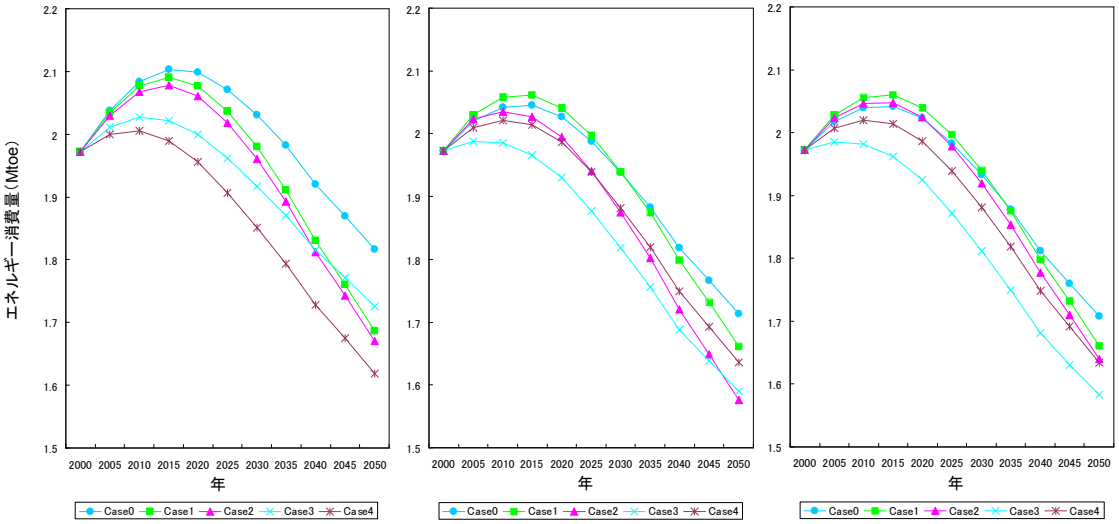
図-2 に，シナリオ別のエネルギー消費量の結果を示す．都市の空間再編の効果を考察するため，省エネ技術導入は行わない Case0 の結果を比較する．この結果，2050 年には非集約型の場合 1.816Mtoe（2000 年比 7.904%削減）となり，分散集約型の場合 1.713Mtoe（同年比 13.140%削減），中心区集約型の場合 1.708Mtoe（同年比 13.422%）となった．ここで，分散集約型と中心区集約型を比較した場合，0.005Mtoe（0.282%）しか変わらず，大幅に都市の空間を再編しても，一極型より多極型の方が現実的且つ効果的に集約が可能であると考えられる．省エネ技術を導入した場合，エネルギー消費量はどの対策においても減少し，例えば非集約型の場合，住宅・業務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-3 に，シナリオ別の CO_2 排出量の結果を示す．また表-2 に，2000 年と 2050 年のシナリオ別の CO_2 排出量の結果を，また 2050 年の削減割合（2000 年比）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，2 つの集約地区による差は小さいことが分かった．省エネ技術を導入した場合，概ね CO_2 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．ここで得られ

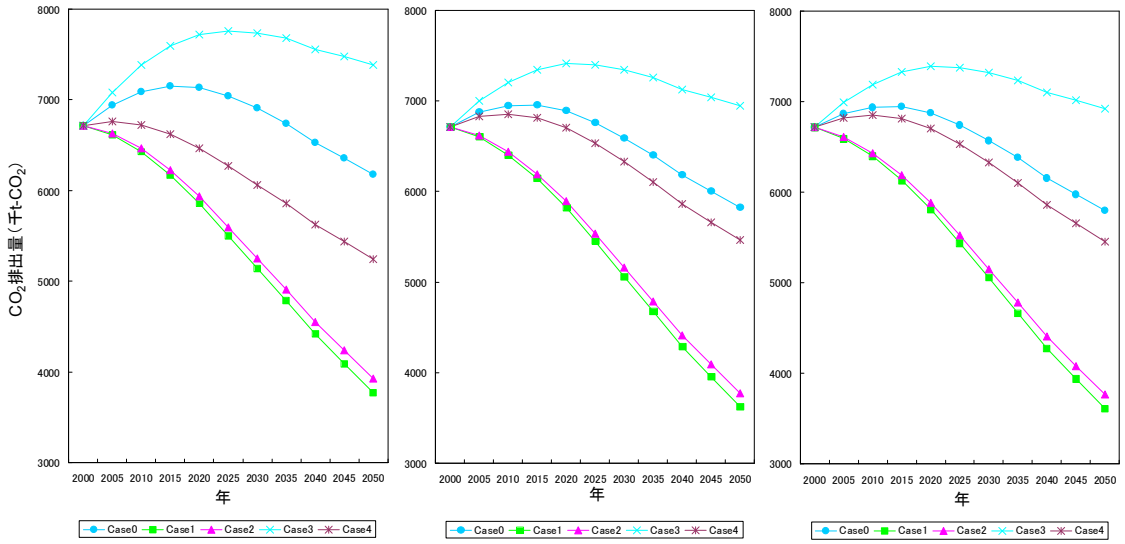
【表-2】2000 年と 2050 年のシナリオ別の CO_2 排出量

シナリオ別 CO_2 排出量					
千 t-CO_2	非集約型				
	Case0	Case1	Case2	Case3	Case4
2000	6716.559	6716.559	6716.559	6716.559	6716.559
2050	6175.501	3767.316	3929.599	7383.124	5245.740
千 t-CO_2	分散集約型				
	Case0	Case1	Case2	Case3	Case4
2000	6716.559	6716.559	6716.559	6716.559	6716.559
2050	5824.269	3623.123	3773.871	6949.385	5462.112
千 t-CO_2	中心区集約型				
	Case0	Case1	Case2	Case3	Case4
2000	6716.559	6716.559	6716.559	6716.559	6716.559
2050	5798.372	3611.556	3761.808	6919.792	5452.705
2050 年の削減割合(%)（2000 年比）					
i)	-8.056	-43.910	-41.494	+9.924	-21.898
ii)	-13.285	-46.057	-43.812	+3.466	-18.677
iii)	-13.671	-46.229	-43.992	+3.026	-18.817

i) 非集約型，ii) 分散集約型，iii) 中心区集約型



【図-2】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）
注）2015年頃までは人口や世帯が増加し，その後低下するため上に凸のグラフになっている．



【図-3】シナリオ別のCO_2排出量（左：非集約型，中：分散集約型，右：中心区集約型）
注）2015年頃までは人口や世帯が増加し，その後低下するため上に凸のグラフになっている．

た結果はあくまでも名古屋市の都市空間の特徴を反映したものであり，また省エネ技術導入の場合も多くの仮定をおいて推計しているため，今後更なる検討が必要である．

図-4 に，最も現実的且つ効果的な集約化の方法と考えられる分散集約型の場合における 2050 年の集約率と 2050 年の CO_2 排出量，また 2000 年に対する CO_2 排出量の削減割合を示す．この結果，集約率と CO_2 排出量は下に凸の関係となり，その変化率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でも世帯の移住を進めるならば，集約化によって CO_2 排出量の削減が見込めると考えられる．ただしこれも集約化の方法や原単位の設定の仕方によって結果が異なるため，今後更なる検討が必要である．

図-5 に，2000 年と 2050 年における CO_2 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．これらの図から，都市の空間再編が概観でき，さらに詳細な地域における CO_2 排出量の空間的パターンを見ることができる．

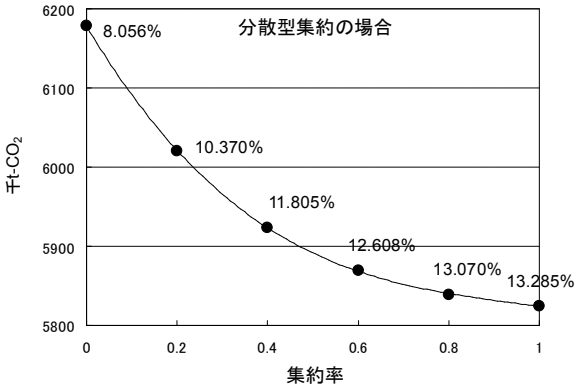
4. まとめ

低炭素都市の実現は，喫緊の課題である．このような都市の低炭素化には省エネ技術の導入とともに，中長期的なビジョンを持った都市計画や国土計画の役割が重要となる．

そのため本研究では，名古屋市の民生部門を対象に，都市空間の再編及び省エネ技術導入に伴う CO_2 排出量の削減効果を評価するためのシミュレータを作成した．ただし，都市空間構造の変化によって CO_2 排出量の大幅な削減が見込まれるのは交通部門である．そのため，総合的な都市シミュレータを作成するためには，民生部門・交通部門の双方を考慮できるようなシミュレータに拡張する必要がある．

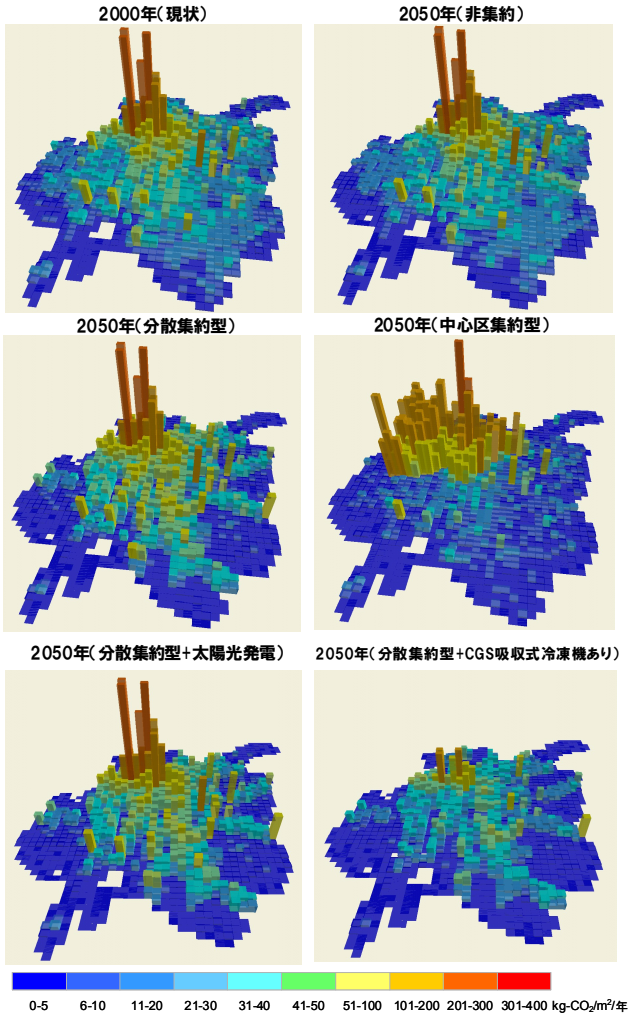
補注

(1) 2 章「分析方法」については，大西ら（2009）と同様である．



【図-4】集約率と 2050 年の CO_2 排出量の関係

注）図中のパセンテージは 2050 年の削減割合（2000 年比）を示す.



【図-5】2000 年と 2050 年のシナリオ別の CO_2 排出量の空間分布

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) 平野勇二郎・曹鑫・大西暁生・井村秀文（2009）世界の諸都市における CO_2 排出の現状と取り組みの事例紹介，都市計画，Vol.58 No.3，pp.33-36.
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.，2009 年 8 月 24 日.
3) 内閣官房地域活性化統合事務局：環境モデル都市提案書，http://www.kantei.go.jp/jp/singi/tiiki/teiannaiyou.html，2009 年 8 月 24 日.
4) 名古屋市 HP，環境モデル都市提案書，http://www.city.nagoya.jp/shisei/organization/kankyo/nagoya00054908.html，2009 年 8 月 24 日.
5) 下田吉之・山口容平・水野稔（2008）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（国立環境研究所），pp.43-56.
6) 田頭直人（2002）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.
7) 林良嗣・加藤博和・北野恭央・喜代永さち子（2000）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，pp55-62.
8) 鈴木祐大・柴原尚希・川添豊・加藤博和・林良嗣（2009）都市域を対象とするライフサイクル環境負荷・維持コスト・QOL 推計システムの基礎的検討，平成 20 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，CD-ROM (IV-53)，pp.383-384.
9) 大西暁生・高平洋祐・谷川寛樹・井村秀文（2009）名古屋市における低炭素都市実現に向けたシミュレータの開発-民生部門を対象として-，日本ヒートアイランド学会第 4 回全国大会公募研究発表，pp.60-61.
10) 名古屋市環境局提供，平成 12 年度国勢調査.
11) 名古屋市環境局提供，平成 13 年度名古屋市都市計画基礎調査.
12) 小松幸夫・加藤裕久・吉田郎・野城智也（1992）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.
13) 高島健志（2009）都市の高密度化と各種省エネルギー技術導入による CO_2 排出削減ポテンシャル，群馬大学卒業論文.
14) (財)エネルギー経済研究所（1997）民生部門エネルギー消費実態調査.
15) 環境省 HP，事業者別排出係数等一覧，http://www.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/，2009 年 8 月 24 日.

注）

本稿は大西ら（2009）「環境省地球環境研究総合推進費研究成果報告書 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」に基づき加筆・修正を行ったものである.