

環境・経済・社会のトリプル・ボトムライン に基づく持続可能な都市空間構造の検討

国立環境研究所 社会環境システム研究センター	戸川 卓哉
名古屋大学 大学院環境学研究科	加藤 博和
名古屋大学 大学院環境学研究科	林 良嗣
名古屋大学 大学院環境学研究科	森田 紘圭

A Study in Sustainable Urban Spatial Structure Based on Triple Bottom Line Perspective

Takuya TOGAWA

National Institute for Environmental Studies

Hirokazu KATO

Yoshitsugu HAYASHI

Hiroyoshi MORITA

Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

Abstract:

The aim of this study is to propose sustainable urban spatial structure based on Triple-Bottom-Line (environment, economic and social factors). A case study in Nagoya metropolitan area provide following results: Calculation of CO₂ emission, built-up area maintenance cost and QOL indicators in business as usual scenario indicate inefficiency of suburban area and retreatment from inefficient area recovers potential of these indicators.

Keywords: CO₂ emission, Infrastructure maintenance cost, QOL, cohort model

1. はじめに

「拡散」した都市は、土地利用の膨大な無駄

著者連絡先 戸川 卓哉
〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2
国立環境研究所社会環境システム研究センター
E-mail: togawa.takuya@nies.go.jp

を発生させることにつながる。これは、経済面だけでなく環境面においても持続性を損なうものとして懸念される。特に人口減少社会にあっては土地への需要が減退することから、今まで築いてきた資本を活かすことを大前提として、効果的に資本を集約することで無駄を削減していく発想が必要となる。

林¹⁾は、日本の土地利用を「だらしのない拡

散」の結末としてのカタストロフィーから救い出すための方向性として、「スマート・シュリンキング」を掲げている。そして、「スマート」を「かしこい」、「シュリンキング」を（一般には「縮退」と訳されることが多いが）「凝集」と表現する。その意図するところは、「人口増加過程で拡散してしまった種々様々な社会的機能を、高度に集約化することで、人口減少社会での質の維持・向上を目指す」というものである。

「スマート・シュリンキング＝かしこい凝集」は、単に居住地をコンパクトにする、という視野にとどまらない。これは、その土地のもつポテンシャルを、地域の身の丈に合わせて最大限に発揮させることを指すものである。結果的に居住地はコンパクトになるかもしれないが、必ずしもコンパクトシティありきではない。

以上の背景を踏まえて、本研究では都市空間構造の凝集の方法と効果を、実都市を対象としたケーススタディから分析する。

2. 都市域凝集策評価の視点

「かしこい凝集」が社会を持続可能に導く力を持つことを証明するために、本研究では環境・社会・経済の3つの視点、つまり「トリプル・ボトムライン」から持続可能性を評価する手法を提案する。

「トリプル・ボトムライン」は、もともとは企業経営における持続可能性評価の考え方として1997年にイギリスのSustainability社のJohn Elkingtonにより提唱された。企業活動を、「経済」収支だけで評価するのではなく、「環境」「社会」の収支も合わせて評価することが持続可能な社会づくりには必要、との考え方である。その後、都市開発の分野でもNewman and Kenworthy³⁾が採用するなど、国や都市、地域の持続可能性を評価する指標としても用いられるようになってきている。

本研究においても、「かしこい凝集」が持続

可能な社会を実現するかどうかの評価方法として、「トリプル・ボトムライン」の考え方を導入する。具体的には、環境指標として「都市活動に伴う環境負荷」、経済指標として「市街地維持費用」、社会指標として「生活の質」を取り上げ、それぞれ定量評価を行えるようにする。

3. 都市空間構造の持続可能性評価システム (SURQUAS)

3-1 全体構成

詳細なメッシュ単位かつ時系列での環境負荷、QOL および市街地維持費用の推計システムSURQUAS (Smart Urban area Relocation model for sustainable QUALity Stock)を開発する。なお、ここでの環境負荷とは広域・地球レベルの環境に影響を与えるGHG発生量（本研究ではCO₂排出量）であり、騒音や大気汚染等の局地的な生活環境への影響はQOLを変化させるものとして評価する。

システムの全体構成を図-1に示す。都市を構成する建築物・インフラがライフサイクルで発生する環境負荷・維持費用はもとより、これらの上で行われる諸活動に伴い生じる環境負荷や住民のQOLも評価範囲として扱う。推計の空間単位は、約500m四方の4次メッシュ（約0.263km²）とする。対象期間を2005年から2050年までとし、1期5年を単位として計算を行う。

3-2 CO₂の推計方法

本研究では、都市空間構造再編策について、その計画・構想段階における評価を行う。各建築物・インフラの詳細は不明であるため、標準的な設計を想定し、その建設・維持管理・運用・更新・廃棄活動において、その単位（例えば、住宅延べ床面積）あたりの環境負荷・建設費用・維持費用を推計して原単位とする。これにメッシュ単位で集計される建築物のライフサイクル各段階の活動の数量（例えば、住宅の更新量等）を乗じて総和をとることで、総環境負

荷発生量を推計する。

旅客交通活動に伴う CO₂ 排出量については、中京都市圏パーソントリップ調査（2001 年）の結果を用いて、1 人・1 年あたりの原単位として整備する。その際、モーダルシフトに伴う CO₂ 低減効果を計測するために、機関分担率推定モデルとして、QOL の構成要素の 1 つであるアクセシビリティ指標を説明変数に用いたトリップエンド型のロジットモデルを利用する。

3-3 市街地維持費用の推計方法

市街地維持費用は、インフラ維持費用、および災害（現段階では洪水に限定）による期待被害額から推計する。

インフラ維持費用に関しては、統計資料と各市区町村へのヒアリング調査に基づき、各メッシュのインフラの存在量を設定し、それにライフサイクルを考慮した費用原単位を乗じることにより推定する。なお、本研究では生活インフラのみを対象としているため、人口減少や撤退施策の実施により人口が 0 となったメッシュでは、その段階で対策インフラも全て撤去されるものとする。

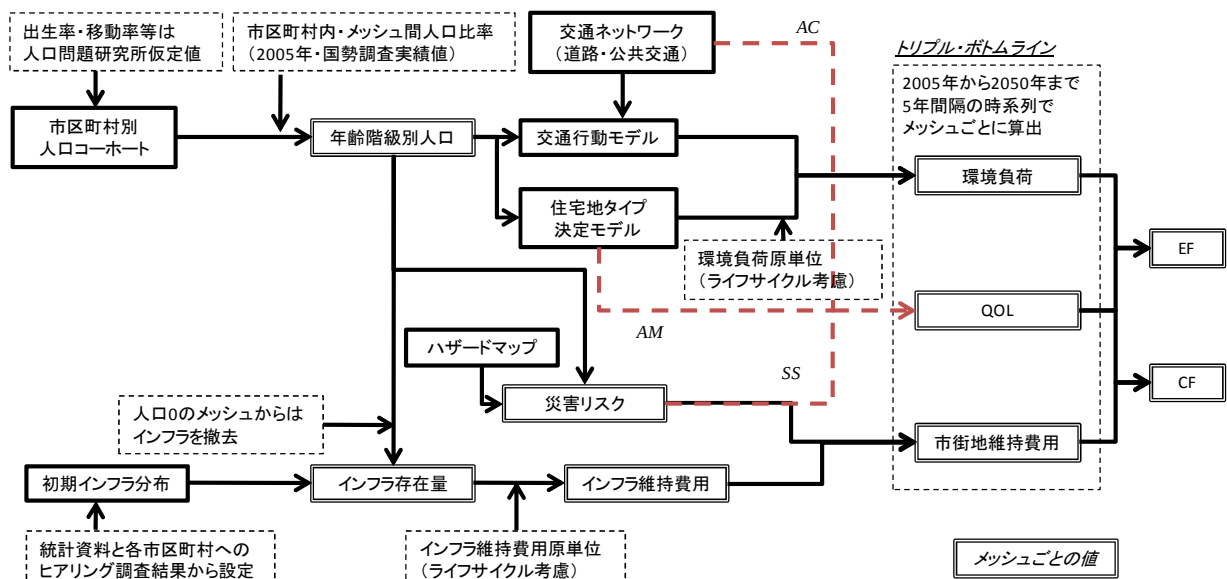
3-4 QOL 指標の推計方法

QOL 指標は表-1 に示すように、交通利便性（AC）・居住快適性（AM）・安心安全性（SS）の各項目に属する計 12 指標の重み付きの総和として定量化する。重みパラメータは、居住地選択に関するアンケート調査結果から、コンジョイント分析により世代別・性別に推定した結果を用いる⁴⁾。

表 1 QOL 構成要素

分類	評価要素	指標
交通利便性 Accessibility (AC)	就業利便性	就業場所への AC
	教育・文化利便性	高校への AC
	健康・医療利便性	病院への AC
	買物・サービス利便性	大型小売店への AC
居住快適性 Amenity (AM)	居住空間使用性	人口あたり居住延床面積
	建物景観調和性	建物高さばらつき
	周辺自然環境性	人口あたり緑地面積
	局地環境負荷性	交通騒音レベル
災害 安全性 Safety & Security (SS)	地震危険性	地震死亡リスク
	洪水危険性	洪水期待浸水深
	犯罪危険性	街頭・侵入犯罪件数
	交通事故危険性	人身事故発生件数

4. 実都市への適用



4-1 対象都市の概要

図-2 に示すように、名古屋駅を中心とする半径 20km 圏内に概ね含まれる市町村（2010 年 5 月現在で 31 市町村）を対象都市圏とし、ケーススタディを行った。

推計の前提となる、対象都市圏の人口コーホートモデルによる将来推計結果を図-5 に示す。人口は 2005 年の 462 万人から 2050 年には 368 万人に減少する。また、高齢化率は 2005 年の 18%から 2050 年には 39%に上昇する。なお、本研究において人口はすべて夜間人口を指すものとする。

4-2 トリプル・ボトムラインの評価結果

各メッシュの所属市区町村における人口比率が現状のまま推移した場合の 2050 年における、人口あたり CO₂ 排出量，人口あたり市街地維持費用，QOL の空間分布の推計結果をそれぞれ図-2～図-4 に示す。

人口あたり CO₂ 排出量は都心と郊外の両極で高い値を示す傾向があり，その中間にドーナツ状に低い地帯が存在している。また，鉄道沿線では都市圏の辺縁部においても低い値となる傾向が読み取れる。

人口あたり市街地維持費用は名古屋市内や周辺都市の中心部およびニュータウン地区などの夜間人口密度が高い地区では低く，郊外部において高い値となっている。特に，都市圏西部で 1 人あたり市街地維持費用が高い地区が広がっている。

QOL は主に都市圏西部に広がる洪水危険性の高い地区で顕著に低い値を示す。これは，洪水危険性を他の指標でカバーすることが困難であることを意味する。

5. 都市空間構造シナリオの分析

5-1 設定条件

2050 年時点における，都市域集約の効果を分析した。基本的には，都市圏全体を対象として，

QOL を人口あたり CO₂ 排出量で除した値である環境効率 EF の低い地区から，都心部や駅勢圏への集約を想定する。ここでは，名古屋市内の都心 3 区（中区，中村区，東区）に集約する「中

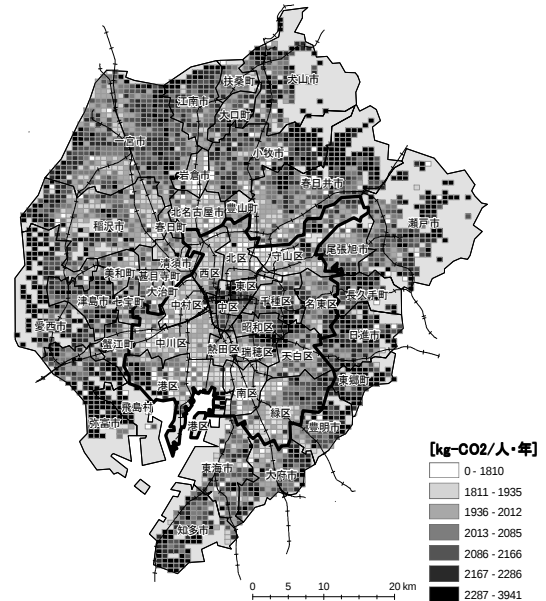


図2 人口あたり CO₂ 排出量（2050 年）

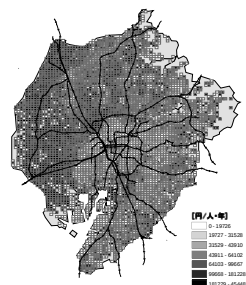


表 2 許容人口密度の設定値

シナリオ	都心区	名古屋市内 駅勢圏 (500m 圏)	名古屋市外 駅勢圏 (500m 圏)
中心都市一極集約	500[人/ha]	-	-
中心都市多極集約	-	200[人/ha]	-
都市圏多極集約	-	100[人/ha]	100[人/ha]

※ - は BAU と同じ人口が維持される

心都市一極集約シナリオ」と、名古屋市内の全駅勢圏に集約する「中心都市多極集約シナリオ」、および、都市圏内で最も近い駅勢圏に集約する「都市圏多極集約シナリオ」の比較分析を行った。いずれのシナリオでも、撤退地区から集約地区への移転人口がほぼ等しくなる（約 100 万人）ように設定している。各シナリオにおける集約地区の許容人口密度の設定値は表-2 の通りである。各シナリオによって実現される人口分布を図-A に、名古屋市内外の人口割合を図-6 に示す。また、図-7 に平均住宅床面積等の基本指標の変化を示す。

5-2 分析結果

a) CO₂ 排出量

各シナリオにおける、人口あたり CO₂ 排出量の変化を図-8 に示す。

BAU (Business As Usual) シナリオ：2005 年の現況値と比較して、人口減少に伴う人口密度の低下により、夜間人口あたり床面積が上昇するため、民生家庭部門の CO₂ 排出量は増加する。しかし、高齢化による自動車分担率の低下やトリップ頻度の減少が起こるため、旅客交通部門の CO₂ 排出量が削減される。さらに、戸建て住宅比率が高まるため、住宅建設・廃棄段階の CO₂ も削減される。その結果、全体としては 2005 年に比べて 4%の CO₂ が削減されている。

中心都市一極集約シナリオ：全項目で CO₂ 排出量が削減されている。特に、公共交通利便性の高い都心部に人口を集約するため、旅客交通起源 CO₂ が-42%と大幅に削減されている。また、高密度化に伴い RC 集合住宅の割合が増加する

ものの、平均住宅床面積の減少幅も大きいため、住宅建設や民生家庭部門から排出される CO₂ も削減される。以上より、全体としては 2005 年に対して-31%の大幅削減が達成されることになる。

中心都市多極集約シナリオ：旅客交通起源の CO₂ は削減されるものの、住宅建設や民生家庭起源の CO₂ 排出量への影響は小さい。RC 集合住宅の割合が増えることと、平均住宅床面積の削減が十分ではないことから、住宅建設段階の CO₂ 排出量は BAU に対して増加する。以上より、全体としては 2005 年に対して-9%削減されることになる。

都市圏多極集約シナリオ：全体では-7%と削減率は小さい値に留まる。これは、BAU と比較して住宅建設や民生家庭起源の CO₂ 排出量はほぼ変化せず、旅客交通部門 CO₂ 排出量の削減幅も小さいためである。

以上をまとめると、都市域集約は CO₂ 削減効果があり、多極集約よりも名古屋市内への一極集約の方が効果的である。

b) 市街地維持費用

各シナリオにおける、人口あたり市街地維持費用の変化を図-9 に示す。BAU シナリオにおいては、人口減少によって 26%上昇する。都市域を集約すれば、郊外のインフラを撤去できるため、20%程度の削減が可能となる。

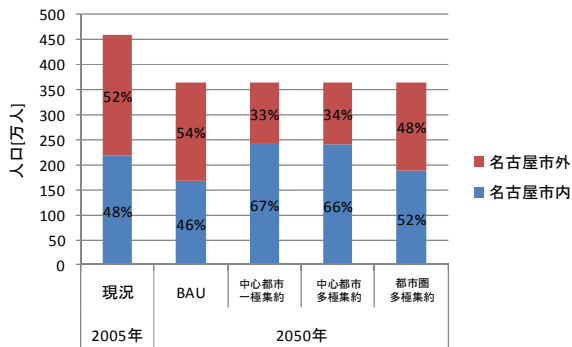


図6 各シナリオにおける名古屋市内外の人口割合

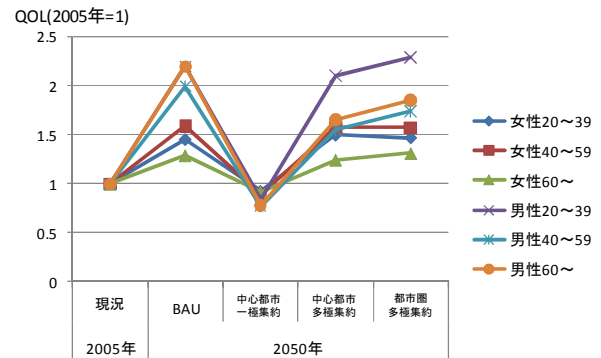


図10 QOL指標の変化

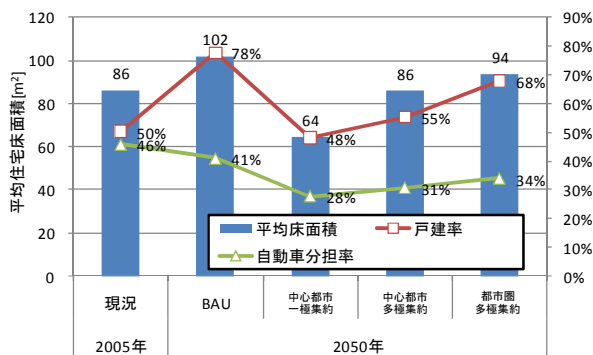


図7 基本指標の変化

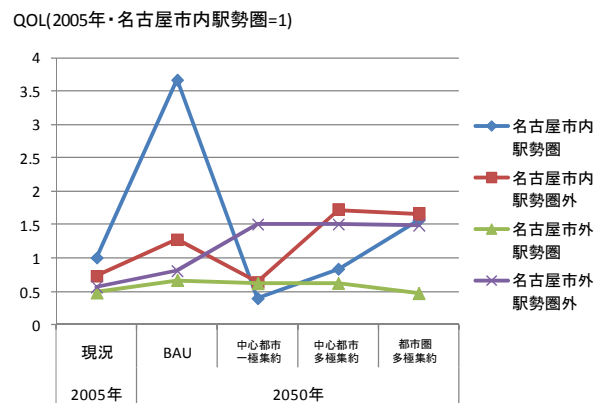


図11 地区別のQOL格差

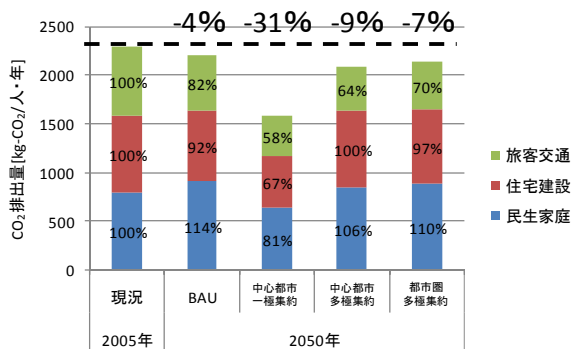


図8 CO₂排出量の変化

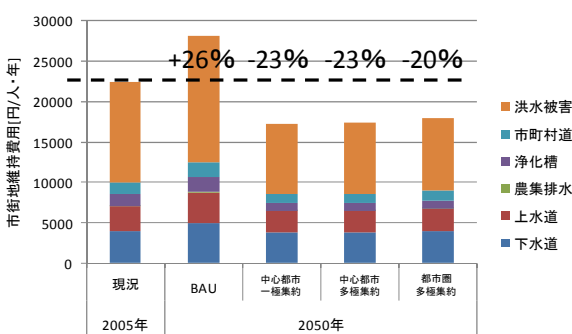


図9 市街地維持費用の変化

c) QOL

各シナリオにおける、年齢階層・性別のQOLへの影響を図-10に示す。2005年の現況値を1とした相対値で表している。

BAUシナリオ：人口減少に伴い人口あたり床面積が上昇し、現状のトレンドを維持したとしても洪水リスクの高い西部地区からの転出が進むため、全てのカテゴリーでQOLは上昇する。

中心都市一極集約シナリオ：若年層（特に男性）のQOLが低下する結果となった。これは、人口あたり住宅床面積の減少が反映されたものと考えられる。

中心都市多極集約シナリオ：床面積が2005年・現況値レベルになることを反映して、BAUとほぼ同水準となった。集約によって特に通勤利便性が改善するため、男性の若年層での評価が高くなった。

都市圏多極集約シナリオ：中心都市多極集約

シナリオよりも、女性・若年層を除いて、やや改善される結果となった。これは、住宅床面積が確保できることや、施設の郊外化により名古屋市外においても買物・通院アクセシビリティが良好となっていることを反映した結果である。

図-11 は、各シナリオにおける名古屋市内と市外および駅勢圏（500m 圏）の内外で場合分けした地区別の QOL 格差（女性 40～59 歳）を表したものである。現況では名古屋市内の駅勢圏が高い値を示しており、BAU シナリオではこの傾向は強化される。それに対して、中心都市一極集約シナリオでは、名古屋市内の QOL が低下し、名古屋市外・駅勢圏外の QOL が最も高い値となる。同様に、中心都市多極集約シナリオでは名古屋市内・駅勢圏の QOL が低下し、都市圏多極集約シナリオでは都市圏全体の駅勢圏の QOL が低下する傾向がある。このように、人口集約地区における人口あたり住宅床面積や緑地面積の低下（混雑発生）に伴う QOL 低下の傾向が顕著である。しかしながら、この結果は駐車場や空き家等が多く混在している現況の中心市街地の状況によるものである。人口集約と QOL の維持向上を両立する街区計画を詳細に検討していくことで解決が可能である。

6. まとめ

本研究では、人口減少社会への対応策として必要性が広く認識されている都市域集約施策を、環境・経済・社会のトリプル・ボトムラインの観点から評価することによって、それが「かしこい」かを検証することを試みた。CO₂ 排出量、QOL 指標、および市街地維持費用をそれぞれ 500m メッシュレベルで時系列推計することができる持続性評価システム SURQUAS を用いた、名古屋都市圏でのケーススタディから以下の知見を得た。

人口を都心地区や駅勢圏に集約するシナリオを設定し、トリプル・ボトムラインへの影響を推計した。その結果、都心部への一極集約では、

CO₂ の削減率は大きいものの、混雑の発生に伴い QOL を低下させてしまう結果となった。一方、都市圏内の人口バランスを維持した多極集約では、トリプル・ボトムラインのすべてが改善される結果となった。

集約拠点の QOL の顕著な低下が見られたのは、現在の中心市街地の状況のまま人を増加させた結果である。街区レベルの再構成によって人口集約と QOL の維持向上を両立できる可能性があり、そのための施策検討が重要である。

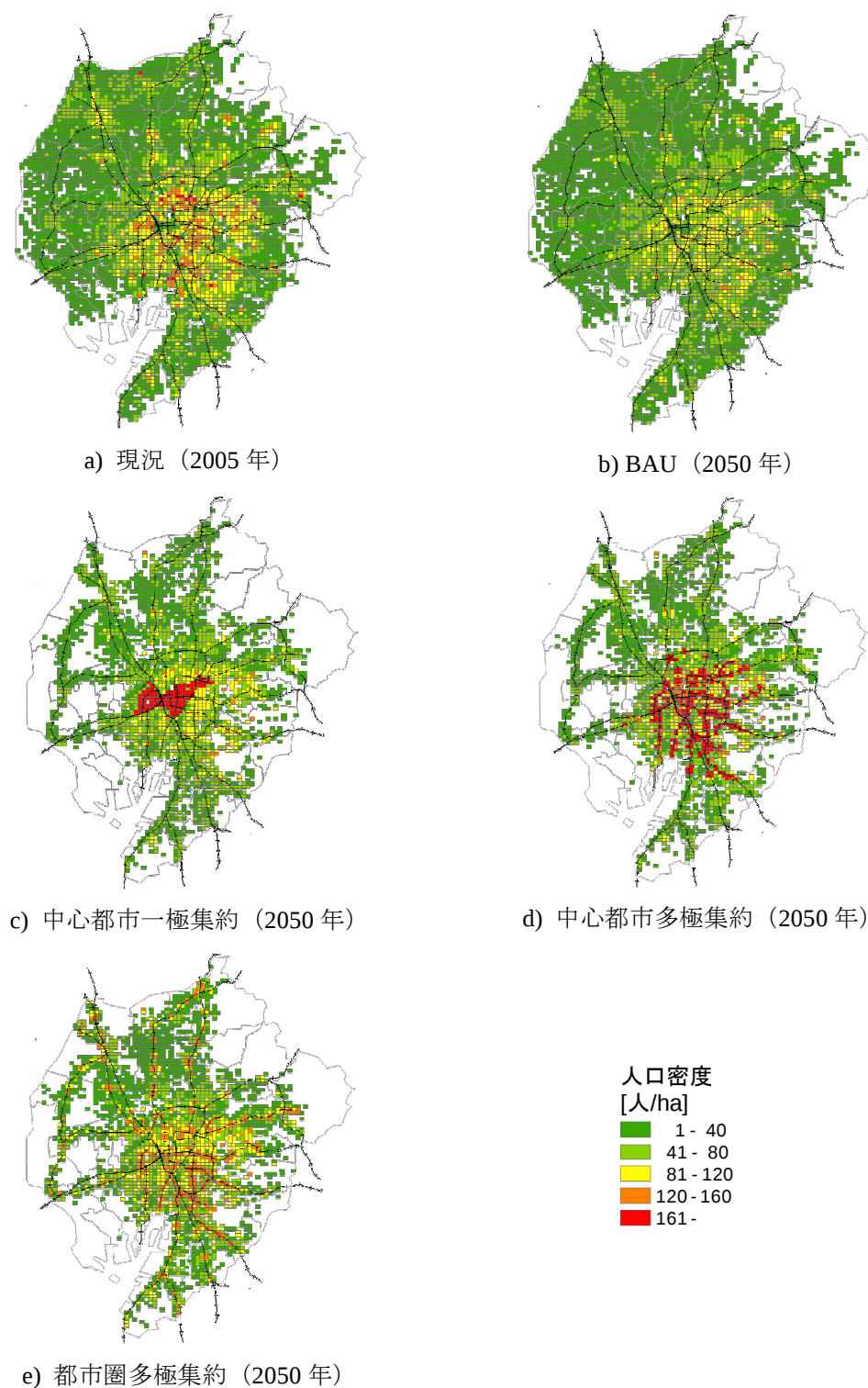
また、集約拠点間の公共交通サービスレベル向上や、郊外に展開した施設の集約など、交通施策や施設配置施策との連携効果の評価も今後の課題である。

謝辞

本研究は、環境省・環境研究総合推進費（E-1105）の支援により実施された。ここに記して謝意を表する。

引用文献

- 1) 林良嗣(2010)：コンパクトシティを考える（下）農村・小都市にも適用を，日経新聞（2010 年 5 月 27 日 25 ページ）。
- 2) 戸川卓哉，小瀬木祐二，鈴木祐大，加藤博和，林良嗣(2010)：環境・経済・社会のトリプル・ボトムラインに基づく都市持続性評価システム，土木計画学研究・講演集，Vol.41，CD-ROM(27)。
- 3) Newman, P. and Kenworthy, J.(1999): Sustainability and cities: Overcoming Automobile Dependence, Island Press, 464p, 1999.
- 4) 加知範康，加藤博和，林良嗣，森杉雅史(2007)：余命指標を用いた生活環境質(QOL)評価と市街地拡大抑制策検討への適用，土木学会論文集 D，No.62(4)，pp.558-57.



図ーA 居住地集約シナリオにおける人口分布