

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*

Urban Sustainability Evaluation System based on Triple Bottom Line Perspective*

戸川卓哉**・小瀬木祐二***・鈴木祐大****・加藤博和**・林良嗣*****

By Takuya TOGAWA**・Yuji OZEKI***・Yuta SUZUKI****・Hirokazu KATO**・Yoshitsugu HAYASHI*****

1. 背景と目的

日本の都市では、高度経済成長期以降、人口増加やモータリゼーション進展を背景に、都市域のスプロールの拡大が進展してきた。スプロール地域は、住民の生活の質（QOL：Quality Of Life）を維持するために必要な道路や上下水道といったインフラが人口に比して多く必要であり、その維持管理・更新活動に伴い必要となる費用も割高となる。また、洪水などの災害リスクの高い地区まで市街地が拡大していることも多く、防災目的のインフラへの投資も必要である。さらに、スプロール型の都市は自動車走行に起因する温室効果ガス（GHG：Green House Gass）排出が多いため、低炭素社会への対応が困難である。さらに人口減少・少子高齢化といった社会状況への対応の必要性を考慮すると、スプロール型の都市構造に起因するさまざまな問題が今後さらに顕在化してくることが懸念される。

以上のことから、21世紀の日本の都市が持続可能となるには、財政面・地球環境面からの制約に対応しつつ、国民が享受するQOLをアウトカム指標とする土地生産性を高め、人口減少下で各地域の身の丈にあったコンパクトな空間を形成する「スマート・シュリンク」戦略が内包される都市経営への転換が必要である。

本研究は、地球温暖化問題への対応を前提として、なおかつ人口減少・少子高齢化や社会資本劣化などの諸課題に対応し、高いQOLを持続的に提供しうる都市空間構造を見だし形成するための戦略を多角的に検討可能なモデルシステムの開発と、その実都市への適用を通じた有効性の検証を目的とする。

*キーワード：地球環境問題，土地利用，市街地整備

**正員，博（工），名古屋大学大学院環境学研究科

（名古屋市千種区不老町，TEL: 052-789-2773，

E-mail: togawa@urban.env.nagoya-u.ac.jp）

***正員，修（工），三菱総合研究所

****学生員，学（工），名古屋大学大学院環境学研究科

*****フェロー，工博，名古屋大学大学院環境学研究科

2. 研究の位置づけ

（1）都市の持続性評価指標

持続可能性を具体的に評価する代表的なアプローチの1つにトリプル・ボトムライン（TBL：Triple Bottom Line）がある。TBLは人間活動を「環境」「経済」「社会」の3つの視点から評価するというものである。国連持続可能な開発委員会（UNCSD：Secretariat of the United Nations Commission on Sustainable Development:）¹⁾が発表している持続可能性評価指標をはじめとして、持続可能性評価に関連した多くの調査・研究がTBLの3要素に着目した整理を行っている。

本研究でもTBLの考え方に従い、都市の持続性を指標化し分析する。「環境」は都市活動に伴う環境負荷、「経済」は自治体の経済・財政状況、「社会」は都市居住者のQOL水準及び個人格差、に対応付ける。

（2）既往研究の成果と本研究の位置づけ

都市空間構造を持続性の観点から評価する研究（大西ら²⁾、池田ら³⁾、佐藤ら⁴⁾）は存在するが、環境や財政といった単一の視点から行われており、統合的な観点からの持続可能性の検証は十分ではない。金ら⁵⁾は、TBLの観点から指標の整理を行っているが、都市ごとのマクロデータを用いるものであり、都市の空間構造を詳細に分析する方法を掲示できていない。

また、例えばコンパクトシティのような特定の都市空間構造が市街地維持費用の面から効率的でGHG排出の少ない構造であることが確認されたとしても、それを実現するための都市域再編に伴う既存建築物の廃棄や建築物・インフラ群の新規建設は多大な費用やGHG発生を伴うことから、その考慮も必要となる。既報⁶⁾では、都市域における建築物・インフラの建設・維持管理・運用・更新・廃棄活動や、その上で行われる諸活動に伴い生じるGHGの都市空間構造による変化を定量的かつ包括的に推計するために、LCA(Life Cycle Assessment)の手法を用いて、都市域のGHG排出を推計するモデルシステムを構築した。本研究ではさらに、都市域の社会・経済面からの持続可能性を評価する手法も組み込むことで、持続可能な都市空間構造をTBLの観点から検討可能な

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、その段階でインフラも全て撤去されるものとする。

洪水による期待被害額は国土交通省が作成した「治水経済調査マニュアル(案)」⁷⁾を参考にして、資産額に浸水深別被害率を乗じて求めた洪水発生時の被害額に、各規模の洪水発生確率を乗じることにより求める。本手法により、気候変動に伴う降雨強度上昇がもたらす災害危険性の上昇を市街地評価に組み込むことが可能となる。

(4) QOL 指標の推計方法

QOL 指標は表-2 の各項目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⁸⁾。

(5) 住宅地タイプ決定モデル

将来、人口減少や高齢化が進展した場合、どのような住宅地が形成されるかを予測するために、メッシュごとに人口密度や高齢化率といった地区の特性が住宅地の形成に影響を与えるメカニズムをモデル化する。ここでは住宅地を形成する要因のうち最も基礎的な戸建て住宅率と住宅床面積を推計対象とする。

戸建て住宅率と住宅床面積は相互に関連しながら決定されていると考えられるので、図-2 のような関連構造を想定する。それぞれ線形モデルを仮定し国勢調査(2005)のデータを利用してパラメータを推定した結果を表-4 に示す。

4. 実都市への適用

(1) 対象都市の概要

図-3 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。

本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によると、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。

(2) TBL の評価結果

市区町村内の各メッシュの人口比率が現状のまま推移した場合の2050年における、1人あたりCO₂排出量、1人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-3~図-5に示す。

表-1 推計対象とする建築物・インフラ

分類	都市施設	備考	ライフタイム
建築物(住宅)	戸建住宅	木造	残存率に基づく
	集合住宅	RC造	
交通施設	道路	アスファルト舗装を仮定	10年
処理施設	下水管渠		35年
	配水管		35年
公園	都市計画公園	住区基幹・都市基幹・特殊公園	30年
交通活動	—	旅客交通	—

表-2 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	1人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	1人あたり緑地面積
	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	地震による死亡リスク
	洪水危険性	洪水による期待浸水深
	犯罪危険性	年間街頭・侵入犯罪件数
	交通事故危険性	年間人身事故発生件数

表-3 分担率モデルのパラメータ推定結果

	通勤		私事	
定数項	-1.43	(-44.7)	-1.51	(-30.1)
ln(AC _{公共交通})	-5.50×10^{-1}	(-77.8)	-5.78×10^{-1}	(-63.5)
人口密度	-2.17×10^{-3}	(-18.6)	-3.41×10^{-3}	(-20.4)
高齢化率	-7.50×10^{-1}	(-8.36)	-1.75	(-14.4)
Ajs.R ²	0.711		0.651	
サンプル数	4248		4248	

※括弧内はt値

表-4 住宅タイプ決定モデルのパラメータ推定結果

	住宅床面積	戸建住宅率
定数項	3.27×10^1 (20.9)	-4.32 (-27.5)
人口密度[人/ha]	-1.89×10^{-1} (-37.3)	-4.62×10^{-3} (-8.72)
高齢化率	5.68×10^1 (15.4)	2.38 (8.40)
世帯規模[人/世帯]	2.41×10^1 (53.8)	
住宅床面積[m ²]		5.06×10^2 (36.8)
Ajs.R ²	0.652	0.578
サンプル数	3718	3718

※括弧内はt値

a) 1人あたりCO₂排出量

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を示す傾向が読み取れる。郊外部で1人あたりCO₂排出量が多い理由は、自動車利用率が高いことおよび住宅が広いことである。一方、都心部で1人あたりCO₂排出量が多い理由は、RC集合住宅の割合が高く、その建設段階に発生するCO₂が多いためである。特に、1人あたり住宅床面積が大きい名古屋市内の高級住宅地ではこの傾向が顕著である。

b) 1人あたり市街地維持費用

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。これは、この地区が海拔0m以下であり、洪水に伴う期待被害額が大きいためである。この傾向は、気候変動に伴い降雨強度が強くなるほど顕著になる。

名古屋市の中心部でも、1人あたり市街地維持費用が高い地区が見られる。この地区は商業的土地利用の属性が強く、夜間人口が少ないため、1人あたりの市街地維持費用は割高となる。

c) QOL

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。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。

QOLの高い地区は都心・郊外の双方に存在する。都心であるにも関わらず、1人あたり住宅床面積が広く保たれている名古屋市内の高級住宅地区はQOLが高い値を示している。一方、郊外地区においても同等の評価を得られる地区が存在している。

d) 環境効率・費用効率値

以上に示した、地区レベルの環境負荷・市街地維持費用・QOLに基づき、QOLを環境負荷で除した値である環境効率EFおよびQOLを市街地維持費用で除した値である費用効率CFを計算した結果を図-6、図-7に示す。

EF、CFはともに名古屋都心部や周辺都市の中心部で高い値を示している。また、災害危険性の小さい鉄道沿線地区でも高い値を示している。この結果は、都心部への縮退が環境・経済・社会の3要素を考慮した上での効率的な都市空間構造を実現することを示唆している。

e) 考察

TBL評価指標の推計結果から、持続可能な都市空間構造への転換戦略を検討する上で以下の示唆を得ることができた。

- ・洪水リスクによるQOL低下・費用増加が顕著であるこ

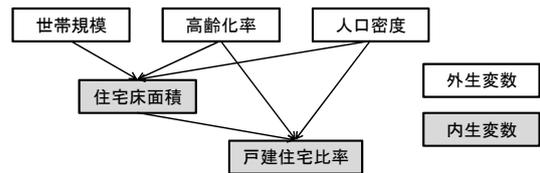


図-2 住宅タイプ決定モデルの変数の決定関係

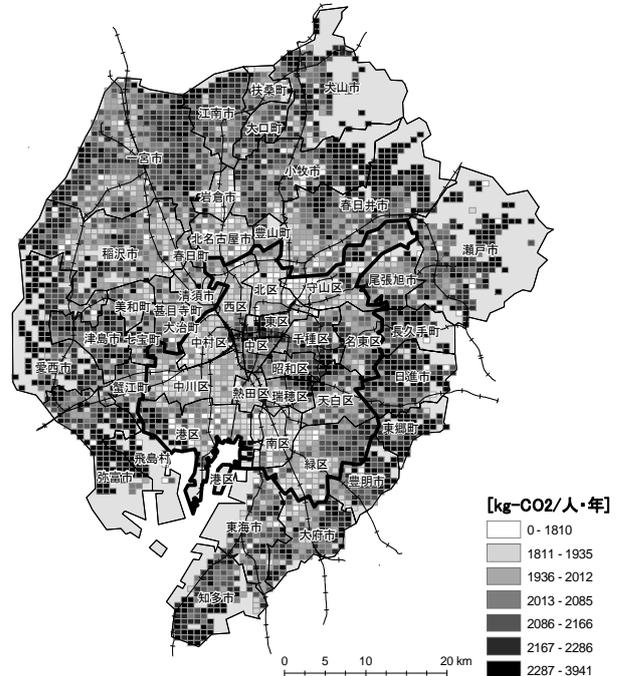


図-3 1人あたりCO₂排出量 (2050年)

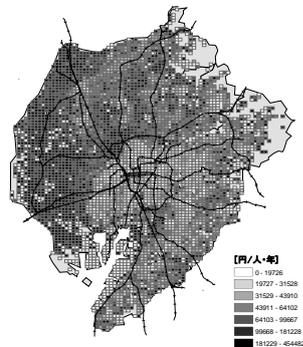


図-4 1人あたり市街地維持費用 (2050年)

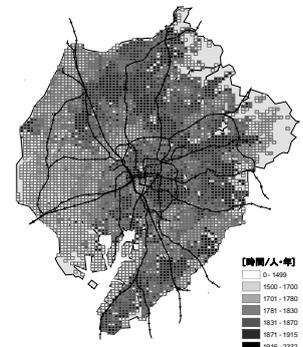


図-5 QOL (2050年)

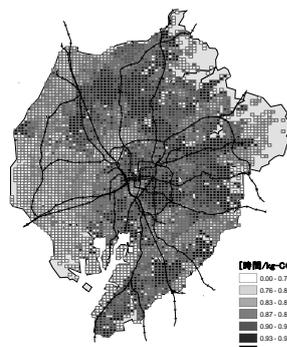


図-6 環境効率

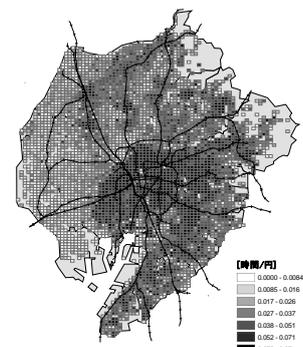


図-7 費用効率

とから、洪水危険地帯からの撤退や防災インフラの完備が第一に検討されるべきであり、その際、気候変動の考慮も必要である。

- ・ 1人あたりCO₂排出量の地区間でのバラツキが小さい理由に、都心は住宅起源が大きく、反対に、郊外は旅客交通起源が大きいうトレードオフの関係があるため、全体が平均されていることが挙げられる。
- ・ RC造の集合住宅比率の高さが、都心地区におけるCO₂排出が大きくなっている原因であるため、過度の集約はCO₂を増加させることが懸念される。

5. 都市空間構造シナリオの分析

(1) 設定条件

2050年時点までに、都市空間構造改編が達成されるというシナリオを設定し、TBLへ与える影響を分析する。

名古屋市内への人口を集約する一極集中型と、都市圏全体の人口バランスを保った多極集約型の2パターンの都市空間構造を設定する。具体的には、メッシュの中心点が駅から半径800mの円に含まれる領域を駅勢圏として定義し、その駅勢圏において表-5に示す人口容量を満たすまで、環境効率EFの低い地区(メッシュ)から順次、人口を移転させる¹⁾。

各シナリオにおける、人口分布の状況を図-8に示す。一極集約シナリオでは、名古屋市内に人口の76%が集中するが、多極集約シナリオでは、2005年時点の値である51%が維持されている。

(2) 分析結果

a) 1人あたりCO₂排出量

各シナリオにおける、1人あたりCO₂排出量の変化を図-10に示す。

BAUシナリオにおいては、人口密度の低下により、ひとりあたり床面積が上昇するため、民生家庭部門のCO₂排出量は増加するが、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、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年に対して4%のCO₂が削減されている。

一極集約シナリオではRC集合住宅の割合が高まるため、住宅建設・廃棄段階や民生家庭部門から排出されるCO₂は増加するものの、公共交通利便性の高い地区への

¹⁾パリ市のヘクタール当たりの人口密度は205人(2005年)であり、二大森林を除いた20区の人口密度で見ると247人に達する。東京の中心8区(110平方キロメートル)の人口密度は131人である¹⁾。

表-5 駅勢圏(800m圏)人口密度の設定値

	名古屋市内	名古屋市外
一極集約シナリオ	200[人/ha]	50[人/ha]
多極集約シナリオ	100[人/ha]	100[人/ha]

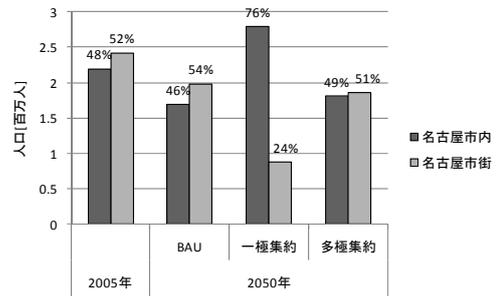


図-8 都市空間構造改編による人口分布の変化

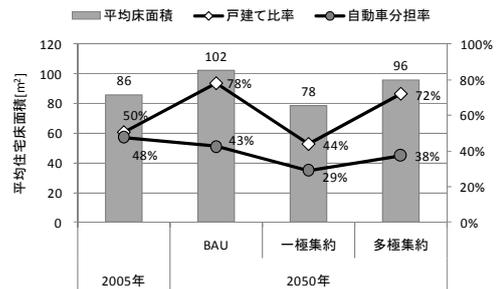


図-9 都市空間構造改編による各種指標の変化

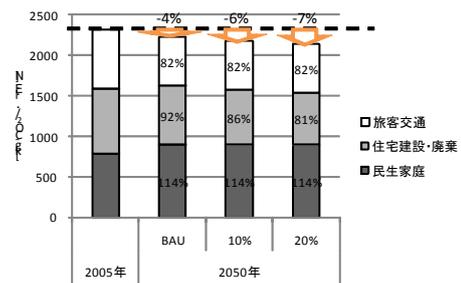


図-10 都市空間構造改編による1人あたりCO₂排出量の変化

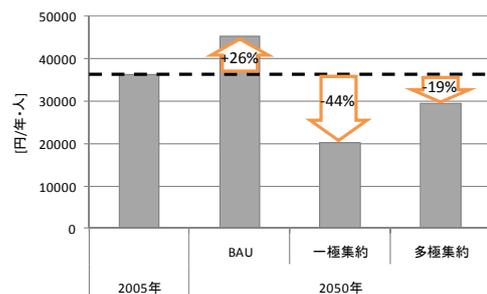


図-11 都市空間構造改編による市街地維持費用の変化

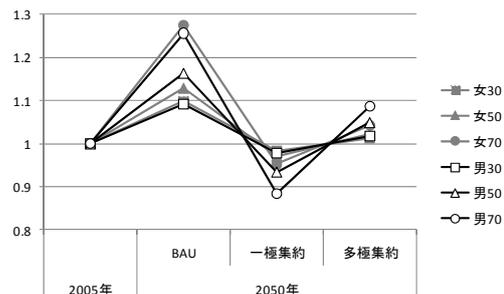


図-12 都市空間構造改編によるQOL指標の変化

人口の高密度配置により旅客交通部門の CO₂ は大幅削減 (41%) が達成される。その結果、全体としても 12% の CO₂ 削減が達成される。

多極集約シナリオでは、戸建て住宅率を保ったまま、駅勢圏に人口を集約することができるため、旅客交通部門と住宅建設・廃棄段階の CO₂ を削減することができるが、平均住宅床面積は BAU シナリオと同レベルまで上昇するため、民生家庭部門の CO₂ が増加する。その結果、全体としては 6% の削減にとどまる。

b) 1人あたり市街地維持費用

各シナリオにおける、1人あたり市街地維持費用への影響を図-11 に示す。BAU シナリオにおいては、人口減少により、26% 上昇することになるが、都市域を集約すれば、郊外のインフラを撤去できるため、一極集約シナリオでは 44%、多極集約シナリオでは 19% の削減が可能となる。

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-12 に示す。BAU では、1人あたり床面積が上昇し、現況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、QOL は上昇する。一極集約シナリオでは、アクセシビリティは改善されるものの、1人あたり床面積が低下し、地震リスクの高い都心部に人口が集中するため、QOL は低下する。一方、多極集約シナリオでは、現状が維持される結果となった。

6. まとめ

本研究では、都市の持続性評価システム SURQUAS を整備し、名古屋都市圏への適用を通じて都市空間構造の持続可能性を検証した。SURQUAS では CO₂ 排出量、QOL 指標、および市街地維持費用をそれぞれ時系列かつ詳細地区レベルで推計することが可能となっている。

名古屋都市圏での TBL の空間分布の結果からは、郊外部や洪水危険地区の非効率性が明らかとなると同時に、都心部も、1人あたり CO₂ が大きいことが示された。

また、人口を駅勢圏に集約することによる、TBL への影響を推計した。その結果、名古屋市内への一極集約では、環境負荷や市街地維持費用の削減率は大きいものの、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、TBL のすべてが改善される結果となった。

謝辞

本研究は、環境省・環境研究総合推進費(H-072)の支援により実施された。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) UNCSO : Indicators of Sustainable Development: Guidelines and methodologies, 2001.
- 2) 大西暁生, 高平洋祐, 谷川寛樹, 井村秀文: 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—, 都市計画報告集, No.8, pp.84-87, 2009.
- 3) 池田大一郎, 谷口守, 島岡明生: 汎用性の高い都市コンパクト化評価支援システム (SLIM CITY) の開発と適用, 土木計画学研究・論文集, Vol.21, No.2, p.501-506, 2004.
- 4) 佐藤晃, 森本章倫: 都市コンパクト化の度合に着目した維持管理費の削減効果に関する研究, 都市計画論文集(44), pp.535-540, 2009.
- 5) 金希津, 新田保次, 本村信一郎: 都市レベルにおける交通関連サステナビリティ評価指標についての考察, 土木計画学研究・論文集, Vol.25, No.1, pp.185-192.
- 6) 鈴木祐大, 加知範康, 戸川卓哉, 柴原尚希, 加藤博和, 林良嗣: 環境・経済・社会のトリプル・ボトムラインに基づく都市域の持続可能性評価システムの構築, 地球環境研究論文集, Vol.17, pp.93-102, 2009.
- 7) 国土交通省河川局, 治水経済調査マニュアル(案), 2005.
- 8) 加知範康, 加藤博和, 林良嗣, 森杉雅史: 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 62(4), pp.558-573, 2007.