

トリプルボトムラインに基づく 小学校区単位の地域持続性評価

戸川 卓哉¹・加藤 博和²・林 良嗣³

¹正会員 名古屋大学 大学院環境学研究科 (〒466-8603 愛知県名古屋市千種区不老町C1-2(651))

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

²正会員 名古屋大学准教授 大学院環境学研究科 (同上)

³フェロー 名古屋大学教授 大学院環境学研究科 (同上)

環境・経済・社会のトリプルボトムライン (TBL) の観点から小地区単位での持続可能性を評価するシステムを用いて、名古屋都市圏を対象に小学校区単位での分析を行った。2050年を対象時点とした分析結果からは、都心地区ではTBLの各指標はほぼ現状の水準が維持され、近郊地区ではやや改善傾向を示すものの、郊外地区では人口減少や高齢化の進展に伴い環境効率・費用効率ともに顕著な悪化が生じることが示された。これより、現状のままでは都市圏郊外部は持続不可能と言え、都市域集約等の積極的な検討が必要であることが分かった。さらに、用途地域の指定状況との整合性を確認した結果、TBL評価結果とのミスマッチが発生していることが示された。

Key Words : *quality of life, life cycle environmental load, infrastructure maintenance cost*

1. はじめに

日本の人口は、2050年には1960年代の水準にまで減少すると予測されている。同時に少子高齢化により人口構成も大きく変化する。人口減少・少子高齢化は中山間地域のみならず都市部においても不可避である。

しかしながら、人口増加やモータリゼーションに応じて拡散した市街地は人口減少とともに縮小していくわけではなく、居住者がランダムに抜けて低密度化し、どの地区でも必要な生活サービス機能を維持することが困難となり、住民の生活の質 (Quality of Life: QOL) が全域で低下することが懸念される。このような状況に陥った地域では、多額の市街地維持費用を必要とするとともに、多くの環境負荷を発生することにもなる。

したがって、人口増加期に拡大した居住地を計画的に縮小する等、人口減少・少子高齢化社会に対応した都市空間構造への転換が求められている。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

既往研究においても、集約型都市構造の必要性を示した成果が得られている¹⁾。しかしながら、現状の拡散型都市空間構造からの転換プロセスに対する分析は十分に

行われていない。特に日本の都市においては、途上国の状況とは異なり、新たな都市空間をゼロベースで計画することは不可能であり、既存の市街地を使いながら漸次更新していくことが求められている。また、多くの自治体は、財政的にも逼迫していることから、用地補償を行い人口を強制的に移転させることも困難である。したがって、都市空間構造の転換を実効的に推進するためには、世帯転居や住宅更新といった都市の代謝リズムを的確に捉え、都市圏内の各地区が具体的にどのように推移するかを分析する必要がある。

筆者らは、500mメッシュの単位で地域の持続可能性を評価するモデルシステムSURQUAS (Smart Urban area Relocation model for sustainable QUALity Stock) を開発し、それを用いて居住地分布を検討した²⁾。本研究では、社会的・地理的に一体な地域を評価単位とするために、小学校区単位で地域の持続可能性を評価する。評価システムでは持続可能性が環境、経済、社会のトリプルボトムライン (Triple Bottom Line: TBL) によって規定されると考え、各要素の定量指標として、CO₂排出量、市街地維持費用、QOLを位置づける。名古屋都市圏においてケーススタディを実施し、2005年から2050年にかけて、小学校区ごとの各指標の推移を分析する。その上で、それぞれの小学校区において、持続可能性を高めるために必要な土地利用施策について考察する。

3. 都市の持続性評価モデルSURQUAS²⁾

(1) 全体構成

SURQUAS は、詳細な地区単位かつ時系列で環境負荷、QOL および市街地維持費用を推計するシステムである。ここで環境負荷とは、広域・地球レベルの環境に影響を与える物質（本研究では CO₂ 排出量）を対象とし、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、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 を評価範囲とする。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。

(2) 人口コーホートモデル

小学校区ごとに、5 歳年齢階級別の将来人口をコーホートモデルによって時系列で予測する。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。図-2 にその概要を示す。

自然増減に関しては社会保障・人口問題研究所により発表されている生残率・出生率の仮定値を用いる。

転出人口は、転出率に各期の各年齢階級の人口を乗じることにより算出する。なお、転出率は 2000 年と 2005 年の国勢調査結果の実績値を利用しているが、小地区ごとの推計では結果が安定しないため、後述する地区類型ごとの平均値を用いている。

次に、算出された 5 歳年齢階級別の転出人口にシナリオ設定された対象地域外部との転出入人口を加減し、各期の移転人口とする。

転入人口は、小学校区ごとの転入ポテンシャルに応じて移転人口を配分することにより求める。転入ポテンシ

ャルとは 2000 年および 2005 年の国勢調査結果より得られた、各小学校区ごとの年齢階級別転入人口の対象地域全体に対する割合である。

(3) 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

表-1 QOL の構成要素

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
安心 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

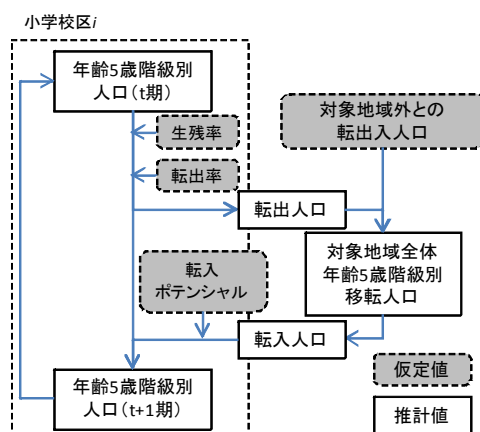


図-2 人口コーホートモデルのフロー

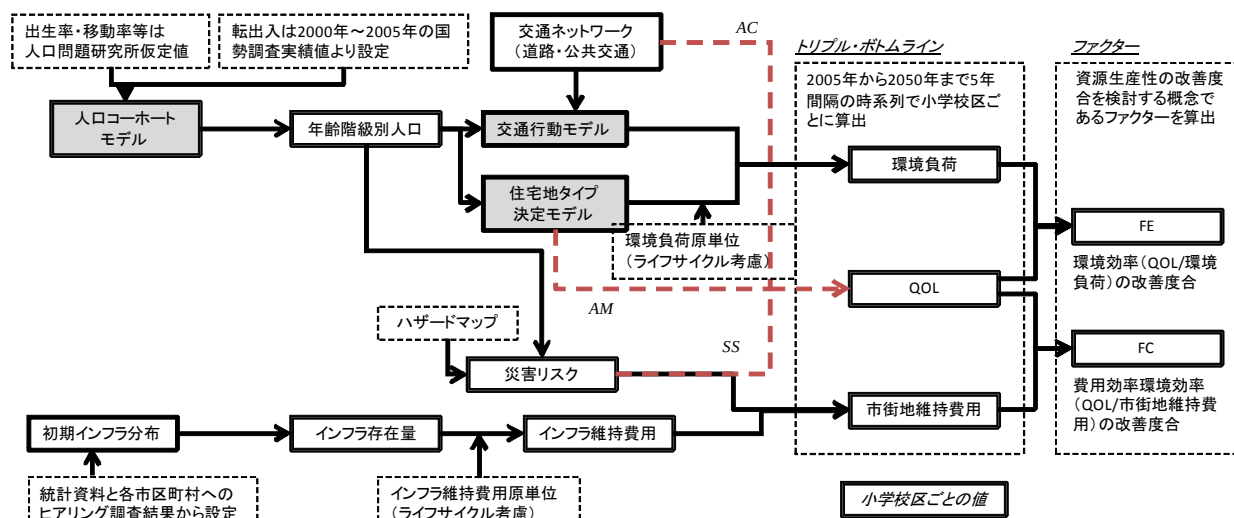


図-1 SURQUAS の全体構成

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。

なお、QOL の尺度には、医療・環境リスクの分野で利用されている QALY (Quality Adjusted Life Year) 値を用いる。QALY 値は、生存年数を QOL によって調整したもので、単位は「年数」または「日数」となる³⁾。

(4) CO₂の推計方法

建築物・インフラ起源および旅客交通起源の CO₂を扱う。地区内にある各建築物・インフラからの CO₂排出量を積み上げて算定する。ただし、詳細仕様を将来までにわたって把握するのは困難であるため、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 CO₂ 排出量を推計して原単位とする。これに地区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、CO₂排出量を推計する。

旅客交通活動に伴う CO₂排出量の推計にあたっては、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乗用車と公共交通それぞれについて求め、それらを説明変数に用いたトリップエンド型の集計 2 項ロジットモデルを利用する。

(5) 市街地維持費用の推計方法

市街地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、各地区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。

(6) ファクターによる持続可能性の評価

ここまでで求めた諸指標を用いて、地域の持続可能性を評価できる指標を定義する。ブルトラント委員会による「持続可能な発展」の定義「将来の世代が自らの欲求を充てんする能力を損なうことなく、今日の世代の欲求を満たすような発展」に従えば、「地区が持続可能である」ことを「インフラ維持費用と環境負荷物質を削減しつつ、現世代と将来世代の QOL を向上させること（＝TBL がすべて改善していること）」と定義するべきであるが、この条件を満たすことは極めて困難であることから、本研究では条件を緩和し、資源生産性（資源の投入量あたりの財・サービスの生産量）の改善度合いを検討する概念の 1 つであるファクター⁴⁾を用いて、式(1)～(3)に示す「次善の」条件を設定する。

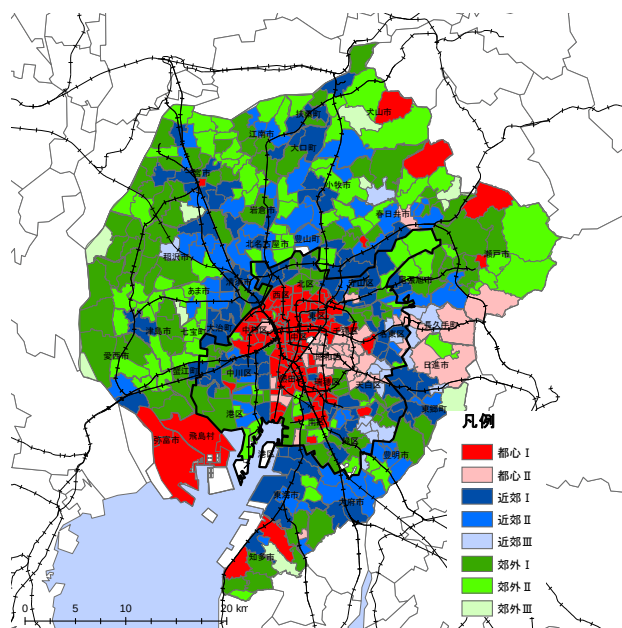


図-3 対象地域と各地区タイプの分布

$$FC(t, t + \Delta t) = \frac{CF(t + \Delta t)}{CF(t)} \geq 1 \text{ for } \forall t, \Delta t = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$FE(t, t + \Delta t) = \frac{EF(t + \Delta t)}{EF(t)} \geq 1 \text{ for } \forall t, \Delta t = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$CF(t) = \frac{QOL(t)}{C(t)}, EF(t) = \frac{QOL(t)}{E(t)} \quad (3)$$

ここで、 $CF(t)$ ：時点 t における費用効率（Cost-eFiciency：CF）， $EF(t)$ ：時点 t における環境効率（Eco-eFiciency：EF）， $FC(t, t + \Delta t)$ ：2 時点間 $(t, t + \Delta t)$ における費用効率 CF のファクター， $FE(t, t + \Delta t)$ ：2 時点間 $(t, t + \Delta t)$ における環境効率 EF のファクター。

ファクター FC, FE は、費用効率 CF や環境効率 EF の分母にあたる C や E の値が増加するとしても、それ以上に QOL 値が増加すれば、式(1), (2)を満たす。

この指標を用いることにより、例えば、都市域を縮退させる施策の実施における利用抑制・促進候補地区の選定に活用することができる。

4. 実都市への適用

(1) 対象地域

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（2011 年 8 月現在で 31 市町村）を対象とし、ケーススタディを行った。

(2) 人口構成による小学校区の類型化

各小学校区の状況を把握するために、2005 年の人口構成に基づいて小学校区を類型化する。これは、データ入手が容易であることと、開発履歴等の地区特性を代表していると考えられるためである。しかしながら、5 歳年齢階級別の人口コーホートでは 36 変数となり要素数が多いため、ここでは因子分析を用いて情報を 5 つの因子に集約した上で、得られた因子得点に基づいて対象地域をクラスター分析により分類する。なお、各因子は、人口構成を規定していると考えられる世帯構造を反映していると解釈できる値となっている。クラスター分析の結果を図-3 に示す。各地区の特徴について表-2 に示す。

(3) 人口の将来予測

日本全体の人口減少傾向を反映して、2050 年には対象地域外からの転入人口は 2005 年の実績値に対して半減するものと仮定する。その中間期間は線形補間する。さらに、地域内における現状の転出入傾向が維持された場合を想定し、転出率や転入ポテンシャルは 2005 年時点の値が維持されるものと仮定する。

対象地域全体での人口は 2005 年の 462 万人から 2050 年には 401 万人に減少する。また、高齢化率は 2005 年の 14%から 2050 年には 37%に上昇し、特に 75 歳以上の比率が大きく高まる。

都心地区では人口は現状維持もしくはやや増加傾向を示し、近郊地区では増加傾向を示している。郊外地区では大きく減少しており、半減する地区もみられる。高齢化は全地区で進展し、人口減少の激しい郊外地区ほど高い値となっている。

(4) トリプルボトムラインの空間分布

2050 年時点における、QOL 値、人口あたり CO₂ 排出量、人口あたり市街地維持費用の空間分布の推計結果をそれぞれ図-4～図-6 に示す。

QOL 値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。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。

人口あたり CO₂ 排出量は都心で小さく、郊外で大きい。また、鉄道沿線では都市圏辺縁部においても小さい。これは旅客交通起源 CO₂ 排出量の差異を反映した結果である。

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小さく、郊外部において大きい。特に、都市圏西部で大きい地区が広がっている。CO₂ 排出量と比較して、地区間の違いが大きい。

5. 地区類型ごとの分析結果

(1) 地区類型ごとのトリプルボトムラインの傾向

2005 年および 2050 年における、地区類型別の QOL 値と CO₂ 排出量および市街地維持費用の関係を図-7・図-8 に示す。以降では、人口との関係も含めて各地区類型別の状況を考察する。

a) 都心地区

人口：15～24 歳人口の転入率と 25～34 歳人口の転出率が高く、人口の転出入が激しい。このため、若年人口の減少に伴い、2050 年には、＜都心Ⅱ＞では人口総数はほぼ一定に保たれているものの、＜都心Ⅰ＞では 10%程度減少する。また、高齢化率は両地区とも 30%以上に上昇し、現時点と異なり若年層主体ではなくなる。

QOL：平均よりも高い。特に、＜都心Ⅱ＞では都市圏内で最も高い値となっている。これは各種施設へのアクセスが良好な上、地震や洪水といった災害リスクが低いためであると考えられる。2050 年には、＜都心Ⅰ＞・＜都心Ⅱ＞ともに若干上昇している。

人口あたり CO₂ 排出量：＜都心Ⅰ＞・＜都心Ⅱ＞ともに都市圏内で比較的小さい値となっている。2050 年にかけてもほぼ一定に保たれている。

人口あたり市街地維持費用：2005 年の時点で都市圏

表-2 小学校区の類型

地区類型	都市圏内の位置	人口構成の特徴と概要
都心Ⅰ	名古屋市内中心部	20代の人口流入はあるものの、30代での人口流出が激しい。中高層住居と商業地区や工業地区とが混在している。
都心Ⅱ	名古屋東部地区	都心Ⅰと比較して 15～24 歳人口の流入が顕著である。大学が多く立地し、東海地方を中心とする他地域からの人口流入が起こっている。
近郊Ⅰ	名古屋市周辺や拠点都市の中心部	家族世帯の流入が起こっていると考えられる。
近郊Ⅱ	近郊Ⅰの外側の鉄道沿線部	近郊Ⅰ・Ⅲには劣るものの、若年層の人口流入が見られる。
近郊Ⅲ	名古屋東部地区	30代を中心に転入超過。持家取得に伴う人口流入が起こっていると考えられる。
郊外Ⅰ	郊外部全般	全年齢階級において転出超過、特に 20代人口の流出が激しい。
郊外Ⅱ	郊外部全般	団塊世代・団塊ジュニア世代を多く含んでおり、団塊世代の住宅取得に応じて住宅地化されたと考えられる地区。転出傾向は郊外Ⅰと同様。
郊外Ⅲ	都市圏の最辺縁部	特に人口流出が激しい。

b) 近郊地区

QOL : <近郊Ⅰ>・<近郊Ⅱ>では都市圏の平均的な水準を下回っているが、<近郊Ⅲ>は、<都心Ⅰ>の次に高い水準である。これは都心と比較して AC は低いものの、人口当たりの居住延床面積や緑地面積などの AM や SS が高いためである。

人口当たり市街地維持費用：人口密度が高まることにより、やや減少する傾向を示している。CO₂排出量と同様に人口増加により追加的なインフラ建設に伴う費用が発生する可能性もある。

c) 郊外地区

る地区である。今後も、全体の人口が減少するため、他地区から転入が起こる可能性は低く、人口減少と高齢化が著しく進展する。

人口当たり CO₂ 排出量：2005 年時点では近郊地区と同等の水準であるが、2050 年には都市圏内で最も人口当たり CO₂ 排出量の多い地区になる。これは、もともと公共交通の利便性が低く、さらに人口密度が低下することから自動車分担率が上昇するためである。

人口当たりの市街地維持費用：2005 年時点においても他地区と比較してコストが多く掛かっている地区である。2050 年には人口減少に伴いさらに増加する。特に＜郊外Ⅲ＞での増加が顕著である。

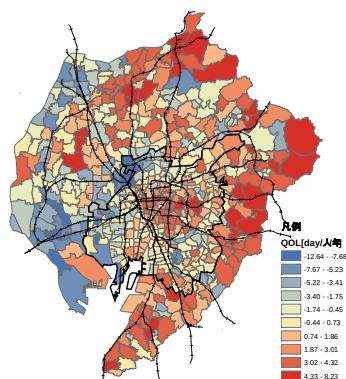


図-4 OOL値推計結果（2050年）

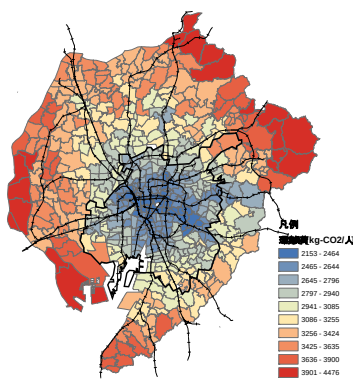


図-5 人口あたり CO₂排出量
推計結果(2050年)

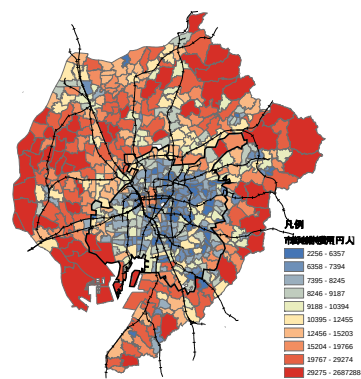


図-6 人口あたり市街地維持費用
推計結果（2050年）

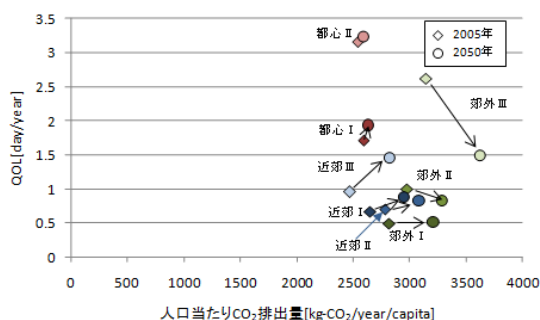


図-7 人口あたりCO₂排出量とOOLの関係

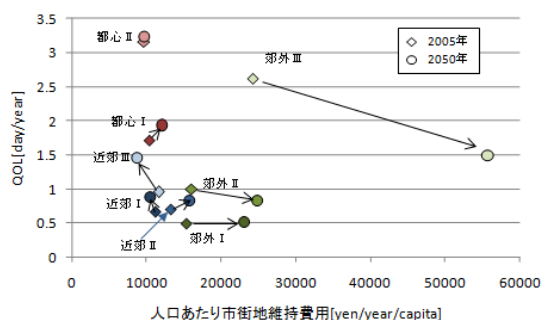


図-8 人口あたり市街地維持費用とQOLの関係

(2) ファクターによる持続可能性の評価

費用効率と環境効率の改善度（ファクター）である FE , FC の値から各地区の持続可能性を検討する。各地区のファクター算出結果を表-3に示す。都心・近郊においては現状維持から改善傾向を示しているものの、郊外では全類型において FE , FC とともに悪化している。特に FC は大きく低下する方向に進んでいくことがわかる。

(3) 用途地域との整合性

本研究における地区類型と、実際の都市計画での用途地域指定との関係を表-3に示す。

名古屋市の北側の〈近郊Ⅱ〉〈郊外Ⅰ〉〈郊外Ⅱ〉地区では、人口減少の傾向を示し TBL の効率が悪いにも関わらず、商業地域や中高層住居専用地域として指定されている地区が存在する。市街化調整区域への変更の検討が必要である。

東部丘陵地の鉄道沿線地区では TBL の観点から効率的であるにも関わらず、市街化調整区域に指定されている地区も見られ、住居系地域への転換も考えられる。

都心地区での人口減少は、居住地が商業・業務地区と混在しているため、家族向け世帯・高齢世帯の居住ニーズに対応できないことが一因と考えられる。一方、近郊地区では現況よりも人口が増加し新規開発が必要となる可能性が高い。これまで近郊地区に展開していた世帯を都心地区へ誘導するためには、 QOL 構成要素のうち AM や SS を改善する必要がある。そのため、 SS の比較的良好な地区を住居系専用地域として指定することが有効であると考えられる。

6. まとめ

本研究では、環境・経済・社会のトリプルボトムライン（ TBL ）の観点から小地区単位での持続可能性を評価可能なシステムを用いて、名古屋都市圏で小学校区単位での分析を行った。2050年を対象とした分析結果から、都心地区では TBL の各指標は現状の水準が維持され、近郊地区ではやや改善傾向を示すものの、郊外地区では人口減少や高齢化に伴い環境効率・費用効率ともに顕著な悪化が生じることが示された。

これより、現状のままでは都市圏郊外部は持続不可能

表-3 ファクターによる評価結果と用途地域指定

	FE	FC	主な用途地域指定
都心Ⅰ	1.11	0.97	商業地域・住居地域（都心部）、工業地域・住居地域（臨港部）
都心Ⅱ	1.00	1.02	近隣商業・住居地域
近郊Ⅰ	1.19	1.41	低層住居専用地域（東部）、住居系地域
近郊Ⅱ	1.07	1.00	住居地域・中高層住居専用地域・市街化調整区域
近郊Ⅲ	1.34	2.03	低層住居専用地域・市街化調整区域
郊外Ⅰ	0.92	0.70	市街化調整区域
郊外Ⅱ	0.75	0.53	市街化調整区域
郊外Ⅲ	0.49	0.25	市街化調整区域

と言え、都市域集約等の都市構造改編策の積極的な検討が必要であることが分かった。

今後は、本研究の結果を用いて小学校区ごとに具体的な空間構造デザインを検討するとともに各小学校区の持続可能性と都市圏全体の持続可能性の関係に関する分析を進めていく。

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。また（財）名古屋都市センターの羽根田英樹様、河村幸宏様には本研究を進める上でデータ整備など、多くの面でご協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 小浦久子：都市計画の現状と展望，都市計画，Vol.285，2008.
- 2) 戸川卓哉，小瀬木祐二，鈴木祐大，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持続性評価システム，土木計画学研究・講演集，Vol.41，CD-ROM(27)，2010.
- 3) 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D，No.62(4)，pp.558-573，2007.
- 4) Weizacker, E, U, V・Lovins, A, B・Lovins, L, H（佐々木健訳）：ファクター4，省エネルギーセンター，1998.

(2011. 8. 5 受付)

SUSTAINABILITY EVALUATION BY THE ELEMENTARY SCHOOL DISTRICT BASED ON TRIPLE BOTTOM LINE PERSPECTIVE

Takuya TOGAWA, Hirokazu KATO and Yoshitsugu Hayashi