

広域調整手続きと連動した集約型都市構造化 評価の枠組み

馬場 剛¹・鈴木 通仁²・樋野 誠一³・高砂子 浩司⁴・矢嶋 宏光⁵

¹非会員 一般財団法人計量計画研究所 環境・資源研究室（〒162-0845 東京都新宿区市谷本村町2-9）
E-mail:tbaba@ibs.or.jp

²正会員 国土交通省 都市局都市計画課（〒100-8918 東京都千代田区霞が関2-1-3）

³非会員 一般財団法人計量計画研究所 道路経済社会研究室（〒162-0845 東京都新宿区市谷本村町2-9）

⁴非会員 一般財団法人計量計画研究所 環境・資源研究室（〒162-0845 東京都新宿区市谷本村町2-9）

⁵正会員 一般財団法人計量計画研究所 企画部（〒162-0845 東京都新宿区市谷本村町2-9）

今後の都市施策においては、人口減少などの新たな要因のもとで、省CO₂や社会的費用の縮減などの複数のクライテリアのもとで施策を判断する必要がある。集約型都市構造化などの広域的構造的な都市政策の必要性が論じられているが、こうした政策を進める上では、施策とアウトカムの状況を総合的に把握するための都市評価モデルが必要とされている。しかし、広域的な都市政策に関する構成自治体間の調整に困難を伴うことや、地方分権のもとでは基礎自治体の都市計画に対する国や都道府県の垂直調整の範囲は限られることから、都市評価モデルと広域調整手続きとを組み合わせた実務的な枠組みづくりが重要である。本稿では、広域調整手続きと連動して機能する都市評価モデルのあり方と開発経緯について論じるものである。

Key Words : compact city, landuse-transportation model, triple bottom lines

1. はじめに

我が国においては、人口減少・超高齢化、地方及び大都市郊外部での過疎化、財政制約に伴う都市経営コストの効率化の要請等に直面しており、集約型都市構造化（コンパクトシティ）の推進に向けた取り組みが求められているところであり、その検討を行なう上で、将来都市像を環境的側面、社会的側面、経済的側面の3つの側面（トリプルボトムライン）で客観的に評価を行うことの重要度が高まっている。特に、地方公共団体では、厳しい財政制約の中で、周辺の自治体と広域調整しながら効率的な都市運営を講じる必要がある。また実施する政策のアカウンタビリティが求められ、自らその必要性・効果を客観的に評価する必要がある。しかしながら、この客観的な評価手法については、様々な手法が開発されている^{1,2,3}ものの、汎用的なツールが用意されていないのが現状である。

本稿では、地方公共団体がコンパクトシティ化の効果を客観的かつ容易に評価することを可能とする評価手法の構築を試みた。

2. モデルの要件

(1) 適用範囲と分析精度

集約型都市構造化のような都市政策を評価する場合には、土地利用や交通等の各部門の部分最適な評価ではなく、部門間の総合調整を図った上で総体としての評価を行うことが必要である。都市計画のマスタープランは、分野、時間、空間の広がりを持った包括的な計画であり、総体としての評価の対象として適していることからマスタープランレベルで評価を行うモデルを想定した。マスタープランレベルでの評価を行うことにより、(1) 方針ベースの決定内容の信頼性が高まり、下位計画に対する指針としての機能が強化されること、(2) 計画段階に応じた代替案の評価により、焦点が明確になり効率的な選択が可能なること、(3) 計画内容を段階的に詳細化することで、計画の各段階で合意すべき事項が明確となり、市民の合意形成が図りやすくなることが期待される。

また、地方分権に関わる政策を踏まえ、国や都道府県の責務とされる広域的調整が市町村の都市計画を直接的に定めてしまうことがないように、本モデルではあえて分析精度を粗くし、方針的な内容を規定することとどめると

ともに、市町村の都市計画の余地を担保している。なお、このことは、市町村相互の合意形成の難易度を下げ、効率的な広域調整を図る観点からも不可欠な要件である。

(2) 評価指標

都市の将来像の評価にあたっては、持続可能性（サステナビリティ）に着目する必要がある。国際的なNGOであるGRIは、「サステナビリティ報告書」の作成基準として「サステナビリティレポートガイドライン」⁴⁾を公表し、経済的、環境的および社会的影響に関する報告の必要性を提唱している。本研究でも、持続可能性の評価軸として、社会、経済、環境のトリプルボトムラインを設定することとした。また、具体的評価指標については、(1) 国や地方自治体で必要としている指標であること（都市経営コスト等の指標）、(2) 都市構造の違いによる影響が大きい指標、(3) モデルで計算可能な指標であることを考慮して指標を選択した。

(3) 使用者と使用する場面

マスタープランレベルでの総体としての評価が求められていることから、マスタープランの検討を担当する市町村や都道府県の都市計画担当者向けにモデルを開発することとした。市町村や都道府県の都市計画担当者を使用することを考えると、モデルに入力するデータの収集・作成労力も極力抑える工夫が必要があり、このことを念頭に置いてモデルを検討した。

3. モデルの構成

モデルの設計にあたっては、(1) 全国に適用できるように夜間人口等の汎用的に使用可能なデータを利用すること、(2) 全国で適用できるようにモデルがシンプルで汎用性、拡張性があること、(3) 評価において代替案の良し悪しが、順位でわかる程度の精度をもつことを基本方針に据えて検討を行なった。

モデルの構成は、将来像の代替案と都市政策のシナリオの双方を評価可能とするため、土地利用・交通モデルを主モデルと、経済・社会・環境を評価するサブモデルの2層構造のモデルとし、データ整備の難易度を考慮し

<メインモデル>

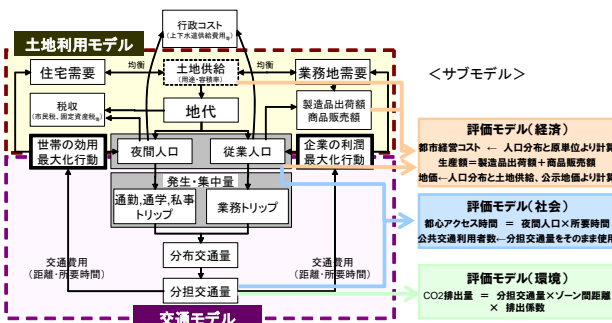


図-1 モデルの全体構成

て、土地利用モデル、交通モデルとも簡略化したモデルを用いた。

4. 土地利用モデル

(1) モデル構築の視点

ある特定の都市圏で構築する土地利用モデルを他の都市圏に移転できるように、何れの都市圏でも簡単に入手できるデータを用い、ミクロ経済学の理論に立脚した因果関係に基づきモデルを構築した。

(2) モデルの定式化

a) 世帯行動

効用最大化問題により、ゾーン*i*に立地する世帯の効用 V_i は、ゾーン*i*の地代 η_i 、ゾーン*i*のアクセシビリティ ACC_i の関数となる。具体の ACC_i の定義式は後に示す。

$$V_i = V(\eta_i, ACC_i) \quad (1)$$

各ゾーン*i*の効用水準に基づき、ロジットモデルの考え方に従い、ゾーン*i*への家計の立地選択確率 P_{η_i} が求まる。

$$P_{\eta_i} = \exp(\lambda V_i) / \sum_j \exp(\lambda V_j) \quad (2)$$

ここで、 λ ：パラメータ。

立地選択確率に外生値である都市圏総人口 \overline{TN} を乗じてゾーン*i*の夜間人口 N_i が求まる。

$$N_i = P_{\eta_i} \times \overline{TN} \quad (3)$$

b) 企業行動

利潤最大化問題により、ゾーン*i*に立地する企業の利潤 π_i は、ゾーン*i*の地代 η_i 、アクセシビリティの関数と ACC_i の関数となる。

$$\pi_i = \pi(\eta_i, ACC_i) \quad (4)$$

各ゾーン*i*の企業の利潤に基づき、ロジットモデルの考え方に従い、ゾーン*i*への企業の立地選択確率 P_{π_i} が求まる。

$$P_{\pi_i} = \exp(\varphi \pi_i) / \sum_j \exp(\varphi \pi_j) \quad (5)$$

ここで、 φ ：パラメータ。

立地選択確率に外生値である都市圏総従業員人口 \overline{TL} を乗じてゾーン*i*の従業員人口 L_i が求まる。

$$L_i = P_{\pi_i} \times \overline{TL} \quad (6)$$

c) 土地市場の均衡

本枠組みでは、土地市場の均衡にのみ着目し、その結果の地代が導出される。家計のゾーン*i*土地需要 DH_i は、コブダグラス型効用関数より、下式が導かれる。

$$DH_i = \alpha I / \eta_i \quad (7)$$

ここで、 α ：所得の土地分配率、 I ：一人あたり所得。

ゾーン*i*企業の労働需要 L_i 及び土地需要 DF_i はコブダグラス型生産関数の最大化により、下式が導かれ、このうち $P_{\eta_i} V_i$ を消去すると、下式が導かれる。

$$L_i = \alpha p_i Y_i / w \quad (8)$$

$$DF_i = (1 - \alpha) p_i Y_i / r_i = (1 - \alpha) w L_i / (\alpha r_i) \quad (9)$$

ここで、 α ：付加価値の労働分配率、 w ：都市圏全体で均一とした従業人口あたり賃金。

上記の主体別の土地需要とゾーン*i*の土地供給から需給均衡式が導かれる。

$$\Phi_i H_i = DH_i + DF_i = a I N_i / r_i + (1 - \alpha) w L_i / (\alpha r_i) \quad (10)$$

左辺は土地供給、右辺は主体別の土地需要を意味する。

ここで、 Φ_i ：ゾーン*i*の容積率、 H_i ：ゾーン*i*の土地面積で何れも外生値である。

上記の構造推定に用いる都市圏の賃金、所得、家計の土地分配率、企業の労働分配率の外生値は、下表に基づき実績値を適用した。

表-1 係数・変数一覧

係数・変数	入力値	単位	出典
家計土地分配率 α	0.114	-	仙台市統計時報 (H15年7月) 「消費支出に占める住居支出の割合」
所得 I	423.8	万円/人	仙台市統計書 (H15年版) 市民経済計算より算出 「人口一人あたり GRP」
企業労働分配率 α	0.543	-	仙台市統計書 (H15年版) 市民経済計算より算出 「GRPに占める雇業者報酬の割合」
賃金 w	201.5	万円/人	仙台市統計書 (H15年版) 市民経済計算より算出 「従業人口一人あたり雇業者報酬」
夜間人口 N 従業人口 L 土地面積 H	ゾーン別	人 m ²	各都市圏パーソントリップ調査
地価 r	ゾーン別	円/m ²	H15年地価公示
容積率 ϕ	ゾーン別	%	各都市圏都市計画図

(3) アクセシビリティの定式化

ゾーン*i*のアクセシビリティ ACC_i を(11)式から(14)式の複数を定義し、そのうち最も再現性の高いアクセシビリティ (以下 ACC) を採択した。相手先ゾーン*j*の総合的の魅力としてゾーン*j*の夜間人口 N_j を考えた。

$$ACC_i = \sum_j N_j^\alpha / \exp(\tau_{ij}^\beta) \quad (11)$$

$$ACC_i = \sum_j N_j^\alpha / \tau_{ij}^\beta \quad (12)$$

$$ACC_i = 1 / \sum_j \exp(\tau_{ij}^\beta) \quad (13)$$

$$ACC_i = 1 / \sum_j \tau_{ij}^\beta \quad (14)$$

ここで、 τ_{ij} ：ゾーン*i, j*間の所要時間。

(11)式から(14)式のパラメータ α 、 β に任意の値を設定し、仙台都市圏1821ゾーンの人口実績値を代入した ACC を算出し、実績ゾーン人口との相関を確認した結果、仙台都市圏では(11)式 $\alpha, \beta = 1.0$ のケースにおいて相関係数が最も高い結果となったため、この式、パラメータを採用した。

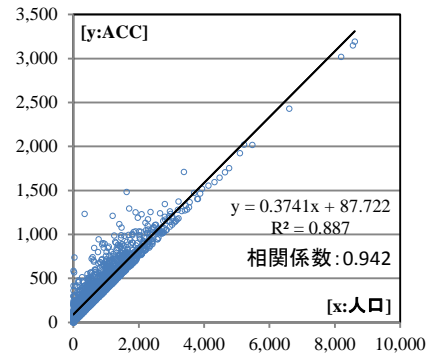


図-2 ACCの推定結果

(4) 構造推定

上述の ACC を用いて、人口立地の構造推定を最小二乗法により行う。推定の結果、パラメータは ACC が正、地価は負となる。()は値である。

$$V_i = 0.195 + 1.24 \ln(ACC_i) - 0.124 \ln(r_i) \quad (15)$$

(4.46) (55.3) (-6.12)

修正 $R^2 = 0.819$ サンプル数：679

また、土地市場の均衡式(10)式から導出される地価関数に基づきパラメータ推定を行った。推定結果は下式であり、地価は夜間人口と従業人口の増加関数となる。

$$r_i = 0.0399 \ln(N_i I / \Phi_i H_i) + 0.323 \ln(w L_i / \Phi_i H_i) + 8.23 \quad (16)$$

(1.86) (14.7) (32.0)

修正 $R^2 = 0.24$

5. 交通モデル

交通モデルは4段階推定モデルから「配分」を除いた生成-発生-分布-分担のモデルで構成した。

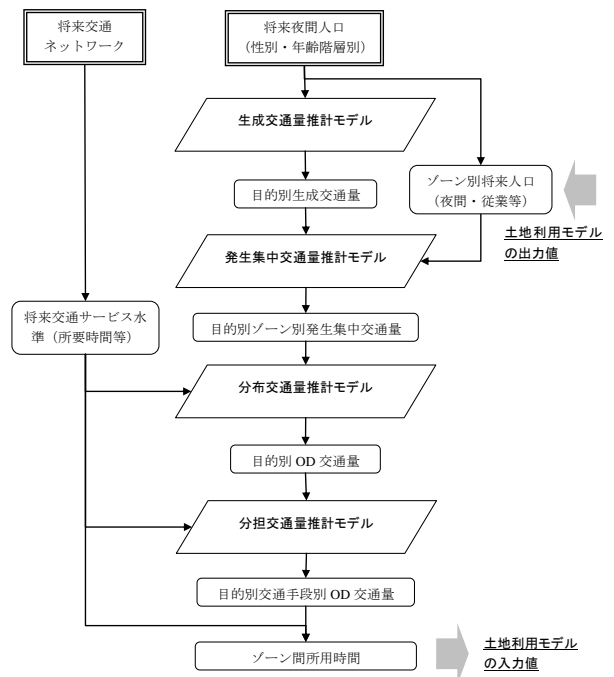


図-3 交通モデルの構成

表-2 交通モデルの推定条件

	推定条件
都市圏名	仙台都市圏
PT調査年	2002(第4回)
ゾーン数	1821(小ゾーン)
目的数	5目的(通勤、通学、帰宅、私事、業務)
交通手段数	6手段(鉄道、バス、自動車、バイク、自転車、徒歩)

(1) 生成モデル

超高齢化社会の人口動態を反映した交通行動が再現されるように、生成モデルは目的別に「性別」「年齢階層別」に分けて原単位を設定した。

目的別生成交通量＝性別・年齢階層別・目的別生成原単位×性別・年齢階層別将来人口

(2) 発生・集中モデル

発生・集中モデルは、モデルに使用するデータを極力抑えつつ、ある一定程度の精度を保つように非常にシンプルな構造のモデル式を採用した。

表-3 発生・集中モデルの推計式

目的 ^{※1}	推計式
通勤 ^{※2}	発生交通量＝就業人口×通勤・就業パラメータ 集中交通量＝従業人口×通勤・従業パラメータ
通学	発生交通量＝居住地学生人口×通学・居住地学生パラメータ 集中交通量＝通学地学生人口×通学・通学地学生パラメータ
私事	発生交通量＝就業人口×私事・就業パラメータ ＋非就業者数×私事・非就業パラメータ ＋第3次産業従業人口×私事・第3次従業パラメータ ＋通学地学生人口×私事・通学地学生パラメータ 集中交通量＝非就業人口×私事・非就業パラメータ ＋第3次産業従業人口×私事・第3次従業パラメータ
業務	発生交通量＝夜間人口×業務・夜間パラメータ ＋産業別従業人口×業務・産業別従業パラメータ 集中交通量：発生交通量と同じ

※1 帰宅目的の発生・集中交通量は、帰宅以外の目的の復路として、起集点を反転したものに基づいて推計するため発生集中モデルは構築していない。(分布モデルで推計)

※2 第1次産業の就業者・従業者は除く。(居住地・通勤地が同一と想定)

(3) 分布モデル

分布モデルは、二重制約型エントロピーモデルを採用した。採用の理由は、ゾーン間距離が長く、現状で0トリップのゾーン間の交通量を過大推計しな

いためである。

$$T_{ij} = \alpha \cdot O_i \cdot \beta \cdot D_j \cdot \exp(\gamma \cdot V_{ij}) \quad (17)$$

但し、 T_{ij} ：ゾーンij間の分布交通量、 O_i ：ゾーンiの発生交通量、 D_j ：ゾーンjの集中交通量、 V_{ij} ：ゾーンij間の交通手段合成効用、 α ：発生交通量制約係数、 β ：集中交通量制約係数、 γ ：目的別調整係数。

交通手段の合成効用は、ゾーン間の複数の交通手段の所要時間や運行頻度から得られる効用値を合成したものであり、後述の分担モデルの関数を用いて算定した。

$$V_{ij} = \ln(\sum \exp(V_m)) \quad (18)$$

但し、 V_m ：交通手段mを選んだときの効用

表-4 分布モデルの推定精度

	通勤	通学	私事	業務
γ	0.74048	1.62202	1.67014	0.68535
サンプル数	25,713	7,840	24,918	12,836
R	0.452	0.592	0.751	0.522
R ²	0.204	0.350	0.564	0.272
RMSE	2	4	2.91	1.50

帰宅目的の分布モデルについては、帰宅以外の目的の復路として、起集点を反転したものに基づいて推計した。

(4) 分担モデル

分担モデルは、ロジット型のモデルを採用した。

$$P_{mij} = \exp(A_{mij}) / \sum \exp(A_{m1-m5ij}) \quad (19)$$

但し、 P_{mij} ：ゾーンij間で交通手段mが選ばれる確率、 A_{mij} ：ゾーンij間の手段mの交通利便性、 $\sum \exp(A_{m1-m5ij})$ ：ゾーンij間の手段m1-m5の交通利便性

$A_{m1-m5ij}$ ：鉄道、バス、自動車、バイク、自転車、徒歩の効用

鉄道のゾーンij間の効用＝ $T_{ij} \cdot \alpha 1 + h \cdot \alpha 2 + \alpha 3$

バスのゾーンij間の効用＝ $T_{ij} \cdot \alpha 1 + h \cdot \alpha 4 + \alpha 5$

自動車のゾーンij間の効用＝ $T_{ij} \cdot \alpha 1 + \alpha 6$

バイクのゾーンij間の効用＝ $T_{ij} \cdot \alpha 1 + \alpha 7$

自転車のゾーンij間の効用＝ $T_{ij} \cdot \alpha 1 + \alpha 8$

徒歩のゾーンij間の効用＝ $T_{ij} \cdot \alpha 1$

但し、 T_{ij} ：ゾーンij間所要時間、 h ：平均運行頻度、 $\alpha 1 \sim \alpha 8$ はパラメータ。

表-5 分担モデルの推定精度

	通勤	通学	私事	業務
サンプル数	25,713	7,840	27,894	14,023
R	0.6873	0.7982	0.7673	0.8302
R ²	0.4724	0.6372	0.5887	0.6892
RMSE	6	10	9	5

6. ケーススタディの実施

ケーススタディは仙台都市圏を対象に、第4回パーソントリップ調査の3つの都市構造のシナリオを参考に実施した。パーソントリップ調査では、図に示すように、将来趨勢(シナリオ1)、将来目標(シナリオ2)、将来目標(シナリオ3)の3つのシナリオを設定しており、将来趨勢は将来に向けて現状の趨勢が継続し、郊外で低密度のまま市街地が拡大する一方で、都心や地域中心、既存市街地などでの人口の空洞化が進行することを想定。将来目標(シナリオ2)では、将来に向けて現行都市計画に基づき計画的に市街地を誘導し、土地利用と交通とのバランスを回復することを想定、将来目標(シナリオ3)では、基幹軸となる公共交通路線の駅やバス停を中心に市街地を集約し、駅直近に都市活動や日常生活の拠点を、その周辺には住宅地を、それぞれ形成する公共交通指向型開発(TOD)市街地を誘導するケースを想定した。

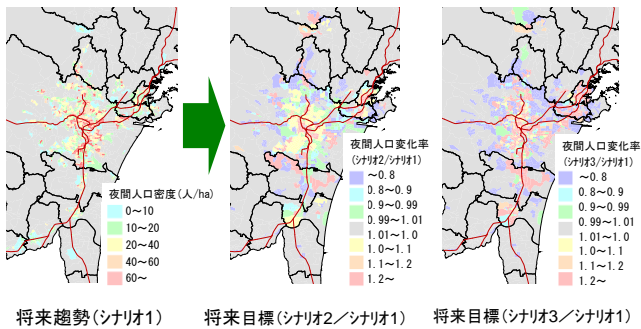


図4 ケーススタディのシナリオ設定

試算の結果、集約度が高まるほど公共交通利用の増加、都心アクセス時間の短縮効果がみられた。また、経済指標については、シナリオ1に比べて、シナリオ2、3と集約度が高まるほど、行政コストの削減、生産額や地価(市街化区域)の向上がみられ、環境指標については、自動車からのCO2排出量がシナリオ1が最も多く、シナリオ2、3と集約度が高まるほど減少した。

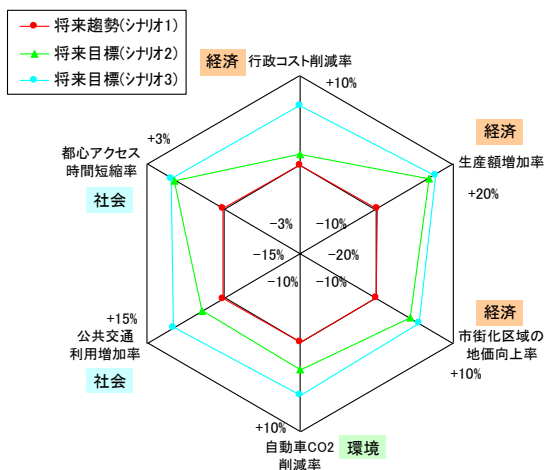


図5 シナリオの評価結果

次に、将来目標(シナリオ2)の都市構造を目指して、人口集約地域の鉄道を5分間隔、バスを10分間隔の運行本数に増加することで公共交通軸を強化する施策を検討した(政策実施(シナリオ2-2))。

試算の結果、公共交通の利用率は増加し、都心アクセス時間の短縮が見られたが、経済指標は地価の向上がみられるものの生産額の増加や行政コストの減少には大きな効果が見られなかった。また、環境指標のCO2排出量も微減に留まった。

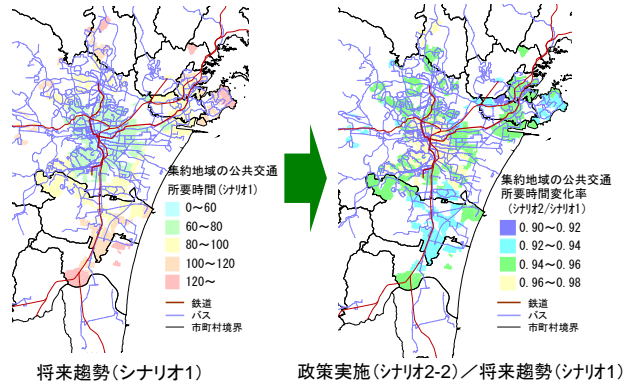


図6 政策(公共交通軸強化)のシナリオ設定

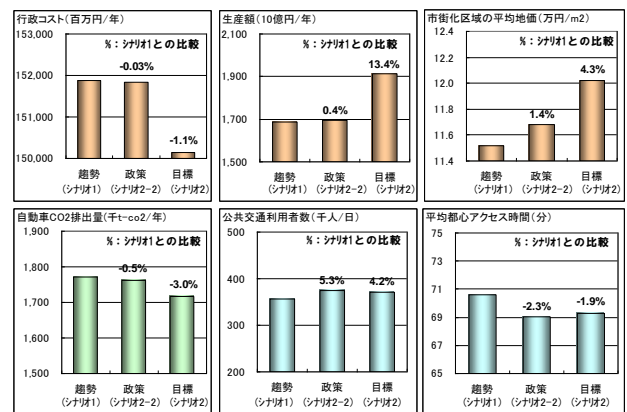


図7 政策(公共交通軸強化)の評価結果

7. 移転性の確認

仙台都市圏のデータに基づき作成したモデルが、他の都市圏に適用可能か移転性の確認を行った。対象とした都市圏は、北部九州都市圏(福岡市、北九州市等)と西遠都市圏(浜松市等)、伊賀都市圏(上野市等)である。

(1) 土地利用モデルの移転性確認

ACC定義式及び地価関数に基づき土地利用モデルのファイナルテストを実施し、モデルの再現性及び他都市圏への移転性を確認した。

ファイナルテストによる人口推計値と人口実績値を比較すると、仙台都市圏では相関係数が非常に高く、モデルの現況再現性が高い。また、他の都市圏へモデル移転を行うと、各都市圏においても相関係数が高く、仙台都

市圏のモデルの移転性が確認できた。

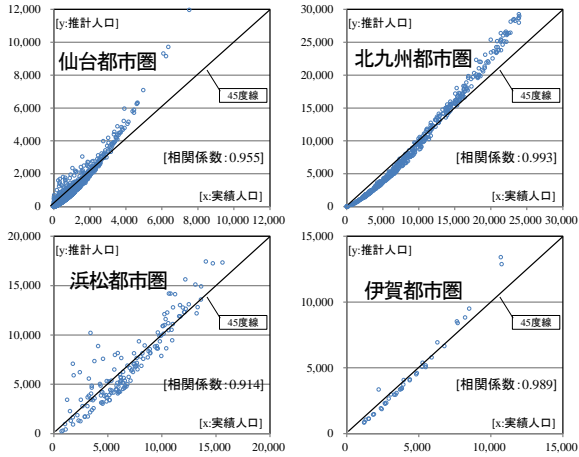


図-8 推計人口と実績人口の関係(ファイナルテスト)

(2) 交通モデルの移転性の確認

交通モデルの他都市圏への移転性の確認は、1)政策による影響の方向性が合うこと、2)変化の幅が合うこと、3)現況再現性があること、に着目して検証を行った。

施策による影響の方向性・変化の幅については、将来趨勢と比較して、拡散型と集約型の都市構造の手段分担の変化について確認を行った。その結果、各都市圏で作成されたモデルと比較しても影響の方向性については問題なく、変化の幅についても概ね良好な結果が得られた。

現況再現性については、生成・発集・分布・分担の各モデルで、PT調査で作成するモデルほどではないが、一定程度の精度を確保できることを確認した。

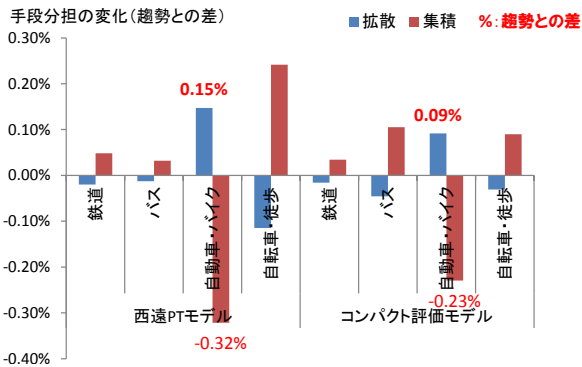


図-9 手段分担の変化 (感度)

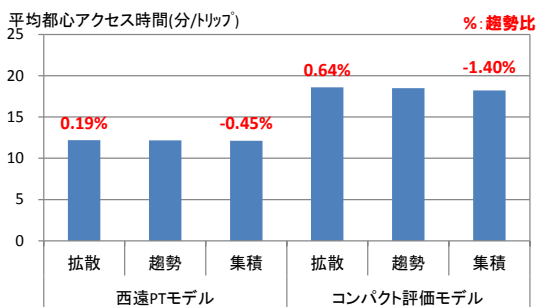


図-10 平均都心アクセス時間の感度

表-6 西遠都市圏における交通モデルの現況再現性

(決定係数: R^2)

		通勤	通学	私事	業務	帰宅
発生集中モデル	発生量	0.931	0.923	0.849	0.751	
	集中量	0.845	0.870			
分布モデル		0.727	0.668	0.252	0.298	
分担モデル		0.866	0.577	0.908	0.965	
帰宅モデル	鉄道					0.782
	バス					0.747
	自動車					0.967
	バイク					0.800
	自転車					0.980
	徒歩					0.977

※青字は R^2 が0.5以下

8. まとめ

本稿では、集約型都市構造化の実現を加速するために、地方公共団体がコンパクトシティ化の効果を客観的かつ容易に評価することを可能とする評価手法について、これまでの研究成果を整理した。

実用性を重んじ、入力する変数を極力少なくし、データ整備にかかる労力を少なくしつつ、政策感度・現況再現性とも一定程度の精度を持つ評価手法を構築することができたと考えている。

しかしながら、実用にあたっては幾つかの課題がある。まず1つは、評価手法を簡単に扱えるようにすることである。モデルを簡略化したといっても、エクセル等の表計算で計算できるわけではなく、幾つものプログラムを回す必要がある。したがって、誰もが利用可能とするためには優れたインターフェイスを備えたツールを用意する必要がある。2つ目はデータの整備である。交通モデルを扱うことから道路や鉄道のネットワークデータを扱う必要がある。特に、計画路線の追加、サービスレベルの変更等、将来ネットワークを作成し、モデルで利用することは、地方公共団体の職員には重荷である。したがって、データ整備を簡易に行うためのツール等を用意することも必要である。そして最後に、今回作成したモデルの移転性の更なる確認である。本稿では、移転性の確認において、比較対象が可能なPTデータ・モデルを有する都市圏を対象に検討を行なった。しかし、PT調査を実施しない小規模の都市は相当数あり、そのような小規模な都市圏でも適用可能であるか検証を進めて行くことが必要である。

謝辞：本研究を実施するにあたり、筑波大学谷口守教授、宇都宮大学森本教授、神戸大学小池准教授に有益なご示唆を頂いた。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) Echenique, M.H., Flowerdew, A.D., Hunt, J.D., Mayo, T.R., Skidmore, L.J., Simmonds, D.C. : The MEPLAN Models of Bilbao, Leeds Dortmund : *Transportation Reviews*, Vol.10, 1990.
- 2) 小島浩, 吉田朗, 森田哲夫 : 交通・環境負荷を小さくする都市構造と交通施策に関する研究, 日本都市計画学会都市計画論文集, No.38-3, pp.553-558, 2003.
- 3) 森田哲夫, 吉田朗, 小島浩, 馬場剛, 樋野誠 : 都市環境に関わる諸施策を評価するモデルシステムの提案, 土木学会論文集 D, Vol.64, No.3, pp.457-472, 2008.
- 4) Global Reporting Initiative : サステナビリティレポートガイドライン, pp.2-44, 2008.