

広域都市圏における町丁目単位の土地利用モデルの構築に関する基礎的検討*

On Building a Land Use Model in Metropolitan Area Based on Micro Level Zones*

山形与志樹**・瀬谷創***・中道久美子****

By・Yoshiki YAMAGATA**・Hajime SEYA***・Kumiko NAKAMICHI****

1. はじめに

近年、地球温暖化への関心の高まりとともに、土地利用・交通モデルを用いて将来の土地利用シナリオを構築し、各シナリオ下における、環境パラメータの空間分布や、総量について検討する試みが数多く行われている¹⁾。また、緑被率、人工排熱、建物密度、天空率といった気候モデルにおける重要なインプットデータの将来予測ツールとしても、土地利用・交通モデルへの期待は大きい。特に後者の目的では、[1] 近年の気候モデルの空間詳細化、いわゆるダウンスケーリングの流れの中で、 $1\text{km}\times 1\text{km}$ 程度のミクロな領域において、これらの環境パラメータを算出すること、また、[2] 気候モデルで必要とされるパラメータは、人工排熱や天空率など、建物の高さに依存するものが多いため、建物市場を明示的にモデル化することが不可欠である。

しかしながら、土地利用・交通モデルに関する既往研究の多くは、市区町村が同等程度のゾーンを対象としており、また $1\text{km}\times 1\text{km}$ 程度のミクロなゾーンを対象とした研究も、市区町村内といった比較的狭い領域を対象とした分析や、仮想データを用いたシミュレーション分析にとどまっている。したがって、東京都市圏のような広域を対象とした、町丁目単位の土地利用モデルの構築例は筆者らがレビューした範囲では皆無である。

以上の背景より本研究では、宮城ら(2010)³⁾の建物床市場を明示的に考慮した土地利用・交通モデルの簡略版を、東京都市圏パーソントリップ調査（以下、東京都市圏PT調査）の対象エリア全域を対象に町丁目単位で構築し、現実的な仮定の下で政策シミュレーションを行う。また、モデル構築にあたっての問題点を整理することで、今後重要性が増すと考えられる空間詳細な土地利用モデルの構築のための、実証的・実務的な知見を提供することも目的としている。

2. 都市圏における町丁目単位の土地利用モデルの構築

(1) 対象地域

図-1に、本研究の対象地域である第4回東京都市圏PT調査の対象エリア（町丁目単位）を示す。2005年におけるゾーン数は市区町村が275であるのに対し22,368であり、ゾーン面積の平均（標準偏差）（ km^2 ）は市区町村、町丁目それぞれ、79.6（114）、0.688（2.42）である。ここで、町丁目面積の平均は3次メッシュ（約 $1\text{km}\times 1\text{km}$ ）よりも小さいが、標準偏差は非常に大きい点が注目される。これは、都心部において面積が小さく、地方部（例えば、埼玉県や東京都西部の山間部）において面積が大きいことに起因している。このような、都心部や鉄道駅付近において面積が小さいという町丁目の構造は、政策シミュレーションを行う際に有用であるため、本研究では単一のメッシュではなく町丁目を用いることとする。

(2) 構築するモデル

本研究で構築するモデルのベースは、CUEモデルであり、特に宮城ら(2010)³⁾の建物市場を考慮したモデルを用いる。宮城ら(2010)³⁾は、従来のCUEモデルと異なり、土地開発者の行動を明示的に考慮したモデルを用いている。土地開発者は家計・企業と建物市場において財（交通トリップ数、建物床面積）の消費・投入量を調整し、不在地主と土地市場において財（土地面積）の消費・投入量を調整する。建物市場を考慮することで、人工排熱や天空率など、建物の高さに依存する環境パラメータを算出でき、また家計部門の CO_2 排出量を推計する際に必要となる建物床面積の将来予測（外岡ら(2003)⁴⁾）が可能になるなど、都市のコンパクト化検討のための一つの有効な分析ツールに成り得ると考えられる。

図-2に本研究のモデルの全体構成を示す。本研究では、家計の立地行動のみを分析し、企業分布は将来も変化しないと仮定する。また、後述のようにネットワーク上の配分交通量の変化（交通渋滞）を考慮していないため、交通モデルから土地利用モデルへの一方向の影響のみを考慮している。したがって、本研究のモデルの構造は厳密にはCUEモデルの構造とは異なる。

モデルの前提条件は以下の通りである。

*キーワード：地球温暖化、土地利用交通モデル、町丁目

**非会員 博(学術) 独立行政法人国立環境研究所
(つくば市小野川16-2 yamagata@nies.go.jp)

***学生会員 修(社会工学) 独立行政法人国立環境研究所
(つくば市小野川16-2 seya.hajime@nies.go.jp)

****正会員 博(環境学) 独立行政法人国立環境研究所
(つくば市小野川16-2 nakamichi.kumiko@nies.go.jp)

- 1) 経済主体は「家計」（7つの世帯タイプ $k \in K = \{1, \dots, K\}$ （表－1）、それぞれのタイプは同一の選好を持つと仮定）、「不在地主」、そして、「開発者」から成る。
- 2) 都市圏内は I 個のゾーンに分割されており、各ゾーン $i \in I = \{1, \dots, I\}$ における同一用途内は同質である。
- 3) 構築モデルは閉鎖都市モデルであり、都市圏（対象地域）の総人口は外生的に与えられ、都市圏外との交流は無いと仮定する。
- 4) 土地市場、建物市場は等効用原則に基づいており、土地市場と建物市場が同時に均衡する。
- 5) 家計は効用最大化行動に従い、立地選択を行うものとし、立地の変化による追加的な費用は一切考慮しない。また、不在地主、開発者も利潤最大化行動に従うと仮定する。

以下、家計の行動を定式化する。なお、不在地主、及び開発者の行動の定式化は宮城ら(2010)³⁾と同様であるため、本稿では省略する。

a) 家計の行動

従来の「代表的個人」の仮定を緩和して、世帯を表－1の7タイプに分類している。しかしながら、本モデルには動学的要素を含めていないため、世帯タイプの割合は、将来も変化しないと仮定している。各世帯は、所得制約の下で、自身の効用を最大化するように住宅建物床面積、私事トリップ、合成財、余暇を消費し、その結果として得られる間接効用値に基づき居住地の選択を行うとする。

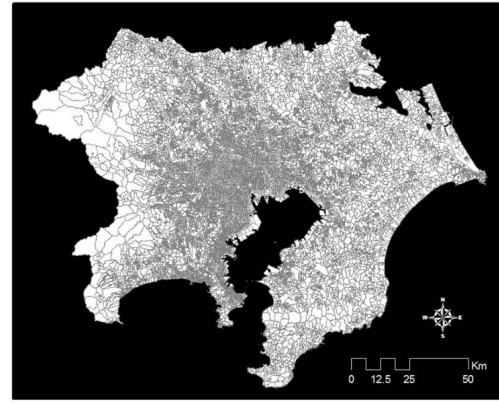
$$V_i^k = \max_{Z_i^k, A_i^k, Q_i^{k,pr}, L_i^k} \left[\alpha_Z^k \ln Z_i^k + \alpha_A^k \ln A_i^k + \alpha_{Q^{k,pr}}^k \ln Q_i^{k,pr} + \alpha_L^k \ln L_i^k \right], \quad (1)$$

$$s.t. \quad Z_i^k + R_i A_i^k + c_i^{k,pr} Q_i^{k,pr} + w L_i^k = w(T^k - c_i^{k,co} Q_i^{k,co})$$

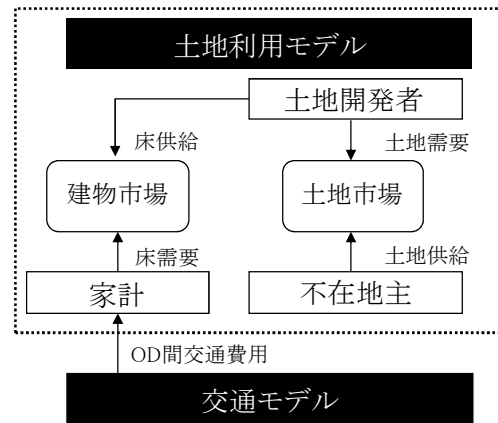
V : 間接効用、 Z : 価格を1とした合成財の消費量、 A : 住宅建物床面積消費量、 Q^{pr} : 私事トリップ消費量、 α : 分配パラメータ、 R : 住宅建物賃料、 c^{pr} : 私事トリップの一般化価格、 w : 賃金率、 T : 総利用可能時間（固定）、 c^{co} : 通勤トリップの一般化価格、 Q^{co} : 通勤トリップ消費量

通常のCUEモデルでは、(1) 式の間接効用値 V に、現状での人口分布を再現するようにキャリブレーションで求める補正値 e を加えた $v_i^k = e_i^k + V_i^k$ を確定項とし、多項ロ

ジットモデルにより立地選択確率を表現することが多い。しかしながら本研究の場合、町丁目数が2万を超えることから、立地選択確率の行列を直接求めるのは困難である。したがって本研究では、第一段階で市区町村を、第



図－1 町丁目単位のゾーン



図－2 モデルの全体構成

表－1 モデルの全体構成

A. 高齢単身 (65歳以上)
B. 若中年単身 (65歳未満) (1)
C. 高齢夫婦 (夫婦どちらかが65歳以上)
D. 若中年夫婦 (夫婦両方65歳未満)
E. 片親と未婚子供
F. 夫婦と未婚子供
G. その他

二段階でその中の町丁目を選択するネストッド・ロジットモデルによって立地選択確率を算出する。これによって、計算コストは大幅に低減される。

ここで、パラメータのキャリブレーションという観点から、町丁目単位で土地利用モデルを構築することの問題点に言及しておきたい。現時点で、大都市圏を対象とした、町丁目レベルの土地利用モデルが皆無である大きな理由として、データの入手可能性、計算の困難性と並んで、データの精度（標準誤差）の問題が考えられる。通常、(1) 式における分配パラメータは、実データを元に最小二乗法（以下、OLS）によって推定することが多い（例えば、宮城ら(2008)³⁾）。例えば、一人当たり建物

床面積 A に関する分配パラメータの推定値は、ゾーン i における世帯タイプ k の建物床総需要量を TA 、世帯タイプ k に属する人口を N_i^k としたとき、

$$A_i^k = \frac{TA_i^k}{N_i^k} = \alpha_A^k \frac{w(T^k - c_i^{k,co} Q_i^{k,co})}{R_i} \quad (2)$$

においてOLS推定によって求める。ここで、町丁目単位の人口データにおいては、 N が非常に小さい場合（例えば、1~2）が多く、この場合 N の値によって、 A の値が大きく振動するという問題が起こる。このとき、分配パラメータのOLS推定値は、統計学的に有意でないか、また有意であっても実データへの当てはまりが非常に悪くなる。以上述べたようなデータ精度の問題は、ゾーンを小さくすることにより必然的に発生する問題であり、CUEモデルに限ったことではない。解決策として例えば、小地域推定⁵⁾等の分野のモデルを援用した頑健推定や、山崎ら(2010)⁶⁾ のようなマルチレベルモデリングの適用が考えられるが、今回は簡単のため、市区町村レベルでのキャリブレーションを行うことによって表-2のように推定している。なお、本研究において世帯の異質性は、この分配パラメータによって与えている。

(3) 用いるデータ

本研究で用いるデータを、表-3に示す。賃料と地代は、kriging（例えば、堤・瀬谷 (2010)⁷⁾）によって内挿して取得している。また、建物床面積は、Z map town II の建物データを元に、GIS を用いて作成した（宮城ら (2010)³⁾）。ただし、世帯別の建物床面積データは入手できなかったため、分配係数から逆算している。

交通モデルは、目的地選択モデルと、交通手段選択モデル（自動車、鉄道、バス、徒歩から最小コストの交通手段を選択）からなり、ネットワーク上の配分交通量は考慮していない。交通データは、町丁目間所要時間データの入手が困難であったため、第4回東京都市圏 PT 調査を再現するように、仮想的に与えている（表-4）。

3. 政策シミュレーション

(1) シナリオの内容

本稿では、低炭素な都市構造を志向したコンパクトシナリオシナリオの検討例について示す。具体的には、環境省請負調査業務である価値総合研究所(2010)⁸⁾を参考に、次の3つの集約シナリオを検討する。

- 自動車燃料への炭素税の負荷を念頭に、燃料費を現状+500[円/ℓ]とする。
- 同様に、燃料費を+1,000[円/ℓ]とする。
- 最寄駅から（ゾーン中心が）2.5km以上離れた町丁目の土地の利用可能面積を、現状の1/5とする。

なお、本研究では CUE に関する多くの既存研究と同様に、人口の3割のみが転居行動を行うと仮定する。

表-2 用いるパラメータ

α_Z	α_A	α_Q^{pr}	α_L
0.2570	0.0106	0.0242	0.7082
0.6530	0.0170	0.0342	0.2958
0.4746	0.0181	0.0457	0.4616
0.8594	0.0213	0.0477	0.0716
0.8221	0.0291	0.0824	0.0664
0.6709	0.0159	0.0681	0.2451
0.6023	0.0171	0.0766	0.3040

表-3 利用するデータ

項目	利用する統計データ	年度	機関
人口	国勢調査	2000	MIC
利用可能時間/余暇/賃金率	社会生活基本調査	2006	MIC
所得	民間給与実態統計調査	2007	国税庁
地代	公示地価	2005	MLIT
交通	第4回東京都市圏PT調査/NITAS	1998	MLIT
標高・傾斜	国土数値情報	1981	MILIT
建物床面積	固定資産課税台帳 Z map town II	2005	MIC /樹ゼンリン
土地面積	固定資産課税台帳	2005	MIC
利用可能土地面積	国勢調査 可住地域	2000	MIC

表-4 交通仮想データ

手段	おもな仮定
自動車	- 費用：時間費用+燃料費+固定費+高速料金 - 旅行速度：（私事：30[km/h]、通勤：18[km/h]） - 燃料費：120[円/ℓ] - 高速料金：JH 24.6[円/km]×40[km/h] - 固定費（車両購入費）：1,000,000[円]÷120[月] - 固定費（駐車場費）：地価との線形回帰により算出
鉄道	- 費用：アクセス費用+時間費用[円]+乗換費用+運賃+イグレス費用 - アクセス、イグレス：1.0km未満は徒歩、以上は自動車 - 時間費用、乗換回数、運賃：NITASより算出 - 乗換費用：乗換回数[回]×乗換コスト[円/回] - 乗換コスト：10[分/回]
バス	- 費用：時間費用+乗換費用+運賃 - 旅行速度：11.25[km/h] - 乗換費用：乗換回数[回]×乗換コスト[円/回] - 乗換回数：複数の路線を調査し線形回帰により算出（14.4×乗車時間[h]） - 乗換コスト：10[分/回] - 運賃：複数の路線を調査し線形回帰により算出（バス時間[h]×(640+ガソリン価格)[円/h]）
徒歩	- 費用：時間費用 - 徒歩速度：4[km/h]、町丁目内距離：0.5×1.25[km]

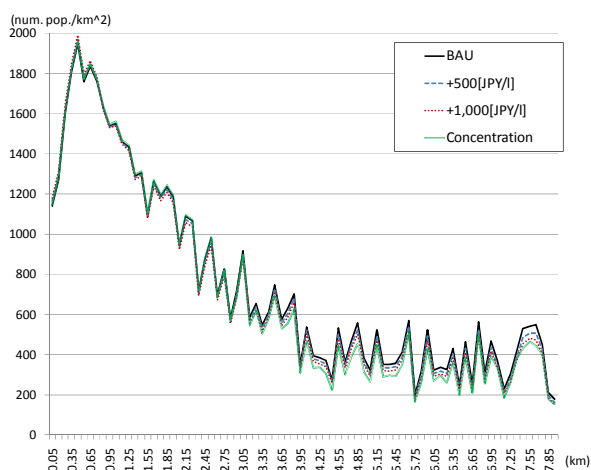
(2) シナリオ分析の結果と考察

図-3に、各シナリオについて、最寄駅からの距離帯（0.3km毎）について、人口密度を推計した結果を示す。この結果は、市区町村単位のCUEモデルでは得られないものである。最寄駅から遠い（例えば3km以上）ゾーン

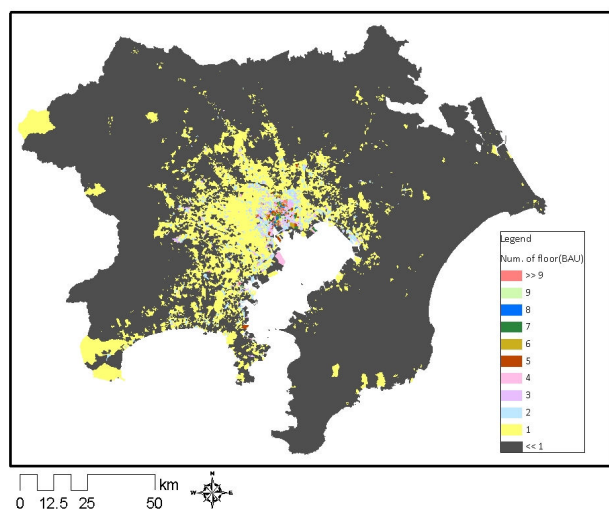
では、人口密度の高い順にBAU>A>B>Cという結果が得られた。これは、Cで利用可能面積を減少させているため、当然の帰結である。また、0.8km地点を境にして、それ未満の距離帯では、B>C、以上ではC>Bとなった。燃料費を政策的に上げた場合、より鉄道駅付近への立地選好が高まることが示唆され、興味深い。

図－4は、（住宅床面積 / 土地面積）の値から、仮想的な建物階数の値を求めたもの（BAU）である。値自体に意味を求めることは難しいが、相対的な分布傾向をとらえるには有用であると考えられる。図－4より、鉄道駅付近で、相対的に建物階数値が高く、東京都心部特に高層の建物が集中している可能性が示唆される。

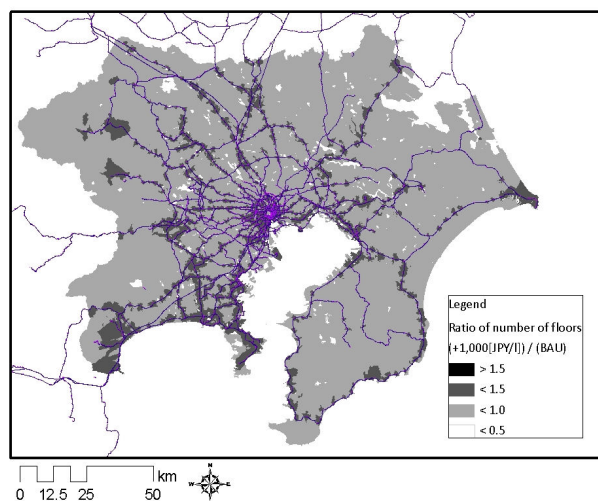
図－5は、シナリオBとBAUにおける建物階数値の比率を求めたものである。燃料費の増大により、自動車のコストが相対的に高くなったことから、鉄道駅付近への居住選好が高まったと解釈できる。図－4、5のように、仮想的な値ではあるものの、本モデルで建物階数の推計値が得られるため、天空率や人工排熱等、建物の階数に依存するパラメータの予測値が、各町丁目で導出可能である。なお、緑比率の算出方法については、Yamagata *et al.* (2010)⁹⁾ で検討しているので、そちらを参照されたい。



図－3 最寄駅からの距離と人口密度(人/km²)分布



図－4 建物階数分布(住宅床面積 / 土地面積、BAU)



図－5 建物階数分布の差異(シナリオB/BAU)

4. おわりに

本稿では、広域都市圏において町丁目レベルの土地利用モデルを構築し、実際に政策シミュレーションを行った。以下に、今後の課題を列挙する。1) 現実の国土・都市計画に資する、より現実的なシナリオの構築、2) パラメータを、キャリブレーションでなく統計的手法で同定する、3) 道路混雑、誘発交通の考慮、4) 世帯タイプの変化の考慮、5) 集積の経済の考慮である。特に5) について、本研究では、人口の3割のみが転居するというアプリオリな仮定を置いている。これは、全員の転居を許容すると、究極的な集約シナリオ（例えば、燃料費+10,000円/l）において、人口が最寄駅付近に集中し、都心へ集積しなくなるという非現実的な結果が得られたためである。今後、経済理論的・数学的に明快かつ実行可能な方法で、集積の経済を導入する方法論について検討していきたい。

参考文献

- 1) 紀伊雅敦・秋元圭吾 (2009). 都市政策による CO₂ 削減効果と持続可能性評価のための土地利用交通モデル, エネルギー・資源学会論文誌, 31 (1), 16-22.
- 2) Gomi, K., Shimada, K., and Matsuoka, Y. (2010). A low-carbon scenario creation method for a local-scale economy and its application in Kyoto city. *Energy Policy*, 38, 4783-4796.
- 3) 宮城卓也・堤盛人・山崎清 (2010). 開発者行動を考慮した応用都市経済モデルの可能性, 土木計画学研究・講演集, 41, (CD-ROM390).
- 4) 外岡豊・深澤大樹・村橋喜満・三浦秀一 (2003). 都道府県別・建て方別住宅エネルギー消費量と CO₂ 排出実体の詳細推計, 日本建築学会環境系論文集, 592, 89-96.
- 5) Pflefferman, D. (2002). Small area estimation-New developments and directions, *International Statistical Review*, 70 (1), 125-143.
- 6) 山崎清・松橋啓介・岩上一騎 (2010). 都市整備に対応した連結階層型応用都市経済モデル, 土木計画学研究・講演集, 41, (CD-ROM389).
- 7) 堤盛人・瀬谷創 (2010). 便益計測への空間ヘドニック・アプローチの適用, 土木学会論文集, 66 (2), 178-196.
- 8) 価値総合研究所 (2010). 平成 21 年度地方公共団体実行計画 (区域施策) 策定マニュアルに関する土地利用と交通に係る低炭素化手法の検討業務.
- 9) Yamagata, Y., Seya, H., and Bagan, H. (2010) Evaluation of fractional green vegetation cover in residential area. Presented at the ISPRS the Commission VIII symposium: Aug. 9-12, 2010, Kyoto Japan.