

CUE型住宅立地モデルを用いた 広域都市圏における水害脆弱性評価

瀬谷 創¹・山形 与志樹²・中道 久美子³・堤 盛人⁴

¹非会員 国立環境研究所 地球環境研究センター (〒305-8506 つくば市小野川16-2)
E-mail:seyahajime@nies.go.jp

²非会員 国立環境研究所 地球環境研究センター (〒305-8506 つくば市小野川16-2)
E-mail:yamagata@nies.go.jp

³正会員 国立環境研究所 地球環境研究センター (〒305-8506 つくば市小野川16-2)
E-mail:nakamichi.kumiko@nies.go.jp

⁴正会員 筑波大学准教授 大学院システム情報工学研究科 (〒305-8573 つくば市天王台1-1-1)
E-mail:tsutsumi@sk.tsukuba.ac.jp

本研究は、CUEモデルを理論的に拡張し、拡張されたCUEモデルを用いて東京23区の水害脆弱性評価を行うための方法論について議論することを目的としている。CUEモデルを水害脆弱性評価に用いている先行研究は既にいくつか存在するが、これらの研究は、河川流域の比較的狭い領域に着目したものである。本研究では、広域都市圏への適用と標準的な交通モデルとの連結を意図して、[1] ゾーンの階層性の考慮（例えば、市区町村一町丁目）、[2] 土地の異質性の考慮（需給均衡への質の導入）という2点においてCUEモデルの理論的な拡張を行い、実データを用いたモデルのキャリブレーションを行うと共に、温暖化影響を考慮したシナリオ分析の例を示す。

Key Words : CUE model, flood risk, Tokyo metropolitan area, scenario analysis, quality and quantity

1. はじめに

東日本大震災を経て、我が国では、災害リスクに対する脆弱性の克服と、温暖化対策（緩和・適応）を同時に進めていくことが喫緊の課題となっている。将来の都市構造を検討する上では、土地利用モデルを用いることが有用であり、これまでに様々な土地利用モデルが考案されてきた¹⁻³。その中でも特に、土地利用と交通の相互作用を扱ったモデルは、土地利用・交通モデル（integrated land use-transport (ILUT) model）と呼ばれる。

ILUTモデルの分類方法としては様々なものが考えられるが⁴⁻⁵、ここでは便宜上、均衡モデルと、不均衡モデルに分類したい。均衡モデルは、さらに時間軸を明示的に考慮した動学均衡モデル⁶と、捨象した静学均衡モデルとに分けられよう。近年海外で開発されている多くのILUTモデルは、時間視野を明示した不均衡モデル（土地利用マイクロシミュレーション（以下、MS））であり、ILUTE⁷、UrbanSim⁸、IRPUD⁹等が代表的なモデルとして挙げられる。このうち特にUrbanSimはオープンソースとしてPythonで記述されたコードが公開されており、

近年様々な応用的研究が行われつつある。例えば、シミュレーション結果を表示するWeb上のインターフェイスの開発¹⁰、生態系モデルとの統合¹¹、エージェントベース交通シミュレータであるMatSimとの統合¹²などの例がある。一方我が国における土地利用MSの例としては、林・富田（1988）¹³の先駆的な研究や、宮本らの一連の研究¹⁴が存在する。MSは、土地利用と交通の調整過程の時間遅れを表現でき、施策の影響の波及過程を表現できる有用な予測ツールの一つであると言え、既に米国では、UrbanSimが数多くの都市で実際の都市・地域計画に利用されている¹⁵。しかしながら言うまでもなく、不均衡モデルには、空間的均衡（spatial equilibrium）がない状況下における地代のモデル化の困難さや¹⁶⁻¹⁸、大量の非集計データが必要である点¹⁹など、実際の都市政策への適用のためには、解決されなければならない課題も多い。

他方、我が国で発展した静学均衡型（多市場部分均衡型）土地利用・交通モデルの一つの形態である応用都市経済（computable urban economic (CUE)）モデル²⁰は、時間軸を捨象しているため、土地利用と交通の調整過程の時

間遅れを表現することはできない。しかし一方で、標準的な経済理論に立脚して構築されているため、予測と便益評価を整合的に行うことが可能であるという点に特徴がある。実用指向型の都市モデルにおいては、予測と便益評価の乖離がしばしば指摘される課題であり²¹⁾²²⁾、土地利用と交通の相互作用を考慮しながら統一的なフレームで予測と便益評価を行うことが可能であるという点は、CUEモデルの持つ大きな利点の一つといえよう。

本研究は、CUEモデルを理論的に拡張し、拡張されたCUEモデルを用いて東京23区の水害脆弱性評価を行うための方法論について議論することを目的としている。ここで、CUEモデルを水害脆弱性評価に用いている先行研究としては、既に高木らの一連の研究²³⁾²⁴⁾、寺本ら(2010)²⁵⁾等が存在する。しかしながらこれらの研究は、河川流域の比較的狭い領域に着目したものである。本研究では、広域都市圏への適用と標準的な交通モデルとの連結を意図して、[1] ゾーンの階層性の考慮（例えば、市区町村一丁目）、[2] 土地の異質性の考慮（需給均衡における質の考慮）という2点においてCUEモデルの理論的な拡張を行い、実データを用いたモデルのキャリブレーションを行うと共に、温暖化影響を考慮したシナリオ分析（scenario analysis）の例を示す。

以下、まず第2章でCUEモデルに関連した既往研究を概観する。続いて、第3章で広域都市圏を対象とした水害脆弱性評価のために、CUEモデルの拡張を試みる。第4章では、東京23区を対象に実データを用いたモデル構築を行い、いくつかのシナリオ分析例を示す。最後に第5章で結論と今後の課題について述べる。

2. CUEモデルに関連した既往研究の整理

CUEモデルは、政策実務の支援を目的とした実用指向型（operational）の土地利用・交通モデルであり、ミクロ経済学的基礎を具備する静学均衡モデルである点と、立地選択行動や交通（目的地・交通手段・経路）選択行動に離散選択モデルの一つである（集計）ロジットモデルを導入している点に大きな特徴を持つ。CUEモデルは、多市場同時均衡モデルであるが、土地・建物市場と交通市場のみに着目した部分均衡モデルであるため、厳密にワルラス法則という意味でモデルが閉じているわけではなく（労働市場、財市場における価格変化を考慮していない）、この点でCUEモデルと似通った構造を持ち、米国で実用化されているAnas (1994)²⁶⁾の一般均衡モデルとは異なる。無論このような簡易化は、便益評価において注意を必要とするが、構築に社会会計表を要さず、

様々な地域により詳細な空間単位で適用可能なCUEモデルの実用上の利点は大きい。

従来、特に交通モデルを内包するCUEモデルは、市区町村程度のゾーンを単位として構築されることが多かった²⁷⁾。しかしながら、市区町村のような粗い空間解像度では、例えばコンパクトシティを意図した鉄道駅付近の容積率緩和施策や、自然災害の危険性の高い地域からの戦略的撤退の検討といった、ローカルな都市施策の評価を行うことは難しい。また、市区町村全体を一つの地代・賃料で代表させるというモデル化は、土地の異質性（heterogeneity）という特性を考えた時に、かなり強い仮定を置いていると言わざるを得ず、空間の細分化は重要な課題の一つである。広域な空間を細分化した場合、膨大なゾーンを一度に扱わなければならないため、上位レベル、下位レベルといった階層型のモデルを構築し、各階層でモデルを構築することが多い²⁾。環境省(2010)²⁸⁾においても、この方法が採用されており、まず東京都市圏を対象に市区町村程度の上位ゾーンでCUEモデルを構築し（上位モデル）、次に上位モデルから出力されたあるゾーン j （相模原市）の人口 N_j を用いて、ゾーン j 内部において丁目単位（下位ゾーン）のCUEモデル（下位モデル）を構築するという2段階のモデル化を行っている。町丁目間における目的別のOD交通量は、東京都市圏パーソントリップ調査（以下、PT調査）の小ゾーン単位のを人口で按分するという方法で推計している。このモデルは実用性は高いものの、上位モデルの出力と下位レベルの出力が人口以外は必ずしも整合しないという点に課題があると考えられる。一方、山形ら(2011)²⁹⁾は、東京都市圏全体を対象に丁目単位をゾーンとし、CUEモデルに基づく土地利用モデルを構築することを試みている。直感的には、ある地代・賃料が代表する範囲として、丁目程度の広さを想定することは妥当であると考えられ、丁目単位で人口や地代・賃料の変化が分析できることから、従来のCUEモデルに比べて、より詳細な都市施策の検討が可能となっている。しかしながら、データの入手可能性から、多くの入力データ（土地・建物床面積、地代・賃料）が予測値となっており、特に、交通データについては、仮想値を使用しているため、現時点では実際の評価への適用に耐えうるモデルとはなっていない。また、町丁目のようなローカルなゾーンにおける立地選択においては、学校の質や犯罪率、防災リスク（浸水履歴、地震危険度等）、最寄駅までの所要時間といった地域の局所的要因の影響が顕在

化すると考えられるため、これらを明示的にモデルに取り入れなければ、説明力のある住宅立地モデルを構築することは難しいと言える。したがって、空間詳細なモデルにおいては、通常 CUE モデルで用いられることが多い地代・賃料やアクセシビリティだけでなく、様々な地域固有変数を家計の効用関数に導入する試みが必要になる。しかしながら、このような試みを実証的に行っている例は非常に少なく、筆者らがレビューした範囲では唯一、小林ら (2006)³⁰が存在するのみである。小林ら (2006)³⁰は、首都圏（関東地方+山梨県）の市区町村を対象とした立地均衡モデルにおいて、大気汚染、騒音、交通利便性、地価、延長保育有無、歩道設置実延長、下水道普及率、区画整理済み面積率といった様々な変数を間接効用関数に導入し、その統計学的な有意性を検定している。その結果、これらの多くが 1%水準で有意であるという結果を得ている。しかしながら、モデルの構造としては、土地の供給量が固定されているという点で限定的である。

ここで、効用関数の設定に目を移すと、既往研究のほとんどで（対数変換した）コブ=ダグラス型の効用関数が用いられている^{25),27-29),31)-36)}。一方で高木ら (1996)²³⁾、国土交通政策研究所 (2002)³⁷⁾は、間接効用関数をいくつかの要因（あるいはその対数）の線形和として直接定式化している。ここで、後者は地代を含むすべての効果を線形で導入しているが、森杉編 (1997, p.7)³⁸⁾で指摘されている通り、線形の効用関数では、ロウの恒等式 (Roy's identity) から導きだされる種々の需要関数が理論的に妥当な性質を有するとは限らない（すなわち、価格について線形である間接効用関数は、価格の影響を受けない需要関数を与える）点に注意が必要である。

以下、第3章では、既往研究における家計の効用関数について詳細に検討し、その後、いくつかの点で拡張を試みる。具体的には、ゾーンの階層性の考慮、地域固有変数の導入と、需給均衡への質の導入³⁹⁾である。

3. CUEモデルにおける家計の効用関数の特定化

(1) 既往研究における効用関数の特定化

本研究では、CUEモデルを構築するにあたって、以下のような仮定をおく。

- [1] 都市圏内は、 I 個の下位ゾーン ($i \in I = \{1, \dots, I\}$: 町丁目) に分割されているとし、下位ゾーンは J 個の上位ゾーン ($j \in J = \{1, \dots, J\}$: 市区町村) のいずれかに含まれているとする。 $i \in j$ からなる I の部分

集合を I_j としたとき、 $I \cup \{I_1, \dots, I_j\}$ が満たされる。

以下、簡単のため $i \in j$ を ij と表記する。

- [2] ゾーンにおける同一用途内は均質とする。
 [3] 構築モデルは閉鎖都市モデルであり、都市圏（対象地域）の人口 \bar{N} 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] 経済主体は「家計（世帯タイプ $k \in K = \{1, \dots, K\}$ ）」、「企業」、「不在地主」、「ディベロッパー」からなる。
 [5] 市場は、「土地市場」、「建物市場」、「交通市場」からなる。
 [6] 家計は効用最大化行動を行うものとし、企業、不在地主、ディベロッパーは利潤最大化行動を行うものと仮定する。
 [7] 土地市場、建物市場、交通市場は等効用原則に基づいており、各市場は同時に均衡する。

仮定 [2] は、CUEモデルの標準的仮定の一つであるが、本研究ではこの点の緩和を試みている。ここで、交通トリップ・価格において pr は、私事目的、 ω は、通勤目的を示す添字とする。また、 (\bullet) は、外生的に与えられ、固定された値であることを示すとする。なお、企業、不在地主、ディベロッパーの行動、および交通モデルについては、宮城 (2009)³⁵⁾、宮城ら (2010)³⁶⁾ と同一の構造である。したがって定式化等の詳細については、これらに譲ることとし、本研究では、主眼である家計（世帯）の住宅立地モデルについて詳しく述べることにしたい。

以下、本研究で用いる効用関数の一般形について述べる。家計は、所得制約の下で、自身の効用を最大化するように合成財（ニューメレール）、建物床面積、私事トリップを消費し、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仮定する。

$$\max_{z_{ij,k}, a_{ij}, q_{ij,k}^{pr}, u_{j,k}, v_{ij,k}} U_{ij,k} = [z_{ij,k}, a_{ij}, q_{ij,k}^{pr}, u_{j,k}, v_{ij,k}] \quad (1)$$

$$s.t. \quad z_{ij,k} + r_{ij} \cdot a_{ij} + c_{ij,k}^{pr} \cdot q_{ij,k}^{pr} = \bar{w}_{ij,k} \cdot (\bar{T}_{ij,k} - c_{ij,k}^{co} q_{ij,k}^{co})$$

ただし、 U : 直接効用関数、 z : 価格を1とした一人当たり合成財消費量、 a : 一人当たり住宅建物床面積消費量、 q : 一人当たり交通トリップ消費量、 r : 住宅賃料、 c : 交通トリップ一般化価格、 w : 賃金率、 T : 総利用可能時間、 $\bar{w}_{ij,k} \cdot (\bar{T}_{ij,k} - c_{ij,k}^{co} q_{ij,k}^{co}) \equiv y_{ij,k}$: 所得とする。また、

u, v はそれぞれ上位、下位ゾーン固有の要因を示すベクトルで、例えば環境質や土地の質等の家計にコントロールできない公共財であるとする（森杉, 1989, pp.26-27 参照）⁴⁰⁾。また、賃料は、一物一価の考え方にに基づき、家計タイプによらず、各ゾーンで一つの値をとるとする。

家計は z, a, q について効用関数を最大化する。効用最大化行動の結果として、各ゾーンにおける各財の需要

関数、間接効用関数が次式により与えられる。

$$a_{ij} = a_{ij}(r_{ij}, c_{ij,k}^{pr}, y_{ij,k}, \mathbf{u}_{j,k}, \mathbf{v}_{ij,k}), \quad (2.1)$$

$$z_{ij,k} = z_{ij,k}(r_{ij}, c_{ij,k}^{pr}, y_{ij,k}, \mathbf{u}_{j,k}, \mathbf{v}_{ij,k}), \quad (2.2)$$

$$q_{ij,k}^{pr} = q_{ij,k}^{pr}(r_{ij}, c_{ij,k}^{pr}, y_{ij,k}, \mathbf{u}_{j,k}, \mathbf{v}_{ij,k}), \quad (2.3)$$

$$V_{ij,k} = V_{ij,k}(r_{ij}, c_{ij,k}^{pr}, y_{ij,k}, \mathbf{u}_{j,k}, \mathbf{v}_{ij,k}). \quad (2.4)$$

家計は、 V_{ij} に基づき、最も効用が高いゾーンに立地する。通常は、式(2.4)にスケールパラメータを1としたi.i.d.な第一種極値分布に従う誤差項 ε_j を付加し⁴⁾、集計ロジットモデルを用いて立地モデルが定式化される。立地均衡状態は、確率論的な意味において、家計はもはや立地変更を行うインセンティブを持たない状態にあることを意味する(立地均衡)。すなわち、立地選択行動を確定論的に考えると、効用の高いゾーンにすべての家計が立地することになる。これに対し、ロジットモデルに代表される確率論的な考え方では、情報の不確実性などの理由から、効用の高いゾーンへ必ずしもすべての家計が立地するのではなく、効用の相対的な高さに応じて立地すると考える⁴⁾。

さて、実際のモデル構築においては、データの利用可能性を勘案しながら、一般式を簡略化する必要がある。例えば、交通モデルの出力から、直接、世帯タイプ別の交通トリップ一般化価格を求めることは困難であり、また、交通モデルを構築可能な単位も、元となる調査の最小単位に制約される。以下、既往研究における効用関数の特定化の例を示すと共に、これらの理論的・実証的(統計学的)な拡張の可能性について議論する。

東京都市圏でモデルを構築している宮城ら(2010)³⁶⁾は、次式のように効用関数を定式化している。

$$\max_{z_j, a_j, q_j^{pr}} U_j = \alpha_z \ln z_j + \alpha_a \ln a_j + \alpha_q \ln q_j^{pr} + \bar{u}_j \quad (3)$$

$$s.t. \quad z_j + r_j a_j + c_j^{pr} q_j^{pr} = \bar{w} \cdot (\bar{T} - c_j^{co} q_j^{co})$$

$$\alpha_z + \alpha_a + \alpha_q = 1 \quad (\alpha_a > 0)$$

ここでは、単一世帯タイプ(代表的家計)が想定され、市区町村単位でモデルが構築されている。効用関数はコブ=ダグラス型に特定化されており、 \bar{w} はゾーンによらず一定と仮定されている。地域固有の変数 \bar{u}_j は、現況

の人口分布を完全に再現するように補正項として加えられる(定数項補正(constant adjustment))。各ゾーンにおける各財の需要関数、間接効用関数はそれぞれ次のように与えられる。

$$z_j = \alpha_z y_j, \quad (4.1)$$

$$a_j = \alpha_a y_j / r_j, \quad (4.2)$$

$$q_j^{pr} = \alpha_q y_j / c_j, \quad (4.3)$$

$$V_j = \ln y_j - \alpha_a \ln r_j - \alpha_q \ln q_j^{pr} + \bar{u}_j + C, \quad (4.4)$$

$$C = \alpha_z \ln \alpha_z + \alpha_a \ln \alpha_a + \alpha_q \ln \alpha_q.$$

パラメータの推定は、個別の需要関数式(4.2)、(4.3)に、それぞれ最小二乗法(ordinary least squares (OLS))を適用して行っている。ここで、実証的側面からこの点について検討する。

東京23区において、式(4.2)の y/r を縦軸に、一人当たり建物床面積消費量(m^2)を横軸に散布図を描いたのが図1である(データの出典については、4章で述べる)。図1は、ロワの恒等式から導かれた需要関数であり、

$\alpha_a > 0$ を満たすためには、 y が増加するほど、また r が減少するほど、需要は増加しなければならない。すなわち、

直線は右上がりである必要がある。しかしながら、図1では、この直観とは逆の構造になっていることが分かる。したがって、図1の需要曲線において、(原点を通る)定数項無しのOLSで α_a を決定しても、市場の構造をほとんど表現できず、定数項補正を行う場合は、ほとんどを残差項で説明することとなる。一方、町丁目レベルに目を移すと、 y/r と一人当たり建物床面積消費量の間にはほとんど相関がないことが見て取れる。したがって、区への集計データには、生態学的誤謬(ecological fallacy)⁴³⁾の問題が存在することが示唆される。

寺本ら(2010)²⁹⁾は、所得階層によって、需要関数の構造が異なる可能性を指摘し、所得階層 $p \in P = \{1, \dots, P\}$ ごとに α_{ap} を推定することを試みている。しかしながら、交通モデルと統合したCUEモデルにおいては、式(3)で示されるように、交通モデルから出力される通勤トリップ一般化費用から、内生的に所得が決定される仕組みであるため、所得階層を分けることは難しい。

この点に関して、本研究では、町丁目のようなローカルな地域の建物床の需給においては、土地の質の影響が顕在化すると考え、質を調整した需給均衡モデルの構築を試みる。

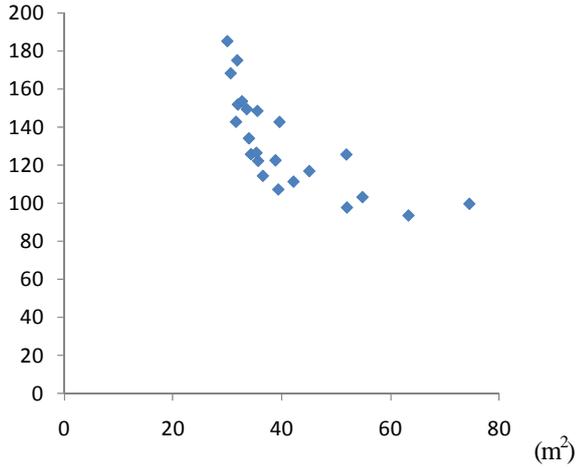


図1 建物床需要曲線のプロット (区単位)

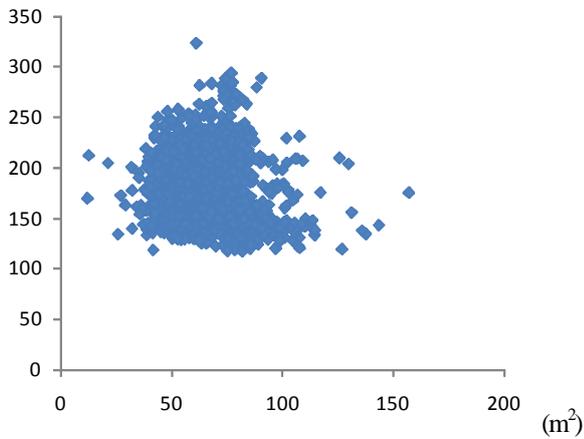


図2 建物床需要曲線のプロット (町単位)

一方、宮城ら(2010)³⁰と同一の範囲において、町丁目レベルでモデルを構築している山形ら(2011)²⁹は、次式のように効用関数を定式化している。

$$\max_{z_i, a_i, q_i^{pr}} U_{i,k} = \alpha_{z,k} \ln z_i + \alpha_{a,k} \ln a_i + \alpha_{q,k} \ln \bar{q}_i^{pr} + \alpha_{l,k} \ln \bar{l}_i + \bar{v}_{i,k} \quad (5)$$

$$s.t. \quad z_i + r_i a_i + \bar{c}_i^{pr} \bar{q}_i^{pr} = \bar{y}_{i,k}$$

$$\alpha_{z,k} + \alpha_{a,k} + \alpha_{q,k} + \alpha_{l,k} = 1 \quad (\alpha_{\bullet,k} > 0, \forall k \in K)$$

ここでは、宮城ら(2010)³⁰同様、現況を再現するための補正項として $\bar{v}_{i,k}$ 項が導入されている。交通トリップ消費量 q や一般化価格 c において世帯差を考慮することはモデルの制約上難しいことから、山形ら(2011)²⁹は、世帯の差異を、所得(予測値)と分配パラメータの差異によって表現している。また、 c 、 q はPT調査の小ゾーン未満の領域では入手することが困難であるため、仮想値を用いている。しかしながら、政策支援のためのモデル構築においては、できる限り観測データを用いることが望ましいのは言うまでもない。また、山形ら(2011)²⁹の

フレームでは、土地利用⇒交通のフィードバックを考慮することができない。

(2) 土地の質を考慮した効用関数

以上、宮城ら(2010)³⁰、山形ら(2011)²⁹を踏まえ、本研究では効用関数を次式のように定式化する。

$$\max_{z_{ij}, a_{ij}, q_j^{pr}} U_{ijk} = \theta_k (\alpha_z \ln z_{ij} + \alpha_a \ln \tilde{a}_{ij} + \alpha_q \ln q_j^{pr}) + \delta_{j,k} + f(u_{j,k}) + g(v_{j,k}) \quad (6.1)$$

$$s.t. \quad z_{ij} + r_{ij} \tilde{a}_{ij} + c_j^{pr} q_j^{pr} = \bar{w} \cdot (\bar{T} - c_j^{co} q_j^{co})$$

$$\alpha_z + \alpha_a + \alpha_q = 1 \quad (\alpha_{\bullet} > 0)$$

$$\tilde{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{(1 + \sum_l x_{ij,l}^{\gamma_l})}, \quad (6.2)$$

$$p(\delta_{j,k} | \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_k^2}} \exp\left(-\frac{\delta_{j,k}^2}{2\sigma_k^2}\right), \quad (6.3)$$

式(6.1)に対応する間接効用関数は次式で与えられる。

$$V_{ij,k} = \theta_k (\ln y_{ij} - \alpha_a \ln r_{ij} - \alpha_q \ln q_j^{pr}) + \delta_{j,k} + f(u_{j,k}) + g(v_{j,k}) + C \quad (7)$$

式(7)の特徴は次の通りである。第一は、交通一般化価格と交通トリップ消費量が、上位ゾーンレベルで与えられている点である。すなわち、 c と q は、市区町村 j の内部では共通となり、町丁目 i の立地者の効用には、 i が属する市区町村 j の平均的なトリップ消費量が影響を与えることとなる。無論、この方法では、町丁目ごとのアクセシビリティの差異を表現できない。しかしながら、町丁目レベルでは、ODの観測データが既存統計から入手できない点、道路・鉄道ネットワークの整備コスト、計算時間等を考えれば、交通モデルは市区町村程度の単位で実行するのが現実的と考えられる。

第二は、地域固有の影響 $f(u_{j,k})$ 、 $g(v_{j,k})$ が導入されて

いる点である。前述のように、町丁目のような詳細な領域においては、地域固有の要因が立地選択に大きく影響を及ぼすと考えられるため、これらを導入することなしには、予測精度の高いモデル構築は難しいと考えられる。本研究では、これらを(対数)線形で与えることとする。

第三は、同じ市区町村に属する町丁目は、似通った効用値を持つ可能性が考えられることから、マルチレベルモデルの考えに基づき、上位ゾーン(市区町村)固有の影響(グループ効果)として、平均0、標準偏差 σ の正規分布に従うランダム項 δ_j を導入している点である。ランダム項の導入の是非は、 $\sigma=0$ に対する尤度比検定によって行う⁴⁰。

第四は、世帯タイプの差異を表現するために、パラメータ θ_k を導入し、分配パラメータは、世帯で異なる

としている点である。これは、世帯タイプごとの a 、 q の入手が難しいことと、一物一価の原則に基づき、賃料をゾーンで一つの値として与えるためである。また、世帯が最適化可能な項の総合的な影響を示す $(\ln y_{ij} - \alpha_a \ln r_{ij}^R - \alpha_q \ln q_j^{P'})$ と、最適化できない公共財の影響を明示的に区別するためにも、 θ_k の導入は有用となる。

第五は、直接効用関数に入る一人当たり住宅建物床面積消費量が、 a_{ij} でなく、品質調整済みの \tilde{a}_{ij} であるとして

いる点である。一人当たりの建物床面積の需要は、賃料だけでなく、土地の質にも影響されると考えるのが自然である。しかしながら、式(4.2)で表わされる通常のCUEモデルの建物床面積の需要関数では、この点を表現できない。元来、質の変化の影響は、ヘドニック・アプローチを用いて計測されることが多かった。我が国でも、70~80年代に開発されたモデルでは、地代(地価)を地価関数で推計する試みが多く行われた⁴⁵⁾。また、Chang and Mackett (2006)⁴⁶⁾等、近年のモデルでも、地価を地価関数で説明する土地利用・交通モデルは少なくない。しかしながら、ヘドニック・アプローチを用いた便益評価は、small-openの仮説を要すること、便益が帰着する地積(lot size)が固定されていなければならないこと^{47) 48)}などから、需給均衡に基づくCUEモデルにおいて質を考慮する枠組みを構築することは重要と考えられる。本研究では、Walsh (2007)⁴⁹⁾を参考に、地域固有要因 x_{ij} を用いて、品質調整済みの需要量 \tilde{a}_{ij} を式(6.2)のように定式化した。これにより、質の良い土地にある建物床ほど、需要量が多く、賃料が高いということが表現できる。

式(7)におけるパラメータの推定方針は、以下のとおりである。まず非線形最小二乗法によって γ と α_a を推定し、最小二乗法によって α_q を推定、これらの推定値を用いて α_c の推定値を得る。これらは、標準的な統計(最適化)パッケージを用いて容易に達成可能である。次に、

$(\ln y_{ij} - \hat{\alpha}_a \ln r_{ij}^R - \hat{\alpha}_q \ln q_j^{P'})$ を既知とし、式(7)において、 θ_k と σ 、および $f(u_{j,k}), g(v_{j,k})$ のパラメータを最尤推定する。

$f(u_{j,k}), g(v_{j,k})$ を線形、あるいは対数線形等に特定化すれば、パラメータ推定は標準的な混合モデル(mixed model)の関数を用いて容易に推定可能である⁵⁰⁾。

なお、推定量の一致性の観点からは、本来需要関数と供給関数のパラメータは同時に推定すべきであるが、こ

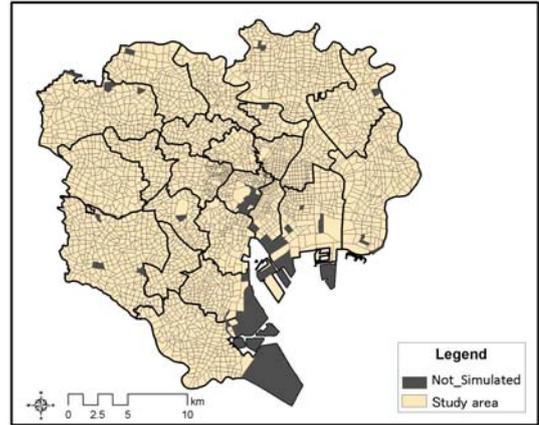


図3 分析対象地域及びゾーニング

れに関しては今後の課題としたい。また、建物床需要は、一人当たりであり、立地は世帯単位である。この点について本研究では、ロジットモデルで得られた立地世帯数を、対象地域の一世代当たりの平均人口を用いて換算することで対応している。

式(7)に基づく家計便益は、簡単のため

$f(u_{j,k})=0, g(v_{j,k})=\beta_k \ln x_{ij}$ とすれば、ゾーン毎に

$$ZCEV_{i,k} = \frac{y_{i,W}}{\left[\frac{r_{i,W}}{r_{i,O}} \right]^{\alpha_a} \left[\frac{q_{i,W}}{q_{i,O}} \right]^{\alpha_q} \left[\frac{x_{i,O}}{x_{i,W}} \right]^{\frac{\beta_k}{\alpha_c}}} - y_{i,O} \quad (8)$$

と与えられる。ここで、 O は整備前、 W は整備後を示す添え字である。式(8)は、世帯あたりの便益である。したがって、タイプ別世帯数を乗じ、和をとることで、ゾーン別便益が次式によって得られる。

$$SNB_i = \sum_k ZCEV_{i,k} \frac{N_{i,k,O} + N_{i,k,W}}{2} \quad (9)$$

ただし、 N は世帯数を示す。ディベロッパーと不在地主の便益は、賃料/地代の変化額に、前後の建物床面積/土地面積の平均を乗じることで求められる³⁰⁾。

4. CUEモデルを用いた水害脆弱性評価の実証

(1) 対象地域

対象地域は東京23区とし、国勢調査の一人当たり住宅床面積が0であった75町丁目を除く、3055町丁目を分析対象とする(図3)。また、上位ゾーンを区、下位ゾーンを町丁目とする。

(2) 使用データ

使用するデータは、国勢調査データが利用可能な最新時点である、2005年を中心に整備した。建物賃料は、筆

者らの研究グループが、宮城 (2009)³⁵ で整備したものを
用いる。これは、不動産仲業者(株)At Home提供の用途
別の物件データ (住宅用途: 1,416,868件) であり、その
平均値を用いて下位ゾーンにおける代表値を算出してい
る。町丁目毎の建物床面積データとしては、国勢調査の
一人当たり床面積を用いる。

土地面積としては、国レベルで整備されている市区町
村単位の集計データであり、2002年より無償で一般公
開されている固定資産課税台帳のデータを用いる。言う
までもなく、このデータは市区町村単位でしか入手でき
ないため、何らかの方法で町丁目単位にダウンスケール
する必要がある。本研究では、堤・村上 (2010)³² で提案
されている、回帰モデルベースの面補間法 (areal interpo-
lation method) によって、町丁目 ij の推計土地面積の合計
が、市区町村 j の実測土地面積に合致するよう制約をか
けた統計的ダウンスケーリングを試みた。しかしながら、
堤・村上(2010)³² の方法は、誤差項に正規分布を仮定し
ているために、土地面積が負の値をとることがあり、妥
当な値を得ることができなかった。また、町丁目は、人
口が数人程度と極端に少ないところがあり、このような
小標本地域において、信頼できる推計値を得ることはこ
の方法では難しい。したがってここでは、単純に町丁目
の面積で按分することにした。今後、ポアソン分布の基
づく手法⁵⁴などを用いて、小地域において非負の値の推
計値を得るための、面補間法の開発を行うことが課題で
ある。また、土地供給可能面積についても、市街化区域
面積を、町丁目面積で按分して与えている。なお、本研
究では、交通モデルと連結させる枠組みを示したが、住
宅立地モデルを構築することを主眼としているため、 c 、
 q 、 y については、宮城 (2009)³⁵、宮城ら(2010)³⁶で推計し
た値を外生的に与え、固定している (ただし、 y は、一
世帯当たりの平均人口を用いて世帯所得に換算してい
る)。しかしながら言うまでもなく、これらは交通モデ
ルを実行することによって、内生的に求めることが可能
である。

(3) 建物床面積の需要関数推計

式 (6.2) における土地の質を表す変数として、本研究
では浸水深、町丁目面積、容積率を用いた例を示す。浸
水深のデータ⁵⁴は、国土交通省が指定した浸水想定区域
に基づくものであり、大型河川 (荒川と多摩川) が 200
年に一度の大氾濫をした場合の浸水予想を示したもので
ある。このデータは、浸水深 0~0.2m, 0.2~0.5m, 0.5~
1.0m, 1.0~2.0m, 2.0m~5.0m に区分されているため、本研

究ではこの値の平均値 (0.1, 0.25, 0.75, 1.5, 3.5) を用
いることとする (図 4)。

推計するモデルは、

$$\text{通常モデル: } a_i = \alpha_a y_i / r_i \quad (10.1)$$

$$\text{質調整モデル: } a_i = \alpha_a (y_j / r_j) \cdot (1 + \sum_l x_{ij,l}^{\gamma_l}) \quad (10.2)$$

の 2 種類である。表 1 に、建物床需要関数のパラメータ
推定結果 (通常・質調整モデル) を示す。また、観測値
と予測値のプロットを図 7 にそれぞれ示す。表 1 より、
それぞれの質変数が有意となっていることが分かる。予
測値と観測値の残差二乗和を見ると、通常モデル:
822296.0, 質調整モデル: 637295.5 となっており、提案
モデルで大きく改善された。

今回、品質調整に用いた変数は少数であるが、品質調
整モデルは、例えばアクセシビリティ変数を導入するな
ど、分析者の工夫によって、結果が改善され得る余地が
大きいという意味において、汎用的であるといえる。ま
た、今回浸水深にかかるパラメータが負に推定されたた
め、効用関数において当該パラメータが負とならずとも、
便益評価が可能になる。現実には、浸水深が、賃料には
影響するが、直接には家計の効用に影響しないという状

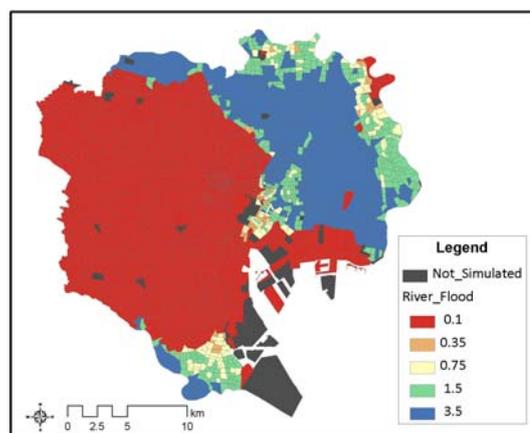


図4 浸水深分布

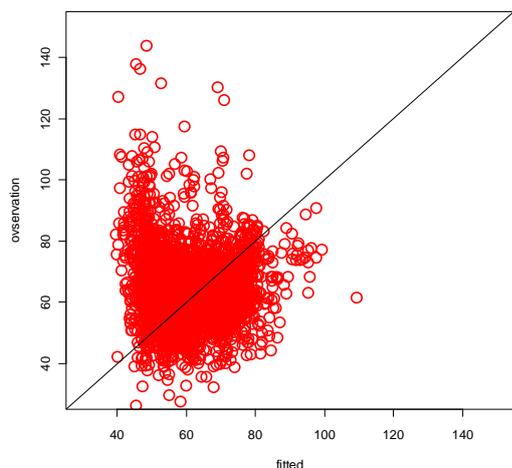
表1 建物床需要関数のパラメータ推定結果

	Coef.	t	Pr(> t)
α_a	0.3393	211	***

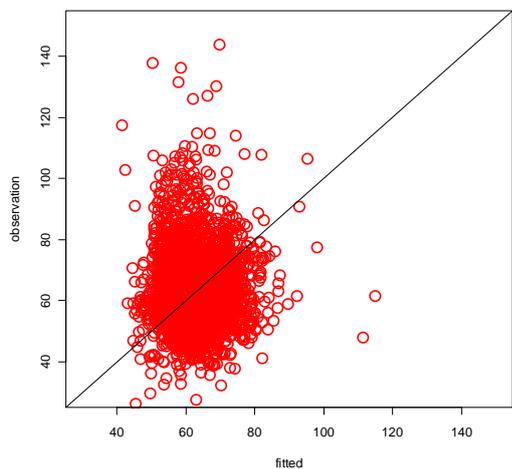
	Coef.	t	Pr(> t)
a	0.03022	21.1	***
γ_1	-0.3275	-14.0	***
γ_2	-0.4588	-29.6	***
γ_3	0.3317	25.7	***

*** : 0.1%, ** : 1%, * : 5%, . : 10%水準で有意

況は十分に考えられよう（無論、その場合でも、浸水深



通常モデル



質調整モデル

図5 1人あたり建物床需要の
観測値（縦軸）と予測値（横軸）（㎡）

は賃料（品質調整）を通して効用関数に間接的に影響を与えている）。したがって以下では、質調整モデルの使用を前提として、議論を進めることとする。

(4) 効用関数のパラメータ推定

表2に、効用関数のパラメータ推定結果を示す。世帯タイプは、[Type1]：夫婦と未婚子供，[Type2]：若中年単身（65歳未満），[Type3]：高齢単身（65歳以上），[Type4]：若中年夫婦（夫婦両方65歳未満），[Type5]：高齢夫婦（夫婦どちらかが65歳以上），[Type6]：その他に分類する。モデルに導入する変数は、世帯が最適化

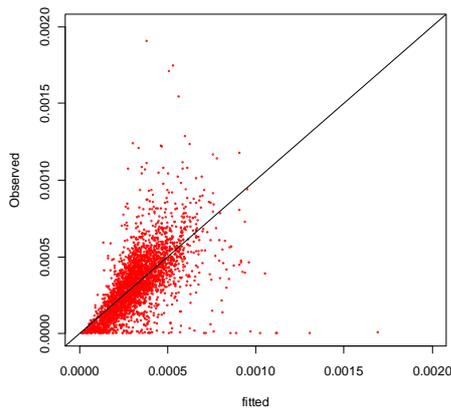
表2 効用関数のパラメータ推定結果
（全タイプ、ランダム項なし）

		Coef.	t	Pr(> t)
Type1	(Intercept)	-625.3	-17.2	***
	IDUtility	42.31	16.9	***
	log(R_Flood)	-0.02015	-2.76	**
	Dist_river	-0.06692	-3.10	**
	Dist_station	-0.01716	-0.557	
	Dist_bus stop	0.3970	4.05	***
Type2	(Intercept)	-461.3	-10.3	***
	IDUtility	31.08	10.1	***
	log(R_Flood)	-0.1595	-16.3	***
	Dist_river	-0.04568	-1.79	•
	Dist_station	-0.6496	-14.0	***
	Dist_bus stop	0.5300	4.42	***
Type3	(Intercept)	-390.1	-9.17	***
	IDUtility	26.19	8.98	***
	log(R_Flood)	-0.08750	-9.79	***
	Dist_river	0.05456	2.30	*
	Dist_station	-0.4125	-9.91	***
	Dist_bus stop	0.5795	5.09	***
Type4	(Intercept)	-539.6	-14.2	***
	IDUtility	36.45	14.0	***
	log(R_Flood)	-0.03226	-4.18	***
	Dist_river	-0.07807	-3.47	***
	Dist_station	-0.2143	-6.27	***
	Dist_bus stop	0.1816	1.74	•
Type5	(Intercept)	-515.4	-13.4	***
	IDUtility	34.78	13.2	***
	log(R_Flood)	-0.06431	-8.15	***
	Dist_river	-0.01946	-0.877	
	Dist_station	-0.1674	-4.83	***
	Dist_bus stop	0.6720	6.59	***
Type6	(Intercept)	-441.6	-11.3	***
	IDUtility	29.72	11.1	***
	log(R_Flood)	-0.01344	-1.70	•
	Dist_river	-0.04053	-1.77	•
	Dist_station	-0.1872	-5.29	***
	Dist_bus stop	0.4442	4.21	***
	Area	0.7821	12.9	***

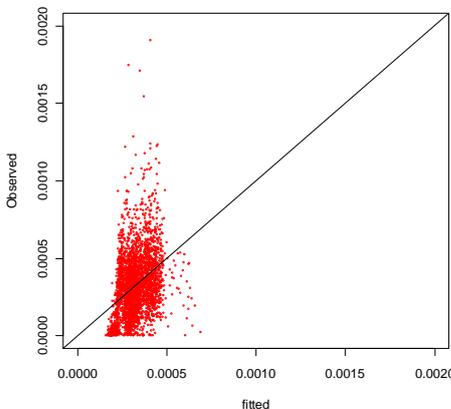
*** : 0.1%, ** : 1%, * : 5%, • : 10%水準で有意

可能な項 (IDUtility) $(\ln y_{ij} - \alpha_a \ln r_{ij}^R - \alpha_q \ln q_{ij}^{pr})$ ，に加えて、町丁目レベルの地域固有変数である、浸水深の自然対数 ($\log(R_Flood)$)，河川からの距離 (Dist_river)，最寄駅からの距離 (Dist_station)，バス停からの距離 (Dist_bus

stop) , 町丁目面積 (Area) である。



地域固有変数あり



地域固有変数なし

図6 立地確率の
観測値 (縦軸) と予測値 (X軸)

表2は、区レベルのランダム項を $\delta_{j,k}$ 導入していない場合の結果である。世帯タイプ毎に、有意な変数が異なることは興味深い。例えば、Type1では最寄駅距離のパラメータが有意ではないが、Type2では負に有意で、かつ t 値が非常に大きな値をとっている。これは、若中年単身が駅に近い建物を好む一方で、夫婦と未婚子供世帯にはそのような傾向が(有意には)見られないことを意味する。バス停からの距離は、符号条件を満たさず、全てのタイプについて正に有意となった。浸水深の自然対数は、全てのタイプについて負に有意となった。

図6は、地域固有変数を導入した場合と、していない場合の観測値と予測値の散布図を示したものである(Type1のみであるが、その他のタイプでも同様の傾向)。明らかに、地域固有変数を導入した結果では、プロットが45度線上に集まる傾向があることが分かる。

このことから、町丁目のようなローカルなゾーンを対象

表3 効用関数のパラメータ推定結果
(Type1, ランダム項 δ あり)

	Coef.	z	Pr(> z)
(Intercept)	-392.3	-55.34	***
IDUtility	26.33	54.17	***
log(R_Flood)	0.08296	66.80	***
Dist_river	0.05681	22.96	***
Dist_station	-0.04968	-15.76	***
Dist_bus stop	0.01859	1.927	•
Area	0.9165	156.3	***
σ	0.4754		***

*** : 0.1%, ** : 1%, * : 5%, • : 10%水準で有意

にする場合、地域固有変数を導入することが重要になるといえるだろう。表3は、ランダム項を導入した場合の結果である(Type1のみであるが、その他のタイプでも同様の傾向)。ランダム項を導入することによって、log(R_Flood)の符号が逆転していることが分かる。これは、図6のように、浸水深分布の正の空間的自己相関が大きいため、浸水深と市区町村レベルのランダム効果との相関が大きいことによる。これについてはそもそも、浸水深と効用の負の関係が、見せかけの相関である可能性が否定できないことから、ランダム効果を入れた結果が現実を表現している可能性もある。しかしながら、一時点の断面では判断できないことから、ここでは、意味のあるシナリオ分析を行うことを重視し、「浸水深が低いほうが効用が高い」という、より直感的な結果が得られている表2を採用することとする。

(5) シナリオ分析

本研究では、いくつかのシナリオ分析例を示す。

[Scenario 1] : 土地利用規制シナリオ

図7に示す、標高が0メートル以下の地域において、土地供給可能面積を1/2とする。

[Scenario 2] : コンパクトシティシナリオ

図8に示す、最寄駅より1km以上離れた地域において、土地供給可能面積を1/2とする。

[Scenario 3] : 温暖化適応策シナリオ

図4の浸水深分布において、 $3.5 \gg 1.5$ とする。

[Scenario 4] : 温暖化対策無シナリオ

図4の浸水深分布において、 $1.5 \gg 3.5$ とする。

Scenario 1は、危険地域からの撤退を意図したシナリオである。Scenario 2は、今後の人口減少社会を見据え、市街化区域の縮小を意図している。Scenario 3は、ハード・

ソフト施策による浸水深の低下（改善）が立地に与える影響を計測することを目的としている。Scenario 4は、今後、温暖化影響によって降水量が増加し、浸水深が上昇（悪化）した場合の影響を計測することを目的としている。無論、Scenario 3と4は、洪水シミュレーションに基づき、浸水深分布や浸水確率の変化を定量的に計測するのが望ましいが、現時点では簡易シナリオとして与えている。

図9は、Scenario 2における建物床需要（＝供給量）を、現在との比率で示したものである。予想される通り、土地供給可能面積を減少させた地域では、建物需要量が減少していることが分かる。図10、11は、仮想の建物階数（建物床面積/土地面積）の値を示したものである。Scenario 2において、図11に円で示した箇所など、現在よりもこの値が大きくなる地域が出現するのは興味深い。図12、図13は、Scenario 3における賃料・地代を、現在との比率で示したものである。浸水深が3.5mであった地域で、賃料・地代が上昇していることが分かる。また、図14を見ると、賃料が上昇した地域で、建物の需要（供給）量が増加していることが分かる。これは、効用関数に浸水深が導入されているため、これらの地域で立地世帯数が増加したためである（図15）。

各シナリオの主体別便益額を、表4に示す。Scenario 3で、不在地主に負の便益が帰着している理由は、図13に示されているように、浸水深が変化していない地域で、相対的に地代が下落したためである。また、Scenario 1や2で不在地主への便益帰着額が大きくなっているが、これは土地供給可能面積を制限した地域で、地代が2倍弱にまで大きく上昇したためである（図16）。

5. おわりに

本研究では、[1] ゾーンの階層性の考慮、[2] 土地の異質性の考慮（需給均衡への質の導入）という2点でCUEモデルを理論的に拡張し、拡張されたCUEモデルを用いて東京23区の水害脆弱性評価を行うための方法論について議論した。また、実データを用いたモデルのキャリブレーションと、温暖化影響を考慮したシナリオ分析の簡単な例を示した。今後、自治体関係者との議論を踏まえ、現実的な温暖化適応策立案に資するシナリオ分析を行ってゆきたい。また今後、町丁目毎で得られた世帯タイプ別立地数を説明変数として、住宅タイプ選択モデル（戸建、長屋、集合住宅（階数別））を構築し、町丁目毎の住宅タイプを用いて、各シナリオごとの太陽光発電の可能性を求めるモデル開発を行う予定である。

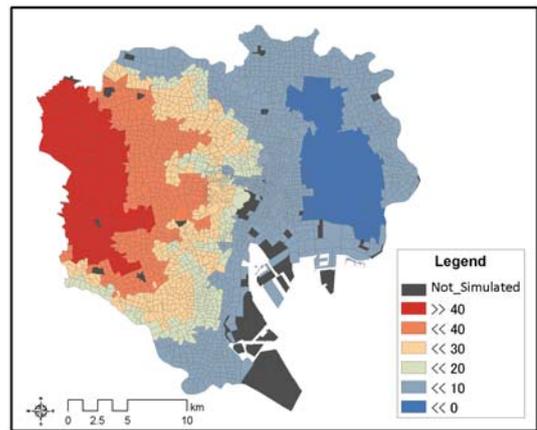


図7 標高

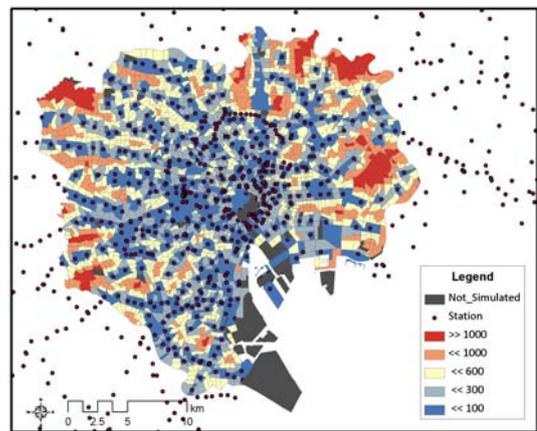


図8 鉄道駅距離

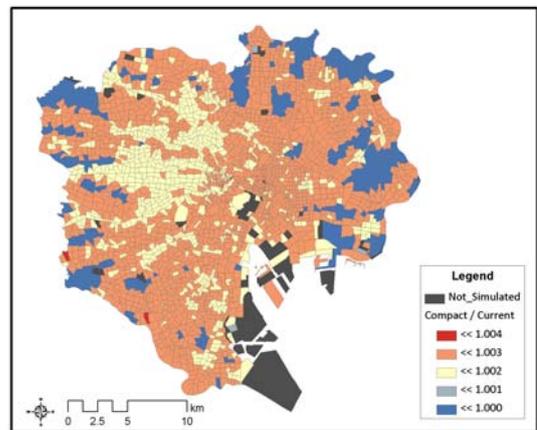


図9 建物需要（供給）量, Scenario 2/現在

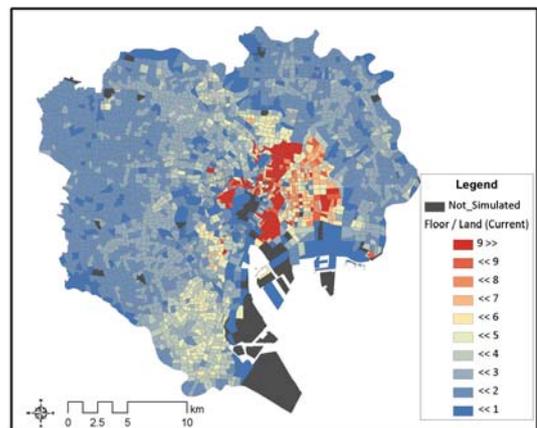


図10 建物需要量/土地需要量, 現在

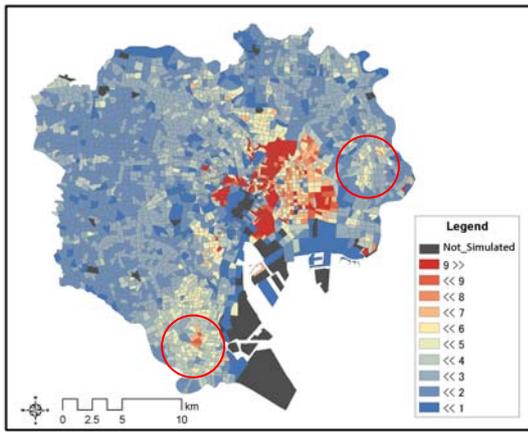


図11 建物需要量/土地需要量, Scenario 2

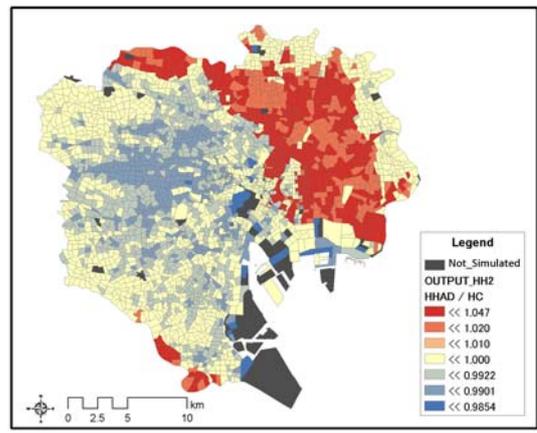


図15 世帯数, Scenario 3/現在

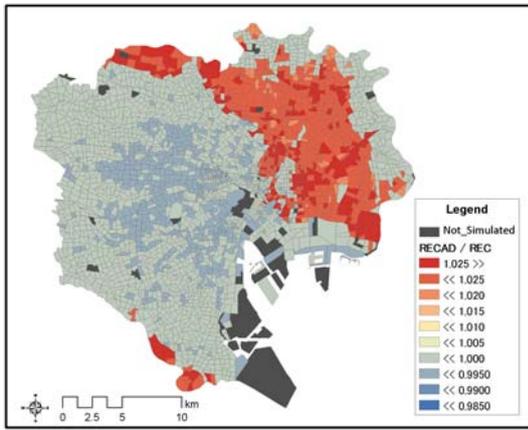


図12 賃料, Scenario 3/現在

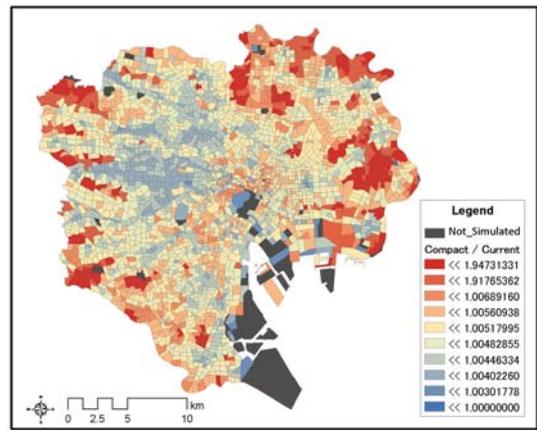


図16 地代, Scenario 2/現在

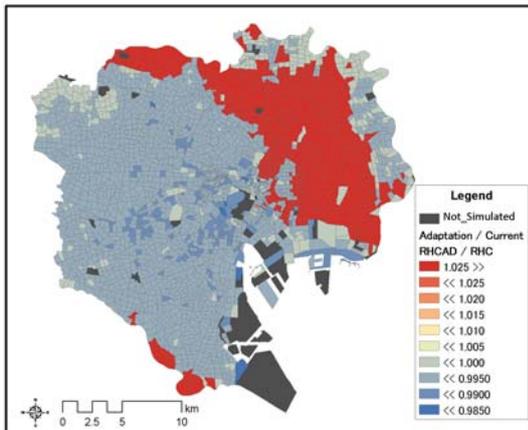


図13 地代, Scenario 3/現在

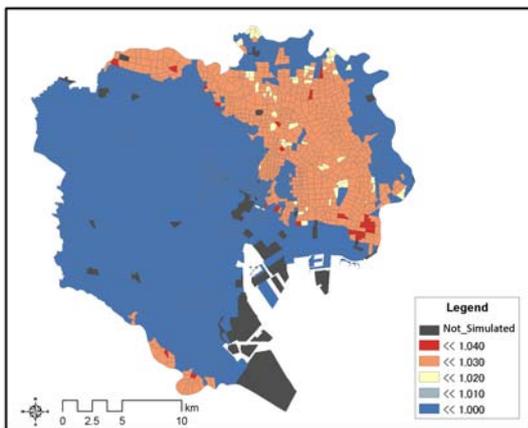


図14 建物需要量, Scenario 3/現在

表4 便益額 (100万円)

100万円	家計	ディベ ロッパー	不在地主	合計
Scenario1	¥9,763	¥99,865	¥5,022,402	¥5,112,504
Scenario2	¥8,618	¥93,554	¥7,843,641	¥7,928,577
Scenario3	¥7,232	¥32,857	¥7,110	¥32,979
Scenario4	¥2,158	¥-10,811	¥-10,395	¥-23,363

謝辞：本研究で使用した災害リスクデータの一部は、筑波大学大学院に在籍していた橋本基氏よりご提供いただいたものである。ここに記して感謝を申し上げます。なお、本研究は、文部科学省の気候変動適応戦略イニシアチブプロジェクトの助成を受けて実施している。

参考文献

- 1) 青山吉隆：土地利用モデルの歴史と概念，土木学会論文集，No.347/IV-1，pp.19-28，1984。
- 2) 林良嗣，富田安夫，土井健司：最近における土地利用および住宅立地モデルの方法論的発展と政策分析機能の拡大，都市計画，No.171，pp.91-101，1991。
- 3) 上田孝行，堤盛人：わが国における近年の土地利用モデルに関する統合フレームについて，土木学会論文集，No.625，pp.65-78，1999。
- 4) 古谷知之：土地利用モデルのレビュー，（財）道路経済研究所，総合的な交通政策・計画の分析評価手

- 法とモデルの展開, 道経研シリーズ, A-107, 第 5 章, pp.75-122, 2003.
- 5) Wegener, M. : Overview of land use transport models, in Hensher, D.A., Button, K.J., Haynes, K.E. and Stopher, P.R. (Eds.), *Handbook of Transport Geography and Spatial Systems*, pp.127-146, Amsterdam, 2004.
 - 6) Anas, A., and Arnott, R.J. : Dynamic housing market equilibrium with taste heterogeneity, idiosyncratic perfect foresight and stock conversions, *Journal of Housing Economics*, Vol.1, Issue 1, pp.2-32, 1991.
 - 7) Miller, E.J., Hunt, J.D., Abraham, J.E., and Salvini, P.A. : Microsimulating urban systems, *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol.28, Issues 1-2, pp.9-44, 2004.
 - 8) Waddell, P., Ulfarsson, G.F., Franklin, J., and Lobb, J. : Incorporating land use in metropolitan transportation planning, *Transportation Research Part A*, Vol.41, pp.382-410, 2007.
 - 9) Wegener, M. : The future of mobility in cities: Challenges for urban modelling, 12th WCTR, Lisbon, Portugal, pp.11-15, July, 2010.
 - 10) Vanegas, C.A., Aliaga, D.G., Wonka, P., Müller, P., Waddell, P., and Watson, B. : Modeling the appearance and behavior of urban spaces, *Computer Graphics Forum*, Vol. 29, No.1, pp.25-42, 2010.
 - 11) Alberti, M. : Modeling the urban ecosystem: A conceptual framework, *Environment and Planning B*, Vol.26, pp.605-630, 1999.
 - 12) Nagel, K., and Nicolai, T. : Coupling MATSim with UrbanSim: First results, MATSim User Meeting, Berlin, April 7th, 2011.
 - 13) 林良嗣・富田安夫 : マイクロシミュレーションとランダム効用モデルを応用した世帯のライフサイクル-住宅立地-人口属性構成予測モデル, 土木学会論文誌, No.395/IV-9, pp.85-93, 1988.
 - 14) Sugiki, N., and Miyamoto, K. : Spatio-temporal aggregation effects and path-dependence in a land-use microsimulation system, *Proceedings of 10th World Conference on Transport Research*, CD-ROM, No.1014, 2004.
 - 15) 宮本和明 : 世界における実用都市モデルの実態調査とその理論・機能と適用対象の体系化, 平成 18~平成 19 年度科学研究費補助金 (基盤研究(c)) 研究成果報告書, 2008.
 - 16) Anas, A., and Liu, Y. : A regional economy, land use and transportation model (RELU-TRAN): Formulation, algorithm design, and testing, *Journal of Regional Science*, Vol.47, No.3, pp.415-455, 2007.
 - 17) Felsenstein, D., and Ashbel, E. : Simultaneous modeling of developer behavior and land prices in UrbanSim, *The Journal of Transport and Land Use*, Vol.3, No.2, pp.107-127, 2010.
 - 18) Irwin, E. G. : New directions for urban economic models of land use change: Incorporating spatial dynamics and heterogeneity, *Journal of Regional Science*, Vol.50, pp.65-91, 2010.
 - 19) Patterson, Z., Kryvobokov, M., Marchal, F., and Bierlaire, M. : Disaggregate models with aggregate data: Two UrbanSim applications, *The Journal of Transport and Land Use*, Vol.3, No.2, pp.5-37, 2010.
 - 20) 上田孝行, 堤盛人, 武藤慎一, 山崎清 : わが国における応用都市経済モデル-特徴と発展経緯-, 計画・交通研究会, ワーキングペーパーシリーズ, WP09-04, 2009.
 - 21) 森杉寿芳, 岩瀬広 : 住宅立地行動の予測と住環境の便益評価の統合手法の提案, 土木計画学研究・論文集, No.1, pp.131-138, 1984.
 - 22) 金本良嗣 : 道路投資の便益評価. 森地茂・金本良嗣編, 道路投資の便益評価-理論と実践-, 第 1 章, 東洋経済新報社, 2008.
 - 23) 高木朗義, 森杉壽芳, 上田孝行, 西川幸雄, 佐藤尚 : 立地均衡モデルを用いた治水投資の便益評価手法に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.13, pp.339-348, 1996.
 - 24) 高木朗義, 武藤慎一, 太田奈智代 : 応用都市経済モデルを用いた治水対策の経済評価, 河川技術論文集, Vol.7, pp.423-428, 2001 (修正版 : http://www1.gifu-u.ac.jp/~a_takagi/paper_pdf/paper24.pdf) .
 - 25) 寺本雅子, 市川温, 立川康人, 椎葉 充晴 : 水災害危険度に基づく土地利用規制の適用性に関する分析, 土木学会論文集 B, Vol.66, No.2, pp.130-144, 2010.
 - 26) Anas, A. : METROSIM a unified economic model of transportation and land use, Alex Anas & Associates, Williamsville, NY, 1994.
 - 27) 山崎清, 武藤慎一 : 開発・誘発交通を考慮した道路整備効果の分析, 運輸政策研究, Vol.11, No.2, 2008.
 - 28) 環境省 : 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報告書, 2010.
 - 29) 山形与志樹, 瀬谷創, 中道久美子 : 土地利用モデルを用いた東京都市圏の土地利用シナリオ分析, 環境科学誌, Vol.24, No.3, pp.169-179, 2011.
 - 30) 小林優輔, 山崎清, 井上陽介, 日高憲扶, 岩上一騎 : 土地利用モデルを用いた首都圏政策の評価, 土木計画学研究・講演集, Vol.33, (CD-ROM 講演番号: 314), 2006.
 - 31) 武藤慎一, 上田孝行, 高木朗義, 富田貴弘 : 応用都市経済モデルによる立地変化を考慮した便益評価に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.17, pp.257-266, 2000.
 - 32) 武藤慎一, 秋山孝正, 高木朗義 : 空間的構造変化を考慮した都市環状道路整備の便益評価, 交通学研究 / 2000 年研究年報, Vol.44, pp.205-214, 2001.
 - 33) 富田安夫, 寺嶋大輔 : 最適な都市構造の実現のための土地利用・住宅・交通政策のパッケージ化手法, 土木計画学研究・講演集, Vol.28, (CD-ROM 講演番号: 234), 2003.
 - 34) 山崎清, 上田孝行, 岩上一騎 : 開発人口及び誘発・開発交通を考慮した東京湾アクアラインの料金値下げ効果の計測, 高速道路と自動車, No.51, Vol.6, pp.20-32, 2008.
 - 35) 宮城卓也 : 開発者行動を考慮した応用都市経済モデルの実用化に関する研究, 筑波大学大学院システム情報工学研究科修士論文, 2009.
 - 36) 宮城卓也, 堤盛人, 山崎清 : 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, Vol.41, (CD-ROM 講演番号: 390), 2010.
 - 37) 森杉壽芳編著 : 社会資本整備の便益評価 一般均衡理論によるアプローチ, 勁草書房, 1997.
 - 38) 国土交通政策研究所 : 環境負荷の少ない都市・国土構造に

- 関する研究, 14号, 2002.
- 39) 小林潔司: 質と量に関する需要理論, 鳥取大学工学部研究報告, No.21, Vol.1, pp.213-220.
- 40) 森杉壽芳: プロジェクト評価に関する最近の話題, 土木計画学研究・論文集, No.7, pp.1-33, 1989.
- 41) 城所幸弘, 金本良嗣: ロジック型モデルと費用便益分析, 森地茂・金本良嗣編, 道路投資の便益評価-理論と実践-, 第1章, 東洋経済新報社, 2008.
- 42) 堤盛人: 交通・立地分析モデルによる交通整備・都市開発事業の評価, 公共投資の評価手法-拡張費用便益分析の基礎的考え方から適用法まで-, 岐阜大学工学部公共投資評価研究グループ, 4-1, pp.44-50, 1997.
- 43) Robinson, W.S.: Ecological correlations and the behavior of individuals, *American Sociological Review*, Vol.15, pp.351-357, 1950.
- 44) Goldstein, H.: *Multilevel Statistical Models, 4th Edition*, Wiley, 2010.
- 45) 中村英夫, 林良嗣, 宮本和明: 広域都市圏土地利用交通分析システム, 土木学会論文集, Vol.335, pp.141-152, 1983.
- 46) Chang, J.S., and Mackett, R.L.: A bi-level model of the relationship between transport and residential location, *Transportation Research Part B*, Vol.40, Issue 2, 2006.
- 47) Scotchmer, S. : Hedonic prices and cost/benefit analysis, *Journal of Economic Theory*, Vol.37, pp.55-75, 1985.
- 48) Kanemoto, Y. : Hedonic prices and the benefits of public projects, *Econometrica*, Vol.56, No.4, pp.989-989.
- 49) Walsh, R. : Endogenous open space amenities in a locational equilibrium, *Journal of Urban Economics*, vol.61, No.2, pp.319-344, 2007.
- 50) Wood, S.N. : *Generalized additive models: An introduction with R*, Chapman & Hall/CRC, 2006.
- 51) Fotheringham, A.S., Brunson, C., and Charlton, M.E.: *Geographically weighted regression: The analysis of spatially varying relationships*, Wiley, 2002.
- 52) 堤盛人・村上大輔: 市町村合併による統計データの集計単位変更に対する空間計量経済モデルを用いた面積補間法, 応用地域学研究, Vol.15, pp.23-35.
- 53) Flowerdew, R., Green, M., and Kehris, E. : Using areal interpolation methods in geographic information systems, *Papers in Regional Science*, Vol.70, No.3, pp.303-315, 1991.
- 54) 山形与志樹, 村上大輔, 瀬谷創, 堤盛人: 環境・災害リスク指標とマンション価格のマルチレベルモデルによる空間計量経済分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.43, 2010.

(2011.8.5 受付)

FLOOD VULNERABILITY ASSESSMENT USING A CUE MODEL IN THE TOKYO METRO POLITAN AREA

Hajime SEYA, Yoshiki YAMAGATA,
Kumiko NAKAMICHI, and Morito TSUTSUMI

This study extends the standard Computable urban economic (CUE) model in order to analyze the flood vulnerability of a large city. The conducted extentions of the model are two folds. The first, the model considers the hierarchical structure of a zone. The second, the model introduces “quality” aspect into supply-demand valancing at building market. The model is calibrated using real data, and some scenarios analyses has been demonstrated.