

土地利用交通統合モデルを用いた都市成長シミュレーション*

City growth simulation with combined land-use model and modal split and assignment model

澤田 理**, 宮城俊彦***, 田代正幸****

By Osamu Sawada, Toshihiko Miyagi and Masayuki Tashiro

1. はじめに

都市における経済活動、人口変動、土地利用、交通等の個々の現象は相互に関連しあっており、これらの相互関係を適切に把握し、お互いの整合性が保たれるような計画を立案しなければならない。都市交通は土地利用状況に応じて交通の需要及び分布状態が異なり、個人や世帯は通勤やサービス施設などへの交通の利便性を考慮して居住地の選択を行う。このことにより、土地利用と交通は密接な関係にあると考えられる。

本研究では、交通発生メカニズムを世帯の居住地選択行動及び交通サービス水準との関連で捉え、ゾーン別人口及び従業者数、そして、発生交通量から配分交通量までを統一的に予測できる土地利用・交通統合モデルを用いる。そして、理想化された仮想都市に対して交通ネットワーク形態、土地利用形態を与える都市規模を土地利用・交通統合モデルを用いて再現することを目的としている。

2. 土地利用交通統合モデル

土地利用-交通統合モデルには宮城・奥田・加藤によって提案されたMiyagiモデルを使用する。Miyagiモデルは、土地利用についてはWillsonの提案した修正Lowryモデル、交通については機関分担-配分統合モデルを基本構造としており、土地利用モデル側からは目的別トリップ分布を、交通均衡モデル側からはゾーン間所要時間の値を交互に受け渡し、モデル全体が均衡状態に達するまで計算を行う構造になっている。ここでいう均衡状態とは、土地利用モデルにおいては人々の居住地選択行動や就業地選択行動における変化がなくなった状態であり、交通均衡モデルにおいてはWardrop均衡状態が成立するときを示している。両者のモデルはそれぞれ独立に均衡状態に達することができるが、その時、両者のゾーン間所要時間はほとんどの場合一致しない。このためMiyagiモデルでは、両者のゾーン間所要時間が等しくなるまでさらに反復計算を行い、モデル全体を単一の数理最適化問題として定式化し、統一的に均衡解を求めることが可能である。また居住地選択や就業地選択においてアクセシビリティや地価の影響を考慮しており、都市現象の再現性に優れたモデルとなっている。

(1) 通勤トリップ分布式

Willsonの示した居住地選択モデルにおいては、立地選択に関する魅力度 (A_i^w) は、そのゾーンの土地固有の資質 (例えば地価) だけであるとし、周辺ゾーンからのサービスの得られ易さ (アクセシビリティ) とは独立であると仮定している。しかし、サービス業の空間分布と居住地選択は独立ではない。そこで、Coelho and Williamsは i ゾーンからのショッピングに関する魅力度の項を加え、通勤トリップ分布モデルを次式のように表した。

$$x_{ij} = \frac{\eta E_j W_i^w \exp(-\beta^w \bar{u}_{ij})}{\sum_i W_i^w \exp(-\beta^w \bar{u}_{ij})} \dots \dots \dots (1)$$

ただし、

$$\lambda = \frac{\eta}{\rho \kappa \sigma} \dots \dots \dots (1.a)$$

$$W_i^w = A_i^w \exp\left(\frac{\beta^w}{\lambda} \bar{s}_i\right) \dots \dots \dots (1.b)$$

$$\bar{s}_i = \frac{1}{\beta^s} \ln \sum_j A_j^s \exp(-\beta^s \bar{u}_{ij}) \dots \dots \dots (1.c)$$

$$A_j^s = \exp(\gamma A_j) \dots \dots \dots (1.d)$$

また、本研究では人口変数とトリップ変数の関係を次のように設定している。

$$P_i = \kappa_1 \sum_j x_{ij} + \kappa_2$$

x_{ij} : ゾーン間通勤トリップ数

u_{ij} : ゾーン間所要時間

A_i^w : 住宅立地に伴う i ゾーンの魅力度 (ゾーン地価)

A_j^s : サービス活動の場所としての j ゾーンの魅力度 (第3次産業従業者数)

$\bar{s}_i$: サービストリップに関する i ゾーンの最大期待効用 (アクセシビリティ)

P_i : ゾーン i の居住人口

η : 就業者1人当たりの通勤トリップ数

ρ : サービストリップ生成原単位

κ : 就業率の逆数

σ : 単位人口当たりのサービス需要

$\beta^w, \beta^s, \gamma, \kappa_1, \kappa_2$: パラメータ

このモデルの意味するところは、(1.b)式においてアクセシビリティに関する所要時間よりも土地の魅力度である地価が人口分布を大きく左右することである。なぜなら指数関数の中にあるパラメータ(所要時間)が多少変動したとしてもそ

* キーワード: 土地利用, 人口分布

** 学生会員, 岐阜大学大学院土木工学専攻 (〒501-11岐阜市柳戸1-1, TEL 058-293-2446, FAX 058-230-1528)

*** 正会員, 工博, 岐阜大学工学部 (〒501-11岐阜市柳戸1-1, TEL 058-293-2442, FAX 058-230-1528)

**** 正会員, パシフィックコンサルタンツ株式会社 (〒451名古屋市中区牛島町1番1号, TEL 052-589-3107, FAX 052-561-6883)

れにかかる係数(地価)が変化するだけで解は大きく変わってくるからである。

(2) サービストリップ分布式

サービストリップのような交通サービス水準に敏感なトリップは、そのゾーンのアクセシビリティをも考慮して交通発生が変化するように定式化した方が望ましい。したがって Miyagi モデルでは、サービストリップの発生量が居住人口に依存する発生量と、アクセシビリティに依存する発生量に分割したモデルを導入し、サービストリップの発生量は次式で与えられる。

$$Y_i = \alpha S_i + \sum_k \alpha_k f_k(SO_{ki}) \\ = \alpha S_i + SO_i \dots (2)$$

ここで、

Y_i : iゾーンのサービストリップ発生量

$f(\bullet)$: SO_{ki} 関数

SO_{ki} : トリップ発生に影響を与えるタイプの社会経済変数

SO_i : 社会経済変数で構成される合成変数

α, α_k : パラメータ

もし、アクセシビリティ s_i が負ならば、実際にはそのゾーンからのアクセシビリティに基づくサービストリップ発生量は存在しない。つまり、(2)式ではそのゾーンの社会経済力による発生量 SO_i のみになる。これによりアクセシビリティは非負でなければならない。つまり、次式のようになる。

$$s_i = \max \left[0, \ln \sum_{j \in D_i} A_j^s \exp(-\beta^s u_{ij}) \right] \dots (3)$$

ここで、 D_i は i ゾーンがサービスを受け易い目的地集合である。以上をまとめると、サービストリップ発生量・分布モデルは次式のようになる。

$$y_{ij} = (\alpha S_i + SO_i) \frac{A_j^s \exp(-\beta^s u_{ij})}{\sum_j A_j^s \exp(-\beta^s u_{ij})} \dots (4)$$

(3) 交通均衡モデル

ODペア間のマストラと自動車の分担関係は次のロジット式で表現できるものとする。

$$q_{ij} = \frac{\bar{q}_{ij}}{1 + \exp \left(\theta (u_{ij} - u'_{ij}) + \psi \right)} \dots (5)$$

$$q'_{ij} = \bar{q}_{ij} - q_{ij} \dots (6)$$

ここで、

$\bar{q}_{ij}$: ij間の総交通量

q_{ij} : ij間の自動車分担量

q'_{ij} : ij間のマストラ分担量

u_{ij} : ij間の自動車最小所要時間

u'_{ij} : ij間のマストラ最小時間

ψ, θ : パラメータ

目的別に求められるトリップの合計は、トータルトリップ $\bar{q}_{ij}$ と等しくなければならないので次式が成立する。

$$\bar{q}_{ij} = x_{ij} + y_{ij} + z_{ij} \dots (7)$$

ここに、 z_{ij} は通勤トリップ、サービストリップ以外のトリップを表す。ただし、Miyagiモデルでは z_{ij} を与件であると仮定している。ただし、その他の目的トリップも x_{ij}, y_{ij} を与える式で同様に推定できると仮定できる場合には、 $\{z_{ij}=0, \text{for all } i, j\}$ と置くことができる。したがって、以下では $\bar{q}_{ij} = x_{ij} + y_{ij}$ を新たに $\bar{q}_{ij}$ と定義し直し、次のように再定義する。

$$\bar{q}_{ij} = x_{ij} + y_{ij} \dots (7')$$

マストラと自動車のネットワークは独立に存在し、自動車ネットワークの混雑度に関係なくマストラの所要時間は一定であると仮定する。また、自動車ネットワーク上の交通流は Wardrop 均衡状態にあるものとする。すなわち、次のような均衡条件が成立している。

$$(c_{kij} - u_{ij}) h_{kij} = 0 \dots (7.1)$$

$$c_{kij} \geq u_{ij} \dots (7.2)$$

$$\sum_k h_{kij} = q_{ij} / a \dots (7.3)$$

$$c_{kij} = \sum_a \delta_{akij} t_a(f_a) \dots (7.4)$$

h_{kij}, c_{kij} : ODペアij間を結ぶ自動車経路k上の経路交通量と所要時間

$\delta_{akij} = 1$: リンクaが経路k上に存在するとき

0: そうでないとき

$t_a(\bullet)$: リンクaのパフォーマンス関数

f_a : リンクaの交通量

a : 平均乗車人数

3. 仮想都市・ネットワークの設定

本研究は、実証再現性を検討するものではなく、本モデルの適用によってどのような都市が形成されていくかを検討するものである。よって、仮想の都市とネットワークを構築する。

(1) 仮想都市データ

Miyagiモデルでは、都市の現象再現をおこなうために以下の都市要素を導入している。

土地利用:

- 基礎的産業従業者のトリップ分布
- サービス産業従業者のトリップ分布
- ゾーン人口
- ゾーン地価
- ◎ ゾーン面積
- ◎ ゾーン間距離
- ゾーン間所要時間

交通:

目的別(出勤, 自由)トリップ分布

機関分担別(自動車, マストラ)ゾーン

間交通量

自動車ゾーン間所要時間

◎ マストラゾーン間所要時間

◎ 各自動車リンクの距離, 車線数, 容量

ここで, ◎の項目は都市の基礎的要素であり, 外生的に決定され, シミュレーションの過程では変化しない。○の項目は計算の便宜上初期値として与えるが, モデルの適用により更新される要素である。ただし, 基礎的産業従業者のトリップ分布の集中量については, モデルの適用により変化しない。

モデルに与える初期値や諸々の仮定については, できるだけ簡素化した方が好ましいといえる。その理由は, シミュレーション結果の比較検討を容易にするためである。このことを踏まえ, 基礎的要素の幾つかをここで設定しておく。

ゾーン数・ノード数	25
ゾーン面積	50 (ha)
ゾーン間距離	1.4 (km)
ゾーン間所要時間 (自動車)	3.0 (min)
(マストラ)	1.0 (min)
リンク数	40
出勤・登校トリップ原単位	0.4 (トリップ/人)
サービス・自由・その他原単位	2.1 (トリップ/人)

(2) 仮想都市の設定

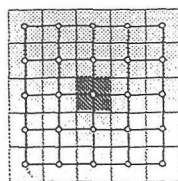
ゾーンの位置関係と自動車ネットワークを図1に, マストラネットワークを図2に示す。また, 仮想都市内のゾーンの名称を図3に示す。

仮想都市は, 25のゾーンと自動車およびマストラの交通ネットワーク, そして土地利用分布により構成される。

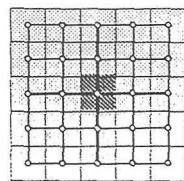
自動車ネットワーク形態は両側2車線の格子型道路と, それに両側4車線の道路を東西南北に配置した放射型道路の自動車ネットワークを設定する。マストラネットワーク形態は東西一直線上に配置する場合と, 配置しない場合の2種類を設定する。

土地利用分布については, 人口分布と目的別トリップ分布の初期値を設定する。初期人口は10万人, 20万人, 30万人, 40万人の4通りとし, 目的別トリップについては出勤集中量とサービス発生量の50%を中心ゾーンに集中させ, その他は各ゾーン均一の発生・集中量になるよう配置している。したがって, 本研究の仮想都市では商業地が中心ゾーンに一局集中した土地利用形態となっており, モデルの適用後にこの商業地分布と人口分布がどう変化しているかが重要である。

また結果の比較を容易にするため, モデルが所要時間と地価の変動に敏感になるようパラメータの変更も行っている。



格子型ネットワーク



放射型ネットワーク

図1 自動車ネットワークの設定

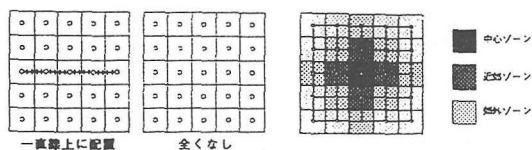


図2 マストラネットワークの設定

図3 仮想都市ゾーンの名称

これらの仮定を用いて, 各仮想都市に対し土地利用-交通統合モデルを用いたシミュレーションを行う。

(3) パラメータの設定

パラメータについては, すでに宮城・加藤が昭和56年中京圏パーソントリップ調査データを基に, 岐阜市を対象に推定しており, その精度は非常に高いものとなった¹⁾。よって, 本研究ではシミュレーションの結果を明瞭にするため地価の上昇や交通渋滞に対し敏感な都市になるように宮城・加藤のパラメータを修正した。

4. シミュレーション結果

シミュレーションは, (1)交通ネットワーク形態を固定して初期人口を変化させた場合, (2)人口を固定して自動車ネットワーク形態を変化させた場合, (3)マストラネットワークの有無による比較をそれぞれ行う。以下では, 特に注意すべき変化の現れた結果を示す。

(1) ネットワークを固定して初期人口を変化させたときの人口分布と総人口の比較

図5に示すように, 初期人口を変化させた場合, 初期人口が増加するに従って中心部よりも周辺部の人口の増加傾向が強まっている。これは, 中心部に人口が集中することで地価が上昇し, 相対的に郊外部に対して効用の変化が低くなったためである。よって, 人口規模がある程度大きくなると人口の郊外化が進む現象を本モデルによってシミュレートすることができる。ただし, ここでいう郊外部とは, 図3で示した近郊ゾーンと郊外ゾーンを総和したものである。

また, 総人口で比較した場合, 都市の規模に見合わないような過大な人口を与えても減少する傾向が見られた。

(2)人口を固定してネットワーク形態を変化させたときの人口分布と総人口の比較

図6に示すように、自動車ネットワーク形態を変化させた場合、放射状のネットワークを持つ仮想都市では、格子型の仮想都市に較べて中心部のサービストリップ集中量の増加が大きい。このことから、放射状のネットワークを持つ都市では、中心地域の求心力が強く、高密度の商業地が形成されやすいことを再現した。

総人口で捉えると、格子型に比べ放射型のネットワークの方が2万人ほど多くなった。これは、格子型のネットワークは全て両側2車線であるのに対して、放射型のネットワークには東西南北に両側4車線の道路を設定したため人口が格子型に比べ若干多くなる傾向を示した。

(3)初期人口、ネットワークを固定してマストラを導入したときの人口分布と総人口の比較

図7に示すように、マストラネットワークを加えた場合、人口とサービストリップ発生量はマストラ沿いに集中した分布になった。このことから、マストラの利便性の増大によって住居と企業がマストラネットワークに沿って立地してマストラの導入された近郊ゾーンが副都心的役割を果たしていることが分かる。さらに、中心ゾーンの人口を比較してみると、マストラを整備することにより高密度なゾーンが中心部と近郊部に形成されることが分かる。

総人口は、マストラの導入された都市が導入されない都市よりも多くなった。これは、マストラの導入によって都市の中心部への利便性が向上したことによるものと思われる。

5. おわりに

本研究のシミュレーション方法により、幾つかの交通ネットワーク形態と土地利用形態の相互関係を裏付けることが可能であると示された。また、土地利用分布については、モデルより、所要時間よりも地価によって居住地が大きく左右されることが分かった。よって、本研究のモデルは、多少の時間は費やしても良いからより快適な住居を求めるといった人々の行動を表した形となった。

以上のシミュレーションは、それぞれの初期値やパラメータの変更により、副都心のでき方などの様々な現象を再現できると考えられる。また、基礎的産業を周辺地域にも配置すれば、異なった形態の都市形成がなされることが予想される。

【参考文献】

- 1) 宮城俊彦; 奥田豊; 加藤人士; 「数理最適化手法を基礎とした土地利用・交通統合モデルに関する研究」, 土木学会論文集 No. 518/IV-28, pp95-105, 1995
- 2) 土木学会土木計画学研究委員会編; 「土木計画学講習会テキスト」, 1987
- 3) 中京都市西総合都市交通計画協議会編; 第2回中京都市西バーストリップ調査報告書 (2) 交通実態編, 1983

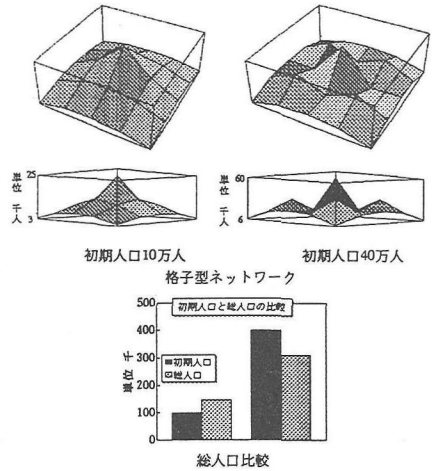


図5 ネットワークを固定して初期人口を変化させたときの人口分布と総人口比較

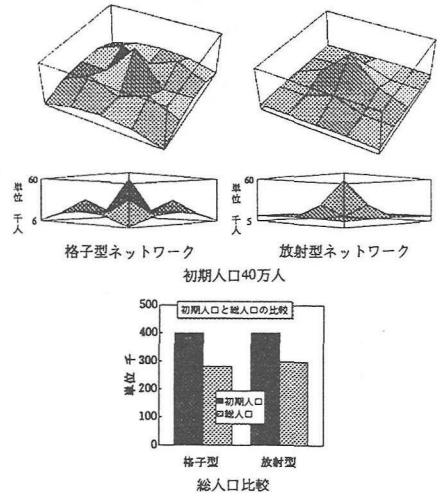


図6 初期人口を固定してネットワークを変化させたときの人口分布と総人口比較

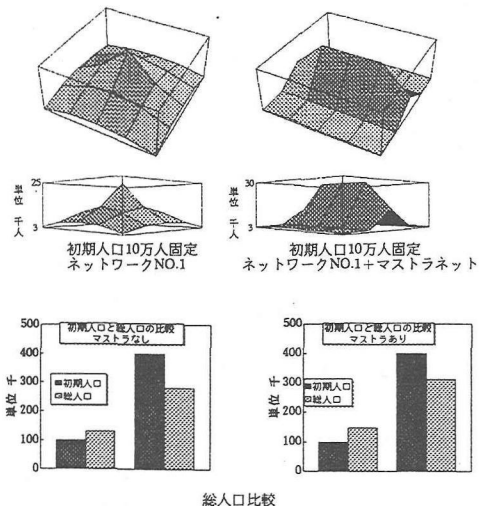


図7 初期人口、ネットワークを固定してマストラを導入したときの人口分布と総人口比較