

PT調査実務における土地利用・公共交通LOSの 内生変化を加味した交通需要予測手法の提案と活用

笈田 翔平¹・菊池 輝²・平見 憲司³・井上 紳一⁴・藤井 聡⁵

¹学生会員 京都大学大学院工学研究科（〒615-8540 京都市西京区京都大学桂4,
E-mail : oida@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

²正会員 工博 東北工業大学工学部（〒982-8577 仙台市太白区八木山香澄町35-1,
E-mail : akikuchi@tohtech.ac.jp)

³正会員 修(工) (財)計量計画研究所（〒162-0845 東京都新宿区市谷本村町2-9,
E-mail : khirami@ibs.or.jp)

⁴正会員 修(工) (財)計量計画研究所（〒162-0845 東京都新宿区市谷本村町2-9,
E-mail : sinoue@ibs.or.jp)

⁵正会員 工博 京都大学大学院工学研究科（〒615-8540 京都市西京区京都大学桂4,
E-mail : fujii@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

これまでの交通需要予測においては、将来予測の際、外生的に設定した前提条件(土地利用、公共交通LOS等の入力データ)を予測システムにインプットし、その諸水準に基づいて交通需要量をアウトプットする、という方法が採用されてきた。しかしながら、交通需要もまた前提条件に影響を及ぼすという相互作用が考えられる。そこで本研究では、交通需要の変化に伴う前提条件の変化を加味した上で交通需要を推計するモデルシステムとして、従来型の四段階推計法を改良した「交通・土地利用・公共交通LOS簡易型統合モデル」を構築した。そして、それらを需要予測実務に適用した結果、外生的に設定した前提条件の諸水準は交通需要と整合していないことが分かり、実務においては前提条件の諸水準を過大に見込み、その結果として交通需要を過大に評価している傾向があるということが示された。

Key Words : Prediction error, Input data, 4 steps method, Person Trip Survey

1. はじめに

(1) 需要予測において土地利用と公共交通LOSの内生変化を考慮することの意味

総合交通計画のための交通需要予測手法として広く一般に定着している「四段階推計法」は、これまでに様々な問題点が提起・修正され、近年ではこれに代替する先進予測技術^(例えば1)2)3)4)の開発研究に視線が注がれるようになった。しかしながらその一方で、分析概念の単純さかつ明快さ故に、実務的にも四段階推計法に代替する予測手法は浸透しておらず、今日でもなお典型手法として活用され続けている。

従来、将来時点の交通需要を予測する際には、交通需要予測モデルへの入力データとして、将来時点の土地利用(人口配置)パターンや交通ネットワーク水準等を、過

去から現況のトレンド等を踏まえた諸計画を基に設定し、これらよりシナリオを複数構成し、外生的に別途用意するという方法が採用されてきた。しかしながら、将来予測の前提条件として用意した土地利用パターンや交通ネットワーク水準は、交通需要の水準にも依存して変化するものである。例えば、仮に「将来、人口が都市中心部に現況+X%集約する」というシナリオを想定して交通需要を推計したとしても、将来それに見合う交通サービスが提供されていなければ人口の集積は現実的には見込めず、“X%”という設定は根拠に乏しい値となる。したがって、一般的な交通需要予測システム(四段階推計法)を用いて、所与の交通サービス水準に応じた交通需要の変化を考慮すると同時に「交通需要の変化に伴う交通サービス水準の変化や、土地利用の変化」を内生的に取り扱い、それらを同時に考慮した上で将来の交通需要

を推計することの方がより望ましいものであると考えられる。すなわち、交通需要が土地利用や交通サービス水準に及ぼす影響を加味しながら交通需要を予測する解析モデルを採用することで、より適切な需要予測結果が得られると考えられる。また、こうしたモデルによって、例えば、公共交通の衰退による駅前への衰退と、駅前への衰退による公共交通の衰退というスパイラルによる公共交通需要の大幅な落ち込みや、商業土地利用の郊外化に伴う郊外への自動車集中買い物交通の増進とそれに伴う郊外の商業土地利用の増進というスパイラルを通じた自動車交通による郊外化の促進といった諸現象を、モデル上で再現することが可能になるものと期待できる。

(2) 交通需要予測誤差の原因

交通需要予測のための数理統計モデルの開発やその修正をテーマとした研究は旧来より様々に展開されているが、それらの多くは「予測誤差の最小化」を目的として展開されてきたと言えよう。

ここで、簡単に、予測誤差の発生原因を整理すると、(a) 予測モデルの誤り、(b) 入力データの誤りの2種類に大別することができる。これまでに蓄積されてきた需要予測研究もこれらの修正のためであったと言える。

(a) 予測モデルの誤り

予測モデルの誤りをさらに細かく分類すると、モデル構造の誤り、パラメータの推定誤差、パラメータ値の時間的空間的变化等が含まれる。これまでに蓄積されてきた大概の需要予測研究は、多様なモデルの提案も含め、予測モデルの誤りを修正するために展開されてきたと言える。その一例に、近年盛んに展開されている先進予測技術の開発研究として、代表的なものに、Anas¹²⁾による経済学的行動原理を取り入れたモデル、それを応用したMorisugi & Ohno⁵⁾、宮城⁶⁾、そして山崎ら⁷⁾のものが挙げられる。また、土地利用と交通の統合的実用モデルとして開発されたMEPLANモデル⁸⁾は海外の実務にも応用されており、我が国でも東京圏や京阪神圏において大規模なモデルが構築されている⁹⁾¹⁰⁾。さらに、近年では、都市構造・交通体系・環境負荷・経済の相互作用を考慮した統合モデル(応用都市経済モデル)も開発されており、国内では上田ら³⁾⁴⁾が先駆的である。

しかしながら、計算負荷や理論的な一貫性の面から多くの課題が指摘されており、我が国の実務レベルでの適用は限定されているというのが実情である¹¹⁾。

(b) 入力データの誤り

入力データの誤りは、予測モデルに投入するインプット値に含まれる誤差で、人口や交通サービス水準等の変数が将来予測の前提条件として外生的に設定される場合、その設定値そのものが需要予測誤差の主要因となる。

ここで、予測誤差に内在する「入力データ」に関わるも

のは、さらに、以下の3種類に分類することができよう。

- b1) モデル作成時に用いたデータに起因する誤差
- b2) モデル作成に考慮すべき要因の欠如に伴う誤差
- b3) 予測の前提条件の誤り

ここに、b1) モデル作成時に用いたデータに起因する誤差はモデル作成時の取得データそのものに属する誤差であり、b2) モデル作成に考慮すべき要因の欠如に伴う誤差とは本来モデルに取り込むべき説明変数が考慮されていない等の、取得可能データ量(範囲)の限界のことである。また、b3) 予測の前提条件の誤りとは、外生的に設定した将来予測の前提条件の諸水準と実績値(将来の実際の値)の乖離のことで、一般に長期予測になるほど前提条件の根拠の質が低下する。このb3)の問題は、物理的な制約が大きいb1)、b2)に比して、改良の余地が残されているものと言えよう。このように、モデル構造の精緻さに関わらず、これらb1)~b3)の入力データに関わる誤差を起因として予測誤差が発生するのは、言わば当然の帰結である。

こうした需要予測に用いる入力データに着眼した研究として、実務レベルでは、東海道新幹線の需要予測誤差について言及した土井ら¹²⁾の研究、千葉都市モノレールの需要予測誤差を取り上げた報告事例¹³⁾がある。また、小泉¹⁴⁾は鉄道新線の需要予測を事例に予測誤差の発生要因分析を行っており、予測モデルに起因して生じた誤差に比して予測の前提条件の設定水準に起因して生じた誤差の方が多大であると報告している。さらに、森川ら¹⁵⁾は、新交通システムの需要予測誤差を事例として取り上げ、ニュータウン入居者数の予測誤差を発端に各推計段階で誤差が拡大したことを明らかにし、予測の前提条件が適切であれば予測結果は実績値に大きく近づいたと報告している。これらは、モデル構造が原因で生じる誤差は前提条件が原因で生じる誤差に比して相対的に小さく、前提条件の水準が適切でないために誤差が拡大することを示した有力な実証分析結果である。

(3) 交通需要予測モデルの現状

前述したように、先進予測技術としての土地利用・交通統合モデルは、我が国の実務レベルでは必ずしも十分に活用されているとは言いがたい、というのが現状である。その背景には、都市圏パーソン・トリップ調査(以下、都市圏PT調査)における需要予測実務では、都市圏全体にわたる数多くのゾーンを取り扱いつつ、発生、分布、分担、そして経路配分交通までを詳細に分析し、しかもそれを適切に拡大することで別途測定されている様々な集計データと整合することを制約として需要解析がなされている一方で、理論的に精緻なモデルでは、そうした

制約に適合させることが必ずしも容易ではない、という実情がある。無論、それはあくまでも「容易ではない」ということであって「可能」であることは間違いない。したがって、実務者側に高い動機があれば、そうした制約内であっても精緻なモデルを活用することは当然ながら可能である。とはいえ、実務的には時間的制約や予算的制約等の現実的な制約が存在する中、高い動機だけでは乗り越えられないハードルが存在するケースも皆無とは言えない。

したがって結局は、そうした実情故に、ここ十数年、理論的・学術的に開発されてきた様々な諸モデルの考え方が実務の需要予測モデルには必ずしも十分に反映されておらず、未だに四段階推計法を基調としたものが活用され続けているのだと言うことができるだろう。そしてそれ故に、先に述べた様々な交通・土地利用統合モデルも、都市圏PT調査における需要予測実務に活用されていないのである。

(4) 需要予測モデルの研究の在り方について

言うまでもなく、交通需要予測モデルは単なる“モデル”であるが故に、必ず現実と乖離する側面を持ち、したがって、需要予測の誤差を避けることはできない。それ故、交通需要予測モデルの改善を考えた時、あらゆる側面において無限の改善を図ることが可能である。それにも関わらず、長年に渡って漫然と需要予測モデルの精緻化作業を続けたとしても、諸モデルが一人ひとりの行動を悉く説明するということが原理的に不可能である以上、その修正作業は永遠に終結することは無い。したがって、需要予測モデル研究は、常にこうした不毛性に付きまといわれることとなる。

そこで、本研究では、需要予測モデル研究につきまとうそうした不毛性を回避するためのひとつの方略として、「実務に直接活用できる技術を開発し、それを実務の中で実際に活用することを通じて、実務の質的改善を図る」という『プラグマティズム(Pragmatism)¹⁶⁾』の戦略を採用することとした。こうしたプラグマティズムの考え方を念頭に置くことで、無限に考えられるモデル改善方針の中から、とりわけ実務上の質的改善にとって重要であろうと思われるものを抽出し、それを改善する、という研究方針が与えられることとなる。しかも、実際に実務で活用することを前提とすることから、現場において要請されるすべての制約条件(例えば、技術的、予算的、時間的制約等、あらゆる制約条件)を加味したモデル改善が可能となる。

そこで、こうした視点を踏まえたとき、現状の四段階推計法に基づく需要予測における、とりわけ重大な問題は「入力データの妥当性(将来予測に用いる前提条件の妥当性)」であるという点に着目した。これは、上述し

たように、需要予測の実際の精度は、「モデル構造の精緻さ」よりも「入力データの妥当性」により大きく依存していると報告されているからである^{12)~15)}。また、上で触れたように、都心衰退や郊外化の進行の背景にある「交通と土地利用のスパイラルの問題」を考慮することが、コンパクトシティや低炭素化を標榜する昨今の都市交通計画においてとりわけ重要であろうとも考えた。

こうした背景から、本研究では、土地利用と公共交通LOSを「内生化」することでその問題を緩和することが可能であろうと考え、内生化を図るために、プラグマティズムの考え方を踏まえた上で、「既存の四段階推計法をベースとして、それを一部拡張する」というアプローチを採用することとした。言うまでもなく、先に引用したように、交通モデルと土地利用モデルを統合する方法は様々な展開されてきているが、既に指摘したように、それらを実務の現場に直接導入することは必ずしも容易ではない。しかも、公共交通LOSの内生化を図るとなると、その容易性はさらに低下するものと危惧される。

こうした認識の下、本研究では、既往の実務で活用されている四段階推計法を、土地利用と公共交通LOSを内生的に取り扱うことが可能な方向に拡張・改良することで、土地利用と公共交通LOSの内生的変化を簡易的に加味しつつ交通需要を推計する予測手法を提案するとともに、それを西遠都市圏の交通需要予測実務に適用することとした。そして、その適用を通じてさらなるモデル改善に向けて必要な課題を整理することを目的とした。

2. 従来型の交通需要予測フローとの相違

都市圏PT調査データに基づく一般的な交通需要予測においては、かねてより、将来の土地利用パターンと交通ネットワーク水準を所与として外生的に設定し、それ

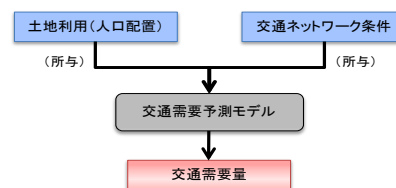


図-1 従来型の交通需要予測フロー

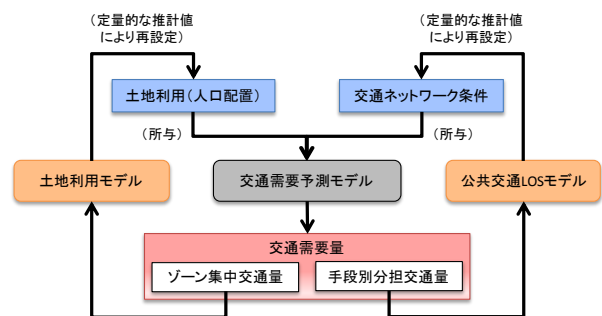


図-2 本研究で構築した交通需要予測フロー

らの値に基づき予測年次の交通需要量を推計する、という方法が採用されてきた(図-1 参照). しかしながら、前述したように、交通需要量もまた土地利用パターンや交通ネットワーク水準に影響を及ぼすという相互作用が考えられる. この相互作用を厳密に考慮するためには、前章でも触れたように、“均衡分析”の考え方を援用するアプローチが考えられるものの、現時点では諸種の実務的な制約により、すぐにそれを実務的に導入することは容易ではない.

ついでには、本研究で構築するモデルシステムは、四段階推計法を拡張するものであり、F. Martinez(1992)¹⁷における五段階推計モデル(5-stage land-use transport model)の考え方を採用することとした. すなわち、図-1 に示した従来型の交通需要予測システムに、システムにおいて算定される交通需要量を基に土地利用パターンや交通ネットワーク水準を再設定するモデル(以下、前者を土地利用モデル、後者を公共交通 LOS 変化モデルと呼称)を構築し、それを図-2 のような形で既存のシステムに付け加えることで、交通需要が土地利用と公共交通 LOS にそれぞれ及ぼす影響を加味した上で交通需要量を推計するモデルシステムを構築することとした.

なお本研究は、考え方としては古典的な手法を用いているものであるが、それをプラグマティズムの考え方に基づいて現実的に活用可能なモデルを作成することを目指すものである. したがって、本研究の意義は以上に述べてきたような「実務上、考慮することが必要とされるプロセス(本研究の場合は、交通流の変化に伴って土地利用と交通ネットワーク条件が変化するというプロセス)を考慮可能としつつ、実務上必要となるアウトプット(交通量)の算定を可能とするモデルを構築する」という点にある. その上で、本研究ではそれを構築するのみならず実務の中で適用し、その適用実績の創出を試みることにそのモデルのアウトプットの挙動が合理的に解釈しうるものであるか否かを検討することを通して、本モデルを提案することの意義の有無を確認するものである.

また、五段階推計モデルの考え方はこれまで様々に活用されてきている(c.f. Sivakumar(2007)¹⁸, Bowman(2006)¹⁹, Wegener(2004)²⁰)が、それらとの対比で本モデルの特徴を付言するならば、交通流の変化に伴う土地利用の変化のみならず、交通流の変化に伴う交通サービスレベルの変化を内生的に取り扱う点にその特徴を見出すことができるものと考えられる.

3. 土地利用モデルの構築

(1) モデルの仮定

ここで構築するモデルは、図-3に示したように「基準年次の人口配置は、基準年次の交通状況、及び過去の人

口配置・交通状況に依存する」と仮定し、かつ、その相互関係を表すパラメータ、ならびに、モデルで説明することができない各ゾーン毎の誤差の一部は時間に対して定常的であると仮定するものである. すなわち、本モデルは、各変数間に次のような関係を仮定するものである.

$$Y_{N,i} = \beta^- Y_{N-,i} + \beta_s^- X_{N-,i} + \beta_s X_{N,i} + \varepsilon_i \quad \forall N, \forall i \quad (1)$$

ここに、 Y は土地利用(人口配置)データ、 X は目的別集中交通量ベクトル、 β はパラメータ、 ε は誤差項である. また、 N は基準年次($N+$ は将来、 $N-$ は過去を意味する)、 i はゾーン、 s はトリップ目的の種類を表す添え字である¹⁴.

(2) パラメータ推定

このモデルにおけるパラメータ、ならびに、各ゾーン毎の誤差項については、既にデータとして得られている Y 、 X のデータ(Y は各種人口データ、 X については過去の集中交通量及び集中交通量変化分 $[X_{N-}, X_{N,i}]$ を導入)に基づいて推定した. パラメータ推定結果を表-1に示す.

それぞれにおいて、調整済み決定係数は十分高く、各パラメータも有意となっており、適切な予測モデルを構築できたと言える. なお、パラメータ推定にあたっては、第2回西遠都市圏PT調査(昭和60年)による人口データと集中交通量、第4回西遠都市圏PT調査(平成19年)による集中交通量を用いた. また、ゾーン別就業者数(第1次従業人口については、第1次就業人口と等値として扱

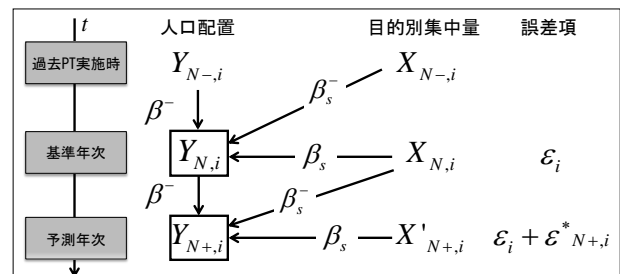


図-3 土地利用モデルの仮定

表-1 土地利用モデルのパラメータ推定結果

独立変数	夜間人口	第2次産業従業者数	第3次産業従業者数
S60 夜間人口 [千人]	1.068 (+45.12)†	-	-
S60 第2次産業従業者数 [千人]	-	0.804 (+16.44)†	-
S60 第3次産業従業者数 [千人]	-	-	0.662 (+10.75)†
S60 帰宅目的集中交通量 [千人/日]	-	-	-0.131 (-5.96)†
S60 私事目的集中交通量 [千人/日]	-	-	0.260 (+7.12)†
S60 業務目的集中交通量 [千人/日]	-	0.341 (+5.16)†	0.529 (+7.64)†
私事目的集中交通量変化分 [千人/日]	0.219 (+3.95)†	-0.067 (-2.27)‡	0.139 (+5.50)†
業務目的集中交通量変化分 [千人/日]	-	0.680 (+5.52)†	0.556 (+5.78)†
サンプル数	143	143	143
調整済み決定係数	0.961	0.879	0.943

※括弧内の値はt値. †: 両側危険率1%で有意, ‡: 両側危険率5%で有意.

う)および学生数はゾーン別夜間人口と連動して算出することとしているため、土地利用モデルによる予測の対象外とした。

(3) 需要予測時のモデル適用手順

将来の人口配置データの設定方法は、以下の1.から4.の通りである(以下、[']は暫定値を意味する)。

1. まず最初に、予測年次の人口配置データの暫定値 $Y_{N+,i}$ を設定する(これは、通常の四段階推計法の入力データとして用意するものである)。
2. $Y_{N+,i}$ に基づいて、予測年次の集中量データの暫定値 $X'_{N+,i}$ を推計する(1., 2.は従来の一般的な四段階推計法であり、既往の需要予測ではこの $X'_{N+,i}$ が最終的な推計結果であった)。
3. ここで、予測年次の人口配置データを再設定するため、式(1)の被説明変数を予測年次の人口配置データ $Y_{N+,i}$ とすると、以下の式が得られる。

$$Y_{N+,i} = \beta^- Y_{N,i} + \beta_s^- X_{N,i} + \beta_s X'_{N+,i} + \varepsilon_{N+,i} \quad (2)$$

ここで、誤差項 $\varepsilon_{N+,i}$ は、当該ゾーンにおいて時間に対して定常的な部分(すなわち、 ε_i と同一の部分)と、予測年次に固有な部分(以下、これを $\varepsilon^*_{N+,i}$ と記載)とが存在すると仮定すると、

$$Y_{N+,i} = \beta^- Y_{N,i} + \beta_s^- X_{N,i} + \beta_s X'_{N+,i} + \varepsilon_i + \varepsilon^*_{N+,i} \quad (3)$$

ここに、 ε_i は先の節で述べた仮定に基づいて、時間について定常的であると仮定する部分で、先のモデルパラメータ推定時にゾーン毎に得られている誤差をそのまま用いることとした。一方、予測年次 $N+$ における固有の誤差 $\varepsilon^*_{N+,i}$ については、モデルで予測できないものであることから、基本的に予測計算においては、その期待値である「0」を採用することとした。ただし、基準年次から予測年次の間に予定されている公的な土地開発等については、外生的に予測年次における固有な効果としてその規模を設定することが可能であることから、宅地開発に伴う土地利用データの増減分を $\varepsilon^*_{N+,i}$ として設定することが可能である。

さて、以上の仮定に基づいて、上式(3)に $X'_{N+,i}$ パラメータ推定時に各ゾーン毎に求めた ε_i 、ならびに $\varepsilon^*_{N+,i}$ を導入することで再設定値である $Y_{N+,i}$ を算定する。なお、式(1)と式(3)より、

$$Y_{N+,i} = Y_{N,i} + \beta^- \Delta Y_{N,i} + \beta_s^- \Delta X_{N,i} + \beta_s \Delta X_{N+,i} + \varepsilon^*_{N+,i} \quad (4)$$

を得る(Δ はモデル推計時点と予測時点での差分)。すなわち、本モデルの各ゾーンの予測値は、現状の人口配置に各説明変数の変化量と外生的に設定する土地開発効果を加味して得られるものとなっ

ている。

4. これより得られた人口配置データ $Y_{N+,i}$ を四段階推計法に導入することにより、交通状況が人口配置に及ぼす影響を加味した上での交通需要量を改めて推計する。

4. 公共交通 LOS 変化モデルの構築

(1) モデルの仮定

ここで構築するモデルは、「交通需要(OD 交通量)に応じて、公共交通路線の運行頻度が実現されている」と仮定し、かつ、その相互関係を表すパラメータ、ならびに、モデルで説明することができない各ゾーン毎の誤差は時間に対して定常的であると仮定するものである。すなわち、本モデルは、各変数間に次のような関係を仮定するものである。

$$Y_{N,i} = \beta_s X_{N,i} + \varepsilon_i \quad \forall N, \forall i \quad (5)$$

ここに、 Y は公共交通 LOS(運行頻度)、 X は目的別利用者数ベクトル(人)、 β はパラメータ、 ε は誤差項である。また、 N は基準年次($N+$ は将来を意味する)、 i は路線、 s はトリップ目的の種類を表す添え字である。

(2) パラメータ推定

このモデルにおけるパラメータ、ならびに、各路線毎の誤差項については、既にデータとして得られている Y 、 X のデータ(Y は運行頻度データ、 X は目的別利用者数)に基づいて推定した。パラメータ推定結果を表-2 に示す。

これより、調整済み決定係数は高く、適切な予測モデルを構築できたと言える。なお、西遠都市圏の鉄道データ整備の制約から、内生モデルの構築対象はバス路線のみとした。

(3) 需要予測時のモデル適用手順

将来の公共交通 LOS データの設定方法は、以下の 1. から 4. の通りである。

表-2 路線バス運行頻度モデルのパラメータ推定結果

独立変数		運行頻度
パラメータ及び値	定数項	2.269 (+9.68)†
	通勤目的利用者数[人/日]	0.0609 (+5.55)†
	帰宅目的利用者数[人/日]	0.0453 (+15.71)†
	業務目的利用者数[人/日]	0.2067 (+2.70)‡
サンプル数		695
調整済み決定係数		0.607

※括弧内の値はt値。†：両側危険率1%で有意。‡：両側危険率5%で有意。

1. まず最初に、予測年次の公共交通 LOS データの暫定値 Y'_{N+i} を設定する(これは、通常の四段階推計法の入力データとして用意するものである)。
2. Y'_{N+i} に基づいて、予測年次の利用者数データの暫定値 X'_{N+i} を推計する。なお、この時点における公共交通機関利用者配分では、運行頻度を考慮せず、ネットワーク接続情報と最短経路探索を基本とする(前章同様、1., 2. は従来の四段階推計の手続きであり、既往の需要予測ではこの X'_{N+i} が最終的な推計結果であった)。
3. ここで、予測年次の公共交通 LOS データを再設定するため、式(5)の被説明変数を予測年次の公共交通 LOS データ Y_{N+i} とすると、以下の式が得られる。

$$Y_{N+i} = \beta_s X'_{N+i} + \varepsilon_{N+i} \quad (6)$$

ここで、誤差項 ε_{N+i} は当該路線において時間に対して定常的(すなわち、 ε_i と同一)と仮定すると、

$$Y_{N+i} = \beta_s X'_{N+i} + \varepsilon_i \quad (7)$$

ここに、 ε_i については前章同様、先のモデルパラメータ推定時に路線毎に得られている誤差を用いた。また、上式を適用するにあたって、具体的に以下のような諸点に留意する必要がある。

- この関係式は、基準年次時点に存在しており、予測年次の暫定公共交通 LOS データにおいても存在している路線について成立するものと考ええる。
- 基準年次時点に存在していないが、予測年次の暫定的公共交通 LOS データにおいては存在している路線(すなわち、新規路線)については、 ε_i の値が得られていないため、 ε_i は期待値「0」で、分散は式(5)の推定時の誤差項と同じ正規分布に従う確率変数と見なす。その上で、 Y_{N+i} の95%信頼区間を推定する(その下限値を $Y^{95\%}_{N+i,b}$ 上限値を $Y^{95\%}_{N+i}$ とする)。そして、 Y'_{N+i} がその信頼区間内に収まっている場合(図-4 太線)には、 Y'_{N+i} はあり得る値であると見なして再設定せずにそのままの値を採用する。対して、信頼区間外の場合(図-4 破線)には、 Y'_{N+i} が信頼区間より小さな値である場合は、 $Y^{95\%}_{N+i}$ を再設定値とする一方、より大きな場合には $Y^{95\%}_{N+i}$ を再設定値とする。

する一方、より大きな場合には $Y^{95\%}_{N+i}$ を再設定値とする。

- 基準年次時点で廃線となっている路線については、予測年次にそのサービス水準を検討する必要がないことから、この計算の対象外とする。
- 以上の予測計算を通じて得られた再設定後の公共交通 LOS データ Y_{N+i} と暫定公共交通 LOS データ Y'_{N+i} との差等を確認し、異常値(例えば、負値等)がないかを実務的にチェックし、将来値を確定する。

さて、以上の仮定に基づいて、上記式(7)に X'_{N+i} パラメータ推定時に各路線毎に求めた ε_i を導入することで再設定値である Y_{N+i} を算定する。なお、式(5)と式(7)より、

$$Y_{N+i} = Y_{N,i} + \beta_s \Delta X_{N+i} \quad (8)$$

を得る(Δ はモデル推計時点と予測時点での差分)。すなわち、本モデルの各路線の予測値は、推定時点での公共交通 LOS に交通量の差(ΔX_{N+i})に伴う変化分($\beta_s \Delta X_{N+i}$)を加算したのものと得られるものとなっている。

4. これより得られた公共交通 LOS データ Y_{N+i} を四段階推計法に導入することにより、交通状況が公共交通 LOS に及ぼす影響を加味した上での交通需要量を改めて推計する。

5. 交通需要予測実務への適用²¹⁾

本研究で提案したモデルシステムの実用可能性を確認することを目的として、本モデルを西遠都市圏(静岡県西部 4 市 2 町)の交通需要予測実務に適用した。本章ではその適用結果を整理し、本モデルの実用性を確認する。

なお、土地利用モデルの構築にあたっては昭和 60 年及び平成 19 年の都市圏 PT 調査パネルデータを、公共交通 LOS 変化モデルの構築にあたっては平成 19 年の都市圏 PT 調査データを用いた。そして、構築したモデルシステムにて生成した将来値に基づいて推計した交通需要量(平成 42 年を想定)と既往の方法にて推計した交通需要量を比較するという格好で考察した。以下にその詳細を記述する。

(1) 西遠都市圏交通需要予測の概要

前章までに構築した土地利用モデル及び公共交通 LOS 変化モデルを従来型の交通需要予測モデルに付加し、「交通・土地利用・公共交通 LOS 簡易型統合モデル」を構築した。西遠都市圏交通需要予測の全体フローを図-5 に示す。

なお、この図-5 に示したモデルでは、公共交通 LOS

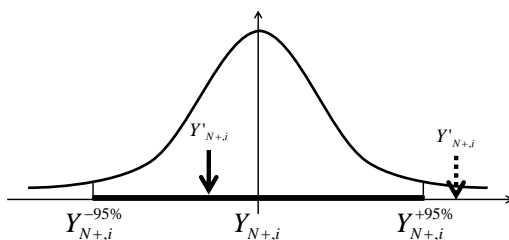


図-4 新規路線の考え方

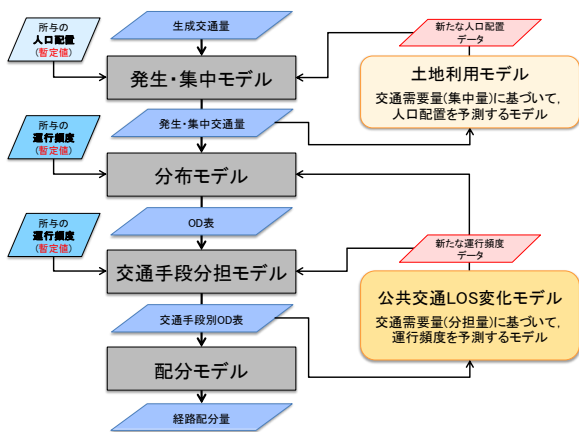


図-5 西遠都市圏の交通需要予測フロー

変化モデルの適用後に再び発生・集中モデルを推計するというフローを考えることもできるが、本研究で構築した発生・集中モデルは公共交通 LOS 変化モデルによって再設定される運行頻度データを入力変数としていないことから、公共交通 LOS 変化モデルの結果は分布モデル及び交通手段分担モデルに反映させることとした。

(2) 土地利用モデル反映による人口配置の再設定

以下に、夜間人口と従業人口について、集積型シナリオ(都市圏の拠点と公共交通沿線に居住地や商業施設等の都市機能が集積した場合を想定)における、外生的に設定した将来値(従来型モデルの入力データ)と、土地利用モデルを反映し交通状況の変化を加味した上で再設定した将来値を示す²⁾。なお、ここでの推計計算においては、土地利用モデルならびに公共交通 LOS 変化モデルをそれぞれ一回活用することとし、「集中交通量の変化による人口等の変化」ならびに「交通手段別 OD 交通量の変化による交通サービス水準の変化」を加味した方向にモデル予測値を“補整”することを目指した。無論、これらの因果関係を完全に取り組んだ予測値を算定するためには、複数回の繰り返し計算を行い、解の収束性を判定する等の対応が必要となる。すなわち、繰り返し計算を実施することで土地利用・交通量・交通サービス水準といった三者間の均衡状態を擬似的・簡易的に算定することが可能になるものと期待される。しかしながら、現実社会におけるそうした均衡の成立可能性と不可能性の双方を見据えた時に、そうした“適正な繰り返し計算”が実務的に望ましいか否かについては議論の余地が残されていると言えよう。ただし、繰り返し計算を行うことで各モデルの出力値がより整合的になるという側面も期待されることから、今後は、複数年次のパネルデータを用いてモデルを構築する一方、最終年次のデータをモデル推計に用いずに予測対象データとして用い、かつ、当該データと予測値との整合性を確認することによって適切な繰り返し回数を検討するといった検証方法を検討

することも必要になるものと考えられる。なお、現時点においてはそれを可能とする十分なウェブ数のパネルデータが得られていない等の理由から、こうした検証方法の構築については今後の課題とすることとしたい。

いずれにしても、こうした課題があるものの、一般的な四段階推計法では「集中交通量の変化による人口等の変化」ならびに「交通手段別 OD 交通量の変化による交通サービス水準の変化」は全く考慮されていないことから、本研究で提案するモデルシステムは、一般的な四段階推計法の推計値を上述した因果関係を加味した上で“補整”することを目指すシステムであると言える。

さて、こうした前提より求めた計算結果を図-6、図-7に示す。これより夜間人口について、都市部では、土地利用モデルを用いて再設定した値が、用いずに求めた値(すなわち、暫定値)を下回り、郊外部では逆に再設定した値が上回る状況にあることが分かる。すなわちこのことは、外生的に設定した夜間人口は推計された交通需要量との間に統計的な整合性が不足していたことを意味する。また現況値(H19)と比較すると、「都市圏の拠点と公共交通沿線に居住地や商業施設等の都市機能を集積させる」ことによって、郊外部から都市部へと人口を集積させることは一定程度可能であるものの、そうした集積効果は、交通需要との整合性を加味すると外生的に設定した数値程は見込めない、と解釈することもできる。

一方、従業人口については、夜間人口への反映結果と同様、都市部において再設定値が暫定値を下回り、郊外

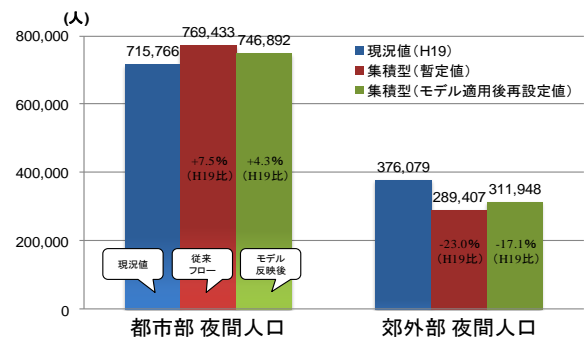


図-6 土地利用モデルの反映(夜間人口)

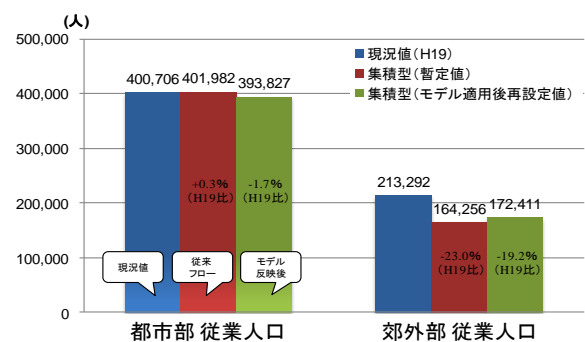


図-7 土地利用モデルの反映(従業人口)

部においては再設定値が上回る状況にあり、外生的に設定した従業人口は推計された交通需要と必ずしも整合していなかったことが分かる(図-7)。さらに、外生的に設定した従業人口に基づけば、従業人口を各種拠点・市街地に集積させることが一定程度可能であるものの、交通需要との整合性を加味した再設定値に基づけば、集積型シナリオであっても、現況値を下回ることが分かる。

以上に示した結果は、今回設定した人口配置データを維持し続ける程に十分な交通需要が存在しているとはいえないこと、ならびに、そうした整合していない人口配置データを本研究で構築したモデルシステムが補整する、ということの意味するものである。

(3) バス運行頻度モデル反映による運行頻度の再設定

図-8には、同様のシナリオにおける、外生的に設定した将来値と、路線バス運行頻度モデルを反映し、利用者数の変化を加味した上で再設定した将来値の「差分＝再設定値－暫定値」を示す。これより、「差分」の値として負値の路線が多く目立つことから、再設定値が暫定値を大幅に下回っていることが分かる。すなわち、この結果は推計されたバス利用者数では、外生的に設定した運行頻度を実現し、維持し続けることは必ずしも容易ではないということを示唆している。つまり、将来の運行頻度として設定した値を維持する程に十分な公共交通需要は見込めないだろうということを示唆している。

(4) 西遠都市圏全域の需要予測結果

表-3に、「従来型の需要予測フローに従って推計した交通需要量」と「内生モデルを反映させた上で推計した交通需要量」を示す。ここでは、鉄道・バス・自動車のトリップ数を整理した。これより、公共交通(鉄道・バス)需要の推計結果に着目すると、内生モデルを反映させた場合、すなわち公共交通重要との整合性を

表-3 西遠都市圏全域の代表手段別需要予測結果

集積型シナリオ	鉄道		バス		自動車	
	予測値 (千トリップ)	H19年比	予測値 (千トリップ)	H19年比	予測値 (千トリップ)	H19年比
現況値(H19)	74.0	-	46.0	-	1871.0	-
従来フローによる予測結果	78.0	+5.4%	63.0	+37.0%	1739.0	-7.1%
両モデル反映後の予測結果	74.0	±0%	59.0	+12.8%	1747.0	-6.6%

加味した上で設定した前提条件に基づいて推計した場合の方が、小さい値になることが分かる。つまりこのことは、将来予測の前提条件となる入力データ(路線バス運行頻度)の諸水準を過大に見込み、その結果として、公共交通需要を過大に評価していたということを示唆している。

6. まとめと課題

本研究では、「実務に直接活用できる技術を開発し、それを実務の中で実際に活用することを通じて、実務の質的改善を図る」というプラグマティックな戦略を念頭に置き、現状の交通需要解析における「入力データの妥当性」という点に着目した。そこで、交通需要の変化に伴う土地利用と公共交通LOSの内生的変化を加味した上で交通需要を予測するモデルシステムとして、従来型の一般的な交通需要予測モデル(四段階推計法)を拡張・改良する形に統合した「交通・土地利用・公共交通LOS簡易型統合モデル」を構築した。また、それを西遠都市圏の交通需要予測実務に適用することを通して「従来の外生的な入力データ」と「交通需要量から実現し得る入力データ」が大きく乖離している様子を確認し、交通需要解析における「入力データ」の設定方法として大幅な改善の余地があることを確認した。これは、本研究で構築した「土地利用と公共交通LOSのデータを修正しつつ交通需要を推計するシステム」を用いることで、よりの確に交通需要量を予測し得ることを示唆するものである。

また、本研究で紹介した適用結果より、少なくとも今回対象とした西遠都市圏においては、都市交通戦略におけるシナリオとして外生的に設定した土地利用や公共交通ネットワーク水準は、交通需要と整合しているとはいえないこと、そして、仮にそれらを現実に設定したとしても、維持し続ける程に十分な交通需要が見込めるわけではなく低減していく可能性がある、ということが示唆された。その一方で、本研究で構築したモデルを活用することで、そうした入力データの乖離を調整し、交通需要とより整合した土地利用や公共交通LOSに基づいた需要解析が可能になるものと考えられる。

なお、今回掲載した数値計算結果は、内生モデルを用いて、入力データ(土地利用、公共交通LOS)を改訂するフィードバック計算を一度行う格好で算定したものである。このフィードバック計算は、上述のような交通需

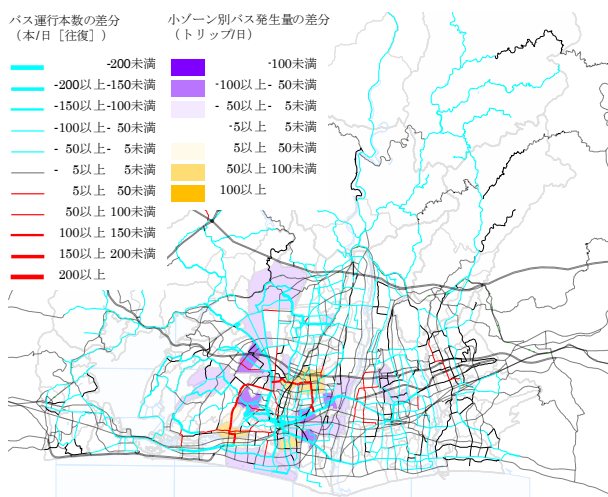


図-8 バス運行頻度モデルの反映(再設定値－暫定値)

要とは整合しないような入力データをより現実的な値に補整する効果を持つものと考えられるものの、その現実性をさらに確保するためにはどのような計算過程を踏むべきであるか、についてはさらなる検討が必要である。この点については、実務的な実行可能性も踏まえつつ、さらなる検討を重ねる必要があるものと考えられる。

今後は、こうした点も踏まえつつ、より効果的な改良方針を考えつつ、また、実務に反映可能であるという制約条件を見据えながら、現実的に改良していく研究を重ねていくことが必要である。

謝辞：本研究を進めるにあたり、資料提供や分析にご協力して頂きました(財)計量計画研究所・交通まちづくり研究室の方々に感謝の意を表します。

脚注

- [1] なお、本モデルは集計的なモデルであり、必ずしも一人一人の行動を、例えば、いわゆる「非集計モデル」を用いてモデル化しているものとは言えない。しかしながら、現存する計量モデルは、集計モデルであれ非集計モデルであれ、現実的意思決定プロセスを一切反映したものとは言いがたい、ということがかねてより様々に指摘されているところである(c.f. Simon(1990)²², Gärling, T.(1998)²³, 藤井(2001)²⁴)。それにも関わらず、計量的な予測を目指した需要予測モデルを開発するためには、結局は、本研究で提案するような“統計的關係”を一定の仮定の下で想定し、その統計的關係で想定される個々のパラメータを既往データを用いて推計し、それを外挿する方法しか考えられないという点も議論されている。すなわち、本モデルが不当であり、非集計モデルを想定したモデルが正当であると判断する基準は、既存の行動科学、行動計量分析モデルの観点からは存在していないことが従来の予測を企図した認知的行動的意思決定研究の議論の中で指摘されている。詳細は、藤井(2001)²⁴を参照されたい。ただし、パラメータ推計時の適合度が低い場合には、そのモデルはデータに適合していないことが明らかに示されることとなるため、モデル適合度はモデルの採否において重要な判断基準となる点は付言しておきたい。
- [2] 本章では、構築したモデルの実務での実用可能性の確認を目的としていることから、ここでは、集積型シナリオにおける、土地利用モデルを反映し内生変化を加味した場合としない場合について報告する。

参考文献

- 1) Anas, A. : Residential Location Markets and Urban Transportation, Academic Press, 1982.

- 2) Anas, A. : Modeling in Urban and Regional Economics, Fundamentals of Pure and Applied Economics 26, Harwood Academic Publishers, 1987.
- 3) 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.
- 4) 山崎 清, 武藤慎一, 上田孝行, 助川 康 : 東京圏における応用都市経済モデルの適用, 木計画学研究・講演集, Vol.39, CD-ROM, 2009.
- 5) Morisugi, H. and E. Ohno : A Benefit Incidence Matrix for Urban Transport Improvement, Papers in Regional Science : The Journal of the RSAI, Vol.71
- 6) 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, pp.95-105, 1995.
- 7) 山崎 清, 松橋啓介, 岩上一騎 : 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, 2010.
- 8) Abraham, J.E. : A review of the MEPLAN modeling framework from a perspective of urban economics, Department of Civil Engineering Research Report No.CE98-2, 1998.
- 9) 山口勝弘, 山崎 清 : 環境面で持続可能な大都市の交通体系及び都市構造—首都圏における各種施策が 2030 年までの CO2 排出量に及ぼす影響, 第 25 回土木計画学研究発表会, 2002.
- 10) 尹 鍾進, 青山吉隆, 中川 大, 松中亮治 : 立地変動を考慮した実用的な土地利用・交通モデルの構築, 土木計画学研究・論文集, Vol.17, pp.247-256, 2000.
- 11) 宮本和明, Varameth VICHENSAN, 杉木 直, 北詰恵一 : 先進諸国における都市モデルの適用状況—土地利用モデルを中心として—, 土木計画学研究・講演集, 33, 2006.
- 12) 土井利明, 柴田洋三 : 東海道新幹線の需要予測に関する事後的分析, 土木学会論文集, No.562/IV-35, pp.121-131, 1997.
- 13) 千葉都市モノレール検討委員会 : 千葉都市モノレール事業に関する提言, 2002.
- 14) 小泉 啓 : 鉄道需要予測の事後分析事例, 土木学会誌 Vol. 88, No.7, pp.19-21, 2003.
- 15) 森川高行, 永松良崇, 三古展弘 : 新交通システム需要予測の事後評価—ピーチライナーを例として—, 運輸政策研究, Vol.7, No.2, pp.20-29, 2004.
- 16) 魚津郁夫著 : プラグマティズムの思想, 筑摩書房, 2006.
- 17) Martinez, F.J. : Towards the 5-stage land-use transport model. In Land Use, Development and Globalisation. Selected Proceedings, Sixth World Conference on Transport Research: 79-90. Lyon, France, 1992.
- 18) Sivakumar, A. : MODELLING TRANSPORT: A Synthesis of Transport Modelling Methodologies, Imperial College of London, 2007.
- 19) Bowman, J.L. : A Review of the Literature on the Application and Development of Land Use Models, prepared for Atlanta Regional Commission, 2006.
- 20) Wegener, M. : Overview of landuse transport models, in David A. Hensher and Kenneth Button (Eds.), Transport Geography and Spatial Systems. Handbook 5 of the Handbook in Transport. Pergamon/Elsevier Science, Kidlington, UK, pp. 127-146, 2004.
- 21) 静岡県建設部都市局都市計画室・浜松市都市計画部交通政策課 : 『平成 21 年度西遠都市圏総合都市交通体系調査業務委託報告書』, 平成 22 年 3 月.
- 22) Simon, H.A. : Invariants of human behavior. Annual Review of Psychology, 41(1), 1-19, 1990.
- 23) Gärling, T. : Behavioral assumptions overlooked in travel-choice modeling. In J. Ortuzar, S. Jara-Diaz & D. Hensher (eds.), Transport modeling. Oxford: Pergamon, pp.3-18, 1998.
- 24) 藤井 聡 : 土木計画のための社会的行動理論—態度追従型計画から態度変容型計画へ—, 土木学会論文集, No. 688, /IV-53, pp. 19-35, 2001.

(2011.2.25 受付)

PROPOSAL AND APPLICATION OF TRANSPORTATION DEMAND
FORECASTING METHOD THAT ACCOUNTS FOR ENDOGENOUS CHANGES
IN LAND-USE AND PUBLIC-TRANSPORTATION-LOS

Shohei OIDA, Akira KIKUCHI, Kenji HIRAMI, Shinichi INOUE and Satoshi FUJII

In this study, we focused on “input-data” that is used for transportation demand forecasting in order to reduce error of prediction. In particular, we developed a simple integrated model to account for endogenous changes in land-use and public-transportation-LOS. As a result of applying this model to practical business, it was indicated that the level of input-data are not consistent with transportation demand and there is a tendency to overestimate transportation demand on business.

-
- ¹ Anas, A. : Residential Location Markets and Urban Transportation, Academic Press, 1982.
- ² Anas, A. : Modeling in Urban and Regional Economics, Fundamentals of Pure and Applied Economics 26, Harwood academic publishers, 1987.
- ³ 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.
- ⁴ 山崎 清, 武藤慎一, 上田孝行, 助川 康 : 東京圏における応用都市経済モデルの適用, 木計画学研究・講演集, Vol.39, CD-ROM, 2009.
- ⁵ Morisugi, H. and E. Ohno : A Benefit Incidence Matrix for Urban Transport Improvement, Papers in Regional Science : The Journal of the RSAI, Vol.71
- ⁶ 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, pp.95-105, 1995.
- ⁷ 山崎 清, 松橋啓介, 岩上一騎 : 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, 2010.
- ⁸ Abraham, J.E. : A review of the MEPLAN modeling framework from a perspective of urban economics, Department of Civil Engineering Research Report No.CE98-2, 1998.
- ⁹ 山口勝弘, 山崎 清 : 環境面で持続可能な大都市の交通体系及び都市構造—首都圏における各種施策が2030年までのCO2排出量に及ぼす影響, 第25回土木計画学研究発表会, 2002.
- ¹⁰ 尹 鍾進, 青山吉隆, 中川 大, 松中亮治 : 立地変動を考慮した実用的な土地利用・交通モデルの構築, 土木計画学研究・論文集, Vol.17, pp.247-256, 2000.
- ¹¹ 宮本和明, Varameth VICHENSAN, 杉木 直, 北詰恵一 : 先進諸国における都市モデルの適用状況—土地利用モデルを中心として—, 土木計画学研究・講演集, 33, CD-ROM, 2006.
- ¹² 土井利明, 柴田洋三 : 東海道新幹線の需要予測に関する事後的分析, 土木学会論文集, No.562/IV-35, pp.121-131, 1997.
- ¹³ 千葉都市モノレール検討委員会 : 千葉都市モノレール事業に関する提言, 2002.
- ¹⁴ 小泉 啓 : 鉄道需要予測の事後分析事例, 土木学会誌 Vol. 88, No.7, pp.19-21, 2003.
- ¹⁵ 森川高行, 永松良崇, 三古展弘 : 新交通システム需要予測の事後評価—ピーチライナーを例として—, 運輸政策研究, Vol.7, No.2, pp.20-29, 2004.
- ¹⁶ 魚津郁夫著 : プラグマティズムの思想, 筑摩書房, 2006.
- ¹⁷ Martinez, F.J. : Towards the 5-stage land-use transport model. In Land Use, Development and Globalisation. Selected Proceedings, Sixth World Conference on Transport Research: 79-90. Lyon, France, 1992.
- ¹⁸ Sivakumar, A. : MODELLING TRANSPORT: A Synthesis of Transport Modelling Methodologies, Imperial College of London, 2007.
- ¹⁹ Bowman, J.L. : A Review of the Literature on the Application and Development of Land Use Models, prepared for Atlanta Regional Commission, 2006.
- ²⁰ Wegener, M. : Overview of landuse transport models, in David A. Hensher and Kenneth Button (Eds.), *Transport Geography and Spatial Systems. Handbook 5 of the Handbook in Transport*. Pergamon/Elsevier Science, Kidlington, UK, pp. 127-146, 2004.
- ²¹ 静岡県建設部都市局都市計画室・浜松市都市計画部交通政策課 : 『平成21年度西遠都市圏総合都市交通体系調査業務委託報告書』, 平成22年3月.
- ²² Simon, H.A : Invariants of human behavior. Annual Review of Psychology, 41(1), 1-19, 1990.
- ²³ Gärling, T. : Behavioral assumptions overlooked in travel-choice modeling. In J. Ortuzar, S. Jara-Diaz & D. Hensher (eds.), *Transport modeling*. Oxford: Pergamon, pp.3-18, 1998.
- ²⁴ 藤井 聡 : 土木計画のための社会的行動理論—態度追従型計画から態度変容型計画へ—, 土木学会論文集, No. 688/IV-53, pp. 19-35, 2001.