

交通需要予測の課題と展望

- 新しいデータ、新しいモデル、そして需要予測不信 -

兵藤 哲朗*

1. はじめに

独断・偏見をご容赦いただくとして、交通需要予測に関わる最近の話題を幾つかあげてみよう。華やかな話題としては、交通行動分析でもおなじみの、カリフォルニア大学 Berkeley 校の McFadden 教授が 2000 年度ノーベル経済学賞を受賞したことが記憶に新しい。交通需要予測にも「非集計モデル」という名の大きな果実をもたらした同教授の研究成果がノーベル賞としても評価されたことは、非集計モデルに長年親しんできた筆者らにとっても嬉しく誇らしい出来事であった。

さて、このような先進的な技術が交通需要予測体系に組み込まれ、作業効率性の面でも予測精度の面でも飛躍的な向上があったにも関わらず、最近では交通需要予測の評判は芳しくない。公的資金を浪費する非効率な資源配分の悪例として、道路や空港などの公共投資がとりあげられる際には、交通需要予測はプロジェクトを正当化する”gimmick”かのように報道されることも少なくない。このような「需要予測不信」を蔓延させてしまった責任の一端は、行政官に限らず、われわれ研究者にもあるといえるだろう。

3 番目の話題としては、本特集企画のタイトルにも掲げられている交通データ革新をとりあげたい。2 年前、東京都市圏を走行するタクシー 20 台の走行軌跡を 1 年以上にわたり、1 秒単位で記録するプローブカーのプロジェクトが実施された。首都圏では、タクシーは平日 1 日、約 280Km 走

るため、今までは想像できなかった、時間的・空間的に精緻でかつ莫大なデータが安価に生み出されることとなった。このような「データの奔流」を目前に、交通需要予測の方法論も一層の改善を余儀なくされている。

最後には、やはり少子高齢化を需要予測に関わる重要な案件としてとりあげざるを得ない。数年先には人口減少が始まる。すでに現時点でも、貨物輸送量、都市内鉄道利用者数など減少に転じている統計値も少なくない。これら「変曲点 (inflection point)」を含んだ統計量のトレンド型予測は、いわば構造変化の最中のデータを用いることになり、多くの課題を孕むことになる。大都市部はともかく、地方都市では明らかな人口減少傾向があるにも関わらず、マスタープラン策定時に人口増を前提としたフレームを外せない自治体も少なくない。これは人口減少を明示的に取り込んだ積極的なマスタープラン策定のあり方が普及していないことに一因があるが、人口減少を見定める予測モデルの考え方が一般化されていないのも問題であろう。

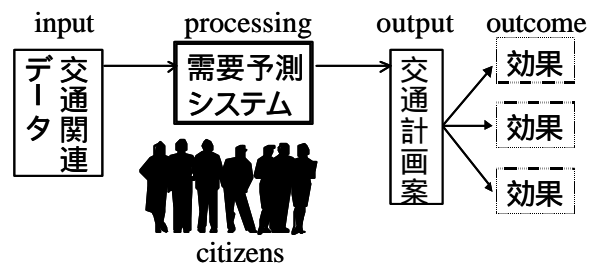


図 - 1 交通需要予測の流れ (とそれを注視する市民)

*東京商船大学商船学部流通情報工学課程助教授

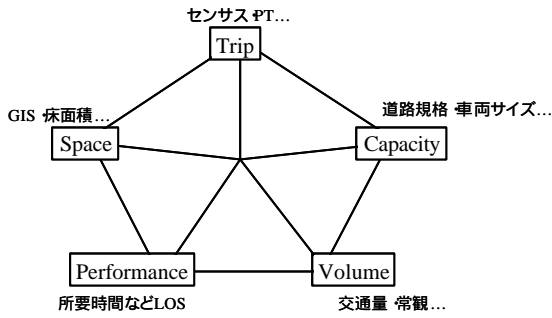


図 - 2 交通データの5要素

いささか長すぎる前段となったが、本稿ではこれらの話題や問題意識を念頭に、交通需要予測に関わる新展開について考察してみたい。本稿の流れとして、図 - 1 に示す一般的な交通需要予測プロセスに即し、交通データ収集の立場(2章) 需要予測モデル構築の立場(3章) 予測結果を初めとする output や outcome を評価する立場(4章) から各々論考を進めることにする。

2. 需要予測と観測の新技术

交通需要予測を巡る「交通データ」は、図 - 2 に示すとおり、主に5種類の特性に分類されると考えている。各特性別に、種々のデータ収集技術があり、IT化に代表される技術革新もその精度やデータサイズに大きな影響を及ぼしているし、調査予算の変動が調査のあり方を変容させることもある。ここでは需要予測のプロセスに関わる交通データについて、キーワードを幾つか考えてみよう。

ここ10年の交通データを巡る動きとしては、「調査規模の縮小化」「複数調査の統合化」「調査の自動化」「調査項目の精緻化(多変量化)」があげられよう。

1) 縮小化

予算制約などにより、PTを初めとして近年、各種のトリップ調査の規模が縮小傾向にあり、アンケート調査の回答率の低下もそれに拍車をかけている。小サンプルのモデル構築を可能とする非集計モデルの適用や、充実した Volume データ(図 - 2)の組み合わせ利用などにより、データ数の

減少にはある程度対応可能である。故に、これらデータサイズの縮小に耐え得る需要予測方法論の開発は、今後とも一層重要視されるべきである。アメリカでも1960年代は日本と同様、大規模なトリップ調査がなされていたが、1980年代以降の調査では、抽出率が1%を超えることは稀である。しかし都市圏調査では、PUMS (Public Use Microdata Samples)と呼ばれる、国勢調査からサンプリングされた個票が公開されており、コントロールトータルの役割を果たしている。わが国でも、いたずらに調査規模を縮小するだけでなく、既存の関連調査の援用や、対応したモデル適用を前提とした最適な調査体系の再設計を根本的に議論すべきであろう。

2) 統合化

行政機構の統合化とも相俟って、従来縦割りで行われていた類似調査を統合化ないしは統合利用する試みが精力的に進められている。1990年からデータが整備された幹線旅客純流動調査がその代表例であるが、東京都市圏では、PT調査と道路交通センサスの統合利用も検討され(図 - 3)、物流調査についても、物流センサスと道路交通センサス、そして東京都市圏物資流動調査の統合利用も議論されつつある。これら複数トリップ調査の統合に際しては、データ年次、調査項目、データ精度の整合性に留意する必要がある。は技術的な問題であるが、については統合利用を前提とした調査間の調整事項であり、技術以前の課題である。ややもすると、データの統合

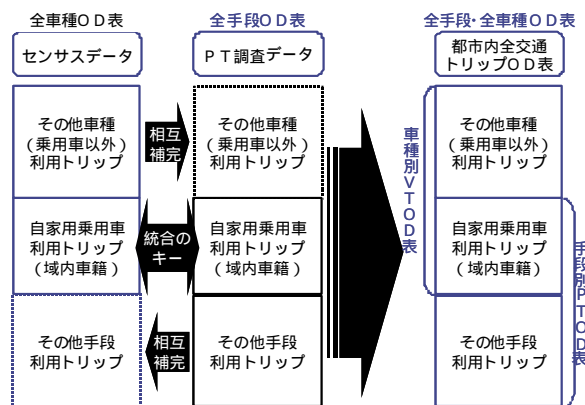


図 - 3 PTと道路交通センサスのデータ統合¹⁾

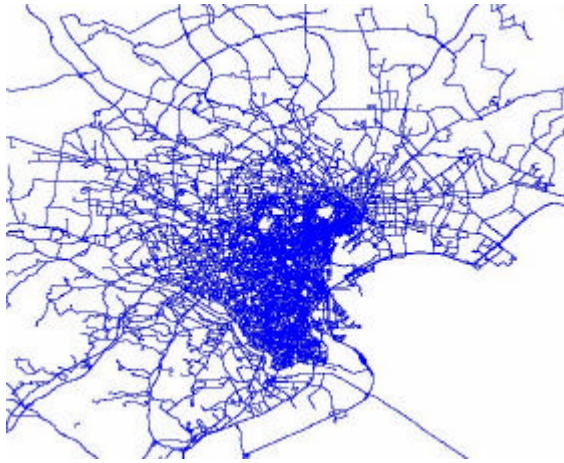


図 - 4 タクシープローブの軌跡図 (2000年5月分、
タクシー20台)¹⁾

利用は個別の調査終了後の付加的作業とみなされがちであるが、今後は統合データの有用性のPRを強化し、統合利用を前提条件の一つとした調査実施を推進する必要性が高い。

3)自動化

1960年以來5年ごとに実施されている、3大都市圏の鉄道・バストリップ調査の大都市交通センサスでは、2000年に初めて自動改札データを取り込んだ調査を実施した²⁾。このような省力化を実現できるIT技術の利用は、プライバシー侵害に留意すれば、今後、ODの把握にも展開可能であり、交通データ革新の中心的な役割を果たすことになる。道路交通では、自動化されたVolumeデータ収集としては以前より常時観測データシステムが存在しているが、今後は有料利用の道が開かれたVICSデータも、Performance(図-2)データの精度向上に大きく寄与するはずである。また、1.でも紹介した、2000年度実施の東京都市圏タクシープローブは、今後道路交通センサスの一環として全国主要都市で展開される見通しである。このような、「断片的」ではあるが、「大量(=高精度)」の情報を有するデータが広まるにつれ、需要予測に求められる精度も変化せざるを得ない。例えば断面交通量調査箇所が増加し、精度も向上しているため、予測モデルの再現性はより一層シビアにチェックされることになる。また従来あま

り吟味されることがなかった配分交通量推計における速度の推計結果も容易に比較対照することができてしまう。需要予測モデルの短長所を適切に把握し、全てのチェック項目をパスし得るモデル構築が極めて困難であることを認識していないと、いたずらに需要予測モデルの不信を冗長することになりかねない。

4)精緻化(多変量化)

「自動化」でプローブカーなど大規模なデータが取得されることも「精緻化」の一つと見なせるが、ここではアンケート項目の増大など、調査時の取得変数量の増大を意味したい。これは非集計行動モデルの発展と連携しているが、個人属性や世帯属性のより詳細な情報を予測モデルに反映させる必要性や、TDMなど短期予測の要請の高まりを背景としたトレンドといえる。また、短期予測重要視の帰結として、一日単位ではなく、時間単位の予測が必要とされつつあるのも「精緻化」の一環としてとらえることができるであろう。道路交通における時間別配分推計も実用化の段階にさしかかっているように思われるが、データを精緻化すればするほど、その予測時の入力データの信頼性が低下する。望まれる予測精度に合わせたデータ設定には十分配慮が必要であろう。

3. 需要予測モデリングの新展開

交通需要予測は様々なモデルの複合体である。大まかに言ってしまうと、生成・発生・集中そして分布モデルの一部は重回帰モデルで構成され、分担モデルが非集計行動モデルに代表される離散選択モデル、そして配分モデルが最適化モデルである均衡ネットワーク配分モデルにより推計されるといえる。モデリングの新展開について、ネットワーク配分モデルについては本企画の赤松論文に詳しいため、ここでは専ら離散選択モデルについて、最近の開発動向を紹介したい。

ノーベル賞、McFadden教授の紹介で述べたように、1970年代初頭に個人の選択結果を確率表現する非集計行動モデルが交通需要予測モデルとして好ましい特長を有することが幅広く認知され、

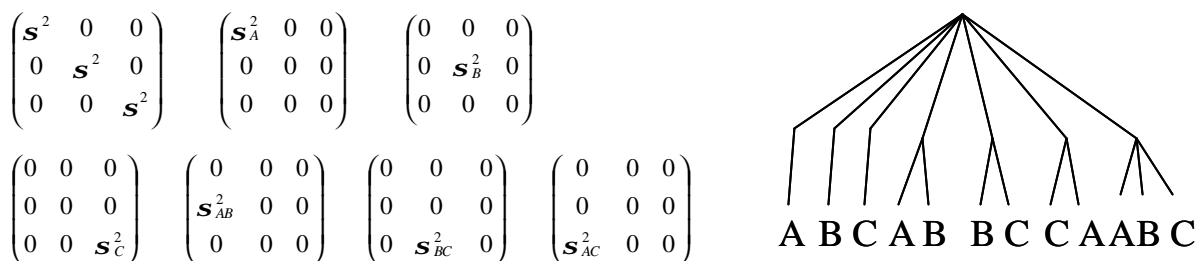


図 - 5 選択枝の誤差分散行列とツリー構造

関連する様々の手法が開発されてきた。主なものとしては、選択枝間の類似性を考慮する Nested Logit(NL)モデルの開発、選択枝集合の確率的な扱い、意識 (Stated Preference: SP) データと実行動 (Revealed Preference: RP) データの統合利用などがあげられる。この間、計算機性能は飛躍的に向上し続けたわけだが、1990年代後半に至り、高速演算能力を背景とした新たなモデル開発の潮流が見られるようになってきた。その代表例が、個別に提案されてきた既存モデル群を包括的に表現可能な Mixed Logit(MXL)モデルと Cross Nested Logit(CNL)モデルである。Logit モデルにおいて、類似した選択枝を他の独立した選択枝と同等に扱うことによる不都合は、「赤バス - 青バス」問題、ないしは IIA (Independence from Irrelevant Alternatives) 特性として問題提起されており、それを回避するモデルとして Probit モデルや、NL モデルが用いられてきた。これまでも、NL モデルの部分的な拡張や、Probit モデルの誤差項を構造化することにより、IIA 特性緩和の一般化が検討されてきたが、MXL モデル、CNL モデルはその究極のモデルともいえる。MXL モデルでは、誤差構造の一般化により、また CNL モデルではモデル構造の一般化により、多重・多層に及ぶ選択枝類似性に対応可能である。例えば、3 選択枝を例にとり、各々の確率効用関数が以下で定義されるとしよう。

$$U_A = V_A + e_A$$

$$U_B = V_B + e_B$$

$$U_C = V_C + e_C$$

ここで3つの誤差項 (e_A, e_B, e_C) が互いに独立で同じ分散パラメータを持つ Gumbel 分布に従う

場合は通常の Logit モデルが導出されるし、選択枝 B と C に「青バス - 赤バス」同様の類似性が認められるならば、B と C をペアとするツリー構造の NL モデルを構築するのが普通である。しかし、選択枝誤差項の分散値が異なる場合 (誤差の不均一) や、「A と B」および「B と C」双方の類似性を同時に考慮する場合など、より一般的な類似構造を表現するには既存 NL モデルでは限界がある。これら選択枝類似性や誤差分散の不均一性は、要素を分解すれば図 - 5 の通り、7 つの項の組み合わせで表現される。図 - 5 の左のマトリックスは、MXL モデルにおける誤差分散共分散を、右側のツリーは CNL モデルにおけるツリー構造の要素を表す。例えば、単純な MNL (Multinomial Logit) モデルは図 - 5 の であるし、選択枝 B と C の類似性を仮定する NL モデルであれば、そのモデルは と の組み合わせで表される。類似性・誤差不均一性を考慮したモデルの自由度は極めて高い。図 - 5 の ~ の要素を組み合わせることにより、多種多様なモデル構造を生み出すことができるが、その組み合わせの数は 109 通りにも及ぶ。

さて、ここまでは選択枝間の類似性を表す手法として CNL、MXL を合わせて紹介したが、これらのモデルは他にも各々異なる特長を有する。CNL モデルは陽的に式形が記述できることもあり、ネットワークフロー (配分) 推計との組み合わせ利用への展開が容易である。ネットワーク上の交通行動では、選択枝集合の設定が困難である。特に経路間の重複が認められる場合、それらを独立の選択枝として扱うことは、先の「赤バス - 青バス」同様、不都合を生じることになる。配分推計の方法論と親和性の高い CNL を用いて、この

問題を克服する試みが近年盛んになりつつある。また機関分担モデルなどについても、CNLが持つ柔軟性ゆえ、複数のネストにまたがる同一選択枝を仮定することができる。これは例えば、車という選択枝が、車単独選択枝でも、P&R選択枝の一部としても利用されることを意味している。しかしこのように、予めツリー構造を特定できる場合はともかくとして、事前の選択枝集合の情報を持たず、単に説明力が最も高いモデルを得ようとすると、最小の3選択枝の場合ですら前述した109通りの全ての選択枝集合についてモデル構築をせざるを得ない。機関分担モデルへのCNLの適用については、選択枝集合特定化の技術は未開発であり、今後検討の余地は大きい。

MXLモデルは誤差構造の仮定により、選択枝間の類似性に止まらず、パラメータの分散や、サンプル間の誤差相関も扱うことができる。前者は個人間で効用関数のパラメータ値が異なるなど、例えば時間価値が確率的に分布する状況を説明できるし、後者は使用サンプルに同一個人の数回回答が含まれ、回答結果間に(同一個人故に)誤差相関が認められる場合など、主にSP回答を用いる場合に生じる局面が例としてあげられる。いずれも従来より、それらに対応するモデルは開発されてきているが、MXLモデルの特長は、同一のプログラムで入力条件を変えることのみで、多くの問題に答えを与えることができることにある。また、CNLモデルもMXLモデルも、ここ10年間の計算機のハードウェア、ソフトウェアの発展がモデル開発に大きく寄与している。ソフトとしては、尤度関数を設定するだけで最尤推定を行ってくれるソフトウェアが不可欠であった。また、MXLモデルは乱数シミュレーションによるパラメータ推定を必要とするが、背景には高速計算が可能な安価なハードの普及があった。

本章の内容は紙面の都合上、極めて限定的な紹介に止まっているし、理解を容易にするために厳密性を欠いた説明となっていることをご了解いただきたい。離散選択モデルの統合化については、ここ数年多くのレビュー論文が発表されているた

め、詳細についてはそれを参照頂きたい^{3),4),5)}。

4. 交通需要予測と説明責任

図-1では「需要予測プロセスを注視する市民」を登場させていた。筆者は観測技術やモデルの進展にも比肩し得るほど、市民に対して説明力のある予測を行うことの重要性が高まりつつあると考えている。最近の道路公団民営化の議論の場でもとりあげられた需要予測結果についても、需要予測システムはBlackboxと見なされがちで、結果に対する不信感を醸し出す元凶にもなっているのではなかろうか。また、昨年、静岡空港の需要予測方法論が現地で大きく問題視され、「空港選択モデルに便数変数を含めるか否か」という極めてテクニカルな問題が新聞でも分かりやすくとりあげられ、議論の焦点となった(図-6)。さらに静岡空港の例では、建設反対の市民団体が公開されているトリップデータや、都市間需要予測モデルを用いて独自の需要推計を行い、それが論議の題材としても取り上げられた。このような状況を見聞した経験から、幾つかの問題を提起したい。

1) 予測モデルの限界と Accountability

実務者・研究者にとってはモデル構築の前提として、常識的な了解事項であるにも関わらず、市



図-6 静岡空港需要予測モデルに関する新聞記事

民の目からは疑問に思うことは少なくない。静岡空港の「便数問題」もその一例であったが、道路交通でも、休日の混雑が激しい箇所にも関わらず、平日観測結果による推計結果しか提示されないことも多いようである。このような modeler と市民との認識のギャップを埋めるためには、より一層、現実に即したモデルを開発することが第1であるが、モデルが持つ限界を明確に説明することも重要である。

2)データの信頼性と予測値の幅

現段階では多くのモデルは一日調査のトリップデータ（PT、道路交通センサスなど）により作られているし、結果の再現性もそのOD表と付き合わせることでチェックされている。しかし平日一日の数%の標本抽出データゆえに、得られたOD表自体、誤差を有していることは自明である。例えば、平成12年度の幹線旅客純流動調査では都道府県間のOD交通量の相対誤差を算出する試みがなされている⁶⁾。流動量の多い東京-札幌（道央）では、その相対誤差は1~2%程度と十分小さいが、流動量の少ないODでは10%以上の相対誤差も報告されている。需要予測のinputデータが誤差を持ち、しかも有限個のパラメータで構成される予測モデルでさらに誤差が増幅されることは十分説明されているだろうか？ 予測結果の当たり外れの言い訳としてではなく、理論的な裏づけに基づいた「予測値の幅」に関する議論は未だ十分ではない。点推定値と実現値との乖離について、不毛な論争を繰り返すことのないよう、予測値信頼性の問題を再考すべきである。

3)信頼される説明者とは？

予測値や予測モデルの諾否が争点になった場合、その信頼性を評価する主体が今は不明確である。賛否両者の立場からの評価結果をもとに、法廷で結論を得るといふ道はもちろん存在するが、時間や費用の面から必ずしも効率的な手段とはいえないであろう。また中立である研究者には、結果評価の役割が期待されるが、個人間の見解の相違も大きく、新たな争議を引き起こす恐れもある。おそらく研究者の集合体でもある学会に、その責務があると思われるし、各学会はこれまでも類似の

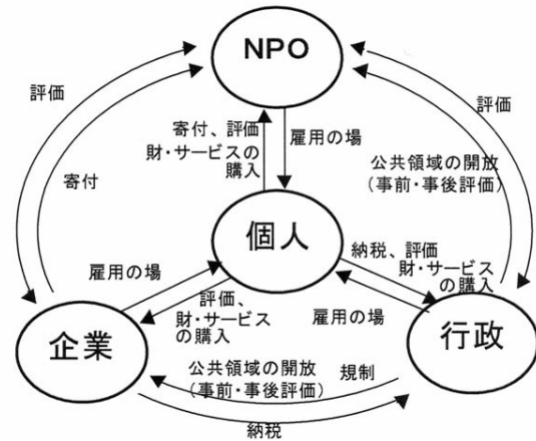


図-7 NPOに期待される役割⁷⁾

活動は展開してきた。しかし交通需要予測結果の吟味を標榜する明確な主体の確立は不十分なように思われるため、今後新たな組織作りが望まれよう。

1999年以来現在に至るまで、7,000以上のNPO法人が誕生したが、学会も広義のNPOである。行政領域の開放に呼応する形でNPOに行政評価などの役割が期待されているが(図-7)交通需要予測結果の中立的な評価およびチェックもその一つと見なせよう。予測結果の信頼性を一層高めるためにも、「信頼される評価主体」を形作ることが急務である。

5. おわりに

最後に、需要予測の課題について、ここまで触れることができなかつた諸点について追記し、将来展望の一助としたい。

1)変曲点を孕んだ需要予測手法

はじめに述べたように、減少傾向に転じた交通需要が多く見られるようになってきた。二次曲線でプロットされた点群を無理に直線回帰するのと同様、従来型のトレンドモデルではこれら「変曲点」を含んだ10~20年間の交通需要は十分な精度で説明できない。より詳細な連続的クロスセクションデータから、構造変化要素を分解した一連のモデルを構築する以外に有効な方法はないように思われる。これまでも年齢階層別原単位の推移や、

コーホート型推計もなされているが、その精度を一層向上させる必要がある。しかしながら、年齢構成の空間分布については分析が遅れているように思われる。例えば、都心部 - 郊外部の年齢構成の変化についてはどんな有効なモデルが存在するのだろうか？ 年齢階層別の「都市内 migration」は大きな課題と思われるがデータ制約もあり、十分な検討はなされていない。

2) 物流交通への対応

都市圏交通量の予測では、人流は PT 調査をもとに 4 段階推定を行うが、貨物交通は配分時に OD 交通量を所与として扱う手順が未だに一般的である。ロードプライシングなど各種の TDM 施策に対して、集配送パターンを変えたり、荷物を集約化させるなど、貨物交通が敏感に変化することは十分あり得る。しかし都市圏レベルの需要予測に耐え得る精度で、これら物流交通の行動規範に則った需要予測モデルを構築する試みは十分なされていない。また、IT 化による交通データ収集技術の進展が本企画の一テーマであるが、物流事業者にとっても走行速度データや混雑情報は効率的な貨物車運行をサポートする重要な情報である。新たな交通データ収集の「シーズ」と「ニーズ」をマッチさせる、「交通データの民需展開」においては、物流関連主体は大きな役割を果たしえる。予測モデルの開発と同時に、データの give & take 関係を築き上げる試みも望まれよう。

3) 途上国の交通計画への対応

ここまで議論してきた需要予測方法論の殆どが先進国の交通状況を前提としていることに留意すべきである。しかし途上国では、極度の混雑状況に陥っていたり、バイク・自転車やパラ・トランジットが都市交通の主たるモードであることも少なくない。極めて断片的な交通データしか存在しないことも多い。例えばバイク分担率が 9 割近いと言われるベトナム大都市では、ピーク時には 1 車線 1 時間当たり 4,000 台以上のバイク交通が観測されるが、車線を埋め尽くすバイクに対応したパフォーマンス関数 (BPR 関数など) の設定は困難であろうし、バイクや自転車、それにパラ・トランジットを明示的に扱う実用的な交通マイクロ



写真 - 1 バイクで溢れるホーチミン市内
(JICA 紺屋氏提供)

シミュレーションモデルも見ることがない。研究対象として興味の尽きない事例が多く、かつ緊急の課題として答えを要求されていることから、これら途上国の需要予測手法開発にも一層の努力が払われることを期待したい。

< 参考文献 >

- 1) 石田東生(2001): 都市交通調査を考える ~ 新しい技術と展望 ~、新たな交通データ収集・活用に向けて、第 38 回土木計画学シンポジウム、土木計画研究委員会交通調査技術検討小委員会、pp.セッション 1_29-セッション 1_43
- 2) 深山剛(2002): 平成 12 年大都市交通センサス - 調査結果と課題 -、運輸政策研究、Vol.5, No.2, pp.80-83
- 3) 羽藤英二(2001): ネットワーク上の交通行動、第 24 回土木計画学研究発表会講演集招待論文、CD-ROM
- 4) 兵藤哲朗・室町泰徳(2001): 個人選択行動モデルの最近の開発動向に関するレビュー、土木計画学研究・論文集、Vol.18, No.3, pp.517-522
- 5) Ben-Akiva, M., McFadden, D., Train, K., Walker, J., Bhat, C., Bierlaire, M., Bolduc, D., Boersch-Supan, A., Brownstone, D., Bunch, D., Daly, A., de Palma, A., Gopinath, D., Karlstrom, A. and Munizaga, M. (2002): Hybrid Choice Models: Progress and Challenges, *Marketing Letters* (forthcoming)
- 6) 運輸政策機構・三菱総合研究所(2002): 全国幹線旅客純流動調査報告書 (案)
- 7) 産業構造審議会 NPO 部会(2002): 中間とりまとめ「新しい公益」の実現に向けて