

第4回仙台都市圏パーソントリップ調査の交通需要予測システム

A Report of Demand Forecast System for the 4th Person Trip Survey in Sendai Metropolitan Area

小島 浩* 吉田 朗** 松井 浩*** 村上 智章**** 馬場 剛*****

By Hiroshi KOJIMA, Akira YOSHIDA, Hiroshi MATSUI, Tomoaki MURAKAMI and Tsuyoshi BABA

1. はじめに

仙台都市圏（仙台市を中心とする20市町村）の市街地の郊外化とモータリゼーションは、10年前に実施された第3回仙台都市圏パーソントリップ調査（以下、PT調査）と比較して着実に進展しています。さらに、世界的に未経験な人口減少社会の到来を間近に控え、都市構造及び社会経済状況の見直しは、益々難しいものとなっています。

このようなことから、仙台都市圏総合都市交通協議会では、これまでの固定的なひとつの都市構造の想定のもとでの都市交通計画アプローチの見直し機運が高まり、平成14年度から第4回仙台都市圏PT調査を実施しました。

その分析アプローチは、自動車依存の都市交通の脱却を目指し、都市構造と交通の一体化のあり方を検討したこと、公共交通を重視した計画・評価体系にしたことが特徴となっています。

このような中で、予測評価の面では次のような取り組みを行いました。

まず、土地利用状況（線引き）に配慮し、かつ、バス交通の予測評価に対応すべくゾーンサイズ及びネットワーク体系を見直したこと、次に、異なる人口配置パターンの都市構造の交通需要を論理的に予測し、料金施策を含めた各種交通ソフト施策に対応した需要予測モデルを構築したことです。

本稿は、第4回仙台PT調査の第4回委員会資料から、交通需要予測体系の要旨を報告するものです。

2. 需要予測検討の技術的な背景

需要予測の標準的方法である4段階推定法は、半世紀以上前のアメリカで、1950年代の統計手法と計算機の性能の下で開発されたものです。

近年、TDM施策や郊外化した市街地の土地利用コントロールなどが交通政策の課題となっていますが、政策変数が限定された4段階推定法は、このような政策課題の評価ができません。

また、4段階推定法は、人間の行動論に依拠せず、個々に独立した4つのサブモデルは行動論的一貫性を持たないことが、4段階推定法の問題点として挙げられます。

このようなことから、仙台都市圏では第3回PT調査において、人間の行動論に依拠した合理的な需要予測モデルを構築しました。このモデルは4段階推定法の問題を解消し、同時にこれまで適切な需要予測が困難だった公共交通旅客の予測や、土地利用コントロール、駐車政策の影響を評価することを可能としました。

第4回PT調査では、幅広い交通政策の効果計測にふさわしい需要予測モデルの構築に向けて、第3回PT調査のモデルには取り入れられなかった運賃などの交通費用や、より詳細な地域特性を反映するモデルの構築に取り組みしました。

この10年間のパーソナルコンピュータの著しい進歩とGIS技術の進歩を背景に、予測の基本単位となるゾーン数を飛躍的に増やし、詳細な交通サービス水準を用意したことにより、全体に説明力を増し、適用性や信頼性を向上させたモデルを構築することが可能となりました。

3. 第4回仙台PT調査の需要予測体系

需要予測手法は、推計過程から2つに大別されます。まず、ゾーン間の人の動きを予測する需要予測モデルと、経路を予測する配分シミュレーションに大別されます（図-1参照）。

需要予測モデルは、確率的選択行動を表現した交

通行動モデルを核にしてモデルから構成されています。

配分シミュレーション手法は、従来の自動車交通配分とあわせて、バス利用者を各系統に割り当てるバス運行系統配分モデルを構築し、リンク別バス利用者数を推計しました。

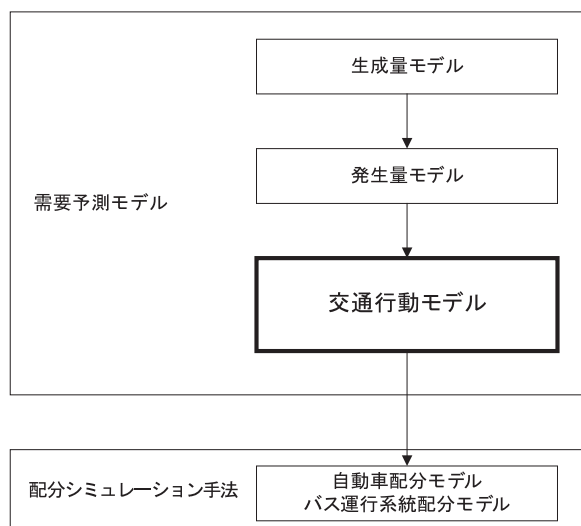


図-1 第4回仙台 PT・需要予測手法の全体構成

4. 予測の前提条件

(1) ゾーン

第4回 PT 調査では、第3回 PT 調査で236ゾーンであったゾーン数を、1825ゾーン（予測時は、離島部分は集約し1821ゾーンとした）に区切っています。

ゾーンを分割した意図は、以下の3点が挙げられます。

- ①予測の基本単位となるゾーンは、都市計画に定められた土地利用に整合させた上で、人口フレーム等が設定されることが望ましいため、都市計画区域及び市街化区域の境界線でゾーンを分割しました。
- ②交通サービス水準のゾーン間所要時間は、ゾーン内の代表的な一つのポイント（ゾーン中心）間の所要時間で計測されるため、ゾーンサイズを小さくすることにより、ゾーン間所要時間などの測定誤差は小さくなり、より精度の高い交通行動モデルの構築が可能となります。
- ③バス運行系統配分モデルによるバス停間利用者数を推計するために、バス停に対応してゾーンサイズを小さくすることが望ましい。

表-1 ゾーンサイズ

	ゾーン数（域内）	ゾーン規模
第3回 PT	236 （内仙台市 164）	5700 人/ゾーン
第4回 PT	1825 （内仙台市 1023）	800 人/ゾーン

(2) ネットワーク

現況の交通ネットワークは、個々の交通機関のシミュレーションに対応すべく、4つのネットワークを作成しました。

道路ベースのネットワークは、平成14年全国デジタル道路地図から、都市圏内の全道路（幅員3m以上）を網羅した「全道路ネットワーク」を先ず作成し、このネットワークから、「幹線道路」「バス」「徒歩・自転車」ネットワークを作成しました。

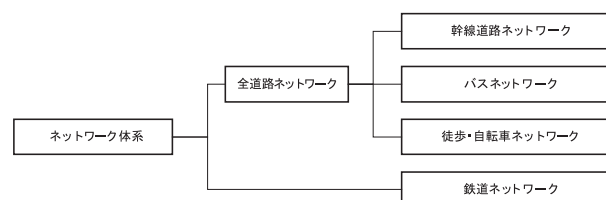


図-2 第4回仙台 PT の交通ネットワーク

表-2 現況ノード数とリンク数

	ノード数 （千ノード）	リンク数（千リンク）	
		全道路 ネットワーク	幹線道路 ネットワーク
全域	33.3	45.6	20.9
域内	28.0	40.1	15.4
域外	5.3	5.5	5.5

5. 交通需要予測モデル

(1) 生成量モデル

生成量モデルは、都市圏全体の1日あたりの目的別総トリップ数を推計するものであり、「生成原単位法」を用いています。

「産業構造の変化（3次産業の進展）」、「モータリゼーションの進展」及び「高齢化の進展」など、社会潮流変化を反映できるものとなっています。

(2) 発生量モデル

発生量モデルは、各ゾーンから発生するトリップ

数を目的別に推計するものです。モデルは、夜間人口や従業人口、土地利用を表す要因を考慮した線形式としました。

表-3 発生量モデルの説明要因

目的区分	説明要因	符号	内容
通勤	第2次産業就業人口	+	居住地の第2次産業就業者数
	第3次産業就業人口	+	居住地の第3次産業就業者数
	非就業者数	+	夜間人口-就業人口
通学	就学者数	+	居住地の児童・生徒・学生数
	第3次産業従業者数	+	勤務地の第3次産業就業者数
私事	第3次産業就業人口	+	(上記)
	就学者数	+	(上記)
	主婦等非就業者数	+	夜間人口-就業人口-就学者数+第1次産業就業人口
	従学者数	+	通学地の児童・生徒・学生数
	第3次産業従業者数	+	(上記)
	商業集積地がミ-	+	販売業関連従業者数が全従業者数に占める割合が30%以上で、全従業者数が千人以上のゾーンに1
	特別業務地区がミ-	-	特定業務地区に指定されたゾーンに1
	第3次産業就業人口	+	(上記)
	主婦等非就業者数	+	(上記)
	第1次産業従業者数	+	勤務地の第1次産業就業者数
業務	第2次産業従業者数	+	勤務地の第2次産業就業者数
	第3次産業従業者数	+	(上記)
	商業集積地がミ-	-	(上記)
	特別業務地区がミ-	+	(上記)
		+	(上記)

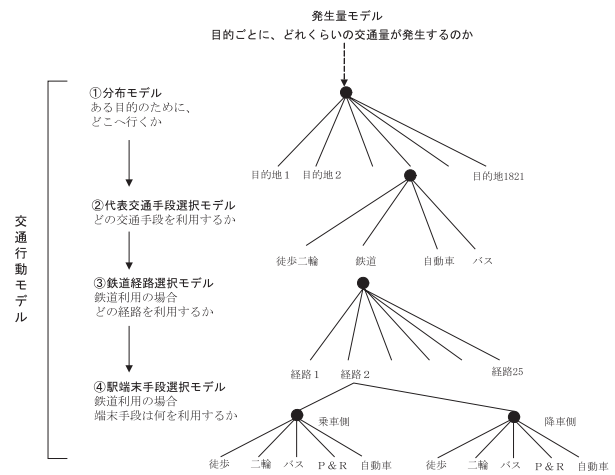


図-3 仮定した交通行動のプロセス

$$P_1 = \frac{e^{U_1}}{e^{U_1} + e^{U_2} + e^{U_3}}$$

また、交通手段2、3についても同様です。このモデルでは、 $P_1 + P_2 + P_3 = 1$ が満たされます。

(3) 交通行動モデル

交通行動モデルは、発生量モデルからの目的別の発生トリップ数を受けて、そのトリップが目的ごとに「①どこへ行き」「②どの交通手段を利用し」「③鉄道の場合どの経路を利用し」「④駅端末交通手段は何を利用するか」という4つの過程に分けて推計するものです。

a) 交通行動モデルの構造

交通行動モデルは、目的地までの全ての交通条件を意識して人は行動するという仮定に基づいて、図-3のような一貫性のある交通選択構造を仮定としたものとなっています。

交通行動モデルは、交通手段選択を例にとると、仮に3つの交通手段を想定した場合の効用は、それぞれ次のように表されます。

ここに、 a 、 b 、 c は係数（パラメーター）、 x 、 y 、 z は説明変数になります。

$$U_1 = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 \cdots$$

$$U_2 = b_0 + b_1y_1 + b_2y_2 \cdots$$

$$U_3 = c_0 + c_1z_1 + c_2z_2 \cdots$$

交通手段1を利用する割合 P_1 が以下の式で表されます。

b) 交通行動モデルの特徴

○交通施設整備による効果計測が可能

交通施設整備、バス施策などの交通政策による効果計測が可能です。

○都市構造の変化による分布交通を表現できる

夜間、従業人口などの人口配置に違いによる交通パターンの変化を表現することが可能です。

○P&R 等鉄道端末サービスの改善を反映できる

鉄道端末における P&R や端末バスのサービス改善による効果計測が可能です。

○運賃・料金政策の計測が可能

交通手段選択モデル（代表、駅端末）及び鉄道経路選択モデルの説明変数に料金が組み込まれ、料金施策など幅広い交通政策の効果計測が可能です。

○地域特性の変化を反映できる

ゾーンが細区分されたことにより、地域の特性をモデルで表現することが可能となり、地域の社会経済変化を交通量予測に反映できるようになりました。

次頁表に、各モデルの説明変数とパラメータの符号を示します。

表-4 分布モデルの主な説明変数と内容

分布	面積 (ha)	+	ゾーン面積
	第2次産業従業者密度 (人/ha)	+	第2次産業従業者数÷ゾーン面積
	第3次産業従業者密度 (人/ha)	+	第3次産業従業者数÷ゾーン面積
	就業者密度 (人/ha)	+	就業者数÷ゾーン面積
	主婦等非就業人口密度 (人/ha)	+	主婦等非就業人口÷ゾーン面積
	特別業務地区ダミー	+	特定業務地区に指定されたゾーンに1
	商業集積地ダミー	+	販売業関連従業者数が全従業者数に占める割合が30%以上で、全従業者数が千人以上のゾーンに1
	温泉・観光地ダミー	+	温泉地・観光地ゾーンに1 (作並・秋保・松島)
	第3次産業特化度	+	第3次産業従業者数÷第2次産業従業者数
	市役所・町役場数	+	ゾーン内施設数
	総合病院数	+	同上
	図書館数	+	同上
	ホール・会館数	+	同上
	美術館・博物館数	+	同上
合成効用値	大型店数	+	同上
	合成効用値	+	交通手段の合成効用値
境界距離ダミー		-	ゾーン間直線距離が9km以上に1

表-5 代表交通手段選択モデルの主な説明変数と内容

モデル区分	選択肢	説明変数	符号	内 容
代表交通手段	徒歩二輪	所要時間 (分)	-	ゾーン間の徒歩時間
		大学生比率	+	就学者に対する大学生割合
		近距離ダミー	+	徒歩時間13分未満に1
	自動車	所要時間 (分)	-	ゾーン間の自動車走行時間
		駐車場整備水準	+	着ゾーンの駐車場容量。但し、駐車場整備地区及び駐車場周辺地区に限定
		自家用車保有台数 (台/世帯)	+	世帯あたりの自家用車保有台数
		第2次産業比率	+	就業者に対する第2次産業者数の割合
		月額駐車料金 (円/月)	-	ゾーン平均月額駐車料金を1日あたりに換
		時間貸し駐車料金 (円/時)	-	算
		走行費用 (円)	-	ゾーン平均時間貸し駐車料金
	バス	所要時間 (分)	-	7/24徒歩時間+乗車時間+7/24徒歩時間
		バス待ち時間 (分)	-	バス停での待ち時間
		運賃 (円)	-	普通料金
	鉄道	第2次産業比率	+	就業者に対する第2次産業者数の割合
		第3次産業比率	+	就業者に対する第3次産業者数の割合
		高校生比率	+	就学者に対する高校生割合
		合成効用値	+	駅端末・鉄道経路の合成効用値

表-6 鉄道経路選択モデルの主な説明変数と内容

モデル区分	説明変数	符号	内 容
鉄道経路	乗車時間 (分)	-	駅間の乗車時間
	駅待ち時間 (分)	-	乗車駅及び乗り換え駅での待ち時間
	乗り換え時間 (分)	-	乗換のための駅間の移動時間 (徒歩)
	運賃 (円)	-	通勤・通学は定期料金、他目的は普通料金
	鉄道距離比率	+	乗車距離÷(駅7/24徒歩距離+乗車距離+駅7/24徒歩距離)
	トリップ距離	-	駅7/24徒歩距離+乗車距離+駅7/24徒歩距離
	合成効用値	+	駅端末交通手段の合成効用値

表-7 端末交通手段選択モデルの主な説明変数と内容

モデル区分	選択肢	説明変数	符号	内 容
駅端末交通手段	徒歩	所要時間 (分)	-	ゾーン駅間の徒歩時間
		二輪車	-	ゾーン駅間の二輪車走行時間
	P&R自動車	高校生比率	-	就学者または通学者数に対する高校生割合
		所要時間 (分)	-	ゾーン駅間の自動車走行時間
		駐車料金 (千円/月)	-	駅を中心に半径200m以内にある月額駐車場の平均料金
	バス	走行費用 (円)	-	ガソリン代
		自家用車保有台数 (台/世帯)	+	世帯あたりの自家用車保有台数
		終端駅ダミー	+	鉄道路線の終端駅
	バス	所要時間 (分)	-	7/24徒歩時間+乗車時間+7/24徒歩時間
		バス待ち時間 (分)	-	バス停での待ち時間
バス結節駅ダミー		バス結節駅ダミー	+	駅広等でバス結節する駅に1
		運賃 (円)	-	普通料金

6. 配分手法

(1) 道路交通の配分

自動車配分モデルは、各種手法を比較検討した結果、交通量と所要時間の関係を表す式 (QV 式) を予め設定し、ゾーン間自動車トリップ数を最短経路に割り付けた容量制約付き分割配分を適用しました。

また、高速道路交通量の推計にあたっては、高速道路料金を時間に換算して行う時間評価値を用いて推計を行いました。分割回数は10回とし、分割比は均等としました。

(2) バス運行系統配分モデル

バス運行系統配分モデルは、交通行動モデルで推計されるゾーン間のバストリップ数を、ゾーン間のバス交通サービス水準を踏まえて、バス系統へ割り付けるものです。

割付方法 (配分モデル) は、最短バス経路への割付としました。

7. モデルの現況再現力テスト

モデルによる推計されたトリップ数を実績値 (第4回 PT 現況値) と比較し、モデルの再現力を確認しました。

確認方法としては、代表交通手段と分布の面から都市圏トリップ数のチェックを行いました。

結果として、総じて現況再現状況は良好であり、信頼性の高いモデルを構築できたことが確認されました。

移動距離別のトリップ数の再現状況を確認したグラフを、下図に示します。トリップ長が短い部分でやや過小推計となっていますが、総じて再現状況は良好でした。

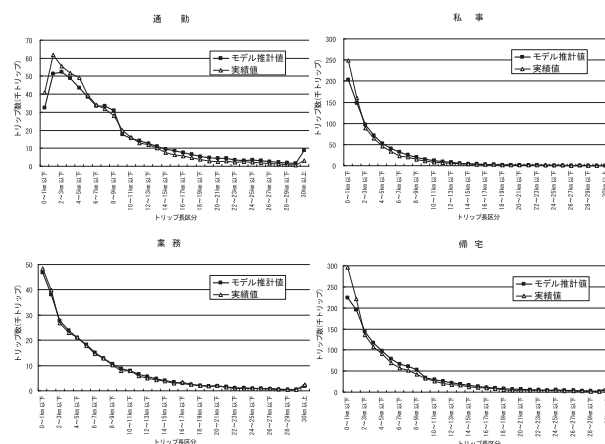


図-4 目的別トリップ長分布別トリップ数の現況再現

8. 評価指標

構築した需要予測モデルにより、下表のような評

表－8 都市交通の目標からみた評価指標

大項目	中項目	小項目	評価指標
(a) 将来の交通状況	[1] 地域別交通需要の変化	・地域別発生集中量の増減	・駅距離帯別発生集中量の差
	[2] 交通手段の多様性	・利用交通手段状況	・代表交通手段分担率
	[3] 道路の供給バランス	・一般道路の混雑度	・大ゾーン面混雑度 ・主要断面混雑度
(b) 都市交通の目標 (交通政策の進め方を除く4目標からみた評価)	[1] 生活の場、都市・地域活動へのアクセスを高める都市交通基盤	・移動距離の短縮	・通勤、私事の平均移動距離 ・手段別平均移動距離 ・移動距離帯別手段構成 ・トリップ長分布別トリップ数
		・公共交通による仙台都心アクセスの向上	・仙台駅公共交通30分圏内夜間人口 ・所要時間分布
		・一般道路自動車走行性	・一般道路の平均走行速度 ・速度ランク別道路延長構成
	[2] 環境負荷・エネルギー消費を抑えた都市交通	・地球温暖化への影響	・自動車走行台キロ ・二酸化炭素排出量
	[3] 文化性豊かな都市を創造する都市交通環境	・都心および都心以外の拠点（核地区）への私事交通（集客力）	・核地区への私事トリップ集中量と集中比率
	[4] どれもが安全に安心して生活できる都市交通	・高い公共交通サービス	・公共交通サービスランク別人口

価指標を、シナリオ別に比較評価することが可能となりました。

9. その他のモデル

(1) 環境（NO₂濃度）の評価

需要予測モデルによる交通量予測値を活用して、NO₂年平均濃度分布を予測するための拡散モデルを構築しました。都市圏各地の大気汚染測定局濃度の再現計算を行い、本モデルが実用的な予測モデルであることを検証した上で、NO₂濃度の予測を行いました。

（評価結果）

2025年におけるNO₂濃度分布予測の結果、今後の自動車排出規制強化により、現況に比べてNO₂汚染は相対的に改善されることが予測されました。

しかし、仙台都心部では、環境目標を超過する地域が依然として残り、2025年においては周辺部幹線道路においても軽微ながら環境目標を超過する区間が残るものと想定されることが見出されました。

表－9 NO₂濃度評価結果

評価項目	現況(2002)	将来(2025)
面的評価		
環境目標超過面積	14.0 km ²	2.3 km ²
超過地域夜間人口	40,300 人	9,100 人
超過地域昼間人口	178,500 人	124,700 人

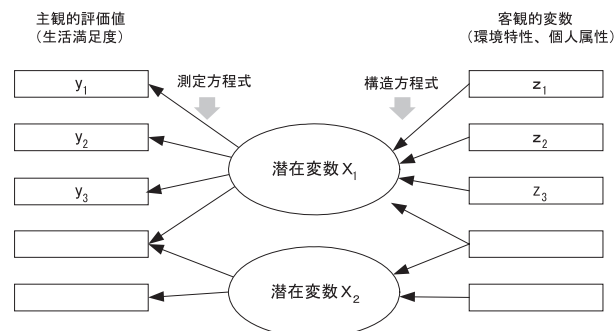
(2) 生活の質の評価

平成14年度意識調査・居住地満足度データを活

用し、「住みやすさ」を表現する「生活の質」評価モデルを構築しました。

このモデルにより、地域の交通環境の変化が、その場所の居住地満足度にどのように影響を及ぼすかを把握することができます。

モデルでは、満足度という主観的データと居住地及び周辺環境を表現する客観的データとを関連づけ、「住みやすさ」を潜在的な因子で表現しました。



図－5 モデルのイメージ

（評価結果）

生活の質を表す以下の5つの潜在変数を確定しました。

「安全性」「アクセシビリティ」「モビリティ」「居住快適性」「近隣快適性」

ここでのアクセシビリティとは、目的地（例えば大型店、病院など）への近接性を表すものであり、モビリティとは、目的地を特定しない中での動きやすさを表現するものです。

この結果から、上記の5つの潜在因子の中で、施設などの近接性を表す「アクセシビリティ」が、総合的な居住地満足へ与える影響が相対的に高いことが見出されました。

また、自動車走行台キロの増大は、「安全性」と「近隣快適性」を低減させることが見出されました。

さらに、夜間人口密度や従業者数密度の増大は、「近隣快適性」にマイナスの影響を及ぼしていることが見出されました。

これらの結果は、コンパクトな都市は、アクセシビリティを高め総合的な居住地満足度を高めることが期待されることを示し、さらに満足度を高めるには、過度な自動車集中を抑制し、人口集中地域の居住環境改善へ配慮した都市計画的な取り組みの必要性を示唆しているものです。

なお、将来の居住環境データを設定することに

表-10 生活の質モデルの推計結果（測定方程式）

測定方程式(居住地満足度と潜在因子の関係)		安全性	アクセシビリティ	モビリティ	居住快適性	近隣快適性
主観的評価値 (調査項目)	買物の便利さ	—	1.00	—	—	—
	通勤通学の便利さ	—	0.95	—	—	—
	郵便局銀行近さ	—	1.03	—	—	—
	医療福祉近さ	—	1.07	—	—	—
	公共交通の便	—	0.98	—	—	—
	自動車使いやすさ	0.35	—	0.55	—	—
	自転車乗りやすさ	—	—	1.00	—	—
	歩きやすさ	—	—	1.09	—	—
	街並みのよさ	—	—	0.49	0.19	0.43
	住宅地のゆとり	—	—	—	1.00	—
	日当たり風通し	—	—	—	0.78	—
	騒音振動が少なく	0.32	—	—	—	0.57
	身近な自然環境	—	—	—	—	1.00
	スエーツ等	—	—	—	—	0.76
	衛生状況	0.66	—	—	—	0.26
居住地満足度	交通事故	1.00	—	—	—	—
	災害安全性	0.98	—	—	—	—
	地区の防犯	0.95	—	—	—	—
	居住満足度	0.26	0.57	0.11	0.13	0.26

表-11 生活の質モデルの推計結果（構造方程式）

構造方程式(客観的な環境データと潜在因子の関係)		安全性	アクセシビリティ	モビリティ	居住快適性	近隣快適性
属性データ	子供(12歳以下)の有無	-0.05	-0.02	—	—	—
	高齢者(70歳以上)の有無	0.03	—	—	—	—
	50歳以上	—	—	0.03	—	—
	世帯規模[人]	—	—	—	—	0.05
	居住年数1年未満	—	—	-0.02	—	—
	居住年数5年以上	0.02	—	—	-0.04	—
	居住年数15年以上	—	—	—	—	-0.02
	一戸建て住宅	—	—	—	0.18	—
	持ち家	0.06	—	—	—	—
	買物・私事アクセシビリティ	—	0.14	—	—	—
居住環境データ	業務アクセシビリティ	-0.04	—	—	—	—
	河川までの距離[km]	0.08	—	—	—	—
	海岸までの距離[km]	0.09	—	—	—	—
	道端までの所要時間[分]	-0.06	—	—	—	—
	小学校までの所要時間[分]	—	-0.02	—	—	—
	中学校までの所要時間[分]	—	-0.04	—	—	—
	病院までの所要時間[分]	—	-0.06	—	—	—
	大型店までの所要時間[分]	—	-0.06	—	—	—
	鉄道駅までの所要時間[分]	—	-0.07	—	—	—
	バスの利便性[分]	—	0.02	—	—	—
	道路網密度[km/km ²]	—	—	0.08	—	—
	自動車交通量密度[台/km ²]	-0.06	—	—	-0.09	-0.07
	農地面積シェア[%]	—	—	—	0.06	—
	森林面積シェア[%]	—	—	—	0.07	—
	橋高[目]	—	—	—	—	0.09
	夜間人口密度[人/ha]	—	—	—	—	-0.11
	従業者数密度[人/ha]	—	—	—	—	-0.07

よって、今後、生活の質モデルによる将来評価が可能となります。

10. 技術面の今後の課題

技術面の今後の課題として、以下のようなものが挙げられます。

- ①TDM 施策を実施した場合、就業者は、通勤時の交通サービスだけでなく、帰宅時の交通サービスも考慮し交通手段選択の意思決定を行っています。このため、今後の発展的な交通行動モデルは、個々のトリップの予測だけでなく、前後のトリップ、さらには1日の行動パターンそのものを予測していくことが望ましいと考えられます。
- ②少子高齢社会を迎え、今後、交通施策のターゲット層を層別化・特定化していくことが望めます。これに対応し、多様な個人属性を考慮したモデルへの発展が必要と考えられます。
- ③交通の利便性が高くなる地域には、その場所に移り住んだり、新たに事業所が立地したりします。長期的予測のためには、交通利便性を反映した人口移動と施設立地を、交通サービスの面から説明できるモデル体系が必要と考えられます。

11. おわりに

仙台都市圏総合都市交通協議会は、本稿で報告した交通需要予測手法による予測評価結果を踏まえ、都市の持続的発展を交通面から支える「都市交通の提言書」を平成17年12月に取りまとめました。

図-6は、この提言書の中で、公共交通を中心として、自動車を「かしこく」使う持続的な都市圏を目指すことを図に表したものです。

最後に、本需要予測手法が、PT 調査をはじめ、その他の実効性ある計画・構想に十分活かせるよう、引き続き技術面側面に改良を加え、さらなる研鑽を重ねたいと思います。

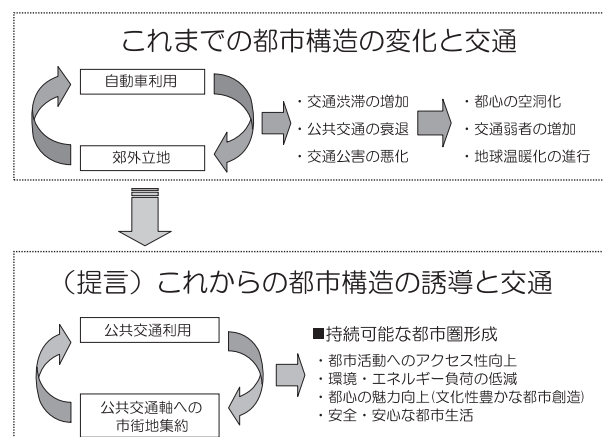


図-6 これからの都市構造の誘導と交通

謝辞：本稿は、仙台都市圏総合都市交通協議会で検討されたものの中から、技術的側面を中心にとりまとめたものです。技術的検討にあたっては、技術検討部会・部会長であります原田昇東京大学教授よりご指導・ご助言をいただきました。また、調査全体の遂行にあたっては、協議会事務局である宮城県土木部都市計画課及び仙台市交通計画課の皆様及び関係機関の皆様には、調査検討する機会を頂いた上、貴重なデータを提供して頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 仙台都市圏総合都市交通協議会：第4回仙台都市圏パーソントリップ調査第4回委員会資料，2005