

# 交通・環境負荷を小さくする都市構造と交通施策に関する研究

*A Study of Urban Structures and Transportation Programs to reduce Traffic and Environmental load*

森田 哲夫\* 小島 浩\*\* 吉田 朗\*\*\*

*By Tetsuo MORITA, Hiroshi KOJIMA and Akira YOSHIDA*

## 1. はじめに

自動車はその豊かな機動力を背景に、人の行動圏を広げ、都市機能の拡散立地を可能とした。

この結果、自動車交通量が道路整備量を上回る勢いで増大し、これまでの都市基盤整備の努力に関わらず、自動車交通に依存した都市環境が形成され、近年では、交通混雑や環境問題など、自動車をもたらす負の側面が看過できない状況となっている。

わが国では、環境問題に対しては、地球温暖化対策推進大綱が平成14年3月に決定され、2008年から2012年までに温室効果ガスを1990年と比べ6%削減させることを目標としている。このうち運輸部門では、1990年の水準に比べて17%の伸びに抑えることを目標としている。

しかしながら、1999年時点の二酸化炭素（以下、CO<sub>2</sub>）の排出量は、1990年水準に対して23%も増加<sup>1)</sup>しており、目標達成に向けた取り組みをさらに強化していくことが求められている。

また、自動車交通による交通問題は、拡散型の都市構造に起因しているとし、近年、交通施設整備が遅れる見通しがある地域については、市街地開発を抑制するなど、都市構造と交通施設整備がバランスしたコンパクトな都市づくりに向けた取り組みが各方面で始まりつつある。

このようなことから、今後の都市交通計画においては、交通施策及び都市構造施策を、都市交通を改善する観点とCO<sub>2</sub>の排出量を抑制する観点から評価することがきわめて重要となっている。

本研究は、温暖化対策と交通改善に関わる施策について、より効果的な施策を見出すため、都市構造施策と交通施策が都市交通（トリップ数、トリップ長、混雑度）に与える影響と、交通環境負荷（CO<sub>2</sub>排出量）に与える影響を定量的に分析し、相互の関

係を明らかにし、都市構造に相応しい交通施策の方向性を見出すことを目的とする。

これまでに、CO<sub>2</sub>排出量と都市構造及び交通政策の関係を分析した研究事例は多くあるが<sup>2)</sup>、本研究は、交通需要の推計にあたっては、従来の4段階推定法の代わりに、理論的一貫性がある交通行動モデルを活用している点、自動車の混雑状況を加味して交通需要予測が行えるよう、配分後のゾーン間所要時間と分担時のゾーン間所要時間が一致した「配分・分布統合モデル」を構築して環境負荷を計測している点が特徴となっている。

なお、本研究の対象都市圏は、鉄軌道をはじめとする公共交通系機関が発達しており、公共交通利用促進策の効果が期待できることを条件とし、仙台都市圏を対象都市圏とした。

また、対象年次は、仙台都市圏の人口ピークが見込まれる2020～2030年とした。

## 2. 仙台都市圏の交通問題と政策シナリオ

### (1) 交通問題

仙台都市圏では、住宅開発が郊外部で進展する一方、従業地は都心に一極集中する等、職住の乖離が見られ、都市内移動距離が増大し、自動車走行台キロが増加している。また、郊外と都心部に挟まれ都市計画道路整備が進んでいない地域では慢性的な交通渋滞が発生するなど、職住乖離に起因する都市環境の悪化が懸念されている。

### (2) 政策シナリオ

#### a) 都市構造政策

趨勢的な人口配置と比べ、どのような都市構造への誘導が、交通環境負荷の観点から効果的なのかを分析する。

分析にあたっては、都市活動のコンパクト化、す

\*交通政策研究室 \*\*東北事務所 \*\*\*東北芸術工科大学

なわち職住の乖離を解消し、バランスのある成長のための都市構造施策として、夜間人口と従業人口の人口配置案を設定した。

都市活動のコンパクト化に向けた都市構造シナリオとして、趨勢型に加え以下の2案を設定した。

表-1 都市構造施策のケース設定

case I (趨勢型)	市街地の郊外化を、このまま継続する状況を想定
case II (都心居住型)	仙台都心または鉄道沿線など、交通サービスが比較的充実した地域に夜間人口を配置する
case III (副都心型)	仙台都心とともに、都心から東西南北の3~6 km 圏にそれぞれ4つの副都心形成を想定し、従業人口を配置する

・都心居住型の夜間人口の想定

夜間人口の増分を通勤利便性の高い地域に配置する。通勤利便性の高い地域は、将来の交通施設計画と趨勢型の従業人口分布を前提に、参考文献3のモデルから通勤利便性を算定し、この数値をもとに仙台市域の増加人口を比例配分した。結果は都心の人口が大幅に回復し、人口の郊外化を抑制された人口配置となった。

再配置した夜間人口は13.2万人（165万人に対して8.0%）であり、趨勢型人口配置（夜間人口）との比較を図-1に示す。

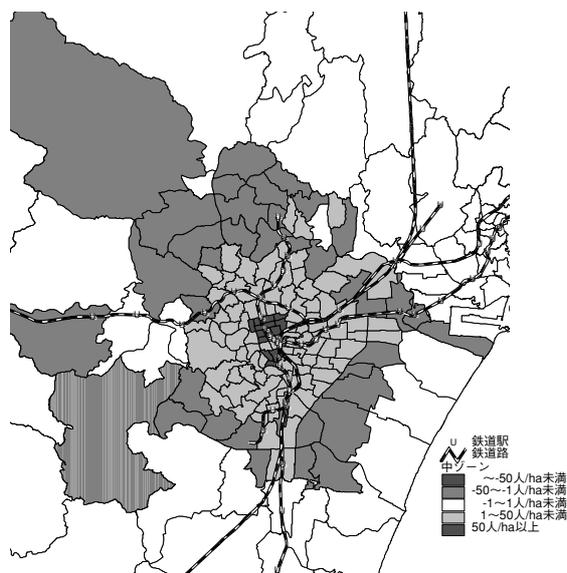


図-1 趨勢型と比べた都心居住型の夜間人口増減地域

・副都心型の従業人口の想定

仙台都市圏の各ゾーンから、仙台都心及び4つの

副都心の中で最寄り地域を設定し、背後圏人口を先ず推計した。都心及び4つの副都心に、背後圏の人口規模に応じた従業人口を集積させる。なお、都心及び4つの副都心以外の地域の従業人口分布は趨勢型とした。

再配置した従業人口は55千人（818千人に対して6.8%）であり、趨勢型人口配置（従業人口）との比較を図-2に示す。

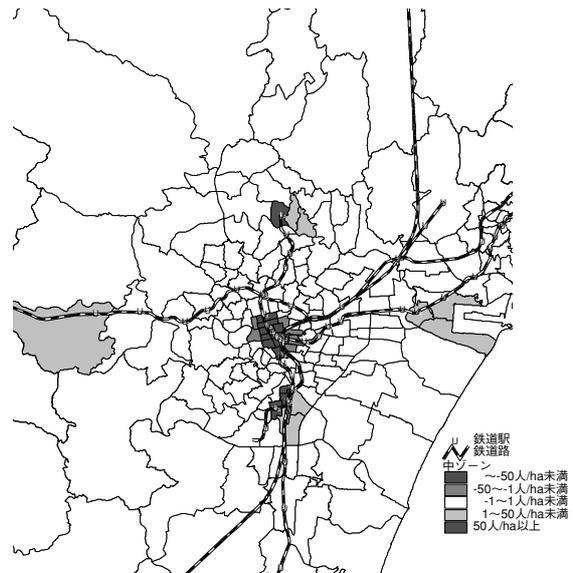


図-2 趨勢型と比べた副都心型の従業人口増減地域

b) 交通施策

CO<sub>2</sub>排出量を抑制する交通施策として「公共交通利用を促進する施策」、「自動車交通を抑制する施策」、「自動車交通を円滑化する施策」の3つに大別し、計6施策を設定した。

表-2 交通施策のケース設定

(公共交通利用を促進する施策)

P&R 施策	都心から3 km 以遠の郊外駅における駐車料金を2分の1とした
鉄道施策	全駅の待ち時間を2分の1とした
バス施策	全バス停の待ち時間を2分の1とした

(自動車交通を抑制する施策)

駐車施策	駐車場整備地区及び駐車場周辺地区の駐車容量を2分の1とした
ロードプライシング	都心部の最高速度を2分の1とした速度抑制策を、ロードプライシングとして取り扱った

(自動車交通を円滑化する施策)

ボトルネック施策	都心部流入部の混雑区間の道路容量（2車線増大）を拡張した
----------	------------------------------

### 3. 交通環境負荷シミュレーションモデルの構築

#### (1) モデルの考え方

本研究のシミュレーションモデルは、都市構造と交通行動、環境負荷を一体的に記述するとともに、交通予測から環境負荷量算出までの過程においては理論的な一貫性が求められる。このため、交通行動部分については、行動論的な一貫性をもち土地利用とトリップ分布の関係を捉えている第3回仙台都市圏PT調査の交通行動モデル<sup>3)</sup>を活用した。

さらに、より現実に即した交通環境負荷シミュレーションを行うためには、交通行動と配分を一体的に取り扱うモデル構築が不可欠であることから、本研究では、分布・手段・配分を統合した需要変動型均衡モデル（以下、均衡モデル）を構築し、環境負荷指標を算出した。

ここでいう均衡とは、利用者はどの手段及び目的地（分布）を変更することによっても自己の効用をそれ以上高めることはできない均衡状態を指す。

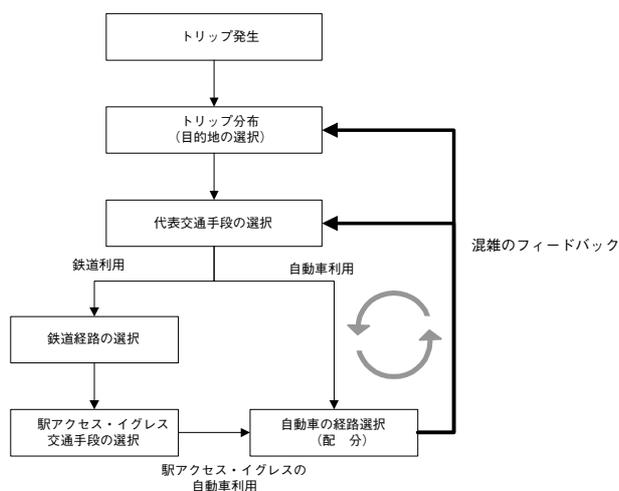


図-3 交通需要予測の推計フロー

#### (2) モデルの定式化

ここでは、仙台都市圏の交通行動モデルについては他に譲り（文献4）、本研究で定式化した均衡モデルについて詳述する。

交通サービス均衡仮説により自動車のOD交通量と同所要時間を同時に決定する。この問題は次のように定式化される。

自動車のOD所要時間  $t_{ij}$  は、道路の容量制約により Flow-dependent であるから、自動車OD交通量  $D_{ij}$  の単調増加関数で表すことができる。これを

自動車の交通サービス関数とする。

$$t_{ij} = t [D_{11}, K, D_{ij}, K, D_{NN}]$$

一方、自動車のOD交通量は、OD所要時間（他手段との相対的優位性）により決定される。ここに  $F[\cdot]$  は交通需要関数である。また自動車以外の交通手段は Flow-independent とする。

$$D_{ij} = [t_{ij}^{bus}, t_{ij}^{rail}, t_{ij}, K]$$

以上より、交通サービス均衡問題は次のような  $D_{ij}$  に関する非線形連立方程式として定式化できる。

$$\begin{cases} F_{11} = [t_{ij}^{bus}, t_{ij}^{rail}, t \{D_{11}, K, D_{ij}, K, D_{NN}\}, K] - D_{11} = 0 \\ F_{12} = [t_{ij}^{bus}, t_{ij}^{rail}, t \{D_{11}, K, D_{ij}, K, D_{NN}\}, K] - D_{12} = 0 \\ M \\ F_{NN} = [t_{ij}^{bus}, t_{ij}^{rail}, t \{D_{11}, K, D_{ij}, K, D_{NN}\}, K] - D_{NN} = 0 \end{cases}$$

この問題の数値解法として、需要関数とサービス関数との反復計算による発見的方法、あるいは降下法（Newton法など）が考えられるが、前者の方法では解の収束が保証されない。ここでは降下法の中でも方向ベクトルにヤコビ行列を用いない簡便な方法としてMSA（Method of Successive Average）／逐次平均法により求解した。

#### (3) 感度分析

先述の均衡モデルを用いて、個々の交通施策が導入された場合を想定し、変数の変化が予測値に適切に表現できるかの確認を行うため、感度分析を行った。本モデルにおいては、道路の混雑状況が目的地選択や交通手段分担に反映されているかが評価のポイントとなる。図-4は、鉄道乗車時間の感度分析結果を均衡モデルと通常モデル（均衡していない）について、帰宅目的以外の鉄道トリップ数の変化率を表したものである。

鉄道乗車時間短縮により鉄道サービスが向上すると、鉄道トリップは増加が見込まれる。一方、鉄道へのシフトによって自動車交通量が減少し、自動車サービスが向上することにより、自動車交通の増加が見込まれ、鉄道へのシフトが抑制されている。したがって、道路の混雑状況を反映し、施策の変化を適切に予測していると考えられる。

均衡モデルでは、通常モデルで十分反映されていなかった道路の混雑状況の反映と、鉄道への転換の抑制が表現でき、交通サービス水準の変化を適切に

表現できていると考えられる。

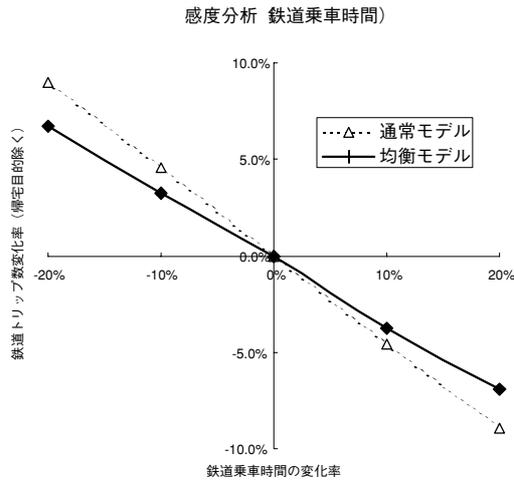


図-4 均衡モデルと通常モデルの感度分析結果の違い (鉄道乗車時間)

表-3は、各変数の弾力性を整理したものである。鉄道については、鉄道待ち時間、鉄道乗車時間ともに、鉄道転換を促進させるが、乗車時間短縮よりは、乗車外時間（待ち時間）短縮の方が、効果が大きい。P&R料金は、弾力性は低いものの、鉄道沿線以外ゾーンの鉄道発生を促す。駐車容量は、駐車場整備地区内の自動車集中量を抑制し、駐車場整備地区以外の集中量を高める。

以上により、乗車時間や待ち時間といった変数についても、モデルは適切に表現している。

表-3 弾力力 (弧弾性値)

	トリップ数の変化		
	鉄道	バス	自動車
鉄道乗車時間*	0.385		-0.063
鉄道待ち時間*	1.381		-0.231
バス待ち時間**		0.638	-0.021
バスアクセス時間**		0.770	-0.027
駐車料金*			-0.290
P&R料金***	0.194		-0.070

注釈) 1% 変化した (減少させた) 場合のトリップ数の変化率  
 \* 鉄道沿線間のトリップ数の変化  
 \*\* 都市圏全域のトリップ数の変化  
 \*\*\* 鉄道沿線外地区発鉄道沿線着トリップ数の変化

## 4. シミュレーション結果

### (1) 都市構造施策の評価結果

都市構造施策については、コンパクトな都市形成を図る「都心居住型」が、自動車交通量を抑制し、

趨勢型及び副都心型に比べ環境負荷を抑える。

環境負荷を削減するには、住宅地の外延化を抑え、住宅供給を都心部周辺に重点的に展開することが望まれる。

表-4 都市構造施策の評価結果

		現況	case I (趨勢)	case II (都心居住)	case III (副都心)
トリップ数 (千トリップ/日)	全手段	3,460	4,084	4,084	4,084
	自動車	1,457	1,707	1,690	1,744
平均トリップ長 (km)	自動車	6.11	6.25	6.16	6.25
自動車交通量 (万台 km)	都市圏	1,793	2,053	2,023	2,088
	都心部 <sup>(注)</sup>	234	258	259	259
混雑度	都市圏	0.83	0.77	0.76	0.78
	都心部 <sup>(注)</sup>	1.03	0.99	1.00	1.00
CO <sub>2</sub> 排出量 (トン/日)		6,155	6,819	6,682	6,965

注) 仙台都心部 3 km 圏

### (2) 交通施策の評価結果

#### a) トリップ数

下図は、case I (趨勢型) の「交通施策なし」を基準に、自動車トリップ数の変化を施策間で比較したものである。P&R 施策は、代表交通手段の自動車を減少させる効果は期待できるが、駅端末部における自動車トリップ数を増大させ、環境面においては無視できないものとなる。

また、ボトルネック施策においても、道路整備区間周辺において自動車トリップ数を増大させる。

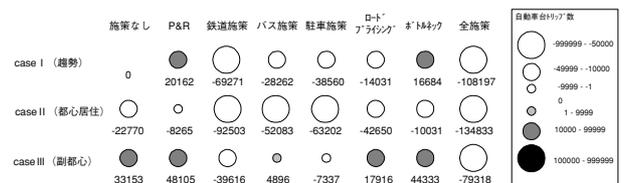


図-5 自動車トリップ数の比較 (単位: トリップ/日)

#### b) トリップ長

駐車施策は、都心部への自動車トリップ数を減少させるものの、都心部以外へのトリップを増大させ、結果的にトリップ長をやや増大させる。

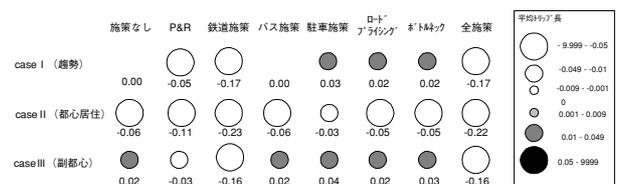


図-6 平均トリップ長の比較 (単位: km)

c) 混雑度

case I、case II の各施策は都市圏全体の混雑度を緩和させるが、case III（副都心型）では、混雑度がやや悪化する。

都心部の混雑度は、どの施策についても混雑が緩和され、交通流動の整流化に寄与する。

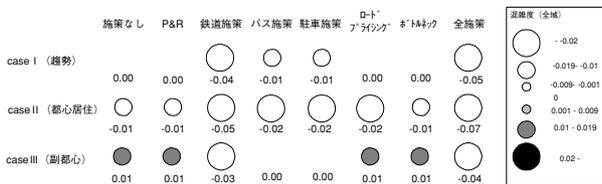


図-7 都市圏全域の混雑度の比較

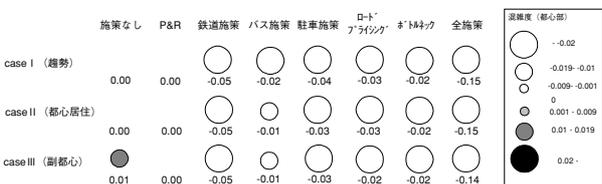


図-8 仙台都心部の混雑度の比較

d) CO<sub>2</sub> 排出量

case I（趨勢型）では、P&R 施策は、端末部の自動車利用を増大させ、「施策なし」よりも CO<sub>2</sub> 排出量を増大させる。

case II（都心居住型）においては、どの交通施策についても、「施策なし」より CO<sub>2</sub> 排出量を減少させることができる。

特に、鉄道サービス向上やバスサービス向上などの公共交通サービス向上により、より大きな CO<sub>2</sub> 量抑制効果が見込まれる。

case III（副都心型）においては、都市構造施策で自動車トリップが増大する中、鉄道施策のみが、「施策なし」より CO<sub>2</sub> 排出量を減少させることができる。



図-9 CO<sub>2</sub> 排出量の比較（トン/日）

(3) 結果の整理

これまでのシミュレーション結果から、各施策を交通特性と CO<sub>2</sub> 排出量の関係から整理する。

図-10 は、自動車台トリップ数を横軸に、自動車の平均トリップ長を縦軸にとり、case I かつ交通施策なしを基準（原点）にし、各施策を位置付けたものである。

自動車台トリップの減少とトリップ長の減少が見込まれる第3象限の施策については、その減少幅に関わらず、CO<sub>2</sub> 排出量が全て削減される。第2象限についても、自動車トリップ数の減少が見込まれ、概ね CO<sub>2</sub> 排出量を削減させる。

トリップ数が増大する第1、4象限の施策は、トリップ長の増減に関わらず、CO<sub>2</sub> 排出量が全て増大する。図-10 を、施策効果の概念図として表すと図-11 のようになる。

鉄道施策やバス施策などの公共交通施策は、鉄自動車交通からの転換を促し、自動車による交通負荷を軽減させると同時に、環境負荷を最も抑える。

また、駐車施策・ロードプライシングについても自動車トリップ数の減少が見込まれ、環境負荷を抑えることが期待できる。

P&R 施策は、代表交通手段としての自動車利用を抑制する量よりも、端末バスや端末徒歩二輪から転換する自動車利用が多くするため、環境負荷は増大する。P&R 施策の導入にあたっては、無条件で利用を認めるのではなく、自動車通勤者に限定したり、公共交通不便地域の住民に限定するなど、工夫を要する。

ボトルネック施策は、趨勢型・副都心型のもとでは、平均トリップ長と自動車交通量を増大させ、その結果、環境負荷を増大させる。これら施策については、環境負荷の軽減を図る意味では、単独実施ではなく、公共交通施策と組み合わせる実施することが望ましい。

以上から、環境負荷軽減を図る上では、都心居住型のもとでは、課題に対応した交通施策が幅広く選択できるのに対して、趨勢型や副都心型の都市構造のもとでは、P&R 施策・ボトルネック施策は単独実施ではなく、公共交通施策及び駐車施策と組み合わせることが必要となる。

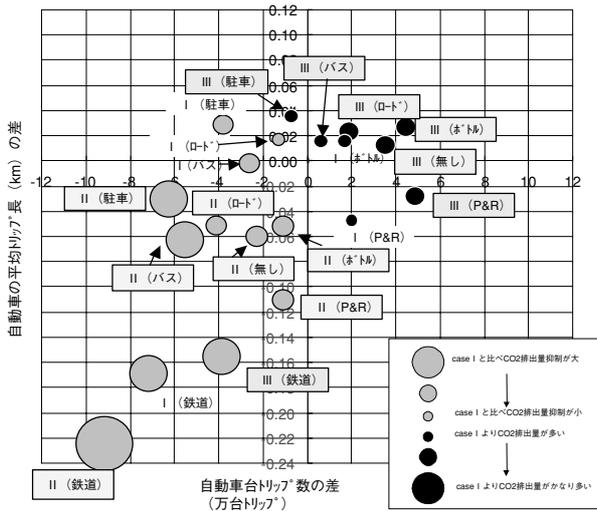


図-10 自動車台トリップと平均トリップ長からみた施策の位置づけ

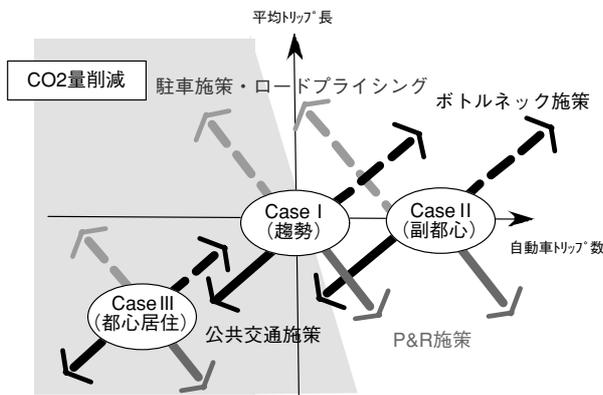


図-11 施策効果の概念図

## 5. おわりに

本研究を通じ、都市構造施策が環境負荷に与える影響、都市構造施策を前提とし交通施策が環境負荷に与える影響を明らかにした。課題としては、交通施策については施策の実現性や難易度を考慮したものではないため、施策間の比較は十分行えるとはいえない面があること、また、仙台都市圏に限定された評価結果であり、他都市において同様な結果が得られるかどうか今後十分に検証していく必要があること等が挙げられるが、本研究の成果は環境負荷からみた都市構造施策と交通施策の方向性を検討する基礎情報となると考えられる。

今後は、都市施策として民生施策（都市緑化、地域冷暖房策等）を加え、交通環境負荷のみならず、生活の質や経済への影響を多面的に評価するモデルの構築について研究を進める予定である。

謝辞：本研究は、国土交通省国土交通政策研究所「環境負荷を少なくするための都市モデルの構築に関する調査」の成果の一部を報告するものである。調査全般の成果は、土木学会第25回土木計画学研究発表会において桐山孝晴氏らから既に発表されている<sup>7)</sup>。調査を進めるにあたっては、委託者の国土交通政策研究所の桐山孝晴氏、片岡孝博氏、権藤公貴氏（現日本道路公団）にご指導を頂き、さらに、研究会の委員として兵藤哲朗助教授（東京商船大学）、森本章倫助教授（宇都宮大学）、花木啓祐教授（東京大学）、秋澤淳助教授（東京農工大学）から有益なご助言を頂きました。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ：  
[http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/kankyuu/ondanka\\_1\\_.html](http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/kankyuu/ondanka_1_.html), 2002.11
- 2) 例えば、山本克也，森本章倫，森田哲夫，最首恵：首都機能移転を想定した仮想都市の都市構造と交通環境負荷に関する研究，第36回日本都市計画学会学術研究論文集，pp 655-660，2001
- 3) 仙台都市圏総合都市交通計画協議会：平成6年度仙台都市圏パーソントリップ調査報告書テクニカルレポート，1995.3
- 4) 吉田朗，原田昇：離散選択モデルアプローチによる集計型交通需要予測手法の開発，「サステナブルモビリティを実現するための都市圏交通計画手法の開発」(研究代表：太田勝敏) 科学研究補助金研究成果報告書，pp 3-25，1998.3
- 5) 吉田朗，原田昇：選択肢集合の確率的形成を考慮した集計型目的地選択モデルの研究，土木学会論文集 No 618/IV-43，pp 1-13，1999.4
- 6) 吉田朗，原田昇：鉄道の路線・駅・結節交通手段の選択を含む総合的な交通手段選択モデルの研究，土木学会論文集 No 542/IV-32，pp 19-31，1996.7
- 7) 桐山孝晴，権藤公貴，片岡孝博：都市構造及び交通・民生施策による環境負荷削減の定量評価，土木学会第25回土木計画学研究（春大会），講演番号 107，2002.6