

国土交通政策研究第42号

「経済成長と交通環境負荷に関する研究 I」

2005年1月

国土交通省 国土交通政策研究所

元総括主任研究官 山口勝弘

前総括主任研究官 掛江浩一郎

総括主任研究官 河田守弘

前主任研究官 栗田まさ子

主任研究官 助川康

前研究官 小池剛史

研究官 太田隆史

はじめに

従来、経済成長と交通需要増に伴う環境負荷は不可分のものとされており、経済成長を支えるための交通・土地利用施策等の交通需要に影響を及ぼす政策が新たな環境負荷を招くおそれのあることが指摘されている。また、経済がグローバル化・ボーダレス化するなかで、発展途上国が経済成長を遂げ、交通需要が増加していく過程においては、現在の先進国がこれまでに辿ってきたのと同様の環境負荷物質の排出が予想され、世界経済の持続的発展にとって極めて重要な問題となる可能性がある。

このような状況のなかで、OECD（経済協力開発機構）は、**Project on Decoupling Transport Impacts and Economic Growth**（経済成長と交通による環境負荷の分離方策に関する研究プロジェクト）を発足させた。国土交通政策研究所では、同プロジェクトの一環として、交通基盤の整備といった各種施策が経済主体別の便益、経済成長及び CO2 排出等の環境負荷に与える影響を定量的に分析できるモデルを構築し、環境負荷の少ない都市・国土構造のあり方に関するシミュレーション分析を行っている。本報告書はその中間報告である。

本研究の実施に当たっては、「経済成長と交通環境負荷に関する研究会」を設置し、東京工業大学大学院理工学研究科 上田孝行助教授、東北大学大学院経済学研究科 林山泰久助教授、芝浦工業大学工学部 岩倉成志助教授、大阪工業大学工学部 武藤慎一講師にご指導いただいた。また、データ分析に関しては、計量計画研究所 佐藤徹治副主任研究員、価値総合研究所 山崎清副主任研究員から多大な貢献をいただいた。

本報告書の発刊に当たり、ここに厚く感謝の意を表する次第である。

2005年1月

国土交通省 国土交通政策研究所
元総括主任研究官 山口勝弘
前総括主任研究官 掛江浩一郎
総括主任研究官 河田守弘
前主任研究官 栗田まさ子
主任研究官 助川康
前研究官 小池剛史
研究官 太田隆史

概 要

概 要

1. 本調査の背景と目的

CO₂ の排出による地球温暖化は、世界的な気象変動を招き、干ばつや洪水、海面上昇等により、我々人類に多大な被害を及ぼす可能性が高いことが広く指摘されている。地球温暖化を防止し、持続可能な発展を目指すべく、1997年、気候変動枠組条約第3回締約国会議（地球温暖化防止京都会議；COP3）が京都で開催され、京都議定書が採択された。京都議定書では、先進国における温室効果ガスの人為的な排出量の削減目標が各国ごとに定められ、我が国については、2008年から2012年（第1約束期間）の排出量の平均水準を1990年の水準より6%削減することが記されている。

これを受けて我が国では、1998年6月に「地球温暖化対策推進大綱」（旧大綱）が策定され、2002年3月にはこれを見直した「地球温暖化対策推進大綱」（新大綱）が策定されている。新大綱によれば運輸部門については2010年度におけるCO₂の排出量を1990年比17%増に抑制することが目標として定められている。しかしながら、2001年度の運輸部門からのCO₂の排出量は1990年比23%増と目標を6%程度上回っており、様々な対策が講じられているところである。

そこで、本調査では現在、検討されている運輸部門におけるCO₂排出量削減施策を精緻に評価するために、これまで運輸部門では用いられていない社会・経済メカニズムを統合的に扱うシミュレーションモデルを構築し、施策による社会経済へのインパクトとそれによる運輸部門へのインパクトの両者を考慮するとともに、環境（CO₂排出量）、経済を同時に同一のモデルで定量的に分析・評価することを目的とする。

また、OECD（経済協力開発機構）は、2001年に Project on Decoupling Transport Impacts and Economic Growth（経済成長と交通需要増に伴う環境負荷の増大の分離方策に関するプロジェクト）を立ち上げており、本調査は同プロジェクトの各国ケーススタディとして参加している。

2. 調査の概要

本調査は、運輸部門からの CO2 排出量を定量的に推計できるモデルを構築し、首都圏において適用を試みるものである。このモデルは、①立地行動モデルと交通行動モデルを統合し両者を均衡させる、②世帯の効用関数や企業の利潤関数の中に交通消費を入れる、ことで誘発交通を考慮した CO2 排出量を推計する構造になっている。構築したモデルを用いて、首都圏における様々な交通政策を条件として CO2 排出量や地域内総生産がどのように変化するかを推計する。

本稿ではモデルの構築までを報告するが、モデルにはなお様々な仮定・制約があり、今後改良を重ねていく予定である。

< 誘発交通について >

交通基盤整備等の交通施策を行うと新たな交通が発生する。この新たな交通需要は誘発交通と呼ばれるが、施策が交通行動のどの段階まで影響を及ぼすかによって発生する誘発交通は変わってくる。図 1 に需要予測の段階と誘発交通の種類を示す。

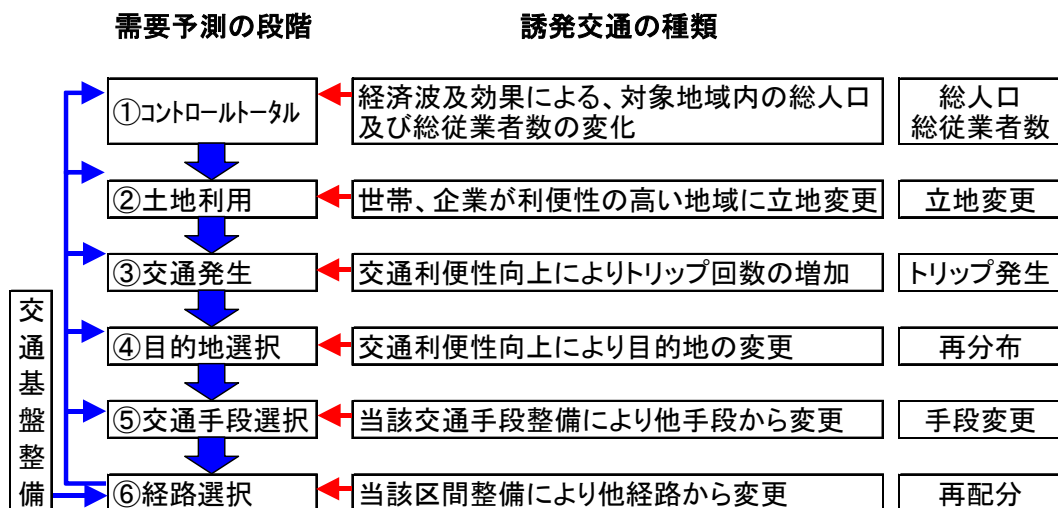


図 1 需要予測の段階と誘発交通の種類

交通需要予測において一般的に用いられている四段階推計法は上記のうち、⑤交通手段選択、⑥経路選択の 2 つしか考慮していない。

(1) モデルの構造

モデルは、①交通ネットワークやゾーン等の空間的な構造を伴う評価モデルとして土地利用・交通モデルを発展させた応用都市経済モデル (CUE)、②総従業者数を推計し、CUE へ渡す地域マクロ計量経済モデル、③CUE から出力される交通量 (自動車交通量、自動車旅行速度、鉄道輸送人キロ) を用いて CO2 排出量を推計する CO2 排出量推計モデルの 3 つのモデルから構成される。(図 2)

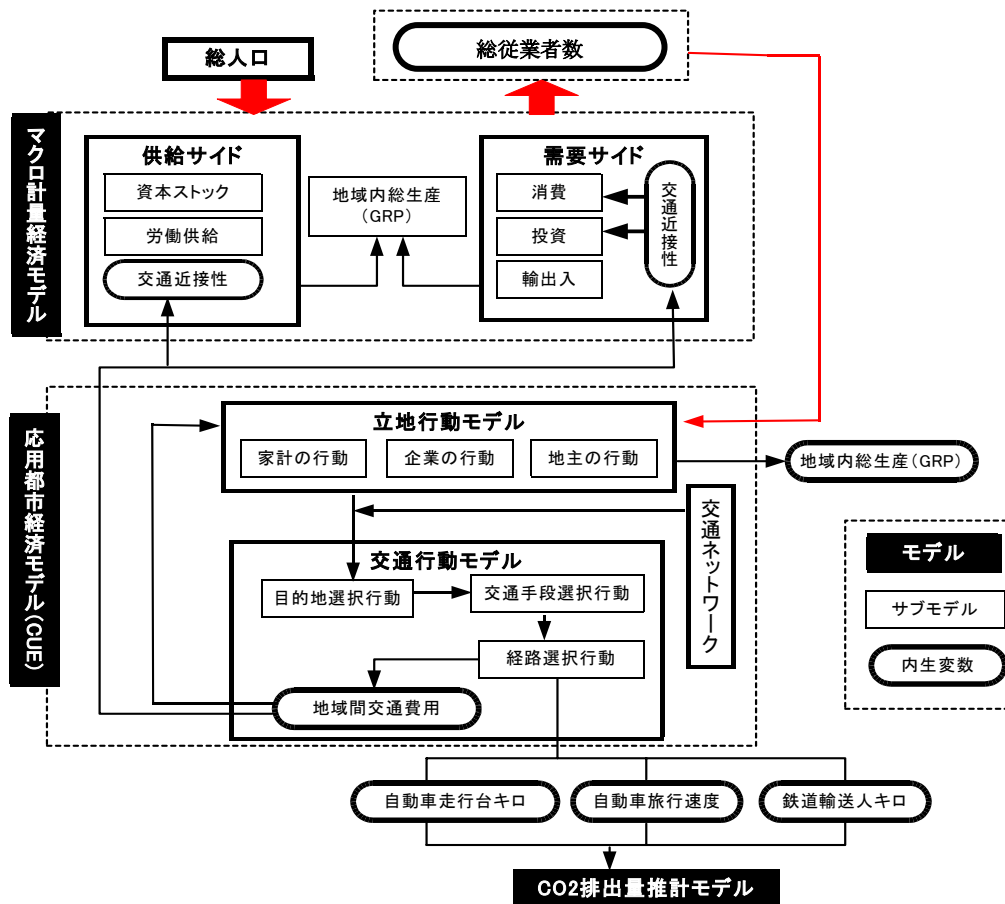


図2 モデルの全体構造

マクロ計量経済モデルは、首都圏の総人口を外生変数として、首都圏の総従業者数を推計し、CUEへ入力する。

CUEは、立地行動モデルと交通行動モデルから構成されており、立地モデルは人口・総従業者数・賃金率を外生変数として入力して、ゾーンごとの人口（世帯）と従業者数（企業）、私事トリップ消費量、業務トリップ消費量を推計するモデルである。世帯（家計）、企業、不在地主の3主体からなり、世帯及び企業はミクロ経済学に基づいた合理的行動を取る（つまり、所得などの制約条件のもとで効用・利潤最大化行動を取る）。

交通モデルは、立地モデルで推計された世帯・企業の立地分布及び私事、業務トリップ消費量（私事、業務トリップ発生原単位）を用いて発生トリップ量を推計し、トリップを交通ネットワーク上に配分していくモデルである。交通モデルで推計された交通条件（ゾーン間移動費用）は立地モデルへ戻され、立地モデルと交通モデルが均衡するまで繰り返し計算される。最終的には自動車交通量及び旅行速度並びに鉄道輸送量が推計される。

これらの推計値はCO2排出量モデルに入力され、最終的なCO2排出量が推計される。

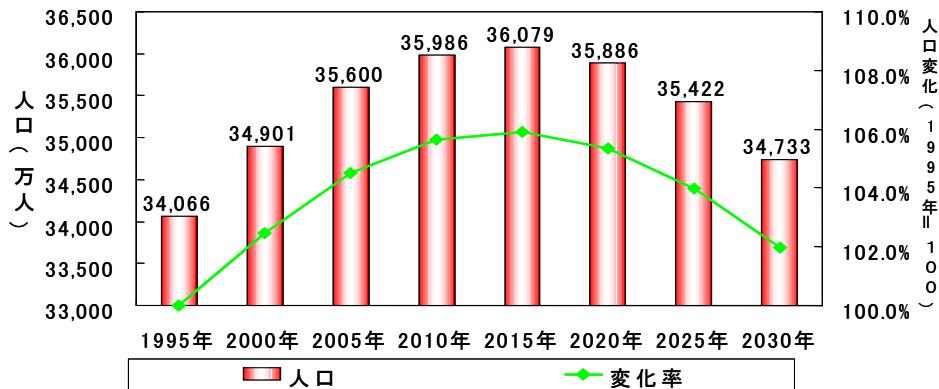
(2) 分析対象地域



本調査の分析対象地域は東京都・神奈川県・埼玉県・千葉県及び茨城県南部とする。ゾーニングは、中心部及び東京近郊は市区町村単位で行い、周辺部は地方生活圏をベースに交通ネットワークを考慮して作成した。ゾーン数は169ゾーンである。

図3 分析対象地域

(3) 人口



対象地域の総人口は、平成14年3月に発表された「都道府県の将来人口推計」(国立社会保障・人口問題研究所)を用いる。

図4 総人口

(4) CO2 排出原単位

CO2 排出原単位は下図のとおりである。

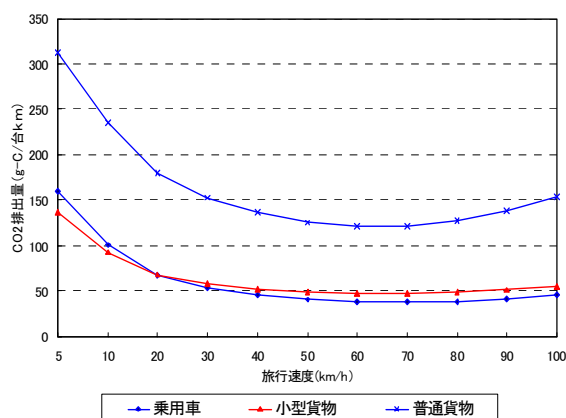


図5 自動車のCO2 排出原単位

(出所：道路投資に関する評価の指針)

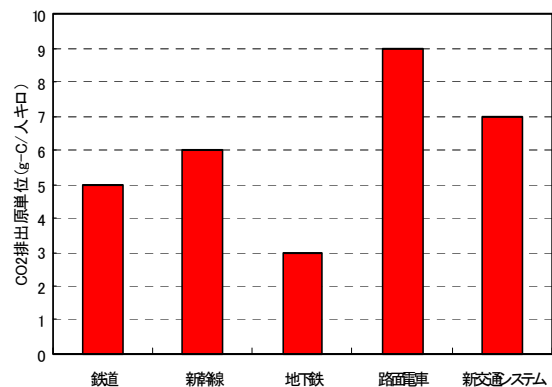


図6 鉄道のCO2 排出原単位

(出所：運輸関係エネルギー要覧)

(4) モデルの暫定実行結果

基準年次は 1995 年、評価年次は 2030 年である。結果を図 6 に示すが、生産額の伸び率以上に CO2 排出量が増加している。交通基盤整備を行うと、誘発交通が発生し、総トリップ数が大幅に増加するためと考えられる。

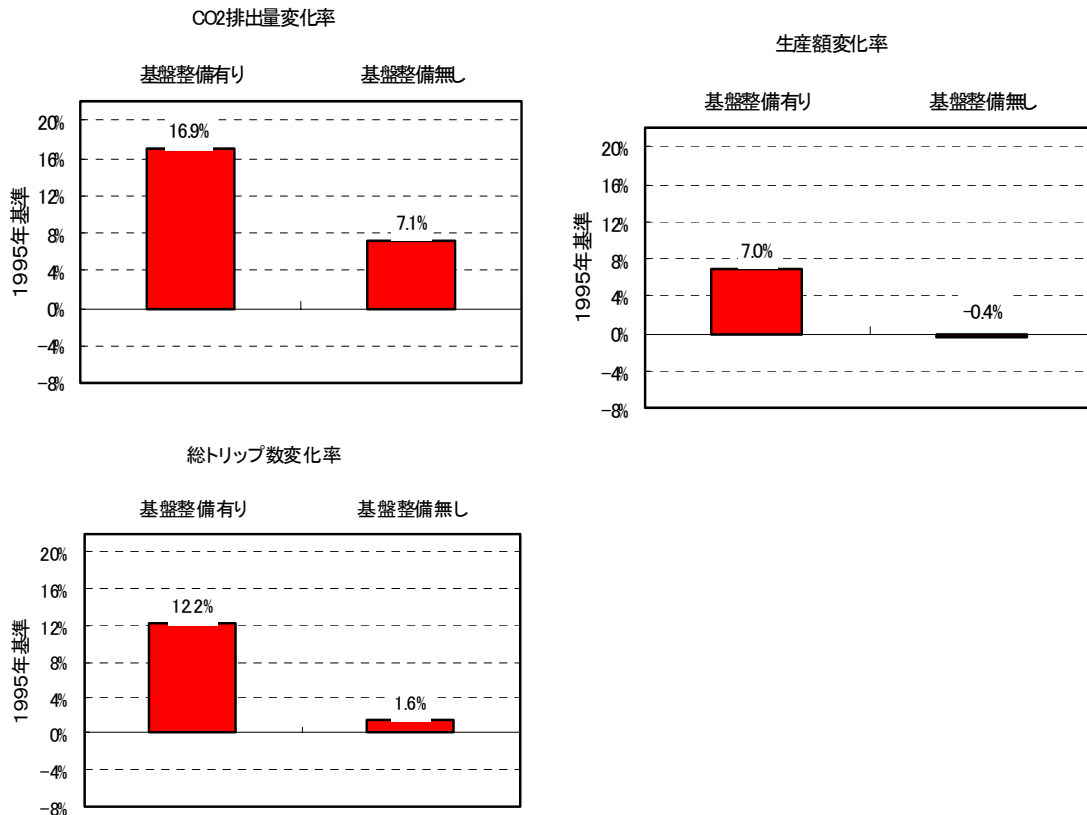


図 6 モデルの暫定実行結果

3. 留意事項と今後の方針

本稿は、研究途中にあるものを紹介したものであり、今後、モデルの改良を行いつつ、結果についてはモデルの仮定・制約を考慮しながら検討を進める予定である。

本研究で構築されたモデルでのシミュレーションによれば、交通基盤の整備は経済成長を促し、便益も発生させるが、誘発交通が発生し、CO2 排出量は増加するという結果が得られる。このことは経済成長と CO2 排出の増加をデカップリング（分離）するための施策の重要性を示唆する。つまり、交通基盤の整備による経済成長、便益を損なうことなく、CO2 排出量を削減するための施策を検討していくことが必要となる。例えば、以下の施策のシナリオが考えられる。今後、これらのシナリオについてシミュレーションを実施し、経済、環境への影響を分析する（表 1）。

その際、以下の諸点を踏まえる必要がある。本研究は交通基盤の整備に伴う誘発交通発生の有無をモデル化しようとする試みの一つであるが、誘発交通は様々な要因に基づき発生しており、正確に推計するためには幅広い検討が必要である。例えば、本研究において

は、交通を含めた財・サービスに対する家計の支出割合（金額ベース）は将来に渡って一定と仮定したため、交通基盤の整備により交通一般化費用が減少した場合に交通消費量が他の財に比べ大きく増加する。つまり、誘発交通が過大に推計されている可能性がある。

また、次の①～⑦に挙げたような限界も存在する。したがって、例えば、道路整備に関し、市町村道から規格の高い道路へシフトすることによる CO2 排出量削減効果が勘案できないこと（②）、物流から発生する交通が外生的に与えられていること（⑤）、鉄道整備により生産効率が向上するという仮定を置いていること（⑥）等から、本シミュレーション結果をもって直ちに政策判断の前提とすることを想定したものではないことに留意が必要である。

- ① 従来の交通需要予測に比べてゾーニングが粗い。
- ② 都道府県道以上の道路についてのみ分析し、市町村道は対象としていない。
- ③ 産業区分を行っていない。
- ④ 企業の交通としては業務交通のみを考えている。
- ⑤ 物流から発生する交通（トラック）や通過交通は外生的に与えている。
- ⑥ 企業の生産効率に関わるアクセシビリティを鉄道の所要時間のみで設定している。
- ⑦ 家計が消費する財は、私事トリップ、住宅地、余暇のほかは全て「合成財」としてくくられ、各財の消費割合は金額ベースで一定であるよう定式化されている。

表1 シミュレーション実行ケース

施策分野	ケース名	モデルへの導入
都市	利用可能土地面積増加	都心部の利用可能な土地面積の増加
道路	道路整備	3環状9放射、第二湾岸の整備
	ロードプライシング	都心部への流入車両に対する料金負荷（コードンエリアは別途検討必要有り）
鉄道	鉄道整備	運政審18号答申A1、A2路線の整備
	鉄道運賃変更	鉄道運賃を全体として一律▲%低減。
		単位距離あたりの運賃を安価な路線に統一 ゾーン制運賃制度とする

目 次

第1章 評価モデルの要件と枠組みの検討	1
1-1 評価モデルの要件	1
1-1-1 従来の評価モデルの課題	1
1-1-2 評価モデルの要件	3
1-2 モデルの枠組みの検討	5
1-2-1 モデル構築の方向性	5
1-2-2 誘発交通の取扱い	8
1-2-3 コントロールトータルへの対処	8
第2章 モデルの構造	11
2-1 モデルの全体構造	11
2-2 応用都市経済モデル (CUE)	12
2-2-1 応用都市経済モデルの全体構造	12
2-2-2 立地行動モデルの構造	13
2-2-3 立地行動モデルの定式化	15
2-2-4 立地行動モデルのパラメータ推計	20
2-2-5 立地行動モデルの修正	25
2-2-6 交通行動モデルの構造	26
2-2-7 交通行動モデルの定式化	27
2-2-8 交通行動モデルのパラメータ推計	29
2-3 マクロ計量経済モデル	34
2-3-1 マクロ計量経済モデルの全体構造	34
2-3-2 マクロ計量経済モデルの定式化	35
2-3-3 マクロ計量経済モデルのパラメータ推計	40
2-4 CO ₂ 排出量推計モデル	45
第3章 モデルの暫定実行	49
3-1 前提条件	49
3-2 モデルの暫定実行結果	52
第4章 考察	69
4-1 暫定実行結果	69
4-2 今後の課題	71

第1章

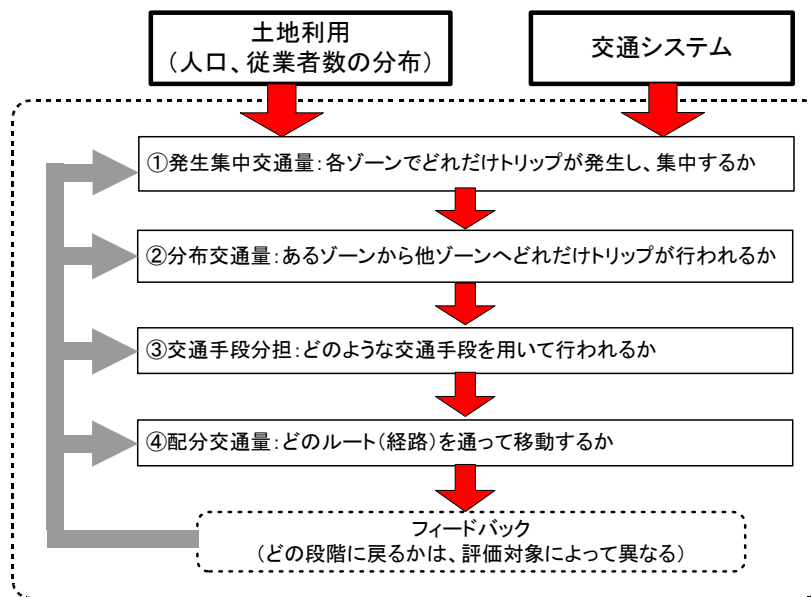
評価モデルの要件と枠組みの検討

第1章 評価モデルの要件と枠組みの検討

1-1 評価モデルの要件

1-1-1 従来の評価モデルの課題

本調査で構築する首都圏モデルでは、道路、鉄道等の交通基盤整備や利用可能土地面積の変化等の空間的に構造を変化させる施策を評価する。これらの施策を評価する際、既存の交通計画では主に四段階推計法を用いて分析してきた。これは、下図のように、交通を社会・経済活動の派生需要として捉え、また土地利用指標を外生的に与えつつ、発生・集中交通量、分布交通量（OD）、交通機関分担、配分交通量の順に決定していくものである。中には、各段階の変化による影響を考慮するためにフィードバック及び同時決定の構造を持つモデルもある。



出所：道路投資の社会経済評価を加筆

図 1-1 四段階交通需要予測の標準的プロセス

本調査のように CO2 排出量削減施策について社会・経済的なインパクトも精緻に分析する場合、この従来の評価モデルは以下に挙げる限界を有することが知られている。

(1) 地域間交通費用の取り扱い

四段階推計法において、交通需要は発生・集中、分布、分担、配分の順に決定される。二段階目の交通分布（OD）は、一般的に発生・集中交通量と地域間交通費用から推計されるが、その際に地域間交通費用は外生的に与えられる。この地域間交通費用は四段階目の配分で算出される地域間交通費用と異なる可能性がある。三段階目の交通機関分担は、一般的に各交通手段間の地域間交通費用の差から算出され

る。OD 推計段階におけるのと同様に三段階においても地域間交通費用は外生的に与えられるため、この地域間交通費用は四段階目の配分で算出される地域間交通費用と異なる可能性がある。

また、交通ネットワークのサービスレベルが需要に与える影響（利便性の向上→発生トリップの増加）や交通が土地利用に与える影響は一切考慮されない。

この課題は後述する誘発交通の考慮有無の問題であり、交通基盤整備により事前の予測・計画段階では想定していない交通量が現実に発生し、大気汚染、騒音、CO2排出量等の環境問題や道路、鉄道の混雑等の問題を引き起こしている。

(2) モデルの理論的な一貫性

四段階推計法を構成する各モデルは、行動論的因果関係ではなく、データに内在する統計的相関に基づいて構築されてきた。例えば、分布交通量（OD）予測モデルでは重力型モデルが使用されるが、このモデルは利用者の行動を反映させたものではない。したがって、仮にモデルがデータに良く適合したとしても、将来にわたって、その感度が妥当なものであり、パラメータが時系列的に、あるいは地域間で安定したものであるという保証はない。

(3) 社会・経済システムとの整合性

本調査は、道路及び鉄道等の交通基盤整備や土地利用施策等の空間的な構造に変化を及ぼす施策が与える社会経済上の影響及び環境負荷（CO2 排出量）を精緻に評価することを課題とする。従来の四段階推計法等の手法では、土地利用等の社会経済行動はあくまでも所与のものであって、交通ネットワークの変化による社会・経済的な変化及びその変化による交通システムの変化を考慮していない。しかし、交通ネットワーク整備による社会経済行動の変化及びそれに伴う交通行動の変化を同時に整合的に導けないことは、モデル実行の結果として得られる経済関連指標及び環境負荷指標（CO2 排出量）の妥当性を弱めかねない。

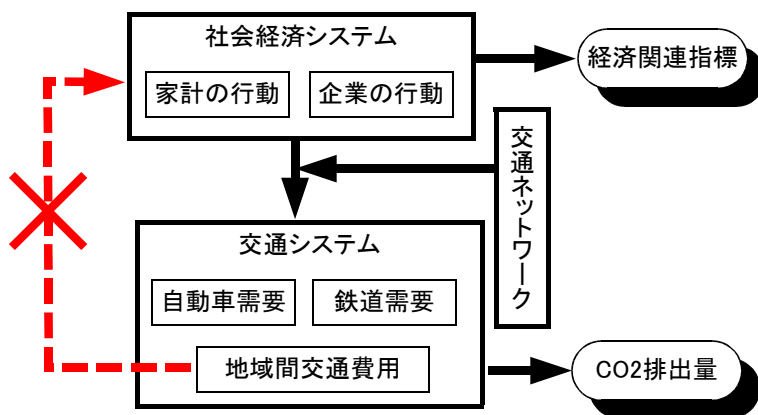


図 1-2 社会経済システムとの整合性

(4) コントロールトータルについて

既存の四段階推計法や土地利用・交通モデルでは対象地域における総人口や総従業者数が外生的に設定されている。これらのうち、総従業者数については労働力人口に就業率を乗じて算出する方法があるが、そもそも就業率の設定に当たって女性、高齢者の就業動向等を予測することが困難であるため、モデル実行の際には大きな課題として残る。

1-1-2 評価モデルの要件

上記のように、四段階推計法に代表される既存のモデルは本調査のモデルとして十分とは言えない状況である。ここでは本調査の目的である精緻な分析を可能とするモデルの要件について記述する。

(1) 地域間交通費用の整合性

四段階推計法では最終段階の配分（経路選択）で計測された地域間交通費用と発生・分布・分担の各段階で使用する地域間交通費用が不整合であるという課題がある。

そこで本調査で構築するモデルは四段階の各段階において地域間交通費用を整合的に扱うことが必要である。これにより交通市場内で事前に想定されていない「誘発交通」の分析が可能となる。

(2) モデルの理論的な一貫性

既存の交通計画では、データの統計的な相関に基づき定式化されるモデルが多く、これらのモデルでは理論的な一貫性に乏しくアカウンタビリティの面で課題がある。

そこで、本調査で構築するモデルでは、家計及び企業等の経済主体の行動自体をモデル化することによって、モデルの理論的な一貫性を明示する。

(3) 社会経済行動との整合性

既存の交通計画は交通市場内の分析・評価であり、社会経済的な波及効果の計測に関しては別途、経済モデルを用いて分析することが一般的であるが、交通は社会経済活動の派生的な需要であり、また、新幹線や高速道路整備のように交通が社会経済に与える影響も大きいため、便益等の経済評価において計測値に歪みが生じる場合がある。

そのため、本調査では交通と社会経済の相互作用を考慮し、社会経済行動と交通行動が同時に決定されるモデルを構築する。

(4) コントロールトータルの設定について

既存の交通計画や土地利用計画の評価モデルでは、総人口及び総従業者数が外生的に設定されており、交通基盤整備に伴う経済波及による社会経済トレンドの変化を計測することが困難である。

そこで、本調査ではこの社会経済トレンドの変化を計測できるようモデルを構築する。

1-2 モデルの枠組みの検討

1-2-1 モデル構築の方向性

ここでは、上記の評価モデルの要件を踏まえ、モデルの枠組みを検討する。まず、地域間交通費用の整合性と社会経済行動との整合性の観点から、基本的には土地利用・交通モデルをベースに検討を行う。

土地利用・交通モデルの研究については、交通需要予測における土地利用モデルとして古典的とも言えるローリーモデルから始まり、1980年代に精力的に研究が進んだ国際共同研究（ISGLUTI）の中で提案されたいくつかのモデルがある。その中には、中村・林・宮本らによる CALTAS モデル、天野・戸田・阿部らによる OSAKA モデル、Echenique らによる MEPLAN 等が含まれる。これら初期の土地利用・交通モデルは空間的相互作用を経験的に定式化するというアプローチが主であった。空間的相互作用モデルは現状再現性等で優れた面があるが、各主体の行動論の一貫性、経済学的な理論面での弱点もあった。

1980年代後半に入り、このような流れを踏まえて、立地均衡概念について理論展開を中心とした議論、あるいは最近の動向としては、同時均衡理論に基づいた宮本らによる RURBAN モデル、上田らの UNHT-MODE モデル、青山らによるモデル等が開発されている。

これらの研究成果を踏まえ、国土交通政策研究所では平成13年に土地利用・交通相互作用モデル（LUT）を基にした東京圏における SIMP¹モデルを用いて、中長期的な施策として交通基盤整備、業務核都市への企業移転の評価を行った（詳しくは、国土交通政策研究第14号「環境負荷の少ない都市・国土構造に関する研究～首都圏モデル～」を参照されたい。）。

上記、LUT では地域間交通費用の取り扱いや社会経済システムとの整合性にも配慮しているが、経済理論との整合性が保たれていないこと、総従業者数が外生で与えられている等、十分なモデルとは言い難い。さらに、モデルの理論面での一貫性やコントロールトータルの設定にも課題が残っている状況である。また、地域間交通費用の取り扱いや社会経済システムとの整合性、そして理論面での一貫性に十分配慮されているモデルとして、上田・武藤による応用都市経済モデル（CUE）がある。

昨年度 LUT と CUE の比較は以下のとおりである。これを踏まえ、本調査では基本的には CUE をベースにモデルを構築する。

¹ SIMP モデル：戦略的統合型大都市圏政策モデル（*Strategic Integration Metropolitan Policy Model*）

【統合型モデルの分類】

①応用都市経済モデル（Computable Urban Economic Model：CUE）の特徴

- 立地均衡モデルと交通モデルとが同時に均衡し、両モデルが矛盾無く結合されており、（仮説的）均衡状態²（全地域で需要と供給が合致）が導かれる。
- 企業、家計、地主の各主体の消費行動が、効用、利潤等による一貫した理論の下に構築されている。
- 等価的偏差（EV）³に基づいた交通基盤整備や都市開発等による便益の評価が可能。（長所）
- 現実には立地変更（引越等）は十数年かかり、仮説均衡状態に至るまでに基本フレーム（総人口等）や交通基盤整備が変化するため、過渡的な状況を再現することは困難。（短所）
- なお、応用都市経済モデルは武藤・上田（2001）、小池・上田（1997）らのモデルがあり、武藤・上田は岐阜都市圏で適用。

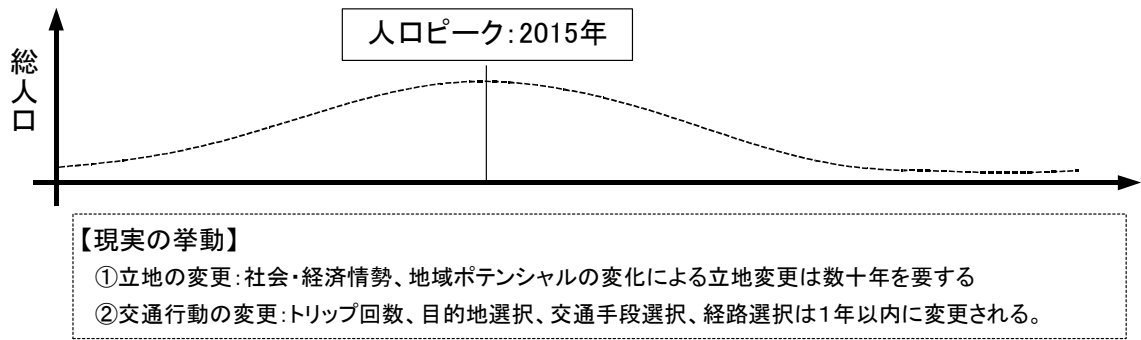
②土地利用・交通相互作用モデル（Land Use Transport Interaction Model: LUT）の特徴

- 前期の交通条件が次期の土地利用モデルに入力される（擬似的）動的構造であり、土地利用と交通が均衡しないモデル。
- 人口、土地利用、交通体系等の変化を経年的に分析することが可能。（長所）
- 土地利用と交通が仮説均衡状態に達しないため、企業、家計、地主の各主体の効用、利潤の変化等による便益の評価は困難。便益の評価は便宜的に交通市場内での消費者余剰で算定。（短所）
- 主に欧州で使用されており、日本では青山ら（2000）のモデルが京都・滋賀で適用されている。

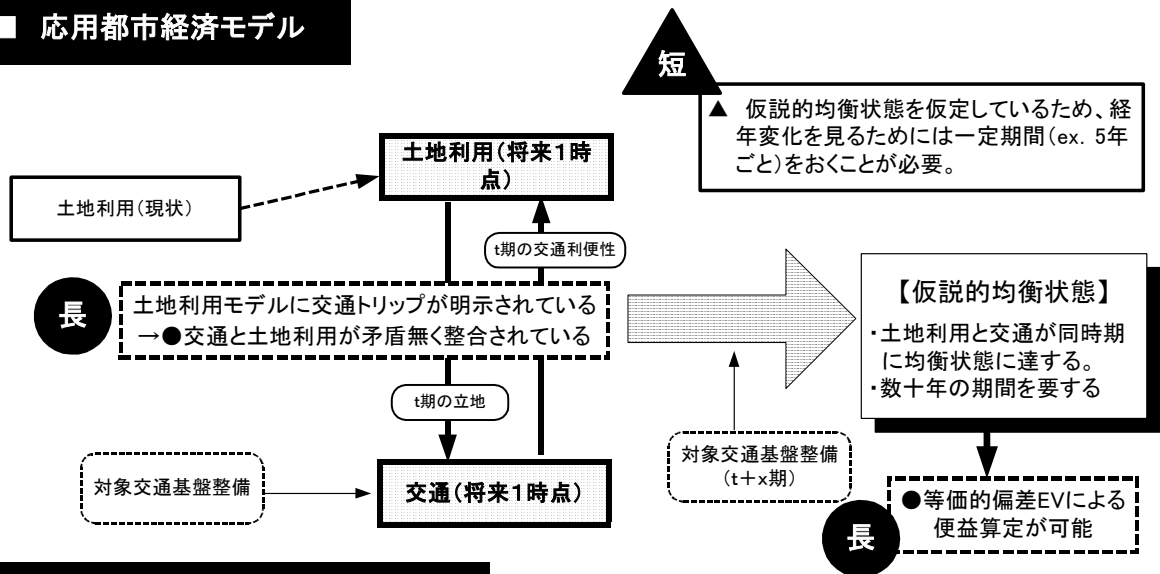
また、次図は CUE と LUT との比較を示したものである。それぞれの長所、短所を ○△で示している。

² 仮説的均衡状態とは、土地の需要量と供給量が完全に合致することであり、価格（この場合は地価等）と需要、供給が同時に決定されることである。政策評価の分野では施策の With/Without 別に仮説的均衡状態を再現して評価を行う。この仮説的均衡状態の変化により便益が評価される構造となる。

³ 等価的偏差（EV）とは施策実施後の効用水準を維持するという条件で、施策を諦めるための補償額であり、効用差を所得換算した値である。



■ 応用都市経済モデル



■ 土地利用・交通相互作用モデル

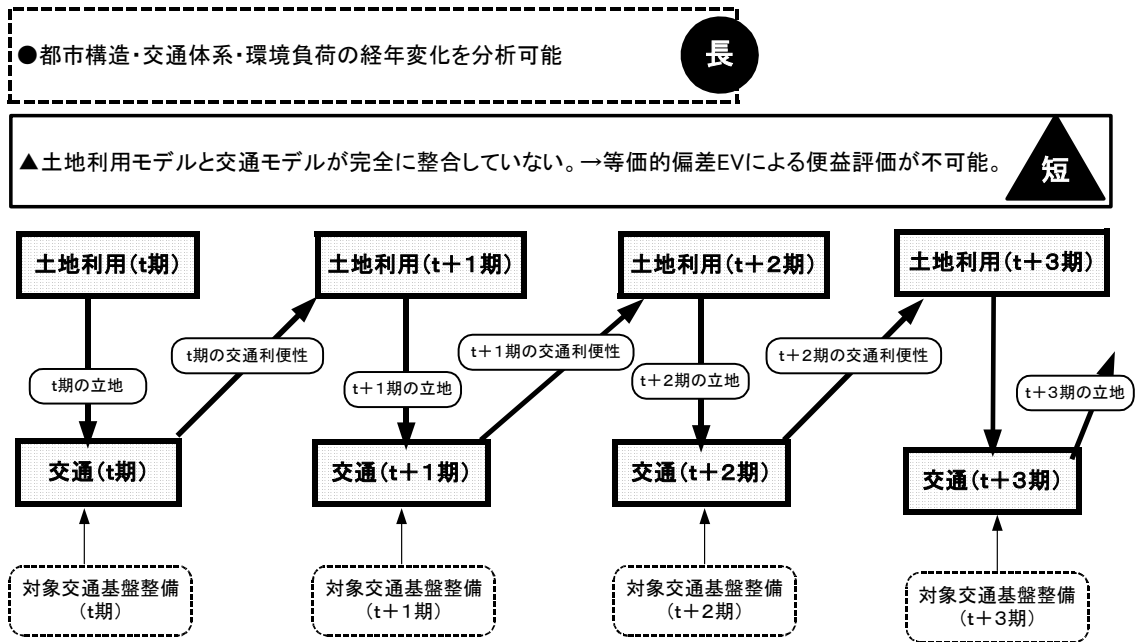


図 1-3 応用都市経済モデルと土地利用・交通相互作用モデルの構造の違い

1-2-2 誘発交通の取扱い

誘発交通は、交通基盤整備やその他の施策によって発生した新たな交通需要である。施策が交通行動のどの段階まで影響を与えるかによって、発生する誘発交通は変わってくる。

モデルによって考慮できる誘発交通が異なる。従来型の四段階推計法では、土地利用（人口分布及び従業者分布）を外生的に与えるため、考慮できる誘発交通は、⑤交通手段選択、⑥経路選択の2つである。LUTでは、②土地利用、④目的地選択、⑤交通手段選択、⑥経路選択の4つである。LUTでは、生成交通量を外生的に与え、コントロールトータルとして設定しているため、交通基盤整備による利便性の向上による1人当たりのトリップ数は変化せず、③交通発生は考慮できない。

これに対し、CUEは、交通条件によってゾーンごとの立地魅力度が決まる点ではLUTと同じであるが、土地利用モデル（本調査においては立地行動モデルと呼ぶ）と交通需要予測モデル（本調査においては交通行動モデルと呼ぶ）が同時に均衡するという特徴を有する。つまり、今期の交通条件が今期の立地魅力度を決め、今期の土地利用状況が今期の交通条件を決める。また、立地行動モデルにおいてトリップ発生原単位が決定される構造となっている（ただし、通勤、通学行動に関しては一定値）。以上をまとめたのが下図である。

	需要予測の段階	誘発交通の種類	従来型 LUT CUE			
			従来型	LUT	CUE	
交通 基盤 整備	①コントロールトータル	経済波及効果による、対象地域内の総人口及び総従業者数の変化	総人口 総従業者数	×	×	×
	②土地利用	世帯、企業が利便性の高い地域に立地変更	立地変更	×	○	○
	③交通発生	交通利便性向上によりトリップ回数の増加	トリップ発生	×	×	○
	④目的地選択	交通利便性向上により目的地の変更	再分布	×	○	○
	⑤交通手段選択	当該交通手段整備により他手段から変更	手段変更	○	○	○
	⑥経路選択	当該区間整備により他経路から変更	再配分	○	○	○

図 1-4 誘発交通の種類とモデル毎の取扱いの比較

1-2-3 コントロールトータルへの対処

前述のように、LUTやCUEでは、総人口や総従業者数等のコントロールトータルは外生的に設定する。また、地域内総生産（GRP）や賃金率等の経済トレンドも外生値である。しかしながら、交通基盤整備等により経済波及効果が発現した場合、その経済状況にあわせて総従業者数も変化するはずである。具体的には首都圏で圏央道や

都市鉄道を整備し、移動が効率化された場合、利便性が向上し、地域内総生産が増大する。その際には、女性や高齢者の就業率も高まり、総従業者数が増加することになる。

本調査で構築するモデルではこれらのメカニズムも考慮することにする。ただし、上述のように CUE では内生的に決定することは困難であるため、別途、マクロ計量経済モデルを組み合わせることで全体のモデルを構築する。

具体的には、総人口のみを外生的に与え、マクロ計量経済モデルで総従業者数を推計し、CUE に入力する。CUE からは地域間交通費用が出力され、再度、マクロ計量経済モデルに入力され、全体の収束計算を行う。

第2章

モデルの構造

第2章 モデルの構造

2-1 モデルの全体構造

本調査で構築する首都圏モデルは、①マクロ計量経済モデル、②応用都市経済モデル(CUE)、③CO₂排出量推計モデルの3つのサブモデルから構成される。

まず、マクロ計量経済モデルにおいて、首都圏の総人口を外生変数として首都圏の総従業者数を推計し、CUEに入力される。CUEから交通近接性が出力され、それが次にマクロ計量経済モデルに入力される。この2つのサブモデル間で相互のデータをやりとりして総従業者数の収束解が導かれることとなる。収束後、CUEから自動車走行台キロ、自動車旅行速度、鉄道輸送人キロが出力され、これらの数値がCO₂排出量推計モデルに入力され最終的なCO₂排出量が推計される。

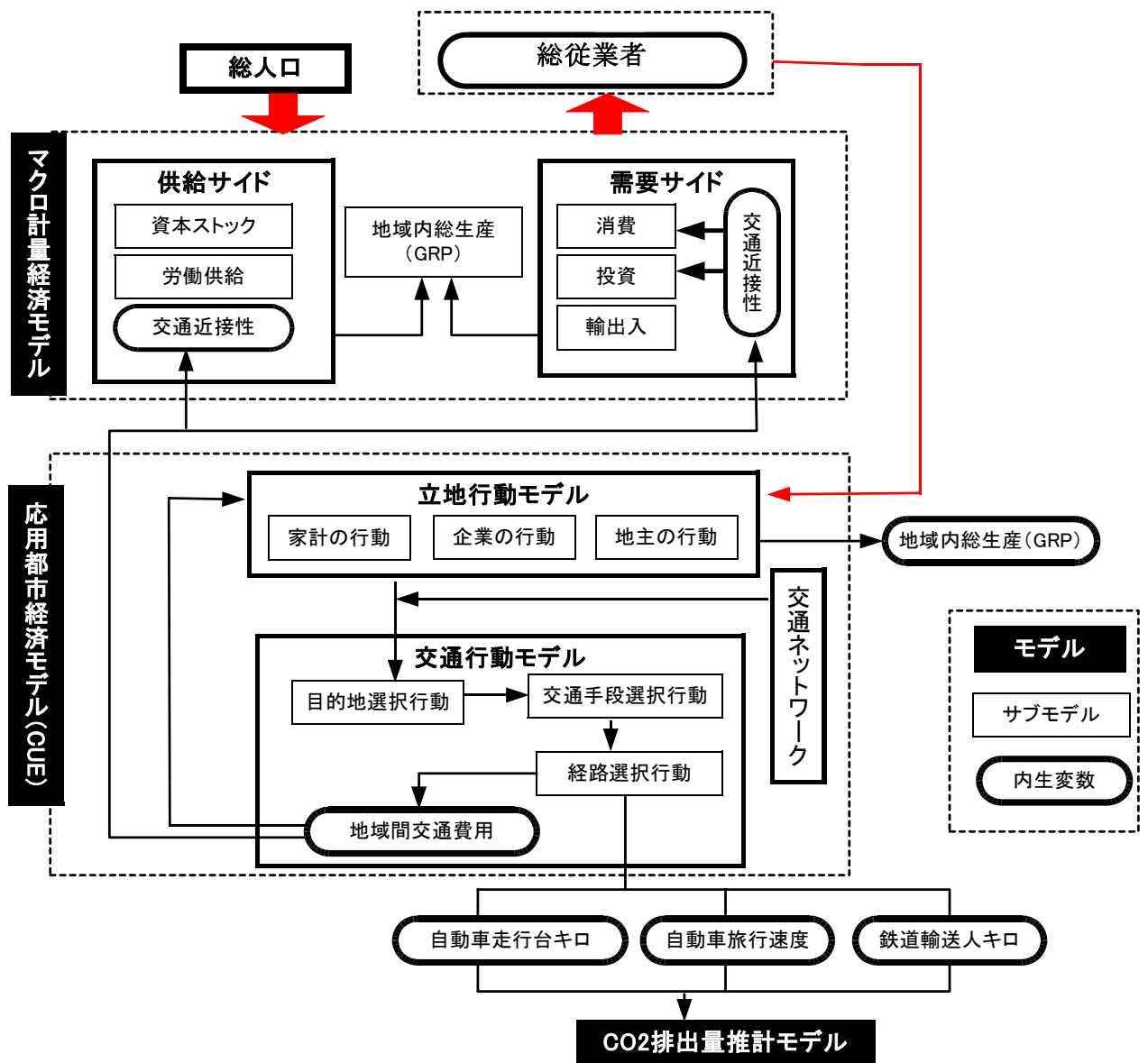


図 2-1 モデルの全体構造

2-2 応用都市経済モデル(CUE)

2-2-1 応用都市経済モデルの全体構造

CUEは立地行動モデルと交通行動モデルの2つのモデルで構成される。立地行動モデルでは、首都圏総人口、首都圏総従業者数、賃金率、交通費用を入力すると、人口(世帯)分布(ゾーンごとの人口)、従業者(企業)分布(ゾーンごとの従業者数)、私事トリップ発生原単位、業務トリップ発生原単位、通勤・通学トリップが出力され、これらを交通行動モデルに入力する。

交通行動モデルでは、交通費用を出力し、立地行動モデルに再度これを入力する構造となる。収束計算の後、モデル全体の実行結果として便益、地代、地域内総生産、自動車走行台キロ、鉄道輸送人キロ、自動車旅行速度が出力される。

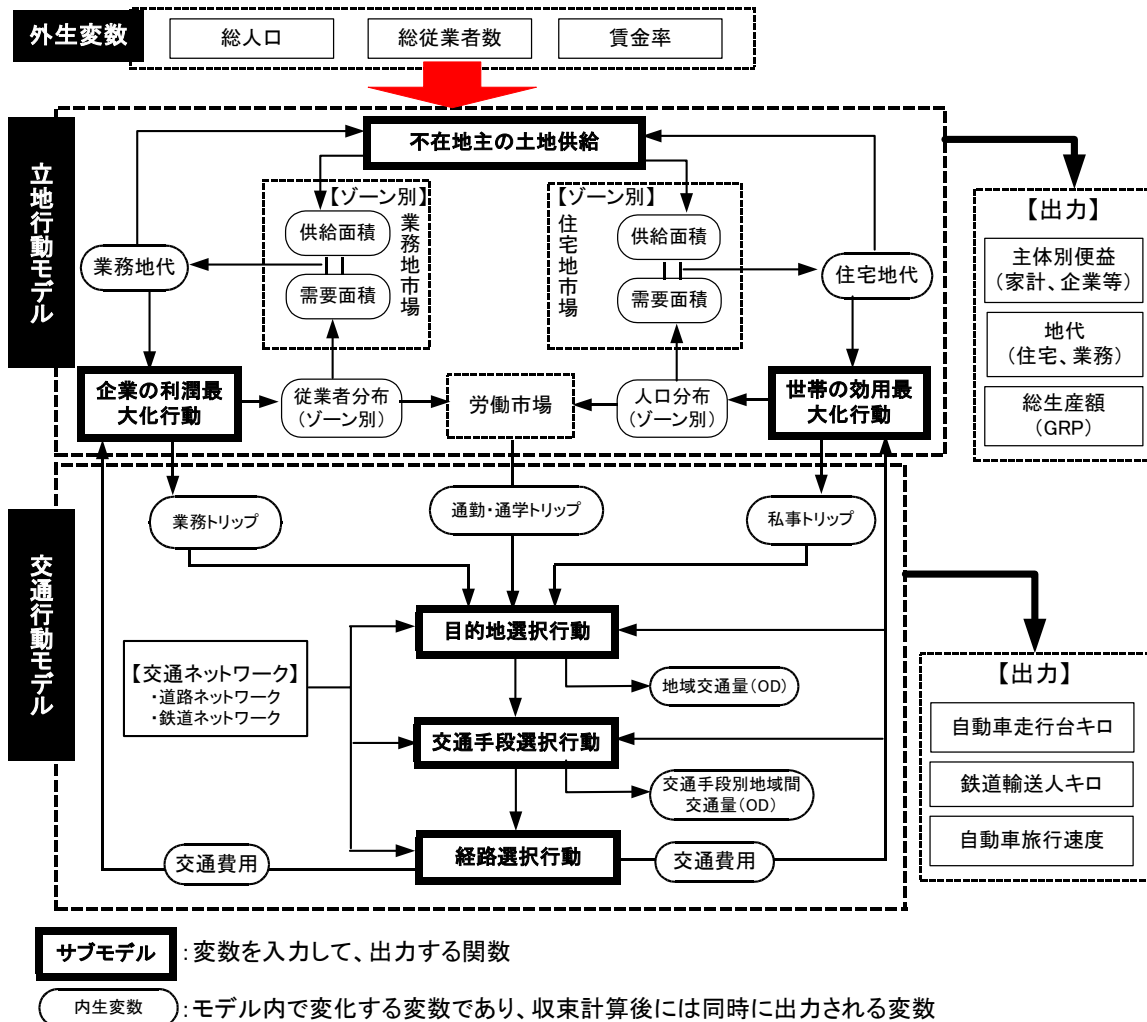


図 2-2 CUE モデルの全体構造

2-2-2 立地行動モデルの構造

(1) 立地行動モデルのメカニズム

家計、企業の立地行動のメカニズムを以下に示す。基本的には家計及び企業の行動は同様であり、ここでは家計の行動について示す。

1) 首都圏総人口の設定

首都圏総人口は、平成14年3月に発表された「都道府県の将来人口推計」（国立社会保障・人口問題研究所）の値を用いる。

2) 各市町村への人口配分

設定された首都圏総人口を各ゾーンへ配分する。配分率にはロジットモデル⁴を使用する。このロジットモデルでは交通費用や地価等を合成した効用値を用いる。

3) 各市町村の地価の決定

各ゾーンへ配分された人口と各ゾーンの宅地量を比較して地価を決定する。地価は所得、宅地量、人口の関数であり、関数型は世帯行動から導出される。

4) 交通費用の計測

当該ゾーンから他ゾーンへの交通費用を計測する。これは通常交通モデルと同様に、道路、鉄道の交通ネットワークから渋滞も考慮して計測する。

5) フィードバック

上記3)と4)で計測・更新された地価、交通費用を2)の配分率（ロジットモデル）に入力して、再度、人口、従業者の各ゾーンへの配分を行い、地価が収束するまで繰り返し計算（均衡解の探索）を行う。

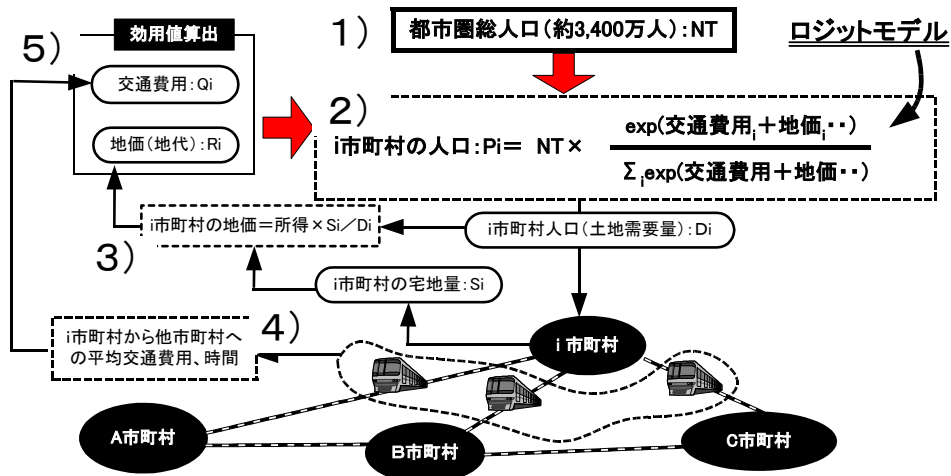


図 2-3 世帯・企業の立地メカニズム

⁴ ロジットモデルとは交通機関分担、オフィス選択、職業選択、マーケティング等の様々な分野において配分率（選択確率）を推計する際に利用されているモデルである。

(2) 立地行動モデルのミクロ経済学的な構造

立地行動モデルは、ゾーンごとの人口（世帯）と従業者数（企業）を推計するモデルである。世帯（家計）、企業、「不在地主」の3主体からなり、世帯及び企業はミクロ経済学に基づいた合理的行動を取る（つまり、所得などの制約条件のもとで効用・利潤最大化行動を取る）。

世帯は生産要素（労働）を提供することで所得を得て、所得の制約内で自身の効用が最大化されるように合成財（住宅以外の財・サービス）、住宅、私事トリップ、余暇の消費を行う。世帯は効用を最大化できるよう居住地の選択を行う。

企業は生産要素（労働と土地、業務トリップ）を投入して利潤が最大となるように生産を行い、合成財を家計に供給する。企業は利潤を最大化できるよう立地選択を行う。

「不在地主」は、モデルの中で設定された、家計及び企業に対し土地を提供し地代収入を得る主体である。不在地主は地代の変化に応じて供給可能面積のうち何割を市場に供給するのかを決定する。不在地主は1つのゾーンに2人いると仮定する（世帯に土地を供給する居住用地の不在地主と、企業に土地を供給する業務用地の不在地主）。また、ゾーンの供給可能面積は所与（固定）であり、政策によって変化するものとする。

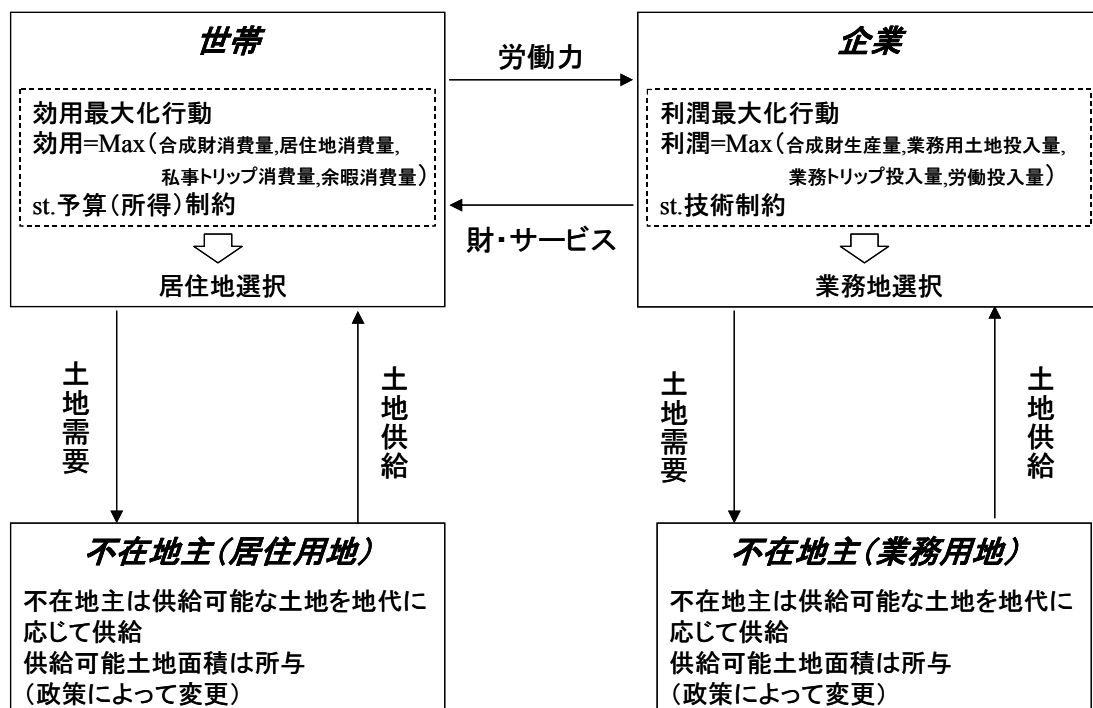


図 2-4 立地行動モデルの構造

2-2-3 立地行動モデルの定式化

(1) 世帯の行動

上述の世帯の効用最大化行動を次のように定式化する。効用関数は線形対数型にて特定化した。この定式化では時間を金銭換算した費用(移動費用等)も考慮しており、移動量を財として定式化している。

$$V_i^H = \max_{z_i, a_i, x_i, l_i} [\alpha_z \ln z_i + \alpha_a \ln a_i + \alpha_x \ln x_i + \alpha_l \ln l_i] \quad (2.2.1.a)$$

$$\text{subject to. } z_i + r_i a_i + q_i^p x_i^p + w l_i = wT - q_i^w x_i^w - q_i^s x_i^s \quad (2.2.1.b)$$

ただし、

V_i^H : 世帯の効用水準、 i : ゾーンを表す添え字

Z_i : 価格を1とした合成財の消費量、 a_i : 住宅地消費量

x_i^p : 私事トリップ消費量(年間1人当たりトリップ数)、 l_i : 余暇消費量

w : 賃金率(外生)、 T : 総利用可能時間(固定)

r_i : 住宅地代、 q_i^p : 私事トリップの一般化価格(期待最小費用)

q_i^w : 通勤トリップの一般化価格、 x_i^w : 通勤トリップ消費量(年間1人当たりトリップ数)

q_i^s : 通学トリップの一般化価格、 x_i^s : 通学トリップ消費量(年間1人当たりトリップ数)

$\alpha_z, \alpha_a, \alpha_x, \alpha_l$: 分配パラメータ ($\alpha_z + \alpha_a + \alpha_x + \alpha_l = 1$)

制約式は、総利用可能時間から通勤・通学時間を引いたものに賃金率を乗じた世帯の総収入と合成財支出、住宅地支出、私事交通費用、余暇時間支出を足した世帯の総支出が等しくなるというものである。

各目的の一般化交通費用 q^p, q^w, q^s は期待最小費用(ログサム費用)を用いて算出し、このログサム費用を全体に用いる(式(2.2.2))。式(2.2.2)の q_{ij} は実際の交通ネットワークより算出している(実際の時刻表より算出した鉄道の所要時間と、道路の混雑度を考慮した自動車の所要時間を、機関分担率で加重平均したもの)。私事トリップの一般化価格は帰宅分(往復分)も含めるため、制約条件には2倍の費用を使用し、便益算定の際に帰宅分を含めたものとする。

$$q_i = \frac{1}{\theta^H} \ln \sum_j \exp(\theta^H q_{ij}) \quad (2.2.2)$$

式(2.2.1)を解くと、以下のように各財の消費量が求められる。

$$\text{合成財消費: } z_i = \alpha_z I_i, \text{ 住宅地消費: } a_i = \frac{\alpha_a}{r_i} I_i, \quad (2.2.3)$$

$$\text{私事トリップ消費: } x_i = \frac{\alpha_x}{q_i} I_i, \text{ 余暇消費: } l_i = \frac{\alpha_l}{w} I_i$$

ただし、 I_i : 世帯の総所得 ($= wT - TW_i - TS_i$)

なお、式 (2.2.3) より、私事トリップ費用が低減したり、所得が増加したりすると、私事トリップ発生量が増加する。つまり、発生段階での誘発交通を考慮していることがわかる。ここで式 (2.2.3) を式 (2.2.1) に代入することにより効用水準が求められる。

$$V_i^H = \ln I_i - \alpha_a \ln r_i - \alpha_x \ln q_i - \alpha_l \ln w + C \quad (2.2.4)$$

ただし、 $C = \alpha_z \ln \alpha_z + \alpha_a \ln \alpha_a + \alpha_x \ln \alpha_x + \alpha_l \ln \alpha_l$

世帯は式 (2.2.4) で求められたゾーンごとの効用水準を指標として、居住地のゾーン選択を行う。ここで世帯の立地選好は全ての世帯が完全に同じでなく、測定誤差の認識、世帯毎の情報伝達の不完全性、観測されない選好の世帯差などから、 V^H をどの程度厳密に評価するかは確率的に分布しているとし、以下のように仮定する。

$$U_i^H = V_i^H + \varepsilon_i \quad (2.2.5)$$

U_i^H : i に立地することにより得られる効用

V_i^H : i に立地することにより得られる観測可能な効用

ε_i : 観測されない選好の誤差 (確率項)

式 (2.2.5) の確率項 ε_i の確率分布形にガンベル分布を仮定すると、居住地選択確率が以下のようなロジットモデルにより与えられる。居住選択確率 P_i^H が得られることにより、ゾーンごとの人口が決定される。

$$P_i^H = \frac{\exp \theta^H V_i^H}{\sum_i \exp \theta^H V_i^H} \quad (2.2.6)$$

確率項 ε_i の確率分布形にガンベル分布を仮定して式 (2.2.5) を解くことは、下式を解くことと同じである。

$$S^H = \max_{P_i^H} \left[\sum_i P_i^H V_i^H - \frac{1}{\theta^H} \sum_i \{P_i^H \ln P_i^H\} \right] \quad (2.2.7.a)$$

$$st. \quad \sum_i P_i^H = 1 \quad (2.2.7.b)$$

ただし、 S^H : 世帯の居住地選択における期待最大効用

P_i^H : ゾーン I の居住地選択確率、 θ^H : ロジットパラメータ

ここで、居住地選択確率が得られたが、本モデルでは、全ての世帯にはこの式を適用せず、世帯を「留保層」と「移動層」に分類し、移動層のみに適用する。一般的な土地利用・交通モデルでは全ての世帯が立地を変更するが、実際にはt期からt+1期の間には全ての世帯が立地を変更するわけではない。そこで、世帯を移動層、変動層に分割し（変動層のみに効用関数が適用され、留保層には適用されないため、計測された便益に歪みが生じる可能性があるが）、国勢調査の人口留保率（表2-1）を参考に、留保層を全体の7割と決め、残り3割の移動層に居住地選択確率の式を適用する。

表 2-1 5年間の人口の留保率

	東京都	茨城県	埼玉県	千葉県	神奈川県	1都4県
留保率（5年間立地変更無率）	62.43%	76.51%	71.47%	69.88%	65.72%	67.30%

注1) 上記データは国勢調査（2000年）の「人口移動集計データ」より1995～2000年のデータを基に作成。

(2) 企業の行動

企業は、土地（業務用地）と業務トリップ、労働を投入して、生産技術制約の下で利潤が最大となるように生産を行っているものとする。なお、ここでは生産関数をコブ・ダグラス型技術により特定化した。

$$\Pi_i^B = \max_{A_i, X_i, L_i} [Z_i - R_i A_i - Q_i X_i - w L_i] \quad (2.2.8.a)$$

$$st. \quad Z_i = \eta_i A_i^{\beta_A} X_i^{\beta_X} L_i^{\beta_L} \quad (2.2.8.b)$$

Π_i^B : 企業利潤、 Z_i : 合成財生産量、 A_i : 業務用土地投入量、 X_i : 業務トリップ投入量、 L_i : 労働投入量
 R_i : 業務地代、 Q_i : 業務トリップ価格、 w : 賃金率、 η_i : 生産効率パラメータ、 $\beta_A, \beta_X, \beta_L$: 分配パラメータ

ここで、生産効率パラメータは応用一般均衡分析では固定的に扱う場合が多いが、本調査の対象地域である東京圏では東京都心部での過度な集積のメカニズムやオフィスワーカーの高い生産効率を考慮するため、以下のように生産効率パラメータが交通利便性の変化により内生的に変化する構造に設定した。

$$\eta_i = A \exp \left(B \left(\frac{1}{ACC_i} \right) \right) \quad ACC_i = \frac{\sum_j m_{ij} E_j^V}{\sum_j E_j^V} \quad (2.2.9)$$

ACC_i : アクセシビリティ、 m_{ij} : ij 間の鉄道所要時間、 E_j^V : 従業者数の留保層、 A, B : パラメータ

ACC_i （アクセシビリティ）は i ゾーンの交通利便性を表す指標である。ACC は、従業者数の多いゾーンへの所要時間が短いほど当該ゾーンの交通利便性が良くなるように、従業者数で重み付けをした各ゾーンへの所要時間を全従業者数で割った値であり、この数値が小さいほど交通利便性が高いことを表す。本調査対象地域のうち、企業集積の高い都市の従業者の多くはオフィスワーカーであり、オフィスワーカーは

基本的に集積が高度になるほど face to face による業務遂行が容易となり、生産効率が上昇すると仮定する。

また、企業集積は鉄道駅近傍で発生し、道路の結節点（インターチェンジ等）では起こらないことを考慮し、ACC はゾーン間の所要時間は鉄道による移動時間を用いて推計した。

式 (2.2.8) を解くことにより、企業が投入する土地面積、業務トリップ、労働投入量が以下のように求められる。

$$\begin{aligned}
 \text{業務地投入 : } A_i &= \left[\frac{Z_i \left\{ \frac{\beta_A Q_i}{\beta_X R_i} \right\}^{\beta_X} \left\{ \frac{\beta_A W}{\beta_L R_i} \right\}^{\beta_L}}{\eta_i} \right]^{\frac{1}{\beta_A + \beta_X + \beta_L}} \quad (2.2.10.a) \\
 \text{業務トリップ投入量 : } X_i &= \left[\frac{Z_i \left\{ \frac{\beta_X W}{\beta_L Q_i} \right\}^{\beta_L} \left\{ \frac{\beta_X R_i}{\beta_A Q_i} \right\}^{\beta_A}}{\eta_i} \right]^{\frac{1}{\beta_A + \beta_X + \beta_L}} \quad (2.2.10.b) \\
 \text{労働投入量 : } L_i &= \left[\frac{Z_i \left\{ \frac{\beta_L R_i}{\beta_A W} \right\}^{\beta_A} \left\{ \frac{\beta_L Q_i}{\beta_X W} \right\}^{\beta_X}}{\eta_i} \right]^{\frac{1}{\beta_A + \beta_X + \beta_L}} \quad (2.2.10.c) \\
 \text{合成財生産量 : } Z_i &= \left[\frac{\beta_A + \beta_X + \beta_L}{c_i} \right]^{\frac{\beta_A + \beta_X + \beta_L}{1 - (\beta_A + \beta_X + \beta_L)}} \quad (2.2.10.d) \\
 c_i &= \left[\frac{1}{\eta_i} R_i^{\beta_A} Q_i^{\beta_X} W^{\beta_L} \right]^{\frac{1}{\beta_A + \beta_X + \beta_L}} \left[\left\{ \left(\frac{\beta_A}{\beta_X} \right)^{\beta_X} \left(\frac{\beta_A}{\beta_L} \right)^{\beta_L} \right\}^{\frac{1}{\beta_A + \beta_X + \beta_L}} + \left\{ \left(\frac{\beta_X}{\beta_A} \right)^{\beta_A} \left(\frac{\beta_X}{\beta_L} \right)^{\beta_L} \right\}^{\frac{1}{\beta_A + \beta_X + \beta_L}} + \left\{ \left(\frac{\beta_L}{\beta_A} \right)^{\beta_A} \left(\frac{\beta_L}{\beta_X} \right)^{\beta_X} \right\}^{\frac{1}{\beta_A + \beta_X + \beta_L}} \right] \quad (2.2.10.e)
 \end{aligned}$$

式 (2.2.10) を式 (2.2.8) に代入することにより、利潤関数が求められる。

$$\Pi_i^B = \Pi_i^B(R_i, Q_i) \quad (2.2.11)$$

企業は、式 (2.2.11) で求められたゾーンごとの利潤水準を指標として、業務地のゾーン選択を行う。ここでは世帯の立地行動と同様に確率的な変動があると仮定し、企業の立地選択確率が以下のようなロジットモデルとして定式化している。立地選択確率 P_i^B が得られたことにより、ゾーンごとの従業者数が決定される。

$$P_i^B = \frac{\exp \theta^B \Pi_i^B}{\sum_i \exp \theta^B \Pi_i^B} \quad (2.2.12)$$

ここで、企業の立地選択確率が得られたが、世帯の場合同様、全ての企業にはこの式を適用せず、移動層のみに適用する。留保層・移動層の割合は事業所統計（表 2-2）を参考に留保層 7 割、移動層 3 割に設定した。

表 2-2 産業別・都県別存続率（東京圏）

1次産業	2次産業	小売卸	その他サービス業	平均
73.22%	71.52%	70.25%	75.70%	72.77%

平成 11 年事業所統計（東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県）より推計。

（3）土地供給のメカニズム

不在地主は、家計、企業へ土地を供給し、地代収入による利潤を得る。その不在地主の土地供給関数を以下のように定式化する。

$$\text{居住用土地供給} : y_i^H = \overline{y_i^H} \cdot \left(1 - \frac{\sigma_i^H}{r_i}\right), \text{業務用土地供給} : y_i^B = \overline{y_i^B} \cdot \left(1 - \frac{\sigma_i^B}{R_i}\right) \quad (2.2.13)$$

ただし、 $\overline{y_i^H}, \overline{y_i^B}$: 土地供給可能面積、 σ_i^H, σ_i^B : パラメータ

式 (2.2.13) の () 内は 0~1 までの値をとるものとする。式 (2.2.13) では、不在地主が供給可能面積のうち何割を市場に供給するのかが決定される。さらに説明を加えると、式 (2.2.13) において、地代が下落すると () 内の値が 0 に近づくため土地供給量が減少し、地代が上昇すれば () 内の値は 1 に近づくため土地供給量が増加する。

一般に、土地の供給は増加することはあっても減少することはないと考えられるが、ここでは住宅地だった場所が空き地や駐車場のような遊休地になる場合を想定したものである。こうして不在地主は、式 (2.2.13) にて求められる土地を提供して、地代収入を得る。よって、不在地主の利潤は以下ようになる。

$$\text{居住用土地供給の利潤} : \pi_i^H = r_i \cdot y_i^H, \text{業務用土地供給の利潤} : \pi_i^F = R_i \cdot y_i^F$$

(2.2.14)

（4）立地行動モデルの均衡条件

1) 立地均衡条件

立地均衡条件は、居住地選択確率（式(2.2.6)）及び業務地選択確率（式(2.2.12)）にて算出されたゾーンごとの人口や従業者数の合計数と、コントロールトータルである首都圏全体の総人口及び総従業者数とが一致することである。

したがって、世帯の立地均衡条件式は変動層及び固定層を考慮し、また、企業の立地均衡条件式は世帯の条件式と同様に変動層と固定層を考慮し、それぞれ以下のようなになる。

$$\begin{aligned} \text{都市圏総人口} : NT = \sum_i N_i, \text{ 変動層} + \text{固定層} : N_i = N_i^V + N_i^F & \quad (2.2.15) \\ \text{立地選択} : N_i^V = NT^V \cdot P_i^H, \text{ 総変動層} + \text{総固定層} : NT = NT^V + NT^F & \\ \text{添え字 } V : \text{変動層、添え字 } F : \text{固定層} & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{都市圏総従業者数} : ET = \sum_i E_i, \text{ 変動層} + \text{固定層} : E_i = E_i^V + E_i^F & \quad (2.2.16) \\ \text{立地選択} : E_i^V = ET^V \cdot P_i^B, \text{ 総変動層} + \text{総固定層} : ET = ET^V + ET^F & \end{aligned}$$

2) 土地市場均衡条件

土地市場の均衡条件は、需要と供給が一致している状態であり、式(2.2.17)で表される。

$$\begin{aligned} \text{居住地用土地市場} : a_i(r_i) \cdot N_i = y_i^H(r_i) & \quad (2.2.17.a) \\ \text{業務用土地市場} : A_i(R_i) \cdot E_i = y_i^B(R_i) & \quad (2.2.17.b) \end{aligned}$$

2-2-4 立地行動モデルのパラメータ推計

本調査では、キャリブレーションという手法によりパラメータを推計する。キャリブレーションは、まず基準年を設定し、統計データよりその年のデータセットを作成する。そして、作成されたデータセットを厳密に再現するようにパラメータを推計する方法である。本調査での基準年は1995年とした。

(1) 家計部門のパラメータ推計

1) 家計部門のデータセットの作成

家計部門のデータセットの作成方法を表2-3に示す。これらを用いて平均所得を設定する。なお、ここでの所得は時間概念を含んでおり、交通時間消費・余暇時間消費を、賃金率を用いて貨幣換算したものを加えている。

表 2-3 家計部門のデータセットの作成方法

項目	作成方法
合成財需要額	「県民経済計算（内閣府）」の総支出（名目）における「家計最終消費支出」を合成財需要額、建物需要額、交通財需要額に分配。分配方法は、「経済活動別県内総生産」の内、不動産業の割合を建物需要割合。さらに、運輸・通信業の割合を「家計調査（総務省）」における通信と交通関連の割合を用いて按分し、交通関連の割合を交通財需要割合とする。残りは全て合成財需要割合とする。
建物需要額	
交通財需要額	
労働時間	「毎月勤労統計調査（厚生労働省）」より算出した1人あたりの年間総労働時間に対象地域の就業者数を乗じた値。
余暇時間	「国民生活時間調査（NHK放送文化研究所）」より算出。
私事交通所要時間	総交通時間（実績）をネットワーク配分により算出した。つまり、「Σ（私事トリップ数×ゾーン間所要時間）」として算出。
賃金率	「県民経済計算」の「雇用人所得」を上記の労働時間で除した。

まず、通勤・通学時間を除く1人あたりの年間所得を算出する。算出方法は、「合成財消費額＋交通時間消費（私事目的）＋建物消費額＋余暇時間消費」である。（表2-4）

表 2-4 1人当たりの所得総額の算出結果

項目	消費額（万円／年）	備考
合成財消費額	182	経済データ
交通時間消費（私事目的）	10	交通時間
建物消費額	27	経済データ
余暇時間消費	308	生活時間
総所得（通勤・通学時間除く）	527	合計

次に、総利用可能時間に対する「通勤・通学時間」の割合を算出する。総利用可能時間は「国民生活時間」より算出した労働時間と余暇時間の合計とする。「通勤・通学時間」は1人あたりの往復ログサム費用（時間）から算出した。その結果、通勤・通学割合が7.36%となる。（表2-5）

通勤・通学の割合を考慮し、年間の1人あたりの所得を算出すると、5,658,239円となる。この値を都市圏の平均所得額とする。

表 2-5 総利用可能時間の算出結果

	日単位	備考
労働時間	9.182	
余暇時間	8.434	
総利用可能時間	17.616	労働時間+余暇時間
通勤（1人当たり往復の時間）	1.048	交通データ
通学（1人当たり往復の時間）	0.248	交通データ
通勤・通学時間	1.296	通勤+通学
通勤・通学割合	7.36%	通勤・通学÷総利用可能時間

2) 家計部門の分配パラメータの推計

世帯の効用関数(2.2.1.a)にある分配パラメータ $\alpha_z, \alpha_x, \alpha_a, \alpha_L$ を設定する。分配パラメータは表 2-6 の各項目の総所得に対する割合で算出している。

表 2-6 家計の分配パラメータ

世帯	合成財消費	私事トリップ消費	土地消費	余暇消費
	α_z	α_x	α_a	α_L
パラメータ	0.3456	0.0181	0.0515	0.5847

(2) 企業部門のパラメータの推計

1) 企業部門のデータセット

企業部門のデータセットの作成方法を表 2-7 に示す。

表 2-7 企業部門のデータセットの作成方法

項目	作成方法
土地投入額	「県民経済計算」の「財産所得」を使用。
業務交通投入額	Σ （業務トリップ数×ゾーン間所要時間（実績））として算出。
労働投入額	従業者数（マクロ計量経済モデルで推計）×年間総労働時間×賃金率
合成財生産額	「県民経済計算」の「県民総生産」を使用。

2) 企業部門の分配パラメータの推計

企業の利潤関数の制約条件式(2.2.8.b)にある分配パラメータ $\beta_L, \beta_A, \beta_X$ を推計する。分配パラメータは表 2-8 の各項目の合成財生産額に対する割合で算出している。

表 2-8 企業の分配パラメータ

企業	労働投入額	土地投入額	業務トリップ投入
	β_L	β_A	β_X
パラメータ	0.58403	0.05322	0.04241

3) 生産効率パラメータの推計

生産効率パラメータ式(2.2.9)内のパラメータ A, B を推計する。生産効率に関しては、各都県のアクセシビリティとの関係より指数関数で特定化し、最小二乗法によって推計した。また、式(2.2.9)をそのまま使うと、生産額 Z が過大になってしまうため、調整係数を加えた以下の式を用いた。

$$\eta_i = \delta A \exp\left(B \left(\frac{1}{ACC_i}\right)\right) \quad (3.1.1)$$

ACC_i : アクセシビリティ、 mq_{ij} : ij 間の鉄道所要時間、 EV_j : 従業者数の留保層
 A, B : パラメータ、 δ : 調整係数(=0.33)

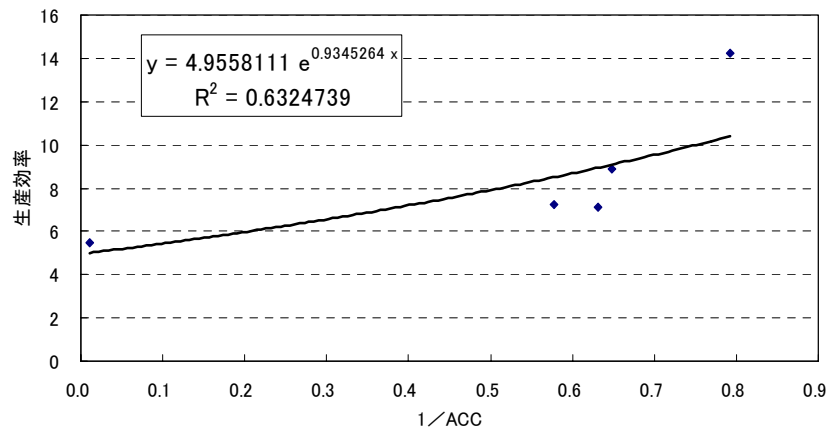


図 2-5 アクセシビリティと生産効率との関係

表 2-9 生産効率パラメータ

生産効率	A	B
パラメータ	4.955811	0.9345264

企業部門におけるキャリブレーションの結果を以下に示す。全体の集計量（上欄「推計値」）と比較すると、推計結果と極めて近い数値となっている。

表 2-10 企業部門におけるキャリブレーションの結果

	生産額Z	業務トリップX	労働投入L	利潤：Π
推計値	161,213,294	1,503,936,276	18,310,294	51,643,067
経済データセット（実績）	151,382,375	1,394,007,270	17,193,717	48,494,652
	百万円（年間）	トリップ（年間）	従業者数	百万円（年間）

注）本調査における推計値は、実績には含まれていない茨城県南部を含むので過大な値になる。

（3）不在地主部門のパラメータ推計

1）不在地主部門のデータセット

不在地主部門のデータセットとしては、住宅地供給面積、住宅地供給可能面積、住宅地代、業務地供給面積、業務地供給可能面積、業務地代がある。このうち、地代以外は実測データがあるため、それらを利用する。

地代に関しては、統一的なデータが整備されておらず、統計データを使うことができない。そのため、立地行動モデルより導出して設定する。この場合の地代は、国民経済計算等で用いられている「帰属家賃」としてとらえる。以下に、地代の設定方法を示す。

①住宅地代

住宅地代の場合は、実測データより1人当たりの土地消費量を算出する。これが、世帯の行動モデルの式(2.2.3)の住宅地消費の左辺 a_i となる。一方、家計部門のデータセットでパラメータ α 及び世帯の総所得 I が算出されるので、これらを式(2.2.3)に代入すれば、地代 r が求まる。

②業務地代

業務地代の場合は住宅地代のように単純な計算ではなく、以下のような計算を行う。

- 業務地代の初期値の設定。交通費用、賃金率所与。
- 式(2.2.9)に地代、交通費用、賃金率を代入。式(2.2.9)の合成財生産量の式を業務地投入の式に代入。
- 業務地投入量としてゾーン業務地面積（統計値）を(2.2.10.a)のAに代入し、ゾーンごとに一変数非線形計画法を解くことで、各ゾーンの地代が算出される。

2）不在地主部門のパラメータの推計

不在地主部門のパラメータ σH_i , σB_i は、ゾーン毎に算出されたデータセットを式(2.2.13)に代入して推計する。ゾーン数×2と数が膨大なため推計された数値は省略する。

2-2-5 立地行動モデルの修正

立地選択確率は式(2.2.6)、式(2.2.12)で定式化されるが、モデルの再現性の向上を図るために以下のように修正した。修正方法としては、家計の間接効用関数、企業の利潤関数にゾーン固有の変数を導入していく。

ゾーン固有の変数としては、下水道整備率、公園面積等々が考えられるが、本モデルのように長期的な都市構造を導く場合、都市構造の変化に伴う都市整備に関する整備変数も変化すると考えられる。このような都市整備に関する変数は外生的に与えることが困難であるため、長期的にも変動しない指標を用いる。

(1) 家計部門

家計部門では定式化で導かれた間接効用関数 V と住宅地利用可能面積 H を用いている。

$$P_i^H = \frac{\exp(\theta_1^H V_i^H + \theta_2^H H_i + \theta_3^H)}{\sum_i \exp(\theta_1^H V_i^H + \theta_2^H H_i + \theta_3^H)} \quad (3.1.2.a)$$

$$V_i^H = \ln I_i - \alpha_a \ln r_i - \alpha_x \ln q_i - \alpha_1 \ln w + C \quad (3.1.2.b)$$

ただし、 $C = \alpha_z \ln \alpha_z + \alpha_a \ln \alpha_a + \alpha_x \ln \alpha_x + \alpha_1 \ln \alpha_1$
 H_i : 都市圏全体に占めるゾーン i の住宅地利用可能面積の割合
 $\theta^{H_1}, \theta^{H_2}, \theta^{H_3}$: パラメータ

パラメータの推計結果は以下のとおりである。(立地選択確率のパラメータについては、キャリブレーションの手法を用いずに、最小二乗法で推計した。)

表 2-11 家計部門のパラメータの推計結果

	間接効用: θ^{H_1}	面積割合: θ^{H_2}	定数: θ^{H_3}
パラメータ	3.59061	154.89982	-29.72978
t 値	6.55978	13.46622	-5.94974
相関係数	0.73003		

(2) 企業部門

企業部門に関しては、定式化で導かれた利潤関数 Π と業務地利用可能面積 B を用いている。

$$P_i^B = \frac{\exp(\theta_1^B \Pi_i^B + \theta_2^B B_i + \theta_3^B)}{\sum_i \exp(\theta_1^B \Pi_i^B + \theta_2^B B_i + \theta_3^B)} \quad (3.1.3)$$

$\Pi_i^B = \Pi^B(R_i, Q_i, w)$: 利潤関数、 R_i : 業務地の地代
 w : 賃金率、 Q_i : 業務トリップの一般化価格
 B_i : 都市圏全体に占めるゾーン i の業務地利用可能面積の割合
 $\theta^{B_1}, \theta^{B_2}, \theta^{B_3}$: パラメータ

最小二乗法によるパラメータの推計結果は以下のとおりである。

表 2-12 企業部門のパラメータ推計結果

	利潤関数： θ^B <i>1</i>	面積割合： θ^B <i>2</i>	定数： θ^B <i>3</i>
パラメータ	0.0003460	87.53124	2.07595
t 値	14.38520	11.17282	22.48345
相関係数	0.83027		

2-2-6 交通行動モデルの構造

交通行動モデルは、立地行動モデルで推計された世帯・企業の立地分布及び私事・業務トリップ消費量（＝私事・業務トリップ発生原単位）を用いて発生トリップ量を推計し、トリップを交通ネットワーク上に配分していくモデルである。

交通行動モデルは基本的には「トリップ発生→目的地選択→交通手段選択→経路選択」の段階的な構造となっているが、私事・業務トリップと通勤・通学トリップでモデルが異なる。また、帰宅トリップは私事・通勤・通学トリップの裏返しトリップとして捉え、それぞれのトリップの交通手段選択後に帰宅トリップを生成する。

私事・業務トリップは立地行動モデルから発生原単位が出力され、ゾーンごとの発生トリップ数が推計された後、目的地選択と交通手段選択を同時に決定し（ネステッド・ロジットモデル）、その後、経路を選択する構造である。

通勤・通学トリップは立地行動モデルで推計された世帯・企業の立地分布を用いて、ゾーンごとの発生交通量及び集中交通量（当該ゾーンに入ってくるトリップ数）を推計した後、二重制約型重力モデルを用いて発着を結びつける。その後、交通手段を選択し、経路を選択する構造になっている。経路選択モデル（交通量配分）は確率的利用者均衡配分を用いている。

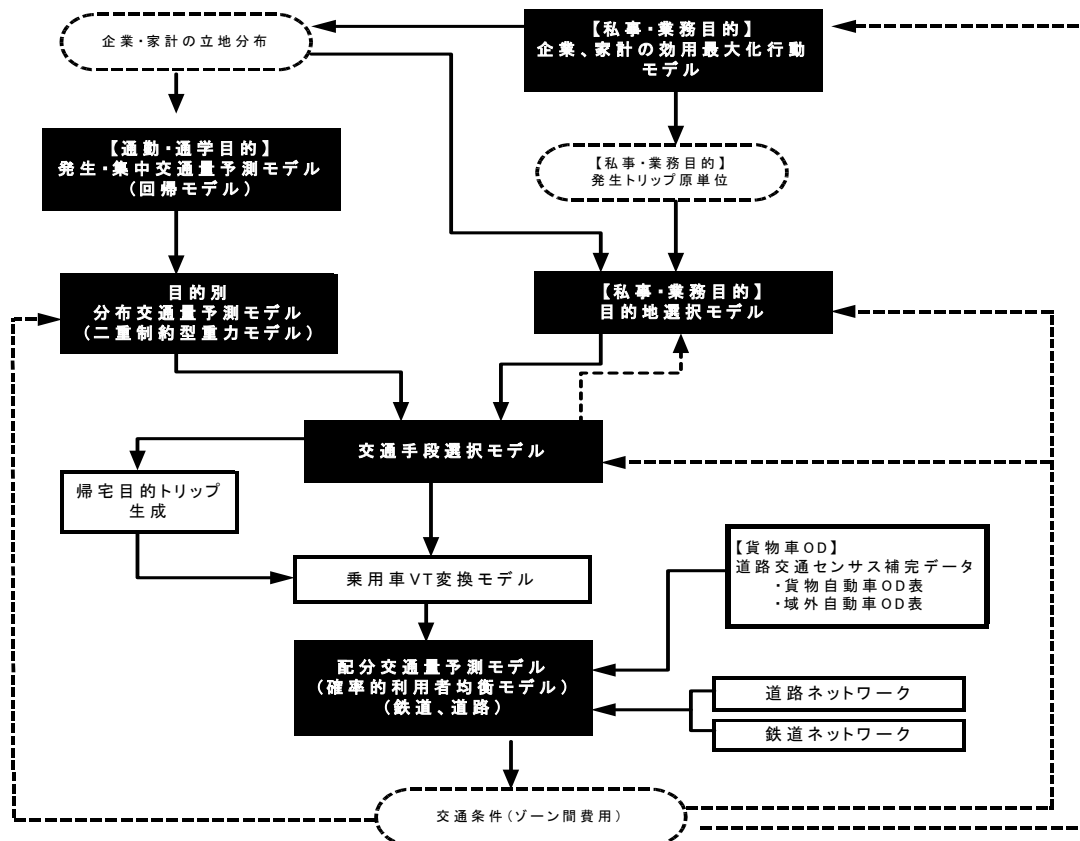


図 2-6 交通行動モデルの構造

2-2-7 交通行動モデルの定式化

(1) 私事、業務の交通行動

私事、業務トリップの交通行動モデルを定式化する。私事、業務トリップのモデルは前述したように、立地行動モデルから出力された発生原単位を用いて発生交通量を算出→目的地選択・交通手段選択→経路選択という段階構造になっている。各段階の詳細は以下の通り。

1) 発生交通量推計

発生交通量は、ゾーンごとの人口、従業者数と同じく立地行動モデルで求められた発生原単位を乗じて算出する。

$$GA_i^p = x_i^p N_i, \quad GA_i^q = X_i E_i \quad (2.2.18)$$

GA_i^p : 私事トリップ発生量, x_i^p : 私事トリップ発生原単位, N_i : 人口
 GA_i^q : 業務トリップ発生量, X_i : 業務トリップ発生原単位, E_i : 従業者数

2) 目的地選択、交通手段選択

目的地選択、交通手段選択は目的地選択と交通手段選択が同時に決定されるネステッド・ロジットモデルにより定式化した。

$$\text{目的地 } j \text{ の選択確率 } P_{ij}^D = \frac{\exp[-\theta^D(S_{ij}^D)]}{\sum_j \exp[-\theta^D(S_{ij}^D)]} \quad (2.2.19.a)$$

$$\text{交通手段 } k \text{ の選択確率 } P_{ij,k}^S = \frac{\exp[-\theta^S(q_{ij,k}^S)]}{\sum_k \exp[-\theta^S(q_{ij,k}^S)]} \quad (2.2.19.b)$$

P_{ij}^D : 目的地 j の選択確率、 S_{ij}^D : 交通手段選択における期待最大効用

$P_{ij,k}^S$: 交通手段 k の選択確率、 $q_{ij,k}^S$: 交通手段 k の交通一般化費用

θ^D, θ^S : ロジットパラメータ

ここで期待最大効用は以下のように表される。

$$S_{ij}^D = \frac{1}{\theta^D} \ln \sum_k \exp[\theta^S \{-q_{ij,k}^S\}] \quad (2.2.19.c)$$

都市内交通の手段としては、乗用車、公共交通機関、徒歩、二輪が考えられるが、本モデルにおいては、①ゾーニングの単位が大きい（基本的に市町村単位）ため、ゾーン間移動では徒歩、二輪は僅かであること、②最近の同規模のモデル⁴でも徒歩、二輪は含まれていないことを考慮し、乗用車、公共交通の2手段で交通手段選択行動を分析する。「徒歩」「二輪」は一定とする。

3) 経路選択

交通量の配分では、鉄道、道路ともに利用者行動の不確実性を考慮し、確率的利用者均衡配分を用いる。確率的利用者均衡配分は「どの利用者も自分が経路を変更することによって、自分の経路費用を減少させることができないと信じている状態」という定常状態を表現したものであり、Wardrop 均衡の概念を一般的に拡張したものである。つまり、A 地点から B 地点への経路が複数あった場合、どの経路を利用しても費用（所要時間）が同じになるように交通量が配分される。

(2) 通勤、通学の交通行動

1) 発生交通量推計

通勤・通学トリップは、線形回帰モデルで定式化した。立地行動モデルにおける式(2.2.6)、式(2.2.12)より得られた各ゾーンの人口 N 、従業者数 E に通勤・通学発生原単位（外生）を乗じて発生・集中量を算出する。

⁴ 例えば、「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 青山、中川 土木学会論文集 (2000)」「誘発交通を考慮した混雑地域における道路整備の利用者便益推定 円山、原田、太田 第25回土木計画学研究発表会 春大会, 2002.6.」

$$GA_i^w = \alpha^w N_i + \beta^w, \quad AT_i^w = \alpha^w E_i + \beta^w \quad (2.2.20)$$

$$GA_i^s = \alpha^s N_i + \beta^s, \quad AT_i^s = \alpha^s E_i + \beta^s$$

GA_i^w :通勤トリップ発生量, AT_i^w :通勤トリップ集中量, N_i :人口, E_i :従業者数

GA_i^s :通学トリップ発生量, AT_i^s :通学トリップ集中量, α, β :パラメータ

2) 分布交通量推計

分布交通量の予測には、私事、業務トリップの場合とは違って、発生交通量及び集中交通量と地域間の所要時間から推計される二重制約型重力モデルを用いる。

$$n_{ij} = \mu_i GA_i \cdot \nu_j AT_j \cdot \exp(-\rho q_{ij}) \quad (2.2.21)$$

$$\mu_i = \frac{1}{\sum_j \nu_j AT_j \cdot \exp(-\rho q_{ij})} \quad \nu_j = \frac{1}{\sum_i \mu_i GA_i \cdot \exp(-\rho q_{ij})}$$

GA_i :発生交通量, AT_j :集中交通量, x :トリップ発生原単位

n_{ij} : ij 間の通勤、通学トリップ数, μ, ν :調整パラメータ

q_{ij} :ゾーン ij 間の通勤平均交通費用, ρ :パラメータ

3) 交通手段選択

以下のようなロジットモデルにより表される。

$$\text{交通手段 } k \text{ の選択確率: } P_{ij,k}^s = \frac{\exp[-\theta^s(q_{ij,k}^s)]}{\sum_k \exp[-\theta^s(q_{ij,k}^s)]} \quad (2.2.22)$$

ただし、 $P_{ij,k}^s$:交通手段 k の選択確率、 $q_{ij,k}^s$:交通手段 k の一般化費用

θ^s :ロジットパラメータ

4) 経路選択

私事・業務目的と同様に、確率的利用者均衡配分を用いる。

2-2-8 交通行動モデルのパラメータ推計

(1) 私事、業務の交通行動

私事、業務目的の移動の目的地選択、交通手段選択に関してはネスティッド・ロジットモデルを使用するが、このモデルの再現性を向上させるため、以下のようにモデルを改良した。ここで対象とする交通手段は自動車と鉄道の2手段である。

$$P_{ij}^D = \frac{\exp[\theta_1^D E_j + \theta_2^D I_j + \theta_3^D \Lambda_i + \theta_4^D]}{\sum_j \exp[\theta_1^D E_j + \theta_2^D I_j + \theta_3^D \Lambda_i + \theta_4^D]} \quad (3.1.4.a)$$

$$P_{ij}^{Car} = \frac{\exp[\theta_1^S q_{ij}^C + \theta_4^S]}{\exp[\theta_1^S q_{ij}^C + \theta_4^S] + \exp[\theta_1^S q_{ij}^M + \theta_2^S M_i + \theta_3^S IG_j]} \quad (3.1.4.b)$$

$$\Lambda_i = \frac{1}{\theta^S} \ln(\exp[\theta_1^S q_{ij}^M + \theta_4^S] + \exp[\theta_1^S q_{ij}^M + \theta_2^S M_i + \theta_3^S IG_j]) \quad (3.1.4.c)$$

P_{ij}^D : ゾーン i のトリップが目的 j を選択する確率

E_j : ゾーン j の従業者数密度 (総従業者数/業務地利用面積)

I_i : 内々ダミー ($i=j: 1$, それ以外: 0)、 Λ_i : 代表交通手段の合成効用値

$\theta^{D_1}, \theta^{D_2}, \theta^{D_3}$: 目的地選択のパラメータ、 $P^{Car_{ij}}$: ij 間のトリップが乗用車を選択する確率

$q^{Car_{ij}}$: 自動車利用の一般化交通費用、 $q^{M_{ij}}$: マストラ利用の一般化交通費用

M_i : ゾーン i の駅密度 (駅数/面積)、 IG_j : ゾーン j のイグレス距離

$\theta^{S_1}, \theta^{S_2}, \theta^{S_3}, \theta^{S_4}$: 交通手段選択のパラメータ

ここで、目的地選択モデルでは以下を考慮している。

- 目的地選択モデルに関しては、説明変数として、代表交通手段の合成効用以外にゾーンごとの「規模の変数」を導入する。「規模の変数」は土地利用モデルから算出される「従業者数密度＝総従業者数/業務利用面積」を用いる。
- 内々トリップ (一つのゾーンの中で完結するトリップ) は、通常は内外トリップ (2つ以上のゾーンにまたがるトリップ) と別に推計する。しかし、その場合には、再度、内々・内外トリップを組み合わせて発生交通量等の収束計算を行うこと、内々トリップと内外トリップとの関係を把握することが必要になるため、本稿では内々・内外トリップの再現性よりも一元的なモデルとすることを重視して、ダミー変数 (内々ダミー) を導入している。
- また、ゾーンに特別業務地区の有無等のダミー変数を用いる場合もあるが、本モデルのように土地利用を内生化するモデルの場合、これらの地区も変化する可能性が高い。そのため都市計画に関する区域の設定は困難である。

交通手段選択モデルについては以下を考慮している。

- 駐車場の整備状況を反映させたモデルもあるが、本モデルのようにゾーニングの単位が広域的な場合は、それは困難である。
- 手段選択モデルは乗用車と鉄道の分担であるため、鉄道の確定項として以下のように「駅密度 (鉄道駅数/面積)」「イグレス距離」を導入した。

また、交通手段選択モデルは、以下のような式変形により、最小二乗法でパラメータを推計した。

$$\frac{P_{ih}^{Car}}{P_{ij}^{Mas}} = \frac{\exp(V_{ij}^{car})}{\exp(V_{ij}^{car}) + \exp(V_{ij}^{mas})} = \frac{\exp(V_{ij}^{car})}{\exp(V_{ij}^{mas})} \quad (3.1.5.a)$$

$$\ln\left(\frac{P_{ih}^{Car}}{P_{ij}^{Mas}}\right) = V_{ij}^{car} - V_{ij}^{mas} = \theta_1^S (t_{ij}^{car} - t_{ij}^{mas}) - \theta_2^S M_i - \theta_3^S IG_j + \theta_4^S \quad (3.1.5.b)$$

表 2-13 交通手段選択モデル（私事、業務）

		私事		業務	
		パラメータ	t 値	パラメータ	t 値
交通費用	θ_1^S	-0.92260	0.03168	-0.95621	0.03090
駅密度	θ_2^S	-0.35871	0.00785	-0.24817	0.00646
イグレス時間	θ_3^S	0.38047	0.01856	0.29892	0.01736
定数	θ_4^S	-0.24806	0.01854	0.16464	0.01679
相関係数		0.80508		0.75710	

表 2-14 目的選択モデル（私事、業務）

		私事		業務	
		パラメータ	t 値	パラメータ	t 値
従業者数密度	θ_1^D	8.581058	35.0672	10.44449	43.84427
内々ダミー	θ_2^D	4.541436	61.56753	3.265707	45.00047
交通手段の合成効用	θ_3^D	1.095136	69.09233	1.13059	72.6663
定数	θ_4^D	-5.92553	-418.565	-5.34709	-460.365
相関係数		0.746816		0.721796	

(2) 通勤・通学の交通行動

1) 発生・集中交通量モデル

通勤・通学目的のトリップ発生・集中交通量予測モデルは下図のように最小二乗法によってパラメータを推計した。武藤・上田モデルでは、発地の人口、着地の従業者数により分布交通量を二重制約モデルにより算出しているが、その場合は将来にわたって1人当たりの発生量を固定していることになる。本モデルでは、将来的には女性・高齢者等の社会進出等により人口当たりのトリップが変動することも考慮し、発生・集中交通量予測モデルを使用した。

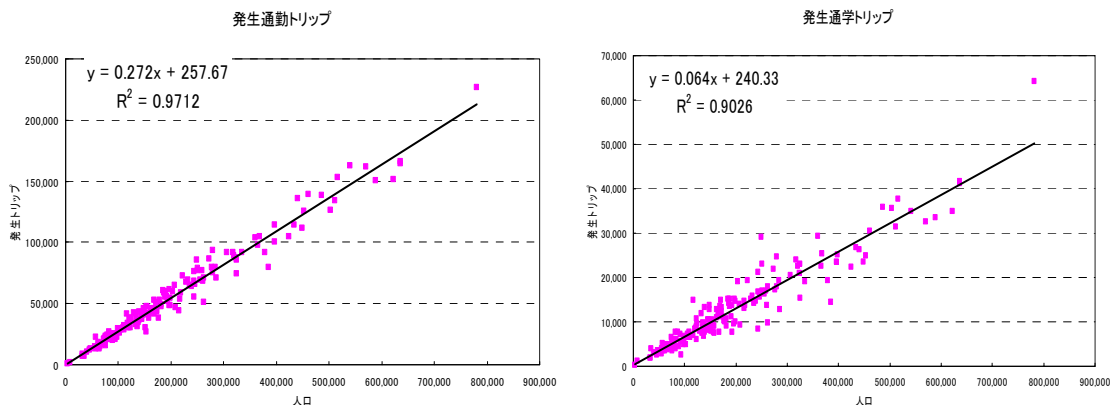


図 2-7 発生交通量モデル（通勤、通学）

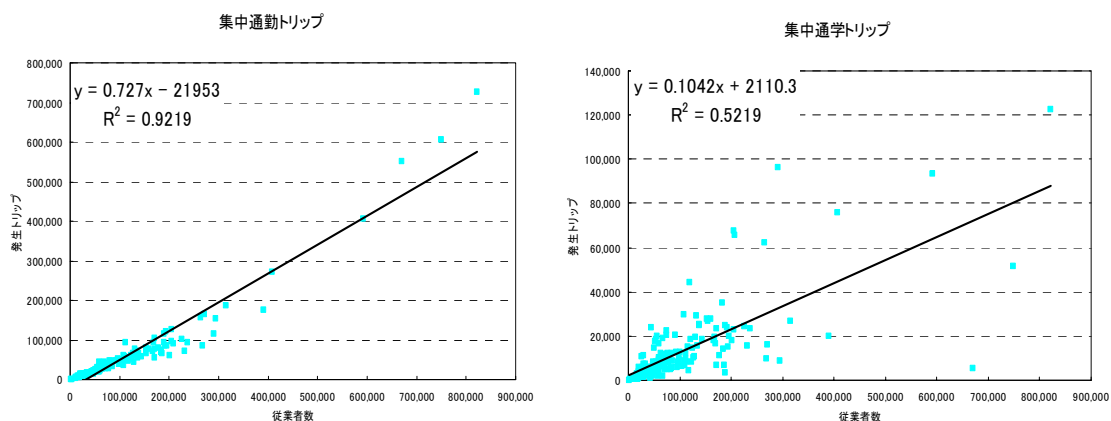


図 2-8 集中交通量モデル（通勤、通学）

2) 分布交通量モデル

通勤、通学の分布交通量に関しては、発生、集中交通量及びゾーン間交通費用を用いて二制約モデルを用いる。パラメータ λ は統計的に一意に決定されるものではなく、 λ を変動させて試行錯誤的に求められる。推計手順は下図のとおりであり、 λ を設定後、二重制約型の分布モデルを実行し、実測値と相関分析を実施して適合度の高い λ を設定する。実際の推計には λ を 0 ~ 100 まで実行し、相関係数が最も高い λ を採用する。

推計したパラメータを用いて、距離（所要時間）の増大に応じてトリップ数が減少する距離減衰率について以下に示す。距離減衰率は、所要時間増大に応じて私事・買物が最も急激な減少率を示しており、通勤が最も緩やかな減少率である。これは通勤目的の場合、現状ではスプロール化等の立地条件、通勤費用負担等によりトリップ長が他目的よりも長くなっていることを表現しているものである。パラメータの推計結果は以下のとおりである。

表 2-15 パラメータの推計結果

目的	パラメータ (λ)	相関係数
通勤	4.440001	0.963
通学	3.960000	0.930

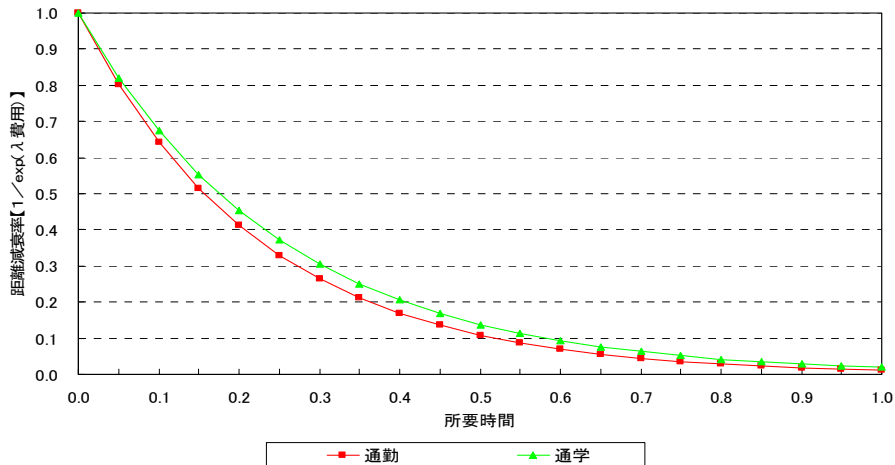


図 2-9 トリップ数の距離減衰率

3) 交通手段選択モデル

通勤、通学における交通手段選択モデルについては、下式のような2項選択のロジットモデルを使用する。交通手段選択モデルは私事・業務モデルと同様のモデルである。

$$\text{交通手段}k\text{の選択確率} : P_{ij}^{Car} = \frac{\exp[\theta_1^S q_{ij}^C + \theta_4^S]}{\exp[\theta_1^S q_{ij}^C + \theta_4^S] + \exp[\theta_1^S q_{ij}^M + \theta_2^S M_i + \theta_3^S IG_j]} \quad (3.1.6)$$

P_{ij}^{Car} : ij 間のトリップが乗用車を選択する確率

q_{ij}^{Car} : 自動車利用の一般化交通費用、 q_{ij}^M : マストラ利用の一般化交通費用

M_i : ゾーン i の駅密度 (駅数/面積)、 IG_j : ゾーン j のイグレス距離

$\theta^{s_1}, \theta^{s_2}, \theta^{s_3}, \theta^{s_4}$: 交通手段選択のパラメータ

パラメータの推計方法、推計結果は以下のとおりである。

表 2-16 交通手段選択モデル (通勤、通学)

		通勤		通学	
		パラメータ	t 値	パラメータ	t 値
交通費用	θ_1^S	-1.50568	0.03090	-1.20202	0.05239
駅密度	θ_2^S	-0.20217	0.01415	-0.01644	0.02819
イグレス時間	θ_3^S	0.62623	0.01922	0.17212	0.02225
定数	θ_4^S	-1.29116	0.02056	-1.84516	0.03271
相関係数		0.79300		0.71358	

(3) OD 表の変更、改良

パラメータを推計する際、OD 表を使用するが、通常、使用している OD 表は目的別・利用交通手段別に作成されており、目的は通勤、通学、業務、私事、帰宅の5目的で作成されている。

そのため、従来の交通モデルでは土地利用（人口、企業分布）を外生的に与え、発生・集中→分布交通→分担交通→配分交通を行っていた。従来は、通勤、通学、業務、私事目的について原単位（1人あたりトリップ数）を人口、従業者に乗じて算出し、帰宅目的の場合は通勤、通学、業務、私事目的の発生・集中量から算出していた。

すなわち、各目的の発生・集中交通量が各ゾーンベースで発生するモデルであり、交通市場内を分析するには必要十分であったが、土地利用、特に立地行動を分析するには、トリップは全て個人ベースに帰着し、通常交通モデルのように目的地に依存しないという問題が残る。

そこで、本モデルでは帰宅目的トリップを通勤、通学、私事目的に分配し、居住地ベースのOD表を作成する。つまり、各目的では往復を考慮したモデルであり、帰宅目的の便益の計測も可能となる。

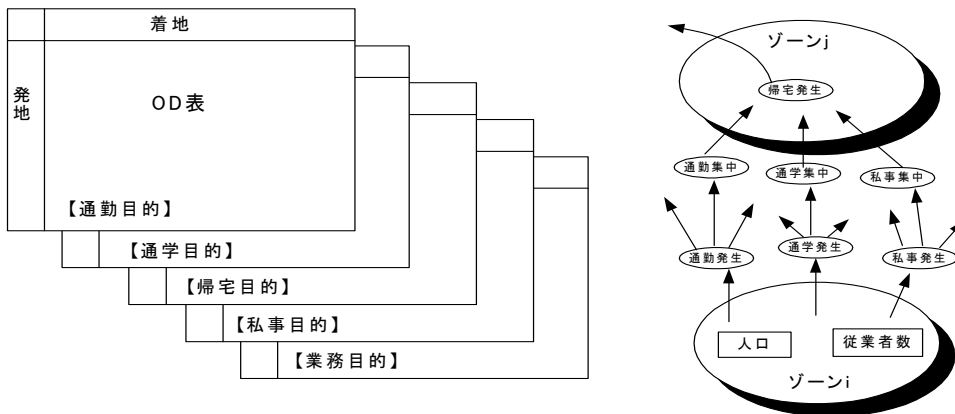


図 2-10 従来の交通計画で使用している OD 表

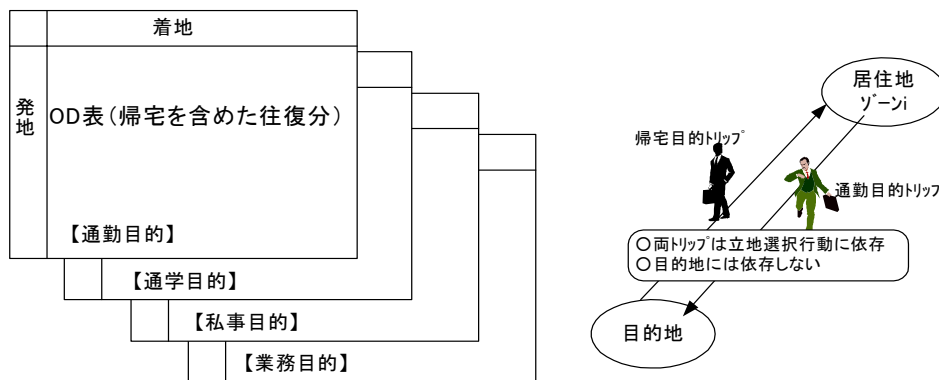


図 2-11 本モデルで作成する OD 表

2-3 マクロ計量経済モデル

2-3-1 マクロ計量経済モデルの全体構造

マクロ計量経済モデルでは、地域内総生産、消費、投資、首都圏総従業者数を推計し、首都圏総従業者数を CUE モデルに入力する。地域計量モデルの全体フローを以下に示す。

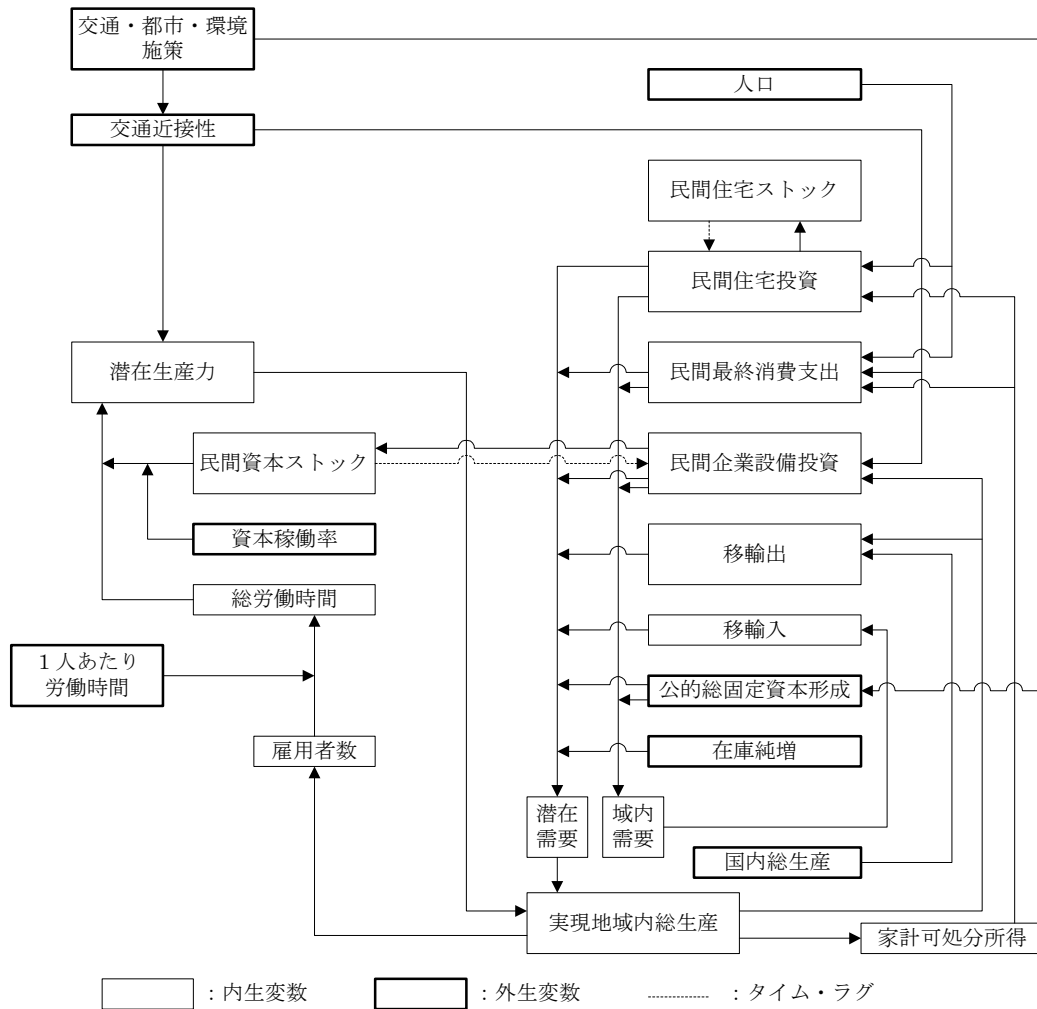


図 2-1 2 地域計量経済モデルの全体フロー

2-3-2 マクロ計量経済モデルの定式化

(1) 地域内総生産

地域内総生産は、従業者数に平均労働時間を乗じた総労働時間、稼働民間資本ストック、および交通近接性の関数とする。生産関数の説明変数として、本源的な生産要素である労働と資本に加え交通近接性が入っているが、これは、中間需要財の輸送費

が減少すると企業の付加価値（これを全企業で合計したものが総生産の定義）が増加することから説明可能である。

$$V^t = f(L^t \cdot LHR^t, \rho^t \cdot KP^{t-1}, ACCF^t) \quad (2.3.1)$$

ここで、 V ：実質地域内総生産

L ：従業者数 LHR ：平均労働時間

ρ ：資本稼働率 KP ：実質民間資本ストック

$ACCF$ ：企業の交通近接性

(2) 民間資本ストック

当期の民間資本ストックは、前期の民間資本ストックから減価償却分を除いた分に当期の民間設備投資を加えたものと定義される。

$$KP^t = (1 - \delta)KP^{t-1} + IP^t \quad (2.3.2)$$

ここに、 KP ：実質民間資本ストック

δ ：資本ストック減耗率 IP ：実質民間設備投資

(3) 就業者数

新規の雇用は基本的には景気に左右されると考え、就業者数は前期の就業者数と当期の実現される地域内総生産で説明されるとする。

$$L^t = f(L^{t-1}, GRP^t) \quad (2.3.3)$$

ここで、 L ：就業者数

GRP ：実現実質地域内総生産

(4) 民間消費支出

民間消費支出は、将来の人口減少の影響を考慮するため、1人あたりの関数とする。1人あたり民間消費支出は、1人あたりの家計可処分所得および家計の交通近接性で説明されるとする。家計の交通近接性が説明変数となる意味は、交通施設整備により交通施設が利用しやすくなると、他地域への観光交通需要や他地域での財・サービス需要が誘発されるということである。

$$\frac{CP^t}{POP^t} = f\left(\frac{YH^t}{POP^t}, ACCP^t\right) \quad (2.3.4)$$

ここで、 CP ：実質民間消費支出 POP ：人口

YH ：実質家計可処分所得 $ACCP$ ：家計の交通近接性

(5) 家計可処分所得

家計所得から納税分を差し引いた家計可処分所得は、実現される地域内総生産で説明されると考える。

$$YH^t = f(GRP^t) \quad (2.3.5)$$

ここで、 YH ：実質家計可処分所得

GRP ：実現実質地域内総生産

(6) 民間住宅投資

民間住宅投資についても、民間消費支出と同様、1人あたりの関数とする。1人あたりの民間住宅投資は、1人あたり家計可処分所得に加え、ストック調整過程を考慮して前期の1人あたり住宅資本ストックで説明されるとする。

$$\frac{IHP^t}{POP^t} = f\left(\frac{YH^t}{POP^t}, \frac{KHP^{t-1}}{POP^{t-1}}\right) \quad (2.3.6)$$

ここで、 IHP ：実質民間住宅投資

KHP ：実質民間住宅ストック YH ：実質家計可処分所得

(7) 民間住宅ストック

当期の民間住宅ストックは、前期の民間住宅ストックから減価償却分を除いた分に当期の民間住宅投資を加えたものと定義される。

$$KHP^t = (1 - \delta^H)KHP^{t-1} + IHP^t \quad (2.3.7)$$

ここで、 KHP ：実質民間住宅ストック

δ^H ：住宅ストック減耗率 IHP ：実質民間設備投資

(8) 民間設備投資

民間設備投資の理論には、限界効率理論、ストック調整原理、加速度原理、トービンの q 理論などいくつかの理論が存在する。ここでは、ストック調整原理と加速度原理を組み合わせ、前期の民間資本ストックと実現される地域内総生産を説明変数とする。さらに、交通施設整備に伴う企業の立地条件を変化による民間設備投資の刺激する効果を考慮し、企業の交通近接性を説明変数に加える。

$$IP^t = f(KP^{t-1}, GRP^{t-1}, ACCF^t) \quad (2.3.8)$$

ここで、 KP ：実質民間資本ストック

GRP ：実現実質地域内総生産 $ACCF$ ：企業の交通近接性

(9) 移輸出

地域の移輸出は国内の他地域への移出と外国への輸出から成るが、その大部分は国内への移出である。したがって、移輸出は、前期の移輸出の他、国内総生産で決定されるとする。

$$E^t = f(E^{t-1}, GDP^t) \quad (2.3.9)$$

ここで、 E : 実質移輸出

GDP : 実質国内総生産

(10) 移輸入

地域の移輸入は、前期の移輸入の他、当期の自地域の最終需要で決定されるとする。

$$M^t = f(M^{t-1}, FD^t) \quad (2.3.10)$$

ここで、 M : 実質移輸入

FD : 実質地域内最終需要 ($CP + IHP + IP + CG + IG$)

CP : 実質民間消費支出

IHP : 実質民間住宅投資 IP : 実質民間消費支出

CG : 実質政府消費支出 IG : 実質公的総固定資本形成

(11) 総支出

地域内総支出は、民間消費支出、民間住宅投資、民間設備投資、政府消費支出、公的総固定資本形成、純移輸出および在庫純増の和で定義される。

$$GRE^t = CP^t + IHP^t + IP^t + CG^t + IG^t + (E^t - M^t) + J^t \quad (2.3.11)$$

ここで、 GRE : 実質地域内総支出

CP : 実質民間消費支出 IHP : 実質民間住宅投資

IP : 実質民間消費支出

CG : 実質政府消費支出 IG : 実質公的総固定資本形成

$E - M$: 実質純移輸出 J : 実質在庫純増

(12) 実現総生産

実際に実現される地域内総生産は、潜在生産力と地域内総需要の平均値で実現されると考える。ここで、潜在生産力は(2.3.1)式の生産関数において民間資本稼働率 ρ を100%としたもの総需要は(2.3.11)式の総支出に等しいものとする。

$$GRP^t = \text{Average}(\hat{V}^t, \hat{GRE}^t) \quad (2.3.12)$$

ここで、 GRP : 実現実質地域内総生産

\hat{V} : 実質潜在生産力 \hat{GRE} : 実質地域内総需要

(13) 交通近接性

交通近接性は、ゾーン間移動の平均所要時間を、輸送トンキロ、または輸送人キロで重み付け平均したものの逆数と定義する。よって、単位は時間分の1となる。これが、ゾーンレベルの最短所要時間が潜在的に生産や民間消費支出、民間設備投資に影響を与えると仮定する。

交通近接性は、式(2.3.13)～式(2.3.15)の3ステップで作成される。式(2.3.13)は、ゾーン*i*の他ゾーンへの移動平均所要時間を示し、他ゾーンへの移動所要時間の人口による重み付け平均である。式(2.3.14)は、(2.3.13)で導かれたゾーン間移動平均所要時間をさらに人口で重み付け平均した、対象地域*r*のゾーン間移動平均所要時間としたものである。式(2.3.15)は、各交通手段によるゾーン間移動平均所要時間に各交通手段分担率を乗じて合計し、逆数をとったものである。

なお、企業の交通近接性 $ACCF$ 、家計の交通近接性 $ACCP$ は、式(2.3.15)において交通手段分担率に企業（貨物：輸送トンキロ）、家計（旅客：輸送人キロ）の交通手段分担率を代入してそれぞれ算出する。

$$\bar{T}_i^m = \frac{\sum_j POP_j \cdot T_{ij}^m}{\sum_j POP_j} \quad (2.3.13)$$

$$\bar{T}_r^m = \frac{\sum_{i \in r} POP_i \cdot \bar{T}_i^m}{\sum_{i \in r} POP_i} \quad (2.3.14)$$

$$ACC_{TR,r}^m = \frac{1}{\bar{T}_r^m} \quad (2.3.14)'$$

$$ACC_{TR,r} = \frac{1}{\sum_m \theta^m \cdot \bar{T}_r^m} \quad (2.3.15)$$

ここで、*i* : 発地ゾーン *j* : 着地ゾーン *r* : 対象地域 *m* : 交通機関

T_{ij}^m : ゾーン*i*からゾーン*j*への交通機関*m*のゾーン間移動所要時間

\bar{T}_i^m : ゾーン*i*からの交通機関*m*の着地ゾーン人口重み付け平均ゾーン間移動所要時間

\bar{T}_r^m : 対象地域*r*における \bar{T}_i^m の発地ゾーン人口重み付け平均ゾーン間移動所要時間

$ACC_{TR,r}^m$: 対象地域*r*における交通機関*m*の交通近接性

$ACC_{TR,r}$: 対象地域*r*における交通近接性

POP_i : ゾーン*i*の人口 POP_j : ゾーン*j*の人口

θ^m : 交通機関*m*の分担率

2-3-3 マクロ計量経済モデルのパラメータ推計

(1) 構造推定用データ

構造推定は、1981～1999年度の期間で行う。以下、地域計量経済モデルの構造推定用データの出典を示す。(データは章末参照。)

表 2-17 地域計量経済モデルの構造推定用データの出典

項目	変数	記号	出典
総生産	実質国内総生産	<i>GDP</i>	内閣府社会経済総合研究所 HP (2002.12.26確定値)
	実質地域内総生産	<i>GRP</i>	県民経済計算年報 (内閣府社会経済総合研究所)
需要項目	実質民間最終消費支出	<i>CP</i>	県民経済計算年報 (内閣府社会経済総合研究所)
	実質民間住宅投資	<i>IHP</i>	
	実質公的固定資本形成	<i>IG</i>	
	実質政府最終消費支出	<i>CG</i>	
	実質移出	<i>E</i>	
	実質移入	<i>M</i>	
	実質民間企業設備投資	<i>IP</i>	
家計所得	実質家計所得	<i>YH</i>	県民経済計算年報 (内閣府社会経済総合研究所)
ストック	実質民間住宅ストック	<i>KHP</i>	国民経済計算年報 (内閣府社会経済総合研究所) より作成
	実質民間企業ストック	<i>KP</i>	民間企業資本ストック年報 (内閣府社会経済総合研究所)
	稼働率指数 (製造工業)	ρ	東洋経済新報社 (ただし、1990=100%として再計算。)
人口	人口	<i>POP</i>	国勢調査 (総務省統計局)
労働関連	就業者数 (産業別)	<i>L</i>	国勢調査 (総務省統計局)
	平均総実労働時間 (全産業)	<i>LHR</i>	毎月勤労調査報告 (厚生労働省)
交通近接性	企業の交通近接性 (所要時間ベース)	<i>ACCF_T</i>	道路時刻表 (国土交通省)、鉄道時刻表 (JR) 等より作成
	家計の交通近接性 (所要時間ベース)	<i>ACCP_T</i>	

(2) 構造推定結果

構造推定は、各関数において関数型を特定した後、上記データを用いて OLS (最小二乗法) によって行う。なお、多くの関数の構造推定において、前述した説明変数の他に一定期間のダミー変数 ($DUM_{xx} = 0$ or 1) を変数として用いる。ダミー変数の使用には、決定係数を高める意味と誤差項の系列相関を攪乱する意味の 2 つの意味がある。

また、構造推定は、多くの関数型やダミー変数等で試算し、各変数の t 値およびダービン・ワトソン比が一定水準以上 (基本的には、 t 値 ≥ 1.0 、 $1.0 < D.W. < 3.0$) を満たし、かつ自由度修正済み決定係数 $Ad-R^2$ がもっとも高いものを最終結果として採用する。

地域計量経済モデルの各関数の最終的な構造推定結果は以下に示す通りである。ここで、 t 検定の結果は、 t 値の絶対値がもっとも小さいパラメータのものを示している。

1) 総生産

$$\ln \frac{V^t}{L \cdot LHR^t} = \alpha + \beta \ln \frac{\rho^t \cdot KP^{t-1}}{L \cdot LHR^t} + (\gamma_1 + \gamma_1' DUM8996) \ln ACCF_t^t + (\gamma_2 + \gamma_2' DUM8996) \ln ACCP_t^t + \xi DUM8792 \quad (3.1.7)$$

$DUM8996$: ダミ変数 (1981~1988、1997~1999 : 0、1989~1996 : 1)

$DUM8792$: ダミ変数 (1981~1986、1993~1999 : 0、1987~1992 : 1)

α	β	γ_1	γ_1'	γ_2	γ_2'	ξ	D.W.	AD-R ²
-1.855 (-46.761)	0.4394 (34.082**)					0.0572 (6.336**)	1.466	0.9853

2) 民間資本ストック

$$KP^t - IP^t = \delta' KP^{t-1} \quad (3.1.8)$$

δ'	D.W.	AD-R ²
0.9473 (266.471**)	1.572	0.9978

3) 従業者数

$$\ln L^t = \alpha + \beta \ln L^{t-1} + \gamma \ln GRP^t + \xi DUM9600 \quad (3.1.9)$$

$DUM9600$: ダミ変数 (1981~1995 : 0、1996~2000 : 1)

α	β	γ	ξ	D.W.	AD-R ²
210.2 (3.403)	0.5416 (3.665**)	0.0130 (2.436**)	-19.03 (-7.948**)	1.022	0.9763

4) 民間消費支出

$$\ln \frac{CP^t}{POP^t} = \alpha + \beta \ln \frac{YH^t}{POP^t} + \gamma \ln ACCP_t^t + \xi DUM8999 \quad (3.1.10)$$

$DUM8999$: ダミ変数 (1981~1988 : 0、1989~1999 : 1)

α	β	γ	ξ	D.W.	AD-R ²
2.1747 (9.229)	0.6211 (17.002**)	0.6500 (7.558**)	0.0227 (2.758**)	1.182	0.9953

5) 家計可処分所得

$$\ln YH^t = \alpha + (\beta + \beta' DUM8791) \ln GRP^t \quad (3.1.11)$$

$DUM8791$: ダミー変数 (1981~1986、1992~1999 : 0、1987~1991 : 1)

α	β	β'	D.W.	AD-R ²
0.2631 (1.431)	0.9400 (60.157**)	-0.0038 (-7.166**)	1.413	0.9951

6) 民間住宅投資

$$\frac{IHP^t}{POP^t} = \alpha + (\beta + \beta' DUM8891) \frac{YH^t}{POP^t} + \gamma \frac{KHP^{t-1}}{POP^{t-1}} \quad (3.1.12)$$

$DUM8891$: ダミー変数 (1981~1987、1992~1999 : 0、1988~1991 : 1)

α	β	β'	γ	D.W.	AD-R ²
1.2992 (5.320)	0.1917 (6.137**)	0.0156 (5.102**)	-0.2384 (-5.366**)	2.110	0.8940

7) 民間住宅ストック

$$KHP^t - IHP^t = \delta' KHP^{t-1} \quad (3.1.13)$$

δ'	D.W.	AD-R ²
0.8977 (256.102**)	0.926	0.9903

8) 民間設備投資

$$\ln IP^t = \alpha + \beta \ln KP^{t-1} + \gamma \ln GRP^{t-1} + \delta \ln ACCF_t^t + \xi DUM8489 \quad (3.1.14)$$

全産業

$DUM8489$: ダミー変数 (1981~1983、1990~1999 : 0、1984~1989 : 1)

α	β	γ	δ	ξ	D.W.	AD-R ²
-10.2103 (-4.139)	-1.0943 (-3.403**)	3.2285 (7.930**)	2.5604 (1.873**)	0.0989 (3.526**)	1.787	0.9820

9) 移輸出

$$\ln E^t = \alpha + (\beta + \beta' DUM9499) \ln GDP^t + \xi DUM8489 \quad (3.1.15)$$

$DUM9399$: ダミー変数 (1981~1992 : 0、1993~1999 : 1)

$DUM8489$: ダミー変数 (1981~1983、1990~1999 : 0、1984~1989 : 1)

α	β	β'	ξ	D.W.	AD-R ²
-4.0499 (-4.610)	1.1492 (16.906**)	-0.0086 (-4.476**)	0.0548 (2.700**)	1.385	0.9507

1 0) 移輸入

$$\ln M^t = \alpha + \beta \ln FD^t + \xi DUM9799 \quad (3.1.16)$$

$DUM9799$: ダミー変数 (1980~1996 : 0、1997~1999 : 1)

α	β	ξ	D.W.	AD-R ²
-0.8070 (-3.175)	1.0068 (45.796**)	-0.0313 (-3.047**)	1.746	0.9923

(3) ファイナルテスト

ファイナルテストは、連立方程式モデルの組み立て終了後、外生変数および先決内生変数の初期値を除く全ての説明変数に計算値を代入して、全体で誤差がどの位あるかを評価するテストである。テストは1980~1999年度の期間で行う。

ファイナルテストの結果は、各年次の実績値と推計値の誤差率、平均絶対誤差率(MAPE : Mean Absolute Percentage Error)で評価する。ここで、平均絶対誤差率は、以下で表される。

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^N |x^t - \hat{x}^t| / x^t}{N} \quad (3.1.17)$$

ここで、 x^t : t 期の被説明変数(実績値)

\hat{x}^t : t 期の被説明変数(推計値)

N : 観測期間数

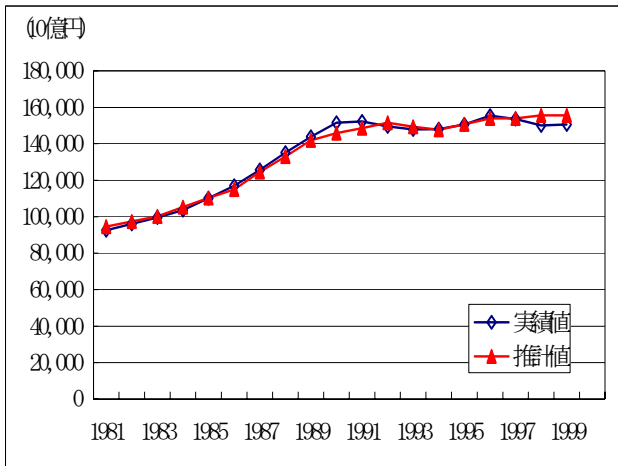
地域計量経済モデルのファイナルテストの結果を表2-18および図2-13に示す。

表 2-18 地域計量経済モデルのファイナルテスト結果

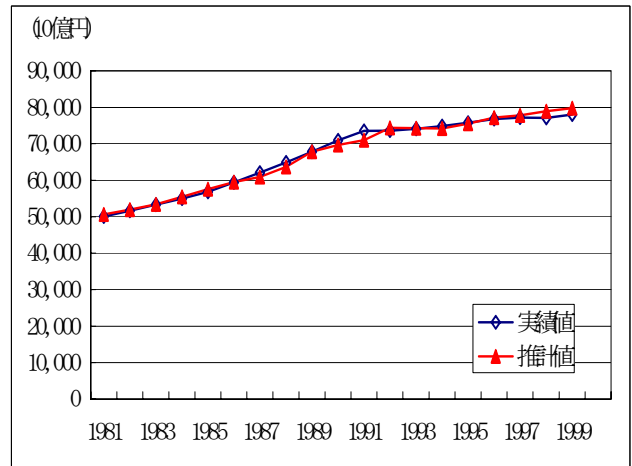
	GRP			CP			IHP		
	実績値	推計値	誤差率	実績値	推計値	誤差率	実績値	推計値	誤差率
1981	92,551	94,560	2.17	50,041	50,674	1.26	5,767	5,809	0.73
1982	96,042	97,489	1.51	51,650	52,009	0.70	5,794	5,799	0.09
1983	99,672	100,222	0.55	53,310	53,369	0.11	5,821	5,808	-0.22
1984	103,630	105,289	1.60	55,025	55,517	0.89	5,850	6,125	4.69
1985	110,159	110,272	0.10	56,796	57,548	1.32	5,880	6,387	8.61
1986	117,069	114,956	-1.80	59,374	59,480	0.18	6,558	6,595	0.57
1987	125,676	124,466	-0.96	62,073	60,932	-1.84	7,313	6,667	-8.83
1988	135,196	132,972	-1.65	64,901	63,703	-1.84	8,156	8,538	4.68
1989	143,822	141,859	-1.37	67,862	67,894	0.05	9,097	8,845	-2.77
1990	151,524	145,874	-3.73	70,964	69,719	-1.75	10,147	8,579	-15.45
1991	152,177	148,617	-2.34	73,513	71,056	-3.34	8,772	8,361	-4.69
1992	149,649	151,651	1.34	73,618	74,390	1.05	8,011	7,610	-5.01
1993	147,897	149,402	1.02	74,123	74,269	0.20	7,730	7,088	-8.31
1994	148,139	147,793	-0.23	74,912	74,186	-0.97	7,816	6,794	-13.08
1995	150,637	150,750	0.07	75,805	75,503	-0.40	7,016	7,107	1.30
1996	155,351	153,944	-0.91	76,788	77,208	0.55	7,621	7,375	-3.23
1997	153,548	153,907	0.23	77,218	77,838	0.80	6,565	7,224	10.03
1998	150,149	155,531	3.58	77,152	78,987	2.38	6,017	7,317	21.60
1999	150,511	155,676	3.43	78,081	79,819	2.23	6,300	7,230	14.75
2000									
MAPE			1.51			1.15			6.77

	IP			L		
	実績値	推計値	誤差率	実績値	推計値	誤差率
1981	8,900	9,015	1.29	1,364	1,373	0.66
1982	9,676	10,567	9.21	1,389	1,400	0.81
1983	10,520	10,858	3.21	1,414	1,423	0.61
1984	11,440	12,184	6.51	1,440	1,445	0.34
1985	12,440	13,394	7.67	1,467	1,467	0.02
1986	14,089	14,458	2.62	1,495	1,488	-0.46
1987	15,962	15,466	-3.11	1,524	1,513	-0.69
1988	18,093	18,867	4.28	1,554	1,541	-0.81
1989	20,516	21,566	5.12	1,585	1,572	-0.82
1990	23,273	22,146	-4.84	1,617	1,598	-1.17
1991	23,998	22,476	-6.34	1,630	1,621	-0.55
1992	22,712	22,402	-1.36	1,643	1,641	-0.11
1993	20,039	22,634	12.95	1,657	1,655	-0.11
1994	18,750	20,502	9.34	1,671	1,664	-0.43
1995	19,430	19,204	-1.16	1,686	1,675	-0.66
1996	21,942	20,391	-7.07	1,679	1,668	-0.69
1997	22,942	21,728	-5.29	1,673	1,666	-0.42
1998	20,728	21,500	3.72	1,666	1,669	0.15
1999	20,317	22,159	9.07	1,660	1,673	0.77
2000						
MAPE			5.48			0.54

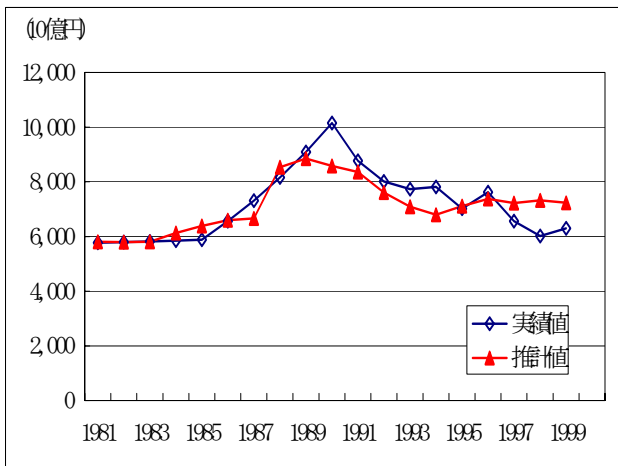
①GDP



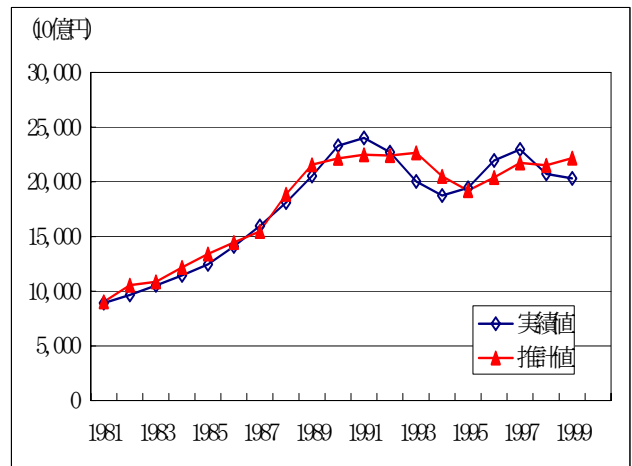
②P



③IP



④P



⑤L

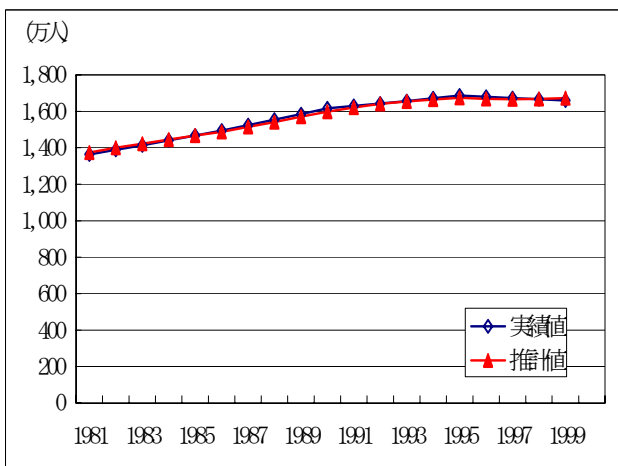


図 2-1 3 地域計量経済モデルのファイナルテスト結果

2-4 CO2 排出量推計モデル

ここでは、各部門別の CO2 排出量の原単位を検討するが、本調査では基本的に技術的な側面は考慮せず、可能な範囲で活動の状態（旅行速度、集積状況）の変化を考慮する。

(1) 自動車の CO2 排出原単位

自動車の CO2 排出原単位は『道路投資に関する評価の指針（案）』の以下の推計式を用いる。この推計式は平成6年の実測値より推計した式⁵に、旧燃費基準（省エネ法）の効果を考慮したものである。

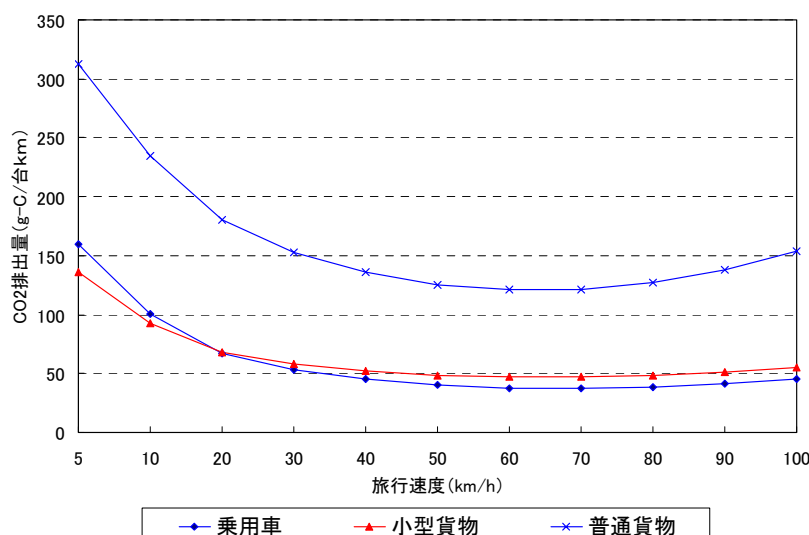
新燃費基準は、1995年値と比較してガソリン車は約21.4%、ディーゼル車は約8.3%燃費が向上するが、本調査では新技術は扱わないため、旧燃費基準値を使用する。

$$CO2 = \frac{a}{x} + bx + cx^2 + d \quad (3.1.18)$$

CO2：1台キロ当たりのCO2排出量
 x：自動車旅行速度、a,b,c,d：パラメータ

表 2-19 CO2 排出原単位推計式のパラメータ

	A	b	c	d
乗用車	562.590	-0.805	0.007	53.687
小型貨物	395.606	-0.672	0.006	59.663
普通貨物	658.813	-2.792	0.023	194.027



出所：道路投資に関する評価の指針

図 2-14 自動車の CO2 排出原単位

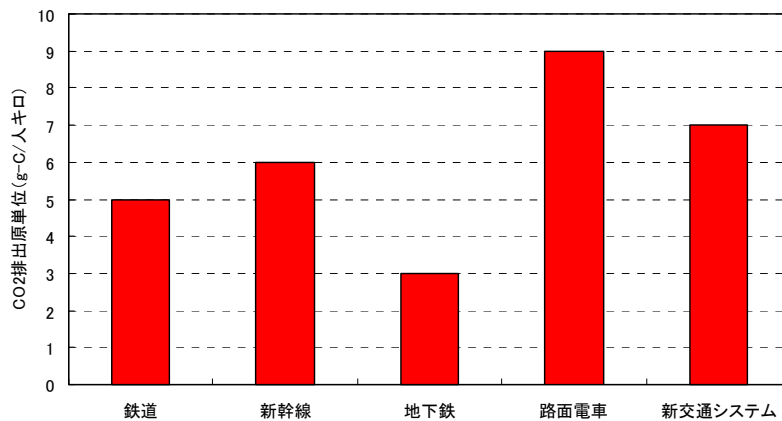
⁵ 地球温暖化問題への国内対策に関する関係審議会合同会議資料

(2) 鉄道の CO2 排出原単位

鉄道の CO2 排出原単位は COP3（地球温暖化京都会議）時には人キロ当たりの原単位を使用しており、全国で一律の値である。また、鉄道からの CO2 排出量は運輸部門の約 3% 程度である。

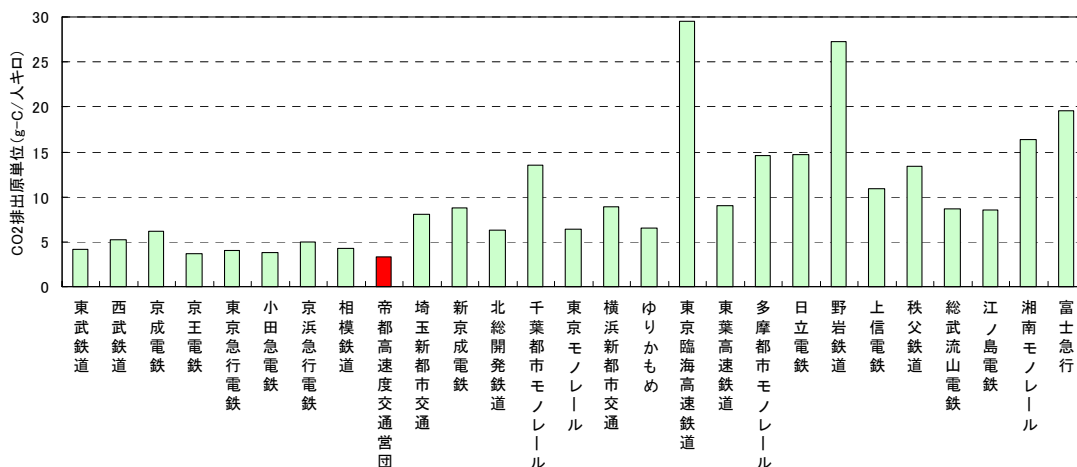
CO2 は車両の走行によって消費される電力の発電時に排出されるものであり、これまでの手法では混雑状況等の車両の利用状況が反映されていない。鉄道（民鉄）各社の CO2 排出原単位を推計すると、人キロ当たり、車両キロ当たりともに各社により値が異なる(図 2-16、2-17)。

しかしながら、利用者数と CO2 排出原単位（人キロあたり）を比較すると、20 億人キロ以上の鉄道会社の CO2 排出原単位は人キロあたり、5(g-C)程度になり(図 2-18)、これは COP 時に使用した『運輸関係エネルギー要覧』の値とほぼ等しい。本調査では、鉄道の CO2 排出量をネットワーク全体で評価することとし、この原単位を用いる。



出所：運輸関係エネルギー要覧

図 2-15 本調査で使用する CO2 排出原単位



出所：鉄道統計年報等より VMI 推計

図 2-16 関東各社の人キロ当たりの排出原単位

第3章

モデルの暫定実行

第3章 モデルの暫定実行

3-1 前提条件

(1) 対象地域

本調査の対象エリア及びゾーニングは下図のとおりである。対象地域は東京圏（1都3県）に茨城県南部を加えた地域とする。エリアの中心部及び近郊都市については、区市町村単位でゾーニングを行った。エリアの周辺部については、地方生活圏をベースに交通ネットワークを考慮したため、区市町村単位より大きなゾーンも存在する。ゾーン数は合計169ゾーンである。

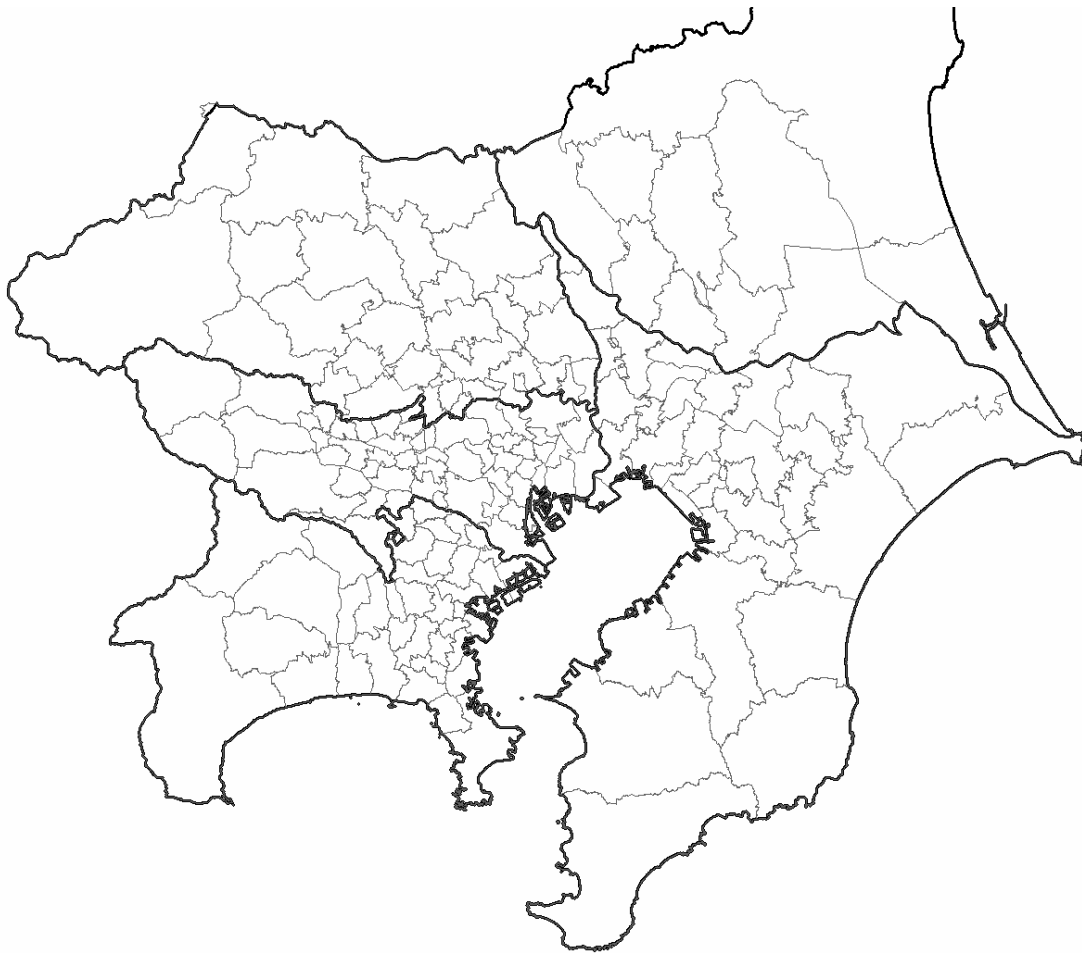


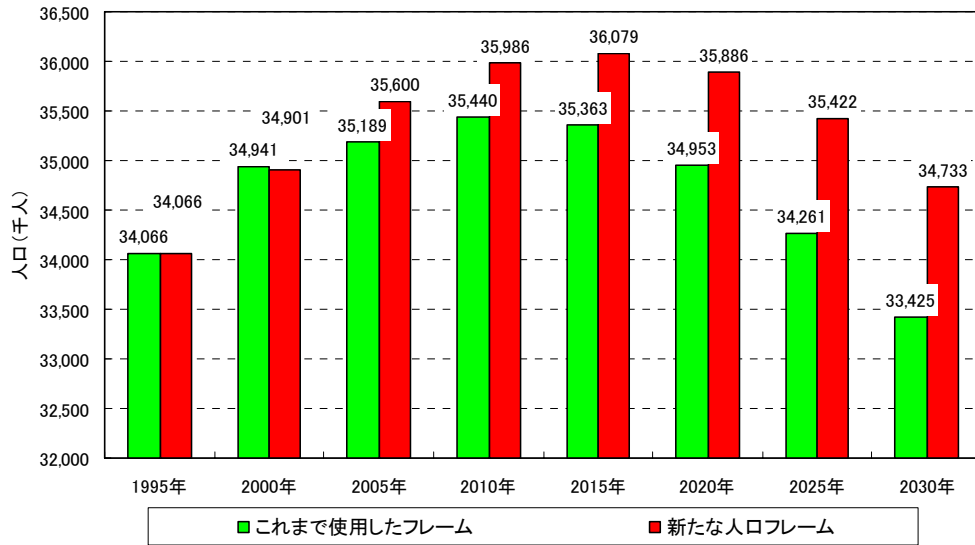
図 3-1 本調査の対象エリア及びゾーニング

(2) 都市圏人口

構築するモデルは都市圏全体の総人口を外生的に与えるため、モデルの実行結果は基本フレームによって結果が大きく異なる。平成14年3月に新たな『都道府県の将来推計人口』が発表されており、本稿ではその推計を利用した。その結果、既存の調査（国土交通政策研究第14号）で使用したフレーム（平成9年推計の『都道府県

の将来推計人口』)とは一致していない。例えば、本調査の対象地域である東京圏＋茨城県の人口は前回調査の値と比較して、2025年で約3%増加している。

1995年と比較して、人口がピークとなる2015年には約6%増加するが、その後、減少傾向となり、2030年には約2%程度増加となる。



注1) モデル対象地域全体(1都3県+茨城南部)の人口比較。『これまでのフレーム』とは1995年国勢調査をベースとした人口フレームである。『新たな人口フレーム』とは2000年国勢調査をベースとした人口フレームである。

図 3-2 人口フレームの比較

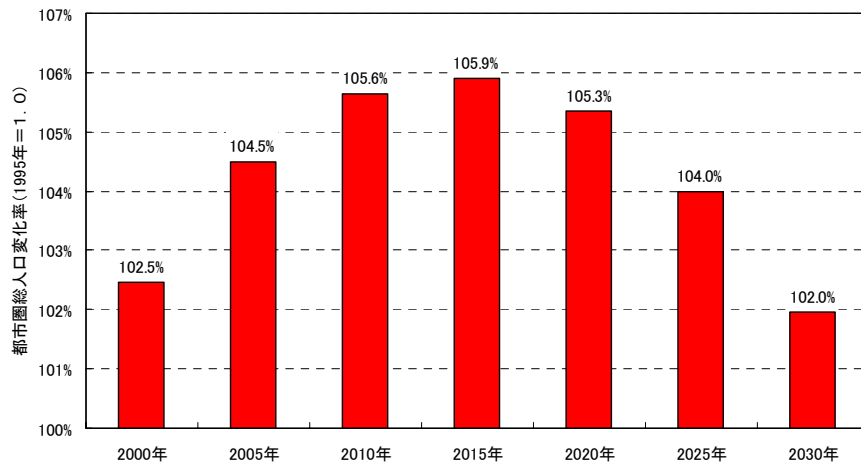


図 3-3 人口の変化率について

(3) 交通基盤整備

1) 道路整備

高速道路等の自動車専用道路の将来整備状況を下図のように設定した。基本的

には『道路整備の長期構想（道路局）』に基づいているが、道路整備の進捗は不確実性も多く、本モデルでは 2030 年までに 3 環状 9 放射の完成、第 2 湾岸道路の整備としている。

また、一般道に関しては、都市計画道路の整備進捗を考慮し、本モデルで影響のあると考えられる 4 車線以上の道路を対象としている。



図 3-4 自動車専用道路ネットワークの設定

2) 鉄道整備

鉄道の整備に関しては『運輸政策審議会 18 号答申』の A1、A2 路線を設定している。A1、A2 路線とは以下の整備路線のことである。

A1 路線とは、現時点において既に整備に着手している路線及び鉄道整備に係る条件が概ね整っており、2015 年までに開業することが適当である路線である。A2 路線とは、整備手段の見通し等の鉄道整備に係る熟度、投資能力等の面で解決すべき基本的な課題があり、現時点で開業時期は特定できないが、少なくとも 2015 年までに整備着手することが適当である路線である。



出所：運輸政策審議会 18号答申より作成

図 3-5 運輸政策審議会 18号答申図

3-2 モデルの暫定実行結果

(1) 総従業者数の変化

実際の計算結果は下表のとおりである。本調査では東京圏における道路、鉄道の整備を行った場合 (With) と行わなかった場合 (Without) でマクロ経済モデルとの連携を行った。推計年次は 2030 年であり、1995 年と比較して約 90 万人増加する。

収束計算の 3 回目では交通基盤整備有無 (With/Without) を比較すると、総従業者数で約 18,000 人の差となり、交通基盤整備による地域経済に与える効果の分析が可能となった。

表 3-1 収束回別の都市圏総従業者数の変化 (2030 年) (人)

	1 回目	2 回目	3 回目	3 回目 - 1 回目
With	17,908,994	18,819,252	18,819,060	910,066
Without	17,908,994	18,801,737	18,801,413	892,419
With-Without	0	17,515	17,647	

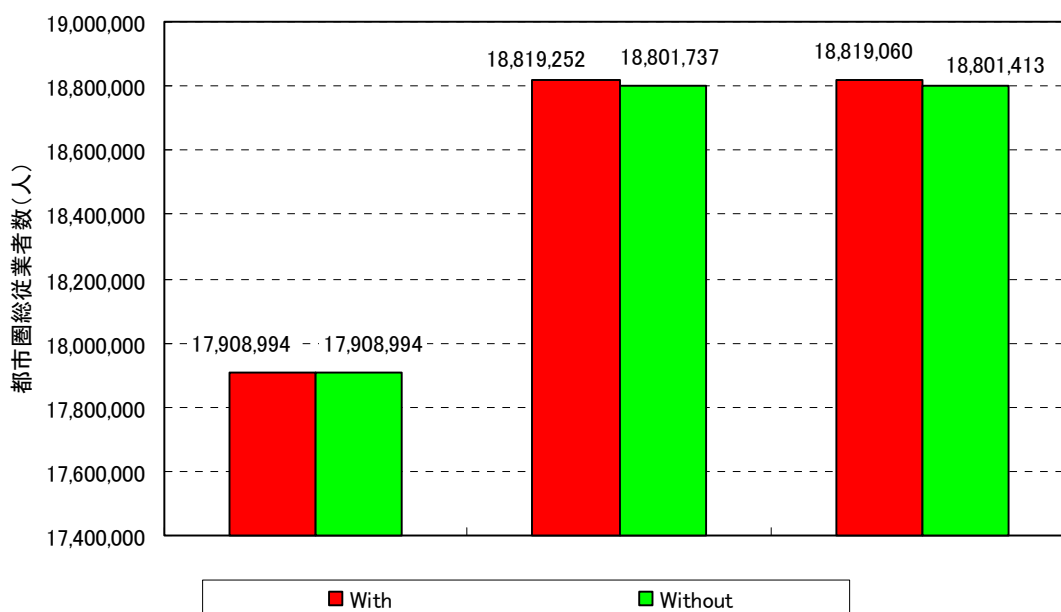


図 3-6 収束回数別総従業員数の変化

(2) CO2 排出量 (自動車+鉄道)

CO2 排出量の推計結果は以下のとおりである。2030 年では交通基盤整備有無 (with/without) とともに 1995 年と比較して多くなる。特に交通基盤整備を行った場合、1995 年比で約 17% の増加となる。

2030 年における交通基盤整備による CO2 排出量の変化をみると、交通基盤整備を行った場合、整備しない場合と比較して 114 万トン-C/年 (約 9.3%) 増加する。これは主に交通基盤整備を行った場合の交通量 (総走行台キロ) の増加によるものである。

表 3-2 CO2 排出量の比較

	自動車		鉄道		合計	
	排出量	1995 年比	排出量	1995 年比	排出量	1995 年比
1995 年	1,085.5	100.0%	76.6	100.0%	1,163	100.0%
2030 年 : with	1,272.2	117.2%	86.0	112.2%	1,359	116.9%
2030 年 : without	1,167.1	107.5%	77.5	101.1%	1,246	107.1%

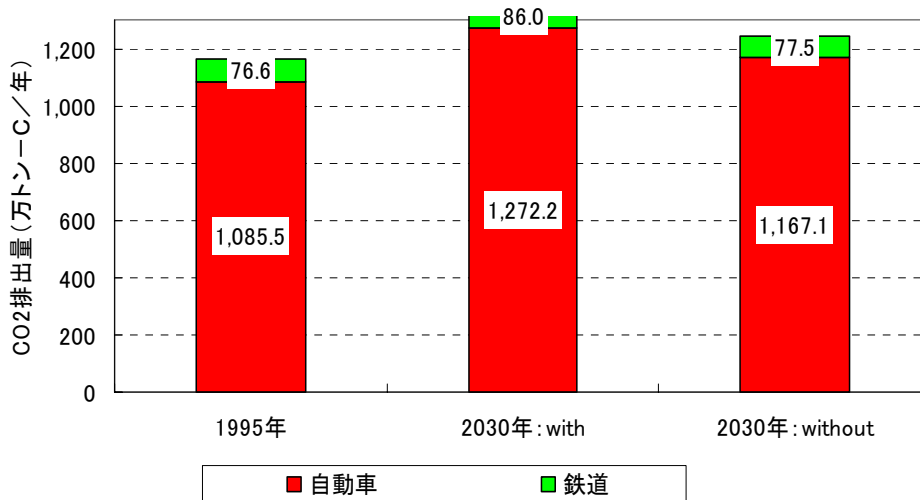


図 3-7 CO2 排出量の比較

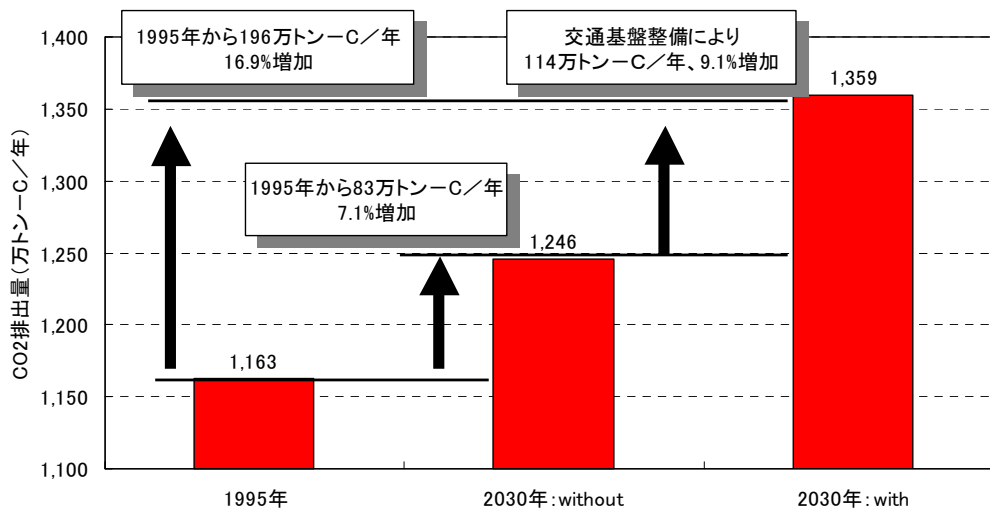


図 3-8 交通基盤整備による CO2 排出量の変化 (自動車+鉄道)

(3) 生産額の変化

生産額は 1995 年比で整備有りの場合、7%程度増加するが、整備無しの場合には若干減少しており、交通基盤の整備が総生産の増加に寄与していることがわかる。

表 3-3 生産額の変化 (兆円/年)

	生産額	1995 年比
1995 年	154.71	100.00%
2030 年 : with	165.05	107.02%
2030 年 : without	153.57	99.59%

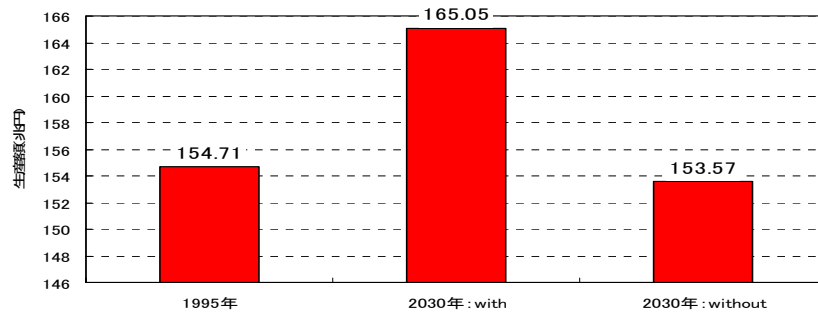


図 3-9 生産額の変化

(4) 交通関連

1) 自動車総走行台キロの比較： Σ (交通量×移動距離)

将来(2030年)の自動車総走行台キロは1995年比で整備有りでは約21%、整備無しでは約4%増加し、交通基盤整備により大幅に変化する。

表 3-4 自動車総走行台キロの変化(億台キロ/年)

	ゾーン内々	内外トリップ	合計	1995年比
1995年	174.9	1,209.1	1,384.0	100.00%
2030年: with	191.2	1,484.8	1,676.0	121.10%
2030年: without	174.2	1,277.3	1,451.4	104.87%

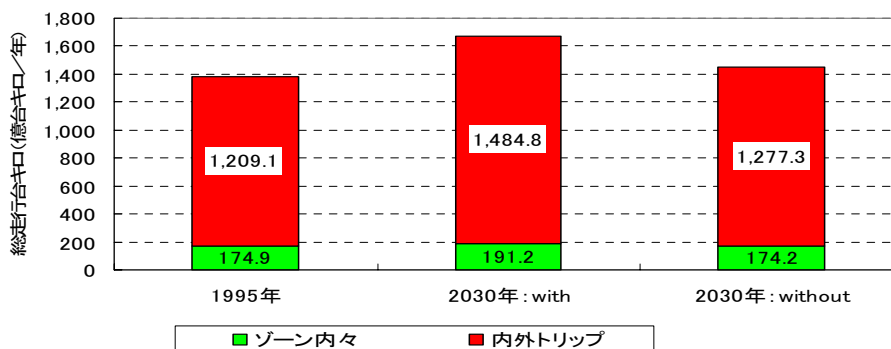


図 3-10 自動車総走行台キロの変化

2) 自動車総走行台時の比較： Σ (交通量×移動時間)

将来(2030年)の総走行台時は1995年比で整備有りの場合は17%増加し、無しの場合は8%増加し、増加率は走行台キロよりも小さい。

従来の交通計画では総トリップ数が整備有無で同じと仮定して分析を行っていたため、総走行台時が減少していたが、CUEモデルでは基盤整備による【誘発交通】を考慮しており、従来の交通計画とは異なる結果となっている。

表 3-5 自動車総走行台時（総交通時間）の変化（億台時／年）

	ゾーン内々	内外トリップ	合計	1995年比
1995年	8.96	49.89	58.84	100.00%
2030年：with	9.74	59.26	69.01	117.27%
2030年：without	8.87	54.70	63.57	108.04%

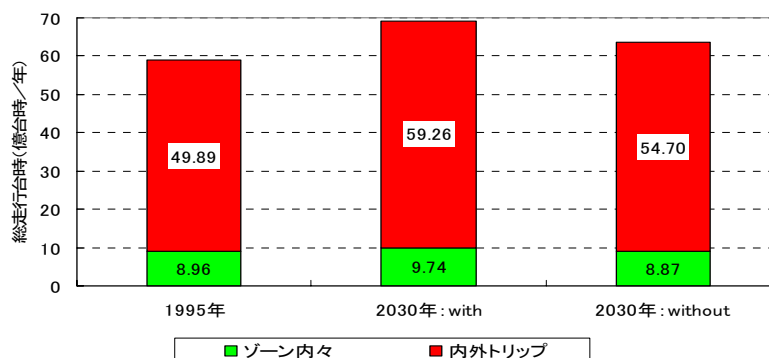


図 3-1-1 自動車総走行台時（総走行時間）の比較

3) 自動車平均旅行速度の比較

自動車の平均旅行速度は 2030 年では整備有りの場合、約 0.8km/h 程度上昇するが、整備無しの場合には約 0.7km/h 低下する。

表 3-6 自動車平均旅行速度の変化 (km/h)

	内々	内外	合計	1995年比
1995年	19.523	24.237	23.519	100.00%
2030年：with	19.627	25.054	24.288	103.27%
2030年：without	19.635	23.349	22.831	97.07%

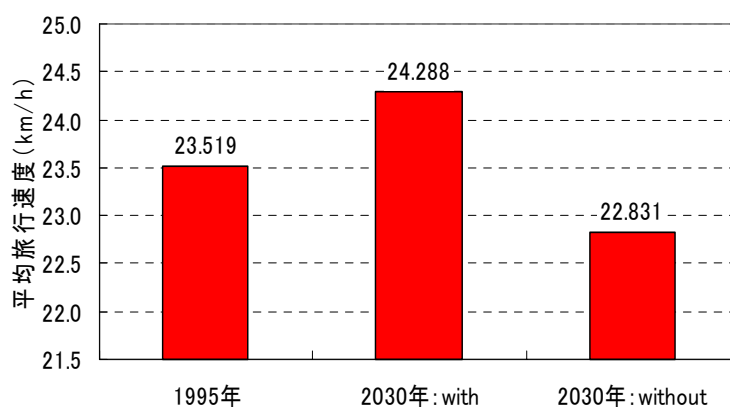


図 3-1-2 自動車平均旅行速度の変化

4) 鉄道輸送人キロの比較

鉄道の輸送人キロは1995年比で整備有りの場合、約11%増加する。整備無しの場合には道路混雑により鉄道に転換することが見込まれ、鉄道需要は増加する。

表 3-7 鉄道輸送人キロの変化

	ゾーン内々	内外トリップ	合計	1995年比
1995年	5.5	1,527.1	1,532.7	100.00%
2030年：with	6.3	1,713.4	1,719.7	112.20%
2030年：without	5.5	1,543.8	1,549.4	101.09%

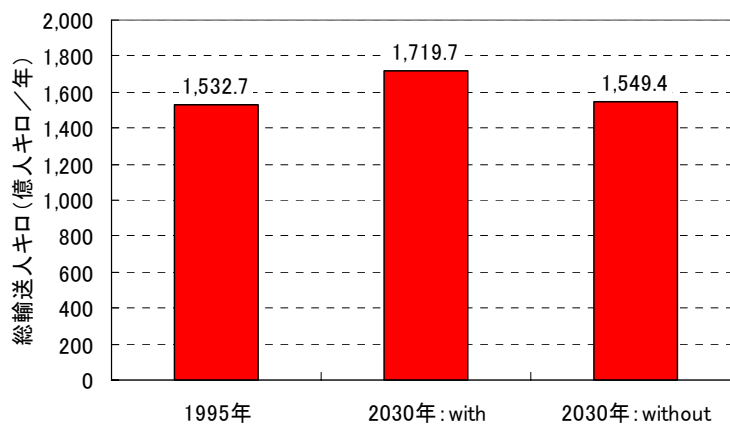


図 3-13 鉄道輸送人キロの変化

5) 自動車分担率の変化

自動車分担率は全目的では整備有りの場合、自動車分担率が約4%増加し、整備無しの場合にも0.4%増加する。整備無しの場合には人キロベースでは鉄道需要が増加するが、トリップベースでは自動車トリップが増加する。鉄道の場合は長距離トリップが増加し、自動車の場合は比較的短距離のトリップが増加していると考えられる。

表 3-8 自動車分担率の変化

自動車分担率	通勤(G)	通学(G)	私事(G)	業務(G)	帰宅(G)	平均
1995年	35.3%	17.7%	66.1%	62.4%	44.3%	46.12%
2030年：with	36.0%	17.9%	67.3%	63.8%	46.1%	48.01%
2030年：without	36.7%	18.0%	66.8%	63.8%	44.5%	46.30%

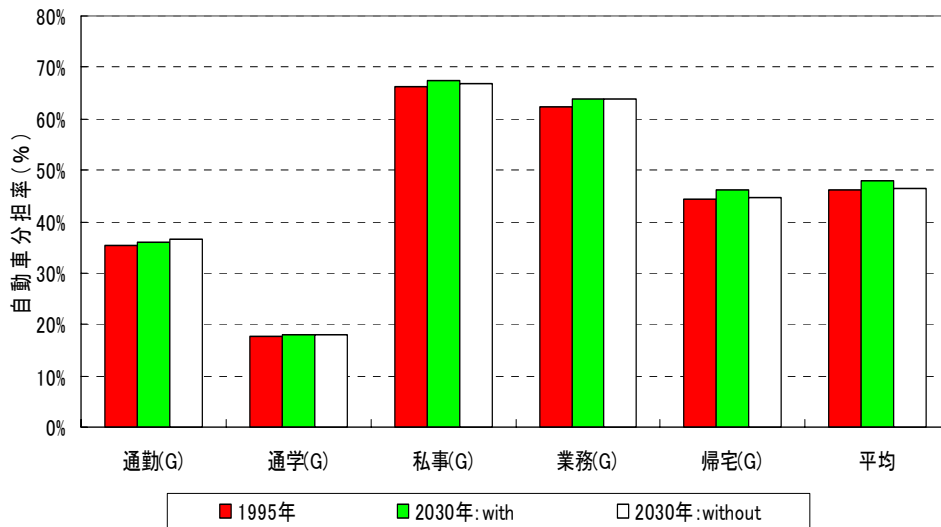


図 3-14 交通手段分担率の変化

6) トリップ数の比較

トリップ数は私事、業務の場合、1995年比で整備有りの場合、約12%増加するが、整備無しの場合はほとんど変化しない。特に、整備有りの場合には誘発交通が発生し、私事、業務目的のトリップが増加している。

表 3-9 トリップ数の変化

総トリップ数	通勤(G)	通学(G)	私事(G)	業務(G)	帰宅(G)	合計	1995年比
1995年	931	222	702	319	1,604	3,779	100.0%
2030年:with	997	232	834	394	1,783	4,240	112.2%
2030年:without	996	231	673	298	1,643	3,841	101.6%

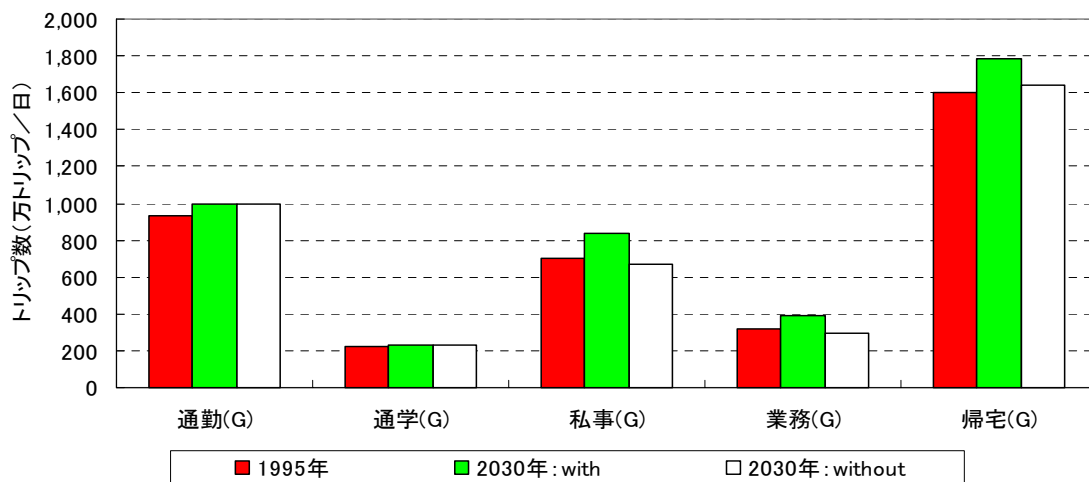


図 3-15 総トリップ数の変化

(5) 便益の計測

1) 等価的偏差 EV による計測

CUE モデルは効用理論に基づいて構築がなされているため、便益の定義を厳密に行うことが可能である。また、都市圏をゾーン分割しているため、ゾーンごとに便益の計測を行うことが可能となる。

企業の便益に関しては CUE から計測される利潤を用い、地主の便益に関しては上昇地代に面積を乗じて計測される。家計の便益に関しては、地域別 $EV(EV_i)$ はゾーン i ごとの世帯の効用水準を用いて定義される。すなわち、モデル中の間接効用関数を用いて以下のように定義される。

$$\begin{aligned} & \ln(I_i^A + EV_i) - \alpha_a \ln(r_i^A) - \alpha_x \ln(q_i^A) - \alpha_l \ln(\bar{w}) \\ & = \ln(I_i^B) - \alpha_a \ln(r_i^B) - \alpha_x \ln(q_i^B) - \alpha_l \ln(\bar{w}) \end{aligned} \quad (4.2.1.a)$$

A: 施策無し、B: 施策有り

$$EV_i = \frac{I_i^B}{\left[\frac{r_i^B}{r_i^A} \right]^{\alpha_a} \left[\frac{q_i^B}{q_i^A} \right]^{\alpha_x}} - I_i^A \quad (4.2.1.b)$$

以上より、等価的偏差による各主体別の便益計測結果は以下のとおりであり、合計で約 5.6 兆円/年の効果となる。そのうち、家計（世帯）には 0.78 兆円、企業には 3.7 兆円、地主には 1.1 兆円の効果となる。

表 3-10 主体別の便益（億円/年）

家計	企業	地主	総便益
7,814	36,750	11,385	55,950

等価的偏差EVによる便益計測結果

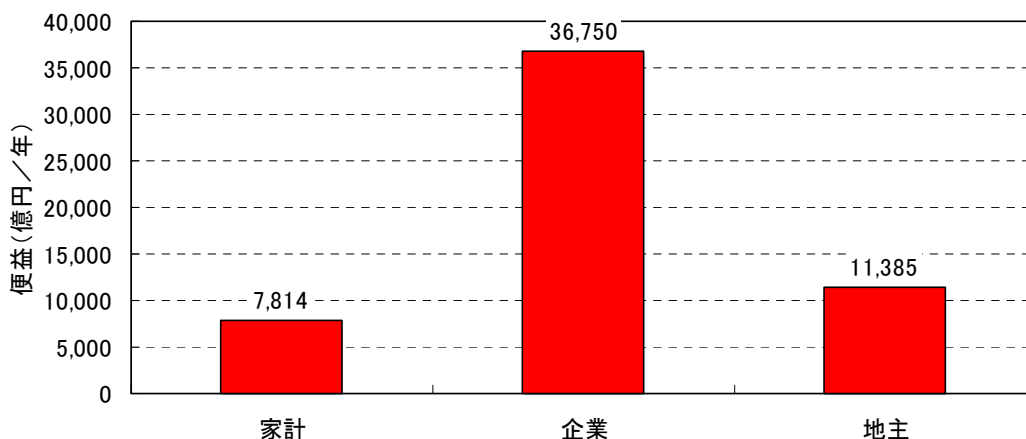


図 3-16 主体別便益（等価的偏差による計測結果）

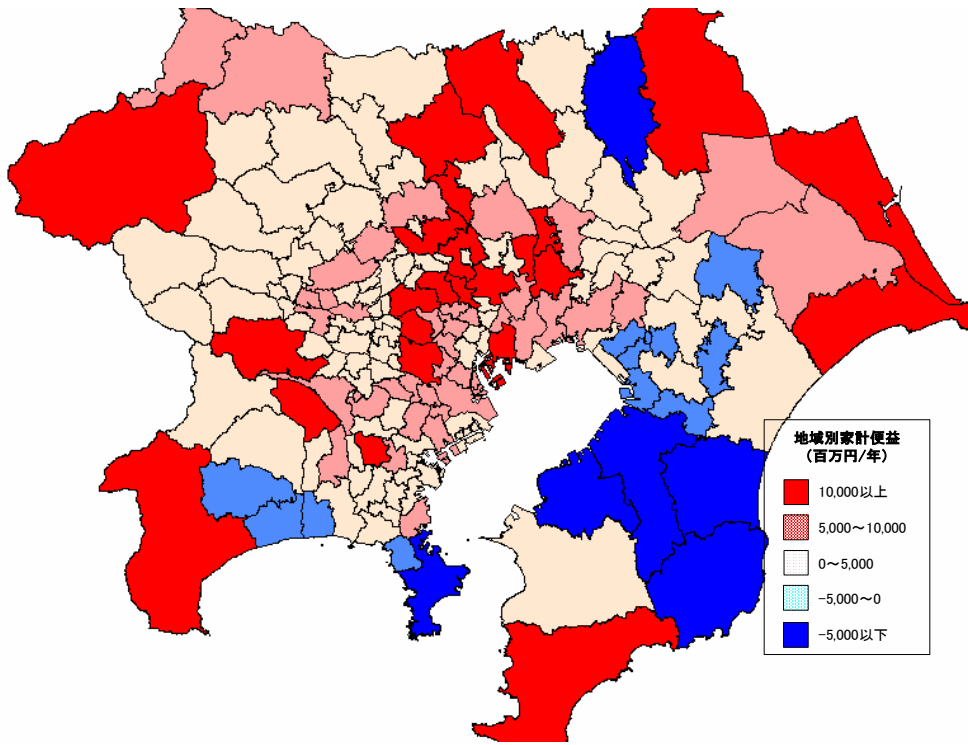


図 3-17 地域別家計の便益

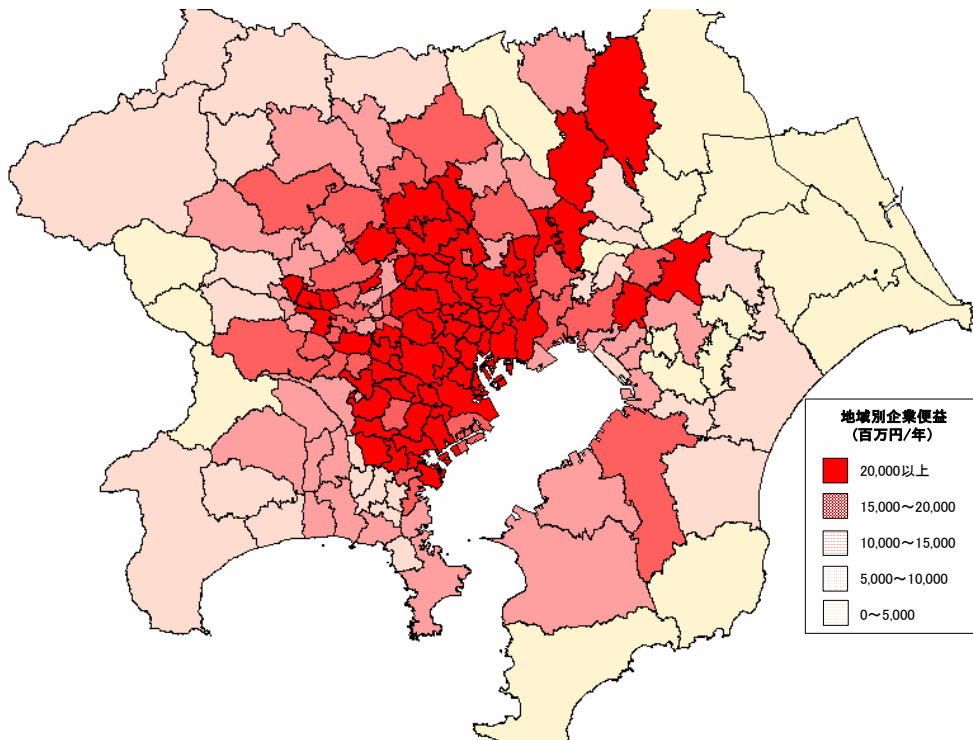


図 3-18 地域別企業の便益

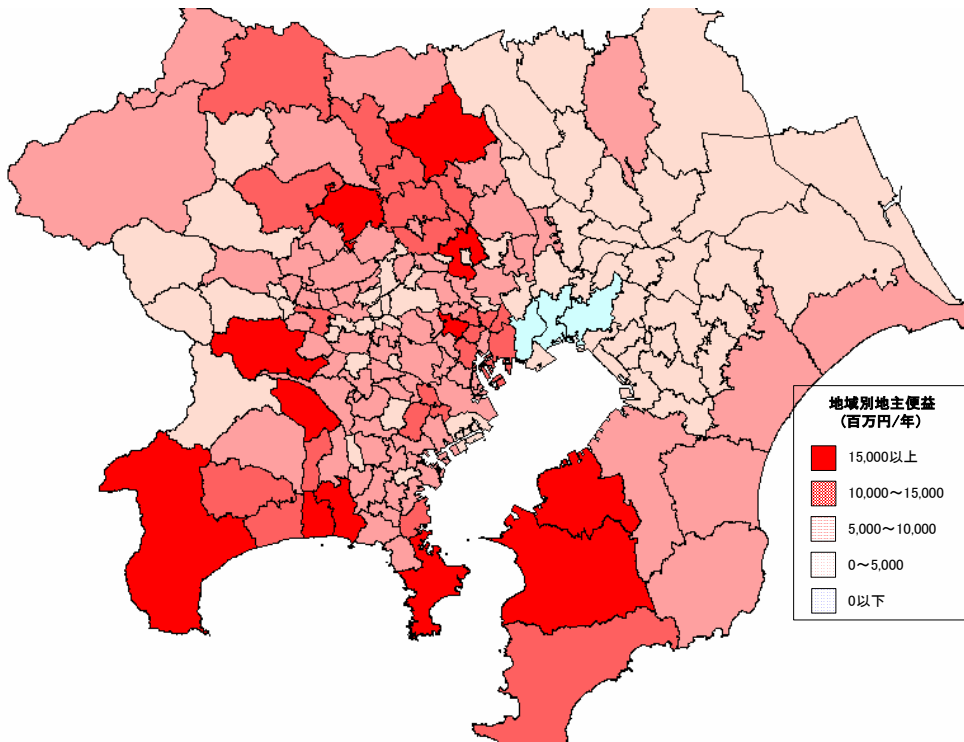


図 3-19 地域別地主の便益

【参考：B/C の算出】

- 参考として、上記の CUE モデルによる等価的偏差 *EV* に基づく便益を用いて費用・便益分析を行った。
- 事業費は鉄道に関しては運輸政策審議会 18 号答申の事業費 7.2 兆円、道路に関しては未確定な部分が多いため、3 環状に関しては事業実績より事業単価を算出し、事業量（延長）に乘じ、約 14 兆円としており、その他の道路も含めて 19 兆円と見込んでいる。そのため総事業費は 26.2 兆円と設定している。
- 費用便益分析の結果は以下のとおりであり、 $B/C = 2.19$ 程度になる。

表 3-11 道路事業費用

	平成 9 年 度末延長 (km)	H9-H14			長期構想			事業総額 (億円)
		事業量 (km)	事業費 (億円)	H14 延 長(km)	事業量 (km)	目 標 (km)	単価(億 円/km)	
首都圏中央連絡自動車道	41	32	8,300	73	259	300	259	67,178
東京外かく環状道路	30	0	2,600	30	60	90	259	15,563
首都高速道路	248	38	14,200	286	172	420	374	64,274

出所：道路局資料より作成

表 3-12 参考：費用便益分析結果

基準年	1995年（平成7年）
供用年	2030年（平成42年）
初年便益（億円／年）	55,950
費用（億円／35年）	262,500
総便益の現在価値（億円／50年）[平成7年価格]	318,767
総費用の現在価値（億円／35年）[平成7年価格]	145,584
B/C	2.19

2) 消費者余剰（CS）による分析

- 従来交通基盤整備による社会的便益の計測は消費者余剰に基づく方法である。ここでは従来手法を用いて便益の計測を行う。計測にあたっては「道路投資の評価に関する指針（案）（1998）」及び「鉄道プロジェクトの費用対効果分析マニュアル99」に基づき以下の便益項目を計上した。
- 上記マニュアルでは以下の「台形公式」を用いて計測される。

$$UB = \sum_{i,j} \frac{1}{2} (Q_{ij}^0 + Q_{ij}^1) (C_{ij}^0 - C_{ij}^1) \quad (4.2.2)$$

UB : 利用者便益

Q_{ij}^0 : 整備無しの場合のOD交通量、 Q_{ij}^1 : 整備有りの場合のOD交通量

C_{ij}^0 : 整備無しの場合の交通費用、 C_{ij}^1 : 整備有りの場合の交通費用

- 本調査では上式を用いて、利用者便益（時間短縮効果）を計測した。結果は以下のとおりであり、道路利用では0.58兆円／年、鉄道利用では0.48兆円／年の便益であり、合計で1.06兆円／年の便益となっている。
- この値は前述のEVによる計測値（5.6兆円／年）の半分以下の値であるが、EVでの家計の便益（0.78兆円）とCSでの通勤・通学・私事・帰宅での便益は0.95兆円となっており、ほぼ同程度の値となっている。
- 本調査で構築したCUEモデルは企業の生産活動に「集積の経済」による収穫逓増の概念（外部性）を考慮しているため、EVでの計測の場合、企業の利潤（便益）が大きくなっているが、現状での東京圏の実態と整合的と考えられる。

表 3-13 消費者余剰分析による便益計測（トリップベース）

億円	自動車	鉄道	合計
通勤	1,317	1,528	2,846
通学	166	445	610
私事	1,188	451	1,640
業務	865	248	1,113
帰宅	2,285	2,117	4,402
合計	5,822	4,789	10,611

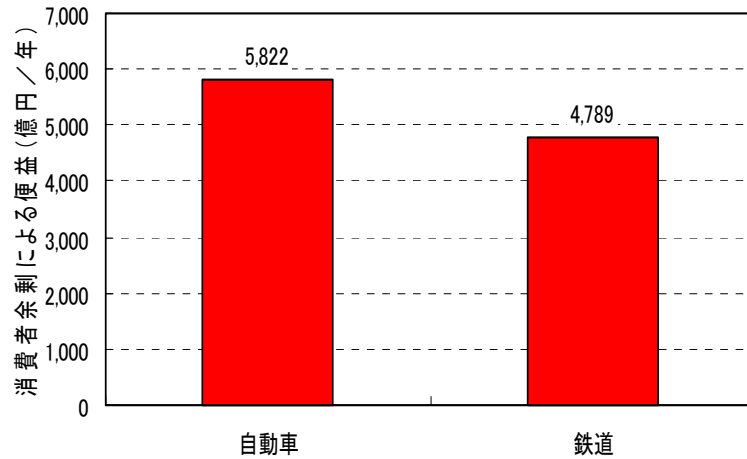


図 3-20 消費者余剰分析による便益計測結果

(6) 土地利用の状況

1) 人口の変化

1995年から2030年への各ゾーンの人口の変化は、交通基盤整備の有無により結果が異なる。整備ありの場合には、人口は都心部を中心に減少傾向となり、周辺部、郊外部で増加している。東京都心部から千葉市にかけての京葉臨海部での人口減少が著しい。

整備無しの場合には、人口は都心部周辺部(主に15~25km圏内、主に市川市、川崎市、世田谷等)で増加し、郊外部(主に房総半島)で減少している。

これらの結果は、交通基盤整備により交通費用が減少し、郊外に居住しても高い水準の効用が達成できるため、都心部から郊外へ立地が変更されることによる。整備なしの場合には、逆に郊外から都心方向に立地が変更される傾向がある。

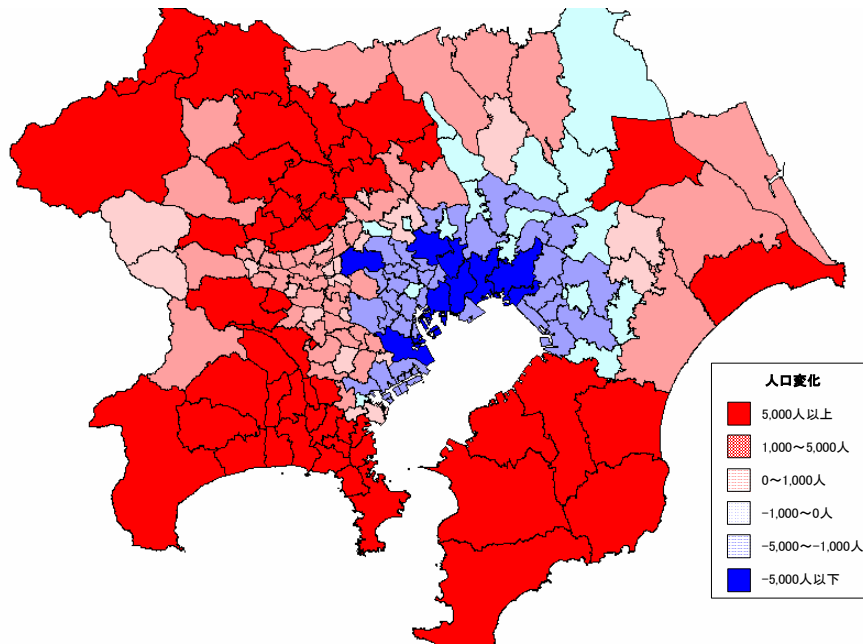


図 3-2 1 人口変化 (2030 年有り-1995 年)

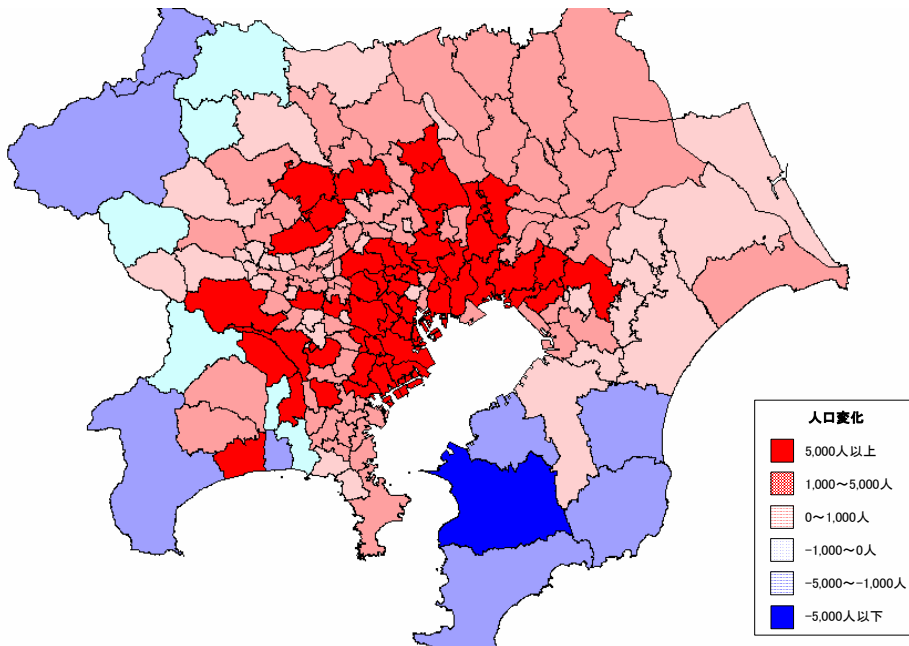


図 3-2 2 人口変化 (2030 年無し-1995 年)

2) 従業者数の変化

1995 年から 2030 年への各ゾーン従業者数の変化についても、交通基盤整備の有無により結果が異なる。

交通基盤の整備ありの場合には、都心部に高集積が起こって従業者数が増加し、郊外部にかけて従業者の増加率が減少する。人口の変化とは逆の傾向—すなわち、交通基盤を整備すると、人口は郊外部へ従業者数は都心部へという傾向—が出ることに留意が必要である。

整備なしの場合については、それほどの高集積は生じず、各ゾーンの従業者数の変化率は小さい。ただ、従業者の総数について整備ありの場合と整備なしの場合とで大きな差が生じるわけではない。

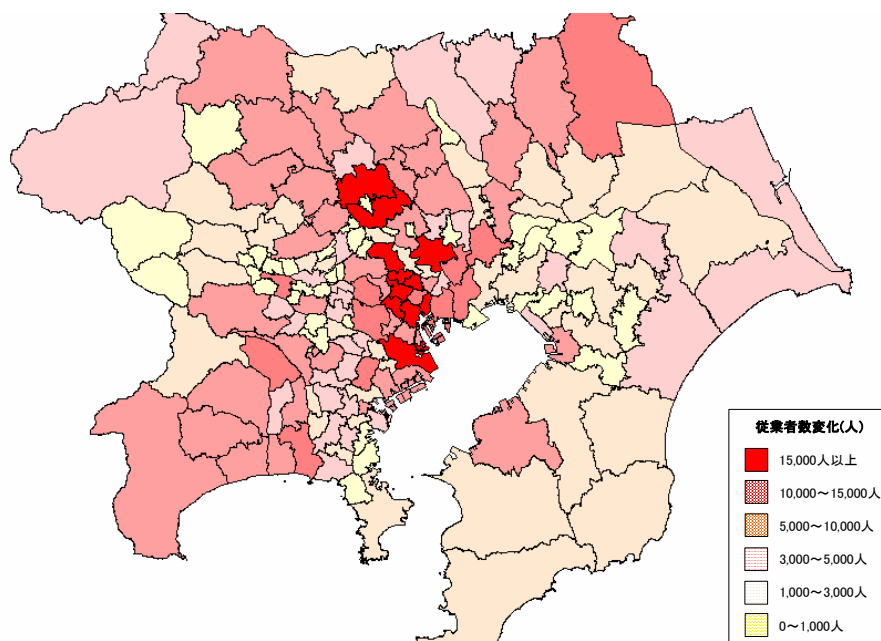


図 3-2 3 従業者数変化 (2030 有り - 1995 年)

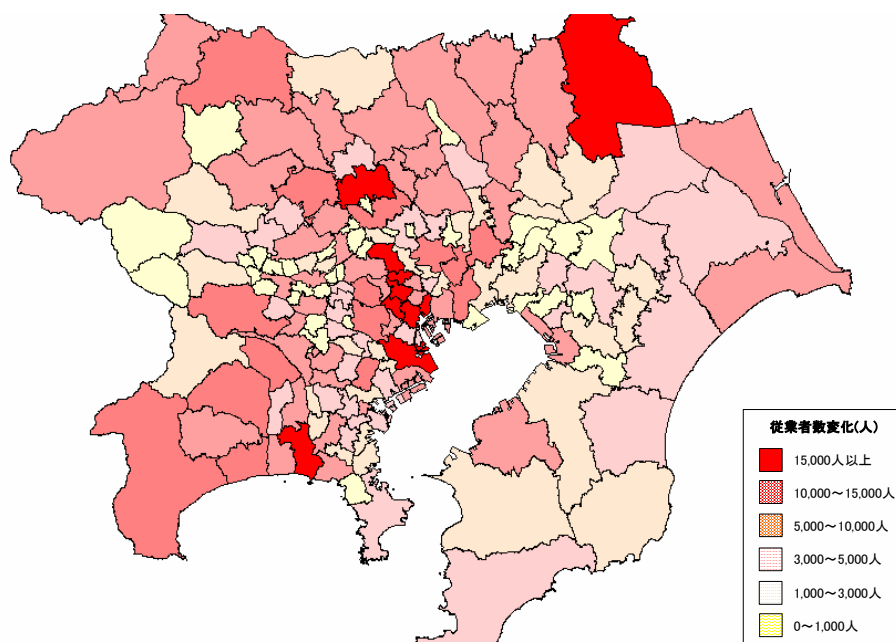


図 3-2 4 従業者数変化 (2030 年無し - 1995 年)

3) 移動時間の変化

各種トリップにかかる移動時間に関しては、交通基盤を整備した場合には、主

に圏央道等が整備される郊外部で短縮される。逆に、整備をしない場合には房総半島等で増加している。

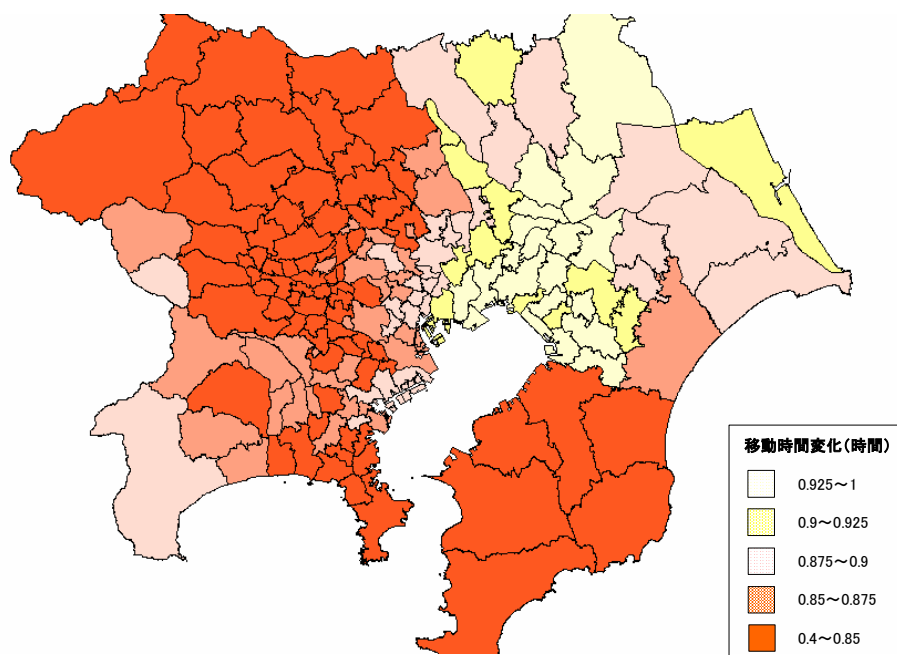


図 3-2 5 移動時間の変化 (2030 有り-1995 年)

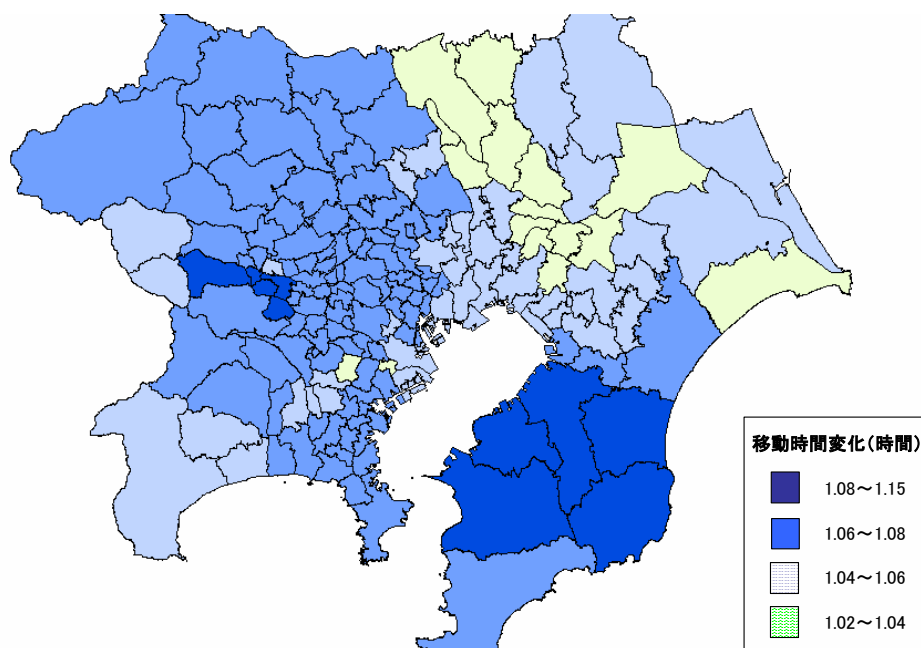


図 3-2 6 移動時間の変化 (2030 無し-1995 年)

4) 住宅地代の変化

住宅地代は基本的に土地の需要と供給のバランスで決定されるが、本調査での結果は交通基盤整備の有無による大きな差は生じない。これは交通基盤を整備した場合、郊外部で人口が増加し住宅需要を押し上げるものの、そのポテンシャル

に合わせて地主が宅地供給を増やすためである。

しかし、交通基盤整備ありの場合、整備なしの場合と比較して、全体的に住宅地代が上昇傾向にあることは見てとれる。

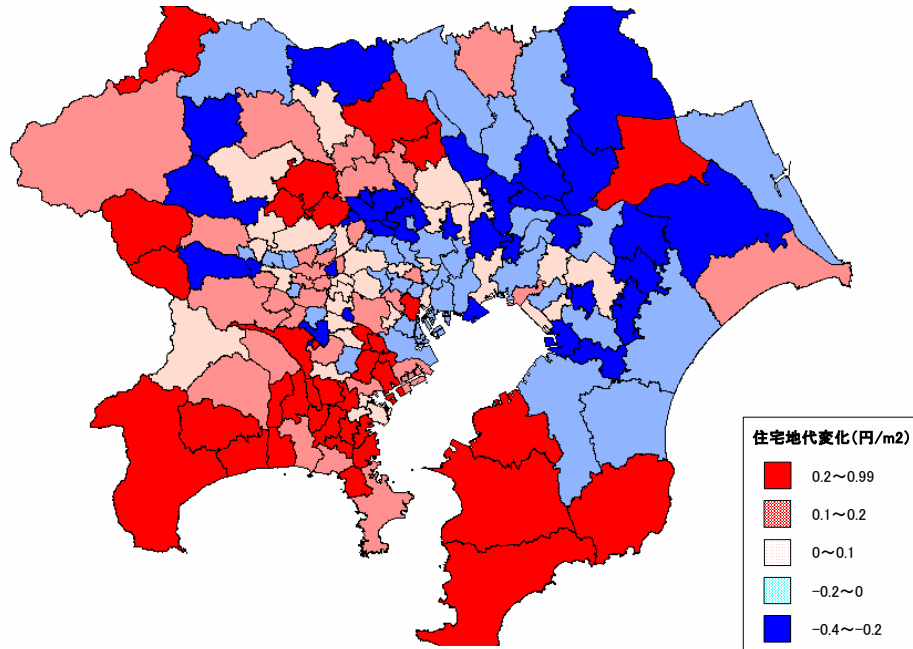


図 3-27 住宅地代の変化 (2030 有り - 1995 年)

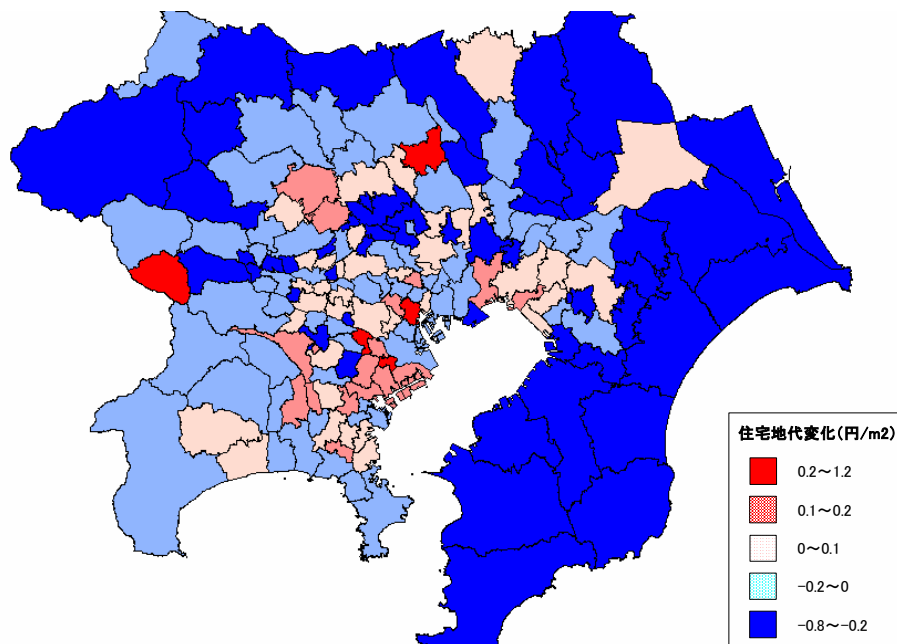


図 3-28 住宅地代の変化 (2030 年無し - 1995 年)

5) 業務地代の変化

業務地代は交通基盤の整備ありの場合、都心部を中心に上昇していく。つまり、

業務地として都心部での立地ポテンシャルが増大し、地主が土地を供給する一方で、需要の増加がそれを上回り、業務地代が上昇するためである。

他方、整備なしの場合、逆に都心部を中心に下落していく。

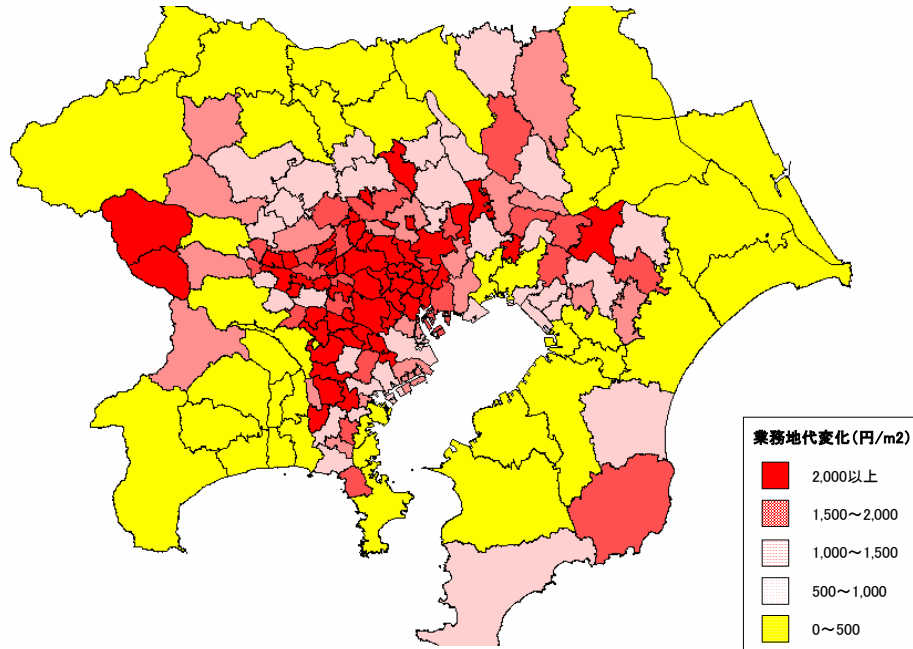


図 3-2 9 業務地代の変化 (2030 年有り-1995 年)

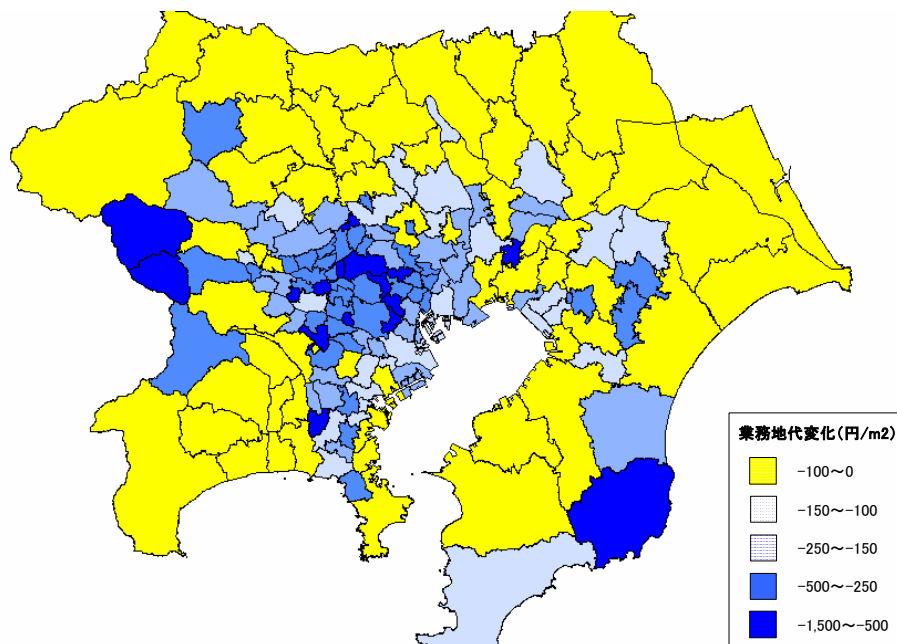


図 3-3 0 業務地代の変化 (2030 年無し-1995 年)

第4章

考 察

第4章 考察

4-1 暫定実行結果

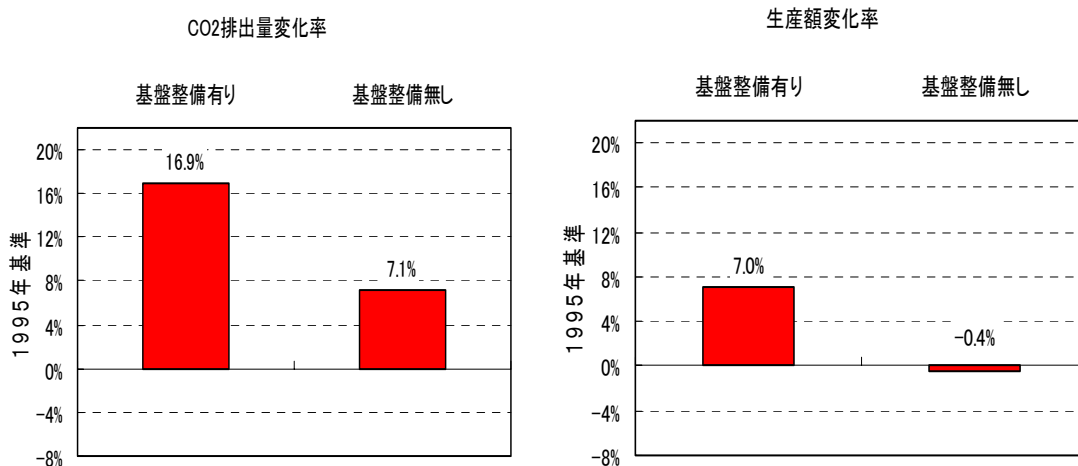
モデルの暫定実行結果から以下のことが示唆された。

2030年における交通基盤整備（道路＋鉄道）の有無の結果を1995年と比較したものが下図である。CO₂排出量は整備した場合、約16.9%、整備しない場合でも約7.1%増加する。生産額は整備有りの場合、約7%増加、整備しない場合は約0.4%減少する傾向にある。

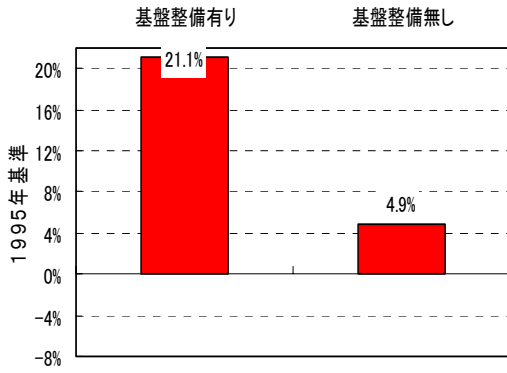
交通指標に関しては整備有りの場合には、自動車総走行台キロ、自動車総走行台時、平均旅行速度が増加しており、交通基盤整備により移動利便性は向上したが、誘発交通の発生により、自動車交通需要が大幅に増加しており、交通ネットワーク全体として総所要時間が上昇している。逆に、整備無しの場合には従業者数、人口の増加により約5%の増加にとどまっている。

同様に、鉄道総輸送人キロ、全トリップ数も増加しており、交通基盤整備により誘発交通が発生している。ただし、便益はプラスとなっており、社会にとって交通基盤整備が大きな効果をもたらしていることが示されている。

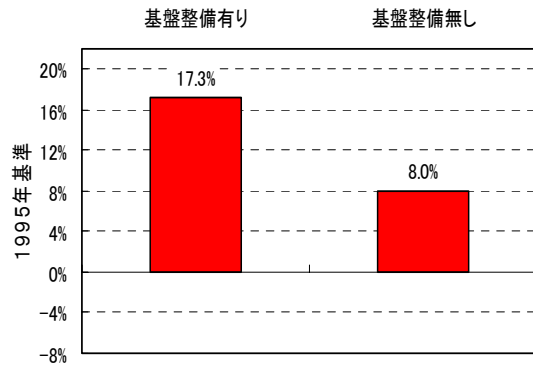
交通基盤整備は、交通利便性を向上させ、家計、企業、地主の効用を高め、経済成長を促進するが、誘発交通を発生させるため、交通需要が大幅に増加し、CO₂排出量は増加することになる。



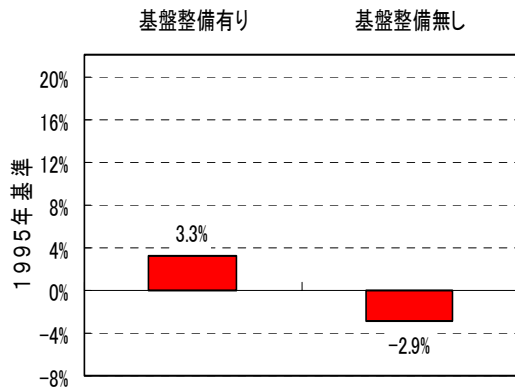
自動車総走行台キロ変化率



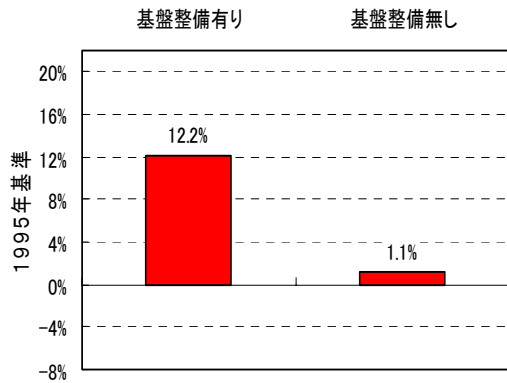
自動車総走行台時変化率



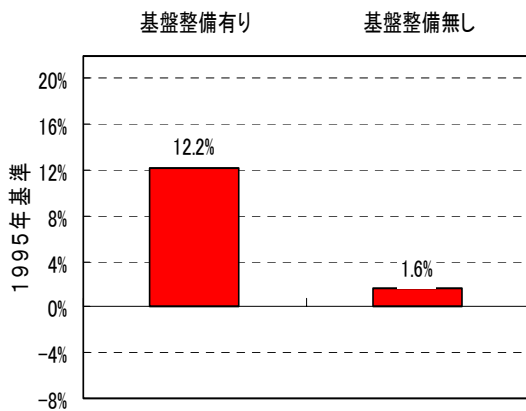
自動車旅行速度変化率



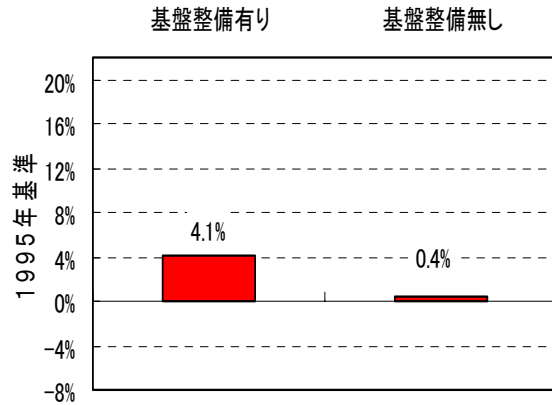
鉄道輸送人キロ変化率



総トリップ数変化率



総自動車分担率変化率



等価的偏差EVIによる便益計測結果

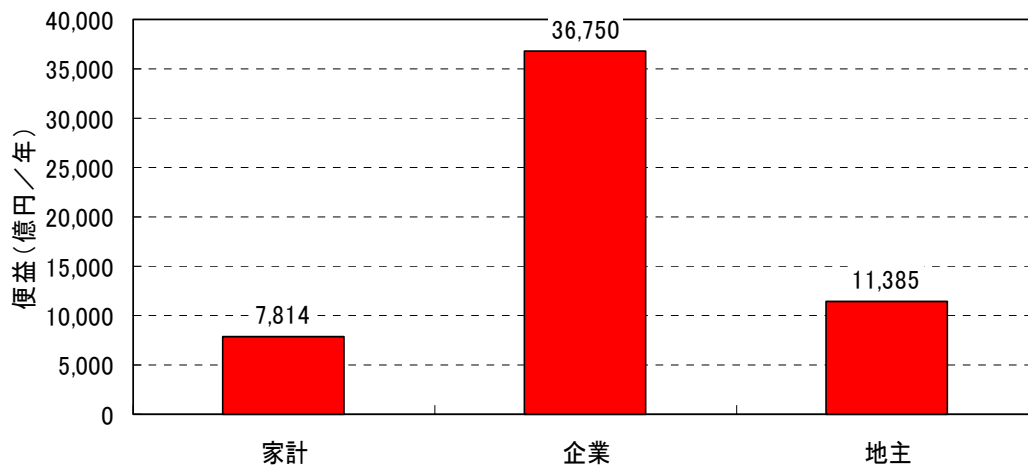


図 4-1 CUE モデルの暫定実行結果

4-2 今後の課題

(1) モデルの制約

1) 誘発交通の考え方

誘発交通は様々な要因に基づき発生しており、正確に推計するためには、より幅広い検討が必要である。

今回の推計結果は、誘発交通が過大に推計されている可能性がある。本研究で使用了た応用都市経済モデルは、「家計は所得制約の下で効用を最大化するように行動し、その際に他の財とともに交通も消費する」という仮定、「企業は生産技術制約の下で利潤を最大化させるように行動し、その際に労働や土地とともに交通も生産要素として投入する」という仮定を置いている。ここで、交通を含めた財に対する支出の割合（金額ベース）は将来に渡って一定と仮定したため、交通基盤の整備により交通一般化費用が減少した場合は、交通消費量が他の財に比べ大きく増加する可能性がある。

2) 改善すべき点

また、モデルにおいては、以下の制約がある。

- ① ゾーン区分は市区町村を主な単位としており、従来の交通需要予測に比べてゾーニングが粗い。
- ② 都道府県道以上の道路についてのみ分析し、市町村道は対象としていない。そのため、道路整備の効果については、市町村道路から規格の高い道路への交通量のシフトがCO2の排出量を引き下げる可能性があるが、その可能性は検討していない。
- ③ 産業区分を行っていない。例えば、経営がヴァーチャル化しているIT産業と

巨大な工場や倉庫などの施設を抱える重化学工業とでは立地行動や生産行動は異なる可能性がある。しかし、これらの企業活動は、産業ごとの特色が加味されることなく、ただ「企業」として定式化されている。

- ④ 企業の交通としては業務交通のみを考えている。業務交通と同じく企業の生産効率や立地選択に影響を及ぼすと考えられる物流が外生的に与えられている。
- ⑤ 上記④にも関係するが、物流から発生する交通（トラック）や通過交通は外生的に与えている。したがって、モデル実行上、交通基盤の整備が企業や家計の立地を変化させたとしても、物流や通貨交通は変化しない（＝一定）であるという問題が生じる。
- ⑥ 企業の生産効率に関わるアクセシビリティを鉄道の所要時間のみに設定している。これは、**face-to-face** の打ち合わせや営業を行うことが容易であるという意味で「近さ」が生産効率を向上させるとみなすことのできるオフィスワーカーを中心とする企業活動において、業務交通では主に公共交通が利用されるという考え方を一般化しているためである。ただし、このような一般化がどこまで許されるかについては検討の余地がある。
- ⑦ 家計が消費する財は、私事トリップ、住宅地、余暇のほかは全て「合成財」としてくくられ、各財の消費割合は金額ベースで一定であるよう関数化されているが、一般に財の価格弾力性はそれぞれ異なるものである。そのため、ある財の価格の変化（例えば、交通基盤の整備に伴う交通一般化費用の減少）がもたらす所得効果と代替効果がどこまで正確に反映されているかという問題がある。

（２）施策検討の方向性

本調査で構築されたモデルでのシミュレーションによれば、交通基盤の整備は経済成長を促し、便益も発生させるが、誘発交通が発生し、CO₂ 排出量は増加するという結果が得られる。このことは経済成長と CO₂ 排出の増加をデカップリング（分離）させるための施策を検討する必要性を示唆する。つまり、交通基盤整備による経済成長、便益を損なうことなく、CO₂ 排出量を削減するための施策を検討していくことが必要となる。例えば、以下の施策のシナリオが考えられる。今後、これらのシナリオについてシミュレーションを実施し、経済、環境への影響を分析する。

ただし、本モデルには上記（１）のような制約があることに留意が必要である。例えば、道路整備に関しては、上記、誘発交通の計算の問題に加え、市町村道から規格の高い道路へシフトすることによる CO₂ 排出量削減効果が勘案できないこと、物流から発生する交通が外生的に与えられていること、鉄道整備により生産効率が向上し経済活動が活発化するという仮定を置いていること等から、本シミュレーション結果を

もって直ちに政策判断の前提とすることを想定したものではない。

本稿は、研究途中にあるものを紹介したものであり、今後、モデルの改良を行いつつ、結果についてはモデルの仮定・制約を考慮しながら検討を進める予定である。

表 4-1 シミュレーション実行ケース

施策分野	ケース名	モデルへの導入
都市	利用可能土地面積増加	都心部の利用可能な土地面積の増加
道路	道路整備	3環状9放射、第二湾岸の整備
	ロードプライシング	都心部への流入車両に対する料金負荷（コドンエリアは別途検討必要有り）
鉄道	鉄道整備	運政審18号答申A1、A2路線の整備
	鉄道運賃変更	鉄道運賃を全体として一律▲%低減。
		単位距離あたりの運賃を安価な路線に統一 ゾーン制運賃制度とする