

S - 3 脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの多面的かつ総合的な評価・予測・立案
手法の確立に関する総合研究プロジェクト

3. 都市に対する中長期的な二酸化炭素排出削減策導入効果の評価

(5) 都市圏におけるモビリティ由来のエネルギー消費と変革による削減効果

東京大学

大学院工学系研究科 都市工学専攻

原田 昇

大学院工学系研究科 都市工学専攻

円山 琢也

〔要旨〕

本研究は、2050年までを見越した日本における中長期温暖化対策シナリオをとそれに至る環境政策の方向性を提示することを目的とした全体プロジェクトのうち、都市に対する中長期的な二酸化炭素排出削減策導入効果の評価を目的とした都市チームに所属し、都市圏におけるモビリティ由来のエネルギー消費と変革による削減効果を分析する手法の構築及びその手法による評価を行うことを目的としている。

まず都市チーム全体での議論を踏まえて、研究の方針・分析対象都市を決定し、対象都市の関連データの収集・整理を行った。さらに、評価対象政策の選定を行い、都市交通の分析モデルの基礎構造を決定した。従来の四段階推定法の問題点を改善した統合型の交通需要予測モデルを基本として、削減効果を推計する戦略モデル構築のために、職住分布最適化モデル、分布・配分統合型ネットワークモデル、ならびに貨物車需要予測手法の改良を進めている。

具体的に、平成16年度は、ネットワーク混雑を考慮した拡張型の職住分布最適化モデルを構築し、宇都宮都市圏と東京都市圏に適用した。平成17年度は、この拡張型モデルを沖縄にも適用し、規模の異なる都市圏について、40%程度のCO₂削減効果があることを明らかにした。また、エリア課金を的確に分析する新しいネットワークモデルを構築し、コードン課金との比較を、沖縄都市圏、宇都宮都市圏を対象に実施し、最適料金、社会的余剰、並びに二酸化炭素排出量削減効果の明らかにした。加えて、貨物自動車ODの推計に関して、平成16年度から検討を進め、平成17年度は東京都市圏を対称に三種類の方法を比較検討し、ロードプライシング施策等において、貨物自動車ODへの影響を考慮した効果推定を可能にした。また、自動車から自転車や徒歩への転換の可能性が高いトリップとして、荷物を伴わないピストン型の短距離移動に着目し、道路交通センサスデータを用いて、その削減ポテンシャルを明らかにした。

〔キーワード〕二酸化炭素、都市交通、物流、最適職住配置、ネットワークモデル

1．研究目的

本研究は、2050年までを見越した日本における中長期温暖化対策シナリオをとそれに至る環境政策の方向性を提示することを目的とした全体プロジェクトのうち、都市に対する中長期的な二酸化炭素排出削減策導入効果の評価を目的とした都市チームに所属し、都市圏におけるモビリティ由来のエネルギー消費と変革による削減効果を分析する手法の構築及びその手法による評価を行うことを目的としている。

2．研究方法・結果・考察

(1) 研究の基本方針の決定・データの収集

研究方針・分析対象都市の決定

都市チームにおけるWGにおける議論に従い、日本全体の予測を行うために、いくつかの特徴的な都市を選定し、それらの個別都市の検討を行い、その結果を全国単位へ拡大するという研究方針を定めた。

この都市の選定については、気候条件、規模(密度)の検討を踏まえて、札幌、広島、宇都宮、那覇が候補とし、順次、分析を進めることとした。

データの収集・整理

都市交通関連のデータの基礎として、人の移動を複数の交通手段を対象に捉えることのできるパーソントリップ調査、道路交通センサスのオーナーインタビュー調査のデータを利用することとした。道路交通センサスのデータは、自動車利用のみの移動を対象としており、公共交通利用のデータが得られないという問題があるが、特に自動車分担率の高い都市においては、有用なデータとなる。また、交通ネットワークデータの作成に必要なデジタル道路地図について、研究室所有のものを最新版に更新し、必要なGIS(Geographical Information System; 地理情報システム)などの関連ソフトを購入している。

平成16年度は、宇都宮都市圏におけるパーソントリップ調査は、1992年のデータが最新であるが、そのデータを入手し、整理を大学院生に依頼した。平成16年度に、宇都宮都市圏の自動車とバスのネットワークデータの作成と更新を行い、平成17年度に、沖縄の自動車ネットワークデータの作成を行った。

以上の作業による、各対象都市圏の都市交通データ・交通ネットワークデータの入手・整理状況をまとめたものを表1に示す。

評価対象政策の選定

分析対象都市の特徴を踏まえて、本委託業務で構築するモデルによって評価する政策として、以下のようなものを選定した。

- ・ LRT 路線の導入と TOD(Transit Oriented Development)開発、P&R による圏域拡大
- ・ プライシング、貨物車通行規制、物流施設整備
- ・ 市街地のスプロールを放置した場合、都市のコンパクト化を進めた場合の違い
- ・ 居住地の誘導、人口配置
- ・ 単体規制、自動車税制の改変(燃料税、車両税)

表1 各対象都市圏の都市交通データ・交通ネットワークデータの入手・整理状況

都市圏	都市内軌道系 公共交通	パーソントリップ (PT)調査 実施状況	交通ネットワーク データ
札幌	JR、地下鉄	道央都市(1983,1994, 2006予定)	未
宇都宮	JR	宇都宮都市圏(1992) 入手済	作成済 (自動車、バス)
広島	JR、路面電車、新交通 システム	広島都市圏(1987)	未
那覇	都市モノレール (H15開業)	沖縄本島中南部(1989,2006予定)	作成済 (自動車)
参考 (東京)	JR,私鉄、地下鉄など	東京都市圏(1988,1998)入手済	作成済 (自動車、鉄道)

(2) 全体モデルの基礎設計

評価の対象となる政策、および分析対象都市の特徴を踏まえて、構築するモデルの基礎構造を決定した。今回の検討では、中長期を対象としているため、ミクロで精緻なモデルよりもマクロで頑健な手法の構築を目指している。家計、企業の立地行動、自動車の保有選択行動なども考慮することを視野に入れる。人の動きのみならず、物の動き(物流)に対する対策をも適切に評価できる手法の構築を目指している。本研究で構築するモデルの基礎構造を図1に示す。

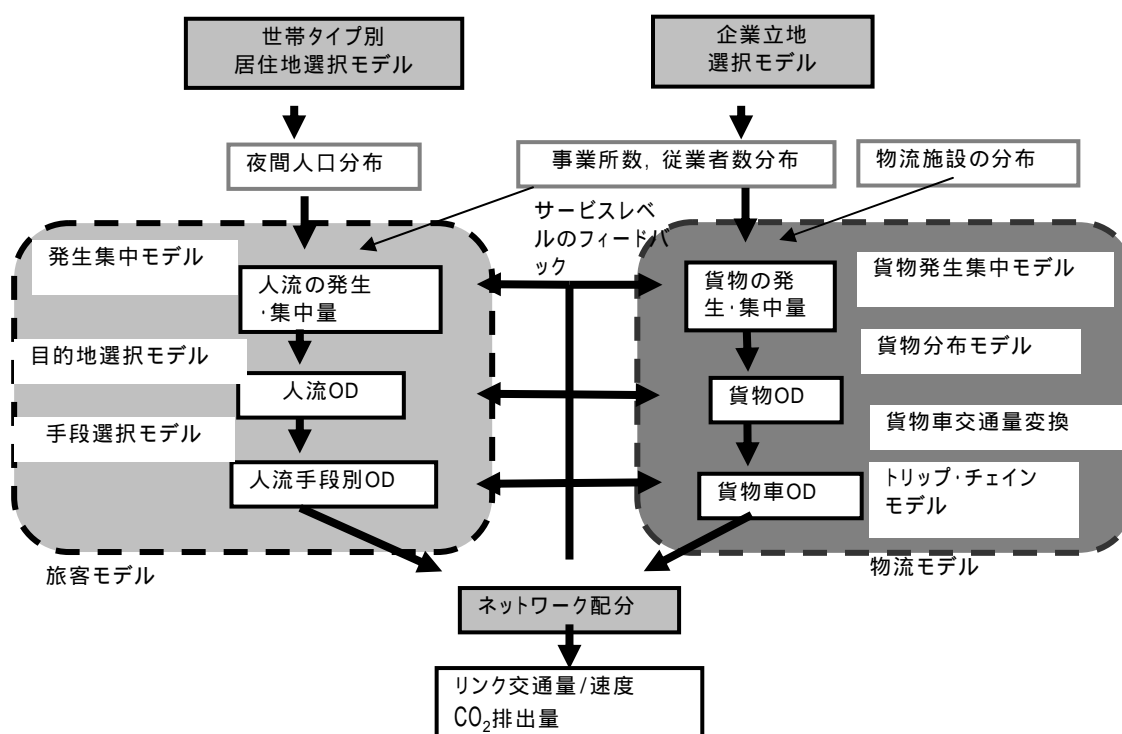


図1 都市交通モデルの全体構造

(3) 職住最適配置モデルによるCO₂削減効果試算

平成16年度にモデルを定式化し、宇都宮都市圏、東京都市圏に適用したのに続けて、平成17年度は沖縄県に適用し、その結果について考察した。

職住再配置政策とは、現状の職住分布を変化させずに、通勤OD パターンを入れ替えることで、交通・環境負荷の削減を目指すもので、都市構造に起因する交通環境負荷に対する中長期的な政策を考えるうえで、ひとつの基礎的な情報となるものである。

職住最適配置問題は、数学的には、[最適割当UE]と呼ばれる最適問題として定式化できること、その解を求めるのにネットワーク配分手法が適用できることが知られており、本研究においても、同様の手法を用いている(円山、原田、2003¹⁾)。

日本全体のCO₂削減効果を議論する際に、政策の都市圏比較は有用である。平成16年度と平成17年度に分析した、宇都宮都市圏、沖縄県、東京都市圏の結果を表2に示す。対象地区の規模が大きく異なるにもかかわらず、いずれの地域においても、40%程度の削減ポテンシャルが示されることが指摘できる。また、沖縄県のトリップ長分布の変化(図2)は、宇都宮都市圏の場合と類似していることも明らかとなった。

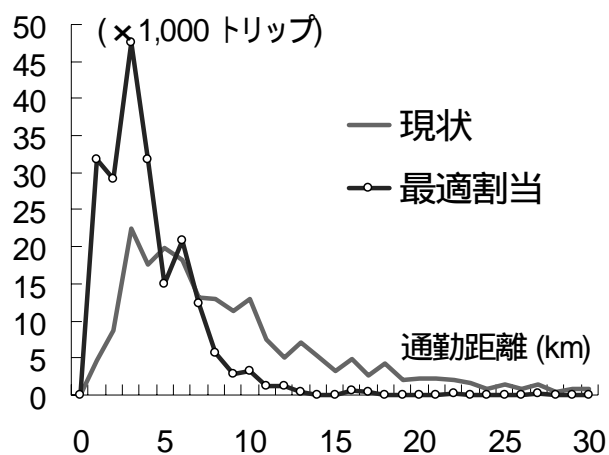


図2．通勤トリップ長分布の変化（沖縄県）

表2．職住最適配置による通勤時間とCO₂排出量の変化

都市圏	シナリオ	平均通勤時間 (分)	(変化率)	CO ₂ 排出量 (ton)	(変化率)
東京	現状	41.24	-	1,804	-
	最適 A	31.65	(-23%)	1,192	(-34%)
	最適 B	25.97	(-37%)	1,029	(-43%)
宇都宮	現状	30.43	-	149.5	-
	最適 A	21.69	(-29%)	94.0	(-37%)
沖縄	現状	24.66	-	146.0	-
	最適 A	17.70	(-28%)	88.8	(-39%)

(4) エリア課金とコードン課金の比較

モビリティ由来のエネルギー消費を削減する手法として、ロードプライシング手法は、削減ポテンシャルの大きな手法であり、消費者余剰を最大にする最適課金が設定可能という点で論理性の高い手法である。また、ロンドンのロードプライシング（エリア課金）導入とその削減効果の大きさは、技術的課題が現実に応用できるレベルまで到達していることを示し、今後、多くの都市圏で適用が期待される手法である。

平成17年度は、エリア課金の厳密な評価のために、トリップチェーンベースの非加算型経路コストを考慮することが必要になることを提案し、それを表現可能なネットワーク均衡モデルを示

し、そのモデルと等価な最適化問題を示した。そして、沖縄県と宇都宮都市圏に適用し、エリア課金とコードン課金の最適課金や消費者余剰の相違を明らかにした。

エリア課金は、対象地域内のすべての走行に対して一日単位で課金するものであり、コードンを横切る走行に課金するコードン課金と比べて、技術的に適用困難であるが、リンク別に最適課金する場合により近くなると考えられる。

ここでは、沖縄本島への適用結果を示す。1999年道路交通センサスデータからトリップチェーンデータを作成し、トリップチェーン単位の需要関数を設定し、非加算経路コストを考慮したトリップチェーン型ネットワーク均衡モデルを適用した。具体的に、那覇市都心部を仮想的な課金対象地域とし、日単位で計算した。図3に分析対象地域を示す。

図4は、コードン課金とエリア課金の社会的余剰の違いを示しており、最適エリア課金は約500円と、最適コードン課金の約250円よりも大きく、コードン課金と比べると、社会的余剰はほぼ同じで、より大きな収入が確保できることが示された。また、都市圏全体のCO₂排出量を比べると、図5に示すように、課金額の増加に対して、コードン課金の場合は、課金対象とならない地域内トリップが増加するため、削減効果が打ち消される仕組みとなっていることが確認された。

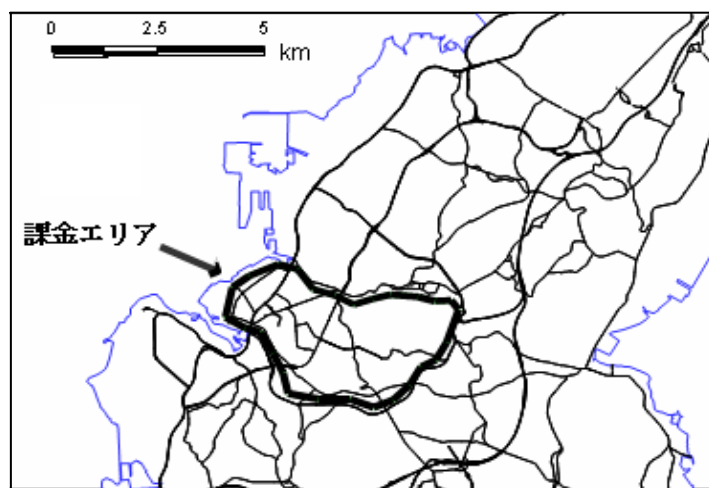


図3. 仮想的な課金対象地域; 那覇市都心部

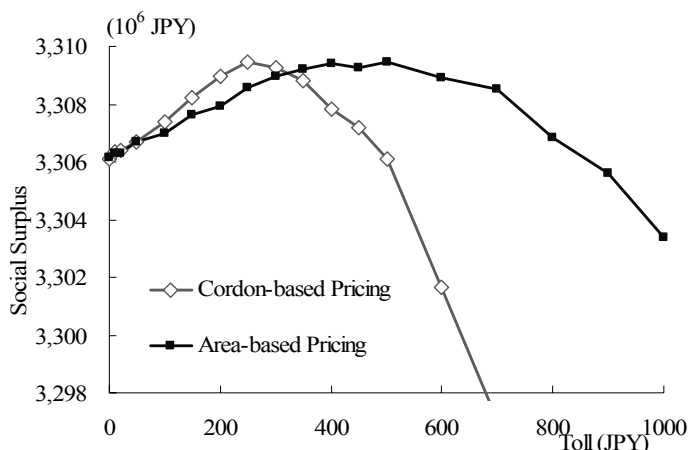


図4. 課金額と社会的余剰

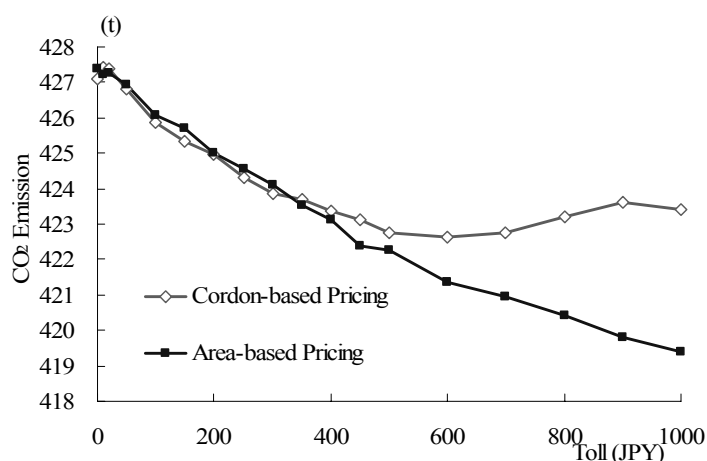


図5. 都市圏全体のCO₂排出量

(5) 貨物車交通量変換モデルの構築

平成16年度は、道路交通センサスデータを用いて、宇都宮都市圏と東京都市圏を対象に、貨物車交通の実態分析を行い、その特性を明らかにするとともに、貨物車交通量変換モデルの基礎構造を検討した。

平成17年度は、貨物車交通の実態分析を進めるとともに、貨物車交通量変換モデルを具体的に構築し、貨物車交通量の変更を考慮した施策評価が可能となることを示した。

以下では、既存研究から整理した問題点を示し、その対策として提案した貨物車交通量変換モデルの構築結果を示す。

貨物車交通量予測モデルに関する既存研究の整理

平成16年度と平成17年度の二ヵ年で、全国七都市圏での貨物車交通量予測モデルに関する既存研究の整理をおこない、予測手法の論理性を高め、推計精度を改善するための課題として、以下の点を整理した。

- 1)物の運搬に関与しない貨物車トリップも一緒に扱っており、整理不足
- 2)分布貨物重量データがモデルに組み込めていない
- 3)モデルが、外生的に与えられた多くの変数や原単位を含む
- 4)分布交通量を求める際、現在パターン法を採用している

貨物車交通の実態分析

平成16年度は、宇都宮を対象に分析を行い、東京都23区との比較を含めて、以下の点を明らかにした。分析対象は、宇都宮駅から半径30km以内に位置する市区町村を本拠とする貨物車を道路交通センサスデータより抽出したものである。

1)東京都23区同様、宇都宮市でも車交通の約半数を貨物車が占め、貨物車交通の分析の重要性が改めて明らかになった。また、東京都23区と比較してトリップ距離が長く、これから東京都では狭いエリアに目的地が多数存在し、貨物車交通が高密度に展開されていることがうかがえる。

2)宇都宮圏域の分析では、ピストン型が二割、巡回型が八割である。この割合は貨物車のサイズによらずほぼ一定である。ピストン型輸送は片道が空車であり、実車率50%と巡回型の実車率70%強に比べて差が明確であるが、積載率に関しては、低くなるイメージとは異なり、距離による加重平均をとれば、他の運行パターンと遜色なく23%程度あることが示された。ピストン型は、実車率は低いが、実車時には同一目的地に向けて同一品目を積載率高く積み込んで走行しているものと解釈できる。

平成17年度は、道路交通センサスデータを用いて、貨物車交通の内、物の移動を伴わないトリップとそれ以外を区別し、その特性の違いを分析した。東京都市圏の分析結果では、物の移動を伴わない貨物車トリップのほぼ全数は自家用貨物車によるものであり、逆に、営業貨物車トリップのほとんどは、物の移動を伴うトリップであった。また、貨物車トリップのうち、物の移動を伴うトリップは、トリップ数単位で48%、トリップチェーン数で42%であった。

貨物車交通量変換モデルの構築

平成16年度の予備検討に続いて、平成17年度は、貨物車交通量変換モデルを具体的に構築し、その施策評価への適用性を検討した。

まず、分析対象は、「物の動きに関連するトリップ」とし、物の移動を伴う貨物車トリップを

抽出し、その拡大によって、変換元となる「物の動き(物のOD表)」と「貨物の動き(貨物のOD表)」を構築した。なお、ピストン型と巡回型は今回の分析では区別しないこととした。

次に、この基礎データを基に、「貨物の動き」を「貨物車の動き」に変換する新しい手法を検討した。その特徴は、「貨物の動き」に含まれる「ゾーン間のつながり」を示す指標を考案し、これを用いた推計手法を構築した点にある。

考案した四つの「つながり」とその定義式は、表3の通りである。具体的に、間の分布貨物重量を $W_{\alpha\beta}$ とした場合、間の貨物輸送について考察するために、間の貨物の「1次的なつながり」、「逆1次的なつながり」、「2次的なつながり」、「逆2次的なつながり」の4つについて図1のように定義する(以後、「1次」、「逆1次」、「2次」、「逆2次」)。間の「1次」は間のピストン輸送の実車トリップ、間の「逆1次」は間のピストン輸送の空車トリップ、間の「2次」は間の巡回型輸送の実車トリップ、間の「逆2次」は間の巡回型輸送の空車トリップに対応する。

変換手法としては、三通りの方法を考案し、比較しているが、最も再現精度の高い方法は、ゾーン別貨物車発生集中交通量を推定し、このゾーン別貨物車発生集中交通量と「つながり」変数を用いて、ゾーン間貨物車分布交通量を推定する手法となった。二段階目のモデルとしては、目的地選択型の集計ロジットモデルを用いており、「1次」、「逆1次」、「逆2次」と所要時間の四変数が統計的に有意となった。集計ロジットモデルの効用関数の推定結果を表4に示す。分布交通量の予測値と実測値の相関係数は0.882であった。

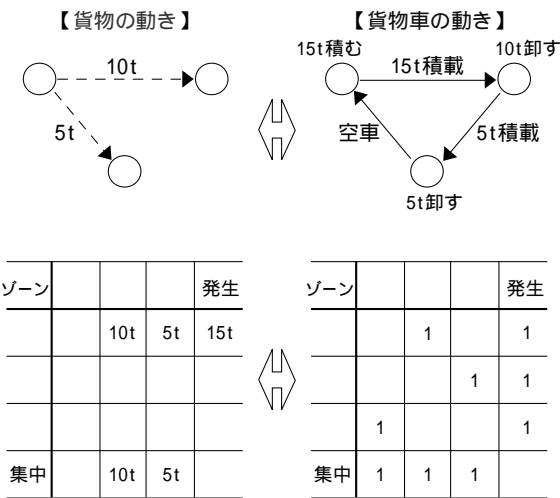


図6. 「物の動き」と「貨物車の動き」

表4. 貨物車分布推計モデルの推定結果

	推定
「1次」	0.00
「2次」	0.00
「逆2次」	0.00
所要時間	-0.00024
尤度比 ²	0.433

表3. 四つの「つながり」の定義式

【貨物の動き】	代表的な【貨物車の動き】のパターン
① $\alpha \rightarrow \beta$ $W_{\alpha\beta}$ 「 $\alpha \rightarrow \beta$ の貨物の1次的なつながり」 $=W_{\alpha\beta}$	実車トリップ 空車トリップ $\alpha \rightarrow \beta$ に実車トリップが生じる
② $\alpha \leftarrow \beta$ $W_{\beta\alpha}$ 「 $\alpha \rightarrow \beta$ の貨物の逆1次的なつながり」 $=W_{\beta\alpha}$	空車トリップ 実車トリップ $\alpha \rightarrow \beta$ に空車トリップが生じる
③ $\alpha \rightarrow \gamma$ $W_{\alpha\gamma}$ $\gamma \rightarrow \beta$ $W_{\gamma\beta}$ 「 $\alpha \rightarrow \beta$ の貨物の2次的なつながり」 $=\sqrt{W_{\alpha\gamma} \times W_{\gamma\beta}} + \sqrt{W_{\gamma\alpha} \times W_{\beta\gamma}}$	実車トリップ 空車トリップ 実車トリップ $\alpha \rightarrow \beta$ に実車トリップが生じる
④ $\alpha \rightarrow \gamma$ $W_{\alpha\gamma}$ $\gamma \leftarrow \beta$ $W_{\beta\gamma}$ 「 $\alpha \rightarrow \beta$ の貨物の逆2次的なつながり」 $=\sqrt{W_{\alpha\gamma} \times W_{\beta\gamma}}$	空車トリップ 実車トリップ 実車トリップ $\alpha \rightarrow \beta$ に空車トリップが生じる

政策評価に向けて

多くの物流TDM施策には、それが直接的に影響を与える変数が存在する。例えば、ロードプライシングであれば交通コスト、高積載車優先通行であれば積載率である。一方、構築した貨物車交通量変換モデルは、「物の動き」から「貨物車の動き」を論理的につなぐものである。ここで、物流TDM施策が本当に貨物車交通を変化させるものであるならば、物流TDM施策が直接的に影響を与える変数とモデルの入力データとの間に因果関係が存在するはずである。つまり、物流TDM施策の実施により直接的な影響のある変数が変化し、それによりモデルの入力データも変化し、最終的にモデルの出力結果である貨物車交通量も変化するので、政策評価が可能となるのである。例えば、ロードプライシングによりゾーン間交通コストが変化することで、ゾーン間平均積載重量やゾーン間平均所要時間が変化し、それにより貨物車交通の変化量を計算することができる。

(6) 短距離移動のエネルギー削減ポテンシャルに関する分析

ネットワークモデルの分析では、ゾーン内々交通量は配分対象とならないため、それらのエネルギー削減効果を推計することは困難である。トリップチェーンベースの需要モデルであれば、ゾーン内々の移動も分析対象とすることが出来るが、やはり、その特性を考慮した転換可能性の分析を行ううえでは限界がある。ここでは、道路交通センサスデータを用いて、トリップチェーンのみならず、荷物の有無や自動車の選択理由を用いた分析を行った。

具体的に、自動車から自転車や徒歩への転換可能性が高いトリップとして、移動距離が五キロ以下で、荷物を伴わず、同乗者を伴わないトリップに着目し、道路交通センサスデータを用いて、その削減ポテンシャルを明らかにした。東京都市圏を対象とする分析結果では、トリップ数ベースで、移動距離五キロ以下のトリップは全体の45%、三条件を満足するトリップは全体の25%であった。移動距離が短いため、エネルギー削減率は割り引いて考えなければいけないが、10%程度の削減ポテンシャルがあることが明らかになった。

3. 本研究により得られた成果

平成16年度は、まず都市チーム全体での議論を踏まえて、研究の方針・分析対象都市を決定し、対象都市の関連データの収集・整理を行った。さらに、評価対象政策の選定を行い、分析モデルの基礎構造を決定した。宇都宮都市圏を対象とした予備的な政策分析の結果、職住再配置政策により、CO₂排出量が40%弱削減可能であるという知見が得られた。また、物流に対する対策を評価するための分析手法の構築を目指した基礎的な研究を行い、宇都宮都市圏の貨物輸送のトリップチェーン特性を明らかにし、貨物ODから貨物車ODを推計するモデルの基礎構造を決定した。

平成17年度は、職住再配置政策を沖縄に適用し、宇都宮や東京都同程度のCO₂排出量削減効果が得られることを明らかにした。続いて、トリップチェーンを考慮したネットワークモデルを考案し、エリアプライシングの的確な評価が可能であることを示した。また、貨物車交通予測モデルに関しては、「物の動き」を伴うトリップを抽出する方法を考案し、この方法で抽出したデータを対象に、「物の動き」から「貨物車の動き」を推定する手法を比較検討し、一定の精度が確保できることを示した。

なお、トリップチェーン別需要量を用いるネットワーク分析は、乗用車と貨物車を含む自動車の動きを分析する手法であり、トリップチェーン別需要量を与えられれば、様々な施策を分析可

能な手法であり、発展性は大きいと考える。

4．引用文献

- 1) 円山琢也，原田昇：ネットワーク上での混雑を考慮した最適職住配置手法の構築とその実証研究，都市計画論文集，No.38-3，pp.517-522，2003.
- 2) 円山琢也，ロードプライシング政策の比較分析-エリア課金 vs コードン課金-，研究会発表資料，2006

5．国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

6．研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

Maruyama, T. and Harata, N.: Difference between area-based and cordon-based congestion pricing: Investigation by trip-chain-based network equilibrium model with non-additive path costs, Transportation Research Record, 2006. accepted.

古川雄一，円山琢也，原田昇：ロードプライシング実施時の貨物輸送の変化に関する研究，土木学会論文集，No.807/IV-70，pp.11-20，2006.01.

<その他誌上発表(査読なし)>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表(学会)

Maruyama, T. and Harata, N. Optimal Job-Housing Location Pattern in Several Japanese Cities: Considering modal split and congestion in network, International Symposium on City Planning 2005, pp. 159-171, 2005. 10.

円山琢也、原田昇、エリア課金とコードン課金の比較分析、応用地域学会第19回研究発表会、2005.12

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナーの開催(主催のもの)

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

7．成果の政策的な寄与・貢献について

モデルの全体構成のうちの、交通量モデルの部分について、施策評価に適用可能な方法を構築することが出来た。今後、家族類型別世帯数と人口の推計結果から人流の発生・集中交通量を推計する手法の開発、物流の発生・集中交通量推計モデルへの土地利用データの導入などを進めるとともに、評価対象としてあげた施策の効果分析を進め、有効な省エネルギー政策についての知見を整理する予定である。