

企業行動構造を明示的に考慮した大都市圏物流施策評価モデルの構築*

A Model for an Evaluation of Logistic Policies in Metropolitan Area Considering Firms' Behavior*

細谷涼子**・佐野可寸志***・加藤浩徳****・家田仁****・福田敦****

By Ryoko HOSOYA**, Kazushi SANO***, Hironori KATO****, Hitoshi IEDA**** and Atsushi FUKUDA****

1. はじめに

我が国の国内貨物は、重量単位で9割以上が自動車で運搬され¹⁾、都市内においてはより高い割合で自動車が利用されていると推測されるため、都市内の交通問題を解決する上で貨物車交通を考慮することは、非常に重要な課題である。しかし、人流に比べると物流行動は、はるかに複雑であり、その実態やメカニズムには未解明な部分が多い。例えば、乗用車交通量の予測には、パーソントリップ調査などにより人の行動メカニズムが考慮されているが、貨物自動車交通量予測では企業の物流行動メカニズムがほとんど考慮されていない。この理由は、企業のプライバシーや複雑な貨物輸送特性による物流データ収集の難しさにあると推察される。しかし交通量予測の精度を上げるために、企業の物流行動メカニズムを考慮するべきである。

そこで本研究では、東京都市圏(茨城県南部、埼玉県、千葉県、東京都および神奈川県)の企業を対象に、配達頻度やトラックサイズの違いといった物流行動を分析し、物流行動メカニズムを明示的に考慮した自動車交通量推計モデルを開発する。それらを利用して、都市内での物流拠点の整備やロードプライシング等の物流施策が、道路交通へ及ぼす影響を評価するための手法を検討する。

2. 既往研究

ここでは、物流施策評価および貨物自動車交通推計モデルに関する既往研究を概観し、本研究の位置付けを明らかにする。

(1) 物流施策の評価方法

貨物輸送による負の影響の最小化や効率的な物流のために、多くの物流施策が検討されてきた。それらを実行しようとする場合、どの位またはどのようにその施策に効果があるかを推定する必要がある。実施がさほど難しい施策ならば、試行してその影響を確認することも可能である。しかし、物流センター整備や道路建設などの施策は、実施に莫大な費用と時間がかかるため試行が容易ではなく、実施前に施策を評価しておく必要がある。従って、特に都市物流を対象とした施策効果の推定と評価のために、実施前後の物流のモデル化と交通シミュレーションが有用である。

例えば、都市内集配配送トラック交通のためのモデルを提案した谷口らの研究²⁾や、物流施策による環境影響を推定するモデルを開発し、それをタイ国バンコク都市圏へ適用した金子と福田³⁾の研究がある。しかし、これらのモデルは、企業の物流行動構造を反映しているとはいえない。

(2) 貨物自動車交通推計モデル

Visser と Binsbergen⁴⁾は「都市貨物輸送交通予測の一般的なモデルは存在しない。」と言っている。しかし、いくつかのモデルと分類法が考えられている。例えば、Ortuzar と Willumsen⁵⁾は集計型貨物需要予測モデルと非集計型貨物需要予測モデルとに分類している。集計型モデルでは貨物やトラックをあるグループ単位で扱っているのに対して、非集計型モデルでは貨物をロット毎、トラックを1台毎のように個々に扱っている。集計型モデルとして、郡レベルの従業員数と人口によりゾーン単位の貨物トン数を推定している Smadi と Maze のモデル⁶⁾、物流トリップの分布パターン推定へ重力モデルを用いている Black と Palmer のモデル⁷⁾、佐野と小根山⁸⁾の都市内物流用トリップ変換モデル等が挙げられる。

一方非集計型モデルとして、自家用トラックと営業用トラックの選択問題へ非集計ロジットモデルを適用した鹿島と森川のモデル⁹⁾、Abdelwahab と Sargious¹⁰⁾が提案した交通機関と積荷サイズという2つの決定を組み合わせた貨物輸送のための需要モデル等がある。貨物需要予測モデルは、Sorratini と Smith の研究¹¹⁾のように産業連関分析などの経済モデルを適用したモデルと、4段階推計法をベースとするパーソントリップ手法とに分

*キーワード: 交通行動分析, 物資流動, 物流計画

**正員, 工修, 鳥取大学工学部社会開発システム工学科

(鳥取県鳥取市湖山町南4-101, FAX:0857-31-0882,

E-mail:hosoya@sse.tottori-u.ac.jp)

***正員, 工博, 長岡技術科学大学環境・建設系

(新潟県長岡市上富岡町1603-1, FAX:0258-47-9650

E-mail:sano@nagaokaut.ac.jp)

****正員, 工博, 東京大学大学院工学研究科

(E-mail:kato@trip.tu-tokyo.ac.jp)

*****正員, 工博, 日本大学理工学部

(E-mail:fukuda@trpt.cst.nihon-u.ac.jp)

類することもできる。

(3) 本研究の位置付け

以上で概観したとおり、貨物自動車交通推計モデル及び物流施策評価手法はいくつか検討されているものの、確立された手法は未だ存在しないといえる。集計モデルとしての4段階推計法が貨物輸送交通予測にも広く用いられているものの、ロードプライシングなど企業や貨物自動車によって対応が異なる施策の評価には、このような集計モデルは適切でないこともある。従って前述の谷口らの研究²⁾等、いくつかの非集計モデルが検討されてきた。しかし、対象地域が比較的狭い範囲であったり評価可能な施策が限定されているといった難点がある。このため本研究では、企業の物流行動構造を反映しているミクロシミュレーションモデルを用いて、都市圏全体を対象地域とする複数の施策評価が可能な総合的物流施策評価手法を提案する。

3. 研究の方法

本研究は、大きく2つの部分で構成されている。前半部分では、交通量推計モデルを開発しその有効性を確認する。後半では、物流施策の効果を予測し評価する。本研究で評価する施策は、大型貨物車規制、ロードプライシング、及び物流センター整備の3つとする。

(1) 交通量推計モデルの開発

本研究の交通量推計モデルは、トラックサイズ毎のゾーン間OD交通量を推計するものであり、その構造は図-1の通りである。この交通量予測モデルは4段階交通量推計法の考え方に従っているものの、個々の企業の物流行動を考慮するために、非集計モデルとミクロシミュレーションを用いて企業および貨物自動車個々の行動を予測し、

それらを集計することによって対象地域の貨物自動車交通量を算出している。

同種の産業は、発生する貨物の品目、貨物発生量や配達頻度決定のパラメータなど、似通った物流特性を有していると推察される。従って本研究では、これらの特性を東京都市圏物資流動調査¹²⁾（以下では「東京物流調査」という）の大分類業種である13業種別（表-5）に分析する。

大型トラックと小型トラックでは、窒素酸化物(NOx)排出原単位や道路における占有面積に大きな差があるため、本研究では貨物自動車を最大積載量5トン以下の小型トラックと、それ以外の大型トラックの2種類に分けて扱う。

(a) 貨物発生量、顧客数と顧客位置

約4万6千台のトラックサンプルを有する東京物流調査¹²⁾結果より、企業の業種、従業員数、調査日に運搬された貨物の品目と重量などが得られる。従って、これらのデータを用いて各企業の1ヶ月あたり貨物発生量を、従業員数を説明変数とする回帰式により推定する。1企業の顧客数についても、従業員数を説明変数とする回帰式にて推定する。回帰式へ全数調査である事業所・企業統計¹³⁾より得られた研究対象地域の各企業の従業員数を代入して、貨物発生量および顧客数を推定する。

顧客位置については、道路交通センサス¹⁴⁾のBゾーンを用い、荷主ゾーン毎の現状顧客位置分布パターンに従った乱数を発生させて決定する。ここで配達貨物量は、1荷主から全ての顧客への配達量が同じとして算出する。

(b) 配達頻度とロットサイズ

配達頻度は、輸送コストと在庫コストからなる物流コストが最小になるように決定されると想定する。本研究では、物流コストは輸送コストや運転手コスト等のように配達頻度と旅行時間に比例するコストと、車両購入費や車両保険料といったロットサイズに比例す

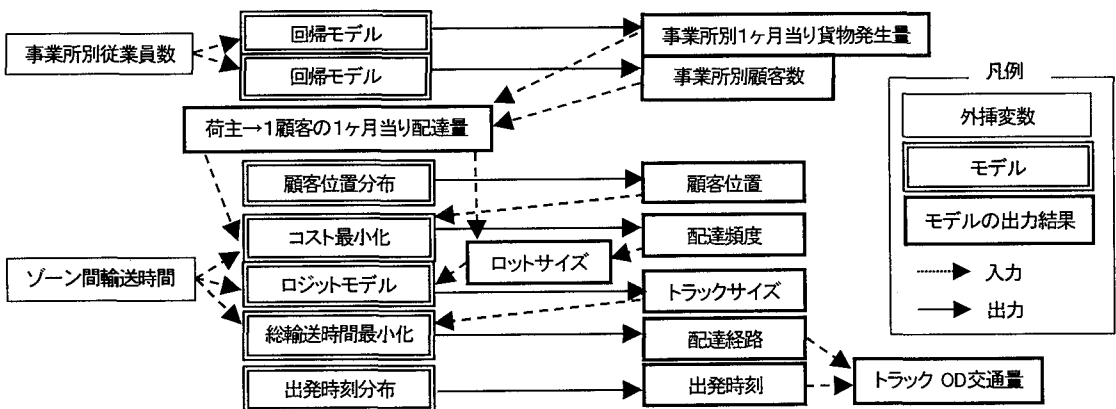


図-1 交通量推計モデルの全体構造

るコストの二種類から構成されると仮定し、(1)式のように表す。

$$C_{kj} = \beta \cdot F_{kj} \cdot T_{kj} + \gamma \cdot \frac{Q_{kj}}{F_{kj}} \quad (1)$$

C_{kj} : 荷主 k から顧客 j への物流コスト[円]

β, γ : パラメータ

F_{kj} : 荷主 k から顧客 j への配達頻度[回/月]

T_{kj} : 荷主 k から顧客 j への旅行時間[時間]

Q_{kj} : 荷主 k から顧客 j への配達量[kg/月]

(1)式は F_{kj} に関して下に凸の関数であるため、 F_{kj} に関する1階微分がゼロになる点がコスト最小である。(1)式の F_{kj} に関する1階微分をゼロとおくと、(2)式となる。

$$\frac{Q_{kj}}{F_{kj}^2} = \frac{\beta}{\gamma} \cdot T_{kj} \quad (2)$$

ここで毎回の配達量が同量と仮定すると、荷主 k から顧客 j へのロットサイズ L_{kj} は $\frac{Q_{kj}}{F_{kj}}$ で表され、さらに

$\frac{\beta}{\gamma} = \alpha$ と置くと、(2)式は(3)式のように書き換えられる。

$$\frac{L_{kj}}{F_{kj}} = \alpha \cdot T_{kj} \quad (3)$$

パラメータ α は、東京物流調査¹²⁾結果を用いて回帰分析により推定される。ひとたびパラメータが推定されると、(4)式により最適配達頻度が算出される。

$$F_{kj} = \frac{L_{kj}}{\alpha \cdot T_{kj}} = \sqrt{\frac{Q_{kj}}{\alpha \cdot T_{kj}}} \quad (4)$$

(c) 輸送主体、積替えの有無とトラックサイズ

輸送主体として自社(自家用トラック)と運送会社(営業用トラック)の2つを考える。運送主体は、ロットサイズ、従業員数、輸送時間をもとに合理的に選択されると仮定し、非集計二項ロジットモデルによって選択行動を表現した。自家用トラックと営業用トラックの効用差は、(5)式のように表されると仮定した。

$$Uo_{kj} - Ub_{kj} = \alpha_1 \cdot E_k + \alpha_2 \cdot Nc_k + \alpha_3 \cdot L_{kj} + \alpha_4 \cdot T_{kj} + \alpha_5 \quad (5)$$

Uo_{kj}, Ub_{kj} : 荷主 k から顧客 j へ荷物を配達する際の自家用トラックの効用 (Uo_{kj}) 及び営業用トラックの効用 (Ub_{kj})

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$: パラメータ

E_k : 荷主企業 k の従業員数[人/企業]

Nc_k : 荷主企業 k の顧客数

L_{kj} : 荷主 k から顧客 j へのロットサイズ[kg/回]

T_{kj} : 荷主 k から顧客 j への旅行時間[時間]

同様に荷主から顧客への配達過程で積替えを行なうか否かという選択問題とトラックサイズ選択についても、非集計

二項ロジットモデルを適用した。積替えを行なうか否かの効用差は、(6)式のように表されると仮定した。

$$Ud_{kj} - Ut_{kj} = \alpha_1 \cdot E_k + \alpha_2 \cdot Nc_k + \alpha_3 \cdot L_{kj} + \alpha_4 \cdot T_{kj} + \alpha_5 \cdot \delta_{kj} + \alpha_6 \quad (6)$$

Ud_{kj}, Ut_{kj} : 荷主 k から顧客 j へ荷物を配達する際に荷物を積替えしない効用 (Ud_{kj})

及び積替える効用 (Ut_{kj})

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6$: パラメータ

E_k : 荷主企業 k の従業員数[人/企業]

Nc_k : 荷主企業 k の顧客数

L_{kj} : 荷主 k から顧客 j へのロットサイズ[kg/回]

T_{kj} : 荷主 k から顧客 j への旅行時間[時間]

δ_{kj} : 荷主 k から顧客 j への配達に自家用トラックを使用するなら1、営業用トラックを使用するなら2。

大型トラックと小型トラックの効用差 Us_{kj} は(7)式のように表されると仮定した。

$$Us_{kj} = \alpha \cdot L_{kj} \cdot T_{kj} + \beta \cdot \sqrt{L_{kj}} + \gamma \quad (7)$$

α, β, γ : パラメータ

L_{kj} : 荷主 k から顧客 j へのロットサイズ[kg/回]

T_{kj} : 荷主 k から顧客 j への旅行時間[時間]

(d) 配達経路とトラック出発時刻

配達経路とは、1台のトラックが複数の顧客へ配達しなければならない時の配達順序のことであり、総旅行時間最小化と、積載重量及び運転手の勤務時間制約によって決定されるものと想定した。またトラック出発時刻は、東京物流調査¹²⁾をもとに現状の出発時刻分布に従う乱数を発生させ、シミュレーションにより求めた。ひとたびトラック出発時刻が決定されると、各トリップの出発時刻は旅行時間と配達先での平均滞在時間より算出されるとした。

(2) 物流施策の評価

(a) 大型貨物車規制

既存の企業の物流行動調査¹⁵⁾において、以下の条件下での各企業の対応を尋ねているため、本研究でもこの条件に従って施策効果を推定する。

● 規制対象地域: 環状7号線の内側

● 規制日時: 平日午前7時~10時

これらの条件下で大型貨物車規制を実施すると想定した時、既存調査¹⁵⁾では主に配達時刻変更とトラックサイズ変更の代替案が選択された。このため、各企業は規制が実施される時、以下の3選択肢よりコストが最小となる行動を選択するものと想定する。

● 選択肢1: 配達時刻を変更する

● 選択肢2: 1台の大型トラックから2台の小型トラックへの変更

● 選択肢3: 1台の大型トラックから1台の小型トラックへの変更

ここで、現状(施策実施前)に対する、各選択肢選択時の企

業の物流追加コストを以下のとおりと想定した。

$$\text{選択肢1: } AC1_{kj} = T_{kj} \cdot Vt \cdot Rt \quad (8)$$

$$\text{選択肢2: } AC2_{kj} = Cf_{kj} + Cd_{kj} + Ct_{kj} + Ci_{kj} \quad (9)$$

$$\text{選択肢3: } AC3_{kj} = Al_{kj} \cdot Rl \quad (10)$$

T_{kj} : 荷主 k から顧客 j への旅行時間[時間]

Vt : 時間価値[円/時間]

Rt : 配達時刻変更のリスク率

Cf_{kj} : 荷主 k から顧客 j への追加燃料コスト

Cd_{kj} : 荷主 k から顧客 j への追加運転手コスト

Ct_{kj} : 荷主 k から顧客 j への車両買い替えコスト

Ci_{kj} : 荷主 k から顧客 j への車両保険の追加コスト

Al_{kj} : 荷主 k から顧客 j への平均配達量[kg]

Rl : 荷物の積残しリスク率

ここで旅行時間(T_{kj})の値は、道路交通センサス¹⁴⁾より得られた平均ゾーン間旅行時間を用いた。時間価値(Vt)は、既存調査¹⁵⁾のトラック運転手コストを参考に、小型トラック 3,750 円/時、大型トラック 5,625 円/時の値を用いた。

追加燃料コスト(Cf_{kj})も既存調査¹⁵⁾を参考に、-5 円に輸送貨物重量と旅行距離を乗じて算出されたとした。時間価値(Vt)にて説明したとおり、小型トラック運転手の単価は 3,750 円、大型トラックのそれは 5,625 円と仮定しているため、追加運転手コスト(Cd_{kj})は両者の差額の 1,875 円に旅行時間を乗じて算出される。トラック買替え費用(Ct_{kj})および追加車両保険料(Ci_{kj})は、既存調査¹⁵⁾を参考にそれぞれ $Ct_{kj}=687$ 円/日、 $Ci_{kj}=344$ 円/日とした。

配達時間を変更するリスク率(Rt)および、荷主 k から顧客 j へ荷物を配達する際に積残しが生じるリスク率(Rl)は、各選択肢の選択率が既存調査¹⁵⁾結果に近い値になるように $Rt=0.05$ 、 Rl は平均荷物配達量 1 kg に対して 0.5 円と設定した。

(b) ロードプライシング

課金額と旅行時間短縮率の情報が与えられた場合の、ロードプライシングに対する各企業対応を推定するため、既存調査¹⁵⁾において以下の条件下での各企業の対応が調査されている。これによると、課金額や旅行時間短縮率の値に敏感に反応する企業も存在し、各課金額の場合の旅行時間短縮率は不確定であるため、本研究でも既存調査¹⁵⁾において想定された表-1の5ケースについて施策効果を推計した。

- 課金対象地域: 環状7号線の内側
- 規制日時: 平日午前7時～午後7時
- 課金方法: 課金時間帯に課金対象地域に流入する度に課金額を支払う(コードンプライシング)

これらの条件下でのロードプライシング実施を想定した時、既存調査¹⁵⁾では主に以下の代替案が選択されたた

表-1 ロードプライシングの検討ケース

ケース番号	小型車への課金額	大型車への課金額	旅行時間短縮率
1	2,000 円	4,000 円	5 %
2	1,000 円	2,000 円	5 %
3	3,000 円	6,000 円	5 %
4	1,000 円	2,000 円	3 %
5	3,000 円	6,000 円	8 %

め、各企業はロードプライシングが実施されるとき、以下の3選択肢よりコストが最小となる行動を選択すると想定する。

- 選択肢1: 輸送形態を変更しない
- 選択肢2: 配達時刻を変更する
- 選択肢3: トラックサイズを変更する

ここで、現状(施策実施前)に対する、各選択肢選択時の企業の物流追加コストを以下のとおりと想定した。

$$\text{選択肢1: } BCl_{kj} = Cp_m - L_{kj} \cdot Vt \cdot T_{kj} \cdot Rs \quad (11)$$

$$\text{選択肢2: } BC2_{kj} = Cr \cdot Rx \cdot T_{kj} \quad (12)$$

$$\text{選択肢3: } BC3_{kj} = Cp_m + Cc - L_{kj} \cdot Vt \cdot T_{kj} \cdot Rs \quad (13)$$

Cp_m : トラックサイズ m の課金額[円]

L_{kj} : 荷主 k から顧客 j へのロットサイズ[kg/回]

Vt : 時間価値[円/時間]

T_{kj} : 荷主 k から顧客 j への旅行時間[時間]

Rs : 旅行時間の短縮率

Cr : 通常勤務時間帯の労働者コスト[円/時間]

Rx : 通常勤務時間帯以外の超過割増率

Cp_m : 車両サイズ m (小型トラック)の課金額[円]

Cc : トラック買い替え及び車両保険料の追加コスト[円]

時間価値(Vt)および旅行時間(T_{kj})は、大型トラック規制の場合と同じ値を用いた。時間価値と同じく、小型トラックの通常勤務時間(Cr)の労働者コストは 3,750 円/時、大型トラックのそれは 5,625 円/時を用いた。

トラック買い替えコストおよび追加車両保険料(Cc)は、大型貨物車規制時と同様の考え方にて設定した。時間外勤務の労働者コスト割増率(Rx)は、各選択肢の選択率が既存調査¹⁵⁾結果と近い値になるように 20%と設定した。

(11)式および(13)式の $L_{kj} \cdot Vt \cdot T_{kj} \cdot Rs$ が、走行時間が短縮される便益に相当する。ロットサイズが大きい若しくは旅行時間が長いほど、便益がロードプライシングによる追加コストを上回る確率が高い。

(c) 物流センター整備

本研究で想定している物流センター利用の目的は、各地より大都市へ輸送される貨物を、大都市近郊において配達先の近い貨物毎に大型トラックから小型トラックへ積替えることにより、トラック走行台キロを削減し交通渋滞緩和や環境負荷軽減を目指している。

企業が物流センターを利用する場合と利用しない場合の

コストの相違点として、以下の点が挙げられる。

- 物流センターの建設維持費：補助金等がない場合のこの費用を、搬出貨物1トンあたり 10,000 円/日と設定した。この値は、既存調査¹⁵⁾結果の平均値である。
- 積替えのための人件費：この費用は、搬出貨物1トンあたり 5,000 円/日と設定した。この値も既存調査¹⁵⁾結果より得られた。
- 輸送コスト差：この費用算出のための単価は、大型貨物車規制の場合と同じ値を用いる。

もし、これらのコストの合計がゼロ以下ならば、物流センターを利用する方が利用しないよりコストが安いことになる。従って、この場合に企業は物流センターを利用すると予想される。それぞれの企業は現在既に、これらのコストを計算し物流センターを利用するか否かを決定していると考えられる。そこで本研究では現在積替えなしで荷主から顧客へ配達されているトリップを対象に、物流センターの建設・維持費が現状のまま、あるいは公的補助金等により75%、50%、25%へ減少した場合に、それぞれ何パーセントの企業が新たに物流センターを利用するかを検討する。

顧客同士の位置が荷主から顧客への距離に対して近ければ、物流センター利用確率が高い。従って本研究では、東京 23 区外の荷主が 23 区内の顧客へ配達する場合を

検討する。物流センターの位置は、現存のトラックターミナルや流通センター位置を考慮して、表-2のように想定した。

表-2 荷主位置と物流センター位置

荷主位置	物流センター位置
茨城県, 埼玉県	足立区
千葉県	江戸川区
東京都市郡部	板橋区
神奈川県	大田区

(d) 物流施策の比較評価

表-3 NO_xの排出原単位

走行速度 [km/h]	NO _x の排出原単位[g/km]	
	小型トラック	大型トラック
15	1.21	3.38
25	1.00	2.83
35	0.98	2.77
45	0.98	2.78
55	0.96	2.75
70	0.92	2.65
90	1.37	2.94
100	2.19	3.54

表-4 企業の1ヶ月あたり貨物発生モデル

* E_k : 企業 k の従業員数 [人]

業種(品目)	推定モデル[kg/月]	相関係数 R	t 値	$t_{\alpha/2} (n-2)$	貨物搬出確率
1. 農林水産業	$31,898 \cdot \sqrt{E_k}$	0.231	2.141	$t_{0.05/2} (26-2)=2.064$	0.455
2. 鉱業	$624,341 \cdot E_k$	0.605	10.868	$t_{0.01/2} (139-2)=2.617$	0.541
3. 建設業	$12,320 \cdot E_k$	0.560	11.779	$t_{0.01/2} (256-2)=2.576$	0.400
4. 化学系製造業	$15,253 \cdot E_k$	0.625	20.255	$t_{0.01/2} (508-2)=2.576$	0.682
5. 鉄鋼系製造業	$13,838 \cdot E_k$	0.882	57.694	$t_{0.01/2} (943-2)=2.576$	0.666
6. 金属機械系製造業	$2,501 \cdot E_k$	0.564	35.139	$t_{0.01/2} (2591-2)=2.576$	0.764
7. 軽雑系製造業	$3,296 \cdot E_k$	0.494	26.110	$t_{0.01/2} (1770-2)=2.576$	0.775
8. 原材料系卸売業(鉱産品)	$116,847 \cdot E_k$	0.466	9.992	$t_{0.01/2} (313-2)=2.576$	0.645
8. 原材料系卸売業(化学工業品)	$23,420 \cdot E_k$	0.238	7.746	$t_{0.01/2} (470-2)=2.576$	0.645
9. 製品系卸売業(農林水産品)	$203,549 \cdot \sqrt{E_k}$	0.209	2.773	$t_{0.01/2} (128-2)=2.596$	0.692
9. 製品系卸売業(軽・雑工業品)	$38,713 \cdot \sqrt{E_k}$	0.427	9.870	$t_{0.01/2} (270-2)=2.596$	0.692
10. 小売業	$40,514 \cdot \ln(E_k)$	0.136	3.678	$t_{0.01/2} (330-2)=2.576$	0.504
11. 倉庫業	$44,551 \cdot E_k$	0.749	17.763	$t_{0.01/2} (198-2)=2.617$	0.796
12. 電気・ガス・水道業	$5,611 \cdot E_k$	0.340	3.192	$t_{0.01/2} (36-2)=2.728$	0.427
13. サービス業・公務等	$38 \cdot E_k$	0.003	1.673	$t_{0.01/2} (315-2)=1.645$	0.335

本研究では、物流施策を走行台キロ、NO_x 排出量およびコストを指標として、物流施策を比較評価した。これらの指標値が施策実施前より増加する場合は、その施策は実施すべきではない。走行台キロはOD交通量へOD間距離を乗じた値の和で算出される。NO_x の排出量は、OD交通量へOD間距離と表-3に示すNO_x 排出原単位¹⁶⁾を乗じて推計した。

物流施策により走行台キロやNO_xが減少しても、その実施に莫大な費用がかかると、施策の実現は難しい。そこで、各物流施策を実施した場合の企業の費用増加分を推定し、物流施策によりNO_x排出量を1kg減少させるための企業負担コストも施策の評価指標とした。

4. 交通量推計モデルの推定結果

(1) 貨物発生量、顧客数と顧客位置

表-4に貨物発生量モデル、表-5に顧客数モデルの推定結果を示している。全ての搬出品についてパラメータ推定をした時、原材料系卸売業と製品系卸売業の相関係数値とt値が著しく低かったため、この2業種については主要2品目を対象にパラメータを推定した。いくつかの業種では相関係数値が低いものの、t値はいずれも有意水準0.05でのt分布値より大きいため、説明変数の説明力は十分な結果が得られた。

表-4の貨物搬出確率とは、東京物流調査¹²⁾の全サンプル企業数に対する調査日に貨物を搬出した企業数の割合である。シミュレーションにおいて各企業がある1日に貨物を発生するかどうかは、この貨物搬出確率と乱数を用いて決定する。荷主から顧客への平均距離は、いくつかの業種では50km以下であるものの多くの業種が50km以上であり、全業種の平均は79kmであった。

(2) 配達頻度

研究方法で示した(3)式のパラメータαの推定結果を表-6に示す。いくつかの業種の推定モデルは、相関係数が低くなっている。サンプル数はどの業種も250より大きい。故に危険率が1%のとき、t分布値は $t_{\alpha/2}(n-2) = 2.576$ である。t値は全ての業種で2.576より大きいため、説明変数は十分な説明力がある。

全業種の平均配達頻度は月に19.5回であった。これらのうち金属機械系製造業、軽雑系製造業、製品系卸売業、小売業、電気・ガス・水道業では、1ヶ月の平均配達回数が30回以上であった。これは1日2回以上の配達を意味している。1982年の東京物流調査¹²⁾における最頻選択肢は1日1回であるものの、1日複数回の配達は近年では珍しくない。このため、1994年の同調査では1日2回以上の選択肢が設定されている。1982年と1994年で平均配達頻度を比較すると1994年は1982年

表-5 企業の顧客数

* E_k : 企業kの従業員数 [人]

業種	推計モデル	相関係数 R	t 値	$t_{\alpha/2}(n-2)$
1. 農林水産業	$2.606 \cdot \ln(E_k)$	0.217	3.554	$t_{0.01/2}(36-2)=2.728$
2. 鉱業	$3.493 \cdot \ln(E_k)$	0.308	6.487	$t_{0.01/2}(153-2)=2.617$
3. 建設業	$0.829 \cdot \ln(E_k)$	0.215	32.463	$t_{0.01/2}(1245-2)=2.576$
4. 化学系製造業	$1.613 \cdot \sqrt{E_k}$	0.380	32.407	$t_{0.01/2}(2769-2)=2.576$
5. 鉄鋼系製造業	$0.025 \cdot E_k$	0.782	39.443	$t_{0.01/2}(1009-2)=2.576$
6. 金属機械系製造業	$0.018 \cdot E_k$	0.623	48.78	$t_{0.01/2}(2793-2)=2.576$
7. 軽雑系製造業	$0.070 \cdot E_k$	0.485	35.284	$t_{0.01/2}(2371-2)=2.576$
8. 原材料系卸売業	$4.225 \cdot \ln(E_k)$	0.378	49.99	$t_{0.01/2}(4013-2)=2.576$
9. 製品系卸売業	$6.466 \cdot \ln(E_k)$	0.203	27.684	$t_{0.01/2}(1486-2)=2.576$
10. 小売業	$0.716 \cdot E_k$	0.576	24.719	$t_{0.01/2}(1183-2)=2.576$
11. 倉庫業	$4.243 \cdot \sqrt{E_k}$	0.361	19.728	$t_{0.01/2}(601-2)=2.576$
12. 電気・ガス・水道業	$0.029 \cdot E_k$	0.648	11.621	$t_{0.01/2}(99-2)=2.639$
13. サービス業・公務等	$0.008 \cdot E_k$	0.207	15.911	$t_{0.01/2}(1620-2)=2.576$

表-6 配達頻度の推定結果

業種	パラメータ α	サンプル数 n	相関係数 R	t 値	平均配達頻度 F
1. 農林水産業	157.18	1,364	0.377	16.18	12.9
2. 鉱業	8820.93	3,074	0.630	45.41	16.7
3. 建設業	1723.65	8,103	0.023	5.78	8.4
4. 化学系製造業	1514.71	32,003	0.162	29.33	7.2
5. 鉄鋼系製造業	753.76	10,960	0.279	33.20	21.0
6. 金属機械系製造業	23.51	37,578	0.021	13.13	37.5
7. 軽雑系製造業	34.50	47,142	0.033	14.01	36.3
8. 原材料系卸売業	1816.46	29,043	0.497	95.44	11.2
9. 製品系卸売業	62.61	57,981	0.088	20.89	37.6
10. 小売業	16.15	28,191	0.026	14.37	37.4
11. 倉庫業	117.04	11,100	0.034	7.12	28.3
12. 電気・ガス・水道業	75.79	975	0.275	10.96	52.3
13. サービス業・公務等	9.65	10,350	0.010	3.42	12.2

表-7 自家用トラックと営業用トラック選択の推計結果

業種, サンプル数 n	推定パラメータ値 α , t 値					的中率 H, ρ^2
1. 農林水産業 n=1,364	$\alpha_1=0.00135$ $t_1=1.2120$	$\alpha_2=0.0270$ $t_2=3.5862$	$\alpha_3=-0.00012$ $t_3=-2.5427$	$\alpha_4=-0.234$ $t_4=-5.9512$	$\alpha_5=0.835$ $t_5=2.7041$	H=0.799 $\rho^2=0.260$
2. 鉱業 n=3,074	$\alpha_1=-0.0124$ $t_1=-8.7866$	$\alpha_2=-0.00774$ $t_2=-8.3138$	$\alpha_3=0.000001$ $t_3=1.8956$	$\alpha_4=-0.313$ $t_4=-6.4211$	$\alpha_5=3.23$ $t_5=16.6769$	H=0.824 $\rho^2=0.146$
3. 建設業 n=8,103	$\alpha_1=-0.00112$ $t_1=-20.3346$	$\alpha_2=0.0320$ $t_2=4.2146$	$\alpha_3=-0.0000001$ $t_3=-0.1140$	$\alpha_4=-0.2$ $t_4=-10.4522$	$\alpha_5=1.94$ $t_5=30.3080$	H=0.810 $\rho^2=0.143$
4. 化学系製造業 n=32,003	$\alpha_1=-0.00554$ $t_1=-28.9248$	$\alpha_2=-0.0185$ $t_2=-25.7801$	$\alpha_3=-0.0000013$ $t_3=4.6604$	$\alpha_4=-0.21$ $t_4=-35.9795$	$\alpha_5=1.56$ $t_5=55.0008$	H=0.789 $\rho^2=0.328$
5. 鉄鋼系製造業 n=10,960	$\alpha_1=0.000317$ $t_1=7.0341$	$\alpha_2=-0.0296$ $t_2=-15.5736$	$\alpha_3=-0.000002$ $t_3=-2.3024$	$\alpha_4=-0.282$ $t_4=-17.8947$	$\alpha_5=1.16$ $t_5=21.7825$	H=0.730 $\rho^2=0.235$
6. 金属機械系製造業 n=37,578	$\alpha_1=-0.00008$ $t_1=-3.9152$	$\alpha_2=-0.0187$ $t_2=-21.1747$	$\alpha_3=-0.000121$ $t_3=-20.5332$	$\alpha_4=-0.244$ $t_4=-40.3483$	$\alpha_5=1.57$ $t_5=52.6522$	H=0.782 $\rho^2=0.334$
7. 軽雑系製造業 n=47,142	$\alpha_1=-0.00075$ $t_1=-19.7551$	$\alpha_2=-0.00235$ $t_2=-10.1980$	$\alpha_3=-0.000275$ $t_3=-38.2272$	$\alpha_4=-0.178$ $t_4=-43.7031$	$\alpha_5=1.49$ $t_5=65.8834$	H=0.730 $\rho^2=0.212$
8. 原材料系卸売業 n=29,043	$\alpha_1=-0.0043$ $t_1=-9.7294$	$\alpha_2=-0.0284$ $t_2=-40.3480$	$\alpha_3=-0.000006$ $t_3=-5.1108$	$\alpha_4=-0.167$ $t_4=-22.0361$	$\alpha_5=2.89$ $t_5=91.4843$	H=0.870 $\rho^2=0.191$
9. 製品系卸売業 n=57,981	$\alpha_1=-0.00485$ $t_1=-30.9961$	$\alpha_2=-0.00023$ $t_2=-1.1678$	$\alpha_3=-0.000014$ $t_3=-3.2569$	$\alpha_4=-0.187$ $t_4=-50.1266$	$\alpha_5=1.92$ $t_5=80.2294$	H=0.783 $\rho^2=0.169$
10. 小売業 n=28,191	$\alpha_1=-0.00335$ $t_1=-49.6519$	$\alpha_2=-0.00055$ $t_2=-36.2043$	$\alpha_3=-0.000354$ $t_3=-12.0967$	$\alpha_4=-0.0292$ $t_4=-29.7576$	$\alpha_5=1.47$ $t_5=53.3912$	H=0.936 $\rho^2=0.568$
11. 倉庫業 n=11,100	$\alpha_1=0.000682$ $t_1=1.0187$	$\alpha_2=-0.0016$ $t_2=-3.1280$	$\alpha_3=-0.000022$ $t_3=-5.9556$	$\alpha_4=-0.171$ $t_4=-16.1426$	$\alpha_5=-0.751$ $t_5=-16.3643$	H=0.812 $\rho^2=0.076$
12. 電気・ガス・水道業 n=975	$\alpha_1=-0.00119$ $t_1=-3.7097$	$\alpha_2=-0.0211$ $t_2=-2.4772$	$\alpha_3=-0.000089$ $t_3=-5.1181$	$\alpha_4=-0.244$ $t_4=-3.4917$	$\alpha_5=2.07$ $t_5=10.7576$	H=0.816 $\rho^2=0.235$
13. サービス業・公務等 n=10,350	$\alpha_1=-0.00041$ $t_1=-7.8443$	$\alpha_2=-0.00191$ $t_2=-2.3718$	$\alpha_3=-0.000012$ $t_3=-2.2072$	$\alpha_4=-0.195$ $t_4=-19.2855$	$\alpha_5=1.64$ $t_5=35.8168$	H=0.772 $\rho^2=0.121$

の1.5倍であり、多頻度小口化やJIT(Just In Time)の増加傾向が伺える。

(3) 輸送主体、積替えの有無とトラックサイズ

表-7に輸送主体、表-8に積替えの有無、表-9にトラックサイズ選択の二項ロジットモデルのパラメータ推定結果

を示している。一部で ρ^2 値が低い業種もあるが、的中率は全ての業種で70%以上の良好な推定結果が得られた。サンプル数はどの業種も250より大きい。故に危険率が5%のとき、t分布値は1.960である。t値は全ての業種で1.960より大きいため、説明変数は十分な説明力があるといえる。

積替えの有無の選択モデルには、いくつかの特性がある。まず、自家用トラックを利用する場合には直送の確率が高い。また定数項は全業種で正の値であるため、入力変数値がゼロに近い場合には直送の確率が高い。

このような輸送主体や積替えの有無の選択問題では、コストが重要な変数の一つである。しかし本研究では、データが十分に得られなかったためにコストを変数に含めていない。これがモデルの精度を低下させている一つの要因と考えられるため、コストを変数に含めることを今後の課題とする。

(4) 配達経路とトラック出発時刻

トラック運転手の1日の勤務時間は、東京物流調査¹²⁾ データをもとに1台のトラックの平均日旅行時間から求めた。その結果、大部分の業種で8時間以下であり、これは我が国の標準的な日労働時間とほぼ一致していた。またトラックの平均積載量は東京物流調査¹²⁾ データをもとに、最大積載量に平均積載率を乗じて算出した。小型トラックの平均積載率は、同業種の大型トラックのそれより明らかに小さいことがわかった。これは小型トラックでは荷物の積残しを防ぐために、ある一定の余裕スペースが取られているためと推

表-8 積替え有無の推定結果

業種, サンプル数 n	推定パラメータ値		t 値		的中率 H, ρ^2
1. 農林水産業 n=1,364	$\alpha_1=-0.00835$ $\alpha_2=-0.0295$ $\alpha_3=0.00253$	$\alpha_4=0.00275$ $\alpha_5=-24.0$ $\alpha_6=51.5$	$t_1=-2.4755$ $t_2=-0.5562$ $t_3=0.9148$	$t_4=0.0336$ $t_5=-0.0041$ $t_6=0.0044$	H=0.988 $\rho^2=0.760$
2. 鉱業 n=3,074	$\alpha_1=-0.00802$ $\alpha_2=0.0418$ $\alpha_3=0.0000018$	$\alpha_4=-0.0644$ $\alpha_5=-0.762$ $\alpha_6=5.23$	$t_1=-1.9763$ $t_2=2.1147$ $t_3=-5.0711$	$t_4=-2.0163$ $t_5=-1.3002$ $t_6=6.3910$	H=0.985 $\rho^2=0.219$
3. 建設業 n=8,103	$\alpha_1=-0.000444$ $\alpha_2=0.0133$ $\alpha_3=0.00000034$	$\alpha_4=-0.223$ $\alpha_5=-1.82$ $\alpha_6=7.89$	$t_1=-3.5058$ $t_2=-0.5338$ $t_3=0.1250$	$t_4=-11.9314$ $t_5=-6.1244$ $t_6=15.1050$	H=0.985 $\rho^2=0.329$
4. 化学系製造業 n=32,003	$\alpha_1=-0.000279$ $\alpha_2=0.00523$ $\alpha_3=0.00027$	$\alpha_4=-0.193$ $\alpha_5=-2.82$ $\alpha_6=7.68$	$t_1=-2.1231$ $t_2=7.8555$ $t_3=23.2893$	$t_4=-52.6940$ $t_5=-22.4817$ $t_6=31.8016$	H=0.949 $\rho^2=0.642$
5. 鉄鋼系製造業 n=10,960	$\alpha_1=0.000598$ $\alpha_2=-0.0108$ $\alpha_3=0.0000285$	$\alpha_4=-0.217$ $\alpha_5=-2.192$ $\alpha_6=8.094$	$t_1=7.4911$ $t_2=-13.3049$ $t_3=5.1558$	$t_4=-26.7894$ $t_5=-7.6659$ $t_6=14.7327$	H=0.954 $\rho^2=0.579$
6. 金属機械系製造業 n=37,578	$\alpha_1=0.000161$ $\alpha_2=0.00544$ $\alpha_3=0.0000911$	$\alpha_4=-0.178$ $\alpha_5=-2.5$ $\alpha_6=7.35$	$t_1=8.0119$ $t_2=-10.5118$ $t_3=12.5119$	$t_4=-55.0333$ $t_5=-24.3738$ $t_6=37.7414$	H=0.918 $\rho^2=0.568$
7. 軽雑系製造業 n=47,142	$\alpha_1=-0.000644$ $\alpha_2=0.00128$ $\alpha_3=0.000325$	$\alpha_4=-0.187$ $\alpha_5=-3.39$ $\alpha_6=9.43$	$t_1=-12.1122$ $t_2=3.3453$ $t_3=19.6749$	$t_4=-51.3316$ $t_5=-25.9045$ $t_6=37.0528$	H=0.951 $\rho^2=0.532$
8. 原材料系卸売業 n=29,043	$\alpha_1=-0.0014$ $\alpha_2=0.0405$ $\alpha_3=0.000346$	$\alpha_4=-0.122$ $\alpha_5=-3.6$ $\alpha_6=10.17$	$t_1=-0.4747$ $t_2=2.8096$ $t_3=2.9748$	$t_4=-7.4777$ $t_5=-7.1779$ $t_6=11.0151$	H=0.995 $\rho^2=0.474$
9. 製品系卸売業 n=57,981	$\alpha_1=-0.000325$ $\alpha_2=0.00205$ $\alpha_3=0.00011$	$\alpha_4=-0.198$ $\alpha_5=-3.89$ $\alpha_6=10.4$	$t_1=-2.8329$ $t_2=-5.2527$ $t_3=6.5471$	$t_4=-49.4703$ $t_5=-31.6383$ $t_6=43.1481$	H=0.954 $\rho^2=0.565$
10. 小売業 n=28,191	$\alpha_1=0.0000178$ $\alpha_2=0.000533$ $\alpha_3=0.00181$	$\alpha_4=-0.219$ $\alpha_5=-4.54$ $\alpha_6=10.39$	$t_1=0.3920$ $t_2=-30.0020$ $t_3=9.8807$	$t_4=-38.4645$ $t_5=-26.3722$ $t_6=30.1724$	H=0.969 $\rho^2=0.851$
11. 倉庫業 n=11,100	$\alpha_1=0.00134$ $\alpha_2=0.00362$ $\alpha_3=0.000151$	$\alpha_4=-0.21$ $\alpha_5=-2.81$ $\alpha_6=8.93$	$t_1=-1.6957$ $t_2=-5.9714$ $t_3=9.1807$	$t_4=-38.9006$ $t_5=-8.4085$ $t_6=13.3956$	H=0.932 $\rho^2=0.498$
12. 電気・ガス・水道業 n=975	$\alpha_1=0.000918$ $\alpha_2=0.0391$ $\alpha_3=0.000845$	$\alpha_4=-1.24$ $\alpha_5=-22.18$ $\alpha_6=48.2$	$t_1=0.5651$ $t_2=0.8595$ $t_3=2.6997$	$t_4=-2.9929$ $t_5=-0.0063$ $t_6=0.0069$	H=0.988 $\rho^2=0.589$
13. サービス業・公務等 n=10,350	$\alpha_1=0.000356$ $\alpha_2=0.000647$ $\alpha_3=0.0000504$	$\alpha_4=-0.173$ $\alpha_5=-2.33$ $\alpha_6=7.2$	$t_1=2.3843$ $t_2=0.3708$ $t_3=1.1247$	$t_4=-20.9132$ $t_5=-13.8308$ $t_6=23.4883$	H=0.967 $\rho^2=0.456$

表-9 小型トラックまたは大型トラック選択の推定結果

業種、サンプル数 n	推定パラメータ値 α , β , γ , t 値			的中率 H, ρ^2
1. 農林水産業 n=1,364	$\alpha=-0.001370$ $t_{\alpha}=-8.052$	$\beta=0.0093$ $t_{\beta}=1.610$	$\gamma=0.875$ $t_{\gamma}=8.838$	H=0.781 $\rho^2=0.219$
2. 鉱業 n=3,074	$\alpha=-0.000041$ $t_{\alpha}=-1.208$	$\beta=-0.0431$ $t_{\beta}=-7.999$	$\gamma=0.710$ $t_{\gamma}=2.384$	H=0.980 $\rho^2=0.467$
3. 建設業 n=8,103	$\alpha=-0.000029$ $t_{\alpha}=-7.559$	$\beta=-0.0430$ $t_{\beta}=-93.972$	$\gamma=2.184$ $t_{\gamma}=183.914$	H=0.819 $\rho^2=0.177$
4. 化学系製造業 n=32,003	$\alpha=-0.000011$ $t_{\alpha}=-4.545$	$\beta=-0.0406$ $t_{\beta}=-61.683$	$\gamma=0.586$ $t_{\gamma}=32.097$	H=0.738 $\rho^2=0.250$
5. 鉄鋼系製造業 n=10,960	$\alpha=-0.000087$ $t_{\alpha}=-10.158$	$\beta=-0.0398$ $t_{\beta}=-31.507$	$\gamma=1.237$ $t_{\gamma}=38.770$	H=0.752 $\rho^2=0.305$
6. 金属機械系製造業 n=37,578	$\alpha=-0.000151$ $t_{\alpha}=-36.312$	$\beta=-0.0288$ $t_{\beta}=-61.748$	$\gamma=1.375$ $t_{\gamma}=168.052$	H=0.746 $\rho^2=0.125$
7. 軽雑系製造業 n=47,142	$\alpha=-0.000062$ $t_{\alpha}=-27.193$	$\beta=-0.0314$ $t_{\beta}=-92.354$	$\gamma=1.283$ $t_{\gamma}=219.240$	H=0.720 $\rho^2=0.090$
8. 原材料系卸売業 n=29,043	$\alpha=-0.000133$ $t_{\alpha}=-21.997$	$\beta=-0.0406$ $t_{\beta}=-75.130$	$\gamma=1.816$ $t_{\gamma}=132.362$	H=0.759 $\rho^2=0.214$
9. 製品系卸売業 n=57,981	$\alpha=-0.000296$ $t_{\alpha}=-62.616$	$\beta=-0.0212$ $t_{\beta}=-59.673$	$\gamma=1.309$ $t_{\gamma}=323.102$	H=0.756 $\rho^2=0.065$
10. 小売業 n=28,191	$\alpha=-0.000669$ $t_{\alpha}=-71.315$	$\beta=-0.0093$ $t_{\beta}=-21.558$	$\gamma=1.362$ $t_{\gamma}=366.653$	H=0.778 $\rho^2=0.028$
11. 倉庫業 n=11,100	$\alpha=-0.000029$ $t_{\alpha}=-10.356$	$\beta=-0.0155$ $t_{\beta}=-19.014$	$\gamma=-0.402$ $t_{\gamma}=-17.135$	H=0.741 $\rho^2=0.091$
12. 電気・ガス・水道業 n=975	$\alpha=0.000020$ $t_{\alpha}=1.068$	$\beta=-0.0880$ $t_{\beta}=-15.403$	$\gamma=2.328$ $t_{\gamma}=22.116$	H=0.865 $\rho^2=0.460$
13. サービス業・公務等 n=10,350	$\alpha=-0.000189$ $t_{\alpha}=-21.932$	$\beta=-0.0339$ $t_{\beta}=-57.133$	$\gamma=1.462$ $t_{\gamma}=191.670$	H=0.767 $\rho^2=0.078$

察される。トラック出発時刻については、ほとんどの業種のピーク時間が午前9時台であるものの、業種毎に多少の相違が見られる。

(5) 開発した推定モデルの有効性確認

以上のモデルを用いて推定されたOD交通量を道路交通センサス¹⁴⁾および東京物流調査¹²⁾の値と比較した結果が表-10である。

本研究のモデルは、東京物流調査¹²⁾データをもとにしていたため、モデル再現値はかなりの精度で元データと合致していることがわかる。なお、道路交通センサス¹⁴⁾と東京物流調査¹²⁾の値の相違は、サンプリングの違いによるものと推

察される。同様に、走行台キロについても再現性をチェックしたところ、既存調査データより過大となる傾向が見られた。これは、顧客位置を推定する際、元データに荷主データがないゾーンについては、都県毎に集計した顧客位置分布を用いたことが原因の1つと考えられる。この補正については、今後の課題である。

3時間毎の発生交通量において、東京物流調査¹²⁾とシミュレーション結果の相関係数が0.9以上であるため、本シミュレーションは現況の時間帯別交通量を再現しているといえる。各区市町村より1日に発生するトラックのトリップ数について、道路交通センサスの値とシミュレーション値の間の相関係数が0.7以上であるため、本シミュレーションは現況を比較的良好に再現しているといえる。ほとんどの区市町村について、シミュレーション値が道路交通センサスより低めになっているものの、千代田区や中央区のような東京中心部ではシミュレーション値が道路交通センサスより高めになっている。これは、東京の都心には大企業の本社が集中しているためと推察される。本研究で対象とした東京都市圏内の貨物自動車分布交通量において、東京物流調査¹²⁾とシミュレーション結果の相関係数が0.8以上であるため、本シミュレ

表-10 研究対象地域より発生する交通量

単位: 千トリップ/日	小型 トラック	大型 トラック	合計
モデルによる 再現値	4,065	1,371	5,436
東京都市圏 物流流動調査	3,879	1,285	5,164
道路交通 センサス	5,320	2,580	7,900

ーションは現況のODパターンを再現しているといえる。

5. 物流施策の評価

(1) 大型貨物車規制の導入効果分析

規制対象となる各トラックについて費用最小となる選択枝を選択した結果、各選択枝の選択割合は既存の調査結果¹⁵⁾とほぼ近い以下の値となった。

- 選択枝1(配達時刻を変更する)：43%
- 選択枝2(大型トラック1台→小型トラック2台)：54%
- 選択枝3(大型トラック1台→小型トラック1台)：3%

この結果を用いて大型貨物車規制実施後の走行台キロとNOx排出量を試算した結果が、図-2と表-11である。大型トラックについては減少する傾向にあるものの、トラックサイズ変更のために小型トラックの値は増加して

いることがわかった。その結果、走行台キロの総量は34%増加したにもかかわらず、NOx排出総量は17%減少した。これは大型トラックのNOx排出原単位が、小型トラックのそれよりはるかに大きいためである。

規制時間を午前7時から午前10時までと設定しているため、午前10時以前には大型トラック交通は発生しない結果となった。もし規制時間をさらに長く設定するなら、NOx排出量はより減少すると期待される。

(2) ロードプライシングの導入効果分析

既存調査¹⁵⁾データをもとに各選択枝の選択割合を推定したところ、表-12のとおり調査結果をほぼ再現できる結果が得られた。ケース2およびケース4の小型トラック1,000円、大型トラック2,000円という課金額は、輸送形態を変更するにはやや低い金額といえる。

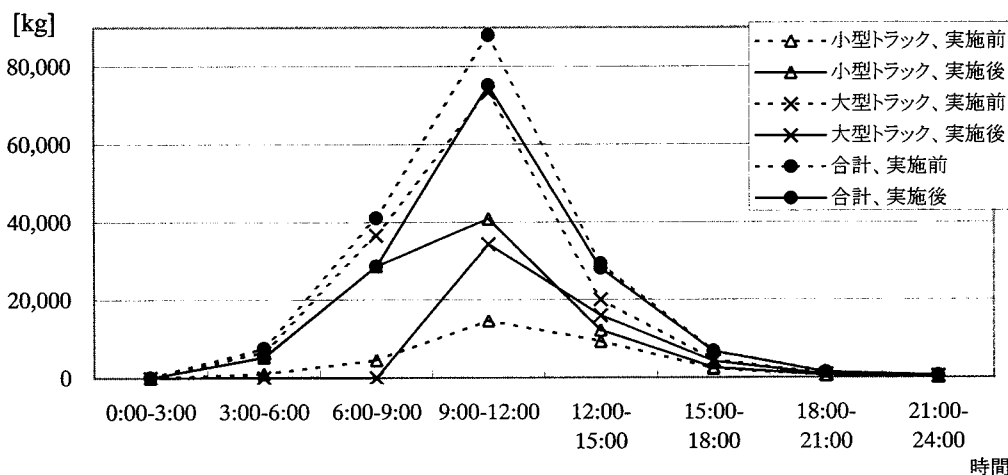


図-2 大型貨物車規制実施前後のNOx排出量

表-11 大型貨物車規制実施前後の走行台キロ

千台キロ/日	小型トラック	大型トラック	合計
実施前 (B)	31,459	51,134	82,593
実施後 (A)	90,389	19,994	110,383
(A)/(B)	2.87	0.39	1.34

表-12 ロードプライシング導入時の各選択枝の選択割合

検討ケース	小型車課金額	大型車課金額	旅行時間短縮率	選択枝1 (輸送形態変更せず)	選択枝2 (配達時刻を変更)	選択枝3 (トラックサイズを変更)
1	2,000円	4,000円	5%	61%	21%	18%
2	1,000円	2,000円	5%	94%	3%	3%
3	3,000円	6,000円	5%	26%	54%	20%
4	1,000円	2,000円	3%	87%	3%	10%
5	3,000円	6,000円	8%	32%	48%	20%

ロードプライシング実施によって大型トラックによる走行台キロと NOx 排出量は減少するが、トラックサイズ変更の選択肢のために、小型トラックの値は増加することがわかった。大型貨物車規制では「大型トラック1台から小型トラック2台へのトラックサイズ変更」という選択肢も設定しているのに対して、ロードプライシングでは「大型トラック1台から小型トラック1台へのトラックサイズ変更」のみである。このため走行台キロの総量は変化せず、NOx 排出総量はケース1で16%減少した。

(3) 物流センター整備の効果分析

各選択肢の選択割合を推定し、表-13の結果が得られた。ケース1の結果は、現状では適切な位置に物流センターがない等の理由で物流センターを利用していないトリップが、本研究で想定した位置に物流センターを設置された場合には、1.7%のトリップが新たに物流センターを利用することを意味している。ケース4より、物流センターの建設維持費が4分の1まで減少した場合でも、たかだか4.5%の企業しか新たに物流センターを利用しないと推定された。この利用率の低さはシミュレーションにおいて、物流センターを利用する場合も利用しない場合も同じトラック積載率を用いていることが原因の一つであると考えられる。従って物流センターを利用する場合のトラック積載率を上げると、物流センター利用率も上がると期待される。物流センターの建設維持費負担割合が半分のケースにおいては、3.5%の企業しか新たに物流センターを利用しないため、走行台キロおよびNOx排出減少量はわずかであった。

表-13 各選択肢の選択割合

企業が負担する物流センターの建設維持費	物流センターを利用しない	物流センターを利用する
100% (ケース1)	98.3%	1.7%
75% (ケース2)	97.2%	2.8%
50% (ケース3)	96.6%	3.4%
25% (ケース4)	95.5%	4.5%

(4) 物流施策の比較

表-14に、NOx排出削減量とコストの観点から物流施策を比較している。大型貨物車規制の追加コストとは、規制対象の各トリップについて式(8)、(9)、(10)の中の最小追加コストの総和である。またロードプライシングの追加コストとは、課金対象の各トリップについて式(11)、(12)、(13)の中の最小追加コストの総和であるため、厳密には追加コストと旅行時間短縮便益の差額である。

大型貨物車規制とロードプライシングが強制力をもって企業に負担を強いる施策なのに対して、物流センター整備は補助金を与え企業にメリットがある場合にのみ物流センター

を利用すると仮定している。各企業は物流センターを利用する場合と利用しない場合のコストを比較して、物流センターを利用する企業の負のコスト、すなわち便益の総和が表-14の追加コストである。

表-14より大型貨物車規制によってNOx排出量を1kg減少させるためには、企業が5万円負担しなければならない。一方、ロードプライシングによってNOx排出量を1kg減少させるためには、企業は2万4千円の負担でよい。物流センター整備の場合、企業は物流センター建設維持費を半分負担すればよい。そのため、企業のコストは約1億3千万円減少する。しかしNOx排出量は、4kgしか減少しない。この比較より、NOx排出量とコストから見たときロードプライシングが最も効率的な施策といえる。

表-14 NOx排出削減量とコストによる施策比較

	NOx 排出削減量[kg] (A)	追加コスト [千円] (B)	(B)/(A) [千円/kg]
大型貨物車規制	-28,968	1,438,876	-50
ロードプライシング (ケース1)	-28,479	669,365	-24
物流センター整備 (ケース3)	-4	-129,387	32,347

6. おわりに

本研究では首都圏を対象に、各企業の物流行動を考慮したいいくつかの物流施策評価が可能なシミュレーションモデルを開発した。また推定モデル開発過程において、配達頻度やトラックサイズの選択といった企業の物流行動特性を把握することができた。本研究は物流施策評価のための交通状況推定の枠組みを示すことに力点を置いた。このため、個々のサブモデルは実測値と推定値の間の相関係数が小さいモデルもあるなど精度に幾分か課題が残るものの、業種や搬出物品目の細分化、変数の追加、回帰式の再検討などによりモデル精度の向上は可能である。

本研究ではデータ収集の制約上、約20年前の物資流動調査結果より企業の物流行動モデルを構築した。また、各種物流施策が実施された場合に各企業がどのような行動を取るかを尋ねたヒアリング調査は、回答企業数が約20であった。本研究で提案したモデルを実用化するためには、各サブモデルの精度を高めてモデルの適用性を確認する必要がある。そのためには、東京都市圏全域を対象に十分なサンプル数のある東京都市圏物資流動調査および物流施策に対するSP (Stated Preference: 仮想) 調査を実施し、その調査結果をモデルの再構築と適用性確認に利用すべきである。

今後、二酸化炭素等、他の環境負荷要因の軽減効果に

ついても同様に分析すると共に、ロードプライシングの課金徴収、物流センターへの補助など施策実施時に行政が負担するコスト額も検討する必要がある。また本研究では、道路ネットワーク上での配分を取り扱うことができなかつたが、渋滞や局地的環境負荷に与える影響を分析するためには、こうした配分についても取り組むべきである。このことにより、精度の高い旅行時間や旅行速度が得られるとともに、トラック推奨ルートや道路建設などの施策評価も可能となる。いずれも今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 交通工学, Vol.37, No.5, p.104, 2002.
- 2) 谷口栄一・山田忠史・細川貴志：都市内集配トラックの配車最適計画の高度化・共同化による道路交通への影響分析, 土木学会論文集, No.625, IV-44, pp.149-159, 1999.
- 3) 金子雄一郎・福田敦：バンコク首都圏における広域物流拠点整備による環境改善効果の推計, 交通工学, Vol.36, No.1, pp.39-48, 2001.
- 4) Visser, J., and Binsbergen, A.V.: Urban Freight Transport Policy and the Role of Modelling, City Logistics I, pp.187-202. Cairns, Australia: Institute of System Science Research, 1999.
- 5) Ortuzar, J., and Willumsen, L.: Modelling Transport. Chichester Wiley, 1996.
- 6) Smadi, A., and Maze, T.H.: Statewide Truck Transportation Planning: Methodology and case Study, Transportation Research Record, No.1522, pp.55-63, 1996.
- 7) Black, W.R., and Palmer, J.: Transport Flows in the State of Indiana: Commodity Database Development and Traffic

- Assignment Phase I, Report prepared for Indiana Department of Transportation and Federal Highway Administration, Project HPR-2085, Transportation Research Center, Indiana University, Bloomington, 1993.
- 8) 佐野可寸志・小根山裕之：都市内物流における貨物車交通量変換モデル, 土木計画学研究・論文集 13, pp.649-655, 1996.
 - 9) 鹿島茂・森川優：都市内貨物の貨物車選択構造に関する一考察, 土木計画学研究発表会講演集 2, pp.132-138, 1980.
 - 10) Abdelwahab, W., and Sargious, M.: Modeling the Demand for Freight Transport - A New Approach, Journal of Transport Economics and Policy, 26, pp.49-70, 1992.
 - 11) Sorratini, J.A., and Smith, R.L. Jr.: Development of a Statewide Truck Trip Forecasting Model Based on Commodity Flows and Input-Output Coefficients, Transportation Research Record, No.1707, pp.49-55, 2000.
 - 12) 建設省都市開発局：東京都圏物流流動調査, 1982,1994.
 - 13) 総務省統計局：事業所・企業統計, 1999.
 - 14) 建設省道路局：道路交通センサス, 1999.
 - 15) 佐野可寸志・金子雄一郎・加藤浩徳・福田敦・家田仁：アンケート調査に基づく物流関連企業の行動メカニズムの把握, 土木計画学研究・講演集, No.24(CD-ROM), 2001.
 - 16) (社) 交通工学研究会：交通工学ハンドブック 2001

謝辞

本論文は、国土技術政策総合研究所より研究費を受けて実施した受託研究の成果の一部である。東京都圏物流流動調査データの提供など、本研究へ御協力いただいた関係各位に深く感謝の意を表します。

企業行動構造を明示的に考慮した大都市圏物流施策評価モデルの構築*

細谷涼子**・佐野可寸志***・加藤浩徳****・家田仁****・福田敦*****

本研究では、物流拠点の整備やロードプライシングの整備が物流へ及ぼす影響を評価するための手法を検討した。具体的には、東京都圏の企業を対象に、配達頻度やトラックサイズの選択といった物流行動を分析し、物流行動メカニズムを考慮した交通量推計手法を開発した。首都圏を対象としたシミュレーションの結果、NOx削減量の観点からはロードプライシングが最も効率的な施策であるという結果であった。個々のサブモデルは精度に幾分かの課題が残るものの、全体として交通状況推定の枠組みを示すことが出来た。

A Model for an Evaluation of Logistic Policies in Metropolitan Area Considering Firms' Behavior*

By Ryoko HOSOYA**, Kazushi SANO***, Hironori KATO****, Hitoshi IEDA**** and Atsushi FUKUDA*****

This study developed a model that can evaluate several logistic policies for metropolitan areas considering individual firm's behavior. The model was developed using a micro-simulation and data from the Tokyo Metropolitan Goods Movement Survey, and the model was applied to firms in the Tokyo Metropolitan Area. This study showed the framework and methodology to predict traffic states for logistic policy evaluation. The model could determine the mechanisms of firms' freight transport, such as decision of delivery frequency and logistic costs. Three policies were evaluated by VKT and NOx before and after policy enforcement.