

物流の影響を考慮した 実務的で体系的な貨物交通量推計モデル

中野 光治¹・田中 慎次²・奥山 真治³・竹内 新一⁴・山田 忠史⁵

¹正会員 株式会社地域未来研究所（〒530-0003 大阪市北区堂島1丁目5番17号）

E-mail:nakano@refrec.jp

²非会員 国土交通省中部地方整備局北勢国道事務所（〒510-8013 三重県四日市市南富田4-6）

E-mail: tanaka-s85af@cbr.mlit.go.jp

³非会員 国土交通省中部地方整備局北勢国道事務所（〒510-8013 三重県四日市市南富田4-6）

E-mail:okuyama-s852a@cbr.mlit.go.jp

⁴フェロー 株式会社地域未来研究所（〒530-0003 大阪市北区堂島1丁目5番17号）

E-mail:takeuchi@refrec.jp

⁵正会員 京都大学大学院准教授 工学研究科都市社会工学専攻（〒615-8540京都市西京区京都大学桂）

E-mail: t.yamada@kiban.kuciv.kyoto-u.ac.jp

貨物交通の影響が大きい都市圏の交通網は、旅客交通が卓越する交通網とは異なる交通特性を有していると考えられる。本研究では、機関選択から経路選択に至るまでの一連の交通需要を対象に、貨物交通の特性を捉えた交通量推計モデルを、実務的にかつ体系的に構築した。データ制約の問題から、純流動および総流動において十分な検証までには至らなかったものの、各段階における推定結果としては一定の精度が確保された。また、このモデルを用いて、道路網や港湾施設の整備に関するケーススタディを行い、都市圏の貨物交通需要に関する基礎的な将来推計を試みた。

Key Words : 道路計画, 物流計画, 目的地選択, 交通手段選択, 経路選択

1. はじめに

実務における道路網の交通量推計は、いわゆる四段階推定法が一般に用いられている。すなわち、人口やGDPなどの経済指標から生成交通量を推計した後、発生集中交通量の段階では人口や自動車保有台数等の指標を用いて分割し、分布交通量の段階では時間距離変数によるグラビティモデルを時系列モデルとして適用し、経路別交通量の段階では分割配分法や転換率法により路線の交通量を算出している。しかしながらこの一連の方法では、物流の特性は、生成交通量の段階においては品目別に詳細な考慮がなされてはいるものの、発生集中交通量以降の三段階においては、その特徴を明示的に示すものとはなっていない。

また、本研究で対象地域とする四日市都市圏は、石油化学コンビナートや、特定重要港湾である四日市港を抱え、総取扱貨物量で日本一を誇る名古屋港が隣接している。また、その外縁部には、新名神や名阪国道などの長距離物流を担う幹線道路が張り巡らされてお

り、道路計画を検討するにあたっては、物流の視点が不可欠であり、物流動向を踏まえた上での道路計画の立案が必要である。

そこで本研究では、物流の特性を明示的に扱い、かつ実務的で体系的な交通量推計モデルの構築を目指す。具体的には、港湾計画などを明示的に取り込むことが可能なモデルとし、かつ、分布交通量や経路別交通量の予測の段階においても、物流の特性を取り入れたモデルを構築する。

2. 交通量推計モデル

(1) 全体構造

物資流動を考える場合には、ロット単位が最小の単位となる。本調査においては、品目別のロット単位のデータを起点に、「機関選択モデル」「施設選択モデル」「経路選択モデル」の3種類のモデルを構築する。ただし、四段階推定法の最初の段階である発生集中量

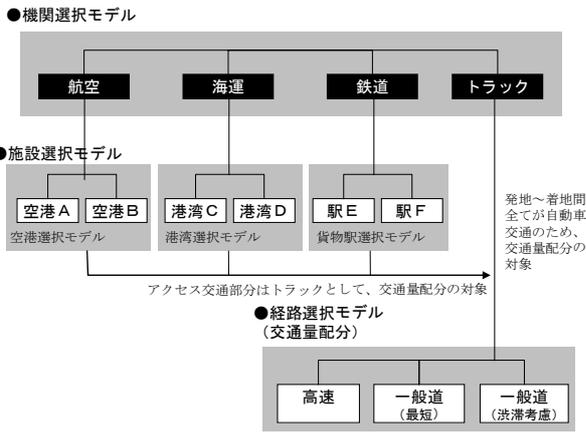


図-1 モデルの全体構造

の予測モデルについては、物流量が企業立地や様々な経済要因により影響するものであり、これらは条件設定による影響が大きいものと考えられることから、既知のデータとして扱うものとして、本研究では取り扱わない。また、施設選択モデルにおいては、空港選択モデル、港湾選択モデル、鉄道駅選択モデルのそれぞれが個別のモデルとする。これら各モデルの関係は図1のとおりである。

各モデルにおいては、物流に関する特性を説明変数として取り込むこととする。そのため、モデル式として、様々な説明変数を考慮することが可能であり、四段階推定法で一般的に用いられる、以下の多項ロジットモデル(1)(2)を採用する。

$$P(i) = \frac{\exp(V_i)}{\sum_{j=1}^J \exp(V_j)} \quad (1)$$

$$V_i = \sum_{k=1}^{K_i} \beta_{ik} X_{ik} \quad (2)$$

$P(i)$: 選択肢 i の選択確率

J : 選択肢集合

V_i : 選択肢 i の効用値

β_{ik} : 選択肢 i の k 番目の説明変数のパラメータ

X_{ik} : 選択肢 i の k 番目の説明変数

(2) 説明変数

各モデル式の説明変数を検討するに先立って、物流関係事業者へのアンケート結果を参考にした。アンケート調査は、中部圏・関西圏に事業所を置く物流を取り扱う製造業・運輸業の3,500社を対象とし、空港・港湾・鉄道駅の施設を選択する際に重視する要因や、輸

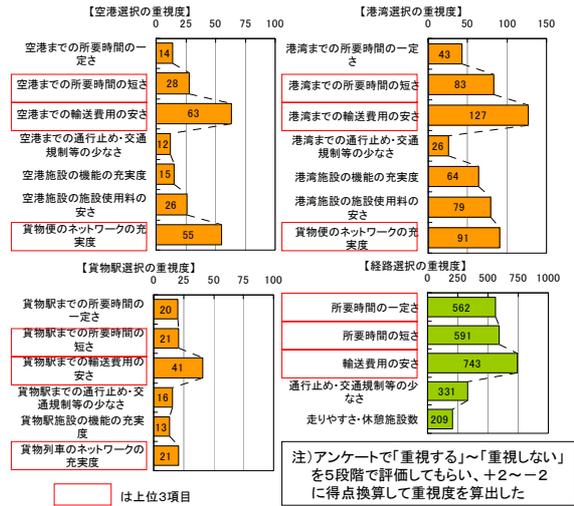


図-2 選択要因のアンケート結果

表-1 採用した説明変数

| モデル | 採用した説明変数 |
|---------|---------------------------------------|
| 機関選択モデル | 所要時間・輸送費用・手段ダミー |
| 施設選択モデル | 空港選択モデル 所要時間・輸送費用・空路の定期便本数 |
| | 港湾選択モデル 所要時間・輸送費用・港湾バース数・海路の定期貨物便数 |
| | 貨物駅選択モデル 所要時間・輸送費用・鉄道の列車停車本数 |
| 経路選択モデル | 高速料金・時間・渋滞損失時間・重量・空車ダミー |

送経路を選択する際に重視する要因について設問した。得られた結果を得点化して、図示したものが図2である。施設の選択要因としては、いずれの施設においても、輸送費用が主要因であり、次いで、輸送時間やネットワークなどの輸送サービスの充実度であった。また、経路選択においても、輸送費用・輸送時間が大きな要因ではあるが、輸送時間の一定さが、これらに次ぐ要因であった。

説明変数の選定においては、推定時に統計的に有意な結果が得られるのみでなく、上記の企業アンケート結果においても上位にあり、かつ下記の項目についても考慮して選定を行った。

- ① 将来の道路計画や物流施設計画が反映可能である
- ② 機関選択や施設選択においては、一般には、小規模の施設改良では、大きくは変化しないと考えられることから、敏感すぎない指標である

(3) 使用データ

貨物の流動や輸送の状況が示される統計資料として

表-2 物流に関連する統計データの特徴

| データ名 | 特徴 |
|-------------|--|
| H17物流センサス | <ul style="list-style-type: none"> ロット単位による純流動 企業へのアンケートにより、輸送機関、利用施設などを調査 個票単位でのデータは公表されない |
| H17道路交通センサス | <ul style="list-style-type: none"> 貨物車の車両単位での総流動 車両の所有者・ドライバー等にヒアリングもしくはアンケート 個票単位でのデータが公表 |

表-3 データクリーニングの内容

| モデル | 使用データ | データクリーニング内容 |
|--------------------|-------------|--|
| 機関選択モデル 施設選択モデル | H17物流センサス | <ul style="list-style-type: none"> 中部・近畿発のみを対象 同一ODで選択肢が唯一の場合は固定層として分離 複数機関を利用するレコードを除く その他特異な流動と思われるものを削除 |
| 経路選択モデル | H17道路交通センサス | <ul style="list-style-type: none"> 途中の経路が分かる中部・近畿間のODを対象 |

表-4 機関選択モデル推定結果

| | 農水産品 パラメータ (t値) | 金属機械工業品 パラメータ (t値) | 化学工業品 パラメータ (t値) | 軽工業品 パラメータ (t値) | 雑工業品 パラメータ (t値) | その他 パラメータ (t値) |
|--------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| 時間 [分] | -4.51E-05 (-1.65) | -4.14E-06 (-1.60) | -1.06E-04 (-1.84) | -1.49E-04 (-2.09) | -1.21E-04 (-2.03) | -5.01E-04 (-1.82) |
| 費用 [円/t] | -2.40E-03 (-2.45) | -1.92E-03 (-34.00) | -1.59E-03 (-45.40) | -6.44E-03 (-2.19) | -4.79E-04 (-24.83) | -4.24E-04 (-7.78) |
| 航空ダミー | -1.61E-01 (-1.63) | -2.78E-01 (-2.09) | -1.81E-01 (-1.61) | -1.25E-01 (-2.57) | -9.85E-01 (-2.30) | -2.79E+00 (-2.05) |
| 海運ダミー | 8.73E-01 (1.55) | 3.60E-01 (1.42) | 6.10E-02 (2.09) | 1.89E-01 (2.92) | 2.34E-01 (1.63) | 5.47E-01 (3.11) |
| 鉄道ダミー | -1.90E+00 (-2.15) | -7.71E-01 (-3.15) | -1.08E+00 (-3.67) | -1.03E+00 (-4.05) | -1.07E+00 (-1.99) | -1.76E+00 (-1.47) |
| 的中率 | 89% | 76% | 84% | 83% | 89% | 86% |
| 初期尤度/最終尤度 | -25.65/-11.13 | -362.52/-178.37 | -152.49/-65.26 | -154.57/-70.87 | -92.19/-22.23 | -15.25/-5.30 |
| 修正尤度比 | 0.371 | 0.494 | 0.539 | 0.509 | 0.705 | 0.325 |
| χ2値 (5%有意:11.07以上) | 29.03 | 368.30 | 174.46 | 167.40 | 139.92 | 19.91 |

表-5 施設選択モデル推定結果

| | (各施設選択モデルの時間評価値) | | | |
|--------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------------|
| | 空港選択モデル パラメータ (t値) | 港湾選択モデル パラメータ (t値) | 鉄道駅選択モデル パラメータ (t値) | 時間評価値 =②÷①×1000 (円/分・トン) |
| 時間 [分] | -2.61E-02 (-6.73) | -5.68E-03 (-11.74) | -2.37E-02 (-6.39) | |
| 費用 [円/kg] | -4.54E-03 (-2.04) | -6.37E-04 (-1.70) | -1.08E-03 (-1.50) | |
| 航空本数 [本/日] | 2.44E-02 (1.82) | | | |
| バス数 [バス数] | | 3.63E-02 (14.14) | | |
| 航路本数 [本/週] | | 5.53E-03 (2.53) | | |
| 停車本数 [本/日] | | | 5.55E-02 (6.14) | |
| 的中率 | 87% | 77% | 86% | |
| 初期尤度/最終尤度 | -151.11/-79.31 | -757.61/-343.64 | -359.74/-178.41 | |
| 修正尤度比 | 0.455 | 0.541 | 0.496 | |
| χ2値 (5%有意の値) | 143.59 (7.815) | 827.93 (9.488) | 362.66 (7.815) | |

は、「第8回全国貨物純流動調査（H17物流センサス）」および「平成17年度道路交通センサス自動車起終点調査（H17センサスOD調査）等」がある。H17物流センサスについては、3日間調査において、ロット単位の物流に対して、利用した施設や輸送機関などの経路情報が示されている。また、H17道路交通センサスは、自動車を対象としたものであるが、そのうち貨物車については積載量が示されており、これを用いて地域間の貨物車による輸送分布を知ることが出来る。

ただし、H17物流センサスに関しては、個票単位でのデータが公表されていないことから、中部・近畿圏内においての市区町村単位での集計データを入手することで、個票に近いデータを整備して、モデルの推計を行うこととした。

パラメータ推定を行うに当たっては、それぞれのデータに対して、特異値などを外すデータクリーニングを行った。（表-3）

(4) パラメータ推定

a) 機関選択モデル

機関選択モデルは、機関選択の類似性やサンプル数を考慮して、6品目に区分してパラメータ推計を行った。推定計算は、統計解析パッケージRを用いて、最尤推定法により行った。その結果は、表-4に示す通りであり、時間や費用のパラメータの符号がマイナスであり、時間や費用を要する輸送手段が選択されにくいことを表している。説明変数の適合度（統計的有意性）を表すt値は、その絶対値が概ね1.5以上であり、一定の妥当性を示した¹⁾。また、再現性を示す的中率は76~89%であり、再現性は良好であると言える。

b) 施設選択モデル

施設選択モデルは空港・港湾・鉄道駅を利用するサンプル数が少なく、品目区分別の推計は困難であったことから、全品目で共通のモデルとした。空港・港

湾・鉄道駅のいずれのモデルにおいても説明変数に有意な結果が得られ、的中率も77~87%と高い結果が得られた。

また、パラメータ推計結果から得られる時間評価値は空港が最も高く、付加価値の高い物流が航空を利用する傾向が示されており、実態に見合った結果であることが確認できた。(表-5)

c) 経路選択モデル

実務で一般的に使用される転換率法は、高速道路と一般道との分担率を示したものである。しかしながら、四日市都市圏の西部に位置する名阪国道については、高速道路と一般道の間隔的な道路であり、その扱いが難しい。また、分割配分法や均衡配分法では、各交通が最短経路を利用することを前提としているが、貨物車両の場合、前述のアンケート調査からも見られるとおり、所要時間の一定さも、経路選択の一要因となっている。そこで、経路選択モデルでは、貨物車の経路選択の特性を考慮して、①高速道路の最短ルート、②一般道の最短ルートのほかに、③一般道の高定時性ルートを加えた3ルートの選択モデルとした。なお、経路選択の実績値としては、HI7道路交通センサスにおける中部～近畿間のデータのうち、中部・近畿断面の経路のみが得られるデータであったことから、このデータを用い、一般道ルートの②および③の実績値については、ネットワーク上のそれぞれのリンク対して、指定最高速度と渋滞損失時間を持たせて、指定最高速度による最短時間ルートによる所要時間と、渋滞損失時間を加味した最短時間ルートによる所要時間を算出し、どちらのルートで選択されていたかは判別分析により判定した。

なお、所要時間の一定さと、渋滞損失時間とは厳密には異なるが、既往調査²⁾から一定の相関関係が認められており、データ入手の容易性から、所要時間の一定さを表す指標として代用している。

表-6 経路選択モデル推定結果

| | | パラメータ (t 値) | |
|---------------------|------|------------------|---------|
| 高速料金 | [円] | -2.61E-04 | (-7.20) |
| 時間 | [分] | -3.14E-03 | (-1.81) |
| 渋滞時間 | [分] | -6.91E-03 | (-2.16) |
| 重量 | [kg] | -4.44E-05 | (-1.71) |
| 空車ダミー | | 7.69E-01 | (2.80) |
| 的中率 | | 69% | |
| 初期尤度/最終尤度 | | -1081.31/-670.29 | |
| 修正済尤度比 | | 0.375 | |
| χ^2 値 (5%有意の値) | | 822.04 (11.070) | |

パラメータ推定結果は、いずれの説明変数について符号条件が適切であり、t 値についても一定の有意な結果が得られた。

(4) 貨物車OD表の作成

a) 単位の変換

機関選択モデルおよび施設選択モデルは、ロット単位の重量ベースで集計された純流動の物流センサスのOD表を用いて推計されたものである一方、経路選択モデルは、貨物車の台数ベースで集計された総流動の道路交通センサスのOD表を用いて推計されたものであり、これらの3つのモデルを体系化するためには、その途中で単位の変換を行う必要がある。単位の変換に必要なステップは以下の3つである。

- ①純流動から総流動への変換
- ②重量単位から台数単位への変換
- ③空車の考慮

b) 純流動から総流動への変換

純流動OD表においては、ロットの発着地が示され

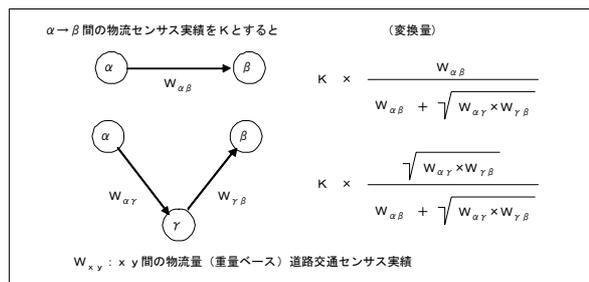
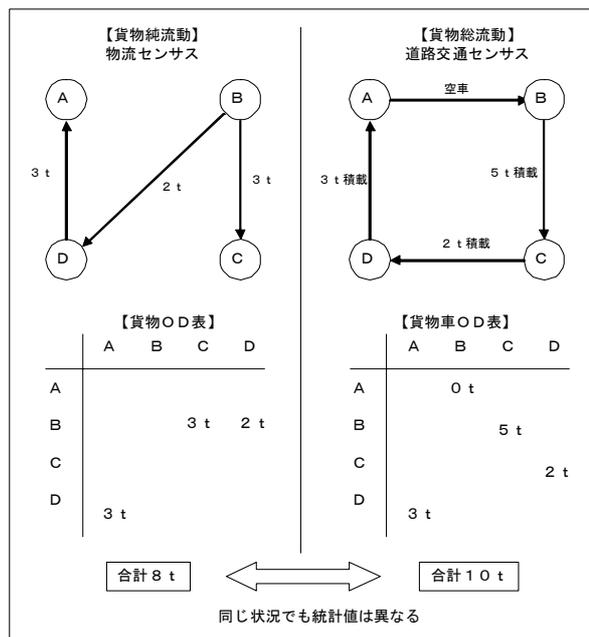


図-3 純流動から総流動への変換

るが、貨物車には複数の地点を立ち寄り、積み合わせの運送を行う車両があることから、同じ状況を示しても、純流動で示されるOD表と、総流動で示されるOD表は異なる。純流動から総流動への変換には、一般的な物流計画においては、フレーター法によりOD交通量を推計するのが一般的³⁾であるが、この場合、発生集中交通量の算出が必要なほか、不可逆的な計算であることから、本研究には適さない。そこで、既往調査⁴⁾を参考にし、OD間の総流動の実績値を変換係数とし、純流動を総流動の複数ルートに分割して、対象地域内の総トンキロが2つの統計量で一致するまで分割を繰り返すことで、純流動物流を総物流量に変換する方法を採用した。(図-3)

c) 重量単位から台数単位の変換

重量から台数への変換は、荷物の品目や発生地に存在する企業の業種により大きく左右されるため、市区町村別・品目別・車種別に換算係数を算出し、その換

算係数を乗じた。

d) 空車の考慮

貨物車のOD表には、物流量のOD表とは異なり、空車のOD表が含まれる。多くの貨物車は、往路が実車の復路に空車を発生させることから、空車OD表は実車OD表の逆向きOD交通量との相関が高く、実車OD表に対して空車率を乗じて逆向きの空車交通量を算定した。(図-4,5)

(5) モデルの再現性

前述の通り、機関選択モデルおよび施設選択モデルにおいては、純流動による推計を行っている。この純流動から総流動への変換においては、(4)に示す統計的な変換方法により行った。

変換の前後で発生した誤差は、物流センサと道路交通センサの統計手法が異なるための誤差か、変換手法による誤差かの判断が難しい。また、物流センサ

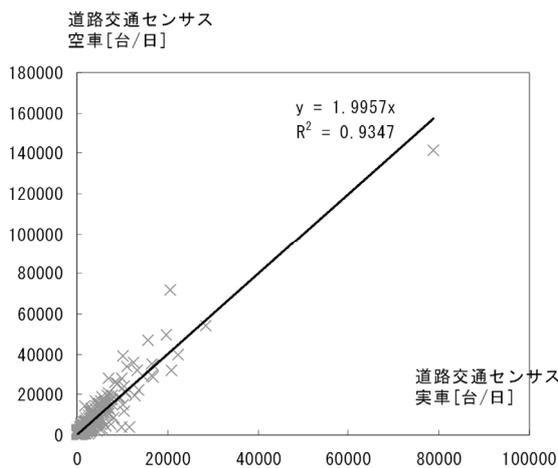


図-4 実車と空車の関係 (小型貨物)

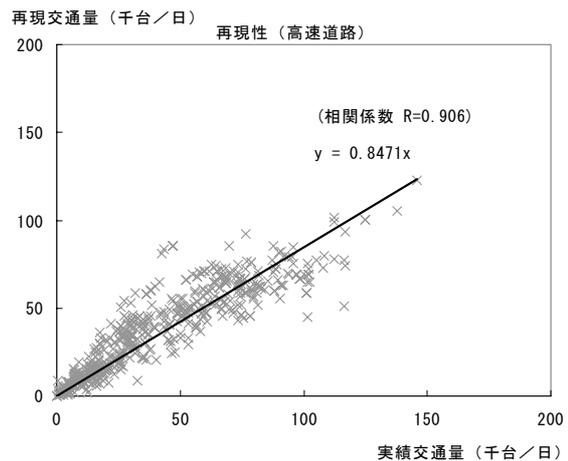


図-6 交通量の再現性 (高速道路)

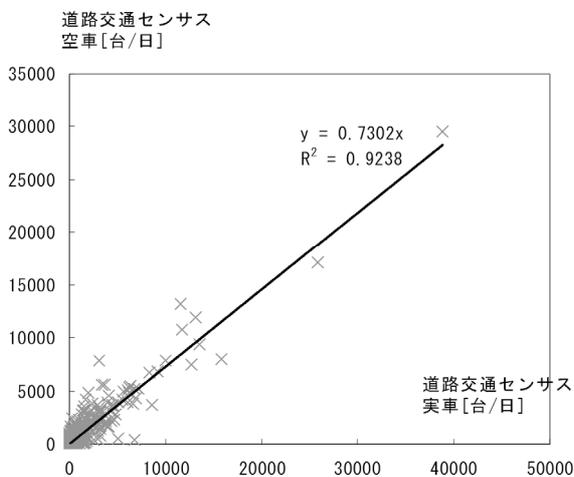


図-5 実車と空車の関係 (普通貨物)

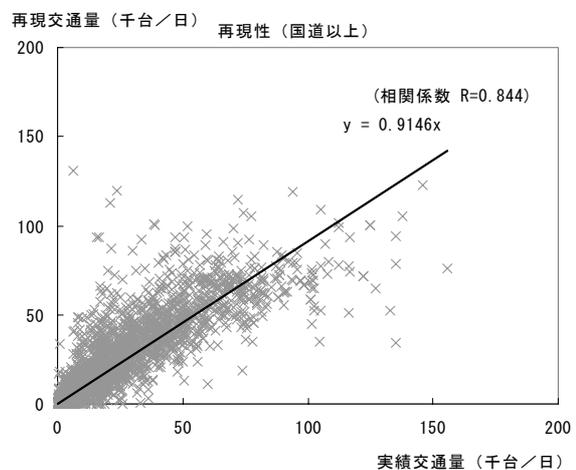
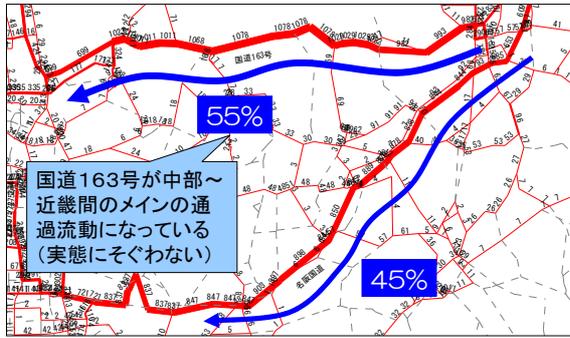


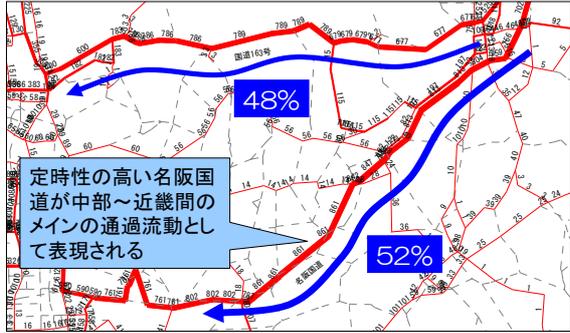
図-7 交通量の再現性 (高速道路と国道)

表-7 将来フレームの基本的な考え方

| 将来計画 | 反映される説明変数 | 将来フレームの基本条件 |
|-------|----------------------------|--|
| 道路網計画 | 所要時間 | 平成42年時点における将来道路計画網(新名神、北勢バイパス、東海環状等) |
| 施設計画 | 港湾計画 ・港湾バース数 ・定期貨物便数 | 各港湾管理組合の長期構想計画(名古屋港、四日市港、大阪港、堺泉北港、神戸港) |
| | 空港計画 ・定期貨物便数 | 現況推移 |
| | 鉄道貨物計画 ・定期列車本数 | 現況推移 |



従来的方法
(「高速道路最短ルート」「一般道最短ルート」の2選択肢による推計結果)



本研究の方法
(「高速道路最短ルート」「一般道最短ルート」「一般道の高定時性ルート」の3選択肢による推計結果)

※中部～近畿間の交通のみを抽出して図示した

図-8 経路選択モデルの再現性の向上

スについては、入手可能なデータが市区町村単位であったが、四日市都市圏内で見ても、市区町村内々の貨物交通量の占める割合が高く、変換前の統計値の方が精度が粗いことも、誤差に影響を与える要因である。

そのため、機関選択モデルおよび施設選択モデルの適用は、将来の道路網計画および施設計画の反映による変化分のみを対象として、その他のODについては、道路交通センサスのOD表を正值としてOD表を取り扱うこととした。

よって、機関選択モデルおよび施設選択モデルについては、t値および尤度比などに示される推定結果のみを現況における再現性の検証対象とし、交通量単位での再現性は、経路選択モデルのみを適用したもので検証する。なお、本研究におけるODの予測交通の対象は貨物車のみであり、乗用車類は道路交通センサスのOD表をそのまま用いる。

現況(H17)センサスOD表を用いて経路選択モデルを適用した交通量配分の再現性は、中部近畿全域の高速道路での相関係数は0.906と良好な結果が得られた。また、国道を含めた場合には、地点数が非常に多いことから図-7の散布図は広く分散しているが、相関係数は0.844と一定の関連性が認められる結果が得られた。

また、中部～近畿間の物流を抽出すると、従来のモ

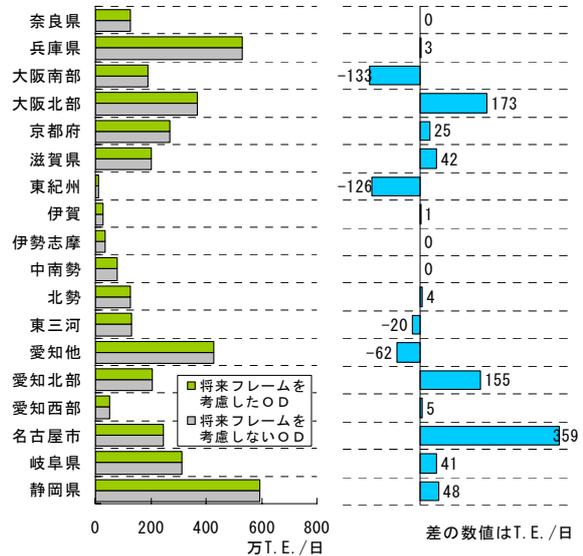


図-9 将来フレームありなしでのH4 2 OD表予測結果とその差の比較

デルに比べて、一般道利用のルートでは渋滞を避ける貨物車交通が、国道163号から名阪国道へ回る傾向が示されており、「一般道による定時性の高いルート」を選択する貨物車の特徴が、名阪国道に表れている結果が伺える。(図-8)

(6) シミュレーションの実施

将来の道路網計画や物流施設計画等を考慮した将来予測フレームを設定し、構築したモデルを用いて貨物車OD表を推計することで、物流に関する将来計画を反映したOD表の構築を試みた。

設定した将来フレームの基本的な考え方は表-7に示す通りである。

表-7に示す将来条件を代入して算定した物流OD表

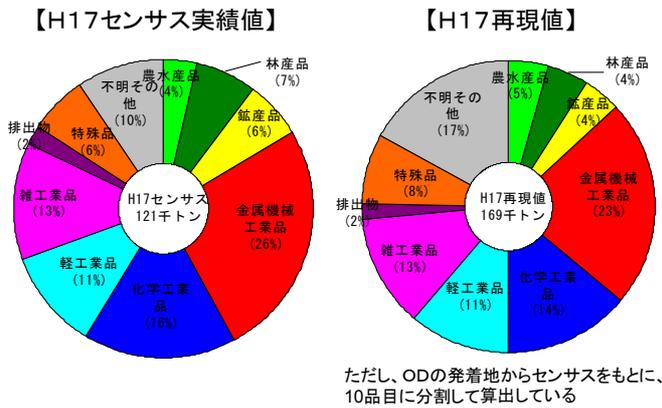


図-10 名阪国道の県境断面における物流品目の再現性

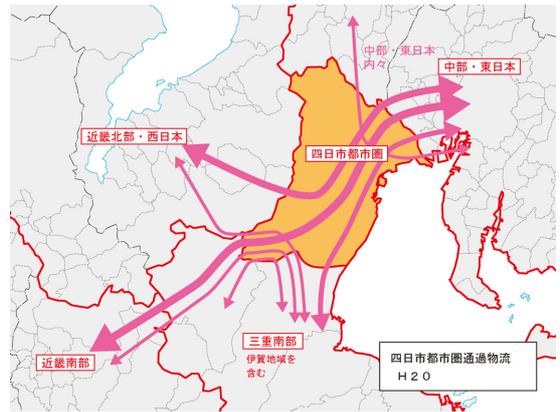


図-11 四日市都市圏の通過物流

(総流動の変換までを行ったもの) と、現況の同条件を代入して算出した物流OD表との差は、道路網整備および港湾施設整備による物流量の変化を示す。この変化の中には、道路網整備による貨物車利用物流の増加、施設整備の進んだ港湾利用の増加などの変化が織り込まれている。

その結果を比較すると、港湾整備や道路網整備が相対的に進捗する名古屋市や大阪北部、愛知北部などで若干の増加が見込まれる結果となっており、妥当な傾向を示すものであった。(図-9)

また、本モデルでは、施設選択モデルおよび経路選択モデルにおいては品目別のモデル構築は出来なかったものの、ODペア毎の品目情報および積載量を保持して推計を行うモデルを構築しているため、経路毎の物流量や積載品目の内訳を分析することを可能とした。図-10は名阪国道における品目内訳を示したものであるが、一定の再現性が確認された。図-11は、本モデルを用いて、通過物流の流動を分析した一例である。

3. おわりに

本研究では、物流に着目した交通量推計を行うために、機関選択から経路配分までの一連の体系的で、かつ、実務的なモデルの構築を行った。パラメータ推定の結果および経路配分の結果については一定の再現性が得られ、また将来予測の結果についても妥当な結果

が示された。

しかしながら本研究においては、入手可能な範囲のデータからのモデル構築であったため、データ精度の問題から、都市圏内レベルの再現性の検証が十分行えなかった。道路交通センサスにおいては、オーナーインタビュー調査のみトリップチェーンが示されたデータであることから、サンプル数は少なくなるものの、純流動から総流動への変換の詳細な分析の可能性は残されている。そのため、今後はこの分析を進め、純流動から総流動への変換の再現性の向上を図ることが必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 社団法人交通工学研究会：やさしい非集計分析，pp.25, 1993.
- 2) 飛ヶ谷,石橋, 田名部,朝倉：旅行時間信頼性指標と既存の渋滞評価指標との比較ー阪神高速道路の事例，第 37 回土木計画学研究発表会・講演集，Vol.37, CD-ROM, 2008.
- 3) 中京都市圏総合交通体系調査協議会：中京都市物資流動調査報告書 11 予測モデルの作成Ⅱ，1978.
- 4) 古川雄一：分布貨物量データを用いた都市内貨物車交通量推計モデルの構築ー物流施設評価への利用ー：東京大学 UT Repository, 2006.

(?)