

施設経路を考慮した物流推計モデルの構築

小池 淳司¹・片山 慎太郎²・古市 英士³

¹正会員 神戸大学大学院教授 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1)
E-mail: koike@lion.kobe-u.ac.jp

²正会員 (一社) システム科学研究所 調査研究部 (〒604-8223 京都市中京区新町通四条上ル小結棚町 428)
E-mail: katayama@issr-kyoto.or.jp

³正会員 (一社) システム科学研究所 調査研究部 (〒604-8223 京都市中京区新町通四条上ル小結棚町 428)
E-mail: furuichi@issr-kyoto.or.jp

経済のグローバル化が求められる今日においては、物流効率化に向けた適切な物流施設の配置、機能の強化、物流ネットワークの構築が必要不可欠である。そのためには、まず貨物の動きを正確に把握することが必要であるが、我が国では、純流動調査及び総流動調査を活用することで、国内貨物の動きを交通機関別・品類品目別に把握することが可能である。しかしながら、我が国の貨物において重要な役割を担っている流通・配送センター等の物流施設を経由する貨物の動きは、既存の調査からは把握することができない。そこで本研究では、既存の調査結果を用いて流通・配送センター等の物流拠点を経由する貨物を考慮した推計モデルの構築を行った。

Key Words : Distribution census data , Gross traffic data , Logit model

1. はじめに

経済のグローバル化が求められる今日においては、物流効率化に向けた適切な物流施設の配置、機能の強化、物流ネットワークの構築が必要不可欠である。我が国では、近年、国内経済の停滞とともに貨物量が減少傾向にあり、国際競争力の強化並びに多様化する消費者ニーズの対応に向けて、より一層物流効率化を推進していくことが重要である。そのためには、まず現状の貨物の動きを正確に捉えることが必要であるが、国内貨物の流動を捉えた統計として、純流動調査及び総流動調査が挙げられる。純流動調査は、国土交通省総合政策局より公表されている全国貨物純流動調査（物流センサス）¹⁾で把握することが可能であり、貨物の出発地から到着地までを一区切りの流動として捉えた調査となっている。一方、総流動調査は、同じく国土交通省総合政策局より公表されている貨物地域流動調査²⁾で把握することが可能であり、ある輸送機関がどこからどこまで貨物を輸送したかを捉えた調査となっている。これらの調査結果を活用することで、国内貨物の流動を、交通機関別・運搬する品類品目別に把握することが可能であり、交通・物流分野での様々な調査・研究等でも既に数多くの活用事例³⁾がある。

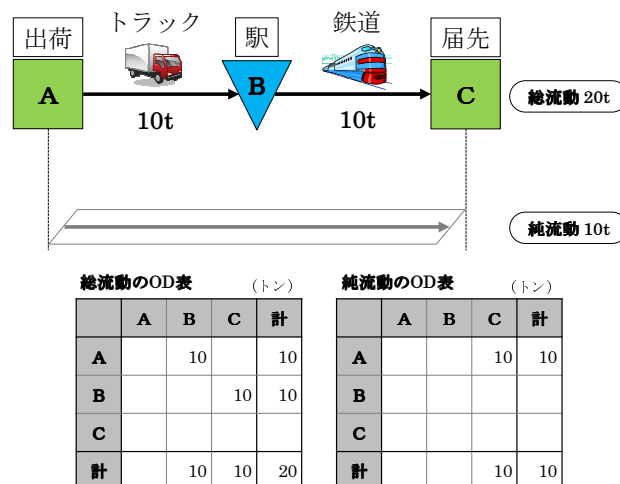


図-1 純流動統計と総流動統計の概念の違い¹⁾

また、我が国の貨物サービスレベルは他国に比べ高く、宅配便等の国内貨物は、沖縄・離島を除き、全国のどこにいても最短で1~2日で荷物が届くようになっている。これは、決済サービスの向上、ロジスティクス事業の展開、規制緩和等の影響もあるが、流通・配送センター等の物流拠点の機能（積換え機能・混載機能・流通保管機能等）が高いことも一因として考えられる。しかしなが

ら、既存の貨物に関する調査からは、この流通・配送センター等の物流拠点を經由する貨物の動きを把握することができない。そこで、本研究では、既存の調査結果を用いて、物流拠点を經由する貨物を考慮した推計モデルの構築を行う。

2. 分析アプローチ

(1) 既往研究

既述の通り、国内貨物の調査結果を活用した活用事例は数多くあるが、例えば関谷ら³⁾(2010)の研究では、国内発着貨物のみならず、輸出・輸入貨物データ等の複数の統計調査を補正・補完することで、包括的な貨物流動を表すODデータを構築している。ただし、全国貨物純流動調査と貨物地域流動調査の品目別ODデータの精度に課題があることを示している。

また、海外での取組として、Davydenko et al (2013)⁴⁾の研究では、図-2に示す物流推計モデルを構築しており、大きく2段階に分けてモデル式が定義されている。まず第1段階として、各地域の生産量と消費量のデータから、グラビティモデルを用いて物流に関するODデータを推計し、次に第2段階として、ロジットモデルを用いて、生産地から消費地へ直接運搬される物流量と、生産地から施設を經由して運搬される物流量を推計している。ただし、ロジットモデル式及び、各効用式で定義しているパラメータは、実測値と推計値の最小誤差二乗和の組み合わせとなるように推定しており、この点が大きな特徴の1つであるといえる。本研究でも、この第2段階で定義されているモデルに倣い、国内発着貨物を捉えた全国貨物純流動調査及び、貨物地域流動調査を用いて物流拠点を經由する貨物量を推計する。

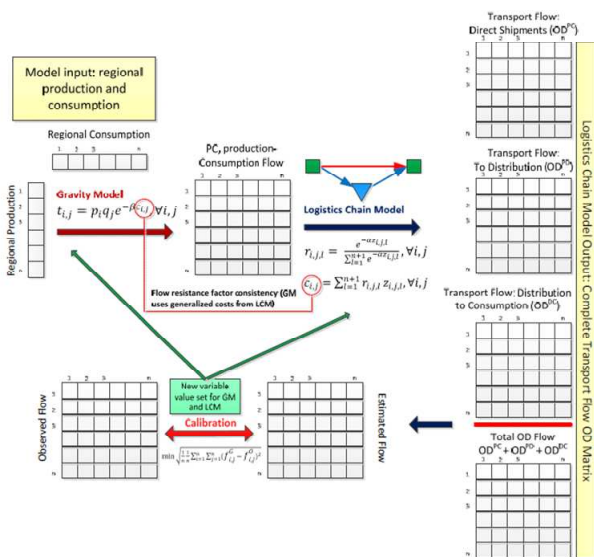


図-2 既存の物流推計モデルの概略⁴⁾

(2) 本研究で構築した物流推計モデル

本研究で構築する物流推計モデルの概略は、図-3に示す通りである。生産地から消費地へ直接運搬される貨物（以降、PC flow）、生産地から経由地へ運搬される貨物（以降、PD flow）、経由地から消費地へ運搬される貨物（以降、DC flow）をそれぞれ推計する。なお、推計時において、地域内々の影響が大きいものと推察されるため、本研究では地域内々の貨物取引は考慮しないものとする。

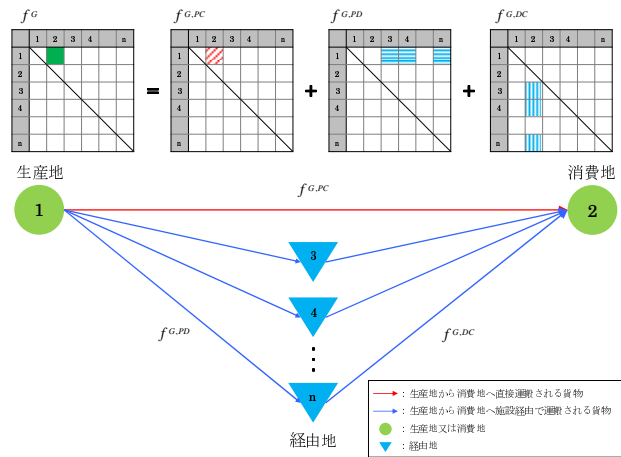


図-3 本研究でのモデル概略

モデルの定式化においては、以下のサフィックスを導入する。

$$\text{地域} : n \in \{1, 2, \dots, i, \dots, j, \dots, l, \dots, k, \dots, 47\}$$

a) PC flowの選択確率

地域*i*から地域*j*へ運搬される総貨物量に対するPC flowの選択確率を、次式のロジットモデルで定式化する。なお、本研究では、所要時間以外に地域の経済規模⁵⁾をロジットモデルに反映するが、経済規模の有無による推計精度も合わせて確認する。

$$\gamma_{i,j,1} = \frac{Y_i e^{-\beta V_{i,j}^1}}{Y_i e^{-\beta V_{i,j}^1} + Y_k e^{-\beta V_{i,j}^2}} \quad (1)$$

ただし、 $\gamma_{i,j,1}$: 地域*i*から地域*j*へ直接運搬される貨物の選択確率、 Y_i : 地域*i*の域内総生産、 $V_{i,j}^1$: 地域*i*から地域*j*へ直接運搬される効用、 $V_{i,j}^2$: 地域*i*から地域*j*へ施設経由で運搬される効用、 β : 感度パラメータ

次に、(1)式で定義したロジットモデル内の効用関数を、次式のログサム関数で定式化する。

$$V_{i,j}^1 = \ln e^{-\alpha_{i,j,1}} \quad (2)$$

$$V_{i,j}^2 = \ln \sum_{k=2}^{n+1} e^{-\alpha_{i,j,k}} \quad (3)$$

ただし、 $t_{i,j,1}$: 地域 i から地域 j へ直接運搬される貨物の所要時間、 $t_{i,j,k}$: 地域 i から地域 j へ施設 k を経由する貨物の所要時間、 α : 感度パラメータ

b) PD flow 及び DC flow の選択確率

(1)式及び、地域 i から地域 j へ施設 l を経由する貨物の所要時間から、PD flow 及び DC flow の選択確率を(4)式で定式化する。なお、地域 i から地域 j へ運搬される貨物の選択確率は、必ず(5)式を満たすものとする。

$$\gamma_{i,j,l} = \frac{Y_l e^{-\alpha_{i,j,l}}}{\sum_{l=2}^{n+1} Y_l e^{-\alpha_{i,j,l}}} (1 - \gamma_{i,j,1}) \quad (4)$$

$$\sum_{l=1}^{n+1} \gamma_{i,j,l} = 1 \quad (5)$$

ただし、 $\gamma_{i,j,1}$: 地域 i から地域 j へ施設 l を経由する貨物の選択確率

c) 貨物量の推計

(1)式及び(4)式で算出した選択確率に、純流動調査を乗ずることで、PC flow、PD flow 及びDC flowを推計する。

$$f_{i,j}^{G,PC} = Z_{i,j} \times \gamma_{i,j,1} \quad (6)$$

$$f_{i,j}^{G,PD} = \sum_{k=1}^n (Z_{i,k} \times \gamma_{i,k,l \in DCinj}) \quad (7)$$

$$f_{i,j}^{G,DC} = \sum_{k=1}^n (Z_{k,j} \times \gamma_{k,j,l \in DCini}) \quad (8)$$

$$f_{i,j}^G = f_{i,j}^{G,PC} + f_{i,j}^{G,PD} + f_{i,j}^{G,DC} \quad (9)$$

ただし、 $f_{i,j}^{G,PC}$: 地域 i から地域 j へ直接運搬される貨物量、 $f_{i,j}^{G,PD}$: 地域 i から施設 j へ運搬される貨物量、 $f_{i,j}^{G,PC}$: 施設 i から地域 j へ運搬される貨物量、 $f_{i,j}^G$: 地域 i から地域 j への総貨物量の推計値、 $Z_{i,j}$: 地域 i から地域 j の純流動

d) モデルキャリブレーション

(9)式で推計した総貨物量の推計値と、総流動調査の総貨物量の誤差二乗和が最小となるように、感度パラメータ α 及び β を調整する。

$$\min \sqrt{\frac{1}{n} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (f_{i,j}^G - f_{i,j}^O)^2} \quad (10)$$

ただし、 $f_{i,j}^O$: 地域 i から地域 j への総貨物量の実測値 (総流動)、 n : 総地域数

3. 分析の前提条件

(1) 貨物データ

国内発着貨物のうち、純流動調査として全国貨物純流動調査、総流動調査として貨物地域流動調査を使用する。なお、両調査の対象年次を2005年、対象エリアを全国、地域区分を都道府県単位とした。また、各調査での交通機関、運搬品類等は表-1に示す通りであるが、本研究では総貨物を対象とするために、全交通機関・全品類の貨物データを使用した。また、純流動調査は、3日間調査データであるため、年間値となるように補正を行った。

表-1 各調査の使用データの詳細

	純流動調査	総流動調査
調査名	全国貨物純流動調査	貨物地域流動調査
年次	2005年	
対象地域	全 国	
地域区分	都道府県	
交通機関	鉄道 トラック 海運 航空 その他	鉄道 海運 自動車
品類	農水産品 林産品 鉱産品 金属機械工業品 化学工業品 軽工業品 雑工業品 排出物 特殊品	農水産品 林産品 鉱産品 金属機械工業品 化学工業品 軽工業品 雑工業品 特種品 その他

(2) 都道府県間所要時間データ

都道府県間所要時間データは、交通量配分結果から得られる最終旅行速度を用いて、道路交通センサスのOD交通量による加重平均から算出した。ただし、国内発着貨物データと年次を整合させるために、道路ネットワーク及び、道路交通センサスは平成17年データを使用した。

$$t_{i,j} = \frac{\sum_{m \in M} \sum_{n \in N} t'_{mn} \times OD_{mn}}{\sum_{m \in M} \sum_{n \in N} OD_{mn}} \quad (11)$$

ただし、 t_{mn} : 地域 m から地域 n の所要時間、 m, n : 交通量配分の分析ゾーンを表すサフィックス

(3) 分析ケースの設定

推計を実施するにあたり、本研究ではいくつかのケースを設定する。まず、(1)式の感度パラメータ β に符号の制約条件を設定した2ケースを想定する。次に、(1)式の経済規模 Y_i を設定した場合と、設定しない場合の2ケースを想定する。設定しない場合、PC flowの選択確率は、所要時間のみで決定されることになる。2つのケースを組み合わせ合わせた合計4ケースを分析ケースとして、推計を行う。

表-2 分析ケースの設定

	制約条件	経済規模(Y_i)
CASE1	$\beta > 0$	○
CASE2		×
CASE3	$\beta < 0$	○
CASE4		×

4. 分析結果

(1) 推計結果

各ケースで推計されたパラメータ、実測値（総流動）との相関係数、及び総貨物量に占めるPC flowの割合を表-3に示す。結果をみると、最も実測値との相関があるケースはCASE 2であり、生産地から消費地へ直接運搬されるPC flowの割合が総貨物に対して約6割となっている。また、感度パラメータ β をみると、 $\beta > 0$ の制約条件を設定したCASE 1, CASE 2の方が相関係数が高くなっており、PC flowの割合も大きくなっていることが分かる。さらに、経済規模を考慮しないCASE 2, CASE 4の方が、CASE 1, CASE 3に比べ相関係数が高くなっていくことが分かる。

表-3 各ケースでの推計結果

	感度パラメータ		相関係数	総貨物量に占めるPC flowの割合
	α	β		
CASE1	0.2	1.0	0.4646	76.7%
CASE2	0.4	1.0	0.4909	62.5%
CASE3	0.1	-1.0	0.3271	3.8%
CASE4	0.2	-1.0	0.4705	7.1%

(2) 再現性

各ケースの実測値（総流動）と推計値の再現性をみると、CASE 1, CASE 2に比べCASE 3, CASE 4が過大推計の傾向にあることが分かる。

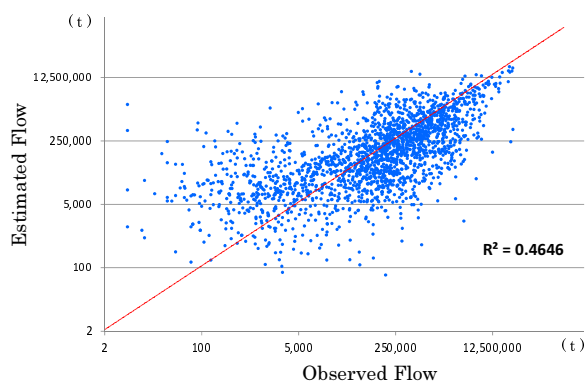


図-4 CASE1の再現性

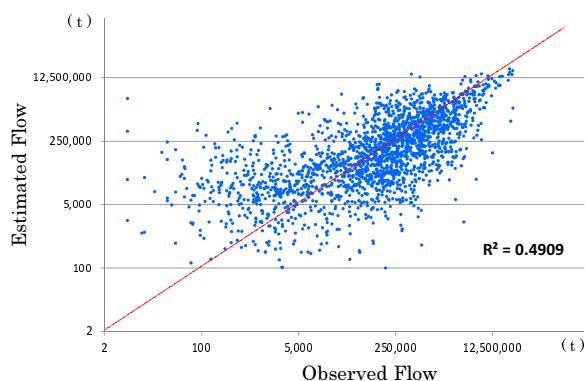


図-5 CASE2の再現性

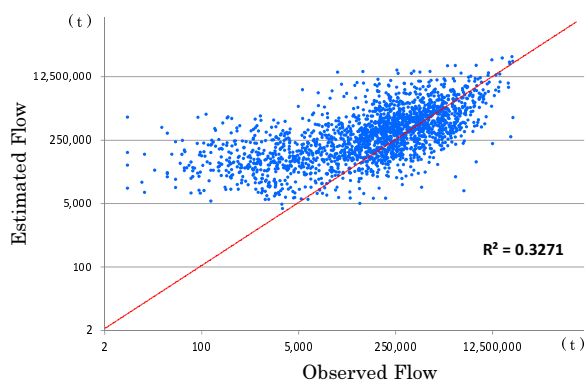


図-6 CASE3の再現性

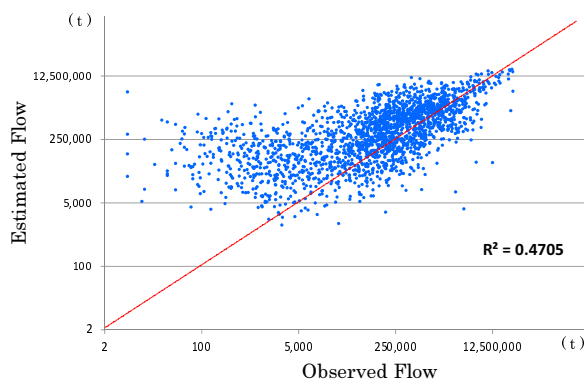


図-7 CASE4の再現性

5. まとめ

本研究では、既存の調査結果を用いて、物流拠点を經由する貨物を考慮した推計モデルの構築を行った。その結果、再現性の向上に向けての課題はあるものの、貨物の動きをより細かく把握することが可能となった。ただし、本研究での結果は、全交通機関・全品類で推計した結果であるため、今後は各交通機関や品類別といった様々なバリエーションでの推計結果の違いについて分析を行う予定であり、当日の発表時に報告する。

参考文献

- 1) 国土交通省：全国貨物純流動調査（物流センサス）
- 2) 国土交通省：貨物地域流動調査
- 3) 関谷浩孝，小林正憲，上坂克己，古川誠，奥谷正，南部浩之，柴崎隆一：輸送貨物の価値に着目した貨物流動分析の基礎データ（貨物 OD データ）の構築手法 - 物流分析基盤の構築 - ，国土技術政策総合研究所資料，第 575 号，2010.
- 4) Davydenko, I. Y., Tavasszy, L. A. and de Blois, C. J. : Modeling interregional freight flow by distribution systems, 13th WCTR, 2013.
- 5) 内閣府：県民経済計算

(?)

MODELING INTERREGIONAL FREIGHT FLOW BY DISTRIBUTION SYSTEMS

Atsushi KOIKE, Shintaro KATAYAMA and Eiji FURUICHI

Planning of distribution facility, strengthening logistics functions, and designing a distribution network are essential to improving the efficiency of the logistics in the global economy. In order to do that, it will be important to understand the flow of goods. It is possible to understand the interregional trade that type of transportation mode and goods from distribution census data and gross traffic data in Japan. However, we can't understand the flow of goods via warehousing facilities. Distribution Centers with a warehousing function have an important influence on the flow of goods from production to consumption. This paper describe the logistics chain model, which split the production – consumption flow between direct goods and goods via warehousing facilities.