

地域の貨物発生集中量の推定方法に関する研究*

Estimation Method of Regional Freight Transport Generation/Attraction

関 宏志** 飯田 恭敬*** 倉内 文孝**** 谷口 栄一*****

By Hongzhi GUAN, Yasunori IIDA, Fumitaka KURAUCHI, Eiichi TANIGUCHI

1. はじめに

今日の道路渋滞は、深刻化する一方であり、さらに道路交通の50%近くを貨物自動車が占めるという状況を考えると、貨物の流動量を明らかにすることは、交通計画・交通管理上、非常に重要な課題である。近年までの高度経済成長期の日本においては、貨物量はGNPの増加に比例して増加していたが、オイルショックやダウンサイジングの傾向により、この比例関係が必ずしも成り立たなくなっている。これらは、各地域の産業構成自体の変化によるところが大きい。特に円高や人件費の上昇により、海外に工場を移転する企業が増加している。そのため、各地域における産業構成を念頭に置いた貨物発生・集中量の推定が重要となっている。さらに、我々が特に注目している道路交通への影響を考える場合においては、運ばれる貨物の品目によって、その貨物の荷姿や輸送手段の選択が左右される場合が多いため、それぞれの品目ごとの発生・集中量を精度よく推定することが交通計画に対して、重要な意味を持つと考えられる。以上のような背景を踏まえて、本研究においては、地域ごと、品目ごとの貨物の発生・集中量をより精度良く推定することを目的とする。

従来、貨物の発生・集中量は線形回帰モデル^{1),2)}を用いて推定されてきた。このモデルは構造が簡

単であるため、非常に実用性が高い。しかし、貨物発生・集中量とその影響要因間の関係が常に線形である保証がないことが大きな問題といえるだろう。本研究においては、線形回帰モデルの問題点である説明変数と被説明変数との間の線形関係の仮定を緩和するために、線形変換の1つであるBox-Cox変換³⁾の貨物発生・集中量推定への適用を試みる。そして、得られた結果と線形回帰モデルによる結果を比較し、その優位性を明らかにする。

2. Box-Cox変換の概要

説明変数と被説明変数との間の関数型を予め特定せず、統計量によって関数型を決める方法はさまざまなものが提案されている。その中には、フレキシブル関数型⁴⁾やBox-Cox変換等がある。フレキシブル関数型とは、任意の2階微分可能な関数をTaylor展開することによって2階の近似をとったものであり、その例としてはトランスログモデルや2次形式などの関数型が挙げられる。Box-Cox変換は非線形な関係を線形近似するための巧妙な方法として使われている。この方法は、被説明変数 y と説明変数 x の間に線形関係ではないが、両変数またはいずれか一方の変数を変換することによって、変換後に線形関係が成り立つことを仮定している。Cropper, Deck & McConnell⁵⁾は住宅価格問題に生じる誤差の程度について、モンテカルロシミュレーション分析によって、フレキシブル関数型を用いるより、Box-Cox変換を適用する方が優れていることを示している。そのため、本稿では、Box-Cox変換を適用することにする。

Box-Cox変換の概要は次のとおりである。今、 y をパラメータ λ を用いて変換し、変換したものを $y^{(\lambda)}$ とすると、 $y^{(\lambda)}$ と x との間に線形関係が成り立つと仮定する。

* キーワード 発生・集中、物資流動

** 学生員 工修 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻
(〒606-01 京都市左京区吉田本町
TEL:075-753-5126, FAX:075-753-5907)

*** 正会員 工博 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻
(住所同上, TEL:075-753-5124, FAX 同上)

**** 正会員 工修 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻
(住所同上, TEL:075-753-5126, FAX 同上)

***** 正会員 工博 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻
(住所同上, TEL:075-753-5125, FAX 同上)

$$y^{(\lambda)} = \alpha_0 + \sum_{i \in N} \alpha_i z_i + e \quad (1)$$

ここで、 λ を用いた変換とは次のようなものである。

$$y^{(\lambda)} = \begin{cases} (y^\lambda - 1) / \lambda & (\lambda \neq 0) \\ \ln y & (\lambda = 0) \end{cases} \quad (2)$$

また、 $\alpha_i (i=0, \dots, n)$ はパラメータ、 e は誤差項である。ここで、求めるべきパラメータは λ と α_i である。一般的なBox-Cox変換のパラメータ推定法は、式(1)に対して、最尤推定法を適用するものであるが、ここでは、簡単に、次のようなステップで、推定モデルの決定係数の最大化を目的関数として、 λ 及び α_i を求めることにする。

- ① λ の初期値を設定する。
- ② ①の λ を利用して、 y を $y^{(\lambda)}$ に変換する。
- ③ $y^{(\lambda)}$ と説明変数の値 z_i を用いて、 α_i を最小二乗法を用いて推定する。
- ④ 得られた α_i を利用して、 y の推定値 $\hat{y}$ を求める。
- ⑤ $\hat{y}$ を利用して、決定係数を計算する。なお、決定係数 R^2 は、次式で与えられる。

$$R^2(\lambda) = 1 - \left[\sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_i)^2 \right] / \left[\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2 \right] \quad (3)$$

但し、 y_i は y の第 i 番の観測値、 $\hat{y}_i$ は y の第 i 番の推定値、 $\bar{y}$ は y の平均値である。

- ⑥ λ の値を変化させ、上記のステップ②からステップ⑤までを反復計算し、得られた決定係数が最大のものを解とする。

Box-Cox 変換の変換前の関数型のイメージをつかむために、簡単な例として、 $y^{(\lambda)} = x$ について、 $\lambda > 1$ 、 $\lambda = 1$ および $\lambda < 1$ の場合の元の関数の形状を図-1 に示す。

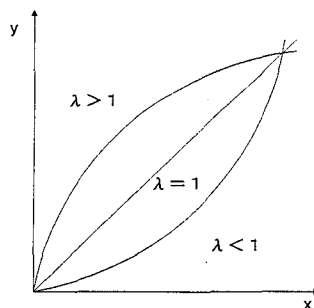


図-1 Box-Cox 変換のイメージ図

産品、鉱産品、金属機械工業品、化学工業品、軽工業品、雑工業品及び特殊品の8分類である。

貨物の流動は、主として産業の生産・消費活動から派生するものと考えることができる。そのため、貨物の発生・集中量と、その地域の産業ごとの就業者数や生産額などの社会経済指標は、かなり関連性が高いと考えることができる。また、日本の商形態を鑑みると、生産者から消費者に直接商品が移動するわけではなく、両者の間には、卸売業や小売業が仲介することが多い。それゆえ、第3次産業に関する社会経済指標も、貨物の発生・集中に影響を及ぼしていると考え必要がある。そのため、Box-Cox 変換を適用する際に、被説明変数としては各品目の発生・集中量を、そして説明変数にはその品目に関連性が高い経済的指標と、第3次産業に関する指標を採用することにする。

(b) 輸出入貨物の取扱い

ここで我々が注目しているのは、国内の貨物流動の状況であるが、その中には元々の発地が海外であるものや、最終目的地が海外であるものが多数存在する。この場合、ある港湾が発達している地域に輸出入するための貨物が集中したとしても、それはその地域が吸引したというよりは、発達した港湾設備がそれらを吸引したと考える方が自然であろう。そのため、輸出入に関する貨物は、先の品目ごとの分類とは別個に、新たなカテゴリーとして分類し、この説明変数に関しては、港湾統計データを利用することとする。

以上の2点を考えて、8品目の発生・集中量と

3. 貨物発生・集中予測モデルの概要

(1) モデルの概要

(a) モデルの考え方

上述のように、交通計画では、品目ごとの貨物の発生・集中量が輸送機関選択などに関する重要な要因となる場合が多いため、本研究では、品目ごとの発生量及び集中量の予測モデルを構築する。ここで用いた品目の分類は、運輸省の「輸送統計に用いる品目区分」をベースとした農水産品、林

輸出入に関する貨物の発生・集中量モデルを Box-Cox モデルを利用して構築する。

(2)推定に用いるデータ

推定においては、平成2年に実施された、「全国貨物純流動調査」をベースとした。まず、このデータを利用して都道府県別・品目別の貨物の発

生・集中量を求め、これを被説明変数とした。さらに、「日本統計年鑑」⁶⁾をはじめ、複数の統計資料^{7), 8), 9)}を利用して、各都道府県別の業種別の就業者人数・生産額などを求め、これらを説明変数候補とした。これらのデータを用いて、説明変数候補間の相関分析を行い、相関性の高い説明変数候補を除去した。このようにして得られた説明変数を用いて、分析を行った。

表-1 Box-Cox 変換の適用の結果

被説明変数 (トン)	説明変数	パラメータ α	t値	パラメータ λ	決定係数 R^2
発生貨物					
農水産品	第3次産業就業者人数(千人)	4895.66	16.08	1.04	0.867
	漁獲量(千トン)	1767.76	2.50		
林産品	第3次産業就業者人数(千人)	188.84	8.77	1.17	0.642
	森林面積(千ヘクタール)	1122.30	3.79		
鉱産品	窯業生産額(10億円)	30066.01	3.46	1.55	0.512
	鉱業生産投入額(百万円)	933.31	4.40		
金属機械工業品	金属総生産額(10億円)	9156.85	11.84	0.94	0.933
	機械総生産額(10億円)	1138.72	5.37		
化学工業品	化学品生産額(10億円)	24066.80	3.75	1.72	0.837
	石油・石油製品総生産額(10億円)	83561.31	6.78		
軽工業品	衣服・繊維工業生産額(10億円)	7762.22	2.00	0.71	0.858
	パルプ・紙就業者数(千人)	436412.30	6.03		
	食料品生産額(10億円)	4205.08	5.82		
雑工業品	木製品生産額(10億円)	19570.90	3.51	1.19	0.745
	出版・印刷就業者数(千人)	131505.63	8.82		
特殊品	第2次産業就業者数(千人)	4085.60	14.25	0.36	0.823
輸入品	外航船入港トン数(千トン)	6677.96	8.18	1.53	0.678
集中貨物					
農水産品	人口(千人)	1837.85	9.65	1.03	0.676
林産品	建設業完成工事高(10億円)	102.86	4.43	0.81	0.779
	木製品就業者数(千人)	385165.63	10.25		
鉱産品	鋼鉄業、窯業、石油化学業就業者数(千人)	66352.44	7.41	1.70	0.601
金属機械工業品	金属生産額(10億円)	5672.81	9.99	0.85	0.940
	機械総生産額(10億円)	1223.78	7.87		
化学工業品	第2次産業就業者数(千人)	34744.09	11.62	1.65	0.750
軽工業品	パルプ・紙就業者数(千人)	213036	7.01	0.44	0.956
	人口(千人)	803.23	7.23		
	1人当たり所得(千円/人)	1182.28	2.10		
雑工業品	木製品生産額(10億円)	14617.27	3.55	1.11	0.684
	出版印刷就業者数(千人)	82770.81	7.50		
特殊品	総就業者数(千人)	1073.52	11.04	1.28	0.773
輸出品	外航船入港トン数(千トン)	651.62	9.33	1.49	0.688

4. 計算結果の考察

上記のデータに、Box-Cox モデルを適用した結果を表-1 に示す。決定係数の欄についてみると、鉱産品の発生貨物量に関するモデルの決定係数の値は若干小さいが、その他のモデルに関する決定係数の値は高く、得られたモデルの精度は比較的高いと考えることができる。さらに、各モデルの説明変数の t 値についてみると、全て $t \geq 2$ であり、それぞれのモデルに関する説明変数は有意水準 5% で有意であることがわかる。説明変数のパラメータの符号も全て正であり、得られたモデルは、妥当なものであるといえる。

Box-Cox変換のパラメータ λ についてみると、品目ごとにその値は異なることが確認できる。ここでは、便宜的に λ の値が 0.9 以下のもの、0.9 ~ 1.1 のもの、1.1 以上のものの 3 つに分類して、考察を進めることとする。なお、図-1 からわかるように λ の値が 1 より小さければ凹型、1 より大きければ凸型の関数型となる。凹型となっている、つまり説明変数の増加率以上に貨

物量の増加が見られる品目としては、軽工業品及び特殊品の発生貨物量及び林産品、金属機械工業品、軽工業品の集中貨物量が挙げられる。逆に、凸型の関数型となっている品目は林産品、鉱産品、化学工業品、雑工業品及び輸入品の発生貨物量、そして、鉱産品、化学工業品、雑工業品、特殊品、輸出品の集中貨物量であった。さらに、 λ が1に近い品目としては、農水産品と金属機械工業品の発生貨物量と農水産品の集中貨物量が挙げられる。

最後に、Box-Coxモデルと線形回帰モデルの決定係数を比較する。線形回帰モデルの説明変数はBox-Coxモデルのそれと同一にして推定を行った。その結果を図-2に示す。なお、Box-Coxモデルは、線形回帰モデルに対して、推定パラメータが1つ多いため、決定係数が線形回帰モデルより悪くなることはない。この結果をみると、特に λ が1から乖離している、特殊品の発生貨物量や、鉱産品、軽工業品の集中貨物量のモデルの決定係数の差が大きいことがわかる。逆に、 λ が1に近い場合は、Box-Cox変換によるモデルはほぼ線形になるため、農水産品の発生・集中貨物量や、金属機械工業品の発生貨物量に関するモデルの決定係数はBox-Coxモデル、線形回帰モデルで大差はないことがわかる。

5. おわりに

本研究では、Box-Coxモデルを貨物の発生・集中量の推定モデルに適用した。得られたモデルの決定係数や説明変数のt値、そして線形回帰モデルの決定係数の比較により、Box-Coxモデルの方が、精度が比較的高いことが確認できる。また、品目ごとのモデル推定結果において、 $\lambda \neq 1$ のものが多数存在しており、説明変数と被説明変数の関係は線形とは限らないことがわかる。そのため、線形に変換するパラメータを自動的に探索するBox-Cox変換は、推定精度を高め、さらに推定アルゴリズムも簡単で、実用面でも利用価値が高いといえる。

本研究では、説明変数全体と被説明変数との間の関係を λ により変換する最も基本的Box-Coxモデルを適用した。発展型として、各説明変数に個別のパラメータ λ_i を導入することも可能であり、そ

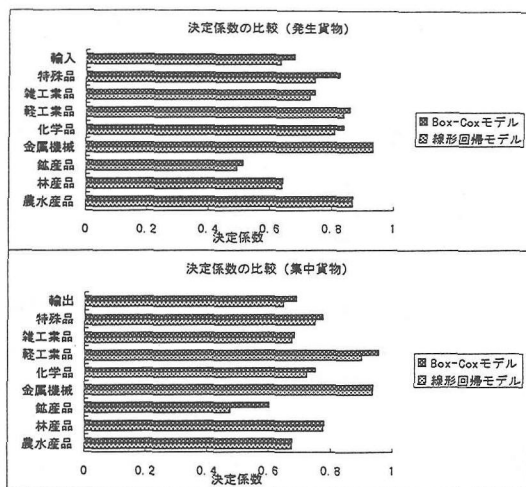


図-2 決定係数の比較

れによって、より高い精度の貨物の発生・集中量推定モデルの構築が可能である。

貴重なアドバイスを頂いた京都大学大学院工学研究科宇野伸宏助手、「全国貨物純流動調査」などのデータを提供していただいた運輸経済研究センター、運輸省運輸政策局情報管理部の各位に感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) ECMT, Goods Distribution Systems in Urban Areas, Report of the Sixty First Round Table of Transport Economics, 1983.
- 2) 運輸経済研究センター, 21世紀のわが国の交通需要, 平成3年.
- 3) G. E. P. Box, and D. R. Cox, An Analysis of Transformations, Journal of the Royal Statistical Society, B. No. 26, 1964.
- 4) Halvorsen, R. and Pollakowski, H., Choice of functional form for hedonic price equations, J. Urban Econ., Vol. 10, pp. 37-49, 1981.
- 5) Cropper, M. L. Deck, L. B. and McConnell, K. E., On the choice of functional form for hedonic price functions, Rev. Econ. Stat., Vol. 70, pp. 668-675, 1988.
- 6) 総務庁統計局, 日本統計年鑑, 平成3年～平成6年.
- 7) 経済企画庁調査局, 地域経済要覧, 1990-1995年.
- 8) 運輸省運輸政策局情報管理部, 港湾統計(年報), 平成2年.
- 9) 日本銀行調査統計局, 都道府県別経済統計, 平成4年版.