

規模の経済と多層ネットワークを考慮した広域物流拠点配置モデルの開発*

A Location Model of Interregional Freight Complexes with Multi-Layer Transportation Network and Scale Economy*

西垣雅弘**・石黒一彦***・秋田直也****・小谷通泰*****

By Masahiro NISHIGAKI**・Kazuhiko ISHIGURO***・Naoya AKITA****・Michiyasu ODANI*****

1. はじめに

(1) 背景

近年、多くの企業が物流費用削減を目的として物流の拠点集約化の動きを見ている。さらに製造業や物流業を中心としたグローバル化に伴いサプライ・チェーン・マネジメント（SCM）のコンセプトの導入が進み、企業は物流の効率化を追求している。宮下¹⁾は、荷主とキャリア間のパートナーシップの進行は、輸送モードや積換機能をまたぐ集中と所有の巨大化をもたらし、コンテナ船キャリアにおけるアライアンスの形成や特定の国際ハブ港へのコンテナ積換貨物の集中傾向として現れており、世界の多国籍企業は企業内外において形成された2次元ロジスティクス・ネットワークによって、相互に結合される動きがあるとしている。荷主間の物流の提携や物流拠点の適切な立地などの効率的な物流システムを、社会全体としての最適化を考慮した上で構築することは民間企業の設備投資の観点においても望ましい。

地域間輸送の拠点となるような広域物流拠点に関する研究として、山田²⁾は物流拠点の配置と規模を同時に決定する手法を構築している。また、輸送費の面から立地問題を考察した研究ではCooper³⁾が総輸送費を最小とするような複数施設配置を求めるために立地配分問題を定式化したものを初めとしている。以来、集配ターミナルの配置選択行動を内包した、都市内の集配活動のモデル化に関する研究⁴⁾や、宅配システムにおける広域物流拠点への集荷費用の最小化を評価基準とした集配センターの配置と輸送経路を決定するモデルを提案した研究⁵⁾がある。石黒⁶⁾は物流量の変化に伴う規模の経済性による物流費用の変化を明示的に組み込み、広域物流拠点の適正な立地場所と規模を決定するモデルを提案している。

以上の研究において共通しているのは、集配に関しての手法は詳述しているが、貨物の品目や業種は依然粗いままである。また、広域を対象とする際に大規模なターミナルのみを物流拠点としている点も課題である。荷主間の物流の提携や物流拠点の適切な立地などの効率的な物流システムを構築するためには、物流拠点の階層構造や貨物の属性を考慮することは必要不可欠である。

(2) 目的

物流費用は規模の経済の効果が大きく、多くの企業は規模の経済を追求しようとしており、企業間においても分野を越えて物流の集約化を目指した動きがある。そこで本研究では、周辺地域を集配エリアとする比較的小規模の下位物流拠点と、それらの下位物流拠点の貨物が集まる、広域物流の拠点となる大規模な上位物流拠点を考慮するとともに、物流拠点における規模の経済性による単位費用の変化を明示的に組み込んだ広域物流拠点配置モデルを構築することを目的とする。さらに、品目ごとの物流拠点の適正配置を求め、企業間の物流共同化の可能性についても示す。

2. 本研究の考え方

本研究で提案するモデルでは、物流に関する規模の経済を、多層積替拠点を組み込んだネットワーク配分問題として表現する。このモデルを用い、近畿圏を対象としてシミュレーションを行う。現実的な時間でかつ安定した均衡解を得るため分割配分法による収束計算を行っている。まず3. では広域物流拠点での多層積替拠点を考慮したネットワークの構成を示す。次に4. では物流拠点での階層性と規模の経済についての定式化を行い、5. では近畿圏を対象とした数値シミュレーションの設定並びに前提条件について定義する。最後に6. ではシミュレーション結果をもとに、対象地域における適正な物流拠点整備と企業間の物流共同化についての指針を示す。

3. ネットワークの構成

本研究は広域行政単位の地域間ネットワークを対象

*キーワード：交通ネットワーク分析，ターミナル計画，物流計画

**学生員，神戸大学大学院海事科学研究科

***正員，修（情報），神戸大学大学院海事科学研究科

****正員，修（商船），神戸大学大学院海事科学研究科

*****正員，工博，神戸大学大学院海事科学研究科

（兵庫県神戸市東灘区深江南町5-1-1，

TEL&FAX 078-431-6260）

とする。本モデルは拠点間輸送での重複積替費用を解消するために各地域に通過ノードを設定している。さらに、大規模な物流センターを想定した上位拠点と中規模な物流施設を想定した下位拠点という二階層物流拠点の構造を想定する。図-1にノードとリンクの概念図を示す。

- ・発着ノード：貨物の発生集中ノードであり、通過が発生しない端点である。
- ・通過ノード：直行、上位拠点間、下位拠点間について設定しており、直接リンクで結ばれていない地域間で効率的な輸送が可能となる中継点である。
- ・積替ノード：入荷ノードと出荷ノードから構成され、上位・下位拠点それぞれについて設けている。
- ・積替リンク：費用関数などの設定を容易にするため積み替えをリンクとして表現している。また上位積替リンクと下位積替リンクがあり、費用関数はそれぞれ与えられている。
- ・直行リンク：拠点間以外の他地域間輸送を表現したリンクであり、単位費用は拠点間リンクと域内リンクの間の値とする。
- ・拠点間リンク：拠点間において大型トラックを用いて輸送し、その積載率が高いことを想定し、直行リンクよりも単位費用を安く表現している。また、上位拠点間は下位拠点間よりも単位費用がより安い。
- ・域内リンク：小型トラックを用いた輸送のため積載率は低いことを想定し、単位費用を高く表現している。上位拠点と下位拠点を結ぶのも域内リンクである。

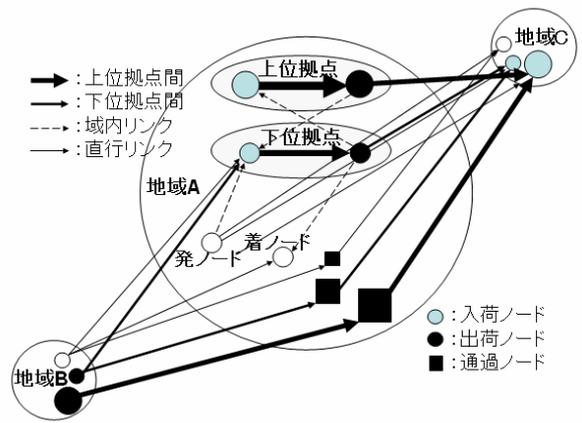


図-1 ネットワークの構成

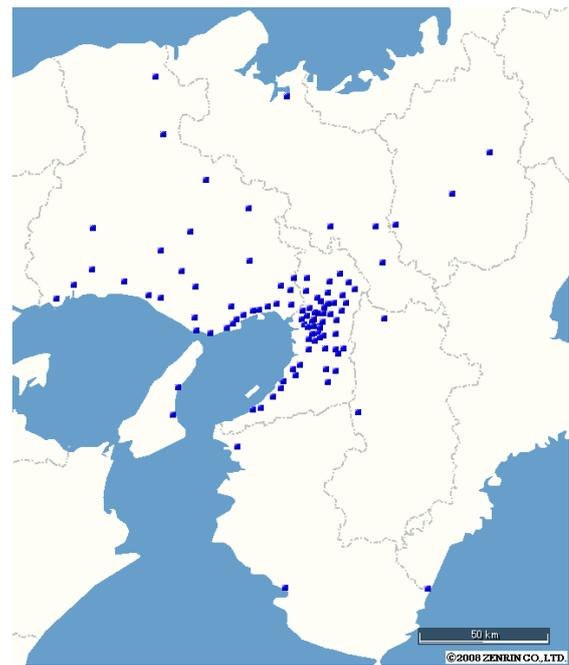


図-2 対象地域と中心点

4. モデルの定式化

(1) シミュレーションの設定

近畿2府4県を対象として数値シミュレーションを行う。兵庫県と大阪府については概ね区市郡単位、他府県については広域行政圏を一地域として、近畿圏104地域、および近畿圏外の8地域間のネットワークを構築する(全ノード:640, 全リンク:4,332)。図-2は対象地域内に設けたノードの位置を示す。複数の市町村を含む地域においては、各地域における最も人口の多い中心都市をノードとしている。この図中に示す位置に各地域における発着ノード、通過ノード、積換ノードの全てのノードがあると想定する。

地域間の距離は各中心都市間の時間距離とした。2000年全国貨物純流動調査3日間調査から得られる品目ごとの地域間貨物流動をOD(全OD数:12,432)として

与え、分割配分法により広域物流拠点での積み替えを考慮した地域間貨物流動を再現し、近畿圏における物流拠点の適正な規模と配置を決定する。

(2) 前提条件

モデルの構築・シミュレーションを行うにあたり、以下の前提条件を設定する。

①貨物ODを所与とし、変化しないものとする。

2000年全国貨物純流動調査の3日間調査の結果をODとして与える。

②輸送特性を考慮しない。

簡単のため業種や品目別の輸送ロットサイズも考慮しない。総輸送重量のみを考慮する。

③対象品目は農水産品、軽工業品、雑工業品とする。

品目別の輸送ロットサイズは考慮しないが、輸送の共同化の可能性がある農水産品、軽工業品、雑工業品を対象として、これらをそれぞれ品目別と3品目

一括との比較を行う。

- ④上位・下位ともに物流拠点は各地域1箇所だけとする。物流拠点候補地は各地域の代表都市の中心部とする。拠点は既に立地しているものとして計算を進めるが、結果として取扱量が0となる場合は立地しないものと見なす。
- ⑤拠点にのみ規模の経済が働くものとする。拠点の積み替えに関する部分にのみ規模の経済が働くものとする。輸送リンクコストは需要が増加しても必要トラック台数が増加することにより、規模の経済が働きにくいと考え、今回は規模の経済は働かないものとする。
- ⑥リンク種別ごとに単位費用は一定とする。規模の経済が働かない直行リンク、拠点間リンク、域内リンクはそれぞれに単位費用を設定し、地域差はないものとする。
- ⑦輸送業者は1社のみとする。本研究では、1社の輸送企業がすべての需要を輸送することを前提とする。適切な公共関与、あるいは適切な共同化が行われたとすると、このような状態に近くなると考えられる。

(3) 費用関数の定式化

a) 積替リンクコスト

積替リンクコスト(LC_k)は単位重量あたりの費用として表わす。本数値シミュレーションでは積替拠点(k)には規模の経済が働くとしており、以下に示す費用関数(式(1))を適用する。

$$LC_{k_m} = \frac{CF_{m1}}{\delta_{m1}^{q_1^{k_m}} \cdot \log \delta_{m1}} \cdot \frac{(\delta_{m1}^{q_1^{k_m}} - 1)}{q_1^{k_m}} + \delta_{m1}^{q_1^{k_m} - q_1^{l_m}} \cdot CV_{1ma} + CV_{1mb} \quad (1)$$

k_m : 上位積替拠点($m=1$), 下位積替拠点($m=2$)

CF_{1j} : 基準固定費

CV_{1a} : 単費変動費 (低減項)

CV_{1b} : 最低単位変動費

q_1^k : 拠点(k)における取扱量

q_1^l : 最低取扱量

$\delta_{1j} (<1), \delta_{2j} (<1)$: 単位費用逡減に関するパラメータ

b) その他のリンクコスト

その他の輸送リンクコスト(LC_{ij})は単位費用(β_h)×距離(d_{ij})で表される(式(2))。

$$LC_{ij} = \beta_h \times d_{ij} \quad (2)$$

h : リンク種別, ij : ノード

5. 数値シミュレーション

(1) 各パラメータの決定

今回は上位積替拠点を想定せず数値シミュレーションを品目別に行った。資料7から得られる車種別運行費用と積載率をもとづき貨物の単位費用を以下のように算出した。

$$\text{単位輸送コスト(円/トン} \cdot d) = \frac{\text{車種別コスト(円} / d)}{\text{積載量(トン)} \times \text{積載率(\%)}}$$

域内輸送単位費用 (β_1) : 3224 円/トン・ d

直行輸送単位費用 (β_2) : 2113 円/トン・ d

幹線輸送単位費用 (β_3) : 712 円/トン・ d

既存研究により用いられたトラックターミナル建設費用とバース数、従業員数より固定費、単位変動費を算出した。大規模なトラックターミナル、小規模なトラックターミナルの二つのデータを基に、固定費は建設費用、単位変動費用は従業員数をそれぞれ用いることにより以下のように推計した。

固定費 (最小) (CF_j) : 25 万円/日

単位変動費 (最大) (CV_j) : 4000 円/トン

単位変動費 (最小) (CV_{jb}) : 1800 円/トン

$\delta_1=0.9998 \quad \delta_2=0.9950$

本モデルでは輸送に関する直接的な費用のみを考慮した。その他、現実には拠点における保管費用や、拠点の持つ時間調整機能も考慮することが望ましいが、具体的な保管時間を算出することは困難であるため、明示的には考慮していない。

(2) フィードバック及び分割数

分割配分法を用いるに当たり、一度分割された結果として算出されるリンクコストを初期値として、全量を配分し直す。このフィードバックを行うことにより、均衡解に近い解が得られる。

6. シミュレーション結果と考察

(1) 解の最適性

本モデルでは広域ネットワークにおいて積替リンクにのみ規模の経済が働くため、真の最適解を求めるのは非常に困難であり、現実的な時間内には求めることが出来ない。真の最適解を求めることは将来の望ましい姿を議論するために不可欠ではあるが、近い将来の予測をするに当たっては、却って現状を踏まえた変化の方向を明らかにすることが重要と考える。今回は分割配分法によりOD貨物量を各経路に配分したが、分割配分法では需要の多いリンクは規模の経済が早く大きく働き始めるので、より一層需要を集めることになる。任意の初期配分状況

表-1 品目別拠点利用率と拠点数

	取扱量(トン)	拠点利用率	拠点数
農水産品	32,107.81	22.70%	30
軽工業品	110,664.65	25.41%	51
雑工業品	53,351.41	29.50%	72
3品目一括	223,449.80	29.49%	78

を与えることにより変化の方向を明らかにすることも可能である。

(2) シミュレーション結果と考察

農水産品、軽工業品、雑工業品、および3品目一括した場合について貨物取扱量、拠点利用率および近畿圏内における立地拠点数をそれぞれ表-1に示す。農水産品は長距離ODが少ないために拠点数や利用率が比較的低くなっている。図-3は3品目一括して配分したケースについて拠点の立地分布と拠点規模を示している。これによると、農水産品、軽工業品ともに拠点での取扱量の多かった神戸市東灘区で規模が最大となった。また、図-4に示すように、貨物の内訳をみると半数近い東灘区近隣地域の貨物であることがわかる。これは神戸市内などの東灘区周辺地域から発着する貨物量が多く東灘区の物流拠点に集中し、近畿圏外へ輸送もしくは圏外から輸送されてきたと考えられる。また、現在近畿圏には大規模なトラックターミナルが茨木市、東大阪市、大阪市住之江区、西宮市北部の計4箇所に立地しているが、茨木市を除く3拠点については高い拠点利用率が見られており、本モデルが概ね実態を捉えることができたといえる。一方で最も高い拠点取扱量を示した神戸市東灘区については、今後企業間の物流共同化や広域物流拠点を整備する際の候補地としてふさわしいものであると考える。

7. 結論

本研究では、物流量の変化に伴う規模の経済性による物流費用の変化を明示的に組み込み、さらに多層性を考慮した広域物流拠点での積み替えを考慮した輸送ネットワークモデルを構築した。そのネットワークのもとで輸送費用最小化に基づいて、分割配分法による収束計算を用いて、品目ごとに広域物流拠点での積み替えを考慮した地域間貨物流動を再現し、地域間の流通の結節点である広域物流拠点の適正な立地場所と規模の推定を行った。近畿圏を対象にしたケーススタディにおいて広域物流拠点を整備する上で指針を与えることができた。

参考文献

- 1) 宮下國夫, 「日本物流業のグローバル競争」, 千倉書房, 2002.
- 2) 山田忠史; 道路交通システムから見た都市圏物流拠点

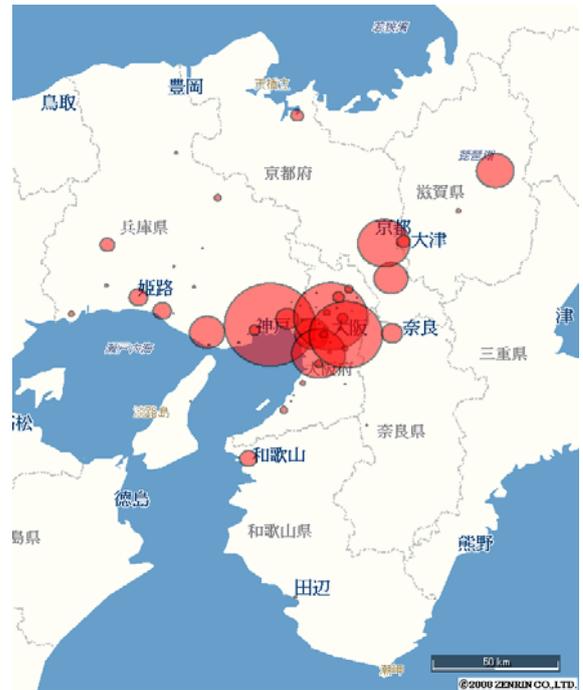


図-3 拠点立地分布

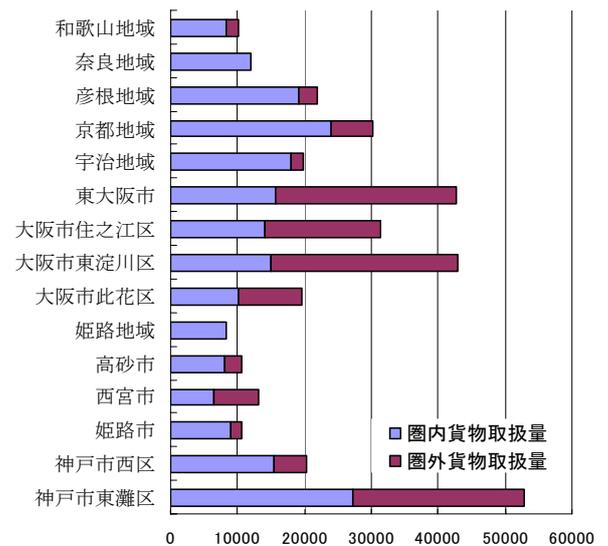


図-4 拠点取扱量内訳 (圏内外)

の規模・配置計画に関する方法論的研究, 京都大学博士学位論文, 1998.

- 3) Cooper L. : Location-allocation problem , Operations Research, 11, pp. 331-343, 1963.
- 4) 家田仁: 詰合わせトラック物流における都市内集配送活動のモデル化とその推定, 土木計画学研究・論文集, No. 11, pp. 215-222, 1993.
- 5) 徳永幸之: 宅配輸送におけるセンター配置及び輸送経路決定モデル, 土木計画学研究・論文集, No. 12, pp. 519-525, 1995.
- 6) 石黒一彦: 規模の経済を考慮した輸送費用最小化に基づく広域物流拠点配置モデルの開発, 土木計画学研究・論文集, vol. 17, pp. 693-700, 2000.
- 7) 日本トラック協会: トラック運送業の賃金実態, 1996.