

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

The Model of Distribution Center Location and Transportation Route for Express Delivery Service

岡田 龍二*、徳永 幸之**、須田 熙***

By Ryuji OKADA, Yoshiyuki TOKUNAGA and Hiroshi SUDA

1. 背景と目的

宅配便は迅速性、正確性をセールスポイントとして急速に発展してきた。しかし、都市部における交通混雑と地方部における貨物量の少なさによる輸送効率の低さが問題となっている。都市部の問題に対しては小林¹⁾の研究があるが、本研究では地方部における問題を扱う。

宅配システムは迅速性・正確性を確保するため、図1のようにエリアは市郡単位に設定され、センター・ベース間の横持ち輸送は直行便型となっている。地方部においては広範囲で貨物量の少ないエリアが存在するため、集配車の輸送効率の低さや横持ち輸送の積載効率の低さが問題となっている。センターの配置は集配や横持ち輸送コストに与える影響が大きく、また、横持ち輸送に積み替えを許すことにより効率化が図れると考えられる。本研究では、これらを考慮したセンター配置および輸送経路モデルを構築し、その適用可能性を検討する。

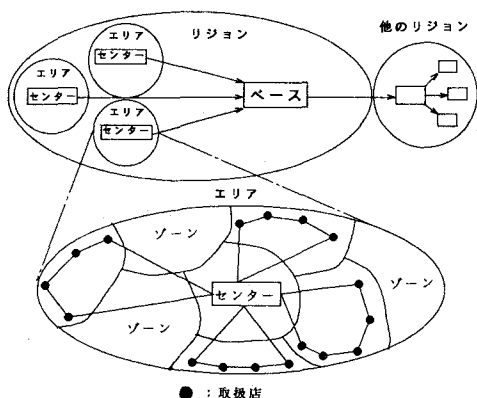


図1 宅配システム

キーワード：物資流動、経路選択

*学生員 東北大学大学院情報科学研究科
**正会員 東北大学講師 大学院情報科学研究科
***正会員 東北大学教授 大学院情報科学研究科
(〒仙台市青葉区荒巻字青葉)

2. 従来研究

従来からターミナル配置、輸送経路に関する研究は多々ある。例えばターミナル配置問題に関してはCAMPBELL⁴⁾の研究があるが、これはエリアを任意に設定可能としており、エリアは市郡単位で固定されているものとして考える本研究とは異なっている。

輸送経路問題に関してはHALLの研究がある。これらのなかでHALLは直行便かターミナル経由かの選択問題²⁾やターミナルの経由方法の選択問題³⁾を扱っているが、これらの研究におけるターミナルは1種類であり、本研究で考えているセンターとベースという階層的なネットワークとは異なっている。

本研究と同様のリジョン内ネットワークに関してはHALL⁵⁾の研究があるが、これは荷物発生量が地域内で均一であり、また個別ルート概念がない。本研究ではより現実的な問題に適用可能な定式化を試みる。

3. 本研究の考え方

本研究では図1に示すようにトラック1台で集配する地区をゾーンと呼び、いくつかのゾーンが集まった市、区、群単位程度の地区をエリアと呼び、そのエリアが集まった都、道、府、県を単位程度の地区をリジョンと呼ぶ。現在A社では宮城県を一つのリジョンとし、そこに1つのベースをおいている。さらにこのリジョンを22のエリアに分割し、それぞれに1つセンターをおいている。各センターはそのエリアの荷物をすべて集配し、それぞれ独立にベースへ直通で輸送する。よってそのリジョンにある荷物はすべてベースへ輸送される事になる。

本研究では図2のフローに示すように2つのモデルを構築する。1つは、エリア内におけるトラックの集配コストの最小化、センター経費、センター間輸送コストによって決まるセンター配置決定モデルである。このモデルは、エリア内の集配経路と、セ

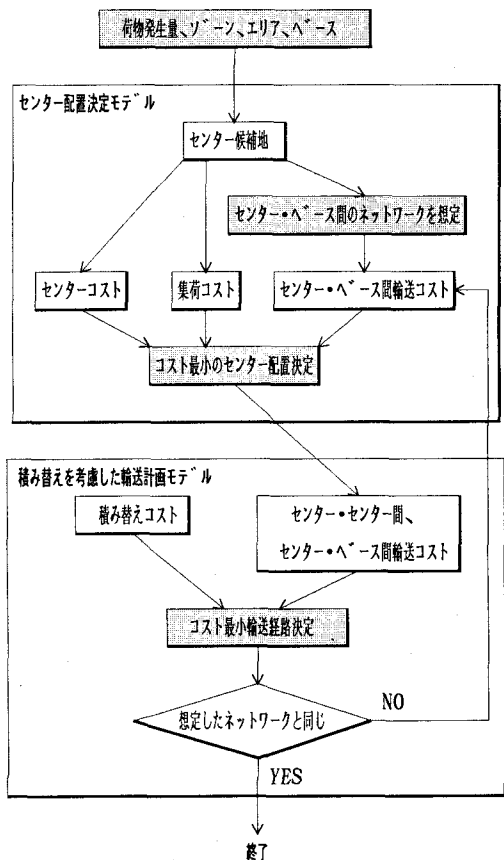


図2 研究のフロー

センター配置を同時に決定する。これによって決定したセンター配置を用いて、次にリジョン全体の輸送経路を決定するモデルが2つめの輸送経路決定モデルである。センターでの積み替えを行えば輸送コストは低減するが、その回数が増加すると、積み替えコストが増加し、さらに迅速性、正確性が失われる。そこでこのモデルはセンターでの積み替えを1回までとする。

宅配貨物の流れには集荷と配送があるが、配送は集荷の逆と考えれば、集荷のみを考えてそれを2倍すればよい。ただし、一般には配送コストの方が高いと考えられるが、今回は詳細なデータが入手できなかったため集荷コストで考えた。

4. センター配置決定モデル

取扱店、ゾーン、エリアを所与としてトラックの

ゾーン内走行経路と、センター配置を決定する。センター候補地はあらかじめ与えておく。

ベース・センター間は、初期ネットワークとしてすべてハブ・アンド・スポーク型で輸送するものとする。センター候補地の経費と輸送コストを最小にする最適なセンター配置を算出するための目的関数を以下に示す。

$$a_s + \sum_k y_{ks} + c_s \rightarrow \min \quad (s = 1 \sim n) \quad (1)$$

ここで a_s : センター s の経費

c_s : センター s の輸送コスト(センター・ベース間)

y_{ks} : センター s のゾーン k 集配コスト

1日当たりの集配コスト y_{ks} は巡回セールスマン問題(TSP)の総当たり法で求める。

5. 積み替えを考慮した輸送計画モデル

(1) 目的関数

ベース・センター間を輸送するトラックは各路線とも10tトラック1台とし、輸送コストを最小にする最適な輸送経路を算出するための目的関数を以下に示す。

$$\sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} + A(n - \sum_j X_{jb}) \rightarrow \min \quad (2)$$

$$C_{ij} = C_0 + C_1 D_{ij} \quad (3)$$

ここで、 i : 各センターの番号

j : 各センターの番号

n : センターの総数

b : ベース

(ここで、 $1 \sim b$ と言えば、

$1, 2 \dots n, b$ とする)

A : 1回当たりの積み替えコスト

N_i : センター i での発生貨物量

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & : i \rightarrow j \text{ に運行する} \\ 0 & : i \rightarrow j \text{ に運行しない} \end{cases}$$

C_{ij} : センター $i - j$ 間の輸送コスト

C_0 : 固定費用

C_1 : 単位距離当たりの輸送費用

D_{ij} : センター $i - j$ 間の距離

(2) 荷物量に関する制約

センターに集まる荷物は2t又は10tトラック1台

で輸送するため、それぞれのセンターに集まる荷物は10t以下でなければならない。よって各センター j に対して以下のような制約条件を与える。

$$\sum_{i=1}^n (N_{ij} X_{ij}) + N_j \leq 10 \quad (j=1 \sim n) \quad (4)$$

(3) トラックの台数とセンターに関する制約

センター間のトラックは必ず1台であり、またすべてのセンターからは必ず荷物が送られなければならない。よって各センター i に対して以下のような制約条件を与える。

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad (i=1 \sim n) \quad (5)$$

(4) ベース到着に関する制約

センターでの積み替えは、最大1回であるから、センターにいったん荷物が送られたら、その次は必ずベースに送られなければならない。よって各センター i 、 j に対して以下のような制約条件を与える。

$$X_{jb} - X_{ij} \geq 0 \quad (i, j=1 \sim n, i \neq j) \quad (6)$$

(5) 時間に関する制約

すべての荷物は決められた時間以内にセンターからベースまで運ばなければならない。仮にすべてのセンターからベースまで荷物が3時間以内に届かなければならないとした時、各センター i 、 j に対して制約条件は以下で与えられる。

$$T_{ij} X_{ij} + T \leq 3 \quad (i, j=1 \sim n, i \neq j) \quad (7)$$

ここで、 T_{ij} : $i \rightarrow j \rightarrow b$ への輸送時間

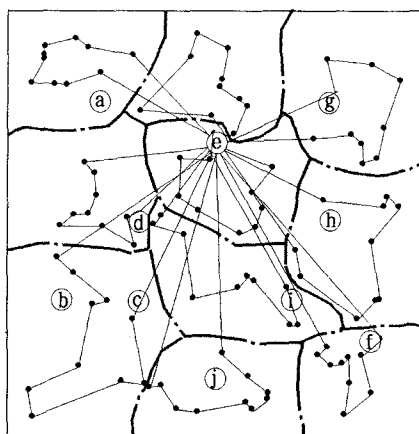
T : 積み替え時間

6. 適用例

本研究で計算を行うのは、実際にある都市ではなく仮定の都市で計算を行う。ここで用いる仮想都市は、一辺が100(km)の正方形として、その中にセンターを10箇所ランダムに配置したものである。その中の20×20(km)のエリアに100個の取扱店をランダムに配置したものがあり、そのエリアを10個のゾーンに分割する。この時1つのゾーンには10個の取扱店が存在する(図3)。

(1) センター配置

始めに、エリア内のセンター配置と、ゾーン内集配経路を決定する。一般に1つのリジョンには平均



○ : センター候補地 ・ : 取扱店

—— : 輸送経路 - - - - : ゾーン境界

図3 最適ゾーン内輸送経路とセンター配置

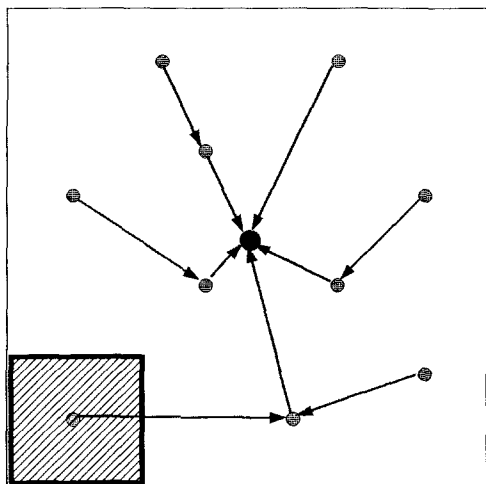
約20個のエリアが存在するが、ここではその中の1つのエリアを代表して個別に考えてみる。まずエリア内で、10個のセンター候補地(a,b,・,j)を挙げる。この10個のセンター候補地1つ1つと10個のゾーンとでTSPの総当たり法を行う。なおセンター経費のうち地代以外の経費は、すべての候補地について同じであるから本研究では地代のみを考える。

エリア内のトラックは2tトラックの輸送コストで、ベース・センター間は10tトラックの輸送コストを用いた。2tトラックと10tトラックの固定コストは運輸局認可運賃料金表により、それぞれ8800円、13000円であり単位距離当たりの輸送コストはそれぞれ140円、200円として計算を行った。また、エリア内と、ベース・センター間の輸送は、1日に3回行うため、輸送コストを3倍にして用いた。

この10個のセンター候補地のエリア全体の集配コスト、ベースセンター間の輸送コスト、各センター候補地の地代を足した結果、センター候補地eのコストが最も安くなった。このことから、この時点ではセンターをeに配置し、図3のようにゾーン内をトラックが走行するのが最も良いということになる。

(2) 輸送経路(リジョン全体)

次に、リジョン全体の輸送経路を決定する。ここで用いる仮想都市は、一辺が100(km)の正方形として、その中にセンターを10箇所ランダムに配置した



○：センター ●：ベース
 —：エリア境界 →：輸送経路
 ■：上で計算したエリア

図4 最適輸送経路

ものである。その中の1つのセンターは、上記のエリアの中でセンターを決定したものである。それぞれのエリアにおける荷物発生量もまたランダムに発生させたものであり、リジョン全体の発生荷物量を45tとし、トラックの平均運行速度を40km/h、積み替え時間を30分とした。しかし今回は積み替えコストは考慮しないものとして考えた。

図4は、上記のモデルを用いて計算を行った最適な輸送方式を表したものである。この輸送方式のコストは142千円となり、当初想定したハブ・アンド・スポーク型の204千円に比べてコストが大幅に低減することが分かる。しかし、先ほど計算したエリア内のセンターからの荷物は途中で積み替えがおこなわれており、センターからの輸送コストを計算する際に、この場合センターベース間ではなく、途中で積み替えを行ったセンターまでの輸送コストを用いなければならない。よって、もう1度センターに関するコストを計算しグラフにしたものが図5である。この結果、上と同じくセンター候補地eに配置したものが最もコストが安くなることが分かった。

7. まとめ

センター配置モデルと、積み替えを考慮した輸送

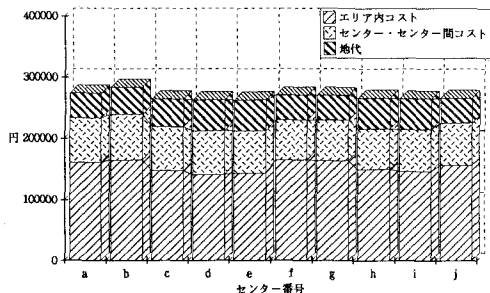


図5 センターに関するコスト

計画モデルを構築し、これを仮想都市に用いた結果、エリア内の最適な輸送経路とセンター配置を求めることが出来た。また、センター・ベース間の輸送において、従来のハブ・アンド・スポーク型よりも低コストの輸送経路を求めることが出来た。

今後の課題としては、エリア数の決定モデルの作成、センター・ベース間輸送においてトラックが複数台の場合にも対応可能なモデルに拡張することなどが挙げられる。さらに実際のデータを用いて検証を行うことも必要である。

参考文献

- 1) 小林伸司：”積合わせ貨物輸送の実態解明とモデル化” 東京大学大学院修士論文，1993
- 2) RANDOLPH W.HALL: "DIRECT VERSUS TERMINAL FREIGHT ROUTING ON A NETWORK WITH CONCAVE COSTS", TRANSPORTATION RESEARCH-B, VOL.21B, NO.4 1987
- 3) RANDOLPH W.HALL: "COMPARISON OF STRATEGIES FOR ROUTING SHIPMENTS THROUGH TRANSPORTATION TERMINALS", TRANSPORTATION RESEARCH-A, VOL.21A, NO.6 1987
- 4) JAMES F.CAMPBELL: "FREIGHT CONSOLIDATION AND ROUTING WITH TRANSPORTATION ECONOMIES OF SCALE", TRANSPORTATION RESEARCH-B, VOL.24B, NO.5 1990
- 5) RANDOLPH W.HALL: "DESIGN FOR LOCAL AREA FREIGHT NETWORK", TRANSPORTATION RESEARCH-B, VOL.27B, NO.2 1993