

都市内物流のための配車配送同時決定モデル

An Optimal Truck Routing Model for Delivery Service in Urban Area

佐藤 徹治*、稲村 肇**

by Tetsuji SATO and Hajime INAMURA

1. 研究の背景と目的

都市内の貨物車交通削減を図るためには、共同配送、拠点集約等の物流効率化の導入によって配送車両の積載率を向上させる必要がある。共同配送については、従来数多くの研究が行われている。塚口ら¹⁾は、都心の商業地区に共同集配システムを導入した場合の交通量削減効果を確認した。また家田ら²⁾は、マクロ集配モデルを福岡天神地区に適用し、共同集配事業が行われていない場合と比較している。

共同配送を検討する際には、適切な配送センター配置計画及び効率的な配車配送計画が不可欠である。川嶋ら³⁾は、ニューラルネットワークを応用した配車・配送問題の解法を提案し、これを実際のケースに適用して、業務担当者の求めた解よりも台数、総旅行時間において、改善された解が得られることを示した。また(株)コーベック⁴⁾は、クラスタリング法、モンテカルロ法等を利用して、最適な配車計画、入出庫・在庫管理等を短時間で行うシステムを開発している。しかし、これらの方法は配車、配送をそれぞれ別々の問題として計画しているために、配車配送計画全体として最適な計画となっているかどうか疑問が残る。

そこで本研究は、ニューラルネットワークを用いて、配送センター配置計画の基礎となる複数台車両による配車・配送同時決定モデルを構築することを目的とする。さらに、第2回仙台都市圏物資流動調査のデータをもとに、共同配送を導入した場合の貨物需要を推定し、本研究のモデルを利用して共同配送計画を試みる。

2. 配車・配送問題

(1) 概要

本論文では、1ヶ所の配送センターからM台の車両を用いて複数の地点に配送を行う問題を取り上げる。このとき、配車・配送問題は「Nヶ所の配送地点に対して、M台の車両を用いる場合、M台の総配送時間の合計を最小にする問題」と定義される。ここで、M台の車両サイズを均一とし、車両数は総貨物重量を元にあらかじめ設定する。また本論文では、M台による配送を、1台の車両がM回配送センターに帰還して連続運行する問題として考えて定式化を行う。1台の車両による総走行時間最小化問題は、TSP(巡回セールスマン問題)と同義であり、HopfieldとTank⁵⁾が提案した相互結合型ニューラルネットワークモデルを応用して解くことができる。しかし、本論文のように多数回配送センターに帰還する場合、1ループのTSPと比較して解の収束が非常に困難であり、相当な工夫が必要である。

(2) 目的関数の定式化

M台の車両による総走行時間が最小になるように、(1)式を目的関数とする。

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N+M} \sum_{m=1}^M t_{im} X_{ij} (X_{m,j+1} + X_{m,j-1}) \rightarrow \min \quad (1)$$

X_{ij} : 配送地*i*を*j*番目に訪問する場合1、
訪問しない場合0とする。

t_{im} : 配送地*i*から配送地*m*までの最小旅行時間

(3) 制約条件の定式化

a) 物理的運行制約

配送計画を立てるにあたり、配送地1を配送センターとして、以下の物理的制約を満たす必要がある。

$$\sum_{j=1}^{N+M} X_{ij} = M \quad (i=1) \quad (2) \quad \sum_{j=1}^{N+M} X_{ij} = 1 \quad (i=2 \sim N) \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N X_{ij} = 1 \quad (j=1 \sim N+M) \quad (4)$$

Key Words: 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 工博 東北大学教授 情報科学研究科

(〒980-77 仙台市青葉区荒巻字青葉

TEL 022-217-7497 FAX 022-217-7494)

(2)、(3)式は、配送センターを M 回、他の配送地をただ 1 回だけ訪問することを示す。また (4) 式は、各配送順序に訪問する配送地はただ 1 ヶ所だけとする制約である。

b) 積載重量均等化制約

本研究では、総配送重量を配送車両の積載可能重量で割って得られた商を元に車両台数を決定する。このとき総配送重量は、全車両の積載可能重量の和を越えない近傍値となる。したがって、各車両の積載重量をなるべく均等に割り当てることによって、積載重量制約を満たす効率的な積載を行うことができる。積載重量均等化制約は (5) 式で表される。

$$\sum_{i=1}^M \left(\sum_{j=1}^N \sum_{k(s)}^{k(s+1)} X_{ij} g_i - A \right)^2 \rightarrow \min \quad (5)$$

ここで、 g_i ：配送地 i の配送重量

A ：各車両の平均配送重量（配送センターを除く総配送重量を車両台数で割ったもの）

$k(s)$ ：車両 s が配送センターを発車する順序

3. ニューラルネットワークの適用

(1) エネルギー関数

ニューラルネットワークのアルゴリズムを適用するために、(1)～(5)式の目的関数及び制約条件にそれぞれパラメーターを掛けて足し合わせたものをエネルギー関数 E として、次のように定める。

$$\begin{aligned} E = & \frac{A}{2} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{k(s)}^{k(s+1)} t_{im} X_{ij} (X_{m,j+1} + X_{m,j-1}) \\ & + \frac{B_1}{2} \left(\sum_{j=1}^{N+M} X_{1j} - M \right)^2 + \frac{B_2}{2} \sum_{i=2}^M \left(\sum_{j=1}^{N+M} X_{ij} - 1 \right)^2 \\ & + \frac{C}{2} \sum_{j=1}^{N+M} \left(\sum_{i=1}^M X_{ij} - 1 \right)^2 \\ & + \frac{D}{2} \sum_{i=1}^M \left(\sum_{j=1}^N \sum_{k(s)}^{k(s+1)} X_{ij} g_i - A \right)^2 \end{aligned} \quad (6)$$

ただし、 $A \sim D$ ：正のパラメーター

(2) ニューロンの順序

TSP のように非線形性の高い問題をニューラルネットワークによって解く場合、ある程度最適解に近い状態から出発すれば、最適解または精度のよい近似解に収束する確率が高くなることが知られている。したがって、ニューロンの順序の初期値が大きく解に影響する。本研究ではこの点を考慮して、次のよ

うにニューロンの順序を決定する。

① 配送地点間の旅行時間マトリックスから逐次最小旅行時間リンクを求め、疑似最小巡回経路を作成する。

② ①の配送順序をニューロンの連続番号に割り当て、それを初期値として 1 ループの TSP 解析を行う。

③ 1 ループ解析で得られた配送順序をニューロンの初期値として 2 ループの解析を行う。

④ 2 ループ解析で得られた配送順序をニューロンの初期値として 4 ループの解析を行う。

この操作を繰り返すことによって、 N ループの解析における収束性の改善や準最適解が得られる確率に向上が期待される。

4. 貨物需要の推定

(1) 現状分析

表-1 は、仙台都市圏の 1 日の内々流動（26.2 千トン、47.1 千件）の品目別構成を示している。重量ベースでは、砂利・砂、生コン等の原材料の割合が多く、件数ベースでは食料品の割合が際立って多くなっている。このうち原材料については、需要の不確定な工事現場等への輸送が多く、共同配送には適さないと考えられる。表-2 は、流動件数の多い品目の品目別トリップ数及び平均積載率を示している。これらの品目の平均積載率は極めて低く、共同配送導入によって積載率の向上と大幅な貨物車交通削減が可能と思われる。

本研究では、配送件数の約 15% を占める食料品を対象に、運送業及び卸売業の拠点集約を仮定し、集約地点から小売業への共同配送を考える。

(2) 貨物需要の推定

食料品の運送業、卸売業から小売業への流動の内、1 日の配送需要が 1 トンを超えるゾーンは巡回走行よりも往復走行を選択すると考えて、共同配送の対象から除外する。図-1 は、共同配送の対象となる配送需要 1 トン未満の配送需要分布（計 58 ゾーン）を示している。これらの対象地域の合計配送需要は 18.6 トンとなるが、需要のピーク時間（朝、昼、夕方）を考慮して、1 日 3 回の均等な配送を行うものと仮定すると、共同配送 1 回当たりの総配送需要は、6.2 トンと推定される。

表-1 品目別流動率(%)

重量(計26.2千トン)		件数(計47.1千件)	
砂利・砂	18.1	食料品	15.1
生コン	18.1	出版印刷	2.7
食料品	9.5	畜産品	2.0
鉄鋼	5.4	化学工業	1.9

表-2 品目別トリップ数及び平均積載率(%)

品目	食料品	出版印刷	畜産品	化学工業
総 Trip 数	7102	1264	920	911
積載率 20% 以下 Trip 数	6075	1102	828	814
平均積載率	12.2	9.3	8.0	8.9

表-3 ゾーン間仮定走行速度

都心～都心	都心～郊外	郊外～郊外
10km/h	20km/h	30km/h

5. 共同配送計画

(1) 概要

図-1の*印のゾーンには、現実に食料品が発生している運送業や卸売業が最も多く分布していることから、ここを拠点集約後の配送センターと仮定する。また共同配送には、一般的に都市内配送に使用される2トン車両を用いるものとする。一般に、Tトン車両に積載できる最大重量Gは、貨物の容積の制約からTトンより小さくなり、次式で表される。

$$G = \alpha T \quad (7)$$

ここで α は品目毎に異なる定数で、アンケート等によって求められる。いま食料品の α を0.5と仮定すると、2トン車両の場合 $G=1.0$ (トン)となる。したがって本研究の共同配送計画では、6.2トンの配送需要に対して若干の余裕をみて8台の車両を用いるものとする。このとき、8台の配送車の走行時間の合計が最小となるような車両の割り当て及び配送ルートを求める。各ゾーン間の旅行時間は、各ゾーンの中心点間距離を表-3のような仮定走行速度で割ったものに係数 $\beta=1.6$ を掛けて求めた。ここで、仙台駅周辺の12ゾーンを都心部、その他のゾーンを郊外部と定義して計算した。

(6)式のパラメーターA～Dの値は、試行錯誤の末バランスのよい組み合わせを求めた。解析は、 X_{ij} の初期値を0～1の間で変えて100回行い、それぞれ

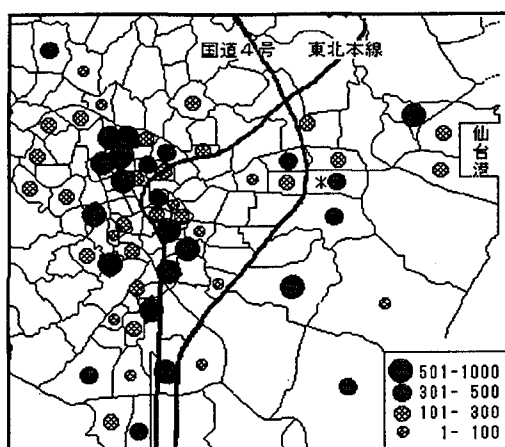


図-1 食料品のゾーン別配送需要(kg)

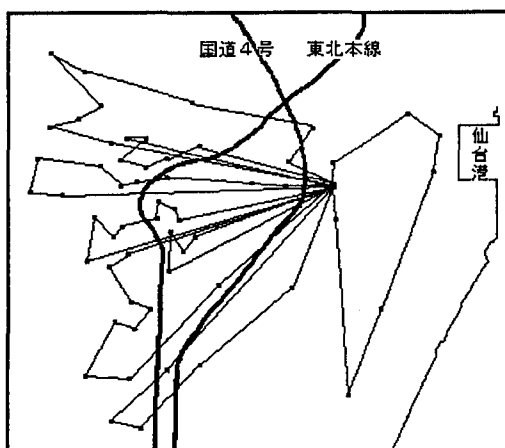


図-2 解析結果の配送ルート

総走行時間：495分

状態変化が100回以内に満足解(制約条件をすべて満たし、全ニューロンの出力値が0.2以下または0.9以上になったもの)に達したものを収束解とした。

(2) 解析結果

図-2に本論文のモデルによる解析で得られた解のうち、総走行時間が最小になったルートを示す。この結果を見ると、8台の配送車がそれぞれある程度効率的な巡回運行を行っている。表-4は、8台の配送車両それぞれの走行時間、配送時間(1カ所当たり5分の荷裁き時間を含む)、配送重量、配送箇所数を示している。各車両の配送重量を見ると、各車両とも積載重量制約を満たした効率的な積載を行っている。また、各車両の配送時間はすべて120分以内となったが、走行時間と比較すると大きなばらつきが見られる。

表-4 車両別走行結果

車両	走行時間 (分)	配送時間 (分)	配送重量 (kg)	配送件数 (件)
1	75	120	909	9
2	48	78	833	6
3	74	119	814	9
4	56	96	581	8
5	39	59	767	4
6	72	117	780	9
7	65	90	826	5
8	63	98	709	7
計	495	780	6219	57

6. 問題点及び考察

解析結果のうち、各車両の配送時間のばらつきは配送件数の不均等性に依存していると考えられる。したがって、配送件数ある程度均等化する制約をモデルに取り入れることによって、配送時間のばらつきは修正できると思われる。しかし、配送件数の均等化は配送重量の不均等化を招く可能性もあり、バランスが重要である。

本研究では、相互結合型ニューラルネットワークを用いて 100 回の解析を行ったが、図-3 に示すように収束解は 495 分から 506 分の間にまとまり、十分実用的であると言える。しかし、図-2 のルートには明らかに非効率な部分が見られ、修正によって走行時間短縮が可能である。本研究では、疑似最小巡回経路から 1 ループ解析、2 ループ解析と徐々にニューロンの初期値を更新することにより、あらかじめ配送ゾーンを最適ルートに近いと思われる順序に並べ変えて解析を行った。しかし、この方法が逆に新たな局所解を生み出し、多くがこの局所解に陥ったものと思われる。これを解決する方法として、出力結果を一定の法則に従って修正する方法や、GA のような大局的探索を得意とする手法をニューラルネットワークモデルの中に取り入れる方法等が考えられる。

また本研究の共同配送計画では、配送需要 1 トン以上のゾーンは往復走行を選択すると考えて、共同配送の対象から除外した。このため、推定された共同配送の需要はわずか 18.6 トンとなった。しかし実際には、配送需要 1 トン以上のゾーンにも小口の貨物が複数回配送されていることが予想される。した

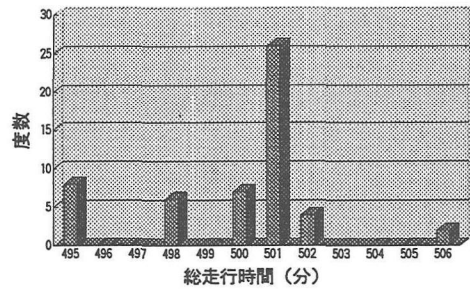


図-3 収束解の度数分布

がって、現状のすべての小口貨物を対象として、共同配送計画を立て直す必要がある。この場合、配送需要や配送地点数は大幅に増加し、共同配送によるトリップ削減効果は非常に大きなものとなると思われる。さらには、配送センター配置計画や他の品目の共同配送計画を組み合わせることによって、一層の貨物車交通削減が期待できる。

7. まとめ

本研究の成果をまとめると以下の通り。

- ①積載制約を考慮に入れた配車・配送同時決定モデルを構築した。
- ②共同配送の導入によって、積載率の向上及び大幅なトリップ削減の可能性を示した。
- ③構築したモデルを仙台都市圏に適用し、食料品の共同配送計画を検討した。

【参考文献】

- 1) 塚口, 毛利, 松井: “都心商業地区における物資共同輸送システムの導入に関する一考察”, 土木学会論文集 第 401 号/IV-10, pp.23-31, 1989
- 2) 家田, 佐野, 常山: “マクロ集配輸送計画モデルの構築と地区共同集配配送評価への適用”, 土木計画学研究 No.10, pp.247-254, 1992
- 3) 川嶋, 国府方, 斎藤, 佐野: “ロジスティクス高度化のための配車・配送計画”, 交通工学 Vol.28 No.5, pp.21-28, 1993
- 4) 株式会社コーベック: “ぶつりゅうくん (物流支援システム) 資料”, 1993
- 5) J.J.Hopfield and D.W.Tank: “Neural computation of decisions in optimization problems”, Biol. Cybern. 52, pp.141-152, 1985
- 6) 藤井 健: “ロジスティクス 新しい道路交通政策への展開”, 道路交通経済 '91-7, pp.17-36, 1991
- 7) 計画・交通研究会: “共同輸配送事業の推進に関する調査報告書 1-3”, 1991-1993
- 8) 仙台都市圏総合都市交通計画協議会: “仙台都市圏物流流動調査報告書 1-11”, 1986-1990