

ニューラルネットワークによる貨物配送計画

東北大学大学院情報科学研究科 学生員 佐藤 徹治
東北大学大学院情報科学研究科 正員 稲村 肇

1. はじめに

交通混雑、交通公害等の社会問題に対処するためには、共同配送、拠点集約に代表される都市内物流効率化を積極的に進めていく必要がある。このうち共同配送については、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、共同集配事業のない場合と比較している。

しかし現実の配車配送計画は、基本的には人手に頼っており、通常2～3時間を要している。今後、物流の多頻度・小口化に進展に伴って、最適な配車及び効率的な配送ルートを短時間で決定するようなシステムを開発する必要がある。

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、デジタルマップ等を利用して、最適な配車計画、入出庫・在庫管理等を短時間で行うことができるシステムを開発している。しかし、これらの方法はいずれも配車、配送をそれぞれ別個の問題として計画しているために、必ずしも最適解を得ることは保証されないように思われる。そこで本研究は、配車・配送同時決定モデルを構築し、仙台都市圏の共同配送に適用してその導入可能性を検討することを目的とする。本論文では、重量制約を考慮した2台の車両による配車・配送モデルを提案し、適用例を示す。

2. 配車・配送問題

2.1 概要

本論文では、1ヶ所の配送センターから2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、配車・配送問題を「Nヶ所の配送地点に対して、2台の車両を用いる場合、2台の総配送時間の合計を最小にする問題」と定義する。ここで、2台の車両サイズ(最大積載重量)は均一とし、配送地点の総貨物重量を元にあらかじめ設定する。また本論文では、2台による配送を、1台の車両が2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。川嶋らのような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。本論文のように2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、工夫が必要である。

図1は、配車配送計画のニューロンマトリックスで、縦軸が配送地点を、横軸が配送順序を示している。例えば、配送地点1は1番目に訪問し、配送地点iは2番目に訪問することを示している。

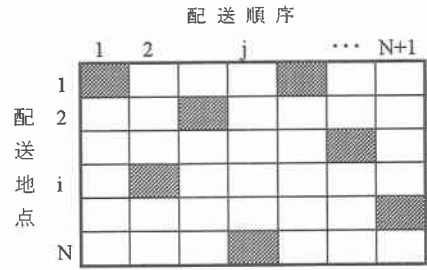
2.2 目的関数の定式化

2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。

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

ここで、 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。

d_{im} ： 配送地 i から配送地 m までの最小
旅行時間



一図 1 - 配車配送計画のマトリックス

2.3 制約条件の定式化

1) 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。

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

(2) 式は、配送センターを 2 回、他の配送地をただ 1 回だけ訪問することを示す。また (3) 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。

2) 配送箇所均等化制約

各車両に配送箇所をなるべく均等に割り当てる制約を加えることによって、極端に一台に片寄った配車を防止することができる。(4) 式は、均等な配車に近づくほど X_{ij} の項の重みが小さくなることを示す。

$$\sum_{j=1}^{N+1} \sum_{n=1}^k (k-n) X_{ij} (X_{i,j+n} + X_{i,j-n}) \rightarrow \min \quad (4)$$

ここで、 $k = \begin{cases} (N+1)/2 & N=2m+1 \\ (N+2)/2 & N=2m \end{cases}$ (m ： 任意の正の整数)

3) 積載重量均等化制約

配送車両のサイズは総配送重量を元に決定するため、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、配送車両の重量制約を満たすことができる。いま $X_{11} = X_{1s} = 1$ (1 番目と s 番目に配送センターを訪れる) と仮定した場合、積載重量均等化制約は、次のように定式化される。

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

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)

3. ニューラルネットワークによる解法

3.1 概要

ニューラルネットワークは、脳の神経細胞 (ニューロン) の状態変化を模したアルゴリズムで、2 次計画問題に利用される。ニューラルネットワークのアルゴリズムを配車配送問題に適用するために、(1) ~ (5) 式を用いて目的関数 E を次のように定める。

$$E = \frac{A_1}{2} \left(\sum_{j=1}^{N+1} X_{1j} - 2 \right)^2 + \frac{A_2}{2} \sum_{i=2}^N \left(\sum_{j=1}^{N+1} X_{ij} - 1 \right)^2 + \frac{B}{2} \sum_{j=1}^{N+1} \left(\sum_{i=1}^N X_{ij} - 1 \right)^2 + \frac{C_1}{2} \sum_{j=1}^{N+1} \sum_{n=1}^k (k-n) X_{ij} (X_{i,j+n} + X_{i,j-n}) + \frac{C_2}{2} \left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=2}^{s+1} X_{ij} g_i - A \right)^2 + \frac{D}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N+1} \sum_{m=1}^N d_{im} X_{ij} (X_{m,j+1} + X_{m,j-1}) \quad (6)$$

ただし、 $A_1 \sim D$ ： 正のパラメーター

3.2 ニューロンの順序

TSP 問題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り解く場合、ある程度最適解に近い状態から出発すれば、最適解もしくは精度のよい近似解に収束する確率が高くなることがよく知られている。したがって、ニューロンの順序の初期値(図1の*i*に相当する)が大きく解に影響する。本論文では、まず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、擬似最小巡回経路を作成する。これ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台の車両によるTSPの解析を行う。次にTSPの解析で得られた解(配送順序)を初期値として、本論文が目的とする2ループの解析を行う。これにより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。

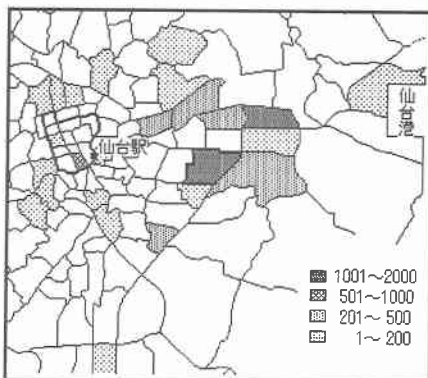
4. 適用例

4.1 概要

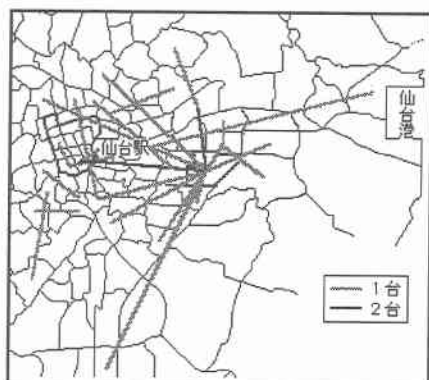
第2回仙台都市圏物資流動調査(1987)のデータのうち発業種を倉庫業及び卸売業、着業種を小売業に限定し、1つの品目(文具・玩具等)を取り上げ、2台の配送車両を用いて共同配送を行う場合について、本論文のモデルを適用する。ただし、共同配送の趣旨から内々流動(域内発、域内着)のデータのみを用いる。図2に文具・玩具等の対象25ゾーンのゾーン別配送重量を示す。いま、図2のほぼ中央の太線で囲まれたゾーンを配送センターと仮定し、総配送重量から配送センター分を除いた3.6トンを2台の2トントラックで配送する場合を考える。このとき、2台の配送車の走行時間の合計が最小となるような車両の割り当て及び配送ルートを求める。各ゾーン間の旅行時間は、各ゾーンの中心点間距離を表1の仮定平均速度で除することによって求めた。ここで、図2の左側の太線部内の12のゾーンを都心部、その他のゾーンを郊外部として計算した。

一表1一ゾーン間仮定走行速度

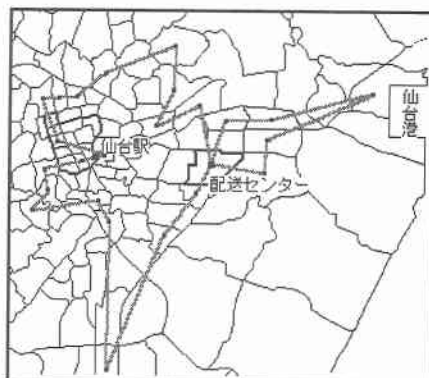
都心部 ⇄ 都心部	10km/hr
都心部 ⇄ 郊外部	20km/hr
郊外部 ⇄ 郊外部	30km/hr



一図2一文具・玩具等のゾーン別配送重量(kg)
(総配送重量4.86トン, N=25)



一図3一現実の文具・玩具等の配送
総走行時間：431分



一図4一解析結果の配送ルート
総走行時間：93分

(6)式のパラメーター $A_1 \sim D$ 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400回行い、状態変化が1,000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みなした。

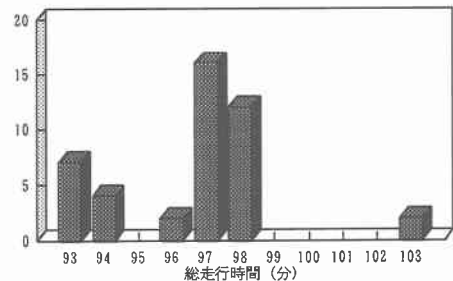
4.2 解析結果

図3に現実の配送、図4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。ここで、現実の配送の総走行時間は、車両の運行をすべて往復運行と仮定して、表1から計算した。図3から、現実の配送には往復走行が多くみられ非常に非効率である。これに対して図4の解析結果では、2台の配送車が効率的な巡回運行を行っており、総走行時間も431分から93分に大幅に短縮された。なお、図4で2つのループが不均衡になっているのは、重量制約によるものである。

5. 問題点と考察

解析の結果、2台の配送車両の積載重量はそれぞれ1.97トンと1.63トンとなり、2トン車の積載制約を満たしている。しかし、文具・玩具など密度の小さな品目に関しては、重量制約よりもむしろ容積制約の影響が強いと考えられる。したがって、大きさや重量との関係を明確にする必要がある。

本論文では、1つの品目について、都市圏全体の貨物を1箇所の配送センターから2台の配送車両を用いて配送すると仮定し、これを共同配送と考えた。この結果、総走行時間の減少(362%)、車両台数の減少(15台→2台)となり、共同配送の効果は非常に大きなものとなった。もちろん、時刻指定等の問題から現状のすべての配送貨物を共同配送に置き換えるのは現実的ではないが、品目別に共同配送の可能性を検討する上で、本論文の手法は非常に有効であると思われる。本論文では、ニューラルネットワークを用いて400回の解析を行ったが、図5に示すように収束解はほぼ93分から100分間にまとまり、十分実用的であると言える。しかし、収束率は約10%にとどまった。これは重量制約が大きく影響しているためと思われる。



—図5—収束解の度数分布

6. おわりに

本論文の結果をまとめると以下ようになる。

- 1) 積載重量の均等化を考慮に入れた、2台の配送車両による配車・配送同時決定モデルを構築した。
- 2) 仙台都市圏の文具・玩具等について、2台の配送車両による配車配送計画を作成し、現実と比較して総走行時間を大幅に削減することができた。

【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その「地区型共同集配」評価への適用”, 土木計画学論文集 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) 秋山, 山下, 梶浦, 安西, 相磯: “ガウシアンマシンによる組み合わせ最適化”, 電子情報通信学会技術報告, MBE88-183, pp.163-168, 1988
- 7) 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