

都市内小口貨物流動の合理化に関する研究

A Physical Distribution Optimization Model and Its Application
for Freight Transport Complexes in A Metropolis

佐藤 徹治*、稲村 肇**
by Tetsuji SATO and Hajime INAMURA

1. はじめに

1993 年、物流の拠点集約の支援を目的として、「流通業務市街地の整備に関する法律」（流市法）が一部改正された。この改正によって、整備の対象が大都市・地方都市を問わず自動車交通の渋滞等を来している都市に拡大され、流通業務地区内の立地規制の緩和も行われた。流市法の改正に伴い、仙台都市圏でも仙台港周辺などいくつかの候補地が既に検討されている。

新たな流通業務団地を計画する際には、産業・施設の誘致が課題であり、これを検討するためには物流の現状把握が不可欠である。運送業、倉庫業、卸売業等の流通業務団地に立地が期待される各企業は、総配送コスト、用地、地価、労働力、通勤など様々な条件について現状との比較を行い移転を決定する。このうち総配送コスト（総配送時間）は、新流通業務団地のように他の条件がある程度確保される場合には各企業の移転を決定する要素となる。したがって流通業務団地候補地の評価は、それぞれの候補地からの集配送費用の比較によってなされるべきである。

都市内物流の効率化に関する研究は多い。塚口ら¹⁾は、大阪都心部において共同集配システム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構築して福岡天神地区に適用し、共同配送の効果を評価している。一方、拠点集約に関する研究は少ない。高橋ら³⁾は、共同集配を伴う拠点集約の対象品目を明示し、集約効果を明らかにした。しかし、これらの方法はいずれも比較的狭い配送地区を対象とし、配送ルー

トを固定しており、本研究の対象とする新拠点からの共同配送のように配送需要や配送ルートが不確定な場合は想定していない。

一方、配車配送システムに関しては、企業の物流を対象とした手法が数多く開発され、既に実用化している。川嶋ら⁴⁾は、ニューラルネットワークを応用して、積載数量の均等化、配送希望時間帯などを考慮した配車・配送問題の解法を提案した。また（株）コーベック⁵⁾は、モンテカルロシミュレーション等を利用して、最適な配車計画、出入庫・在庫管理等をできるシステムを開発している。さらに進んだメタ解法を用いた配車配送システム⁶⁾も開発されつつある。しかし、これらは主に単一企業の物流を対象とし、複数拠点の検討など、都市内の物流計画には適用されていない。

そこで本研究は、仙台都市圏の物流の現状を把握し、合理化可能な品目を抽出した上で、都市内物流の合理化を評価できる配車配送モデルを開発し、これを用いて流通業務団地候補地の最適配置の決定方法および団地に入居した企業がすべて共同配送に参加すると仮定した場合の仙台都市圏における最適配置計画を提案することを目的とする。本研究では、仙台市の都市交通問題の解決という観点から、仙台都市圏の流通業務団地候補地のうち最も総走行時間が短くなるような候補地の組み合わせを求める。この際、ニューラルネットワークによる積載重量制約を考慮した配車配送同時決定モデルを開発し、走行時間の算出手法としてこれを用いる。

2. 都市内物流の現状と効率化の可能性

(1) 品目分析

表－1 は、仙台都市圏の1日の地域内流動（24.7千トン、25.5千件）の品目別構成（上位5品目）を

Key Words : 物資流動、経路選択

*正会員 修(情報科学) (財)計量計画研究所
(〒112 東京都新宿区千ヶ谷本村町2-9)

TEL 03-3268-9911 FAX 03-3268-9919)

**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)

表－１ 品目別流動率（％）

重量（計 24.7千トン）		件数（計 25.5千件）	
砂利・砂	19.2	食料品	28.8
生コン	19.1	出版・印刷	5.5
食料品	10.1	畜産品	2.0
鉄鋼	5.7	化学工業品	3.8
ガラス	3.4	畜産品	3.7

表－２ 効率化が可能と思われる品目

品目	総重量 (t)	件数 (件)	限界積載 率（％）	平均積載 率（％）
食料品	2495	7361	97.8	23.5
出版・印刷	146	1413	91.0	14.3
化学工業品	207	966	92.3	17.1
衣類・履物	128	932	95.2	15.4
文具・玩具	46	405	83.3	12.4
家具・装飾	110	339	91.4	22.9
繊維工業品	59	299	83.3	17.6
皮革製品	2	50	93.8	12.9

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なっている。件数ベースでは食料品の割合が際立って多い。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、共同配送等の効率化には適さない。共同配送に適する品目の条件としては、流動件数が多いこと、平均積載率が限界積載率に比べて低いことが考えられる。表－２は、流動件数が比較的多く効率化の可能性が高いと思われる８品目の品目別総フレート重量・件数、限界積載率及び平均積載率を示している。ここで、限界積載率及び平均積載率は車両ベースで計算し、出発時の積載率（出発時積載重量／配送車両の表示最大積載重量）を用いた。一般に、配送車両の実績最大積載重量は容積の制約から表示最大積載重量よりも小さくなる。したがって限界積載率は、配送車両に満載して容量限界に達したときの積載率（実績最大積載重量／表示最大積載重量）を表す。本研究では、実際のデータから各品目の巡回運行した車両のうち最も積載率の高い車両の積載率（ただし、100％未満）を限界積載率とみなした。平均積載率は、限界積載率と比較すると各品目とも1/4～1/7程度であり、極めて非効率な積載が多いことが分かる。したがって、共同配送等の導入によって総配送時間短縮や貨物車交通削減が可能と考えられる。また８品目のうち、衣類・履物、繊維工業品、皮革

表－３ 施設間ＯＤ（上位３品目、件数）

	事務所	工場	小売店	卸売店	倉庫	その他
事務所	食 106 出 197		食 423			食 166 出 109
工場	出 114	出 120	食 1262			食 279
小売店			食 103			
卸売店	化 71		食 962 化 94	食 231		食 155 化 155
倉庫	出 149	食 104	食 1212		食 240 化 70	食 571
その他	出 284		食 455	食 169	食 151	食 901

食：食料品、出：出版・印刷、化：化学工業品

表－４ 地域間ＯＤ（件数）
（卸売店・倉庫 → 卸売店・倉庫）

	都心	周辺	東部	郊外	域外
周辺	食 11 化 11	食 16 化 11	化 7	食 18 化 5	
東部	食 17	食 59	食 124 化 28	食 94 化 16	食 58 化 11
郊外	食 10	食 30 化 9	食 21	食 158 化 8	食 24 化 9

周辺：都心周辺、東部：東部流通地区

製品は、品目特性の類似性から組み合わせて共同配送できる可能性がある。

(2) 経路分析

表－３は、共同配送の可能性のある上位３品目の主な施設間ＯＤ（件数、食料品は総トリップ数の１％以上、出版・印刷、化学工業品は３％以上）を表している。総トリップ数は３品目合計で８品目の８割以上であり、これらの経路を分析することにより全体の傾向を把握できる。食料品と化学工業品では各施設から小売店への流動が特に多く、卸売店や倉庫間でのトリップも比較的多くなっている。出版・印刷では、各施設から事務所への流動が特に多く見られる。したがって、食料品と化学工業品は移転が比較的容易な卸売店、倉庫の拠点集約及び集約拠点からの共同配送、出版・印刷は工場、倉庫から事務所への共同配送が効果的と思われる。

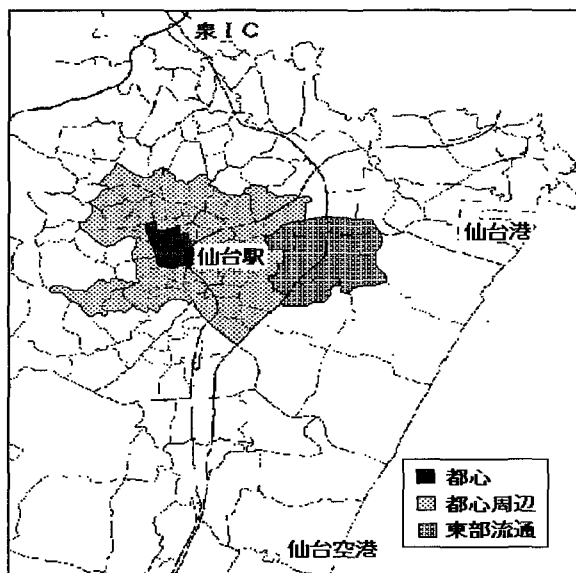
表－４は、食料品、化学工業品の卸売店・倉庫発、卸売店・倉庫着の主な地域間ＯＤを表している。両品目とも東部流通地区にかなりの集約化が進んでいる。しかし、都心や都心周辺へのトリップも多く拠点集約によって削減可能と思われる。

同様に表－５は、食料品、化学工業品の卸売店・

表－5 地域間OD（件数）
 （食料品、化学工業品：卸売店・倉庫 → 小売店）
 （出版・印刷：工場・倉庫 → 事務所）

	都心	周辺	東部	郊外	域外
周辺	食 25 出 14 化 4	食 48 出 9 化 11		食 71 出 18 化 18	食 52
東部	食 117 出 22 化 12	食 400 出 37 化 17	食 57 出 16 化 14	食 700 出 53 化 14	食 97 出 71 化 19
郊外	食 19 出 14 化 5	食 58 出 14 化 5		食 424 出 5 化 5	食 96

周辺：都心周辺、東部：東部流通地区

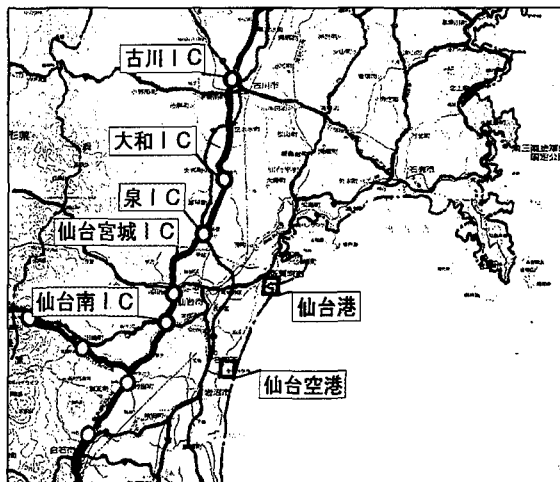


図－1 エリア区分図

倉庫発、小売店着、及び出版・印刷の工場・倉庫発、事務所着の主な地域間ODを表している。食料品、化学工業品は、東部流通地区から都心、都心周辺、郊外への流動が多いが、都心周辺発のトリップもかなりみられ、これらを対象とした共同配送が効果的と思われる。一方、出版・印刷は、東部流通地区からの流動が多く、新たな拠点集約の必要性が小さい。

図－1 にエリア区分図を示す。拠点集約及び新拠点からの共同配送を検討する場合、既に拠点集約が進んでいる東部流通地区発のトリップは対象外となる。また、ロットの大きな貨物も積載率向上の可能性が少ないため共同配送の対象外とする。

(3) 流通業務市街地の候補地



図－2 流通業務市街地の候補地

流通業務市街地は広大な敷地面積や域外交通とのアクセス利便性が必要なため候補地は少ない。宮城県流通問題懇談会（1994）によると、宮城県内には新たな流通業務市街地の候補地として、図－2 に示す7ヶ所（内、仙台都市圏では古川IC周辺を除く6ヶ所）が挙げられている。このうち仙台市への近接性から「仙台港周辺」、「仙台空港周辺」、「泉IC周辺」の3ヶ所が最有力候補地となっている。

3. 配車配送問題

(1) 概要

配車配送問題は、総コストを最小にするような配送車両の割り当て及び配送ルート決定を行うものであり、企業にとっては物流経費削減の鍵となっている。一般に、総コストは総配送時間にほぼ比例するため、配車配送問題は総配送時間を最小にする問題と同義である。従来、配車配送問題は基本的に経験によってなされてきたが、リードタイムの減少に伴いそれが困難となってきた。このため近年、前述のような配車配送システムが数多く提案されている。

新拠点計画、共同配送計画といった都市全体の物流計画においても、配車配送計画は非常に重要である。例えば、新たな物流拠点計画では、社会的な効率化を図るため、多くの企業の参加が不可欠である。一方、企業サイドでは現状と比較して総コストが安くなる場合のみ参加を決定するため、社会的効率化

を実現するのに必要な企業参加が確保できない可能性がある。参加企業が決定しないと個々の企業はコストの増減額を推計できないため、行政サイドが共同配送を前提とした配車配送計画によって各企業の新拠点参加によるコスト削減（削減されない場合には補助金による助成を含む）を示し、参加を促す必要がある。さらに、道路交通の混雑緩和を評価する場合にも、配車配送計画による総配送時間、車両台数が基礎となる。

(2) 本研究における考え方

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。本研究では、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 Tank⁷⁾ 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、本研究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とされている。

4. 配車配送問題の定式化

(1) 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、従来のTSP（1台）の目的関数⁷⁾を拡張した(1)式を目的関数とする。

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

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

(2) 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。

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

		配送順序 j					
		1	2	3	4	5	6
配 送 地 点 i	1						
	2						
	3						
	4						
	5						

図-3 ニューロンマトリックスの例

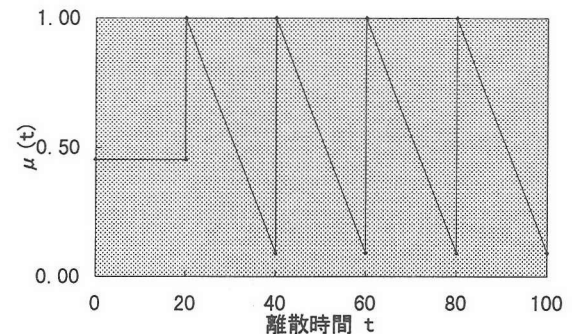


図-4 シャープニングの例

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

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

図-3に配送地点5ヶ所、2台による配送のニューロンマトリックスを示す。ここでは縦軸に配送地点 i 、横軸に配送順序 j をとり、1番目と4番目に配送センター ($i=1$) を訪れることを示している。

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最初に車両台数M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。

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

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

$k(s)$: 車両 s が配送センターを発車する順序

(5)式では、それぞれの車両 s の積載重量 $\sum \sum X_{ij}g_i$ を平均積載重量 A に近づけることを示している。

(3) ニューラルネットワークの適用

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、従来のニューラルネットワークモデルと同様に(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。

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

ただし、 $A \sim D$: 正のパラメータ

(7)、(8)式に従い、秋山ら⁸⁾の提案したシャープニングを行う。本研究では、状態変化中に満足度の悪い状態が続いた場合、感度パラメータの値を上昇させることにより曖昧な探索を再度促進させ、局所解からの脱出を図ることとした⁹⁾¹⁰⁾。図-4にシャープニングの例 ($\mu_0 = 1.0$ 、 $\tau_\mu = 2.0$) を示す。

$$x_{ij}(t) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \tanh \left(\frac{u_{ij}(t)}{\mu(t)} \right) \right\} \quad (7)$$

$$\mu(t) = \frac{\mu_0}{1 + t/\tau_\mu} \quad (8)$$

u_{ij} : ニューロンの内部状態

$\mu(t)$: 感度パラメータ

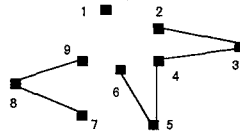
μ_0 : 感度パラメータの初期値

τ_μ : 時定数

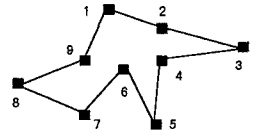
(4) ニューロンの順序

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、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。そこで本研究では出発点を最適解に近い状態にするための工夫として、ニューロンの順序の初期値が解に影響

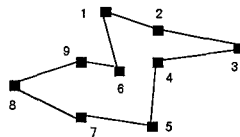
① 優先リンク



② 疑似最小ループ



③ 1 ループ解析



④ 2 ループ解析

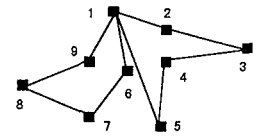


図-5 ニューロンの順序決定法

する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それぞれの配送地点からの2最短リンクの合計旅行時間があるしきい値を超えるものを逐次優先的に結び、優先リンクを作成する。
- ②任意の配送地点からスタートして、優先リンク上の場合には優先リンクに沿って、それ以外の場合には、可能最短リンクを結び、疑似最小ループを作成する。この際、局所ループにならないようにする。
- ③②の配送順序をニューロンの連続番号に割り当て、それを初期順序として1ループのTSP解析を行う。
- ④1ループ解析で得られた配送順序をニューロンの初期順序として2ループ解析を行う。
- ⑤2ループ解析の結果を初期順序として4ループ解析を行う。

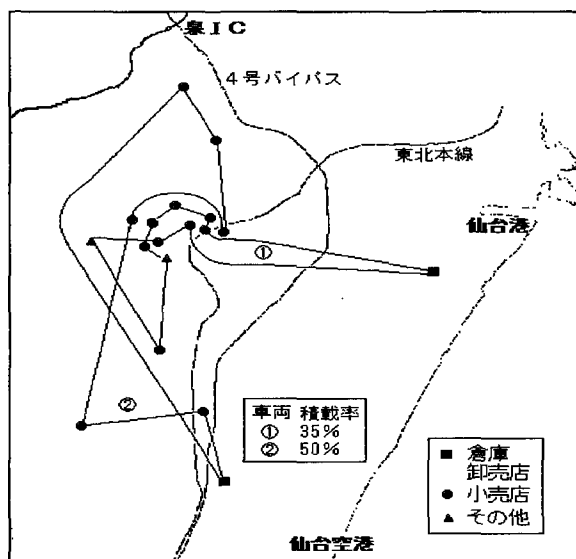
以後、同様な操作を繰り返すことによって、 n ループの解析における収束性の改善や準最適解が得られる確率に向上が期待される。(図-5参照)

しかし実験の結果、(6)式のモデルは車両台数 M が増加につれて解の収束が困難となるため、本研究では、2ループ解析 ($M=2$ の場合) を各ループに対して繰り返すことによって n ループの解析を行った。

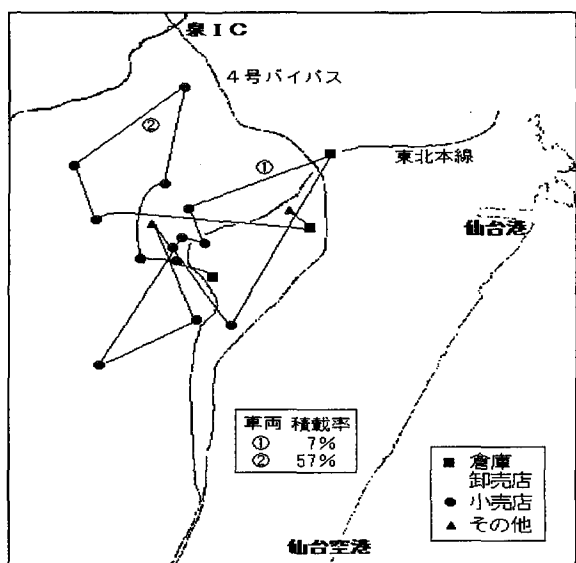
5. 新拠点計画

(1) 概要

本研究では、都心部の混雑緩和の観点から、仙台都市圏(20市町村)のうち仙台市、名取市、多賀城市の3市を新拠点からの共同配送の対象地域として、新拠点計画を行う。



図－6 食料品の現実の配送例



図－7 化学工業品の現実の配送例

また3ヶ所の流通業務市街地の有力候補地、「仙台港周辺」、「仙台空港周辺」、「泉IC周辺」のうち、1ヶ所を整備する場合と2ヶ所を整備する場合を想定する。それぞれ、拠点集約の可能性がある上位2品目（食料品、化学工業品）の倉庫・卸売店の新拠点候補地への拠点集約と集約地点から小売店への共同配送を考える。各ゾーンの共同配送需要の推定を行い、配車配送モデルによってそれぞれの場合の総走行時間を求め、最適候補地（1ヶ所または2ヶ所）の提案を行う。さらに現実の配送との比較に

表－6 現実の推定走行距離・時間

品目	総走行距離 (km)	総走行時間 (min)	総配送重量 (ton)
食料品	2,067	4,488	53.4
化学工業品	283	621	4.8

表－7 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

より、総走行時間の削減効果を分析する。

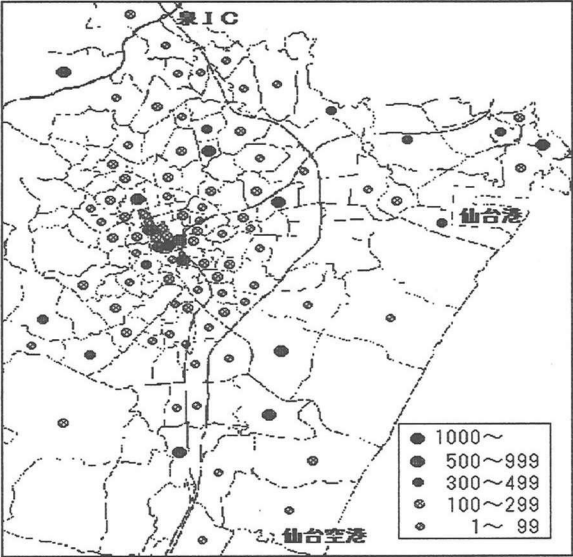
(2) 現実の配送ルート

図－6、図－7は、仙台都市圏物資流動調査のデータを用いて、食料品、化学工業品の倉庫・卸売店から小売店に向かう配送車両の運行ルートを追跡した例を示している。これらは、車両別、企業別には十分効率的な配送ルートと言えるが、地域全体としてはかなり非効率であることが分かる。さらにこれらの車両の多くは積載率が極めて低い。したがって、新拠点への集約及び新拠点からの共同配送は非常に効果的であると思われる。また中には、住居施設や車庫などの施設に立ち寄る車両や他品目との混載車両、途中の配送地点で新たに積み込みを行う車両が見られた。現実の運行車両台数（東部流通地区発及びロット1トン以上の車両を除く）は、食料品で81台、化学工業品で6台であった。

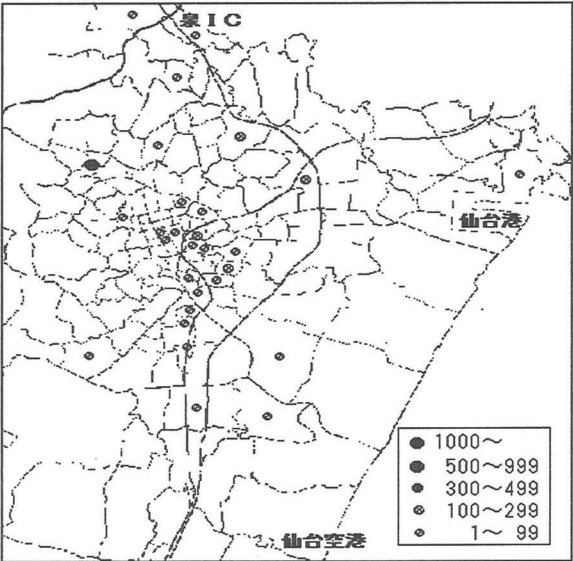
表－6は、全トリップのうち対象地域外発着のトリップ及び着地点で対象品目以外の品目を卸したトリップを除いた総走行距離、総走行時間、総配送重量を示している。各ゾーン間の走行距離は、各ゾーンの中心点間距離に係数 β を掛けて求めた。 β は直線距離を道路距離に変換する係数で、都市内では距離によらず、 $\beta=1.3$ であることが知られている¹¹⁾。ゾーン間の走行時間は、走行距離を表－7に示す仮定走行速度で割ることによって求めた。このとき、仙台駅周辺の12ゾーンを都心部、その他のゾーンを郊外部と定義して計算した。

(3) 貨物需要の推定

ここでは倉庫・卸売店から小売店への配送貨物のうち、新拠点への移転の可能性が少ない東部流通地区発の貨物及びロットの大きな貨物（1トン以上）を除いた分を1日の配送需要とする。本研究では次



図－８ 食料品の配送需要 (kg)



図－９ 化学工業品の配送需要 (kg)

のような仮定をおいた。

- a) 食料品の場合、実際の小口配送の１日２回のピーク時間（午前 10:00～12:00 頃、午後 2:00～4:00 頃）に合わせて１日２回の共同配送を行う。
- b) 配送１回当たりの各ゾーンの配送需要に関し、現状の配送件数が１件のゾーンは 1/2 の確率で抜き出し、１回当たりの配送需要とする。
- c) 配送件数２件以上のゾーンは１日２回の均等な配送を行うと仮定し、１日の配送需要の半分を１回当たりの配送需要とする。

表－８ 各候補地からの共同配送の解析結果

整備拠点	総走行距離(km)		総走行時間(min)	
	食料品	化学	食料品	化学
仙台港周辺	618	135	1,379	279
仙台空港周辺	818	142	1,736	324
泉 I C 周辺	686	131	1,451	270
仙台港、仙台空港	561	131	1,224	292
仙台港、泉 I C	579	97	1,258	202
泉 I C、仙台空港	578	128	1,253	264

d) 化学工業品の場合は、１日の総配送需要が少ないため１日の配送需要をそのまま共同配送需要とする。

この結果、食料品、化学工業品の共同配送１回当たりの総配送需要は、それぞれ 25.9 トン（１日２回で合計 51.8 トン）、2.3 トン（１日１回で 2.3 トン）となった。図－８、図－９は、それぞれ食料品、化学工業品の推定された共同配送１回当たりの配送需要分布を示している。

(4) 解析における仮定

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、(9) 式で表される。

$$G = \alpha T \tag{9}$$

ここで α は品目毎に異なる定数で、表－２の限界積載率に相当するが、一般にはアンケート等によって定める。本研究では、貨物の個別特性による安全率を考慮し、食料品、化学工業品の α を 0.7 と仮定し、2 トン車両の場合 $G = 1.4$ (トン) とする。このときそれぞれの配送需要を G で除した商（小数点以下繰り上げ）を車両台数 M とし、ニューラルネットワークによる解析を行う。解析の結果、収束解が得られない場合には $M = M + 1$ とし解析し直すものとする。この結果１回目の解析では、食料品の場合 25.9 トンの配送需要に対して $M = 19$ 、化学工業品の場合は、2.3 トンの配送需要に対して $M = 2$ となる。このとき、配送車両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。

２ヶ所の候補地からの共同配送の場合には、あらかじめ配送地点を２ヶ所の候補地からの距離に応じて２分割して配車配送モデルを適用する。(6) 式のバ

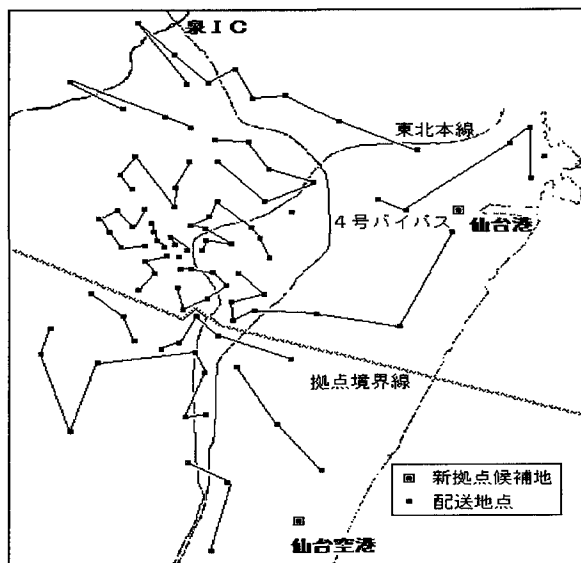


図-10 食料品の最適拠点及び共同配送計画
(拠点発着のトリップ省略)

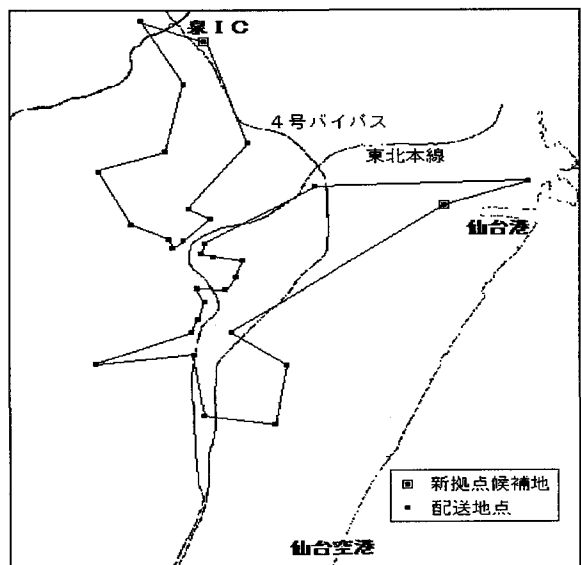


図-11 化学工業品の最適拠点及び共同配送計画

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。

(5) 解析結果

表-8は、3ヶ所の新拠点候補地のうち1ヶ所あるいは2ヶ所を整備した場合の共同配送による総走

行距離、総走行時間の解析結果を表している。食料品は、1ヶ所整備の場合には「仙台港周辺」、2ヶ所整備の場合には「仙台港周辺」及び「仙台空港周辺」に新たな物流拠点を整備した場合に最も総走行時間が短くなった。なお食料品の場合、19台による解析では収束解が得られなかったために20台による解析結果を示している。また化学工業品については、1ヶ所の場合には「泉IC周辺」、2ヶ所の場合は「仙台港周辺」及び「泉IC周辺」の整備が最も効果的となった。当然のことながら両品目とも1ヶ所の整備よりも2ヶ所を整備の方がより効果が大きくなった。図-10、図-11はそれぞれ食料品、化学工業品の最も総走行時間が短い新拠点及び共同配送ルートを示している。食料品、化学工業品ともそれぞれ20台、2台の配送車両によるある程度効率的な共同配送を行っている。

(6) 考察

食料品の解析結果と現状の比較を行うためには1日当たりの走行時間に変換する必要がある。最も総走行時間の短い「仙台港」及び「仙台空港」を拠点とした場合、1日当たりの総走行時間は、

$$1224 \times 2 = 2448 \text{ (分)}$$

となる。したがって、1日当たりの新拠点整備による総走行時間削減率（積載率上昇による効果と配送ルート最適化による効果の総和）は以下の通り。

$$\text{①食料品：} 100(4488 - 2448) / 4488 = 45.5\%$$

$$\text{②化学工業品：} 100(621 - 202) / 621 = 67.5\%$$

現実の推定総走行時間には、車庫や住居施設など他施設への走行も一部含まれており、総走行時間の削減率は計算値よりも小さくなる。現実の総配送重量と1日当たりの共同配送需要は、食料品の場合はほぼ等しいが、化学工業品の場合にはかなり大きな開きが見られる。この原因は、倉庫、卸売店から小売店への配送の途中で工場や車庫等の他施設において新たに積み込みが行われているためである。したがって化学工業品の場合、総走行時間削減率は計算値よりもさらに小さくなる。また実際の配送車両は車庫やトラックターミナルを発着起点として巡回している場合も多く、これらの施設の流通業務市街地内への一体的な整備がより効果的と思われる。

本研究では、東部流通地区の倉庫・卸売店及びロ

ットの大きな貨物は移転しないとして解析を行った。実際には、各企業は自社の現状とのコスト比較によって移転を決定する。したがって、各企業の新拠点への移転指向の分析や補助金の有無等を検討する必要がある。

図-10の解析結果には明らかに非効率なルートが見られ、若干の修正が必要である。本研究は、疑似最小ループから徐々にニューロンの初期順序を更新し、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、この方法が新たな局所解を生み出したと思われる。このため、シャープニング関数の工夫やアニーリングの採用によるモデルの改善が必要である。

6. おわりに

本研究では、提案した配車配送モデルを用いて仙台都市圏の新拠点計画を作成することにより、配車配送計画を用いた新物流拠点配置の決定方法を示すことができた。本研究の結論をまとめると以下のようになる。

- ①仙台都市圏では食料品をはじめ8品目で効率化の可能性があり、これにより交通量の削減が期待される。
- ②現状の配送ルートは、車両別にみると効率的な巡回走行を行っているが、都市全体としてみるとかなり非効率である。
- ③すべての流通業務団地への入居企業が共同配送に参加すると仮定すると、食料品を対象とした場合仙台都市圏の流通業務団地候補地のうち、「仙台港周辺」及び「仙台空港周辺」の2ヶ所の整備が最も効果的である。この場合、現状と比較して45%程度の総走行時間が削減される。また1ヶ所のみ整備する場合には「仙台港周辺」の整備が最も効果的である。
- ④最適候補地は品目によって異なる。

- ⑤新物流拠点配置計画における実用的評価手法として、積載制約を考慮した配車・配送同時決定モデルを構築できた。

配車配送モデルを用いてより実際的な新拠点計画、共同配送計画を行うための今後の課題として、

- ①モデルの改良、②ゾーン間走行時間の実データの入手、③企業の参加志向を考慮に入れた新拠点計画、が必要と考える。

【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評価への適用”, 土木計画学研究・論文集 No.10, pp.247-254, 1992
- 3) 高橋, 兵藤, 久保, 清水, 渡邊: “流通経路を考慮した都市内物流の効率化に関する分析”, 第30回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.655-660, 1995
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 久保幹雄: “数理的配送計画の課題 ～最適配送支援システム METRO を中心として～”, JILS SEMINAR 資料, 1995
- 7) J.J.Hopfield and D.W.Tank: “Neural computation of decisions in optimization problems”, Biol. Cybern. 52, pp.141-152, 1985
- 8) 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
- 9) 久永, 稲村: “ニューラルネットワークの航空機材スケジューリングへの適用と考察”, 土木計画学研究・講演集 No.16, pp.745-750, 1993
- 10) 乳井, 稲村: “多機材間の需要配分と異機材間の乗り継ぎを考慮した航空機材スケジューリングモデル”, 土木計画学研究・講演集 No.17, pp.339-342, 1995
- 11) 腰塚, 小林: “道路距離と直線距離”, 第18回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.43-48, 1983
- 12) 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
- 13) 宮城県, シオ都市計画経営研究所: “第2回宮城県流通問題懇談会資料”, 1994
- 14) 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

この論文は仙台都市圏における物流問題をとり上げ、ニューラルネットワークを用いた配送トラックの最適配車・配送モデルを提案し、これを用いて仙台都市圏における流通業務団地の最適候補地の決定を行っている。この結果、以下の論点が明らかになった。1) 仙台における現状の物流は、それぞれの運送企業は最適なルートを選択しているにもかかわらず、都市交通の観点からみると非常に非効率である。2) 流通業務団地を基礎とした共同配送の導入によって8品目の配送コストが大幅に削減される可能性がある。3) 食料品について考察した結果、仙台都市圏では「仙台空港周辺」、「仙台港周辺」の2ヶ所が流通業務団地の最有力候補地である。

A Physical Distribution Optimization Model and Its Application for Freight Transport Complexes in A Metropolis

by Tetsuji SATO and Hajime INAMURA

This paper discusses the physical distribution problems in Sendai, develops an optimal routing and allocation model of trucks using neural network algorithm, and applies the model to determine the optimal location of freight transport complexes. The results show three discussion points. First, the existing physical distribution is quite ineffective in the view point of urban traffic. Second, the delivery cost of eight commodity sectors can be reduced by a cooperative delivery from the complexes. Third, surrounding area of Sendai airport and the next of Sendai seaport should be two of the strongest candidates of the freight complex for food product.
