商品の一括配送における物流コスト最少化配送計画決定技法の開発* (商品の異なる在庫可能期間の有効利用によるルート・スケジュールの決定)

宇田川 金 吾^{*1}, 小 川 敬 大^{*1}
吉 本 一 穂^{*2}, Weerapat SESSOMBOOM^{*3}

A Study on Vehicle Routing and Scheduling Problem Considering Summarized Delivery of Products under the Different Feasible Inventory Term

Kingo UDAGAWA, Takahiro OGAWA,
Kazuho YOSHIMOTO^{*4} and Weerapat SESSOMBOOM

^{*4} Department of Industrial and Management Systems Engineering, Waseda University,
5-4-1 Okubo, Shinjyuku-ku, Tokyo, 165-8555 Japan

Primarily, the delivery of multiple kinds of products was done separated. However, as the consumers' needs had diversified, the distribution system also increased. This led to increasing the number of trucks and multiple trips to the same store. Because of enlarging the distribution system total cost increased. To address this problem, summarized delivery, mixing the load of deliver products to one store, is introduced. On the contrary, a realistic approach does not exist. In this paper, we utilized two new neighborhoods, and suggest a method which focuses on a feasible inventory term that would influence delivery efficiency.

Key Words: Vehicle Routing and Scheduling Problem, New Neighborhoods' Search Method (NSM), Tabu Search

1. 研究背景

元来、複数種類商品の配送は商品種別に行われることが主流であった。近年の消費者ニーズの多様化などで多品種少量化が進むと、この配送システムでは店舗における在庫が急増するという事態に至った。そこで、店舗側は、在庫圧縮を目的に多頻度小口配送を要求するようになったが、商品種別配送の物流体制のまま行ったのでは、店舗側では荷受回数の増加、ピーク期と閑散期が生じてしまう。配送側では、ピーク期に備えて多くのトラックを保有する必要が生じることにより、トラック台数の増加、積載効率の低下などの問題が起こり、物流コスト増につながってしまっている。これに対処する方法として、ピーク期に偏った配送量を在庫可能期間を考慮して平準化したうえ、店舗に納品される複数の商品を1台のトラックに混載し、一括配送するシステムの導入が検討されている。これにより、在庫量の減少、トラック台数の減少、積載効率の向上、荷受回数の減少などが期待でき、物流コストの低減に効果的であることが中田⁽¹⁾により立証されている。

2. 研究目的

一括配送の導入により、上述したような効果が期待できるが、具体的なシステム作りのための有効な技法が存在せず、なかなか導入に踏み切れないというのが現実である。そこで、本論文では商品の特性、大きさと陳列場所の関係等により在庫可能期間(店舗で保管できる期間)が異なる複数種類の商品を対象として、一括配送を考慮した配送計画のための技法開発を行う。

3. 研究概要

技法の開発にあたり本研究で扱った在庫可能期間の有効利用のモデル、前提条件、入出力情報、目的関数は次のようになる。

3.1 本研究のモデル 図1左に示したように $t+1$ 期にピーク期となってしまう、3台のトラックが必要となってしまうが店舗で保管できることを考慮し在庫可能期間が長い商品(■)を t 期に配送することにより、平準化が可能となり必要トラック台数の削減が見込める。この考え方を複数商品にあてはめ、効果的な一括配送を構築することで物流コストの低減を図ろうとするものである。

* 原稿受付 2001年4月20日。

^{*1} 早稲田大学大学院理工学研究科(〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1)。

^{*2} 正員, 早稲田大学理工学部。

^{*3} Khon Kean University, IE department (KhonKean 40002 Thailand)。

E-mail: kazuho@yoshi.mgmt.waseda.ac.jp

Fig.1 Model of this study

3.2 前提条件 本研究で扱う前提条件は次の①～⑨である。

- ① 配送拠点(以下、デポ)1ヵ所である。
- ② 店舗における在庫のみを考える。
- ③ 商品は複数で各々異なる在庫可能期間をもつ。
- ④ 店舗での各商品の消費量は一定である。
- ⑤ 商品ごとの単位在庫コストは異なることもある。
- ⑥ トラックは1種類で必ずデポに戻る。
- ⑦ トラックは積載制限・走行距離制限を有する。
- ⑧ 店舗への配送は複数商品を混載した一括配送が可能である。
- ⑨ 1つの店舗へは1期につき1回のみ配送される。

3.3 入力情報 必要となる入力情報は以下のものである。

- ・商品種類数、計画期数、店舗数
- ・商品ごとの在庫可能期間
- ・デポ・店舗の位置(座標)
- ・店舗での各商品の消費量
- ・単位距離当たりの配送コスト
- ・商品ごとの単位当たりの在庫コスト
- ・トラック1台当たりの保有コスト

3.4 出力情報 出力情報は配送計画立案上決定しなければならない次の事項である。

- ・各期の配送ルート
- ・店舗別配送スケジュール
- ・目的関数値

3.5 変数の定義 技法開発時に必要となる定式化、及び目的関数の表示に必要な変数を次のように定義する。

- X : 商品種類数
 - T : 計画期数
 - N : 店舗数
 - x : 商品種類を示すインデックス
 - t : 期を示すインデックス
 - i, j : デポ・店舗を示すインデックス
- ただし、0 がデポ、1, 2, ..., N が店舗を表す
- α : 単位距離当たりの配送コスト
 - $\beta(x)$: 商品ごとの単位当たりの在庫コスト
 - γ : トラック1台当たりの保有コスト
 - $\text{arc}(t, i, j)$: t 期に i - j 間を通る場合は 1、通らない場合は 0

- $\text{dis}(i, j)$: 店舗 i と店舗 j の距離
- $\text{inv}(t, i, x)$: 店舗 i の t 期における商品 x の在庫量
- $\text{truck}(t)$: t 期の必要トラック台数
- $\text{stock}(x)$: 商品 x の在庫可能期間
- SD : 総配送距離
- SI(x) : 商品 x の総在庫量
- P : ピーク期のトラック台数

3.6 目的関数 本技法では、配送コスト、在庫コスト、トラック保有コストの和、つまり、物流トータルコストの最少化を目的関数としている。本技法では、N 期にまたがった配送計画の決定を目的としているため、配送ルートは第1期～第N期まで得られる。そのため、総配送距離はN期分の各ルートの合計となる。N 期中に発生する在庫コストは、商品によって単位当たりの在庫コストが異なることから、商品別にその在庫量を求め、単位当たりの在庫コストを乗算することにより算出する。また、実際に配送を行うために必要となるトラック台数は、計画期間中の最大トラック台数である。この必要となるトラックの台数が最大となる期を、本技法ではピーク期と呼び、その期のトラック台数からトラック保有コストを求める。目的関数は次のように定式化できる。

Min (配送コスト+在庫コスト+トラック保有コスト)

$$= \alpha \times \text{SD} + \sum_{x=1}^X (\beta(x) \times \text{SI}(x)) + \gamma \times P \quad \dots(1)$$

※配送コスト=単位距離当たりの配送コスト
×総配送距離

$$\text{総配送距離 : SD} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N (\text{arc}(t, i, j) \times \text{dis}(i, j)) \quad \dots(2)$$

※在庫コスト=商品ごとの単位当たりの在庫コスト
×各商品の総在庫量

$$\text{商品 } x \text{ の総在庫量: } SI(x) = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \text{inv}(t, i, x) \quad \dots(3)$$

※トラック保有費=トラック 1 台の保有コスト
×ピーク期のトラック台数
ピークのトラック台数:

$$P = \text{Max}\{\text{truck}(1), \text{truck}(2), \dots, \text{truck}(T)\} \quad \dots(4)$$

4. 従来技法

本研究は一般的な VRP に在庫を考慮した IRP(Inventory Routing Problem)に分類できる。一般的な VRP では計画期間は単期であることが多く、短期的な視野でみた物流システムの最適化を目標としている。これに対し、IRP では在庫を考慮しているので計画期間は複数期であることが多く中長期的な視野にたつて物流システムをとらえることを目標としている⁽²⁾。従来の IRP における目的関数は(a)輸送コスト、在庫コストなどの総コスト合成関数の最少化、(b)配送回数の最大化の2つに分類できる。

(a)を目的とした研究の代表である Burns⁽³⁾では在庫についてのみの検討がなされ、ルートについてはふれていない。目的関数は(在庫コスト+輸送コスト)の最少化であり、品物の価値と配送間隔を基礎に、配送間隔が長くなれば輸送コストが小さくなり、在庫コストが大きくなるといった、2つのコストのトレードオフ関係から、系の物流コストの最少化を目的とした研究である。

Dror^{(4),(5)}の目的関数も(配送コスト+在庫コスト)の最少化であるが、在庫コストは各需要地における在庫の容量から求めており、Burns⁽³⁾よりも在庫コストの設定は現実的であるといえる。

小川⁽⁶⁾では物流フローを輸配送の2段階でモデル化し、2地点の在庫を考慮した現実に近いモデル設定を行い(輸配送コスト+在庫コスト)を目的関数とした配送計画決定の技法を提案している。

(b)を目的関数とした研究としては圓川⁽⁷⁾、宮本⁽⁸⁾が挙げられる。この2つの研究はともに自動販売機への配送を対象としており、目的関数を配送回数の最大化とすることにより1回当たりの配送量を少なくし、各需要地での在庫を少なくすることを考えている。また、計画期間内の配送日程に偏りがなく(配送平準化)、できるだけ等間隔になるようにスケジュールされている。本論文の位置付けと従来研究との比較を表1に示す。

Table.1 Compare with previous analysis

Number	Objective Function	Number of product	Planning term
(3)	Min (inventory cost + delivery cost)	One	—
(4)・(5)	Min (inventory cost + delivery cost)	One	Multiple
(6)	Min (inventory cost + delivery cost)	Multiple	Single
(7)・(8)	Min (deliver times)	One	Multiple
This study	Min (total cost)	Multiple	Multiple

一括配送を考慮した研究はなされておらず、また、取り扱うモデルが異なるため、直接的に従来研究と比較することはできないが、技法及び在庫の取扱い方など共通する点もある。

5. 提案技法

5.1 本技法の基本アルゴリズム 図2に本技法の基本アルゴリズムのフローチャートを示す。各近傍探索手法については次節で述べる。

Fig.2 Outline of proposed algorithm

<Step1> 本技法では配送ベクトルを定義し配送日程を制御することを提案する。店舗における1期の消費量を1配送単位としている。配送ベクトルはT個の要素をもち、第t要素が第t期の配送単位を表したものである。そのため次の例に示すように実際の店舗への配送量は配送ベクトルの各要素にその店舗の消費量を乗算することで表される。

例) $T=4$ 、消費量=10、配送ベクトル= $[1,1,2,0]$

のとき、配送量= $[10,10,20,0]$ となる

この Step1 では、入力情報の stock(x)と T からそれぞれの商品の配送ベクトルを全列挙する。

＜Step2＞初期配送日程は在庫可能期間を最大限に利用した日程で与える。配送ルートはセービング法で構築する。

＜Step3＞得られた解の積載効率を求め基準値と比較し下回った場合は Step4 に進む。ここでいう基準値とは初期解の積載効率を初期値として与え、解を出すたびに毎回更新され徐々に高くなっていく。そのため初期解生成直後は必ず Step5 に進む。

＜Step4＞ピーク期のルート数の 1/2 回だけ Split の判定を行う。Split を実行することにより、 P の値の低減及び積載効率の向上を目的としている。

＜Step5＞3 つの近傍探索手法 Shift・Change・Dispatch を並列に用いて解を推移させていく。Step5 内でモダンヒューリスティックの 1 つである TS(Tabu Search)を利用した。

＜Step6＞最良解の更新されない回数が規定回数を越えたら終了とし、満たさないときは Step3 に戻る。

5.2 本技法で使用する近傍探索手法 本研究の取り扱う問題の性格上、解空間は非常に大きなことが予測される。効率よく解を推移させるためにモダンヒューリスティックの応用が有効であることが知られている。本研究でも TS、SA を用いている。また、より一層の効率化のために近傍探索手法 (NSM: Neighborhood Search Method) の工夫が必要であり、本技法では 5.2.2 に示す Dispatch、5.2.3 に示す Split という新たな考え方を提案している。

5.2.1 従来から存在する近傍探索法

Shift: ある店舗をある店舗の前に移動させる。

Change: ある店舗と他の店舗の交換を行う。

図 3 に 2 つのモデル図を示す。

この 2 つの NSM である Shift・Change は VRP における古典的な手法であるが、ルート決定時に有効である。

5.2.2 提案する近傍探索手法① -Dispatch-

Dispatch: ある店舗の一商品の配送日程を変更する。

必要に応じルートの変更も同時に行う。

店舗にはそれぞれの商品に対して、1 つの配送ベクトルが割り当てられ、Dispatch では 1 つの商品の配送ベクトルを変更することにより、日程の変更を実現している。それぞれの商品の配送ベクトルは在庫可能期間を満たすように予め全列挙しておく。(図 2-Step1)したがって、在庫可能期間による制約は常に満たされているので日程の変更では積載制限と走行距離制限のみを考慮するだけでよく、解の推移は容易である。日程の変更と同時にルートの変更が伴うこともあり、変更前と変更後の当該店舗の配送量によってその変更方法は異なる。Dispatch の例を挙げ、Dispatch を行ったときに起こりうるルート変更を示す。商品 A の在庫可能期間は 2、商品 B の在庫可能期間は 3 とし、商品 B の配送ベクトルを $[3,0,0,1]$ から $[1,2,1,0]$ に変更した場合の例である。当該店舗の商品 A、B の消費量はともに 10 とした。まず、表 2 に配送量の変化を示す。

Table.2 Alteration of delivery

Delivery before Dispatch				
product	1st	2nd	3rd	4th
A	20	0	20	0
B	30	0	0	10

Delivery after Dispatch				
product	1st	2nd	3rd	4th
A	20	0	20	0
B	10	20	10	0

※The consumption of both product are 10.

実際の配送は商品 A、B の両方を一括配送するため、ルートの変更はその店舗への全商品の配送量から判断され次のようになる。

＜1st＞店舗への全商品の配送量の合計が減少していることから、制約を満たさない可能性はないのでルートの変更はない。

＜2nd＞配送のなかった店舗に配送が生じたため新規にルートを形成する。まずはピストンルートを形成し、同期の既存ルートに Shift できるときは行う。実行不可能なときはピストンルートが残る。

＜3rd＞配送量が増加したとき、その増加量が積載制限を越えなければルートの変更はない。越えたときは、2nd のとき同様、その店舗のみをルートから除きピストンルートを形成する。その後同期のルートに Shift できるときはこれを行う。

<4th>店舗への配送が消滅したため、当該店舗はルートから除かれる。

第1期～4期までのルートの変化を図4に示す。

Fig.4 Example of Dispatch

5.2.3 提案する近傍探索手法② -Split-

Split: ピーク期のルートの中で積載効率の最も低いルートの先頭の店舗から可能なものを逐次他のルートに移動させる。図5にイメージ図を示す。

本技法では配送ルートの変更を行う従来の NSM で

ある Shift・Change、及び新たに提案した配送日程の変更を行う Dispatch の3つを並列に利用することで根本的な変更が可能だが、これらを用いた TS ブロック(図2-Step5)だけでは積載効率の低いルートが多く残ることが実験を行った結果わかった。これらのルートがネックとなるピーク期に多く残ってしまうと、他期の変更が拘束され、局所解に陥る可能性が強いと考えられる。これらのルートをなくすためには優先的に Shift・

Change を連続して行う必要があるが、この間に多くの改悪を許さなければならず、TS の性質上この局所解から脱却することは困難であると考えられる。積載効率の低いルートをなくし、局所解から抜け出し探索空間を広げるために2つ目の新たな近傍探索手法である Split を考案した。しかし、Split は解の推移の幅が大きく、TS ブロックにおいて他の近傍探索手法と並列に扱った場合採択されることは少なく、一方、多用すると解が定まらなくなる危険性がある。以上のことより、本技法では SA(Simulated annealing) の概念(5.3.4 参照)を利用し、TS ブロックでの解の改善の度合いをもとに確率的に Split を採択させることで制御した。

5.3 本技法の詳細アルゴリズム 基本アルゴリズムの各ステップについてそれぞれを詳述する。

5.3.1 配送ベクトル列挙アルゴリズム -Step1-

在庫可能期間の制約から各商品の配送ベクトルの第1要素から第T要素の合計の上界値・下界値を求めることができる。この値を利用し第1要素から第T要素まで順次求め、1つの配送ベクトルを得る。そのため、第k+1要素はそれ以前の第1要素から第k要素に依存することになり、配送ベクトル列挙アルゴリズムは再帰的なものとなる。また、配送ベクトルの総数は計画期間と在庫可能期間によって決定される。例えば、計画期間が6、在庫可能期間が3のとき、図6のように配送ベクトルの総数は求めることができる。なお、図中で用いる変数は以下に示すとおりである。

$\text{sum}(k)$: 第k要素までの要素の合計 ($k=1,2,\dots,T$)

$\text{upper}(k)$: 第k要素の上限界値 ($k=1,2,\dots,T$)

$$\text{upper}(k) = \text{Min}(T, \text{stock} + k - 1) \dots (5)$$

$\text{lower}(k)$: 第k要素の下界値 ($k=1,2,\dots,T$)

$$\text{lower}(k) = k \dots (6)$$

$\text{Num}(k, \text{sum}(k))$: $k, \text{sum}(k)$ のときの配送ベクトル数

ただし、 $\text{Num}(1, \text{sum}(k)) = 1$

$$\text{Num}(k, \text{sum}(k)) = \sum_{i=\text{lower}(k-1)}^{\text{upper}(k-1)} \text{Num}(k-1, \text{sum}(i)) \dots (7)$$

Fig.6 Example of number of delivery vector

5.3.2 初期解生成アルゴリズム—Step2— 初期解は構築法としてよい解を出す実績のあるセービング法を用いて求めた。この際、配送日程は在庫可能期間を最大限にいかした日程を与えた。そのため全ての店舗の配送日程(配送ベクトル)は同じものとなる。初期日程の与え方の例を表3に示す。

Table.3 Example of initial delivery schedule

Feasible inventory term	Assigned initial delivery vector
2	[2,0,2,0,2,0]
3	[3,0,0,3,0,0]
4	[4,0,0,0,2,0]

※This example is when T=6

5.3.3 積載効率の評価—Step3— Step5 を通過し解が更新されるたびに、その前に得られた解と比較し改善の度合いを求める。この改善の度合いが次節で述べる Split ブロック(図2-Step4)に進んだ場合に Split の採択を左右する。また、解の改善度合いを元に基準値を更新する。基準値は初期値として初期解の積載効率を与え、毎回(1+解の改善度合い)を乗することで求める。現在の解の積載効率がこの基準値を下回った場合は Step4 に進む。本技法では解の積載効率を次式のように定義した。

$$\text{解の積載効率} = \sum_{t=1}^T (\text{t 期のルートの積載効率の平均}) / T \quad \dots(8)$$

5.3.4 Split ブロックアルゴリズム—Step4— 一般的な SA では、解が改善されるときは採択し、改悪されるときはスケジュールに応じた温度で近傍探索手法の採択・棄却を確率的に行う。本技法では解の改善度を SA における温度に見立て、Split の採択を確率的に制御している。最良解の改善度が大きいときは解が流動的であると考えられるため、一般的な SA の温度の高い状態のように改悪を許す確率(Split を採択する確率)が大きい。逆に改善度が小さいときは、解が収束に向かっていくと考えられるため、一般的な SA の温度の低い状態と同じように振る舞う(Split を採択する確率が低い)。そのねらいとしては 5.2.3 に述べたとおりである。Step3 で求めた解の改善度合いを 0 から 1 の範囲で発生させた乱数と比較しこれを上回った場合 Split を行う。そのため解の改善度合いが大きい状態では Split が採択される確率が大きく逆に解が収束していくにつれて採択される確率は小さいものとなる。図7にその詳細フローを示した。

Fig. 7 Flow of Step4

5.3.5 TS ブロックアルゴリズム—Step5—

Fig.8 Flow of Step5

図8に示すように、一般的な TS のように Shift・Change・Dispatch のそれぞれを行った場合の目的関数値の減少度を比較し、最良の近傍探索手法を採択する。採択された近傍探索手法を、Tabu-List に格納し予備実験から求められた一定回数(以下、Tabu-Length)の間、採択を認めない。また、TS ブロックでは予備実験から求められた規定回数(以下、Iteration-Criteria)改悪が連続して選択されたとき終了とした。一度、Step5 を抜け、再び戻ってきた場合、解の状態は Step4 で推移しており過去の状態に影響は受けないと考えられるため Tabu-List は 0 にリセットされる。なお、Step4 で一度も Split が選択されないときは Step5 では前回と全く同じ推移を繰り返したあと Iteration-Criteria を満たし終了するため、best 解は保たれる。この Step5 は配送ルート、配送日程の変更を行う本技法の根幹をなす Step である。

6. 数値実験

6.1 問題設定 本技法の示すために数値実験を行った。なお、入力情報は以下のように設定した。

店舗数: $N=100$

商品種類数: $X=3$

計画期数: $T=6$

Table.4 Feasible inventory term and cost

X	stock(x)	$\beta(x)$
A	2	50
B	3	50
C	6	50

単位距離当たりの配送コスト: $\alpha=50$

トラック1台当たりの保有コスト: $\gamma=1000$

トラックの積載制限=450 走行距離制限=450

店舗での消費量は5から25の幅で、位置はデボを中心100×100の空間にランダムに布置した。

6.2 数値実験Ⅰ - Splitの有効性 - 本技法で提案した Split の有効性を示す数値実験を行った。初期解と TS ブロックのみで求めた解と Split を取り入れたときの解を比較した数値実験Ⅰの結果を表5に示す。

Table.5 Result of experiment I

	Initial solution	TS block solution	Solution with Split
Objective function value	2255649	1061503	957035
Quantity of each product's inventory	A 4260	2775	2430
	B 9600	5500	4675
	C 23400	4140	3670
Total delivery distance	6972	8265	7946
Load efficiency	59.18%	79.98%	90.84%
Number of truck	44	28	21
Effort	—	-53%	-58%

6.3 数値実験Ⅰの考察 数値実験Ⅰの結果から、それぞれの解の理論上の稼動トラック台数を求めた、表6に示した。なお、理論上の稼動トラック台数は以下の式のように定義した。

理論上の稼動トラック台数=トラック台数×積載効率
...(9)

Table.6 The theoretical number of truck

Initial solution	26
TS block solution	22
Solution with Split	19

また、それぞれの解のトラックの分布状態を表7に示す。

Table.7 The range of number of truck

Term	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
Initial solution	44	0	7	12	7	0
TS block solution	28	5	10	16	14	9
Solution with Split	21	6	10	17	11	10

初期解では在庫可能期間を最大に利用しているため在庫コストが非常に大きな値を示しており、その結果目的関数が大きくなっている。初期解に対し TS ブロックでの改善、つまり在庫可能期間を利用して配送の平準化を行うことで、配送距離はのびたものの在庫量は減っておりその結果、目的関数は大きく減少した。具体的には、表5でも示されたように TS ブロック内における Dispatch によってピーク期に偏っていた配送量を在庫可能期間の満たす範囲で他期に分散させることができたと同時に、Shift・Change によって他期に移った配送を効率よくルートに割り当てることができ、配送コストとトラック保有コスト・配送コスト・在庫コストのバランスの取れた解を求めることができていたからである。さらに、表5をみると Split を取り入れることにより、トラック台数の減少のみならず、配送距離・在庫量も下げることができていることがわかる。また、表6、表7からは実際の必要トラック台数が理論上の稼動トラック台数に近づいていることがわかる。これは Split によってピーク期で積載効率の低いルートを解消し、その上で TS ブロックを行ったからである。探索できる解空間が広がりよりよい解に到達できたからであると考えられる。

6.4 数値実験Ⅱ - 一括配送の有効性 - 数値実験Ⅱでは一括配送が従来の商品種別配送に比べ、より効率のよい配送を行うことができ、物流トータルコストの減少ができることを示す。数値実験Ⅱでは目的関数とは別に、副次的比較基準として店舗の荷受回数をを用いた。数値実験Ⅱの結果を表8に示す。

Table.8 Result of experiment II

	Summarized delivery	Delivery each product separated
Objective function value	957035	1133491
Quantity of each product's inventory	A 2430	2935
	B 4675	4635
	C 3670	1975
Total delivery distance	7946	125545
Load efficiency	90.84%	85.95%
Number of truck	21	29
Times of receipting	517	1189
Effort	-15.58%	—

6.5 数値実験Ⅱの考察 表 8 より、一括配送を行った場合商品 B、商品 C のように、商品種別配送より在庫量が増加するケースもあることがわかる。これは商品種別配送では商品個々の配送コストと在庫コストのバランスの取れた配送日程・ルートをつくることのできるのに対し、一括配送では配送する期を合わせるために商品間の配送日程の影響が存在するためと考えられる。逆に、商品種別配送では店舗に対し各商品が個々に配送されるので荷受回数は多くなり、必要となるトラック台数も多くなる。一方、一括配送では荷受回数が減少し、トラック台数も少なくなると同時に、商品を混載することで配送コストを抑えることができ、積載効率の向上が望める。この結果目的関数値も一括配送の方がよい値を示したと考えられる。このことは 1. 研究背景で述べた事柄とも一致する。数値実験Ⅱから、一括配送の方が従来の商品種別配送より物流トータルコストを低減した効率のよい配送計画を実現できることが示され、一括配送の有効性を示すことができた。

7. 結論

期ごとに配送量を示す配送ベクトルを提案したが、この導入により、従来ではなしえなかった配送日程の変更を有効に制御することができ、物流コストを最少化する解を得ることができた。また、TS ブロックで得た解に対し提案した近傍探索手法である Split を応用することにより解の精度を落とすことなく積載効率を上げることができ、トラック台数を減らすことができた。変更の幅の大きいこの近傍探索手法を有効に制御し、探索できる範囲を広げ、TS ブロックのみでは抜け出すことのできなかった局所解から抜け出すことができた。以上のことから異なる在庫可能期間をもつ商品の一括配送モデルに対し、物流コスト最少化を目的とする配送計画決定技法を開発し、同時に一括配送の有効性を示すことができた。

8. 参考文献

- (1) 中田信哉 “物流のしくみ” 日本実業出版社 1997 年
- (2) Jonathan F. BARD et al “A Decomposition Approach to the Inventory Routing Problem with Satellite Facilities” 1998 年
- (3) Lawrence D. BURNS “Distribution Strategy that Minimize Transportation and Inventory Costs” 1987 年
- (4) Moshe Dror , Michael Ball “Inventory /

Routing : Reduction from an Annual to a short-Period Problem” 1987 年

- (5) Moshe Dror , Michael Ball “A Computation Comparison of Algorithms for the Inventory Routing Problem” 1985 年
- (6) 小川敬大 “物流センタ・営業所での在庫を考慮した輸配送問題の一解法” 1998 年度早稲田大学卒業論文
- (7) 圓川隆夫他 “欠品ゼロと在庫最少化を目指した多期間配送問題とその解法” 1995 年
- (8) 宮本茂卓 “在庫最少化を目指した多頻度小口配送の一解法～自動販売機補充配送問題への適用～” 1996 年度早稲田大学修士論文