

# ロジスティクスにおける輸送効率化手法とその事例

栗山 聡, 細田 高道, 吉本 一穂

## 1. はじめに

バブル崩壊以降, 日本の製造業は低成長時代を迎え, 従来のような量的拡大を前提とした生産ラインの増設あるいは物流施設の増強といった対応は限界にきている。そして高まる消費者ニーズと沈滞する経済状況の中で, 量的拡大への対応からサービス向上およびコスト削減へと方向転換を強いられてきた。このサービス向上とコスト削減を同時に実現するには, 生産部門や販売部門が独自に部門の効率化を目指したのでは達成し得ない。生産部門がコスト削減を図ろうとすると市場の需要とは見合わない生産ロットの拡大がなされ, 在庫として残される。販売部門がサービス向上を図ろうとすると多頻度少量, 短納期対応による輸配コストの増大, 在庫の抱え込みが生じる。いずれも「物流コスト」の増大を招き, 部門としての目標は達成できても全社最適の視点から見ると物流部門がすべての非効率を背負うことになってしまう。そこで企業は従来手をつけてこなかった物流の領域にメスを入れ, 全社最適となる業務の仕組みづくりに力を注ぐこととなった。この業務改革の土台となるのが, モノの流れに着眼し調達から生産, 物流, 販売までの活動をトータルで最適化しようというロジスティクスの考え方である。

ロジスティクスを進める上で最も重要なことは, 顧客のニーズに合った商品を, 適量, 適時に生産し, ローコストで市場に送り出すことである。そのためには, 以下のような機能が必要不可欠である。

1. 市場ニーズを先取りした精度の高い需要予測
2. 欠品を防止しつつ在庫適正化を図る在庫コントロールシステム
3. 在庫コントロールと連動し, 適量を適時に生産で

くりやま さとし, ほそだ たかみち 大成建設株式会社  
〒163-06 新宿区西新宿1-25-1 新宿センタービル  
よしもと かずほ 早稲田大学

きるフレキシブルモデル生産計画システム

4. 在庫補充指示, 納品指示に応じて効率的車両運行計画を策定する輸配送コントロールシステム

そして顧客サービス (CS) への対応方針にもとづきこれらの機能がうまく結び付くことにより, はじめてロジスティクスは達成される。上記4項目はいずれも重要な要素ではあるが, 本論においては輸配送コントロールに着目し, 中でも輸送計画問題とその解法について, A社における事例をもとに述べるものとする。

## 2. 輸送の効率化手法

### 2.1 輸送と配送

一般的に「輸送」と「配送」について明確に区別して用いられることは少ないが, 本論では次のように定義づけを行った上で「輸送」の効率化方策について述べるものとする。「輸送」とは個々の企業内部で完結するモノの流れを指すものとする。これに対し「配送」とは顧客に対して納品を行うモノの流れを指すものとする。

上記定義にもとづき, 輸送と配送それぞれの特徴を表1にまとめる。

輸送は配送に比べ対象エリアが広域となり, 大型車による大量輸送が中心となる。1台当たりのコストはかかるものの比較的台数が少ないこと, 直接顧客とは接しないこと等の理由から, 業務全体がアウトソーシングされていることが多く, 配送に比べ効率化が遅れている。その反面, 車両1台を減らすことで得られるコストメリットは大きいので, 効率化によるコスト削減効果は大いに期待できる領域である。

輸送の効率化方策について図1にまとめる。

### 2.2 輸配送計画問題に対するOR的アプローチ

輸配送計画問題は, 大きく2つの領域の問題から成り立つ。1つは車両の運行経路の最適化を図る部分であり, VRP (Vehicle Routing Planning) と呼ばれる。もう1つは, 車両の運行スケジュールの最適化を図る部分であり, VSP (Vehicle Scheduling Planning) と

表1 輸送と配送の比較

	輸送	配送
対象	生産拠点～配送拠点 (社内物流)	配送拠点～顧客 (納品物流)
対象地域	日本全国から海外まで	地域限定
利用道路	主要地方道以上	狭い路地まで含む
利用車輛	大型車(10 ton 以上)	小型車(2 ton 車中心)
届出数	少ない	多い
コスト	1台当たりコスト大	1台当たりコスト小 トータルコスト大
ネットワーク	企業により異なり多様 Multi-Depot 型が一般的	1対n(Single-Depot)型
効率化対策	輸送単位の大ロット化 契約体系の選択 巡回, 多角, ドッキング輸送	積合せによる積載率向上 時間制約の緩和 最適巡回ルート設定
効率化の進捗	実態把握されていない	効率化が進んでいる
管理方法	外部委託が主	自社管理が主
車輛契約	チャーター, 路線便中心	専属便(固定契約)
運行形態	定時定ルート運行	オーダーによる経路変更
配車システム	導入ケースは少ない	導入例多数あり

呼ばれる。現実には、両者を加味した VRSP (Vehicle Routing Scheduling Planning) 問題を解かないことには、車輛の運行効率を向上し、結果としてコストを削減することはできない。

VRSP に代表される複雑な組合せ最適化問題に対する解法として近年研究が進められてきたのがメタヒューリスティックス[1]と呼ばれる領域の解法である。メタヒューリスティックスと呼ばれる領域には、SA (Simulated Annealing), GA (Genetic Algorithm), Tabu-Search 等の手法があるが、これらの特徴を端的に表現すると、「見つけ得る解の集合の中から最良の解を選択する」ものである。従来の解法は

あらゆる手段を講じて何とか1つの解を絞り出すといった構築型のアルゴリズムであったが、この手法においては、簡易な方法を用いて初期解を導き、各種パラメータを調整することによりその解よりも良い解を見つけ出す改良型のアルゴリズムであるということが出来る。この点において、短時間でなんらかの解を出力しなくてはならない輸配送計画問題にふさわしい手法であると考えられる。

ところで、VRP 問題の原点は、1つのデポから複数の納品先にモノを配る (Single-Depot 型) 際にどのように巡回すれば最も短い距離、または短時間で配ることが出来るかという TSP (Traveling Salesman Problem) にある。一般的に「配送」についてはこのケースが大枠で該当する。しかし、「輸送」については、複数の工場から複数のデポにモノを配る (Multi-Depot 型) ケースも多々あり、このような Multi-Depot 型の問題を効率よく解くためには、多角

輸送やドッキング輸送 (図2参照) の考え方を前提としたロジックを組むべきである。

### 3. A社の社内輸送問題

#### 3.1 A社における社内輸送実態

飲料品メーカーであるA社は近畿圏に生産品目の異なる3工場を持ち、50余りある支店(配送拠点)より近畿圏の各納品先に配送を行っている。以前は3工場から50の支店に対する社内輸送は、各工場の委託運送会社が異なること、各支店への最低補充単位を輸送車輛1台分と設定していたことから、各工場から支店にモノを運んだ車輛がそのまま空で戻るピストン形式

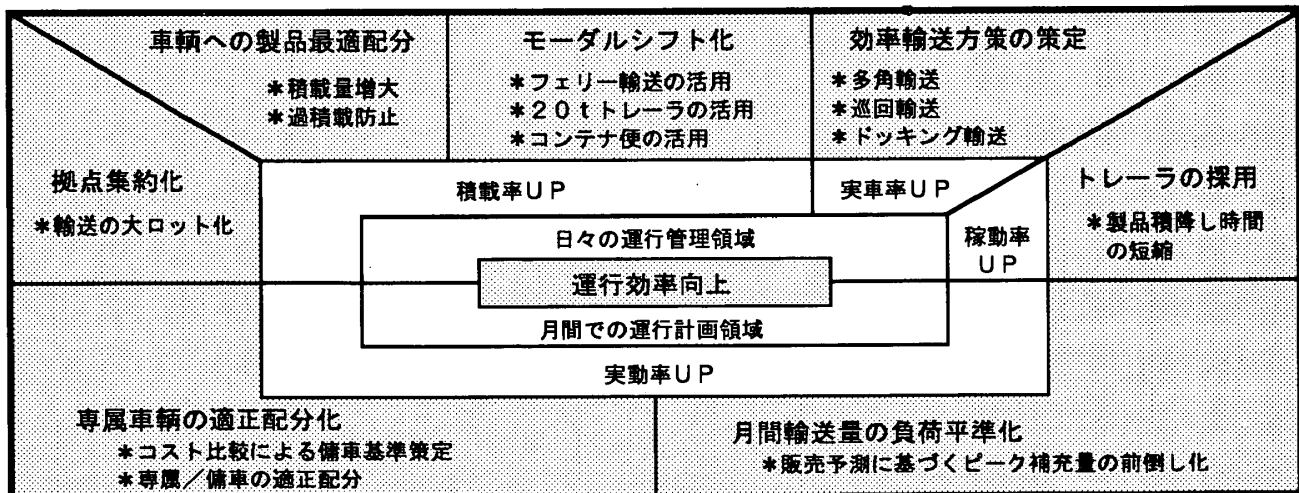


図1 輸送の効率化方策

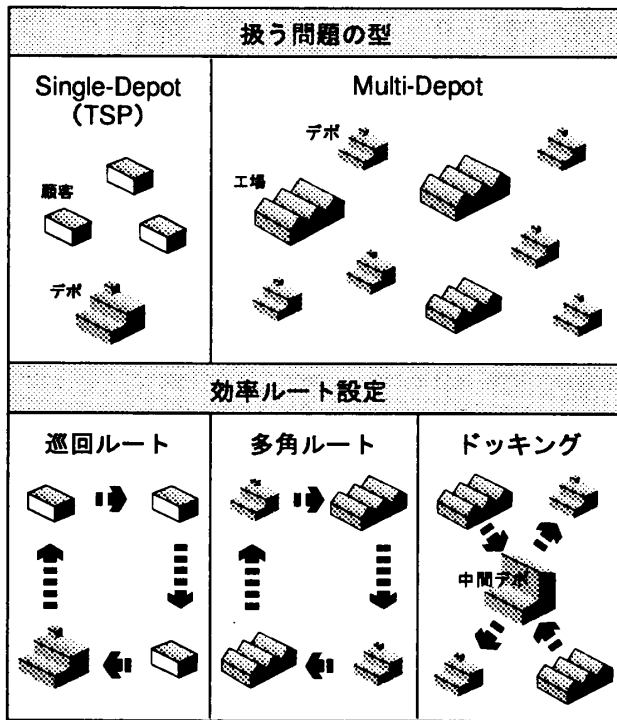


図2 効率ルート設定

を中心に行われていた。しかし、工場と支店の立地関係より、X工場から1つの支店にものを届けるとすぐそばにY工場が存在するといったケースが非常に多く、その車輛を空で戻すことは大変なムダとなっていた。そこで、Y工場からX工場近傍の支店に荷物を届けるルートと組み合わせて多角的輸送ルートを設定することにより、車輛の運行効率を大幅に向上させることが可能となる。A社では、1年ほど前からこうした多角輸送ルートを自動的に生成するシステムを開発、導入し、効率化を図っている。

### 3.2 A社社内輸送における新たな課題

これまで、日々のオーダーに応じた効率的な多角輸送ルートの設定までをA社が行い、それを受けた運送会社が車輛運行計画を策定し、独自に効率化を図るといった方法で業務が成り立っていた。しかし、納品先に対するサービス向上、支店在庫の削減、支店納入のJIT化が要求されるようになり、この輸送計画問題は効率的な多角輸送ルートの設定に加えて支店での受入時間制約も考慮に入れた運行スケジューリングまでを行う複雑なVRSP-TW(with Time Window)問題となっていた。

また、支店在庫の削減のためにはパレット単位での補給を考える必要がある。各車輛の積載能力に応じて効率的に荷の割当てを行い、場合によっては複数支店を巡回するルートを設定する必要がある。

### 3.3 A社における輸送計画の策定

ここまで述べてきたようにA社における輸送問題は3つの工場から50の支店にパレット単位で輸送を行うMulti-Depot型の複雑な問題である。その他にも制約条件として、1)支店の受入時間指定 2)宵積および早朝到着時間指定 3)工場および支店での車輛集中回避 4)車輛稼働可能時間 5)工場別車種別車輛保有台数等がある。

これらすべての制約を満たしたうえで、効率的な配車結果を得ようとした場合、構築型のアルゴリズムだけを用いて解を導くことは非常に困難を伴う。というのも、A社の日々の業務において配車計画システムに与えられる計算時間はせいぜい30分程度である。その中で、車輛台数最小となるような配車スケジューリングを行わなくてはならないのである。

本論ではこの問題に対し、以下に示す(1)~(3)の手法から構成される改良型のアルゴリズムを構築した。

#### (1) 整数計画法による空車距離最小化

A社における輸送計画問題の原型は、複数拠点から複数支店に対して1車満載で輸送を行うFull-Truckload, Multi-Depot型の問題である。この問題は最小費用流問題として、整数計画法の適用により総費用(総走行距離、総走行時間)最小となるグラフを生成することができる。なお、Full-Truckload問題においては、車輛の総走行距離を最小化するためには空で走行する距離を最小にすればよい。目的関数は空車走行距離最小とすればよい。

ただし実際には複数車種への対応、パレット単位補給による端数分の支店巡回ルートへの対応といった問題があるため、単純に整数計画モデルに落とし込むことはできない。ここでは、以下の手順を踏むことにより、本問題を整数計画モデルに落とし込み、最適な輸送ルート群の生成を行った。

##### ①複数車種への対応

車輛を積載能力に応じてグループ化し、容量の大きいグループより順次ルートを生成する。具体的には、まず、積載能力の最も高い車種グループについて、その車輛台数を入力情報に整数計画法によりルートの割当てを行う。その後、残された補給情報をもとに以下の車種グループに対して同様の手法を用いてルートの割当てを行う。

##### ②支店巡回ルートへの対応

各支店への補給量のうち端数となった分について、1)支店間距離が比較的短いこと 2)最大積載重量を越えないことを条件に結び付け、支店巡回ルートを生成

表2 提案解法による試算結果

	従来値	提案解法
積載率	85%	90%
実車率	56%	65%
稼働率	71%	82%
平均車輦回転数	2.35トリップ	3.70トリップ
車輦台数	67台	40台

する。生成した巡回ルートについて、最終巡回補給地への補給ルートと置き換え、整数計画モデルへの入力情報とした。

#### (2) パッキングアルゴリズムによる初期解の生成

整数計画法にて求めた最適ルート群をパッキングアルゴリズムを用いることにより、時間制約を満たした基本閉路に分割する。パッキングアルゴリズムとは、ある器の中に大きさも形も異なる物体をいかに効率よく詰めることができるかという組合せ最適化問題に対するヒューリスティック解法の1つである。ここでは、車輦の稼働時間という枠の中で効率よくルートを組み合わせ、車輦台数の最小化を図る目的で用いている。

#### (3) メタヒューリスティクスによる解の改良

パッキングアルゴリズムにて求めた解を初期解として、メタヒューリスティクスにより解の改良を行うわけであるが、ここでは Tabu-Search による解法を提案する。Tabu-Search の特徴は、初期解より解の改良を進めていく中で、実行不可能解に陥ったときに初期解をも変形し (decomposition move 等)、さらに良い解を探索するところにある。また、計算に与えられた時間内はより良い解を探索し続けるので、限られた時間内に最良の配車結果を得るのに適しているといえる。

### 3.4 提案解法による試算結果

提案解法による試算結果を表2に示す。

上表より提案解法の有効性は確認できた。しかし、それだけでなく、提案解法による精度の高いスケジューリングが実現すれば、決められた時間にモノが届くという確証のもとに支店における在庫を削減することも可能となる。

## 4. 社内輸送の効率化実現に向けて

### (1) 段階的構築手順の必要性について

効率化を実現するために、その到達点である理想像を描くことは重要である。しかし、現状からいきなり

理想像を目指そうとしてもまず成功することはない。

理想像を見定めつつ、まずは第1ステップとして既存の業務ルールの中で考えられる改善策を講じる。その中で運行実績の収集等を通して実態を再確認し、次のステップとしてどのような改善を行うか、あるいは業務の仕組みをどのように変えるべきかを策定する。そのステップが達成されれば次のステップへと進む。こうした段階的構築手順を踏むことにより、効率化を目指した業務改革をソフトランディングさせることが可能となる。

### (2) 運行実績収集と運行計画への反映について

配車計画を組む場合、天候、季節、時間帯といった要因が所要時間に与える影響は無視できない場合が多く、運行実績データから拠点間の所要時間を推定するようなしくみが望まれる。例えば、過去 $n$ 日分の時系列データを用い、ARIMA モデル、カルマンフィルタ等により所要時間を予測する方法が考えられる。

## 5. まとめ

本論においては、未開拓分野である社内輸送問題についてその効率化方策、特に車輦運行計画における VRSP の解法について述べてきた。そしてその有効性についても確認することができた。

「輸送」の効率化は、調達物流あるいは他社との共同物流といった企業の枠を越えた取り組みも考えられ、企業間のサプライチェーンマネジメントの足がかりともなる。また、物流コスト削減という効果だけでなく、大型車輦の削減による渋滞緩和、大気汚染抑制、エネルギーの有効利用といった社会的な意味での効果の可能性まで秘められていることを認識したい。

しかし冒頭でも述べたように、効率的なロジスティクスを達成するには需要予測、在庫コントロール、生産計画、輸配送コントロールといった機能を全体最適の視点から結び付けなくてはならない。

### 参考文献

- [1] 室田一雄編：離散構造とアルゴリズムIV，近代科学社，pp.171~230 (1995)
- [2] 圓川隆夫著：トータル・ロジスティクス，(株)工業調査会，pp.109~128 (1995)