

配送スケジューリングシステムの開発

山口 裕人

1. はじめに

流通を取り巻く環境は市場の成熟化や顧客ニーズの多様化に伴って、大きな変革を求められている。昨今、注目されている生産、流通のためのインフラストラクチャ整備/再構築もこの1つの現われといえよう。この背景には、独禁法運用基準（公正取引委員会）や商慣行改善指針（通産省）などによる法制面からの指導もさることながら、「消費者サービス」の旗印のもと、多品種・多頻度・少量・短納期納品をより低コストで実現することによって、他社との差別化を図ろうとする企業独自の経営戦略が大きく作用していることは否

やまぐち ひろひと
花王㈱ 文理科学研究所
〒131 墨田区文花2-1-3

めない。「物流」という呼称を「ロジスティクス」と言い改めたことからしても、その意図を如実に示していると思われる [1]。

ロジスティクスが「物のフローと保管を効率的かつ費用対効果を最大ならしめるよう計画立案、実施、統制する過程」であって、「ロジスティクスの品質」ともいべきその効用が

- ①要求された商品を
- ②要求された量だけ
- ③要求された時に
- ④安いコストで
- ⑤まちがいをなく届ける

ことで評価される以上、消費と生産とのインターフェイスとして位置するロジスティクスシステムをいかに最適化するかが1つのキーテクノロジーと成り得よう [2]。

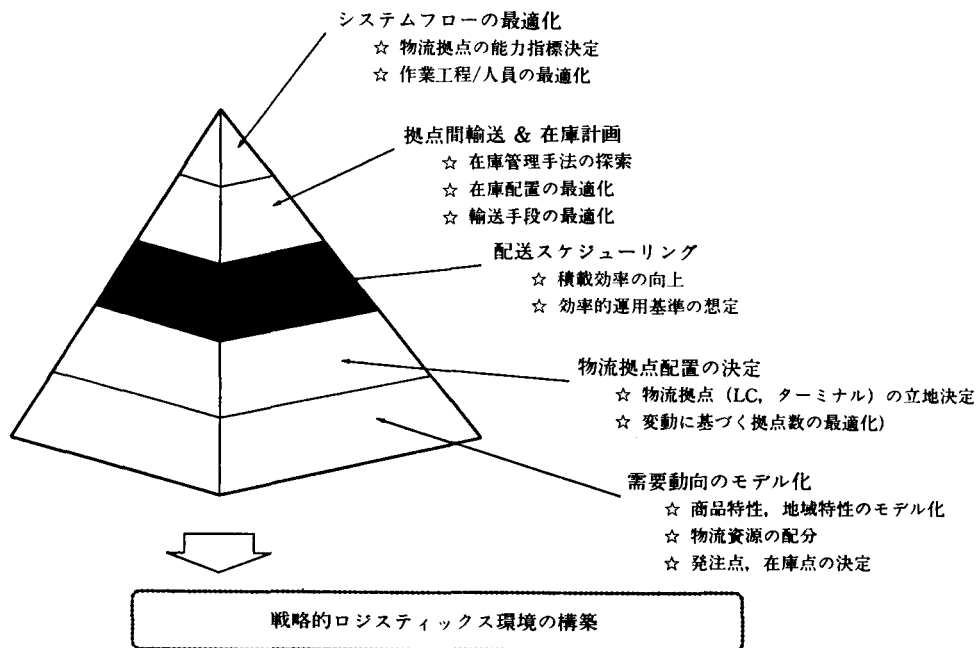


図1 ロジスティクスモデルの枠組み

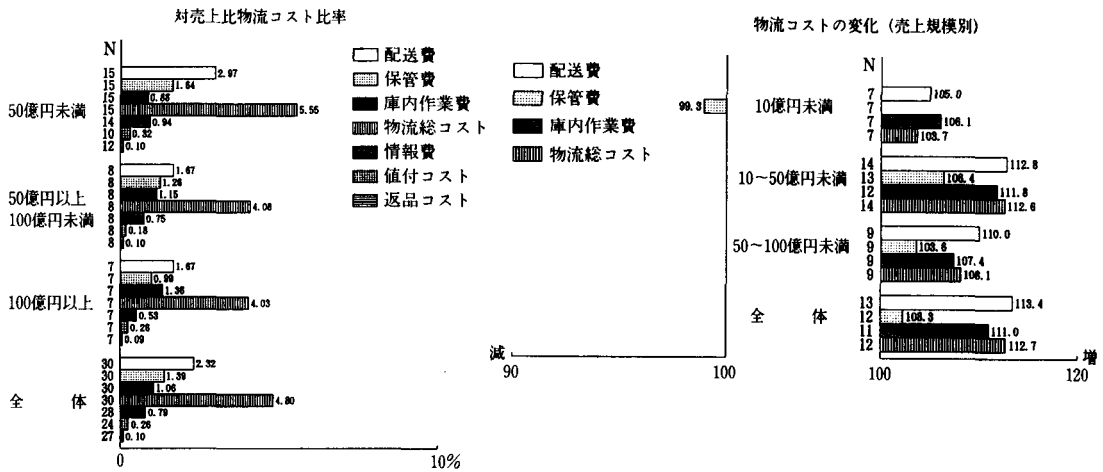


図2 物流コストの内訳([4])

筆者らは数理計画法やシミュレーション等のOR手法、およびAI手法をこうしたロジスティクスシステムに適用することによって、その最適化を図ろうと試みてきた。

戦略レベルからオペレーションレベルに至る活動の中で最適化の対象を階層化したスキームとして図1に示す[3]。

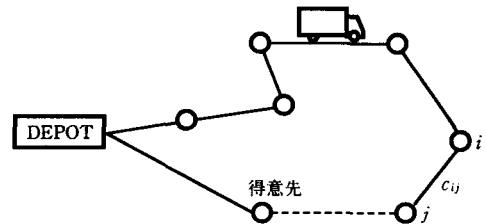
「石鹼・洗剤等卸売業における取引実態に関する研究調査報告書」が報告するように、配送費が物流総コスト(=配送費+保管費+庫内作業費)の約半分の比率を占めることに加えて、コスト上昇率でも他に比べて高い数値を示していることから、物流効率化への改善課題として在庫削減と並んで高い優先度を占めている(図2)[4]。このような背景のもと、配送の効率化を目的とした最適な配送順を決定するためのアルゴリズム研究、ならびに実用システムへの応用一すなわち配送スケジューリングシステム構築が重要課題となっている[5]。

2. 問題解決への視点

配送スケジューリングが解決しようとする問題は複数台数のトラックがデポから得意先へ配送する上で、その配送コストの総計を最小にするルートを求めることに他ならない(図3)[6]。この際、

- ・トラックの積載量制約(容量, 重量)
- ・得意先への納品可能時間帯(納品指定時間)
- ・使用できるトラック台数の上限
- ・トラックの稼働時間

といった最小限の制約に加えて、実務的には複数デポ、複数種類のトラック、トラックの回転(1日に可能な



C_{ij} : 得意先 i から得意先 j へ行くのに要するコスト

定式化

$$\begin{aligned}
 \min \quad & z = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} C_{ij} x_{ij} \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{j \in N} x_{ij} = 1 \quad \forall_i \in N \\
 & \sum_{i \in N} x_{ij} = 1 \quad \forall_j \in N \\
 & \sum_{i \in N} \sum_{j \in N \setminus V} x_{ij} \geq 1 \quad \forall V \subset N (V \neq \emptyset, V \neq N) \\
 & x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall_{i,j} \in N
 \end{aligned}$$

- 1) トラックの積載量制約(容積, 重量)
- 2) 得意先の時刻制約(時間指定納品, 閉店時刻)
- 3) 使用できるトラック数の上限
- 4) トラックの稼働時間

図3 配送スケジューリング問題(巡回順の決定)

運行回数), 納品条件の特殊な得意先への対応, 道路規制, 速度の時間帯別変動等の複雑な条件考慮が必要とされ, 現実的な運用の中で厳密解を求めることはきわめて困難である。(また, 必要としない。)

そこで, 今回開発した配送スケジューリングシステムは地図D/B上に展開した得意先の位置情報とそれらをつなぐ道路の速度情報をベースとして算出したコスト行列を利用し, 分割・ルート法(Cluster First-Route Second法), およびルート改善法を組み合わせることで

解法の方針による分類

		台数制限	計算量
ルート中心型	厳密解法	整数計画法 列生成+集合分割問題	○ ×
		分枝限定法	○ ×
	ヒューリスティック解法	挿入法 ルート構築法	○ △
		最近近傍法 節約法 枝交換法	○ △
2段階型	配送ルート → 配送区域分割 事前ルート法 空間充填曲線法	× ○	
	配送区域分割 → 配送ルート スイープ法 一般割当法 集合分割問題(事前分割) 断配送システムの解法	○ △	

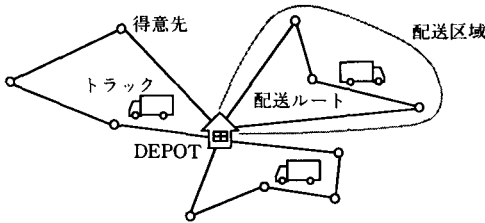


図4 配送スケジューリング問題に対する既往の研究

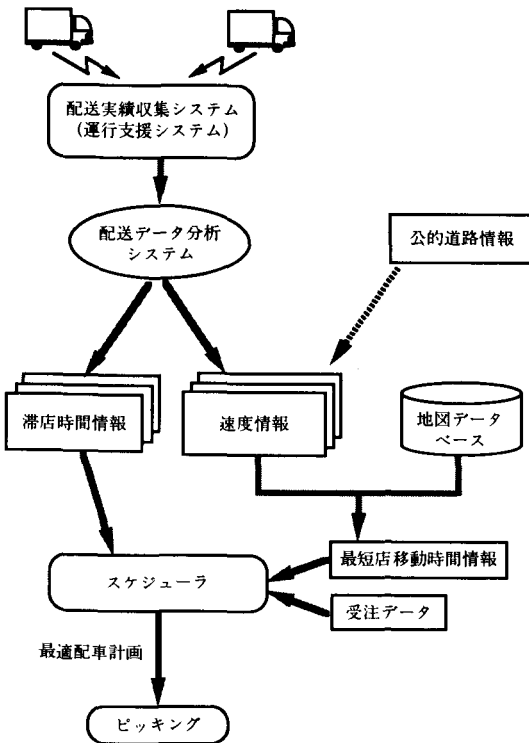


図5 配送スケジューリングシステムの構成

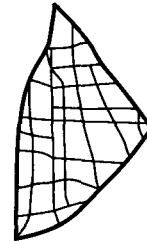
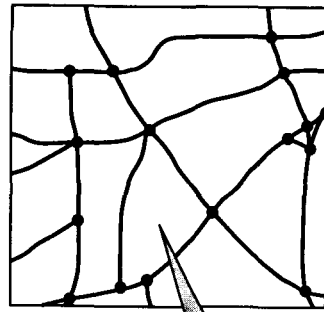


図6 最短経路(地図の階層化)

で、時刻制約付き配送路決定問題を高速(10台のトラックで約200店を配送する場合で2~3分; IBM RS/6000 Model 580)に解くことを可能にした(図4)。ちなみに、従来のスケジューリングシステムで採用されていた事前ルート法によるルート・分割法(Route First-Cluster Second法)では日々変化する受注に対する納品時間制約への考慮が困難といった問題があるため、コストを抑えながらもそういった状況への対応力を増やすことが急務となっていた。

3. 配送スケジューリングシステムの考え方

3.1 システムの構成

得意先からの注文をある限られた時間枠の中で効率的に納品する必要性から、“時間”をコストとしてとらえた。

図5に示すようにデジタル地図上に登録された得意先の位置と各々の道路に設定された速度情報から最短移動時間を算出するため、速度情報D/B、得意先の受注特性や納品形態によって(たとえば、受注量の多少、立地条件、検品方法等)変わる得意先での滞在時間(以後、滞店時間)を推定するための滞店時間D/B、および各D/Bから得られる時間情報をもとに配送スケジュールを決定するスケジューラから構成される。

以降、本システムの基本要素である最短経路探索手法、ならびに配送路決定手法について紹介する。

3.2 最短経路探索

配送スケジューリング問題を解く上で前提となるコスト行列（得意先間の最短移動時間行列；以後、店間マトリクス）を決定することは必要不可欠となる。今回対象としているデポの配送エリアには、約4万カ所の交差点（幅員3.3m以上の道路）、約1000店の得意先が存在する。つまり4万カ所の結節点を經由して1000店間の最短経路を求めることが必要になるが、これをそのまま解くことは計算時間の点で現実的ではない。

そこで、道路をその属性によって2つに分類し、階層化した道路網に対して経路探索することで、問題規模の縮小を図った [7]。

ここでは、上位層として幹線道路（国道、県道等原

則として幅員5.5m以上の道路）、下位層として生活道路（幹線道路に囲まれた道路で幅員3.3~5.5mの道路）とに区分し、下位層に属する道路群のそれぞれをグループと定義した（図6）。さらに同一グループ内にある得意先間、あるいは隣接するグループ間にある得意先間の移動については上位層、下位層のいずれの利用についての制限を課さないが、隣接しないグループ間にある得意先同士の移動はグループ間の移動については上位層を利用するといったヒューリスティックルールを設けた上で、 D_{ijk} stra法を適用、最短経路を特定した。

“時間”をコストとして評価する関係上、道路の各々について移動速度が必要となるが、実績から得られた平均的な値か、または近隣の道路の速度を設定した。また、道路の上下車線の各々について、交差点間を最小単位とした速度設定を可能にすることで、一方通行

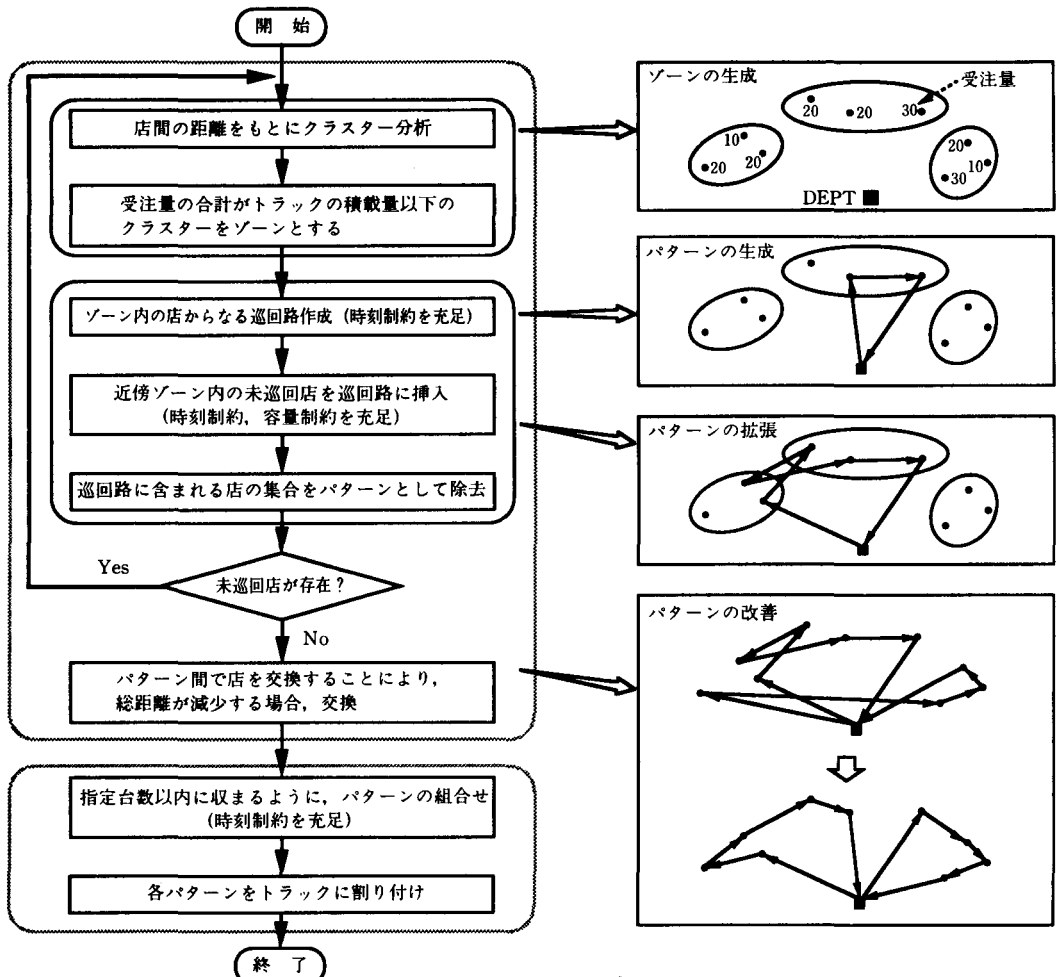


図7 配送路決定のフロー

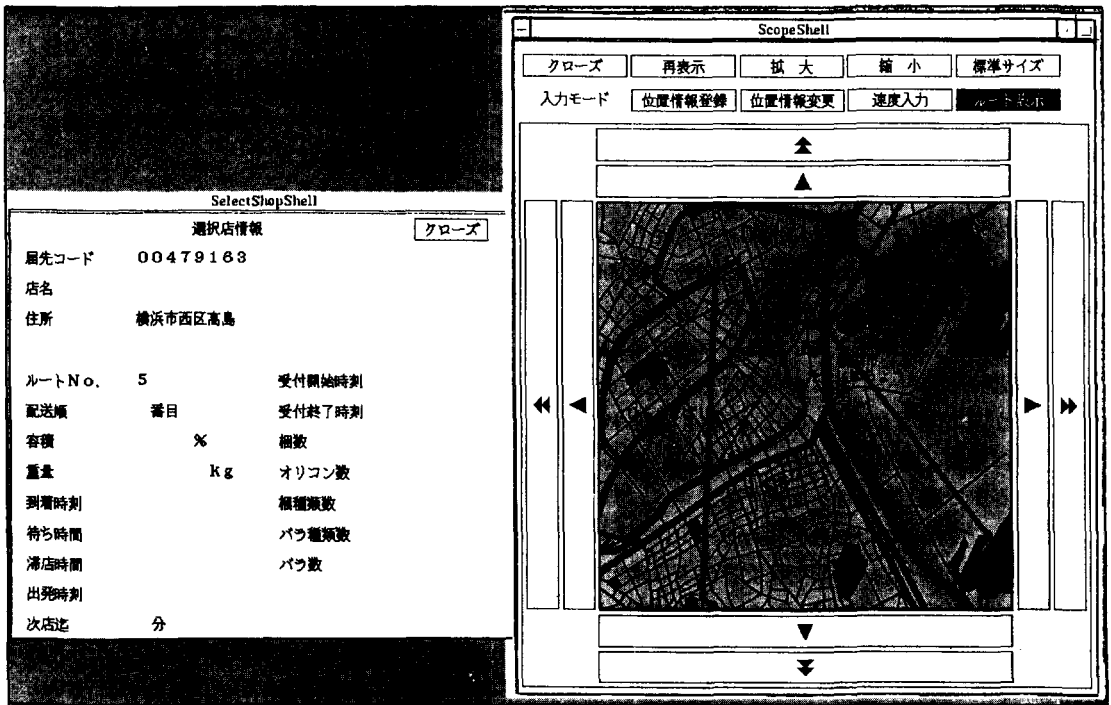
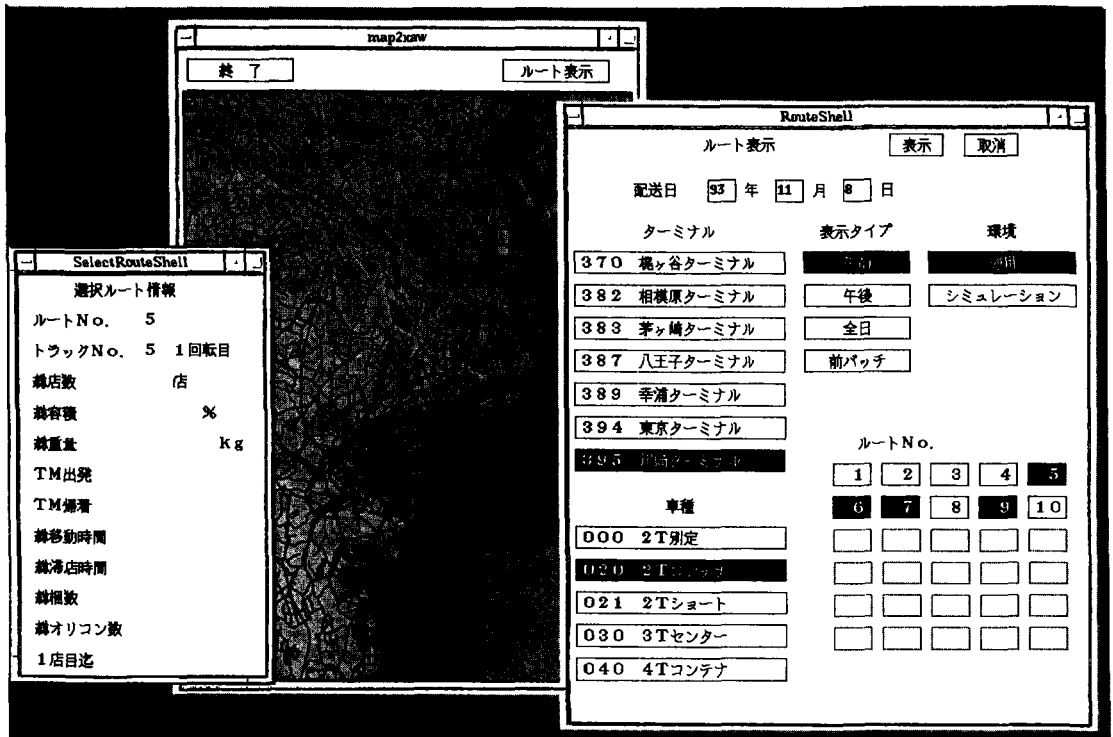


図8 配送スケジュールの出力例

や踏切、橋梁、商店街等、通行上の障壁となる箇所への対応を図り、実用上の問題をクリアした。

なお、このアルゴリズムを採用することにより、約200店の店間マトリクスを計算するのに、1分程度で解を得ることが可能となった。

3.3 配送路の決定

図7に処理のフローを示す。3.2で概説した手法にて得られた店間マトリクスをもとに、まず、積載量制約のみを充たす範囲内で階層的クラスター分析を行ない、近接した得意先群に分類する。(クラスタリングされた得意先群のそれぞれをゾーンと定義する。；ゾーンの生成)

本システムではクラスター分析に際してComplete linkage法を用いたが、これは2つのクラスター間の距離を一方のクラスター内の要素と他方のクラスター内の要素との間の最長距離とするもので、直径のおよそ等しいクラスターを生成しやすいこと、遠距離にある点が独立に分散しにくい特性を利用した。

D_{kl} : クラスター C_k とクラスター C_l の距離

$d(c_i^k, c_j^l)$: クラスター C_k に属する i 番目の要素とクラスター C_l に属する j 番目の要素との距離
 $c_i^k \in C_k, c_j^l \in C_l$

$D_{kl} = \max d(c_i^k, c_j^l)$

次に、トラック1台分の巡回路(パターンと定義)の決定であるが、ゾーン分け完了後、あるゾーン内の任意の得意先を核として、納品時間制約を充足しながら、コスト最小の巡回路を形成する。このとき納品時間制約を充たさない場合は巡回路に取り込まない。ゾーン内の全得意先の取込み完了後、トラックの積載量制約、稼働時間制約(デポへの帰着時刻を規定できる)に余裕がある場合はそのゾーンに最も隣接するゾーン内の得意先を取り込む(ゾーンの拡張)未巡回店がなくなるまで以上の処理を反復する。

このようにして得られた複数個のパターンについて、パターン内、およびパターン間で枝交換による逐次改善を行ない、総コスト(全パターンの総配送時間)の減少を図る。最後に核パターンに対して時刻制約付き巡回セールスマン問題(TSPTW)を解きパターンを確定する。

4. おわりに

数理計画法などのOR手法による問題解決は大きなコストメリットをもたらす可能性を有しながらも、モデル規模に起因する制約や定式化に伴う困難さから利用が限られていたといわれている。ところが時間上、資源上の制約から厳密解を求めることが絶対必要というわけではなく、計算上の最適解が必ずしも実務上の最適解に一致するわけでもない。信頼に足る近似解が短時間のうちに得られれば充分といったケースが多くあるのではなからうか。今回紹介したシステムはそのような一例である。現在、配送スケジューリングシステムとしてはテスト段階ではあるものの、実際の配送に供しており、実用性評価を行なっている最中にある。技術面、運用面でのブラッシュアップを図る一方、戦略決定支援のシミュレーションツールとしての確立が課題である。

図8に立案したスケジュールの実例を示す。

参考文献

- [1] 中野一夫：“物流シミュレーションの展望”，経営システム，Vol. 1, No.2 (1992)，p. 125
- [2] 忍田和良：“多品種少量化時代の物流戦略”，オペレーションズ・リサーチ，Vol. 35, No.5 (1990)，p. 265
- [3] 山口裕人：“OR手法のロジスティクスへの適用事例”，OR学会春季研究発表会 アブストラクト集 (1993)，p. 146
- [4] “石鹼・洗剤等卸売業における取引実態に関する研究調査報告書”，流通政策研究所 (1991)
- [5] 笹島己喜朗：“最適小口配送システムの開発”，'92ロジスティクス・ソフトウェア全国会議，Vol. 2 (1992)，p. 3-2-1
- [6] 久保幹雄：“配送計画問題～最新動向と今後の展望～”，'92ロジスティクス・ソフトウェア全国会議，Vol. 2 (1992)，p. 3-1-1
- [7] 丹羽寿男他：“道路網の階層的表現に基づく経路探索アルゴリズムと地図情報システムへの応用”，情報処理学会論文誌，Vol. 31, No.5 (1990)