

サプライチェーンにおける総コスト最小となる輸配送計画の開発

*Development of Total Cost Reduction Vehicle Scheduling System
Considered Supply Chain Management*

岸野 清孝* 石田 康** 井上 春樹***

Abstract: This paper aims to consider the total cost reduction of delivery from production bases to retail-bases in urban or city area. Today delivery cost is increasing due to a decline of products and diversity of products. To make matters serious, customers requirement points are increasing and harsh. To find out the most suitable solution under these conditions, rearranging of bases seems to be indispensable.

We formulate complex delivery scheme, develop delivery software and evaluate effectiveness of this system by simulating specified Tokyo area.

1. はじめに

都市圏における生産と消費は多品種、増大傾向の中で、それを支える物流問題すなわち、生産の拠点（場所）とそれを消費者に届ける物流拠点、店舗拠点（これらの拠点を以降では基地と呼ぶ）計画は物流コスト、物流サービスや交通問題を考える上で大きな課題¹⁾である。一方、生産効率の驚異的な向上と労働賃金の低下により製品・商品の価格が大幅に低下する中で、物流の効率化が遅れると、その中に占める物流コストの比率は極めて大きくなってしまふ。その中で、消費者の要求は厳しさを増しており、時間指定の配送、品種の急増による小ロット配送などコストを増大させる要因となっている。

筆者らは都市部や地域における物流サービス向上を狙いトラックの到着時間予測²⁾をITS、GPS技術を用い正確に予測する研究、開発を行ってきた。しかしサービスの向上とともに物流コストを下げる輸送問題について、輸送単独の最適化やコスト低減の研究³⁾⁴⁾は発表されているが、基地の統廃合や見直しまで考慮した研究、システム開発は見られない。拠点を変更せずに最適化を図ると、明らかに従来の常識から考えると異様な結果が出てしまう。コストが大きく減少しているので経営的には改善されたように見えるが、その分どこかに無理が生じている。そのしわ寄せは、顧客と運送会社と自然環境に出ている。つまり、顧客へのサービスが劣化し、作業負荷が増大したにもかかわらず運賃は減少し、走行距離の増加により、CO₂や窒素化合物などが増大して環境にも悪影響を与えてしまう。

本研究では、これら矛盾を考慮し都市部や地域における総合的な物流コストを効果的に削減することのできる輸配送問題を定式化しシステムの開発を行なった。関東のモデル地区でシミュレーションによる検証を行なったので、その評価と効果について以下で述べる。

2. 輸配送計画と問題の定式化

2.1 総コスト情報と輸配送計画の目的関数の定式化

(1) 総コスト情報

図1に模式的に内訳を示すように、商品を製造し、顧客配送先に届けるまでの総コストのかなりの部分は、配送コスト以外のコストによって占められている。

製品を製造する場合、図1(a)に示す例のように、製造コストは材料費、加工費および経費に大別される。また、製品を購入する場合、図1(b)に示す例のように、製造コスト（すなわち購入コスト）は購入費と購入先からの輸送費とに大別される。いずれの場合も、物流コストは、基地コスト（基地の経費、維持運営費等）、基

*KISHINO, Kiyotaka [情報システム学科]

**ISHIDA, Yasushi [日立]

***INOUE, Haruki [静岡大学]

地間の輸送に要する輸送コスト、および、基地から配送先までの配送コストにより構成される。

総コストとしては、基地情報から求められた荷の製造（または購入）コスト、荷の基地までの輸送コスト、および、基地コストと、配送量および運賃情報から求められた配送コストとの合計を用いる。

しかし、現実には、製造コストおよび輸送コストは常に多少なりとも変動しているため、基地間でこれらが常に同一であるという状況は少ないと考えられる。したがって、実際のコストを最小にするためには、これらを総コストに含めることが望ましい。さらに、上述のように製造コストおよび輸送コストは常に変動していることから、輸配送計画立案処理の実行の際には、これらのコストの入力(すなわち基地情報の入力)を受け付けるようにすることが望ましい。

総コスト(100)						総コスト(100)						
製造コスト(50)			物流コスト(50)			製造コスト(30)(購入)		物流コスト(70)				
(a)	材 料 費 (15)	加 工 費 (20)	経 費 (15)	基 地 コ ス ト (10)	輸 送 コ ス ト (20)	配 送 コ ス ト (20)	(b)	購 入 費 (20)	購 入 輸 送 費 (10)	基 地 コ ス ト (30)	輸 送 コ ス ト (5)	配 送 コ ス ト (35)

図1 製造から配送までの総コスト

(2) 問題の定式化

輸配送計画における目的関数を総合コスト最小とし、次式のように定式化する。

Minimize

$$C = P + T + B + H(X) \quad (1)$$

ここに

$$P = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{y=1}^Y P_{j,k} \cdot G_{y,k} \cdot \delta_j(S_y) \quad (2)$$

$$T = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{y=1}^Y T_{j,k} \cdot G_{y,k} \cdot \delta_j(S_y) \quad (3)$$

$$B = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{y=1}^Y B_j \cdot G_{y,k} \cdot \delta_j(S_y) \quad (4)$$

$$H(X) = \sum_{i=1}^m H_{f,i} \cdot \delta_i(x_i) + \sum_{i=1}^m H_{t,i}(x_i) \quad (5)$$

$$H_{t,i}(x_i) = F\left(\sum_{i=1}^{N_i} D(n(i))\right) \quad (6)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^m N_i = N \quad (7)$$

ただし

C : 総合コスト(円)

P : 総製造コスト(円)

T : 総輸送コスト(円)

B : 総基地コスト(円)

$H(X)$: 総配送コスト(円)

y : オーダ番号(1, 2, ..., Y)

k : 製品番号(1, 2, ..., K)

j : 基地番号 (1, 2, ..., J)

$G_{y,k}$: オーダ番号 y , 製品番号 k の時のオーダされた製品の数量 (kg)

$P_{j,k}$: 基地番号 j , 製品番号 k の時の製造コスト (円/kg)

$T_{j,k}$: 基地番号 j , 製品番号 k の時の輸送コスト (円/kg)

B_j : 基地番号 j の基地コスト (円/kg)

S_y : オーダ番号 y を出荷する出荷基地番号 (1, 2, ..., J)

$\delta_j (S_y) : = 1$; オーダ番号 y が出荷基地 j を使用する時
 $= 0$; その他の場合

X : 全トラックの配送ルートへの顧客の割り当てと訪問順序を示す数列 (X の中には、全ての $n(i)$ が必ず含まれる)

$$X = \{x_l | l=1, m\} = (x_1, x_2, \dots, x_m)$$

m : 使用可能なトラック台数の上限

x_l : トラック l の配送ルートへの顧客の割り当てと訪問順序を示す数列

$$x_l = \{n(i) | i=1, N_l\} = (n(1), n(2), \dots, n(N_l))$$

$n(i)$: あるトラックが i 番目に訪問する顧客のノード番号

N_l : トラック l が訪問する顧客の総数

N : 顧客の総数

$H_{l,1}$: トラック l の固定費用 (円)

$\delta_l(x_l) : = 1$; トラック l を使用する時
 $= 0$; その他の場合

$H_{t,l}(x_l)$: トラック l の変動 (運行) 費用 (円)

$F(*)$: タリフ関数であり、トラックの走行距離を引数、費用 (円) を戻り値とする

$D(n(i))$: 拠点または $n(i-1)$ から $n(i)$ までの距離 (km)

ここでは、オーダ情報としてオーダ番号ごとに、配送先番号と、オーダする製品の数量 (オーダ数量) と、既定基地番号 (初期値であり、最適解を求める過程で変更される) が与えられる。オーダ数量には、取り扱われる製品ごとに、その製品のオーダ量を設定する。基地情報として基地ごとに、各製品の製造 (または購入) コストおよび基地までの各製品の輸送コストと、基地の経費および維持運営費などの基地を使用するための基地コストを設定する。式 (2) の総製造コストは各製品のオーダ量と製造コストを掛け合わせ、オーダ番号順、基地番号順、製品番号順に合計して求める。式 (3) の総輸送コストは各製品のオーダ量と輸送コストを掛け合わせ、オーダ番号順、基地番号順、製品番号順に合計して求める。式 (4) の総基地コストは各製品のオーダ量と基地コストを掛け合わせ、オーダ番号順、基地番号順、製品番号順に合計して求める。

距離情報は各基地と各配送先を出発地と到着地として、その間の配送距離をマトリックスにて設定する。トラックの配送ルートへの顧客割り当てと訪問順序の決定方法は、式 (5) の総配送コストが最小となるように定式化して訪問順序を決定する。トラックの走行距離は出荷基地から出発し、全ての配送作業を実施して帰着するのに要する距離とする。荷を積んでいない走行に対してもコストは発生する。トラック情報はトラックごとに固定費用と走行距離に対するタリフ関数を設定し、式 (6) の変動 (運行) 費用はタリフ関数からトラックの走行距離を引数、費用 (円) を戻り値として求める。式 (5) の総配送コストは割り当てられたトラックの固定費用と変動 (運行) 費用を合計して求める。制約条件として、①車両毎の積載量上限 : 車両毎に定義②車両毎の稼働可能時間帯 : 開始—終了③配送先毎の配達可能時間帯 : 開始—終了④配送先毎の車両サイズ : 上限⑤出荷拠点毎の荷積み可能時間帯 : 開始—終了⑥出荷拠点毎の入構可能車両サイズ : 上限⑦1回の巡回毎の配達回数 : 上限⑧車両1台当たりの巡回回数 : 上限を定め、全ての条件を満たすことを候補地選定の絶対条件とする。実用的なシステムの要求としては、各制約の許容範囲を明確に設定した上でそれらを厳守することが求められるため、制約条件値を任意に設定可能とし、厳密に順守させることとした。

このような方法にて、オーダされた全ての商品の製造基地、出荷基地、使用トラック、配送先への訪問順序を、総製造コスト、総輸送コスト、総基地コスト、総配送コストを合計した総コストが最小となるように決定する。

2.2 輸配送計画の処理手順と総コスト最小化手順

複数の基地と複数の配送先とを含む配送エリアにおける配送元を選択する輸配送計画は、図2に示すように、複数の配送元を選択する計画であって、(1)荷の配送量および配送先の情報を含むオーダの情報の入力を受付ける入力ステップ[ステップ(101)]と、(2)オーダごとに、その基地を配送元として、配送先へオーダの配送を行った場合の総コストを算出する総コスト算出ステップ[ステップ(103)]と、(3)オーダごとに、算出された総コストの最も小さい基地をそのオーダの配送元として選択する基地選択ステップ[ステップ(104)]からなる。

総コスト算出処理[ステップ(103)]は下記のステップで処理する。

[ステップ(1)]：まず、基地情報マスタに登録された基地の一つを処理対象とし、処理対象の基地符号を読み込む。

[ステップ(2)]：オーダ情報ファイルの、処理対象オーダ番号に対応するオーダ数量情報から読み出した各配送品の量に、基地情報マスタから読み出したその配送品の製造コスト原価を掛けて、各配送品の製造コストを算出する。全配送品の製造コストを合計して総製造コスト値を算出する。

[ステップ(3)]：上記各配送品の量に、基地情報マスタから読み出したその配送品の輸送コスト原価を掛けて、各配送品の輸送コストを算出する。全配送品の輸送コストを合計して総輸送コスト値を算出する。

[ステップ(4)]：上記各配送品の量に、基地情報マスタから読み出した処理対象基地に対応する基地コストを掛けて、各配送品の基地コストを算出する。全配送品の基地コストを合計して総基地コストを算出する。

[ステップ(5)]：距離情報マスタから、処理対象基地(処理対象配送先)から処理対象オーダの配送先までの距離を読み出し、各車両の出荷基地から出発し、全ての配送作業を実施して帰着するのに要する距離を算出する。車両情報マスタから、対象トラックの固定費用と走行距離に対する費用原単位を読み出し、対象トラックの配送コストを算出する。全配送品の配送コストを合計して総配送コストを算出する。

[ステップ(6)]：[ステップ(2)]で求めた総製造コストと、[ステップ(3)]で求めた総輸送コストと、[ステップ(4)]で求めた総基地コストと、[ステップ(5)]で求めた総配送コストとを合計して、処理対象基地を用いた場所の総コストを求める。

[ステップ(7)]：最後に、未処理の基地があるか否かを判定し、未処理の基地があれば[ステップ(6)]に処理を戻して未処理の基地のいずれかを処理対象として上述の処理[ステップ(1)]～[ステップ(7)]を実行し、未処理の基地がなければ、総コスト算出処理を修了する。

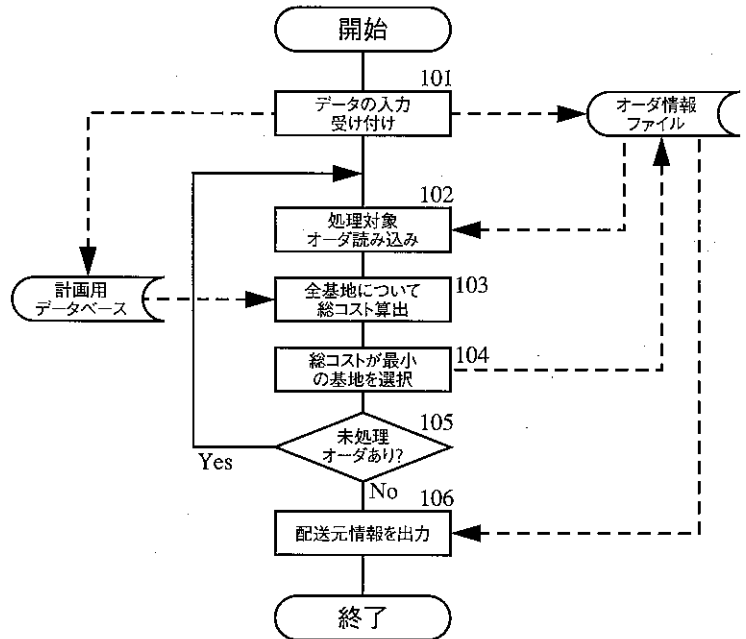


図2 輸送計画の処理フロー

3. 輸配送計画システムの開発

(1) システム構成と機能

開発した輸配送計画システムの構成と機能を図3に示す。顧客から時々刻々送信されてくるオーダーは、インターネットを経由してオーダーエントリーシステムで処理される。また、交通状況管理を行うGISは対象地域に含まれる道路の交通状況を取りこみ、デジタル道路地図に反映させる。これらの情報を入力として、最適化システムは、定式化の条件を満足しながら総コストが最小になるような計画を立案する。

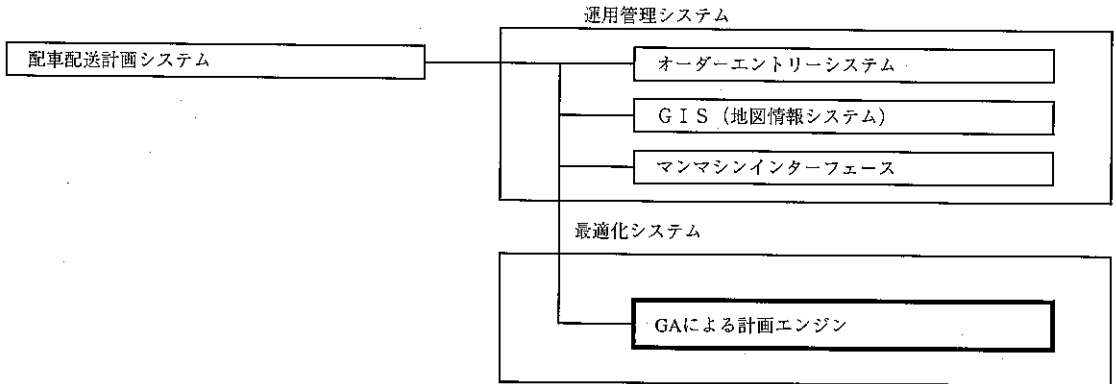


図3 輸配送計画システムの概要

作成された計画結果はグラフィカルユーザインターフェースプロセスで表示装置へ表示される。輸配送計画ガントチャート画面表示例を図4に示す。これは、輸配送計画を視認性が向上するように表現したもので、横軸に経過時間、縦軸に車両番号を定義している。各車両の荷積み、走行、荷降しの各作業が長方形形で示され、各図形の横幅は所要時間を示している。各作業は表示色や表示シンボルの差異で計画立案者に容易にわかる様に工夫されている。

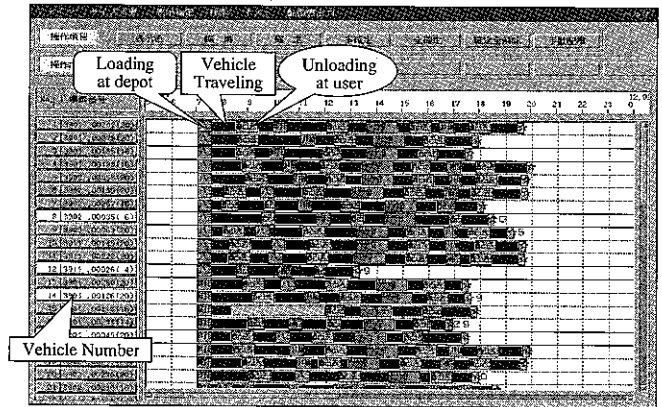


図4 輸配送計画画面

車両ごとの走行経路と作業予定を道路地図上に示したものが図5である。ここでは、Truck(1)が八王子デポで荷を積み込んだ後、配送先1, 2, 3, 4に荷を配達し、その後川崎デポで再び荷を積み込み、ユーザ5, 6, 7に荷を配達する指示であることを示している。また計画結果は帳票出力プロセスによりリストとして出力される。計画結果が確定すると、結果出力プロセスにより、広域に分散配置されたデポと車両に配送指令を出力する。

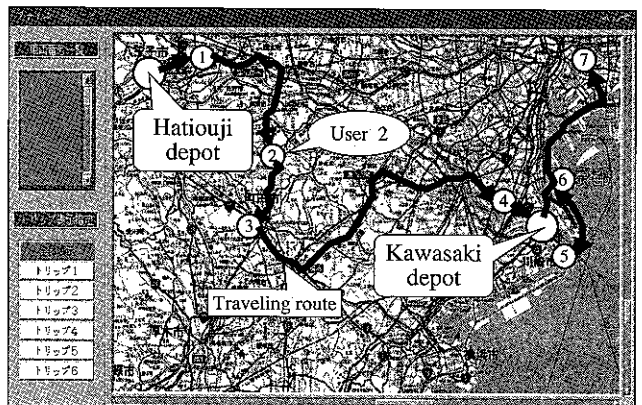


図5 配送ルート画面

(2) 最適化アルゴリズム

輸配送計画問題の最適化のアルゴリズム

はGA (Genetic Algorithm)⁵⁾を採用している。動的計画法の適用も考えられるが、出荷基地の選定とトラックの訪問順序を総コストが最小になるように同時に解を求めるのは難しく、GAを使用することとした。GAにおける遺伝表現としての染色体には、図6に示すように顧客からのオーダーの並びXを対応させる。初期個体の生成は、この染色体情報を荷積み、走行、荷降しなどの配送作業にマッピングすることに対応する。たとえばオーダー数が1000の場合は、染色体を構成する遺伝子Geneの数はオーダー数と同じく1000となる。たとえば1番目の遺伝子Gene 1は、配送先の名称、位置、配送商品の詳細、配達可能時間帯など複数の項目に対するデータを有する。詳細な処理手順は、井上による論文「セルGA法と2-opt法を適用した大規模実時間配送計画システムの開発」⁶⁾を参照願いたい。

Gene 1	Gene 2	Gene 3	Gene 4	Gene i	Gene max
--------	--------	--------	--------	-------	--------	-------	----------

Example
Gene 1 = (customer = Shop A,
address = (wada 2 tyome, tokyo-to, Japan),
location-axis = (east139.124, north34.4567),
item1 = milk, qty = 280Kg,
item2 = ice cream, qty=76Kg,
delivery time = 26, June 5:30 - 5:40,
condition1 = confirmation check,
condition2 = maximum vehicle size 2 ton.....)

図6 遺伝表現としての染色体

4. 輸配送計画シミュレーションによる拠点統廃合・共同配送の効果検証

拠点統廃合・共同配送の効果を検証するため、図7に示す日用品と食料品を同時に、毎日配送している下記のケースについてシミュレーションを行った。

①対象エリア：関東1都4県、②拠点：2工場、3デポ、③供給品：生鮮品・日用品

工場が船橋と八王子にあり、それぞれ共通の製品と独自の製品を50%ずつ製造している。船橋工場の方が規模は大きく、ほぼ2倍の生産能力を持っている。この二つの工場に加え、鮮度を保持したり、指定の納入時刻等のさまざまな条件を守るために、川崎と厚木と所沢に物流用のデポを持っている。このような物流設備を用いて最短リードタイム、かつ最小コストでのオペレーションを目指す。

シミュレーションに使用したコンピュータは32台のクラスター並列コンピュータ（日立製H9000/L2000実装）であり、提案モデルの信頼性とデータの出典については、平成10年度補正予算（旧通産省）による次世代GISモデル事業における「超並列コンピュータと進化アルゴリズムを駆使したサプライチェーン最適化システム⁷⁾」において使用された信頼性のあるモデルとデータを使用した。各ケースおよびデータに対し、10回ずつの繰り返し実験を行い、各シミュレーションの結果の目的関数値のベスト値である総コスト最小値、総時間、総距離を測定し、その平均値を求めた。

(1) 現状分析による現状の計画

ここでは、ある1日分のデータの例だけを示す。この日は、1日で698のユーザからオーダーがあり、配送する商品は約3800種、トータルの重量は1250トンとする。前述の2工場の生産能力は合計で1500トンなので、フル生産すると供給過剰となってしまう。次に輸配送手段のトラックは、500台が登録されており、自由に選択できる。

以上の条件で、実際の運用で作成された配送計画は、その1日で120台のトラックを使い、稼働時間の合計が790時間、総走行距離が17,000kmである。総コストはチューニングの上、実績通り870万円に一致させている。

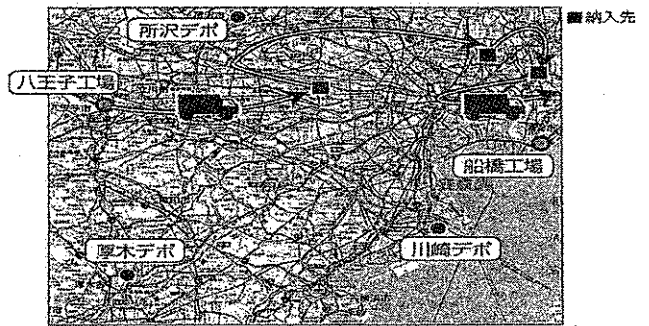


図7 食品・日用品配送の拠点配置例

(2) 総コスト最小とした計画のシミュレーション結果

図8に示すように、目的関数を総コスト最小にして、シミュレーションを開始し、次のような結果が得られた。総コストは870万円から740万円に大きく低減された。一方、稼働時間は840時間となり、50時間増えているし、走行距離も20,100kmとなり3,100kmも増加している結果となった。

コストを下げるには、車両数を減らしたり、なるべく配送先から近い拠点を使って最短の走行ルートを探し出して走行距離を小さくしたりするという考え方から見ると、それに反する結果となっている。これは、過剰なデポの存在に起因するものである。

例えば、工場AからデポBを経由して配送先Cへ配送しているケースを考えてみる。このとき、 $AC > BC$ (ここで、ACは、A→Cの距離あるいは運賃を示している) 関係が成立する場合、実際の運用で考えるとデポAから配送先Cへ配送した方が、工場Aから配送先Cへ直送するよりも配送距離(時間)が小さいため、デポB経由を選択することとなる。しかし工場AからデポBへの輸送費がかかるため、総コストは工場Aから配送先Cへの直送より高くなる。総コスト最小で考えると工場Aから配送先Cへの直送を選択することとなる。この場合、配送距離(時間)はデポBから配送先Cへの配送より大きくなる。このことからコスト最小と配送距離(時間)最小が反することが説明できる。



図8 製造から配送の総コスト最小とした計画

(3) 拠点の統廃合による計画のシミュレーション結果

拠点を変更せずに最適化を図ると、(2)の例のように、明らかに従来の常識から考えると異様な結果が出てしまう。コストが大きく減少しているのに経営的には改善されたように見えるが、その分どこかに無理が生じている。

そのしわ寄せは、顧客と運送会社と自然環境に出ている。つまり、顧客へのサービスが劣化し、作業負荷が増大したにもかかわらず運賃は減少し、走行距離の18%の増加により、CO₂窒素炭化物などが増大して環境にも悪影響を与えてしまう。

これらの問題を解決し、さらにコストを低減させるためには、色々な方法が考えられる。ここでは、図9に示すように(2)の結果から過剰と考えられる厚木デポと所沢デポを廃止し、さらに最新鋭の横浜工場を新設して船橋工場を移転するケースを考え、総コスト最小としたシミュレーションにより検討を行った。

この結果、総コストは、(2)の結果より大幅に減少して680万円となった。移動時間は830時間、走行距離は16,800kmと大きく改善され、この結果、あらゆる面で改善が成功していることがわかった。ここでは検討段階であるので拠点の統廃合を行う場合の費用は総コストには含まれていない。実際に統廃合を行うかどうかを決定する場合には、それに伴うコストを算出し詳細な検討を行う必要がある。

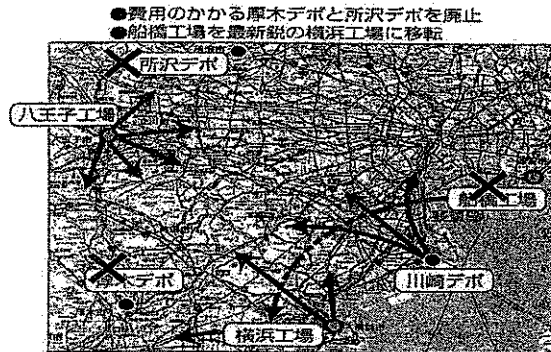


図9 拠点統廃合による計画

(4) 共同化による計画のシミュレーション結果

これまででは、一つの企業の中だけの努力で効果が出せる戦略である。しかし、「規制撤廃」等の外的要因はすぐに市場構造を変えるので、ライバルとシェア争いなどしている場合ではなくなってしまう。日本を見ても、金融、石油、食品、薬品、化学工業など、その例は枚挙にいとまがない。

こうなると、ライバルと手を組んで大きなサプライチェーンを形成し、究極のコスト低減に向かうしかなくなる。この例では図10に示すようにA社は最新鋭の横浜工場だけの稼働を続け、八王子工場、川崎デポは



図10 共同化による計画

廃止する。その代わりに、それらの地域をカバーするためB社の八王子工場、C社の川崎工場とバーター契約を結んで製品の共通化を推進し、共同経営を開始する。当然受注系統は、A、B、C社で一本化しなければならない。以上により、総コストを最小としてシミュレーションにより検討を行った。その結果、総コストは570万円まで下がり、(1)の現状に比べ、65%のコストで同一オペレーションを行うことができ、稼働時間は820時間、走行距離は、16,900kmまで下がるということがわかった。ここでは、共同化を行った場合には製品共通化や事務手続き共同化のコストが発生すると考えられるが、今回のモデルでは考慮していない。実際に共同化を行うかどうかを決定する場合には、それに伴うコストを算出し詳細な検討を行う必要がある。

表1は、以上の結果をまとめたものである。総コストは、最終的に一日で300万円以上減少するので、年間の営業日数を300日とすると、こんなに狭い地域だけで一年に9億円もの供給費用が低減できることになる。したがって、これを全国規模に拡大すれば、極めて大きなコストが低減される。総時間、総距離は、ケース2のコスト最小では、走行

表1 輸配送計画シミュレーション結果のまとめ

ケース番号	1	2	3	4
項目	現状分析	コスト最小	拠点統廃合	共同化
総コスト(万円)	870	740	680	570
総時間(Hr)	790	840	830	820
総距離(km)	17,000	20,100	16,800	16,900

距離が遠くても製造コストや拠点コストの安い拠点を選択するため、増加する結果となった。しかし、ケース3の拠点統廃合、ケース4の共同化では、総時間、総距離も減少し、コストの35%の減少と、0.5%の総距離の減少によるCO₂排出の減少により環境負荷軽減の両方を実現することが可能となる。

5. おわりに

本研究では、配車配送計画のアルゴリズム及び配送拠点の統廃合、共同配送へ展開した輸配送計画システムを開発した。そして、開発したシステムを実際の配車配送計画に適用し、長期間の実証実験により以下の成果を得た。

- ①開発した配車配送計画のアルゴリズムは、巨大で複雑な問題に対して「30%以上の改善」という極めて強力な最適化能力を有することを確認し、配送拠点の統廃合や共同配送への適用と実用化の見通しを得た。
- ②配送拠点の統廃合、共同配送へ展開した輸配送計画システムを開発し、シミュレーションにより、コストの35%の低減、走行距離の0.5%の低減によるCO₂などの環境負荷低減を検証した。

開発した輸配送計画システムは、拠点間、拠点と配送先間、配送先間の距離や配送時間は固定値としているが、実際の配送では道路状況により変動している。今後は、緊急の集荷指示、途中の道路工事や渋滞情報をもとに、動的に配送距離、配送時間、配車配送計画を修正し、運転手に変更指示を行うことにより効率向上を図る輸配送計画システムの研究を進めていきたい。

参考文献

- 1) 谷口栄一, 根本敏則: シティロジスティクス 効率的で環境にやさしい都市物流計画論, 森北出版, 2001
- 2) 岸野清孝, 石田康, 井上春樹, 外: トラック運行管理ASPによる業務向け交通情報サービスの開発, 計測自動制御学会産業論文集, vol.2, No.7, pp.49-58, 2003
- 3) 井上春樹: サプライチェーン実行システム, リックテレコム, pp.53-68, 2000
- 4) 中嶋健治, 真山紀: 対称TSPの最速改善法, 日本物理学会講演概要集, 56-1, Part2, 2001
- 5) 井上春樹, 岸野清孝, 外: 人工生命, 同文書院, pp.218-242, 2002
- 6) 井上春樹, 船生 豊, 外: セルGA法と2-opt法を適用した大規模実時間配送計画システムの開発, 計測自動制御学会産業論文集, Vol.3, No.11, pp.80-90, 2004
- 7) (株)日立製作所: 次世代GISモデル事業 並列コンピュータと進化アルゴリズムを駆使したサプライチェーン最適, 日経情報ストラテジー, 1999