



グローバルサプライネットワークにおける最適拠点 配置設計に関する研究

古賀, 康隆

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2016-09-25

(Date of Publication)

2018-09-25

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第6748号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1006748>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



神戸大学博士論文

グローバルサプライネットワークにおける
最適拠点配置設計に関する研究

平成 28 年 7 月

神戸大学大学院システム情報学研究科

古賀康隆

目次

第 1 章 序論	2
1.1. 研究背景	2
1.2. 先行研究	3
1.2.1. コスト基準の拠点配置設計に関する研究	3
1.2.2. 在庫を考慮した拠点配置設計に関する研究	4
1.2.3. リスクを考慮した拠点配置設計に関する研究	5
1.2.4. ロジスティクスネットワークモデル	5
1.2.5. 先行研究調査まとめ	7
1.3. 研究の方針	8
1.4. 本論文の構成	9
第 2 章 近似的コストモデルによる初期段階の最適製造拠点設計手法の提案	10
2.1. 緒言	10
2.2. 近似的コストモデルを使った最適拠点配置決定問題の定義	10
2.2.1. 解決すべき課題	10
2.2.2. モデル化	10
2.2.3. 定式化	12
2.2.4. リスクの評価	14
2.3. 数値実験	17
2.3.1. コスト評価実験条件	17
2.3.2. コスト評価実験結果	31
2.3.3. 為替変動リスク評価実験	32
2.3.4. 人件費高騰リスク評価実験	33
2.3.5. 複数工場配置候補都市の選択	34
2.4. 結言	35
第 3 章 設計初期段階における在庫増加リスク評価モデルへの拡張	37
3.1. 緒言	37

3.2. なぜ在庫を考慮した拠点配置設計が必要なのか	38
3.3. 在庫を考慮した最適拠点配置決定問題の定義	40
3.3.1. 在庫金額を考慮したモデル化	40
3.3.2. 定式化	42
3.4. 数値実験	43
3.4.1. 実験条件	43
3.4.2. 実験結果	46
3.4.3. 実務適用に向けた考察	56
3.5. 結言	56
第4章 近似的コストモデルの複数品種化による実務適用	57
4.1. 緒言	57
4.2. 実ビジネスの課題への提案手法適用方法概要	57
4.3. 配送センター選択問題の定義	58
4.3.1. サプライネットワークの定義	58
4.3.2. 定式化	60
4.4. 提案手法の適用	62
4.4.1. 評価対象輸送ルート	62
4.4.2. 入力データの設定	63
4.4.3. 評価結果	73
4.5. 結言	81
第5章 結論	83
参考文献	86
本研究に関する発表	90
謝辞	91

图 目 次

Fig. 1-1 Typical supply network model in strategic design level	6
Fig. 1-2 Typical supply network model in operational level	6
Fig. 2-1 Supply network model from factory to market	12
Fig. 2-2 Supply chain cost structure for numeric experiments	17
Fig. 2-3 Flow chart showing the data setting procedure for experiments	18
Fig. 2-4 Factory candidates and market map	19
Fig. 2-5 Flow chart showing the data setting procedure for purchasing price of materials	22
Fig. 2-6 Correlation result between sea transport distance and cost	27
Fig. 2-7 System block chart for the numeric experiments	31
Fig. 2-8 Trend graph of last three years exchange fluctuation	33
Fig. 2-9 Labor cost sudden rise risk evaluation result	34
Fig. 3-1 Chart of relation between inventory and working capital of manufacturers	38
Fig. 3-2 Inventory built-up cause and effect diagram	38
Fig. 3-3 Human errors in inventory control activities	39
Fig. 3-4 Inventory amount model	41
Fig. 4-1 Two echelon and multi-commodity supply network	59
Fig. 4-2 Modified supply network chart by using Route	59
Fig. 4-3 Transportation model for evaluation by using $Route_j$	60
Fig. 4-4 Modified transportation model by using $Route_j$ and $Customer_Model_i$	60
Fig. 4-5 Transporting routes for the evaluation	62
Fig. 4-6 Flow chart showing the data setting procedure for evaluation	63
Fig. 4-7 Flow chart showing the procedure of arranging demand data	64
Fig. 4-8 Flow chart showing the procedure of arranging ware house fee data	65
Fig. 4-9 Flow chart showing the procedure of arranging shipping cost data	67

Fig. 4-10 Flow chart showing the procedure of arranging truck transport cost data	70
Fig. 4-11 Allocated customers map to 3 DC	75
Fig. 4-12 Allocated customers map to 6 DC	79

表 目 次

Table 1-1 Information which is not available or available at strategic design level.....	3
Table 1-2 Summary of literature review	7
Table 2-1 Sample of sales target for each market	20
Table 2-2 Sample of parts purchasing price list	23
Table 2-3 Distance between each harbor (excerpt).....	24
Table 2-4 Distance between each city and the nearest harbor	25
Table 2-5 International sea container fare chart (by truck)	26
Table 2-6 Sample of transport cost (excerpt).....	28
Table 2-7 Sample of manufacturing cost and material cost	30
Table 2-8 Tariff rate of motif product (excerpt)	31
Table 2-9 Result of finding minimum cost location ($Q=1$)	32
Table 2-10 Calculation time	32
Table 2-11 Calculation results of cost evaluation under exchange fluctuation.....	33
Table 2-12 Result of finding minimum cost location ($Q=2$)	35
Table 2-13 Result of finding minimum cost location ($Q=3$)	35
Table 3-1 Condition of numeric experiments	44
Table 3-2 Markets' demand and factory candidates	45
Table 3-3 Results of each experiment (summary)	48
Table 3-4 Result of experiment number 1 (in details)	49
Table 3-5 Result of experiment number 2 (in details)	50
Table 3-6 Result of experiment number 3 (in details)	51
Table 3-7 Result of experiment number 4 (in details)	52
Table 3-8 Result of experiment number 5 (in details)	53
Table 3-9 Result of experiment number 6 (in details)	54
Table 3-10 Result of experiment number 7 (in details)	55

Table 4-1 Warehouse fee for each DC	65
Table 4-2 Warehouse fee for each product.....	66
Table 4-3 40 feet container and standard palette dimension.....	68
Table 4-4 Transport fee from S&E Asia factory to each DC by container and palette.....	68
Table 4-5 Shipping cost for each product from S&E Asia factory to each DC	69
Table 4-6 Sample of transport cost table by truck.....	72
Table 4-7 Condition for each evaluation	73
Table 4-8 Result of evaluation 1 (Allocated pallet quantity to each DC)	74
Table 4-9 Allocated result of Kanto area customer by quantity on a pallet in evaluation 1	76
Table 4-10 Sample of different DC allocation to same destination .	77
Table 4-11 Sample of total cost comparison of different DC allocation	77
Table 4-12 Result of evaluation 2 (Allocated pallet quantity to each DC)	78
Table 4-13 Allocated result of Kanto area customer by quantity on a pallet in evaluation 2	80
Table 4-14 Sample of total cost comparison of different DC allocation	81

第1章

序論

1.1. 研究背景

日本市場の縮小と新興国市場の拡大により、グローバル市場への製品供給拡大は、日本の製造業者にとって重要な生き残り戦略となっている。しかしながら、製品供給先が増加するほどサプライネットワークは複雑になり、価格競争の激化は、安い労働コストが得られる国々への製造拠点の移行と生産効率改善を目的とする拠点配置の再編成を加速させている。このような環境の中で、製造拠点の最適配置設計技術が、これからのサプライネットワーク設計にますます不可欠になると考えている。

サプライネットワークの拠点配置設計は戦略設計レベルとオペレーショナル設計レベルに分けられる [1]。昨今の ICT 技術や様々な SCM (Supply Chain Management) 研究によりオペレーショナル設計レベルは高度化され、実務でも数理的最適化技術が適用されるようになってきている。一方で、戦略設計レベルは不確定な要素が多く、実務の中では属人的になる傾向がある。例えば、安い労働コストが得られる国で製品を生産し、日本国内だけでなく複数の海外市場に製品を販売していくアイデアが出されたとする。この後、このアイデアを具体化して行くことになるが、モノづくり企業にとって重要視されるのが、何処で製品を作るのか（拠点配置設計）である。この段階から製品供給のための拠点配置設計に移行するには、実務に合った状況を考慮しなければならない。このような段階での拠点配置設計実務をサポートしてきた筆者らの経験から、知り得る限定された情報、知り得ない情報の例を Table 1-1 に示す。それら以外にも一般的にインターネット上で公開されている情報や過去の経験に基づいて推定できる数値など、全ての条件で共通に設定できる仮定数値を使うことが想定される。

更に、拠点配置設計での意思決定基準は、損益を左右するコスト基準とキャッシュフローを決定する在庫金額基準である。黒字倒産で象徴的に語られるが、コストさえ最小であれば良いわけではなく、限られた運転資金を有効に活用できる在庫金額を維持できる拠点配置を示す必要性が高いのである。

ここで、現状実務を見ると知り得る情報を十分に活用して拠点配置を決定している場合は少ない。往々にしてあるのは、設計担当者が良く知っている国や都市を並べての比較や関係会社の事例調査の比較など、一部に偏った一次選定を実施してしまった後に詳細評価に入る例である。これでは、グローバルビジネスへ拡大する重要な意思決定プロセスに欠

陥が生じ、ビジネスそのものを台無しにしてしまう恐れも出てくる。このようなサプライチェーン戦略設計段階で、知り得る情報を有効活用した拠点配置設計ができていないために、「この工場は本当にここに建てて良かったのか?」といった質問に対して意思決定基準に基づいた明確な答えを返すことができない。この問いに明確に答えられる手法を示すことがビジネス上の課題である。

Table 1-1 Information which is not available or available at strategic design level

Available	Not available
• Target of sales quantity by each market (market strategy) • Number of controllable factory by the head quarter (manufacturing strategy) • Maximum capacity of a factory (manufacturing strategy) • Rough assembling workload per a product • Rough manufacturing workload per main parts • Rough rate of raw material for main parts • Purchasing price of raw material • Transport fee per container • Standard wages • Energy basic rate • Tariff rate • Insurance rate for transport	• Customer's address • Factory candidate address • Factory candidate's line layout • Variety of products • Assembling workload by each product • Bill of material • Distribution center address • Max capacity of distribution center

1.2. 先行研究

1.2.1. コスト基準の拠点配置設計に関する研究

拠点配置問題の研究では、拠点配置の特定の現象を定量評価する研究や、拠点配置全体を定量評価する研究、長期の拠点配置や拠点の能力配分を検討する研究などが行われ、更に多くの研究のまとめやレビューがなされている [2] [3] [4] [5] [6]。

特に SCM が一種のブームとなった 2000 年前後には欧米企業による研究が多くなされている。実ビジネスに適用する目的で、シンプルなツールを使いながら現状拠点をベースに在庫の位置や製品のローカライズ位置をモデル化し、独自の指標でサプライチェーンを分

析評価した事例を紹介している研究がある [7] [8]. しかしながら, その手法や数理的なモデル化に関して詳しく言及されたものではなかった. 更に実際のビジネスにおけるデジタルカメラの供給をモチーフに, 安全在庫の様な特殊なメトリックをサービスタイムという概念の数理モデルに展開し, 拠点配置案を評価した研究がある [9]. 拠点配置全体を定量評価する研究では, 拠点配置の初期段階におけるインタビューに基づいて, 新しい拠点配置案を一つの共通指標で評価した例がある [10]. 長期的な視点での拠点配置や拠点の能力配分を検討する研究では, 拠点候補に対して, ある需要や売価予測において, 利益最大化とコスト最小化を実現する最適な拠点へ生産能力を配分した [11] [12]. 第一次産業など機器製造以外の分野への適用研究もある [13] [14].

複数品種 (multi-commodity) で多階層 (multi-echelon) な複雑なサプライネットワークに対して, それを構成するノードに能力制約を持たせ, コスト基準による拠点配置選択問題に取り組んだ研究がある [15] [16] [17]. この先行研究では, サプライネットワークを, あるプラントから配送センターを介して複数の顧客や市場に供給するモデルとしている. この場合のサプライネットワークを構成するノードとしてのプラントや配送センターは, 詳細な座標情報とルート情報を有している. その中で, バイナリ変数を用いて有効となる配送ルートを決出し, コスト最小となるルートの組合せを, 市販ソルバーを使って選択する手法 (混合整数計画法) はこの分野では代表的な手法である. この研究では, 一定期間の平均値などを使って評価を行う静的な評価が行われたが, 更に時間軸上で変動する需要をダイナミックに捉え, 能力制約のある製造拠点と配送センターを介して顧客に多品種の製品を供給する拠点配置問題で, 在庫保有コストを考慮した評価モデルを構築した研究がその発展形として報告されている [18] [19] [20] [21].

このように, 先行研究はサービスレベルの様な指標比較にとどまるか, 数理的な複雑さに焦点が当たっているため, それらの手法は定性的すぎているか複雑すぎていて, サプライチェーン戦略設計の初期段階における実ビジネスにそのまま適用するには, 困難な問題を抱えていた.

1.2.2. 在庫を考慮した拠点配置設計に関する研究

実ビジネスに適用することを目的とするならば, コストだけでなく在庫を考慮する必要がある. 昨今のキャッシュフロー経営で唱えられているように, キャッシュを生み出すためには在庫金額を小さく抑える必要がある. ビジネスがグローバル化すると必然的に製品の輸送リードタイムが長くなり在庫量が増加してしまうため, 拠点配置設計でも在庫を考慮する必要が出てくる.

在庫を考慮した初期の拠点配置設計研究は, 在庫コストを最小化するモデルを構築しているが, 在庫コストモデルが詳細化されたものではなかった [22]. サプライネットワーク内の在庫を詳細にモデル化したものでは, 安全在庫をメトリックとして使い既存の拠点

配置案に対して適正な生産方式を評価選択する研究 [9] や、固定費の合計と輸送費用合計の他に、在庫保持経費と安全在庫などを保有するための経費を組み込んでサプライネットワークトータルコストモデルを構築した研究 [23]、ロジスティクスネットワークデザインの中に、倉庫の在庫量に応じた倉庫での変動費を考慮したモデルを提案した研究 [24] 実ビジネスにおいて独自の在庫マネジメントツールを開発し活用した事例 [25] などが挙げられる。このように在庫を考慮した先行研究においても、より複雑で詳細なサプライネットワークの評価が重要視されており、戦略設計レベルでの運営可能な在庫金額を考慮した拠点配置問題に関する研究はほとんどなされていない。

1.2.3. リスクを考慮した拠点配置設計に関する研究

グローバルなサプライネットワークにおいて発生するリスクに関する研究もなされている。サプライネットワークのリスクは、日常発生する定常的リスクと、滅多に起きないが影響の大きい非定常的リスクに分類できる [26]。定常的リスクは為替変動、人件費高騰、需要変動、供給リードタイム変動などが挙げられ、非定常的なリスクは自然災害、戦争などの他に急激な為替変動などが挙げられる。

この中で定常的なリスクを回避する手法として、需要変動予測のために必要な情報をサプライネットワーク全体で共有する CFRP (Collaborative, Planning, Forecasting, Replenishment) [27]、部品供給元が需要変動を見越したバッファとなる在庫を補充管理する VMI (Vendor-Managed Inventory) [28] [29] などが開発されている。また、需要を満たしながら調達計画を立案する、シミュレーションを活用した研究 [30] [31] [32] もなされ、実ビジネスでも活用されている。また、定式化によって数理的に利益最大・リスク最小の解を求めるアプローチもなされている [33] [34] [35]。しかし、それらの多くはオペレーショナル設計レベルでの研究であり、戦略設計レベルで定常的なリスクを考慮した研究はほとんどなされていない。

1.2.4. ロジスティクスネットワークモデル

本研究におけるモデル化の基本となる、一般的なロジスティクスネットワークモデルについて説明する。ロジスティクスに関する定義は様々あるが、本論文の中ではモノ（製品や部品）が市場に供給される流れとする。ロジスティクスネットワークモデルとはモノの流れをネットワークとして示したモデルである。ロジスティックネットワークモデルの図は、基本的に点と線または矢印で描かれる。点はモノが生産されたり貯蔵されたりする拠点を示し、点と点を結ぶ線または矢印は輸送されるなどして拠点間を移動する流れを示している。サプライチェーンネットワークは、このロジスティクスネットワークに対して、点に工場や配送センター、矢印に輸送方法や輸送時間などの属性を持たせたものと考えられる。

サプライネットワークの拠点配置設計における戦略設計レベルとオペレーショナル設計レベルでは、対象とするサプライネットワークモデルのイメージが違っている。戦略設計レベルでは広範囲で概略的なサプライネットワークモデルであり、オペレーショナルレベルではより詳細なモデルとなる。そのそれぞれの段階での粒度の違いを Fig. 1-1 と Fig. 1-2 で示す。

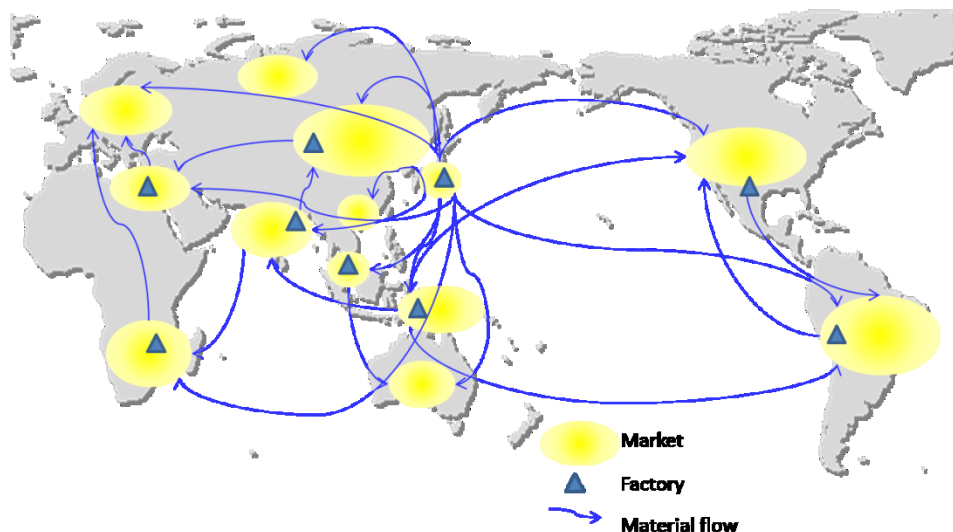


Fig. 1-1 Typical supply network model in strategic design level

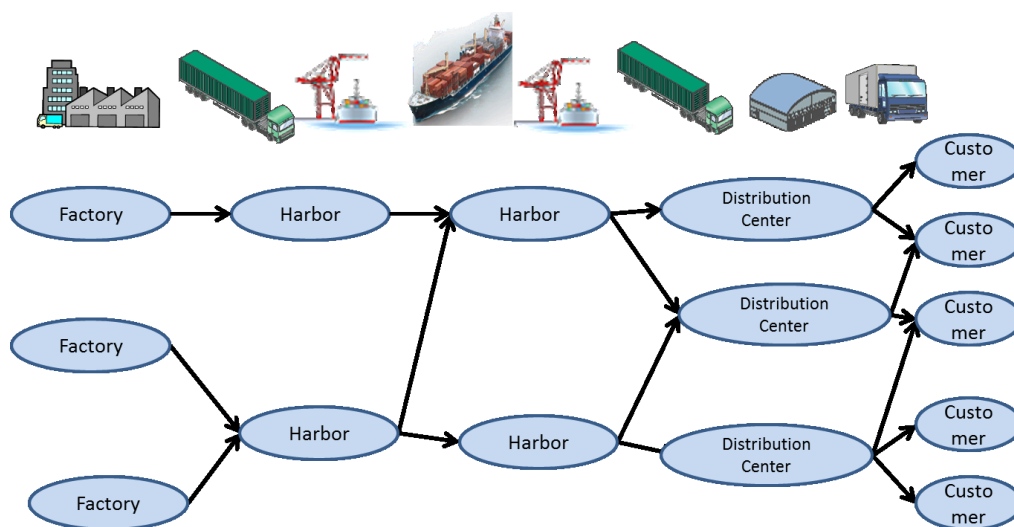


Fig. 1-2 Typical supply network model in operational level

Fig. 1-1 と Fig. 1-2 を見て分かるように、拠点配置問題といっても、戦略設計レベルではマクロ的な見方でどこに拠点を配置すればよいかを検討する必要があり、オペレーショナルレベルでは顧客の所在地などを考慮しながら配送センターの位置や詳細の配送ルートなどを検討していく必要がある。オペレーショナルレベルでの輸送経路の最適化研究事例は多くある [36] [37] [38] が実務レベルで使いこなすには複雑な事例が多い。

1.2.5. 先行研究調査まとめ

ここで先行研究調査の中の代表的な研究と,そのサプライネットワークモデルの構成要素および特徴に関して整理した結果を Table 1-2 にまとめる. これらの先行研究は, サプライネットワークモデルの複雑化への追及が中心となり, サプライネットワーク戦略設計の初期段階における戦略設計レベルでの知りえる情報の少なさや, キャッシュフロー視点での在庫金額のモデル化にはほとんど目が向けられていないことが分かる.

Table 1-2 Summary of literature review

	Inventory	Multi- echelon	Multi- commodity	Multi- period	Capacitated	Characteristic
P.Thanh et al. 2012 [24]	×	○	○	○	○	DC programing
M. Boujelben et al, 2014 [37]	×	○	×	×	○	Delivery penalty
T. Miller and R. Matta 2008 [40]	×	○	○	×	○	Profit maximization
H. Pirkul and V. Jayaraman 1998 [15]	×	×	×	×	○	Lagrangian relaxation
Y.Hinojosa et al. 2000 [16]	×	○	○	○	○	Lagrangian relaxation
E. Sabri and M. Beamon 2000 [1]	Cost	○	○	×	○	Integration of strategic and operational levels
H. Romeijn et al. 2007 [23]	Cost	○	×	○	○	Replenishment of inventory at operational level
Y.Hinojosa et al. 2008 [21]	Cost	○	○	○	○	Cost minimization at operational level

1.3. 研究の方針

研究背景で述べたビジネス上の課題に対して明確に答えるために、先行研究調査を踏まえて明らかにしなければならない研究課題を2点挙げる。1点目は、サプライネットワーク戦略設計初期段階での知りえる情報を使って、意思決定基準の一つであるコスト最小となる拠点配置の決定手順を明確化することである。2点目は限られた運転資金で運営可能な在庫金額を維持しながらコスト最小となるサプライネットワークを提案できるモデルを確立することである。Table 1-2に示すように、先行研究では在庫に対して在庫保有コストに関しては評価の対象としていたが、運転資金以下の在庫金額を維持するというキャッシュフロー起点の意思決定の基準に比べられるものはなかった。実務でその都度発生する課題に、研究を進める上で想定した課題がそのまま当てはまるものは少ない。本研究で提案する手法の適用範囲を広げることも想定し、実務で発生した課題への適用を試みる必要がある。そこで、ビジネス上の課題解決への提案をするために、次の様なステップを踏み研究を進めた。

ステップ1：初期段階での市場戦略と生産戦略に関わる情報と概略の製品情報、および一般的に入手可能なコスト情報を使って、数理的に最適な拠点配置を決定する手法を明確化する。先行研究を参考に、実務適用に適した簡略化したグローバルサプライネットワークモデルを定式化し、数理的最適化手法を適用することで最適拠点配置を求める。戦略設計レベルで知りえる情報から数理的最適化手法を適用できるグローバルサプライネットワークモデルを作り上げることが目標である。そこで、グローバルサプライネットワークモデルはコスト基準とし、このステップでは在庫金額を考慮しない。また、この時点で評価可能なリスク評価を実施する。この研究によって、1点目の研究課題を解決するための提案を行う。

ステップ2：ステップ1において構築した、戦略設計レベルのグローバルサプライネットワークモデルに対して、本研究の特徴であるコストと在庫金額を同時に評価できるモデルに拡張することが目標である。コストと在庫金額の両方を考慮できる拡張モデルを使って数理的最適化手法による最適拠点配置を求める。また、在庫金額を同時に評価できるようになったことで評価可能になるリスク評価を実施する。この研究によって、2点目の研究課題を解決するための提案を行う。

ステップ3：実際に筆者らが直面した、工場→配送センター→顧客の輸送ルートでの顧客要求の最適配送センター配分問題に対して、ステップ2までに構築してきたサプライネットワークモデルと最適拠点配置設計手法の活用を試みる。この問題に本手法を活用するために、複数品種にも対応できるモデルに拡張する。その上で、最適配送センター配分問題を解き、得られた結果の検証を行う。

これらのステップで得られた結果を使い、ビジネス上の課題解決につながる手法として

提案を行う。

1.4. 本論文の構成

本論文では、第2章以降を以下のように構成する。

第2章では、研究方針ステップ1の内容を数値実験結果と共に詳細に説明する。一般的なロジスティクスネットワークモデルを参考に、研究対象としている戦略設計初期段階に知り得る情報でも数理的なコスト基準の最適解が求められる、近似的なグローバルサプライネットワークモデルを構築する。その上で、実務で対面すると思われる製造拠点配置決定問題の数値実験を行う。また、基本モデルで幾つかのサプライネットワークのリスクを考慮した数値実験を行う。まとめとして1点目の研究課題の解決策を提案する。

第3章では、研究方針ステップ2の内容を数値実験結果と共に詳細に説明する。コストと在庫金額を同時に評価できるグローバルサプライネットワーク拡張モデルを構築する。更に在庫金額を考慮したモデルでの数値実験を行う。最後に数値実験の結果を考察し、在庫を考慮することで、運転資金以下でコスト最小の製造拠点配置の選定ができることを示す。更に、コスト基準だけでは評価できなかったサプライネットワークリスクを考慮できることを示す。まとめとして2点目の研究課題の解決策を提案する。

第4章では、筆者らが実際に直面した、戦略設計初期段階を経た場面に対し、実データを使った最適配送センター配分を求める。実データを実験用ツールに入力できるように加工する方法、実験用ツールが出した解の実務への有効性を確認する。

第5章では、結言として本研究で得られた成果を要約し、ビジネス上の課題に対してどのように答えられるのかを示す。更に今後の課題を述べる。

第2章

近似的コストモデルによる初期段階の最適製造拠点 設計手法の提案

2.1. 緒言

サプライネットワークの戦略設計レベルにおける拠点配置設計では、Table 1-1 に示したように詳細の情報が明らかでない中、市場戦略（どの市場にどの程度商品を販売するか
の目標値）と生産戦略（生産能力上限と製造拠点数）に対し、トータルコストを最小に抑
えられる生産拠点配置を決定する。実務に適用することを考えたとき、すぐに現存するグ
ローバルサプライネットワークを思い浮かべ、複雑なシステムを考えてしまいがちになる。
しかし、先行研究調査で感じているように、複雑で詳細なモデルが実務適用への壁となっ
ていたため、単純化したサプライネットワークモデルにすることが我々の提案となる。

2.2. 近似的コストモデルを使った最適拠点配置決定問題の定義

2.2.1. 解決すべき課題

初期段階での市場戦略と生産戦略に関わる情報と概略の製品情報、および一般的に入手
可能なコスト情報を使って、数理的に最適な拠点配置を決定する手法を明確化することが
解決すべき課題である。最適な拠点配置とは、製品を製造し各市場に供給するに至る過程
で考慮しなければならない各種の制約の中で、トータルのコストが最小となる拠点配置と
定義する。更に、この時点で考慮可能なリスクを評価する必要もある。リスクをコストへ
の影響度合いとしてどのように評価するかも、包含された課題と考えられる。これらの課
題を解決するために、コスト基準のサプライネットワークモデルを構築し、コスト最小の
拠点配置を数理的に求める手法を明らかにする。

2.2.2. モデル化

少ない情報量の初期段階におけるコスト最小の拠点配置を数理的に求めるための、近似
的サプライネットワークモデルについて述べる。この段階の市場戦略は、製品を供給する
市場としての地域と地域ごとの年間売上目標となっている。また、供給する製品の種類が
決まっていないため、品種の構成を考慮した評価は困難である。実際の市場ロケーション
は、ある広さを持ったエリアであるが、都市の中心位置で近似する。同様に、製造戦略に
おける工場のロケーションもその候補都市の中心位置で近似する。工場には製造能力に上

限があり，コントロールできる工場数にも上限を持たせるが，この数値も人間が経験上想定できる上限値を使用する．更に，各工場では想定した平均リードタイムで製造ができるものとする．サプライネットワークを構成する，工場から市場までの 1 本のサプライチェーンでは，工場に必ず 1 か所の最寄りの輸出港があり，工場から輸出港までの陸送では工場候補都市の中心位置から最寄りの港の中心位置までの陸路を走行し，輸出港から船便で製品を輸出する近似を行う．市場となる都市にも必ず 1 か所の最寄り港があり，そこで陸揚げされて市場となる都市に陸送する場合も同様の近似を行う．ここで，都市や港の中心位置は，Web サービスの google map [39] の検索行に，都市名または港名のみを入力し検索ボタンをクリックした時に選択されるポイントとする．輸送能力は上限を設けず，市場での年間販売台数は想定された平均リードタイムで輸送可能とする．グローバルなサプライネットワークの設計を前提とするため，トータルコストの中に，関税を考慮する項を設ける．ロジスティクスネットワーク設計の先行研究 [24] では配送センターの配置決定が注目されているが，戦略設計レベルの初期段階では配送センターの詳細位置は不明であるうえに，実際のグローバル輸出入では製造拠点や輸出入港近隣に設置されるため，港の中心位置と同じ位置にあると考え近似のためにサプライネットワークモデルから省く．

これらの要件を考慮すると，想定する段階でのサプライネットワークモデルは，Fig. 2-1 に示すようにかなりシンプルな構造になる．製品の供給ルートは，製造拠点が立地する都市と市場としての都市を結ぶ形になる．製造拠点は最大生産能力で制約を受け，単一種類の製品を市場に供給する形になる．つまり，対象とするサプライネットワークモデルは，1 階層で単一機種の CPLP (Capacitated Plant Location Problem) とすることができる．また市場戦略や生産戦略は年間の販売目標数量となるため，ここでは一定期間の平均値を使った静的な評価をすることになる．このように，サプライネットワークモデルを近似的なモデルとすることで，研究対象とする初期段階でも収集可能なデータを入力として，通常の数理計画による最適化と同じように解を得ることができる．ビジネスのステップに合致させた単純なサプライネットワークモデルを適用し，数理計画による最適化を容易に活用できるようにした所が本研究の特徴である．

ここで，拠点配置問題のネットワークモデル表記に使用する記号を以下に示す．

i : 市場のインデックス ($i=1, \dots, I$)

j : 工場のインデックス ($j=1, \dots, J$)

x_{ij} : 工場 j から市場 i への年間製品供給数量 (千個/年)

Avl_j : 工場 j 使用の場合 1, それ以外 0

Cap_j : 工場 j の生産能力 (千個/年)

D_i : 市場 i の販売目標 (千個/年)

Q : 運営可能な工場数

Fig. 2-1 に示すように，工場 j が決まると海上輸送における出発港が一意に決まり，市

場 i が決まると海上輸送における到着港が一意に決まる構造で、それぞれの輸送コストは陸上輸送と海上輸送の合計コストになる．バイナリ変数 Avl_j で使用する工場が決定し、 Cap_j で工場 j の年間生産能力を制約する． D_i は市場 i への年間の製品供給数量目標で想定上の市場需要と考える．運営可能な工場数 Q は最適解探索での制約に用いる．

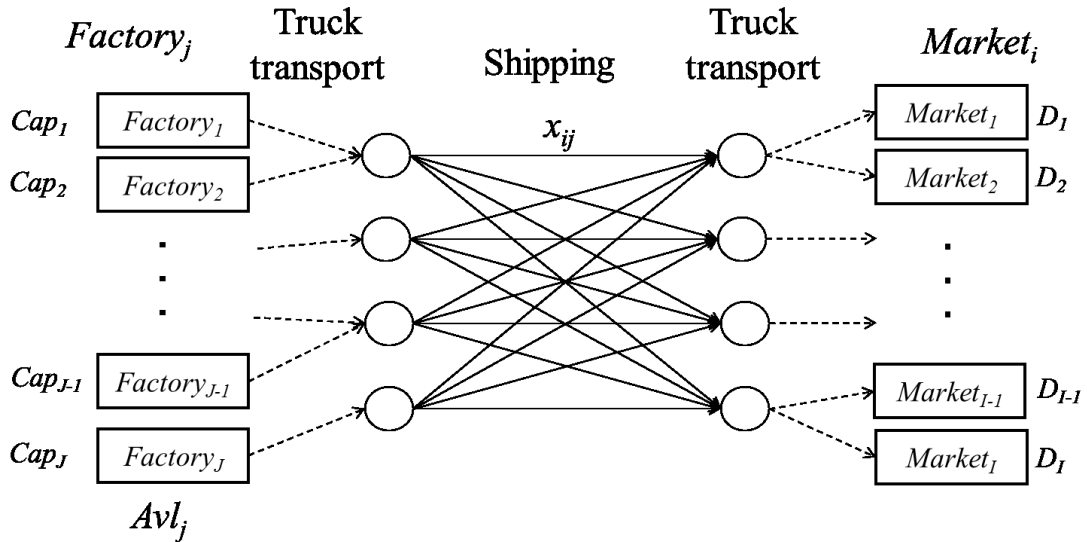


Fig. 2-1 Supply network model from factory to market

2.2.3. 定式化

グローバルサプライネットワークの拠点配置設計で、特徴的なコスト項目は関税である．グローバルサプライネットワークでの利益最大化と輸送価格決定の研究 [40] では、関税をコストモデルに追加して、グローバルサプライネットワークでの利益最大化モデルを構築した．我々もこれと同様にコストモデルには関税を組み込み、更に輸送中の保険料も組み込んだ形で、グローバルサプライネットワークの拠点配置設計に対応させる．コストモデル表記に使用する記号を以下に示す．

$TCost$: 対象とするサプライチェーンで必要とされるトータルコスト （基準通貨単位/年）

$MCost$: 対象とするサプライチェーンにおける変動費合計 （基準通貨単位/年）

$FCost$: 対象とするサプライチェーン全体の工場を運営する上で必要な固定費合計 （基準通貨単位/年）

$Cost_{ij}$: 工場 j から市場 i へ供給する製品単体での全変動費 （基準通貨単位/個）

$FixC_j$: 工場 j の基準通貨での固定費 （基準通貨単位/年）

$FixLC_j$: 工場 j の現地通貨での固定費 （現地通貨単位/年）

$OutTrif_{ij}$: 工場 j から市場 i への輸出税率

$TransC_{ij}$: 工場 j から市場 i への輸送コスト （基準通貨単位/個）

$TransLC_j$: 工場 j から工場 j の最寄り港への陸上輸送コスト (現地通貨単位/個)

$TransSC_{ij}$: 工場 j の最寄り港から市場 i の最寄り港への海上輸送コスト (基準通貨単位/個)

$TransLC_i$: 市場 i の最寄り港から市場 i への陸上輸送コスト (現地通貨単位/個)

$TrnsIns_{ij}$: 工場 j から市場 i への輸送保険料率

$InTrif_{ij}$: 工場 j から市場 i への輸入税率

$ProdC_j$: 工場 j での材料コスト (基準通貨単位/個)

$MfgC_j$: 工場 j での製造する作業コスト (現地通貨単位/個)

$MngF_j$: 工場 j での製造管理コスト比率

$PurC_{nj}$: 工場 j での調達部材 n のコスト (現地通貨単位/個)

E_j : 工場 j が立地する国での現地通貨の対基準通貨為替レート

E_i : 市場 i が立地する国での現地通貨の対基準通貨為替レート

n : 部材のインデックス ($n=1, \dots, N$)

コストモデルを式に表すと以下の様になる.

$$TCost = MCost + FCost \quad (2.1)$$

$$FCost = \sum_j^J (FixC_j \times Avl_j) = \sum_j^J (FixLC_j \times E_j \times Avl_j) \quad (2.2)$$

$$MCost = \sum_i^I \sum_j^J Cost_{ij} = \sum_i^I \sum_j^J (Cost_{ij} \times x_{ij}) \quad (2.3)$$

$$Cost_{ij} = \{ProdC_j \times (1 + OutTrif_{ij}) + TransC_{ij}\} \times (1 + TrnsIns_{ij}) \times (1 + InTrif_{ij}) \quad (2.4)$$

$$ProdC_j = (\sum_n^N PurC_{nj} + MfgC_j) \times E_j \times (1 + MngF_j) \quad (2.5)$$

$$TransC_{ij} = TransLC_j \times E_j + TransSC_{ij} + TransLC_i \times E_i \quad (2.6)$$

式(2.1)は, トータルコストが変動費合計と固定費合計の和であることを示す.

式(2.2)は, 固定費は使用される工場の固定費の合計であり, 工場の立地する現地通貨での固定費と対基準通貨為替レートとの積で基準通貨での固定費になる事を示す. 式(2.3)は, 変動費が工場 j から市場 i への製品単体での全変動費と工場 j から市場 i への年間製品供給数量の積であることを示している.

式(2.4)は, 工場 j から市場 i へ供給する製品単体での全変動費の算出式を示している. 製品単体での全変動費 $Cost_{ij}$ は, その製造コストと輸出税, 輸送コスト, 輸送保険料, 市場 i への輸入税の合計から構成される. 式(2.5)は, 製品単体の製造コストを示しており, 製品単体で使用する N 種類の部材のコスト合計とオペレーションコスト (どちらも工場が位置する都市で使われている現地通貨でのコストと対基準通貨為替レートとの積) から構成されることを示している. 式(2.6)は, 工場から最寄りの港までの工場が位置する都市で使われている現地通貨での輸送費と対基準通貨為替レートとの積, 基準通貨での海上輸送費および市場の最寄りの港から市場までの市場が位置する都市で使われている現地通

貨での輸送費と対基準通貨為替レートとの積の合計で求められることを示している．ここで、運営可能な工場数を Q としてコスト基準の最適拠点配置問題を定式化する．

目的関数は式(2.7)のようになる．

Minimize

$$\sum_i^I \sum_j^J Cost(x_{ij}) + \sum_j^J (FixC_j \times Avl_j) \quad (2.7)$$

制約は、以下の式で表わされる．

$$\sum_j^J x_{ij} = D_i \quad \forall i \quad (2.8)$$

$$\sum_j^J Avl_j \leq Q \quad (2.9)$$

$$\sum_i^I x_{ij} \leq Cap_j \times Avl_j \quad \forall j \quad (2.10)$$

$$Avl_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (2.11)$$

式(2.7)で示すように、対象とする全サプライチェーンでのトータルコストを最小とすることが目的となる．式(2.8)では、各市場への販売目標値が工場からの供給数量で満たされることを示している．式(2.9)では、運営可能な工場数以下の工場を運営できることを示している．式(2.10)では、工場の年間生産台数は製造能力を越えられないことを示している．式(2.11)は、工場の稼働状態は0（非稼働）または1（稼働）であることを示している．

上記目的関数と制約を使った最適解探索は、次の様な手順を経て実施する．コスト最小の工場を探索するために、各製造拠点候補都市のコストデータ、全ての輸送ルートの輸送コストデータを事前に計算しコストデータテーブルを作成する．次に市場都市での販売台数データテーブルを作成する．更に運営可能な工場数や工場の生産能力上限などの制約を記述した制約データテーブルを作成する．その後、用意したデータを使って市販ソルバーである CPLEX に混合整数計画問題を解かせ、その計算結果を取得することで、コスト最小な工場配置を得る．

2.2.4. リスクの評価

リスクの評価は、最適解探索結果を得てから実施する．一般的なサプライネットワークでのリスクは、為替変動、人件費高騰、その他経済環境の変化、自然災害、戦争などが挙げられる．これらの中で、トータルコストの変化として数値評価可能なリスクは為替変動と人件費高騰である．そこで、我々はリスク評価の対象として、為替変動と人件費高騰を選定した．我々がモデル化した拠点配置問題では、1回の計算で複数の為替情報を扱うことができない．そこで、時間軸上の為替変動をサンプリングインターバルで都度捉え、各サンプリングでの為替を使ったトータルコストを算出できるようコスト計算式を拡張する．その上で各タイミングでのトータルコストのバラツキを統計的に評価する．為替変動

リスク評価に使用する記号を以下に示す.

tk : コスト情報を取得するインターバル ($k=1,2,\dots,K$)

$TCost_{tk}$: tk 期間における為替平均の場合のトータルコスト (基準通貨単位)

$MCost_{tk}$: tk 期間における対象とするサプライチェーンにおける変動費合計 (基準通貨単位)

$FCost_{tk}$: tk 期間における対象とするサプライチェーン全体の工場を運営する上で必要な固定費合計 (基準通貨単位)

$Cost_{tkij}$: tk 期間における工場 j から市場 i へ供給する製品単体での全変動費 (基準通貨単位/個)

$FixLC_{tkj}$: tk 期間における工場 j の固定費 (現地通貨単位)

$OutTrif_{ij}$: 工場 j から市場 i への輸出税率

$TransC_{tkij}$: tk 期間における工場 j から市場 i への輸送コスト (基準通貨単位/個)

$TransLC_{tkj}$: tk 期間における工場 j から工場 j の最寄り港への陸上輸送コスト (現地通貨単位/個)

$TransSC_{tkij}$: tk 期間における工場 j の最寄り港から市場 i の最寄り港への海上輸送コスト (基準通貨単位/個)

$TransLC_{tki}$: tk 期間における市場 i の最寄り港から市場 i への陸上輸送コスト (現地通貨単位/個)

$TrnsIns_{ij}$: 工場 j から市場 i への輸送保険料率

$InTrif_{ij}$: 工場 j から市場 i への輸入税率

$ProdC_{tkj}$: tk 期間における工場 j での材料コスト (基準通貨単位/個)

$MfgC_{tkj}$: tk 期間における工場 j での製造する作業コスト (現地通貨単位/個)

$MngF_j$: 工場 j での製造管理コスト比率

$PurC_{tknj}$: tk 期間における工場 j での調達部材 n のコスト (現地通貨単位/個)

E_{tkj} : 工場 j が立地する現地でのインターバル tk 期間の現地通貨の対基準通貨為替レート

E_{tki} : 市場 i が立地する現地でのインターバル tk 期間の現地通貨の対基準通貨為替レート

ただし、為替変動とは独立な輸出入税率、輸送保険料、製造管理コスト比率は、為替変動リスク評価対象期間では、変化しないと仮定する。また、海上輸送はどのルートを通っても基準通貨単位での輸送費となると仮定する。ここに、 E_{tkj} と E_{tki} を導入することで、各 tk 期間における為替平均を用いたトータルコストである $TCost_{tk}$ を求めることができる。以下にコスト算出式(2.1)から(2.6)を拡張したコスト計算式を示し、その計算手順を説明する。

$$TCost_{tk} = MCost_{tk} + FCost_{tk} \quad (2.12)$$

$$FCost_{tk} = \sum_j^I (FixLC_{tkj} \times E_{tkj} \times Avl_j) \quad (2.13)$$

$$MCost_{tk} = \sum_i^I \sum_j^I Cost_{tkij} (x_{ij}) = \sum_i^I \sum_j^I (Cost_{tkij} \times x_{ij}) \quad (2.14)$$

$$Cost_{tkij} = \{ProdC_{tkj} \times (1 + OutTrif_{ij}) + TransC_{tkij}\} \times (1 + TrnsIns_{ij}) \times (1 + InTrif_{ij}) \quad (2.15)$$

$$ProdC_{tkj} = (\sum_n^N PurC_{tknj} + MfgC_{tkj}) \times E_{tkj} \times (1 + MngF_j) \quad (2.16)$$

$$TransC_{tkij} = TransLC_{tkj} \times E_{tkj} + TransSC_{tkij} + TransLC_{tki} \times E_{tki} \quad (2.17)$$

式(2.12)は、インターバル tk の期間におけるトータルコストが、インターバル tk の期間における変動費合計と固定費合計になることを示している。式(2.13)は、インターバル tk の期間における固定費合計が、使用される工場が位置する都市で使われている現地通貨での固定費と基準通貨との為替比率の積の合計から求められることを示している。式(2.14)は、インターバル tk の期間における変動費が工場 j から市場 i への製品単体での全変動費と工場 j から市場 i への tk 期間製品供給数量 x_{tkij} の積の対象期間での合計であることを示している。

式(2.15)は、工場 j から市場 i へ供給する製品単体でのインターバル tk の期間における全変動費の算出式を示している。インターバル tk の期間における製品単体での全変動費 $Cost_{tkij}$ は、その期間の製造コストと輸出税、輸送コスト、輸送保険料、市場 i への輸入税の合計から構成されることを示している。式(2.16)は、インターバル tk の期間における製品単体の製造コストを示しており、製品単体で使用する N 種類の部材のコスト合計とオペレーションコスト(どちらも工場が位置する都市で使われている現地通貨でのコストと対基準通貨為替レートの積)から構成されることを示している。式(2.17)は、工場から最寄りの港までの工場が位置する都市で使われている現地通貨での輸送費と対基準通貨為替レートの積、基準通貨での海上輸送費および市場の最寄りの港から市場までの市場が位置する都市で使われている現地通貨での輸送費と対基準通貨為替レートの積の合計で求められることを示している。具体的な手順は、まず $tk=tK$ の場合の為替を使い、最小コスト拠点配置を算出する。最小コスト拠点配置計算では、比較評価したすべての拠点配置でのトータルコスト計算結果が残っているため、最小コストとなった拠点配置から、次点の拠点配置、その次の拠点配置を取得することができる。最小となったトータルコスト拠点配置から小さい順に複数の拠点配置候補を選出する。これらの拠点配置候補に対して $t1$ から tK までの為替を適用した $TCost_{tk}$ を算出し、 $TCost_{tk}$ の分散を得る。各拠点配置候補における $TCost_{tk}$ の分散を統計的な分散分析 (ANOVA) を用いて、最小コスト拠点配置候補の最終決定を行うこととする。

人件費高騰に関しては、最小拠点配置算出時の人件費 ($MfgC_{tKj}$) からの高騰率を仮定し、他の国に生産拠点を置いた場合の $TCost_{tK}$ と比較評価する。具体的な評価事例は 2.3. 節の中で紹介する。

2.3. 数値実験

2.3.1. コスト評価実験条件

(1) 入力データ取得の考え方と手順

コスト算出モデルに関しては 2.2.2.節で説明したが、数値実験に向けて具体的なデータを収集していく必要がある。また、サプライネットワークモデルの近似に合わせたデータ粒度にする必要がある。入力データ取得で参照した 1 本の数値実験用サプライチェーンにおける費用構造を Fig. 2-2 に示す。

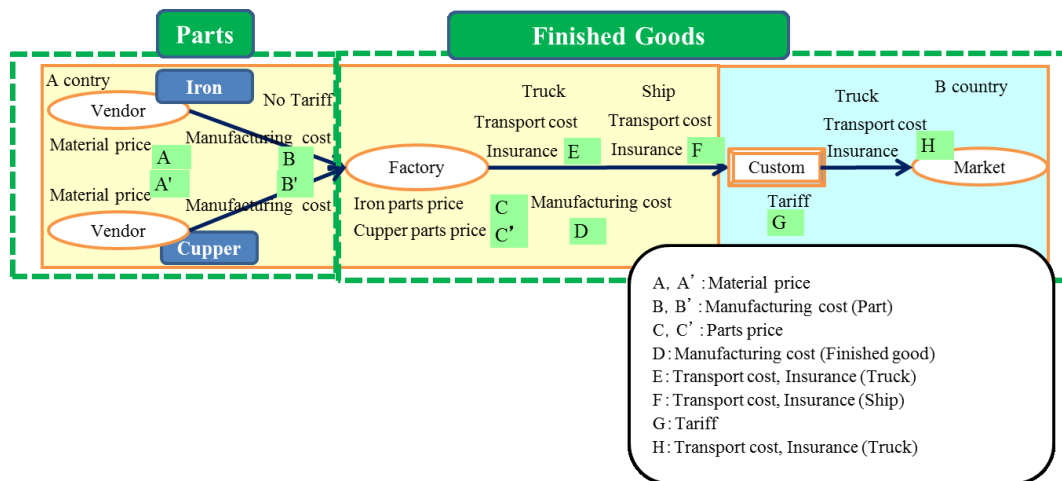


Fig. 2-2 Supply chain cost structure for numeric experiments

近似したサプライネットワークでは、製品の流れだけを対象とし部品のサプライチェーンはネットワークモデルの対象外としている。評価対象とする製品の主要構成部品が一般的な金属素材である鉄と銅から作られていることを想定しており、鉄製部品や銅製部品は素材を工場が立地する国でほぼ国際的な基準価格で入手し、現地で部品加工されて部品となることを想定している。数値実験における各工場候補の材料コストは、全ての国で共通の素材購入費と各国で加工するために必要な労務費で構成するように考える。コスト評価に必要なデータの収集は容易ではなく、1.1 節に記したように知り得る限定された情報と一般的にインターネット上で公開されている情報や過去の経験に基づいて推定できる数値など、全ての条件で共通に設定できる仮定数値を使うことが想定される。ここでは、その大まかな手順と実施例を示す。実際に同様の評価・実験を実施するタイミングや環境によってデータの内容は多様であることは想像できるが、基本的な手順に変わりはない。そこで、Fig. 2-3 に入力データ設定手順の概略フローを示し、以降にその詳細を述べる。

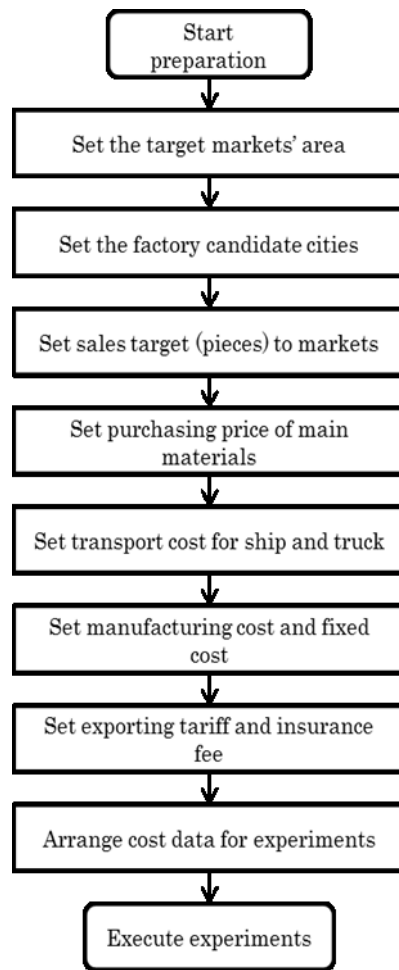


Fig. 2-3 Flow chart showing the data setting procedure for experiments

(2) 評価対象国と拠点数制約設定

世界各地の市場に製品を供給していくと仮定し，運営可能な工場を 1～3 拠点としたときに，世界のどの都市に製造拠点を置いたらよいか決定する数値実験を行った．運営可能な工場数 ($Q=1$) として実験する場合，数理計画を解かなくとも全数探索を行っての比較が可能である．しかし実務上の要求により，簡略化したサプライネットワークモデルとコストモデルから，期待している最小コストの工場配置場所を抽出できることを人間系で確認し，一通りの評価が完了できることを優先する必要があった．そこで本論文では，まず運営可能な工場を 1 拠点とした数値実験結果と評価の詳細を示した上で，基準通貨をアメリカドルとした場合の複数工場での数値実験結果とその考察の詳細を示す．

対象とする市場エリアを日本市場，中国市場，北南米市場，東南アジア市場，オセアニア市場，インド市場とした．日本市場から 6 都市，中国市場から 8 都市，北南米市場から 18 都市，東南アジア市場から 5 都市，オセアニア市場から 1 都市，インド市場から 5 都市の合計 43 都市を選択し，これらの都市を市場および拠点配置候補地とした．市場と拠点配置候補地の地図を Fig. 2-4 に示す．解探索には市販ソルバーの CPLEX (Ver12.1.1) を使用した．入力データに関しては，情報量の少ない初期段階であることから，一般的な

Web サービスから取得できる情報と、この段階で知り得る情報として我々が想定したものだけを使用している。以降に入力として設定したデータに関し、その取得方法などを説明する。

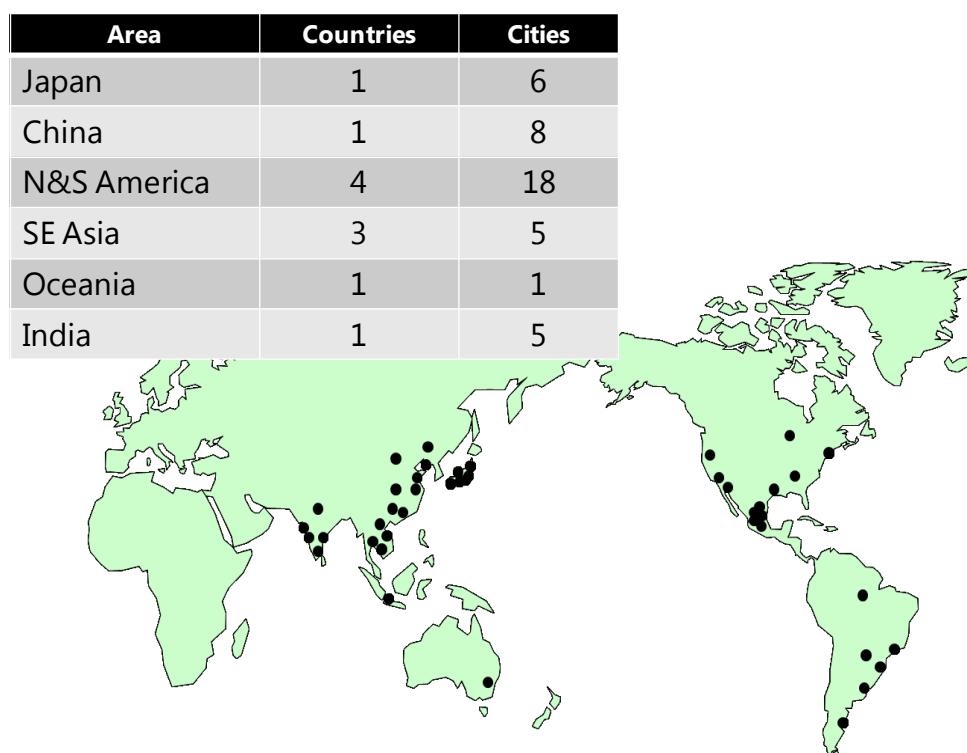


Fig. 2-4 Factory candidates and market map

(3) D_i 販売目標データ

研究対象としている段階で知り得る販売目標データに相当するものは、市場戦略としての市場エリア別の製品の年間売上目標台数である。市場エリア別の製品の売上目標台数を、対象市場となる都市に配分しなければならない。まず、市場エリア別の売上目標値を我々の想定に基づいて **Table 2-1** の 2 列目のように設定した。更に、各エリアに属する国が複数ある場合、JETRO ホームページ [41] から参照できる国ごとの GDP で配分し、同一国内に複数の都市が存在する場合は概略の人口比率で分配し、**Table 2-1** の 4 列目のように設定した。

Table 2-1 Sample of sales target for each market

Region	Demand by region (k pieces)	City	Demand by city (pieces)
Japan	1000	Osaka	179000
		Kumamoto	143000
		Nagoya	178000
		Hiroshima	178000
		Yamagata	143000
		Yokohama	179000
China	234	Shanghai	45000
		Beijing	27000
		Guangzhou	27000
		Shenzhen	27000
		Shenyang	27000
		Dalian	27000
		Qingdao	27000
		Wuhan	27000
USA	106	Los Angeles	27000
		New York	27000
		Atlanta	13000
		San Francisco	13000
		Houston	13000
		Chicago	13000
Brazil	17	Campinas	2000
		San Jose	2000
		Dospinhais	9000
		San Paulo	2000
		Manaus	2000
		Rio de Janeiro	2000
Argentina	4	Buenos Aires	4000
Mexico	6	Aguascalientes	1000
		Guanajuato	1000
		Queretaro	1000
		Tijuana	1000
		City	1000
		Monterrey	1000
Oceania	49	Sydney	49000
S&E Asia	38	Bangkok	38000
	15	Da Nang	4000
		Ha Noi	4000
		Ho Chi Minh	7000
	93	Jakarta	93000
India	18	Ahmadabad	4000
		Chennai	4000
		New Delhi	6000
		Bangalore	4000
		Mumbai	4000

(4) 工場 j での部材購入コスト ($PurC_{nj}$) データ設定方法

ここでは Fig. 2-2 における部材側のコスト A と A', B と B', 式(2.5)の $PurC_{nj}$ のデータ設定に関して説明する. 評価対象とする製品の主要構成部材が一般的な金属素材である鉄と銅から作られていることを想定していることから $n=\{1,2\}$ となり, 鉄製部材価格を $PurC_{1j}$, 銅製部材価格を $PurC_{2j}$ とできる. それぞれの部品価格は, 素材の国際標準価格で決定される各国共通の部分と, 部品を加工する労務費などで国別に違いの出る変動部分に分けて設定できる.

そのうえで次の様な手順で各国の部品価格を決めた.

手順 1: 各国の一般ワーカーの標準労務費を JETRO ホームページ [41] から取得する

手順 2: 基準となる国での主要材料単価(1kg あたりの価格)を JETRO ホームページ[41] から取得する

手順 3: 基準となる国での材料コストの固定部分と変動部分の比率を決める

手順 4: 基準となる国の一般ワーカーの標準労務費を 1 とした時の, 各国の一般ワーカーの標準労務費の相対値を算出する

手順 5: 製品 1 台あたりの材料使用量 (kg 単位) に基づいた固定部分に相当する材料コストを算出する

手順 6: 基準となる国での固定部分の材料コストを元に, 変動部分の材料コストを算出する

手順 7: 基準となる国での変動部分の材料コストに対して, 各国の相対値を乗ずること
で各国の変動部分の材料コストを算出する.

Fig. 2-5 にその手順のフローチャートを示す.

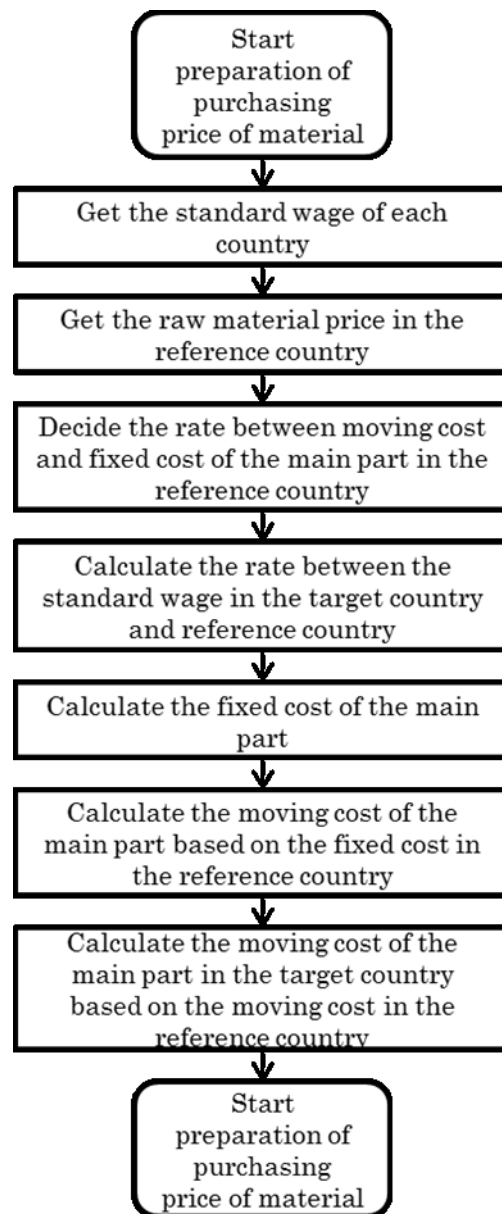


Fig. 2-5 Flow chart showing the data setting procedure for purchasing price of materials

この数値実験では、基準となる国を中国とした。鉄の素材標準価格を\$0.8/kgとし、銅の素材標準価格を\$6.9/kgとした。製品1台あたりの鉄の使用量を16kg/台、銅の使用量を1.6kg/台とした。更に鉄製部品では、57%を素材価格で決まる固定部分、43%を変動部分、銅製部品では97%を素材で決まる固定部分、3%を変動部分として、中国工場の購入部品価格を決定した。更に各国の標準労働費と中国の平均標準労働費の相対比(Relative ratio)を使い、各国の購入部品価格を決定した。それらの設定データ例をTable 2-2に示す。

Table 2-2 Sample of parts purchasing price list

Region	City	Relative ratio (toward China)	Iron part purchasing price(USD)	Copper part purchasing price(USD)
Japan	Osaka	7.8	87.6	13.5
	Kumamoto	7.0	80.2	13.3
	Nagoya	8.3	92.6	13.7
	Hiroshima	7.5	84.6	13.4
	Yamagata	6.6	76.3	13.2
	Yokohama	8.2	91.9	13.7
China	Shanghai	1.3	22.4	11.5
	Beijing	1.1	22.4	11.4
	Guangzhou	1.1	22.4	11.4
	Shenzhen	0.9	22.4	11.3
	Shenyang	0.9	22.4	11.3
	Dalian	0.9	22.4	11.3
	Qingdao	0.8	22.4	11.3
	Wuhan	0.9	22.4	11.3
USA	Los Angeles	7.5	84.6	13.4
	New York	8.4	93.2	13.7
	Atlanta	8.1	90.3	13.6
	San Francisco	9.2	100.7	14.0
	Houston	8.9	98.4	13.9
	Chicago	7.9	88.9	13.6
Brazil	Campinas	1.6	27.8	11.5
	San Jose	1.5	27.7	11.5
	Dos Pinhais			
	San Paulo	1.6	28.1	11.5
	Manaus	1.5	27.5	11.5
	Rio de Janeiro	1.5	27.6	11.5
Argentina	Buenos Aires	4.2	53.0	12.4
Mexico	Aguascalientes	1.1	23.7	11.4
	Guanajuato	2.1	32.6	11.7
	Queretaro	2.1	32.6	11.7
	Tijuana	1.6	28.1	11.6
	City	1.2	24.8	11.4
	Monterrey	1.3	25.2	11.5
Oceania	Sydney	11.7	124.8	14.8
S&E Asia	Bangkok	0.9	16.2	11.3
	Da Nang	0.3	16.2	11.1
	Ha Noi	0.4	16.2	11.2
	Ho Chi Minh	0.4	16.2	11.2
	Jakarta	0.7	19.3	11.3
India	Ahmadabad	2.1	33.2	11.7
	Chennai	1.5	26.8	11.5
	New Delhi	1.2	24.8	11.4
	Bangalore	1.8	30.0	11.6
	Mumbai	0.8	20.9	11.3

(5) $TransC_{ij}$ 輸送コストデータ

輸送コストデータを想定する場合，研究対象としている段階で知り得る情報は，製品輸送における製品単体の単位距離あたりの輸送費である．数値実験対象のサプライネットワークでは，工場から港までの陸上輸送コスト（Fig. 2-2 の E の部分），工場側の国の港から輸出先の国までの海上輸送コスト（Fig. 2-2 の F の部分），輸出先の国の港から市場までの陸上輸送コスト（Fig. 2-2 の H の部分）を全てのルートで算出しておく必要がある．

そこで，製造拠点候補都市から市場都市に向けた陸上輸送距離と海上輸送距離を，次の様な方法で収集した．前述した様に各都市には最寄りの港が 1 箇所決まっているため，各都市の中心部と港間の陸上輸送距離を Web サービスの google map [39] を使って取得し，各都市を結ぶ港間の海上輸送距離を Web サービスの SeaRates.com [42] から取得した．Table 2-3 に各港間の距離（抜粋）を，Table 2-4 に各都市と最寄りの港の距離を示す．

Table 2-3 Distance between each harbor (excerpt)

From to	Osaka	Nagoya	Yokohama	Tianjin	Shekou	Dayaowan	Los Angeles	New York	Savannah
Osaka		453	657	1894	2664	1613	9485	18460	17622
Nagoya	453		384	2202	2837	1921	9226	18164	17326
Yokohama	657	384		2406	3139	3042	8967	17950	17111
Tianjin	1894	2202	2406		2672	390	11012	19478	19660
Shekou	2664	2837	3139	2672		2392	11826	20642	19804
Dayaowan	1613	1921	3042	390	2392		10731	19612	18774
Los Angeles	9485	9226	8967	11012	11826	10731		9261	8423
New York	18460	18164	17950	19478	20642	19612	9261		1280
Savannah	17622	17326	17111	19660	19804	18774	8423	1280	

(km)

Table 2-4 Distance between each city and the nearest harbor

Region	City	Nearest port	Distance(km)
Japan	Osaka	Osaka port	10.7
	Kumamoto	Kumamoto port	14.9
	Nagoya	Nagoya port	11.7
	Hiroshima	Hiroshima port	5.3
	Yamagata	Sakata port	4.0
	Yokohama	Yokohama port	4.4
China	Shanghai	Shanghai port	4.1
	Beijing	Tianjin port	197.0
	Guangzhou	Huangpu port	19.4
	Shenzhen	Shekou port	20.8
	Shenyang	Dayaowan port	409.0
	Dalian	Dayaowan port	41.4
	Qingdao	Qingdao port	9.6
	Wuhan	Wuhan port	2.5
USA	Los Angeles	Los Angeles port	44.4
	New York	New York port	16.9
	Atlanta	Savannah port	400.7
	San Francisco	Oakland port	58.3
	Houston	Los Angeles port	2507.4
	Chicago	Los Angeles port	3270.2
Brazil	Campinas	Santos port	174.0
	San Jose Dospinhais	Pranagua port	82.3
	San Paulo	Santos port	73.0
	Manaus	Manaus port	3.4
	Rio de Janeiro	Rio de Janeiro port	10.0
Argentina	Buenos Aires	Buenos Aires port	2.0
Mexico	Aguascalientes	Manzanillo port	507.0
	Guanajuato	Manzanillo port	562.0
	Queretaro	Manzanillo port	558.0
	Tijuana	Ensenada port	103.0
	Mexico City	Manzanillo port	752.0
	Monterrey	Manzanillo port	1133.0
Oceania	Sydney	Sydney port	1.3
S&E Asia	Bangkok	Laem Chabang port	117.0
	Da Nang	Da Nang port	3.6
	Ha Noi	Hai Phong port	105.0
	Ho Chi Minh	Cat Lai port	23.1
	Jakarta	Tanjung Priok port	18.4
India	Ahmadabad	Mundra port	426.0
	Chennai	Chennai port	10.0
	New Delhi	Nhava Sheva port	1474.0
	Bangalore	Chennai port	8.9
	Mumbai	Nhava Sheva port	16.9

しかしながら, Web などの情報源では全ての陸上輸送コストおよび海上輸送コスト情報を直接得るのは困難であったため, 取得できる情報からそれぞれを推定した. 陸上輸送コストは神奈川県トラック協会一般貨物自動車運送事業運賃・料金の距離制運賃率表の C 表 [43] を参考とした. Table 2-5 に距離制運賃率表の一部を示す.

Table 2-5 International sea container fare chart (by truck)

Base Km higher	A table		B table		C table	
	H	2.438mm or 2.590mm	H	2.438mm or 2.590mm	H	2.438mm or 2.590mm
	W	2.438mm	W	2.438mm	W	2.438mm
	L	6.058mm	L	10.668mm	L	12.192mm
5km		16,990		24,050		26,130
10		20,140		28,520		30,990
20		25,050		35,610		38,710
30		29,970		42,720		46,440
40		34,900		49,800		54,150
50		39,800		56,930		61,870
.		.		.		.
.		.		.		.
.		.		.		.
900		234,150		308,640		335,490
950		242,280		318,740		346,450
1,000		250,370		328,840		357,430
More each 50km		8,110		10,100		10,970

(Yen)

海上輸送コストに関して JETRO ホームページ [41] から取得できたのは、横浜港、上海港、ロサンゼルス港から一部の対象都市へのコンテナ 1 本あたりの海上輸送費のみであった。

そこで、取得できた一部の海上輸送費と輸送距離を使って単回帰分析を行った。単回帰分析結果を Fig. 2-6 に示す。R-sq が 73%と比較的高い相関を示し、切片および回帰直線の傾きの P 値が 1.4%以下であったため、海上輸送距離から海上輸送費を推定するのにこの回帰直線を使用した。各港間の距離から海上輸送費を算出するための項目と算出式 (2.18)を以下に示す。

$DistH_{ij}$: 工場候補地最寄り港と市場最寄り港間の距離 (km)

$QinCON$: コンテナ 1 本に格納される製品台数 (個)

$$TransSC_{ij} = (0.19 \times DistH_{ij} + 704.00) / QinCON \quad (2.18)$$

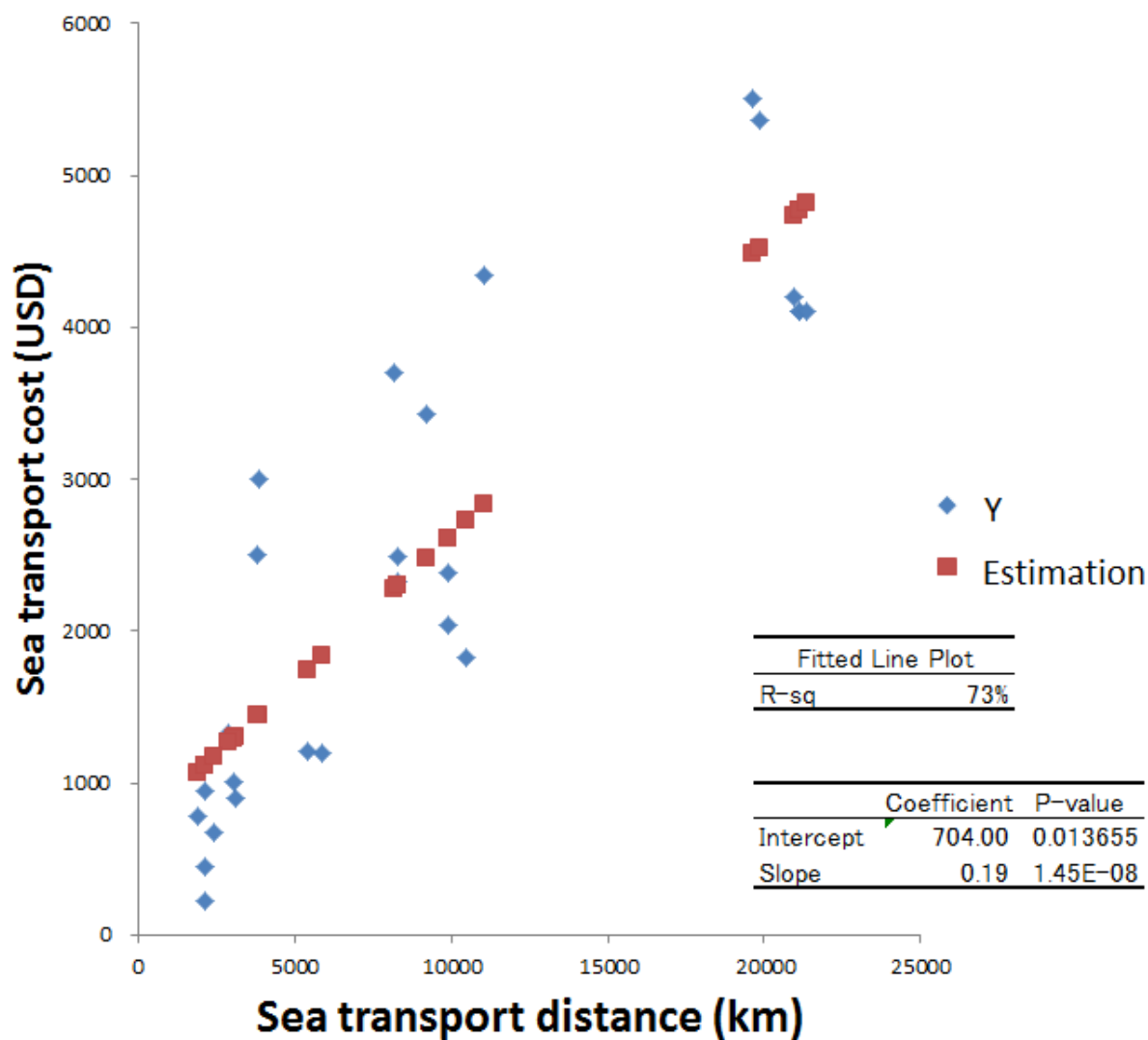


Fig. 2-6 Correlation result between sea transport distance and cost

ここまでで取得した輸送距離データと単位距離あたりの輸送コストデータを使い、全ての工場候補地から全ての市場までの輸送コストを算出した。また、モチーフとした製品の平均格納数/コンテナを 20 として数値実験を行う。Table 2-6 にそれら輸送コストデータの設定例（抜粋）を示す。

Table 2-6 Sample of transport cost (excerpt)

Factory	Market	Truck to harbor \$	Ship to custom \$	Truck to market \$	Transportation cost \$/KP
Osaka	Shanghai	387.1	32.8	44.3	464.2
Osaka	Beijing	387.1	41.7	220.0	648.8
Osaka	Guangzhou	387.1	41.0	69.2	497.3
Osaka	Shenzhen	387.1	40.3	57.7	485.1
Osaka	Shenyang	387.1	263.0	263.0	913.1
Osaka	Dalian	387.1	33.7	76.1	496.9
Osaka	Qingdao	387.1	33.6	32.9	453.6
Osaka	Wuhan	387.1	39.3	30.3	456.7
Osaka	Los Angeles	387.1	83.5	611.0	1081.6
Osaka	New York	387.1	140.4	428.1	955.6
Osaka	Atlanta	387.1	270.1	2354.2	3011.4
Osaka	San Francisco	387.1	160.0	840.7	1387.8
Osaka	Houston	387.1	167.1	8213.6	8767.8
Osaka	Guanajuato	387.1	2908.2	733.2	4028.5
Osaka	Queretaro	387.1	2908.2	733.2	4028.5
Osaka	Tijuana	387.1	2908.2	221.4	3516.7
Osaka	City	387.1	727.0	498.9	1613.0
Osaka	Monterrey	387.1	2554.2	645.0	3586.3
Osaka	Sydney	387.1	83.2	402.3	872.6
Osaka	Bangkok	387.1	77.4	130.1	594.6
Osaka	Da Nang	387.1	367.8	10.9	765.8
Osaka	Ha Noi	387.1	366.0	59.4	812.5
Osaka	Ho Chi Minh	387.1	199.0	59.4	645.5
Osaka	Jakarta	387.1	50.6	34.6	472.3
Osaka	Ahmadabad	387.1	657.4	637.8	1682.3
Osaka	Chennai	387.1	552.7	59.7	999.5
Osaka	New Delhi	387.1	359.1	767.8	1514.0
Osaka	Bangalore	387.1	628.3	73.4	1088.8
Osaka	Mumbai	387.1	552.7	43.4	939.8

(6) 工場 j での製造コストデータ ($ProdC_j$) と固定費データ ($FixC_j$)

Fig. 2-2 における C と C' , D の合計を示す式(2.5)で表わされるコストモデルのデータ設定方法を説明する。製造拠点候補都市における製造コスト ($ProdC_j$) は, JETRO ホームページ [41] にある都市別の基準賃金, 社会保障費率, 各国のエネルギー使用基本料などのデータに基づき算出した。製造コストは式(2.5)にあるように, 製品 1 台あたりの部品購入コスト ($PurC_{nj}$) と作業コスト ($MfgC_j$), 製造管理コスト比率 ($MngF_j$) で決定される。実験用データを収集する上では, 製造管理コスト比率 ($MngF_j$) と製品の平均組立て工数を基準とした全世界の年間販売計画台数の生産に必要な, 計画上の直接作業員数と管理者数, エネルギー使用量を得ることができた。そこで, 今回のデータ収集環境に合わせて直接作業員と管理者の平均労務コストと平均エネルギーコストの合計を使った, 製品 1 台あたりの平均組立コスト ($MfgAVC_j$) を導入し, 式(2.5)を変形させた式(2.5')を使用して実験を進めた。以下にその算出に使用した項目と平均労務コストの算出式を以下に示す。

DW : 需要数合計を生産するのに必要な計画上の直接作業員数 (人)

MW : 需要数合計を生産するのに必要な計画上の管理者数 (人)

EL : 需要数合計を生産するのに必要な計画上の年間電力使用量 (kWh/年)

WT : 需要数合計を生産するのに必要な計画上の年間水使用量 (m³/年)

GS : 需要数合計を生産するのに必要な計画上の年間ガス使用量 (m³/年)

$StdDWC_j$: 工場候補地が所在する国の直接作業員基準賃金月額 (現地通貨/月)

$StdMWC_j$: 工場候補地が所在する国の管理者基準賃金月額 (現地通貨/月)

$StdSSR_j$: 工場候補地が所在する国の社会保障負担率 (100%を1とする)

$StdELC_j$: 工場候補地が所在する国の単位あたりの電気料金 (現地通貨/kWh)

$StdWTC_j$: 工場候補地が所在する国の単位あたりの水道料金 (現地通貨/m³)

$StdGSC_j$: 工場候補地が所在する国の単位あたりのガス料金 (現地通貨/m³)

$MfgLBC_j$: 製品1台あたりの直接作業員と製造管理者の平均労務コスト (現地通貨/台)

$MfgEGC_j$: 製品1台あたりの平均エネルギーコスト (現地通貨/台)

$MfgAVC_j$: 製品1台あたりの平均組立コスト (現地通貨/台)

$$MfgLBC_j = \{StdDWC_j \times (1 + StdSSR_j) \times DW + StdMWC_j \times (1 + StdSSR_j) \times MW\} \times 12 / \sum_i^I D_i \quad (2.19)$$

$$MfgEGC_j = (StdELC_j \times EL + StdWTC_j \times WT + StdGSC_j \times GS) / \sum_i^I D_i \quad (2.20)$$

$$MfgAVC_j = MfgLBC_j + MfgEGC_j \quad (2.21)$$

$$ProdC_j = (\sum_n^N PurC_{nj} + MfgAVC_j) \times E_j \quad (2.5')$$

式(2.19)は、製品1台あたりの直接作業員と製造管理者の平均労務コストが、基準賃金および社会保障負担率と計画上の必要人数から算出できることを示している。式(2.20)は、製品1台あたりの平均エネルギーコストが、電気料金と水道料金、ガス料金とそれぞれの計画上の使用量から算出できることを示している。式(2.21)は、製品1台あたりの平均組立コストが、製品1台あたりの直接作業員と製造管理者の平均労務コストと製品1台あたりの平均エネルギーコストの和であることを示している。式(2.5')は、工場 j での製品1台あたりの製造コストは、製品1台あたりの部材購入コストの合計と平均組立コストから算出できることを示している。

上記の計算式を使って算出した製造拠点候補都市別の平均組立コストと部材購入コストの設定例を **Table 2-7** に示す。ここまで説明した手順によって、工場側の変動費すべてを設定することができた。工場の固定費は想定値とし、生産能力最大とした場合にかかる各拠点の変動費の25%をそれぞれ設定した。この様な方法ならば、研究対象としている初期段階でも平均組立コストと固定費データの設定が可能である。

Table 2-7 Sample of manufacturing cost and material cost

City	Manufacturing cost (\$/KP)	Material cost (\$/KP)
Osaka	12,015	62,855
Yokohama	12,826	65,617
Shanghai	2,769	21,040
Beijing	2,484	21,009
Guangzhou	2,654	21,009
Shenzhen	2,234	20,972
Los Angeles	10,770	60,942
New York	12,438	66,472
Atlanta	11,377	64,571
San Francisco	13,429	71,252
Houston	12,886	69,822
Chicago	11,693	63,681
Campinas	3,244	24,458
San Jose Dospinhais	3,334	24,374
San Paulo	3,277	24,643
Manaus	3,217	24,236
Rio de Janeiro	3,240	24,305
Buenos Aires	7,139	40,636
Aguascalientes	2,270	21,796
Guanajuato	4,370	27,518
Queretaro	5,380	27,518
Tijuana	2,916	24,652
City	2,502	22,519
Monterrey	3,832	22,759
Sydney	16,492	86,735
Bangkok	1,642	17,085
Da Nang	700	16,969
Ha Noi	890	16,991
Ho Chi Minh	892	16,993
Jakarta	1,187	18,987
Ahmadabad	3,604	27,901
Chennai	2,852	23,811
New Delhi	2,678	22,811
Bangalore	3,218	25,876
Mumbai	2,081	20,051

(4) 工場 j から市場 i への輸出税率 $OutTrif_{ij}$ 輸入税率 $InTrif_{ij}$ と工場 j から市場 i への輸送保険料率 $TrnsIns_{ij}$

関税率は FedEx ホームページの WorldTariff® [44] から取得した。取得した関税率（抜粋）を Table 2-8 に示す。

輸送保険料は物流各社によって設定方法が違っているが、数値実験では輸送費を含む製品一台あたりの輸送保険料率として設定し、想定値で 1% として全てのルートに共通とした。

Table 2-8 Tariff rate of motif product (excerpt)

From to	Osaka	Nagoya	Yokohama	Tianjin	Shekou	Dayaowan	Los Angeles	New York	Savannah
Osaka		0%	0%	12%	12%	12%	2%	2%	2%
Nagoya	0%		0%	12%	12%	12%	2%	2%	2%
Yokohama	0%	0%		12%	12%	12%	2%	2%	2%
Tianjin	0%	0%	0%		0%	0%	2%	2%	2%
Shekou	0%	0%	0%	0%		0%	2%	2%	2%
Dayaowan	0%	0%	0%	0%	0%		2%	2%	2%
Los Angeles	0%	0%	0%	12%	12%	12%		0%	0%
New York	0%	0%	0%	12%	12%	12%	0%		0%
Savannah	0%	0%	0%	12%	12%	12%	0%	0%	

(5) 実験環境

本実験を実施するにあたり，計算機システムを構築した．このシステムは，入力データの設定と計算結果の出力およびコマンドファイル生成に市販のスプレッドシートソフトウェアを使い，最小コスト拠点配置の選定に CPLEX を使用した．構築したシステムの概略の構成図を Fig. 2-7 に示す．

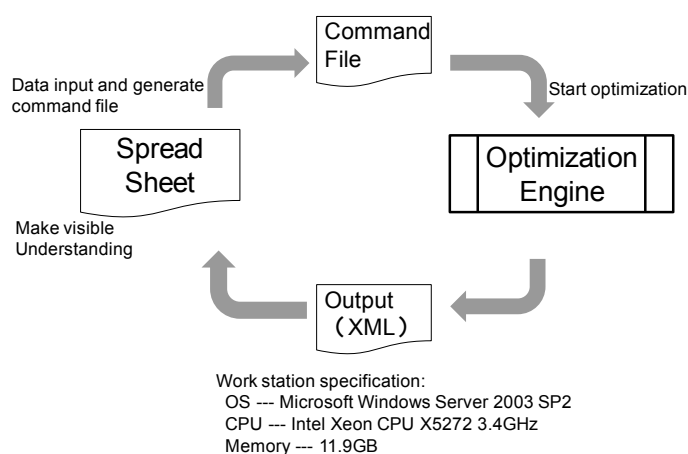


Fig. 2-7 System block chart for the numeric experiments

2.3.2. コスト評価実験結果

この実験では，実験結果をわかりやすくするために，運営可能な工場数 $Q=1$ として実験し，トータルコストの少ないほうから順に 5 都市を最小コスト製造拠点候補として選出した．Table 2-9 にその結果を示す．

製造拠点候補 43 都市の中で，ベトナムのダナンが最小コスト製造拠点として選択された．更にベトナムのホーチミンが次点となり，ハノイがそれに続いた．4 番目にタイのバ

ンコク 5 番目がインドネシアのジャカルタとなった。ベトナムの 3 都市が上位になった理由は製造コストと材料コストが低かったためで、そのベースには基準賃金の安さがある。バンコクは 5 都市の中で関税が一番安く、材料コストがジャカルタよりも安くなった。

同じ条件で 10 回の数値実験を繰り返し、計算時間を測定した。その結果を Table 2-10 に示す。スプレッドシートを使って入力データを作りコマンドファイルを出力するまでに大半の時間を要し、CPLEX での計算時間は 0.03 秒である。すべての処理が終了するまでに 20 分弱の時間を要したが、実務に使うこともできる程度の処理時間であった。

Table 2-9 Result of finding minimum cost location ($Q=1$)

	1	2	3	4	5
Factory city	Da nang	Ho chi minh	Ha noi	Bangkok	Jakarta
Material cost	\$30.54M	\$30.58M	\$30.58M	\$33.05M	\$33.69
Tariff	\$1.17M	\$1.17M	\$1.18M	\$1.00M	\$1.20M
Transport cost	\$2.64M	\$2.63M	\$2.73M	\$3.02M	\$2.86M
Manufacturing cost	\$0.58M	\$0.66M	\$0.66M	\$1.12M	\$0.73M
Total cost	\$34.92M	\$35.04M	\$35.15M	\$38.20M	\$38.47M

Table 2-10 Calculation time

	Create data file	Optimization	Output results	Total time
Average time	1061.75sec	0.03sec	54.25sec	1116.03sec

2.3.3. 為替変動リスク評価実験

最小コスト拠点候補として 5 都市が選定された。この結果を使い為替変動リスクを考慮した比較を行った。通貨同士の為替レートの違いをトータルコストで比較するため、ベトナムからダナンを代表都市とし、バンコクとジャカルタの 3 都市での評価実験を行った。また、基準通貨はアメリカドル (USD) としている。ここでは、 tk のインターバルを四半期とし、2013 年第 3 四半期 (2013 年 7 月から 9 月) を tK として、2010 年第 1 四半期 (2010 年 1 月から 3 月) からの実際の為替変動 (tk 期間内の週単位変動の平均値) を使って、ダナンの場合、バンコクの場合、ジャカルタの場合でトータルコスト $TCost_{tk}$ を算出した。ベトナム通貨のドン (VND)、タイ通貨のバーツ (THB)、インドネシア通貨のルピア (IDR) と円 (JPY) の実際の過去 3 年間の為替変動の折れ線グラフを Fig. 2-7 に示す。

このグラフは tK の時点でのアメリカドル (USD) に対する為替を 1 とし、その変動の様子を折れ線グラフに示したものである。3 都市の $TCost_{t1}$ から $TCost_{tK}$ の平均と標準偏差を Table 2-11 に示す。実験の結果、トータルコストの平均値でもダナンが最小であることがわかった。更に分散分析 (ANOVA) を実施したところ、 p 値が 0.00 であることがわかった。したがって、統計的にダナンとバンコク、ジャカルタのトータルコストの平均値

に違いがあると言える．この結果から，為替変動リスクを考慮しても，ダナンが最小コスト拠点であると結論付けることができた．

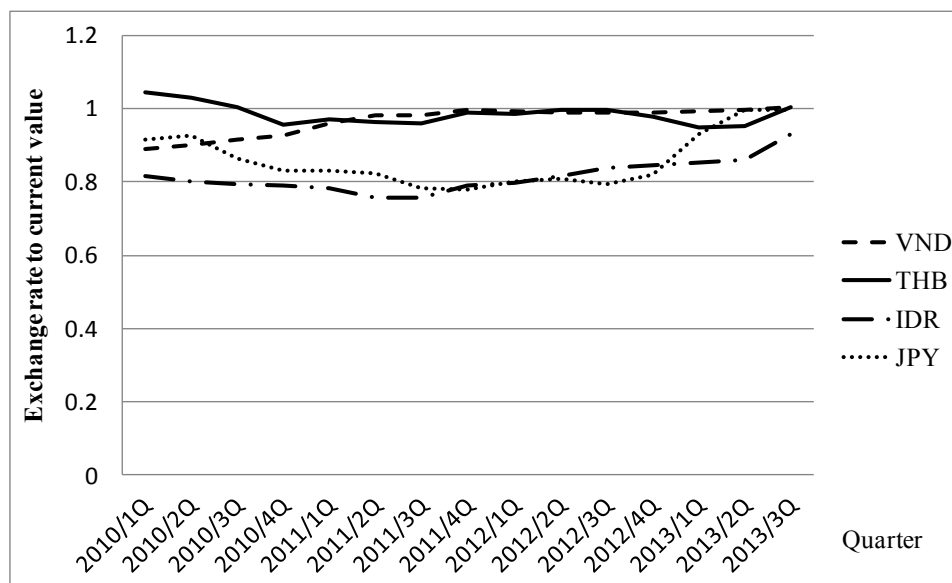


Fig. 2-8 Trend graph of last three years exchange fluctuation

Table 2-11 Calculation results of cost evaluation under exchange fluctuation

	Da Nang	Jakarta	Bangkok
Total cost average	\$35.8M	\$40.5M	\$40.5M
Standard deviation	\$1.4M	\$2.1M	\$1.2M

2.3.4. 人件費高騰リスク評価実験

人件費高騰リスクは，シナリオベースでの $TCost_{iK}$ の比較評価を行う．比較対象は最小コスト拠点として選ばれたダナンと製造拠点が日本の横浜とした場合である．最小コスト拠点算出時をシナリオ 1 とし，シナリオ 2 はダナンの基準賃金が 50%アップし，横浜の製造人員が半分（生産性 2 倍）にできた場合．シナリオ 3 は，ダナンの基準賃金が 20 倍にアップし，横浜の製造人員が 1/4（生産性 4 倍）にできた場合である．それぞれの場合の $TCost_{iK}$ の変化を Fig. 2-9 に示す．ダナンの基準賃金が 20 倍になることだけでは，シナリオ 1 における横浜でのトータルコストとの逆転は発生しなかった．コスト基準で考えると，大幅な基準賃金高騰がなければ，横浜に製造拠点を配置するメリットが少ないことが分かる．

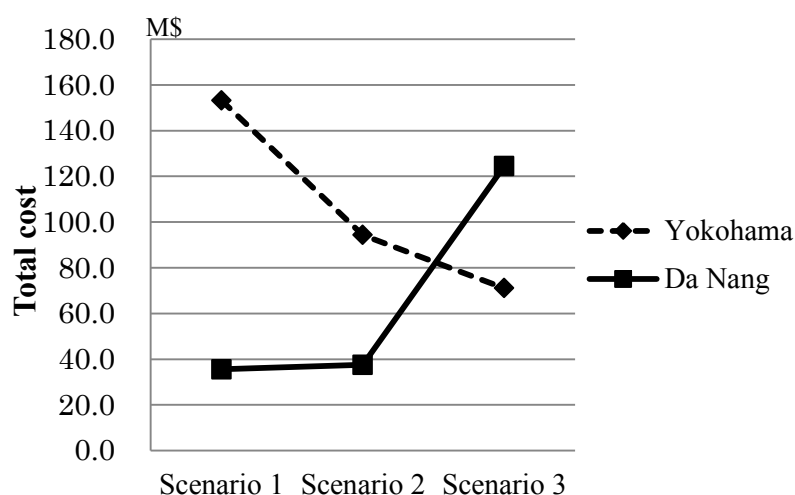


Fig. 2-9 Labor cost sudden rise risk evaluation result

2.3.5. 複数工場配置候補都市の選択

今回の数値実験は、実務上の目的から工場配置候補都市から最小コストの都市を1都市選ぶことを優先して行った。しかし、本論文での定式化では複数の都市を選ぶこともできる。その機能を確認するために、運営可能な工場数 $Q=2$ の場合と $Q=3$ の場合の数値実験を行った。ただし、制約条件の Q の数値を変えるだけでは、固定費が加わるために最小コストとなるのは $Q=1$ の場合と同様の答えが得られてしまう恐れがある。そこで、固定費を省き変動費の違いだけで、複数工場の組み合わせによる工場配置候補都市選択の数値実験を行うこととした。これは、実務的に考えると自社工場を建てるのではなく、EMS (Electronics Manufacturing Service) を選択する事例に相当すると考えられる。 $Q=2$ とした場合の最小コストとなる都市と各都市でのコスト、割り当てられた供給先市場のエリアを Table 2-12 に、 $Q=3$ とした場合の同様の算出結果を Table 2-13 に示す。

$Q=2$ の場合では、ベトナムの2都市であるダナンとホーチミンが選択された。運営可能な工場数上限を2にしたことで、変動費が約8.9%削減された。結果的に選択された2都市は $Q=1$ とした場合にコスト最小と次点に選ばれた都市となったが、固定費を考慮する必要のないEMSの選定には有効な情報である。それぞれの工場から製品供給される市場は、ほぼ地域別に分配されて南米の都市を分け合う様な結果となった。これが $Q=3$ とした場合には、メキシコの都市であるアグアスカリエンテスが選択された。ホーチミンから供給されていたメキシコの都市が、アグアスカリエンテスから供給される配分となった。 $Q=3$ の場合には、製造コストの低い東南アジアの都市から輸送費用の高いメキシコに送るよりも、比較的製造コストが高くてメキシコのアグアスカリエンテスからメキシコの各都市に製品を輸送したほうが、変動コストが低くなっていることが分かる。この結果は戦略設計段階においてメキシコのEMS活用を検討候補に入れるべきことを示唆している。

Table 2-12 Result of finding minimum cost location ($Q=2$)

Factory city	Da nang	Ho chi minh
Variable cost by city	\$28.80M	\$3.06M
Regions	Japan, China, USA, A part of south America	S&E Asia, India, Another part of south America
Total variable cost	\$31.86M	

Table 2-13 Result of finding minimum cost location ($Q=3$)

Factory city	Da nang	Ho chi minh	Aguascalientes
Cost by city	\$26.32M	\$2.85M	\$0.13M
Regions	Japan, China, USA, A part of south America	S&E Asia, India, Another part of south America	Mexico
Total variable cost	\$29.29M		

2.4. 結言

第 1 章の研究の方針で挙げた 1 点目の研究課題に対して本章の研究結果をまとめる。サプライネットワーク戦略設計段階での市場戦略と生産戦略を活用し、近似的なサプライネットワークモデルを構築した。概略の製品情報と一般的に取得可能なコストデータに基づいたトータルコスト算出モデルを構築した。その上で、取得した知りえる情報を使って最適拠点配置算出システムへのデータ準備手順を示した。コスト最小拠点の算出結果は、トータルコストだけではなくそれを構成するコスト要素までを示すことで、コスト要素の算出結果への影響を数値で説明できるようになった。更に、この様な段階においても、為替変動や人件費高騰リスクの評価を行った事例を示すことができた。数値実験では、結果を分かり易くするために、拠点数制約を 1 拠点とした場合の実験結果を詳細に示した。複数の生産拠点を選択する数値実験では、単に製造コストが低い製造拠点候補都市が選ばれるわけではなく、輸送コストが考慮された計算結果が得られることもわかった。この様な拠

点配置設計は、今まで人間系での比較計算が多く行われてきたが、選択対象が多い場合には多くの計算量が必要であり、全ての場合を考慮して最適な拠点を見つけるには時間を要していた。本論文の提案で、人間系の勘に頼っていた戦略的拠点配置設計の初期段階における入手可能なデータを使った数理的な最適化手法を、実際に適用できるモデル化と数値実験で示した。本手法は、制約を伴ったコスト最小拠点配置を、人間系による見逃しなどのミスを避け、計算時間を短縮する上で非常に有効な実務的手段だと考える。

第3章では、昨今のキャッシュフローを重視した経営判断の必要性を考慮し、運営可能な在庫金額を考慮した拡張された拠点配置設計を検討して行く。

第3章

設計初期段階における在庫増加リスク評価モデルへの拡張

3.1. 緒言

近年の世界経済の大きな変動にも耐えられる企業となるためには、顧客への製品供給活動のなかで、保有する資金で運営できる在庫金額に抑える必要があり、それを考慮したサプライネットワーク設計の必要性がクローズアップされている。

第2章では、サプライネットワークの拠点配置設計の初期段階である戦略設計レベルにフォーカスし、市場戦略（どの市場にどの程度商品を販売するか目標値）と生産戦略（生産能力上限と拠点数）など限られた知り得る情報に対して、実務での活用を重点に置いたトータルコストを最小にする数理的生産拠点配置決定手法を提案した。更に、為替変動リスクと人件費高騰リスクを取り上げ、コスト基準で評価する方法を提案した。この手法を実務の中でより有効に活用する際の課題として、コスト基準に加えて在庫金額も考慮する必要性が挙げられる。これは、グローバルなサプライネットワーク構造を持つ事により、生産から市場に供給するまでの間に保有する在庫金額を一定基準以内に抑えることが必要になるからである。対象とする市場がグローバル化し輸送リードタイムが延びることによって、そのサプライネットワーク内で保有する在庫金額は増加することになり、それに見合うだけの資金を多く投入しなければならない。昨今の激動する世界経済や、多様化し大きく変動する市場要求に耐えながら、製品を市場に継続的に過不足なく供給していくには、コストの最小化を追求するだけではなく、在庫金額を適正に維持できる拠点配置設計が必須になる。仮に、この製品の供給活動において、コスト最小のみを考慮した拠点配置設計で在庫金額を考慮しなければ、場合によっては資金繰りが悪化したり、陳腐化した売れ残りの在庫の処分に多大な損失を抱えたりするリスクが大きくなる。

この様なリスクを避けるために運転資金の最小化が要求されている。モノづくり企業の活動は、部材の購入から始まり、製造、輸送、保管、配送を経て顧客に販売され商品の対価としてお金が入金される。Fig. 3-1に、モノづくり企業の活動プロセスと運転資金、棚卸資産の関係を示す。この図に示されているように、運転資金を最小化するためには棚卸資産を最小化していくことが有効であり、棚卸資産を最小化するには、輸送、保管、配送における在庫を最小化しなくてはならない。

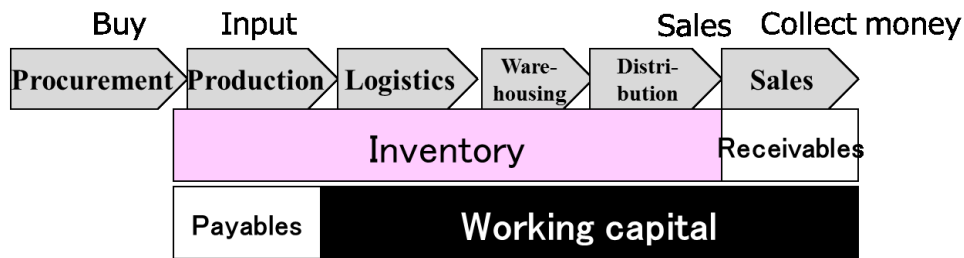


Fig. 3-1 Chart of relation between inventory and working capital of manufacturers

一方で需要変動に強い拠点配置設計の要望もある．輸送リードタイムが延びることにより，それだけ先の需要を予測し，製品を供給しなければならない．需要予測と実需の違いに対応するためには，顧客への製品供給を止めないための必要最小限の安全在庫が必要となる．これは見方を変えたと在庫増加リスクと捉える事ができる．

3.2. なぜ在庫を考慮した拠点配置設計が必要なのか

本研究の中で作成した量産系・見込み生産を行う企業活動における在庫発生の特異要因図を Fig. 3-2 に示す．この図を見ると，多くの在庫発生要因がオペレーションレベルで発生している．

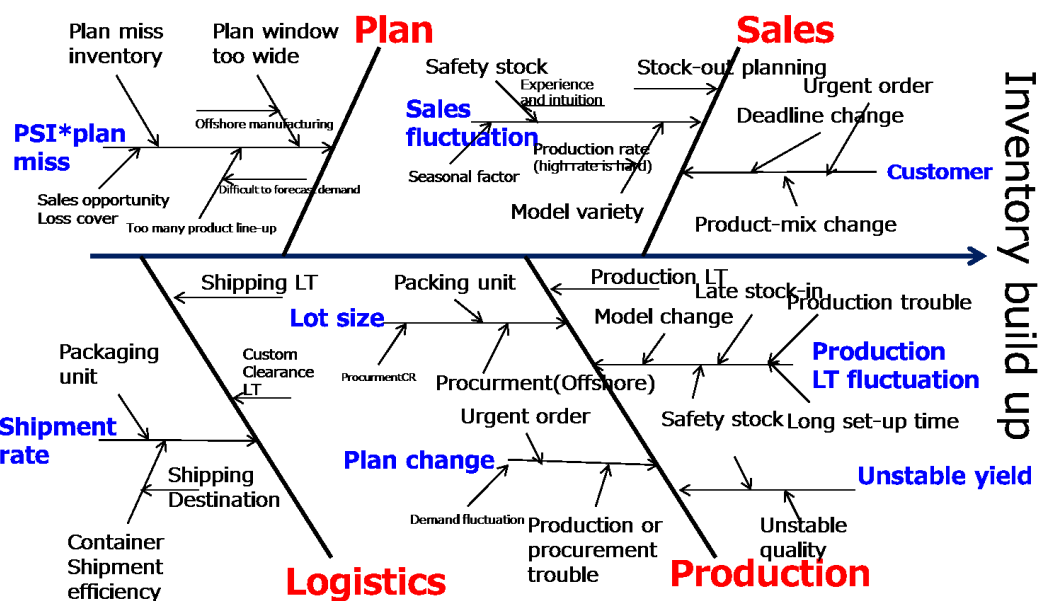


Fig. 3-2 Inventory built-up cause and effect diagram

更に，オペレーションレベルでは効率重視，コストダウン重視の傾向があり，企業内組織の機能に合わせた在庫を増加させる意識が働く．例えば営業部門は，販売機会ロスを恐れるあまり意識的に安全在庫を増やそうとの意識が働く．製造部門は製造コストの削減と作業効率の改善のために，製造ロットサイズを大きめに設定してしまう．物流部門は輸送効率を高めるために輸送ロットサイズを大きく設定してしまう．それらの意識を抑制して

適正な在庫量に抑える機能を持つヘッドクォーターでも、ある程度までは容認してしまうこともある。その様子を Fig. 3-3 に示す。

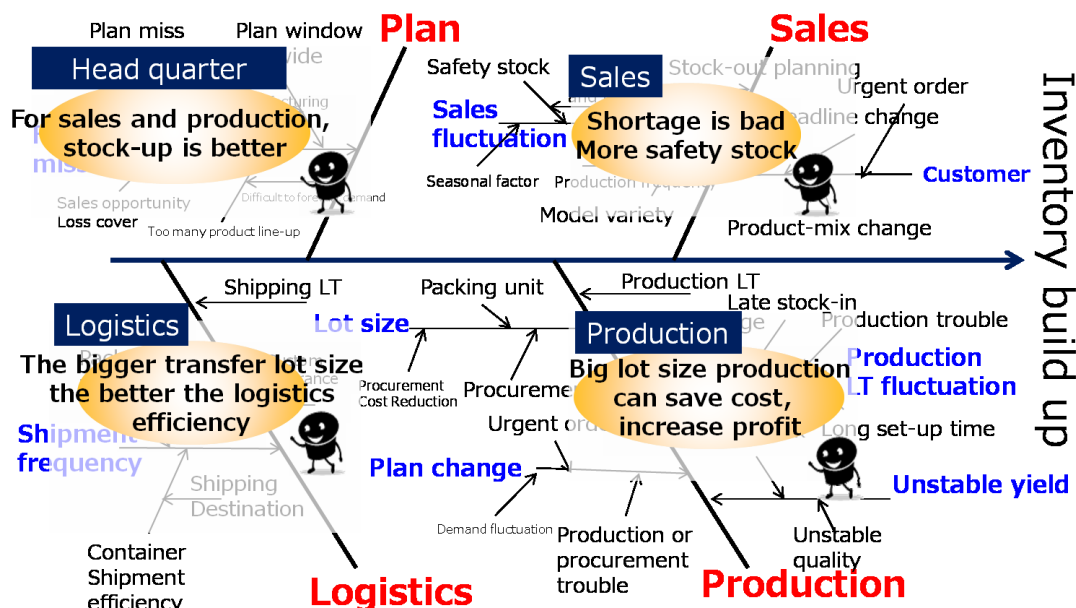


Fig. 3-3 Human errors in inventory control activities

企業の実務の中では、オペレーションレベルでこれらの要因を抑える活動が活発に行われている。この活動ではスピードが重要視され、需要や生産の変動を素早く捉えると共に、在庫量が適正な量にコントロールされているかを短いサイクルで監視するオペレーションを実現するための情報システム構築や、RFID（Radio Frequency Identifier）の様な電波を活用した非接触式の識別子情報を埋め込んだ電子タグの活用研究が進んでいる[45][46][47]。

一方で、近年のモノづくり企業を取り巻くグローバル化は、軽薄短小を追求してきたデジタルプロダクツだけでなく重厚長大を特徴とする社会インフラ系製品にも進展してきている。社会インフラ系製品は重量や大きさが原因となって、輸送リードタイムを短縮するための航空機を利用しにくく、多くは船便を使用する。船便を使った場合、輸送距離が長くなると通関処理も含めて一ヶ月を越えるリードタイムを必要とする場合も出てくる。更に製品固体の特性が社会インフラ的特長を有しながら、市場では量産品として扱われる製品（量産系社会インフラ製品と呼ぶ）も多い。この様な、長いリードタイムを必要とする量産系社会インフラ製品の場合は、受注に応じた生産を行えなくなり計画生産をベースとして、輸送経路の途中に存在する在庫拠点に各種変動を吸収できる安全在庫を配置する生産方法をとることになる。これらの在庫を適性量に維持する方法として、在庫拠点の在庫量に基準を設けて基準を維持する在庫補充計画に従った生産を行っている。この様な生産方式では、前述した在庫量の基準を守るためのオペレーショナルレベルの在庫のコントロール以外に、在庫量の基準自体を低くする拠点配置設計時点での適切な拠点の選定が必

要なのである．本論文では 3.1 節で述べた在庫増加リスクに対応できる在庫基準量を維持しながら最適な拠点配置を選定できるよう，第 2 章のコスト基準の拠点配置決定モデルを拡張し，コストと同時に在庫金額を考慮した拠点配置設計への数理的最適化手法の適用を試みる．更に，実務でのグローバル拠点配置設計を想定した数値実験によって，本手法の実用性を確認する．

3.3. 在庫を考慮した最適拠点配置決定問題の定義

3.3.1. 在庫金額を考慮したモデル化

戦略設計レベルの初期段階を想定していることから，サプライネットワークモデルとコストモデルは第 2 章と同様のモデルを使い，在庫金額モデルを拡張する．はじめに在庫金額モデル表記に使用する記号を以下に示す．

$Inv(x_{ij})$: 工場 j から市場 i への製品供給における在庫金額 (＄)

$InvLt_{ij}$: 工場 j から市場 i への製品供給リードタイムによって発生する在庫金額 (＄)

$InvCyc_{ij}$: 工場 j から市場 i への製品輸送サイクルによって発生する在庫金額 (＄)

$InvSafe_{ij}$: 工場 j から市場 i への製品供給における安全在庫金額 (＄)

$InvMfgLt_j$: 工場 j の製品製造リードタイムによって発生する在庫金額 (＄)

$InvTrnsLt_{ij}$: 工場 j から市場 i への輸送リードタイムによって発生する在庫金額 (＄)

Day : 1 年の日数 (日)

$MfgLt_j$: 工場 j の製造リードタイム (日)

$TrnsLt_{ij}$: 工場 j から市場 i への輸送リードタイム (日)

Cyc_{ij} : 工場 j から市場 i への製品輸送サイクル (日/回)

$CoefS_j$: 工場 j での安全在庫係数

$LtVlty_j$: 工場 j のリードタイムバラツキ (日)

$CoefSS_i$: 市場 i での販売バラツキに対する安全在庫係数

$SaleVlty_i$: 市場 i での販売バラツキ (%)

$DayM$: 1 ヶ月の日数 (日)

$CoefSF_i$: 市場 i での販売予測バラツキに対する安全在庫係数

$FixPrid_{ij}$: 工場 j で製造し市場 i に到着するまでの供給リードタイムを考慮した計画固定期間 (日)

$FrcstVlty_{ij}$: 販売予測バラツキ (%)

在庫金額モデルを一本の製品供給ルートを使って説明する．一本の製品供給ルートの中に存在する在庫金額は，在庫発生要因別に分解すると Fig. 3-4 のようになる．なお，上記製造リードタイムのバラツキ ($LtVlty_j$) の単位を日としているのは，現状のグローバルサプライネットワークコントロール実務での管理粒度が時間単位ではなく日単位になって

いることを考慮しているからである．

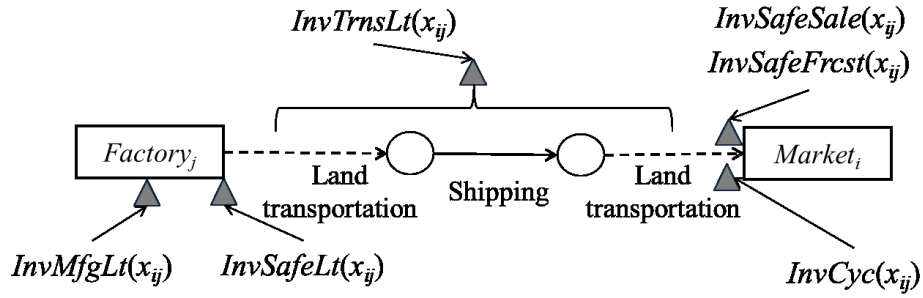


Fig. 3-4 Inventory amount model

Fig. 3-4 に基づき，一本の製品供給ルートの中に保有される平均的な在庫金額は次式で表わせる．

$$Inv(x_{ij}) = InvLt(x_{ij}) + InvCyc(x_{ij}) + InvSafe(x_{ij}) \quad (3.1)$$

$$InvLt(x_{ij}) = InvMfgLt(x_{ij}) + InvTrnsLt(x_{ij}) \quad (3.2)$$

$$InvMfgLt(x_{ij}) = (\sum_n^N PurC_{nj} + ProdC_j) \times \frac{1}{2} \times MfgLt_j \times x_{ij}/Day \quad (3.3)$$

$$InvTrnsLt(x_{ij}) = \{ProdC_j \times (1 + OutTrif_{ij}) + TransC_{ij}\} \times (1 + TrnsIns_{ij}) \times TrnsLt_{ij} \times x_{ij}/Day \quad (3.4)$$

$$InvCyc(x_{ij}) = Cost_{ij} \times Cyc_{ij}/2 \times x_{ij}/Day \quad (3.5)$$

$$InvSafe(x_{ij}) = InvSafeLt(x_{ij}) + InvSafeSale(x_{ij}) + InvSafeFrcst(x_{ij}) \quad (3.6)$$

$$InvSafeLt(x_{ij}) = CoefS_j \times LtVlty_j \times ProdC_j \times x_{ij}/Day \quad (3.7)$$

$$InvSafeSale(x_{ij}) = CoefSS_i \times SaleVlty_i \times Cyc_{ij} \times \sqrt{(DayM/Cyc_{ij})} \times Cost_{ij} \times x_{ij}/Day \quad (3.8)$$

$$InvSafeFrcst(x_{ij}) = CoefSF_i \times FixPrid_{ij} \times FrcstVlty_{ij} \times Cost_{ij} \times x_{ij}/Day \quad (3.9)$$

式(3.1)は，工場 j から市場 i までの製品供給ルートの中に保有される平均的な在庫金額が，供給リードタイムに起因する在庫（リードタイム在庫）と輸送や製造頻度に起因する在庫（サイクル在庫）および安全在庫の合計金額であることを示している．式(3.2)は，リードタイム在庫金額が製造リードタイムに起因する在庫（製造リードタイム在庫）と輸送リードタイムに起因する在庫（輸送リードタイム在庫）の合計金額であることを示している．式(3.3)は，製造リードタイム在庫金額が単位あたりの仕掛品コスト（製造開始直前の部材のみのコストと製品完成時のコストの平均）と製造リードタイムと1日あたりの平均供給数量の積であることを示している．式(3.4)は，輸送リードタイム在庫金額が単位あたりの輸送品コストと輸送リードタイムと1日あたりの平均供給数量の積であることを示している．式(3.5)は，サイクル在庫が工場 j から市場 i までの輸送頻度と，製品完成時の1台あたりのコストと，1日あたりの平均供給数量の積の1/2であることを意味している．式(3.6)は，安全在庫金額が工場の製造リードタイムバラツキ，単位期間あたりの販売数量

平均値に対する販売バラツキ, 工場で製造し市場に到着するまでの供給リードタイムを考慮した計画固定期間前の販売予測台数に対する販売実績台数の差を集計したバラツキそれぞれに対応した安全在庫の合計金額であることを示している. 式(3.7)(3.8)(3.9)では, 一般的な安全在庫保有日数算出式を使って在庫金額に換算している [48]. 式(3.7)は, 工場の製造リードタイムバラツキに対応する安全在庫金額を算出する式であり, 製品単体の製造コスト, 製造リードタイムのバラツキ, 安全在庫係数の積となる.

式(3.8)(3.9)では, 市場での需要変動に対する安全在庫の考え方を使い, 過去の実績データを活用して算出することを前提としている. 式(3.8)は Cyc_{ij} の期間で集計される販売実績を使った, 1 カ月内での販売バラツキに対する安全在庫金額の算出式である. 毎月の販売台数実績の毎 Cyc_{ij} の販売台数平均に対する, 毎 Cyc_{ij} の製品販売実績の差を使い, $SaleVlty_i$ を求めて一般的な安全在庫算出式に当てはめている. 式(3.9)は長期の販売見込みと販売実績の差を吸収するための安全在庫金額の算出式である. この安全在庫は長期の販売予測と販売実績の差に基づく販売予測バラツキ $FrstVlty_{ij}$ と, 工場 j から市場 i までの供給リードタイムによって決定される計画固定期間 $FixPrid_{ij}$ によって算出される. 計画固定期間とは, 計画に基づいて製品を製造する中で, 製品の製造計画を変更しない, または計画変更できない期間のことを示す. グローバルなサプライネットワークを使って製品を供給する事業では, 実務上販売予測を月単位に実施することが多い. この様な場合, 工場 j から市場 i までの供給リードタイムが 1 カ月未満ならば, 計画固定期間は最低 1 カ月となるが, 供給リードタイムが 1 カ月以上 2 カ月未満となると計画固定期間は最低 2 カ月が必要となる. 予測対象が未来になればなるほど販売予測バラツキは大きくなることが想定され, その分の販売予測バラツキを有した需要変動に対する安全在庫は増加することが予想される. この様なリスクを避けられる拠点配置設計が要求されることになる. 我々の提案している在庫金額を考慮した最適拠点配置手法に安全在庫を組み込むことで, サプライネットワーク上の需要変動や生産変動リスクを在庫増加リスクとしてあらわし, 適正な在庫金額の中で最小コストの拠点配置を選ぶことができるようになる.

3.3.2. 定式化

ここで, 在庫を考慮した最適拠点配置問題を定式化する. ここで, Cc を全コストの重み係数, Ci を在庫金額の重み係数とし, 運営可能な工場数は第2章と同じく Q , 経営資金で運営可能な在庫金額上限を $InvM$ とする.

目的関数は式(3.10)のようになる.

Minimize

$$Cc \times \left\{ \sum_i^I \sum_j^J Cost(x_{ij}) + \sum_j^J (FixC_j \times Avl_j) \right\} + Ci \times \sum_i^I \sum_j^J Inv(x_{ij}) \quad (3.10)$$

制約は, 第2章の制約 (式(3.11)から式(3.14)は第2章の式(2.8)から(2.11)と同一) に加えて式(3.15)が加わる.

$$\sum_j^J x_{ij} = D_i \quad \forall i \quad (3.11)$$

$$\sum_j^J Avl_j \leq Q \quad (3.12)$$

$$\sum_i^I x_{ij} \leq Cap_j \times Avl_j \quad \forall j \quad (3.13)$$

$$Avl_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (3.14)$$

$$\sum_i^I \sum_j^J Inv(x_{ij}) \leq InvM \quad (3.15)$$

式(3.10)で示すように，対象とするサプライネットワークでの重み付き全コストと重み付き在庫金額を最小とすることが目的となる．実務での活用を考慮し，コストと在庫金額の優先バランスを取れるよう，それぞれに重み係数 Cc と Ci を付けている．式(3.15)は，在庫金額合計が経営資金で運営可能な在庫金額上限を越えられないことを示している．

以上のように，本節では在庫を考慮した拠点配置問題の定式化を示した．次節では，経営資金で運営可能な在庫金額以下にコントロールしながら，サプライネットワークの全コストを最小化する工場配置を選定する目的に合わせた数値実験について述べる．

3.4. 数値実験

3.4.1. 実験条件

実務で本手法を活用する場合，各種係数を変更しながら複数の条件による拠点の選択を行って，拠点候補を絞り込むこととなる．そこで，数値実験では実務におけるプロセスに合わせたシナリオを想定し，シナリオに沿った条件による実験を行い，その結果が想定通りであるか確認する．想定するシナリオは，地理的条件だけで安全在庫を考慮しない場合の工場候補選択（シナリオ 1）と需要変動リスクに対する安全在庫を考慮した工場候補選択（シナリオ 2）とする．シナリオ 1 の中に 4 種類のケースとシナリオ 2 の中に 3 種類のケースを想定し，合計で 7 種類の条件設定での数値実験を行うこととした．シナリオ 1 の 4 種類のケースとは，コスト最小での工場候補選択のケース，在庫最小での工場候補選択のケース，在庫金額上限制約を加味したコスト基準での工場候補選択のケース，重み係数を使ってコストと在庫金額の両方を基準とした工場候補選択のケースである．安全在庫の定義には，変動バラツキが正規分布しているという仮定の下に想定された一般的な在庫理論を適用しており，安全在庫を想定する場合には，それぞれの安全在庫係数に欠品率が 1% となる 2.33 を用い，安全在庫を想定しない場合はそれぞれの係数に 0 を用いることとした．これら 7 種類の設定条件とそれぞれの実験番号を **Table 3-1** に示す．

Table 3-1 Condition of numeric experiments

Experiment Number	1	2	3	4	5	6	7
Scenario Number	1				2		
Number of available factories	10						
Capacity of each factories	300k(unit/year)						
Weight of cost (C_C)	1	0	1	0.5	1	1	0.5
Weight of inventory (C_i)	0	1	0	0.5	0	0	0.5
$CoefS_j$	0	0	0	0	0	0	0
$CoefSS_i$	0	0	0	0	2.33	2.33	2.33
$CoefSF_i$	0	0	0	0	2.33	2.33	2.33
Inventory amount limit ($InvM$)	Nothing	Nothing	\$1.5M	Nothing	Nothing	\$2.0M	Nothing

対象となる市場と工場候補地を同一の 43 都市とした第 2 章に対して、より実務に近づけた状態とするために、市場を 50 か所に拡張し、工場の候補地は人件費の高い大都市を除いた 33 か所とした。それぞれの地理的情報は前章と同じく、陸上輸送距離情報を google map [39] から、海上輸送距離情報を SeaRates.com [42] から、都市別の基準賃金と関税率を JETRO ホームページ [41] から取得した。すべての工場の製造リードタイムは平均 2 日間、輸送頻度は 1 週間（7 日）サイクルと設定した。仮想で設定した各市場での需要数と工場候補の例を Table 3-2 に示す。

安全在庫を考慮したシナリオ 2 では、設定条件と結果の関係が分かりやすいように、製造リードタイムバラツキに対応した安全在庫は考慮せず、需要変動に対する安全在庫のみが設定される条件とした。そのため、製造リードタイムバラツキに対応した安全在庫係数（ $CoefS_j$ ）を 0 にし、販売バラツキに対する安全在庫係数（ $CoefSS_i$ ）と販売予測バラツキに対する安全在庫係数（ $CoefSF_i$ ）を 2.33 に設定する。また、一般的に安全在庫量を大きく左右する販売予測対象期間の違いに対する販売予測バラツキ（ $FrcstVlty_{ij}$ ）を 1 カ月先が 5%、2 カ月先が 10%、3 か月先が 15%となるように設定し、1 カ月内で発生する販売バラツキはすべての市場で 3%となるように設定した。

Table 3-2 Markets' demand and factory candidates

Region	Demand by region (k units)	City	Demand by city (k pieces)	Factory candidate (Yes or No)
Japan	400	Osaka	200	No
		Yokohama	200	No
China	261	Shanghai	30	No
		Beijing	51	No
		Guangzhou	30	Yes
		Shenzhen	30	Yes
		Shenyang	30	Yes
		Dalian	30	Yes
		Qingdao	30	Yes
		Wuhan	30	Yes
Korea	30	Seoul	30	Yes
USA	120	Los Angeles	30	No
		New York	30	No
		Atlanta	15	Yes
		San Francisco	15	No
		Houston	15	Yes
		Chicago	15	No
Brazil	18	Campinas	2	Yes
		San Jose Dos Pinhais	2	Yes
		San Paulo	10	No
		Manaus	2	Yes
		Rio de Janeiro	2	Yes
Argentina	4	Buenos Aires	4	Yes
Mexico	6	Aguascalientes	1	Yes
		Guanajuato	1	Yes
		Queretaro	1	Yes
		Tijuana	1	Yes
		City	1	No
		Monterrey	1	Yes
Oceania	55	Sydney	55	No
Thailand	43	Bangkok	43	Yes
Vietnam	16	Da Nang	4	Yes
		Ha Noi	4	Yes
		Ho Chi Minh	8	Yes
Philippine	30	Manila	30	Yes
Indonesia	104	Jakarta	104	Yes
India	23	Ahmadabad	4	Yes
		Chennai	4	Yes
		New Delhi	7	No
		Bangalore	4	Yes
		Mumbai	4	Yes
Pakistan	18	Karachi	18	Yes
Bangladesh	6	Dhaka	6	Yes
Russia	30	Saint Petersburg	30	No
Nigeria	26	Lagos	26	Yes
Egypt	23	Cairo	23	No
Turkey	27	Istanbul	27	No
Netherlands	14	Amsterdam	14	No
UK	46	London	46	No
South Africa	41	Johannesburg	41	Yes

以上の様な仮想条件で実験を行うことから、本数値実験での選択結果自体に意味があるわけではなく、想定した実験条件での選択結果の変化に意味がある。そこで、各実験で想定される結果変化を実験別に示す。実験 1 では需要変動リスクを考慮せず、サプライネットワーク構造に起因したコスト最小の工場設置候補都市を得ることと、後に続く実験に対する全コストと全在庫金額のリファレンスを得ることが目的である。実験 2 ではコストは考慮せず全在庫金額を最小にする工場設置候補都市を得ることから、実験 1 よりも多くの工場設置候補都市が選ばれ、全在庫金額が実験 1 よりも大幅に縮小するであろうことを期待する。実験 3 では全在庫金額上限で在庫金額制約をかけることで、実験 2 よりも少ない工場設置候補都市が選ばれると共に、トータルコストも減少し実験 1 と実験 2 の間の金額になることを期待する。実験 4 では、コストの重みと在庫金額の重みが等しい状態で工場設置候補都市が選ばれ、実験 3 に近い結果が得られるであろうことを期待する。実験 5 は需要変動バラツキに対応した安全在庫を考慮するが、全在庫金額が安全在庫分実験 1 の結果よりも大きくなるだけで、選択される工場設置候補都市とトータルコストは実験 1 と等しくなる事を期待する。実験 6 は全在庫金額上限で在庫金額制約をかけることで、需要変動に対応した在庫金額増加リスクを考慮した工場設置候補都市選択結果の変化を期待する。実験 7 は、トータルコストと在庫金額の両方を同じ重みで考慮した工場設置候補都市選択結果が得られ、トータルコストと在庫金額のバランスを取った結果が得られることを期待する。

3.4.2. 実験結果

7 種類の実験結果の一覧を Table 3-3 に示す。Table 3-3 の最下段にある供給リードタイムの平均は、在庫金額を考慮する上で重要な要素であり、在庫金額を考慮した実験の方が考慮していない実験よりも小さい値を示していることが分かる。以降に各実験結果とその考察を示す。

実験 1 での工場候補都市と輸出先市場への製品輸出数配分結果を Table 3-4 に示す。実験 1 の工場設置候補都市は、東南アジアの 3 都市（バンコク、ダナン、ハノイ）とバングラデシュの 1 都市（ダッカ）、ナイジェリアの 1 都市（ラゴス）の合計 5 都市が選定された。東南アジアの 3 都市は東アジア向け、ダッカは東アジアの一部とインド中東向け、ラゴスは南北アメリカとヨーロッパおよびアフリカ向け製品の工場に割り振られた。地理的配置によるトータルコストの最小値を得る工場配置がリファレンスとして得られた。

コストを一切考慮せず、在庫金額を最小化する実験 2 での工場候補都市と輸出先市場への製品輸出数配分結果を Table 3-5 に示す。この結果では、日本と中国向けに中国 2 都市（青島、武漢）、南米向けにブラジル 1 都市（カンピーナス）、北米向けにメキシコ 1 都市（ティファナ）、東南アジアと東アジアの一部向けに東南アジア 3 都市（バンコク、ダナン、ジャカルタ）、インド中東向けにインドエリア 2 都市（ムンバイ、ダッカ）、北

米の一部とヨーロッパおよびアフリカ向けにナイジェリア 1 都市（ラゴス）と選択可能上限の 10 都市が割り振られた。その結果、期待していた通り実験 1 に対して実験 2 の在庫金額を約 20%削減することができたが、工場数が実験 1 に対して 2 倍になったことから固定費が増加し、Table 3-3 に示したようにトータルコストは約 46%増加する結果となった。

在庫金額\$1.5Mを上限制約として考慮した実験 3 での工場候補都市と輸出先市場への製品輸出数配分結果を Table 3-6 に示す。この結果では、東アジアと東南アジア向けに東南アジア 3 都市（ダナン、ハノイ、ジャカルタ）、インドエリアや中東向けにバングラデシュ 1 都市（ダッカ）、北アメリカ向けにメキシコ 1 都市（アグアスカリエンテス）、ヨーロッパや南米、アフリカ向けにナイジェリア 1 都市（ラゴス）の合計 6 都市が割り振られた。Table 3-3 に示したように、制約どおり在庫金額は\$1.5M（実験 1 に対して約 11.2%削減）に抑えられ、トータルコストは実験 1 に対して約 10.5%増加にとどめることができた。

在庫金額上限制約をかけず、目的関数におけるトータルコスト項と在庫金額項の重み係数を同じにした条件（ $C_c=0.5$, $C_i=0.5$ ）での実験 4 での工場候補都市と輸出先市場への製品輸出数配分結果を Table 3-7 に示す。この結果では、東アジアと東南アジア向けに東南アジア 3 都市（バンコク、ダナン、ハノイ）、インドエリアや中東向けにバングラデシュ 1 都市（ダッカ）、南北アメリカやヨーロッパ、アフリカ向けにナイジェリア 1 都市（ラゴス）の合計 5 都市が割り振られた。選択された工場は実験 1 と同じであったが、輸出先への出荷台数配分が調整され、Table 3-3 に示したように在庫制約が無くともトータルコストを約 0.1%以下の増加に抑えながら在庫金額を約 3.7%削減できる工場選択結果を得ることができた。

実験 5 での工場候補都市と輸出先市場への製品輸出数配分結果を Table 3-8 に示す。この結果では、想定通り実験 1 の工場選択結果と同じ結果となり、Table 3-3 に示したように在庫金額のみ需要変動に対応した安全在庫金額が増加した。

実験 6 での工場候補都市と輸出先市場への製品輸出数配分結果を Table 3-9 に示す。この結果では、実験 5 で得られた在庫金額\$2.12M よりも小さい\$2.00M を在庫金額上限制約として加えた。その結果、選択された工場数は実験 5 と同じ 5 工場ではあったが、バンコクが無くなり青島が選択された。実験 5 では中国の各都市にはハノイから製品が供給されていたが、実験 6 では中国の都市の半分以上が青島からの供給に変わり、実験 5 でバンコクから製品供給されていた都市は、ダナンやダッカから製品供給される配分になっていた。実験 5 と実験 6 のそれぞれで選択された工場と市場の組合せにおける供給リードタイムの平均値は、実験 6 の方が約 6.4%短くなっており、想定した通り販売予測バラツキによる在庫増加リスクを小さくする方向で、工場候補都市が選択される結果となった。実験 5 に対して実験 6 の在庫金額は、表 3-3 に示したように約 5.6%削減され全コストの上昇は約 4.2%に抑えられている。

目的関数におけるトータルコスト項と在庫金額項の重み係数を同じにした実験 7 の場

合での工場候補都市と輸出先市場への製品輸出数配分結果を Table 3-10 に示す。この結果では、コスト最小のみの条件である実験 5 と同じ 5 か所の工場が選択された。しかし、工場から市場への輸出数量配分に違いがあり、在庫金額は約 2.8%削減され、トータルコストは約 0.02%の上昇に抑えられる結果となった。

Table 3-3 Results of each experiment (summary)

Experiment Number	1	2	3	4	5	6	7
Selected factory	Bangkok Da Nang Ha Noi Dhaka Lagos	Qingdao Wuhan Campinas Tijuana Bangkok Da Nang Jakarta Mumbai Dhaka Lagos	Aguascalientes Da Nang Ha Noi Ha Noi Jakarta Dhaka Lagos	Bangkok Da Nang Ha Noi Dhaka Lagos	Bangkok Da Nang Ha Noi Dhaka Lagos	Qingdao Da Nang Ha Noi Dhaka Lagos	Bangkok Da Nang Ha Noi Dhaka Lagos
Total cost (M\$)	46.93	68.71	51.88	46.94	46.93	48.90	46.94
Total inventory amount (M\$)	1.69	1.35	1.50	1.63	2.12	2.00	2.06
Average of supply lead time (day)	12.61	6.02	8.87	12.61	12.61	11.81	12.61

Table 3-4 Result of experiment number 1 (in details)

City	Dhaka	Da Nang	Ha Noi	Bangkok	Lagos
Osaka	200	0	0	0	0
Yokohama	11	185	4	0	0
Shanghai	0	0	30	0	0
Beijing	0	0	51	0	0
Guangzhou	0	0	30	0	0
Shenzhen	0	0	30	0	0
Shenyang	0	0	30	0	0
Dalian	0	0	30	0	0
Qingdao	0	0	30	0	0
Wuhan	0	0	30	0	0
Seoul	0	0	30	0	0
Los Angeles	0	0	0	0	30
New York	0	0	0	0	30
Atlanta	0	0	0	0	15
San Francisco	0	0	0	15	0
Houston	0	0	0	0	15
Chicago	0	0	0	0	15
Campinas	0	0	0	0	2
San Jose Dospinhais	0	0	0	0	2
San Paulo	0	0	0	0	10
Manaus	0	0	0	0	2
Rio de Janeiro	0	0	0	0	2
Buenos Aires	0	0	0	0	4
Aguascalientes	0	0	0	0	1
Guanajuato	0	0	0	0	1
Queretaro	0	0	0	0	1
Tijuana	0	0	0	0	1
City	0	0	0	0	4
Monterrey	0	0	1	0	0
Sydney	0	55	0	0	0
Bangkok	0	0	0	43	0
Da Nang	0	4	0	0	0
Ha Noi	0	0	4	0	0
Ho Chi Minh	0	8	0	0	0
Manila	0	30	0	0	0
Jakarta	0	18	0	86	0
Ahmadabad	4	0	0	0	0
Chennai	4	0	0	0	0
New Delhi	7	0	0	0	0
Bangalore	4	0	0	0	0
Mumbai	4	0	0	0	0
Karachi	18	0	0	0	0
Dhaka	6	0	0	0	0
Saint Petersburg	0	0	0	0	30
Lagos	0	0	0	0	26
Cairo	23	0	0	0	0
Istanbul	19	0	0	0	8
Amsterdam	0	0	0	0	14
London	0	0	0	0	46
Johannesburg	0	0	0	0	41

(k pieces)

Table 3-5 Result of experiment number 2 (in details)

City	Campinas	Jakarta	Dhaka	Da Nang	Tijuana	Bangkok	Mumbai	Lagos	Qingdao	Wuhan
Osaka	0	0	0	11	0	0	0	0	189	0
Yokohama	0	0	0	200	0	0	0	0	0	0
Shanghai	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0
Beijing	0	0	0	0	0	0	0	0	51	0
Guangzhou	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0
Shenzhen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
Shenyang	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
Dalian	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
Qingdao	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
Wuhan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
Seoul	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0
Los Angeles	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0
New York	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0
Atlanta	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0
San Francisco	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0
Houston	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0
Chicago	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0
Campinas	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
San Jose Dospinhais	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
San Paulo	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Manaus	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
Rio de Janeiro	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Buenos Aires	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aguascalientes	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Guanajuato	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Queretaro	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Tijuana	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
City	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
Monterrey	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Sydney	0	34	0	21	0	0	0	0	0	0
Bangkok	0	0	0	0	0	43	0	0	0	0
Da Nang	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
Ha Noi	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
Ho Chi Minh	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0
Manila	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0
Jakarta	0	104	0	0	0	0	0	0	0	0
Ahmadabad	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
Chennai	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
New Delhi	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0
Bangalore	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
Mumbai	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
Karachi	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0
Dhaka	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0
Saint Petersburg	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0
Lagos	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0
Cairo	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0
Istanbul	0	0	0	0	0	0	0	27	0	0
Amsterdam	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0
London	0	0	0	0	0	0	0	46	0	0
Johannesburg	0	0	0	0	0	0	0	41	0	0

(k pieces)

Table 3-6 Result of experiment number 3 (in details)

City	Aguascalientes	Jakarta	Dhaka	Da Nang	Ha Noi	Lagos
Osaka	0	0	0	200	0	0
Yokohama	0	2	16	66	116	0
Shanghai	0	0	0	0	30	0
Beijing	0	0	51	0	0	0
Guangzhou	0	0	0	0	30	0
Shenzhen	0	0	0	0	30	0
Shenyang	0	0	0	0	30	0
Dalian	0	0	0	0	30	0
Qingdao	0	0	0	0	30	0
Wuhan	0	0	30	0	0	0
Seoul	0	0	0	30	0	0
Los Angeles	30	0	0	0	0	0
New York	0	0	0	0	0	30
Atlanta	0	0	0	0	0	15
San Francisco	15	0	0	0	0	0
Houston	15	0	0	0	0	0
Chicago	15	0	0	0	0	0
Campinas	0	0	0	0	0	2
San Jose Dospinhais	0	0	0	0	0	2
San Paulo	0	0	0	0	0	10
Manaus	0	0	0	0	0	2
Rio de Janeiro	0	0	0	0	0	2
Buenos Aires	0	0	0	0	0	4
Aguascalientes	1	0	0	0	0	0
Guanajuato	1	0	0	0	0	0
Queretaro	1	0	0	0	0	0
Tijuana	1	0	0	0	0	0
City	4	0	0	0	0	0
Monterrey	1	0	0	0	0	0
Sydney	0	55	0	0	0	0
Bangkok	0	43	0	0	0	0
Da Nang	0	0	0	4	0	0
Ha Noi	0	0	0	0	4	0
Ho Chi Minh	0	6	2	0	0	0
Manila	0	30	0	0	0	0
Jakarta	0	104	0	0	0	0
Ahmadabad	0	0	4	0	0	0
Chennai	0	0	4	0	0	0
New Delhi	0	0	7	0	0	0
Bangalore	0	0	4	0	0	0
Mumbai	0	0	4	0	0	0
Karachi	0	0	18	0	0	0
Dhaka	0	0	6	0	0	0
Saint Petersburg	0	0	0	0	0	30
Lagos	0	0	0	0	0	26
Cairo	0	0	23	0	0	0
Istanbul	0	0	1	0	0	26
Amsterdam	0	0	0	0	0	14
London	0	0	0	0	0	46
Johannesburg	0	0	0	0	0	41

(k pieces)

Table 3-7 Result of experiment number 4 (in details)

City	Dhaka	Da Nang	Ha Noi	Bangkok	Lagos
Osaka	200	0	0	0	0
Yokohama	114	0	86	0	0
Shanghai	0	0	30	0	0
Beijing	51	0	0	0	0
Guangzhou	0	0	30	0	0
Shenzhen	0	0	30	0	0
Shenyang	0	0	30	0	0
Dalian	0	0	30	0	0
Qingdao	0	0	30	0	0
Wuhan	30	0	0	0	0
Seoul	0	0	30	0	0
Los Angeles	0	0	0	0	30
New York	0	0	0	0	30
Atlanta	0	0	0	0	15
San Francisco	0	0	0	0	15
Houston	0	0	0	0	15
Chicago	0	0	0	0	15
Campinas	0	0	0	0	2
San Jose Dospinhais	0	0	0	0	2
San Paulo	0	0	0	0	10
Manaus	0	0	0	0	2
Rio de Janeiro	0	0	0	0	2
Buenos Aires	0	0	0	0	4
Aguascalientes	0	0	0	0	1
Guanajuato	0	0	0	0	1
Queretaro	0	0	0	0	1
Tijuana	0	0	0	0	1
City	0	0	0	0	1
Monterrey	0	0	0	0	1
Sydney	0	55	0	0	0
Bangkok	0	0	0	43	0
Da Nang	0	4	0	0	0
Ha Noi	0	0	4	0	0
Ho Chi Minh	0	8	0	0	0
Manila	0	30	0	0	0
Jakarta	0	3	0	101	0
Ahmadabad	4	0	0	0	0
Chennai	4	0	0	0	0
New Delhi	7	0	0	0	0
Bangalore	4	0	0	0	0
Mumbai	4	0	0	0	0
Karachi	18	0	0	0	0
Dhaka	6	0	0	0	0
Saint Petersburg	0	0	0	0	30
Lagos	0	0	0	0	26
Cairo	23	0	0	0	0
Istanbul	27	0	0	0	0
Amsterdam	0	0	0	0	14
London	0	0	0	0	46
Johannesburg	8	0	0	0	33

(k pieces)

Table 3-8 Result of experiment number 5 (in details)

City	Dhaka	Da Nang	Ha Noi	Bangkok	Lagos
Osaka	200	0	0	0	0
Yokohama	11	185	4	0	0
Shanghai	0	0	30	0	0
Beijing	0	0	51	0	0
Guangzhou	0	0	30	0	0
Shenzhen	0	0	30	0	0
Shenyang	0	0	30	0	0
Dalian	0	0	30	0	0
Qingdao	0	0	30	0	0
Wuhan	0	0	30	0	0
Seoul	0	0	30	0	0
Los Angeles	0	0	0	0	30
New York	0	0	0	0	30
Atlanta	0	0	0	0	15
San Francisco	0	0	0	15	0
Houston	0	0	0	0	15
Chicago	0	0	0	0	15
Campinas	0	0	0	0	2
San Jose Dospinhais	0	0	0	0	2
San Paulo	0	0	0	0	10
Manaus	0	0	0	0	2
Rio de Janeiro	0	0	0	0	2
Buenos Aires	0	0	0	0	4
Aguascalientes	0	0	0	0	1
Guanajuato	0	0	0	0	1
Queretaro	0	0	0	0	1
Tijuana	0	0	0	0	1
City	0	0	0	0	4
Monterrey	0	0	1	0	0
Sydney	0	55	0	0	0
Bangkok	0	0	0	43	0
Da Nang	0	4	0	0	0
Ha Noi	0	0	4	0	0
Ho Chi Minh	0	8	0	0	0
Manila	0	30	0	0	0
Jakarta	0	18	0	86	0
Ahmadabad	4	0	0	0	0
Chennai	4	0	0	0	0
New Delhi	7	0	0	0	0
Bangalore	4	0	0	0	0
Mumbai	4	0	0	0	0
Karachi	18	0	0	0	0
Dhaka	6	0	0	0	0
Saint Petersburg	0	0	0	0	30
Lagos	0	0	0	0	26
Cairo	23	0	0	0	0
Istanbul	19	0	0	0	8
Amsterdam	0	0	0	0	14
London	0	0	0	0	46
Johannesburg	0	0	0	0	41

(k pieces)

Table 3-9 Result of experiment number 6 (in details)

City	Dhaka	Da Nang	Ha Noi	Lagos	Qingdao
Osaka	0	200	0	0	0
Yokohama	0	0	200	0	0
Shanghai	0	0	10	0	20
Beijing	0	0	0	0	51
Guangzhou	0	0	30	0	0
Shenzhen	0	0	30	0	0
Shenyang	0	0	0	0	30
Dalian	0	0	0	0	30
Qingdao	0	0	0	0	30
Wuhan	0	0	0	0	30
Seoul	0	4	26	0	0
Los Angeles	0	0	0	30	0
New York	0	0	0	30	0
Atlanta	0	0	0	15	0
San Francisco	0	15	0	0	0
Houston	0	0	0	15	0
Chicago	0	1	0	14	0
Campinas	0	0	0	2	0
San Jose Dospinhais	0	0	0	2	0
San Paulo	0	0	0	10	0
Manaus	0	0	0	2	0
Rio de Janeiro	0	0	0	2	0
Buenos Aires	0	0	0	4	0
Aguascalientes	0	0	0	1	0
Guanajuato	0	0	0	1	0
Queretaro	0	0	0	1	0
Tijuana	0	0	0	1	0
City	0	0	0	4	0
Monterrey	0	0	0	1	0
Sydney	55	0	0	0	0
Bangkok	0	43	0	0	0
Da Nang	0	4	0	0	0
Ha Noi	0	0	4	0	0
Ho Chi Minh	5	3	0	0	0
Manila	0	30	0	0	0
Jakarta	104	0	0	0	0
Ahmadabad	4	0	0	0	0
Chennai	4	0	0	0	0
New Delhi	7	0	0	0	0
Bangalore	4	0	0	0	0
Mumbai	4	0	0	0	0
Karachi	18	0	0	0	0
Dhaka	6	0	0	0	0
Saint Petersburg	0	0	0	30	0
Lagos	0	0	0	26	0
Cairo	23	0	0	0	0
Istanbul	27	0	0	0	0
Amsterdam	0	0	0	14	0
London	0	0	0	46	0
Johannesburg	0	0	0	41	0

(k pieces)

Table 3-10 Result of experiment number 7 (in details)

City	Dhaka	Da Nang	Ha Noi	Bangkok	Lagos
Osaka	0	200	0	0	0
Yokohama	114	0	88	0	0
Shanghai	0	0	30	0	0
Beijing	51	0	0	0	0
Guangzhou	0	0	30	0	0
Shenzhen	0	0	30	0	0
Shenyang	0	0	30	0	0
Dalian	0	0	30	0	0
Qingdao	0	0	30	0	0
Wuhan	30	0	0	0	0
Seoul	0	0	30	0	0
Los Angeles	0	0	0	0	30
New York	0	0	0	0	30
Atlanta	0	0	0	0	15
San Francisco	0	0	0	0	15
Houston	0	0	0	0	15
Chicago	0	0	0	0	15
Campinas	0	0	0	0	2
San Jose Dospinhais	0	0	0	0	2
San Paulo	0	0	0	0	10
Manaus	0	0	0	0	2
Rio de Janeiro	0	0	0	0	2
Buenos Aires	0	0	0	0	4
Aguascalientes	0	0	0	0	1
Guanajuato	0	0	0	0	1
Queretaro	0	0	0	0	1
Tijuana	0	0	0	0	1
City	0	0	0	0	4
Monterrey	0	0	0	0	1
Sydney	0	55	0	0	0
Bangkok	0	0	0	43	0
Da Nang	0	4	0	0	0
Ha Noi	0	0	4	0	0
Ho Chi Minh	0	8	0	0	0
Manila	0	30	0	0	0
Jakarta	0	3	0	101	0
Ahmadabad	4	0	0	0	0
Chennai	4	0	0	0	0
New Delhi	7	0	0	0	0
Bangalore	4	0	0	0	0
Mumbai	4	0	0	0	0
Karachi	18	0	0	0	0
Dhaka	6	0	0	0	0
Saint Petersburg	0	0	0	0	30
Lagos	0	0	0	0	26
Cairo	23	0	0	0	0
Istanbul	27	0	0	0	0
Amsterdam	0	0	0	0	14
London	0	0	0	0	46
Johannesburg	8	0	0	0	33

(k pieces)

3.4.3. 実務適用に向けた考察

実務への適用を考えた場合、実験 2 を除いた実験 1 から実験 7 までの工場候補都市選択作業を行うことが想定される。実験 2 については確かに在庫金額を最小にできたが、コストが上昇しすぎており、現実的な選択結果とは言えない。今回の数値実験の結果からは、ダナン、ハノイ、ダッカ、ラゴスを工場候補都市として選択を決定し、アグアスカリエンテス、バンコク、青島を次点の候補として更に詳細な比較検討に入ることになるであろう。また、実験 5、実験 6、実験 7 の結果より、需要変動を考慮した場合の工場候補都市としての青島は次点候補の中でも優先的に選ばれる可能性が高い。その理由は、在庫金額上限制約を有効にした条件でのみ選択された工場候補都市だからである。本手法で工場の選択結果に在庫を考慮させる方法は、実験 6 のように在庫上限制約をかける方法と、実験 7 のようにコストと在庫金額の重み係数を使う場合が想定される。在庫上限制約をかける方法は運転資金上限で制約をかけることと一致するため分かりやすい。一方で、重み係数を活用する実験 7 の様な場合は、ビジネスの状況によって重みの値を調整する必要があると考えている。コストの優先度を上げて在庫金額の増減を確認したり、在庫金額の重みを調整して選択拠点が切り替わる感度分析を行うなど、シミュレーションに活用する方法である。この重み係数の活用方法に関する検討は、実務的には評価実験を何度も繰り返す必要があることから、本論文では実験 4 と実験 7 については結果の提示のみとする。

3.5. 結言

第 1 章の研究の方針で挙げた 2 点目の研究課題に対して本章の研究結果をまとめる。在庫金額を制約に加えられるモデルを構築したことで、運転資金で運営可能な在庫金額を維持しながらコスト最小となる工場選択を可能にした。これによって、グローバルサプライチェーンの戦略設計段階において、コストだけでなく在庫金額も考慮したサプライネットワークモデルを提案することが可能となった。また、安全在庫を考慮することで、需要変動による在庫増加リスクも考慮した拠点配置の検討にも活用可能である。今回の数値実験の結果を見ると、我々の提案する手法では、最適な拠点配置を一つに決定することは難しいが、コストと在庫金額を基準に需要変動などのリスクを考慮して、複数の拠点配置候補を絞り込むには有効活用できると考える。実務への活用を考えると、サプライネットワークモデルの複雑化を進めるのではなく、設計時点での情報精度を考慮しシンプルに素早く結論が出せる上に、早い段階からリスクを考慮できる手法構築がより有効だと考えられる。

第4章

近似的コストモデルの複数品種化による実務適用

4.1. 緒言

第2章, 第3章ではグローバルサプライネットワークの戦略設計段階における拠点配置設計に焦点を絞り数理的最適化手法の適用を提案した。実務の中でも本手法を活用し, 過去に設立された1か所の海外工場の配置妥当性評価などを実施し, 実ビジネスでの有効性を確認することができた。一方で, 本章で対象とする製品事業では, 既に海外工場で新しい規格に対応する新製品を製造し始めて数年が経過していた。この製品は国内顧客の需要が高い量産系 BtoB (Business to Business) 事業で, ある程度のボリュームを持った製品数量が変動しながら顧客へ供給されている。このビジネス環境の中で, 海外工場配置が決定された後の日本国内への輸送ルート設計に活用したいとの要望が出された。現状の国内輸送ルートは, 国内工場に併設されたコスト的に有利な社内倉庫の一部を活用していたが, 輸入数量の増加によって社内倉庫だけではまかなえなくなり, 外部の貸し倉庫を利用するようになった。この様な段階で, 複数ある日本国内の配送センター (DC) を有効活用し, コスト最小となる輸送ルートを決定的にすることが要求である。そこで, 本研究で構築した手法適用を試み, 本手法で導き出した結果を確認する。

4.2. 実ビジネスの課題への提案手法適用方法概要

対象とした実ビジネスは, 数年前から東南アジアの一都市に新工場を設立し生産を開始し, 日本国内へ製品を供給している。特に昨年はその生産台数が大幅に増加した。生産台数が増加する前は, 日本にある同製品工場内にある製品倉庫を安い使用料で活用できていたため, この社内倉庫を国内唯一の配送センターとして活用していた。しかし, 昨年は生産台数が大幅に増加したため, 社内倉庫の容量では不足してしまい使用料の高い外部倉庫を使わなければならなくなった。この外部倉庫の配置候補は, 中部地方, 関東地方が主要配送センターとなり, 北海道地方, 東北地方, 九州地方にもそれに順ずる配送センターがある。製品は大きさや重さが様々で, 1枚のパレットに積載される台数も製品品種によって違っていた。また, この事業は BtoB 事業の中でもシェアが安定しており, 今年の販売目標は昨年の販売目標から大きく変化するものではない。国内製造製品の場合, 需要変動などに対応するための安全在庫量を30日分としており, 海外工場からの輸送リードタイムと輸送頻度を考慮して, 60日分の製品在庫を基準在庫として配送センターに置く方針も昨年とは大きく変化は無い。

この事例では、社内倉庫を有効に活用しながら、顧客の所在地に合わせて適切な外部倉庫を伴った配送センターを選択しなければならなかった。そこで、昨年 1 年間の輸送実績を使い、製品別顧客別のコスト最小となる配送センターを、本提案手法で選び出すこととした。社内倉庫利用制約をかけるために能力制約を活用し、式(2.10)の Cap_j を社内倉庫の保管可能面積として読み替え、社内倉庫の年間通過台数の 60 日分の貨物を保管するために必要な面積が、社内倉庫保管可能面積を越えないという制約をかけることとした。

我々がこの課題に直面した段階では、Table 1-1 で知り得ない情報と示した項目の多くが知り得る情報となった。以下に新たに知ることができた情報項目を示す。

- ・ 海外工場の詳細位置
- ・ 詳細な製品品種
- ・ 製品品種別の主な顧客
- ・ 過去 1 年間の製品品種別顧客別の出荷台数実績
- ・ 市場における顧客の詳細位置
- ・ 配送センター候補の詳細位置
- ・ 配送センター候補の詳細保管能力

この課題は、第 2 章第 3 章の想定と違い、複数品種に対応して海外工場→配送センター→顧客の 2 階層のサプライチェーンで最適な配送センターを選択することである。最適な配送センターを選択するとは、顧客別製品品種別の配送要求を実ビジネスの制約を考慮しながら、コスト最小となる海外工場→配送センター→顧客のルートを決定的であることを意味する。

一方で、海外工場位置は決定されており、最寄りの輸出港も決定している。日本国内の顧客は日本中に存在するため、輸送コストを下げるためにも、国内に複数存在する配送センター経由ルートをコスト最小にしなければならない。そのため、配送センター選択問題を定義し、コスト最小となる顧客別製品別の配送ルートの配分結果を示せば、年間の配送ルートの意志決定支援ができる。

4.3. 配送センター選択問題の定義

4.3.1. サプライネットワークの定義

この状況に対応した一般的なサプライネットワークは Fig. 4-1 のように表すことができる。これは、2 階層 (2 echelon)、複数品種 (multi-commodity) モデルに見える。

しかし、既に戦略設計レベルの段階からオペレーショナルレベルに移行しており工場の位置と数は決定されている。更に配送センターの数も限定された。この状況から、工場と配送センターの組合せを一つのルートとして定義することで階層を減らすことが可能となる。また、市場側も顧客名と製品モデル名の組合せ別の需要と設定すれば、複数製品へ

の対応も可能となる．戦略設計レベルで決定された工場の数を 2，配送センターの数を 3 とし，製品の顧客への供給先が Fig. 4-1 と同様であると仮定した時のサプライネットワークは Fig. 4-2 のように表わされる．

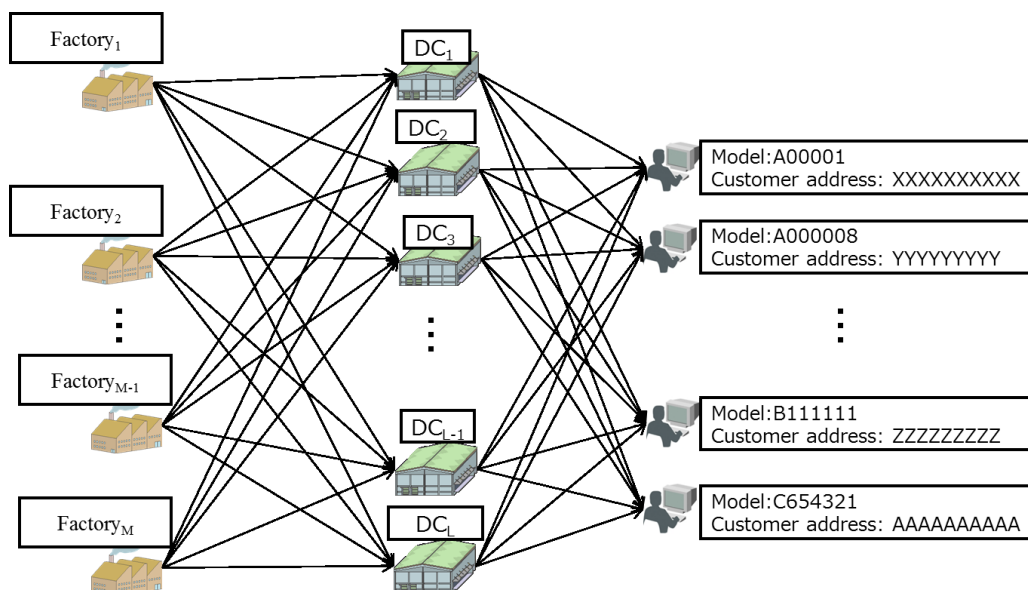


Fig. 4-1 Two echelon and multi-commodity supply network

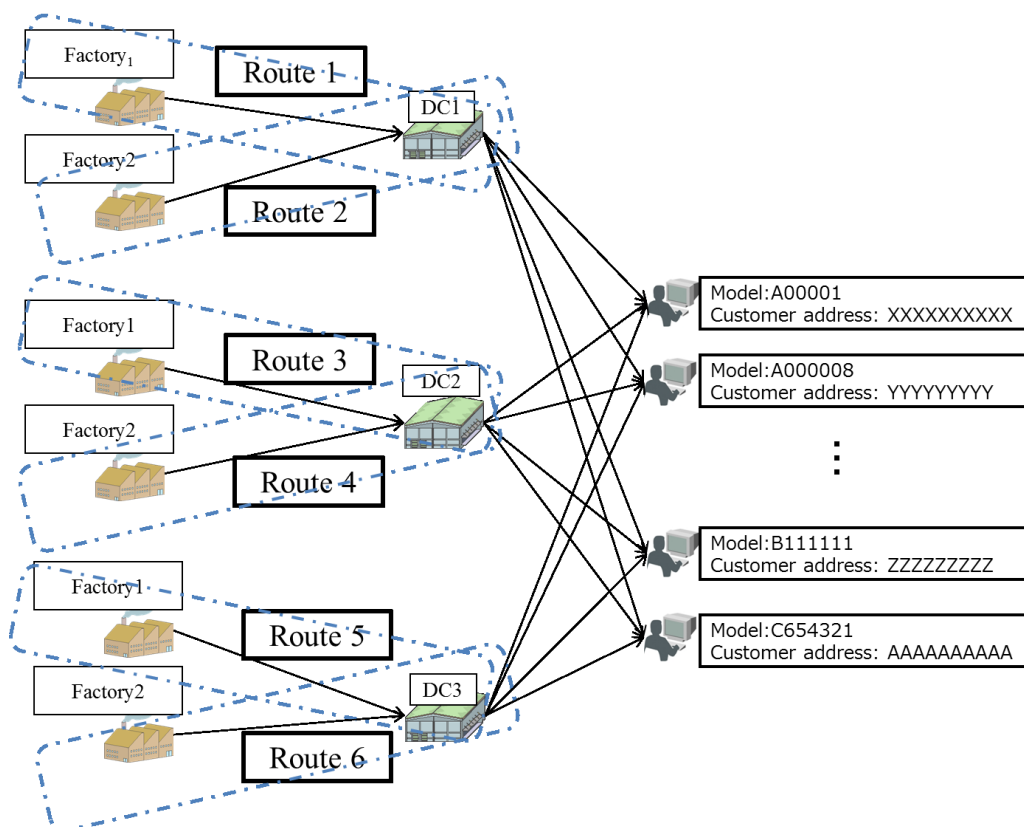


Fig. 4-2 Modified supply network chart by using Route

Fig. 4-2 に示した供給元のルート化と複数品種に対応させることを考慮すると，Fig. 2-1 で示したサプライネットワークモデルを拡張し Fig. 4-3 のように表わすことができる．こ

れによって、第 2 章で定義した一階層のサプライネットワークモデルとして扱うことが可能となる。

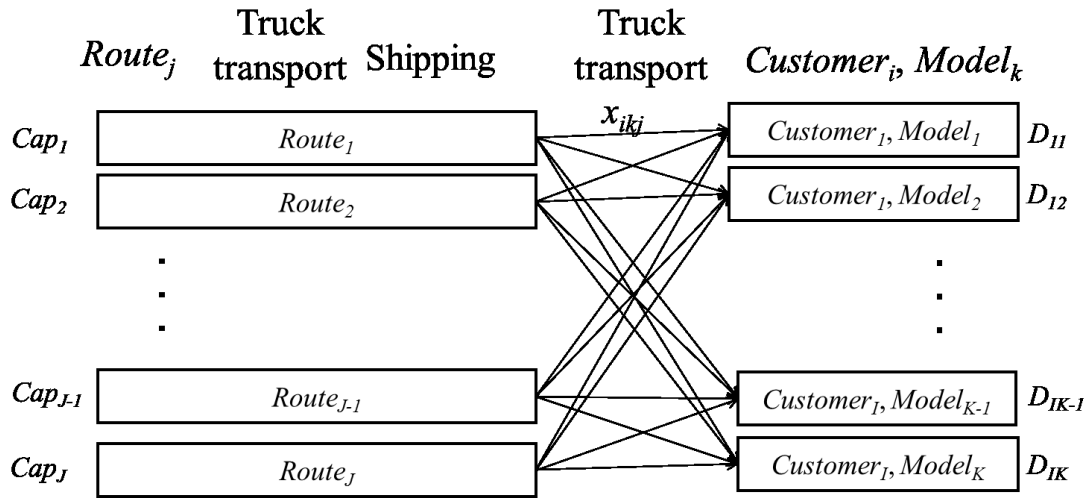


Fig. 4-3 Transportation model for evaluation by using $Route_j$

更に、 $Customer_i$ と $Model_k$ は互いに独立で組み合わせられるため、 $Customer$ のインデックス i と品種のインデックス k の組合せである ik を、 $Customer_Model$ のインデックス i と表現し直す。最終的に、Fig. 4-4 のように表せることから、項目の読み替えにより第 2 章で定式化されたモデルに帰着できる。

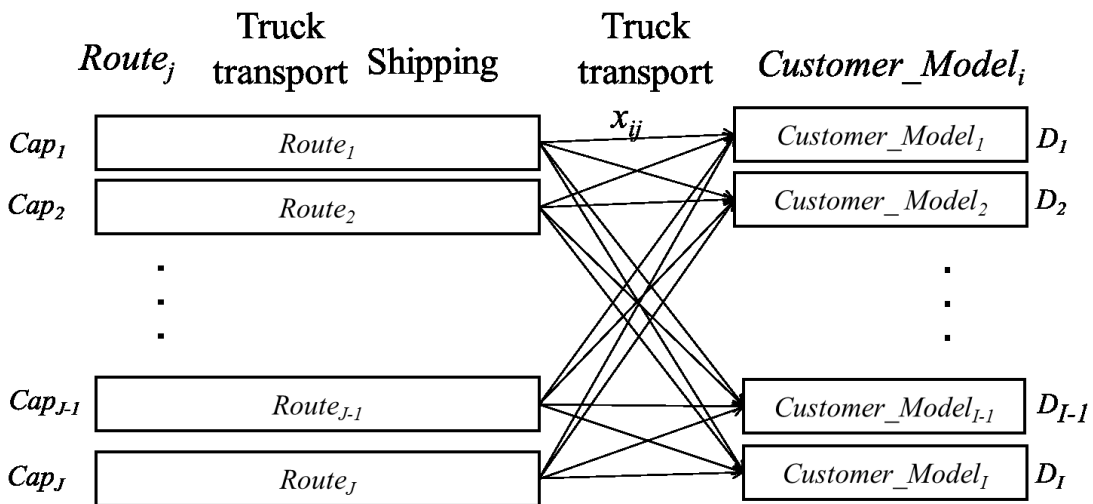


Fig. 4-4 Modified transportation model by using $Route_j$ and $Customer_Model_i$

4.3.2. 定式化

Fig. 4-4 に示したように、第 2 章第 3 章のモデルでは単品種の市場別の需要が顧客別販売目標になっていたのに対して、顧客別品種別 ($Customer_Model$ と記述する) の需要が販売目標となるように拡張する。配送センター選択問題の表記に使用する記号で第 2 章の

定義から拡張した記号を以下に示す.

i : *Customer_Model* のインデックス ($i=1, \dots, I$)

j : *Route* (工場・配送センター) のインデックス ($j=1, \dots, J$)

x_{ij} : *Route_j* から *Customer_Model_i* への年間製品供給数量 (千個/年)

Avl_i : *Route_j* 使用の場合 1, それ以外 0

Cap_j : *Route_j* の生産能力 (千個/年)

D_i : *Customer_Model_i* の販売目標 (千個/年)

$Cost_{ij}$: *Route_j* から *Customer_Model_i* へ供給する製品単体での全変動費 (基準通貨単位/個)

$FixC_j$: *Route_j* の基準通貨での固定費 (基準通貨単位/年)

$FixLC_j$: *Route_j* の現地通貨での固定費 (現地通貨単位/年)

$OutTrif_{ij}$: *Route_j* から *Customer_Model_i* への輸出税率

$TransC_{ij}$: *Route_j* から *Customer_Model_i* への輸送コスト (基準通貨単位/個)

$TransLC_j$: *Route_j* の工場から最寄り港への陸上輸送コスト (現地通貨単位/個)

$TransSC_{ij}$: *Route_j* の最寄り港から *Customer_Model_i* の最寄り港への海上輸送コスト (基準通貨単位/個)

$TransLC_i$: *Customer_Model_i* の最寄り港から *Customer_Model_i* 所在地への陸上輸送コスト (現地通貨単位/個)

$TrnsIns_{ij}$: *Route_j* から *Customer_Model_i* への輸送保険料率

$InTrif_{ij}$: *Route_j* から *Customer_Model_i* への輸入税率

$ProdC_j$: *Route_j* での材料コスト (基準通貨単位/個)

$MfgC_j$: *Route_j* での製造する作業コスト (現地通貨単位/個)

$MngF_j$: *Route_j* での製造管理コスト比率

$PurC_{nj}$: *Route_j* での調達部材 n のコスト (現地通貨単位/個)

E_j : *Route_j* 内の工場が立地する国での現地通貨の対基準通貨為替レート

E_i : *Customer_Model_i* が立地する国での現地通貨の対基準通貨為替レート

これらの拡張を行った上で, 第 2 章のコスト基準の目的関数 (2.7) と制約式 (2.8)(2.9)(2.11) を適用する.

また 4.3.2 小節のユースケースで説明した社内倉庫保管可能面積制約のために, 工場生産能力制約式 (2.10) を社内倉庫保管可能面積制約に拡張した式 (4.1) と更に社内倉庫保管可能パレット枚数制約に変換した式 (4.2), 新たに追加した表記に使用する記号を以下に示す.

J : 社内倉庫を使用する場合の *Route* (工場・配送センター) のインデックス

$InvS$: 基準在庫保有日数 (日)

QP_i : *Customer_Model_i* の積載台数/パレット

$LimSQ_J$: 配送センター J の広さ上限

Day : 1 年の日数 (日)

X_{ij} : 配送センター J に保管される $InvS$ 日分のパレット枚数

$LimPL_J$: 配送センター J に保管されるパレット枚数上限

$$\sum_i^I \left(\frac{x_{ij}}{QP_i} \times InvS / Day \right) \leq LimSQ_J / 1.2 \quad (4.1)$$

$$\sum_i^I X_{ij} \leq LimPL_J \times Day / InvS \quad (4.2)$$

制約式(4.2)は社内倉庫を使用する $Route_J$ を通る全ての製品の、平均 60 日分（基準在庫保有日数）の保管面積のパレット枚数換算値合計が、社内倉庫保管可能面積上限のパレット枚数換算値と基準在庫回転数/年の積を上回らないという制約を示している。

4.4. 提案手法の適用

4.4.1. 評価対象輸送ルート

評価対象と輸送ルートは、東南アジアの 1 か所の工場から日本に向けた輸入を対象にする。輸送ルートの概略を Fig. 4-5 に示す。

顧客は国内に広く分散し、東南アジア工場の最寄りの港から船便で輸送する。日本に輸入する時は、評価対象となる 6 か所の配送センターに一時保管する。輸入する港はそれぞれの配送センターに最寄りの港とする。配送センターの候補は 6 か所ある。その内 1 か所が中部地方にある社内倉庫で、社内倉庫周辺に 1 か所の貸倉庫がある。それ以外は関東地方、東北地方、北海道地方、九州地方に 1 か所ずつ貸倉庫を準備できる状態にしている。

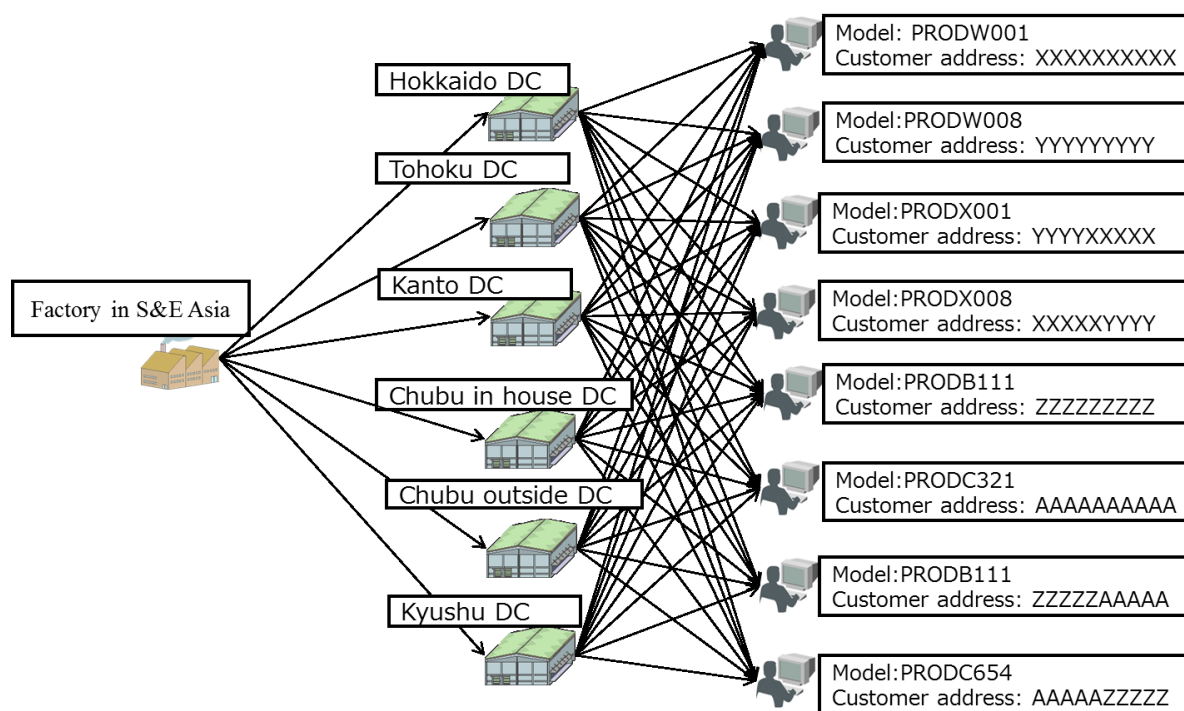


Fig. 4-5 Transporting routes for the evaluation

4.4.2. 入力データの設定

(1) 入力データ設定手順

入手可能なデータを整理するために，その手順をまとめる．対象とする製品の種類，供給先の顧客，国際輸送のための荷姿など入手可能な情報だけでなく，一般的な輸送料金やその料金体系，倉庫使用料などを Web 情報から入手し評価の入力データに加工する必要がある．それらの手順を Fig. 4-6 に示し，その詳細を以降に説明する．

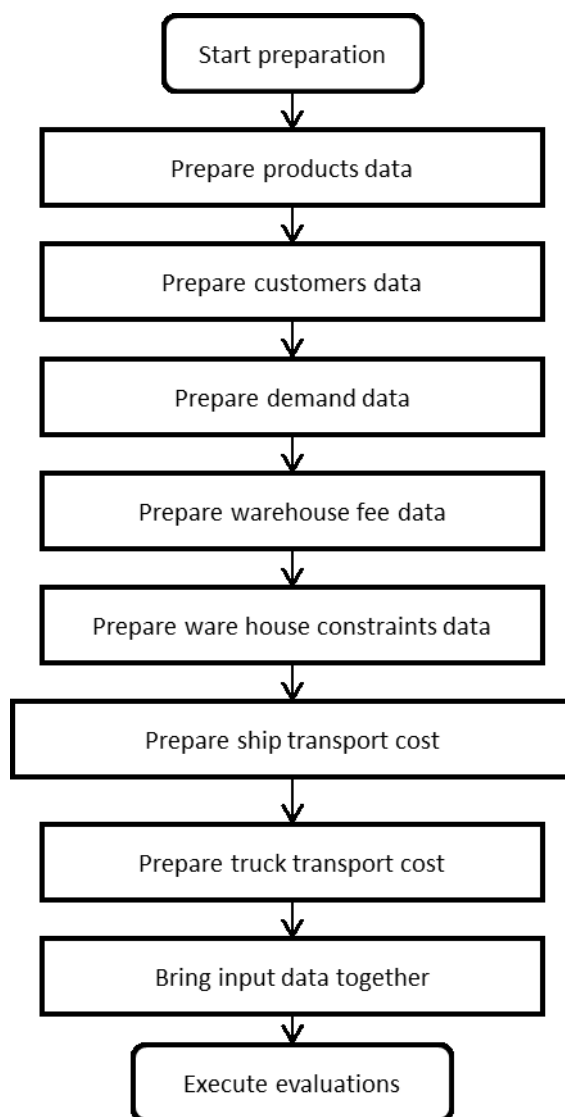


Fig. 4-6 Flow chart showing the data setting procedure for evaluation

(2) 製品情報と送付先情報の整理による需要データの作成

製品情報として東南アジア工場が製造可能な製品をリストアップした．対象製品は 6294 品種ありその大きさも様々であるため，製品 1 品種別の重量と集合梱包時のパレット積載台数をまとめた．送付先情報として使用する過去 1 年間の顧客への出荷実績は 1874 件あったが，送付先住所を事前に市，区，郡に近似した結果として入手した．出荷実績は

出荷日付，出荷番号，製品品種名，送付先（市，区，郡），送付台数，陸上輸送方法，合計重量などの情報が得られた．顧客送付先の近似によって，製品品種名と送付先の組合せで分類した件数は 423 件となった．これらの出荷実績を年間の需要数量とし，最後に各製品品種別のパレット積載台数を使用して年間の需要パレット数 D_i とした．それらの需要に対して，供給制約を考慮した上で最小コストとなる輸送ルートとしての配送センターを選択することになる．入手した出荷実績を需要データとする手順を Fig. 4-7 に示す．

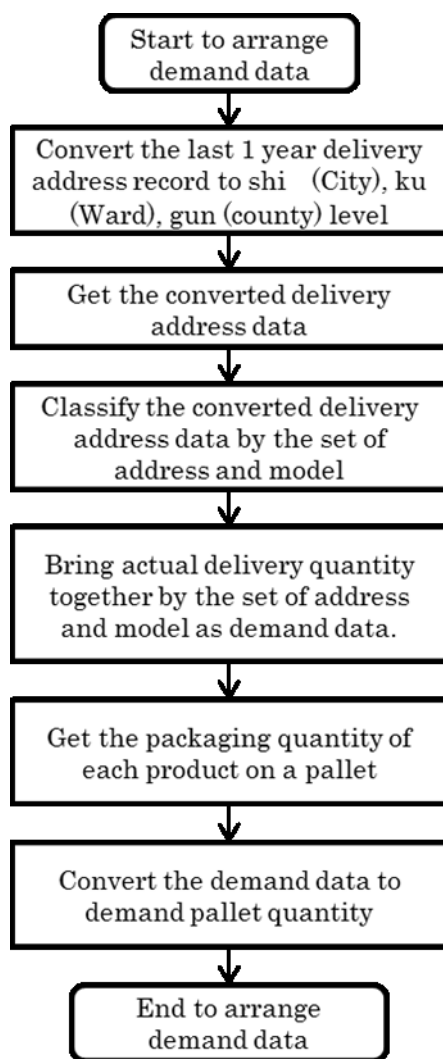


Fig. 4-7 Flow chart showing the procedure of arranging demand data

(3) 倉庫利用料と倉庫利用制約の整理

倉庫利用料は社内倉庫と関東地方の貸倉庫のみ 1 m² 単位，それ以外は一坪単位の利用料設定である．パレットの大きさは全て 1000mm×1200mm の標準パレットを使用する．また基準在庫が 60 日分であることから，平均の製品保管日数を 60 日間とし，パレット 1 枚あたりの 2 カ月間の倉庫利用料を求めた．更に，製品情報としてまとめたパレット 1 枚に積載できる台数を利用して製品 1 台あたりの倉庫利用料を算出した．Fig. 4-8 に倉庫

利用料の算出手順を示す。Table 4-1 にパレット 1 枚あたりの倉庫利用料の算出例を、Table 4-2 に製品品種別の製品 1 台あたりの倉庫利用料の算出例を示す。

また、倉庫利用制約としては、中部地方配送センターの社内倉庫の使用可能面積が 1080.0m^2 であることから、60 日間の基準在庫保有日数分保有できるパレット枚数は(4.2)式より 5396 パレットとなり、それ以上は他の貸倉庫しか使えないものとした。

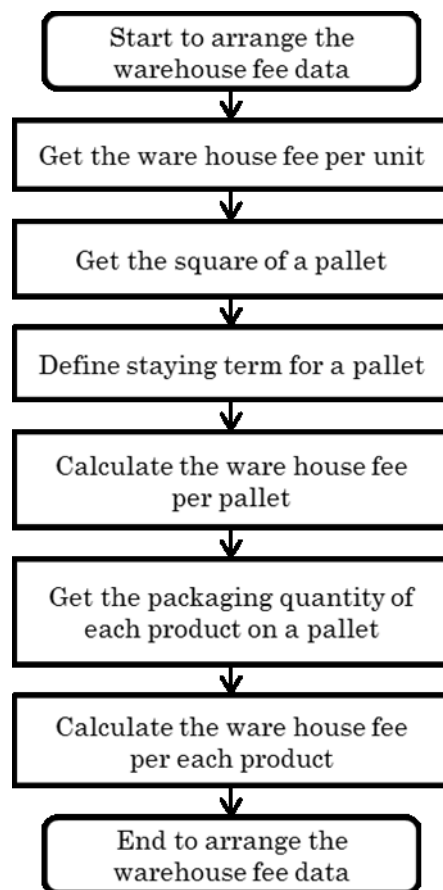


Fig. 4-8 Flow chart showing the procedure of arranging warehouse fee data

Table 4-1 Warehouse fee for each DC

DC	WH fee/M (¥)	WH fee/2M (¥)	unit	2M fee/palette (¥)
Chubu DC (in house)	500	1000	m^2	1200
Chubu DC (outside)	2500	5000	3.3 m^2	1818
Kanto DC	1000	2000	m^2	2400
Tohoku DC	2500	5000	3.3 m^2	1818
Hokkaido DC	2500	5000	3.3 m^2	1818
Kyushu DC	2500	5000	3.3 m^2	1818

Table 4-2 Warehouse fee for each product

Model	Qty/palette	DC	WH fee/piece (¥)
PRODA152	1	Chubu DC (in house)	1200
		Chubu DC (outside)	1818
		Kanto DC	2400
		Tohoku DC	1818
		Hokkaido DC	1818
		Kyushu DC	1818
PRODA150	4	Chubu DC (in house)	300
		Chubu DC (outside)	455
		Kanto DC	600
		Tohoku DC	455
		Hokkaido DC	455
		Kyushu DC	455
PRODB007	24	Chubu DC (in house)	50
		Chubu DC (outside)	76
		Kanto DC	100
		Tohoku DC	76
		Hokkaido DC	76
		Kyushu DC	76
...	...	...	...

(6) 海上輸送費の設定

海上輸送費の設定手順を Fig. 4-9 に示す. 最初にコンテナ内に格納する平均のパレット数を求めるために, 標準的な 40 フィートコンテナサイズとその中に格納されるパレットのサイズを調査した (Table 4-3). コンテナ内の床面積とパレットの面積から, パレットを 2 段積みによれば約 46 枚のパレットの格納が可能である. しかし, 対象とした製品のコンテナ輸送では重量制約の方が優先されることから, 過去実績を考慮して 40 フィートコンテナ 1 本に平均で 43 パレット格納可能とした. また, 全ての貨物は 40 フィートコンテナを使用することとした.

次に東南アジア工場から日本の各配送センターへの輸送費算出を行った. JETRO ホームページ[41]から東南アジア工場最寄りの港から横浜港(関東配送センター最寄りの港)までの 40 フィートコンテナ 1 本あたりの海上輸送料だけが取得できた. 各配送センターまでの輸送料は, 各配送センター最寄りの港までの距離を第 2 章と同様に SeaRates.com

[42] から取得した海上輸送距離を使い，東南アジア工場最寄りの港から横浜港までの距離を基準に比例配分した．Table 4-4 に東南アジア工場最寄りの港から各配送センターまでの海上輸送距離と 40 フィートコンテナ 1 本分，更にパレット 1 枚分の輸送費を示す．

更に製品品種別の集合梱包時のパレット積載台数を使い，全ての配送センターまでの製品品種別の製品 1 台・単位輸送距離あたりの海上輸送コストの算出結果例を Table 4-5 に示す．

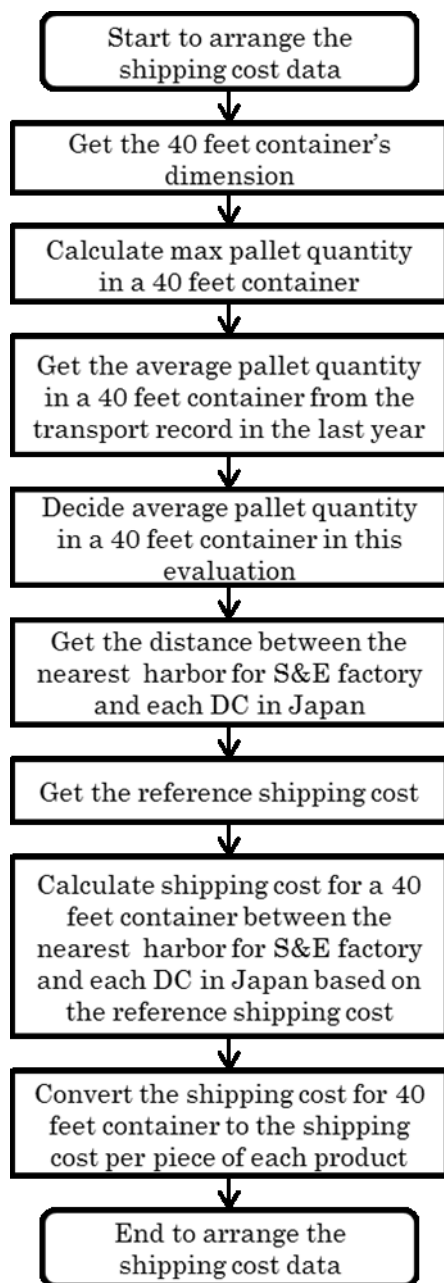


Fig. 4-9 Flow chart showing the procedure of arranging shipping cost data

Table 4-3 40 feet container and standard palette dimension

Container external dimension	Length	12192mm
	Width	2438mm
	Height	2591mm
Container internal dimension	Length	12033mm
	Width	2352mm
	Height	2386mm
Container interior capacity		67.5m ³
Palette dimension	Length	1000mm
	Width	1200mm
	Area	1.2m ²

Table 4-4 Transport fee from S&E Asia factory to each DC by container and palette

Factory	DC	Distance(km)	Transport fee/container(\$)	Transport fee/palette(\$)
S&E	Chubu	4219	319.5	10.7
Asia	Kanto	4489	340.0	11.4
	Hokkaido	4912	418.4	12.5
	Tohoku	5523	372.0	14.1
	Kyushu	3713	281.2	9.5

Table 4-5 Shipping cost for each product from S&E Asia factory to each DC

Model	Factory	Qty/palette	DC	Shipping cost/piece (\$)
PRODA152	S&E Asia	1	Chubu DC (in house)	7.37
			Chubu DC (outside)	7.37
			Kanto DC	7.84
			Tohoku DC	8.58
			Hokkaido DC	9.65
			Kyushu DC	6.48
PRODA150	S&E Asia	4	Chubu DC (in house)	3.65
			Chubu DC (outside)	3.65
			Kanto DC	4.03
			Tohoku DC	4.16
			Hokkaido DC	5.32
			Kyushu DC	2.03
PRODB007	S&E Asia	24	Chubu DC (in house)	0.61
			Chubu DC (outside)	0.61
			Kanto DC	0.67
			Tohoku DC	0.69
			Hokkaido DC	0.89
			Kyushu DC	0.27
・ ・ ・	・ ・ ・	・ ・ ・	・ ・ ・	・ ・ ・

(7) 陸上輸送費の設定

実際の陸上輸送手段は、輸送する製品の数量や重さによって3種類ある。車扱いと呼ばれる、製品の輸送専用トラックを1台貸しきる方法で、輸送貨物の重さによって4トントラックを使用する場合（4トン車扱いと呼ぶ）と10トントラックを使用する場合（10トン車扱い）の2種類、もう1種類は路線便と呼ばれるいわゆる宅配便の様な他の貨物と混載する方法である。過去1年間の国内での出荷実績データを確認すると、出荷日の状況によって陸上輸送手段はまちまちであった。そこで、過去1年間の国内での出荷実績データを使い、4トン車扱い、10トン車扱い、路線便の比率を算出し、出荷数量に対して加重平均を取った上で製品1台あたりの各配送センターから各顧客までの陸上輸送費を算出した。その算出手順を Fig. 4-10 に示す。

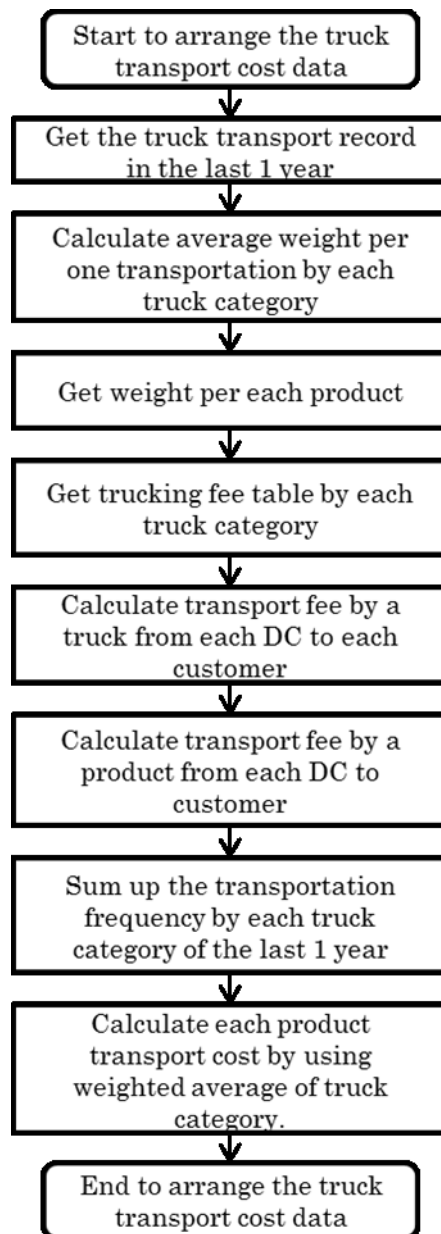


Fig. 4-10 Flow chart showing the procedure of arranging truck transport cost data

陸上輸送費の算出式と表記に使用する項目を以下に示す。

i : *Customer_Model* のインデックス ($i=\{1,\cdots,423\}$)

l : 配送センター (DC) のインデックス ($l=\{1,\cdots,6\}$)

ただし, DC_1 は中部配送センター (社内), DC_2 は中部配送センター (社外), DC_3 は関東配送センター, DC_4 は北海道配送センター, DC_5 は東北配送センター, DC_6 は九州配送センターとする。

$DistDCtoCM_{il}$: DC_l から顧客所在地までの輸送距離 (google map [39] から取得) (km)

$CMactFT_i$: 過去 1 年間の *Customer_Model_i* を 4 トン車扱いで出荷した実績台数合計

$CMactTT_i$: 過去 1 年間の *Customer_Model_i* を 10 トン車扱いで出荷した実績台数合計

$CMactHD_i$: 過去 1 年間の *Customer_Model_i* を路線便扱いで出荷した実績台数合計

$Ave\text{wgt}FTCM_i$: 4 トン車扱いの輸送実績から得た平均輸送重量/回 (kg)

$Ave\text{wgt}TTCM_i$: 10 トン車扱いの輸送実績から得た平均輸送重量/回 (kg)

$Ave\text{wgt}HDCM_i$: 路線便の輸送実績から得た平均輸送重量/回 (kg)

$TruckCHFT$: 4 トン車扱い単位距離あたりの輸送料 (¥)

$TruckCHTT$: 10 トン車扱い単位距離あたりの輸送料 (¥)

$TruckCHHD$: 路線便での輸送平均重量における単位距離あたりの輸送料 (¥)

$FTchDCtoCM_{il}$: 各配送センターから顧客まで 4 トン車扱い 1 台あたりの輸送費 (¥)

$TTchDCtoCM_{il}$: 各配送センターから顧客まで 10 トン車扱い 1 台あたりの輸送費 (¥)

$HDchDCtoCM_{il}$: 各配送センターから顧客まで路線便 1 台あたりの輸送費 (¥)

$DCtoCMFT_{il}$: 各配送センターから顧客まで製品 1 台あたりの 4 トン車扱い輸送費 (¥)

$DCtoCMTT_{il}$: 各配送センターから顧客まで製品 1 台あたりの 10 トン車扱い輸送費 (¥)

$DCtoCMHD_{il}$: 各配送センターから顧客まで製品 1 台あたりの路線便輸送費 (¥)

$WgtCM_i$: 製品 1 台あたりの重量

$DCtoCMtrucC_{il}$: 各配送センターから顧客まで製品 1 台あたりの平均輸送費 (¥)

$$FTchDCtoCM_{il} = TruckCHFT \times DistDCtoCM_{il} \quad (4.2)$$

$$DCtoCMFT_{il} = FTchDCtoCM_{il} \times (WgtCM_i / Ave\text{wgt}FTCM_i) \quad (4.3)$$

$$TTchDCtoCM_{il} = TruckCHTT \times DistDCtoCM_{il} \quad (4.4)$$

$$DCtoCMTT_{il} = TTchDCtoCM_{il} \times (WgtCM_i / Ave\text{wgt}TTCM_i) \quad (4.5)$$

$$HDchDCtoCM_{il} = TruckCHHD \times DistDCtoCM_{il} \quad (4.6)$$

$$DCtoCMHD_{il} = HDchDCtoCM_{il} \times (WgtCM_i / Ave\text{wgt}HDCM_i) \quad (4.7)$$

$$DCtoCMtrucC_{il} = \frac{(DCtoCMFT_{il} \times CMactFT_i + DCtoCMTT_{il} \times CMactTT_i + DCtoCMHD_{il} \times CMactHD_i)}{(CMactFT_i + CMactTT_i + CMactHD_i)} \quad (4.8)$$

ここで、式(4.2)は各配送センターから顧客までの 4 トン車扱いトラック 1 台の輸送費は、4 トン車扱いの単位距離あたりの輸送費と配送センターと顧客所在地までの距離との積で求まることを示している。式(4.3)は各配送センターから顧客までの 4 トン車扱いの輸送での製品 1 台あたりの輸送費は、4 トン車扱いトラック 1 台の輸送費と、4 トン車扱いの輸送実績から得た平均輸送重量/回に対する製品 1 台あたりの重量比の積であることを示している。式(4.4)は各配送センターから顧客までの 10 トン車扱いトラック 1 台の輸送費は、10 トン車扱いの単位距離あたりの輸送費と配送センターと顧客所在地までの距離との積で求まることを示している。式(4.5)は各配送センターから顧客までの 10 トン車扱いの輸送での製品 1 台あたりの輸送費は、10 トン車扱いトラック 1 台の輸送費と、10 トン車扱いの輸送実績から得た平均輸送重量/回に対する製品 1 台あたりの重量比の積であることを示している。式(4.6)は各配送センターから顧客までの路線便トラック 1 台の輸送費は、路線便での輸送平均重量における単位距離あたりの輸送料と配送センターと顧客所在

地までの距離との積で求まることを示している。式(4.7)は各配送センターから顧客までの路線便輸送での製品1台あたりの輸送費は、路線便トラック1台の輸送費と、路線便輸送実績から得た平均輸送重量/回に対する製品1台あたりの重量比の積であることを示している。式(4.8)は各配送センターから顧客まで製品1台あたりの平均輸送費は、4トン車扱いと10トン車扱いおよび路線便での各配送センターから顧客まで製品1台あたりの平均輸送費に対する、年間の陸上輸送手段別件数による加重平均であることを示している。

この様な処理で算出した陸上輸送費の例を Table 4-6 に示す

Table 4-6 Sample of transport cost table by truck

Customer	Model	Chubu(in)	Chubu(out)	Kanto	Hokkaido	Tohoku	Kyushu
City1	PRODA015	182	182	267	376	582	407
City1	PRODA451	3816	3816	8394	15170	27241	26996
City1	PRODC071	169	169	248	349	540	378
...							
City134	PRODA450	3117	3117	4798	6448	10527	6983
City135	PRODD015	156	156	240	322	526	349
City136	PRODD015	412	412	541	655	884	256
...							
City329	PRODA022	277	277	459	621	887	573
City329	PRODA185	1602	1602	2654	3588	5127	3314
...							
City432	PRODA015	195	195	326	439	614	361

(¥)

4.4.3. 評価結果

(1) 評価条件

選択の対象とする配送センターの数の違いで、2種類の条件に分けて実施した。評価1では、主要な配送センターとしての中部配送センター（社内倉庫）、中部配送センター（外部倉庫）と関東配送センターの3箇所から選択させ、評価2ではこれら3箇所の配送センターに加えて北海道配送センター、東北配送センター、九州配送センターを選択対象にした。Table 4-7 に評価条件をまとめる。

Table 4-7 Condition for each evaluation

	Evaluation1	Evaluation2
Factory	S&E Asia factory	
DC location	Chubu (in house)	Chubu (in house)
	Chubu (outside)	Chubu (outside)
	Kanto	Kanto
		Hokkaido
		Tohoku
		Kyushu
Numbers of Customer_model	423	
Quantity of products	181246	
Quantity of pallets	28166	
Chubu (in house) available m ²	1080.0	

(2) 評価 1 の結果

3 か所の配送センターが顧客別品種ごとに割り付けられ、トータルコストも計算された。

送付先住所を、北海道地区、東北地区、北陸地区、関東地区、信越地区、中部地区、関西地区、中国地区、四国地区、九州地区に分類し、3 か所の配送センターに割り付けられた顧客モデルのパレット数を Table 4-8 に示し、配送センターに割り付けられた顧客所在地マップを Fig. 4-11 に示す。

Table 4-8 Result of evaluation 1 (Allocated pallet quantity to each DC)

DC location Customer location	Chubu(in)	Chubu(out)	Kanto
Hokkaido	0	0	71
Tohoku	0	0	4107
Hokuriku	121	127	0
Kanto	0	904	11763
Shinetsu	783	560	701
Chubu	1535	2011	150
Kansai	1824	1798	0
Chugoku	744	341	0
Shikoku	45	11	0
Kyushu	339	231	0
Okinawa	5	4	0
Sum	5396	5987	16792

(pallet)

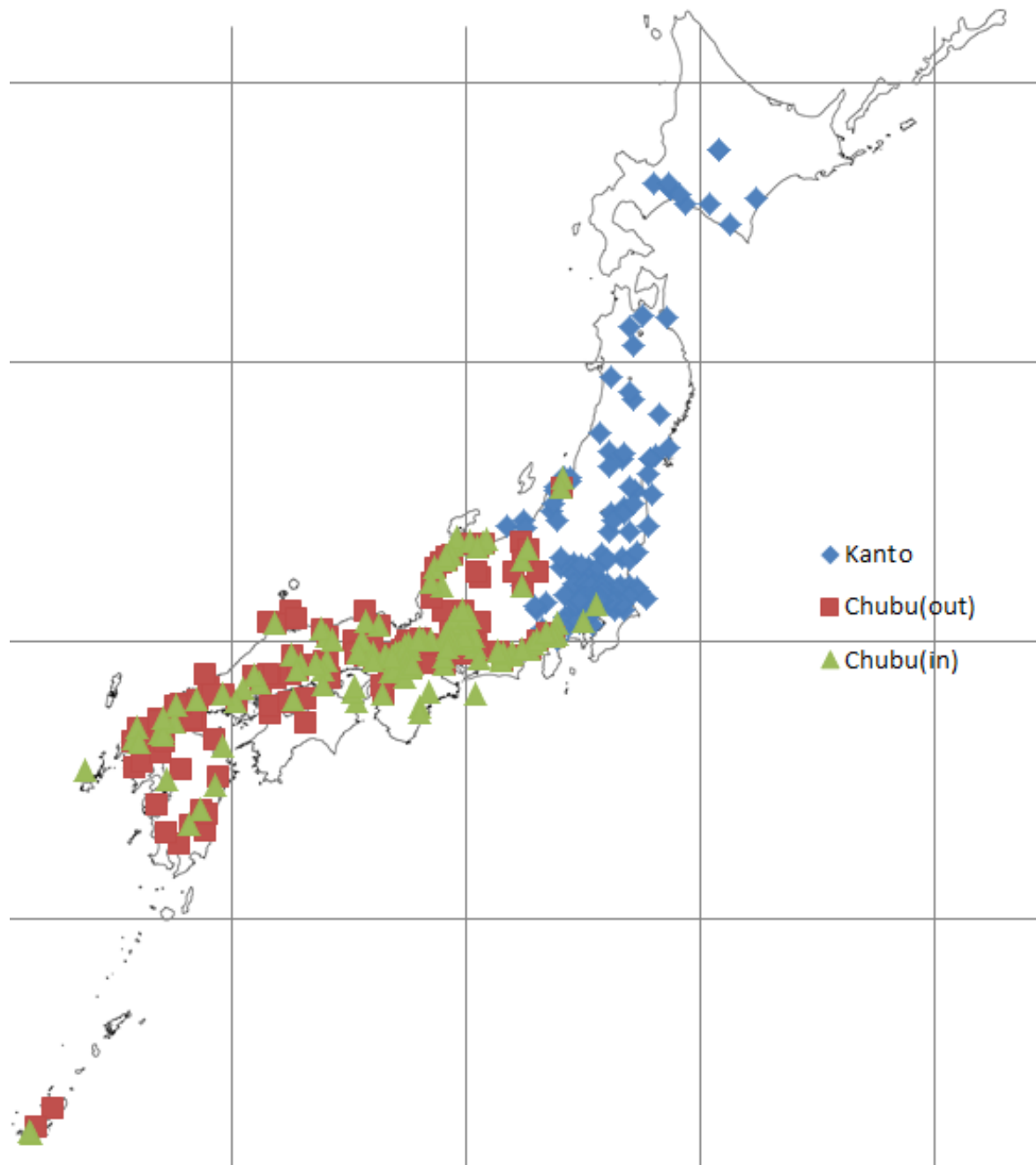


Fig. 4-11 Allocated customers map to 3 DC

保管費用の安い中部配送センター（社内倉庫）は、面積制約上限まで使われた。また全体的に見ると、関東地方以北の顧客向けには関東配送センターが多く割り付けられており、中部地方以南と北陸地方の客向けには中部配送センターが多く割り付けられていることから、輸送距離の短い配送センターへの割付が行われる傾向にあることが分かる。

一方で関東地方の顧客であるにも関わらず、中部配送センター（社外）に割り付けられている製品もある。これは、倉庫保管費に対する輸送費の比率が他の製品より低い製品であることが予想される。そこで、関東地方の顧客のみに注目し、パレット積載台数に分けて配分結果を確認した（Table 4-9）。これを見ると、パレット積載台数の少ない製品が中部配送センターに割り付けられていた。パレット積載台数の少ない製品は1台あたりの倉庫保管費が高額になるため、倉庫保管費最大の関東配送センターは不利となる。更に中部配送センター（社内外）に割り付けられた製品は、他の製品に対して軽量化された製品であり、輸送費がよりやすくなる車扱いで全てが輸送されていることがわかった。そのため、重量と距離で決定される輸送費で考えると、他の製品よりも輸送費で有利となる。また、中部配送センター（社内）にはよりコスト的に有利な製品が既に割り付けられ、保管面積制約によって中部配送センター（社外）と関東配送センターとのコスト比較となったが、より低コストとなった中部配送センター（社外）に割り付けられたと想定される。

Table 4-9 Allocated result of Kanto area customer by quantity on a pallet in evaluation 1

DC location Quantity on a pallet	Chubu(in)	Chubu(out)	Kanto
1 piece	0	13	1392
3 piece	0	0	1421
4 piece	0	891	4166
6 piece	0	0	1686
8 piece	0	0	1467
12 piece	0	0	95
15 piece	0	0	21
18 piece	0	0	675
21 piece	0	0	240
24 piece	0	0	460
27 piece	0	0	140

(pallet)

信越地方の顧客向け製品は、中部配送センター（社内）、中部配送センター（社外）、関

東配送センターの 3 箇所分配到された。この中で倉庫利用料の影響を大きく受けるパレット積載台数が 1 台で同じ送付先に送られた製品に着目すると、Table 4-10 のように配分されていた。

Table 4-10 Sample of different DC allocation to same destination

City	Model	Chubu(in)	Chubu(out)	Kanto
Niigata-shi minami-ku	PRODC135	501	0	0
	PRODC136	0	504	0
	PRODC138	0	0	208
	PRODC353	0	0	167

(pallet)

その理由を詳細に調べてみると、PRODC135 は中部配送センター（社内）に配分された場合のトータルコストが、他のモデルよりも大幅に安い上に倉庫の広さ制約内に入ったが、それ以外のモデルは倉庫の広さ制約により中部配送センター（社内）以外に割り付けられることになった。それらのモデルのトータルコストを確認すると Table 4-11 のようになっていた。Table 4-11 の Select 欄が Yes の方が評価結果で選択されていたことを示しており、トータルコストの安い方が選択されていることが分かる。

Table 4-11 Sample of total cost comparison of different DC allocation

City	Model	DC	Ship	Truck	WH	Total	Select
Niigata-shi minami-ku	PRODC136	Chubu(out)	215	2427	1818	4460	Yes
	PRODC136	Kanto	229	1874	2400	4503	No
	PRODC138	Chubu(out)	591	5126	1818	7535	No
	PRODC138	Kanto	629	4398	2400	7427	Yes
	PRODC353	Chubu(out)	210	3479	1818	5507	No
	PRODC353	Kanto	223	2693	2400	5316	Yes

(¥)

(3) 評価 2 の結果

配送センターの数を増やした評価 2 のトータルコストは、評価 1 のトータルコストより約 9.4%削減された。評価 2 で追加した配送センターは既に存在する配送センターであり、追加の固定費が掛からない前提で評価した。評価 1 と同様に、送付先住所を北海道地区、東北地区、北陸地区、関東地区、信越地区、中部地区、関西地区、中国地区、四国地区、九州地区に分類し、6 か所の配送センターに割りつけられた製品のパレット数を Table 4-12 に示し、配送センターに割り付けられた顧客所在地マップを Fig. 4-12 に示す。中部配送センター（社内）の倉庫エリア制約は、評価 1 同様に中部配送センター（社内）への割付パレット数の上限を決めている。北海道、東北、九州地域の顧客はそれぞれの地域にある配送センターから、北陸地区の顧客は中部配送センター（社内）、中部配送センター（社外）から配送されるように割りつけられた。関東と信越地区の顧客は中部配送センター（社内）、中部配送センター（社外）、関東配送センター、東北配送センターに分割された。中部地区の顧客は中部配送センター（社内）、中部配送センター（社外）と関東配送センターに分割された。関西地区の顧客は中部配送センター（社内）と中部配送センター（社外）に分配された。中国地区と四国地区の顧客は中部配送センター（社内）、中部配送センター（社外）と九州配送センターに分配された。

Table 4-12 Result of evaluation 2 (Allocated pallet quantity to each DC)

DC Customer area	Chubu (in house)	Chubu (outside)	Kanto	Hokkaido	Tohoku	Kyushu
Hokkaido	0	0	0	71	0	0
Tohoku	0	0	0	0	4107	0
Hokuriku	151	97	0	0	0	0
Kanto	13	891	11691	0	72	0
Shinetsu	111	46	86	0	1801	0
Chubu	2088	1458	150	0	0	0
Kansai	2646	976	0	0	0	0
Chugoku	374	154	0	0	0	557
Shikoku	13	10	0	0	0	33
Kyushu	0	0	0	0	0	570
Okinawa	0	0	0	0	0	9
Sum	5396	3632	11927	71	5980	1169

(pallet)

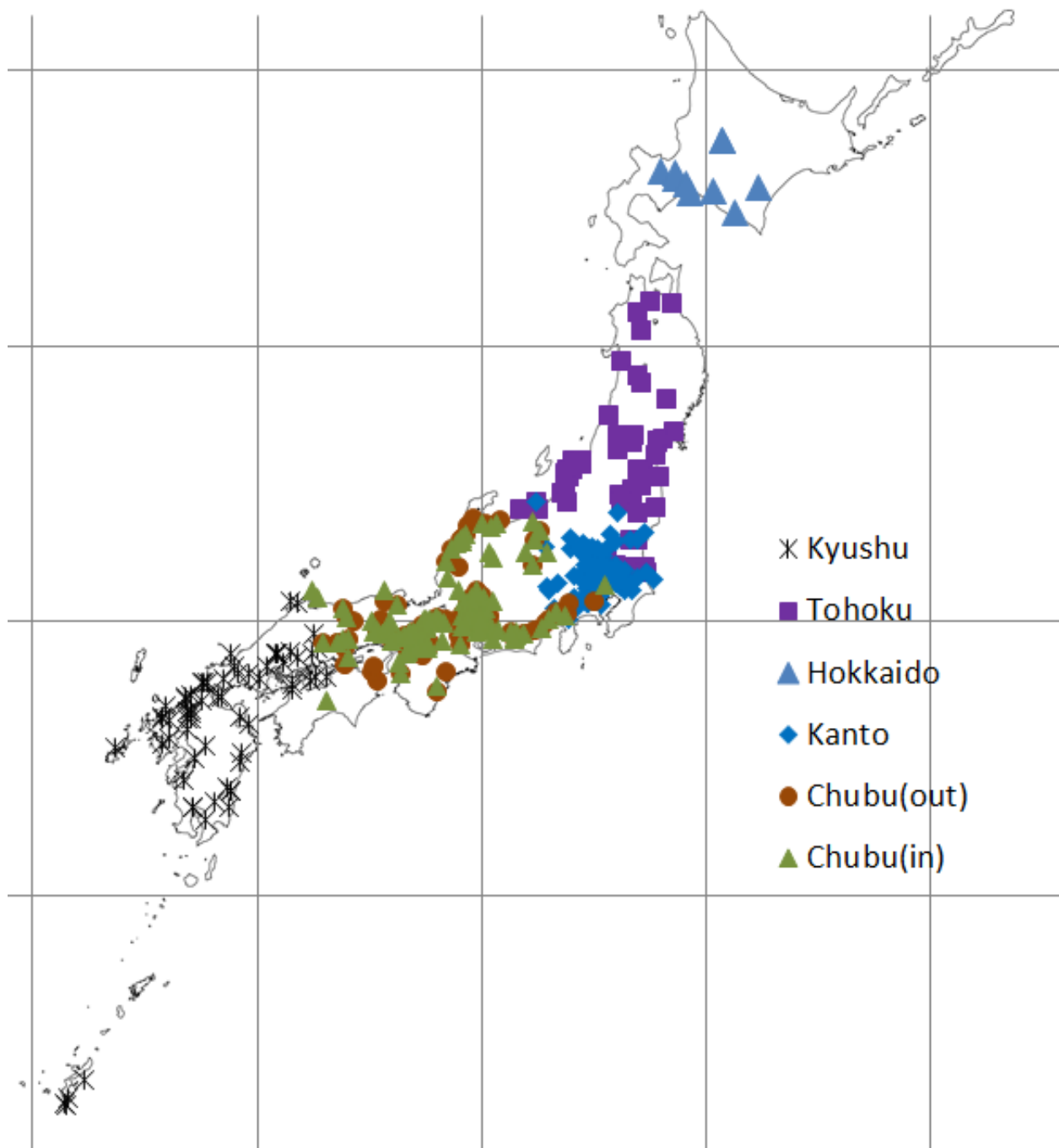


Fig. 4-12 Allocated customers map to 6 DC

関東地区の顧客に対しては，一部中部配送センターに割り付けられていたが，一部が東北配送センターに割り付けられる結果となった．そこで，評価 1 と同様に関東地区の顧客だけに着目し，パレット積載台数での割付詳細を確認した（Table 4-13）．

Table 4-13 Allocated result of Kanto area customer by quantity on a pallet in evaluation 2

DC location Quantity on a pallet	Chubu(in)	Chubu(out)	Kanto	Tohoku
1 piece	13	0	1379	13
3 piece	0	0	1421	0
4 piece	0	891	4135	31
6 piece	0	0	1686	0
8 piece	0	0	1444	23
12 piece	0	0	85	0
15 piece	0	0	21	0
18 piece	0	0	675	0
21 piece	0	0	240	0
24 piece	0	0	455	5
27 piece	0	0	140	0

(pallet)

中部配送センター（社外）に割り付けられた顧客・製品は、評価 1 と同じであった。中部配送センター（社内）に割り付けられた顧客・製品は、評価 1 では中部配送センター（社外）に割りついていたが、九州配送センターを新設したことにより、中部配送センター（社内）のスペースに余裕ができたため、よりコストの低い方へ割り付けられている。一方で、新設された東北配送センターに割りついた一部製品の詳細内訳を確認した（Table 4-14）。東北配送センターに割り付けられた顧客は全て茨城県内であった。それぞれトータルコストは接近していたが、東北配送センターに割付けた方が低コストであることから、部分的にもコスト最小な結果が得られていることが確認された。

Table 4-14 Sample of total cost comparison of different DC allocation

City	Model	DC	Ship	Truck	WH	Total	Select
Tsukubamirai-shi	5052W015	Kanto	1007	5401	2400	8808	No
		Tohoku	1102	5827	1818	8747	Yes
Sashima-gun	5054W055	Kanto	931	4992	2400	8323	No
		Tohoku	1018	5385	1818	8221	Yes
Koga-shi	5022W150	Kanto	908	4869	2400	8117	No
		Tohoku	993	5253	1818	8064	Yes
Namegata-shi	5022W055	Kanto	931	4910	2400	8241	No
		Tohoku	1018	5297	1818	8133	Yes
Kashima-shi	5024X075	Kanto	732	3929	2400	7061	No
		Tohoku	801	4237	1818	6856	Yes
Toride-shi	5022V055	Kanto	939	4501	2400	7840	No
		Tohoku	918	4855	1818	7591	Yes
Moriya-shi	5052W016	Kanto	1007	5401	2400	8808	No
		Tohoku	1102	5827	1818	8747	Yes
Joso-shi	5062V075	Kanto	961	5155	2400	8516	No
		Tohoku	1052	5562	1818	8432	Yes

(¥)

4.5. 結言

本評価を実施する上で、サプライネットワークの戦略設計初期段階では知りえなかった項目が、対象とした実務の段階では多くの知りえる情報として入手することができた。その様な環境の中で、現状の制約を考慮しながらロジルートを選択しなければならない課題に対し、コスト最小の配送センター割付案を出すことができた。サプライネットワークの戦略設計初期段階に合わせたシンプルなネットワークモデルと数理的最適化手法が、ロジルート最適化における配送センター選定にも活用できる事例を示した。今後本手法を活用した、実務におけるロジスティクスルートの最適化にも取り組んで行く。めまぐるしく変動する実務の中で、本章で実施した様な評価を人間系の計算だけで実行するのは不可能に近い。本手法の適用により、多くの組み合わせ評価を数値的に実施することが可能となることがわかった。

本章では、評価モデルや評価結果だけではなく、知りえた情報を使って評価に必要なデ

ータ群を準備するための手順とその内容を重視して詳細に述べた．広範囲にわたるサプライネットワークへの数理的最適化手法の適用には，評価モデルに有効活用できる繋がったデータを記録していくことが重要であることを再認識した．

第5章

結論

本論文では、日本の製造業者にとって重要な生き残り戦略となっているグローバル化が加速されている環境の中で、グローバルサプライネットワークを構成する拠点配置設計の初期段階に注目し、数理的最適化技術を実務の中に適用していくことを最優先に考えた、シンプルで有効なサプライネットワークモデルと最適配置設計手法を提案した。戦略設計レベルの不確定な要素を考慮したサプライネットワークモデルは、その時点で知りえる情報に対応させる近似を進めたため、本研究分野では初歩的な、1階層（single-echelon）で単一品種（single-commodity）モデルを使った CPLP（Capacitated Plant Location Problem）を解くこととなった。第2章では、一見複雑に思えるサプライネットワークの近似による単純化を説明すると共に、企業の損益を左右するサプライネットワークのトータルコストを基準とした、制約を考慮した最小コスト工場選択の数値実験を行い、実験で選択された複数の最小コスト候補工場を対象に、為替変動や人件費高騰リスクを考慮した最適な工場配置を選択する方法を提案した。第3章では、昨今のキャッシュフロー経営を考慮した最適工場選択をするために評価モデルを拡張し、在庫金額を考慮した最適工場配置設計手法を提案した。第4章では、戦略設計段階で工場配置が決定された後の段階までを対象範囲とするために、海外工場から製品輸入をするためのロジルートの最適化をテーマに、複数品種（multi-commodity）へ対応できる評価モデルへの拡張を行いながら、実務データを使った配送センターの選択問題への適用評価を行った。以下、第2章から第4章についてまとめる。

第2章では、グローバルサプライネットワーク戦略設計段階における、コスト基準の工場配置設計手法の提案を行った。実務の中では知りえない項目と知りえる項目を想定し、知りえる企業内の戦略情報と Web ページなどで一般に公開されている情報を活用して数理的最適化が実施可能な、近似的なサプライネットワークモデルを構築した。そのモデルは本研究分野では初歩的な、1階層（single-echelon）で単一品種（single-commodity）モデルとなる。その上で、グローバルなサプライネットワークをスルーしてコスト評価するために、海外工場の固定費と主要部材の調達コストや製品の製造コスト、完成した製品の供給における海上輸送コストと陸上輸送コスト、関税や保険料などを組み込んだトータルコストモデルを構築した。更に、為替変動リスクを評価するための時間軸も考慮した動的リスク評価モデルを構築した。その上で世界43都市を市場とし同じ43都市を工場候補とした数理的最適化による最小コスト工場候補選択数値実験を実施し、選択可能工場数を制約として1か所から3か所までの工場候補選定を行った。その結果から、数値評価可能な

為替変動や人件費高騰リスク評価の実施によって最適工場の評価検証を行う手法を提案した。

第3章では、グローバルサプライネットワーク戦略設計段階における、在庫金額を考慮したグローバルサプライネットワークを提案できるモデルを確立した。グローバル化によって輸送リードタイムが延びることにより、サプライネットワーク内で保有する在庫金額が増加し、激動する世界経済や多様化して大きく変動する市場要求に耐えながら、製品供給を過不足なく継続していくための適正な工場配置設計に、数理的最適化手法を適用した。第2章と同じ戦略設計段階に焦点を当てているため、サプライネットワークモデルは第2章と同じモデルを使用している。第2章ではコスト基準であった数理的最適化のための目的関数を拡張し、在庫金額モデルの項を加えコストと在庫金額の重み係数つきの目的関数とした。更に数値実験において全世界50都市を市場とし工場候補33都市から最適な工場候補都市を選択した。数値実験では、コスト基準のみの評価、在庫金額上限制約ありの評価、コストと在庫金額の重みを等しくする評価を実施し、在庫金額を考慮することで、コスト基準では十分に考慮できなかった需要変動起因の在庫増加リスクにより最適工場配置が変化することを示した。

第4章では、グローバルサプライネットワーク戦略設計で工場候補地が決定し、グローバル製品供給が開始された後の段階での、ロジスティクスネットワーク設計を対象とした実ビジネスへの適用評価を行った。この段階になると、既に工場の位置や製造製品品種が明確となり、BtoB事業では顧客も明確となっている。本章では、このBtoB事業を対象に東南アジア工場から日本の顧客への製品輸入における配送センターの選定を行った。実際に直面した事例をベースに、一部の配送センターが社内倉庫であるため倉庫利用料が大幅に安いとその倉庫面積には上限がある状態を考慮しながら、最適な配送センターへの顧客要求の配分を行った。海外工場→国内配送センター→顧客の2階層のロジルートであるが、既に海外工場が選定されている状況から、海外工場→各国内配送センターの組み合わせを拠点に見立てることで1階層のサプライネットワークモデルをそのまま適用した。ただし、複数品種（multi-commodity）に対応するためにモデルを拡張すると共に、実務における課題を制約として定式化を行った。また、実務が対象となっていることから、取得できるデータを数理的最適化モデルに適用するためのデータの準備手順を詳細に示した。製品の大きさ重量、陸上輸送手段の違い、社内倉庫活用制約などを考慮した1階層複数品種CPLP問題に拡張されたサプライネットワークモデルを使用し、本論文で提案してきた数理的最適化手法によってコスト最小となる配送センターへの配分が実現できた。これによって、提案手法は研究開始当時に焦点を当てた戦略設計段階から更に適用範囲を広げた事例を示すことができた。

以上、第2章、第3章、第4章の結果から、実務におけるサプライネットワーク設計の段階に応じた数理的最適化手法は、先行研究で進められる複雑で難解なサプライネットワ

ークモデルを使わなくとも、初歩的とも思えるシンプルな単階層のモデルを活用することでかなりの範囲で対応可能であることを示すことができた。また、本論文の序論で示した「この工場は本当にここに建てて良かったのか？」といった質問に対しても、本手法を適用することで、「戦略設計段階において知りえる情報を活用して、コスト評価、在庫金額評価、為替変動リスク評価、人件費高騰リスク評価、需要変動リスク評価を数値的に行い、数理的な最適化手法を活用して選定された工場である。」と回答できるようになったと考える。

本論文において、数値実験や評価に使用したコンピュータシステムは、市販の表計算ソフトウェアのスプレッドシートと CPLEX を組み合わせたシステムである。今後更に多くの実務に適用させていくことを考えた時には、本論文で実施した評価の何倍もの規模となる可能性がある。その様な大規模なデータには、市販表計算ソフトウェアスプレッドシートでは実用可能なスピードは実現できない可能性が高い。高速化を実現できるよう改良を進め、更に現実に即した拠点配置設計が可能なシステムすることが、残された課題である。

新たに顕在化した課題は、分散した有用なデータの繋ぎ合わせの重要性である。個々のデータはとても有用であるが、サプライネットワークの最適化に活用するには、評価に活用可能なデータに加工する方法を検討しなければならず、加工方法が決定しても多くのデータ処理に時間を要してしまう。これがもしモノの流れとデータが一致する様な繋がったデータであれば、もっとすばやく大量のデータを有効活用できたと考える。現在世界的な大潮流となっている IoT (Internet of Things) において、モノの流れに合わせたデータの繋がりを成り立たせる技術確立に向けた研究へも発展させたいと考えている。

参考文献

- [1] Sabri, E. and Beamon, M., A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design. *The International Journal of Management Science*, Omega, Vol. 28 (2000), pp. 581-598.
- [2] Owen, S. H. and Daskin, M. S., Strategic facility location: A review. *European Journal of Operational Research*, Vol. 111 (1998), pp. 423-447.
- [3] Meixell, M. J. and Gargeya, V. B., Global supply chain design: A literature review and critique. *Transportation Research, Part E* 41 (2005), pp. 531-550.
- [4] Min, H. and Zhou, G., Supply chain modeling: past, present and future. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 43 (2002), pp. 231-249.
- [5] Günther, H. O. and Meyr, H., *Supply Chain Planning*. Springer book (2009).
- [6] Souza, G. C., Supply chain analytics. *Business Horizons*, Vol. 57 (2014), pp. 595-605.
- [7] Billington, C., Callioni, G., Crane, B., Ruark, J. D., Rapp, J. U., White, T. and Willems, P., Accelerating the Profitability of Hewlett-Packard's Supply Chains. *Interfaces*, Vol. 34, No. 1 (2004), pp. 59-72.
- [8] Laval, C., Feyhl, M. and Kakouros, S., Hewlett-Packard Combined OR and Expert Knowledge to Design Its Supply Chains. *Interfaces*, Vol. 35, No.3 (2005), pp. 238-247.
- [9] Graves, S. C. and Willems, S. P., Optimizing strategic safety stock placement in supply chains. *Manufacturing & Service Operations Management*, Vol. 2, No. 1 (2000), pp. 68-83.
- [10] Kirkwood, C. W, Slaven, M. P. and Maltz, A., Improving Supply-Chain-Reconfiguration Decisions at IBM. *Interfaces*, Vol.35, No.6 (2005), pp. 460-473.
- [11] Ulstein, N. L., Christiansen, M., Gronhaug, R., Magnussen, N. and Solomon, M. M., Elkem uses optimization in redesigning its supply chain. *Interfaces*, Vol. 36, No.4 (2006), pp. 314-325.
- [12] Altiparmak, F., Gen, M., Lin, L. and Paksoy, T., A genetic algorithm approach for multi objective optimization of supply chain networks. *Computers & industrial engineering*, Vol. 51 (2006), pp. 196-215.
- [13] Barros, A. I., Dekker, R. and Scholten, V., A two-level network for recycling sand : A case study. *European Journal of Operational Research*, Vol. 110 (1998), pp. 199-214
- [14] Carlsson, D. and Rönnqvist, M., Supply chain management in forestry – case studies at Södra Cell AB. *European Journal of Operational Research*, Vol. 163 (2005), pp. 589-616.

- [15] Pirkul, H. and Jayaraman, V., A multi-commodity, multi-plant, capacitated facility location problem: Formulation and efficient heuristic solution. *Computers & Operations Research*, Vol. 25, No.10 (1998), pp. 869-878.
- [16] Hinojosa, Y., Puerto, J. and Fernández, F. R., A multiperiod two-echelon multicommodity capacitated plant location problem. *European Journal of Operational Research*, Vol. 123 (2000), pp. 271-291.
- [17] Canel, C., Khumawala, B. M., Law, J. and Loh, A., An algorithm for the capacitated, multi-commodity multi-period facility location problem. *Computers & Operations Research*, Vol. 28 (2001), pp. 411-427.
- [18] Melachrinoudis, E. and Min, H., The dynamic relocation and phase-out of a hybrid, two-echelon plant/warehousing facility: A multiple objective approach. *European Journal of Operational Research*, Vol. 123 (2000), pp. 1-15.
- [19] Melo, M. T., Nickel, S. and Gama, F. S., Dynamic multi-commodity capacitated facility location: a mathematical modeling framework for strategic supply chain planning. *Computers & Operations Research*, Vol. 33 (2005), pp. 181-208.
- [20] Klein, S. and Poulymenakou, A., *Managing Dynamic Networks*. Springer book (2006).
- [21] Hinojosa, Y., Kalcsics, J., Nickel, S., Puerto, J. and Velten, S., Dynamic supply chain design with inventory. *Computers & Operations Research*, Vol. 35 (2008), pp. 373-391.
- [22] Barahona, F. and Jensen, D., Plant location with minimum inventory. *Mathematical Programming*, Vol. 83 (1998), pp.101-111.
- [23] Romeijn, H. E., Shu, J. and Teo, C. P., Designing two-echelon supply networks. *European Journal of Operational Research*, Vol. 178 (2007), pp. 449-462
- [24] Thanh, P. N., Bostel, N. and Pèton, O., A DC programming heuristic applied to the logistics network design problem. *International Journal Production Economics*, Vol. 135 (2012), pp. 94-105.
- [25] Farasyn, I., Humair, S., Kahn, J. I., Neale, J. J., Rosen, O., Ruark, J., Tarlton, W., Velde, W. V., Wegryn, G. and Willems, S.P., Inventory optimization at Procter & Gamble: Achieving real benefits through user adoption of inventory tools. *Interfaces*, Vol. 41, No.1 (2011), pp. 66-78.
- [26] 久保幹夫, サプライチェーン最適化の新潮流. 朝日書房, (2011).
- [27] 曹徳弼, 竹田賢, 田中正敏, 中島健一, サプライチェーンマネジメント入門—QCDE 戦略と手法. 朝倉書店, (2008).
- [28] Dong, Y. and Xu, K., A Supply Chain Model of Vendor Managed Inventory. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 38, No. 2 (2002), pp. 75-95.

- [29] Al-Ameri, T. A., Shah, N. and Papageorgiou, L. G., Optimization of vendor-managed inventory systems in a rolling horizon framework. *Computers & industrial engineering*, Vol. 54 (2008), pp. 1019-1047.
- [30] Chu, Y., You, F., Wassick, J. M. and Agarwal, A., Simulation-Based Optimization Framework for Multi-Echelon Inventory Systems under Uncertainty. *Computers & Chemical Engineering*, Vol.73 (2015), pp. 1–16.
- [31] Jung, J. Y., Blau, G, Pekny, J. F., Reklaitis, G. V. and Eversdyk, D., A simulation based optimization approach to supply chain management under demand uncertainty. *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 28 (2004), pp.2087–2106.
- [32] Irizarry, J., Karan, E. P. and Jalaei, F., Integrating BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management. *Automation in Construction*, Vol. 31 (2013), pp. 241-254.
- [33] Goh, M., Lim, J. Y. S. and Meng, F., A stochastic model for risk management in global supply chain networks. *European Journal of Operational Research*, Vol. 182 (2007), pp. 164-173.
- [34] Koberstein, A., Lukas, E. and Naumann, M., Integrated strategic planning of global production network and financial hedging under uncertain demands and exchange rates. *German Academic Association for Business Research (VHB)*, Vol. 6, No.2 (2013), pp. 215-240.
- [35] Guillén, G., Mele, F. D., Bagajewicz, M. J., Espuña, A. and Puigjaner, L., Multiobjective supply chain design under uncertainty. *Chemical Engineering Science*, Vol. 60 (2005), pp. 1535-1553.
- [36] Chan, Y., Carter, W. B. and Burnes, M. D., A multiple-depo, multiple-vehicle, location-routing problem with stochastically processed demands. *Computer & Operations Research*, Vol. 28 (2001), pp. 803-826.
- [37] Boujelben, M. K., Gicquel, C. and Minoux, M., A distribution network design problem in the automotive industry: MIP formulation and heuristics. *Computer & Operations Research*, Vol. 52 (2014), pp. 16-28.
- [38] Creazza, A., Dallari, F. and Rossi, T., An integrated model for designing and optimizing an international logistics network. *International Journal of Production Research*, Vol. 50, No. 11 (2012), pp. 2925-2939.
- [39] google map, available from <<https://maps.google.co.jp/>>.
- [40] Miller, T. and Matta, R., A global supply chain profit maximization and transfer pricing model. *Journal of Business Logistics*, Vol. 29, No.1 (2008), pp. 175-199.
- [41] JETRO, available from <<http://www.jetro.go.jp/indexj.html>>.

- [42] SeaRates.com, available from <<https://www.searates.com/reference/portdistance/>>.
- [43] Port of Yokohama, available from
<<http://www.city.yokohama.lg.jp/kowan/business/business-support/siyoryou/tariff/pdf/18-kamotu.pdf>>.
- [44] WorldTariff®, available from < <https://ftn.fedex.com/wtonline/jsp/>>.
- [45] Al-Kassab, J., Thiesse, F. and Fleish, E., O transponder, where art thou? Internet of Things (IOT), (2010), DOI:10.1109/IOT.2010.5678446
- [46] Llic, A., Andersen, T. and Michahelles, F., Increasing supply-chain visibility with rule-based RFID data analysis. IEEE Computer Society, Vol. 13, No.1 (2009), pp. 31-38
- [47] Llic, A., Andersen, T. and Michahelles, F., EPCIS-based supply chain visualization tool. Auto-ID Labs White paper WP-BIZAPP-045, (2009)
- [48] 大島弘子, 大前寛子, 櫻井勇樹, 理論在庫による棚卸管理の高度化. 東芝レビュー, VOL. 70, No.7 (2015), pp. 50-53

本研究に関する発表

第 2 章

論文発表

- 古賀康隆，吉田聡，貝原俊也，藤井信忠，グローバルサプライネットワークにおける拠点配置設計に関する研究（コスト基準の最適工場配置決定手法の一提案）．日本機械学会論文集，Vol.82, No.833 (2016), DOI 10.1299/transjsme.15-00287

国際会議

- Yasutaka Koga and Satoshi Yoshida, Facility Location Design Methodology of Global Supply Chain: Automatic Extraction of Optimal Facility Location Design Idea in Cost Standard. Proc. of International Symposium on Scheduling 2013, (2013), pp.166-171
- Yasutaka Koga, Satoshi Yoshida and Toshiya Kaihara, Facility Location Design Methodology of Global Supply Chain – An Example of Cost-Based Factory Location Optimization –. Proc. of 2014 International Symposium on Flexible Automation, (2014), CD-ROM paper

第 3 章

論文発表

- 古賀康隆，吉田聡，貝原俊也，藤井信忠，グローバルサプライネットワークにおける拠点配置設計に関する研究（在庫を考慮した最適拠点配置決定手法の提案）．日本機械学会論文集，Vol.82, No.835 (2016), DOI 10.1299/transjsme.15-00415

国際会議

- Yasutaka Koga, Satoshi Yoshida, Toshiya Kaihara and Nobutada Fujii, Strategic facility location design of the global supply-chain considering inventory amount. Proc. of International Symposium on Scheduling 2015, (2015), pp.181-185

第 4 章

- 古賀康隆，吉田聡，島田裕輔，貝原俊也，藤井信忠，國領大介，グローバルサプライネットワークにおける拠点配置設計に関する研究（制約のあるロジスティクスネットワーク配送センター選択への応用）．日本機械学会論文集（投稿中）

謝辞

本研究を進めるにあたり、適切なご指導およびご助言を賜りました神戸大学大学院システム情報学研究科貝原俊也教授に厚く御礼を申し上げます。また、懇切なるご指導および討論をいただきました神戸大学大学院システム情報学研究科玉置久教授に謹んで感謝の意を表します。神戸大学大学院システム情報学研究科多田幸生教授には、懇切・適切なご指導を賜りました。厚く御礼申し上げます。本研究に対するご指導や討論のみならず、共同研究における適切なご指導を賜りました神戸大学大学院システム情報学研究科藤井信忠准教授に深く感謝の意を表します。本研究に関するご指導ご助言をいただくだけでなく、研究室での生活でもお世話いただいた神戸大学大学院システム情報学研究科國領大介特命教授に厚く御礼申し上げます。

筆者が神戸大学大学院システム情報学研究科博士課程後期課程に進学したとき、同課程の先輩方であった原口春海氏、吉川勉氏には、研究全般に渡りご助言をいただきました。心から感謝の意を表します。日頃の研生活の中で、様々にお世話になりました貝原研究室の皆様には、いろいろな面で支えられました。心から感謝いたします。

筆者が本研究を進めるにおいて、博士課程後期課程への進学と継続を支えていただいた（株）東芝生産技術センター森郁夫氏、高納正敏氏、山田周氏に厚く御礼申し上げます。また、技術的なサポートや様々な数値実験など格別にご協力いただいた（株）東芝生産技術センター吉田聡氏、小池菊代氏、ホアンレアン氏、島田裕輔氏に心から感謝の意を表します。

最後になりましたが、ここまで支えてくれた家族、両親に深く感謝の意を表します。

神戸大学博士論文

「グローバルサプライネットワークにおける最適拠点配置に関する研究」

全 100 頁

提出日 2016 年 7 月 1 日

本博士論文が神戸大学機関リポジトリ **Kernel** にて掲載される場合, 掲載登録日 (公開日) はリポジトリの該当ページ上に掲載されます.

©古賀康隆

本論文の内容の一部あるいは全部を無断で複製・転載・翻訳することを禁じます.