

1. はじめに

企業活動のグローバル化に伴い、製造業を中心として生産等の活動がグローバル化する傾向にあり、グローバルなスケールでの生産ネットワークを構築する企業が増えつつある。図-1.1 は、パソコンメーカーのグローバルサプライチェーン（SC: Supply Chain 供給連鎖）のイメージを示したものである。このようなサプライチェーン全体の効率性が企業の競争力を左右するに至っている。国際物流の拠点である港湾としても、SC の効率的なマネジメントを支えるための機能をどのように整備するかが課題となっている。

現在実現に向けた取り組みが進みつつある「スーパー中核港湾」施策においても、我が国港湾の国際競争力の強化を通じた産業競争力の確保が政策目標となっており、次世代型コンテナ港湾の構成要素として SCM(Supply Chain Management) 支援策が盛り込まれている。

筆者らは、このようなグローバルな SCM を支援するためには、港湾をはじめとした国際物流セクターはコストそのものを低減するとともに、国際物流サービス水準の改善と、港湾ロジスティクスハブの整備を行う必要があると指摘している^{1) 2)}。港湾リードタイムの短縮（3日から1日）を目標の一つとしている「スーパー中核港湾」施策もこの一環であると捉えることが出来る。

しかしこれら国際物流品質の要素が、実際の企業による SCM に対し影響する程度、ならびにその要因については明らかにされておらず、国際物流サービス水準の設定やその改善に対する政策評価が定量的に行えない現状にある。

本検討は、実際の製造業企業による SCM についてのケーススタディを通じ、国際物流サービス水準の変化が企業 SCM へ及ぼす影響について定量的に検証し、またその要因について考察することを目的とした。具体的には、企業 SCM に対してケーススタディとしてのシミュレーションモデルを構築し、国際輸送サービス水準を政策変数として変化させ、その SCM におけるパフォーマンスの変化への影響を分析評価した。

2. 既往の研究等

グローバルロジスティクス戦略ならびに SCM の目的とその概念、ならびにこれらに対して物流機能が担うべき役割等については、筆者ら¹⁾により述べられている。要約すれば、企業は競争力強化のため顧客満足の向上を図っている。在庫を削減しつつ顧客満足の向上を図り、如

何に販売機会を獲得するかが企業の競争力強化の分かれ目となっており、これを実現するための機能的戦略が SCM である。

近年経済がグローバル化するに伴い、企業は世界規模での立地最適化ならびに市場開拓を図っているが、この結果企業はグローバルな SCM を採用する傾向にあり、特に国際輸送のサービス水準に対する要請が厳しくなっている。以下、国際輸送サービスの要素を挙げる。

①輸送の安定性・確実性の確保

- ・輸送距離が増大し、また全世界に散らばる傾向にある拠点間の輸送について、輸送の安定性や定時性を提供しなければならない。

②輸送リードタイムの短縮、輸送頻度の確保

- ・近年の激しい需要動向の変化に対応するため、企業活動のスピードアップが図られているが、これを支援するために輸送リードタイムの短縮、輸送頻度の増大を図らなければならない。

③輸送の可視性の確保

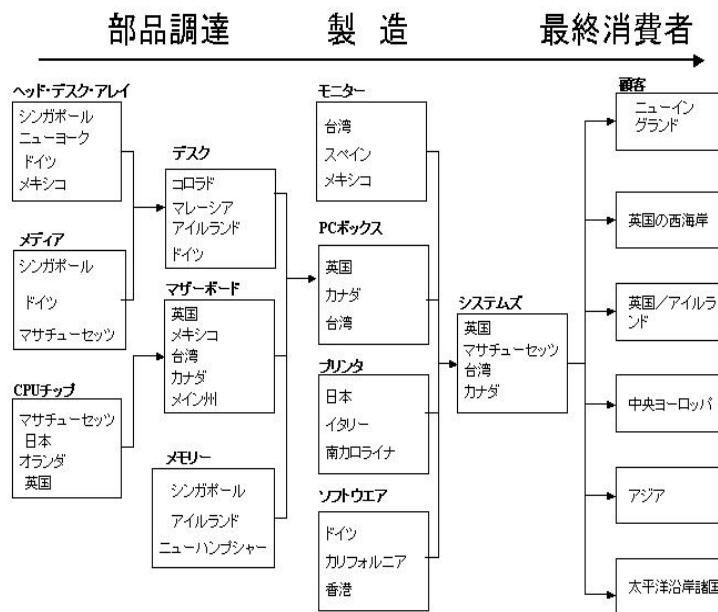
- ・企業は輸送途上の貨物についても在庫の一部と見なしていることから、輸送状況のリアルタイムでの把握（輸送の可視性）が必要である。

④輸送の柔軟性の確保

- ・近年ジャストインケースサプライチェーン、すなわち不測の事態にも対処が容易なサプライチェーンの構築が必要となっている。サプライチェーンが長大になれば輸送の中断等のリスクが増加する。需要動向の急な変化やストライキ等による輸送中断など不測の事態が生じた場合、配送先や輸送経路の変更等を迅速に行えることが必要である。

SCM の定量的分析手法については、解析的手法によるものと時系列シミュレーションによるものに分類できる。前者はたとえば、輸送等のリードタイムや需要の変動を与え、SC のメンバーがどの程度の在庫を保有すれば一定のサービス水準を確保できるか解析したものであり、在庫保有量は解析解として比較的簡易な数式で示される（たとえば³⁾）。簡便に在庫保有量が把握できるが、式展開を行う必要性から、複雑な SC は分析ができず、汎用性は高いものとは言えない。

これに対し後者は、実際の企業 SCM の挙動を時系列的にシミュレートするものであり、企業 SCM の詳細が分かれば、複雑な SC の挙動を再現することが出来る。文献⁴⁾をはじめ、分析例は多数存在する。本検討では対象とした SC の複雑さから、後者のアプローチを採用した。



出典: Arntzen et al.(1995)

図-1.1 グローバルサプライチェーンの一例

3. モデル構築の概要

3.1 対象とした企業サプライチェーン

モデル構築の対象としたサプライチェーンを図-3.1に示す。日本と北米間のチェーンとなっており、日本で部品を製造し、主に海上コンテナによる国際輸送によって北米港湾へ輸送する。北米港湾からは部品は鉄道により内陸部の工場へ輸送され、最終的な製品の生産に用いられる。その後北米内のディーラーから消費者への販売が行われる。このサプライチェーンを、企業がマネジメントする実態は以下のようになっている。

- 長期的な売り上げ実績等から、向こう4ヶ月先の長期販売見込みを予測し、さらに生産能力を考慮して、長期的な生産量を決定する(①②)。
- 稼働日(休暇日等)を考慮し、長期的な生産計画を策定する(③)。
- 概ね生産計画において生産を行う予定月の5週間程度前に、日本側へ部品の使用予定量が内示発注として示され、部品の出荷準備が開始される(④)。
- 部品の出荷準備の後、北米へ発送を行うが、生産予定日から約5週間前(日米の調達リードタイム分の時間前)に、内示発注を行った後の最新の売り上げ実績(⑤)等を考慮し、事前発注がなされそれに基づいて北米へ部品が発送される(⑥)。
- 発送された部品は、北米内での港湾、鉄道輸送を経て、北米内の工場に保管される。

- 北米での生産から一週間程度前に、ディストリビューターから製品である車両の注文について確定発注を受け確定生産計画が策定される(⑦)。これは生産台数やオプションの有無等に関する最終的な生産量を決定するものである。
- 工場では、確定生産計画と、貨物の輸送状況から、部品の在庫予測(⑧)を行い、実際に生産で使用する部品の確保の可否を確認する。在庫が不足し生産が停止することが予想される場合は、部品追加発注(⑨)を行い、航空輸送によって製品の生産(⑩)に間に合わせる。
- 事前発注の後に確定生産計画が決定されるため、これらの間に誤差が生ずるがこれは事後補正(⑪)により調整される。例えばこの誤差によって米国へ過大な部品が輸送された場合には、その後の日本からの発注量を減じることで調整する。

長期的な生産計画を用いるのは、生産の平準化のためである。製造業の場合には、大がかりな設備を必要とするため需要の変動に対処するのは容易ではなく、頻りに生産能力を変更すればコストが高くなる。またグローバルなサプライチェーンでは需要変動はブルウイップ効果(文献¹⁾)を発生させる可能性がある。

異なる発注量が3種類(内示発注、事前発注、確定発注)使用されているが、これはリードタイムを考慮するための手段である。例えば日米間の調達リードタイムは約5週間あるため、確定発注の後に日本から発送を行う

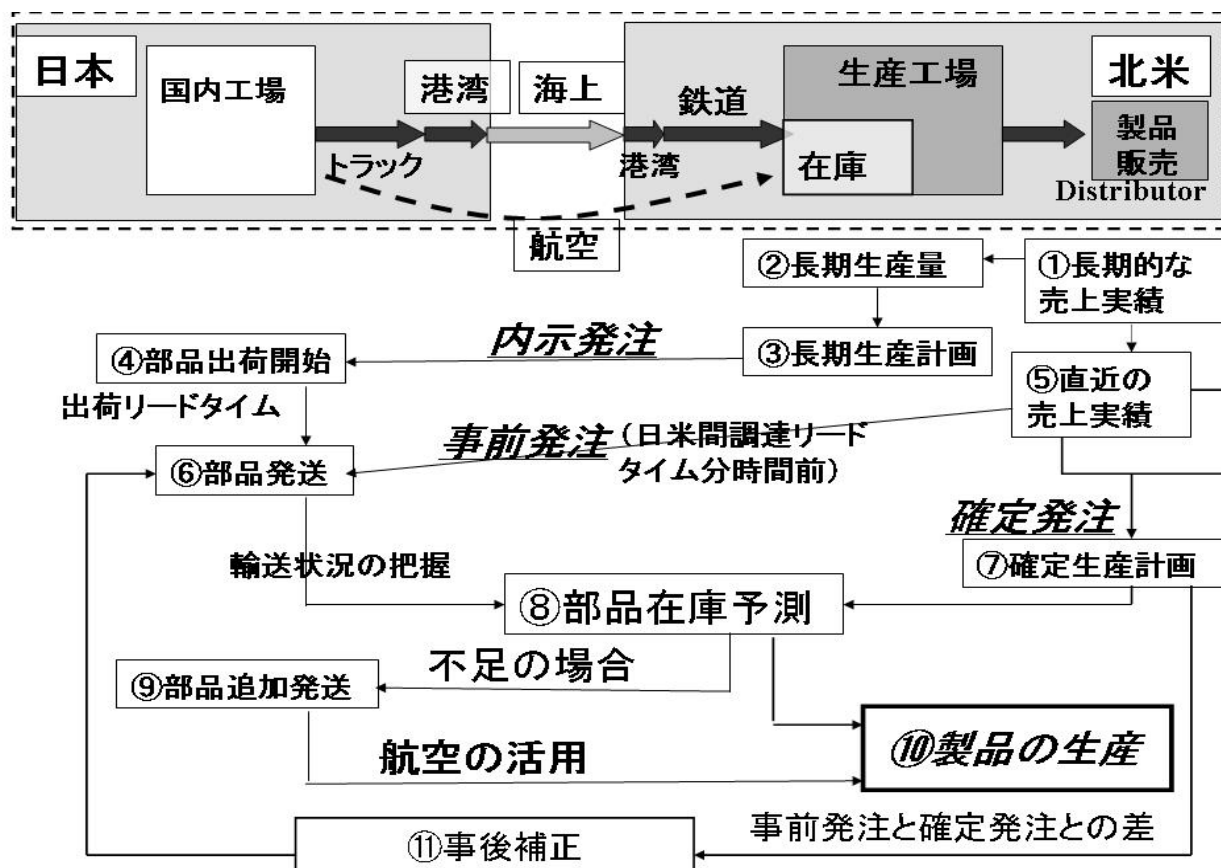


図-3.1 分析の対象とした企業サプライチェーン

と部品の調達に間に合わない。このため精度は落ちるが日本から部品を発送する段階での需要予測値を用いて発注量を決定する（事前発注）。4週間の間に需要は変化するため、事前発注とこの後に示される確定生産計画の間に誤差が生ずるが、この修正のため事後補正が用いられている。また、一定レベルの安全在庫の保有もこの誤差に対応するための手段として用いられている。

3.2 サプライチェーンモデル構築の考え方

本検討では、以下の考え方によってモデルを構築した。

第一に、本検討の目的である、サプライチェーンのパフォーマンスと国際輸送サービス水準との間の関係について分析を行うという観点から、国際輸送サービス水準を政策変数とするモデルとした。国際輸送サービスとは、港湾の安定性（港湾機能が停止しないこと）、海上輸送頻度、港湾リードタイム、輸送の可視性（輸送状況の把握）とした。この他の、国際海上輸送のリードタイム等の条件については、所与の条件として固定した。

第二に、発注量（内示発注、事前発注、確定発注）を入力データとし、北米工場での在庫、各輸送モードの輸

送量、生産量を時系列的に出力するモデルとした。文献³⁾ ⁴⁾においては、最終消費者の需要を入力とし、発注量をサプライチェーンの各メンバーが指数平滑法などにより予測するモデルとなっているが、本検討では、最終消費者の需要の代わりに、企業内での発注量についての実績データを入力条件として用いている。

その理由として、発注量を内生変数として算定することの困難性が挙げられる。発注量は、必要量を確保したい販売側と、生産能力を考慮するため需要の変動を防止したい生産側とが、ネゴシエーションを行い決定しており、また販売促進や他社との競合への対処等の定量化困難な要素も配慮されている。しかし、本検討では3種類の発注量を用いており、最終消費者の需要の変動を一定の範囲で考慮可能であると考えられる。また、本サプライチェーンの場合には発注量は本検討での政策変数である国際輸送サービスの水準には依存しないことから、発注量そのものをモデル化する必要はないものと判断した。

第三に、部品品目毎の需要特性に考慮し、13の異なる部品に対してモデルを適用した。全ての製品に共通な部品（共通部品: 2種類）と、顧客が機能や色等について製品をカスタマイズするための部品（オプション部品: 11種

類)に二分され、それらは需要量、需要変動の点で挙動が異なる。前者は需要量の水準が大きく需要変動は少ないが、一般的に後者はその逆となる。用いた部品の概要を表-3.2.1に示す。

第四に、本検討では輸送のロットサイズは考慮しないこととした。筆者ら²⁾において、LCL(Less than Container Load)の貨物について、混載による輸送リードタイムの長期化の可能性を指摘した。しかし対象企業の場合は、日本の港湾地区において混載のための施設を有し、自社内の他の部品と混載を行うため、部品のサイズによらずリードタイムの長期化は発生しないものとした。

第五に、リードタイム等の条件は、対象企業の実際のマネジメントの実態を踏まえて設定した。これには、各輸送モードの輸送リードタイム、日米工場の実際の稼働日等が含まれる。これらを表-3.2.2に示す。

3.3 企業サプライチェーン評価の考え方

サプライチェーンのパフォーマンス評価の考え方は以下のとおりである。

第一に、北米工場で十分な在庫があり、生産が停止しないことが必要である。本検討の対象としたサプライチ

ェインにおいては、在庫予測の結果不足が見込まれれば航空輸送を行い必要量を確保するためこのような事態は発生しない。

第二に、品切れを起こさない範囲で在庫が少ないことである。在庫保有は以下のようなコストをもたらす。

- ①世界的な企業間競争により製品のライフサイクルが短くなる中で、在庫が陳腐化する恐れがある。売れ残った製品の価格は大幅に下落するか、最悪の場合にはゼロとなる。
- ②在庫保有のためのコスト（在庫金利、倉庫等の施設関連費、荷役費など）が生じる。
- ③企業は、在庫を生産するために要したキャッシュ分を他の投資等に回すなどして活用する機会を失う。

このため品切れとにならない範囲で、在庫を最小化することがSCMの主要な目的の一つである。

本検討では、以下の在庫を想定した。第一は、北米工場での在庫、第二に日本側の港湾における在庫、第三にサプライチェーン全体の在庫である。これは日本側の工場の発送から北米工場の在庫までの全ての在庫の和であり、輸送途中のパイプライン在庫を含んだものである。

第三に、国際輸送コストである。これは海上輸送コスト（日本、米国での港湾コストを含む）、ならびに航空

表-3.2.1 分析対象とした部品

部品種類	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)
区分	共通品	共通品	オプション品	オプション品	オプション品	オプション品	オプション品
一日あたりの平均需要量	92	92	0.17	0.6	14	11	19

部品種類	8)	9)	10)	11)	12)	13)
区分	オプション品	オプション品	オプション品	オプション品	オプション品	オプション品
一日あたりの平均需要量		25	22	1	8	16

表-3.2.2 分析において設定した条件

計算に用いたパラメータ	与えた数値	記号
輸送リードタイム(日)		
日本側港湾	可変	T1
国際海上輸送	10	T2
北米側港湾	2	T3
北米側鉄道	5	T4
航空輸送	2	T5
在庫管理		
在庫予測の対象日数 (輸送の可視性の範囲)	可変 (7以下の整数)	Tk
稼働日		
日本側休日	土日 年末(12月25日から1月5日)	
北米側休日	土日 年末(12月24日から1月2日)	

輸送コストの和である。前者を1、後者を30と設定しているため、部品の不足が生じ追加発注を行えば国際輸送コストは増加する。本分析での国際輸送コストはこれらの国際輸送コスト単位(1ないしは30)に部品の輸送量をかかけたものであり、実際の輸送に必要な金額ベースでのコストとは異なる。

本検討では、需要量を反映した発注量は入力として与えられ、モデルによって在庫水準ならびに各モードの輸送量が算定される。国際輸送サービス水準を変化させた場合、在庫水準と国際輸送コストが変化するが、この変化によって影響を評価することとした。

シミュレーションは日単位で、12月1日から2月28日まで実データにより90日間行っているが、日米間の輸送等のリードタイムが存在するため、サプライチェーン全体を分析できる期間のみの国際輸送コスト等を評価に用いる必要がある。本分析では28日目以降に生産される製品の生産に必要な国際輸送コスト、ならびに在庫量のみを評価の対象とした。

3.4 定量的モデルの概要

分析に使用した算定法は時系列的なモデルとして構築され、日本側からの部品発送から国際輸送を経て北米工場において在庫され、その後生産に使用するために出庫するまでの一連の流れを再現している。北米在庫での在庫予測ならびに追加発注も考慮している。3.2で示した企業マネジメントの一部を模式的に表現したものである。日本から北米へのt日目の発送量S(t)は以下の式で示される。

$$S(t) = Op(t) + Oc(t) - Op(t - (T1 + T2 + T3 + T4)) \quad (1)$$

ここでOp(t)は北米工場からの事前発注量で、入力変数として与える。Oc(t) - Op(t - (T1 + T2 + T3 + T4))は事後補正のための項であり、北米側での確定発注量(Oc(t))とそれに対する事前発注量の誤差を補正するものである。T1は日本側港湾、T2は国際海上輸送、T3は北米側港湾、T4は北米側鉄道のそれぞれ輸送リードタイムである。

日本からの発送量が、輸送リードタイムの後に北米工場へ入庫する。在庫量R(t)は以下の式で示される。

$$R(t) = S(t - (T1 + T2 + T3 + T4)) \quad (2)$$

北米在庫I(t)は以下の式で示される。

$$I(t) = I(t-1) + R(t) - D(t) + A(t-T5) \quad (3)$$

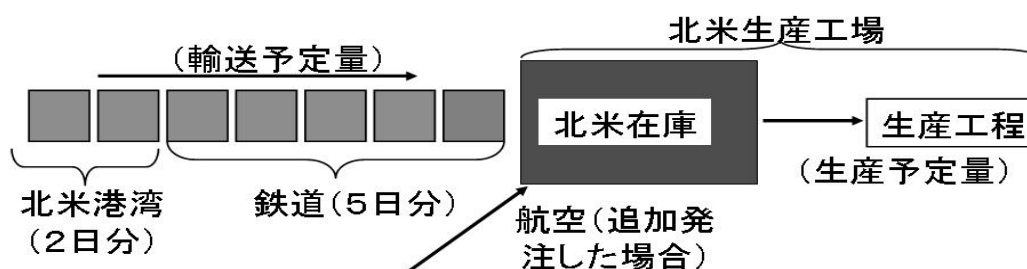
ここでD(t)は生産のための出庫量、A(t-T5)は以前に在庫予測により行った追加発注が航空輸送のリードタイムT5の後に入庫する量である。時間tでの出庫量D(t)は既に確定発注量Oc(t)として7日前から既知であるとし、以下の式で示される。Oc(t)は入力変数である。

$$D(t) = Oc(t) \quad (4)$$

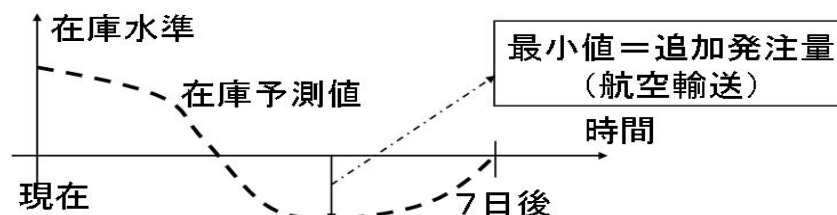
また時間tにおいては、一週間先までの確定発注量が示されるものとし、これを用いて一週間先までの在庫予測を行う。

具体的には、7日先までの確定発注量と、7日先までの輸送状況を勘案して、7日先までの在庫予測を行う。在庫がマイナスとなることが予測された場合には、その最小値の絶対値を、日本工場へ追加発注して航空輸送する(図-3.4)。

在庫量R(t)の7日先までの見込みを輸送状況として用い、



在庫予測値：生産予定量、輸送予定量から算定



7日後まで予測し在庫がマイナスの予測→最小値を航空輸送

図-3.4 輸送の可視性と北米工場における在庫予測

また確定発注量 $D(t)$ は 7 日先まで既知であることから，式 (3) を用いて最大 7 日先までの在庫予測が可能である．既に追加発注を行ってある場合はその数値を考慮する．以上から追加発注量は在庫予測の範囲である T_k 日先までの予測値の最小値の絶対値として，以下のように示される．

$$A(t) = |\text{Min}(I(t+1), I(t+2), I(t+3), \dots, I(t+T_k))| \quad (5)$$

ただし T_k は 7 以下の整数である．海上輸送等による国際輸送量は日本からの発注量 $S(t)$ から，また航空輸送量は追加発注量 $A(t)$ から算定され，また北米工場の在庫量は $I(t)$ として算定される．

表-3.4 に算定における変数を整理する．

表-3.4 算定に用いた変数

	記号	本分析での扱い
事前発注量	$Op(t)$	入力変数
確定発注量	$Oc(t)$	入力変数
日本からの発注量	$S(t)$	算定変数
北米工場への入庫量	$R(t)$	算定変数
北米工場の在庫量	$I(t)$	算定変数
北米工場からの出庫量	$D(t)$	算定変数
追加発注量	$A(t)$	算定変数

4. 構築されたモデルによる現況の再現

以下現況について再現した算定の結果の例を示す．現況での国際輸送サービス水準は，海上輸送はデイリー，日本側の港湾輸出リードタイムは 3 日，輸送の可視性については 7 日後までの貨物の輸送状況が把握可能であるとし，港湾等での輸送の中断はないものとした．

対象企業においては，在庫の水準は時系列的に毎日算定してはいるものの棚卸しまではしていないことから，現場での実際の在庫水準についてのデータ入手が困難であった．このため構築されたモデルによる算定結果の検証は，在庫水準のトレンドならびに在庫水準の最大値，ならびに航空輸送の回数に関して定性的に判断した．モデル化における初期在庫水準は，上記の観点から勘案して定性的に妥当となるよう設定した．

図-4.1 に，共通部品の算定結果を示す．北米工場での在庫水準は緩やかに変化しているが，これは日米の稼働日の差と，長期的な需要変動によるものである．図-4.2 は日本側の港湾での滞留在庫であるが，港湾リードタイム期間分の在庫が滞留する．図-4.3 はサプライチェーン全体の在庫水準である．

一方 オプション部品の算定結果を示す．図-4.4 に北米工場での在庫水準を示す．絶対量は少ないが，需要変動が大きくなっており，図-4.5 のように航空輸送が行われている．図-4.6 は日本側の港湾での滞留在庫であるが，港湾リードタイム期間分の在庫が滞留する．図-4.7 はサプライチェーン全体の在庫水準である．この部品のように通常時で航空輸送が必要な部品は 2 ケースである．

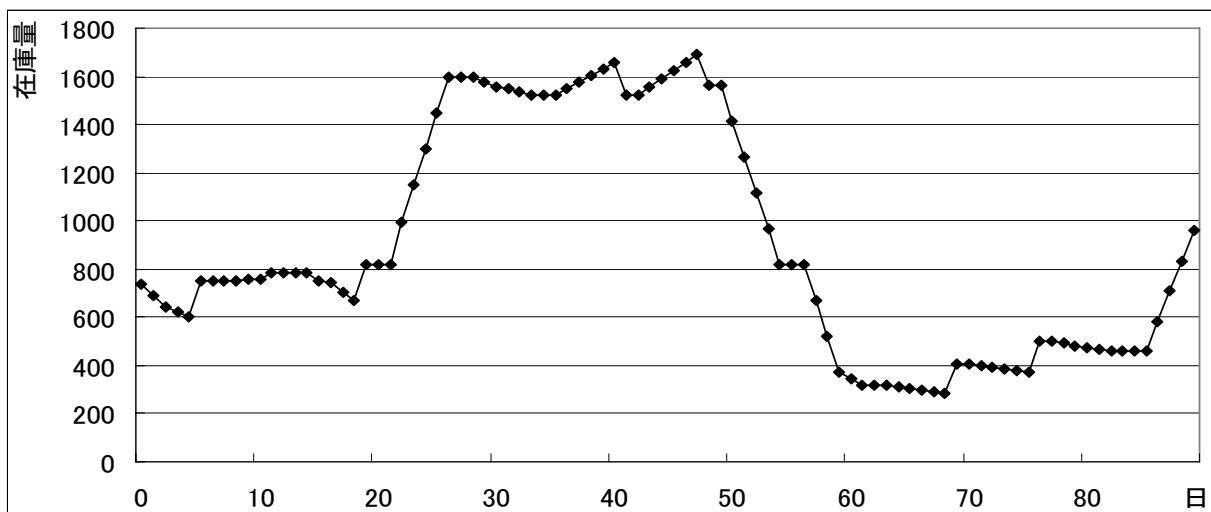


図-4.1 北米工場在庫の推移（共通部品 1）

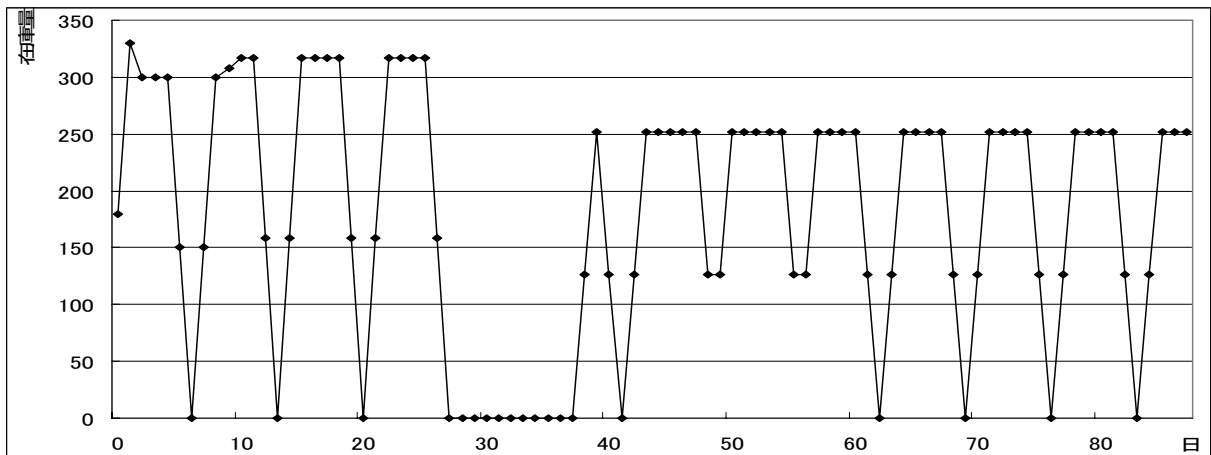


図-4.2 日本側港湾滞留在庫の推移（共通部品 1）

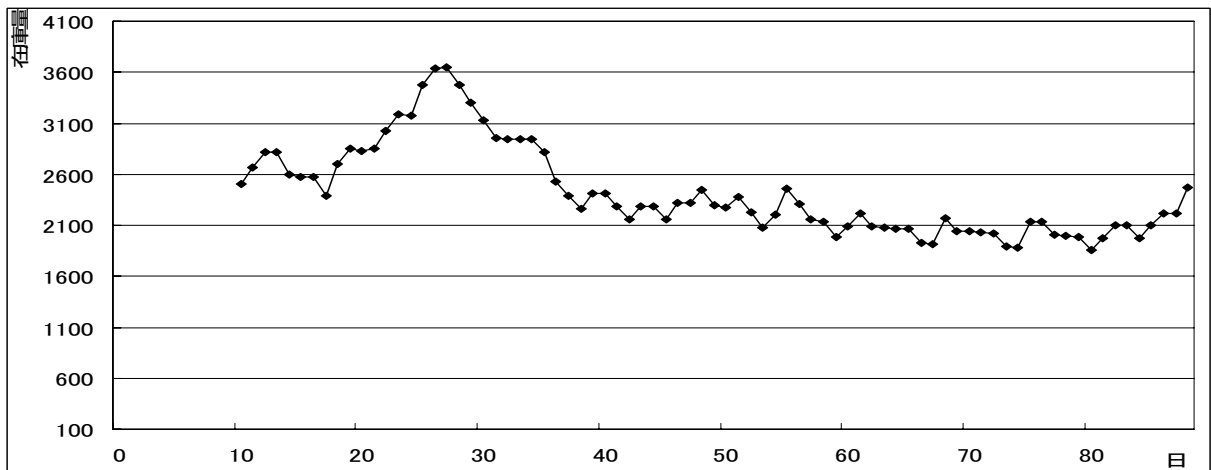


図-4.3 サプライチェーン全体在庫の推移（共通部品 1）

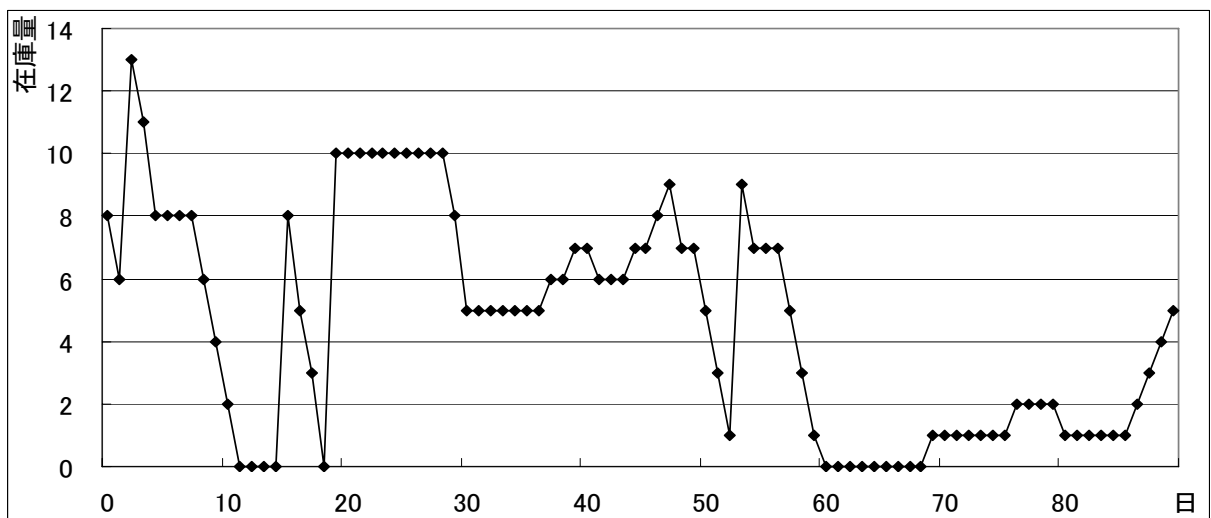


図-4.4 北米工場在庫の推移（オプション部品 10）

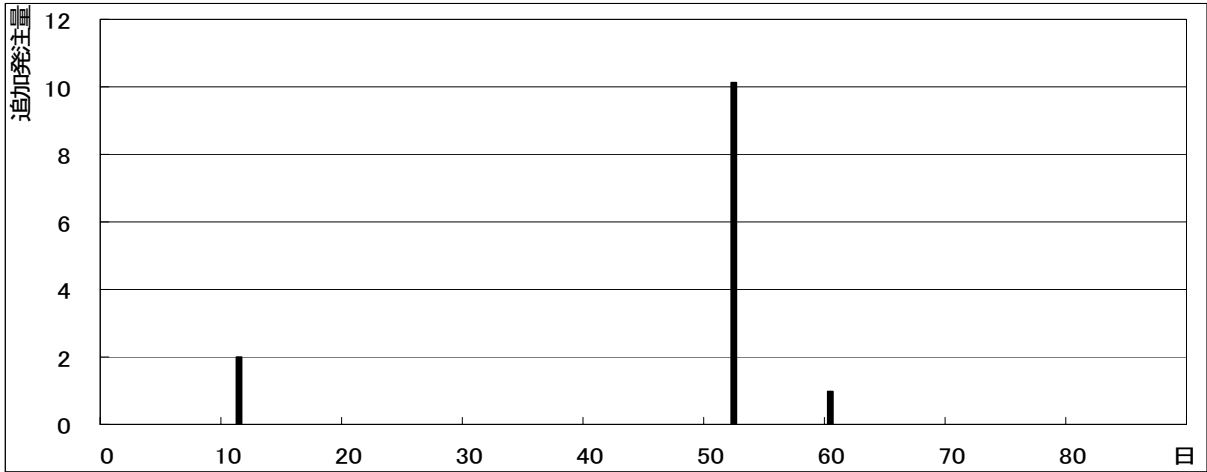


図-4.5 追加発注量の推移 (オプション部品 10)

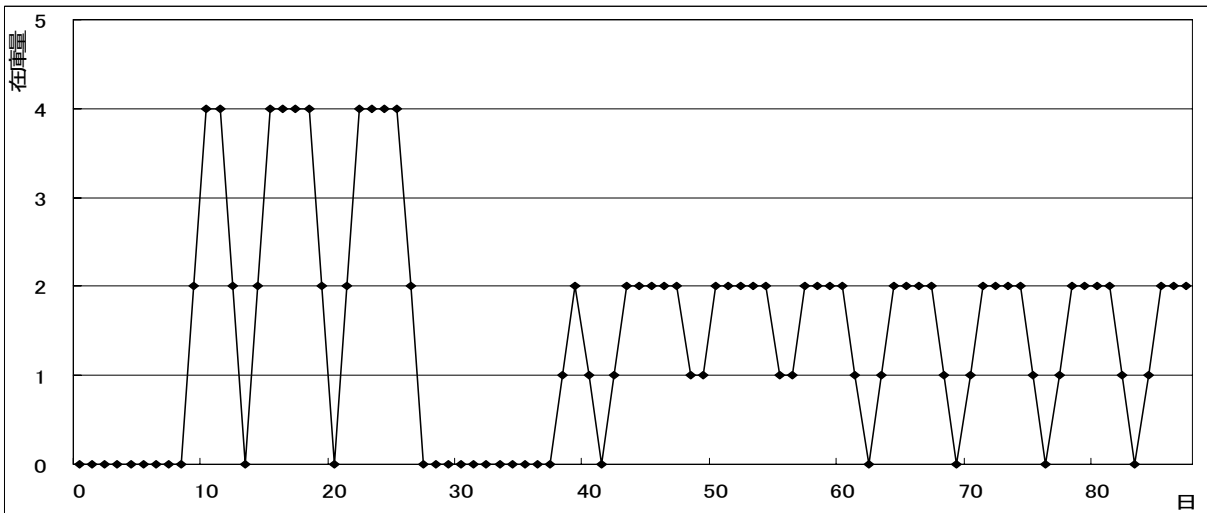


図-4.6 日本側港湾滞留在庫の推移 (オプション部品 10)

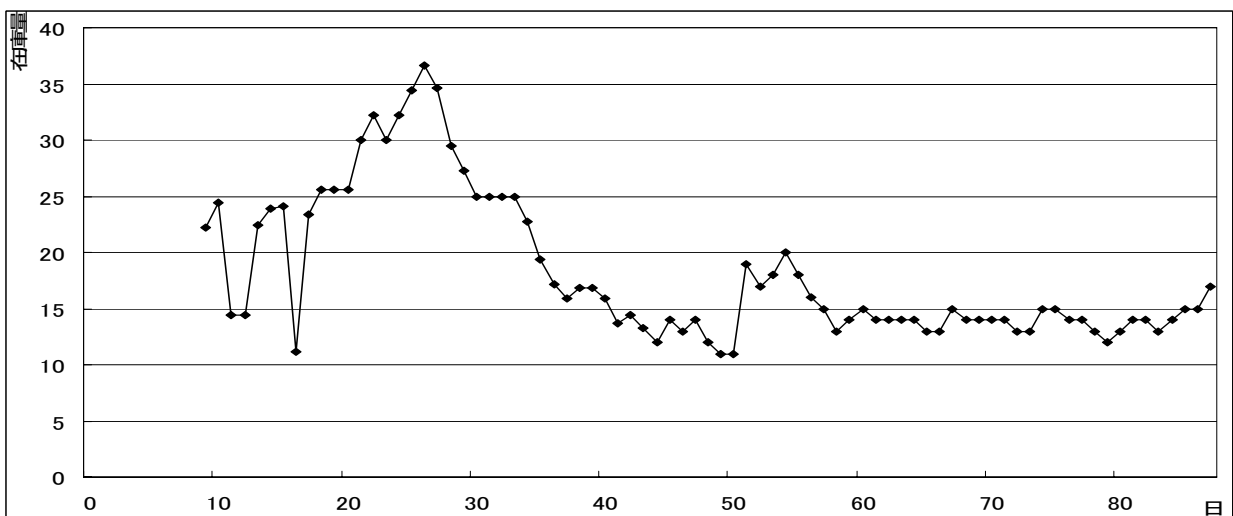


図-4.7 サプライチェーン全体在庫の推移 (オプション部品 10)

5. 国際輸送サービス水準の変化が企業サプライチェーンに与える影響

5.1 港湾における輸送の途絶による影響

日本側の港湾を5日間停止させた場合の影響を分析した。ストライキの事前告知等予め長期間の停止が分かっている場合には、企業は前もって代替経路の確保等を行う。一方地震等で事前に予知することなく港湾が停止する場合は、輸送停止の後、概ね程度5日間経過すれば、日本国内での代替経路の確保が可能となるものと考えられる。すなわち5日間とは、事前の予知無く、輸送が完全に停止する最大の期間として設定した。

本検討期間では、図-4.1のように分析開始後70日前後に最も在庫水準が低下し品切れリスクが高まる。最も危険側として、この時点から日米間の輸送リードタイム分

前の49日目から港湾を5日間停止した場合の影響を把握した。

図-5.1.1に、共通部品の北米工場での在庫推移と航空による追加発注量を示す。在庫不足が生じ、航空輸送が1回行われる結果となった。このため、国際輸送コストは約3倍に増加している。また、航空輸送を行った後の在庫量が増加し、過大な在庫保有のリスクが高まる。

この部品の例だけでなく、図-5.1.2に示すように全13品目のうち、11品目に同様の影響が生じ、国際輸送コストは1.4倍から4.1倍の範囲で増加した。

一方、3日間停止した場合は、通常時において航空輸送が必要な2品目についてのみ、国際輸送コストの増加が見られた。

表-5.1に、在庫水準ならびに国際輸送コストの変化率を整理した。

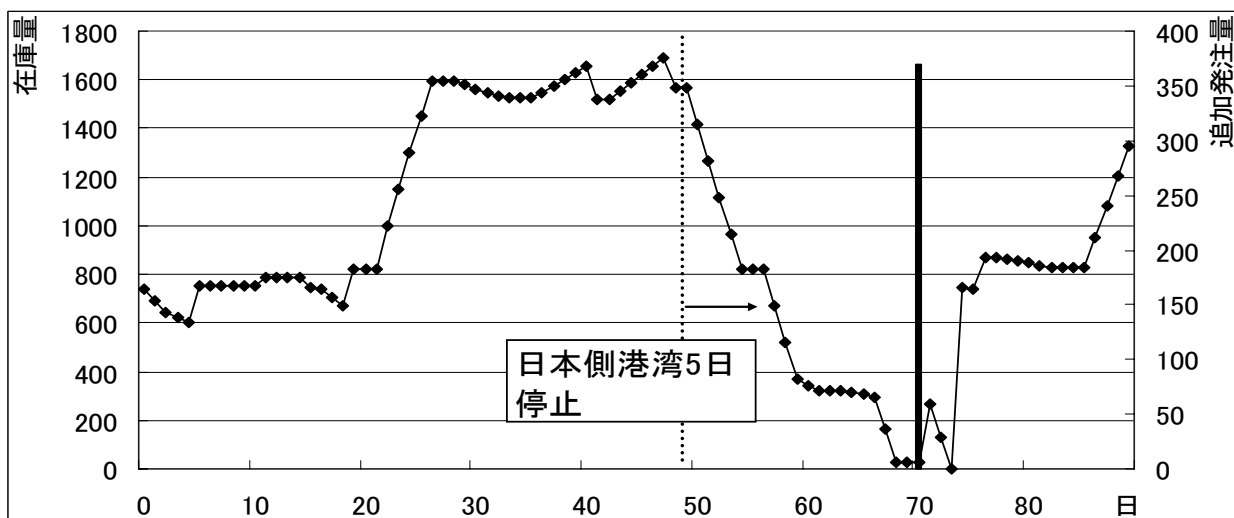


図-5.1.1 北米工場在庫の推移と追加発注量（共通部品 1：港湾5日停止）

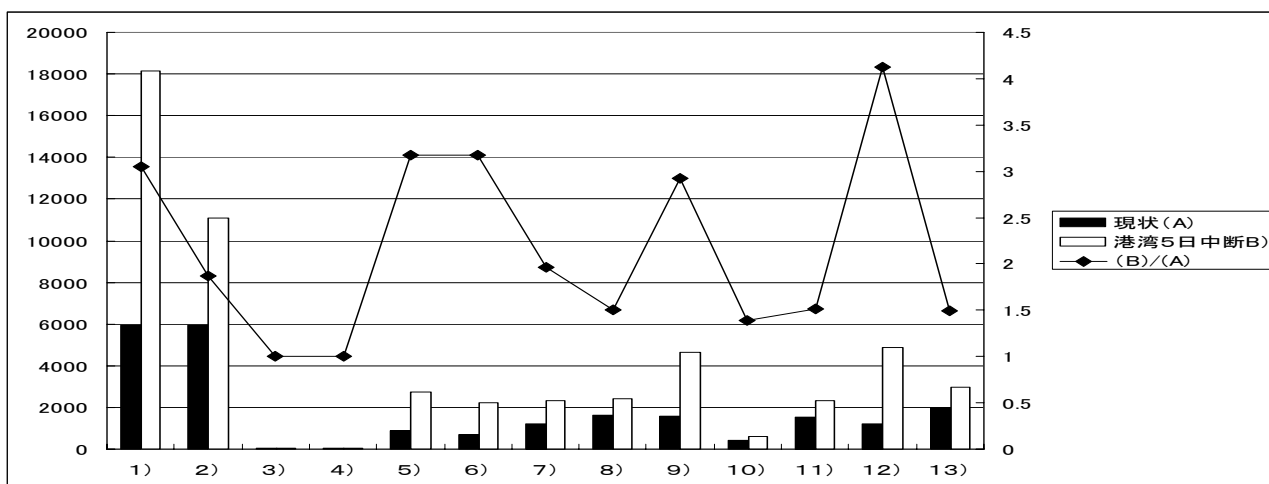


図-5.1.2 国際輸送コストの変化（全部品：港湾5日停止）

表-5.1 在庫水準・国際輸送コストの変化（全部品：港湾5日停止）

対象モデル	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)	11)	12)	13)
日本側港湾5日輸送中断													
北米在庫水準	1.15	1.02	1.00	1.00	1.03	1.02	1.02	1.03	1.03	1.18	1.02	1.10	1.04
SC全体在庫水準	1.03	1.00	0.88	1.00	1.04	1.05	1.00	0.99	1.02	1.06	1.04	1.06	0.99
国際輸送コスト	3.05	1.87	1.00	1.00	3.17	3.18	1.97	1.50	2.92	1.39	1.51	4.13	1.50
一日当たり平均部品需要数	92	92	0.17	0.60	14	11	19	25	22	1	8	16	30

在庫水準は微増、国際輸送コストの増加が著しい。

5.2 国際海上輸送頻度低下による影響

国際海上輸送の頻度を現在の週7便から週3便へ低下させた場合の影響を分析した。近年我が国港湾の地位の低下が指摘されているが、主要港においても、基幹航路を中心とした航路の寄港数の伸び悩みや一部減少が見られる。そのような傾向が進んだ場合の製造業への影響を分析した。

図-5.2.1 は、オプション部品の北米工場での在庫推移の一例である。在庫変動が激しくなり、在庫の不足が生じるため、航空輸送が1回行われ国際輸送コストは約1.3倍に増加している。

図-5.2.2 に示すように、全13品目のうち、5品目に航空輸送による影響が生じ、国際輸送コストは1.1倍から1.3倍の範囲で増加した。

この一方、北米工場での在庫水準は低下する傾向にあり、図-5.2.3 に示すように、平均では約4%の減少となる。しかし、図-5.2.4 に示すように日本側の港湾での滞留在庫

水準の最大値を見ると、滞留量の変動が激しくなり、最大で約5.5倍、平均で約1.8倍の増加が見られる。通常、在庫関連施設の容量を設定する場合には在庫量の最大値が使われるが、最大滞留在庫水準が増加すれば全ての部品について、それを処理するための施設コストが上昇する。

なお、輸送頻度が低下しても発注の方法は変化しないものとしたため、在庫の位置が北米工場から日本側の港湾へ移動するものの、サプライチェーン全体での在庫水準は殆ど変化しない。表-5.2 に、在庫水準ならびに国際輸送コストの変化率を整理した。

また、輸送頻度が低下した状態では、港湾が3日間停止した場合でも、国際輸送コスト増大の影響が発生するケースも認められた。

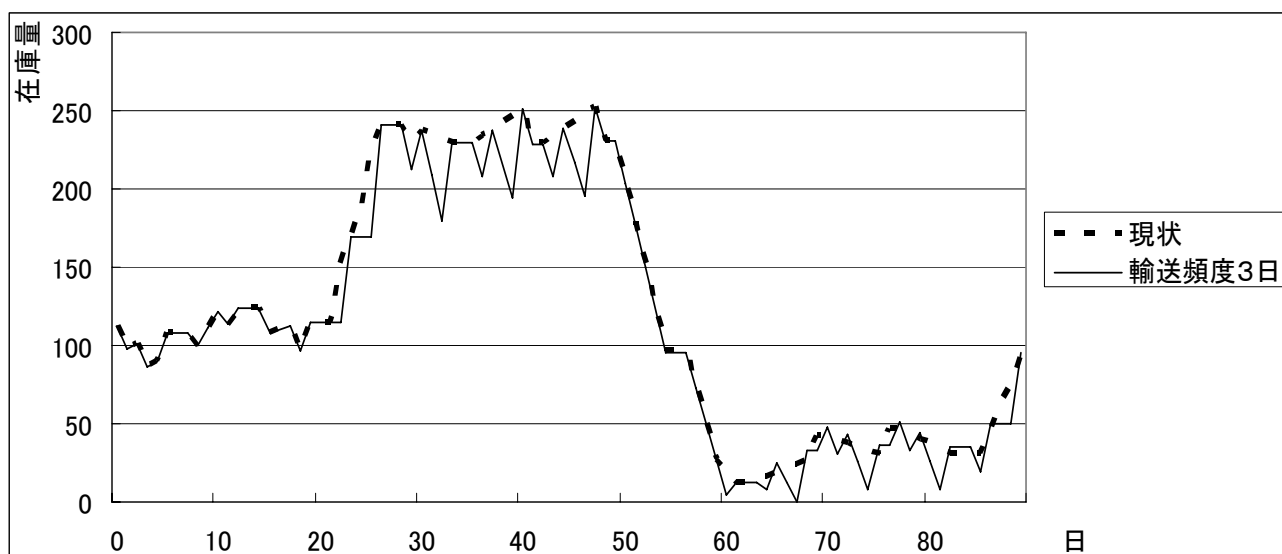


図-5.2.1 北米工場在庫の推移（オプション部品5：輸送頻度低下）

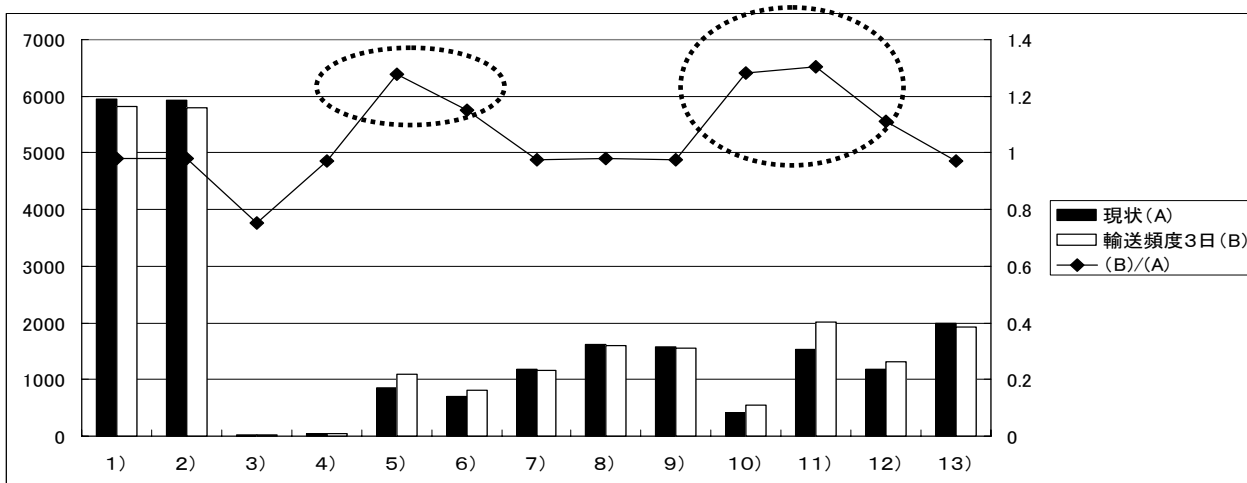


図-5.2.2 国際輸送コストの変化（全部品：輸送頻度低下）

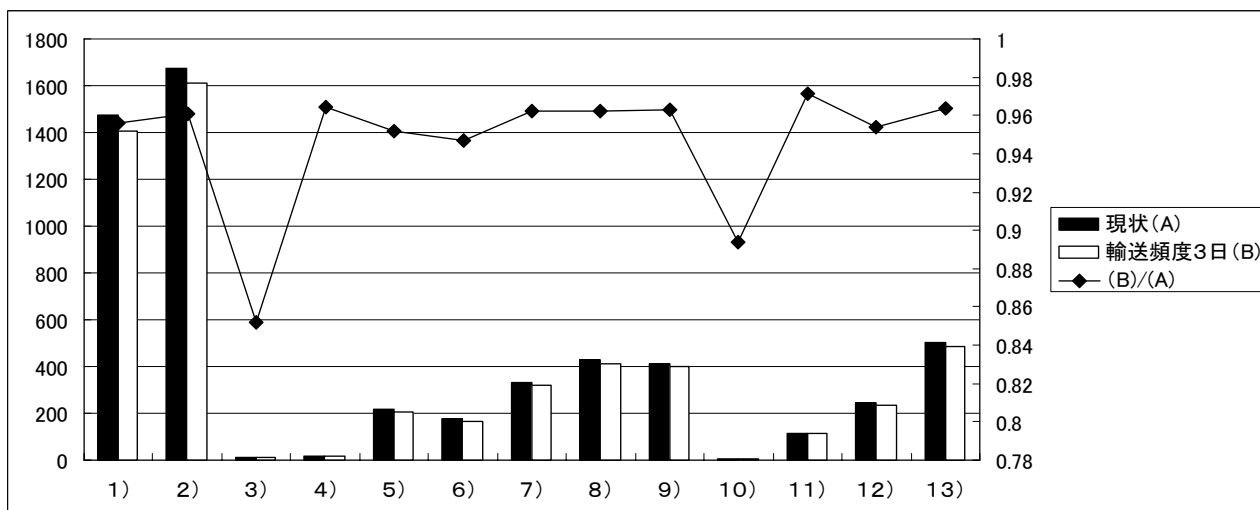


図-5.2.3 北米工場在庫の変化（全部品：輸送頻度低下）

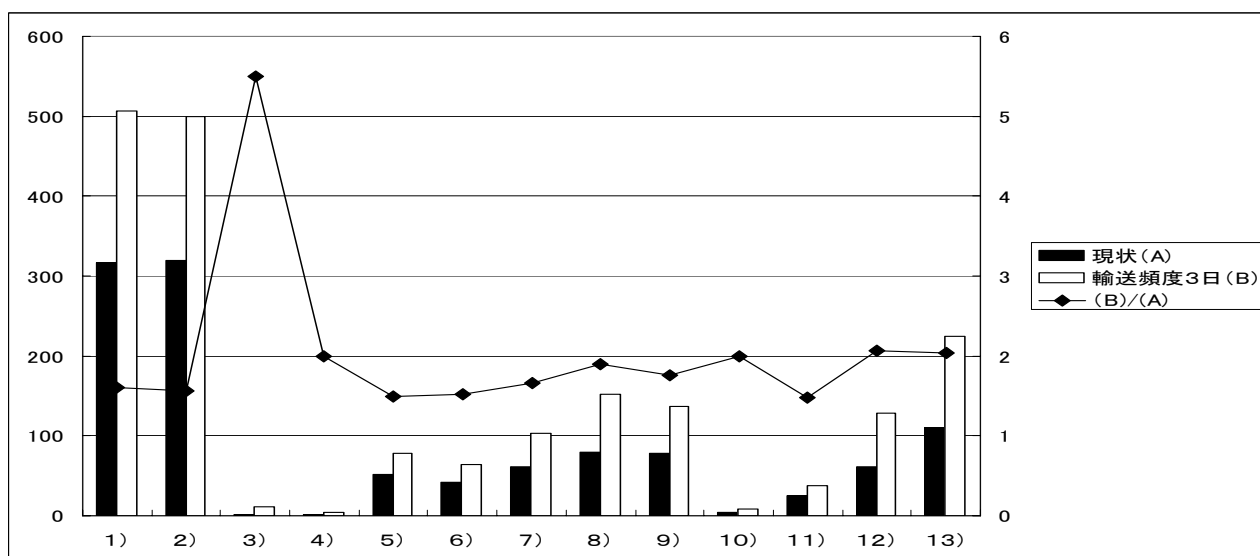


図-5.2.4 日本港湾滞留在庫の変化（全部品：輸送頻度低下）

表-5.2 在庫水準・国際輸送コストの変化（全部品：輸送頻度低下）

対象モデル	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)	11)	12)	13)
輸送頻度減少(週3回)													
北米在庫水準	0.96	0.96	0.85	0.96	0.95	0.95	0.96	0.96	0.96	0.89	0.97	0.95	0.96
SC全体在庫水準	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.12	1.03	1.00	1.00
港湾滞在在庫水準	1.60	1.56	5.50	2.00	1.50	1.52	1.66	1.90	1.76	2.00	1.48	2.06	2.04
国際輸送コスト	0.98	0.98	0.75	0.97	1.28	1.15	0.98	0.98	0.98	1.28	1.30	1.11	0.97
一日当たり平均部品需要数	92	92	0.17	0.60	14	11	19	25	22	1	8	16	30

在庫水準は微増、国際輸送コストは概ね横ばいであるが、港湾滞在在庫水準の増加が著しい。

5.3 輸送の可視性の低下による影響

輸送の可視性は、本検討の対象としたサプライチェーンでは、北米工場での在庫管理に影響を及ぼす。

生産の7日前に、北米工場には車両の受注が示され、その段階で在庫予測が行われる。具体的には、7日先までの確定生産計画と、7日先までの輸送状況を勘案して、7日先までの在庫予測を行う。在庫がマイナスとなることが予測された場合には、その最小値の絶対値を、追加発注して航空輸送する（図-3.4）。

現状では、鉄道輸送5日分、北米港湾2日分の合計7日先までの輸送状況を用いているが、この輸送可視性に関する日数が減少し在庫予測の時間的な対象範囲が減少した場合の影響を分析した。

まず、輸送の中断や輸送頻度の減少がない場合では、影響を受けるのは2ケースであり、いずれもオプション部品で、現状で航空輸送が必要な場合である。

図-5.3.1は輸送の可視性の範囲を変化させた場合の、オプション部品の追加発注量の変化である。輸送可視性に

関する日数が低下するに従い、航空輸送による追加発注の回数が増大する。これは、7日程度先までという比較的短い予測期間では、在庫量は単調な減少関数となるためであると考えられる。このため、在庫予測の期間が長ければ、一度に航空で追加発注する量が多くなり在庫量が再び増加することから、追加発注の回数が少なくなる。在庫予測の期間が短く発注回数が多い場合は、固定発注費用（発注量にかかわらず発注に要する事務処理費用）の増加が起こる。一方、予測の期間が長く追加発注1回当たりの量が多い場合、急な生産による調達が困難で日本側で分割発送しなければならない場合も生じる。このため、輸送の可視性の効果は、これらの要素のトレードオフで決まる。本検討では航空輸送の発注回数に変化が見られるのは需要量の小さなオプション品についてのみであるため、部品の調達は可能であると考えられ、輸送の可視性が増加する場合が有利と判断できる。

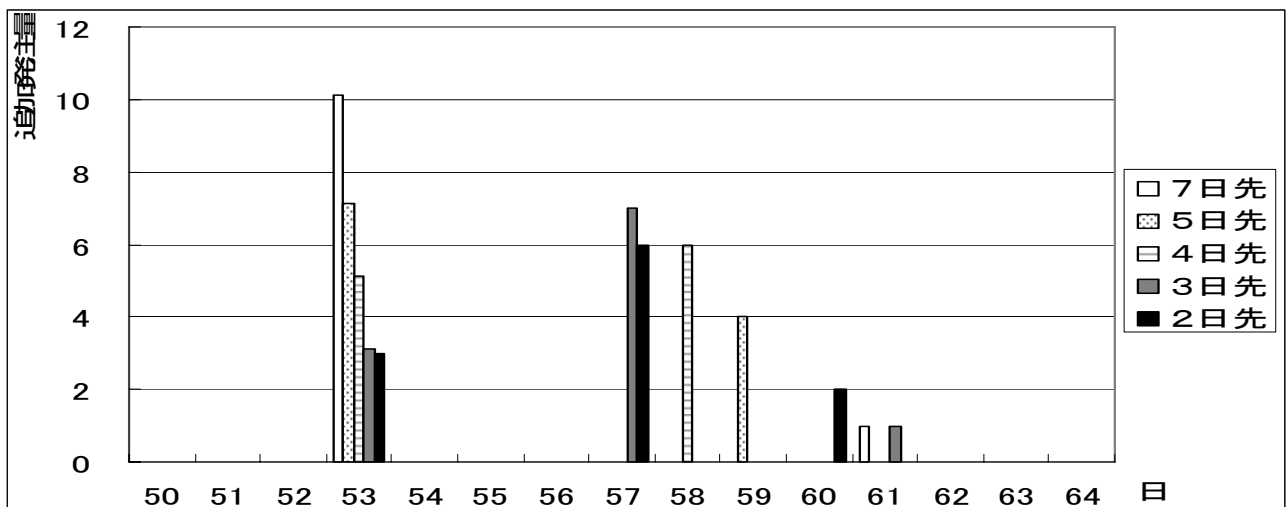


図-5.3.1 輸送の可視性日数の変化に伴う追加発注の変化（オプション品 10）

また輸送可視性の範囲が長い場合の方が、将来どの程度の在庫不足が見込まれるか、より早いタイミングでその総量を予測することが可能となることから、在庫管理の上で有利になるものと考えられる。

在庫予測以外の面でも、輸送の中断が発生する場合、輸送可視性は重要であると考えられる。図-5.1.1のように、港湾が停止する場合、日米間の輸送リードタイムの後、北米工場から一度に大量の追加発注が必要となる。需要量の多い共通部品の場合は、日本側からの供給が困難である場合も想定される。追加発注が不可能な場合には、共通部品の場合で、在庫量に換算して2日分から4日分の在庫を北米において、品切れを防ぐための安全在庫として追加保管する必要がある。

このため、港湾等において輸送の中断が発生した場合、その状況を直ちに企業に伝えることが必要である。これにより企業は北米工場での在庫が不足する前に、輸送の中断の程度や部品の必要数量等を勘案した上で、部品の追加生産や、他の在庫保管拠点からの部品の調達、代替輸送経路の確保等を早くから行うことが可能となる。筆者ら²⁾の輸送可視性に関するニーズの把握においても、海外港湾での船積状況や、国際海上輸送での本船の航行状況、輸入側での本船の到着状況等に関して荷主のニーズが高いという知見が得られているが、この理由の一つとしてこのようなリスク回避行動の容易性が想定できる。

5.4 港湾リードタイム短縮による効果

図-5.4.1に、日本側の港湾リードタイムが3日から1日に短縮された場合の、共通部品の北米工場での在庫水準

の変化を示す。この例と同様に図-5.4.2に示すように13ケース中10ケースにおいて、在庫水準の変化が認められ、平均約8%の在庫減少となる。これらのケースでは在庫不足による国際輸送コストの増大は生じない。

この一方、図-5.4.3にオプション部品の北米工場での在庫の時系列変化を示す。このように在庫が増加するケースが2ケースあり、また在庫が不足となり国際輸送コストが増加するケースが1ケースある。

しかし、図-5.4.4に、サプライチェーン全体の在庫水準についての変化を示すが、いずれのケースでも在庫水準は減少する。これは、日本側の港湾内での滞留量が減少したためであり、平均約13%の減少となる。

北米工場の在庫が増加する場合、ならびに国際輸送コストが増加する3ケースはいずれもオプション部品で数量自体が少ないことから、全体としては港湾リードタイム短縮の効果は確認できるものと考えられる。

表-5.4に、在庫水準ならびに国際輸送コストの変化率を整理した。

北米工場の在庫水準が減少した要因は、輸送のリードタイムが減少し、在庫管理が効率化されたのではなく、日米間の輸送が2日前にずれの影響が在庫水準に反映されたに過ぎない。

図-5.4.5に示すように一般的にサプライチェーンでは顧客からの注文に対して需要予測を行い、また自らのサプライヤーに対する発注から納品までのリードタイムを勘案して在庫水準を決定している。リードタイムが長期化すれば、需要予測の精度が下がり、また納品へのリスクが高まるため、企業は在庫を多く保有する傾向がある。

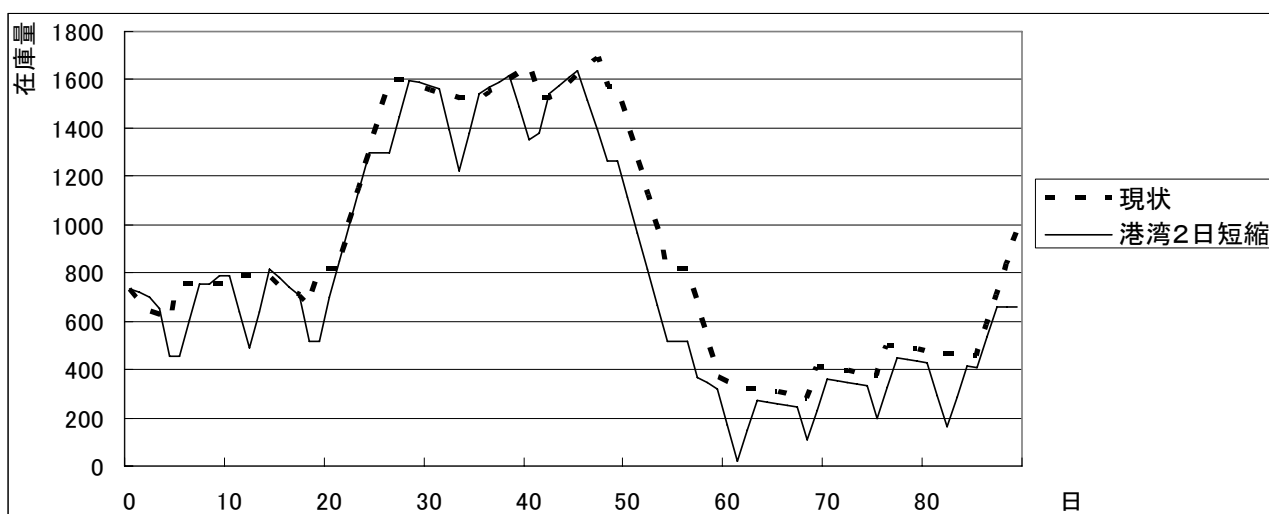


図-5.4.1 北米工場在庫の推移（共通部品 1：港湾リードタイム2日短縮）

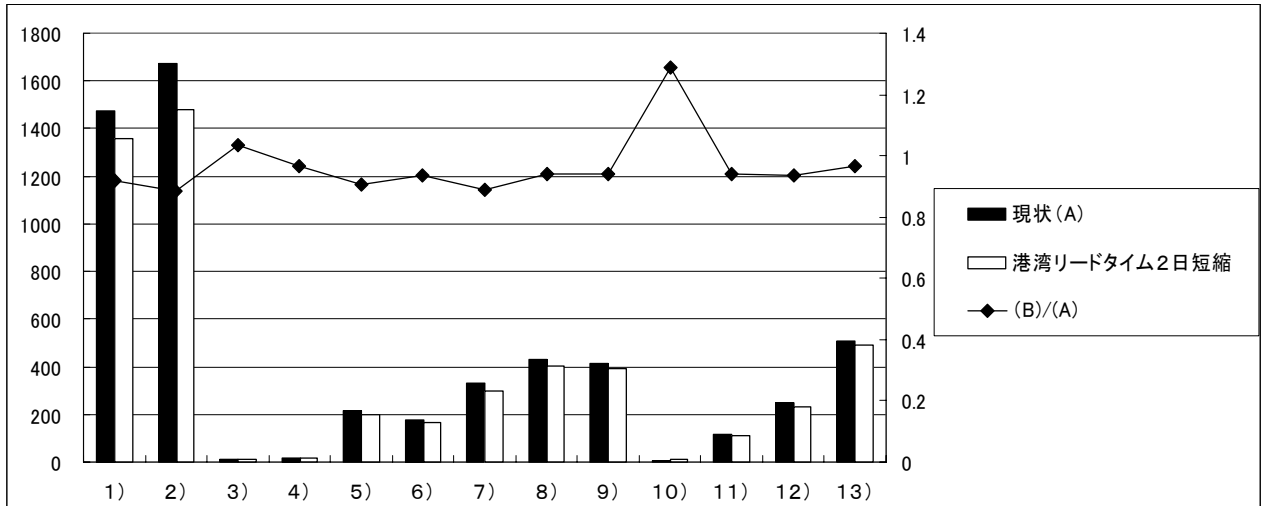


図-5.4.2 北米工場在庫の変化（全部品：港湾リードタイム2日短縮）

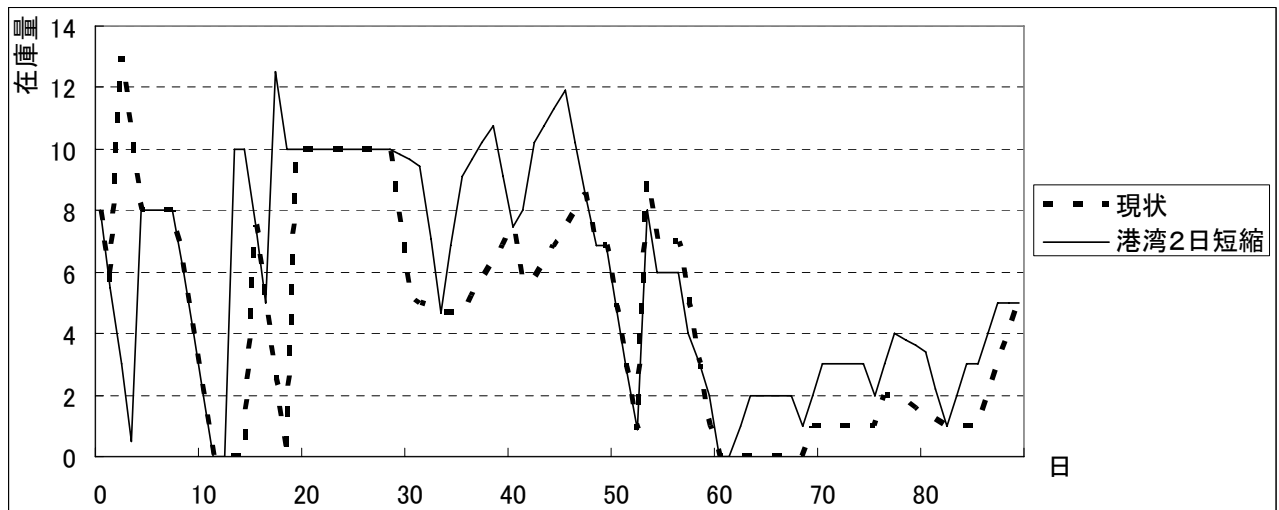


図-5.4.3 北米工場在庫の推移(オプション部品 10: 港湾リードタイム2日短縮)

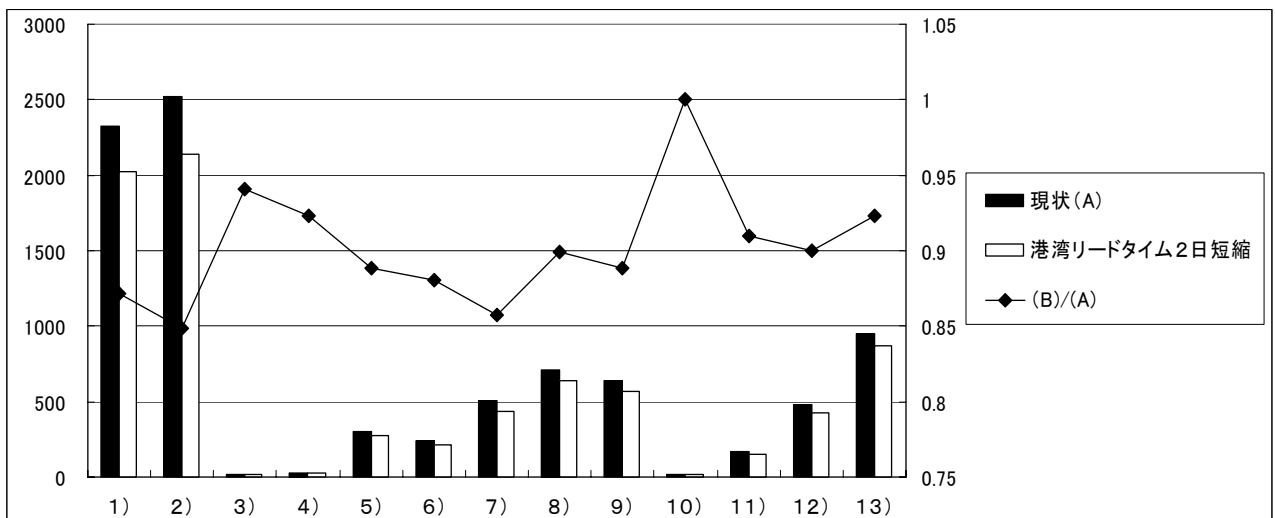


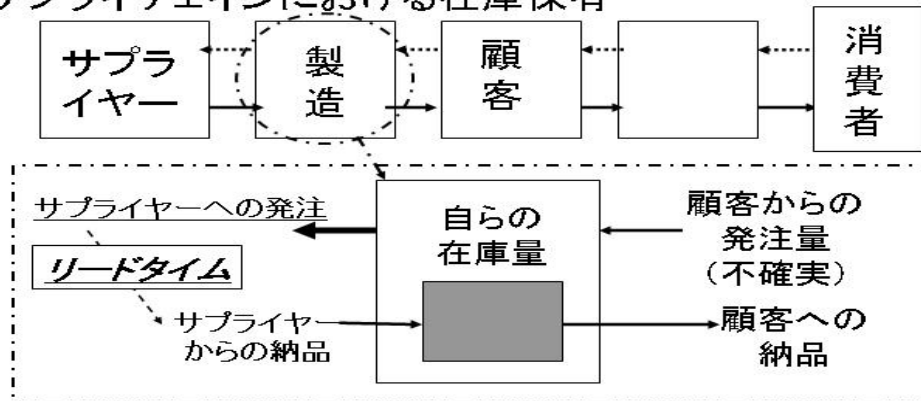
図-5.4.4 サプライチェーン全体の在庫の変化（全部品：港湾リードタイム2日短縮）

表-5.4 在庫水準・国際輸送コストの変化（全部品：港湾リードタイム2日短縮）

対象モデル	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)	11)	12)	13)
港湾リードタイム2日短縮													
北米在庫水準	0.92	0.88	1.03	0.97	0.91	0.94	0.89	0.94	0.94	1.29	0.94	0.94	0.97
SC全体在庫水準	0.87	0.85	0.94	0.92	0.89	0.88	0.86	0.90	0.89	1.00	0.91	0.90	0.92
国際輸送コスト	0.92	0.88	1.03	0.97	0.91	0.94	0.89	0.94	0.94	1.29	0.94	0.94	0.97
一日当たり平均部品需要数	92	92	0.17	0.60	14	11	19	25	22	1	8	16	30

在庫水準が低下する。国際輸送コストは横ばいである。

サプライチェーンにおける在庫保有



顧客に確実に納品したい...

- ① 顧客からの発注量は不確実(在庫予測を行っても100%確実ではない)
- ② サプライヤーへ発注しても、リードタイムがあれば納品リスクが発生

在庫を保有

図-5.4.5 リードタイムと在庫保有の考え方

本検討の対象としたサプライチェーンでは、需要として用いた発注量の時間的な変動が小さく、港湾リードタイムが2日間改善されても、需要予測の改善の程度が小さく、北米工場の在庫水準への影響はごく僅かとなった。

輸送リードタイムの短縮に伴う安全在庫水準の考慮は行っていないが、一般にリードタイムの平方根に比例するため⁵⁾、日米間の輸送リードタイム全体が26日から24日に短縮されれば、4%程度の安全在庫削減が可能である。しかし本サプライチェーンでは北米工場での安全在庫水準は4日分と小さく、安全在庫水準の削減可能量は小さいものと考えられる。

本サプライチェーンの特徴として、事後補正を行い、サプライチェーン全体の在庫水準を適正化する仕組みがある。輸送リードタイムが短縮すれば、この補正のリードタイムも短縮され、過度な在庫が減少する。しかし事後補正は、確確定発注と事前発注の差によって行われる

ため、需要変動が少ない本検討ではその量はごく僅かとなった。結論として、本分析においては、2日分の港湾滞留在庫の減少が港湾リードタイム短縮による確実な効果である。

一方、輸送の長期化が生じた場合には、本企業のサプライチェーンマネジメントが困難になることが予想される。例えば内示発注量は月ごとに翌々月の長期的な生産量を予測するものであり、図-5.4.6は、内示発注に関する予測の時間的タイミングを示している。現状では、生産を行う目標月の予測は、その前々月の下旬になされる。しかしリードタイム等の長期化によって、これよりも部品の出荷や北米への部品の発送に時間を要する場合、これらの時間的な前倒しが必要となるため、前月の予測値を用いなければならなくなるのが想定される。この場合、生産目標月からさらに一月前の予測となることから、予測誤差が増大し在庫の過不足によるコスト増の可能性

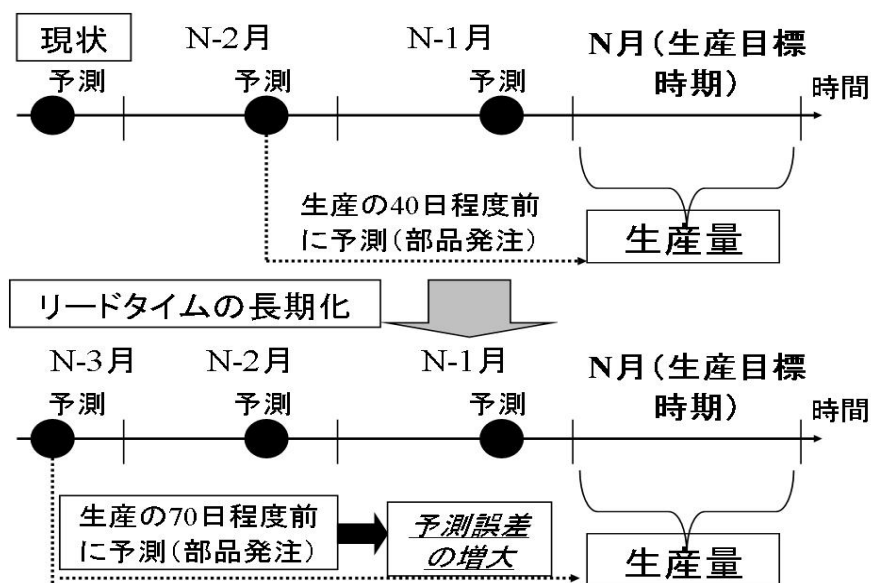


図-5.4.6 リードタイム長期化による影響

が高くなる。

同様に、輸送の頻度が低下する場合についても、一定の在庫水準を確保するために発送の時間的な前倒しを行う必要が生じるため、同様の理由からコスト増となることが懸念される。

5.5 まとめ

以上の分析結果をまとめると以下のようになる。

日本側の港湾が5日停止した場合には、ほぼ全てのケースについて北米内の在庫不足となり国際輸送コストが大きく増加する。また、全体的に在庫水準が増加し、過剰な在庫保有となる。

国際海上輸送の頻度が現在のデイリーから3日に半減した場合は、約4割のケースで在庫不足となり、国際輸送コストが大きく増加する。北米工場の在庫水準は低下の傾向にあるが、日本側の港湾での滞留在庫が大きく増加し、貨物保管のための関連コスト増加の懸念が生ずる。

輸送に関する可視性が減少した場合は、現状で航空輸送が必要な2ケースにおいて航空による発注回数が増加し、固定発注費用の増加が懸念され、また在庫不足を把握するタイミングが遅くなる。

日本側の港湾リードタイムが短縮された場合には、北米工場の在庫の減少が見られるが、これは在庫管理の効率化によるものではない。このため、確実な効果としては、2日分の港湾滞留在庫の減少に限られる。しかしこれは港湾リードタイムが重要でないことを意味するのではなく、港湾リードタイムの長期化が発生した場合には、部品の出荷等において精度の低い需要予測を用いる必要が生じ企業によるマネジメントに支障を及ぼす可能性が

ある。このため一定のリードタイムの水準が確保される必要がある。

本検討の対象としたサプライチェーンはリーンサプライチェーンであり、生産量や需要等の変動を極力排除しコストの削減を目指すものである。このため、輸送の安定性や頻度が重要である。この一方、最新の需要動向に迅速に対応することが目的であるアジャイルサプライチェーンにおいては、変動の激しい需要に対する予測が必要となり、輸送の安定性や頻度に加えて輸送リードタイムの短縮が必須条件となる。

いずれのサプライチェーンにおいても、輸送の可視性はリスク軽減の観点から重要な要素であると考えられる。

6. おわりに

本検討では、実際の我が国製造業のグローバルサプライチェーンマネジメントをモデル化し、またそれを用いて国際輸送サービス水準の変化による影響を定量的に把握し、またその要因を考察した。その結果、対象とした国際輸送サービス水準要素の全てにおいて、その変化による影響を確認することができた。このことから、今後製造業等による企業の競争力の強化を国際物流の面から支援していくために、国際物流品質面での改善が重要であることが実証的に示された。

今後の課題は以下のとおりである。

第一は、国際輸送サービス水準が変化した場合の企業の行動をさらに取り入れたモデルの構築である。輸送の中断の発生が企業に情報提供された場合には、企業は在庫不足の回避のための行動を直ちに開始することが想定

される。国際物流のリスクマネジメントに関するこのような行動を取り入れる必要がある。

第二に、需要変動の大きい場合の検証が必要である。本検討の対象としたサプライチェーンでは、需要変動が小さく、輸送リードタイムの短縮による在庫管理に対する効果が認められなかった。本検討のケースよりも需要変動が大きい場合には、輸送リードタイム短縮の効果はさらに大きいものと予想されるが、その検証を行う必要がある。

第三に、実際のコスト（在庫保有コスト、輸送コスト）に関するデータが入手できれば、異なる輸送サービス要素間の重要度を比較することが可能となる。

(2005年9月21日受付)

謝辞

本検討を行うにあたり、(株)構造計画研究所相澤りえ子氏、越川克巳氏にモデル構築等で多大なご協力を頂きました。また北澤部長をはじめ港湾研究部の方々から貴重なコメントを頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1)安部, 高橋(2004): グローバルロジスティクス時代における港湾のサービス・機能のあり方に関する一考察, 国土技術政策総合研究所資料 No.144
- 2)安部, 寺田(2005): 我が国製造業を支援するための港湾ロジスティクスハブのあり方に関する検討, 国土技術政策総合研究所資料 No.199
- 3)Graves(1999), A Single-Item Inventory Model for a Nonstationary Demand Process, Manufacturing and Service Operations 1(1)
- 4)Disney et al. (2003): The Impact of Vendor Managed Inventory on Transport Operations, Transportation Research Part E, Vol. 39
- 5)例えば久保(2001): ロジスティクス工学 第4章, 朝倉書店