

# エージェントモデルに基づくサプライチェーン マネジメントツール

岡田 知仁<sup>†a)</sup> 生天目 章<sup>†</sup> 佐藤 浩<sup>†</sup>

あらまし：東南アジアの経済発展に伴い、東南アジアの主要都市では急激な需要変動が発生し、工場は新設され、輸送網は再整備計画により拡張されている。東南アジアのサプライチェーン環境は、複雑化し、ダイナミックに変化している。本研究は、これらの変化に対応できるサプライチェーンマネジメントを行うために、エージェントモデルに基づくサプライチェーンマネジメントツールを作成する。また、東南アジア自動車産業の実データをもとに、東南アジアのサプライチェーンマネジメントを提案する。

キーワード：サプライチェーンマネジメント、マルチエージェント、エージェントベースモデル、多段階モデル、在庫管理、確率的需要変化、ネットワーク構築、レジリエンス、

## 1 はじめに

### 1.1 背景

近年、東南アジアでは、多国籍企業の進出及び国内企業の発展により著しい経済発展を遂げ、開発地域と未開発地域が混在し、常にその様相は変化しつつある。市場に関して、2014年におけるGDPの前年度比による経済成長率が5%以上を維持しつつあるアジアの国は16か国（中国等）、0~5%は6各国（韓国等）、負の成長率は2か国（日本等）であった[1]。計24か国のうち16か国（全体の64%）が5%以上の経済成長率を示しており、このことから、アジアにおいては著しい経済発展を遂げているといえる。

生産拠点に関して、タイのバンコクにおいては既存の工場から賃上げ要求がありコスト高になっているのに対し、ミャンマーのティラワ経済特区では新たな工場の誘致のため低コストで工場の操業が可能であり、工場を中心地が変化しつつある。

輸送手段について、かつてアジアにおける輸送手段は海上輸送が主流であったが、近年、陸上輸送路の整備に伴い陸上輸送が注目されてきてい

る。特にメコン地域の経済回廊を使用した輸送の重要性が着目されているが、現在、経済回廊は開発・整備を完成させてはいない。

これらのことから、東南アジアにおけるサプライチェーンマネジメントを行う際に、常に変化に対応できるサプライチェーンマネジメントの在り方を模索しなければならない。

本研究の目的は、エージェントモデルに基づくサプライチェーンマネジメントツールを作成し、東南アジア自動車産業の実データをもとに、東南アジアのサプライチェーンマネジメントを提案する。

東南アジアを研究の対象地域とした理由は、上記の経済発展により、変化が著しく、今後の成長に期待できるからである。自動車産業のデータを使用した理由は、東南アジアにおいて、トヨタ自動車が多く工場を展開し、かつ自動車の販売実績があり、また、多くの実データが存在するため、本地域における実データに基づくシミュレーションが可能であるからである。

### 1.2 サプライチェーンとは

サプライチェーンの定義は、現在明確に定まったものはない[2]。それはサプライチェーンの概念そのものがロジスティクスを経て様々な要因が複雑に組み込まれたことにより生じたものであるからである。様々な研究機関、企業、文献等でサプライチェーンの定義がなされているが、これらの定義に概ね共通するサプライチェーンの概念は次の通りである。“サプライチェーンとは、原材料が様々な工程を通じて商品に加工されて最終消費者に届くまで

<sup>†</sup> 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校  
知能情報研究室  
Intelligent Information Systems Laboratory,  
National Defense Academy, 1-10-20 Hashirimizu  
Yokosuka Kanagawa 239-0811 Japan

<sup>a)</sup> E-mail: em53040@nda.ac.jp

のプロセスの集合体のことである。” 本論文では、この概念をサプライチェーンの定義として研究を展開する。以下にサプライチェーン（またはサプライチェーンマネジメント）の定義をいくつか紹介する。

- ISO26000 によるサプライチェーンの定義は、“組織に対して製品又はサービスを提供する一連の活動又は関係者”である [3].
- 森田によるサプライチェーンの定義は、“企業が製品やサービスを顧客に供給 するために必要なさまざまな活動（製品開発，原材料の調達，生産，貯蔵や在庫，輸送，受発注業務など原材料の源泉から最終消費者にいたるプロセスにおける物やサービスの変換に関わるすべての活動）が繋がっている状態”である [4].
- 藤川によるサプライチェーンマネジメントの定義は，“SCM は，サプライチェーンに参加する個々の企業の枠を超えた最適化をしようとするもの”である [5].
- 藤野によるサプライチェーンの定義は，“資材の調達から最終消費者に届ける までの資材や部品の調達・生産・販売・物流といった業務の流れを，一つの大きな”供給のチェーン（鎖）”としてとらえたもの“である [6].

また，物流（Physical Distribution）とロジスティクスとの違いは以下の通りである。

表 1.1 物流とロジスティクスとサプライチェーンの特徴

	輸送計画	在庫管理	管理範囲
物 流	○	×	1 社
ロジスティクス	○	○	1 社
サプライチェーン	○	○	関係全社

サプライチェーンマネジメントは，動的な需要変動に対する在庫管理，様々な条件を含む複雑ネットワークから最適な輸送を導出する配送計画を作成する必要があり，多くの関連事項を考慮した問題を解決しなければならない。

### 1.3 エージェントベースモデルとサプライチェーン

エージェントベースモデルで構築されるサプライチェーンは，様々な異なるエージェントから構成され，それぞれのエージェントは，個々の意思決定に基づき取引先を決定しシステムを構築する。サプライチェーンをエージェントモデルで構築する理由は，エージェントの多様性と多数性，各エージェントの不完全情報性，自律して行動するエージェントの自己意思決定性，ブルウィップ効果等にみられる創発性がある。

ブルウィップ効果とは，急激な需要変動が発生した際に各現場で行われる見積り発注から発生する現象で，見積り発注を受けた部署がさらに上流に見積り発注を行い，これを繰り返すことにより，小売における需要とはかけ離れた受注を工場は受ける現象である。これは，各部署における情報共有によって解決される。

### 1.4 先行研究

久保は，著書“ロジスティクス工学”の中で，サプライチェーンを工学的見地からまとめている。この書は，基本的なロジスティクスにおける意思決定レベルと階層，情報処理技術の解説，在庫管理の方法等の解説から，配送計画モデル，運搬スケジューリングモデル，ロジスティクスネットワーク設計モデル等のモデルの解説まで，サプライチェーンにおける基礎的思考方法をまとめている [7].

上は，“非常時下でのサプライチェーンモデル分析”で，リードタイムの変化がサプライチェーン全体に与える影響を調べるためにシミュレーションを行い，在庫費用を観察してモデル分析を行った。リードタイムの値が確率的に増加する条件下において，発送元が受注残を繰り返すモデルと繰り返さないモデルを比較した。本論文の成果は，リードタイムが増加した際にかかる費用の平均は，両モデルともほぼ同じであったこと。今後の課題は，費用と標準偏差の値を減らすことである [8].

Partha Priya Datta は，様々な状況におけるサプライチェーンの在庫補填計画（push-pull 方式）の適合性，ネットワークの柔軟性（flexibility），問題に対する機敏性（agility），不測事態に対応するための冗長性（redundancy），在庫管理の効率性（efficiency）を向上させる提案モデルを作成することにより，サプライチェーンレジリエンスの概念的フレームワークを紹介した。特に，サプライチェーン全体を管理する中央集権型と，各エージェントの自律的行動にまかせる自律分散型のモデルは，エージェントモデルの特性を活用したものである。この研究の特徴は，エージェントベースでモデルを作成することにより，各エージェントがルールと環境の範囲内で行動できるように設定されたシステムの実行結果を調査することができることである [9].

本研究で作成するツールは，これらの先行研究の考え方を1つのツールとして統合した。本ツールと先行研究の関係については以下のとおり。

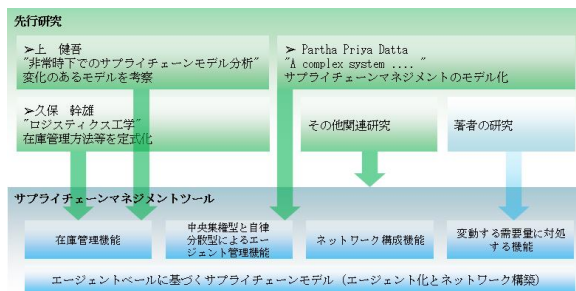


図 1.1 先行研究と本ツールの関係

## 2 エージェントに基づくサプライチェーンマネジメントツールの構築

本ツールは、本社、工場、流通センター、小売の4種類のエージェントからなり、各エージェントには、在庫管理機能、ネットワーク構成機能、変動する需要量に対処する機能、中央集権型と自律分散型によるエージェント管理機能の4つの機能を有する。

### 2.1 エージェントについて

#### ・本社

本社は、すべてのエージェントから、“過去の売り上げ情報”と“在庫状況”を収集する。本社は、“過去の売り上げ情報”と“新商品の開発情報”をもとに、営業からの既存製品の販売促進キャンペーンを計画する。長期取引戦略のために様々な製品の予測を行い、流通センターおよび倉庫に伝える。全体的見通しと製品に基づき工場に生産計画を伝える。これらの計画は取引期間（各エージェントの発注間隔）にどれだけ製品を製作すべきかを明示する。本社企画部はサプライチェーンネットワーク全体を見渡すことができ、各エージェントの行動を規制する決定権（強制力）を持っている。

#### ・工場

本モデルにおいてはサプライヤーの役割を果たし、サプライチェーンネットワークの最上流にある。様々な需要パターンにこたえて製品を生産し、下流ノードからの受注に応じ製品を発送する。

中央集権型モデルにおいては、本社企画部の計画した生産計画に基づき製品を製作する。また倉庫からの受注に応じて製品を発送する。

自律分散型モデルにおいては、倉庫からの受注量に基づき工場における在庫の消費量（下流への発送量）は本社企画部に報告され、本社企画部はこれをもとに工場の在庫管理及び在庫発送状況を管理する。本社企画部から、在庫量調整及び発送命令が下された場合はこれに従い行動する。

#### ・流通センター

市場からの受注に基づき製品を発送し市場における在庫切れを防止する。サプライチェーンにおける在庫のバッファの役割を果たす。流通センターの在庫管理の方針は、市場で在庫切れが発生しないように在庫を保管し、かつ、在庫量を極力少なく保管することにある。流通センターの在庫管理方法は、下流のノードに十分な在庫がある場合は、在庫量を少なく保管するように調整を行い、下流のノードの在庫が不足しているときは、在庫を多く保管するように、流通センターが上流ノードに発注する発注量を調整して、在庫管理を行う。

流通センターにおける在庫の消費量（下流への発送量）は本社企画部に報告され、本社企画部はこれをもとに流通センターの在庫管理及び在庫発送状況を管理する。本社企画部から、在庫量調整及び発送命令が下された場合はこれに従い行動する。

#### ・市場

製品が消費される箇所であり、サプライチェーンの最下流ノードである。本社企画部による販売促進キャンペーン等により製品の消費量は多少見積ることは可能であるが、基本的に製品の消費量は予想不可能である。製品の消費量が高騰した際に在庫切れが発生する可能性が高くなる。市場における在庫切れの発生は、製品の販売機会損失が生じ、また、企業の評価が下がり、今後の経営に影響を与える。予想不可能な製品の消費量に対して在庫切れを発生させないために、市場では在庫管理を行う。

市場における在庫管理の方針は、在庫切れが発生しない範囲で在庫を確実に確保しつつも、在庫を少なめに保管することである。

本ツールにおける市場の需要量は対数正規分布に基づく値とする。導出方法は以下の式で行う。

$$D_{t+1} = \rho_t D_t + \varepsilon_t$$

$D_t$  :  $t$  ステップにおける需要量の値を、

$\rho_t$  : 分散の値（平均値=0, 標準偏差=1）、

$\varepsilon_t$  : 消費量の中央値（ $\varepsilon_t = 1$ とする）

正規分布における確率の値は、0~1の区間の値をランダムで選択する。

本式で得られた標本と確率密度関数は以下の通りである。

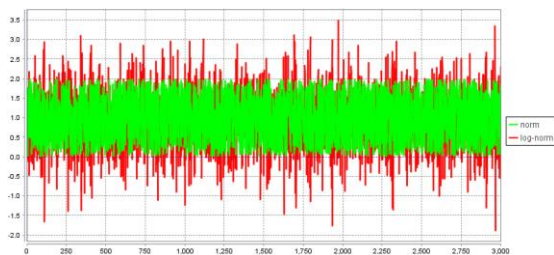
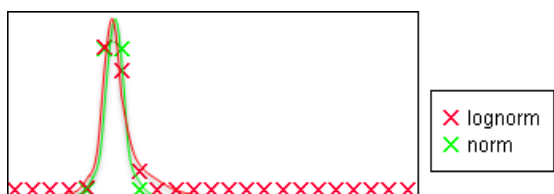


図2.1 小売の需要変動の標本値



1 マス=0.1 (横軸=発生した値、縦軸=発生回数)

図2.2 小売の需要変動の確率密度関数

図から、本式で得られた値(赤)は、正規分布の値(緑)と比較すると、対数正規分布に近似しているといえる。このことから本ツールでは、本式を対数正規分布に近似した値を導出する需要変動の値として使用する。

中央集権型モデルにおいては、製品の消費量は本社企画部に報告され、本社企画部はこれをもとに流通センター・倉庫からの在庫発送状況、工場の生産量を計画する。本社企画部から、在庫量調整及び在庫受領命令が下された場合はこれに従い行動する。

自律分散型モデルにおいては、製品の消費量をもとに計算された発注量をもとに上流ノードに発注する。

## 2.2 本ツールの機能について

### 2.2.1 在庫管理機能

各エージェントは、在庫切れが発生しないように安全在庫量を設定する。安全在庫量とは、在庫切れが発生しないように最低限確保する在庫量である。安全在庫量をもとに発注点を設定し、在庫を発注する基準を設定する。エージェントが管理する在庫量が発注点を下回ると在庫を発注量の分だけ上流のエージェントに在庫を発注する。それぞれの値の計算方法は以下の通りである。

$$\text{安全在庫量} = \text{平均消費量} \times \text{リードタイム} \times \text{受注先の数}$$

$$\text{発注点} = \text{安全在庫量} + \text{平均消費量} \times \text{リードタイム} \times \text{受注先の数}$$

$$\text{発注量} = \text{発注点} - \text{安全在庫量} + (\text{発注点} - \text{現在の在庫量})$$

### 2.2.2 ネットワーク構成機能

発注元(下流エージェント)が取引先(上流エージェント)を決定するための選択方法は4通りで、以下の通りである。

- ランダム  
発注元から見て取引可能なエージェントからランダムで相手を選択し、これを取引先とする。
- リードタイムが最小  
発注元から見て取引可能なエージェントのうち、最もリードタイムが小さい相手を選択し、これを取引先とする。
- 取引先の在庫量が選択肢の中で最大  
発注元から見て取引可能なエージェントのうち、最も在庫量を多く保有する相手を選択し、これを取引先とする。
- 固定値  
常に固定の相手を取引先とする。

### 2.2.3 変動する需要量に対処する機能

変動する需要量に対処する機能について、小売における動的な需要変動による在庫切れを回避するための機能であり、方法は2つある。1つ目は、保管在庫量を多めに保有して需要変動に対処する。これは、在庫切れのリスクは少なくなるが、常に多めの在庫を抱える必要がある。2つ目は、取引先との受発注の連携により需要変動に対処する。これは、常に多めの在庫を抱える必要はないが、在庫切れのリスクが少なからずある。

### 2.2.4 中央集権型と自律分散型によるエージェント管理機能

中央集権型モデルとは、サプライチェーン全体の在庫管理及び配送計画を本社(中央機能)が一元的に行い、この管理・計画に基づき各エージェントが行動するモデルである。本モデルにおいて、本社は各市場における需要量データを収集し、次のstepにおける製品の生産量を計画する。製品製作計画は工場に渡され、工場はこの計画に基づき製品を計画する。また、本社は、各エージェントから需要量(発注量)のデータを収集し、どのエージェントがどれだけ製品を必要としているかのデータを掌握する。このデータに基づき配送計画(配送先及び配送量)を作成し、本社は各エージェントに製品を発送させる。自律分散型モデルとは、各エージェントが独立しており、自らの意思決定に基づき受発注を行う。各エージェントは、自らの持ち場の在庫消費量から発注量を計算し発注する。受注したエージェントは受注量を発送し、発送した合計を在庫消費量として発注量を計算し上流ノードへ発注する。工場エージェントは受注した発注量をもとに生産を行う。

### 3 実データに基づくツールのシミュレーション

2章で作成したツールに東南アジアのサプライチェーンの実データを入力して、シミュレーションした結果から、東南アジアの自動車産業におけるサプライチェーンマネジメントを提案する。

#### 3.1 東南アジアの陸路・海路混合輸送モデル

本シミュレーションは、アセアン 10 各国、日本、中国、韓国、インドの計 14 各国を対象地域とした自動車産業におけるサプライチェーンモデルを作成・シミュレーションし、サプライチェーンマネジメントを支援するものである。

本モデルは、工場エージェント×9、流通センターエージェント×2、港湾エージェント×15、市場エージェント×20 の 4 種類からなる計 46 個エージェントで構成されており、各エージェントは独立しており、自らの意思決定に基づき行動する。各エージェントの位置データ [10] [11]、輸送網のデータ [10] [12]、リードタイムデータ [10] [13] [14] は各種資料より引用した。各エージェントの位置・ネットワークは以下の通りである。

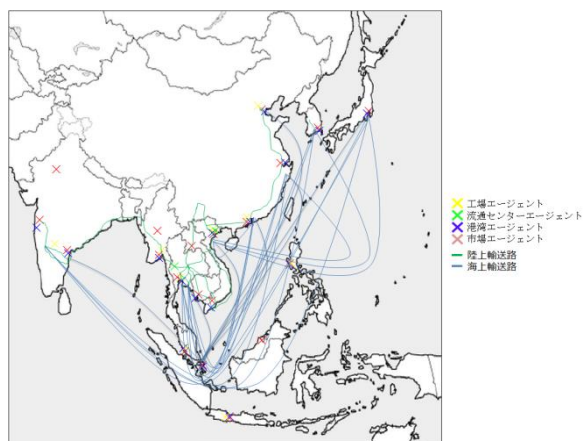


図 3.1 各エージェントの位置及びネットワーク構成

シミュレーション結果は、以下

表 3.1 各シミュレーション結果

平均在庫量 /step	ランダム	リードタイム最小	在庫量最大
海路のみ	525. 44	560. 13	389. 47
陸・海路混合	605. 90	256. 39	566. 63
陸路のみ	479. 16	236. 74	178. 39

主要取引先	ランダム	リードタイム最小	在庫量最大
海路のみ	インド・タイ・中国	インド・タイ・中国	インド
陸・海路混合	バンコク	バンコク	バンコク・ハノイ
陸路のみ	バンコク	バンコク	バンコク

輸送経路の特徴	ランダム	リードタイム最小	在庫量最大
海路のみ	海上輸送路と湾岸沿いの陸路上輸送路を使用	国単位のクラスタ化	海上輸送路全般
陸・海路混合	経済回廊	経済回廊	経済回廊
陸路のみ	経済回廊	経済回廊	経済回廊

本シミュレーション結果から、サプライチェーン全体の在庫量を減らすに当たり、輸送経路のパターンに関しては

陸路のみ < 陸・海路混合 < 海路のみ

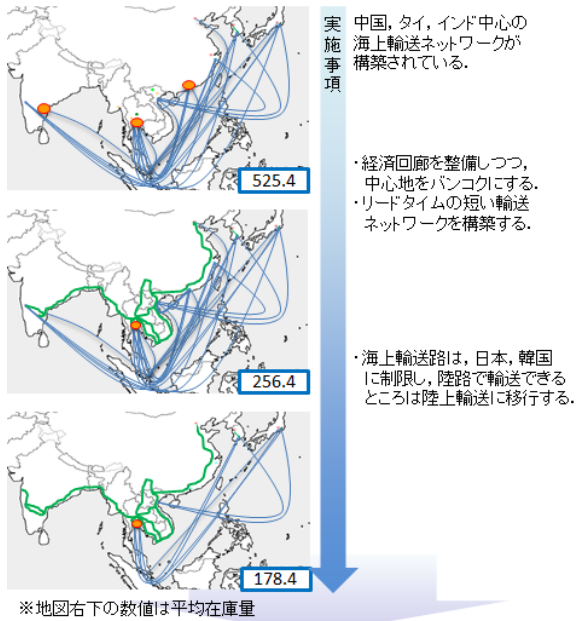
の関係であることがわかった。取引先決定方法に関しては、

リードタイム最小 < 在庫量最大 < ランダム

の関係であることがわかった。

シミュレーション結果から、東南アジアにおけるサプライチェーン全体の在庫量を減らすためには、陸上輸送路を活用した輸送経路を確立し、かつ、リードタイムを短縮できる取引先を選択する方法が効果的であることが明らかになった。このシミュレーションの特徴は、特に陸上輸送路のバンコクを中心としたメコン地域の経済回廊の使用頻度が高かったことから、この輸送経路を重点的に整備する必要性があると考えられる。

本モデルから導き出されたサプライチェーンマネジメントの提案は、以下の通りである。



在庫量が海路中心と比較して1/2以下にできる  
図 3.2 東南アジアにおける提案マネジメント

経済回廊を整備し、中心地をバンコクとして、リードタイムの短いネットワークを構築する。経済回廊が整備されたのち、陸上輸送中心に移行し、バンコクを中心としたネットワークを構築することにより、在庫量を海上輸送路中心モデルと比較して約 5 割減少できる。

### 3.2 メコン地域における経済回廊モデル

本シミュレーションでは、メコン地域の経済回廊を利用して東南アジアにおけるサプライチェーンを考える際に、どのような取引先決定方法を用いた時に、どのような経路が、サプライチェーン全体の在庫量を減らすのに効果的であるかをシミュレーションする。

本モデルは、工場エージェント×1、流通センターエージェント×8、市場エージェント×4の3種類からなる計13個エージェントで構成されており、各エージェントは独立しており、自らの意思決定に基づき行動する。各エージェントの位置データ [10]、輸送網のデータ [10] [12]、リードタイムデータ [10] [13] [14]は各種資料より引用した。各エージェントの位置・ネットワークは以下の通りである。

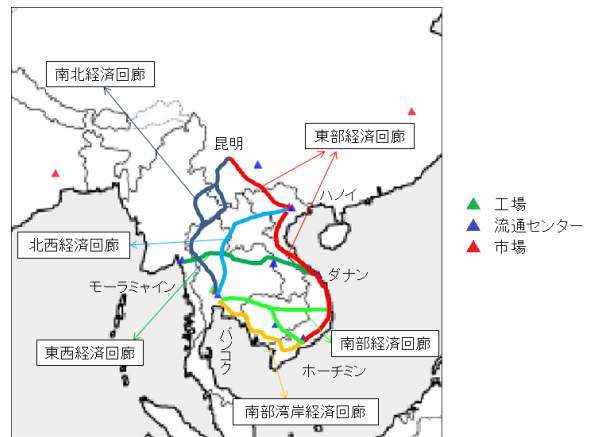


図 3.3 各エージェントの位置及びネットワーク構成

シミュレーション結果から、サプライチェーン全体の 1step 当たりの在庫量は以下の通りである。

表 3.2 各シミュレーションにおける平均在庫量

	ランダム	リードタイム最小	在庫量最大
在庫量	1142. 57	1236. 65	1272. 22

本シミュレーション結果から、サプライチェーン全体の在庫量を減らすに当たり、取引先決定方法に関しては、

ランダム < リードタイム最小 < 在庫量最大

の関係であることがわかった。

構築されたネットワークの特徴は以下の通り、

- ・取引先決定方法が“ランダム”のとき  
取引先の決定方法がランダム（取引先を均等な確率で選出する。）であるので、すべての輸送可能経路を利用して輸送を行った。
- ・取引先決定方法が“リードタイム最小”のとき  
最も近いところを取引先として選択するため、市場から近いエージェント同士でクラスター化された。東南アジアサプライチェーンネットワークにおいては、“インドーティラワ SEZーバンコク”と“ハノイー昆明ー中国”の2つに分かれた。
- ・取引先決定方法が“在庫量最大”のとき  
バンコクの工場を中心に“インドへ延びる経路”、“昆明経由で中国へ延びる経路”、“ハノイへ延びる経路”の3つの経路が形成された。本シミュレーションでは、メコン地域の経済回廊に関しては“昆明経由で中国へ延びる経路（＝南北経済回廊）”と“ハノイへ延びる経路（＝東西経済回廊）”が使用された。

本シミュレーションから、メコン地域における経済回廊において、南北経済回廊と東西経済回廊が頻繁に使用されたことから、この両経済回廊を優先的に整備することが、東南アジアサプライチェーンには必要であると考えられる。本モデルから導き出されたサプライチェーンマネジメントの提案は、以下の通りである。

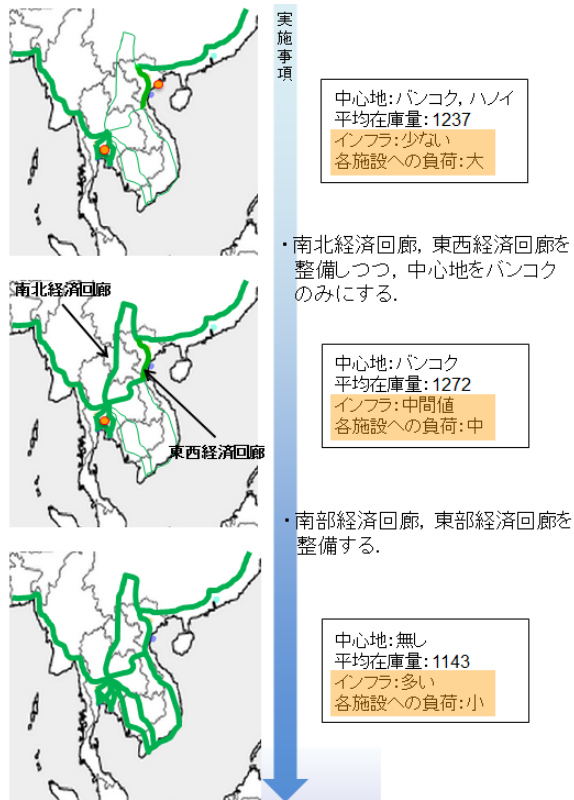


図 3.4 メコン地域における提案マネジメント

南北経済回廊と、東西経済回廊を優先的に整備しつつ、中心地をバンコクとした一極集中型ネットワークを構築する。経済回廊が完成したのち、中心地をなくすことにより、在庫量を約1割減少し、各施設への負担を少なくする。

### 3.3 タイにおけるサプライチェーンモデル

タイ国内には、タイ国土に分散して17か所にもおよぶ工業団地が存在している [15]。これらの工業団地で生産された製品をどのような経路を使用してタイ国内の市場に供給するのが効果的であるかを明らかにする。

本モデルは、工場エージェント×17、市場エージェント×30の2種類からなる計47個エージェントで構成されており、各エージェントは独立しており、

自らの意思決定に基づき行動する。各エージェント間にはどの経路も通行可能とする。各エージェントの位置データ [16]、輸送網のデータ [10] [12]、リードタイムデータ [10] [13] [14]は各種資料より引用した。各エージェントの位置は以下の通りである。

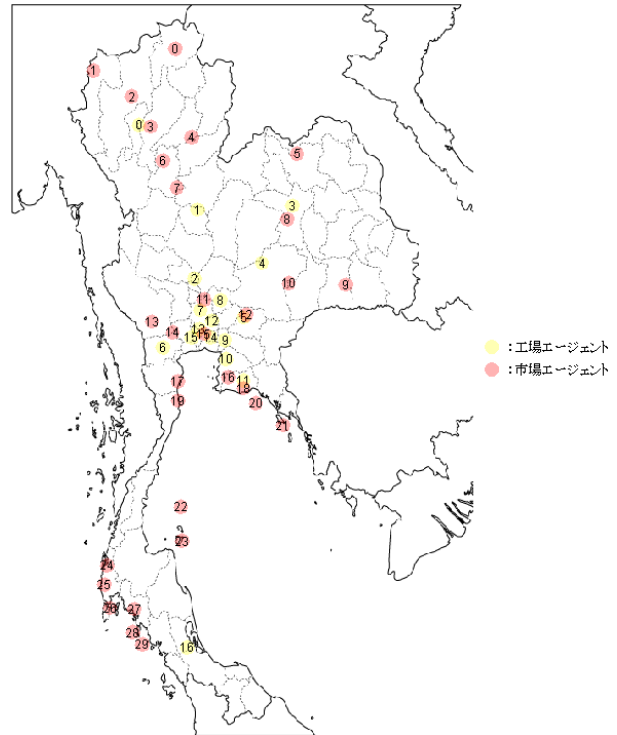


図 3.5 各エージェントの位置

シミュレーション結果は以下

表 3.3 各シミュレーションにおける平均在庫量

	ランダム	リード タイム最小	在庫量最大
在庫量	54. 20	17. 64	19. 27

本シミュレーション結果から、サプライチェーン全体の在庫量を減らすに当たり、取引先決定方法に関しては、

リードタイム最小 < 在庫量最大 < ランダム

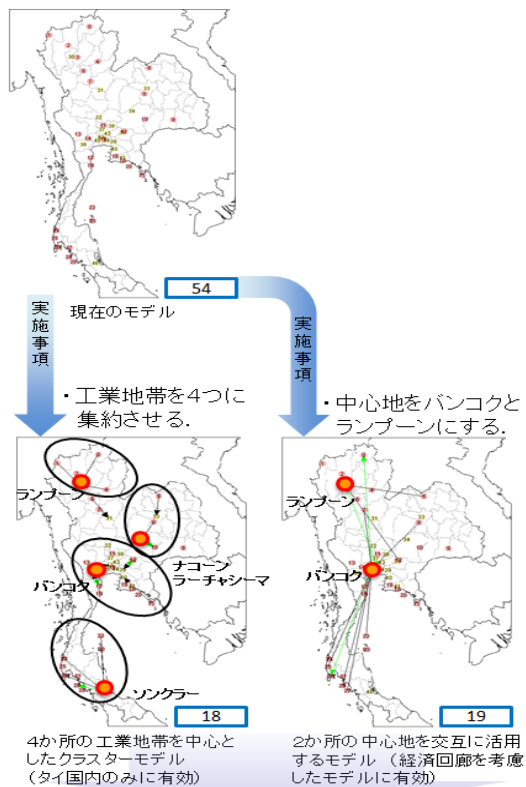
の関係であることがわかった。また、利用された輸送経路に関しては以下の通り

- 取引先決定方法が“ランダム”のとき  
 取引先の決定方法がランダム（取引先を均等な確率で選出する。）であるので、すべての輸送可能経路を利用して輸送を行った。

- ・取引先決定方法が“リードタイム最小”のとき最も近いところを取引先として選択するため、市場から近いエージェント同士でクラスター化された。形成された4つのクラスターは、北部、東部、中央部、南部に分類された。
- ・取引先決定方法が“在庫量最大”のとき中心となった工場が“バンコク”と“ランブーン”の2か所であり、バンコクを主として交互に中心地を変えながらネットワークが形成された。リードタイム最小時のクラスターの分類によると、北部と東部の2か所のクラスターに分類される工場がランブーンを使用する頻度が高い。

タイ国内におけるサプライチェーン全体の在庫量を減らすためには、“リードタイム最小”と“在庫量最大”による取引先選択方法が効果的であった。

4つの工業地帯に分類したサプライチェーンネットワークを構成して、経済回廊が整備されたときには、バンコクとランブーンを中心としたサプライチェーンネットワークを構築することにより、経済回廊とタイ国内のネットワークを連結しつつ、サプライチェーン全体の在庫量を減らすのに有効であることが示された。本モデルから導き出されたサプライチェーンマネジメントの提案は、以下の通りである。



・ランダムによる取引先決定方法と比較して、在庫量が1/2以下にできる。

※地図右下の数値は平均在庫量

図 3.6 タイにおける提案マネジメント

中心地をバンコクとランブーンの2か所を交互に活用するネットワークを構築することにより、経済回廊と連結したタイ全体のネットワークを構築できる。これにより、在庫量がランダムによるモデルと比較し約5割減少できる。

## 4 結論

“3.1 東南アジアの陸路・海路混合輸送モデル”、“3.2 メコン地域における経済回廊モデル”、“3.3 タイにおけるサプライチェーンモデル”のシミュレーション結果より、東南アジアにおけるサプライチェーンマネジメントは以下のように提案する。

- (1) 経済回廊を中心とした陸上輸送路の整備を行う。特に、南北経済回廊、東西経済回廊を優先して整備する。また、タイ国内には4つのクラスターを作り、柔軟性をもたせる。この際、取引先の選択方法は、リードタイム最小の相手である。
- (2) 輸送網を海上輸送→陸上輸送へと移行する。特に、海上輸送は、日本、韓国のみとする(必要最小限)また、バンコクを中心とした輸送ネットワークを構築する。この際、取引先選択方法は、在庫量が最大の相手である。
- (3) 陸上輸送が中心となったサプライチェーンネットワークが構成されたならば、タイ国内においてはバンコク、ランブーンを中心地とする。

これらの、サプライチェーンマネジメントを行うことにより、サプライチェーン全体の在庫量が最大-50%、最小-10%を削減できる。各エージェントに関して、操業中の工場、流通センター等のエージェント数の増加により、各エージェントの在庫管理における負担を減少できる。輸送路に関して、経済回廊の構築により、様々な動的変化に対する柔軟性が増加する。

## 5 今後の課題

- ・コストからみる在庫管理機能  
コスト変数を追加し、コストからサプライチェーンを評価する。この機能により、経済的視点から見たサプライチェーンマネジメントを行うことができる。
- ・レジリエンスを指数化し、評価する機能  
構築されたサプライチェーンネットワークのレジリエンスをモノの流量などから評価する。この機能により、サプライチェーンネットワークの変化に対する適応能力の指標が得られ、災害や、急な変動に強いサプライチェーンマネジメントを行うことができる。



## 参考文献

- [1] IMF, “World Economic Outlook Databases,” international monetary fund, 2015.
- [2] 黒田 充, “サプライチェーンハンドブック,” 朝倉書店, 2008, p. 1.
- [3] 宮崎正浩, “持続可能なサプライチェーンマネジメント (SSCM) は企業業績を高めることができるか?,” 2013.
- [4] 森田 道也, “サプライチェーンの原理と経営,” 2004.
- [5] 藤川 裕晃, サプライチェーン・マネジメントとロジスティクス管理入門, 日刊工業新聞社, 2008.
- [6] 藤野 直明, “サプライチェーン経営入門,” 日経文庫, 1999, p. 16.
- [7] 久保 幹雄, ロジスティクス工学, 朝倉書房, 2001.
- [8] 上 健吾, “非常時下でのサプライチェーンモデル分析,” 2012.
- [9] P. P. Datta, “A complex system, agent based model for studying and improving the resilience of production and distribution networks,” 2007.
- [10] JETRO(日本貿易振興機構), “ASEAN・メコン地域の最新物流・通関事情 (要約版),” 2013.
- [11] H. L. Sirkin, “The Shifting Economics of Global Manufacturing - How Cost Competitiveness Is Changing Worldwide(主要輸出国 25 か国の生産コスト比較: 世界の生産拠点の勢力図の変化),” 2014.
- [12] 小澤 康彦 (国土交通省), “ASEAN の物流に関する調査研究,” 国土交通政策研究, 第 115, 2014.
- [13] “Google マップ,” 9 2015. [オンライン]. Available: <https://www.google.co.jp/>. [アクセス日: 9 2015].
- [14] “MarineTraffic,” 9 2015. [オンライン]. Available: <http://www.marinetraffic.com/>. [アクセス日: 9 2015].
- [15] 東京デベロップメントコンサルタント, “東京デベロップメントコンサルタント,” 12 2015. [オンライン]. Available: <http://www.tdc-thai.com/factory/area/>. [アクセス日: 12 2015].
- [16] JETRO(日本貿易振興機構), “Thailand - Japan Cooperation and Prospect for Efficient Logistics Network in ASEAN,” 2008.
- [17] 鈴木克幸, “連続モデルと離散モデルの連携による近距離定期船物流の最適設計手法,” 2009.
- [18] 土井 隆寛, “サプライチェーンマネジメントにおける No B/C 戦略の適用,” 2007.
- [19] 辻 竜平, “社会科学におけるエージェント・ベースト・モデルの最前線,” 2004.
- [20] 増田 直紀, 複雑ネットワーク基礎から応用まで, 近代科学社, 2010.
- [21] 増田 直紀, 複雑ネットワークの科学, 産業図書, 2005.
- [22] 船木謙一, “サプライチェーンネットワーク設計の研究動向と最適化ツール開発の現状,” 2012.
- [23] 斉藤 智美, “わが国の自動車産業における国内生産の行方,” みずほ銀行, 2013.
- [24] 生天目 章, 社会システム, ミネルヴァ書房, 2013.
- [25] 生天目 章, うそつきは得をするのか, サイエンス・アイ新書, 2008.
- [26] 水谷 禎志, “ビッグデータ時代のサプライチェーン革新,” IT ソリューションフロンティア, 第 3 月号, pp. 12-15, 2012.
- [27] 小林 和博, “輸送システムに関する最適化技術,” 2014.
- [28] 小林 敬幸, “ASEAN 自動車市場動向とタイ拠点の役割の変化,” 2014.
- [29] 秋元博路, “マルチエージェントシミュレーションによるコンテナ貨物輸送市場のモデル化,” 2009.
- [30] 山影 進, “人工社会構築指南-artisoc によるマルチエージェント・シミュレーション入門,” 2007, p. 11.
- [31] 国際自動車ニュース, “国際自動車ニュース 国際自動車ニュース第 1587 号 2015,” 国際自動車ニュース, p. 第 1587 号, 2015.
- [32] 港湾法, 港湾法 (昭和 25 年法律第 218 号) 及び 港湾法の一部を改正する法律 (平成 20 年法律第 66 号) .
- [33] 外務省, “メコン地域の ODA 案件に関わる日本の取組の評価 (第三者評価) 報告書,” 2015.
- [34] 岡田 章, ゲーム理論, 有斐閣, 1996.
- [35] 伊東 沙耶佳, “昇り竜のごとく成長する国ベトナム,” 2012. [オンライン]. Available: <http://www.sumitomocorp.co.jp/business/kouhou-person/article/id=26806>. [アクセス日: 9 2015].
- [36] トヨタ自動車, “トヨタの概況 2013,” 2013.

- [37] M. S. S. a. C. S. Tang, “Buttressing Supply Chains against Floods in Asia for Humanitarian Relief and Economic Recovery,” 2013.
- [38] A. Goos, “A Green logistic model for both cost and emission minimization under inventory policies,” 2014.
- [39] J. W. Forrester, “Industrial Dynamics-After the First Decade,” 1968.
- [40] 日本物流学会, “物流・ロジスティクス・SCM 概念について,” 2000.
- [41] 柴崎隆一 (国土交通省), “東アジアを中心とした国際海上コンテナ貨物流動シミュレーションモデルの構築,” 2009.
- [42] 世界地図 - sekaichizu.jp -, “地域名:Eastern Asia (アジア東部),” [オンライン]. Available: [http://www.sekaichizu.jp/atlas/eastern\\_asia/p500\\_eastern\\_asia.html](http://www.sekaichizu.jp/atlas/eastern_asia/p500_eastern_asia.html). [アクセス日: 10 2015].
- [43] 安永 英資 (一般財団法人日本経済研究所), “メコン地域の経済回廊について (前篇),” 日経研月報 2014.6, 2014.
- [44] JETRO(日本貿易振興機構), “ティラワ SEZ 通信,” ティラワ SEZ 通信, p. vol.7, 2015.
- [45] 三菱東京 UFJ 銀行国際業務部, “アジア各国の賃金比較,” 三菱東京 UFJ 銀行, 2013.
- [46] 電子商取引推進協議会, “SCM を中心としたビジネスモデルの調査,” 2001.
- [47] 総合技研株式会社, “2020 年における自動車産業予測,” 2013.