

〈論文〉

サプライチェーン・マネジメントにおける スマート化への進展過程

芦田 誠
楊 凱 舜

要 約

近年、人工知能（AI）ならびにIoT（モノのインターネット）を軸としてビックデータの活用を計るスマート化社会へ向けた展開が加速している。物流・ロジスティクスにおいてもこうした傾向が顕著になっており、次世代のサプライチェーンがスマート化の流れの中で構築されていくことは間違いないと思われる。そこで、本論文では伝統的なSCMがスマートSCMに如何に脱却していくかを論点とし、先行研究を踏まえた上でその展開について分析と考察を行うこととする。

キーワード：伝統的なSCM, IoT, AI, RFID, SCMの統合, コラボレーション, スマートSCM

1. 序 論

1.1 本論文の目的

川下の小売業から川上のメーカーまで在庫を共有し、原材料の購入と製品の生産、保管、物流、流通をグローバルに一元管理するSupply Chain Management（以下SCMという）が1990年代世界で注目された。現実の市場は、既存の製品にしても新製品に対する顧客の限らない要望にしても、日々変化している。そこで、顧客を起点に関係するプレイヤーで情報を共有し、できるだけ在庫を持たない体制を構築するとともに、リードタイムを短縮し製品の効率的な生産と配送を行う考え方が重視されるようになった。これがSCMである。

しかしながら、実際のSCMは在庫圧縮やリードタイムの短縮が期待されたにもかかわらずオーバーストックやストックアウト、配達の流れなど多くの需給のミスマッチが顕在化し、SCMの限界が強調されてきた。

近年、サプライチェーン・マネジメントのグローバル化が進展する中で膨大な情報量が発生し、物流の情報処理は高速正確に処理する必要性に迫られている。30年前手書き伝票の人的作業からインターネットを経由した自動入力に変化し、単純・単一大量生産活動から複雑・多様な少量生産活動に軸足がシフトしている。このため、モノの識別能力が必要となるバーコードやRFIDなど個体識別技術が様々な業界で導入され始めた。セミコンダクターやコンピュータサイエンス、他のエンジニア技術の急激な発展によってIoT¹⁾やAI²⁾、BD³⁾という言葉が飛び交い、生産現場や配送

現場でも新しい技術がどんどん導入されている。GPS、ソーター、ハンディターミナル、キパロボット、自動運転車、ドローンもその一つである。

本稿では、伝統的な SCM の定義、目的、問題点と課題を改めて整理するとともに、SCM のスマート化への進展状況、スマート SCM の定義、今後の課題について考察するのが目的である。

1.2 本論文の構成

本稿の流れは、まず第 2 章で先行研究に基づき、伝統的な SCM の定義の再確認と目的とするところを明らかにしたうえで、今までの SCM にどのような問題があったかを論じ、伝統的な SCM の限界を考察する。そして第 3 章では、先行研究を踏まえ、近年耳にするようになったスマート SCM に関連する技術にはどのようなものがあるか論及し、SCM のスマート化への進展過程を考察する。続く第 4 章では、スマート SCM の事例研究を取り上げ、スマート SCM の課題を論及し、第 5 章では、今後の方向性について考える。

2. 伝統的なサプライチェーン・マネジメントの概要

2.1 SCM の先行研究

サプライチェーン・マネジメント (Supply Chain Management : SCM) という概念は 1980 年代はじめに (Oliver & Webber, 1982⁴⁾; Houlihan, 1984⁵⁾) 提案され、その後多くの研究者が SCM の概念を論じた。例えば Stevens (1989) は、「SCM というのはサプライヤーから顧客までの全ての活動を管理すること」とし、この活動にはモノの流れだけでなく生産管理、顧客サービス、物流、資金の流れ、原料管理、購買を含む管理とした⁶⁾。

また、Ellram (1991) は、「SCM というのは原材料から顧客までの総合管理と各プロセスを統一管理すること」で、SCM の概念が普及している理由はマーケットがグローバル化し、商品のライフサイクル (product life cycle) が短くなる顧客ニーズの複雑化と多様化が関係していると述べている⁷⁾。Thomas and Griffin (1996) も、SCM の概念は「生産者、サプライヤー、物流業者間の原料の流れと情報管理」のことと語っている⁸⁾。さらに、David F. Ross (1997) は、SCM というのは管理手法の一つで、「企業間のコーポレーションによって商品開発、コスト削減、物流効率、顧客満足度及び利益を最大にするため、サービスと情報を一元管理し、複雑な顧客ニーズに正確に対応することである」と述べている⁹⁾。

SCM については、効果を最大限に発揮するため、IT 技術との関係が強調されていく。マーケティング分野で著名な Porter and Miller (1985) は、IT 技術の運用によって SCM 企業間の連携とコストを削減する効果があることを力説した。企業間のコーポレーションの強化によって商品の付加価値と企業競争力の増大を説いたのである¹⁰⁾。Jeffrey F. Rayport (1995) も、「Virtual Value Chain (仮想バリューチェーン)」の概念を示し、IT 技術の運用によってコスト削減と付加価値を増大させることを説いた。そのためには、SCM を最適化するため、企業間プロセスを統合し企業戦略と IT 技術を総合的に調整して、SCM の効果を最大化することが必要であるとした¹¹⁾。

続いて Lancioni, Smith and Oliva (2000)¹²⁾ は、インターネットの利用は顧客とサプライヤー間のコミュニケーションの強化と改善に貢献し、コスト削減と顧客ニーズの満足度向上に資すること

を主張した。Stroeken (2000) も、新しい IT 技術を応用することによって企業の改善・刷新効果があり、SCM 内の中小企業は IT 技術の進展で企業間の統合・管理を円滑に行うことができると述べている¹³⁾。

既述の一連の先行研究は、コスト削減とサービスの改善のために、調達から販売に至る過程を関係する企業間で協力して取り組んでいくことが必要で、さらには技術的に発展し始めた IT 技術の活用が SCM にとって重要であることを強調している。

2.2 定義及び概念

物流という概念は、時代とともにその範囲を拡大してきた。1960 年代、従来はマーケティングの一部と考えられていた保管や輸送を統合した「販売物流」へと進化し、コスト低減を図るため物流を専門的に管理するメーカーの物流子会社が多数設立された。また 1980 年代には軍隊の兵站^{へいたん}を意味し、一企業の調達から回収までトータルな物の流れを範囲とする「ロジスティクス」へと発展してきた。歴史的には、物流は企業内の販売物流に限定され、ロジスティクスは 1 企業内の仕入れから回収物流まで物流の範囲が広がった点が両者の概念の相違点として指摘できる。

そして 1990 年代に入り、サプライヤー（原材料部品供給者）とメーカー、倉庫業者、運送業者、販売会社などとの連携にまで範囲を拡大した Supply Chain Management というコンセプトが注目された（発展過程の表 1 を参照）。この SCM とは、サプライチェーンを串刺し的に統合し物流全体の最適化を図ることによって、物流サービスの向上とコスト削減を実現する経営手法のことをいう。1 企業から多くの企業の連携に踏み込んだところに SCM の特徴があるといえよう。

表 1 は、既述物流発展の各段階の概念と目標を示したものである。1950 年代の物流の目標は各セグメントの部分最適化が中心であり、1960 年代から 1980 年代半ばまでは先に述べたように販売物流の最適化が中心であった。1980 年代中期から 1990 年代前期の「ロジスティクス」は社内物流の最適化、そして現在の「SCM」は、異なる企業間の全体最適が目標となっている。

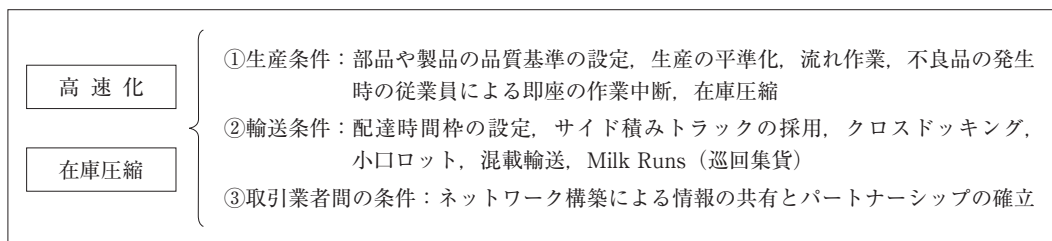
企業間の連携に軸足を移した SCM の目標は、特に「在庫圧縮（コスト削減）」と「リードタイムの短縮」2 つであり、これを実現する具体的な施策がトヨタ生産方式に代表される生産、輸送、取引業者に関する 3 条件と呼ばれるものであった。すなわち、生産条件においては部品や製品の品質基準の設定、生産の平準化、流れ作業、不良品の発生時の従業員による即座の作業中断などであり、輸送条件においては、配達時間枠の設定、サイド積みトラック、クロスドッキング、小ロッ

表 1 SCM の発展過程

	保管・在庫・輸送など セグメントの段階	販売物流	ロジスティクス	SCM
時代	～1950 年代	～80 年代中期	80 年代中期～	90 年代中期～
物流の対象	物流の各セグメント	販売物流	社内の調達部門から 回収部門	異なる企業間
ツール	手作業、旧式物流機械	物流機器	POS, VAN, 企業内 情報システム	EDI, ネットワーク 化
物流目標	各セグメントの部分最適化	販売物流の最適化	社内物流の最適化	企業間の全体最適化

出所：芦田 誠 「基礎から学ぶ交通と物流」中央経済社、2006、p.128

図1 SCMが成功する条件



出所：芦田 誠 税務経理協会「ロジスティクスの改革最前線と新しい課題」, 2013.3, p.6

ト、混載輸送、Milk Runs など。そして取引業者間の条件はネットワーク構築による情報の共有とパートナーシップの確立であった。

2.3 伝統的な SCM の壁と課題

SCM を実現するための課題としては、災害などのリスク発生に対する在庫管理の在り方、地球環境問題に資するため大量輸送の必要性、多頻度小口配送や時間指定配送、返品制度など日本の伝統的な商慣習の存在と改善などがあるが、少なくとも次の2点の課題を克服し徹底させる必要があると考える。

① 在庫保有のスリム化

実際の顧客需要が完全に安定しているということはめったにないため、在庫やその他のリソースを適切に確保しておくためには企業は需要を予測しなければならない。需要予測は統計を基に行われるが、企業は品切れを回避するため安全在庫を含めやや多めに需要を発注する傾向がある。したがって、川下のエンドユーザーから川上の原材料供給者までさかのぼっていくと、サプライチェーン上の組織がそれぞれより大きな需要をオーダーするため、実際の必要量とは異なるより大きなサイズの安全在庫が入庫してくることになる。在庫圧縮とリードタイムの短縮を狙ったSCMの機能に逆行するのである。このプルウィップ効果にも注意して在庫の圧縮を行っていなければならない。

SCMの圧縮した在庫保有体制の構築は、サプライヤーから小売店に至るまで同時管理で販売情報を共有し、品切れ防ぐとともに一方で大量に抱えない在庫保有体制をそれぞれのプレイヤーが構築していかなければならない。この取り組みも壁となり、伝統的SCMの課題となってきた。

② 多企業間における情報共有

川下の販売情報を共有し、同じテンポで川上の原材料・部品を仕入れ、製品を製造し商品を輸送、販売店に納入する同時管理がSCMである。グローバル経済が進行している折、EDI（電子データ交換）様式の不統一が障害となって企業の壁を越えた情報の共有が進まず、SCM全体の効率化を妨げているケースがみつめられた。わが国では運送依頼、集荷、運送状況、運送完了報告、運賃明細、運賃請求などを統一したEDIが機能しているが、グローバルレベルではなおその様式や中小企業への浸透の点で改善の余地が残されている。データ様式の不統一性からくる情報共有の壁である。

また、データ様式が統一されても、企業間のネットワークには情報コストが発生してくるため、情報共有のメリットが本当にあるのかも問われてくる。答えは、在庫削減によるコスト縮小とリードタイム短縮によるサービス向上、顧客満足度の向上である。この点の効果がSCMのプレイヤー間で本当に理解されているのか不透明である。

いま一つの大きな壁は、企業機密に属する販売情報をSCMのメーカーのみならず多くのサプライヤーまで知られることは、小売業にとってはためらう場合も出てくる。むしろ躊躇するのが自然かもしれない。したがって、SCMは関係企業間の信頼関係のもと協力体制がなければなりたない管理方法であることを念頭に置いておかなければならない。伝統的なSCMが有効に機能しない最大の要因は、この点にあると考える。

3. スマート SCM の設計と構築

3.1 先行研究

SCMのスマート化に関する論文は、2000年代に入ってみられるようになった。この研究分野の文献レビューを行ったLifang Wu, Xiaohang Yue, Alan Jim, David C. Yenは、2003年から2012年まで146本のSCMのスマート化に関する文献研究を類型化した¹⁴⁾。まず146本の論文を分類し、分野と機能を示した。先行研究によるスマートSCMの分野は、次の通りである。

- 1) Information in supply chains — サプライチェーンの情報
 - 2) Information Technology, IT — 情報技術
 - 3) Process automation — 自動化,
 - 4) Advanced analytics — 先端分析,
 - 5) Process integration and innovation — プロセスの統合とイノベーション
- 先行研究によるスマートSCMのキーワードは、次の語句で示すことができる。

- 1) Instrumented (装置)

センサーやRFIDタグ、メーター、他の設備などによって膨大な情報が装置、機械で収集できるようになること。

- 2) Interconnected (相互接続)

企業、資産、ITシステム、製品、他のあらゆるものが接続され、情報共有の基礎となること。

- 3) Intelligent (インテリジェント)

業績を最適化するため、大規模な活動の最適な予測と決定を行うこと。

- 4) Automated (自動化)

SCMは、人的資源を含め低効率のリソースを最先端の機械に置き換えることによって自動化を推し進めること。

- 5) Integrated (統合)

各プレイヤーの協力体制、共同意識の醸成の結果、共通システム及び情報共有によってSCMの統合を推進すること。

- 6) Innovative (イノベティブ)

革新は、既存の要求や新しい要求をより良い方法で解決することによって新しい価値を創造

すること。

上述の機能をうまく利用するためには、当然のことながら人が介在し判断していくことになる。例えば、「装置」機能は膨大な情報を収集するけれども情報の利用可能性は人が判断する。「イノベティブ」も収集した情報に基づいて人が新しい価値や革新などを作り出していく。SCMが自動化に進むことによって人のコストは大幅に削減することができるが、全体のシステムの中心はあくまで「人」であることを忘れてはならない。

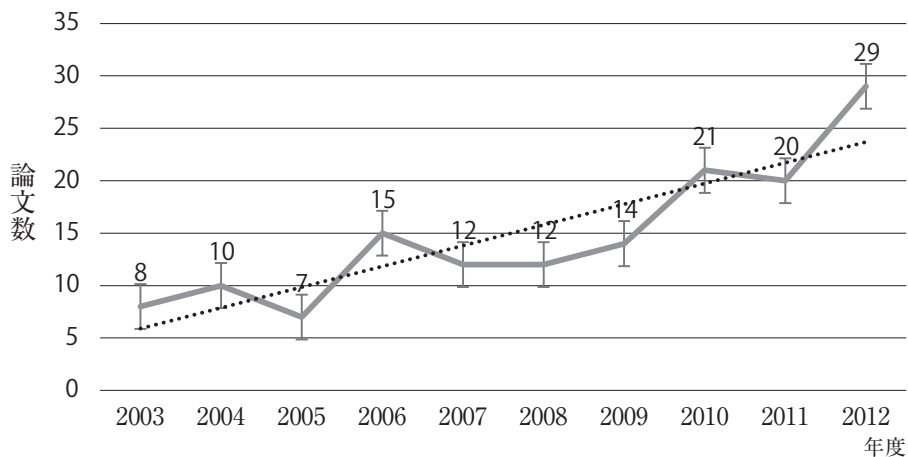
3.2 先行研究の分野別注目度

図2は、年度別発表論文数からみたスマートSCMの注目度をまとめたものである。SCMのスマート化に関する論文は、2003年から徐々に目にみえるかたちで出始め、2006年に15本、2010年には21本、11年20本、12年29本と増加していく。その中で、発表された論文がどのような領域の論文か示したのが表2である。例えば、2003年に出された8本の論文の内訳は、情報2本、自動化1本、先端分析3本、統合とイノベーション2本である。タイムシリーズでその領域を追っていくと、2010年と2012年で情報技術関係の論文がそれぞれ11本発表され、また先端分析が2011年に6本、2012年に統合とイノベーションが8本出ているのが目立つ。

SCMのスマート化に関する論文を、さらに縦軸に①スマートSCM戦略、②情報管理、③情報技術、④自動化、⑤先端分析、⑥SCM統合とイノベーション、横軸に内容の①概念枠組み、②分析モデリング、③実証実験、④ケーススタディ、⑤その他に区分し、それぞれの発表論文をプロットしていったのが表3である。

表3をみると、情報技術の概念枠組みが39本と最も多く、次いで先端分析と分析モデリングに関するものが22本と続いている。伝統的SCMの限界ならびに課題として指摘したSCMの統合は、合わせて146本中26本発表されており、決して多いとは言えない。目立つのは、SCMのケーススタディがいずれも少ない点であり、スマートSCMの研究については事例研究がかなり不足していることをこの研究分野のエアポケットとして指摘しておきたい。

図2 スマートSCMの注目度



出所：Lifang Wu, Xiaohang Yue, Alan Jim, David C. Ye が発表した数値に基づいて筆者作成。

表2 スマート SCM に関する先行研究年度別論文数

(単位：本数)

	情報	情報技術	自動化	先端分析	統合とイノベーション
2003年	2	0	1	3	2
2004年	2	3	1	1	3
2005年	2	1	2	0	2
2006年	3	7	2	1	2
2007年	3	6	1	0	2
2008年	1	3	2	3	3
2009年	4	3	5	2	0
2010年	3	11	3	1	3
2011年	6	5	0	6	3
2012年	1	11	5	4	8

出所：Lifang Wu, Xiaohang Yue, Alan Jim, David C. Ye が発表した数値に基づいて筆者作成。

表3 SCM のスマート化に関する先行研究の分類¹⁵⁾

(単位：本数)

分類基準	概念枠組み	分析モデリング	実証実験	ケーススタディ	その他
スマート SCM 戦略	21	1	0	1	1
SCM 情報	13	14	4	1	1
情報技術	39	8	6	5	1
自動化	2	4	2	2	0
先端分析	13	22	3	1	0
SCM 統合とイノベーション	11	8	7	0	0

出所：Lifang Wu, Xiaohang Yue, Alan Jim, David C. Ye が発表した数値に基づいて筆者作成。

表3のうち、縦軸の情報技術、横軸の概念枠組みの論文としては、『Ming K. Lim, Witold Bahr, Stephen C. H. Leung, 「RFID in the warehouse: A literature analysis (1995-2010) of its applications, benefits, challenges and future trends」』がある。これは、SCMにRFIDシステムを導入した場合の利点と課題を明らかにしたペーパーで、要約すると、RFIDの利点は「スキャナーによる在庫量と受け取りの自動読み取り」、「個々のタグを付けられたアイテムの確認と状態の監視」、「サプライチェーンにおける在庫の可視化とトレサビリティ」、「データの精度と共有の向上」、「ミスの減少」などを指摘している。また具体的な効果としては、「コストの引き下げ」、「労働力の削減」、「在庫管理」、「データの正確性の向上」、「製品の追跡」、「原材料の取り扱いの簡素化」などを挙げている。そして、SCMにRFIDを採用する場合の問題点としては、「インフラの共有コストの負担」、「情報共有する経済的インセンティブの不足」、「採用・旧システムとの統合」、「雇用の安定」、「標準化の推進」、「プライバシーの確保」などを挙げている¹⁶⁾。

またHokey Min (2010)は、「Artificial intelligence in supply chain management: Theory and applications (SCMにおける人工知能：理論と応用)」において、AIに関する技術とSCMにおけ

る利用状況を論じている。AIの技術分野では、現在まだあまり知られていない「人工ニューラルネットワーク」¹⁷⁾、「ラフ集合理論」¹⁸⁾、「機械学習」¹⁹⁾、「エキスパートシステム」²⁰⁾、「遺伝的アルゴリズム」²¹⁾、「ファジィ理論」²¹⁾、「エージェントベースシステム」²²⁾などの研究が進められており、またSCMにおけるAI技術の利用分野としては「SCMにおけるAIアプリケーションの作成」、「在庫管理および計画」、「交通ネットワークの設計」、「購買および供給管理」、「注文品のピッキング」、「顧客情報管理」、「電子同期SCM」などが対象となっている。

具体的に「在庫管理および計画」領域の研究としては、現在過剰在庫が企業に対して年間コストを15%~35%引き上げており²³⁾、この在庫管理を顧客のニーズ、注文サイクルの所要時間、安全在庫量、予想外要因などを勘案して経済学、過去の販売経験値、数学モデルに基づいて適切な量を予測していく研究が行われている。1986年米空軍はAI在庫管理アシスタント（IMA）を開発し、在庫管理の効率性を8%~18%向上させた実績を持っている²⁴⁾。また交通ネットワークの設計分野では、AIが広域・地域交通ネットワーク、配車ルート計画、貨物輸送、モーダルコネクトなどの課題を改善する効果があり、交通に関するAIは「遺伝的アルゴリズムと蟻コロニー最適化（Ant Colony-Optimization, ACO）モデル」が最も利用されていると報告している。

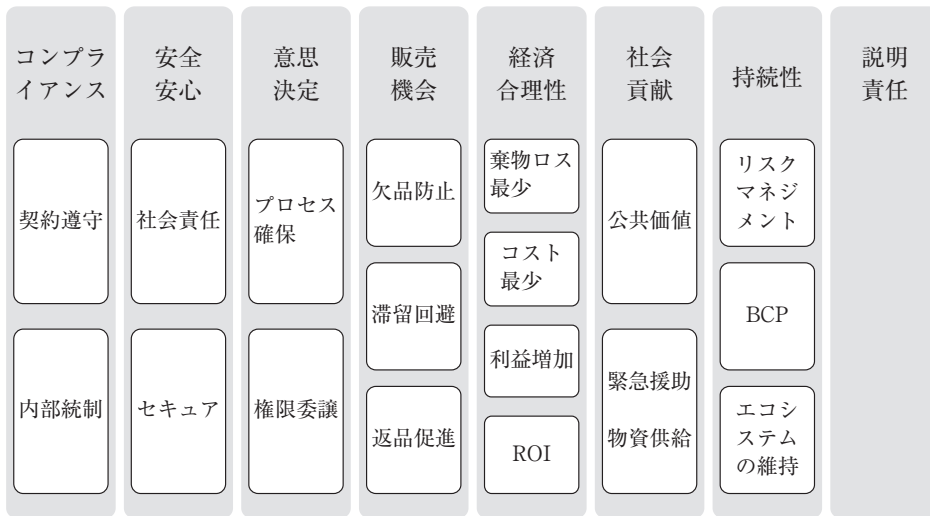
3.2 定義及び概要

先行研究でみたように、AIやモノのインターネット（IoT）など一連の新しいテクノロジーを取り入れ、新しい質の変化、価値の創造をスマートと呼ぶと、スマート・サプライチェーンマネジメントとは最新物流技術を導入し、サプライヤーからエンドユーザーまで迅速かつ正確な物流管理を行うことと定義することができる。このうち、スマートと呼ぶ機能の主なものは、次のものである。トレース（計画データの進捗状況を照合）、トラック（貨物や機材の位置情報を追跡）、センサー（様々な環境指数を測定）、モニター（異常値発生を感知し速報）、レスポンド（決められた条件で起動反応）、レコード（情報の記録）、リセット（無用となった情報や記録の削除）、アナリシス（様々なデータの集積と分析）である。

現在の物流現場は、従来の人的作業から多くの場合機械が自動的に行うようになっている。例えば、仕分け台車で商品にRFIDを貼り付け、商品が違うところに運ばれた時にはリーダー（読み取り機）がRFIDの情報に基づいて収集・記録することに加え、エラーを速報するモニター（監視）機能が作動している。また商品のバーコードやRFIDを読み取り、計画データの進捗状況を照合するトレース機能、現在宅配業者あるいは郵便などでリアルタイムに追跡できるトラック（追跡）機能なども行われている。上記の機能を物流現場で相互利用し、よりよいサプライチェーンを実現していくことが伝統的なSCMの限界を克服するために期待されているのである。

しかしながら、企業をとりまく環境が変化し、SCMの効率化を進めていく上で配慮しなければならないことは本稿で取り上げている最新技術だけではない。図3が示すように、コンプライアンス、安全安心、適切な意思決定、販売機会、経済合理性、社会貢献、持続性、説明責任なども果たしていかなければならない。大局的にはスマートSCMはこれらすべての実行を前提に推進していかなければならないが、企業にとってとりわけ重要なのは、コスト最小化、棄物ロス最小、ROI、利益増加などの「経済合理性」であり、また欠品防止、滞留回避、返品促進などの「販売機会の確保」、リスクマネジメントやBCP、エコシステムなどの「サステイナブル」である。経済合理性、

図3 スマートSCMをとりまく環境



出所：筆者作成

販売機会、持続性を取り込んだSCMのスマート化がポイントとなってくる。

したがって、スマートSCMは少なくとも次のような経営目標を目指すものでなければならない。

① 売上の最大化

市場への商品供給を確実にを行い、店頭での欠品を防止することで機会ロスの回避、納期遵守、受注充足率を高めることで顧客からの信頼を高め、売上高の最大化を目指すものであること。

② 製品リードタイムの縮減

原材料の調達から製品の生産、配送までのリードタイムの分析と同期化、最短化によるマーケットへのタイムリーな投入、即応により機会ロス回避を目指すとともに、より少ない単位での生産を実現するため、計画メッシュの短期化や高速化が求められるが、供給速度のアップはそのまま市場即応力となってくる。

③ 在庫の最適化

欠品や納期遅れ防止のための過剰な在庫保持は資金繰りの悪化につながるが、その構造と業務分掌の改良によって在庫問題が回避できるようになる。SCMの各プロセスの活動を見える化することによって過剰在庫（滞留）を防止し、フリーキャッシュフローを高めていかなければならない。

④ コストの最小化

SCMの各プロセス（調達・製造・保管・配送等）で最適なオペレーションを行うことによって運用コストの削減を目指すことができる。これは、物流において単純に単価を下げることによるコスト削減とは大きく異なる。業務オペレーションは分業特化によって、専門性とローコスト化が実現する。

このようにスマートSCMは経営における理想的な環境を実現する理論と技術といえよう。コスト最小にして売上高最大を目指すためには、関係事業者との協調、生産から販売完了までのすべての工程状況の把握と適切な対応という神の手を持つことができなければならない。スマートSCM

は、売上最大、経費最小、生産と在庫の最適化の経営を目指す理念であり、理想経営が実現するための貢献やロジスティクスの専門アウトソーサーの登場により優れた実績が証明されつつある。まさに秀でたスマート経営は優れたスマート SCM によって実現できると考えられる。

3.3 スマート・サプライチェーンの設計

サプライヤーから消費者までの SCM の過程の中で重要な業務を担うのが原材料や商品を輸送し管理する物流である。この物流業務は、輸送、荷物、保管、流通加工、包装の 5 機能に分けられ、また輸送はさらに輸送、集荷、配送に、荷物は積み込み、荷下ろし、施設内作業に細分化される。そして保管機能は、貯蔵と保管、流通加工は生産加工と販売促進加工に、包装機能は工業包装、商業包装に小分類することができる。

そして、輸送から包装に至る一連の機能の中で投入されるのが、表 4 のようなスマートを構成する最新物流技術である。その技術には、ミリ波レーダー、赤外線カメラ、センサー、GPS などを利用した自動運転トラックをはじめ、ドローン、搭載ロボット、RFID、高速仕分け台車などが想定される。

同様に、表 5 は、限られた物流施設内の物流活動と新技術を対比したものである。作業は、荷下ろし、入荷時検品、棚入れ検品、保管、ピッキング、出荷時検品、流通加工、仕分け、包装、出荷時検品、積み込み、搬送に区分けされ、新技術の投入は遠距離操作&自動運転フォークリフトから全方向移載無人搬送台車、次世代通信技術 5G、クラウド、カメラ、センサーまで多くの技術の導入が考えられる。これらの技術が物流現場で利用され、システムとして有効に機能していくようになると、SCM のスマート化が一層進展していくことになる。

表 4 物流機能の内容と最新技術

分類	項目	内容	技術の運用
リンクの物流機能	①輸送機能	輸送	長距離、1対1
		集荷	短距離、多対1
		配送	短距離 1対多
	②荷物機能 (リンクとノードの接続機能)	積み込み	置き換え、検品・仕分け・棚入れなど
		荷おろし	交通機関から物流施設へ
施設内作業		置き換え、検品・仕分け・棚入れなど	
ノードの物流機能	③保管機能	貯蔵	長時間貯蔵
		保管	短時間、流通型保管
	④流通加工機能	生産加工	組み立て・スライス・切断など
		販売促進加工	値付け・ユニット化・詰合せなど
	⑤包装機能	工業包装	輸送・保管用・品質保証主体
		商業包装	販売用、マーケティング主体
			①自動運転トラック ②ドローン ③遠距離操作&自動運転フォークリフト ④センサー ①RFID、バーコード ②高速仕分け台車 (STV) ③全方向移載無人搬送台車 (FAV) (FAC) ①IOT ②ICT ③IT ④機械アシスタント ⑤高速仕分け台車 (STV)

出所：苦瀬博仁先生配布資料の表に新技術を加えて筆者作成。

表5 物流施設と物流活動の内容

作業	物流機能	内容	技術の運用
①荷おろし	荷役機能	貨物自動車から商品や物資をおろす作業	①遠距離操作&自動運転 フォークリフト ②RFID ③バーコード ④全方向移載無人搬送台車 ⑤AI搭載ロボット ⑥物流画像判別AIエンジン ⑦高速仕分け台車(STV) ⑧次世代通信技術5G ⑨機械アシスタント ⑩クラウド ⑪赤外線カメラ ⑫高速仕分け台車 ⑬センサー ⑭プリクラッシュ等
②検品(入荷時)		入荷された商品や物資の数量や品質を確認する作業	
③棚入れ・検品(入庫時)		検品(入荷時)した商品や物資を所定の位置に収める作業及び入庫された商品や物資の数量や品質を確認する作業	
④保管	保管機能	入庫された商品や物資を保管する	
⑤ピッキング	荷役機能	保管位置から必要な商品や物資を注文にあわせて取り出す作業	
⑥検品(出庫時)		ピッキングされた商品や物資の数量や品質を確認する作業	
⑦流通加工	流通加工機能	商品や物資をセット化したり値札を付ける作業	
⑧仕分け		商品や物資を温度帯や顧客別に分ける作業	
⑨包装	包装機能	商品や物資の品質を維持するために材料を包んだり容器に入れる作業	
⑩検品(出荷時)	荷役機能	出荷する商品や物資の数量や品質を確認する作業	
⑪積み込み		貨物自動車へ商品や物資を積み込む作業	
⑫搬送		商品や物資を比較的短い距離移動させる 横持ち搬送：水平方向に移動する 縦持ち搬送：垂直方向に移動する	

出所：苦瀬博仁先生配布資料の表に新技術を加えて筆者作成。

4 スマート・サプライチェーン構築の事例²⁵⁾

4.1 事例研究

SCMのスマート化の進展では、業界で評価の高い日立物流が目目される。日立物流は、2020年までに倉庫内作業を自動化させる事を目指し、2016年7月に多摩3期物流センター（東京都武蔵村山市）の4階部分約4,360m²を使用して「R&Dセンター」を開設した。同所での研究開発を経た自動化・省人化技術は、順次実際の物流センターへ導入されている。現在は「入荷検品」や「搬送」「ピッキング」「検品」といった個別の業務を自動化する段階にとどまっているが、構想に掲げる「次世代センター」ではこれらの技術を連携させて可能な限り倉庫作業を連動化した物流センターを実現する予定である。また同社は、2019年に富山5期物流センターで、自動倉庫に加えてデパレタイザや無人フォーク、オートラベラーを導入し、省人化から無人化を目指す次世代モデルセンターの構築も計画している。

「R&Dセンター」で、現在研究対象となっている新技術は「Racrew」、「ピッキングロボット」、「無人フォークリフト」、「RFID検品システム」、「画像検品（バーコード一括検品）」、「デパレタイズロボット」、「パレタイザロボット」などである。このうち、最も導入が進む「Racrew」は2015

年の首都圏東物流センターへの導入を皮切りに実用化が進み、今期中には首都圏東物流センターでも追加導入の予定である。将来的には、真空吸着式ハンドを用いた「ピッキングロボット」との協調制御でピースピッキングの完全自動化をめざしている。

アパレル業界での実運用を背景に高い関心を集める RFID 関連技術は、日立物流でもカゴ台車に積みつけられた商品の RFID タグを通過時に最大 300 個まで一括で読み込める「エフテクトゲート」を開発し、顧客との検証を進めている。コンベアへのケース投入作業を自動化する「デパレタイズロボット」²⁶⁾は、2018 年 2 月に神奈川県内の流通型物流センターに導入された。1 時間当たりの処理能力は 300～350 ケースと、人力による作業量（400～400 ケース）には及ばないが、作業員への負担が大きい業務であり、ロボット化への期待は一段と高まっている。

ソフト面でも最新技術の開発導入に力を入れ、同社では IT と物流ノウハウを融合した分析技術「スマートロジスティクスコンフィギュレータ (SLC)」を開発し、今期から物流センター内の提案・物流改善やネットワーク全体の見直しなどに活用している。「現場のみえる化システム (WVS)」の開発にも着手し、人員計画や現場進捗管理などに用いてさらなる現場効率化を推進するとともに、SLC と連携させてより高度な分析、改善に繋げる方針である。

SCM のスマート化の事例を日立物流中心に取り上げ簡潔に垣間見たが、物流の分野でも新しい技術が徐々に導入され、システムとして動き始めているのがわかる。

4.2 SCM のスマート化への課題と阻害要因

スマート SCM に関しては、議論となる具体的な問題が数多くある。例えば、次のような点である。

① スマート SCM の情報収集について

SCM の各プロセスで膨大な情報量が発生する。AI 機能が付いていない情報収集機械は、収集、分類、自動情報分析の能力に限られる事が多く、どの程度全般的な情報を収集する必要があるか、どの程度実用的な情報を収集する必要があるか議論が分かれてくる。ビッグデータ収集の量と質の問題である。

② スマート SCM のビックデータをビジネスの洞察にどのように生かすか

情報を収集し、ビックデータを分析、結果をビジネスチャンスにどのように活用していくかについては、有効な情報の見極め、決定を行う基準などが議論となってくる。

③ スマート SCM のアプリケーションの具体的な経済価値

近年様々な技術が開発されると共に、さまざまなアプリケーションが使用されている。アプリケーションを通じて SCM にどのような経済的価値を創造していくか。例えばリアルタイムのサプライ情報の共有や腐りやすいものを改善するプロセスの自動化なども、評価される経済価値の事例として挙げる事ができる。

④ スマート SCM のプロセス統合

従来の様々な研究分析及び研究結果をスマート SCM のプロセス統合にどのように取り込むか。産業により克服しなければならない問題が異なるので、既存の分析結果を有効に活用できるか否かは不透明である。このプロセス統合問題については、次のような点も争点となってくる。

1) 新しいビジネスモデルのイノベーションは、技術革新をどれだけサポートする事ができ

- るか。
- 2) スマート SCM のパートナーシップを妨害する実際的な問題と克服対策は何か。
 - 3) スマート SCM の実施における技術的問題と管理上の問題にはどのようなものがあるか。
 - 4) 新しい技術は、サプライチェーンの信頼性の不足のような問題を果たして解決することができるかどうか。
 - 5) SCM 分析は、どのようにしてより良い技術開発を支援することができるか。

伝統的な SCM の課題であったプロセス統合は、最新技術を適用するだけではできないのである。

- ⑤ 新しい技術を全体 SCM に適用できるか、あるいは一部の適用にとどまるのか

スマート SCM を構築するための基本要素には、①IoT インフラストラクチャ、データ収集および処理を含むビッグデータの収集可能性、②情報システム (IoT など) の再設計/交換、③先端分析、データ発見とビジネスの知見活用、④デジタル化、標準化、合理化を含むビジネスプロセスの再設計/改善、⑤プロセスの自動化 (AI) と新しい情報の利用による改善、⑥データ共有、接続性、⑦パートナーシップを含むサプライチェーンのコラボレーションによるサプライチェーンの統合などがある。このうち、①から⑥はどちらかという技術的な問題である。SCM が有効に機能しない最も大きな要因は、伝統的 SCM のところでも再三指摘したようにサプライチェーンの統合であり、それを支える企業間のコラボレーションの有無であった。

サプライヤーから販売店まで SCM の各プレーヤーが最新の技術を導入しなければ、スマート SCM 全体の最適化は達成できない。例えば、RFID を鉄鋼メーカーだけ採用しても部分最適に終わってしまい SCM は機能しない。世界の鉄パイプ業界の現状は、まさにこうした状況にある。この現状を変えていくためには何が重要か。この点こそが重要である。プレイヤー間の信頼性や協働体制の醸成である。かつて、トヨタが伝統的な SCM を構築する際に、座席やソファ、ウインドウ、バンパー、エンジン、ミッション、タイヤ等の各種部品メーカーに手を差し伸べ、資金を出してまで部品の SCM 調達システムを作り上げた。スマート SCM 成功のカギとなる新技術導入も、実は関係企業間の信頼性の構築があって初めて有効に機能してくるものであることを忘れてはならない。

5. おわりに

1990 年代、在庫を圧縮しリードタイムを短縮する手法として導入された SCM は、期待にそぐわず実際にはオーバーストックやストックアウト、配達の遅れなど多くの需給のミスマッチが現れている。

近年、IoT や AI、BD という言葉が飛び交い、生産現場や配送現場では新しい技術がどんどん導入されている。RFID や GPS、セミコンダクター、ソーラー、ハンディターミナル、キバロボット、自動運転車、ドローンなどもその一つである。また、ビックデータとデータ分析 (BDAC) は車両路線の最適化や自動倉庫システムの開発、さらには SCM の定量分析や定性分析に効果がある。IoT とクラウドコンピューティングもインターネット経由で収集した情報を基にクラウドで計算し

た結果が AI で流れ、最適化の作業（車両路線計画、自動運転、貨物追跡）を行うことが可能となる。自動識別システム（AID）は、入出庫、ピッキング及びトラック手配などの作業の効率性が著しく向上する。これら各技術を利用することによって伝統的な SCM の課題を克服し、SCM のスマート化を進展することが期待される。このようにインテリジェントな最新技術を取り込み必要なモノを必要ときに生産し配送する SCM が近年注目され始めた Smart supply chain management である。

グローバル・サプライチェーンマネジメントが進展する中で膨大な情報量が発生し、物流の情報処理は高速正確に処理する必要性が迫られている。30 年前手書き伝票の人的作業からインターネットを経由した自動入力に変化し、単純・単一大量生産活動から複雑・多様な少量生産活動に軸足がシフトした。このため、モノの識別能力が必要となるバーコードや RFID など個体識別技術の導入が不可欠となっている。ただし、単なる技術の導入ではその現場での効率の一改善に過ぎない。最新技術の導入によって当初目標とされた SCM 全体における最適化、効率性の向上を実現していくためには、改めて SCM における関係企業間の信頼性の構築がカギとなってくる。これをどうして作り上げていくか、次の段階の命題として浮かび上がってくる。SCM のプレイヤー間のコーパレーションが依然として築かれなければ、SCM のスマート化は単なる最新技術の投入とその限られた効果にとどまってしまうことを肝に銘じておかなければならない。

本稿は、近年耳にするようになったスマート SCM の先行研究を通じて、スマート SCM の定義、関連する技術、進展過程、課題、今後の方向性などを整理した。その結果、たどり着いた結論がスマート SCM の統合の重要性とそれを実現する阻害要因が関係企業間の信頼性の欠如にあった点である。プレイヤー間の協力体制をどのようにして作り上げていくかが当面の課題であり、今後取り組んでいかなければならないテーマであることを再度強調し論稿を終えることとします。

※本稿は、共同執筆者の楊凱舜が作成し、芦田が監修した論文である。

《注》

- 1) Internet of Things は、モノがインターネットを通じてつながることによって実現する新たなサービス、ビジネスモデル、またはそれを可能とする要素技術の総称である。従来のパソコン、サーバー、携帯電話、スマートフォンのほか、IC タグ、ユビキタス、組み込みシステム、各種センサーや送受信装置など相互情報を交流することできるようになるモノのインターネットという概念である。
- 2) Artificial Intelligence（人工知能）は、コンピューターで記憶・推論・判断・学習など、人間の知的機能を代行できるようにモデル化されたソフトウェア・システムである。
- 3) Big data は、デジタル化の更なる進展やネットワークの高度化、またスマートフォンやセンサー等 IoT 関連機器の小型化・低コスト化による IoT の進展により、スマートフォン等を通じた位置情報や行動履歴、インターネットやテレビでの視聴・消費行動等に関する情報、また小型化したセンサー等から得られる膨大なデータのこと。特に近年ビッグデータが注目されているのは、従来の ICT 分野におけるバーチャル（サイバー空間）なデータから、IoT の進展などを始め、新たな ICT におけるリアルなデータへと、あるいは B to C のみならず C to B に係るデータへと爆発的に流通するデータ種別へと拡大しているためである（情報通信白書平成 29 年版、総務省）。
- 4) Oliver, K. R. and Webber, M. D. (1982) Supply Chain Management Logistics Catches up with Strategy *Outlook city*
- 5) Houlihan, J. B. (1984) Supply Chain Management *Proceedings of the 19th International Technical Conference of the British Production and Inventory Control Society* pp. 101-110

- 6) Stevens, Graham (1989) Integrating the Supply Chain *International Journal of Physical Distribution and Material Management* No. 8 pp. 3-8
- 7) Ellram, L. M. (1991) Supply Chain Management: The Industrial Organization Perspective *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management* pp. 13-22
- 8) Thomas, Douglas J. and Paul M. Griffin (1996) Coordinated Supply Chain Management *European Journal of Operational Research* Vol. 94 pp. 1-15
- 9) David F. Ross (1997) Competing Through Supply Chain Management: Creating Market-Winning Strategies Through Supply Chain Partnerships *Chapman & Hall Materials Management/Logistics Series New York: Springer*
- 10) Porter, M. and Miller, V. (1985) How Information Gives You Competitive Advantages *Harvard Business Review* pp. 149-160
- 11) Jeffrey F. Rayport and John J. Sviokla (1995) Exploiting the Virtual Value Chain *Harvard Business Review* pp. 75-85
- 12) Lancioni, R. A., Smith, M. F., Oliva, T. A. (2000) The Role of the Internet in Supply Chain Management *Industrial Marketing Management* Vol. 29 pp. 45-56
- 13) JHM Stroeken (2000) Information Technology, Innovation and Supply Chain Structure *International Journal of Technology Management* pp. 156-160
- 14) Lifang Wu, Xiaohang Yue, Alan Jin, David C. Yen (2016) Smart supply chain management: a review and implications for future research *The International Journal of Logistics Management* Vol. 27 No. 2 pp. 400-402
- 15) 論文は複数の枠に入っている場合がある。
- 16) Ming K. Lim, Witold Bahr, Stephen C. H. Leung (2013) RFID in the warehouse: A literature analysis (1995-2010) of its applications, benefits, challenges and future trends *International Journal of Production Economics* pp. 409-412
- 17) 人工ニューラルネットワークとラフ集合理論を総合活用し、AI技術は「人間的に考える」ようになる。仮想ニューロン機能は、コンピューターメモリーと相互接続し、ネットワークを利用（人工ニューラルネットワーク）して、経験、特徴、パターン認識、オブジェクトのクラスター化、抽象的な情報を詳述するなど、人間的な思考能力を実践する。
- 18) Lialt (2007) は、ラフ集合理論を使用し適格なサプライヤのリストの中から最も望ましいサプライヤを選択することを開発した。Zheng and Lai (2008) も、SCを測定するため、複数の基準決定規則を開発しラフ集合理論を利用している。
- 19) 機械学習、エキスパートシステムの目的は、AI技術により「人間的に行動する」ようになるため。
- 20) エキスパートシステムは4つの要素で構成される。(1)知識データベース、(2)推論エンジン、(3)正当化/スケジューラ、(4)ユーザインタフェースである。詳しく述べると、知識データベースは人間の専門家から得た規則、事実、および知識のリポジトリである。
- 21) ファジ理論は、特定分野の知識データベースを構築するために強力なツールになり得る。広い意味ではファジー理論は、専門家の意見を各変数の「良い」領域と「悪い」領域を指定してから尤度の決定を行い、変数を専門家の意見と比較し「良い」および「悪い」を評価する。
- 22) エージェントベースシステムは分散型問題解決手法の一つである。課題を分割して複数課題に変換し、各課題に対して解決策を利用し解決する。サプライチェーンにおけるエージェントベースシステムの利用は、製造現場管理を含むSCの問題、物流計画、航空交通管制、総需要計画と予測、生産計画、新製品の開発、注文モニタリング、アウトソーシング関係管理、顧客関係管理(CRM)、SCの関係管理、SCのパフォーマンス評価)などの分野で利用されている。
- 23) Timme, S. G. and Williams-Timme, C. (2003) The real costs of holding inventory *Supply Chain Management Review* pp. 30-37
- 24) Allen, M. K., (1986) The development of an artificial intelligence system for inventory management using multiple experts *Unpublished PhD dissertation. Columbus, Ohio: The Ohio State University*
- 25) 『カーゴニュース』（電子版）(2107) 「【物流倉庫】日立物流／R&Dセンター、20年までに「次世代センター」稼働」最終アクセス2019年1月7日。http://cargo-news.co.jp/cargo-news-main/648
- 26) 2017年に日立物流は、世界で初めてAI搭載デパレタイズロボットを商業化した。

參考文獻

[論文]

1. Allen, M. K. (1986) The development of an artificial intelligence system for inventory management using multiple experts *Unpublished PhD dissertation. Columbus, Ohio: The Ohio State University*
2. Berdymyrat Ovezmyradov (2018) Modeling Response to Stockout of Fashion Products in Omnichannel Retailing *University of Tsukuba*
3. Chen, Y. M and Wei, C. (2007) Multi-agent-oriented approach to supply chain planning and scheduling in make-to-order manufacturing *International Journal of Electronic Business*
4. David F. Ross (1997) Competing Through Supply Chain Management: Creating Market-Winning Strategies Through Supply Chain Partnerships *Chapman & Hall Materials Management/Logistics Series New York: Springer*
5. Ellram, L. M. (1991) Supply Chain Management: The Industrial Organization Perspective *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*
6. Ghiassi, M. and Spera, C. (2003) Defining the Internet based supply chain system for mass customized markets *Computers and Industrial Engineering*
7. Houlihan, J. B. (1984) Supply Chain Management *Proceedings of the 19th International Technical Conference of the British Production and Inventory Control Society*
8. Hokey Min (2010) Artificial intelligence in supply chain management: theory and applications *International Journal of Logistics: Research and applications*
9. In Lee, Byoung, Chan Lee (2009) An investment evaluation of supply chain RFID technologies: A normative modeling approach *International Journal of Production Economics*
10. IBM Global Chief Supply Chain Officer Study (2009) 未來的智慧化供應鏈 *IBM*
11. Jeffrey F. Rayport and John J. Sviokla (1995) Exploiting the Virtual Value Chain *Harvard Business Review*
12. JHM Stroeken (2000) Information Technology, Innovation and Supply Chain Structure *International Journal of Technology Management*
13. Lifang Wu, Xiaohang Yue, Alan Jin, David C. Yen (2016) Smart supply chain management: a review and implications for future research *The International Journal of Logistics Management*
14. Lee Hau L, Padmanabhan V, Whang Seungjin (1997) The Bullwhip Effect in Supply Chains *Sloan Management Review*
15. Logan, M. S. (2000) Using agent theory to design successful outsourcing relationships *The International Journal of Logistics Management*
16. Lancioni, R. A., Smith, M. F., Oliva, T. A. (2000) The Role of the Internet in Supply Chain Management *Industrial Marketing Management*
17. Liang, W and Huang, C (2002) The agent-based collaboration information system of product development *International Journal of Information Management*
18. Markus Kückelhaus, James Macaulay (2013) DHL Trend Report Internet of things *DHL*
19. Mason-Jones, Rachel, Towill, Dennis R. (2000) Coping with Uncertainty: Reducing Bullwhip Behaviour in Global Supply Chains *Supply Chain Forum*
20. Ming K. Lim, Witold Bahr, Stephen C. H. Leung (2013) RFID in the warehouse: A literature analysis (1995-2010) of its applications, benefits, challenges and future trends *International Journal of Production Economics*
21. Oliver, K. R. and Webber, M. D. (1982) Supply Chain Management Logistics Catches up with Strategy *Outlook city*
22. Porter, M. and Miller, V. (1985) How Information Gives You Competitive Advantages *Harvard Business Review*
23. Susana Garrido Azevedo, Helena Carvalho (2012) Contribution of RFID technology to better management of fashion supply chains *International Journal of Retail & Distribution*
24. Stevens, Graham (1989) Integrating the Supply Chain *International Journal of Physical Distribution and Material Management*

25. Satapathy, G., Kumara, S. R. T., and Moore, L. M. (1998) Distributed intelligent architecture for logistics (DIAL) *Expert Systems with Applications*
26. Timme, S. G. and Williams-Timme, C. (2003) The real costs of holding inventory *Supply Chain Management Review*
27. Thomas, Douglas J. and Paul M. Griffin (1996) Coordinated Supply Chain Management *European Journal of Operational Research*
28. Van Dyke Parunak, H. (1998) Practical and industrial applications of agent-based systems *White Paper Ann Arbor, MI: Industrial Technology Institute*
29. Zheng, P. and Lai, K. K. (2008) A rough set approach on supply chain dynamic performance measurement *Lecture Notes in Computer Science*
30. 増田悦夫 (2018) スマート・デジタルロジスティクスの実際：情報システムはこれからの物流をいかに支援するか *Journal of Information Processing and Management*
31. 施坤壽 (2001) 應用資訊系統整合全面品質管理, 企業再造與供應鏈管理建構企業競爭優勢之結構化模式分析 國立成功大學
32. 鄭漢中 (2002) 以電子化供應鏈生產排程系統降低前置時間之研究 國立成功大學

[図書]

1. 芦田誠 (2006) 「交通と物流しくみと動向」中央経済社
2. 芦田誠 (2013) 「ロジスティクスの改革最前線と新しい課題」税務経理協会
3. 上野裕 (2017) 「流通とシステム：電子タグの最新動向」流通システム開発センター
4. 中田信哉, 橋本雅隆, 湯浅和夫, 長峰太郎, (2005) 「現代物流システム論」有斐閣アルマ
5. 花房陵, 新林康則, 遠藤八郎, 朴成浩, 西田光男 (2018) 「スマートロジスティクス：IoTと進化するSCM実行系」エヌ・ティーエス
6. 橋本直行 (2007) 「最新物流業界の動向とカラクリがよくわかる本」秀和システム
7. 日本物流団体連合会 (2017) 「2017年度 数字でみる物流」日本物流団体連合会
8. 蘇雄義 (2016) 「供應鏈管理：原理，程序，實務」智雄文化
9. 張宇 (2016) 「智慧物流與供應鏈」電子工業出版社
10. 戴定一 (2015) 「智慧物流案例評析」電子工業出版社
11. 林瑋琪 (2016) 「德國工業 4.0」『工業國家市調系列』外貿協會, 台灣貿易中心
12. 張福榮 (2015) 「圖解供應鏈管理」五南圖書出版

(原稿受付 2019年1月8日)