

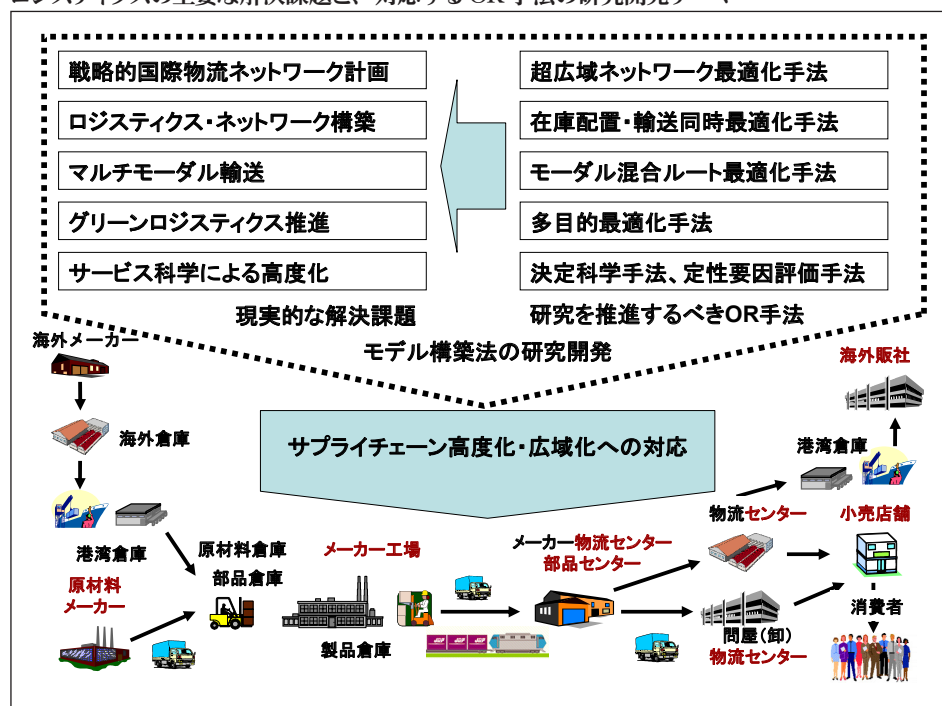
ロジスティクス高度化への オペレーションズ・リサーチの役割

製品の原材料から始まって、最終製品が消費者に届くまでのサプライチェーンは、現在、企業活動のグローバル化や企業間関係の変化による構造的変化と、市場への適応性、省エネ化や環境対応などといった機能的要求の高度化という大きな変換点を迎えている。このような状況に対し、具体的なモノの移動を遂行する仕組みであるロジスティクスも変革と高度化を迫られている。ロジスティクスのような複雑な活動の計画と運用においては、数理科学的な分析と最適化の手法であるオペレーションズ・リサーチ（OR）の適用が必要であり、適用の推進と共に手法の高度化が求められる。

輸送機器や輸送網整備といったハードウェアによる改善だけでなく、OR を適用することにより、大規模な物流ネットワークにおける拠点の配置や、輸送ネットワークの最適化、最適な安全在庫配置による工場や中継倉庫配置の最適化、輸送計画による温暖化防止などが期待される。しかし、我が国においては、OR は欧米に比べて普及していず、大学においても実務的な研究があまり行われていない。

今日のロジスティクスが直面する課題に応え、将来の問題を解決するためには、課題解決のための研究と同時に、高度な OR 手法の研究開発が必要となってくる。また、最近の課題として、産業構造の主要部分を占めるサービス産業の生産性と質的向上のため、サービス科学によるイノベーションが期待されているが、ロジスティクスはその具体的研究対象として非常に有力な研究領域であると考えられる。そのためには、理工系を重視し、経済学などの社会科学分野などとの学際的研究を促進することが求められる。ロジスティクスや OR の研究分野としての認知、人材の養成、具体的施策検討のための省庁横断的、あるいは地域横断的な研究の促進が求められる。

ロジスティクスの主要な解決課題と、対応する OR 手法の研究開発テーマ



科学技術動向研究センターにて作成

高井 英造
客員研究官

2 我が国におけるロジスティクスの課題と問題点

2 - 1

サプライチェーンにおけるロジスティクスの発展と課題

実体経済を支える原材料や製品の移動と貯蔵を行う、いわゆる「物流」と言われる概念は古くから存在する。それを経営的あるいは技術的側面から研究し、改善、合理化してゆこうという考え方は、特に大戦後に米国を中心に盛んになり、第二次大戦後に「物流マネジメント」(Physical Distribution Management)という概念ができ、さらに、物流と情報システムの融合による新しいビジネスモデルとして、「ロジスティクス」(Logistics)という概念に変化した。我が国ではこの2語はほぼ同義にもちいられているが、前者がモノの移動(輸送)や貯蔵といった個別の業務を中心にした概念であるのに対して、ロジスティクスは情報による物流全体の統合的設計、管理運営に中心を置いている。ロジスティクスは元来は軍事用語の「兵站」であって、戦闘に必要となる、兵員・武器弾薬・食料などを作戦計画や前線の必要に従って、供給・管理・補給する活動を指していた。経済分野における活動についてはビジネス・ロジスティクスと呼ぶこともある。米国ロジスティクス・マネジメント協会(CLM、現 CSCMP)²⁾の定義によれば、「ロジスティクスとは、サプライチェーンプロセスの一部であって、顧客の要求を満たすために、発生地点から消費地点までの「モノ」(goods)、サービス、および関連する情報についてのフローと保管、計画、実施、および管理を効率的かつ効果的に行うことである」とされている。

ロジスティクスに含まれる具体的な活動として一般には、在庫管理、

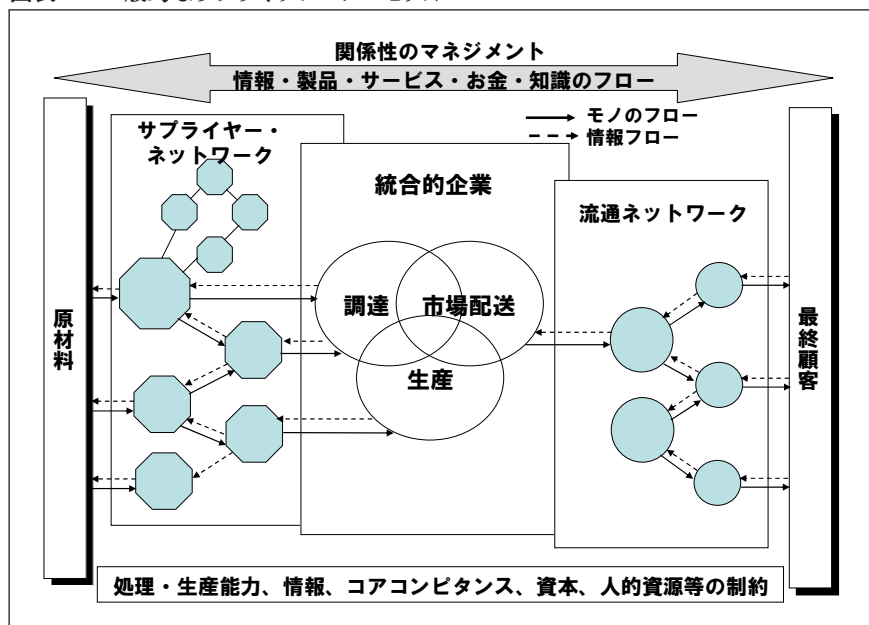
運輸輸送、倉庫管理、マテリアルハンドリング、包装、返品・回収などが取り上げられ、需要予測、受注処理などが含まれる場合もある。ランバート³⁾はこれらに加えて、工場・在庫拠点選定、顧客サービス、調達、部品・サービス支援、などを挙げている。最近是我が国でも一部で使われ始めたが、米国においてはCLO(Chief Logistics Officer)という言葉が定着している。米国ではロジスティクスという分野が我が国よりも広がりを持って認識されていることを示していると言えよう。

上記の定義にも出てくるサプライチェーンという概念は、「供給連鎖」を意味している。原材料の調達から生産・販売・物流と言った諸活動の連鎖を経て最終需要者に至るまでの製品やサービス提供のための一連活動を指す。一方、物流という業務は単一の企業や商品を対象として、「商品を間違いなく届ける」という思想のもとに発達してきた。サプライチェーンは、その後を受けて、原料から商品に至るまでの広範囲な企業活動と企業間

の流れを、製造業における設計開発、生産から最終消費者に対する顧客管理サービスまでを含めて意識し、全体として最終的な価値を生み出すビジネスの連鎖を意識している点が異なっている。サプライチェーンという考え方は、1990年代以降の、事業部門や企業の枠を超えた活動を統合することによって、新しい、合理的なビジネス・プロセスを具体化し、企業活動の価値を高める方法論であるサプライチェーン・マネジメント(SCM)の概念によって一層広まったといえる。

図表1は、一般的なサプライチェーンの概念を示したものである⁴⁾。中心的企業の活動と原材料から最終顧客に至るまでの間のさまざまな関連企業が、業務、情報、具体的なモノ(原材料、部品、製品、商品)のフロー(流れ)によって結合された全体をサプライチェーンと考えている。図中の実線矢印は上流から下流へのモノの流れであり、点線矢印は下流から上流に伝えられる発注情報、需要情報などの主要な情報の流れである。また、各

図表1 一般的なサプライチェーン・モデル



参考文献⁴⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

関連企業や機能組織の持っている生産能力・処理能力・専門性・情報・資本・人的資源などによって、全体のフローが制約されている。サプライチェーンの高度化というのは、適切な組み合わせと能力の調整、情報の結合によってこのシステム全体の生産性、効率、効用を高めることであり、それがSCMの目的と言える。

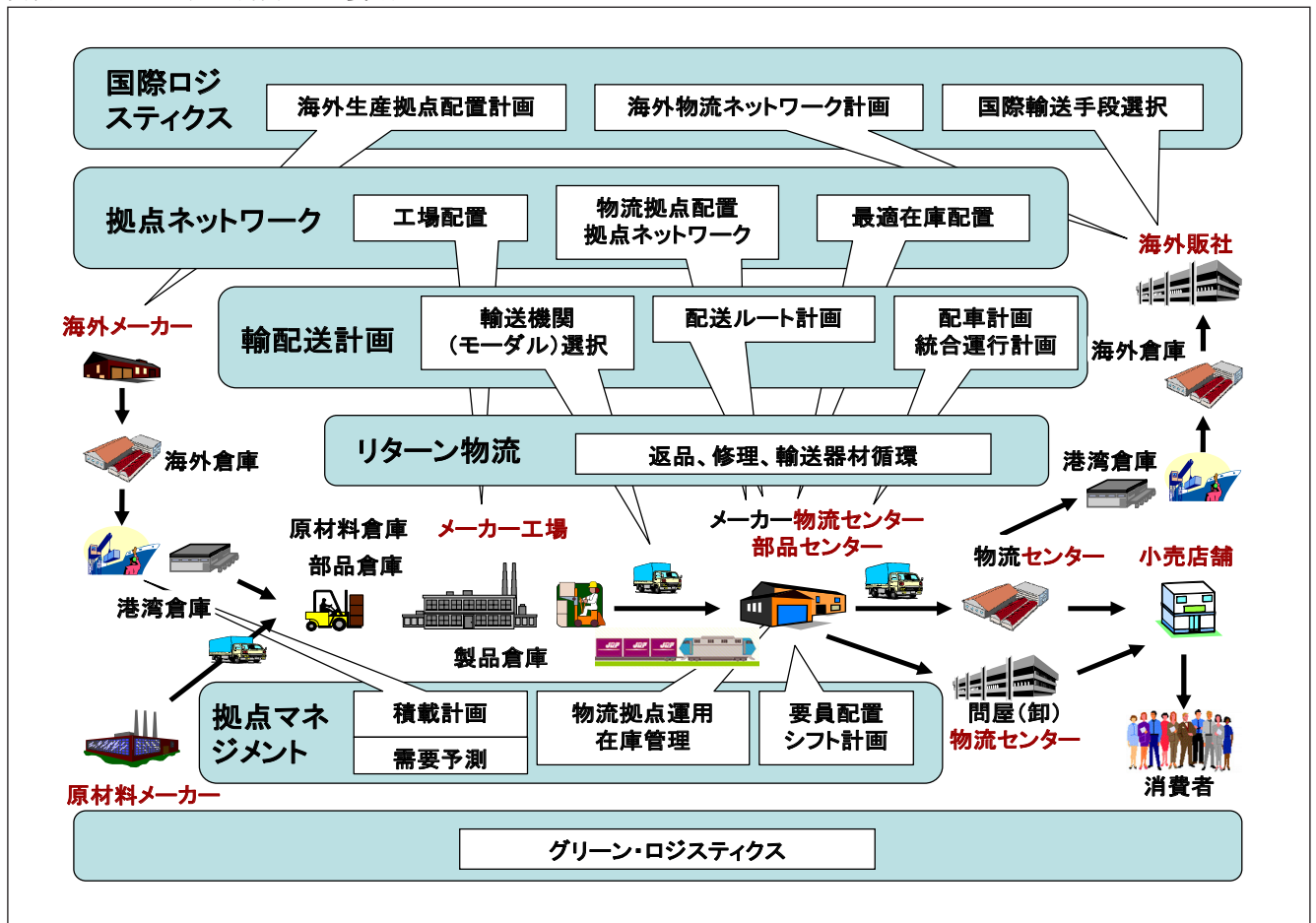
SCMは1990年代に発展したマネジメントの方法論である。生産と物流を同等のレベルで合理的に結合することによって、従来の需要予測を起点とする計画生産では対応しきれない変動の激しい予測の困難な市場に対して、作り過ぎや不足の無駄を無くして、効率的な運用を可能にする仕組みを指す。基本は、組織や企業の壁を越えて全体を一つのビジネス・プロセスとしてとらえ直して統合することであり、SCMの導入によって、製品ライフ

サイクルの短縮化や、国際的な分業体制の進展が加速したと言える。言い換えると、「物流」の時代には、原料、工場、倉庫、販売店、と言った各段階の全てに在庫を抱えて、「在庫と在庫の間を輸送でつないで作るサプライチェーン」であったが、SCMは、「在庫を(可能な限り)持たずに直接的に原料から消費者までを効率的に短時間で繋いでゆくサプライチェーン」への変換を可能にするための方法論と言える。

SCMの概念は、1980年代に米国アパレル産業の再生を可能にしたQR(クイックレスポンス)というビジネス・プロセスの統合モデルによる成功が始まりとされる⁵⁾。それを一般化し、デルコンピュータ社やウォルマート社などで、さまざまな手法や名称を持ったモデルが次々と考えられ、形を変えながら他の産業にも採用されて発展した。さまざまな方法論が提案されてきたが、

基本的には、下流の(需要側の)情報を上流工程が共有することや、それによって上流の工程を管理することで、供給リードタイムの短縮・欠品の回避・無駄な作り過ぎや在庫の削減を実現するということに集約できる。上記QRにおいては、米国内のアパレル産業が、市場情報に連動した柔軟な生産計画変更や工期短縮、原料や半製品での在庫期間の短縮などを実現することによって、原糸から最終製品まで56週間かかっていた総工程を12週間に縮めることに成功した。全体の在庫を大幅に削減しながら、市場動向に沿った製品の供給を迅速に行い、短期間で商品の入れ替えを可能にし、それによって、低い生産コストだけが強みであった輸入衣料品に対抗できるビジネスモデルを確立した。このモデルの構築が、今日の国際的な流通網をもつ新しいタイプのアパレル企業誕生のきっかけとなった。「下

図表2 ロジスティクス計画上の主要課題



科学技術動向研究センターにて作成

流が上流を支配する」という思想は、世界的に知られている「トヨタのカンバン方式」と呼ばれるモデルの基本でもあり、それを支える JIT (ジャスト・イン・タイム) 納入もその思想の延長で理解されている。

今日、SCM は、製品設計から顧客管理までの非常に幅広い分野を含む概念にまで発展してきた。しかし、依然としてその基本はサプライチェーンにおけるモノの生産と移動と情報の関係の高度化である。したがって、その実行上の中心はやはりロジスティクスであると言える。

本レポートは、先に述べたように、ロジスティクスの計画に対する研究開発に焦点をあてて論じる。図表 2 は、サプライチェーン上の主要な関係者間のロジスティクスにおいて、どのような計画上の課題が存在しているかを示したものである。実際のロジスティクスにおいて、問題はより幅横しているが、起点から終点までのあらゆる過程や、戦略的な意思決定から日常の运营管理におけるまで、あらゆる経営的な階層において計画策定が必要とされることが理解できる。図表 2 において、ごく大まかに分類してあるように、主要な計画上の課題は、①国際的な物流に関する問題、②工場や倉庫と言った拠点の配置とネットワークに関する問題、③拠点における在庫配置や在庫計画・管理に関する問題、④拠点間の輸送機関選択や配送ルート、あるいは配車等の輸送に関する問題、⑤その他(需要予測、貨物の積み付け方法、人員配置やシフトなど)の課題に分類できる。さらに、最近では、これらの問題が組み合わさった課題として、温暖化ガス排出削減や資材の削減、リサイクルなどを含めたグリーン・ロジスティクスに関する課題がある。

図表 2 に示した各種の計画の策定については、いずれも多種多様なデータに基づいてさまざまな外的条件の下での最適性を追求する必要がある。このような多様で複雑

な問題に対して合理的で最適な計画をたてるためには、OR を用いた数理的な手法の適用が求められる。問題の複雑性や大規模化に対応してより高度な手法の開発研究も必要である。これらの問題については第 3 章で述べる。

2 - 2

最近の我が国の ロジスティクスにおける 問題点

最初に述べたように、サプライチェーンの大きな変換点にある現在、我が国におけるものづくりの基盤強化に対しても、原材料や部品の調達と市場への製品供給の要である国際物流の広域化と複雑化、高度な市場適応性への要求、国内における経済的合理化圧力と省エネ化、環境対応などに関して、ロジスティクスの高度化は、重要な課題となっている。国際的には、北東アジアからインド・中東・欧州に至る大規模陸上輸送網が今後発展すると考えられ、これらを含めた国際輸送実現への協力など国際競争力の強化に向けた施策の研究は重要な課題である。

国内産業における物流コストの総額は年間約 42 兆円(2005 年)で、国内総生産(GDP)のほぼ 8% に上っている⁶⁾。自動化機器や RFID の利用などこの分野における技術的進歩もみられ、安全在庫量の最適化、配車最適化計画の普及などのソフトウェア面での改善も見られる。しかしこの領域は労働生産性が低く、(財)社会経済生産性本部の「労働生産性の国際比較(2006 年版)」⁷⁾によれば米国のほぼ 50% と言われている。さらなる合理化が強く求められる領域である。

この生産性の低さについては、我が国の物流、流通業界における、独特の商慣行である持ち届け制度

(商品の価格に需要家までの輸送コストを含めてしまうやり方。物流コストが潜在化してしまうため、物流合理化の意識が低くなる原因と考えられている。)や、店舗規模にも原因する小口多頻度配送、我が国の消費文化の特色といえる突出した鮮度へのこだわり、豊富な品揃えの要求などが原因となっている可能性が指摘されているが、さらに世界でも類を見ない厳しい物流品質(納期遵守率、注文充足率、破損率など)が求められていることも一因という意見もある。最近の研究によれば、たとえば納期遵守率(契約納期通りに納品される確率)は米国の平均 90% に対して、日本は 99.99% であり⁸⁾、これが、効率的生産を支えていることは間違いないが、一方で、必ずしも必要のないところにまで同じ精度を要求することによって、物流コストの増加につながっている可能性が指摘されている。

先に述べた 42 兆円の物流コストの中で 70% 近くが輸配送の運輸に関するコストである。近年の温暖化対策から求められている CO₂ 削減を主目的とするいわゆるグリーン・ロジスティクスへの関心の高まりや、原油高騰にともなう省エネルギー・省燃料物流の必要性から、合理的な配送手段や配送システムへの関心が非常に高まっている。この手段の一つとして、マルチモーダル輸送と呼ばれる、トラックや鉄道による陸上輸送・海上輸送・航空輸送などの組み合わせによる解決策が検討されている。これを合理的に実現するためには、設備的な対応だけでなく、複雑かつ大量の物流を実現するための OR による高度な数理的手法を用いた最適化計画が不可欠である。

当然のことであるが、サプライチェーンの変化の影響は産業全体に及ぶ。ロジスティクスに関する合理化は、サービス産業に属する

物流企業(運輸運送業・フォワーダー・倉庫事業・3PL(サードパーティーロジスティクス)と呼ばれる物流事業受託業者など)だけの問題でなく、製造業やエネルギー産業においても必要性が高まっている。

上記の図表2に示したロジス

ティクスの計画業務に関しては、すでに先進的な手法が普及している部分もある。しかし、全てにわたるサプライチェーンの変化の影響をうけて、運用を含めた大規模な国際物流ネットワークの最適設計や、グリーン・ロジスティクス実現のための高度な手法の開発な

ど、民間だけでは困難な課題の解決を、今後は大学など専門的研究機関に期待したい。第3章において、特に効果が期待され、技術的研究開発が強く求められる課題に関して、ORによる解決手段と必要な研究開発について述べる。

3 ORによるロジスティクスの高度化と期待される研究分野 ●●●●●●●●

ロジスティクスのような複雑な活動においては、単純な因果関係の想定だけではすまない。現実の状況や将来の計画について、さまざまな条件においてロジスティクスの組織や実行システム全体がどのような挙動を示し、想定したように動くかどうかを検証し、膨大な代替案について比較検討して最適な計画を策定することが不可欠である。したがって、数理科学的な方法論であるOR手法の適用が必要となってくる。

3に示すように、製品やサービスを生み出す企業活動や社会的活動を、入力を与えると結果を出力するシステムとしてとらえ、その根幹的な活動の仕組みを数理的なモデルとして構築し、そのシステムの運用方法についての問題を、目的に即した数理科学的な道具を用いて分析し、最適な解決策を見出す方法論を指す。具体的には、数理統計学的手法・システム・シミュレーション・最適化アルゴリズムなどのさまざまな手法を用いて、問題の発見と解決案の検討が行われる。

ORはそもそもの発展の当初からロジスティクスに関する問題と

強い関係があった。初期の基本技術の多くは現在でもロジスティクス計画の基本的な技法となっている。すなわち、需要予測・在庫理論・最適発注量決定・最短経路計画・数理計画法(資源配分問題・拠点配置最適化問題)・待ち行列理論・離散型シミュレーションなどの基本的な手法が解決課題として研究されてきた。

ORはすでに実業界において成果をあげている学問領域であるが、他の分野と同様につねに進化を求められている領域でもある。ORはその誕生以来、経営や計画の問題解決の学問として、つねに新しい問題に対して実務と一体になっ

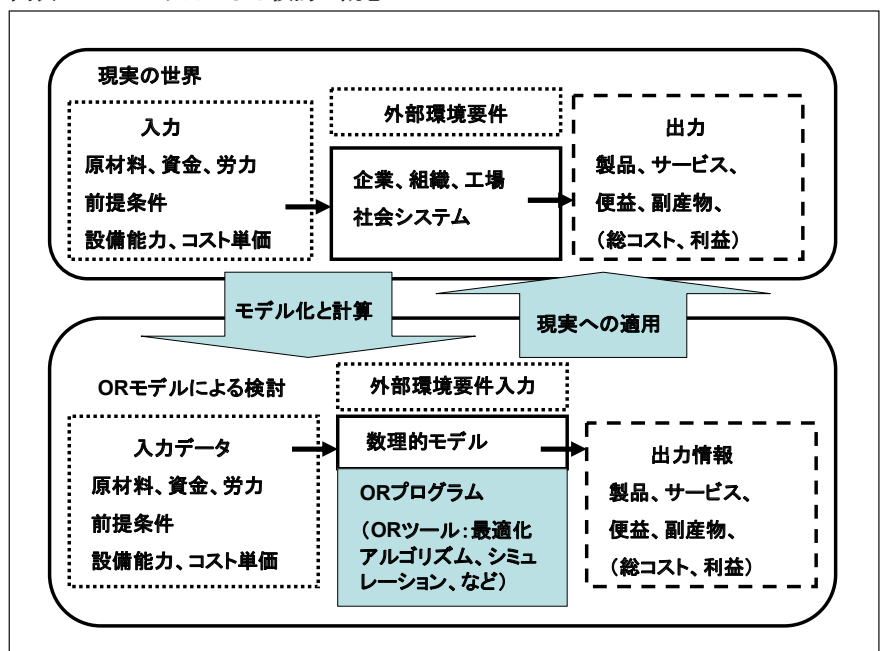
3 - 1

ORの発展とロジスティクス

OR(オペレーションズ・リサーチ)は、第二次世界大戦終盤に英国においてレーダーや夜間戦闘機、水中機雷などの新しい軍事技術を効果的に活用するために、テクニカル・リサーチに対応する概念であるオペレーショナル・リサーチ(運用研究)として誕生した。その後、米国に渡ってオペレーションズ・リサーチ(この場合は作戦研究)として発展し、軍事作戦から後方支援に至るまで、幅広く効果をあげた。戦後、その技術が企業に公開され、さまざまな産業で幅広く応用され、発展したのが今日のORである。

ORについてはさまざまな定義がなされている。一般には、図表

図表3 ORモデルによる検討の概念



科学技術動向研究センターにて作成

て新しい解決手法を開発することで発展し進化し続けてきた。結果として、新しい理論の展開によって、さらに新しい応用の局面が開拓されると言う循環がさらなる発展をもたらしてきた。

例えば、ロジスティクスの関連では、最近の航空輸送業界における著しい運賃低下は、画期的な手法による合理的な運行計画管理が可能となった結果である。このような問題は古くから大規模な数理モデルを整数計画法という手法で解けばよいことは分かっていたが、モデルのサイズが100万変数を超すような大規模な整数計画法問題を実用的な速度で解く方法が無く、部分的な計画にとどまっていた。この解決の起点となったのは、1988年にAT&Tベル研究所(当時)のカーマーカーによる手法の開発である(AT&Tはこの画期的な解法について特許を取得した。これは世界初の数式特許として、その是非を巡って論争を引き起こし一躍有名になった。)⁹⁾。今日ではこの種の問題に対して次々と実用的な解法が提案され、最適化ソフトウェアという形で製品化され、半導体の生産計画や物流拠点配置の最適化などに広く使われている。

我が国のロジスティクス分野におけるORの普及は、欧米に比べてまだ遅れている。その一つの原因は、大学において実務的な研究があまり行われていないことにある。欧米においてはORによるロジスティクス戦略などの研究と策定は、大学と企業や公共事業体との共同研究として広く行われている。その結果は、企業における研究と実施も含めて、学会発表などで公開されている。しかし我が国においては、その重要性の認識が一般的に薄い。企業と大学との連携が少ないだけでなく、企業が必要以上にデータや結果の公表を避ける傾向がある。これによって、企業における実践・研究開発・高

度な知識と応用力をもった人材の育成といったさまざまな面で遅れを取っている。優れたレベルにある我が国の研究者の多くが、研究室の理論的研鑽にとどまってしまっている。この状況を打破する政策的な展開が求められる。後で述べるような具体的な問題、かつ政策的な立場からの推進が望まれる問題に関して、研究開発を活性化する施策がとられ、その結果が産学で共有されることを期待したい。我が国のロジスティクスは我が国の消費者行動、企業経営に合わせた独自の発展を遂げている。我が国なりの研究開発によって、さらなる高度化と貢献が期待できる領域でもある。公的な研究を推進し結果を公開していくことによって、実務的な成果に加えて、研究結果の公開が進まない事態の改善が期待でき、理論的な研究推進にも役立つ。

3 - 2

ロジスティクスへ高度化の課題とOR

(1) 広域化、複雑化するサプライチェーン・ネットワークへの対応

①大規模な物流ネットワークの拠点配置、輸送ネットワークの最適化
最近のロジスティクスに関する問題で特に注目されるのが、広域化および複雑化する拠点ネットワーク全体構造の最適化に対する問題である^{10), 11)}。

ロジスティクスにおける輸送ネットワークは原材料の生産地から、工場・倉庫・最終需要先と言った物流拠点とそれらを結ぶ輸送経路から成る。この全体をモデル化すると、しばしば万単位の式と変数をもつ大規模なネットワークモデルとなる。最適な拠点配置・選択・輸送ネットワークの合理化を行うことによって、拠点の運用

コストと輸送コストを30%近く削減することができる事例が多数報告されている。特に、コスト削減の主要部分を占める輸送コストの低減は、直接的に輸送距離の低減につながり、温暖化ガス削減につながっている。

多段階で大規模なネットワークにおける最適な経路と拠点配置に関する問題は、拠点数・輸送機関台数・配送ルートと拠点の組み合わせといった整数値でなければならない変数を扱うため、極めて大規模な整数計画モデル(数万~100万変数以上)による最適化計算が基本となる。このような問題は最近まで、ごく限られた計算環境を持った研究的機関しか取り扱えなかった。しかし、近年の計算アルゴリズムの進化とハードウェアの高速・大容量化によって、一般のPCでも実務的な速度で解くことができるようになった。これによって、大規模かつ広域のサプライチェーンの最適計画を行うことがかなり容易になった。

図表4にそのような計算モデルがどの程度の規模になるかの例を示してある。中継される拠点の数・製品の種類・配送手段(輸送機関)などの多様な条件を全て組み合わせた経路選択を行う最適化モデルは巨大である。このような配送ネットワーク合理化に関する数理モデルの適用は、我が国では数理的最適化に関する知識と関心の不足から、従来はあまり注目されてこなかった。しかし、燃料高騰による輸送費の増加、企業統合などによる拠点の統廃合の進展などによって、我が国でも多方面で適用が進みつつある。図表5に北米における家電物流ネットワークの拠点合理化案における最適化計画の例を示した¹²⁾。面的に大きく広がったネットワークの代替案が存在する欧米においては、マルチモーダル輸送とも絡めて、企業や大学などの研究機関を中心に、理論と実施

の両面でさまざまな研究が行われている。

特に、欧州諸国、たとえばオランダやベルギーなどにおいては、米国企業や日本企業を主な対象として自国の港湾設備や空港を起点とした物流センター拠点地区を開発し、欧州全域に対する海運(RO-RO 船による近海輸送)・トラック・鉄道・河川輸送などを組み合わせたマルチモーダルの一貫輸送ネットワークが、政策的な振興策をモデルを用いて検討され提案されている^{13~15)}。

我が国では、2008 年度のものづくり白書の冒頭にサプライチェーンの重要性と高度化の必要性が挙げられているが、特に我が国にとっては、今後、アジア諸国やロシアとの物流連携が重要となろう。例えばシベリア鉄道の活用については、我が国から欧州に向けての輸送日数が 40 日以上から約 20 日と半減することになるため、いくつかの企業がすでに活用を表明している。政府としても「ユーラシア産業投資ブリッジ」構想として近代化に支援を行うことが表明されている¹⁶⁾。今後特に重要となるのは、アジア全域における輸送網の構築と運用に関して、輸送設備や鉄道の振動対策などハードウェアもさることながら、陸路、海路を含めた一環輸送経路の合理的な運用で

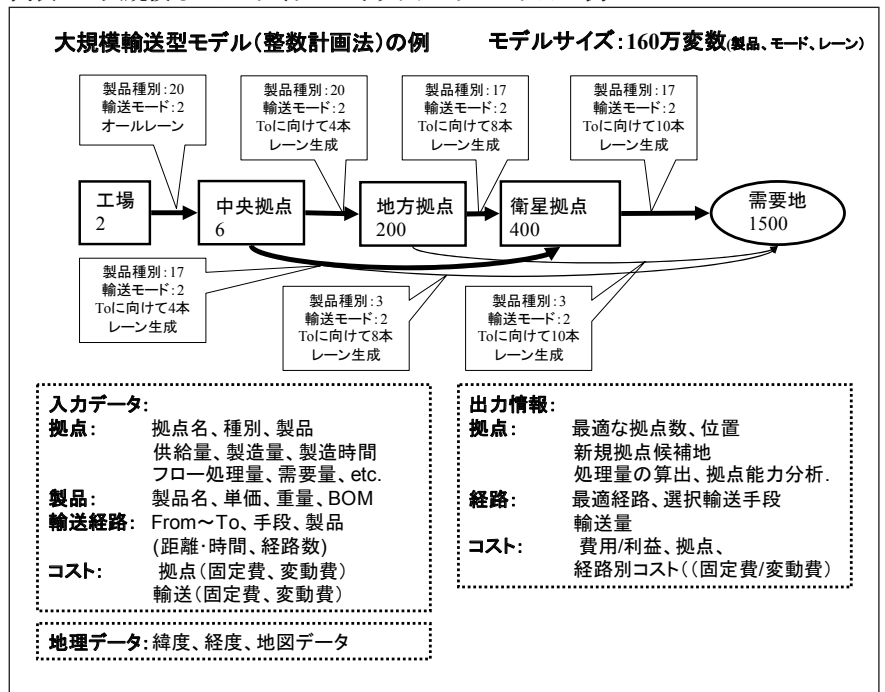
ある。他の東アジア諸国との関係も含めて戦略的に検討し、港湾設備や拠点倉庫の整備などを、省庁横断的な研究によって政策的に行っていくことも望まれる。今後のアジアにおける国際ロジスティクスの近代化において、我が国が近隣諸国に先んじて国際的な物流ネットワークの最適化研究をリードしてゆくことが求められる¹⁷⁾。

②最適な安全在庫配置による在庫量削減

広域ネットワークにおいては、

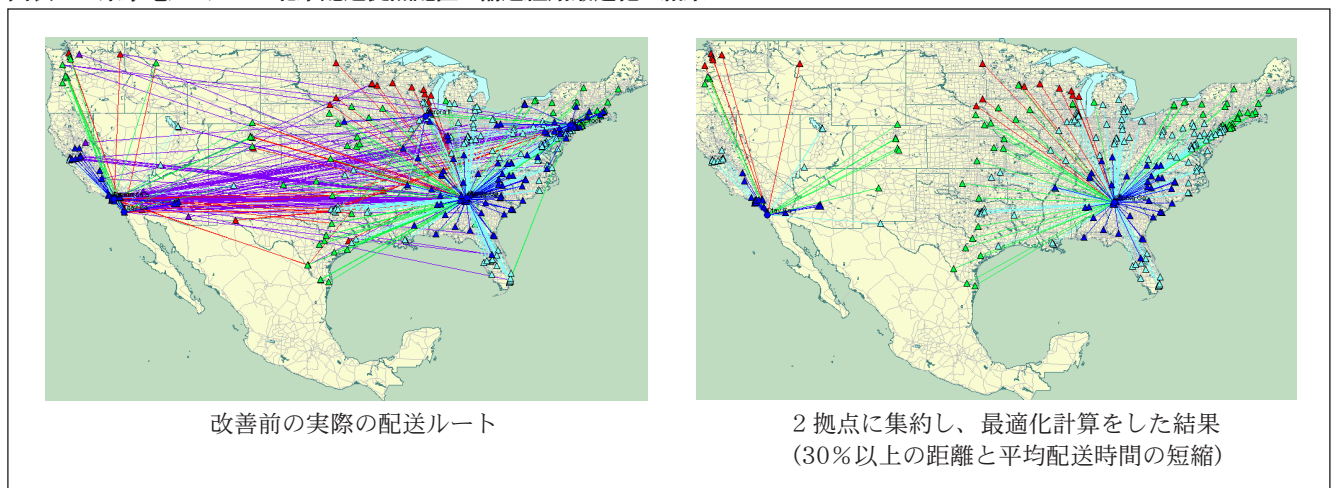
最終需要の変動と需要家への供給リードタイム短縮の要求に応えるために、最終需要地近くに大量の在庫を置くことは経済的には最適解とはならない。供給と輸送のリードタイムを勘案した最適な安全在庫量を、ネットワークのどの地点にどれだけ持っておくかは、資源の有効利用と経済最適性から大きな問題であり、実務的な解を得ることは難しい問題とされていた。しかし、最近開発された動的計画法による手法や複雑系のシミュレーション技術などによって

図表 4 大規模なロジスティクス・ネットワーク・モデルの例



フレームワークス社資料を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表 5 某家電メーカーの北米配送拠点配置と輸送経路最適化の結果



参考文献¹²⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

解決に近づいた^{10, 18)}。このような最適化によるコスト低減の効果は30%に上る事例もある。先に述べたグローバル化への対応のためにも、今後もさらなる最適化技術の発展によって大きな経済的効果が期待される。特に国際的な市場展開を行っている製造業においては、サービスパーツの在庫をどこにどれだけ置くかを、サービスレベルと在庫コストとの関係から最適化する利益は大きい。国際的な展開をしている北欧の家具メーカー¹⁹⁾、欧州のタイヤメーカー、プリンターメーカー、自動車メーカーなどが積極的に研究を行っている。しかし、拠点ネットワークにおいて本来は同時に最適化されるべき、輸送コストから見た拠点配置の最適化と拠点における在庫配置の最適化を同時に行うことのできる解法は、現在のところまだ発見されていない。今後の研究が期待される分野である。

③モーダルシフトとマルチモーダル輸送

最近の生産と市場のグローバル化に伴って、陸上(トラック、コンテナ、鉄道)・海上(コンテナ船とトレーラー船)・航空を組み合わせたマルチモーダルな国際一貫輸送についての最適化計画が必要となっている。輸送経路の複雑化と時間的な計画の困難性をともなっているため、合理的な経路選択と運行計画のためには、ここでも数理的なモデルが必要である。また、先に述べたような、特にアジア地域や亜欧間輸送のような広域の計画策定には、マルチモーダル輸送の研究は不可欠である。

同様な問題は、国内でのモーダルシフトによるCO₂削減計画においても起こっている。ここでは幹線輸送と地域配送(ラスト・ワン・マイル)の組み合わせ計画が必要になっている^{20~23)}。最近では、電子部品の組み立て工場への大規模

な巡回集荷・配送(ミルクラン)と完成品の需要地への幹線輸送、最終需要家への共同配送を大規模な配車コントロールシステムで実現し20%のCO₂削減を実現した事例などが発表されている^{24~26)}。

この場合にも、我が国では、実務的なデータの入手が困難なこともあって、大学のような研究機関がこの分野の研究を行うのは困難になっている。欧米では、輸送コストタリフ(運賃表)がオープンに入手可能である。また、先に述べたネットワークの面的な広がりや代替輸送手段がいくつも存在する(トラック、トレーラー、鉄道、河川輸送、空路)。このため、この領域の研究がさまざまな側面から行われている。我が国においても、地方港湾の有効利用、あるいは地域産業集積地の活性化のために、企業との共同研究はもちろんであるが、行政区分も超えた輸送最適化の研究が一層活発に行われることを期待する。

(2)新しいモデル構築法と計画手法の開発が期待される課題

以下のテーマはいずれも企業のロジスティクスにおける重要な問題である。しかし、解決法については、産学連携によるさらなる研究が期待される。実務的な対応は個々の企業にゆだねられる問題もあるが、我が国の優れた数理科学研究者と、実務家の協力によって新しい手法開発が実現すれば、世界のロジスティクスとORに対して貢献する可能性をもつ。

①需要変化に迅速に対応する、動的最適化配送計画

変化する需要に迅速に対応することのできる、生産、輸送システムの高度化のための新しい数理的解決手段の開発は、今後大いに期待される。GPSやRFIDによるリアルタイムな情報収集を起点として、リアルタイムの再スケジュー

リング・近未来シミュレーション・動的な配車配送計画変更などを、先に述べたような大規模最適化アルゴリズムの実用化などを突破口として実現する技術が期待される。

トラックの配車を数理的なアルゴリズムによるツールを使って合理化することは、我が国でも普及しつつある。しかし、都市交通の緩和、平均50%というトラック積載率の向上による省エネルギーとコスト低減は、温暖化ガスの低減にも直接つながるため、配車計画システムの一層の精緻化と普及が期待される。これによって、積み荷の共積みや共同配送による効率化、合理的な配送時間帯選択による運行コストの低減、集荷と配送の組み合わせなど、きめの細かい運行計画が広く実施されることが、後に述べるグリーン・ロジスティクスの推進にもつながる。

②リスク管理と経済最適性を目的とする調達計画

原材料や部品調達のグローバル化とオープンソース化にともなって、災害やテロなどのリスクに対応し、かつ、安定供給と経済性をともなった調達計画と、複雑な要因をもつ調達先の最適選択には、組み合わせ理論を用いた解決が期待できる。

地震などの災害による交通途絶に対応する代替的な輸送手段を確保するためには、必要な公共投資を合理的に決定しなければならない。このような決定には数理的な検討による社会的コストのシミュレーションが役立つと考えられる。

③製品とサプライチェーンの併行設計(コンカレント・エンジニアリング)

最近、海外においても研究が進みつつある領域の一つが、製品設計と同時併行的にサプライチェーンの設計を行い、最適調達や製品配送

ルートを検討して、設計そのものを
変化させるという方法論である。我が国の複写機メーカーにおいて、最終製品化の地点をサプライチェーン上のどこにおくかを再検討し、中間地点において容易に市場変化に適合した最終製品化を行えるように、部品のモジュール化設計を行い、大幅な納期短縮と在庫削減によるコストダウンに成功した事例があるが、これは理論的な最適化から導いたものではない。このような設計技術をより広範囲に適用して、部品の調達経路も含めて一般化するには、複雑系のシミュレーション技術など、あたらしい数理的な開発研究を進める必要がある。

製品の設計を含めたサプライチェーン最適化は、今後進むと考えられるカーボン・フットプリントの実施においても良い影響を及ぼす。カーボン・フットプリントは原料から生産、販売、物流に至るまで、商品のライフサイクル全般にわたって排出される温室効果ガスを CO₂ 排出量として商品パッケージなどに表示する。英国において活発に進められていて、我が国でも適用の検討が始まっている。消費者には低環境負荷製品の選択を促し、生産者にはより負荷の少ない製品の生産を促進させることができる²⁷⁾。工場立地によっては、工場のエネルギー源による温暖化ガス発生に加えて輸送による負荷増大もあり得る。

④新しい輸送手段とその有効活用のための数理的解決策の研究

今後、エネルギーコストと環境負荷の低減を目的として、新しい輸送手段の開発が進むことが考えられる。中近距離海上輸送に対応する Ro-Ro 船(Roll-on/roll-off ship の略で、トレーラーなどの車両を、自走で搭載・揚陸できる構造の貨物船。中短距離輸送にはコンテナより適している。)によるトレーラー輸送の国際的な実現や、すでに一部の自動車メーカー

で実施されている新しい鉄道コンテナと専用トレーラーによるマルチモーダル輸送の実用化、鉄道による海上用 40 フィートコンテナ輸送の実現とその有効活用をはかるための貨物集約、積み替えセンターの配備などハード面が革新されつつあり、それらに合わせた新しい運行計画の最適化システムが求められる。これに加えて、省資源のための循環型ロジスティクスを実現するためには、RFID による国際的なコンテナ管理・パレット管理・循環輸送のルート計画技術などが一層研究されなければならない。

⑤サプライチェーンにおけるビジネス・ワークフロー構造の設計と最適化の研究

複数の企業や異なった事業体を結合するサプライチェーンの構造とワークフローの最適化について、標準化プロセスモデル(SCOR モデル)²⁸⁾やビジネスプロセスモデリング(IDEF など)の適用についての研究がより一層必要である。個別の課題対応のみに終始しがちな我が国のサプライチェーン合理化においては、このような全体最適性を当初から意図したトップダウン型のモデル構築と設計思想はなじみが薄く、ようやく最近になって注目され始めたところである。今後の全体的な視点に立つサプライチェーン合理化のための一層の研究が求められる。一方、SCOR のような方法論は、基本的にはトップダウン的な組織経営を前提にしたものである。したがって、我が国のボトムアップ型の決定機能をもつ組織において効果を発揮するためには、欧米の引き写しでない独自のモデル化と実施のための理論が研究されなければならない。

⑥社会科学的アプローチとの協働によるサプライチェーン構造の研究

サプライチェーンのネットワー

クは多くの同業種、あるいは異業種の企業(場合においては異国籍の企業)によって構成されている。各企業における意思決定は、他の意思決定主体(他企業)の存在を意識したものでなければならない。しかし、従来の理論や経営的なソリューションは単一の意思決定主体を前提として成り立っている。このような相互作用を前提とした戦略的な意思決定を科学的に扱うためには、ゲーム理論やミクロ経済学、あるいはエージェントモデルなどの助けを借りなければならない²⁹⁾。環境問題を含めて、複雑な構造をもつサプライチェーン・ネットワークの挙動を解析し、その効率性の測定や改善を図るためには、理数系のアプローチによる研究と社会科学的なアプローチによる研究との学際的な協働作業が不可欠である。海外においてはサプライチェーンやロジスティクスの問題に対して、このような協働作業による研究が盛んに行われていて、経営工学系の学術論文誌には多くの発表がなされている。学際的な立場で、マネジメントのあり方を研究することは、企業の意思決定に役立つだけでなく、我が国の産業政策策定などにも有益な知見をもたらすと考えられる。

3 - 3

グリーン・ロジスティクスの推進に対する OR の役割

我が国は、2008 年から 2012 年までの京都議定書の第一約束期間を迎えて、この期間に温室効果ガス排出量を基準年度(CO₂、CH₄ および N₂O については 1990 年度、代替フロン等 3 ガスについては 1995 年度)比で 6%削減することが目標となっている。しかし、実際には 2006 年度の我が国の温室効果ガス排出量は 13 億 4,000 万トン(CO₂ 換算)で

あり、基準年度比 6.2% 増となっている。

これは、我が国の温室効果ガス排出量の約 9 割に当たる化石燃料起源の CO₂ 排出量が 2006 年度で基準年度比 12% と大幅に増大したことが主な原因である。この化石燃料起源の CO₂ 排出量の中で、約 20% を占める運輸部門からの排出量は 1990 年度比で約 20% 増大している。

このような状況に加えて、最近の燃料油の高騰による輸送コスト増を背景にして、我が国産業の基盤を守るために、ロジスティクス部門における省エネルギー化は極めて重要になっている。

第 3 章で述べた、さまざまな課題に対する OR の適用においても触れたように、ロジスティクス合理化は直接的にグリーン・ロジスティクスの実現に寄与することが多い。しかしながら、グリーン・ロジスティクスに特徴的な課題も存在する。

グリーン・ロジスティクスに対する OR の適用において、特に研究されるべきテーマは、複数の目的関数、すなわち、エネルギー効率・温暖化ガス排出量・コスト、などの同時最適化を行う手法とモデル構築である。数理的モデルの最適化においては複数の目的関数を同時に満足する解の策定、いわゆる多目的計画に関する研究の必要性がある。グリーン・ロジスティクスを対象として多目的関数モデルの解法としていくつかの提案がなされている。大きく分けて、①複数の目的関数に対して、それぞれの解に、あるウエイトをつけて一つの関数にまとめ、その最小化（環境負荷合計+コスト、など）あるいは最大化（対策の効果）を行うもの、②ある目的関数を最小化あるいは最大化することを、他の目的関数の目標値を制約条件として解く方法、③複数の目的関数の値の収斂点をたとえばパレート最

適化などを用いて求めるもの、が提案されている。しかし、いずれも決定的な方法とはなっていない。この方面に対して、実際的な問題のモデル化の方法と、数理的な解法の双方からの研究が期待される²⁰⁾。

もう一つの大きな課題は、すでに 3 章でも触れているが、モーダルシフトとマルチモーダル輸送に関する研究である。輸送機関による CO₂ 排出量は図表 6 に示すように大きく異なる。したがって、輸送手段の研究は温暖化防止に効果を発揮する。具体的な対策としてすでに実施され始めているものとして、先に、適切な配車・配送計画で 20% の CO₂ 削減を行った例を述べた。モーダルシフトはさらに大きな効果が期待されている。すでに、幹線輸送の鉄道への切り替えによって、80% 近い CO₂ 削減を行った事例や、近距離海運の共同利用による今後の削減計画などが報告されている²⁵⁾。先に述べた、カーボン・フットプリントが実施されるとその重要性はますます大きくなると考えられる。

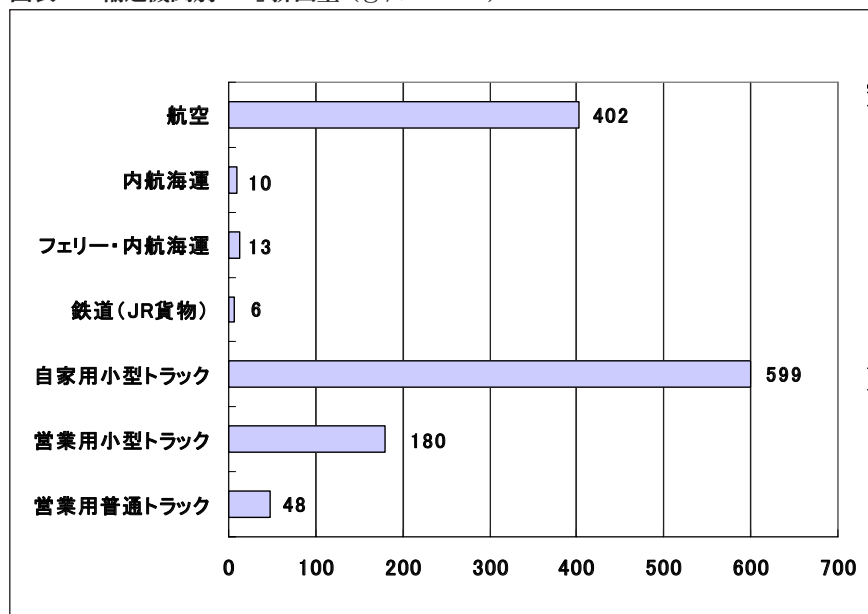
しかしながら、現在まで、我が国においては、検討が各個別企業の範囲に止まっていて、企業をま

たぐ、あるいは国家的な政策に向けての OR による研究がなされていない。欧州においては、EU 全体として、大学を中心に多くの研究がなされ、提案が行われている。国家的政策としてロジスティクス合理化を進めるには、企業間だけでなく、省庁や自治体の壁を越えた協力体制が不可欠である。

港湾整備や道路整備といった個々のインフラ整備にとどまらず、貨物の集配拠点の効果的な配置と機能の整備、あるいは鉄道を含む幹線輸送とラストワンマイルと言われる個別顧客への配送との組み合わせなど、複合的・総合的な計画立案とそのためのモデル開発や最適化アルゴリズムの研究などに、大学や公的研究機関が果たすべき役割は大きいと考えられる。このような研究に対して優先的な奨励政策を行うことも効果的であろう。

先に述べた、アジア全域とロシアを含めた輸送網の整備に関する研究においても、陸海空を含めたモーダル選択とそれによる国際的な環境負荷低減の施策検討が必要である。

図表 6 輸送機関別 CO₂ 排出量 (g / ton・km)



参考文献³⁰⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

ロジスティクス高度化にむけた サービス科学研究への期待

サービス科学はパルミサーノ・レポートと略称される米国競争力評議会(Council on Competitiveness) 国家イノベーション・イニシアティブ最終報告「Innovate America: Thriving in a World of Challenge and Change」(2004.12)³¹⁾において、イノベーションを誘発する可能性をもった新しい学問領域として紹介された。サービス科学は、新しい産業構造に対応した科学技術発展の一方方向として重要である。当然なことであるが、サービス産業として大きな位置を占めるロジスティクス産業についても、サービス科学の研究が進むことによって得られる利益は大きいと考えられる。

同レポートでは、サービス科学とORとの関連について下記のように指摘している。「新しい『サービス科学(services science)』の分野ほど、明らかに新しい学際的なアプローチを必要としている分野はない。『サービス科学』とは、コンピュータ科学、オペレーションズ・リサーチ(OR)、生産工学、数学、経営科学、デザイン・サイエンス(決定科学)、社会科学、法科学などの既存分野が融合したものである。そしてこれが企業活動全体に変革をもたらし、ビジネスとテクノロジーの専門知識が交差する領域でイノベーションを促進するのである。」

ORによるサービス生産性向上の好例としては、銀行ATM窓口やJR切符売り場が挙げられる。行列の待ち方が、以前の窓口ごとの行列からフォーク型に変わることによって、全体としての待ち時間が短縮され、単位時間におけるサービス率が向上し、顧客の心理にも好影響を与えている。これ

はORの典型的な手法の一つである待ち行列理論の適用によるものである。日本での普及は比較的最近であったが、この急速な普及には1991年NHKの番組「トライ & トライ」での森村東京工業大学教授(当時)の実証実験映像の影響が非常に大きかったといわれている³²⁾。この理論はサービス窓口数の設計・運用にも使われ、切符売り場の他、高速道路の料金収集所、空港の旅券検査窓口数などの設計にも適用されている。

サービス科学の目的の一つとして、サービスに対するエンジニアリングの手法の適用による生産性向上・コスト低減・品質向上がある。すなわち、サービスの定量化、サービス・ソリューションのモジュール化、標準化、モジュールの結合による全体設計などを研究し、それらを通してエンジニアリング手法のサービス産業への適用と、それによる生産性向上を図ろうというものである。

ロジスティクスはこのようなサービス科学のアプローチによって学際的に研究を進めることで大きな成果が期待できる領域であると考えられる。特に、サービスの品質という面で、サービス品質を対象に、すでに、KPI(Key Performance Indicator: 重要業績評価指数)、メトリックス、ベンチマークなど³³⁾の計量的概念が浸透している。データが集めやすいこと、サービスの提供者と受益者(顧客)の関係が比較的明確に特定しやすいことなど、研究対象として取り上げやすい条件も持っている。

例えば、ロジスティクスにおいては「完全オーダー達成率」という品質概念がある。これにはいくつかの異なった定義があるが、たとえば先に述べたSCORにおける定義では、数量充足率・納期遵守率・ドキュメント完全性・非破損率の4つの百分比を掛け合わせた数値

で示される²⁸⁾。これは欧米では物流業者の品質保証の一指標となっている。しかし、我が国では、まだこのようなコスト以外の数値に重点を置いた契約は珍しい。今後、品質とコスト、あるいは生産性との関係を研究するには格好の材料ではないかと考えられる。

一方において、サービス科学の研究においては、要素還元的な、物理的に計量できる数値にとらわれた方法論に頼りすぎないことも必要と考えられる。サービスの品質と顧客の満足度を分析し最適設計を行うには、ORの中でもデザイン・サイエンスと呼ばれる分野の手法が有効である。たとえば非定量的な要因の価値評価を行うAHP³⁴⁾(階層化意思決定法: 最近では首都移転の候補地絞り込みに用いられた)や、コンジョイント分析(商品企画の分析などに使われる手法)、複数の入出力を同時に扱いながら組織の効率性評価を行うDEA³⁵⁾(包絡分析法: 図書館や病院など公共サービス機関の分析事例がある)などである。

サービス科学において、我が国が特に貢献できる研究領域は、西欧的なアプローチでは軽視されがちな、定性的・感性的な品質についての評価に関する研究と、日本人の特質とも言える、部分と全体を同時に考えるホリスティックな考えに則った研究であろう。

我が国独特の、過剰とも言える品質へのこだわりは、ロジスティクスの分野においても見られる。それが社会的コストの増加をもたらしているという側面もあるが、同時に、快適な市民生活をもたらす結果になっていることを見過ごしてはならない。学際的・境界領域的な研究を推し進めることによって、計量可能な数値にこだわった評価基準の欠点を補うことは、サービス科学の発展に対する我が国の貢献として重要なことと考えられる。かつて、我が国は工

業製品の品質管理において、それまで二律背反と考えられていた、品質向上とコスト低減が両立可能であることを立証してみせた。ロジスティクスにおいても、例えば、コンビニエンスストアへの商品配送において、OR手法による配車計画と通過型配送センターの活用や、専用車両へのきめ細かな温度

帯別の配送スケジューリングを組み合わせた。これによって、1974年のコンビニエンスストア発足時には1日1店舗あたり70台、2年後でも42台であった配送便数を1987年には15台、2005年には9台に減少させた。しかも弁当やパンの新鮮さを向上させている。このようにサービスと効率性

の両方での解決を成功させている例もある³⁶⁾。こういった視点から、我が国ロジスティクスの強みと弱みを分析し、そこを基点にして学際的にロジスティクスの品質に関する研究を行うことができれば、サービス科学全般に対しても我が国が貢献できると考えられる。

4 結論と提言

以上、サプライチェーンの大きな変換局面を迎えて、産業の基盤として重要な役割を持つロジスティクスの合理的な計画と運用に対してORの手法を用いた最適化計算やシミュレーションによる支援の有効性と、特に今後の研究開発を期待する課題について述べてきた。

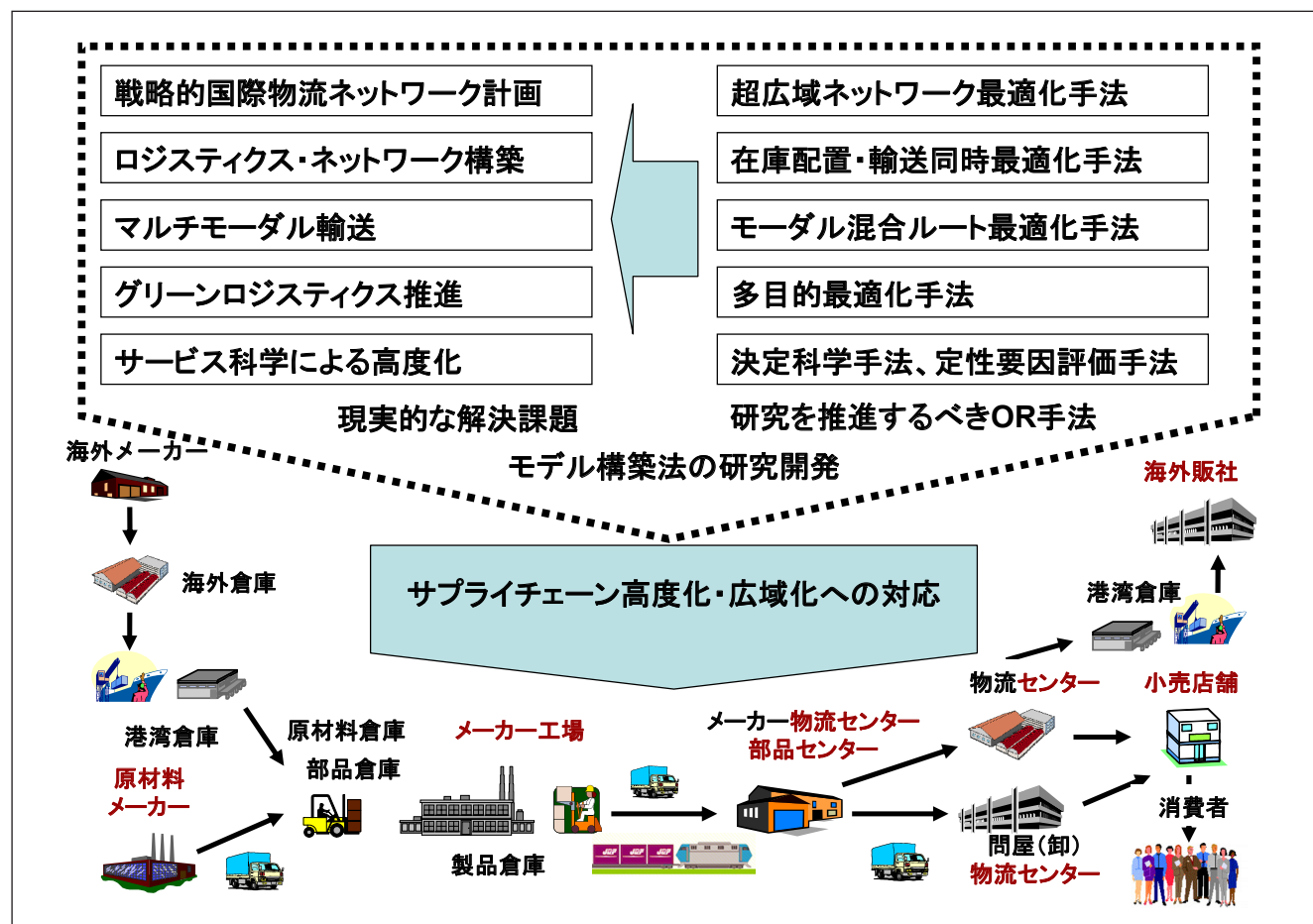
図表7は第3章で述べた解決課

題の中で特に重要な5つのテーマと、それらに対応するOR手法の研究開発テーマをまとめたものである。先に述べたように、今日のロジスティクスが直面する複雑化・広域化・国際化の課題に応え、将来の問題を解決するためには、図表7の左に示した戦略的視点を持った課題そのものの研究と同時に、右に

示した複雑な現実をモデル化し実際の解を与えることのできる高度なOR手法の研究開発の両方が推進されなければならない。

今後の、ロジスティクスの高度化とそのためのOR技術の開発研究推進にあたっては、これらの重要課題の研究推進とともに、以下に述べるような政策的な対応が求められる。

図表7 ロジスティクスの主要な解決課題と、対応するOR手法の研究開発テーマ



科学技術動向研究センターにて作成

(1) 工学的問題としてのロジスティクスと人材養成

従来、我が国のロジスティクスのOR手法による合理化、最適化は、欧米に比して進んでいない。その理由は、欧米では基本的には工学的問題としてとらえられ、技術系の教育研究機関における研究が活発に進められ、また高等教育の学部も早くから確立していたのに対して、我が国では商学系の業務や営業・販売に付随する業務ととらえられる傾向が強く、企業においても理工系学界においても、その位置を確立できていなかったことにもあると考えられる³⁷⁾。近年、欧米やアジア諸国においては理工系大学がロジスティクス高度化推進の中心となっている。我が国においても、理工系を重視したロジスティクス研究推進体制ができることが望ましい。欧米においては、サプライチェーンに関する政策提言において、OR手法を駆使できるなど高度な能力をもった専門家の養成が上げられていて、産学官における具体的な教育体制やカリキュラムの検討も開始されている^{38, 39)}。アジア各国の大学においても、欧米大学との連携を進めて高度な能力を持ったSCMやロジスティクスの専門家養成に乗り出している^{40~42)}。我が国のロジスティクスの高度化のためにも、研究開発の促進のために、諸外国に比肩する人材の養成は急務であり、これ以上の遅れは許されない。高等教育機関におけるロジスティクス教育と研究を促進し、我が国が、この面においてアジアにおける国際的な水準の向上に寄与し、研究協力の推進者となることは今後の政策の重要課題の一つであると考えられる。

(2) ロジスティクス、SCMとORの研究分野としての認知

これらの分野の研究開発促進のためには、(独)日本学術振興会(JSPS)の科学研究費補助金(科研

費)の、系・分野・分科・細目に、現在は含まれていないサプライチェーン・マネジメント、ロジスティクス、物流と言った項目を追加して、研究対象分野として認知することが必要であろうと考えられる。(独)科学技術振興機構(JST)の技術分野分類にも含まれていない。これについても追加されることが望ましい。さらに、経営科学、OR、経営工学といった、欧米では重要な研究推進領域とされている項目もどちらにも含まれていない。これらについても速やかな追加が実現されることが望ましい。すでに歴史も規模もある関連学会が複数存在しているので、こういった措置が採られれば、関連学会の研究開発の活性化に大いに寄与するであろう。

(3) 学際的あるいは省庁横断的研究体制

グリーン・ロジスティクスとサービス科学へのOR展開を考えると、理工系分野と経済学など社会科学分野や人間科学といった分野との学際的研究の促進が求められる。このような、境界領域的な研究開発においては、日本的な社会システムの強みと弱みを研究し、欧米の要素還元的なアプローチのみにとらわれず、より全体的な視点からの問題解決を実現することによって、我が国が世界のOR発展に対して貢献できる可能性を秘めている。このような可能性に対する研究支援体制が求められる。

謝辞

本レポートの執筆にあたって、大学研究者、実務家を含め30名を超す多くの方々にインタビューや資料提供を頂き、参考にさせていただいた。ここに深甚の感謝を申し上げる。また、(社)日本オペレーションズ・リサーチ学会、(社)日本経営工学会のサプライチェーン関連研究部会メンバー、日本物

流学会の方々との討論から多くの示唆をいただいたことも特に付記しておきたい。

参考文献

- 1) 経済産業省、厚生労働省、文部科学省、「平成19年度ものづくり基盤技術の振興施策」(2008)
- 2) Council of Supply Chain Management Professionals: <http://cscmp.org/default.asp>
- 3) D.M.Lambert, J.R.Stock, "Strategic Logistics Management", Macgraw-Hill/Irwin (2000)
- 4) D.J.パワーソックス他 阿保栄司他訳「サプライチェーン・ロジスティクス」朝倉書店(2004)
- 5) 黒田充編著「サプライチェーン・マネジメント 企業間連携の理論と実際」朝倉書店(2004)
- 6) 日本ロジスティクスシステム協会「2007年度 物流コスト調査報告書」(2008)
- 7) 社会経済生産性本部「労働生産性の国際比較(2007年版)」
- 8) 圓川隆夫「SCM性能の国際比較からみる我が国現場力の強みとマネジメントの弱み」、科学技術政策研究所、所内講演会資料(2008)
- 9) 今野浩「役に立つ一次式—整数計画法「気まぐれな王女」の50年」日本評論社(2006)
- 10) D.E.スミチ・レビ他、久保 幹雄監訳「サプライ・チェーンの設計と管理—コンセプト・戦略・事例」朝倉書店(2006)
- 11) 久保幹雄「サプライチェーン最適化入門」朝倉書店(2004)
- 12) 井筒幸彦「国際ロジスティクスの基本的な考え方と要求機能について」OR学会サプライチェーン・ネットワーク研究部会報告(2005)
- 13) "Supply Chain 2020 Project Working Paper, A review of the Leading Opinions on the Future of Supply Chains", Dec.2004
- 14) Allan Woodburn, "An Investigation of Container Train Service

- Provision and Load Factors In Great Britain”, University of Westminster (2006)
- 15) 藤原利久「ベルギーの陸海空総合物流調査～東アジア・北部九州の先進事例として～」、物流学会第25回全国大会予稿集(2008)
- 16) (社)ロシアNIS貿易会、第16回RBC国際ビジネス会議資料、小嶋 典明 経済産業省 通商政策局 欧州中東アフリカ課 ロシア室長、「日ロ経済関係と鉄道分野」：http://www.rotobo.or.jp/activities/rbc/rbc9_2.pdf
- 17) 岩間正春「物流の視点から考えたアジアのグローバル化」静岡学術出版(2008)
- 18) D.Simchi-Levi, “A New Approach for Inventory Planning”, Presentation, CLM2004(2004)
- 19) J. Shapiro, T. Dudas “Building the Optimal Logistics & Distribution Network Strategy” Presentation, CLM2004(2004)
- 20) Irina Harris, Mohamed Naim and Dr. Christine Mumford, “A Review of Infrastructure Modeling for Green Logistics”, Cardiff University(2007)
- 21) J. QuariguasiFrota Neto, J.M. Bloemhof-Ruwaard, J.A.E.E. van Nunen and H.W.G.M. van Heck “Designing and Evaluating Sustainable Logistics Networks”, Erasmus Research Institute of Management (ERIM)(2006)
- 22) A.Sbihi, R.W. Eglese “The Relationship between Vehicle Routing & Scheduling and Green Logistics-, A Literature Survey”, Lancaster University Management School(2007)
- 23) Julie Paquett, “The Supply Chain Response to Environmental Pressures”, MIT(2005)
- 24) グリーン物流パートナーシップ会議、グリーン物流のしおり、経済産業省 商務情報政策局(2008)
- 25) 日本ロジスティクス・システム協会「第2期ロジスティクス環境会議、2007年度グリーン物流研究会活動報告」、日本ロジスティクス・システム協会(2008)
- 26) Yuji Yano, Katsuhiko Hayashi, “Typology of Efforts by Japanese Companies to Address Logistics-related Environmental Issues”, Ryutsu Keizai University (2007)
- 27) 工藤拓毅(エネルギー経済研究所)、温室効果ガスマネジメントの標準化に関する最新動向と今後の展望、産業環境管理協会(2008)
- 28) Supply Chain Council, “Supply Chain Operation Reference Model V.9.0”(2008)
- 29) M.Nagarajan, G.Sosic, “Game-theoretic Analysis of Cooperation Among Supply Chain Agents: Review and Extensions”, European Journal of Operations Research (2006)
- 30) (社)日本物流団体連合会「数字で見る物流」(2007)
- 31) National Innovation Initiative and Summit and Report “Innovate America-thriving in a world of challenge and change” Council of Competitiveness (2005)
- 32) 森村秀典他「トライ&トライ：うまい待ち方、待たせ方」NHKアーカイブス(1991.1.29)
- 33) 藤田精一他「わが国物流現場の平均像とベスト・プラクティスを探る」、マテリアル・フロー(2008.8)
- 34) 木下栄蔵、大野栄治編集「AHPとコンジョイント分析」現代数学社(2004)
- 35) 刀根薫「経営効率性の測定と改善」日科技連(1993)
- 36) 田中陽「セブン-イレブン 覇者の奥義」日本経済新聞社(2006)
- 37) 圓川隆夫、市川隆一「ロジスティクスから経営者が生まれる」、経営とロジスティクス、Vol.1(2008)
- 38) Jake Barr John Dischinger “The Emerging Need for Supply Chain Talent : Working to fill the gap...” Supply-Chain World 2008, Supply Chain Council (2008)
- 39) D.Aquino and L.Draper, “Supply Chain Talent: State of the Discipline”, AMR Research
- 40) シンガポール大学：<http://www.tliap.nus.edu.sg/>
- 41) 香港科技大学：<http://www.ielm.ust.hk/>
- 42) Supply Chain & Logistics Institute：<http://www.tli.gatech.edu/research/china/> 「TLI-Asia Pacific Program Sets Goals for Next Five Years」：<http://www.tli.gatech.edu/news-events/release.php?id=1887>

執筆者



高井 英造

客員研究官

(株)フレームワークス 特別技術顧問
<http://www.frame-wx.com>



研究分野はOR/MSだが、さまざまな業界のSCM、ロジスティクスに適用する面白さに惹かれている。いくつになっても、若い人たちと一緒に新しいアイデアを考えて実現してゆくのは楽しい。世代と専門を超えたコラボレーションが新しい活力とイノベーションの源泉と思っている。