

称号及び氏名 博士（経済学） 甲斐 正晃

学位授与の日付 平成21年3月31日

論文名 「OPTIMIZATION OF INTER-MODAL LOGISTICS
UTILIZING GENETIC ALGORITHM」
(遺伝的アルゴリズムのインターモーダル輸送最適化への応用)

論文審査委員 主査 竹安 数博
副査 石垣 智徳
副査 森田 裕之

論文要旨

近年新興国が原料の供給拠点や生産拠点としてばかりでなく、消費拠点としても重要になってきた。それにつれて、市場と企業活動のグローバル化が急速に進んだ結果、企業のサプライチェーンモデルもグローバルモデルとして捉えることが、従来にも増して重要になってきた。

企業におけるサプライチェーンマネジメントを実現するためには、サプライチェーンに関わる業務を計画する計画系領域と、業務を計画通りに実行しその結果を正確・迅速に可視化する実行系領域のふたつが両輪となって機能することが求められる。その中の計画系領域は、計画の善し悪しが企業の業績に直接影響を与えるため、近年その重要性が再認識されてきている。

サプライチェーンモデルのグローバル化は、長期的な原油価格高騰の傾向とも相まって、製品の価格に占める物流費の比率を高める結果となり、数多くの業種にとって輸送費の低減は企業にとって最重要なテーマになっている。

一方、流通市場や取引先企業における製品在庫削減の動きに起因して、納期の短期化や納品の小口化の要求も増してきており、それに応えるための輸送手段の導入と、それを活用した輸送プランニング業務の高度化が求められている。従来の飛行機や船舶などの単独の輸送手段を独立して利用するだけでは、顧客が要求する納期の遵守と輸送費の低減というトレードオフの関係にある要求を同時に満足するには限界がある。そこで複数の輸送手段の持つスピードや低コストなどの利点を組み合わせて、顧客の輸送への要求高度化に対応できる国際物流モデルとして、船舶や飛行機、貨物列車などの異なる輸送手段を複合的

に組み合わせて、目的地までの輸送を行うインターモーダル輸送が注目されている。

しかし、小口化する注文毎の異なる納期に対応して、輸送費用を最小にできる最適な輸送手段の組み合わせを考えることは、人的作業だけでは取り扱えるデータ量に限界があるため、情報システム化による輸送計画業務への支援が、強く求められている。

物流をテーマとした最適化の研究は、これまでも海上輸送ネットワークの最適化や、コンテナへの積み合わせの最適化など多くの取り組みがある。しかし、インターモーダル輸送における船と飛行機などの輸送手段の組み合わせの最適化に関しては、直接取り扱った研究はまだ少ない。

本論文が取り扱うインターモーダル輸送における輸送手段の最適化問題では、事業のグローバル化によってサプライチェーンモデルが取り扱う輸送手段や輸送ロット、供給や消費、中継の拠点数が増加するにつれて、輸送手段の組み合わせの数が爆発的に増大する。今日の情報システムの能力を活用しても、すべての組み合わせをあたって最適解を選ぶ方法では、実用的な時間内に最適解を得ることは難しい。そのため、一定の計算量で最適解を求めるため最適化求解手法として、シミュレーテッド・アニーリング（焼きなまし法：SA）やタブサーチ（TS）、シミュレーテッド・エボリューション（SE）、蟻コロニー最適化（ACO）、遺伝的アルゴリズム（GA）など複数の手法が提案されている。

本論文では、輸送手段の組み合わせが、輸送ロット毎にそれぞれの輸送手段を使用するか否かという、0, 1で表現できることから、遺伝的アルゴリズム（GA）の適合性に注目し、本テーマへの適用と実用化のためのモデルの拡張そしてGAの最適化プロセスの改良に取り組んだ。

GAの本テーマへの適合と実装面での改良にあたっては、いくつかの課題に取り組む必要がある。その一番目は、実際のサプライチェーンにおける物流の種類や輸送手段の選択における制約条件を、モデル上で実社会に近い形で表現していく課題である。そのため、本取組では輸送計画を策定する際の目的関数を、より実務での判断基準に近くなるように複数の拡張が必要となった。

二番目の課題は、現実の輸送計画場面で利用できるように、対象とするロット数や、生産地・中継地・消費地などのモデルで取り扱える拠点数の拡大を行う必要がある点である。

三番目の課題は、モデル化されたGAプログラムが、実用的な時間内に理論上の最適解に到達するためのGAプログラムでの収束性の実現である。そのため、本論文ではGAの実行パラメータである、初期集合の数、交叉方式と交叉点の数そして交叉確率、突然変異確率、選択方式に関してさまざまな視点から最適化を実施した。また、良質な初期集合を提供するがGAの最適解への収束過程を改善することに注目し、初期集合の改良方法に関する提言を行い、またGAの次の世代の遺伝子を選択する方式についても本モデルに適した新しい選択方式の提案を行い、その有効性の検証を行った。

本論文の構成は、以下の通りである。

第2章では、今回の研究の背景となっているグローバルなサプライチェーンマネジメン

ト（SCM）の現状を分析し、それに求められる情報システム機能を、特に計画系機能を中心に検討を行った。その中で、グローバルなSCMにおける輸送最適化問題の位置づけとその重要性を明らかにした。

第3章では、本テーマの基本モデルとなる「1供給地・1中継点・1消費地モデル」に対して、より実務場面の判断条件に近づけるため、いくつかのモデル拡張を行った。まず最適化の目的関数を、基本となる輸送費本体に加えて、輸送日数の短縮に伴う倉庫費の減少要素を含むモデルへと拡張を行った。次に、モデルが扱う消費地の数を、1消費地から複数消費地へと拡張を行った。そして拡張されたモデルについて、GAのプログラムを開発し、テストケースを実行することで、理論上の最適値が得られることを検証した。また数式モデルについて、1生産地から複数生産地への拡張も併せて示した。

第4章では、目的関数に関してさらなるモデルの拡張を行った。複数のロットを同一の輸送手段で輸送する場合に、輸送手段毎に合計の輸送量に対応して輸送費が割引となるビジネス習慣である Volume Discount の要素をモデルに追加した。この目的関数の高度化に伴い生じたGAプログラムの最適解への収束速度の低下と局地解への収束を改善するため、本モデルに適した選択方式としてGAのトーナメント方式に改良を加えた「多段階トーナメント方式」を提案し、テストケースを用いてその有効性を示した。

第5章では、モデルをより実務的な場面に適用できるようにするため、取り扱う輸送ロット数の拡大を行った。ロット数の拡大によって、理論上の最適解への収束性の一層の向上が必要となったため、GAモデルの要素である「母集団数」と「突然変異確率」に注目し、本モデルの収束性を高めるため、複数のテストケースでの実証を通じて、これらの要素の最適化を示した。

第6章では、GAプログラムが最適解に収束していくプロセスの中で、初期集団の内容が大きな影響を与えている点に注目し、初期集合の改良によるGAモデルの収束性向上の検討を行った。本モデルに求められる「生産地から消費地までの輸送時間」の制約をすべての輸送ロットに対して満たす暫定解をGAモデルの初期集合に加えるため、通常のGAプロセスの前処理として制約条件を満たす暫定解を発生させるプロセスを考案し、GAプロセスと組み合わせたより収束性の高い「コンバインド方式」を提言し、テストケースを用いてその効果を示した。併せて、暫定解と最適解とのハミング距離を定義し、その測定を行った。

第7章では、GAモデルの重要なパラメータである交叉方式と交叉点の数に注目し、本モデルにおける各交叉方式と交叉点の数が、GAプロセスの収束性に与える影響を、様々なテストケースを用いて検討を行った。その結果、いずれの条件においても本モデルに対して一様交叉方式が最も適合性が高いことを示した。

第8章では、実務場面で複数の中継点の中から最適な中継点を選択する必要性があることに対応し、複数の中継点を持つインターモーダル輸送モデルの中からの最適経路選択の問題を取り扱った。そのために複数中継点モデルとして、2つの異なる中継点の中からの

選択と、生産地から消費地に直接輸送する方式からの選択枝を加え、GAプログラムを開発することでモデル化を行った。実務にそったテストケースを用いて、今回構築したGAプロセスが複数の中継点を含むモデルでも、理論的な最適解を一定の時間内で求められることを示した。

第9章では、以上述べてきたインターモーダル輸送のGAモデル化による最適化手法に関して、総合的に評価を行い。また、今後の検討課題などの整理を行った。

以上述べたように、GAモデル化によるインターモーダル輸送の最適化問題は、今回開発したGAプログラムを用いたテストケース実行によって、実務的な場面での有効性を確認できた。また、GAプログラムを実行する上で、各種パラメータの最適化だけでなく、従来のGAへの複数の新しい提案を行い、その効果を示した。

今後の課題として、より幅広い輸送計画の実務場面で適用できるような、モデルの拡張と、さらなるGAプログラムの収束性向上にも取り組んでいきたい。