

定温物流の配車・配送計画モデルに対する遺伝的アルゴリズムの適用性の検討*

*Application of Genetic Algorithms for Modeling of the Vehicle Routing and Scheduling Problems of Fixed Temperature Delivery Transport**

小川 圭一**

By Keiichi OGAWA**

1. はじめに

近年では社会情勢の変化により、多頻度小口配送の需要が増加している。必要な時刻に、必要なものを、必要な量だけ搬入させるような「ジャストインタイム輸送」が求められることも珍しくない。末端における物流の大半はトラック輸送が担っており、配送・集荷についてはドアツードアの輸送が可能なトラック輸送がメインである。しかしながら、物流ニーズの高度化、多様化が進む一方で、これらにもなって増大する物流コストの削減や、NO_x、CO₂などの排出ガス削減による環境への配慮も求められている。

食料品など、一定の温度管理が必要な商品に関する物流業務は定温物流と呼ばれている。主な配送品は、毎日の配送が必要となるチルド、米飯、生鮮食品などの食料品である。配送先はスーパーマーケット、コンビニエンスストア、飲食店などが多い。このような定温物流では、商品の種類に応じて複数の温度帯の商品の輸送をおこなうことになり、費用削減、環境負荷削減のためには、適切な配車・配送計画をおこなうことが必要である。

このような背景から、本研究では複数の温度帯の輸送を対象としたトラックの配車・配送計画のモデル化をおこない、複数の温度帯の商品の共同配送をおこなった場合の導入効果を分析する。筆者らは既存研究において、定温物流の配車・配送計画を2段階最適化問題として定式化し、その解法として遺伝的アルゴリズム(GA)とArc-Exchange法を用いた配車・配送計画モデルの構築をおこなっている¹⁾。本研究ではこれをもとに、GAとArc-Exchange法の組み合わせの有無による最適化アルゴリズムの適用性の比較をおこなう。これにより、既存研究において提案した方法の汎用性について検証するとともに、2段階最適化問題の条件設定に応じたGAと

Arc-Exchange法の組み合わせ方法の検討をおこなうことを目的とする。

2. 配車・配送計画のモデル化

本研究では定温物流のうち、卸売業・小売業間の業種間物流や、小売業者の倉庫・店舗間の施設間物流など、端末の物流を対象とする。

本研究では食料品の定温物流を対象とすることから、配送先店舗での配送時間帯に制約条件を設けた上で、複数のトラックが配送拠点を出発し、配送すべき店舗を重複することなくすべて訪問した上で、再び配送拠点に戻るという一連の活動に対する配車・配送計画モデルを作成する。ここでは社会的な物流コストの削減を目標として、各トラックの総走行距離の合計を最小化することを目的関数とする。

ここで、本研究における配車・配送計画の決定アルゴリズムは、以下のような2段階最適化問題として定式化することができる¹⁾。すなわち、上位問題として、総走行距離が最小となるトラック配車数と各々のトラックの配送先店舗を、組み合わせ最適化問題として解く。また、下位問題として、各々のトラックの配送先店舗について総走行距離が最小となる配送順序を決定する。既存研究の配車・配送計画モデルにおいては、上位問題となる組み合わせ最適化問題の解法としてGAを用い、下位問題となる配送順序決定問題の解法として最短リンク連続検索およびArc-Exchange法を用いた¹⁾。

このような複雑な組み合わせ最適化問題には、効率的な近似解法としてGAが適していると考えられる。GAは、生物の進化の過程にヒントを得た比較的単純な基本原理をもとにした、最適化・検索問題の解法のアルゴリズムである。すなわち、遺伝子をもつ仮想的な生物集団を計算機内に設定し、あらかじめ定めた環境に適応している個体が子孫を残す確率が高くなるように世代交代シミュレーションを実行することにより、遺伝子および生物集団を進化させ、最適解を求めるものである²⁾。

一方、下位問題となる個々のトラックの配送順序の決定問題には、最短リンク連続検索およびArc-Exchange

* キーワード：物流計画，配車・配送計画，定温物流

** 正会員，博（工学），
立命館大学理工学部都市システム工学科 講師
〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1
TEL: 077-561-5033, FAX: 077-561-2667
E-mail: kogawa@se.ritsume.ac.jp

法を用いた。具体的には、ダイクストラ法を用いて求めた第1次解をもとに、1-Exchange法および2-Exchange法によって最適解を求める方法を採用した^{3),4)}。なお、この方法によって得られる配送順序は近似的なものであり、必ずしも最適解であるという保証はないが、本研究の適用範囲における1台のトラックの配送先店舗数程度の問題であれば、最適解が得られることがこれまでの研究により確認されている。

本研究では、既存研究でおこなった上位問題にGAを、下位問題にArc-Exchange法を用いた解法とともに、GAを用いて上位問題、下位問題の解を同時に探索する解法を適用し、配車・配送計画モデルの解法としての両者の比較をおこなうこととする。

3. モデルの適用事例

本研究では食料品を対象とした端末の物流を対象とするため、滋賀県内で独自の配送拠点と多数の店舗をもつスーパーマーケットを対象として、モデルの適用をおこなうこととした。具体的な設定条件は既存研究と同様であるので、ここでは概要について記載する¹⁾。

(1) モデル適用における設定条件

モデル適用における各種の設定条件は、対象とするスーパーマーケットに対してヒアリング調査をおこない、その結果にもとづき定めることとした。具体的な設定条件は以下の通りである。

a) 温度帯の種類と配送拠点の位置

配送される商品の温度帯は常温、冷蔵、冷凍の3種類であり、犬上郡多賀町におもに常温商材と冷蔵商材を扱う配送拠点、彦根市におもに冷凍商材を扱う配送拠点が存在する。現状では、これらの配送拠点間では共同配送をおこなっておらず、それぞれの配送拠点が独立して配車・配送計画をおこなっている。

b) 配送先店舗の位置

本研究では湖西地域を除く大津市内の店舗と、草津市、栗東市、守山市、野洲市内の全店舗(計22店舗)を対象とした。これは、これらの店舗が比較的狭い範囲の地域に数多く立地しているため、適切な共同配送をおこなうことにより総走行距離の削減がおこなえと考えられたためである。

図-1に、本研究で対象とする22箇所の配送先店舗と2箇所の配送拠点の配置状況を示す。

c) 配送時間帯

朝の定期配送(午前7時から8時ごろ)についてモデルを適用することとし、各トラックが最初の店舗を訪れてから最後の店舗で荷降ろしを終えるまでの制約時間を1時間と設定した。また、各店舗で荷降ろしに要する時



図-1 配送先店舗と配送拠点の配置状況

間は、独立配送(単一温度帯)の場合は6分、共同配送(複数温度帯)の場合は9分と設定した。

d) 店舗ごとの配送量

1台のトラックで複数の店舗に配送することになる冷蔵、冷凍商材を対象とすることとし、1店舗あたりの配送量を、冷蔵商材は1.6t、冷凍商材は1.3tと設定した。

e) 道路距離と所要時間

市販の地図ソフトウェアを用い、配送拠点・店舗間および店舗・店舗間の道路距離を計測した。また、使用される経路に対し、市販の道路時刻表をもとに平均走行速度を仮定し、各々の所要時間を設定した⁵⁾。

(2) 遺伝的アルゴリズムの設定条件

GAを用いて、冷蔵商材、冷凍商材の共同配送をおこなう場合、共同配送をおこなわない場合(独立配送の場合)の2つのケースについて、総走行時間が最小となるトラックの配車・配送計画をおこなう。トラックの最大数を16台と設定し、GAを用いて各トラックの配送先店舗の組み合わせ最適化をおこなう。このとき、16台のトラックの中で配送先店舗数が0となったものに関してはそのトラックは使用しないものとして、配送に必要なトラック配車数の最適化をおこなった。

また、各トラックが最初の店舗を訪れてから最後の店舗で荷降ろしを終えるまでの制約時間を1時間と設定したため、組み合わせによってこれを超えるトラックが発生した場合には目的関数にペナルティを与えることにより、制約条件を考慮した。

GAの遺伝子列は、個々の配送先店舗に対して可能性のあるトラックの台数が $16 (= 2^4)$ 台であり、対象店舗数が22店舗であることから、2ビット(0または1)

の遺伝子により、遺伝子長を 88 ($=4 \times 22$) とした。また、個体数は 40 個体、最大世代交代数は 500 回とした。交差率は 0.7 ~ 0.9、淘汰率は 0.5 ~ 0.7、突然変異率は 0.01 ~ 0.04 の範囲で複数設定し、独立配送の場合と共同配送の場合の各々について 15 パターンずつ試行して最適解を求めた。

(3) モデルの適用結果

独立配送の場合と共同配送の場合の各々について、使用するトラックの総走行距離が最小となるものを最適解として求めた。

この結果、独立配送の場合にはトラックの台数は 12 台 (冷蔵トラック 6 台、冷凍トラック 6 台) となり、トラックの総走行距離は 1,473.98km となった。冷蔵トラック、冷凍トラックの配送先の組み合わせは同一となった。図-2 に配送先の組み合わせの結果を示す。

一方、共同配送の場合にはトラックの台数は 8 台 (冷蔵・冷凍兼用車) となり、トラックの総走行距離は 1,115.77km となった。図-3 にこの場合の配送先の組み合わせの結果を示す。

これらを見ると、独立配送の場合、共同配送の場合のいずれも、GA によって効率的な配送先店舗の組み合わせが得られている様子がわかる。しかしながら、GA では試行によって必ずしも最適解でない解が得られてしまう場合もみられており、淘汰率、交差率、突然変異率といったパラメータを試行錯誤的に設定して複数回の試行をおこなうことが必要である。

また両者の結果を比較すると、共同配送を導入することによって距離では 1 日あたり 438.54km、割合では 24.30% の削減が可能となる結果となった。

(4) 配送に要する費用の比較

つぎに、1 日の配送にかかわる費用について算定し、両者の比較をおこなう。

本来は、共同配送の導入の有無によって配送拠点の管理・運営にかかわる費用は異なるものと考えられるが、ここではトラックの運行にかかわる費用についてのみ考えることとする。トラックの運行に必要な費用は、国土交通省道路局による時間価値および走行経費原単位の算出方法にもとづき、トラック事業者の従業員の機会費用、および走行経費の 2 項目として算定した⁹⁾。

これにより、独立配送の場合、共同配送の場合の各々について、最適解の場合の配送費用を算定すると、独立配送の場合は 1 日あたり 957,153 円、共同配送の場合は 1 日あたり 891,269 円となった。すなわち、共同配送をおこなうことにより 1 日あたり 65,884 円、割合では 6.88% の費用削減が可能となる結果となった。すなわち、トラックの運行にかかわる費用のみの範囲においては、

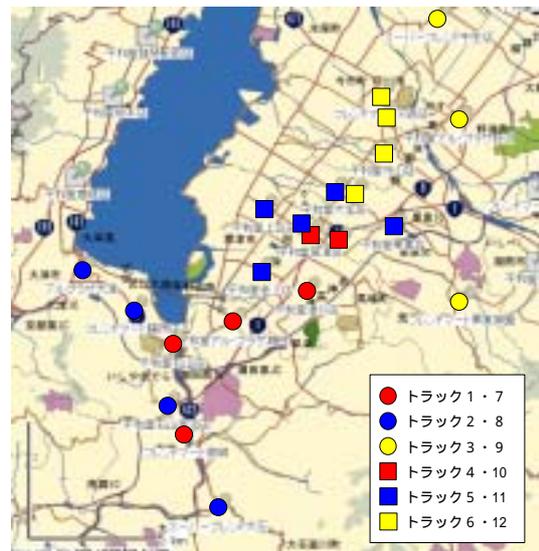


図-2 独立配送の場合の配送先の組み合わせ

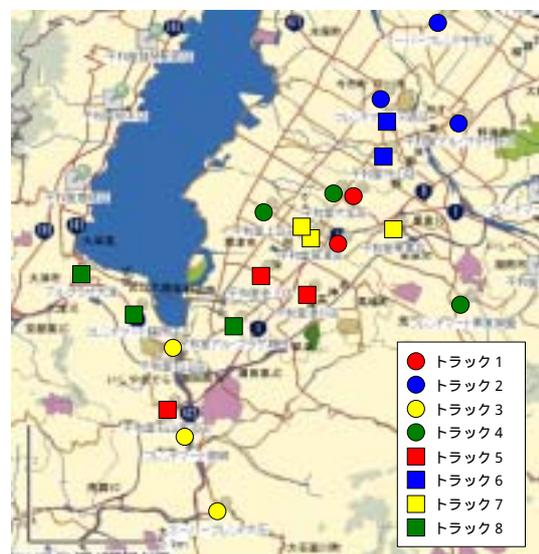


図-3 共同配送の場合の配送先の組み合わせ

共同配送の導入効果があるものと考えられる。

4. モデルの解法による比較

つぎに、上述の配車・配送計画モデルについて、モデルの解法による比較をおこなう。ここでは、2 段階最適化問題の解法における GA と Arc-Exchange 法の組み合わせの有無について検討をおこなう。

前章で示した既存研究の方法では、2 段階最適化問題の上位問題 (配送先店舗の組み合わせ最適化問題) に GA を、下位問題 (個々のトラックの配送順序決定問題) に Arc-Exchange 法を用いて、最適解の探索をおこなった。GA および Arc-Exchange 法の両者とも近似解法であることから、ここでは既存研究のように両者を組み合わせた解法の場合と、GA を用いて配送先店舗と配送順序の同時決定をおこなう解法の場合との比較をおこな

うこととした。

(1) 同時決定モデルの概要

ここでは、GA を用いて配送先店舗と配送順序の同時決定をおこなうモデルについて示す。

GA を用いて各々のトラックの配送先店舗と配送順序を同時に決定するため、各々の配送先店舗について可能性のあるトラックと配送順序との両者をあわせて GA の遺伝子列としてあらわすこととする。ここで、トラックの最大数は前章と同じく 16 台とする。また、個々のトラックの配送先店舗数は配送量とトラックの積載量との関係から最大でも 8 店舗以内と考えられる。このため GA の遺伝子列は、個々の配送先店舗に対して可能性のあるトラックの台数が $16 (= 2^4)$ 台、配送順序が $8 (= 2^3)$ 位以内であり、対象店舗数が 22 店舗であることから、2 ビット (0 または 1) の遺伝子により、遺伝子長を $264 (= 4 \times 3 \times 22)$ とした。

比較のため、その他の設定条件は前章の場合と同様とした。すなわち、個体数は 40 個体、最大世代交代数は 500 回とした。交差率は 0.7~0.9、淘汰率は 0.5~0.7、突然変異率は 0.01~0.04 の範囲で複数設定し、独立配送の場合と共同配送の場合の各々について 15 パターンずつ試行して最適解を求めた。

(2) 最適化過程と結果の比較

同時決定による最適解の探索をおこなった結果、トラックの配送先店舗、配送順序については既存研究と同様の結果が得られた。また別途おこなった総当たり法による最適解の探索により、この解が最適解であることを確認することができた。すなわち、本研究の範囲においてはいずれの方法も配車・配送計画モデルの解法として妥当であることが示された。

しかしながら、最適化方法としての観点からみると、GA と Arc-Exchange 法を組み合わせた解法の場合には、GA の設定条件および初期乱数の異なる 15 パターンの試行のうち 11 パターンで最適解が得られていたのに対し、同時決定モデルの場合には、最適解が得られたのは 15 パターンの試行のうち 5 パターンであった。また、最適解に到達しなかった 10 パターンについて最大世代交代数を増加させて再計算をおこなったところ、4 パターンについては最適解に到達したものの、6 パターンについては最適解に到達しないままであった。

これは、トラックの配送先店舗と配送順序の同時決定をおこなうために遺伝子列を増大していることや、最適化過程において制約条件を満たさない致死遺伝子が多く発生することから、最適化過程において世代交代を多く要すること、また局所解に陥りやすくなっていることによるものと考えられる。

しかしながら、より汎用性のある結論を得るためにはより多くの試行をおこなうとともに、設定条件の異なる配車・配送計画モデルの場合においても同様の傾向が得られることを確認する必要があると考えられる。

5. おわりに

本研究では定温物流における共同配送の導入効果について、GA を用いた配車・配送計画をおこない、トラックの総走行距離と配送に要する費用の面から共同配送の導入の有無による比較をおこなった。この結果、ケーススタディの適用事例においては、総走行距離、配送費用の両面において削減が可能となることが示された。

また、モデルの解法として、GA と Arc-Exchange 法を組み合わせた解法の場合と、GA を用いて同時決定をおこなう解法の場合との比較をおこなった。この結果、ケーススタディの範囲においてはいずれの方法も最適解が得られることが示されたが、最適化方法としては同時決定モデルの方が世代交代を多く要すること、局所解に陥りやすくなっていることが示された。

今後の課題としては、より汎用性のある結論を得るためにより多くの試行をおこなうとともに、設定条件の異なる場合においても同様の傾向が得られることを確認する必要があると考えられる。また、本研究では共同配送について導入の有無のみを比較、検討してきたが、現実的には配送先となる店舗の配置状況、商品の配送量などに応じて独立配送、共同配送を適切に組み合わせることが必要となると考えられる。今後は、これらの組み合わせを考慮できるモデルの作成が必要となると考えられる。

参考文献

- 1) 小川圭一：遺伝的アルゴリズムを用いた定温物流の共同配送に対する配車・配送計画モデルの構築，土木計画学研究・講演集，Vol.32，CD-ROM，No.137，2005。
- 2) 安居院猛，長尾智晴：ジェネティックアルゴリズム，昭晃堂，1993。
- 3) 塚口博司，西脇康次，鈴木正隆：都心商業地区における動的な集荷スケジュール決定モデルの構築と集荷活動の合理化，土木計画学研究・論文集，Vol.20，No.3，pp.665-672，2003。
- 4) L. J. J. Van Der Bruggen, J. K. Lenstra, P. C. Schuur: Variable-Depth Search for the Single-Vehicle Pickup and Delivery Problem with Time Windows, Transportation Science, Vol.27, No.3, pp.298-311, 1993。
- 5) 道路時刻表研究会：道路時刻表 '03~'04，道路整備促進期成同盟会全国協議会，2003。
- 6) 国土交通省道路局：時間価値および走行経費原単位（平成 15 年価格）の算出方法（道路事業評価手法検討委員会資料），<http://www.mlit.go.jp/road/ir/iinkai/1pdf/s1-56.pdf>, pp.50-71, 2003。