

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*

Modeling of the Vehicle Routing and Scheduling Problem for Co-Operative Delivery in Fixed Temperature Transport Using Genetic Algorithms*

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、これらにと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。このとき、2段階の最適化問題となる配車・配送計画の解法として遺伝的アルゴリズム(GA)を用い、効率的な配車・配送計画をおこなうためのモデルの構築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、

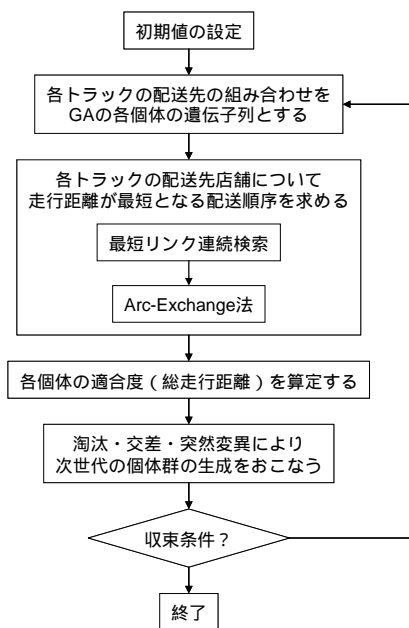


図-1 配車・配送計画モデルのフロー

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。上位問題として、GAを用い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。このとき下位問題として、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、最短リンク連続検索および Arc-Exchange 法を用いて求める^{1),2)}。図-1にこの2段階最適化問題のフローを示す。

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

* 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.ritsumeai.ac.jp

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³⁾。

下位問題となる個々のトラックの配送順序の決定には、最短リンク連続検索および Arc-Exchange 法を用いる。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^{1),2)}。なお、この手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すでに確認されている。

3. モデルの適用～ケーススタディ

(1) 対象とする配送拠点と店舗

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。このため、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、その結果をもとに設定条件を定めることとした。以下に、本研究で対象とする配送拠点と店舗の位置について示す。

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

現実には滋賀県内の全店舗に対して上記の配送拠点から配送がおこなわれているが、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。この他の店舗はこれらの対象店舗からやや離れた位置に立地しているため、1台のトラックで後述の配送時間帯の制約条件の中で配送をおこなうことは困難であると考え、本研究の対象には含めないこととした。

図-2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。

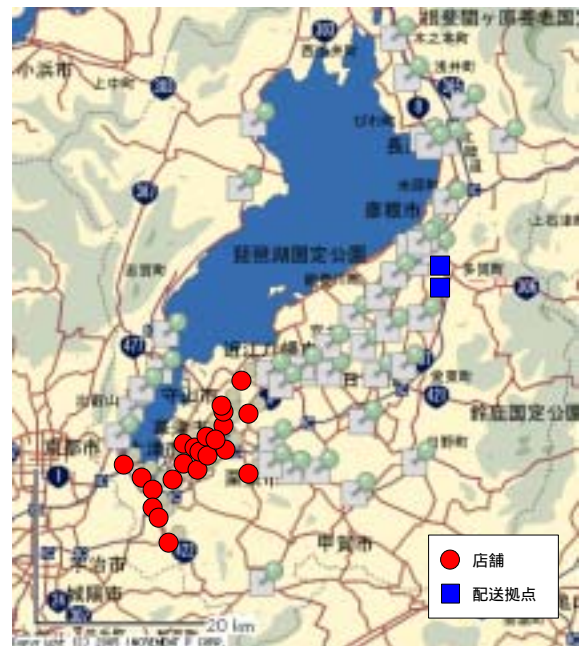


図-2 配送先店舗と配送拠点の配置状況

(2) モデル適用における設定条件

ヒアリング調査の結果をもとに、モデル適用における設定条件を以下のように定めることとした。

a) 配送時間帯

ヒアリング調査によると、定期配送トラックは朝と昼に定期配送をおこなっており、朝は7時から8時にかけて常温トラック、冷蔵トラック、冷凍トラックがそれぞれ各店舗を訪れる。これより、朝の定期配送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。

b) 店舗ごとの配送量

ヒアリング調査によると、常温トラックは4t車で1店舗分、冷蔵トラックは4t車で2~3店舗分、冷凍トラックは4t車で3店舗分の商品を積載することが多い。これより、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。

c) 配送拠点・店舗間および店舗・店舗間の距離

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。なお、配送拠点・店舗間については距離が長いいため、有料道路(名神高速道路)を用いることとした。

d) 配送拠点・店舗間および店舗・店舗間の所要時間

上述の距離計測において使用される経路に対し、平均走行速度を仮定して各々の所要時間を設定した。ここで平均走行速度は、高速道路(名神高速道路)、一般国道

(1号、8号、422号)については市販の道路時刻表の該当区間を用いて算定した⁴⁾。その他の県道、市道、町道については詳細なデータがないため、上述の国道1号、8号、422号の平均をとって平均走行速度と仮定した。

(3) 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の個体数は40個体、最大世代交代数は500回とした。また交差率は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、それぞれの場合について15パターンずつ試行して最適解を求めた。

(4) 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-3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-4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。

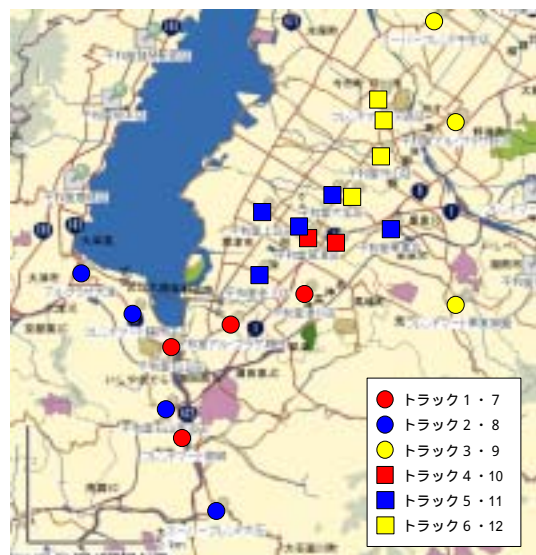


図-3 独立配送の場合の配送先の組み合わせ

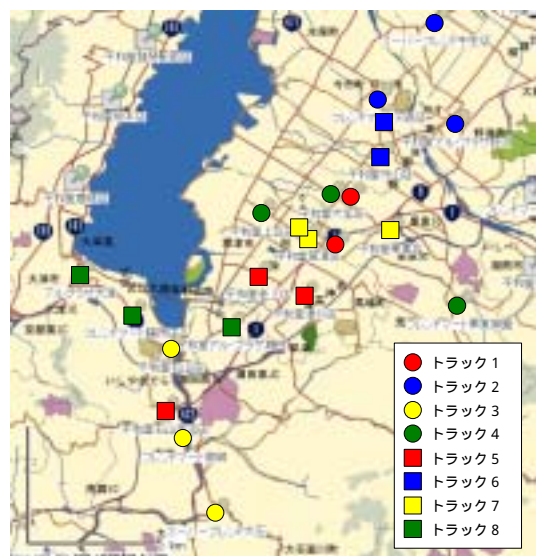


図-4 共同配送の場合の配送先の組み合わせ

4. 配送に要する費用の比較

(1) 費用算定の考え方

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⁵⁾。

具体的には、トラック事業者の従業員の機会費用は、ドライバーの単位労働時間あたりに要する事業者の現業部門の人件費(ドライバーおよび付帯業務に従事する労働者の人件費)が適用され、78.83[円/分]とされている。

また走行経費については、トラック 1 台が 1km の距離を走行した場合の走行経費（燃料費、油脂費、タイヤ・チューブ費、整備費、車両償却費の 5 項目）を計測した走行経費原単位が用いられており、燃料費については走行速度別の燃料消費量にもとづく費用（本研究では 18.88[円/km]）、その他の費用についてはトラックの種類ごとのレンタル料金（本研究ではトラックの種類により 35,500~106,480[円/日]）を用いている。

（ 2 ） 配送費用の算定結果

上記の設定条件にもとづき、独立配送の場合、共同配送の場合の各々について、前章で求めた最適解の場合の配送費用を算定する。

a) 独立配送の場合

トラック事業者の従業員の機会費用は、冷蔵、冷凍をあわせて 12 台のトラックでの走行時間、荷積み、荷降ろしの時間の合計が 1,612 分であるため、単位時間あたりの費用 78.83[円/分]を用いて 127,074 円となる。

燃料費は、前章の結果より総走行距離が 1,473.98km となるので、1km あたりの燃料費 18.88[円/km]を用いて 27,829 円となる。燃料費以外の走行経費は、配送に使用されたトラックの種類を判別して算定する。各々のトラックの配送先店舗数をもとに必要な積載量を算定し、使用されると考えられるトラックの種類を設定した。具体的には、冷蔵トラックが 4t 車 2 台、7t 車 3 台、8t 車 1 台、冷凍トラックが 3t 車 1 台、5t 車 1 台、6t 車 3 台、7t 車 1 台となる。これらのレンタル料金を合計すると、1 日あたりの費用が 802,250 円となる。

これらを合計し、独立配送の場合の配送費用は 1 日あたり 957,153 円となる。

b) 共同配送の場合

トラック事業者の従業員の機会費用は、8 台のトラックでの走行時間、荷積み、荷降ろしの時間の合計が 1,094 分であるため、単位時間あたりの費用 78.83[円/分]を用いて 86,240 円となる。

燃料費は、前章の結果より総走行距離が 1,035.44km となるので、1km あたりの燃料費 18.88[円/km]を用いて 19,549 円となる。燃料費以外の走行経費は、必要となる車両が冷蔵・冷凍兼用車の 6t 車 2 台、9t 車 6 台となることから、これらのレンタル料金を合計すると 1 日あたりの費用が 802,250 円となる。

これらを合計し、独立配送の場合の配送費用は 1 日あたり 891,269 円となる。

（ 3 ） 配送費用面での比較

配送費用の算定結果の比較をおこなうと、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。しかしな

がら、ここではトラックの運行にかかわる費用のみを算定しており、共同配送の導入によって変化し得る配送拠点の管理・運営にかかわる費用については考慮していない。このため、個々の事業者としてはこのようなトラックの運行にかかわる費用と、配送拠点の管理・運営にかかわる費用との両者の変化を比較して共同配送の導入を検討することになる。

しかしながら、前章で示したようにトラックの総走行距離については削減効果が確認されていることから、交通混雑の緩和、環境負荷の削減といった交通面からの社会的な導入効果はあるものと考えられる。

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、総走行距離については 1 日あたり 438.54km、割合では 24.30% の削減が可能となること、また配送費用の面でも 1 日あたり 65,884 円、割合では 6.88% の削減が可能となることが示された。

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。

謝辞

本研究の遂行にあたっては、立命館大学理工学部学生 小金丸泰斗氏（現・国分株式会社 勤務）にご協力いただいた。ここに記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.