

多顧客の配車配送計画問題における遺伝的アルゴリズムを用いた解法比較に関する研究*

Performance Comparison of Genetic Algorithms on Vehicle Routing Problem with Large Number of Customers*

佐々木英人**・中村有克***・谷口栄一****・山田忠史*****

By Hideto SASAKI**・Yuki NAKAMURA***・Eiichi TANIGUCHI****・Tadashi YAMADA*****

1. はじめに

生活水準の向上に伴い、消費者のニーズが多様化・高度化し、Just-in-Time輸送のような高度なサービスが求められるようになった。物流事業者は、多頻度・小口輸送を行うことにより、高度なサービスを実現している。しかし、走行するトラックの増加が、都市内の交通に与える影響は、無視できるものではなく、都市内交通や環境負荷の観点からも、都市内貨物車交通の効率化は、重要な問題である。

本研究において、顧客数の多い、広範な地域における効率的な配車配送計画の策定を目指す。配車配送計画問題は、顧客数の増加に応じて、指数関数的に解の組み合わせ数が増加するNP-hardな問題である。オペレーションズリサーチの分野において、顧客数の多い問題における配車配送計画問題の解法に関する研究が進んでおり¹⁾、ベンチマーク問題^{2),3)}を用いて、解法のパフォーマンスが検証されている。本研究においては、従来のオペレーションズリサーチの分野における配車配送計画問題と異なり、リンク所要時間の変動を考慮し、より現実的な配車配送計画の策定を目指す。したがって、詳細な解法の精度評価とはならないが、上記のベンチマーク問題を用いて、解法のパフォーマンスの検証を行う。検証を行った解法により、東京エリアを対象とした現実のコンビニエンスストアチェーンの配送実績を参考とし、配車配送計画問題を求解する。配車配送計画の結果を比較し、顧客数の多い問題における解法のパフォーマンスを検討する。

*キーワード：物流計画、配車配送計画

**学生員，京都大学大学院工学研究科

(京都府西京区京都大学桂，

TEL:075-383-3231, FAX:075-950-3800)

***学生員，修士(工学)，京都大学大学院工学研究科

(京都府西京区京都大学桂，

TEL:075-383-3231, FAX:075-950-3800)

****フェロー会員，工博，京都大学大学院工学研究科

(京都府西京区京都大学桂，

TEL:075-383-3229, FAX:075-950-3800)

*****正会員，博士(工学)，京都大学大学院工学研究科

(京都府西京区京都大学桂，

TEL:075-383-3230, FAX:075-950-3800)

2. 配車配送計画モデル

(1) 定式化

本研究では、都市内の集荷活動に注目し、最適な配車配送計画とは、総物流費用(すなわち、車両費、運行費)を最小化するように、顧客の割当・訪問順序・出発時刻などを算定すると考える。(紙面の都合上、配車配送計画問題の定式化などの詳細については参考文献4)を参照されたい。)

(2) 顧客間経路選択

本研究では、交通ネットワークを用いて配車配送計画を検討する。それゆえ、交通ネットワークにおける多数の経路の中から顧客間経路を選択し、配車配送計画に適用する必要がある。本研究の対象とする交通ネットワークは、顧客数が多いため大規模な交通ネットワークとなる。したがって、大規模なネットワークに適用可能な経路探索手法が必要とされる。本研究では、代表役な最短経路探索手法であるDijkstra法⁵⁾を用いる。Dijkstra法は、単一値に基づき最短経路を探索するので、本研究では、与えられている所要時間の履歴の平均値を、単一値として用いる。

(3) 近似解法

既往の研究⁴⁾において、上記の配車配送計画問題を、遺伝的アルゴリズム(GA)を用いて、近似解を求解している。しかし、顧客数の多い配車配送計画問題に、GAを適用すると、早期収束やヒッチハイキング等の問題が懸念され、十分な精度の解が求まらない可能性がある。したがって、本研究では、効率的かつ精度良く求解するために、GAを改良した近似解法の導入を検討する。

・並列分散遺伝的アルゴリズム(PDGA)

PDGAにおいて母集団は、複数のサブ母集団に分割され、複数のプロセッサを用いてサブ母集団ごとに、独立にGAの計算が行われる。一定世代ごとに、移住と呼ばれるサブ母集団間の解の交換を行い、母集団全体での解の探索を可能としている。移住のほかにもサブ母集団間の交流がないため、母集団全体では多様性が保たれ、局所

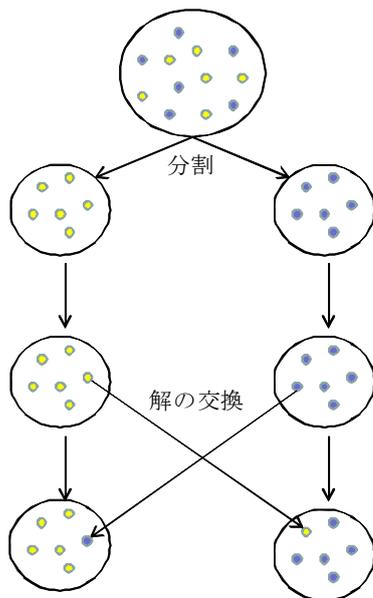


図-1 PDGAの概念図

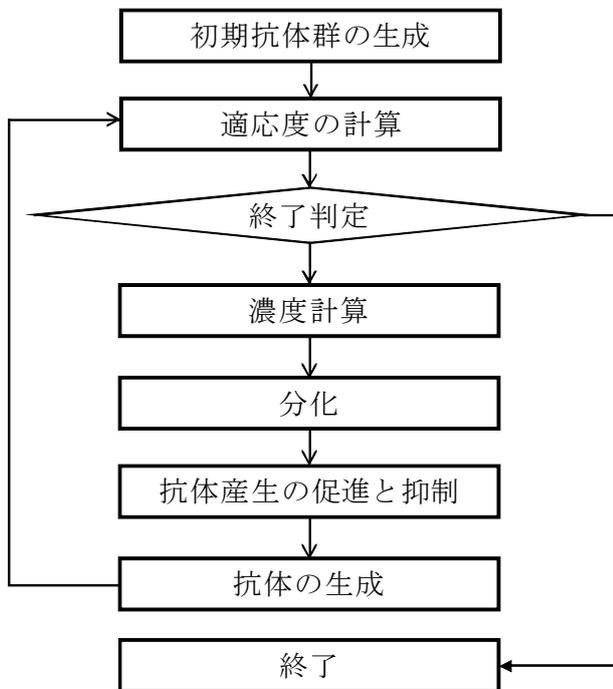


図-2 IAのフローチャート

解へと陥らずに、最適解を探索できる。図-1にPDGAの概念を示す。

・免疫アルゴリズム (IA)

IAは、生物の免疫生成機構と自己調整機構を模倣し構築された近似解法である。IAは、過去に獲得した抗原の排除に有効な記憶細胞を、初期母集団の生成に用いることにより、迅速に解を探索できる。また、類似個体の過剰な生成を抑制することにより、多様性のある母集団を生成することができるため、局所解へと陥らずに最適解を探索することが可能である。図-2に、IAのフロ

ーチャートを示す。

これらの近似解法では、初期解をランダムに作成することが一般的とされているが、解の組み合わせ数が多すぎるため、実行不可能解が生成されやすく、解の探索として非効率となる。したがって、本研究では、挿入法を用いて、初期世代を作成する。

3. 性能検証

(1) 概要

近似解法では、解の精度が保証されないため、様々な近似解法がベンチマーク問題を用いて、解法の性能を評価している。本研究では、顧客数の多い配車配送計画問題における近似解法の性能を評価するため、Gehring and Hombergerのベンチマーク問題³⁾を用いて、解法の性能検証を行う。

本研究では、上記のベンチマーク問題における顧客数が400、顧客の分布はランダムの問題を用いる。上記のベンチマーク問題は、顧客数・顧客の分布において問題が分類されており、本研究において検討する東京エリアの道路ネットワークと同様の条件となる問題を選定し、近似解法のパフォーマンスの評価を行った。

上記のベンチマーク問題における目的関数は、まず運行トラック台数の最小化を行い、次に総走行距離の最小化を行うよう設定されている。ここで、顧客間の走行距離は、顧客間のユークリッド距離を用いる。一方、本研究において用いる配車配送計画モデルでは、目的関数は、車両費用と運行費用の和で表され、顧客間の移動費用は変動する所要時間を考慮して与えられる。このように、上記のベンチマーク問題における設定は、本研究において用いる配車配送計画モデルの設定とは異なる。

上述のように、本研究における配車配送計画モデルは、従来の配車配送計画問題と異なっており、解法のパフォーマンスとして、ベンチマーク問題の最良解と直接比較することに大きな意味はない。また、本研究において改良する各手法のパフォーマンスを検討するため、PDGAとIA、それぞれの計算時間を基準とし、得られる解の比較を行うことにより性能検証とする。そこで、ケースAをPDGAの計算時間、ケースBをIAの計算時間を基準とし、比較検討を行う。

(2) パラメータ設定

本研究における近似解法は、複数のパラメータを持ち、その組み合わせから有効なパラメータを設定する必要がある。しかし、すべてのパラメータを検討することは困難であるため、本研究では、重要なパラメータである交叉率と突然変異率を調整する。交叉率は10%から

表一 計算結果

	運行トラック (台)		総走行距離	
	ケースA	ケースB	ケースA	ケースB
最良解	8	8	5,988	
挿入法による初期解	9	9	4,952	
GA	9	9	4,696	4,688
PDGA	9	9	4,656	4,592
IA	9	9	4,751	4,685

100%の範囲において10%ずつ、突然変異率は1%から10%の範囲において1%ずつ変化させ、調整した。

その結果、交叉率90%、突然変異率1%の場合、他のパラメータ設定の場合と比べて、最良の解が得られ、得られた解の平均値により比較した場合にも良いパフォーマンスが得られた。調整を行ったパラメータを含め、本研究において用いたパラメータを以下に示す。

・GA

- 世代数 : 1,000
- 個体数 : 6,000
- 交叉率 : 0.9
- 突然変異率 : 順序交叉及び二点交叉
- 交叉方法 : 0.01
- 突然変異方法 : 削除・挿入
- エリート個体 : 60

・PDGA

- 移住率 : 最良な1個体
- 移住間隔 : 50世代

・IA

- 類似度の閾値 : 連続した3つの遺伝子情報

(3) 検証結果

運行トラック台数に関して、両ケースにおいて差はないが、総走行距離に関して、ケースAではPDGA→GA→IAの順に小さく、ケースBにおいてはPDGA→IA→GAの順に小さい。両ケースにおいて、PDGAの総走行距離が最小となるため、本研究において比較した近似解法において、PDGAが最も効率的に求解することができると言える。

さらに、本ベンチマーク問題において知られている最良解と、PDGAを用いて得られた解を比較する。これらは、問題条件が異なるため、厳密には比較できないが、運行トラック台数は、本研究のモデルにおいて最良解より1台多い。しかし、多くの車両を利用する結果、最良解の約7割の総走行距離による配送を行っている。

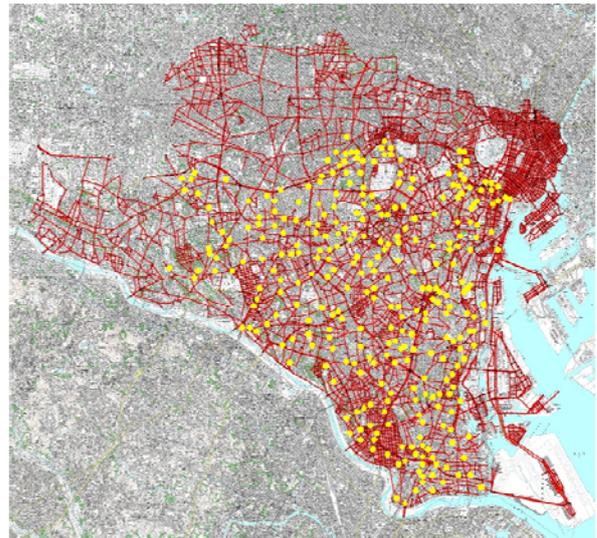


図-3 対象道路ネットワーク (顧客の配置)

4. 東京エリアを対象としたケーススタディ

(1) 概要

本研究における解法を、400顧客、ランダムな顧客配置のベンチマーク問題に適用したことにより、400顧客程度の配車配送計画問題における解を算出することが可能であると確認できた。

そこで、本研究では東京エリアを対象とし、あるコンビニエンスストアチェーンの顧客配置、配送情報などを基に配車配送計画の策定を行う。対象道路ネットワークと道路ネットワークにおける顧客の配置を、図-3に示す。対象道路ネットワークは、ノード数9,411、リンク数25,911である。各リンクの所要時間は、主にVICS情報により与え、VICS情報の存在しないリンクについては、所要時間の平均値と標準偏差は、リンク長に比例すると仮定し、与えることとした。

対象道路ネットワーク内に存在し、配送情報の得られるコンビニエンスストアチェーンは、約290店舗であった。したがって、本研究では、これらの対象店舗に対する配車配送計画を策定する。配送情報によると、配送トラックは、朝・昼・夜の3回の配送を行っており、トラック1台1台の配送量、配送店舗などの情報が得られる。本研究では、配送量を各顧客における需要として用いた。顧客における到着指定時間帯に、14~17時の時間帯を用

表-2 配車配送計画による期待費用

	車両費用(円)	運行費用(円)	総費用(円)
GA	791,730	118,170	909,900
PDGA	781,313	112,794	894,106

表-3 仮想配送結果

	車両費用(円)	運行費用(円)	早着ペナルティ(円)	遅刻ペナルティ(円)	総費用(円)
GA	791,730	190,617	56,207	104,758	1,143,312
PDGA	781,313	182,152	59,320	86,209	1,108,994

いた。さらに、トラックは、2tトラックを100台配備した。対象道路ネットワーク内の顧客に対し配送を行う実際の配送拠点は、対象道路ネットワークの範囲外に存在している。実際の配送においては、高速道路を利用し、対象道路ネットワーク内の顧客に到着する。したがって、本研究におけるデポは、仮想的に多くの配送車両が利用する高速道路のインターチェンジと設定する。

さらに、計画策定に用いたものとは異なる1日のリンク所要時間を用いて、策定した配車配送計画のパフォーマンスを検討する。

(2) 計算結果

上述のような問題設定に基づき、従来のGAとPDGAを用いて、配車配送計画の策定を行う。得られた結果を表-2に示す。得られた結果は、GAに比べて、PDGAにおいて車両使用台数の1台少ない解となっている。運行費用は、大きな差異はみられないものの、PDGAにおける費用のほうが小さくなった。総じて、PDGAにおける期待費用のほうが小さく、優れた解が得られている。

次に、異なる1日のリンク所要時間を用いた仮想配送の結果を、表-3に示す。ここで、配車配送計画策定時には、各顧客における時間枠は、遅刻および早着を許さないhard time windowを設定している。しかし、現実的には、遅刻および早着が生じてしまうため、仮想配送を行う際には、遅刻・早着ペナルティが生じるものとして、費用の計算を行う。GAとPDGAそれぞれを用いた仮想配送による結果を比較すると、PDGAを用いた結果は、早着ペナルティが約5%増加するものの、車両費用が1%、運行費用が4%、遅刻ペナルティが17%減少した。全体として、総費用が3%減少した。

したがって、仮想の配送を検討した結果においても、GAを用いた配車配送計画よりPDGAを用いた配車配送計画のほうが、優れたパフォーマンスを示した。

5. おわりに

本研究では、都市内の貨物車交通に着目し、顧客数の多い大規模な配送活動に対して、配車配送計画問題を適用することを目指し、配車配送計画問題の解法の高度化

について検討した。従来の遺伝的アルゴリズムによる近似解法に加えて、並列分散遺伝的アルゴリズム、免疫アルゴリズムを用いた。多少異なった構造の問題であるものの、従来の配車配送計画問題のベンチマーク問題を用いて、計算時間を基準として、これらの解法のパフォーマンスを比較した。その結果、並列分散遺伝的アルゴリズムを用いた場合が、他の手法と比べて、最良の解が得られた。さらに、平均的なパフォーマンスの分析においても、並列分散遺伝的アルゴリズムを用いた結果が優れていた。ベンチマーク問題による検討に基づき、並列分散遺伝的アルゴリズムを用い、実際の配送活動の情報を活用して、東京エリアにおけるケーススタディを行った。従来の遺伝的アルゴリズムと並列分散遺伝的アルゴリズムを用いて、配車配送計画を策定し、仮想の配送を実施し、解法のパフォーマンスを比較した。ベンチマーク問題における検討同様に、並列分散遺伝的アルゴリズムにおける結果は優れたものとなった。

本研究では、顧客数の多い問題に対して、一定精度の配車配送計画が策定できたと考えられる。現実的な配送活動の状況が表現されたといえる。今後、さらなる配車配送計画の向上のため、配車配送計画問題の解法の高度化、道路ネットワークの要素のさらなる導入が望まれる。

参考文献

- 1) Kallehauge, B., Larsen, J. and Madsen., O.B.G.: Lagrangian Duality Applied to the Vehicle Routing Problem with Time Windows, Computers & Operations Research 33, pp.1464-1487, 2006.
- 2) Solomon, M. M.: Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints, Operations Research 35, pp.254-265, 1987.
- 3) Gehring, H. and Homberger, J.: A Parallel Two-phase Metaheuristic for Routing Problems with Time Windows, Asia-Pacific Journal of Operational Research 18, pp.35-47, 2001.
- 4) 谷口栄一, 山田忠史, 細川貴志: 都市内集配トラックの配車配送計画の高度化・共同化による道路交通への影響分析, 土木学会論文集, No.625/ -44, pp.149-159, 1999.
- 5) Dijkstra, E.W.: A Note on Two Problems in Connexion with Graphs, Numerische Mathematik, 1, pp.269-271, 1959.