

研究種目：若手研究 (B)  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19700134  
 研究課題名 (和文) 超大規模巡回セールスマン問題に対する遺伝的アルゴリズムの適用と実問題への応用  
 研究課題名 (英文) Genetic algorithm for very large traveling salesman problems and its applications to practical applications  
 研究代表者  
 永田 裕一 (NAGATA YUICHI)  
 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・助教  
 研究者番号：70334795

## 研究成果の概要 (和文)：

申請者は遺伝的アルゴリズム (Genetic algorithm, GA) を Traveling salesman problem (TSP) へ適用する一連の研究を行った。TSP は最も代表的な NP 困難な組合せ最適化問題であり、新しい解法の枠組みを考案する際のベンチマーク問題として多くの近似解法や厳密解法が提案されているため、非常に競争が激しいベンチマーク問題である。考案した GA は (計算時間が比較的多く与えられた場合) 世界で最も優れた TSP の近似解法として高い評価を受けている。また、Memetic algorithm (MA) とは GA と局所探索法を組合せた手法であるが、MA を用いて物流最適化やスケジューリングに関する組合せ最適化問題に対して、非常に優れた近似解法を考案した。

## 研究成果の概要 (英文)：

We have developed an genetic algorithm (GA) for the traveling salesman problem (TSP). The GA uses edge assembly crossover (EAX), which is known to be efficient and effective for solving TSPs. We first propose a modified EAX algorithm that can be executed more efficiently than the original, which is 2-7 times faster. We then propose a selection model that can efficiently maintain population diversity at negligible computational cost. The edge entropy measure is used as an indicator of population diversity. We further improved the performance of the GA with EAX, especially for large instances of more than 10,000 cities. Our method is highly competitive with existing approaches. Moreover, we have developed very efficient MAs for several vehicle routing problems by extending the GA developed for the TSP.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,300,000	0	1,300,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,500,000	360,000	2,860,000

研究分野：遺伝的アルゴリズム，強化学習  
科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：遺伝的アルゴリズム，巡回セールスマン問題，車両配送問題，メメティックアルゴリズム

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 組合せ最適化問題の近似解法の一つとして，遺伝的アルゴリズム(GA)や Memetic algorithm (MA)の研究は広く行われてきた。しかし，これらの手法で従来の局所探索をベースとして手法に完全に優る方法が開発された例はあまり報告されていなかった。申請者のそれまでの研究で，組合せ最適化問題でも代表的な問題である巡回セールスマン問題に対して非常に精度の良い解を求めることができるGAを開発していたが，計算時間が多くかかることが問題となっていた。

(2) Memetic algorithm (MA)とはGAと局所探索を組合せたメタヒューリスティクスで，近年，様々な組合せ最適化問題に対してMAによる優れた近似解法が考案されている。しかし，MAで良い成果が得られていない問題も多く，優れたMAを設計するための指針やどのような問題にMAが有効であるかは良く分かっていない。また，MAは計算コストが比較的多くかかるという点が問題とされており，計算コストと計算精度の両面で従来手法を超えるようなMAを考案することは非常に困難であった。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は申請者が提案している巡回セールスマン問題 (TSP) に対するGAを改良し，これまでに提案されているTSPの近似解法の中で最も優れた近似性能を実現することである。

(2) さらにTSPに対して提案したGAのアイデアをロジスティクス(物流)の最適化へ応用し，適当な局所探索と組合せることで優れたMAを考案する。さらに，ベンチマーク問題で洗練化したMAをロジスティクスの実問題へ応用するための研究開発も行う。

## 3. 研究の方法

(1) TSPに対してこれまでに考案していたGAのアイデアをさらに推し進めて，GAの性能を改善する。特に，交叉EAXの計算コストの削減と，交叉方法そのものの洗練化を行う。また，GAの性能を改善するための多様性維持に優れた世代交代モデルの開発を

行う。

(2) ロジスティクスの基本的ベンチマーク問題である Vehicle routing problem (VRP) を対象に優れた探索性能を持つGAやMAを開発する。特に，VRPで最も基本的な問題として非常に多くの手法が適用されている Capacitated VRP (CVRP)と Vehicle routing problem with time window (VRPTW)を対象として，優れたMAを開発する。

## 4. 研究成果

(1) TSPに対する一連のGAの開発，特に交叉の改良と効率的な集団の多様性維持法を考案した。この結果，計算時間が比較的長く与えられた場合において，世界で最も優れた性能を持つTSPの近似解法をGAを用いて達成した。ここ最近30年間のTSPのstate-of-the-art近似解法は全てLin-Kernighanの近傍を用いた局所探索を改良した手法であったが，本研究で提案したGAによりそれらの手法を上回る性能を実現したことが高く評価されている。また，GAの一般的な問題点である計算コストの多さを解決する一般的なアイデアとして局所的な交叉法の考え方を提案し，TSPを例としてその有効性を実証した。

(2) TSPの交叉方法を車両配送問題(VRP)へ適用できるように改良し，GAと局所探索を組合せた手法である memetic algorithm (MA)の交叉として用いることで，優れた近似解法を構築した。これまでのところ，VRPの代表的な問題クラスである Capacitated VRP (CVRP)と時間枠付きVRP (VRPTW)に対して，非常にすぐれた成果を上げている。また，MAの一般的な問題点である計算コストの多さを解決する一般的なテクニックとして，局所的な交叉法のアイデアと局所探索の探索範囲を適切に制限する方法を組合せた考え方を提案し，VRPを例として，その有効性を実証した。

(3) VRPに関する研究の過程で，Guided Ejection Search (GES)と(申請者が呼ぶ)新しい，メタ戦略の枠組みを構築した。この手法によりVRPTWやジョブショップスケジューリング問題(JSP)に対して非常に優れた近似解法を構築した。特にJSPに対しては

現在の最強手法に匹敵する探索性能を実現した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

- ① 永田 裕一, 小林 重信, 東条 敏: 効果的な局所探索制限による Memetic Algorithm の高速化, 人工知能学会論文誌, vol. 25, no. 2, pp. 299-310, (2010), 査読有り.
- ② Y. Nagata, O. Bräysy, W. Dullaert: A penalty-based Edge Assembly Memetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows, *Computers & Operations research*, Vol. 37, No. 4, pp. 724-737 (2010) , 査読有り.
- ③ Yuichi Nagata, Olli Bräysy: A Powerful Route Minimization heuristic for the Vehicle Routing Problem with Time Windows, *Operations Research Letters*, vol. 37, no. 5, pp. 333-338 (2009), 査読有り.
- ④ Yuichi Nagata, Olli Bräysy: Edge Assembly based Memetic Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem, *Networks*, vol. 54, no. 4, pp. 205-215, (2009), 査読有り.
- ⑤ 永田 裕一: 均等に個体を分散化する適応的ニッチング GA の提案, 人工知能学会論文誌, vol. 24 no. 1, pp. 92-103, (2009), 査読有り.
- ⑥ 永田 裕一: 局所的な交叉 EAX を用いた GA の高速化と TSP への適用, 人工知能学会論文誌, vol. 22, no. 5, pp. 524-552, (2007), 査読有り.

[学会発表] (計 14 件)

- ① 永田裕一, 小林重信: Guided Ejection Searchによる車両配送問題の車両数最小化, 進化計算シンポジウム 2009, 2009/12/29, 沖縄
- ② Yuichi Nagata, Shigenobu Kobayashi: Genetic Tabu Search for the Job Shop Scheduling Problem, The 8th Metaheuristics International Conference (MIC-2009), 2009/7/14, Hamburg, Germany.
- ③ Yuichi Nagata, Satoshi Tojo: Guided Ejection Search for the Job Shop Scheduling Problem, The 9th European Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization (EvoCOP-2009), 2009/4/17, Tubingen, Germany.
- ④ 永田裕一: Guided ejection searchによるジョブショップスケジューリング問題の最適化, 進化計算シンポジウム 2008, 2008/12/20, 登別.
- ⑤ Yuichi Nagata, Olli Bräysy: A powerful Route Minimization Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Time Window, International Workshop Vehicle Routing in Practice 08 (VIP'08), 2008/6/13, Oslo, Norway.
- ⑥ Yuichi Nagata, Olli Bräysy: Efficient Local Search Limitation Strategies for Vehicle Routing Problems, The 8th European Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization (EvoCOP-2008), 2008/3/27, Napoli, Italy.
- ⑦ Yuichi Nagata: Efficient Evolutionary Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows, Edge Assembly Crossover for the VRPTW, Proceedings of the 2007 Congress on Evolutionary Computation (CEC-2007), 2007/9/26, Singapore.
- ⑧ Yuichi Nagata: Effective Crossover Operator for the traveling Salesman Problems: Edge Assembly Crossover, INFORMS International Meeting 2007, 2007/7/9, Puerto Rico.

- ⑨ Yuichi Nagata: Effective Memetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows, Edge Assembly Crossover for the VRPTW, The 7th Metaheuristics International Conference (MIC-2007), 2007/6/26, Montreal, Canada.
- ⑩ Yuichi Nagata: Edge Assembly Crossover for the Capacitated Vehicle Routing Problem, The 7th European Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization (EvoCOP-2007), 2007/4/12, Valencia, Spain.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

永田 裕一 (NAGATA YUICHI)  
東京工業大学・大学院総合理工学研究科・  
助教  
研究者番号：70334795

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし