

<論文>

遺伝的アルゴリズムを用いた配置履歴に基づく 都市ごみ収集作業員配置支援手法に関する研究

保倉 修一¹, 内海 秀樹², 松井 三郎³, 寺田 悟⁴

1 富士通エフ・アイ・ピー株式会社(〒135-8686 江東区青海2-45 E-mail:s.yasukura@fip.fujitsu.com)

2 京都大学大学院 地球環境学堂(〒606-8501 京都市左京区吉田本町 E-mail:utsumi@eden.env.kyoto-u.ac.jp)

3 京都大学大学院 地球環境学堂(〒606-8501 京都市左京区吉田本町 E-mail:matsui@eden.env.kyoto-u.ac.jp)

4 パシフィックコンサルタント株式会社(〒163-0730 新宿区西新宿2-7-1 E-mail: satoru.terada@tk.pacific.co.jp)

概要

本研究は、市町村の都市ごみ収集運搬事業において、収集作業員を業務に割当てるという、人員配置の立案を支援する手法に関する研究である。

はじめに、清掃事務所へのアンケート調査及びヒアリング調査により、人員配置の現状把握を行った。次に、作業報告書を基に、業務の担当回数やごみ搬入量等を集計し、労働量の偏りや、配置の方針と実績との乖離状況について考察した。これらの調査結果や考察に基づき、人員配置問題の定式化を行った。本研究における人員配置問題とは、配置の方針と実際の配置との乖離の縮小及び、各作業員の労働量の平準化を目的関数とし、配置履歴を用いて定式化した最適化問題である。次に、解を効率的に探索する手法として、以前に筆者らが提案した、遺伝的アルゴリズムを用いた人員配置手法を拡張した。そして、その有効性について検討を行った。

キーワード: 都市ごみ、収集運搬、人員配置、配置履歴、遺伝的アルゴリズム

1. はじめに

都市ごみ収集運搬事業は、生活環境保全、公衆衛生向上、資源循環の面で不可欠である。事業の実施部門である清掃事務所には、サービス水準を常に一定レベル以上に維持することが要請される。

特に、収集運搬作業は人的資源によるところが大きいため、適切な労務管理や、公平な作業の分担が重要である。他にも清掃事務所では人的資源の効用を高めるため様々な工夫を行っている。例えば、作業ノウハウの継承のため若手職員をベテラン職員と組合せたり、早く作業を習熟させ効率を上げるために担当現場を固定したり、逆に、担当現場を毎回変え、様々な現場を担当させることでサービスレベルが不安定となるリスクを低減するなどしている。このように、収集作業を行う上で、職員同士の組合せや担当業務を決定する人員配置は重要であり、清掃事務所における戦術的マネジメントの手段として位置付けられる。

しかし、人員配置は、膨大な数の職員や業務の組合せが存在し、かつ複雑な制約があることから、単純にローテーションさせることは困難であり、高度な熟練を要する作業となっている。また、公平性の観点から、各職員の作業履歴に基づき、職員間で作業負荷に差が生じないよう留意する必要があるが、作業報告書を集計することは非常に労力を要する作業である。このため、配置を定量的なデータにより事後評価することは困難であると考えられ、計画と実績との乖離も懸念される。

以上より、作業データを解析し、作業履歴に基づいた人員配置支援手法を開発することは意義があると考えられる。そこで、著者らは、清掃事務所における人員配置策定の支援方法に焦点を当て研究を行ってきた。

まず、X市A清掃事務所においてヒアリング調査を行い、A清掃事務所の人員配置の現状を把握した。そして、配置の方針と履歴に基づいた配置を提案する手法として、遺伝的アルゴリズムを用いた手法を提案した¹⁾²⁾。

次に、政令指定都市を中心に、清掃事務所における人員配置の現状を把握するためアンケート調査を行った³⁾。

その後、これまでの調査を踏まえて人員配置問題を定式化し、以前に提案した人員配置手法を拡張した。具体的には、配置の方針によって場合分けした点、および、作業負荷の一指標として、各職員のごみ搬入量を加味した点において以前の手法とは異なる。本稿では、これまでの調査に基づいて人員配置問題の定式化を行い、人員配置手法を新たに拡張した部分について報告する。

2. 清掃事務所における人員配置の概要

本項では、本研究の対象とする人員配置の概要、及び配置の策定に関する項目の整理を行う。本項の内容は、ヒアリング調査およびアンケート調査の結果に基づいている。なお、アンケート調査の詳細については、既報文献³⁾を参照されたい。

2.1 用語の解説

清掃事務所における収集業務及び人員配置策定作業に関する用語を整理する。以下の用語は、A 清掃事務所で用いられているものを参考にしている。

- **トリップ:**収集車が車両基地あるいは搬入施設を出発して、ごみ集積所を巡回して収集を行い、搬入施設に向かいごみを搬入する一連の行程。ひとつの収集作業単位である。
- **コース:**収集班が一日に収集を行う地域、現場。数回分のトリップから成る。
- **収集班:**用いる収集車の種類、収集するごみの種類、収集コース、及び配置人員数が定められた業務単位のこと。以下、単に「班」とする。収集車やごみの種類、コースは、その班の作業負荷に関係する。例えば、積載量の大きい車両を用いる班は、積み込むごみ量が多くなり、作業員の負荷が大きくなる。
- **班編成:**各班の収集コースや用いる車両、配置人員数など、班の枠組みを決定すること。具体的には、事務所に配備された収集車の種類や数、配置人員、担当区域のごみの種類や計画収集量に応じて、班を設定することである。例えば、月曜は、「可燃ごみ、2トンパッカー車」の班を10班、「不燃ごみ、2トンパッカー車」の班を5班設定する、など。各班のコースの設定も含む。
- **班員の顔ぶれ:**同じ班を担当し、共同作業する職員の組合せ。
- **班への割当て:**職員が担当する班を決定すること。
- **配置の方針:**班員の顔ぶれの決定及び班への割当ての際に目安とする指針。
- **ローテーション:**一定のルール、規則によって機械的に決定する方法。
- **作業日報:**清掃事務所における一日の作業報告書。
- **作業履歴:**職員が一定期間に行った業務の実績。担当した班の回数や搬入量等。
- **策定者:**班編成や人員配置を担当する職員。

清掃事務所における人員配置とは、策定者が班員の顔ぶれや各作業員の担当業務を考慮して、班編成により予め業務が設定された班に作業員を割当てるここと、とする。清掃事務所における人員配置の概要をFig.1に示す。Fig.1は、ご

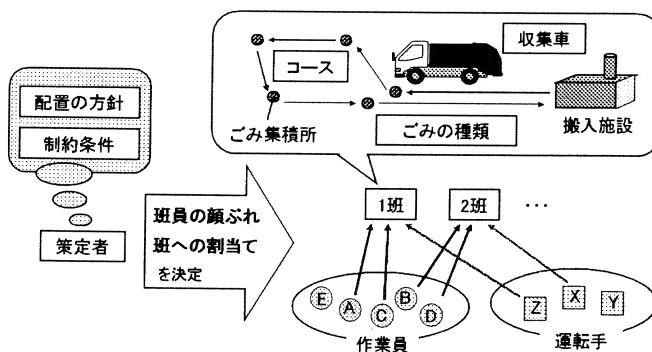


Fig.1 The garbage collector assignment at a cleansing office

みの種類、コース、収集車が定められた「班」に対して、作業員と運転手が割当てられている様子を表している。

2.2 配置の方針

班員の顔ぶれおよび班への割当てを決定する際の方針(配置の方針)について、アンケート調査により、主に次の2つの場合に分けられることが明らかになっている。

班員の顔ぶれを毎回同じような顔ぶれとなるように設定している事務所は、班への割当ても、毎回同じとなるよう設定している場合が多い。これに該当する事務所が人員配置の際に重視する項目として、現場の習熟による作業の効率化を挙げていた。

一方、班員の顔ぶれを毎回異なるように設定している事務所は、班への割当ても、毎回異なるよう設定している場合が多い。これに該当する事務所は、人員配置の際に重視する項目として、職員間の公平性や緊張感の保持を挙げていた。

ヒアリング調査を行ったA清掃事務所は後者に該当する。以前に提案した人員配置手法は、A清掃事務所の人員配置をモデルとして、班員の顔ぶれおよび班への割当てがともに異なるような配置を提案する手法である。

しかし、アンケート調査により、配置の方針を毎回同じように設定している事務所も同程度あることが明らかになつたため、両方の場合に対応できるよう、人員配置手法を拡張することを検討した。詳細は、第4項にて解説する。

3. 配置履歴の集計による収集運搬作業負荷量の考察

配置の方針だけでなく、各職員の作業負荷も評価することを考える。A清掃事務所より提供された作業日報を集計することで現状の考察を行つた。

3.1 集計の概要

A清掃事務所より、約半年分(平成15年6月2日～同年11月28日)の作業日報を入手し、記載されている項目を集計することにより、班の間や職員の間で作業負荷量に差が生じているか考察した。作業日報には、収集車ごとに、搬入施設への搬入時刻および搬入量、乗車職員名等が記載されている。

集計項目として、ごみ搬入量や作業時間、走行距離を用いた。職員に関して集計する場合は、職員同士の組合せ回数や班の担当回数についても集計した。これらの集計項目を用いて、班の種類別、班別、職員別に集計した。班の種類とは、使用する収集車や収集するごみの種類により班の種類を分類したものである。

3.2 集計結果及び考察

(1) 班別集計

はじめに、A清掃事務所において最も班の数が多い種

類の班(可燃ごみを収集し、最大積載量が2トンの収集車を用いる班)を対象として、班ごとに1日あたりのごみ搬入量の平均値を算出した。班の間で大きな差は見られなかつた。これは班編成の段階で公平化を図っているためと思われる。

次に、1日ごとの各班のごみ搬入量の差が、一定期間を通じて累積される差の程度を調べた。まず、作業日ごとに、班あたりのごみ搬入量の平均値と、各班のごみ搬入量との差を取つた。次に、班ごとにその差の積算値を算出した。この積算値の時系列変化をFig.2に示す。

Fig.2から、最終的に、積算値が最大の班(T-4、T-8)と最小の班(T-5)とで12トンの差が生じていることを確認できる。つまり、1日あたりの差は小さいものの、班によりごみ搬入量に差があり、その差の積み重ねにより、一定期間後には大きな差となる可能性がある。このことは、班への割当てを同じ班とした場合、搬入量に関して職員間で差が生じることを示唆している。

(2) 職員別集計

A清掃事務所の配置の方針は、班員の顔ぶれ及び班への割当てとともに「毎回異なるように」設定されている。実際にこれらの方針通りの配置となっているか確認するため、職員ごとに、各班の担当回数や、各職員と同じ班になった回数を集計した。集計対象の班は、A清掃事務所における標準的な班とし、期間はA清掃事務所で採用されているローテーションが一巡する13週間とした。

職員同士の組合せ回数及び各班の担当回数共に、職員により偏りが見られた。各班の担当回数集計値を分布として示したもののがFig.3である。特殊な班の担当や休暇も考慮すれば、各職員はこの期間中に各班をほぼ1回ずつ担当することになる。しかし、Fig.3からは、分布の色の濃淡が不均一

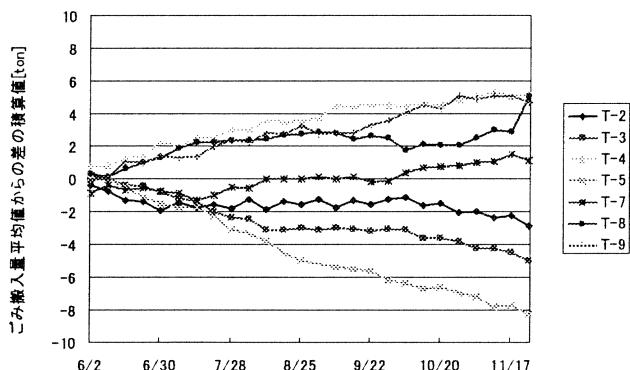


Fig.2 Time Series of summation of the difference between the average and the records of the weight of waste carried by each team a day

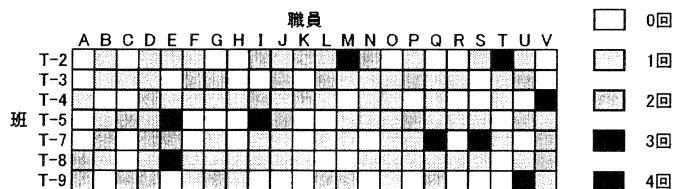


Fig.3 Distribution of times of each work per collector

なことから、担当回数に偏りがあることが確認できる。A清掃事務所の配置方針に照らすと、望ましくない結果となつてゐる。

この原因として、A清掃事務所ではローテーションが採用されているものの、様々な制約条件を考慮する必要があり、実際には策定者の裁量による部分が大きいためと考えられる。策定者は方針に基づいて配置を立案するが、職員全員の履歴を把握し、多数の組合せの中からよりよい配置を探すことは困難な作業であると推察される。

4. 人員配置支援手法の解説

本項では、はじめに、多目的最適化問題として定式化された人員配置問題について解説する。次に、多目的最適化問題において重要な概念であるパレート最適解と、本手法で使用する遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithms; 以下GAとする)の概要を述べる。そして、本手法の手順及びGAの援用方法について解説する。

4.1 人員配置問題の定式化

まず、一定期間の配置の評価指標を提案する。

班への割当ての方針に関する指標として、職員別各班の担当回数の分散 σ_{work^2} をとつた。職員別各班の担当回数の分散とは、Fig.3に示した、各班の担当回数の分布の要素の分散に該当する。各職員が異なる班に割当てられている場合、つまり、Fig.3のような担当回数の分布図において、色の濃淡が均一に分布している場合は、分散 σ_{work^2} の値は小さくなる。逆に、各職員が同じ班に割当てられている場合、つまり、Fig.3のような担当回数の分布図において、一部のセルに濃い色が、残りの多数のセルに薄い色が分布している場合は、分散 σ_{work^2} の値は大きくなる。このように、分散 σ_{work^2} の大小と班への割当ての方針とが対応する。

同様に、班員の顔ぶれの方針に関する指標として、職員同士の組合せ回数の分散 σ_{pair^2} をとる。

また、労働量に関する指標として、1日当たりの職員別平均ごみ搬入量の分散 σ_{waste^2} を採用した。労働量に関する指標はごみ搬入量だけでなく、作業時間等も考えられる。実際の人員配置においても、様々な項目について考慮していると予想される。しかし、今回は、以前の人員配置手法に、新たに作業負荷に関する項目を追加できるかどうかを検討するため、一項目だけを追加することとした。

以上、人員配置問題をこれら3つの指標を用い、配置の方針に応じた3目的最適化問題として定式化した。

- 班員の顔ぶれの方針について

$$\max \sigma_{pair^2} \text{ (毎回同じように)}$$

$$\min \sigma_{pair^2} \text{ (毎回異なるように)}$$

- 班への割当ての方針について

$$\max \sigma_{work^2} \text{ (毎回同じように)}$$

$$\min \sigma_{work^2} \text{ (毎回異なるように)}$$

- 職員別平均ごみ搬入量の平準化について

$$\min \sigma_{\text{waste}}^2$$

4.2 遺伝的アルゴリズムと多目的最適化問題

本手法で用いる GA は、生物の進化の過程に着想を得た解の探索手法である。

GA では、最初に複数の染色体(解を表現する記号列)を解候補として生成し、以降の手順を決めた世代数だけ繰り返す。各々の染色体を目的関数に適用して評価値を求め、相互に比較して優秀なものを次世代の計算対象に残す(選択)。それ以外の染色体に対する一定の比率に応じて、染色体の一部分を替えたり(突然変異)、二つの染色体の一部を入れ替えたり(交叉)して解候補を生成し、再び目的関数に適用するという作業を定められた回数(世代)だけ繰り返し行い、準最適解を探索する手法である。ただし、より良い解を求めるためには、GA の演算子(選択、交叉、突然変異の方法)やパラメータ(世代数や交叉率等)を適切に設定する必要がある⁴⁾。

一般に、多目的最適化問題は全ての目的関数を最小(あるいは最大)化する最適解が存在するとは限らず、合理的な妥協解、つまりパレート最適解を求めることが有効なアプローチである。また、パレート最適解は1つではなく複数個存在する場合が多い。

これに対して GA は、複数個の解を保持して計算する並列計算を特徴としており、解を集合として探索することが可能であるため、効率的な探索が期待できる⁵⁾。

4.3 本手法の手順

本手法の手順を Fig.4 に示す。

前提条件として、配置の提案対象は班長と班員の 2 名の作業員とし、運転手は除外する。通常、作業は、運転手と作業員2名の 3 名で行われる場合が多いが、運転手と作業員は業務内容が大きく異なり、作業負荷を比較することが困難であることから、本手法の対象から除外した。

また、職員はあらかじめ班長と班員のグループに分けられているとする。これは、A 清掃事務所では、班長資格を保有している作業員と、保有していない作業員とに分けて割当てを行っていたことに基づいている。

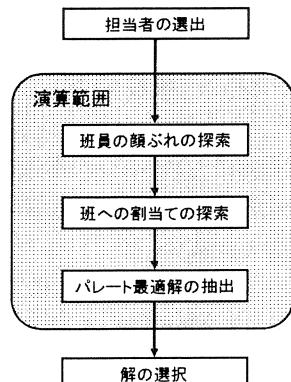


Fig.4 Procedure of the method

以上の前提条件の下で、はじめに、計算対象の班の必要人員数を、班長と班員のそれぞれのグループから選出する。

次に班員の顔ぶれとして、班長と班員の組合せを決定する。このとき、GA を用いて班員の顔ぶれの方針に応じた組合せを探索する。GA の演算では職員同士の組合せ回数を用いることで職員の履歴を考慮している。この段階で GA で保持していた複数の解それぞれに対して、さらに GA を用いて班への割当てを決定する。こうして得られた解の集合から、班員の顔ぶれの評価値および班への割当ての評価値についてのパレート最適解を抽出する。

パレート最適解から採用する 1 つの解(配置)の選択は、策定者が行うと想定している。本手法は、班員の顔ぶれの探索と班への割当ての探索の 2 段階に分けているのが特徴であり、これにより GA の染色体の表現方法が整理され、適用が容易になる。

4.4 GA の適用方法

本手法の「班員の顔ぶれの探索」及び「班への割当ての探索」のそれぞれの段階における GA の適用方法について解説する。

(1) 班員の顔ぶれの探索

班が N 班だけあるとし、これらの班を担当する $2N$ 人の作業員にそれぞれ $0, 1, \dots, 2N-1$ の番号を与える。あらかじめ班長として分けられていた N 人の番号から成る配列 $C=(c_0, c_1, \dots, c_{N-1})$ および、班員の番号から成る配列 $S=(s_0, s_1, \dots, s_{N-1})$ をおく。 c_k 番の班長と s_k 番の班員が組となるとし、その組は k 番の組として識別する。配列 C は固定し、配列 S を「班員の顔ぶれの探索」段階の解、すなわち GA の染色体として定義する。GA の演算過程では、様々な解 S について、その評価値は次に示す評価関数の値として計算され、より評価値が小さい解が優秀な解として次世代に残る。ただし、評価関数は班員の顔ぶれの方針に応じて設定する。

班員の顔ぶれについて「毎回異なるように」と方針が設定されている場合は次式を用いる。

$$f_{change} = \sum_{k=0}^{N-1} \left(1 - \frac{1}{1+m_k} \right) \quad (1)$$

一方、「毎回同じように」と方針が設定されている場合は次式を用いる。

$$f_{fix} = \sum_{k=0}^{N-1} \frac{1}{1+m_k} \quad (2)$$

式(1)において、 m_k は k 番の組がある日を基準として計画対象日の前日までに組まれた回数であり、各職員の組み合わせの履歴が反映される。

式(1)の小括弧内の値は組 1 組当たりの評価値を表しており、その組が今まで組まれた回数が少ないほど値が小さくなる。そして、各組の評価値の和を評価関数に定義することで全体として評価し、各職員がそれぞれ組んだ回数の少ない職

員と組になる解が、GA 適用時に優秀な解として選択されやすくなる。各組の評価値を 1 未満に定義した理由は、仮に上限を設定しない場合、特定の評価値の大きい組によって全体の評価が左右されてしまうからである。また、組んだ回数の平均や分散を用いなかった理由は、回数の変動部分のみを扱うことで計算負荷を軽減するためである。式(2)についても、式(1)と同様の理由により設計されている。方針が「毎回同じとなるよう」設定されている場合に、式(1)の最大値問題と設定しなかった理由は、GA を適用するにあたって、染色体の評価値の大小関係と、解の優劣関係を統一するためである。つまり、GA を適用時に、評価値が小さい解ほど、優秀な解であるとするためである。このことにより、プログラム上の変更是最小限で済む。

以上のように、基準を満たし、かつ、ある程度優秀な解 S を GA を用いて複数生成する。次の「班への割当ての探索」は、ここで生成した複数の解 S それぞれに對して行う。

このとき、偏りなくパレート最適解の探索を行うため、「顔ぶれ」の評価値が優れた解を生成するだけでなく、多様な解を次の Step に進めることにより「班への割当て」の探索領域を拡大することが重要であり、GA の演算子やパラメータを設定する際の基準となる。

(2) 班への割当て

N 個の班にそれぞれ $0, 1, \dots, N-1$ の番号を与える。班番号から成る配列 $T = (t_0, t_1, \dots, t_{N-1})$ をおき、 k 番の組は t_k 番の班の担当として対応させ、配列 T を「班への割当ての探索」の解、すなわち GA 適用時の染色体として定義する。GA の演算過程では、様々な解 T について、その評価値は次に示す評価関数の値として計算され、より評価値が小さい解は次世代に残る。ただし、班への割当の方針に応じて評価関数を設定する。

班への割当方が「毎回異なるよう」方針が設定されている場合は次式を用いる。

$$g_{change} = \sum_{k=0}^{N-1} \left\{ \left(1 - \frac{1}{1 + n_{c_k, t_k}} \right) + \left(1 - \frac{1}{1 + n_{s_k, t_k}} \right) \right\} + \alpha \cdot \sigma_{waste} \quad (3)$$

また、「毎回同じよう」方針が設定されている場合は次式を用いる。

$$g_{fix} = \sum_{k=0}^{N-1} \left\{ \frac{1}{1 + n_{c_k, t_k}} + \frac{1}{1 + n_{s_k, t_k}} \right\} + \alpha \cdot \sigma_{waste} \quad (4)$$

式(3)において、 $n_{w,x}$ は職員 w がある日を基準として計画対象日の前日までに班番号 x を担当した回数であり、各職員の履歴が反映される。 α は重み付けのパラメータとして調整される係数である。

式(3)の第 1 項は、各職員の各班の担当回数に関して、式(1)と同様の理由に基づいて設定したものである。第 2 項は、職員別平均ごみ搬入量の標準偏差に関する項で、ごみ搬

入量の標準偏差を増加させる解は評価の悪い解とするための項である。係数 α は感度分析により設定する必要がある。式(4)は、式(3)と同様の理由に基づいて設計されている。

班員の顔ぶれの探索では解の多様性も考慮する必要があったが、班への割当の探索では、定められた班員の顔ぶれの下で最も優秀な 1 つの解を探索するため、評価値に重点を置いて GA の演算子・パラメータを設定する必要がある。

5. シミュレーション

提案した手法の有効性を検証するため、仮想的に作成したデータを用いてシミュレーションを行った。

5.1 シミュレーションの手順

本研究では、人員配置問題を一定期間の配置履歴に関する最適化問題として定式化した。一方、本手法は 1 日分の配置を算出するものである。そこで、本手法を継続的に適用することにより、望ましい配置を算出できているかどうか検証した。シミュレーションの手順を Fig.5 に示す。本手法を適用して得られた配置により作業履歴を更新し、その作業履歴に基づいて次の作業日の配置を算出する手順となっている。また、アンケート調査の結果を参考に設定したシミュレーションの条件を Table 1 に示す。なお、ごみ搬入量は、A 清掃事務所の作業報告書の集計結果を参考に、班ごとに重みをつけ、乱数を用いて作成した。また、本手法と比較するため、乱数を用いて仮想作業履歴を作成した。比較対象として、A 清掃事務所の実際のデータを使用しない理由は 2 点ある。1 点目は、A 清掃事務所は配置の方針を毎回異なるよう設定している事例であるため、毎回同じように設定している場合の比較対象としては望ましくないことである。2 点目は、A 清掃事務

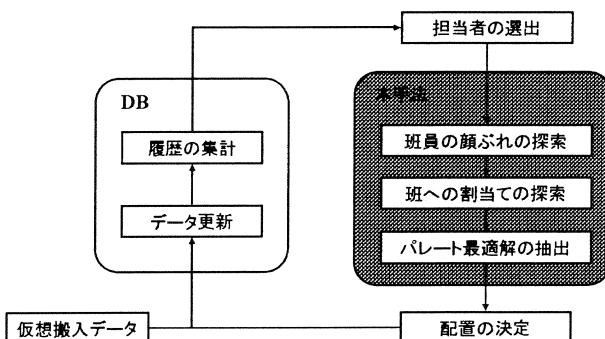


Fig.5 Procedure of the simulation

Table 1 Condition of the simulation

項目	値
班	15[班]
班長人数	20[人]
班員人数	20[人]
計算対象回数	26[回]

Table 2 Parameters of GA based on the result of the sensitivity analysis

	班員の顔ぶれ	班への割当て
交叉方法	部分一致交叉	部分一致交叉
突然変異方法	転座	転座
選択方法	ランク方式	ランク方式
個体数	150	100
世代数	150	150
交叉率	0.5	0.3
突然変異率	0.3	0.1
エリート保存率	0.2	0.1

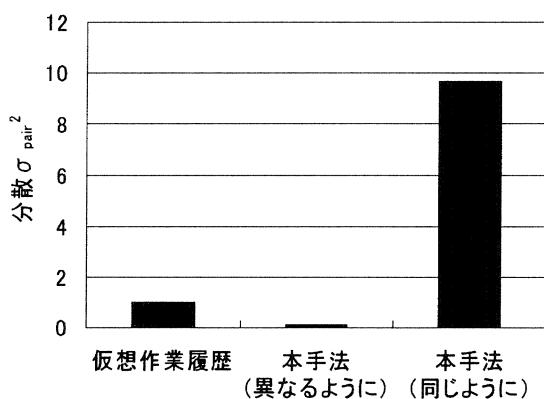


Fig.6 Values of the objective function of team member

所では、配置立案の対象となる班の数や職員の人数が、アンケート調査により得られた平均値よりも小さいことである。本手法を評価する際の基準として、多数の解の中から、いかに効率的に良い解を探索することができるかが挙げられる。問題の規模を大きくしても、期待した配置案が得られるか検討する必要があると考えられる。

以上の条件の下で、班員の顔ぶれ及び班への割当てを「同じように」設定している場合と、「異なるように」設定している場合についてシミュレーションを行った。

5.2 GA のパラメータの設定

仮想データを用いて感度分析を行い、効率的に良質な解が得られるGAのパラメータの考察を行った。感度分析により得られたGAのパラメータをTable 2に示す。

班への割当ての探索については、評価値に重点を置いたパラメータを設定し、班員の顔ぶれの探索については、評価値だけでなく、解の多様性も考慮したパラメータを設定している。

5.3 シミュレーション結果

(1) 班員の顔ぶれ

仮想作業履歴及び本手法の適用結果より得られた目的関数 σ_{pair}^2 の値を Fig.6 に示す。

Fig.6 より、本手法を適用した場合は、仮想作業履歴と比

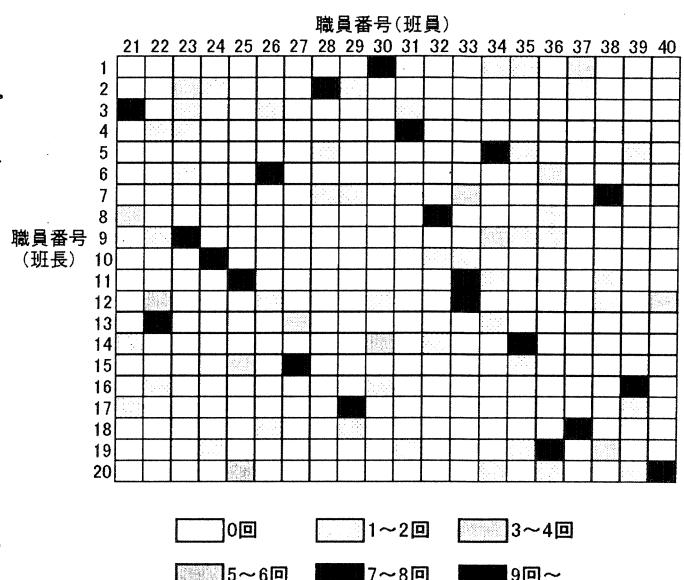


Fig.7 Distribution of times of team member by the method (composing teams of the same members)

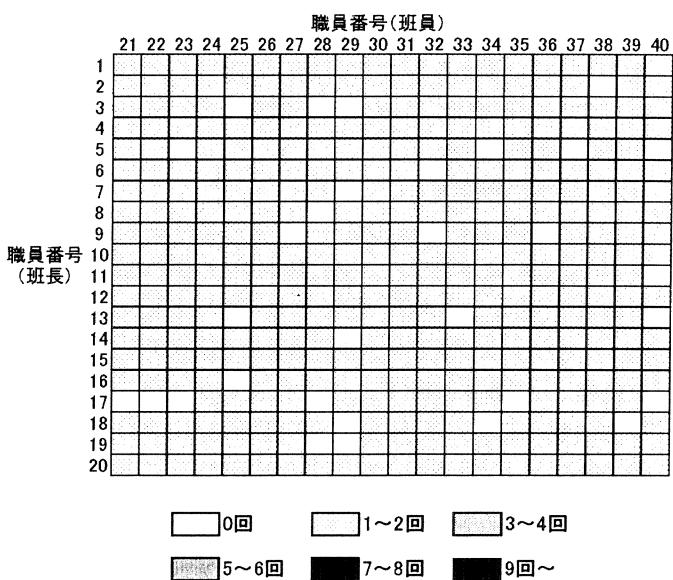


Fig.8 Distribution of times of team member by the method (composing teams of different members)

較して、方針に応じて目的関数の値が改善されていることが分かる。

また、職員同士の組合せ回数の分布を、方針が「毎回同じように」の場合は Fig.7 に、「毎回異なるように」の場合は Fig.8 に示す。Fig.7 は、濃い少數のセル及び色が薄い多数のセルが分布していることが分かる。これは毎回同じような顔ぶれとなっていることを示している。一方、Fig.8 は、色の濃さが同程度のセルが図全体に分布していることが分かる。これは毎回異なる顔ぶれとなっていることを示している。これらから、本手法により班員の顔ぶれの方針に則した配置が得られていることが確認できる。

(2) 班への割当て

次に、仮想作業履歴及び本手法の適用結果より得られた目的関数 σ_{work}^2 の値を Fig.9 に示す。

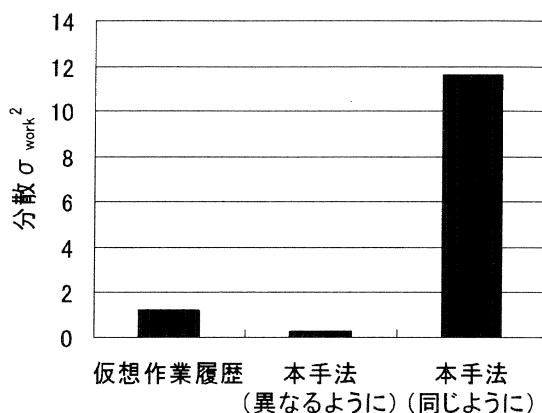


Fig.9 Values of the objective function of assigning works to collectors

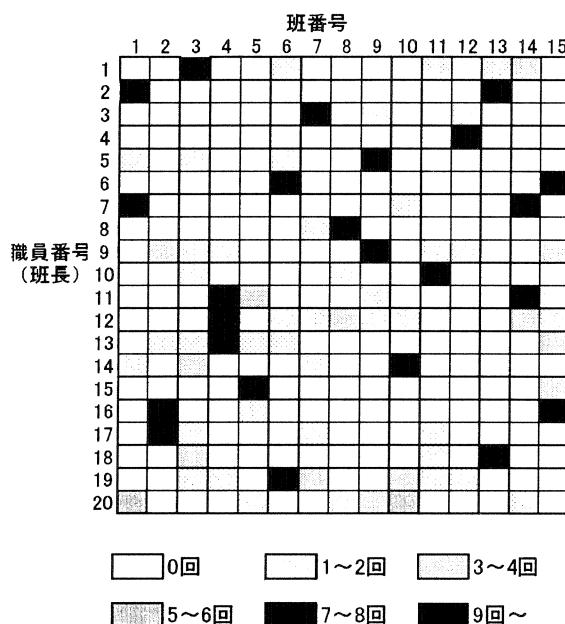


Fig.10 Distribution of times of each work per collector by the method (assigning collectors the same works)

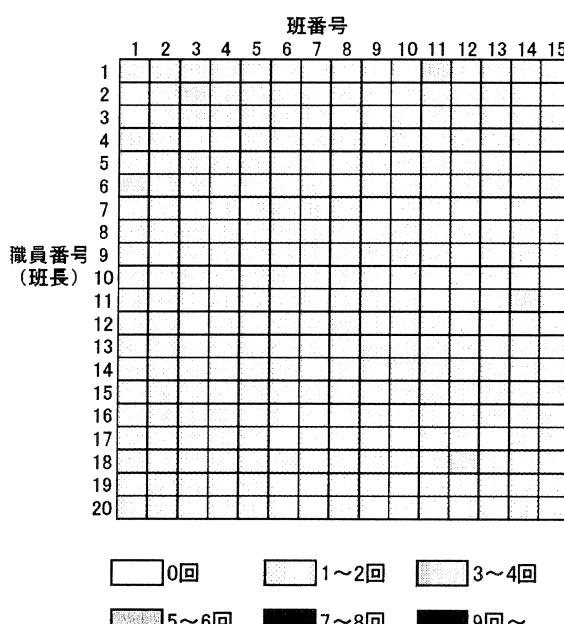


Fig.11 Distribution of times of each work per collector by the method (assigning collectors different works)

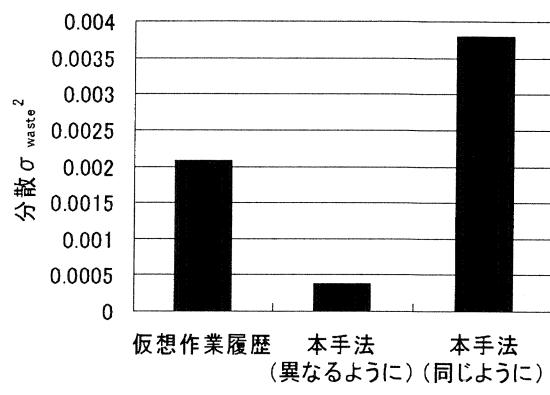


Fig.12 Objective function values of equalization of the loads (the weight of wastes)

Fig.9より、本手法を適用した場合は、仮想作業履歴と比較して、方針に応じて目的関数の値が改善されていることが分かる。

また、職員別各班の担当回数の分布について、方針が「毎回同じように」の場合を Fig.10、「毎回異なるように」の場合を Fig.11 に示す。Fig.10 は、濃い少数のセル及び色が薄い多数のセルが分布していることが分かる。これは毎回同じような班への割当てとなっていることを示している。一方、Fig.11 は、色の濃さが同程度のセルが図全体に分布していることが分かる。これは毎回異なる班への割当てとなっていることを示している。これらから、本手法により班への割当の方針に則した配置が得られていることが確認できる。班員についても同様の結果が得られている。

(3) 職員別平均ごみ搬入量

仮想作業履歴及び本手法の適用結果より得られた目的関数 σ_{waste}^2 の値を Fig.12 に示す。

配置の方針が毎回同じように設定されている場合は、本手法の適用結果は仮想作業履歴より分散 σ_{waste}^2 の値が大きかった。これは、搬入量が多い班に割当てられた職員と、搬入量が少ない班に割当てられた職員との差が大きかったためと考えられる。つまり、毎回同じような班へ割当てられる場合、班の間の搬入量の差が、職員間の搬入量の差に反映しやすいためと考えられる。

このように、班への割当の方針が「毎回同じように」となっている場合は、職員別平均ごみ搬入量と班への割当の方針とがトレードオフの関係にあり、現場ではどちらを重視するかによって、式(3)または式(4)中のパラメータ α を調整する必要があると考えられる。

5.4 シミュレーションのまとめ

本シミュレーションにより、班員の顔ぶれおよび班への割当については、本手法により配置の方針に則した配置を得られることが示された。

また、班への割当の方針が「毎回同じように」と設定されている場合は、職員別ごみ搬入量と班への割当の方針はトレードオフの関係にあり、パラメータ α の調整が必要であると思われる。

6. さいごに

本研究では、清掃事務所における人員配置問題に着目した。本研究の成果を以下に挙げる。

- 作業日報を集計することにより、班や職員間の作業負荷量の差や、策定者の方針と実績との乖離状況について考察した。
- 清掃事務所における人員配置問題を、一定期間の作業履歴を用いて、配置の方針とごみ搬入量の平準化に関する多目的最適化問題として定式化した。
- 定式化した人員配置問題の解を効率的に探索するため、以前に提案した、遺伝的アルゴリズムを用いた人員配置手法を拡張した。
- 効率的に良質な解を得るための GA のパラメータを設定し、仮想データを用いたシミュレーションにより、本手法の有効性を検証した。

今後の課題としては、策定者や現場の職員とのコミュニケーションを図り、現場の意向を反映させたシステムを設計することが挙げられよう。特に、実際の人員配置では、数値化が困難な定性的な要素も多く含まれており、本手法で提案した配置案を策定者が修正するなどして、これら定性的な要素を考慮する枠組みが必要であると考えられる。

[謝辞] ヒアリング調査に協力していただいた X 市の関係部局及び A 清掃事務所の方々、アンケート調査に協力していただいた清掃事務所の方々に感謝の意を表します。尚、本研究の一部は、平成 17 年度科学研究費補助金若手研究 B(課題番号 17710132)の助成を受けております。

[参考文献]

- 1) 保倉修一・内海秀樹・松井三郎・寺田悟: 遺伝的アルゴリズムを用いた都市ごみ収集作業員配置立案支援システムの開発, 環境システム計測制御学会誌, 9[2]281-284(2004)
- 2) 保倉修一・内海秀樹・松井三郎・寺田悟: 遺伝的アルゴリズムを用いた都市ごみ収集作業員スケジューリング手法の開発, 環境システム研究論文集, 32, 297-302(2004)
- 3) 保倉修一・内海秀樹・松井三郎・寺田悟: 都市ごみ収集現場における人員配置策定方法に関する質問紙調査, 環境システム計測制御学会誌, 10[3]86-87(2005)
- 4) 北野宏明, “遺伝的アルゴリズム 1”, 産業図書(1993) pp.3-16
- 5) 黒田充・村松健児, “経営科学のニューフロンティア 11 生産スケジューリング”, 朝倉書店(2002) pp.199-205