

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

Developing Scheduling Method for Municipal Solid Waste Collectors Using the Genetic Algorithms

○ 保倉修一¹⁾, 内海秀樹²⁾, 松井三郎²⁾, 寺田悟¹⁾

¹⁾ 京都大学大学院工学研究科、²⁾ 京都大学大学院地球環境学堂

○ Shuichi Yasukura¹⁾, Hideki Utsumi²⁾, Saburo Matsui²⁾, Satoru Terada¹⁾

¹⁾ Graduate School of Engineering, Kyoto Univ.

²⁾ Graduate School of Global Environmental Studies, Kyoto Univ.

Abstract

To maintain good public health, it is necessary that the solid waste collection service should be maintained in good condition. In waste collection services, collector's schedule, especially distributing the works equally to each collector, is very important from the viewpoint of collectors' morale and experience. However, it's difficult to compose collector teams so that they can collect wastes efficiently, because there are many patterns of composing teams and a variety of restrictions.

The first step of this study is an investigation into the problem by interviewing and collecting records at the waste collection office in city 'A'. The next step is the development of a scheduling method which considers the Collector Scheduling Problem as a Multi-Objective Optimization Problem. The method can solve the problem by finding Pareto Optimal Solution, by means of the Genetic Algorithms. The last step is a demonstration that the method can provide a good solution as shown by applying it to the case of city 'A'.

Key Words : Municipal Solid Waste, Collector, Personnel Station,
Pareto Optimal Solution, Genetic Algorithms

1 はじめに

ごみの収集運搬事業は都市衛生および都市景観に直接影響を与えるものであり、その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求される。このため、収集運搬作業を行う清掃事務所は労務管理に気を配り、職場の環境を整える必要がある。特に各職員の能力に見合った公平な作業の分担が重要であり、清掃事務所における人員配置の持つ意味は大きい。しかし、人員配置は、膨大な数の職員の組合せが存在し、かつ複雑な制約があることから非常に困難な作業となっている。このため、現在の方法を見直し、その手法を開発することは意義があると考えられる。

ところで、現在、ごみの収集作業員の人員配置を扱った研究例は極めて少ない。この理由の一つとして、人員配置システムを開発しても、コストやエネルギー消費の削減等の効果が見込めないと考えられていることが推察される。しかし、これらを効果的に削減できる収集方法が存在するとしても、事業は大勢の収集員によって支えられており、労務管理など人的資源の配分を含め総合的に扱うことなしにはその実現は不可能と認識している。

以上を踏まえて、本研究ではまず、ある市の清掃事務所において聞き取り調査を行い、人員配置の方法および問題点を整理した。続いて人員配置の基礎となる計算手順を提案し、シミュレーションを行って検証した。

2 清掃事務所における人員配置の事例調査

2.1 清掃事務所の業務および人員配置の概要

収集作業は収集員2名、運転手1名からなる班によって行われる。運転手は収集車の運転のみを、収集員はごみの積み込み作業のみを行い、収集員のうち1名が班の責任者である収集班長を務める。各班には用いる収集車、収集するごみ

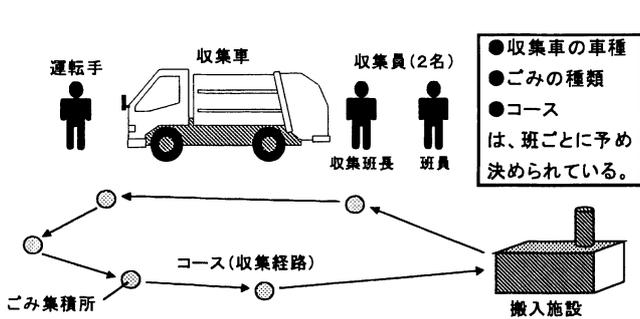


Fig. 1 収集班の概要

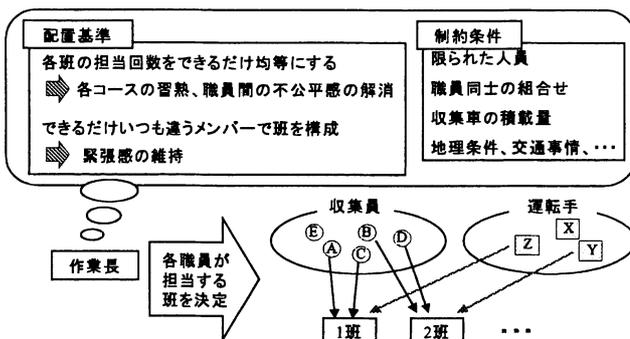


Fig. 2 収集作業員配置問題

の種類および収集コースが予め定められており、この班に職員を割当てての形で人員配置が行われる。人員配置は作業長と呼ばれる職員によって行われる。

主な配置基準は、全ての収集地域の習熟および職員間の不公平感の解消などの理由から、各職員がそれぞれの班を均等に担当すること、および、緊張感の保持のためできるだけいつも異なるメンバーで班を構成することの 2 点である。しかし、一部の負荷の大きい班（収集車の積載量が大きく作業量が多い班など）や職員同士の組合せによっては、職員の能力や特徴（年齢や性別など）を考慮して班の構成を変更する場合もある。

また、収集作業は肉体的労働であり、以前は労務災害が多発したことから、健康管理のために職員が有給休暇を消化する傾向がある。このため、事務所に出勤してくるメンバーは毎回異なる。これが毎回人員配置を行わなければならない、担当する班を機械的にローテーションさせる方法の適用が困難な所以である。

2.2 人員配置の現状

現在の人員配置方法は非常に複雑なものとなっており、このため、配置を立案する作業長にかかる負担は大きい。また、真に公平な分担ができていないかどうか、手計算により確認するのは困難であるのが現状である。

現在の方法では、公平に分担するために負荷の大きい特殊な班から優先的に配置を決定する仕組みになっている。そのため、優先順位の低い標準的な班は残った職員で分担することになり、均等に分担されていない可能性が高い。このことを確認するため、清掃事務所から提供された作業報告書をもとに、各職員が各標準的な班を担当した回数を集計した。集計結果を分布として示したのが Fig.3 である。ただし、対象職員は収集員のみで、期間は現在の方法で一巡する 13 週間である。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、分布の色濃淡が不均一なことから、担当回数に偏りがあることが確認できる。職員同士の組合せ回数についても集計したが、同様に偏りがあることが認められた。

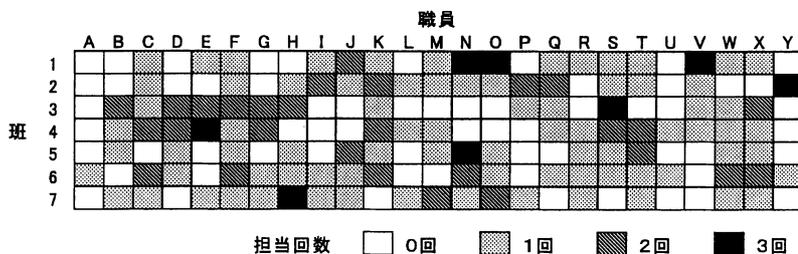


Fig. 3 各班の担当回数の分布

3 提案するスケジューリング手法

3.1 人員配置問題の設定

収集員の配置問題を、「限られた人員という制約の下で、各職員の各班の担当回数および各職員同士の組合せ回数を均等化する」という 2 目的最適化問題に置き換える。ただし、計算対象は班の数が最も多い標準的な班の収集員のみで、その他の特殊な班は従来通りの優先順位・方法で配置を決定することを前提とする。

3.2 多目的最適化問題と遺伝的アルゴリズム

一般に、多目的最適化問題は全ての目的関数を最小(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。一方、本スケジューリング手法で用いる遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithms; 以下 GA とする) は、複数個の解を保持して計算する並列計算を特徴とした、効率的な解の探索手法である。GA を用いれば、パレート最適解を集合として探索することが可能であり、効率的な探索が期待できる。

3.3 計算手順

提案するスケジューリング手順を Fig.4 に示す。班の数に対応する人数の収集班長を決定した後、GA を用いて職員同士の組合せ回数が可能な限り均等となるように収集班長と班員の組を作る (この操作を以下「組分け」と呼ぶ)。このとき GA で保持していた複数の解それぞれに対して、さらに GA を用いて各職員の各班の担当回数が可能な限り均等となるように、各組が担当する班を決定する (この操作を以下「班の割当て」と呼ぶ)。こうして得られた解の集合から、職員同士の組合せ回数および各班の担当回数についてのパレート最適解を抽出する。最後に、パレート最適解から採用する解 (配置) を1つ決定しなければならないが、その決定者として作業長など現場の職員を想定している。

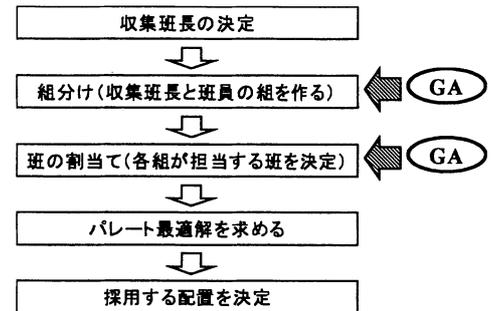


Fig. 4 提案するスケジューリング手順

GA 適用時に、職員同士の組合せ回数および各班の担当回数を同時に評価する方法もあるが、収集班長と班員の組合せを探索する際に、制約を満たさない組を予め除くために2段階に分けているのが本手法の特徴である。これには、GA の染色体 (解を表現する記号列) の表現方法がシンプルになり GA を適用しやすいというメリットもある。

3.4 GA の適用方法 (染色体および評価関数)

● 組分け

班が N 班だけあるとし、これらの班を担当する $2N$ 人の収集員にそれぞれ $0, 1, \dots, 2N-1$ の番号を与える。「組分け」の前の Step で決定された N 人の収集班長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 番の収集班長と 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「組分け」段階の解、すなわち GA の演算過程における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目的関数 F_{pair} の値として計算される。評価値が小さい解は目的関数の値を小さくする優秀な解として次世代に存続し、逆に評価値が大きい解は淘汰される。

$$\min F_{pair} = \sum_{k=0}^{N-1} \left(1 - \frac{1}{1+m_k} \right) + \alpha \cdot \sum_{k=0}^{N-1} a_k \quad (1)$$

ただし、 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、 α はペナルティパラメータで N 以上の定数、 a_k は k 番の組が基準を満たさない (例えば、相性の悪い組合せ、新米職員同士の組合せ等) 場合は1の値、基準を満たす場合は0の値をとる変数である。

式(1)第1項の小括弧内の値は組1組当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目的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(1)第2項は、新米職員同士の組合せ等、円滑な作業の遂行上望ましくない組が生成することを防ぐための項である。解 S が基準を満たさない組を含んでいる場合、その組の数に応じてペナルティパラメータ α が加算されて評価値が

大きくなり、GAの演算過程で淘汰されることになる。変数 a_k の設定、すなわち各組が基準を満たすかどうかの設定は、作業長等現場の職員によって行われることを想定している。

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「班の割当て」は、ここで生成した複数の解 S それぞれについて行う。

● 班の割当て

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「班の割当て」段階の解、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目的関数 F_{team} の値として計算され、「組分け」段階と同様、評価値が小さい解は目的関数の値を小さくする優秀な解として次世代に存続し、逆に評価値が大きい解は淘汰される。

$$\min F_{team} = \sum_{k=0}^{N-1} \left\{ \left(1 - \frac{1}{1 + n_{c_k, t_k}} \right) + \left(1 - \frac{1}{1 + n_{s_k, t_k}} \right) \right\} \quad (2)$$

ただし、 $n_{w,x}$ 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る。式(2)は、各職員の各班の担当回数に関して、式(1)の第1項と同様の理由に基づいて設定したものである。

4 シミュレーション結果

2.2で述べた集計の条件(対象職員、班、期間)と同じ条件の下で本手法を適用した。ただし、交叉率や突然変異率等のGAで用いるパラメータは感度分析により、最も良い解が多く出現する時の値(Tab.1参照)を用いた。

職員同士の組合せ回数については、実際の配置よりも若干良い結果を得られた。計算の対象外とした特殊な班もカウントしたため大きな差はでなかったと考えられる。一方、各班の担当回数については、その分布はFig.5のようになった。Fig.3と比較して、色の濃淡が均一になっており、各班の担当回数については実際の配置よりも良好な結果を得られたことが確認できる。

Tab.1 GAのパラメータの設定

パラメータ	組分け	班の割当て
染色体数	100	50
世代数	100	150
選択方法	エリート保存方式 およびランク方式	
交叉方法	部分一致交叉	
突然変異方法	転座	
エリート保存率	0.7	0.1
交叉率	0.8	0.5
突然変異率	0.2	0.2

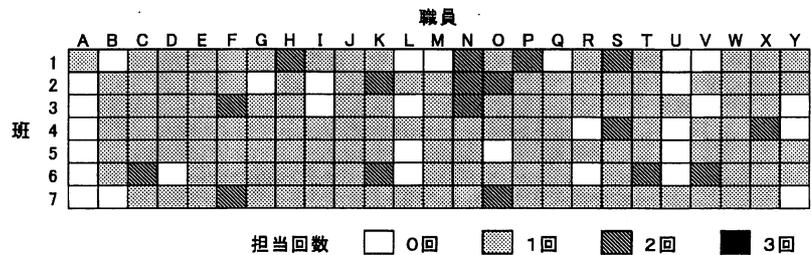


Fig. 5 本手法による各班の担当回数の分布

また、1日分の計算時間は約20秒(CPU: Pentium IV, 2.00GHz)であった。実際の配置は、作業前日に数十分かけて作成されている。今回は計算の対象外とした特殊な班や運転手を含めた全ての処理が数分単位で計算可能であるならば、当日の急な欠勤による配置の修正についても公平性に配慮した対応ができると予想される。

5 まとめ

本研究では、まず、聞き取り調査により都市ごみ収集作業員の人員配置問題について整理し、現在の配置方法では各班の担当回数などに偏りが見られ、本来の目的が達成されていないことを確認した。続いて、GAを用いて人員配置の候補を立案する手順を開発し、シミュレーションによりその有効性を検証した。

今後の展開としては、今回は計算対象外とした特殊な班や運転手を含めた人員配置システムを完成させ、実際に清掃事務所でテストすることや、他の都市の事例調査などを考えている。

【謝辞】 研究に協力していただいたA市環境局およびまち美化事務所の皆様に深く御礼申し上げます。

参考文献 北野宏明 編著: 遺伝的アルゴリズム1, 産業図書, 1993