

シフトスケジューリング問題の
群知能アルゴリズムの応用に関する研究

村山 要司

Study on Group Intelligence Algorithm for Shift Scheduling Problems.

This paper concerns modeling and solving the shift scheduling problem. In shift management, various conditions must be taken into consideration in order to create a work schedule that can provide high-quality services and each staff can work comfortably without difficulty, and experienced people. It takes time to rely on intuition and intuition, it is a difficult and burdensome work, and demand for computer assistance is great.

Although the shift scheduling problem has been studied so far, centered on the nurse scheduling problem, a medical facility is not the only place that has problems in creating a work schedule. In this paper, we propose modeling workplace and solving method which have not been treated as shift scheduling problem.

In recent years, the proportion of part-time work in the total labor force is increasing. In the workplace where elimination of human resources shortage is an urgent issue, we diversify employment forms, such as short-time work, mainly in the service industry, and incorporate the layers that we were unable to work even though we wanted to work due to constraints of time so far I have started. In order to realize a work system based on such diverse work styles, precise shift management considering part-time workers is necessary. Research on the previous shift scheduling problem is focused on full-time workers and cannot be applied as it is. Therefore, we review the constraint conditions, algorithms, and solutions, and build a new shift scheduling specialized for part-time with the purpose of utilizing staff with restrictions on working hours.

In that case, the problem is solving. Most of the scheduling problems are NP hard and it is difficult to predict how much the calculation volume will increase with the problem of the scale. Even with the same number of problems, the scale that can be solved by the structure of the actual numerical value problem is completely different. In this paper, focusing on the solution of previous research, we evaluate the solution method based on the characteristics of each field of shift scheduling problem.

Moreover, in order to solve the shift scheduling problem in the workplace where there are many conditions to consider and complicated part-time workers are the focus, a more accurate solution method is required. Therefore, in this paper, we verify whether group intelligence which is considered effective for complex and multivariate optimization problem in recent years is practical.

Artificial Bee Colony (ABC) and Firefly Algorithm (FA), which are representative examples of group intelligence, attract attention overseas, but optimization problems including integer variables such as shift scheduling problems. ABC, and FA, and verifies with a genetic algorithm (Genetic Algorithm: GA) whose validity is confirmed in the integer programming problem.

This dissertation consists of 8 chapters.

In Chapter 1, the study describes the purpose and composition of the dissertation.

Chapter 2 is on the previous studies. The previous studies on nurse scheduling problems and general shift scheduling that is developed based on the nurse scheduling problem are investigated and are expected to develop the shift scheduling problem studied so far and future developments that have not been dealt with so far shift scheduling problem is characterized.

In chapter 3, the study will discuss the solution method used to solve the problem. ABC, FA as a representative example of group intelligence are proposed. Together with GA, the study clarifies the features of the solution and can apply even integer programming problem, which will verify the effect using benchmark function. In chapter 3, as a small organization, targeting computer classes centered on part-time workers,

Chapters 4 provides modeling of workplaces and recommendations on solutions that have not been treated as shift scheduling problems. The study models shift scheduling problems for convenience stores as a specialized issue for part-time work. Seeking a rigorous solution, aiming to provide a fair and satisfying working environment for employees from the viewpoint of cost reduction from a managerial perspective from the viewpoint of part-time workers.

Chapter 5 is on a shift scheduling model, application to target nursery

teachers.

In chapter 6, for the purpose of scheduling and leveling the number of delivery trucks by time zone, the study replaces staff with vehicles and allocates time frames and arrival barges instead of daily shift shifts and solves them as shift scheduling problems. In chapter 5, the study also uses GA, ABC, FA for solution, and also verifies whether group intelligence can be applied to scheduling problems.

Chapters 7 is on a suggestion for solving the problem of shortage of personnel by applying the track drivers.

Chapter 8 concludes. The research results of this paper are summarized.

This study showed the effectiveness of modeling of workplace and suggesting solution method which had not been treated as shift scheduling problem. In particular, the study proposes a highly novel shift scheduling model based on a new viewpoint centered on part-time work, against the current situation where precise shift management is required due to diverse employment systems. From a managerial point of view, it can be expected to solve the shortage of human resources and cost reduction effect, and from the viewpoint of the employee, it became a method that can provide a fair and satisfying working environment.

As for the solution, the study evaluated the effectiveness of the metaheuristic approximate solution in the shift scheduling problem and showed that it is practical for group intelligence which has never been applied to the scheduling problem in domestic cases.

Also, when considering a general-purpose model, the study proposes a hybrid approach of group intelligence to solve the problem, after clarifying that the problem becomes a problem by selection of a solution and parameter setting depending on the problem.

目次

第 1 章 序論	1
1. 本研究の目的	2
2. 論文の構成	2
4. 本章のまとめ	9
参考文献	10
第 2 章 研究の背景	11
1. 本章の目的	12
2. 研究の背景	13
2.1 パートタイム勤務者の現状	13
2.2 パートタイム勤務者の雇用環境	14
2.3 コンビニエンスストア	15
2.4 保育士	17
2.5 トラックドライバー	19
3. 先行研究	20
3.1 モデル化の研究	20
3.2 解法の研究	26
3.3 先行研究の課題	33
4. 本章のまとめ	39
参考文献	41
第 3 章 組合せ最適化問題の解法	47
1. 本章の目的	48
2. 厳密解法	50
3. 近似解法	51
3.1 GA (遺伝的アルゴリズム)	51
3.2 ABC アルゴリズム	60
3.3 FA (ホタルアルゴリズム)	64
3.4 群知能によるハイブリッドな解法	67
4. ベンチマーク関数	68
4.1 パラメータの設定	68
4.2 計算結果	71
5. パートタイマーによる職場のスケジューリング問題	73
5.1 対象問題の概要	73
5.2 拘束条件	78
5.3 定式化	81

5.4 数値実験	84
6. 本章のまとめ	105
参考文献	107
第 4 章 コンビニエンスストアのシフトスケジューリング問題	109
1. 本章の目的	110
2. 本研究における新規性	110
3. 拘束条件	112
4. 解法	115
4.1 従前の解法	115
4.2 本研究での手法	116
4.3 定式化	118
5. 数値実験	120
5.1 実験の背景	120
5.2 実験の結果及び考察	122
6. 本章のまとめ	127
参考文献	128
第 5 章 保育士のシフトスケジューリング問題	131
1. 本章の目的	132
2. 保育士不足の現状	132
3. 保育施設におけるシフト管理	134
3.1 従来型のシフト管理	134
3.2 本研究でのモデルによるシフト管理	136
4. 拘束条件	140
5. 本章のまとめ	143
参考文献	145
第 6 章 トラック輸送の入荷バース割り当て問題	147
6.1 本章の目的	148
2. 本研究での手法	149
3. 拘束条件	150
4. 定式化	150
5. 解法	153
6. 数値実験	155
6.1 入力値及び実験パラメータ	155
6.2 計算結果	159
6.3 計算結果評価	161

7. 本章のまとめ	164
参考文献	166
第 7 章 運行管理における乗務割作成問題	167
1. 本章の目的	168
2. トラック運送における運行管理	168
2.1 運行管理者の選任	168
2.2 運行管理者の日常業務の基本フロー [3]	169
3. 運転者の労働時間	170
4. 乗務割の作成における課題	173
5. 最適化問題の選択	175
5.1 スケジューリング問題の適用	175
5.2 トラック運転者の拘束条件	175
5.3 定式化	176
6. 本章のまとめ	179
参考文献	180
第 8 章 結論	181
1. 結論	182
付録	187
付録 A 第 3 章のベンチマーク関数計算結果	188
付録 B 第 3 章のパートタイマーによる職場のスケジューリング問題計 算結果	212
付録 C 第 6 章の入荷バース割り当て問題計算結果	214

第 1 章 序論

第 1 章 序論

1. 本研究の目的

本研究では、「シフトスケジューリング問題の群知能アルゴリズムの応用」をテーマに挙げ、研究を進めることとする。

近年、全労働力に占めるパートタイム勤務の割合は増加している。また、人材不足解消が喫緊の課題である職場では、サービス業を中心に、短時間勤務など雇用形態を多様化させ、これまで、時間の制約の問題で働きたくても働けなかった層を取り込み始めている。こうした多様な働き方を前提とした勤務体系を実現するには、従来にはない緻密なシフト管理が必要である。

本研究では、従前の研究では対象とされていなかったパートタイム勤務者が中心となる職場や現代の労働環境を象徴するような分野で複雑な条件を持つ問題をシフトスケジューリング問題としてモデル化し、その解法を示すものである。

解法については、厳密解法や従前のシフトスケジューリング問題で用いられているメタヒューリスティクスによる近似解法だけでなく、群知能アルゴリズムを用い、その効果を検証する。

2. 論文の構成

本論文は全 8 章から構成されている。

第 1 章は、「序論」である。

本研究の目的並びに、研究全体の構成について概要を述べ、本研究の全体を明らかにしたものである。

第 2 章は、「研究の背景」である。

少子高齢化の進行、生産年齢人口の減少による人材不足の中、特に、シフトを組むこと自体が困難になってきているサービス業におけるパートタイム勤務者、コンビニエンスストアのスタッフ、保育士、トラックドライバーに着目し、スタッフのシフトスケジューリング問題の研究が強く求められる背景について、明らかにする。

女性の社会進出が望まれているが、家事、子育てをしながらパートで働くには勤務において勤務時間帯、総勤務時間など様々な制限がある。

一方、サービス産業の労働体系は、フルタイム勤務中心からパートタイム中心にシフトしてきており、さらに、シフトを細分化することにより、従来よりも勤務時間を短くし、時間の制約の問題で働きたくても働けない

主婦層を取り込むことで人材不足を凶る企業が増えている。

こうした状況のもとにより緻密なパートタイム管理が必要になっている。

コンビニエンスストアは、24時間365日営業している。従来の24時間勤務は、消防士や看護師などのように、厳密に時間が決められた三交代制勤務であったが、コンビニエンスストアでは、「平日の日中のみ」、「早朝の2時間のみ」、「土日のフルタイム」など、従業員が勤務を希望する長さもタイミングもまちまちである。

管理者は、従業員それぞれの雇用形態を正しく把握し、要望を考慮しながら、その一方で、時間毎に異なる業務オペレーションや業務量に応じて、繁忙時間帯に適切な人数を配置できるよう、全体の人数も最適化しなければならず、従来にはないシフト管理が求められている。

保育士は、待機児童の解消、保育施設の増設が進められている中、深刻な人手不足に陥っている。保育士の資格を所持しているのに保育士として働いていない、潜在保育士の問題がある。長時間労働やサービス残業・遅番早番などの勤務体制の変更といった職場環境の悪化が要因として考えられ、保育士のなり手を増やすためには、保育士の働く職場環境の改善は必須といえる。

こうした中、パートを活用し、短時間のシフトを組んで対応したり、保育士の雇用形態をパート、短時間正社員など、それぞれの保育士の生活環境の変化によって選択できるようにしたりする保育施設が出始めている。

従来の早番、中番、遅番を割り当てるフルタイム勤務を前提としたシフト管理ではなく、パートや短時間社員の配置を想定したシフトスケジューリング問題の研究が求められている。

トラックドライバーは、物流・ロジスティクスの高度化において、トラック輸送の重要性がこれまで以上に高まっているにも拘らず、2年連続で減少となり、また、長時間労働による過労運転による事故も、近年、大きな社会問題となっている。

我が国では自動車運転者の労働の実態を考慮し、拘束時間、休息期間等について基準が定められているが、運行管理者は、こうした複雑な条件、労働基準法、及び労働大臣告示「自動車運転者の労働時間等の改善のための基準」（改善基準告示）により運行計画を策定しなければならない。

こうした社会的にシフトスケジューリング問題の研究の重要度が増している背景を踏まえ、シフトスケジューリング全般についての先行研究について考察する。

シフトスケジューリング問題の代表的な問題として研究が進んでいる看

護師におけるシフトスケジューリング問題及び、それらの研究を踏まえて展開されているスタッフのシフトスケジューリング問題における問題の定義、拘束条件、組合せ最適化問題としての定式化を明らかにするとともに、その問題を解くために用いられる厳密解法、近似解法について考察を行う。

スタッフのシフトスケジューリングの拘束条件を、サービスの需要をカバーするシフト拘束条件とスタッフの勤務負荷を考慮するスタッフ拘束条件に分類し、シフトスケジューリングについての基盤となる条件の考え方、課題を明らかにした上で、フルタイム勤務を前提としたものではなく、パートタイム勤務者を中心とした職場に対してのシフトスケジューリングの必要性を示す。従前研究では、パートタイム勤務者については、フルタイム勤務者の補完的な役割に留まり、パートタイムに特化したかたちでのスケジューリング研究は新規性の高い領域である。

また、解法については、従前研究では、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) やタブーサーチ (Tabu Search: TS)、焼きなまし法 (Simulated Annealing: SA) といったヒューリスティクスによる近似解法がほとんどであるが、パートタイム勤務者が中心となる職場では、問題が大きく複雑になり、手作業による修正が困難になるため、より精度の高い解法が求められることを明らかにする。

第3章は、「組合せ最適化問題の解法」である。

シフトスケジューリング問題は、組合せ最適化問題として定式化でき、組合せ最適化問題の解法は、制約条件を満たす解の中で、目的関数を最小(最大)にする解を求めるものである。現実の問題のほとんどは、最適解を求めるのが困難な NP 困難と呼ばれるクラスに属する問題である。計算困難な組み合わせ最適化問題に対するアプローチは、時間がかかっても最適性の保証された解を求める「厳密解法」、現実的な計算時間で良い実行可能解を求める「近似解法」がある。

厳密解法では、整数計画問題 (Integer Programming: IP) などの標準問題の形に定式化して、汎用ソルバーを用いて解く場合が多く、組合せ最適化問題に対する汎用ソルバーとしては、混合整数計画問題 (Mixed Integer Programming: MIP) のソルバーが代表的であり、商用、非商用を含め多数のパッケージが存在する。

近似解法では、問題特有の性質を利用した専用ソルバーを適用あるいは開発を行う。その際に、利用されるアルゴリズムとして、メタヒューリスティクスが多く提案されている。

第3章では、厳密解法で用いられる汎用ソルバーで採用されているアル

ゴリズムである「分枝限定法」及び、メタヒューリスティクスとして、シフトスケジューリング問題の先行研究で多く用いられてきた GA, 近年, 複雑かつ多変数の最適化問題に対して有効であるとして, 動物や昆虫の特徴的な行動から考えられた群知能の代表例として, 人工蜂コロニー (Artificial Bee Colony : ABC) [1], ホタルアルゴリズム (Firefly Algorithm : FA) [2]を挙げ, その特徴, アルゴリズムフローを明らかにする.

群知能による解法については, シフトスケジューリング問題などの整数変数を含んだ IP での有効性を検証するため, 関数最適化問題のベンチマークとして知られる Sphere 関数, Rastrigin 関数の 2 種類の関数を用いて GA との比較実験を実施する. ABC の有効性を確認し, FA は, パラメータの設定を含め, 適用すべき問題かどうかの検討の必要性を提言する.

また, パートタイマーによる小規模な職場のスケジューリング問題にて, パートタイム勤務特有の制限を考慮したモデル化を行い, 厳密解法にて最適性が保証された最適解を得る. パートの女性インストラクターがスタッフの中心である小規模なパソコン教室が抱える問題を想定し, パートタイムによる出勤形態及び, 従来にはない個別の事情による勤務制限や出勤ペースなどを考慮したモデル化を行い, 数値実験を行い, 最適解を得る. さらに, 必要人数の条件違反の最小化を目的関数とせず, 総人件費の最小化にすることにより, コストの削減が可能となることを示す.

解法としては, MILP として定式化し, 最適解を求めるとともに, IP で有効性が確認されている GA, 及び, 群知能の ABC を用いて, 群知能をシフトスケジューリング問題に適用する効果を検証する.

第 4 章は, 「コンビニエンスストアのシフトスケジューリング問題」である.

第 2 章で示したように, パートタイム勤務者が中心となるシフトスケジューリングは, 社会的需要が大きい, 従来, シフトスケジューリングのモデル, 解法をそのまま適用することはできない.

そこで, 第 4 章では, シフトスケジューリング問題について従前の研究では対象とされていなかったパートタイム勤務者を対象として, これまでの主たる対象となってきたフルタイム勤務者を対象とするシフトスケジューリングとは異なる視点から拘束条件を設定し, アルゴリズムや解法の見直し及び再構築を行う.

パートタイム勤務者に特化したシフトスケジューリングとして, 対象をコンビニエンスストアとし, その特性を考慮した技法で解く. 具体的には, タイムウィンドウ (勤務可能時間帯) 制約付きスタッフをどのようにシフ

トに割り当てれば、各日・各時間帯のサービスレベル（必要人数、スタッフのスキル、ペア）を維持することができるかを条件とし、人件費（コスト）は必要最小限にすることを目的関数とする最小化問題を解く。解法では、第3章で有効性が確認されたABCの考え方を組み入れることで、分枝限定法で実用的な時間で厳密解を得ることを目指す。

数値実験の結果から、従前のモデルに比べ、計算時間が大幅に短縮できることに加え、パートタイム勤務者を活用するうえで経営的な視点からはコスト面削減効果が大きく、被雇用者の視点からは公平で満足度の高いモデルを示す。

第5章は、「保育施設のシフトスケジューリング問題」である。

保育の量拡大に伴い必要とされる保育士の数は増えているものの、深刻な保育士不足感が広がっている。人材が集まらない原因の一つが長期間労働を前提として勤務体系がある。

保育士不足を解消するために、早朝保育や延長保育などにパートタイムの保育士を配置したり、「短時間正社員」の制度を設け、保育士の雇用形態をそれぞれの保育士の生活環境の変化によって選択できるようにしたりするなど、多様な働き方を提示する保育施設が増えつつある。

第5章では、フルタイムでは求人応募が少ない保育施設では、多様な働き方を提示することで、人材不足を解消できるとし、パート、短時間正社員を活用してシフトを組むことを示した。その場合、従来の早番、中番、遅番を割り当てるフルタイム勤務を前提としたシフト管理ではなく、パートや短時間社員の配置を想定したシフトスケジューリングが必要となる。

そこで、従前のシフトスケジューリング問題では、対象とされていなかったパートタイム勤務者を考慮したシフト管理について、第4章におけるモデルを応用し、拘束条件を示した。

第6章は、「トラック輸送の入荷バース割り当て問題」である。

トラックドライバーの長時間労働は長年大きな問題として取り上げられているが、その大きな要因として指摘されるのが荷物の積み下ろしの間に運転手が待機する「荷待ち時間」である。

荷待ち時間の発生の多くは、指定時間に到着して、待機している時間である。これは、物流センター側に原因があり、入荷作業人員の体制に応じて、時間帯別の納品トラック数を割り当て、平準化することが求められる。

第6章では、スタッフスケジューリングを基に、スタッフを車両に置き換え、日々の勤務シフトの代わりに、時間枠、入荷バースを割り当てることとする。具体的には、納品事業者側の希望時間を考慮しつつ、物流セン

ター側の倉庫内作業の効率性を踏まえて、組合せ最適化問題として定式化し、シフトスケジューリング問題を解く。解法としては、群知能を用いる。

数値実験の結果より、従来型の受付先着順を採用した場合と比較し、荷待ち時間が解消され、労働時間の短縮が期待できるとともに、割り当て表作成についても作業時間の短縮が可能となることを示す。

解法については、厳密解を得ることが難しいため、ヒューリスティクスによる近似解法を用いる。GA とともに、群知能の 1 つである ABC, FA を用い、シフトスケジューリング問題の群知能による解法を他問題に適用することの有効性を検証している。

第 7 章は、「運行管理における乗務割作成問題」である。

近年は物流・ロジスティクスの高度化において、企業戦略を展開するうえでもトラック輸送の重要性はこれまで以上に高まっている。しかしながら、ドライバーなどの輸送・機械運転従事者は、2 年連続で減少となっており、自動車運送事業における高齢運転者の事故や長時間労働による過労運転による事故も、大きな社会問題となっている。

第 7 章では、運行管理（貨物）の現状と課題を明らかにしたうえで運行管理業務の効率化に不可欠な乗務割の作成についてのモデル化を示し、並びに円滑に乗務割を作成するために必要な拘束時間、労働時間の軽減に有効と考えられる中継輸送の導入効果について、検証する。

運行管理者は労働基準法、及び労働大臣告示「自動車運転者の労働時間等の改善のための基準」（改善基準告示）により運行計画を策定しなければならない。各トラック運転者の運行ごとに労働時間を確認し、労働違反となる運行計画については順法の範囲内での修正を提案する必要がある。そこで、トラック運転者の勤務シフトについて、スケジューリング問題を応用することの有効性を示す。

第 8 章は、「結論」である。

本研究全体の研究成果及び、今後の展開について言及したものである。

第 2 章から第 7 章の各章の役割、関連を図 1.1 に示す。

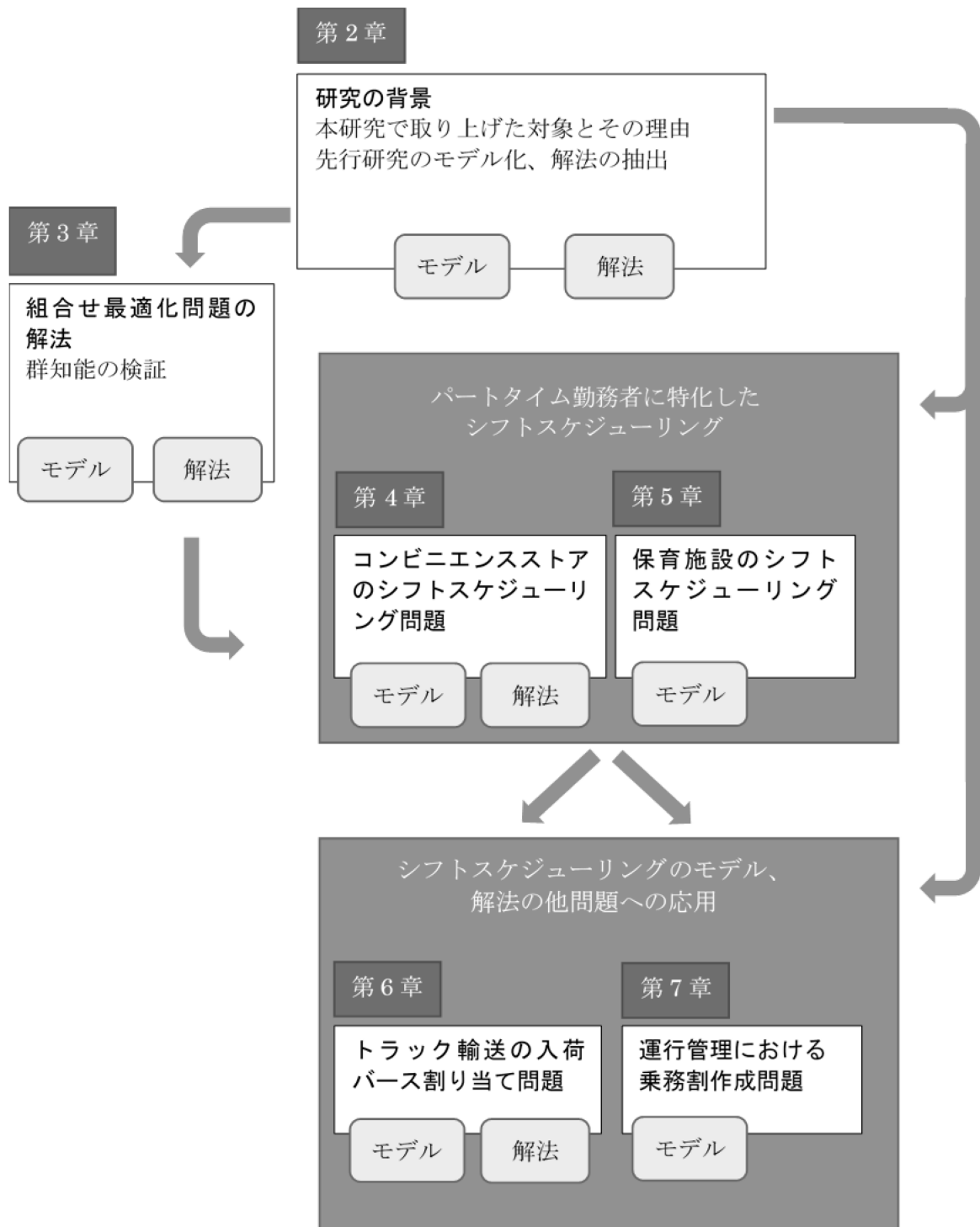


図 1.1 各章の役割

4. 本章のまとめ

本研究では、シフトスケジューリング問題の分析・モデル化及び、問題を解くための解法を明らかにする。

近年、企業は、人材不足の問題を解消するために、働きたくても、時間の制約で働くことができなかつた層を取り込み始めており、時間単位のパートタイム勤務のシフト管理の重要度は増している。

本研究は、社会的需要が高まっているが、従前の研究では対象とされていなかった分野の問題、特に、パートタイム勤務者を中心とした職場に対して、シフトスケジューリング問題としてモデル化、解法の提言を行うものである。

フルタイム勤務者の補完的な役割という考え方に基づいた従来のパートタイムとは異なり、働ける時間に制約のあるスタッフを活用することを本研究の目的とする。フルタイム中心の伝統的な雇用形態とは異なり、パートタイムに特化したかたちのスケジューリング研究はこれまで行われていない新規性の高い領域である。

解法については、近年、複雑かつ多変数の最適化問題に対して有効であるとして海外において注目を集めているが、スケジューリング問題の国内事例においては応用例がない群知能について、その有効性を検証する。

参考文献

- [1] D. Karaboga and B. Basturk, “A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization:Artificial bee colony (ABC) algorithm”, J. Global Optimization, Vol.39, (2007), pp.459-471
- [2] X.-S. Yang, “Firefly algorithms for multi-modal optimization”, Stochastic Algorithms:Foundations and Applications, Vol.5792, (2009), pp. 169-178

第 2 章 研究の背景

第 2 章 研究の背景

1. 本章の目的

少子高齢化の進行により，我が国の生産年齢人口は 1995 年をピークに減少に転じている．こうした中，産業界での人材不足が顕在化しつつあり，医療福祉業（看護，介護，保育など），サービス業，運輸業などで人材不足の傾向が強くみられるようになっている．

人材不足の中，シフトを組むこと自体が困難になってきているが，シフト管理が上手くいかない職場では，結果としてスタッフの負荷や不満により，離職が進み，さらに労働者不足に陥る悪循環が見られる．

シフト勤務では，従業員・職員の誰が，いつ働くか，勤務の割り当てを行なった勤務表を作成する．実際の勤務表作成は，勤務に必要な人数，各人の能力や希望など様々な条件を考慮しながら決めなければならず，手間と時間がかかる作業となり，熟練者が経験と勘を頼りに時間をかけて行うのが一般的である．

しかし，勤務表作成に専任者を置いている企業は少数であり，多くの職場では，勤務全体かつスタッフ全員のことを理解している店長・リーダーなどが本来の業務と兼任で行っている．質の高いサービスを提供しながら，かつスタッフ一人一人が無理なく快適に働くことのできる勤務表を作成するために，また，そのための作業の負荷軽減のために，コンピュータによる支援の需要は大きい．

勤務表を作成する際の「仕事を誰に割り当てると効率的か」という問題を，数理計画では，シフトスケジューリング問題という．なかでも，医療施設における看護師の勤務表を作成する問題であるナーススケジューリング問題は，シフトスケジューリング問題の代表的な問題として，また，組合せ最適化問題の中の魅力的な問題として，様々な研究が行われ，実問題がモデル化され，ある程度複雑な条件でも良い解が求められる解法が提案されている．

しかしながら，勤務表作成の問題を抱える現場は，医療施設だけではない．ビジネス・シフト勤務が複雑化する中，問題のサイズやローテーションの性質が異なる他のシフトスケジューリング問題の研究も求められる．

本章では，特に，社会的に重要性が高まっている分野において，人材不足の解消が喫緊の課題となっている職種である，サービス業におけるパートタイム勤務者，コンビニエンスストアのスタッフ，保育士，トラックドライバーに着目し，スタッフのシフトスケジューリング問題の研究が強く求

められる背景について明らかにする。また、先行研究で取り扱われてきたシフトスケジューリング問題及び今後の展開が期待される分野において、新たなシフトスケジューリングの必要性を示す。

2. 研究の背景

2.1 パートタイム勤務者の現状

女性が輝く社会が望まれているが、家事、子育てをしながらパートで働く女性には勤務において勤務時間帯、総勤務時間など様々な制限がある。厚生労働省による調査では、図 2.1 に示す通り、パートを選んだ理由として、「自分の都合の良い時間（日）に働きたいから」「勤務時間・日数が短いから」「就業調整（年収の調整や労働時間の調整）ができるから」という時間に関する項目が上位を占めており、特にその割合が女性では高くなっている[1]。

働くことの時間さえ合えば、働きたいと考えている女性が多い。

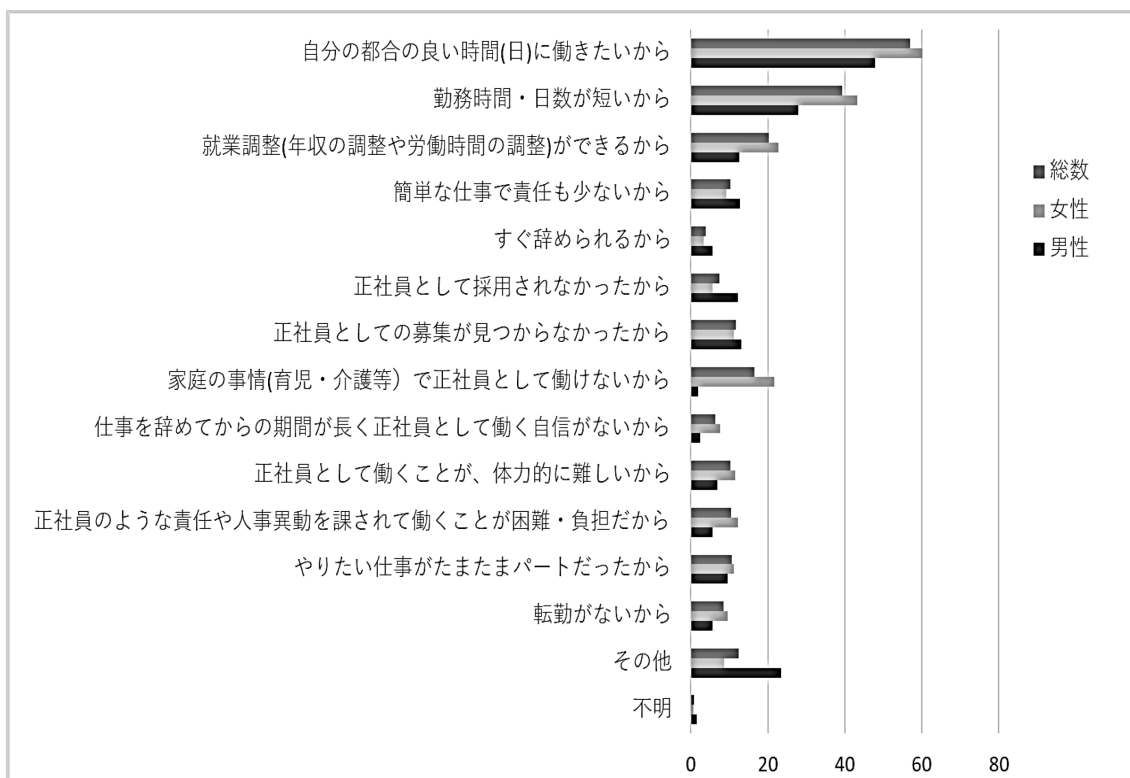


図 2.1 パートを選んだ理由 [1]

出所：厚生労働省「平成 28 年パートタイム労働者総合実態調査（個人調査）の概況」の表より筆者作成

2.2 パートタイム勤務者の雇用環境

一方、2000年以降、我が国におけるサービス産業の労働体系がフルタイム勤務中心からパートタイム中心にシフトしてきている。図 2.2 に示す通り、全労働力に占めるパートタイム勤務の割合は増加している[2]。

しかしながら、図 2.3 に示す通り、少子高齢化それに伴う生産年齢人口（15歳-64歳の総人口）の減少[3]等により、サービス業では、それまで現場を支えてきたアルバイト・パート人材の求人難が問題となっている。

多くの企業はその対策として、シフトを細分化することにより、従来よりも勤務時間を短くし、時間の制約の問題で働きたくても働けない主婦層を取り込み始めている。求人誌「タウンワーク」では、2012年度以降短時間勤務の求人が増加傾向にあり、「週の最低勤務日数が1~2日」という求人件数については、2016年度は、2012年の約3倍、「1日の最低勤務時間が1~3時間」という求人も2016年度は2012年度の約3倍増加している[4]。

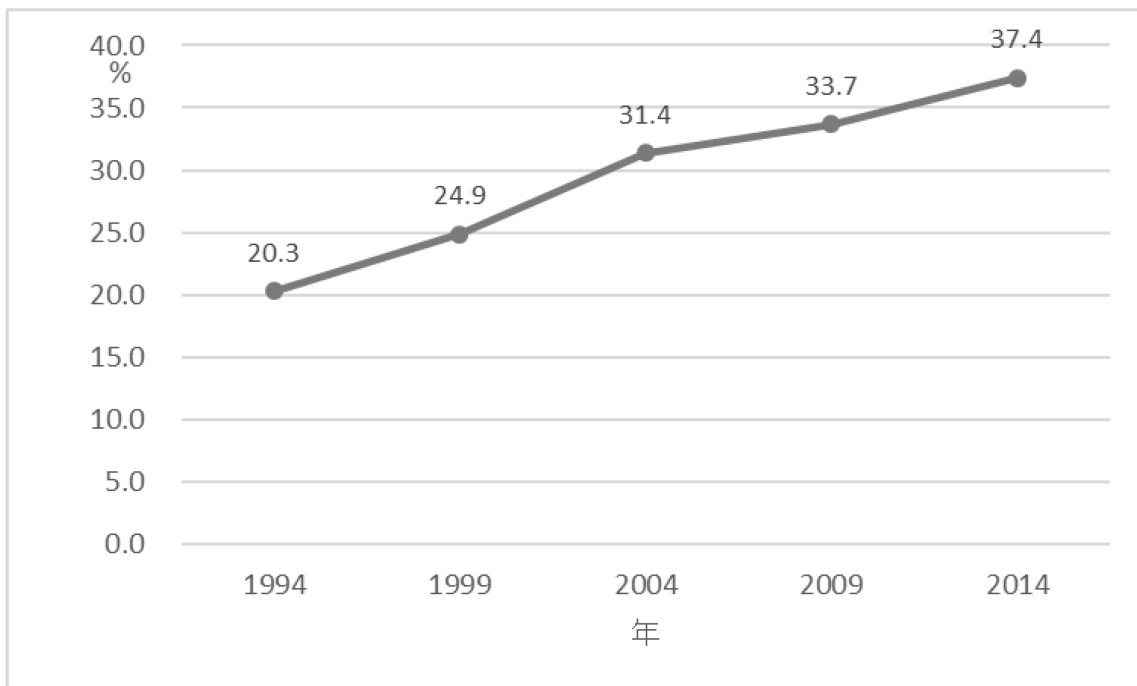


図 2.2 非正規雇用労働者の割合の推移 [2]

出所：平成 27 年版厚生労働白書、「人口減少社会」

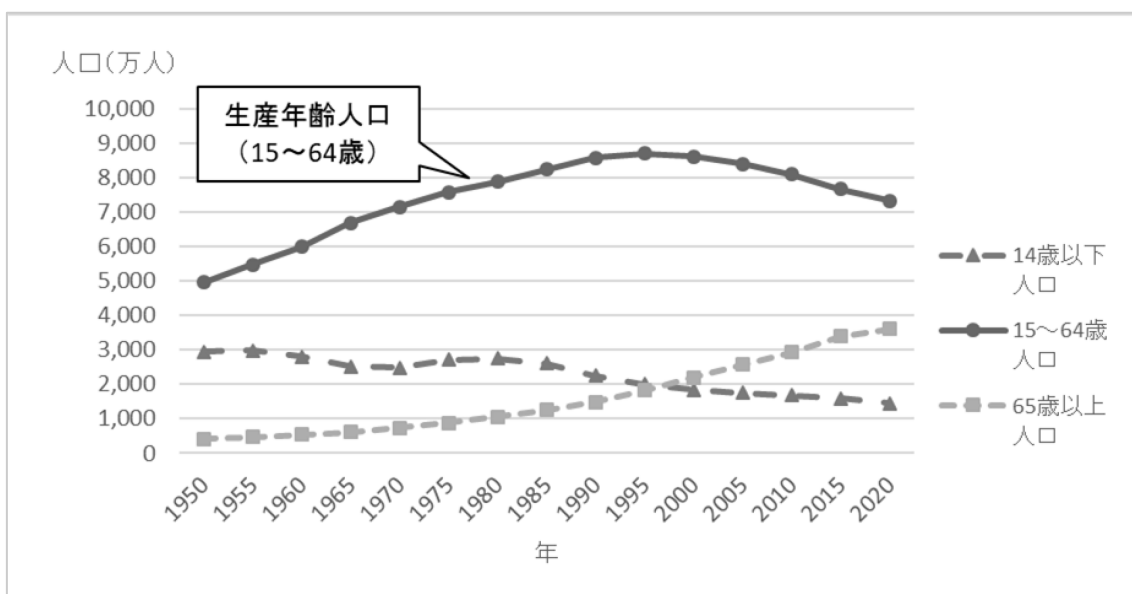


図 2.3 日本の人口推移 [3]

出所：総務省「国勢調査」及び「人口推計」，国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口（平成 24 年 1 月推計）：出生中位・死亡中位推計」（各年 10 月 1 日現在人口），厚生労働省「人口動態統計」

短時間でのシフト勤務は，企業側は，人材不足が解消でき，主婦・パートタイム勤務者にとっては，働きたくても，時間の制約で働くことができなかった方が活躍できる，労使双方にメリットがある人材活用であり，今後も広がることが予測される。

こうした状況のもとにより緻密なパートタイム管理が必要になっている。しかし，パートタイムのスタッフを中心とする現場では，フルタイムで働くスタッフのシフトの考え方にはない特徴があり，そのまま適用することはできない。フルタイム勤務者を対象とするシフトスケジューリングとは異なる視点からのシフト管理が求められる。

2.3 コンビニエンスストア

コンビニエンスストアは，1970 年代に我が国で小売業態の一つとしてスタートして発展を続けている。

2010 年は 7.6 兆円であった売上高が，2013 年には約 9.4 兆円に達する。同時期の百貨店やスーパーが，減少ないしは横ばいであったことと比較すると，小売業全体の中でのコンビニエンスストアの存在感は増している。小売業に属する店舗数が近年減少しているのとは対照的に，コンビニエンスストアは，売上高，店舗数ともに一貫して増加傾向にある。2013 年度に

におけるコンビニエンスストアの店舗数は 52,902 店舗と、ガソリンスタンド (34,706 店) や郵便局 (24,542 店) よりも多く、コンビニエンスストアがこれらの主要サービス提供主体拠点と同等以上に、より身近に存在する店舗となっていることが分る [5].

また、小売りだけでなく、食品販売から始まり公共料金の支払いや ATM 設置など、利便性を軸に、国民の様々な生活ニーズに応える形で新たな商品やサービスを提供し続けていることで、今や日本経済や国民生活に不可欠な存在になっている。

24 時間 365 日営業しているコンビニエンスストアでは、常に誰かを勤務させ続けなくてはならない。従来の 24 時間勤務は、消防士や看護師などのように、厳密に時間が決められた三交代制勤務であったが、コンビニエンスストアでは、「平日の日中のみ」、「早朝の 2 時間のみ」、「土日のフルタイム」など、従業員が勤務を希望する長さもタイミングもまちまちである。

管理者は、従業員それぞれの雇用形態を正しく把握し、要望を考慮する必要がある。

その一方で、業務オペレーションの遂行時間や業務量が時間毎に異なり、繁忙時間帯に適切な人数を配置できるよう、全体の人数も最適化しなければならない。

スタッフのシフト管理は、一般的に、店長などの経験者の経験や勘に頼って行われ、そのシフト勤務表の作成には、十数時間～数日かかることもある。

コンピュータによる自動計算が求められるが、「日勤」、「夜勤」、「準夜勤」といった従来のフルタイム勤務パターンのようにシフトとして取り扱う方法では、時間単位のパートタイム勤務のシフトに対応することができない。スタッフ毎に、出勤時間、勤務時間の長さが異なり、シフトの取り得るパターンは膨大な数になるためである。

また、従来のパートタイム管理とは異なり、シフトに応じるスタッフを求めるのではなく、働ける時間に制約のあるスタッフを活用することを目的とする必要がある。

具体的には、タイムウィンドウ（勤務可能時間帯）制約付きスタッフをどのようにシフトに割り当てれば、各日・各時間帯のサービスレベル（必要人数、スタッフのスキル、ペア）を維持することができるかという問題を解かなければならない。

2.4 保育士

女性の社会進出を妨げている要因として、待機児童の問題が注目されている。待機児童とは、子どもを育てている人たちが子どもを預かってくれる保育施設に入所希望を出しても、その施設が満員で入所することができず入所待ちの状態になっている児童のことをいう。厚生労働省が2018年4月11日に発表した2017年10月時点の待機児童数は全国に5万5433人[6]であり、前年同時期より7695人多く、3年連続で増加傾向にある。

子どもを保育施設に預けて働くことを希望する家庭が増えているため、自治体は、児童の受け皿となる保育園を増設し、対策を進めているが、保育施設で働く保育士が不足している。保育の担い手確保が喫緊の課題となっている。

平成29年10月の保育士の求人状況を見ると、全国の有効求人倍率は2.76倍と全業種(1.56%)と比較して、高い水準にあり、深刻な人手不足に陥っていることがわかる。

保育士不足の要因として、保育士の資格を所持しているのに保育士として働いていない、潜在保育士の問題が挙げられる。平成25年時点の保育士登録者数は約119万人、勤務者数は約43万人であり、潜在保育士の数は約76万人にもなる[7]。

保育士養成機関で保育士資格を取得して卒業した者のうち、約半数(48.4%)は、保育所に就職していない。また、図2.4に示すとおり、保育士資格を有しながら保育士としての就職を希望しない求職者のうち、半数以上が勤務年数5年未満であり、早期離職の傾向も顕著である[8]。

保育士資格を有するハローワーク求職者のうち、約半数(48.5%)は保育士としての就業を希望していない[8]。

就業している保育士における現在の職場の改善希望としては、「給与・賞与等の改善」が6割(59.0%)で、最も多く、次いで「職員数の増員」(40.4%)、「事務・雑務の軽減」(34.9%)、「未消化(有給等)休暇の改善」(31.5%)など、労働条件や職場への不満の高さが見られる[9]。

保育施設は、保護者のニーズに応えるために、早期保育や延長保育などに対応をせざるを得ない状況に置かれており、長時間労働やサービス残業・遅番早番などの勤務体制の変更といった職場環境の悪化が要因として考えられる。

保育士のなり手を増やすためには、保育士の働く職場環境の改善は必須といえる。

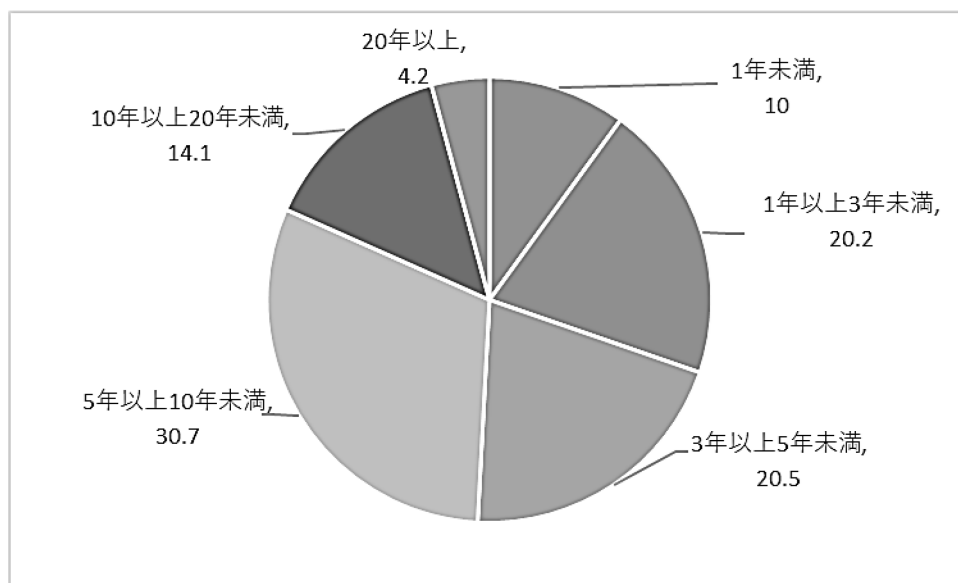


図 2.4 保育士としての勤続年数

注) 対象は、保育資格を有しながら保育士としての就職を希望しない求職者のうち、保育士としての勤務経験があるもの

出所：厚生労働省（2014）：保育人材確保のための『魅力ある職場づくり』に向けて

また、保育士としての就業を希望しない理由として、再就職に関する項目としては「就業時間が希望と合わない」（26.5%）が最も多く[8]、家庭の状況などにより、就業時間への配慮が求められている。

保育施設の基本勤務時間は 8 時間であるが、延長保育などがあるため、施設の開設時間に応じて、早番、中番、遅番の 3 交代制のシフトで対応していることが多い。

認可保育所の保育士数の最低基準は、児童福祉法第 45 条の規定に基づき、表 2.1 のとおりに定められている

表 2.1 認可保育所の保育士数の最低基準

0 歳児	おおむね 3 人に 1 人
1,2 歳児	おおむね 6 人に 1 人
3 歳児	おおむね 20 人に 1 人
4,5 歳児	おおむね 30 人に 1 人

これに加えて、「1, 2 歳児 5 人につき保育士 1 人」など、保育の質を保つため自主的に厳しい基準を設けている自治体もある。

そのため、必要な人数の保育士が確保できず、認可保育所が開園できない、あるいは、園運営に支障をきたしているという園もある。

こうした中、早朝保育や延長保育などにパートやアルバイトの非正規雇用の保育士を配置する保育園がある。時間外保育を中心に、3～4時間だけの短時間のシフトを組んで対応する。

また、保育士の雇用形態をそれぞれの保育士の生活環境の変化によって選択できるようにパート、短時間正社員、正社員に設定できるようにするという方法もある。[9]

子育てのため、正社員からパートへ、子どもの手が離れたのでパートから短時間正社員へ、親の介護のために正社員から短時間正社員へ等のケースを想定した働き方に柔軟に対応できる。

従来の中番、早番、遅番を割り当てるフルタイム勤務を前提としたシフト管理ではなく、パートや短時間社員の配置を想定したシフトスケジューリング問題の研究が求められる。

2.5 トラックドライバー

我が国における貨物輸送の中心はトンキロベースで約 60%を占めるトラック輸送に担われている。さらに近年は物流・ロジスティクスの高度化において、企業戦略を展開するうえでもトラック輸送の重要性はこれまでに以上に高まっている。

しかしながらトラック運送事業に従事する就業者数は約 185 万人（平成 27 年）で、このうちドライバーなどの輸送・機械運転従事者は 80 万人であり、2 年連続で減少となっている。

また、トラック運送業を含む自動車運送事業は 40 歳以上の男性労働力に大きく依存しており、40 歳満の若年就業者数は全体の約 30%に過ぎない[10]。

他方、自動車運送事業における高齢運転者の事故や長時間労働による過労運転による事故も、近年、大きな社会問題となっている。

我が国では自動車運転者の労働の実態を考慮し、拘束時間、休息期間等について基準を定めている[11]。

1 か月の拘束時間の限度、1 日の拘束時間の限度、延長が認められる限度が定められている。また、1 日の休息期間、1 日の運転時間についても限度が定められている。

運行管理者は運転者の勤務状況を把握したうえで、労働基準法に従って、日次、週次、月次、年次レベルの労働時間、拘束時間を考慮し、運行計画

を作成しなければならない[12].

また、連続運転や運転時間の間に休憩（非運転時間）についても、厳しい規制が設けられている。

連続運転の途中で運転から離脱する時間を「非運転なお時間」という。しかし「運転をしてないから」ということで積み、荷卸しなどを行うのではなく、きちんと休憩をとることが望まれる。

運行管理者は、こうした複雑な条件、労働基準法、及び労働大臣告示「自動車運転者の労働時間等の改善のための基準」(改善基準告示)により運行計画を策定しなければならない。

しかしながら、基準に違反しない運行計画の作成に時間がかかることはもとより、作成した運行計画が基準に合致しているかどうかの判断も時間に追われている現場にとっては難しくなることが少なくなく、さらにいえば個々のトラック運転者の労働時間を把握できないというケースも少なくない。

乗務割の作成とリンクするかたちでの運行管理システムの導入が不可欠となる。

3. 先行研究

シフトスケジューリング問題は、一般的に、次のように定義されている。「スタッフの人数、スケジュールの対象期間、勤務種類の数、スキルレベルやチーム構成等によるグループ、毎日の各勤務に必要なスタッフ数と各グループからの人数の上限と下限、連続勤務の上限、勤務間隔の上限と下限、禁止される勤務パターン、各スタッフの各勤務に対する回数の上限と下限、スタッフの休日回数、スタッフの希望勤務を条件とし、これらの条件を守りながら、目標が達成されるようなスケジュールを組む。」

シフトスケジューリング問題の研究は、拘束条件の設定等モデル化に着目したものと、問題を解くための解法に着目したものと、2種類に大別できる。

3.1 モデル化の研究

シフトスケジューリング問題についての研究は、1970年代に米国で、医療施設における看護師の勤務表を作成するナーススケジューリング問題についての研究を中心に始まり、現在では世界中の多くの研究者が取り組んでいる[13].

日本では、1996年、看護師の勤務表作成の現状把握のためにおこなった

現場調査の結果とその結果に基づく数理計画モデルが示された。米国では、限られた種類のシフト毎に雇用契約をするなど、1つのシフトが長く続くが、日本では、各看護師が複数のシフトを短い周期でローテーションする。また、個々の看護師のスキルや希望などを考慮する必要がある、各看護師についての勤務の組合せが多くなる。

現場調査の結果により、勤務表作成にかかる条件が示されている[14]。

- (1) 毎日の各勤務に必要な人数を確保すること
- (2) スキルレベルや業務上の所属チームを考慮して各勤務のメンバーを構成すること各看護婦について各勤務の回数が決められた範囲であること
- (3) セミナー等その他の業務や休日の希望を達成すること
- (4) 禁止される勤務パターンを入れないこと

看護師におけるシフトスケジューリング問題で考慮すべき条件として、サービスの質と看護師の生活の質の両方を守るべき、として、各シフトの勤務メンバー構成に関わる条件と、各看護師の負荷に関わる条件に分けている研究がある[15]。

2 交替制では担当すべき患者について ABC のチームに分けられた 28 名の看護師が、3 交替制では AB の 2 チームに分けられた 25 名の看護師が所属しているという条件のもとで問題が解かれている。

2 交替及び 3 交替に関するデータ (Ikegami-2shift-DATA1, Ikegami-3shift-DATA1) はベンチマークサイト (University of Nottingham) に掲載されている[16]。

公平な条件の解を得るためには各シフトに働く看護師のスキルレベルや相性、個々のナースの希望、さらに、健康に悪影響を及ぼすようなシフトの並びを避け、前スケジューリング期間からのシフトの並び等を考慮しながら、これらの数が適正な幅に収まるようにしなければならない。

また、我が国では、ローテーションの周期が短いので、シフトの並びに対する制約が数多く存在する。これは 1 種類のシフトが長く続くことを好まない傾向が強いためである。

これらの先行研究 [14][15] は我が国のシフトスケジューリング問題におけるモデル化の基盤となっているといえる。

特に、拘束条件を考える上で、各シフトの勤務メンバー構成に関わる条件と、各スタッフの負荷に関わる条件に分けることは、一般的になっている。

各シフトの勤務メンバー構成についての条件は、シフト拘束条件といい、各シフトに適した人数とスキルレベルのスタッフを割り当てることによりサービスの質を守ろうというものである。

具体的には、各シフトの合計勤務人数や各グループからの人数に下限と上限を設定する。

各スタッフの負荷に関わる条件は、スタッフ拘束条件といい、各スタッフの労働負荷を考慮するものであり、具体的には、シフト及び休暇の回数を適切にし、シフト及び休暇の希望日やセミナー参加を反映し、看護師の健康に悪影響をもたらすと考えられるシフトの並びを避けるための条件を設定する。

なお、シフトの並びについては、同一シフトの連続回数、勤務間隔日数について上下限を設定し、さらに、禁止シフトパターンを設け、それに違反しないようにすることが条件となる。

これらの拘束条件をすべて満たすことによりシフトスケジューリング問題を解くことになる。

スタッフ拘束条件には、各スタッフの勤務に対する嗜好を考慮する研究がある。例えば、各看護婦の勤務に対する嗜好の個人差にできるだけ対応した勤務パターンにするために、各看護婦の評価値を一定にするのではなく、看護師の勤務パターンについてのアンケートから、評価値を看護婦別に設定している[17]。

これはシフトスケジューリング問題で求められているものは実用的な勤務表の作成であり、聞き取り調査や過去の勤務表を参考に制約が決定される。勤務表は人間から見て満足するものでなければならないという考え方によるものである。

シフトスケジューリング問題の研究の多くは特定の職場を対象に開発が行われており、そのまま他の職場でも使用できるとは限らない。そういったことを踏まえ、各種制約条件や評価値などは病院によって大きく異なるとし、個々の病院特有の条件設定を排除した基本的な条件だけを設定した研究もある[18]。

基本的制約条件のみが満たされたものを実行可能解とし、その中から勤務表作成担当者による満足を得るため、病院固有の条件を満たした満足解を求めるものである。勤務表を一度に作成するのではなく、対話的に随時不都合部分を修正していく方法が示されている。具体的には、基本的な制約条件のみが満たされたもの（実行可能解）の中から、勤務表作成者を満足させたもの（満足解）、つまり病院固有の条件も満たされているものを選

択する。必要な日数分（通常は1ヵ月分）の勤務表を一度に作成するのではなく、勤務表作成者の指定した日数分だけ勤務表の作成を行い、随時不都合部分を修正（実行可能回から満足解への修正）していく。このプロセスを、必要な日数分の勤務表が作成できるまで繰り返す[18]。

複数の拘束条件を設けたとき、すべての条件を満たすのではなく、その優先順位を考える研究がある。様々な制約条件や要望を考慮するために、出来るだけ実現させたい要望を「目的関数」として複数用意し、各目的関数のバイアスが異なる条件下で、様々な観点によって作成された勤務シフトを並列的に提示している[19]。

医療施設におけるシフトスケジューリングであるナーススケジューリング問題は看護師のシフト管理を徹底する必要があるという需要が強かったためにシフトスケジューリング問題の中でも特に研究が進んだ分野であり、他の分野のシフトスケジューリング問題については、その応用という形で研究が進められてきた。

ナーススケジューリング問題におけるナース拘束条件をスタッフ拘束条件と読み替えることで、看護師以外のシフトスケジューリングについての基盤となる条件の考え方が構築されているともいえる。

先行研究では、どのようなシフトスケジューリングにおいても、サービスの需要をカバーするシフト拘束条件とスタッフの勤務負荷を考慮するスタッフ拘束条件に分類できる、としているものもある[20]。

スケジュール作成問題を把握するために整理すべき項目として、各スタッフの勤務日や勤務時間などの「スケジュール構成要素」、日勤、夜勤などの「勤務パターンの種類」、1週間単位、1ヶ月単位など「スケジュール対象期間」、業務内容に周期があるかどうかによる「スケジュール周期性」、スタッフの組み合わせを含んだ「スキルの考慮」を挙げている。スケジュール構成要素として、勤務日にシフトを割り当てる固定シフト制と、勤務日時に割り当てる自由シフト制とがある、としている。勤務パターンの種類には、「日勤」「夜勤」のように3~5パターンのことが多いが、20を超えるパターンを備える場合もあるとし、需要の変動やスタッフの勤務希望時間帯に対応するために勤務パターンを設定せずに、スタッフごとに出勤退勤時間を定める場合もあるが、考え得る勤務パターンはある程度限定されるはずであり、多くの勤務パターンをもつと考えることもできる、と述べられている[20]。

スタッフが数十人規模のスケジューリングは、手作業により行われていることが多いが、数理最適化技法を用いた支援システム導入により、スケ

ジュール作成の負荷を軽減し、スタッフのスケジュールに対する不公平感を削減できる、としている[20].

ナーススケジューリング問題において考慮されていない条件を組み入れたものでは、コールセンター要員のシフトスケジューリング問題についての研究がある。コールセンターの要員スケジュールについて、大きく変動するコール量によって各時間帯の所要人員数が急激に変動するといった複雑な条件を考慮している[21].

また、サービスレベルと総勤務時間（コスト）という、相反する要素の重要度について、重み付けを設定することで、繁忙時のサービスレベルを適切に下げて全体コストを大幅に削減することが可能であることを示した。この実験では、ピークが4回訪れる2種類のコール数の分布が用いられ、最大動員可能人数は200人としている[21].

コールセンターのシフトスケジューリング問題は、大規模な問題であるが、中小規模のシフトスケジューリング問題についての研究もある。大規模問題に対してはより良い解を得る為に手法を複雑にする必要がある一方、中小規模の問題の際、簡単な手法で問題をある程度解決可能であると考え、中小規模のスケジュール作成者にとって、容易に調整可能なスケジュールの作成を行うものである。ビジネスホテルを例にスタッフが9名、勤務パターンを6種類（日勤、夜勤、準夜勤1、準夜勤2、夜勤明け、休み）、対象期間は30日、アルバイトと社員が混在していて、新人社員とアルバイトが同時夜勤不可等、同時勤務の際に細かな制約が設けられている[22].

スタッフが公平な勤務となるように、労働条件やスタッフの希望等の条件を考慮するスケジュールを作成することを目的とするが、それに加え、スケジュール作成後の手作業による修正のしやすさも目標としている。

守れない考慮制約にペナルティを与え、総ペナルティを小さくするスケジュールを求めることが一般的にとられているが、ここでは実際に作成者をどれだけ支援することができたかに注目し、設定した目的関数を改良化している[22].

看護師のシフトスケジューリング問題であるナーススケジューリング問題は、正社員・フルタイム勤務が前提のため、コストパフォーマンスが考慮されることは少ないが、他分野のシフトスケジューリング問題では、コストの視点を入れることが必要とされる場合がある。生産計画の変更が頻発し、不確実変動に迅速な対応が求められる中小規模の製造現場での要員計画を想定し、熟練者と非熟練者のマッチングによって作業効率を向上させ、作業全体の人件費と作業時間を削減できるとされている[23].

各作業員の技能を作業スキルと主体性の2つに分け、生産効率を導き出し、人件費（総作業時間）を算出して有効性を評価、実際の製造現場で記録されたスケジューリングを検証している。ここで、主体性とは、作業現場全体に働きかけることができるか否かをパラメータで割り振ったものであり、作業中に他の作業員と意思疎通を積極的に取れるか、リスクに対する情報を共有できるか、などが作業効率や問題発生防止につながるとしている[23]。

作業員データは、12名で、主体性を100%~130%（3段階）、また3種類の作業に対してそれぞれの技能を100%~130%（6段階）で評価し、作業員をいくつかのグループに分けて製造を行うケースをモデル化、全作業にかかった人件費の最小化を目的関数として定めている[23]。

シフトスケジューリング問題では、その日に、出勤するかどうか、また、「日勤」「夜勤」などの勤務パターンを割り当てるが、さらに、勤務内容を割り当てる研究がある。複数の実店舗に対するヒヤリングに基づき、シフトスケジューリング問題に対する汎用的なモデルを構築するものである。シフトスケジューリング問題を2つの段階に分け、第1段階は各人に対し早番、遅番など1ヶ月のシフト（勤務交番表）を決定し、第2段階は、その勤務交番表を基に、ある1日の各時刻に対し作業や休憩の割当てを決定する[24]。

各スタッフが、いつ、どの時間帯に働き、どのような作業を行うのかをすべて同時に決定することは困難であるため、勤務の割り当てを複数の段階に分けて行う手法である。

問題を3つの段階に分けているものもある[25]。

第1段階で、勤務シフトの種類と勤務シフトに割り当てられるスタッフ数を決定し（勤務シフト生成）、第2段階で、各日に対して各スタッフに勤務シフトまたは休日を割り当て（勤務シフト表作成）、第3段階で、1日毎に勤務シフトが割り当てられたスタッフが各時刻でどの作業を行うかを決定する（作業分担表）。第1段階の勤務シフト生成では、問題を小さくするために、休日数を考慮しないモデルと作業スキルを考慮しないモデル、2つの緩和モデルを用意し、休日数を考慮しないモデルでは、各スタッフに対して、各時刻における作業の割り当てを行う問題を解き、そこで割り当てられた作業を固定し、次に勤務シフトの割り当てを行う問題（勤務シフト決定問題）を解く[25]。

3.2 解法の研究

シフトスケジューリング問題は複数の条件を満たすことを目的とする組合せ最適化問題である。

最適化問題は、一般に制約条件を満たす解の中で、目的関数を最小（最大）にする解を求めるもので、次のように定義される。

$\min(\max)$	$: f(x)$	目的関数
$\text{subject to}(s.t.)$	$: g(x) \leq 0$	不等式制約条件
	$: h(x) = 0$	等式制約条件
	$: a \leq x \leq b$	設計変数

シフトスケジューリング問題は、最適解を求めるのが困難な NP 困難と呼ばれるクラスに属する問題である。

このような計算困難な問題に対するアプローチとして、時間がかかっても最適性の保証された解を求める厳密解法と現実的な計算時間で良い実行可能解を求める近似解法がある。

3.2.1 厳密解法

厳密解法では、整数計画問題（Integer Programming: IP）や制約充足問題（Constraint Satisfaction Problem: CSP）などの標準問題の形に定式化して、汎用ソルバーを用いて解く。

組合せ最適化問題に対する汎用ソルバーとしては、混合整数計画問題（Mixed Integer Programming: MIP）のソルバーが代表的であり、CPLEX [26]、XPRESS [27]、Gurobi [28]、SCIP [29]、GLPK[30]など、商用、非商用を含め多数のパッケージが存在する。計算機パワーの増大、最適化アルゴリズムの進化により、汎用ソルバーの性能は向上し、計算不可能であった大規模な問題が扱えるようになってきている [31]。

シフトスケジューリング問題は、厳密解法による最適解を得ることが難しい問題として知られてきたが、看護師のシフトスケジューリング問題であるナーススケジューリング問題では、混合整数線形計画問題（Mixed Integer Linear Programming: MILP）および充足可能性判定問題（Satisfiability Problem: SAT）として記述することで、汎用ソルバーによりナーススケジューリング問題の最適解が得られることが示されている [32]。

MILP は、整数変数だけであっても一般変数が混ざっていても解くことができる。また記述性が高く、数式により様々な問題を記述できる。

シフトスケジューリング問題は、様々な制約が $L \leq \sum_i x_i \leq U$ のような形で現れるので、MILP による記述は容易であるが、実際に解くことが困難な問題が存在した、としている。MILP ソルバーには、商用の CPLEX 12.0 が用いられている [32]。

SAT は、CSP の一種であり、命題論理に特化した問題を扱う。論理式が真になる論理変数が存在する場合、論理式のことを SAT、真になる論理変数が存在しない場合、論理式を UNSAT と呼ぶ。SAT は判定問題であるので直接最適化問題を解くことはできない。そのため、繰り返し判定問題を解くことで厳密解を求める。

MILP に比べ、SAT では論理変数の数・論理式が多くなるが、MILP ソルバーが解けない問題でも SAT ソルバーを使うことによって高速に解が求まった、としている。SAT ソルバーとしては、CLASP1.3.0 [33] が用いられている [32]。

汎用ソルバーを用いていないものでは、部分問題として IP を生成して定式化、列生成法を使って解くことが検討されている [34]。

厳密解法を用いる場合のメリット [31] としては、公平性を重視しなければならない問題の場合、次の 4 つが挙げられる。

- (1) 解が最適であることが重要になること
- (2) 計算が終了しなくてもその時点での下界／上界の情報が得られること
- (3) 問題が不能であることを確認できること
- (4) プログラム開発が不要でモデル化に専念できること

厳密解法は、条件や規模により、計算に時間がかかるが、計算機パワーの増大、最適化アルゴリズムの進化による汎用ソルバーの性能向上により、現実的な時間での計算が不可能であった大規模な問題が扱えるようになってきている [31]。

数理計画の分野で代表的なソルバーである CPLEX [26] は、バージョン 2.1 から 3 になったときは 5.5 倍、バージョン 6 から 6.6 になったときには 10 倍とバージョンアップの度にスピードアップを繰り返し、1991 年から 2007 年の 16 年間での累積スピード比は 29000 倍になる [35]。

しかしながら、シフトスケジューリングの研究で厳密解法を用いた研究は少ない。その理由としては複雑な条件を持ち、人員数が多く大規模な問題に対しては、まだ解を得ることが困難であることに加え、厳密解を求め

る社会的需要がこれまでは小さかったことが挙げられる。

また、時間をかけて厳密解を求めるのではなく、短時間で近似解を求めるほうがコスト安につながり、事務運営上都合がよいと考えられてきた。近似解でスケジュールの大枠を作り、解の修正や制約条件の変更を現場実務の視点から手作業で行い、最終的な勤務表を作成する方法が採られてきたのである。

しかしこうした手法はソルバーのバージョンやパソコンのスペックが向上途上の過渡期に際してのものであり、厳密解を求めたうえでスケジュールを決めていくことが理想であることは否定できないだろう。

3.2.2 近似解法

近似解法では、問題特有の性質を利用した専用ソルバーを適用あるいは開発を行う。その際に、利用されるアルゴリズムとして、メタヒューリスティクスが多く提案されている。

最適性の保証は無いが、発見的法則、経験則によって問題解決を目指すアルゴリズムを総称してヒューリスティクスといい、特定の問題に依存せずに汎用的に対応できるように設計された基本的な枠組みをメタヒューリスティクスという。

代表的なメタヒューリスティクスとしては、焼きなまし法 (Simulated Annealing: SA)、タブー・サーチ (Tabu Search: TS)、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA)、ニューラルネットワークなどがある。

SA は図 2.5 に示すように最適解を探索する際に、局所最適解に陥らないように、ある確率で現在の解よりも悪くなるような移行も許し、その確率を温度というパラメータで制御している。

その名称は、金属加工における焼きなましから来ている。(焼きなましは、金属材料を熱した後で徐々に冷やし、結晶を成長させてその欠陥を減らす作業である。) 最初は温度が大きいのので、解は大胆に変化するが、時間が経つとゼロに近づき、収束していく。

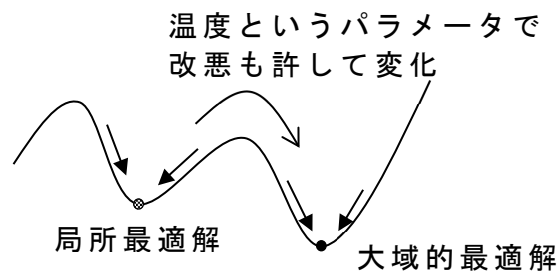


図 2.5 SA の概念図

TS は図 2.6 に示すように既に評価した解をタブーリストとして移行の履歴を管理し，探索が停滞することを防ぐ手法である。

タブーリストに載っていない場合は状態が悪くなっても遷移を行うため，局所最適解に陥ることを防ぐことができる。

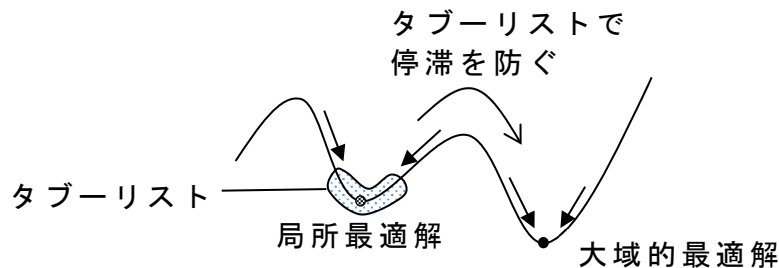


図 2.6 TS の概念図

SA はシンプルな解法として，比較的導入しやすいが，シフトスケジューリング問題に適用したものでは，シフトへの人数確保を優先する初期解と近傍を設定していたことで，スタッフ拘束条件をいくつか満たさない勤務表があった，との報告がある [14].

シフトスケジューリング問題を解くために，TS を応用として用いた研究では，Subproblem - centric Approach (部分問題軸アプローチ) という手法がある。部分問題軸アプローチでは，スタッフ 1 人の最適スケジュールを得る問題を部分問題として，対象とするスタッフ拘束条件を満たしつつ「シフト制約を違反する度合い」を最小化する問題として定義し，イテレーション毎にスタッフ人数分の部分問題を解く。目的関数値が最も小さ

くなった部分問題の解を次の試行解に採用することを，TS によって繰り返すことで，全体の解を求めている[15][36].

「日勤」「夜勤」など勤務シフトの種類を決定してから作業の割り当てを行う二段階のシフトスケジューリング問題では，どちらのスケジューリングも制約条件が多数存在するため，全ての制約条件を満たす解を求めることは困難とし，実務で使用する観点から可能な限り高速に解を求めることや，制約条件の優先度を店舗によって柔軟に変更できるようにする必要を考慮し，問題を重み付き制約充足問題として扱い，解法には，タブーサーチ (Tabu Search: TS) を用いて，近傍探索を行っている[24].

GA は，シフトスケジューリング問題に適した解法として，研究が盛んに行われている．GA は，生物の進化を模したアルゴリズムであり，シフトスケジューリング問題では，染色体に見立てた各個体に様々な勤務シフトを符号化し，図 2.7 に示す選択や交叉，突然変異を繰り返す行うことで最適解を探索していく．



図 2.7 選択と交叉，突然変異の概念図

図 2.8 のように交叉・突然変異で大幅に解の形を変えることで，局所最適解に陥ることを防ぐことができる．

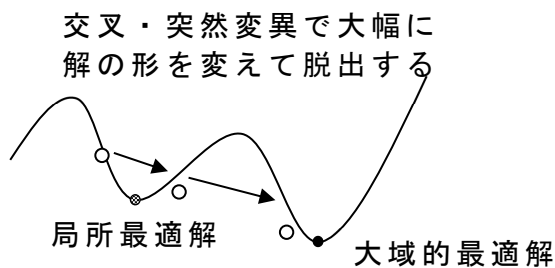


図 2.8 GA の概念図

スタッフ個人の嗜好を考慮したシフトスケジューリング問題の研究では、GA が用いられているが、個体をスタッフ 1 人の勤務表とせず、個体をスタッフ人数分並べた全スタッフの勤務表とし、これを幾つか生成して個体群としている [17].

複数の拘束条件を設け、その優先順位を考慮した研究では、勤務表の公平性という観点から目的関数を 4 つ用意し、勤務表が符号化された GA の各個体を、有限の 2 次元平面上に規則正しく配置した形状とし、平面上の地域によって生存する個体の傾向が異なるよう、個体選択の方法を改良した [19].

個体に地域制の概念を導入することで、特定の目的関数のみを強く反映したものや、全ての目的関数を平等に考慮したものなど、多様性に富んだ勤務表を得ている [19].

ニューラルネットワークは、組合せ最適化問題によく用いられるが、シフトスケジューリング問題に対する適用例は少ない。

従来のホップフィールド型ニューラルネットワークにおけるエネルギー関数の設定とニューロンの収束に問題があることと、考慮すべきパラメータである日付、看護師、勤務シフトによる 3 次元構造によるニューラルネットワークの構築がアナログニューラルネットワークでは対応できないという点をその要因として指摘されている [37].

ニューラルネットワークを解法として用いたものとしては、ホップフィールド型ニューラルネットワークにバイナリーニューロンを用いるバイナリーニューラルネットワークを 3 次元構成に拡張することにより、一定精度の勤務表生成が可能であることが示されている [37].

近似解法では、解法として、専用ソルバーを用いることが多いが、開発を行う重み付き制約充足問題 (Weighted Constraint Satisfaction Problem: WCSP) 汎用ソルバーとして開発された SCOP [38] は、数多くの組合せ最適化問題に用いられている。

WCSP は、CSP の一つであり、CSP の目的がすべての制約を満たす解を求めることであるのに対し、WCSP は、制約違反が最小の解を求めることを目的とする。SCOP のアルゴリズムには TS が用いられている。SCOP は、看護師のシフトスケジューリングであるナーススケジューリング問題に対するアルゴリズムの性能を競う国際コンペティション First International Nurse Rostering Competition 2010 (INRC2010) [39] に参加し、好成績を収めている。

シフトの割り当てを三段階で行う研究では、作業に対する作業に対する

不足人数総和とスタッフの総労働時間の重み和を目的関数とする混合整数計画問題とし、作業スキルを考慮しないモデルは、各制約に対する違反度の総和を最小化するという重み付き制約充足問題として定式化し、解法には、制約充足ソルバーSCOPが用いられている[25].

第2段階の勤務シフト表作成では、勤務シフト生成問題によって生成された勤務シフトの種類と各勤務シフトの必要数を用い、各スタッフがいつ、どの時間帯で働くかを決定する勤務シフト割当て問題を解く.

勤務シフト生成問題の解を勤務シフト割当て問題の初期解として用い、勤務シフトを入れ替える局所探索を行っている. 各制約に対する違反度の総和を最小化するという重み付き制約充足問題として定式化し、ソルバーSCOPが用いられている[25].

また、近似解法では、複雑で大規模な問題について、より精度のよい解を得るための研究と、解の修正や制約条件の変更などを人間が行うことで最終的な勤務表を作成することを前提とし、簡潔な手法で解を得ようとする研究とに大別される.

複雑で大規模な問題として、コールセンターのシフトスケジューリング問題がある.

決められた仕事量に対して勤務時間配置を行う看護師のシフトスケジューリング問題であるナーススケジューリング問題に代表される要員スケジューリングと異なり、コール量で仕事量や所要人数が大きく変動する複雑なコールセンターの要員スケジューリングは、作成可能な勤務表の数が膨大となり、最適解を求めるのは不可能である[21].

最適解を得たナーススケジューリング問題[32]のベンチマークデータは、看護師28名の2交替制、看護師25名の3交替制であるが、コールセンターの要員スケジューリングで、オペレータ20名規模の問題を考えると、24通りの出勤時刻、24通りの勤務時間長として、24の40乗通りにもなる[21].

こうした解を求めることが困難な大規模な問題に対してメタヒューリスティックな手法は有効であるが、さらに、GAとTSを応用した解生成法を提案されている. パラメータフリーの遺伝的アルゴリズム(PfGA)で広範囲な探索を行い、その結果をTSに引き渡して、近傍解生成により最適解の周辺を細かく探索する手法(PfGA+TS),その逆のTS終了後に最適解をPfGAに引き渡して探索する手法(TS+PfGA), PfGA単体の手法, TS単体の手法, シンプルなGAによる手法, サービスレベル固定の解法, 全6種類のアルゴリズムによって得られた解と優劣を比較し, PfGA+TSが最も成績が

良くなることが示されている [21].

他方，簡潔な手法で得た解を手作業によって調整して勤務表を作成することを前提とした研究がある．

問題が中小規模の場合，長時間かけて大域最適解を求めるよりも，簡単な手法を用いて短時間である程度精度の良い解を求め，スケジュール作成者が調整を行うことで解決可能であると考え，解法には SA を用いている [22].

得られたスケジュールは，スタッフからの不満や緊急時による部分的な修正が必ず生じるものとし，実際に作成者をどれだけ支援することができたか，作成者の調整の手間をどれだけ省けたかを評価する．制約条件には，ある日の日勤が 5 人以上必要等の絶対制約，スタッフの休日希望日などの考慮制約があるが，絶対制約より考慮制約の方に重要度をおいた方が，調整作業が容易であった（調整作業時間が短時間であった）という結果を示している [22].

3.3 先行研究の課題

シフトスケジューリング問題の代表的な問題であり，最も研究が進んでいるナーススケジューリング問題で取り扱う医療施設の看護師の人数は，20~40 人である．パートタイム勤務者を中心とした職場は，同じ人数であっても，出勤時間，勤務時間がともに 24 通りあり，問題の規模が大きくなる．

また，考慮しなくてはならない拘束条件が，多かったり，複雑であったりすると難易度は高くなるが，ナーススケジューリング問題を基準にして考えると，パートタイム勤務者を中心とした職場では，繁忙時が短時間で大きく変動し，時間帯別の所要人数も変わるために，条件はより複雑になる．トラックのドライバーは，そのような時間的な変化はないが，単純な 1 日の運行だけでなく，前後の労働日との関係や一週間，一ヶ月の間の基準が定められていて，その条件は複雑である [40].

対話式で修正しながら，勤務表を作成する方法がある [18] が，パートタイム勤務者を中心である問題が複雑な職場には適さない．必要な口数数日単位でスケジュール作成者が確認しながら作成していくため，前の期間のシフトから続く拘束条件に違反しないよう優先順位という形で選択させることになるが，1 ヶ月単位で見たときに，条件を満たす解が選択できなくなってくる可能性がある．また，基本設定以外の条件によって，スケジュール作成者が満足しないことが考えられる．

先行研究では、これらの問題に対して、いずれも、手動（あるいは自動）で、それまでの勤務の入れ替えを行うなどして、再度、その後の勤務の割り当てを試みるとしている。2 交代制（日勤、夜勤、休暇）、3 交代制（日勤、準夜、深夜、休暇）などのシフトパターンを割り当てる問題で、かつ、禁則の勤務パターンが基本的なもののみで、数が少ないのであれば、可能ではあるが、パートタイム勤務者が中心で、時間単位のシフト管理が必要となる職場には不向きである。

パートタイム勤務者が中心となる職場では、出勤時間、勤務時間の長さが異なり、シフトの取り得るパターンは膨大な数になり、何度、手戻りしても、収束しない可能性がある。

また、パートタイム勤務の場合、1 ヶ月の総勤務時間の管理や、全スタッフのコストの管理も重要であり、その最適化を考慮することが求められる。

解法については、実行可能解が生成されない可能性を軽減するために、部分的に最適化手法が用いられているが、手作業を手助けする構造型探索が中心であり、完全自動での勤務表作成には適さない。

ユーザーの修正作業を前提とした手法[22]では、作成された勤務表を修正する際に、制約違反をチェックするツールが用いられている。制約違反チェックツールは有効な手段であると考えられるが、これらは、解の探索時ではなく、データ作成時であっても、チェックがある程度可能である。

特に、各日、各時間帯に必要なスタッフの人数と、スタッフの出勤回数は、同時に満たすことは難しいが、それを事前に、容易に発見することができ、過不足時間の調整を行うことで、シフト勤務表の作成後に、スケジュールそのものを手作業で調整することをなくすことができる。

また、過不足時間を明確にすることで、スタッフの採用計画に活かすことも可能となる。

解法は、シンプルなモデルをシンプルな解法で解くとして SA を採用しているが、これは、解の修正を前提としていて、最適性を求めている為である。修正を前提としない場合は、より精度の高い解法が求められる。

2 段階に分けたスタッフスケジューリング[24]では、各人に対し、日毎に早番、遅番などのシフトパターンを割り当ててから、各時間帯での必要人数、必要スキル保持者などの制限をみたした作業割り当てを行うものである。

そのため、パートタイム勤務者が中心となる職場のように、時間毎に、必要人数、必要スキルなどが変動する職場である場合、日毎で割り当てら

れた人材で、各時間帯に割り当てようとする、時間毎の制約が満たせないケースが多々発生することが予想される。

全ての制約を満たすことは困難であるとし、ペナルティの総和を最小化することを目的としているが、必要人数の緩和を許すと、小規模な職場では、「0人」という時間帯が出てきてしまう恐れがある。

また、パートタイムでは、より個人の都合や志向、満足度を重視する必要があるが、各人の休憩回数や連続勤務時間のペナルティの総和を緩和しても、「公平性」「納得感」などの課題が残る。

第2段階で発生した制約違反を手作業で修正するには、第1段階に戻って行わなくてはならず、第2段階を実行しないと、違反が解決できるか分からず、効率的な修正が難しい。

また、人件費については、各日/週/1ヶ月毎に制限を設け、超過しないことを条件としているが、パートタイム勤務者が中心となる職場では、勤務時間帯により時給が変わるなど、そのシフトの組み方により、コストパフォーマンスに大きな影響を与えることになる。人件費（コスト）は必要最小限とすることが望ましい。

解法については、問題を重み付き制約充足問題として扱い、解法には、近傍探索にTSを用いているが、ペナルティの総和を最小化することを目的とすることは、前述のように問題がある。また、問題に応じて、重み付けを行うことになるが、現場の勤務表作成者が適したデータを作成するのは困難が予想される。

3つの段階に分けてスタッフスケジューリングを行う方法[25]では、各段階で精度が良くても全体として実用的なスケジュールが作成できるとは限らず、全体として精度の高いスケジュールを作成することが今後の課題とされている。

パートタイム勤務者も考慮されているが実験で扱われているデータでは、非正社員数が0人あるいは正社員数の1/5程度の人数となっている。第1段階の勤務シフト生成問題では、生成される勤務シフトの上限数を満たすようにする制約が設けられているが、パートタイム勤務者が中心となる職場では、勤務シフトのパターンが膨大となることが予想される。

また、人件費については、上限のみ設けられているが、パートタイム勤務者を扱う条件としては、十分とは言えない。勤務シフト生成問題においては、不足人数の最小化が目的であるが、これのみを目的関数とすると、余剰スタッフが発生する可能性があるとし、総労働時間を追加しているが、人件費を最小化にすれば、その可能性をなくすることができる。

解法については、一度にすべてを決定するのは困難であるとして、多段階に問題を分け、混合整数計画問題には整数計画ソルバーの SCIP を、制約充足問題には制約充足ソルバー SCOP が用いられている。SCIP は、非商用のソルバーではあるが、アカデミックによる利用の場合の他は、無償ではない。また、厳密解法であるため、使用する場合は、現実的な時間で解が得られない問題があると考えられる。

汎用的なシフトスケジューリングの研究[20]では、整理すべき項目が示されているが、モデルは示されていない。

勤務シフトのパターンについては、「日勤」「夜勤」のように 3~5 パターンのことが多く、勤務パターンを設定せずに、スタッフごとに出勤退勤時間を定める場合もあるが、考え得る勤務パターンはある程度限定されるはず、としている[20]。

しかしながら、パートタイム勤務者が中心となる職場での勤務パターンを、仮に、出勤時間を 10 通り、勤務時間長を 5 通りで表現するとして、勤務パターンは 50 通りにもなる。各時間帯の必要人数に応じたスタッフの割当てを 50 通りのパターンから選択して組み合わせていく作業は考えにくく、時間帯ごとに作業を割り当てる考え方の方が自然である。

また、整理すべき項目の中で、人件費などコストについては、触れられていない。いくつかの事例を分類することで得られた項目ということだが、これは、これまで、取り扱われてきた事例が、シフトの組み方が人件費に影響しないフルタイム勤務者が中心であるシフト管理であったことが伺える。

解法においては、優れたアルゴリズムは、スタッフ数が数十人規模の場合、十分実用に応える能力をもっている、とされているが、具体的な解法は示されていない[20]。

スケジューリング問題のほとんどは、NP 困難であり、どのくらいの規模の問題で計算量の増大が発生するかは予測は難しく、同じ人数の問題でも、実際に数値を入れた問題の構造によって解ける規模が全く異なる。厳密解法ではなく、GA などのヒューリスティクスによる近似解法により、実用可能な解が得られる場合もあるが、パートタイム勤務者が中心となる職場では、より問題が複雑になることが考えられるため、さらなる解法の改善が必要である。

パートタイム勤務者を取り扱ったシフトスケジューリング問題について、米国における先行研究を見ると、輸送システム、コールセンター、ヘルスケアなどのさまざまなスケジューリング研究を包括的にまとめてられ

ているものがある[41].

スケジューリング問題はデイオフスケジューリング, シフトスケジューリング, ツアースケジューリングに大きく3分できる. フルタイム勤務のシフトが前提で従業員満足度にある程度の制限を加えながらコスト最小化を図るのである.

スケジューリング問題における先行研究ではフルタイム勤務を前提としている. さらにパートタイムについては, これまで補助的な勤務形態で多くのモデルではトータルコストを抑えるために最低の賃金で最小数の従業員を確保するかたちでシフトが構築されている. そのためパートタイム勤務者数を求めるだけのものも多い. パートタイム勤務者の満足度に対する配慮は少なく, またコストパフォーマンスを考慮した研究も特殊なものを除いて存在しない.

パートタイム勤務者を含むスケジューリングの研究については, 例えば, 高速道路の料金所のパートタイムスタッフ[42], クリニックのパートタイムスタッフ[43], 銀行パートタイムスタッフ[44]についてそれぞれ検討したものがあがるが, そのいずれもフルタイム勤務者を主, パートタイム勤務者を従としたものである. すなわち, パートタイム勤務者はフルタイム勤務者の補完的な役割という考え方に基づいている.

さらには, コンピュータラボのシフト[45], コールセンター[46], 航空会社シフト[47]についてのスケジューリング研究が行われているが, いずれもパートタイム勤務者に焦点を絞った研究ではない.

ファストフードのオペレーション[48]の研究では, 適用性と満足度を見て, パートタイム勤務者のシフトを3~8時間と設定しているが, これもフルタイム勤務者を含めての研究となっている.

なお解法としては, フルタイム勤務者の補完的な役割を果たすパートタイムシフト[49]の検討では, TSが用いられている.

研究が進んでいる看護師のシフトスケジューリング問題であるナースケジューリング問題についても同様で, パートタイム勤務者のシフトについては, フルタイム勤務者の補完的な役割として考慮されているのみである. ここで, 解法としては, ランク, スキル, 志向などを考慮してTSで行っている[50].

また, 宅配便スタッフについて, CPLEXを用いて分枝限定法で解いている[51].

一般的にこれまでのシフトスケジューリング問題では, コストパフォーマンスの視点が導入されることはあまりなく, 勤務時間帯の設定方法を変

えることにより時給が変わるなど、シフトの組み方がコストパフォーマンスに大きな影響を与えることになるパートタイム勤務のみのシフトスケジューリングとは想定や拘束条件が異なってくることになる。

すなわちフルタイム勤務者中心のシフトスケジューリングの考え方やアルゴリズムはパートタイム勤務のケースに適しているとはいえないのである。パートタイムではより個人の都合や志向、満足度、さらにはコストを重視する必要がある、その点を踏まえた従前の研究は存在しない。

実際、フルタイムのスタッフのために開発された概念とアルゴリズムはパートタイムのスタッフには適用されない、とした研究もある[52]。

全体の労働力の最大 75%がパートタイムのスタッフで構成されている現場を想定し、そのスタッフの個々の可用性を考慮した割り当てを行う整数計画モデルを提案した研究では、パートタイムのスタッフの満足度を最大化することを目的としている。満足度は勤続年数とシフトの嗜好の組み合わせを使用して測定されている[52]。

しかし、この手法も、なるべく多くの曜日、なるべく幅広い時間帯に対応できる人材を求めてしまうことになるため、「短時間勤務」におけるシフト管理については依然、課題を残すことになっている。

表 2.2 にまとめたように、従来のパートタイム管理とは異なり、働ける時間に制約のあるスタッフを活用することを目的としたシフトスケジューリングが求められる。フルタイム中心の伝統的な雇用形態とは異なり、パートタイムに特化したかたちのスケジューリング研究はこれまで行われていない新規性の高い領域である。

表 2.2 従来の研究との相違点

区分	勤務形態	勤務制約
フルタイムのみ (従前研究)	フルタイムの労働者について日毎にシフトを割り当てる	労働基準法などに準拠した勤務で公平かつ満足度の高いシフトを作成する
フルタイムにパートタイムを加える (従前研究)	フルタイムの労働者の日毎シフトの中に出勤時間、勤務時間が可変のパートタイム労働者を加える	労働基準法などに準拠した勤務で公平かつ満足度の高いシフトを作成し、正規労働者の補完的な労働力としてパートタイム労働者を活用し、その人員最小化及びコスト最小化を図る
パートタイムのみ (求められる研究)	出勤時間、勤務時間が可変のパートタイム労働者のみでシフトを割り当てる	個々の労働者によって異なるかたちで限定された短い勤務時間をいかに適正に割り当てるかということを大前提とする

4. 本章のまとめ

産業界での人材不足が顕在化しつつある中、特に、サービス業におけるパートタイム勤務者、コンビニエンスストアのスタッフ、保育士、トラックドライバーについて、スタッフのシフトスケジューリング問題の必要性について、その背景を調査した。

従前の研究では対象とされていなかった分野の問題や、パートタイム勤務者を中心とした職場に対して、シフトスケジューリング問題の研究が強く求められる。

シフトスケジューリング問題は、代表的な看護師のシフトスケジューリング問題を中心に研究が行われてきた。

しかし、現実に現れるシフトスケジューリングは多種多様であり、業種や現場の意向を反映した制約条件の設定、問題に適した解法が求められる

が、これまでは限られた分野のみの実装で、今日的なシフトスケジューリング解消の課題となるべき分野である保育士やトラックドライバーなどのシフトについては深い考察や実装は進められてこなかった。

フルタイム勤務を前提とした「日勤」「夜勤」といった勤務の種類を割り当てる問題がほとんどであり、パートタイム勤務者については、フルタイム勤務者の補完的な役割に留まり、パートタイムに特化したかたちでのスケジューリング研究はまだない。

解法については、最適化アルゴリズムが進化し、厳密解法の汎用ソルバーが扱える問題サイズが拡大しているが、看護師のシフトスケジューリング以外のシフトスケジューリングでは、GA や TS, SA といったヒューリスティックスによる近似解法がほとんどである。

ソルバーの高速化により、MILP, SAT といった厳密解法による手法で、シフトスケジューリングの最適化できる環境は整ってきたといえるものの、より大規模な問題に関しては、厳密解が得られず、ヒューリスティックスによる近似解法が用いられている。

大規模な問題では、まだ解を得ることが困難であることに加え、小規模の職場でも、厳密解を求める社会的需要がこれまでは小さかったことが挙げられる。得られた解を手作業で修正する手法が取られ、その場合は、修正を前提としているので、解が厳密解である意味は少ない。

しかし、小規模とはいえ、問題が複雑になれば、手作業による修正は困難であり、厳密解法により、スケジュールを決めていくことが理想であり、近似解法でも、より精度の高いものが求められると考えられる。

参考文献

- [1] 厚生労働省(2017):「平成 28 年パートタイム労働者総合実態調査の概況」<https://www.mhlw.go.jp/toukei/itiran/roudou/koyou/keitai/16/>
(2019 年 8 月 25 日確認)
- [2] 厚生労働省(2015):「平成 27 年版厚生労働白書 人口減少社会」,
<https://www.mhlw.go.jp/wp/hakusyo/kousei/15/dl/1-01.pdf>
(2019 年 1 月 7 日確認)
- [3] 総務省(2016):「平成 28 年版情報通信白書 少子高齢化等我が国が抱える課題の解決と ICT」,
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h28/pdf/n1100000.pdf> (2019 年 1 月 7 日確認)
- [4] リクルートホールディングス(2017):「2017 年度 2Q (7~9 月)プチ勤務 求人広告件数の推移」,
<https://jbrc.recruitjobs.co.jp/data/pdf/pdf201711211531.pdf>
(2019 年 8 月 25 日確認)
- [5] 経済産業省(2015):「コンビニエンスストアの経済・社会的役割に関する調査報告書」,
http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2015fy/000642.pdf
(2019 年 1 月 7 日確認)
- [6] 厚生労働省(2018):「平成 29 年 10 月時点の保育園等の待機児童数の状況について」,
<https://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/0000202678.html>
(2019 年 1 月 7 日確認)
- [7] 厚生労働省 (2015):「保育士等における現状」,
<https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-11901000-Koyoukintoujido-kateikyoku-Soumuka/4.pdf> (2019 年 1 月 7 日確認)
- [8] 厚生労働省 (2014):「保育人材確保のための『魅力ある職場づくり』に向けて」,
<https://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-11601000-Shokugyouanteikyoku-Soumuka/0000057898.pdf>
(2019 年 1 月 7 日確認)
- [9] 厚生労働省 (2017):「厚生労働省 人材確保に「効く」事例集」,
<http://koyoukanri.mhlw.go.jp/result/data/example.pdf>
(2019 年 1 月 7 日確認)
- [10] 国土交通省(2016):「ドライバー不足等トラック業界の現状と課題に

ついて」,

<http://www.tb.mlit.go.jp/chubu/jidosya/tekiseitori->

[hiki/img10/10shiryou1.pdf](http://www.tb.mlit.go.jp/chubu/jidosya/tekiseitori-hiki/img10/10shiryou1.pdf) (2019年1月7日確認)

[11] 厚生労働省労働基準局(2013):「トラック運転者の労働時間等の改善基準のポイント」

[12] 鈴木邦成(2016),『運行管理者(貨物)必携ポケットブック』,日刊工業新聞社, pp.140-143

[13] E.D.Burke,P.D.Causmaecker,G.V.Berghe and H.V.Landeghem, “The State of the art of Nurse Rostering”, J.of Scheduling,7, (2004) pp.441-499.

[14] 池上敦子,丹羽明,大倉元宏,「我が国におけるナース・スケジューリング問題」,オペレーションズ・リサーチ:経営の科学 41,(1996) pp.436-442.

[15] 池上敦子,「ナース・スケジューリング-調査・モデル化・アルゴリズム-」,統計数理,第53巻第2号,(2005) pp.231-259.

[16] Employee Shift Scheduling Benchmark Data Sets,

<http://www.schedulingbenchmarks.org/> (2019年1月7日確認)

[17] 長野弘志,宮崎茂次,「勤務に対する嗜好の個人差を考慮した看護婦スケジューリング」,日本経営工学会論文誌,Vol.47,(1996) pp.143-149.

[18] 倉重賢治,橋本敏生,亀山嘉正,「汎用性を考慮したナーススケジューリングシステム」,日本経営工学会論文誌,Vol.56,(2005) pp.109-120.

[19] 坂口卓也,「地域型遺伝的アルゴリズムを用いたナーススケジューリング」,情報処理学会研究報告. MPS,数理モデル化と問題解決研究報告2007(128),(2007) pp.247-250.

[20] 繁野麻衣子,池上敦子,「スタッフスケジューリングのフレームモデル構築に向けて」,日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会,(2012)pp.146-147.

[21] 金久保正明,菱沼千明,「コールセンターのアダプティブ要員スケジューリング法」,日本知能情報ファジイ学会誌, Vol.18, No.4, (2006.8) pp.619-628.

[22] 久保琢磨,宇野毅明,「中小規模スタッフスケジューリング問題における調整の容易なスケジュール作成に関する研究」,情報処理学会研究報告数理モデル化と問題解決,(2008) pp.57 - 60.

[23] 片岡 隆之,金指正和,「作業員間マッチングを評価可能なスタッフスケジューリングの一解法」,近畿大学工学部研究報告(47),(2013) pp.27 -

30.

[24] 佐藤悠介, 鈴木翔太, 中田和秀, 「汎用的な労働条件を考慮したスタッフスケジューリングに対する発見的解法」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 2014年春季研究発表会, (2014), pp.256-257

[25] 廣瀬貴也, 鈴木翔太, 佐藤悠介, 鈴木寛人, 中田和秀, 「実務で現れるスタッフスケジューリングに対する近似解法」, 数理解析研究所講究録, 第1981巻, (2016), pp.98-116

[26] IBM ILOG CPLEX Optimization Studio,
<https://www.ibm.com/jp-ja/marketplace/ibm-ilog-cplex> (2019年1月7日確認)

[27] FICO, FICO Xpress,
<http://www.msi-jp.com/xpress/> (2019年1月7日確認)

[28] Gurobi Optimization, Gurobi Optimizer,
<http://www.gurobi.com/> (2019年1月7日確認)
<https://www.octobersky.jp/products/gurobi.html> (2019年1月7日確認)

[29] Zuse Institute Berlin, SCIP,
<http://scip.zib.de/> (2019年1月7日確認)

[30] GNU Project, GLPK,
<http://www.gnu.org/software/glpk/glpk.html> (2019年1月7日確認)

[31] 宮代隆平, 松井知己, 「ここまで解ける整数計画」, システム／制御／情報：システム制御情報学会誌, 50, (2006) pp.363-368.

[32] 乾伸雄, 池上敦子, 「ナーススケジューリング問題における混合整数線形計画問題と充足可能性判定問題による厳密解法の比較」, オペレーションズ・リサーチ：経営の科学, 55, (2010) pp.706-712.

[33] Potassco project, clasp ,
<https://potassco.org/clasp/> (2019年1月7日確認)

[34] 新妻真輔, 池上敦子, 品野勇治, 「列生成法におけるナーススケジューリング問題の解法」, 情報処理学会, MPS, 数理モデル化と問題解決研究報告 2009(19), (2009) pp.221-224.

[35] R. E. Bixby, “A Brief History of Linear and Mixed-Integer Programming Computation”,
Documenta Mathematica, Extra Volume: Optimization Stories , (2012) pp.107-121.

[36] 池上敦子, 丹羽明, 「ナース・スケジューリングに有効なアプローチ：

2 交替制アルゴリズムにおける実現”, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 41, (1998) pp.572-586.

[37] 金川明弘,山根千佳,高橋浩光,「バイナリーニューラルネットによるナース・スケジューリング問題の基本解の導出」,情報処理学会論文誌. 数理モデル化と応用 46,(2005) pp.41-47.

[38] 野々部宏司,「メタヒューリスティクスによる汎用ソルバーの構築(<特集>最適化技術の深化と広がり)」,オペレーションズ・リサーチ:経営の科学, 56, (2011) pp.257-262.

[39] INRC2010 Home Page, Nurse Rostering Competition, <https://www.kuleuven-kortrijk.be/nrpkcompetition> (2019年1月7日確認)

[40] 厚生労働省,「トラック運転者の労働時間等の改善基準のポイント」, <https://www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/roudou/gyousei/kan-toku/dl/040330-10.pdf> (2019年1月7日確認)

[41] A.T. Ernst, H. Jiang, M. Krishnamoorthy, D. Sier: “Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models”, *European Journal of Operational Research*, Vol.153, (2004), pp.3-27

[42] J. Byrne, R. Potts: “Scheduling of toll collectors”, *Transportation Science*, Vol.7, (1973), pp.224-245

[43] K. Baker: “Scheduling full-time and part-time staff to meet cyclic staffing requirements”, *Operational Research Quarterly*, Vol.25, (1974), pp.65-76

[44] L.J. Krajewski, L.P. Ritzman, P. McKenzie: “Shift scheduling in banking operations: A case application”, *Interfaces*, Vol.10, (1980), pp.1-8

[45] J. Lauer, L. Jacobs, M. Brusco, S. Bechtold: “An interactive, optimization-based decision support system for scheduling part-time computer lab attendants”, *Omega*, Vol.22, (1994), pp.613-626

[46] R. Willis, S. Huxford: “Staffing rosters with breaks: A case study”, *Journal of the Operational Research Society*, Vol.42, (1991), pp.727-731

[47] S. Schindler, T. Semmel: “Station staffing at Pan American World Airways”, *Interfaces*, Vol.23, (1993), pp.91-98

[48] R.J. Love, J.R. Hoey: “Management science improves fast-food operations”, *Interfaces*, Vol.20, (1990), pp.21-29

- [49] F. Glover, C. McMillan: "The general employee scheduling problem: An integration of management science and artificial intelligence", *Computers and Operations Research*, Vol.13, 1986, pp.563-593
- [50] K. Dowsland: "Nurse scheduling with tabu search and strategic oscillation", *European Journal of Operational Research*, Vol.106, (1998), pp.393-407
- [51] F. Easton, D. Rossin: "Overtime schedules for full-time service workers", *Omega*, Vol.25, (1997), pp.285-299
- [52] Srimathy Mohan: "Scheduling part-time personnel with availability restrictions and preferences to maximize employee satisfaction", *Mathematical and Computer Modelling*, Vol.48, Issues 11-12, (2008), pp.1806-1813

第 3 章 組合せ最適化問題の解法

第3章 組合せ最適化問題の解法

1. 本章の目的

ビジネス環境の変化，多様な働き方が増え，勤務時間を短くしてシフトを細分化した，より綿密なシフト管理が必要になっている．少子高齢化や，人材不足など，現代の労働環境を象徴するような分野では，新たなシフト管理に適用する新たなシフトスケジューリングが求められている．

シフトスケジューリング問題は，組合せ最適化問題として定式化できる．

組合せ最適化問題の多くは NP 困難であり，どのくらいの規模の問題で計算量の増大が発生するかの予測は難しく，同じ問題でも，実際に数値を入れた問題の構造によって解ける規模が全く異なる．

このような計算困難な問題に対するアプローチとして，時間がかかっても最適性の保証された解を求める厳密解法と現実的な計算時間で良い実行可能解を求める近似解法がある．

組合せ最適化問題に対する汎用ソルバーとしては，混合整数計画問題 (Mixed Integer Programming: MIP) のソルバーが代表的であり，商用，非商用を含め多数のパッケージが存在する．MIP ソルバーで採用されている解法は，分枝限定法であり，厳密解が得られる．

近年，計算機パワーの増大，最適化アルゴリズムの進化により，汎用ソルバーの性能は向上し，計算不可能であった大規模な問題が扱えるようになってきているものの，複雑な条件を持ち，また大規模な問題に対しては，現実的な時間で解を得ることが不可能として，シフトスケジューリング問題などの整数計画問題での厳密解法の採用はまれである．

一方，多大な時間をかけて厳密解を求めることより，現実的な時間である程度精度の高い解を求めるアルゴリズムとして，メタヒューリスティクスが多く提案されている．

最適性の保証は無いが，発見的法則，経験則によって問題解決を目指すアルゴリズムを総称してヒューリスティクスといい，特定の問題に依存せずに汎用的に対応できるように設計された基本的な枠組みをメタヒューリスティクスという．代表的なメタヒューリスティクスとしては，焼きなまし法 (Simulated Annealing: SA)，タブー・サーチ (Tabu Search: TS)，遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) などがある．

医療施設における看護師のシフトスケジューリングであるナーススケジューリング問題に代表される従来のシフトスケジューリング問題は，フルタイム勤務を前提とし，日ごとに「日勤」「夜勤」などのシフトパターンの

割り当てを行っているが、パートタイム勤務者が中心となる職場では、出勤時間、勤務時間の長さが異なり、シフトの取り得るパターンは膨大な数になる。加えて、従前の研究では扱われてこなかったスタッフの勤務時間帯、総勤務時間など、個別の事情による勤務制限や出勤ペースを考慮する必要もあり、条件はより複雑になる。

より複雑で、問題のサイズやローテーションの性質が職場ごとに異なるパートタイムが中心のシフトスケジューリング問題を解くためには、より強力な解法が必要と考えられる。

近年、複雑かつ多変数の最適化問題に対して有効であるとして、動物や昆虫の特徴的な行動から考えられた群知能が着目されている。代表例として、人工蜂コロニー (Artificial Bee Colony : ABC) [1], ホタルアルゴリズム (Firefly Algorithm: FA) [2] が挙げられる。海外において注目を集めているが、シフトスケジューリング問題などの整数変数を含んだ最適化問題の国内事例においては応用例がない。

本章では、整数計画問題で有効性が確認されている GA とともに、ABC 及び FA を用い、その効果を検証する。

検証は、ベンチマーク関数及び、パートタイマーによる小規模な職場のスケジューリング問題にて行う。

スタッフが少人数の職場では、手作業でシフト勤務表を作成する場合、シフトをパターン化し、当てはまらない場合のみ調整を行うことで、作業軽減を図ることが考えられる。また、スケジューリング問題の先行研究においても、手作業による修正を前提として、解法に、シンプルな手法である SA を用いて、短時間で近似解を求め、スケジュール作成者が調整を行うことが提案されている [3]。

手作業による修正が入るため、厳密解、あるいは近似解でも精度の高いものは求められてこなかったのである。

しかし、パートタイムのスタッフが中心となる現場では、少人数であっても、出勤時間、勤務時間が複数存在するため、フルタイムの現場より、問題の規模は大きくなる。また、スタッフの流動性が高い現場では、シフトパターンそのものを作り直す頻度が高くなり、負荷を軽減することにならない。

そこで本章では、図 3.1 に示す領域を求められる研究と考え、パートタイム勤務が中心である小規模なパソコン教室が抱える問題を一例として想定し、モデル化、数値実験を行い、厳密解法による最適性の保証された最適解及び修正の必要のない精度の高い近似解を得る。

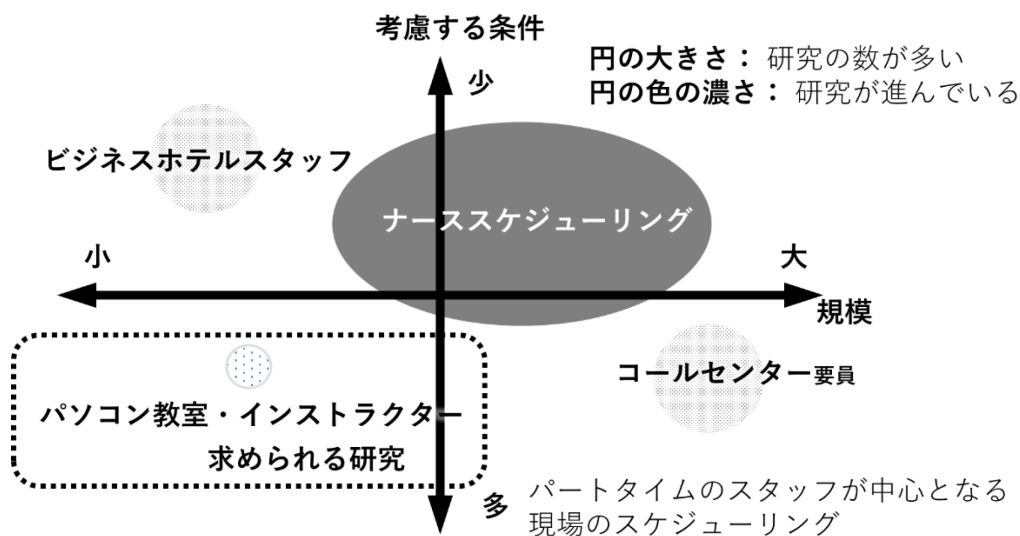


図 3.1 先行研究の状況

2. 厳密解法

厳密解法では、整数計画問題 (Integer Programming: IP) の標準問題の形に定式化して、汎用ソルバーを用いて解く。

混合整数計画問題 (Mixed Integer Programming: MIP) のソルバーが代表的であり、CPLEX, XPRESS, Gurobi, SCIP, GLPKなど、商用、非商用を含め多数のパッケージが存在する。

MIPソルバーで採用されている解法は、分枝限定法である。組合せ最適化問題は、解を全列挙すれば解けるが、それをするには膨大な計算時間がかかり、現実には不可能である。解の全列挙における無駄を省く必要がある。

分枝限定法では、部分問題を生成 (分枝操作)、最適値の上界、下界の情報を用いて、ある部分問題から最適解が得られないことが分ったら、その部分問題は無視 (限定操作) する。上界、下界とは、まだ見つからない最適解の目的関数値が存在する領域の上限と下限のことである。分枝の進行は図3.2に示すように、一般的に、探索木によって表現できる。

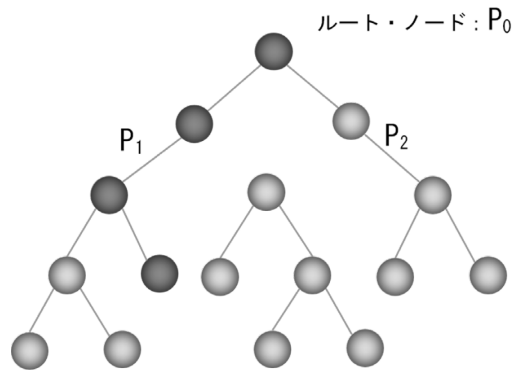


図 3.2 探索木

3. 近似解法

近似解法では，問題特有の性質を利用した専用ソルバーを適用あるいは開発を行う．その際に，利用されるアルゴリズムとして，メタヒューリスティクスが多く提案されている．SA, TS, GA は，代表的なメタヒューリスティクスであり，中でも GA は，シフトスケジューリング問題に適した解法として，研究が盛んに行われている [4][5]．

近年，複雑かつ多変数の最適化問題に対して有効であるとされている群知能は，生物が群れで行動する際に見られる知的な振る舞いを，最適化問題を解くために応用したためたメタヒューリスティクス的一种である．代表例として，ABC, FA がある．

3.1 GA (遺伝的アルゴリズム)

GA は，生物の進化を模したアルゴリズムであり，染色体に見立てた各個体を符号化し，それを解候補とし，選択や交叉，突然変異を繰り返す行うことで最適解を探索していく．

交叉・突然変異で大幅に解の形を変えることで，局所最適解に陥ることを防ぐことができる．

シフトスケジューリング問題において，解候補は，シフト勤務表であり，図 3.3 に示すように，1 日（あるいはその時間帯）の人数分 (n 人) の出勤予定を対象期間分 (d 日) だけ並べた数値配列が 1 つの個体（染色体）となる．

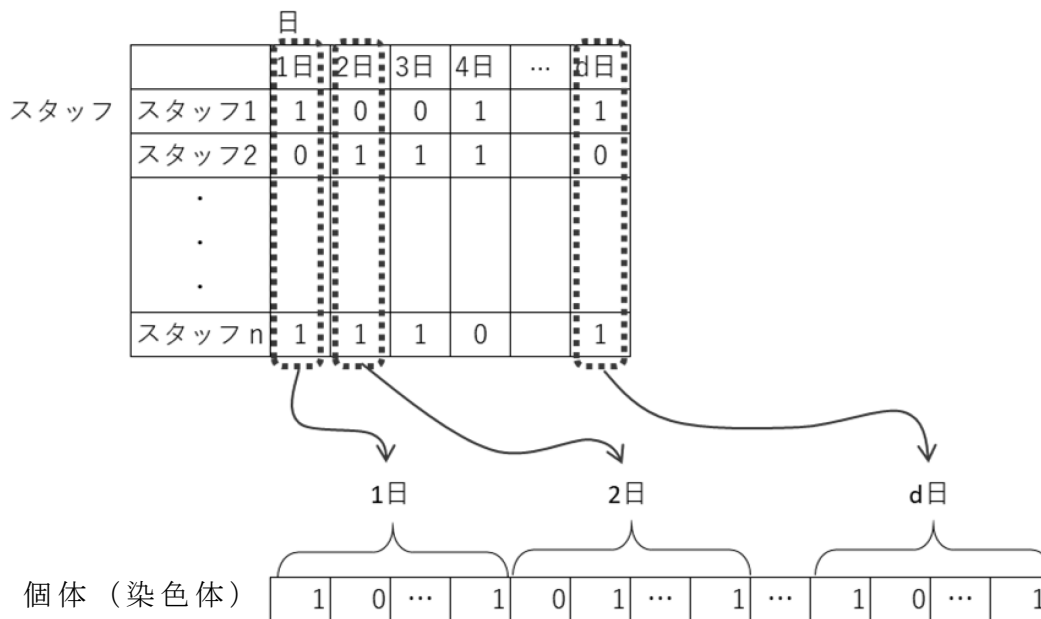


図 3.3 個体表現

GA は, SA など他のメタヒューリスティクスと比較して限られた時間内に, 良好な近似解が得られるとされているが, 計算負荷が高い, パラメータの調整が複雑で試行錯誤を要する, といった問題が存在する. これらの問題の対処方法として, パラメータフリーの遺伝的アルゴリズム (Parameter Free Genetic Algorithm : PfGA) がある [6].

ここでは, 最も単純な GA を単純遺伝的アルゴリズム (Simple GA: SGA) とし, PfGA と区別する.

3.1.1 SGA (単純遺伝的アルゴリズム)

SGA は, 「親」の個体 (染色体) に対して, 交叉, 突然変異を行い, 新しい個体 (染色体) である「子」を作成する. 生まれた子に評価し, 優秀な染色体を次世代に残し, さらなる交叉, 突然変異と評価による選択・淘汰を繰り返しながら, 最終世代の最良解をその問題に対する近似解とするものである.

SGA アルゴリズムの探索手順を以下に示す.

STEP 0 初期化

問題の定義内に解候補である個体群をランダムに生成する.

個体 x_{ij} の初期化は (3.1) 式に従う.

$$x_{ij} = L_B + \varphi_{ij} \cdot (U_B - L_B) \quad (3.1)$$

$$(i = 1, 2, \dots, N_F; j = 1, 2, \dots, D)$$

ここで、 φ_{ij} は $[0, 1)$ の一様乱数、 L_B と U_B は x_{ij} の下限値、上限値、 N_F は個体の数、 D は次元数である。次元数は、個体を表す数値配列のサイズである。

素直に染色体を想定して個体群を生成する場合は、 x_{ij} は、0 または 1 の 2 値整数変数となる。実数を用いる場合を実数型 GA、実数を二進数に変換した 0 と 1 の並びで表現する場合をバイナリ型 GA と呼ぶことがある。

SGA では、個体数は世代交代を経ても一定だが、世代毎に個体数の異なる GA を構成する事も可能である。

STEP 1 適応度による評価

一つ一つの個体に対して、(3.2)式により適応度を計算する。

$$fit_i = \begin{cases} \frac{1}{f_i(\vec{x}_i)+1} & \text{if } f_i(\vec{x}_i) \geq 0 \\ 1 + |f_i(\vec{x}_i)| & \text{if } f_i(\vec{x}_i) < 0 \end{cases} \quad (3.2)$$

ここで、 fit_i は個体 i の適応度、 $f_i(\vec{x}_i)$ は個体 i の目的関数による評価値である。

STEP 2 選択

各個体の適応度に基づいて、次世代に残す個体を選択する。選択には何種類か方法がある。解の評価値に比例して、次世代に残る確率が決まるルーレット選択、個体群から予め決めた数（トーナメントサイズ）の個体をランダムに取り、その中で最も適応度の高いものを次世代に残すトーナメント選択などがある。

STEP 3 交叉

交叉率によって選ばれた二つの親の個体の遺伝子（数字列）の一部を交換し、新しい遺伝子を作る。交叉にも何種類か方法がある。切断箇所が一箇所のを、一点交叉という。切断点の数により二点交叉、多点交叉などがある。また、多点交叉の一種として、遺伝子（数字列）の長さに対して、確率的に入れ替える一様交叉がある。

STEP 4 突然変異

突然変異率によって選ばれた個体に対して，遺伝子（数字列）の一部を他の数字に変更する．突然変異率は，高すぎるとランダム探索となり，低すぎると局所解から抜け出せなくなる．突然変異には，0と1の数字を入れ替える（ビット反転）方法や，乱数と置き換える方法，数字列の並びを変更する方法などがある．

STEP 5 エリート保存

各個体の適応度に基づいて，最も優秀な個体を残しておくためにエリートとして残す．エリートは，次世代の各個体と比較し，より優秀な個体があれば入れ替える．

STEP 6 終了条件の判定

\bar{x}_1 の適応度が最適解に収束するか，世代数（探索回数）が，予め決めた最大世代数（最大探索回数）を超えていれば，探索を終了し，そうでなければ，STEP 1に戻り，世代数（探索回数）を1増やして，探索を続ける．

図3.4にアルゴリズムのフローを示す．

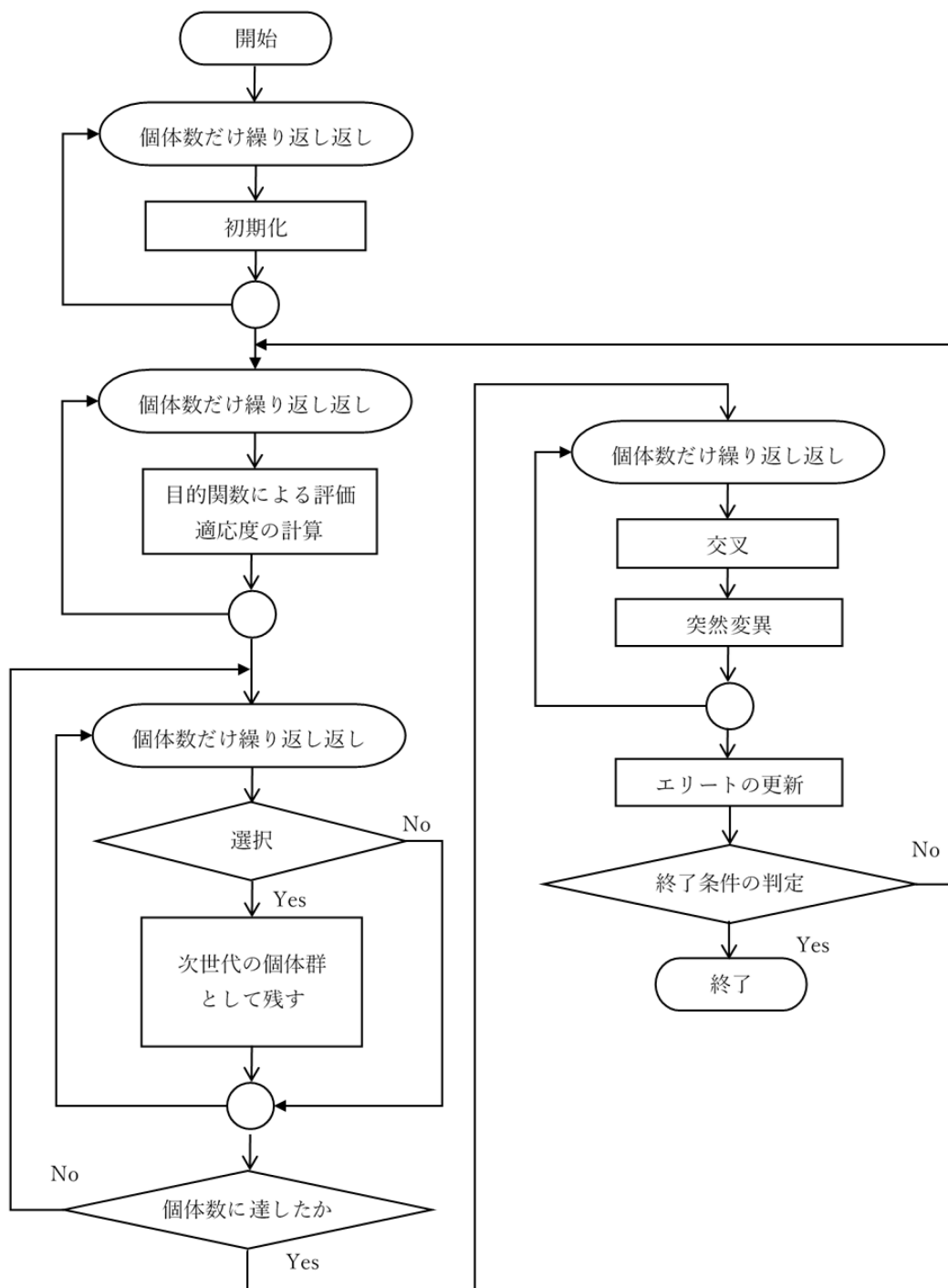


図3.4 SGAのアルゴリズムフロー

3.1.2 PfGA (パラメータフリーGA)

GA は，個体数，交叉率，交叉方法，突然変異率，選択方法などのパラメータの設定により，大幅に成績が変わるが，最適なパラメータ設定に関する効果的かつ確実な理論は存在しない．また，問題のサイズが変われば，パラメータの値も変更する必要が生じる．

PfGA は，パラメータ設定を不要とする新しい GA として，考案されたものである．

PfGA は，可変の局所集団という概念を取り入れ，個体数の設定を不要としている．局所集団から，乱数により，2 個体からなる局所集団 2 個体（親）を選び出し，その交叉により作られた個体（子）を含めて 4 個体からなる最小の個体集団を生成する．これを家族集団という．この家族集団の個体の適応度の大小に応じて局所集団に残す個体を変化させる．

図 3.5 に本研究における PfGA の概念図を示す．

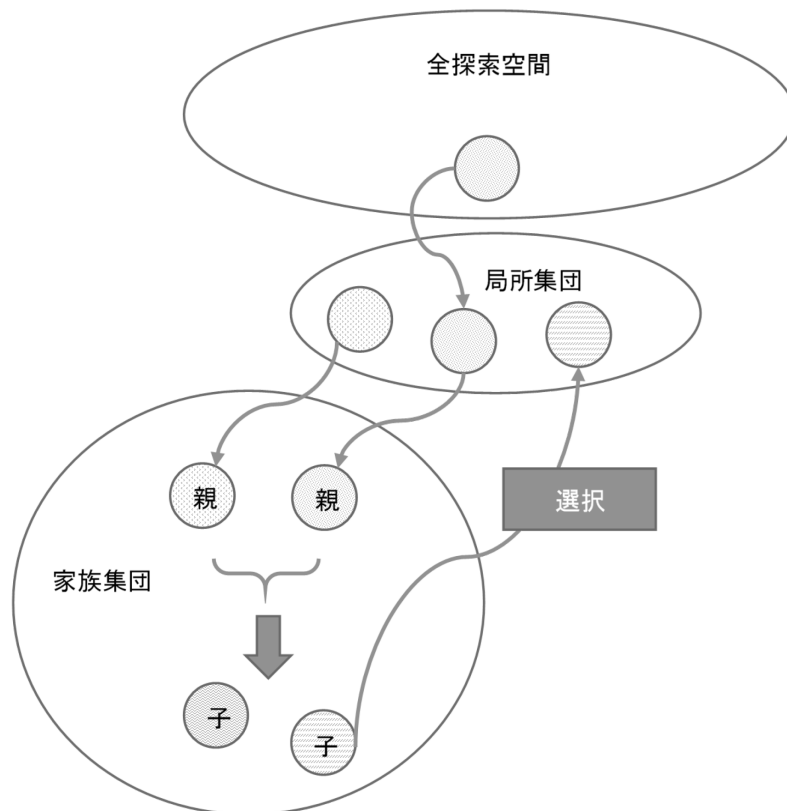


図 3.5 PfGA の概念図

SGA アルゴリズムの探索手順を以下に示す.

STEP 0 初期局所集団生成

全探索空間から 1 個体をランダムに取り出し,これを初期局所集団する.
実際には, (3.1)式に従い個体を生成する.

STEP 1 初期局所集団への追加

STEP 0 と同様に, もう 1 個体を取り出し,これを局所集団に追加する.

STEP 2 交叉及び家族集団の生成

局所集団からランダムに 2 個体を選び,これを親として,交叉を行い.
子を 2 個体生成する. この 4 個体を家族集団とする.

STEP 3 突然変異

交叉により生成された子, 2 個体のうち,ランダムに 1 個体を選択し,
突然変異を適用する.

STEP 4 適応度による評価

家族集団の4個体に対して, (3.2)式により適応度を計算する.

STEP 5 選択

家族集団の 4 個体の適応度に基づき,以下の選択を行い, 1~3 個体を局所集団に戻す.

Case A 子 2 個体がともに親の 2 個体より良かった場合

子 2 個体及び適応度の良かった方の親個体計 3 個体が局所集団に戻り,局所集団数は1増加する.

Case B 子 2 個体がともに親の 2 個体より悪かった場合

親 2 個体のうち良かった方のみが局所集団に戻り,局所集団数は1減少する.

Case C 親 2 個体のうちどちらか一方のみが子 2 個体より良かった場合

親 2 個体のうち良かった方と子 2 個体のうち良かった方が局所集団に戻り,局所集団数は変化しない.

Case D 子 2 個体のうちどちらか一方のみが親 2 個体より良かった場合

子 2 個体のうち良かった方のみが局所集団に戻り,全探索空間からランダムに 1 個体選んで局所集団に追加する.局所集団数は変化

しない.

STEP 6 終了条件の判定

適応度が最適解に収束するか，世代数（探索回数）が，予め決めた最大世代数（最大探索回数）を超えていれば，探索を終了する．

そうでなければ，局所集団数が2以上であれば，STEP 2に戻り，1であれば，STEP 1に戻り，世代数（探索回数）を1増やして，探索を続ける．

図3.6にアルゴリズムのフローを示す．

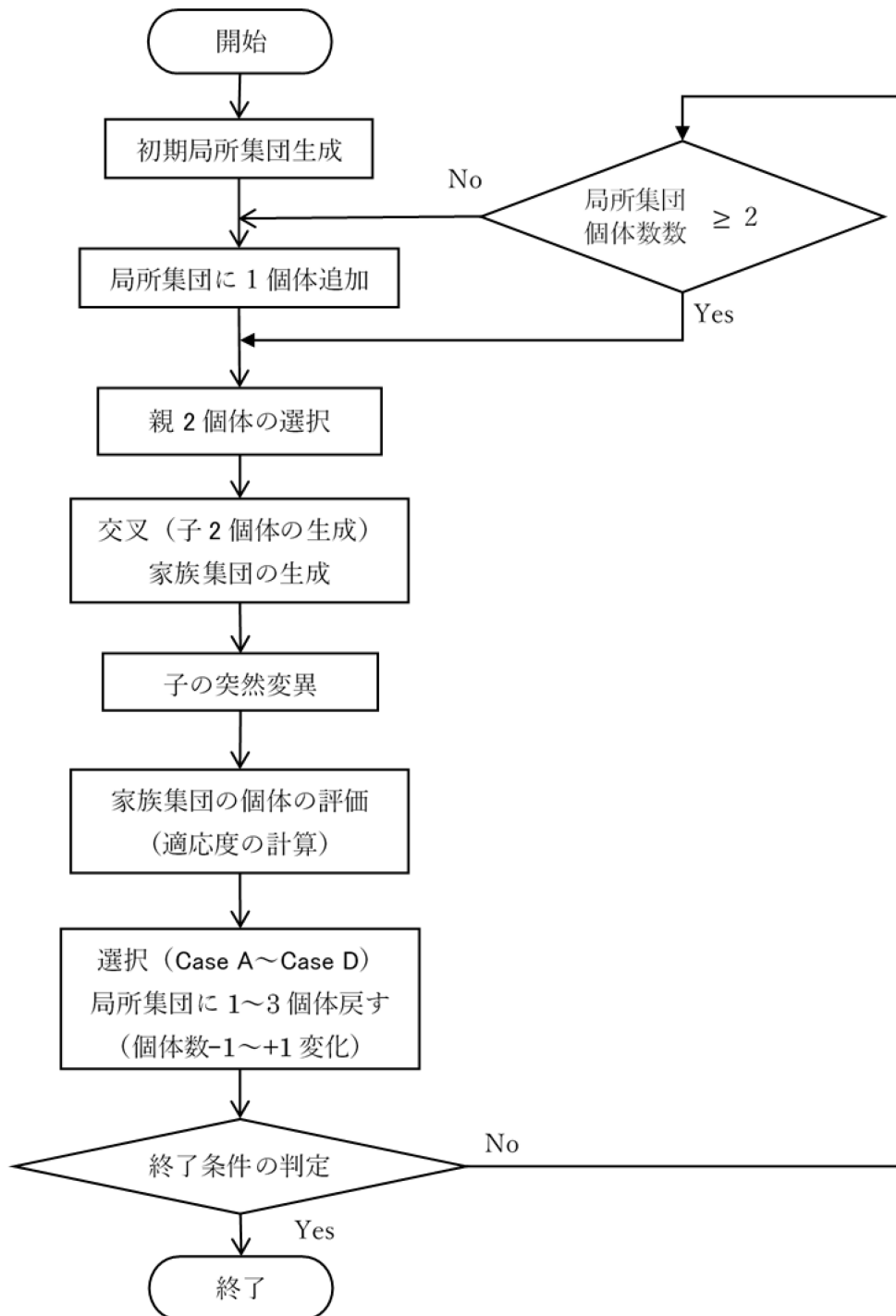


図 3.6 PfGA のアルゴリズムフロー

3.2 ABC アルゴリズム

ABC アルゴリズムは、蜜蜂の群れによる知的な採餌行動にヒントを得た、最適化アルゴリズムであり、複雑かつ多変数の最適化問題に対して有効であるとして近年欧米の研究者を中心に注目を集めている群知能の一種で、群知能は、GA と同じく、複数の解候補を探索点として探索を行う多点探索である。

ABC アルゴリズムは、収穫蜂 (Employed bees), 追従蜂 (Onlooker bees), 偵察蜂 (Scout bees) の 3 種類の人工蜂群の行動に基づいた 3 フェーズからなる。収穫蜂と追従蜂のフェーズでは、解候補近傍の局所探索を行うが、偵察蜂フェーズは、採餌行動において尽きた食糧源を捨てる行動を真似たもので、探索の進捗において有益ではなくなった解候補を捨て、探索空間の新たな領域を探索するための新たな解候補を挿入する。

本研究における ABC の概念図を図 3.7 に示す。

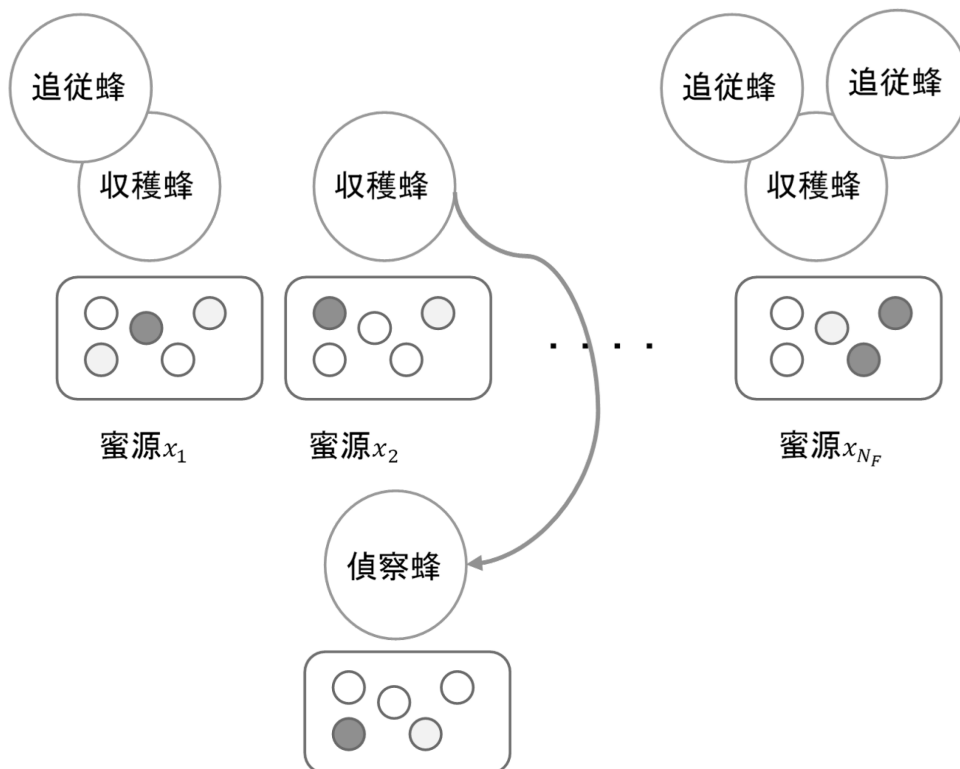


図 3.7 ABC の概念図

蜜源（食糧源）は、GAの個体（染色体）にあたり、シフトスケジューリング問題においては、人数分の出勤予定を対象期間分だけ並べた数値配列として表現される。

ABCアルゴリズムの探索手順を以下に示す。

STEP 0 初期化

問題の定義内に解候補である食糧源をランダムに生成する。食糧源の数を N_F とすると、収穫蜂の数 N_E と追従蜂の数 N_O は、 $N_F = N_E = N_O$ となる。食糧源 x_{ij} の初期化は(3.1)式に従う。

STEP 1 収穫蜂による探索

1つの食糧源に1匹ずつ割り当てられた収穫蜂は、(3.3)式により更新候補を求める。

$$v_{ij} = x_{ij} + \Phi_{ij} \cdot (x_{ij} - x_{kj}) \quad (3.3)$$

$$(i = 1, 2, \dots, N_F)$$

ここで、 Φ_{ij} は $[-1, 1]$ の一樣乱数、 k はランダムに選ばれた i 以外の食糧源、 j は、ランダムに選ばれた次元である。

v_{ij} と x_{ij} を比較し、もし v_{ij} の方が良い評価であれば、 v_{ij} で x_{ij} を更新する。更新が行われない場合は、その数 C_i を1増やし、更新が行われた場合は、 $C_i = 0$ とする。

STEP 2 追従蜂による探索

追従蜂は、(3.4)式、(3.5)式によって計算された各蜜源の正規化された適応度 P_i により、ルーレット選択を行う。

$$fit_i = \begin{cases} \frac{1}{f_i(\vec{x}_i) + 1} & \text{if } f_i(\vec{x}_i) \geq 0 \\ 1 + |f_i(\vec{x}_i)| & \text{if } f_i(\vec{x}_i) < 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_{n=1}^{N_F} fit_i} \quad (3.5)$$

ここで、 fit_i は食糧源 i の適応度、 $f_i(\vec{x}_i)$ は食糧源 i での目的関数による評価

値である。ルーレット選択により，適応度の高い食糧源はより多くの追従蜂が訪れ，更新候補を求める。更新候補の求め方，更新方法は収獲蜂と同様である。

STEP 3 偵察蜂による探索

更新が行われなかった数 C_i が，一定回数を超えた食糧源は，(3.1)式により，新たな食糧源に置換する。置換が行われた場合は， $C_i = 0$ とする。

STEP 4 最良食糧源の更新

収獲蜂，追従蜂，偵察蜂による探索での最良の適応度が，前回の探索での最良の適応度を上回った場合，最良食糧源を更新する。

STEP 5 終了条件の判定

最良食糧源の適応度が最適解に収束するか，探索回数が，最大探索回数を超えていれば，探索を終了し，そうでなければ，STEP 1に戻り，探索回数を1増やして，探索を続ける。

図 3.8 にアルゴリズムのフローを示す。

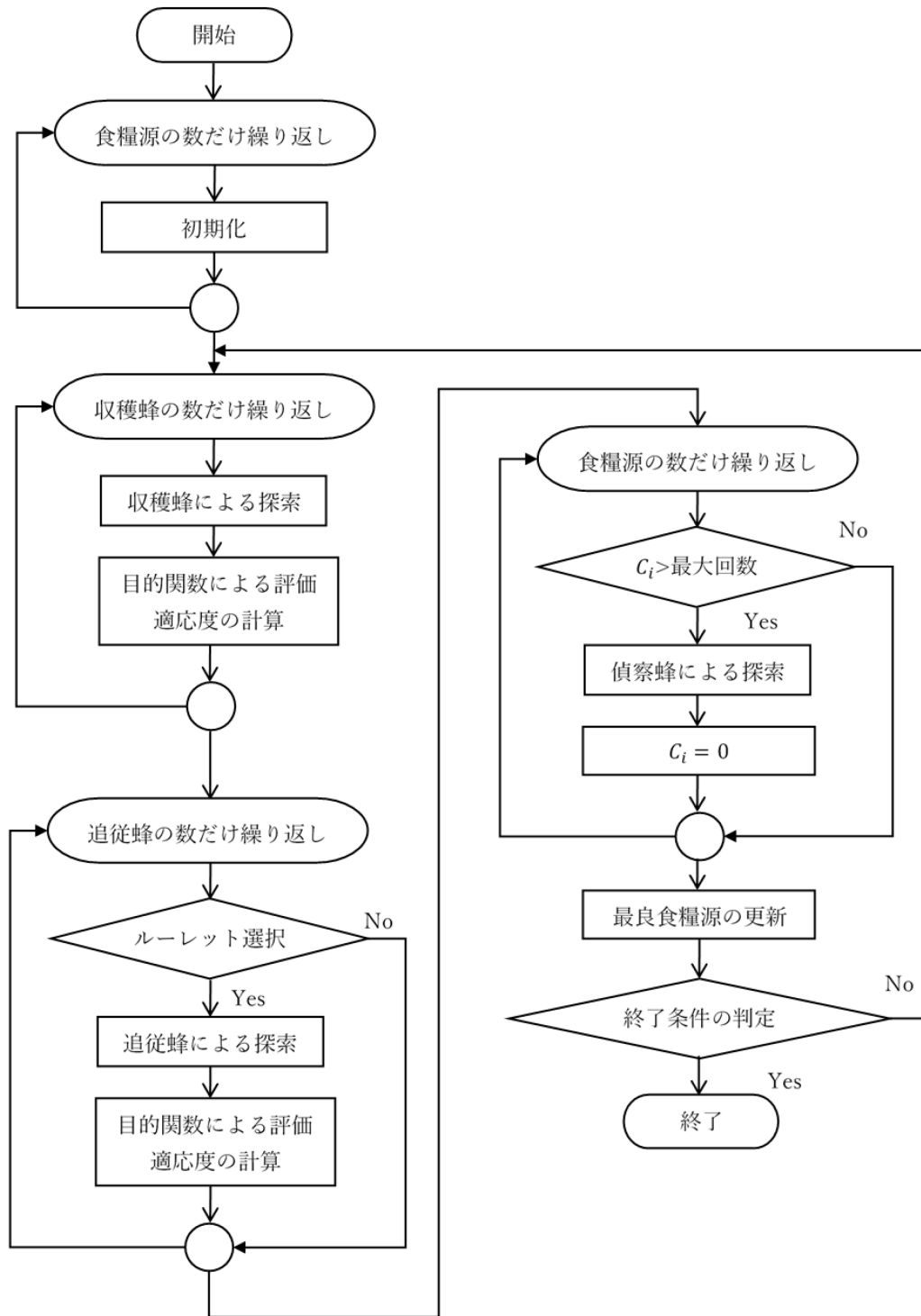


図3.8 ABCのアルゴリズムフロー

3.3 FA (ホタルアルゴリズム)

FAは、ホタルの求愛行動を参考に提案されたアルゴリズムであり、多峰性の最適化問題に適している比較的新しい手法である。

FAは、ホタルの点滅の様子から考えられていて、以下の3つの規則に従って探索を行う。

- (1) あるホタルは他のホタルに引き寄せられる。
- (2) あるホタルが、他のホタルを引き寄せる力は、光の強さに比例する。
暗いホタルは、より明るいホタルに引き寄せられる。光の強さは、ホタル間の距離の増加によって減衰する。
- (3) ホタルの光の強さは、目的関数によって決定される。最小化問題を解く場合、より低い場所のホタルがより強い光を放つ。

本研究におけるFAの概念図を図3.9に示す。

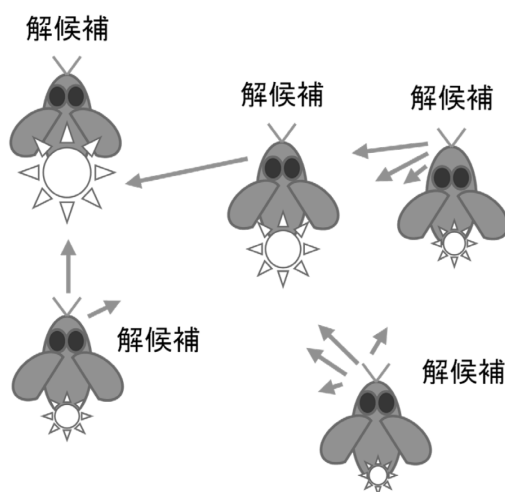


図3.9 FAの概念図

各ホタルが解候補であり、GAの個体(染色体)、ABCの食糧源にあたる。シフトスケジューリング問題においては、人数分の出勤予定を対象期間分だけ並べた数値配列として表現される。

FAの探索手順を以下に示す。

STEP 0 初期化

問題の定義内に解候補であるホタルの位置をランダムに生成する。ホタルの数を N_F とすると、初期化は、ABCアルゴリズムと同様に、(3.1)式に従

う.

STEP 1 光の強さの計算

光の強さは目的関数による評価による. 最大値を求める最適化問題の場合, 光の強さ I_i は, (3.6)式で定義される.

$$I_i = f_i(\vec{x}_i) \quad (3.6)$$

また, 最小値を求める最適化問題の場合, (3.7)式で定義される.

$$I_i = \frac{1}{f_i(\vec{x}_i)} \quad (3.7)$$

STEP 2 ホタルの移動

ホタル i が, より明るいホタル k に引き寄せられるときの移動は(3.8)式に従う.

$$x_{ij} = x_{ij} + \beta_{ik} \cdot (x_{kj} - x_{ij}) + \alpha \cdot \left(\Phi_{ij} - \frac{1}{2} \right) \quad (3.8)$$

$$(i = 1, 2, \dots, N_F; j = 1, 2, \dots, D)$$

α はランダム値の大きさを決めるパラメータである. β_{ik} はホタル i に対するホタル k の魅力の強さであり, 式(3.9)で定義される.

$$\beta_{ik} = \beta_0 \cdot e^{-\gamma r_{ik}^2} \quad (3.9)$$

ここで, γ は吸引係数, r_{ik} はホタル i とホタル k 間の距離, β_0 は, $r_{ik} = 0$ のときの魅力の強さである.

距離 r_{ik} はユークリッド距離であり(3.10)式による.

$$r_{ik} = \sqrt{\sum_{j=1}^D (x_{ij} - x_{kj})^2} \quad (3.10)$$

STEP 3 最良ホタル位置の更新

光の強さ I_i を新しいホタルの位置で更新し, 最も明るいホタルが \vec{x}_1 となるように, 並べ替えを行う.

STEP 4 終了条件の判定

\vec{x}_1 の適応度が最適解に収束するか, 探索回数が, 最大探索回数を超えていれば, 探索を終了し, そうでなければ, STEP 1に戻り, 探索回数を1増やして, 探索を続ける.

図3.10にアルゴリズムのフローを示す.

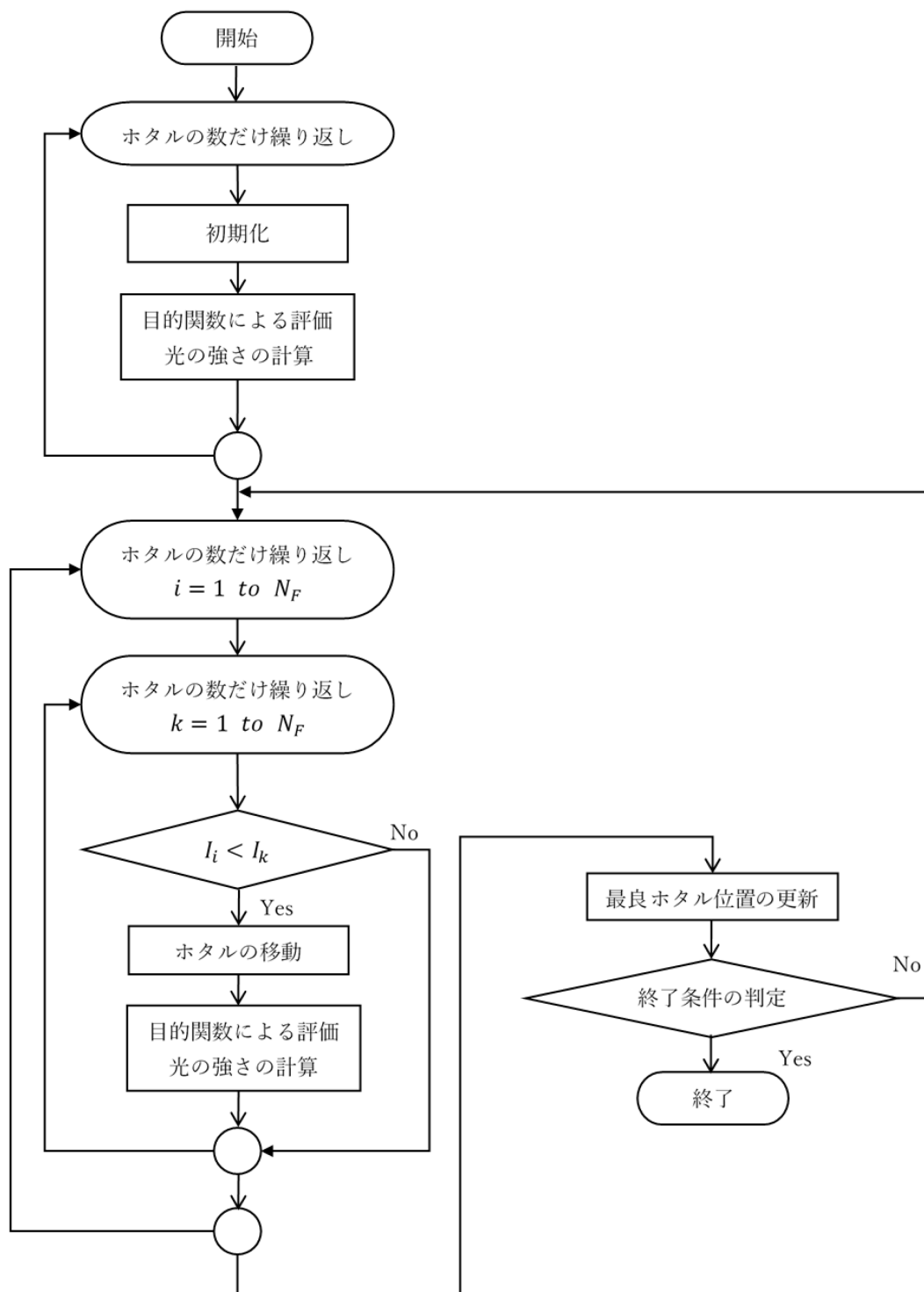


図 3.10 FA のアルゴリズムフロー

3.4 群知能によるハイブリッドな解法

ベースとなる手法の弱点である性質を，他の手法のアルゴリズムを組み合わせることで補い，探索性能の向上を実現させることを目的として，群知能アルゴリズムと進化的アルゴリズム，あるいは，群知能アルゴリズム同士を組み合わせたハイブリッド手法の研究が進められている．

ABC と GA とを組み合わせたハイブリッド手法としては，AC-ABC (Arithmetic Crossover based ABC Algorithm) がある．ABC における，収穫蜂，追従蜂のフェーズでは，各個体の 1 つの次元をランダムに選び，探索を行う．結果として，集団内の個体の多様性を保ち，局所解に陥りにくい性質を持つが，反面，優良な解の探索には時間がかかる．AC-ABC は，追従蜂による探索の代わりに算術交叉を用いることで，複数の次元に渡る探索を行い，探索を加速させるものである [7]．

同様に，ABC と GA を組み合わせた GS-ABC (Global Search type Artificial Bee Colony) では，AC-ABC のように交叉を用いるのではなく，GA の突然変異率に類似する動きを持つ変異確率 α を収穫蜂と追従蜂の探索に導入する [8]．

オリジナルの ABC では，1 つの食糧源に 1 匹ずつ割り当てられた収穫蜂，追従蜂は，(3.3)式により更新候補を求める．

GS-ABC では，(3.3)式の代わりに，(3.3)'式を用いる．

$$v_{ij} = \begin{cases} x_{ij} + \Phi_{ij} \cdot (x_{ij} - x_{kj}) & \text{if } \gamma_{ij} < \alpha \\ x_{ij} & \text{others} \end{cases} \quad (3.3)'$$

$$(i = 1, 2, \dots, N_F, j = 1, 2, \dots, D)$$

ここで， D は次元数， γ_{ij} は $[0, 1]$ の一様乱数， α は $0.0 \sim 1.0$ の探索パラメータである．

GA の突然変異率に類似する働きを持つ α により，個体群の多様性をより高く維持するとともに，探索パラメータによって一回に多数の次元を探索対象に選択することで，収束性能を上げている．

海外においても，ABC に GA の交叉を取り入れた手法が提案されている．CbABC (Crossover based ABC) では，収穫蜂の探索の後に（追従蜂の探索の前に），交叉のフェーズを追加し，探索を加速させている [9]．

ABC と差分進化法 (Differential Evolution : DE) [10] とのハイブリッドも提案されている．

DE は，早い段階で局所解に陥ることがあり，一方，ABC は局所解に陥りにくい性質を持つものの，探索に時間がかかり，特に，後の方の段階で

はスピードが落ちる。そこで、ABCとDEのハイブリッドであるHDABCA (Hybrid Differential Artificial Bee Colony Algorithm) では、ABCで、①初期化、②収獲蜂の探索、③追従蜂の探索、④偵察蜂の探索を終え、⑤最良食糧源の更新した後、②へ戻る前に、最良の適応度をDEに初期値として引き渡し、個体数だけ、探索を行う。具体的には、GAの突然変異にあたるMutationで各探索点について変異ベクトルを生成し、GAの交叉にあたるCrossoverで各探索点の候補ベクトルを作成し、選択を行い、その後、オリジナルのABCと同様に、終了条件を判定し、②へ戻る[11].

群知能アルゴリズム同士を組み合わせたハイブリッド手法の研究が進められている。

ABCにFAを組み合わせた方法MABC(Modified Artificial Bee Colony)は、ABCをベースに、すべての収獲蜂、追従蜂、偵察蜂、それぞれの探索を改善し、探索を加速させている。収獲蜂の探索、追従蜂の探索で用いる式を最良食糧源の値を用いるように変更し、さらに、偵察蜂の探索で、FAの移動式に似たより良い値を持つ食糧源(position)との距離を考慮した式を用いている[12].

4. ベンチマーク関数

4.1 パラメータの設定

整数計画問題で有効性が確認されているGAとともに、ABC及びFAを用い、その効果を検証した。GAは、単純遺伝的アルゴリズム (Simple GA: SGA)、パラメータフリーGA (PfGA) の2種類を用いた。

今回は、単体での性能を確認するため、ハイブリッドな解法は使用しない。

ABC及びFAは、整数計画問題として解くために、(3.1)式の x_{ij} 、(3.3)式の v_{ij} 、(3.8)式の x_{ij} を整数としている。

比較実験の対象として、関数最適化問題のベンチマークとして知られるSphere関数、Rastrigin関数の2種類の関数を用いた。Sphere関数は単峰性、Rastrigin関数は多峰性という特徴を持つ。それぞれの式を、(3.11)式、(3.12)式に示す。

Sphere関数

$$f(x_1 \cdots x_D) = \sum_{i=1}^D x_i^2 \quad (3.11)$$

$$(-10 \leq x_i \leq 10)$$

$$\text{最適解 } f_{min}(0 \cdots 0) = 0$$

Rastrigin関数

$$f(x_1 \cdots x_D) = 10D + \sum_{i=1}^D \left[\left(\frac{x_i}{100} \right)^2 - 10 \cdot \cos \left(2\pi \cdot \frac{x_i}{100} \right) \right] \quad (3.12)$$

$$(-512 \leq x_i \leq 512)$$

$$\text{最適解 } f_{min}(0 \cdots 0) = 0$$

ここで、 D は次元数であり、解となる数値配列のサイズである。最適解は、Sphere関数、Rastrigin関数ともに、0であり、配列の各要素 x_i の値が0のときの値である。

整数計画問題として解くため、解の範囲を、Sphere関数は、-10~+10と限定し、Rastrigin関数は-512~+512の範囲になるように、式に変更を加えている。

シミュレーションで設定した各手法のパラメータを表3.1, 表3.2に示す。

表 3.1 各解法のパラメータ

解法	SGA	PfGA	ABC	FA
個体数 N_F	20			20
食糧源 N_F			20	
次元数 D	5, 10, 100	5, 10, 100	5, 10, 100	5, 10, 100
最大探索回数	10000	10000	10000	10000
選択方式	Tournament			
交叉	一様交叉	一様交叉		
交叉率	0.9			
突然変異率	0.6			

個体数 N_F は、GAにおいては、染色体数、FAでは、ホテルの数であり、いずれも、多点探索時の解候補の数である。ABCの解候補の数は、個体数 N_F で設定する。

次元数 D は、解を表す数値配列のサイズである。5, 10, 100の3ケースで計算を行う。

最大探索回数は、最適解に収束しない場合、探索を終了するかどうかの条件として用いる。

選択方式、交叉、交叉率、突然変異率は、いずれもGA特有のパラメータである。それぞれ、GAの「選択」、「交叉」、「突然変異」の探索手順で用いる。交叉が発生する確率である交叉率は0.4~0.9、突然変異が発生する確率である突然変異率は0.2~0.7まで変化させた結果、比較的少ない探索回数で解が得られた値であり、一般的な値より少し高めの値となった。

表3.2 FA特有のパラメータ

対象関数	Sphere			Rastrigin		
次元数	5	10	100	5	10	100
スケール α	1.002	1.002	1.002	1.1	1.1	1.1
魅力の強さ β_0	1	2	2	5	2	2
吸引係数 γ	0.001	0.0005	0.00005	7.63E-07	3.81E-07	3.81E-08

FA特有のパラメータは、ホテルの移動式で使用する係数であり、問題のサイズ（次元数）によって、異なる値を設定した。

γ は、吸引係数であり、小さい値ほど離れたホテルを引き付けることができる。解候補である数値配列の要素の上限下限と次元数から、平均のホテル間のユークリッド距離を求め、その値を基に、 γ の値を設定した。

β_0 は、魅力の強さの係数であり、値を1～5まで変化させた結果、比較的少ない探索回数で解が得られた値を用いた。

α は、ランダム値の大きさを決めるパラメータであり、引き寄せられる動きとは無関係の動きを与えるものである。大きくすると局所解から脱しやすいが、収束しにくくなる。1.000～1.020まで変化させた結果、比較的少ない探索回数で解が得られた値を用いた。

4.2 計算結果

SGA, PfGA, ABC, FAを用いて行った関数最適化の結果を表3.3に、それぞれの探索回数を表3.4に示す。

最適解はいずれの関数も「0」であり、結果が「0.0000」であれば、最適解を得ることができている。

ABCを除き、最適解を求めることができないケースがあった。最大探索回数を超えてしまったケースには表3.3に「---」と記している。

単峰性で、次元数が低いケースが求めやすい傾向があるが、SGAは最適解に至らなかった。これは早い時点で局所解に陥ってしまい、脱するための交叉・突然変異が効果を発揮できなかったと考えられる。

ABCはすべてのケース最適解を求めることができた。整数計画問題においても、その有効性が発揮できると考えられる。

一方、FAは、最適解に至らないケースが多くみられた。いずれも、局所解に陥るのではなく、最大探索回数を超えても、収束しなかった。高次元

または上限値と下限値の幅が大きいケースでは，ホテル間のユークリッド距離が大きくなり，収束に時間がかかると考えられる．ホテルの移動式に使用するパラメータが探索に与える影響が大きく，有効な組み合わせを解析する必要が生じた．

表 3. 3 最適化結果

		SGA	PfGA	ABC	FA
Sphere	5	5.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	10	0.0000	0.0000	0.0000	25.000
	100	0.0000	0.0000	0.0000	3806.0
Rastrigin	5	4.9992	0.0793	0.0000	6.1983
	10	9.9983	0.1983	0.0000	30.205
	100	1.9833	0.0000	0.0000	1737.5

表 3. 4 探索回数

		SGA	PfGA	ABC	FA
Sphere	5	---	1597	25	4181
	10	36	1731	68	---
	100	204	6121	1054	---
Rastrigin	5	---	---	94	---
	10	---	---	257	---
	100	---	4844	5988	---

ABC 及び FA を用い，ベンチマーク関数を整数計画問題として解いた計算結果において，ABC は，群知能の可能性を示すことができたものの，FA では，制約を満たした解が得られないケースがあった．

問題によって，同じ群知能でも適している解法，適していない解法があると考えられる．問題に対して，どの解法が適しているかは一概には言えず，前述の群知能によるハイブリッドな解法も，国内外を含めて，そのような問題を解決するものにはなっていない．

こうした問題を解決するものとして，コンピュータ将棋の合議アルゴリズム[13]の考え方を取り入れることが考えられる．

コンピュータ将棋で合議とは，複数の思考アルゴリズムによって得られた候補手の中から，最もよい手を，多数決で選択することで，単体のアル

ゴリズムよりも優れた結果を出すものであり、「単純多数決」,「楽観的合議 [14]」等の種類がある.

群知能及び GA は, 複数の解候補を探索点として探索を行う多点探索であり, 複数の解候補の中から, 最もよい解を選ぶものである. つまり, 単純多数決で, 投票を行えば, 各解法の No.1 に, 自身で票が 1 票ずつ入るだけであり, 最もよい手を選ぶことにならない.

単純多数決により, 最も良い解を選ぶのではなく, 楽観的合議を用いることを考えたい. これは, 各思考アルゴリズムが出力する指し手だけでなく, その評価値も考慮するものであり, 最も高い評価値を返したアルゴリズムの指し手を選択するものである. 具体的には, 個体数 30 とすると, GA の遺伝子 10 個, ABC の食糧源 10 個, FA のホテル 10 匹の計 30 の解候補の中から最も良い評価のものを選ぶことになる. これを探索 (世代) 毎に繰り返す.

この「評価値 (楽観的)」を取り入れて, プログラムを開発した場合, 解法単体で 30 個の個体 (解候補) の中から, 選ぶよりも良い結果が得られるのか等が, 解法の有効性を判断する基準となる.

FA は, 1 番の評価値の良いホテルが, 最も光が強くて, たくさんのホテルを強く引っ張るので, 単体より良くなる可能性があると考えられる. また, ABC も MABC のように, 各段階の探索で用いる式を 1 番の手の値を用いるように変更することで, 精度や収束性能を上げることが可能と考える.

さらに, パラメータフリーの PfGA の考え方を取り入れ, 個体数や各解法で必要となるパラメータの設定を不要とすれば, 問題ごとに, 解法やパラメータの試行錯誤に追われることなく, 常により良い結果が得られることが期待できる.

5. パートタイマーによる職場のスケジューリング問題

5.1 対象問題の概要

従来 of スケジューリング問題では従業員などがフルタイム勤務となっていることが前提となっていた. しかし, 雇用形態の多様化や女性の社会進出などの社会環境の変化でパートタイム勤務についてのシフトスケジューリング問題の研究が必要となってきた.

パートタイム勤務のスタッフが中心となる場合のシフトスケジューリング問題について, 従前研究との相違点をまとめたものが表 3.5 である.

表3.5 従前研究と本研究の相違点

区分	勤務形態	勤務制約条件
従前研究	日毎にシフトを割り当てる (フルタイム勤務が原則)	健康を考慮した条件
本研究	出勤時間, 勤務時間が可変 (パートタイム勤務が原則)	スタッフ個別の条件

従来のスケジューリング問題に関する研究では、フルタイムの勤務が前提となっていた。すなわち日ごとに、日勤、夜勤などのシフトの、いずれかを割り当てている。しかしそうした従来の研究では時間単位のパートタイム勤務のシフトに対応することができない。

出勤時間、勤務時間の長さが異なるため、シフトについての拘束条件が異なってくるからである。加えて、従前の研究では扱われてこなかったが、パート勤務の場合、労働負荷についてスタッフの勤務時間帯、総勤務時間の制限についても考慮する必要もある。健康への悪影響を避けるための労働条件だけでなく、個別の事情による勤務制限や出勤ペースなどを考慮するのである。

対象としたパソコン教室はスタッフが6名の小規模な職場である。フルタイム勤務の看護師の職場のような夜勤はない。

店舗数、時間帯数などを変えて、2つのケースを用意する。

case1

2つの店舗（教室）があり、うち2名はそれぞれの専属であるが、残りの4名は2つの教室A、Bのうち、どちらかに出勤する。4名はどちらかに偏った勤務にならないようにしたい。

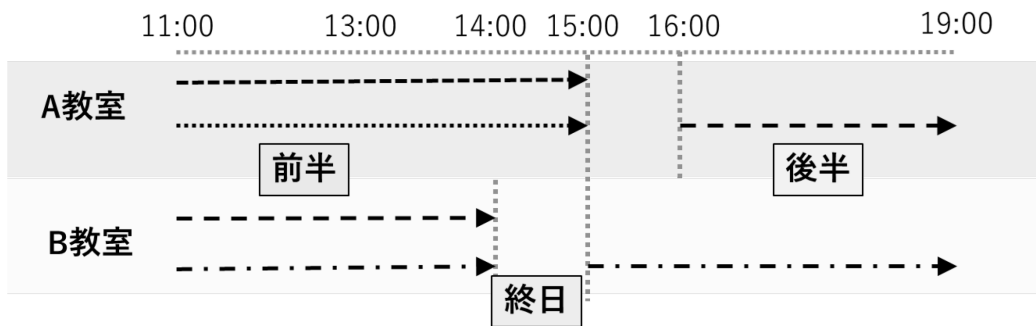


図 3.11 case1 の勤務パターンの一例

時間帯は、昼休みを挟んで、前半と後半に分かれ、図 3.11 のように、前半のみの勤務、後半のみの勤務、終日の勤務の 3 種類のパターンがある。昼休みの時間が教室によって異なるため、前半は B の教室に出勤し、後半は A の教室に出勤するといった勤務も可能である。しかし、逆の勤務は出来ない。

スケジュールの対象期間は、15 日単位であり、スタッフ 6 名のうち、パートタイムの 4 名は 1 ヶ月の総労働時間に制限がある。教室は、日曜・祭日は休みとなり、土曜は前半のみである。B 教室は月曜も休みとなる。図 3.12 に対象期間、休日を示す。

A教室

Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15		

定休

祭日

B教室

Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15		

定休

祭日

教室休

図 3.12 case1 の対象期間と休日

この日は出勤できない、この時間帯は不可など、スタッフの希望は守らなくてはならない。前半と後半では、スタッフの作業量に差があり、前半を手厚く2名体制とする日を週3回は設けたい。

スタッフは表 3.6 の通り、スキルが十分なインストラクター経験3年以上のベテランが4名、経験半年以上が1名、新人が1名である。前半はスキルを持ったスタッフが必ず1人以上は勤務する。新人は1人では勤務しない。

表 3.6 case1のスタッフ表

No.	経験	パート 制限	教室制限
1	3年以上		
2	3年以上		
3	3年以上	あり	A教室専属
4	3年以上	あり	B教室専属
5	半年以上	あり	
6	新人	あり	

case2

時間帯は、昼休みを挟んで、前半と後半に分かれる．前半はさらに 2 つの時間帯に分かれる．図 3.13 に示すように、前半のみ、後半のみ、前半 1 のみ、前半 2 のみ、前半 2 から後半まで、終日の 6 種類の勤務パターンがある．

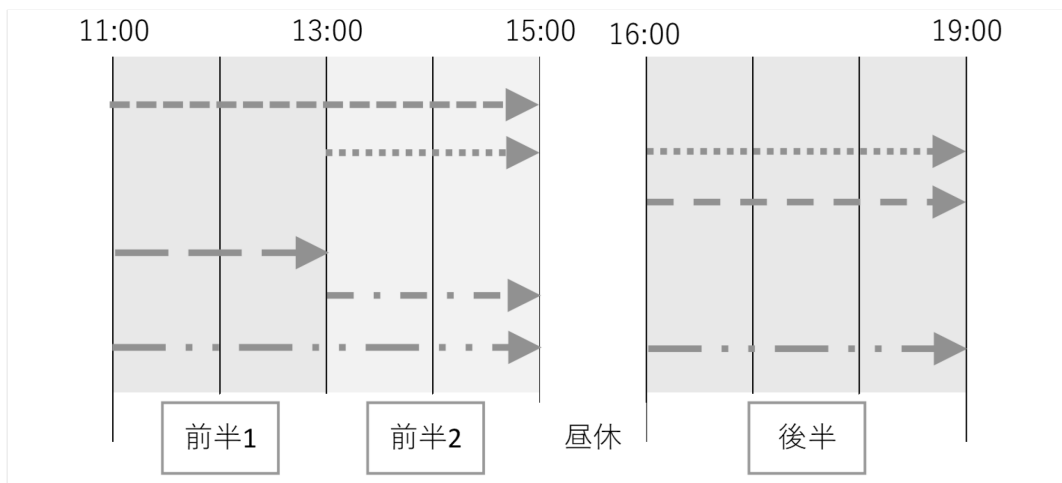


図 3.13 case2 の勤務パターン

スケジュールの対象期間は、15 日単位であり、スタッフ 6 名全員が 1 ヶ月の総労働時間に制限がある．教室は、日曜・祭日は休みとなり、土曜は前半のみである．

図 3.14 に、対象期間、休日を示す．

Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15



図 3.14 case2 の対象期間と休日

この日は出勤できない，この時間帯は不可など，スタッフの希望は守らなくてはならない．前半と後半では，スタッフの作業量に差があり，特に，前半 1 を手厚く 2 名体制としたい．前半 2 は曜日による．

スタッフは，表 3.7 の通り，スキルが十分なインストラクター経験 3 年以上のベテランが 3 名，経験 1 年が 3 名．前半 1 はスキルを持ったスタッフが必ず 1 人以上は勤務する．

表 3.7 case2のスタッフ表

No.	経験	パート 制限
1	3年以上	あり
2	3年以上	あり
3	3年以上	あり
4	経験1年	あり
5	経験1年	あり
6	経験1年	あり

5.2 拘束条件

シフトスケジューリングのベンチマークサイト[15]に掲載されているナースケジューリング問題のベンチマーク Ikegami-2Shift を踏まえて検討したところ，常勤職員のみシフトとは異なり，勤務シフトがより細かくなることが明らかになった．それを踏まえてパートタイマーによる組織

の勤務シフトに合わせた制約条件及び拘束条件を考えた。

従前の研究であるベンチマークの制約は、1ヶ月をスケジュール期間とし、日勤、夜勤などの各シフトに適した人数とスキルレベルの看護師を割り当てるとともに、看護師の労働負荷を考慮したものである。

本章の研究の勤務パターンは、case1では、前半、後半、終日の3種類であり、case2では、前半のみ、後半のみ、前半1のみ、前半2のみ、前半2から後半まで、終日の6種類の勤務パターンがあり、出勤する時間、勤務する時間の長さが異なる。

前半を勤務したスタッフが後半も勤務すること（終日）があり、いずれかが割り当てられるわけではない。

そこで、従前の研究で主流であった勤務パターンをシフトとして取り扱うのではなく、小規模組織のパート中心という実情に合わせて1日という単位を分割したものとして考えることとする。本章の研究では、case2が2つ、case2では、3つに分ければ十分であるが、この考えを推し進めて1日を細かく分ければ、1時間毎のきめ細かい配置も対応が可能である。

また、case1では、店舗（教室）が複数あり、日によって勤務場所が異なる。当該ベンチマークでは勤務場所が1つであるので、こうした勤務は考慮されていない。各シフトを各教室に置き換えることで、勤務場所に関わる条件について表現する。

本章の研究では、拘束条件を以下のように定義した。

- (a) 各日、各時間帯、各グループ、各勤務シフト（勤務場所）の最小人数・最大人数を守る
- (b) スタッフが最大連続日数を超えて連続勤務することを禁止する
- (c) 勤務と勤務の間隔は、勤務シフト（勤務場所）毎に最大間隔を超えない
- (d) 禁止勤務パターンを設け、それに違反しない
- (e) 月あたりの出勤回数は、各時間帯、各スタッフ、勤務シフト（勤務場所）毎の最小回数・最大回数の範囲内
- (f) 月あたりの土曜日に休む回数は、各スタッフの土休日の最小日数・最大日数の範囲内
- (g) 各スタッフの希望勤務を考慮する

このうち、(a)は、シフト拘束条件で、サービスレベルを満足するための各シフトの勤務メンバー構成に関わる条件である。(a)では、グループによ

って、全ての日の全ての時間帯について各シフトに必要なスタッフの人数の下限と上限を設定する。本章の研究では、シフト＝勤務場所（教室）であり、教室毎に人数が決定する。

グループは、ベテランを1人以上配置する、経験の浅い者同士を組ませない、などの条件を実現するためのものであり、スタッフは各グループに所属する。このグループの使い方によっては、相性を考慮した組合せも表現できる。今回は用いていないが、相性の良くない2人、もしくは数人でグループを設定し、そのグループからの人数の上限を1とすることで、組ませないことが可能となる。1人のスタッフは複数のグループに所属可能なので、このことによって他グループを組み直す必要はない。

また、下限、上限をすべて0にすることで、休日を表現する。

(b), (c), (d), (e), (f), (g)は「スタッフ拘束条件」で、各スタッフの労働負荷、希望に関わる条件である。

(b)は、スタッフの連続勤務についての条件であり、連続勤務回数の上限を設定する。本来、連続勤務による健康への悪影響などを避けるための労働条件であるが、本章の研究では、勤務が一時期に集中するなどの偏りを避けるために利用する。

(c)は、スタッフの勤務の間隔を、上限によって制限するものである。本章の研究では、教室が2カ所あるため、専属のスタッフを除いて、勤務が一方の教室に集中しないようにする。

(d)は、本来、夜勤のあとに日勤が来るなどの勤務パターンを禁止するものである。本章の研究では、そのような勤務パターンは存在しない。しかし、前半は、A教室に出勤し、後半は、B教室に出勤することは不可能なので、それを表現するために使用する。本章の研究では必要としないが、時間帯を細かく設定する職場では、一日の勤務時間の制限や、一度退勤してからの再出勤を禁止するなどが可能である。

(e)は、各スタッフが、どれだけ出勤するかをシフト毎に規定するものである。本章の研究では、勤務シフトを勤務場所に置き換えて、各スタッフがそれぞれの教室にどれだけ出勤するか、下限と上限を設定する。出勤のペースや総労働時間の制限に関わる重要な条件である。

(f)は、本来、土日にも出勤があるような現場で、土日を両日とも休む回数を下限と上限で制限するものである。本章の研究では、日曜は休みであり、休日出勤は存在しないが、土曜にどの程度出勤が可能かを設定するために用いる。

(g)は、各スタッフの希望を聞き、特定の日の勤務の割り当て、あるいは

出勤できない日を休みにするためのものである。「この曜日の後半の勤務は不可」などのスタッフの事情による個別の勤務制限も表現できる。

上記のすべての条件を満たす勤務表が理想ではあるが、(e)でのスタッフの勤務回数や(g)でのスタッフの希望勤務によっては、(c)の勤務間隔の条件を実現できないことがある。そこで、**case1**では、(c)を緩和可能な制約とし、(c)の条件に違反するペナルティの和を最小化することを目的関数とした。また、**case2**では、上記のすべての条件を満たした上で、費用を最初かする勤務表を作成することを目的とした。

以上を踏まえ、従前研究（ベンチマーク[15]）と本章の研究の相違点をまとめたものが表 3.8 である。

表 3.8 フルタイム勤務とパートタイム勤務における拘束条件の比較

区分	割り当て単位	割り当てる勤務	目的関数
従前研究 (ナーススケ ジューリン グ：ベンチ マーク)	日ごと (8時間勤務が原則．条件として表現する必要なし)	勤務パターン(日勤，夜勤，準夜勤)，休み	必要人数や希望時間等の条件違反の最小化
パートタイム勤務 (パソコン教室：本章の研究)	時間帯ごと (勤務時間長，退勤後の再出勤禁止等の条件が必要)	勤務場所(店舗)，休み	case1 スタッフの希望によって生じる条件違反(勤務間隔)の最小化 case2 人件費(コスト)の最小化(条件違反は許さない)

5.3 定式化

シフトスケジューリング問題では、解法として、GA や TS, SA といったヒューリスティックスによる近似解法が用いられることが多い。しかし、シフトスケジューリングのような公平性を重視しなければならない問題の場合、解が最適であることが重要になるため、厳密解法で求めた最適性が保証された最適解であることが望ましい。また、最適解を得られない場合でも、問題が複雑になると、手作業による修正が困難なことから、近似解

法であっても，修正が必要のない精度の高い解が求められる．

そこで，混合整数線形計画問題（Mixed Integer Linear Programming：MILP）として定式化した．MILPを採用した理由は，記述性が高く，細かい拘束条件についての数式を用いてのモデル化に対応できることにある．

case 1

$$\text{Minimize} \quad \sum_{d \in D} \sum_{n \in N} \sum_{b \in B} z_{dnb} \quad (3.13)$$

Subject to

$$\sum_{s \in S} x_{dhn s} = 1, \quad d \in D, h \in H, n \in N \quad (3.14)$$

$$\sum_{i=0}^{c3} y_{(d-i)n} \leq c3, \quad d \in D, n \in Gp \quad (3.15)$$

$$y_{dn} - \sum_{h \in H} \sum_{b \in B} x_{dhn b} \leq 0, \quad d \in D, n \in N \quad (3.16)$$

$$T y_{dn} - \sum_{h \in H} \sum_{b \in B} x_{dhn b} \geq 0, \quad d \in D, n \in N \quad (3.17)$$

$$\sum_{i=0}^{c4} \sum_{h \in H} x_{(d-i)hnb} + z_{dnb} \geq 1, \quad d \in D, n \in N, b \in B \quad (3.18)$$

$$\sum_{i=0}^k x_{d(i+1)np_i} \leq k, \quad d \in D, n \in N \quad (3.19)$$

$$\sum_{n \in N_g} x_{dhn b} \geq c1_{dhgb}, \quad d \in D, h \in H, g \in G, b \in B \quad (3.20)$$

$$\sum_{n \in N_g} x_{dhn b} \leq c2_{dhgb}, \quad d \in D, h \in H, g \in G, b \in B \quad (3.21)$$

$$\sum_{d \in D} x_{dhn b} \geq c5_{hnb}, \quad h \in H, n \in N, b \in B \quad (3.22)$$

$$\sum_{d \in D} x_{dhn b} \leq c6_{hnb}, \quad h \in H, n \in N, b \in B \quad (3.23)$$

$$\sum_{d \in Hs} x_{dhn \cancel{t}} \geq c7_n, \quad n \in N \quad (3.24)$$

$$\sum_{d \in Hs} x_{dhn \cancel{t}} \leq c8_n, \quad n \in N \quad (3.25)$$

$$L^+_{dhn b} - x_{dhn s} \leq 0, \quad d \in D, h \in H, n \in N, s \in S \quad (3.26)$$

$$x_{dhn s} \in \{0, 1\}, \quad d \in D, h \in H, n \in N, s \in S \quad (3.27)$$

$$y_{dn} \in \{0, 1\}, \quad d \in D, n \in N \quad (3.28)$$

$$z_{dgb} \in \{0, 1\}, \quad d \in D, g \in G, b \in B \quad (3.29)$$

変数 z_{dgb} は，拘束条件(c)に違反するペナルティであり， d 日のスタッフ n の勤務シフト b で最大間隔を超えてしまう場合は 1 となる． z_{dgb} は，(3.29)

式で定義されている。目的関数(3.13)式はこの z_{dgb} の和を最小化する。ここで、 D は対象期間の日の集合、 N はスタッフの集合、 B はシフト(勤務場所)の集合である。

(3.14)式は各スタッフについて各日 d 、各時間帯 h の勤務で必ず一つの休みを含むシフト s に割り当てられることを表す。変数 x_{dhns} は、割り当てられた勤務が s の場合は1、そうでない場合は0となる2値整数変数で、(3.27)式で定義されている。ここで、 H は時間帯の集合、 S は B に休みを加えたシフトの集合である。

(3.15)式は拘束条件(b)を表す制約であり、出勤が最大連続回数 c_3 回を超えて連続しないことを示す。 G_p は全スタッフのうちパートタイムのスタッフの集合である。

(3.16)、(3.17)式はスタッフが n 日に出勤するかどうかを表している。変数 y_{dn} は、1なら出勤、0ならば休みの2値整数変数であり、(3.28)式で定義されている。

(3.16)式で、 y_{dn} が1ならば d 日にスタッフ n が時間帯 h 、シフト(勤務場所) b によらず出勤していることを制約し、逆に(3.17)式で、出勤ならば y_{dn} を1としている。ここで定数 T は1日の時間帯の数である。

(3.18)式は拘束条件(c)についての勤務シフト(勤務場所) b 毎の最大間隔 c_4 に関する制約であり、 c_4 日の間に必ず1回は出勤していることを表している。

(3.19)式は、拘束条件(d)について表している。 d 日の $0 \sim k$ の時間帯の中において勤務禁止パターン p と一致するシフトが出現しないようにする制約である。

(3.20)、(3.21)式は、拘束条件(a)について、 d 日におけるグループ g の勤務シフト b に対する最小人数 c_{1dhgb} に関する制約および最大人数 c_{2dhgb} に関する制約を表している。

(3.22)、(3.23)式は、拘束条件(e)について、対象期間に関する各スタッフのシフト b の勤務数を最小回数 c_{5hnb} 、最大回数 c_{6hnb} で制約している。

(3.24)、(3.25)式は、拘束条件(f)についての制約である。各スタッフの土曜日に休む回数を最小日数 c_{7n} ・最大日数 c_{8n} の範囲内としている。ここで H_s は、対象期間の土曜日の集合である。

(3.26)式は、拘束条件(g)に関する制約である。希望勤務 L^+_{dhnb} を使って特定の日 d の各スタッフ n のシフト s を制約する。

case2

$$\text{minimize} \quad \sum_{d \in D} \sum_{h \in H} \sum_{n \in N} \sum_{b \in B} x_{dhnb} M_{hnb} \quad (3.13)'$$

Subject to

$$\sum_{i=0}^{c4} \sum_{h \in H} x_{(d-i)hnb} \geq 1, d \in D, n \in N, b \in B \quad (3.18)'$$

$$\sum_{h \in H} x_{dhnpih} \leq T - 1, d \in D, n \in N, i = 1, \dots, k1 \quad (3.19)'$$

case2 では、(3.13)式、(3.18)式、(3.19)式を変更し、それぞれ、(3.13)'式、(3.18)'式、(3.19)'式とした。

(3.13)'式は、人件費の総和を最小化するように、目的関数を変更している。ここで、 M_{hnb} は、時間、勤務場所毎の各スタッフの費用である。

(3.18)'式は、拘束条件(c)についての勤務シフト（勤務場所） b 毎の最大間隔 $c4$ に関する制約である。拘束条件(c)に違反するペナルティを許さないように変更している。

(3.19)'式は、拘束条件(d)の勤務禁止パターン p と一致しないようにする制約である。勤務時間長、退勤後の再出勤禁止等の条件を表現できるように変更している。

その他の式は、case1 と同じである。

5.4 数値実験

MILP を解き厳密解を得るための汎用的なソルバーは商用、非商用を含め多数のパッケージが存在する。実験では、非商用（GNU GPL ライセンス）の GLPK[16]を用いた。GLPK では、モデルとデータを分離することができるため、汎用性の高いモデル化に対応し、データやパラメータを変えることで、別環境のパートタイム勤務の職場でも活用することができると考えられる。

また、近似解法で精度の高い解が得られるかどうか検証するため、ベンチマーク関数を対象として、整数計画問題を解いた 4.2 の計算結果より、成績の良かった PfGA 及び ABC で同じ問題を解き、厳密解法で求めた最適性の保証された最適解との比較を行う。

5.4.1 入力値

case1

対象期間は 2015 年 10 月 1 日～15 日とし、必要人数を表 3.9 ように設

定した。

最大連続日数，最大間隔はそれぞれ 3 日，7 日とした。

午前・A 教室に勤務し，午後・B 教室の勤務することを禁止パターンとした。

各スタッフの出勤回数は，表 3.10 のように設定し，最小・最大回数は同じ値を使用した。

対象期間の土曜日に休む回数は，表 3.11 のように設定し，最小・最大日数は同じ値とした。

各スタッフの希望勤務は表 3.12 のように設定した。

表 3.9 case1の必要人数
(上段:最小人数, 下段:最大人数)

	全て	3年 以上	半年 以上	新人
日曜・	0	0	0	0
祭日(10/12)	0	0	0	0
土曜 午後	0	0	0	0
B教室 月曜	0	0	0	0
月・土曜	1	1	0	0
午前	1	1	0	0
A教室 10/8,	1	1	0	0
10/15	1	1	0	0
B教室 10/15	1	1	0	0
上記を除く	2	1	0	0
午前	2	2	1	1
上記を除く	1	0	0	0
午後	1	1	1	0

表3.10 case1の出勤回数
(上段:最小人数, 下段:最大人数)

スタッフ No.	A教室 午前	B教室 午前	A教室 午後	B教室 午後
1	2	1	1	0
	2	1	1	0
2	3	6	4	3
	5	8	6	5
3	6	0	0	0
	8	0	2	0
4	0	4	0	4
	0	6	0	6
5	2	3	3	0
	2	3	4	1
6	4	3	0	0
	4	3	0	0

表3.11 case1の土曜日に休む回数

スタッフ No.	日数
1	0
2	0
3	2
4	2
5	2
6	2

表 3.12 case1の希望勤務

スタッフ No.	希望
1	月:A教室,火~金:休,10/3午前:A教室, その他の土:B教室
2	火午後:A教室, 10/13午前:B
3	土:休, 10/8:休
4	水午後:休,金午後:休, ,
5	10/6午前:休,10/14午前:休
6	10/8午前:休

case2

対象期間は 2016 年 10 月 1 日～15 日とし, 必要人数を表 3.13 のように設定した.

表 3.13 case2の必要人数
 (上段:最小人数, 下段:最大人数)

必要人数	全て	3年 以上	1年 以上
日曜・	0	0	0
祭日(10/10)	0	0	0
土曜 午後	0	0	0
土曜 午前	1	1	0
月・金曜 午前2	2	1	0
10/12 午前2	2	2	1
上記を除く午前1	2	1	0
	2	2	1
上記を除く午前2	1	0	0
	1	1	1
上記を除く午後	1	0	0
	1	1	1

最大連続日数, 最大間隔はそれぞれ 3 日, 4 日とした. 各スタッフの出勤回数は, 表 3.14 のように設定した. 土曜日に休む回数は, 表 3.15 のように設定し, 最小・最大日数は同じ値とした. 各スタッフの希望勤務は, 表 3.16 のように設定した.

表3.14 case2の出勤回数
 (上段:最小人数, 下段:最大人数)

スタッフ No.	午前 1	午前 2	午後
1	3	3	3
	5	5	4
2	4	4	0
	6	6	1
3	4	4	1
	6	6	2
4	2	1	1
	5	3	2
5	2	0	0
	5	2	2
6	2	0	0
	5	2	2

表3.15 case2の土曜日に休む回数

スタッフ No.	日数
1	1
2	2
3	3
4	3
5	3
6	3

表 3.16 case2の希望勤務

スタッフ No.	日数
1	月・水午前 1・2:休, 火・木・金:休 (但し,4日は除く), 10/1:休,10/4 午前:出,10/8:出
2	火・水・金午後:休
3	木午後:休
4	月・水・木午後:休
5	10/3 午前:休
6	金:休

人件費は表 3.17 に示す各スタッフの時給より計算した.

表 3.17 スタッフ人件費

No.	経験	時給(円)
1	3年以上	1800
2	3年以上	1600
3	3年以上	1600
4	1年以上	1100
5	1年以上	1000
6	1年以上	910

5.4.2 GLPK の計算結果

case1

得られた結果を図 3.15 に示す. 厳密解法により, 対象としたパソコン教室の拘束条件を満たした最適性の保証された最適解を得ることができた.

連続の勤務日数は範囲内であり, 前半は A 教室に出勤し, 後半は B 教室に出勤するといった禁止パターンは見られない. スタッフの希望勤務も満たされている.

図 3.16 は図 3.17 に示した結果を基に, 教室毎にどのスタッフが出勤するかをまとめたものである.

教室 A, B とともに, 各時間帯で必要人数が確保できており, 経験の浅いもの同士の組み合わせや新人 1 人での勤務はない.

また，専属のスタッフを除くと，教室 A，B のうち，どちらかに偏った勤務になっていないことが分る．

	Sun		Mon		Tue		Wed		1 Thu		2 Fri		3 Sat	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
	1									-	-	-	-	A
2									A	A	-	B	B	-
3									-	-	A	-	-	-
4									B	B	B	-	-	-
5									A	-	B	A	-	-
6									B	-	A	-	-	-

	4 Sun		5 Mon		6 Tue		7 Wed		8 Thu		9 Fri		10 Sat	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
	1	-	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	B
2	-	-	-	-	A	A	B	B	A	-	B	B	A	-
3	-	-	-	-	A	-	A	A	-	-	A	A	-	-
4	-	-	-	-	B	B	B	-	B	B	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	B	A	B	-	-	-
6	-	-	-	-	B	-	A	-	-	-	A	-	-	-

	11 Sun		12 Mon		13 Tue		14 Wed		15 Thu		Fri		Sat	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
2	-	-	-	-	B	A	B	A	B	B				
3	-	-	-	-	A	-	A	-	A	-				
4	-	-	-	-	-	B	B	-	-	-				
5	-	-	-	-	A	-	-	B	-	A				
6	-	-	-	-	B	-	A	-	-	-				

図3.15 case1 勤務表結果
(A:A教室， B:B教室， -:休み)

A教室							B教室								
		Sun		Mon		Tue		Wed		1 Thu		2 Fri		3 Sat	
		AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
1															
2										出	出				
3												出			
4															
5										出		出			
6												出			

A教室							B教室								
		4 Sun		5 Mon		6 Tue		7 Wed		8 Thu		9 Fri		10 Sat	
		AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
1				出	出										
2						出	出			出				出	出
3						出		出	出			出	出		
4															
5										出					
6								出				出			

A教室							B教室								
		11 Sun		12 Mon		13 Tue		14 Wed		15 Thu		16 Fri		17 Sat	
		AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
1															
2								出	出						
3						出		出		出					
4															
5						出									
6								出							

図 3.16 case1 教室別勤務表結果

教室毎に、各スタッフの出勤回数を集計した結果を表 3.16 示す。各スタッフの出勤回数を守られていることが分る。

表 3.17 に拘束条件(c) に対する制約違反 (ペナルティ) を示す。

ペナルティの総和は 5 であり、これは月、土しか勤務できないスタッフがいたためである。当該スタッフの希望勤務によって B 教室でペナルティが生じ、さらに 12 日(月)が休日であったために A 教室でペナルティが発生した。こうした特殊な事情を除くと、他のスタッフには制約違反はない。

サービスレベルを維持し、スタッフの時間制約、労働負荷を考慮したシフト勤務表を得ることができた。

表 3.18 スタッフの出勤回数

A教室

	Sun		Mon		Tue		Wed		Thu		Fri		Sat		合計	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1
2	0	0	0	0	1	2	0	1	2	1	0	0	1	0	4	4
3	0	0	0	0	2	0	2	1	1	0	2	1	0	0	7	2
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	0	1	0	0	2	3
6	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	4	0

B教室

	Sun		Mon		Tue		Wed		Thu		Fri		Sat		合計	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
2	0	0	0	0	1	0	2	1	1	1	1	2	1	0	6	4
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1	2	2	0	2	2	1	0	0	0	6	4
5	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0	3	1
6	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0

表 3.19 拘束条件(c) に対する制約違反

スタッフNo.	シフト	1		2		3		4		5		6	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1	Thu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Fri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Sat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Sun	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Mon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Tue	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Wed	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Thu	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Fri	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	Sat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Sun	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	Mon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Tue	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	Wed	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	Thu	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

case2

得られた結果を図 3.17 に，各スタッフの出勤回数及び人件費を集計した結果を表 3.20 に示す．厳密解法により，拘束条件を満たした最適性の保証された最適解を得ることができ，総人件費は，139,300 円であった．

	Sun			Mon			Tue			Wed			Thu			Fri			1 Sat		
	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM
	1																			-	-
2																			出	出	-
3																			-	-	-
4																			-	-	-
5																			-	-	-
6																			-	-	-

	2 Sun			3 Mon			4 Tue			5 Wed			6 Thu			7 Fri			8 Sat		
	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM
	1	-	-	-	-	-	-	出	出	出	-	-	出	-	-	-	-	-	-	出	出
2	-	-	-	出	出	-	-	-	-	出	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	出	出	-	-	-	-
4	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	出	出	-	-	-	-	-	-	-	-	-	出	出	-	-	-
6	-	-	-	出	-	-	-	-	-	出	-	-	出	出	出	-	-	-	-	-	-

	9 Sun			10 Mon			11 Tue			12 Wed			13 Thu			14 Fri			15 Sat		
	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM
	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	出	出
2	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	出	-	-	-	出	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	出	出	-	出	-	-	-	-	出	出	出	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	出	-	出	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	出	出	出	-	-	-	-	-	-

図3.17 case2 勤務表結果

(出:出勤， -:休み)

表 3.20 スタッフの出勤回数と人件費

	Sun			Mon			Tue			Wed			Thu			Fri			Sat			合計			人件費 (円)			
	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM		AM1	AM2	PM
1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	3	3	3	37,800
2	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	5	4	0	28,800
3	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	4	4	1	30,400
4	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	12,100
5	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	1	2	12,000
6	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2	2	18,200
																												139,300

case1 と同様に，目的関数を拘束条件(c)に違反するペナルティの最小化にすると，総人件費は，143,240 円となり，目的関数を総人件費の最小化にすることにより，コストの削減が可能となることが分る．また，目的関数を総人件費の最大化にすると，153,560 円となり，これは，最大約 9.3% のコスト削減の可能性のあることを意味する．

5.4.3 PfGA の計算結果

case1

得られた結果を図 3.18 に，教室毎の出勤状況を図 3.19 に示した．

最大探索回数を 50,000 まで増やしたが，A 教室の 7 日午前の時間帯で必要人数を割り当てることができなかった．

	Sun		Mon		Tue		Wed		1 Thu		2 Fri		3 Sat	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
	1									-	-	-	-	A
2									B	A	A	A	B	-
3									A	-	-	-	-	-
4									-	B	B	-	-	-
5									B	-	B	B	-	-
6									A	-	A	-	-	-

	4 Sun		5 Mon		6 Tue		7 Wed		8 Thu		9 Fri		10 Sat	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
	1	-	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	B
2	-	-	-	-	B	A	B	B	A	A	-	B	A	-
3	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-	A	A	-	-
4	-	-	-	-	B	B	-	-	B	B	B	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	A	B	-	A	-	-	-
6	-	-	-	-	A	-	B	-	-	-	B	-	-	-

	11 Sun		12 Mon		13 Tue		14 Wed		15 Thu		Fri		Sat	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
2	-	-	-	-	B	A	B	B	A	-				
3	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-				
4	-	-	-	-	-	B	B	-	B	B				
5	-	-	-	-	A	-	-	A	-	A				
6	-	-	-	-	B	-	A	-	-	-				

図3.18 case1 勤務表結果
(A:A教室, B:B教室, -:休み)

		Sun		Mon		Tue		Wed		Thu		Fri		Sat	
		AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
1															出
2											出		出		出
3											出				
4															
5															
6											出		出		

		4 Sun		5 Mon		6 Tue		7 Wed		8 Thu		9 Fri		10 Sat	
		AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
1				出	出										
2							出			出	出				出
3							出						出		出
4									出						
5									出				出		
6							出								

		11 Sun		12 Mon		13 Tue		14 Wed		15 Thu		16 Fri		17 Sat	
		AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
1															
2							出				出				
3							出		出						
4															
5							出				出				
6									出						

		4 Sun		5 Mon		6 Tue		7 Wed		8 Thu		9 Fri		10 Sat	
		AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
1															出
2							出		出	出					出
3															
4							出	出			出	出	出		
5											出				
6									出				出		

		11 Sun		12 Mon		13 Tue		14 Wed		15 Thu		16 Fri		17 Sat	
		AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
1															
2							出		出	出					
3															
4									出	出		出	出		
5															
6							出								

図 3.19 case1 教室別勤務表結果

目的関数とした拘束条件(c) に対するペナルティは, GLPK による最適解と同じ結果が得られた.

各スタッフの出勤回数を集計した結果を表 3.21 に示す.

表 3.21 スタッフの出勤回数

A教室

	Sun		Mon		Tue		Wed		Thu		Fri		Sat		合計	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1
2	0	0	0	0	0	2	0	0	2	2	1	1	1	0	4	5
3	0	0	0	0	2	0	2	0	1	0	1	1	0	0	6	1
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	1	0	0	0	2	3
6	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	4	0

B教室

	Sun		Mon		Tue		Wed		Thu		Fri		Sat		合計	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
2	0	0	0	0	2	0	2	2	1	0	0	1	1	0	6	3
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1	2	1	0	2	3	2	0	0	0	6	5
5	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	3	1
6	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	3	0

case1 では、拘束条件のすべてを満たす解を得ることはできなかった。

拘束条件(a)の必要人数と拘束条件(e)のスタッフの勤務回数の両方を同時に満たすことは難しく、このため、従前研究では、この関係式についてペナルティを許し、そのペナルティを最小にすることを目的関数とする方法が取られることが多い。

しかしながら、(a)を緩和可能とすると、「0人」という時間帯が出てきてしまう恐れがあり、現実的では無い。また、本問題が対象とするパートタイムでは、より個人の都合や志向、満足度を重視する必要があるが、(e)のペナルティの総和を最小化しても、「公平性」、「納得感」などの課題が残る。

(a)、(e)のいずれの制約も、ペナルティを許せば、実際の運用では、シフト勤務表作成後に、部分的なスケジュールの調整が必要となってしまうのである。

case2

得られた結果を図 3.20 に示す。拘束条件をすべて満たした解を得ることができた。総人件費は、139,480 円であった。

各スタッフの出勤回数及び人件費を集計した結果を表 3.22 に示す。

	Sun			Mon			Tue			Wed			Thu			Fri			1 Sat				
	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM		
	1																				-	-	-
2																					出	出	-
3																					-	-	-
4																					-	-	-
5																					-	-	-
6																					-	-	-

	2 Sun			3 Mon			4 Tue			5 Wed			6 Thu			7 Fri			8 Sat			
	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	
	1	-	-	-	-	-	出	出	出	出	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	出	出
2	-	-	-	-	出	-	-	-	-	出	-	-	-	出	-	出	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	出	出	出	-	-	-	出	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	出	-	出	出	-	-	-	-
6	-	-	-	出	出	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-	-	-

	9 Sun			10 Mon			11 Tue			12 Wed			13 Thu			14 Fri			15 Sat			
	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	
	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-	-	出	出
2	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	出	-	-	出	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	出	出	-	出	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	出	出	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	出	出	-	-	出	出	出	-	-	-	-	-	-	-

図3.20 case2 勤務表結果

(出:出勤, -:休み)

表 3.22 スタッフの出勤回数と人件費

	Sun			Mon			Tue			Wed			Thu			Fri			Sat			合計			人件費 (円)			
	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM				
1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	3	3	3	37,800
2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	2	0	0	0	1	1	0	1	0	5	4	0	28,800
3	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	4	4	1	30,400
4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	2	2	1	12,100
5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	3	1	2	14,000
6	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	2	16,380
																							139,480					

5.4.2 の GLPK の計算結果より，総人件費は，139,300 円～153,560 円の範囲である．139,480 円は最適解ではないもののコスト削減効果が得られると考えられる．

5.4.4 ABC の計算結果

case1

得られた結果を図 3.21 に，教室毎の出勤状況を図 3.22 に示した．

最大探索回数を 50,000 まで増やし，42,743 回目で全ての拘束条件を満たす解を得た．

	Sun		Mon		Tue		Wed		1 Thu		2 Fri		3 Sat	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
	1									-	-	-	-	A
2									B	-	B	B	B	-
3									A	A	A	-	-	-
4									-	B	-	-	-	-
5									B	-	A	A	-	-
6									A	-	B	-	-	-

	4 Sun		5 Mon		6 Tue		7 Wed		8 Thu		9 Fri		10 Sat	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
	1	-	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	B
2	-	-	-	-	B	A	B	B	A	A	-	B	A	-
3	-	-	-	-	A	-	A	A	-	-	A	-	-	-
4	-	-	-	-	B	B	-	-	B	B	B	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	B	-	B	-	A	A	-	-
6	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-	B	-	-	-

	11 Sun		12 Mon		13 Tue		14 Wed		15 Thu		Fri		Sat	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
2	-	-	-	-	B	A	A	A	-	B				
3	-	-	-	-	A	-	A	-	A	-				
4	-	-	-	-	B	B	B	-	B	-				
5	-	-	-	-	-	-	-	B	-	A				
6	-	-	-	-	A	-	B	-	-	-				

図3.21 case1 勤務表結果
(A:A教室, B:B教室, -:休み)

		A教室						B教室								
		Sun		Mon		Tue		Wed		Thu		Fri		Sat		
		AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	
1															出	
2																
3									出	出	出					
4																
5											出	出				
6									出							
		4		5		6		7		8		9		10		
		Sun		Mon		Tue		Wed		Thu		Fri		Sat		
		AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	
1				出	出											
2						出		出	出						出	
3						出		出	出							
4																
5												出	出			
6						出		出								
		11		12		13		14		15						
		Sun		Mon		Tue		Wed		Thu		Fri		Sat		
		AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	
1																
2							出	出	出							
3							出	出	出							
4																
5												出				
6							出									

図 3.22 case1 教室別勤務表結果

目的関数とした拘束条件(c) に対するペナルティは, GLPK による最適解と同じ結果が得られた.

各スタッフの出勤回数を集計した結果を表 3.23 に示す.

表 3.23 スタッフの出勤回数

A教室

	Sun		Mon		Tue		Wed		Thu		Fri		Sat		合計	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1
2	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	0	0	1	0	3	4
3	0	0	0	0	2	0	2	1	2	1	2	0	0	0	8	2
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	2	3
6	0	0	0	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	4	0

B教室

	Sun		Mon		Tue		Wed		Thu		Fri		Sat		合計	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
2	0	0	0	0	2	0	1	1	1	1	1	2	1	0	6	4
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	2	2	1	0	2	2	1	0	0	0	6	4
5	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	3	1
6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	3	0

得られた勤務表は，GLPK による最適解と異なるが，すべての拘束条件を満たしており，手作業による修正をすることなく，実用可能なレベルである。

case2

得られた結果を図 3.23 に示す。拘束条件をすべて満たした解を得ることができた。総人件費は，141,620 円であった。

各スタッフの出勤回数及び人件費を集計した結果を表 3.24 に示す。

	Sun			Mon			Tue			Wed			Thu			Fri			1 Sat			
	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	
	1																			-	-	-
2																				出	出	-
3																				-	-	-
4																				-	-	-
5																				-	-	-
6																				-	-	-

	2 Sun			3 Mon			4 Tue			5 Wed			6 Thu			7 Fri			8 Sat		
	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM
	1	-	-	-	-	-	出	出	出	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-	出	出
2	-	-	-	-	出	-	-	-	-	出	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	出	出	-	-	-	-	-	-	-	-	-	出	出	出	-	-	-	-
4	-	-	-	出	-	-	-	-	-	出	-	出	-	出	-	出	出	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	出	-	-	出	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-

	9 Sun			10 Mon			11 Tue			12 Wed			13 Thu			14 Fri			15 Sat		
	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM
	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-	出	出
2	-	-	-	-	-	-	出	出	-	-	-	-	-	-	出	出	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	出	出	-	出	出	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	出	出	-	出	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-

図3.23 case2 勤務表結果

(出:出勤, -:休み)

表 3.24 スタッフの出勤回数と人件費

	Sun			Mon			Tue			Wed			Thu			Fri			Sat			合計			人件費 (円)			
	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM				
1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	3	3	3	37,800
2	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	5	4	0	28,800
3	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	2	2	1	0	0	0	0	0	5	4	1	33,600
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	3	3	1	16,500
5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	2	14,000
6	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	10,920
																												141,620

5.4.2 の GLPK の計算結果より、総人件費は、139,300 円～153,560 円の範囲である。141,620 円は最適解ではなく、さらに、PfGA による解よりも劣るものの、総人件費が最大の場合と比較すると約 7.8% のコスト削減とな

る。コスト削減効果も十分期待できるといえる。

6. 本章のまとめ

複雑かつ多変数の最適化問題に対して有効であるとして、着目されている群知能について、整数計画問題でも応用が可能か、ベンチマーク関数を用いて、効果の検証を行った。

ABCは、すべてのケースで良い結果が得られ、その有効性が確認できた。

FAは、制約を満たした解が得られないケースがあり、同じ群知能でも問題によって、適している解法、適していない解法があると考えられる。そのような問題に対しては、コンピュータ将棋の合議アルゴリズムの考え方を取り入れて複数の解法を並列で用いるなどの手法が考えられる。

また、パートタイマーによる小規模なパソコン教室を対象とし、パートタイム勤務特有の制限を考慮したモデル化を行い、厳密解法にて最適性が保証された最適解を得た。

従前の研究で主流であった1日毎に勤務パターンをシフトとして取り扱うのではなく、1日を分割し、勤務パターンの代わりに勤務場所を割り当てることで、小規模組織であるがパート中心という実情に合わせたモデル化を行うことができた。この考えを推し進めて1日をさらに、細かく分ければ、1時間毎のきめ細かい配置も対応が可能となる。

こうしたモデル化により、サービスレベルを維持し、スタッフの時間制約、労働負荷を考慮したシフト勤務表を得ることができた。あるスタッフの勤務が一時期に集中してしまったり、特定の勤務が続いたり、といった偏りは発生しておらず、実用可能なレベルである。

さらに、必要人数の条件違反の最小化を目的関数とせず、総人件費の最小化にすることにより、コストの削減が可能となることを示した。

小規模とはいえ、問題が複雑になれば、手作業による修正は困難であり、最適解により、スケジュールを決めていくことが理想であるが、時間帯をさらに細かく設定する等、条件によっては、最適解が得られない場合は、近似解法でも、より精度の高いものが求められる。

ベンチマーク関数で成績の良かったPfGA及び、ABCにより、計算を行い、その結果を厳密解法にて最適性が保証された最適解と比較した。

シフトスケジューリング問題の解法として、従前研究でよく用いられてきたGAの一つであるPfGAでは、拘束条件をすべて満たすことができないケースがあったが、ABCでは解を得ることができた。コストを最小化するケースでは、最適解が得られず、PfGAにも劣るものの、コスト削減効果

は見込まれ，手作業による修正を必要とせず，実用的なレベルの勤務表を得ることができた．

参考文献

- [1] D. Karaboga and B. Basturk, “A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: Artificial bee colony (ABC) algorithm”, *J. Global Optimization*, Vol.39, (2007), pp.459-471
- [2] X.-S. Yang, “Firefly algorithms for multi-modal optimization”, *Stochastic Algorithms: Foundations and Applications*, Vol.5792, (2009), pp. 169-178
- [3] 久保琢磨, 宇野毅明, 「中小規模スタッフスケジューリング問題における調整の容易なスケジュール作成に関する研究」, 情報処理学会研究報告数理モデル化と問題解決, (2008) pp.57 - 60.
- [4] 坂口卓也, 「地域型遺伝的アルゴリズムを用いたナーススケジューリング」, 情報処理学会研究報告. MPS, 数理モデル化と問題解決研究報告 2007(128), (2007) pp.247-250.
- [5] 金久保正明, 菱沼千明, 「コールセンターのアダプティブ要員スケジューリング法」, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.18, No.4, (2006.8) pp.619-628.
- [6] 渡邊 俊彦, 藪下 良樹, 近藤 忠孝, 「子個体生成数を適応的に変化させる分散型パラメータフリー遺伝的アルゴリズム」, バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, Vo.12, No.2, (2010), pp.47-55
- [7] 加藤達郎, 前田陽一郎, 高橋泰岳, “算術交叉を用いた改良型 Artificial Bee Colony アルゴリズム”, 第 28 回ファジィシステムシンポジウム, (2012) , pp.430-434
- [8] 前田陽一郎, “人工蜂コロニーアルゴリズムのためのハイブリッド探索手法”, 日本知能情報ファジィ学会, 知能と情報, vol.30, (2018), pp.556-563
- [9] Sandeep Kumar, Dr. Vivek Kumar Sharma, Rajani Kumari, “A Novel Hybrid Crossover based Artificial Bee Colony Algorithm for Optimization Problem”, *International Journal of Computer Applications*, Vol.82, (2013), pp.18-25
- [10] R. Storn, K. Price, “Differential evolution: A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces”, *Journal of Global Optimization*, Vol.11, (1997), pp.341-356
- [11] Ajith Abraham, Ravi Kumar Jatoth, A. Rajasekhar, “Hybrid Differential Artificial Bee Colony Algorithm”, *Computational and Theoretical Nano-science*, Vol.9(2), (2012), pp.249-257

- [12] Amnat Panniem, Pikul Puphasuk, “A Modified Artificial Bee Colony Algorithm with Firefly Algorithm Strategy for Continuous Optimization Problems”, *Journal of Applied Mathematics*, Volume 2018, (2018), Article ID 1237823, Research Article (9 pages)
- [13] 伊藤毅志, “合議アルゴリズム「文殊」～単純多数決で勝率を上げる新技術 (コンピュータ将棋の新しい波)”, *情報処理学会誌*, Vol.50, No.9, (2009), pp.887-894.
- [14] 杉山卓弥,小幡拓弥,斎藤博昭,保木邦仁,伊藤毅志, “将棋における合議アルゴリズム－局面評価値に基づいた指し手の選択”.*情報処理学会誌*, Vol.51, No.11, (2010) , pp.2048-2054.
- [15] Employee Shift Scheduling Benchmark Data Sets,
<http://www.schedulingbenchmarks.org/> (2019年1月7日確認)
- [16] GNU Project, GLPK,
<http://www.gnu.org/software/glpk/glpk.html> (2019年1月7日確認)

第 4 章 コンビニエンスストアの シフトスケジューリング問題

第4章 コンビニエンスストアのシフトスケジューリング問題

1. 本章の目的

2000年以降、我が国におけるサービス産業の労働体系がフルタイム勤務中心からパートタイム中心にシフトしてきている。全労働力に占めるパートタイム勤務の割合は増加している。

しかしながらその一方で少子高齢化それに伴う生産年齢人口（15歳-64歳の総人口）の減少などにより、サービス業では、それまで現場を支えてきたアルバイト・パート人材の確保が難しくなっている。

多くの企業はその対策として、シフトを細分化することにより、従来よりも勤務時間を短くし、時間の制約の問題で働きたくても働けない主婦層を取り込み始めている。『週の最低勤務日数が1~2日』という求人が1年で5.8万件増え、『1日の最低勤務時間が1~3時間』という求人も2.2万件増加している[1][2]。

そしてこうした状況のもとにより緻密なパートタイム管理が必要になっている。

そこで本章では、パートタイム勤務者を活用する典型的なモデルとして、コンビニエンスストアを対象とし、アルゴリズムや解法の見直し及び再構築を行う。シフトスケジューリング問題についての当該研究におけるこれまでの主たる対象となってきたフルタイム勤務者を対象とするシフトスケジューリングとは異なる視点から拘束条件を設定するものである。

この分野は、第2章で示したように、社会的需要が大きいことが明らかである。

2. 本研究における新規性

第2章で示した先行研究の課題を踏まえ、本章ではコンビニエンスストアにおけるパートタイム勤務者に特化したシフトスケジューリングをその特性を考慮した技法で解く。そこで本稿ではパートタイム勤務者の固有の拘束条件を念頭に新たに人口蜂コロニー最適化の考え方を組み込む。なお本章ではプログラミング活用について汎用性を重視する観点からモデルを組んだうえでの実装を行うこととした。

従来のパートタイムとは異なり、働ける時間に制約のあるスタッフを活用することを本章の研究の目的とする。フルタイム中心の伝統的な雇用形態とは異なり、パートタイムに特化したかたちのスケジューリング研究はこれまで行われていない新規性の高い領域である。

シフトに応じるスタッフを求めるのではなく、タイムウィンドウ（勤務可能時間帯）制約付きスタッフをどのようにシフトに割り当てれば、各日・各時間帯のサービスレベル（必要人数、スタッフのスキル、ペア）を維持することができるかという問題を解かなければならない。

従来のフルタイムにパートタイムを加えたかたちでの勤務シフト決定の概念図を図 4.1 に、タイムウィンドウ制約付きスタッフをどう割り当てるかの勤務シフト決定の概念図を図 4.2 に示す。

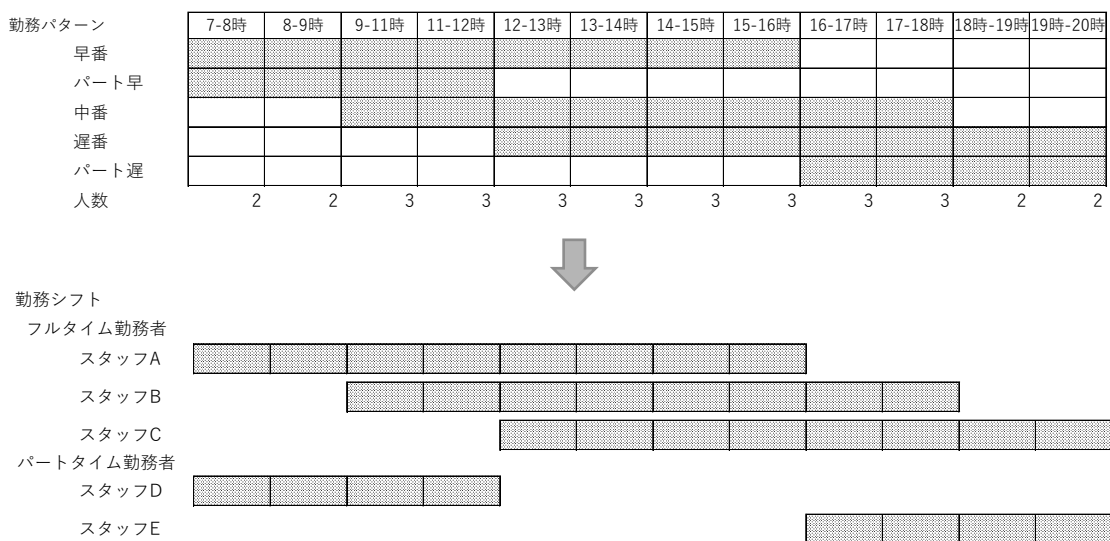


図 4.1 従来の勤務シフト決定の概念図

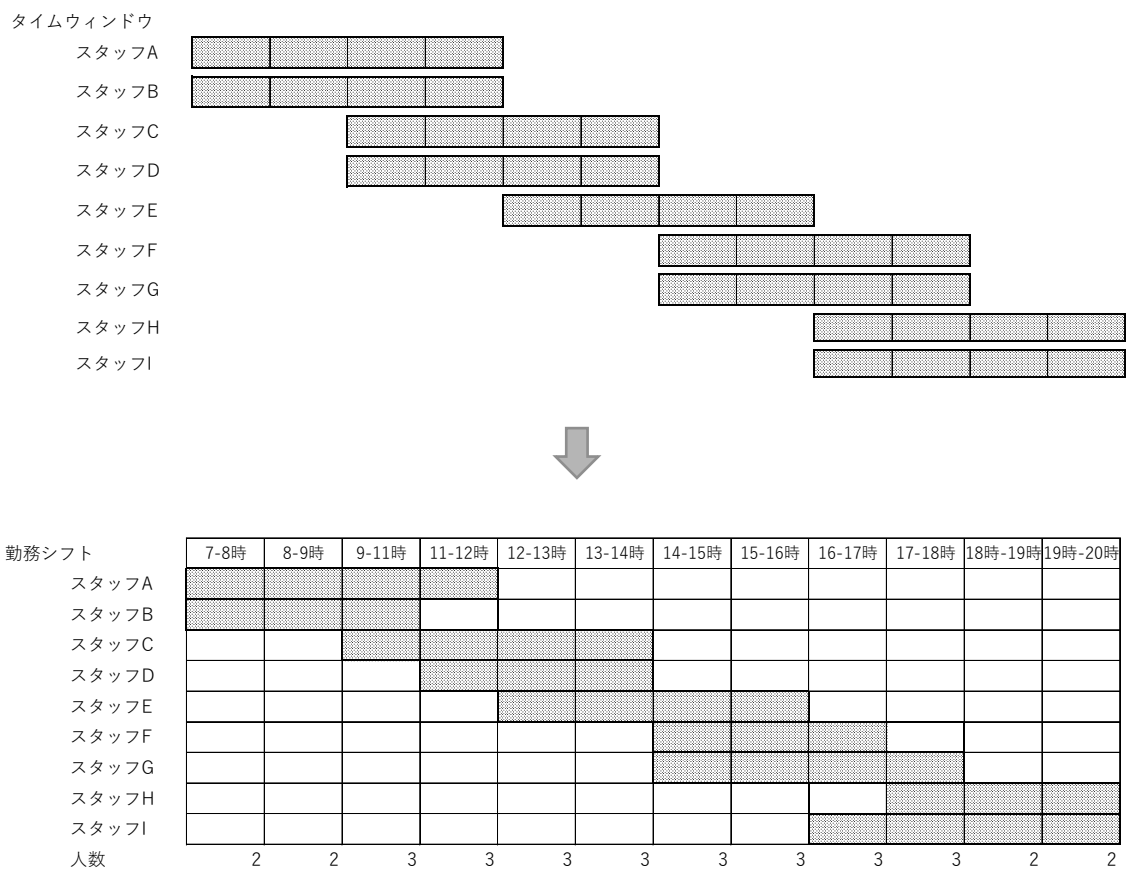


図 4.2 タイムウィンドウ制約付きスタッフの勤務シフト決定の概念図

そこで本章では、タイムウィンドウ制約付きスタッフが中心であるコンビニエンスストアという職場を想定し、モデル化を行い、数値実験を行うこととする。

3. 拘束条件

パートタイムの勤務シフトに合わせた制約条件及び拘束条件はフルタイム勤務者シフトの拘束条件とは異なる。

フルタイム勤務パターンのようにシフトとして取り扱う方法では、時間単位のパートタイム勤務のシフトに対応することができない。スタッフ毎に、出勤時間、勤務時間の長さが異なり、シフトの取り得るパターンは膨大な数になるためである。

加えて、パート勤務の場合、労働負荷についてスタッフの勤務時間帯、総勤務時間の制限についても考慮する必要もある。健康への悪影響を避けるための労働条件だけでなく、個別の事情による勤務制限や出勤ペースな

どを考慮しなくてはならない。

さらにいえば我が国の場合，パートの年収については「103万円の壁」（配偶者控除：配偶者の給与年収が103万以下であれば，配偶者は扶養家族に該当），「130万円の壁」（配偶者の見込み年収が130万円以上になると社会保険への加入義務が発生）が存在し，年間総収入をその枠内に収める必要が生じるケースも多く，拘束条件において設定する必要が出てくることもある。

また，本章で対象としたコンビニエンスストアでは，複数の勤務場所（店舗）に勤務することも考えられる．各シフトに勤務パターンを割り当てるのではなく，各店舗を割り当てることとし，勤務場所に関わる条件について表現する．これにより，店舗が複数あり，日によって勤務場所が異なるような勤務を考慮することができる。

当該ベンチマークでは，人件費に関する条件がないが，人件費（コスト）は必要最小限とすることが望ましい。

本問題では，拘束条件を以下のように定義した．

- (a) 各日，各時間帯，各グループ，各勤務シフト（勤務場所）の最小人数・最大人数を守る
- (b) スタッフが最大連続日数を超えて連続勤務することを禁止する
- (c) 勤務と勤務の間隔は，勤務シフト（勤務場所）毎に最大間隔を超えない
- (d) 禁止勤務パターンを設け，それに違反しない
- (e) 対象期間内の出勤回数は，各時間帯，各スタッフ，勤務シフト（勤務場所）毎の最小回数・最大回数の範囲内
- (f) 対象期間内の土曜日に休む回数は，各スタッフの土休日の最小日数以上
- (g) 対象期間内の日曜日・祭日に休む回数は，各スタッフの日・祭日休日の最小日数以上
- (h) 各スタッフの希望勤務を考慮する

このうち，(a)は，「シフト拘束条件」で，サービスレベルを満足するための各シフトの勤務メンバー構成に関わる条件である．(a)では，グループによって，全ての日の全ての時間帯について各シフトに必要なスタッフの人数の下限と上限を設定する．本問題では，シフト＝店舗（勤務場所）であり，店舗毎に人数が決定する．グループは，ベテランを1人以上配置する，

経験の浅い者同士を組ませない、などの条件を実現するためのものであり、スタッフは各グループに所属する。また、下限、上限をすべて0にすることで、休日を表現する。

(b), (c), (d), (e), (f), (g)は「スタッフ拘束条件」で、各スタッフの労働負荷、希望に関わる条件である。

(b)は、スタッフの連続勤務についての条件であり、連続勤務回数の上限を設定する。本来、連続勤務による健康への悪影響などを避けるための労働条件であるが、勤務が一時期に集中することを避けるために利用することも可能である。

(c)は、スタッフの勤務の間隔が開きすぎないように、上限によって制限するものである。(b), (c)の条件により、勤務の偏りを避けることができる。

(d)は、夜勤のあとに、そのまま朝勤が続くなどの勤務パターンを禁止するものである。一日の勤務時間の制限や、一度退勤してからの再出勤を禁止する。

(e)は、各スタッフが、どれだけ出勤するかをシフト毎に規定するものである。各スタッフがそれぞれの店舗にどれだけ出勤するか、下限と上限を設定する。出勤のペースや総労働時間の制限に関わる重要な条件である。

(f), (g)は、土曜及び、日曜・祭日について、それぞれ休む回数の下限を制限するものである。土曜及び、日曜・祭日にどの程度出勤が可能かを設定するために用いる。

(h)は、各スタッフの希望を聞き、特定の日々の勤務の割り当て、あるいは出勤できない日を休みにするためのものである。「この曜日の夕方の勤務は不可」などのスタッフの事情による個別の勤務制限も表現できる。

先行研究では、(a)での必要なスタッフの人数や、(e)でのスタッフの出勤回数を緩和可能な制約とし、(a)や(e)の条件に違反するペナルティの総和を最小化することを目的関数とする場合が多い。

しかしながら、(a)を緩和可能とすると、「0人」という時間帯が出てきてしまう恐れがあり、現実的では無い。また、本問題が対象とするパートタイムでは、より個人の都合や志向、満足度を重視する必要があるが、(e)のペナルティの総和を最小化することに焦点を当てても、「公平性」、「納得感」などは評価できず、課題が残る。

(a), (e)のいずれの制約も、ペナルティを許せば、実際の運用では、シフト勤務表作成後に、部分的なスケジュールの調整が必要となり、なるべく幅広い時間帯に対応できる人材が求められ、タイムウィンドウ（勤務可能時間帯）制約付きスタッフを活用する、本問題の目的は果たせない。

(a)と(e)の条件を同時に満たすことが難しい理由として、(e)での各グループのスタッフの最大出勤回数が、(a)での各日・各時間帯に必要なグループ毎のスタッフ数の総和に満たなければ解けなくなり（解がない）、逆に、(e)での最小出勤回数の総和が、(a)での必要なスタッフ数の上限を上回っても解けなくなることが挙げられる。

これらは、解の探索時ではなく、データ作成時であっても、チェックがある程度可能である。事前に過不足時間の調整を行うことで、シフト勤務表の作成後に、スケジュールそのものを手作業で調整することをなくすることができる。

また、過不足時間を明確にすることで、スタッフの採用計画に活かすことも可能となる。

本問題では、各制約条件を絶対制約とすることで、制約のペナルティを考慮することなく、解の探索を行うこととし、目的関数は、対象期間の総人件費を最小とすることとした。

4. 解法

4.1 従前の解法

シフトスケジューリング問題は、整数変数を含んだ最適化問題である。解法として、解の最適性の保証を持った厳密解法と最適性の保証を持たない近似解法がある。

スケジューリング問題のほとんどは、NP 困難であり、どのくらいの規模の問題で計算量の増大が発生するかの予測は難しく、同じ問題でも、実際に数値を入れた問題の構造によって解ける規模が全く異なる。そのため、厳密解法ではなく、遺伝的アルゴリズム（GA）やタブーサーチ（TS）、焼きなまし法（SA）といったヒューリスティクスによる近似解法が用いられることも多い。

しかしより緻密なシフト構築を行うためには厳密解法による最適性の保証された最適解を求める必要があることはいうまでもない。

一般にスケジューリング問題についての厳密解法では、整数計画問題（Integer Programming: IP）や制約充足問題（Constraint Satisfaction Problem: CSP）などの標準問題の形に定式化され、主として分枝限定法が用いられることが多い。

分枝限定法では、部分問題を生成（分枝操作）、最適値の上界、下界の情報を用いて、ある部分問題から最適解が得られなければ、その部分問題は無視（限定操作）する。しかしながらこの解法では1時間単位でシフトが

入ることもある緻密なパートタイム勤務者のみのシフトの最適解を求めるのには時間がかかり，効率的な解法ではない．

4.2 本研究での手法

そこで本章では，人工蜂コロニー (Artificial Bee Colony) (以下，ABC と記す) アルゴリズム [17] の考え方を組み入れることで，分枝限定法で実用的な時間で問題を解くことを目指す．

ABC アルゴリズムは，収穫蜂 (Employed bees)，追従蜂 (Onlooker bees)，偵察蜂 (Scout bees) の 3 種類の人工蜂群の行動に基づいた 3 フェーズからなる．

収穫蜂と追従蜂のフェーズでは，解候補近傍の局所探索を行うが，偵察蜂フェーズは，採餌行動において尽きた食糧源を捨てる行動を真似たもので，探索の進捗において有益ではなくなった解候補を捨て，探索空間の新たな領域を探索するための新たな解候補を挿入する．

本章では，偵察蜂フェーズでいくつかの解候補を作成し，そこで割り当てられた勤務シフトのうち，特定の時間帯を固定とした上で，分枝限定法で問題を解くこととする．従前の解法との比較を図 4.3 に，本研究の手法の概念図を図 4.4 に示す．

本研究の手法は，近似解法である ABC を含むものであるが，厳密解法による最適値の下限は，計算が終了していなくても知ることができるため，その値と一致していれば，便宜上，最適解と呼ぶこととする．

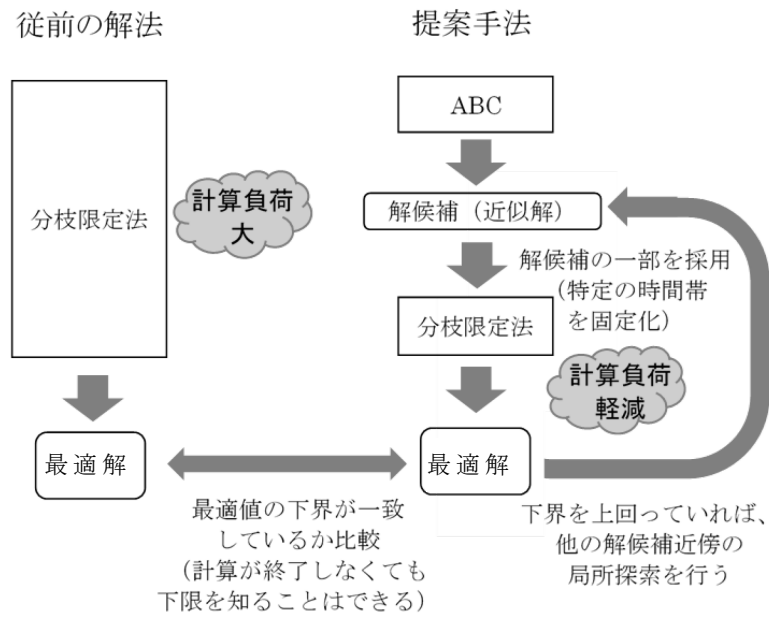


図 4.3 従前の解法との比較

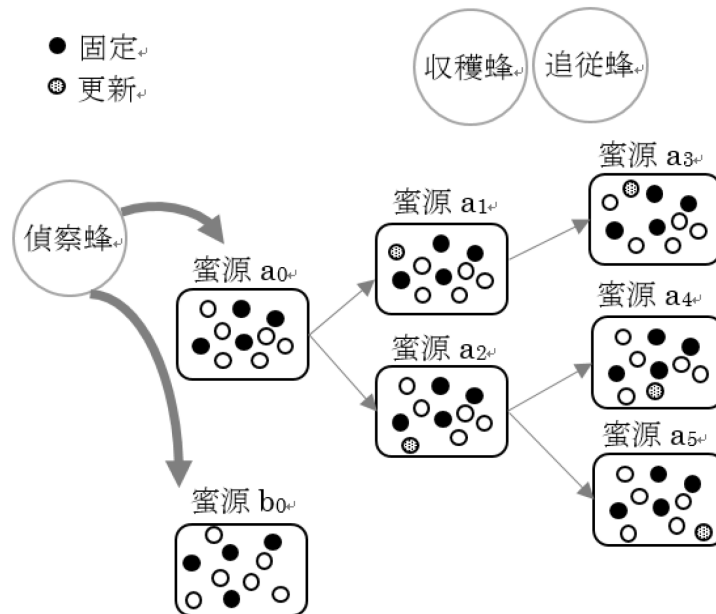


図 4.4 本研究の手法の概念図

4.3 定式化

本章では，混合整数線形計画問題（Mixed In-eger Linear Programming：MILP）として定式化し，最適解を求める．MILPを採用した理由は，記述性が高く，細かい拘束条件についての数式を用いてのモデル化に対応できることにある．

$$\text{Minimize} \quad \sum_{d \in D} \sum_{h \in H} \sum_{n \in N} \sum_{b \in B} x_{dhnb} M_{hnb} \quad (4.1)$$

Subject to

$$\sum_{s \in S} x_{dhns} = 1, \quad d \in D, h \in H, n \in N \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=0}^{c3} y_{(d-i)n} \leq c3, \quad d \in D, n \in N \quad (4.3)$$

$$y_{dn} - \sum_{h \in H} \sum_{b \in B} x_{dhnb} \leq 0, \quad d \in D, n \in N \quad (4.4)$$

$$T y_{dn} - \sum_{h \in H} \sum_{b \in B} x_{dhnb} \geq 0, \quad d \in D, n \in N \quad (4.5)$$

$$\sum_{i=0}^{c4} \sum_{h \in H} x_{(d-i)hnb} \geq 1, \quad d \in D, n \in N, b \in B \quad (4.6)$$

$$\sum_{h \in H} x_{dhnp_{ih}} \leq T - 1, \quad d \in D, n \in N, i = 1, \dots, k1 \quad (4.7)$$

$$\sum_{n \in N_g} x_{dhnb} \geq c1_{dhgb}, \quad d \in D, h \in H, g \in G, b \in B \quad (4.8)$$

$$\sum_{n \in N_g} x_{dhnb} \leq c2_{dhgb}, \quad d \in D, h \in H, g \in G, b \in B \quad (4.9)$$

$$\sum_{d \in D} x_{dhnb} \geq c5_{hnb}, \quad h \in H, n \in N, b \in B \quad (4.10)$$

$$\sum_{d \in D} x_{dhnb} \leq c6_{hnb}, \quad h \in H, n \in N, b \in B \quad (4.11)$$

$$\sum_{d \in Hst} x_{dhn\text{休}} \geq c7_n, \quad n \in N \quad (4.12)$$

$$\sum_{d \in Hld} x_{dhn\text{休}} \geq c8_n, \quad n \in N \quad (4.13)$$

$$L^+_{dhnb} - x_{dhns} \leq 0, \quad d \in D, h \in H, n \in N, s \in S \quad (4.14)$$

$$x_{dTnb} - x_{(d+1)1nb} \leq 0, \quad d \in D, n \in N, b \in B \quad (4.15)$$

$$x_{dhns} \in \{0, 1\}, \quad d \in D, h \in H, n \in N, s \in S \quad (4.16)$$

$$y_{dn} \in \{0, 1\}, \quad d \in D, n \in N \quad (4.17)$$

目的関数(4.1)式は，人件費の総和を最小化する．ここで， D は対象期間の日の集合， H は時間帯の集合， N はスタッフの集合， B はシフ

ト(勤務場所)の集合である．変数 x_{dhnb} は，各日 d ，各時間帯 h に，各スタッフ n について割り当てられた勤務が b の場合は1，そうでない場合は0となる2値整数変数で，(4.16)式で定義されている． M_{hnb} は，各時間帯 h の各スタッフ n の勤務別の賃金である．

(4.2)式は各スタッフについて各日 d ，各時間帯 h の勤務で必ず一つの休みを含むシフト s に割り当てられることを表す．ここで， S は B に休みを加えたシフトの集合である．

(4.3)式は拘束条件(b)を表す制約であり，出勤が最大連続回数 $c3$ 回を超えて連続しないことを示す． Gp は最大連続回数を考慮する必要のあるスタッフの集合である．

(4.4)，(4.5)式はスタッフが n 日に出勤するかどうかを表している．変数 y_{dn} は，1なら出勤，0ならば休みの2値整数変数であり，(4.17)式で定義されている．(4.4)式で， y_{dn} が1ならば d 日にスタッフ n が時間帯 h ，シフト(勤務場所) b によらず出勤していることを制約し，逆に(4.5)式で，出勤ならば y_{dn} を1としている．ここで定数 T は1日の時間帯の数である．

(4.6)式は拘束条件(c)についてのシフト(勤務場所) b 毎の最大間隔 $c4$ に関する制約であり， $c4$ 日の間に必ず1回は出勤していることを表している．

(4.7)式は，拘束条件(d)について表している． d 日の1～ T の時間帯の勤務が，禁止パターン p と一致するシフトが出現しないようにする制約である． $k1$ は，禁止パターンの数である．

(4.8)，(4.9)式は，拘束条件(a)について， d 日におけるグループ g の勤務シフト b に対する最小人数 $c1_{dhgb}$ に関する制約および最大人数 $c2_{dhgb}$ に関する制約を表している．

(4.10)，(4.11)式は，拘束条件(e)について，対象期間に関する各スタッフのシフト b の勤務数を最小回数 $c5_{hnb}$ ，最大回数 $c6_{hnb}$ で制約している．

(4.12)，(4.13)式は，拘束条件(f)，(g)についての制約である．各スタッフの土曜日に休む回数を土休日の最小日数 $c7_n$ 以上，日曜日・祭日に休む回数を日・祭日休日の最小日数 $c8_n$ 以上としている．ここで Hst は，対象期間の土曜日の集合， Hld は，日曜日・祭日の集合である．

(4.14)式は，拘束条件(g)に関する制約である．希望勤務 L^+_{dhnb} を使って特定の日 d の各スタッフ n のシフト s を制約する．

(4.15)式は、夜勤を表している。 d 日の最終時間帯の勤務と翌日 ($d+1$ 日)の最初の時間帯の勤務が連続(同じ)勤務となる。

5. 数値実験

5.1 実験の背景

コンビニエンスストアは立地により、客層や混雑時間の集中、営業時間など様々な特徴がある。そのような店舗の特徴を考慮し、店長の経験や勘によって時間帯毎の必要人数が決定される。

本章では、午前中～昼に混雑する店舗を想定し、1日の時間帯を6つに分け、必要人数を表4.1のように設定した。各時間帯にスキルのあるスタッフが必ず1人以上は入る。

表 4.1 必要人数
(上段:最小人数, 下段:最大人数)

	全て	1年 以上	1年 未満
1	2	1	0
00:00-05:00	2	2	1
2	3	1	0
05:00-09:00	3	3	2
3	4	1	0
09:00-13:00	4	4	3
4	2	1	0
13:00-17:00	2	2	1
5	2	1	0
17:00-21:00	2	2	1
6	2	1	0
21:00-24:00	2	2	1

スタッフ数は20人及び28人の2ケースとし、20人のケース(以下、case1)では、スキルのある経験1年以上のスタッフと1年未満のスタッフはそれぞれ10名ずつ、28人のケース(以下、case2)では、スキルのある経験スタッフが12人、1年未満のスタッフは16人とした。

すべてのスタッフは、パート・アルバイトであり、主婦など夜勤不可の日勤中心のスタッフと、学生など夜勤可で日中はあまり出勤できないスタッフを想定し、それぞれ、家庭の事情や、授業の履修の都合等により、「22

時以降の時間帯は不可」, 「月・水は出勤できない」など, 勤務に制限を設けた.

各スタッフの時給は, スキルに応じて 2 種類設け, 深夜時間帯は 1.25 倍とした.

1 日の勤務時間は連続し, 一度退勤してからの再出勤は夜勤が続く場合 (時間帯 1 に出ていたスタッフが退勤後, 時間帯 6 に出勤) のみとする. 連続する時間帯は 2 つまでで, 1 日の勤務時間長は最大で 8 時間とする. 夜勤は時間帯 6 に出勤し, 翌日の時間帯 1 と必ず連続する. 夜勤の後の日勤 (時間帯 1 に出たスタッフが連続して時間帯 2 に出ること) やその逆 (時間帯 5 に出たスタッフがそのまま時間帯 6 に出ること) は無い.

1 週間に 1 度は必ず休みを入れるため, 最大連続勤務日数 6 日とし, 週 1 度は必ず出勤するよう最大間隔も 6 日とした.

対象期間は 15 日間とし, 各スタッフの対象期間の出勤回数は, 表 4.2 のように設定した.

表 4.2 スタッフの出勤回数
(上段:最小, 下段:最大)

	日勤中心の スタッフ		夜勤可の スタッフ	
	case1	case2	case1	case2
1 00:00-05:00	0	0	1	1
2 05:00-09:00	0	0	4	2
3 09:00-13:00	4	4	1	2
4 13:00-17:00	4	2	2	2
5 17:00-21:00	2	2	0	0
6 21:00-24:00	3	3	1	1
	0	0	1	1
	0	0	4	2
対象期間での 総勤務時間	24H 52H	24H 40H	16H 68H	20H 44H

対象期間内の土曜日に休む最小日数及び, 日曜日・祭日に休む最小日数は, 日勤中心のスタッフが, case1 では, 1 日, case2 では, 2 日, 夜勤可

のスタッフが、case1では、0日、case2では、1日とした。日勤のスタッフは、土曜日・日曜日に休みたいと希望している人が多いため、それを反映した。

5.2 実験の結果及び考察

厳密解法の汎用ソルバーである GLPK [18]を用いて得られた目的関数値と計算時間を表 4.3 に、case1, case2 の勤務表を図 4.5, 図 4.6 に示す。図のグレーの部分は、各スタッフの出勤できない時間帯を表す。各スタッフの出勤状況と給与を表 4.4, 表 4.5 に示す。

対象としたコンビニエンスストアの拘束条件を満たした最適解を得ることができた。

また、パートタイム勤務者間の勤務公平性も大きく高まったことがわかる。

表 4.3 実験結果

実験		人件費 (円)	計算 時間 (sec)	
従来 モデル	case1	GLPK 単体	—	
	case2	GLPK 単体	1,117,069	
本章の モデル	case1	GLPK単体	1,047,070	
		本研究 手法	1回目	1,053,894
			2回目	1,050,482
			3回目	1,047,070
	case2	GLPK単体	1,044,270	
		本研究 手法	1回目	1,047,682
			2回目	1,051,094
			3回目	1,054,506
4回目	1,044,270			

対象期間（15日間）での人件費の総和は、case1では、1,047,070円、case2では、1,044,270円であった。

従前の研究によるパートタイムを前提としないような拘束条件の設定で

は、case1 では、現実的な計算時間で解くことが出来なかったが、case2 では、1,117,069 円であった。

本章での工夫により、従前型に比べ、7%のコスト削減が可能となることがわかった。

なお、case2 では、従前のモデルに比べて、72,799 円（15 日ベース）のコスト削減となるが、これは年次ベースに直すと、1,747,176 円のコスト削減に成功するということになり、従来モデルと比べ、MAX レベルでは 36.5%の削減効果があることが認められ、小規模経営のコンビニエンスの人員費負担にとってはきわめて大きな削減額と考えられる。

このようにコスト削減効果が認められるのは、本章では目的関数をコストの総額を最小にしているからである。ちなみに従来モデルでは目的関数にコストを入れないので、case1 では、1,047,070 円～1,128,790 円、case2 では、1,040,070 円～1,193,450 円の範囲のどの値になるかがわからない。

本章のモデルで、GLPK 単体で計算を行った場合、10 時間以上経っても、解は得られなかった。表中の GLPK 単体での人員費は、整数制約を取り除いた線形緩和の最適解である。

従来モデルでは、case1 では、10 時間以上計算しても解くことができず、case2 では、1 時間近くかかった。現実的な時間で解くことが困難であると言える。本研究の手法では、case1 では 3 回目、case2 では 4 回目で最適解を得ることができ、計算時間は 20 秒～2 分であった。

GLPK は、計算開始直後に、線形緩和した場合の最適解が出る。分枝限定法は線形緩和問題を利用しているため、計算が終了しなくても、本来解くべき整数計画問題の最適値の下界を知ることができる。本研究の手法において、今回は、計算を最後まで行ったが、実用的には、線形緩和の最適解が出た時点で、GLPK 単体のときの線形緩和の最適解と比較し、それを上回っていれば、「これ以下の目的関数を持つ解は存在しない」ので、そこで計算を終了し、他の解候補近傍の局所探索を行うことができる。

実験からスタッフの勤務希望が反映され、さらに人員費の面では、最小のコストで人員配置が行えるように設定することが可能になり、労使双方にとってコスト面、精神面ともに満足度の高い結果が得られることが明らかになった。

No.	Gr	Sun					Mon					Tue					Wed					Thu					Fri					1 Sat									
		0	5	9	13	17	21	0	5	9	13	17	21	0	5	9	13	17	21	0	5	9	13	17	21	0	5	9	13	17	21	0	5	9	13	17	21	0	5	9	13
1	1																																								
2	1																																								
3	1																																								
4	2																																								
5	2																																								
6	2																																								
7	2																																								
8	2																																								
9	1																																								
10	1																																								
11	1																																								
12	1																																								
13	1																																								
14	1																																								
15	1																																								
16	2																																								
17	2																																								
18	2																																								
19	2																																								
20	2																																								
人数																																		2	3	4	2	2			

No.	Gr	2 Sun					3 Mon					4 Tue					5 Wed					6 Thu					7 Fri					8 Sat									
		0	5	9	13	17	21	0	5	9	13	17	21	0	5	9	13	17	21	0	5	9	13	17	21	0	5	9	13	17	21	0	5	9	13	17	21	0	5	9	13
1	1																																								
2	1																																								
3	1																																								
4	2																																								
5	2																																								
6	2																																								
7	2																																								
8	2																																								
9	1																																								
10	1																																								
11	1																																								
12	1																																								
13	1																																								
14	1																																								
15	1																																								
16	2																																								
17	2																																								
18	2																																								
19	2																																								
20	2																																								
人数		2	3	4	2	2	2	2	3	4	2	2	2	2	3	4	2	2	2	2	3	4	2	2	2	2	2	3	4	2	2	2	2	2	2	2					

No.	Gr	9 Sun					10 Mon					11 Tue					12 Wed					13 Thu					14 Fri					15 Sat									
		0	5	9	13	17	21	0	5	9	13	17	21	0	5	9	13	17	21	0	5	9	13	17	21	0	5	9	13	17	21	0	5	9	13	17	21	0	5	9	13
1	1																																								
2	1																																								
3	1																																								
4	2																																								
5	2																																								
6	2																																								
7	2																																								
8	2																																								
9	1																																								
10	1																																								
11	1																																								
12	1																																								
13	1																																								
14	1																																								
15	1																																								
16	2																																								
17	2																																								
18	2																																								
19	2																																								
20	2																																								
人数		2	3	4	2	2	2	2	3	4	2	2	2	2	3	4	2	2	2	2	3	4	2	2	2	2	2	3	4	2	2	2	2	2	2	2					

図 4.5 勤務表 (case1)

表 4.4 スタッフの出勤状況と給与 case1

No.	Gr	時間帯別出勤回数						給与	総勤務時間	休む回数	
		0	5	9	13	17	21			日・祭	土
1	1	0	0	4	3	0	0	36,400	28	2	1
2	1	0	2	4	2	0	0	41,600	32	2	2
3	1	0	2	4	3	0	0	46,800	36	2	3
4	2	0	4	6	3	0	0	49,400	52	2	2
5	2	0	4	6	2	0	0	45,600	48	1	1
6	2	0	4	6	2	0	0	45,600	48	1	3
7	2	0	4	6	2	0	0	45,600	48	1	1
8	2	0	4	6	2	0	0	45,600	48	1	2
9	1	2	2	1	1	3	2	61,750	44	1	2
10	1	2	2	1	1	1	2	51,350	36	2	1
11	1	3	2	0	1	3	2	64,675	45	0	1
12	1	2	1	1	1	2	2	51,350	36	2	2
13	1	2	2	2	1	1	2	56,550	40	2	1
14	1	2	1	1	1	3	3	61,100	43	2	1
15	1	2	1	2	1	2	2	56,550	40	1	1
16	2	3	2	2	0	4	3	58,189	56	0	1
17	2	3	2	2	1	2	4	57,714	55	1	0
18	2	3	2	2	1	3	3	58,189	56	0	0
19	2	3	2	2	1	4	2	58,664	57	0	0
20	2	3	2	2	1	2	3	54,389	52	1	0
計								1,047,070			

表 4.5 スタッフの出勤状況と給与 case2

No.	Gr	時間帯別出勤回数						給与	総勤務時間	休む回数	
		0	5	9	13	17	21			日・祭	土
1	1	0	0	4	2	0	0	31,200	24	2	2
2	1	0	0	4	2	0	0	31,200	24	2	3
3	1	0	0	4	3	0	0	36,400	28	2	2
4	2	0	2	4	2	0	0	30,400	32	2	2
5	2	0	1	4	2	0	0	26,600	28	2	2
6	2	0	2	4	2	0	0	30,400	32	2	2
7	2	0	2	5	2	0	0	34,200	36	2	2
8	2	0	1	5	2	0	0	30,400	32	2	2
9	2	0	0	4	2	0	0	22,800	24	2	2
10	2	0	1	5	2	0	0	30,400	32	2	2
11	1	1	2	0	1	2	2	43,225	31	2	1
12	1	2	2	0	1	2	2	51,350	36	1	1
13	1	2	2	0	1	2	2	51,350	36	1	1
14	1	2	2	0	1	2	1	46,800	33	1	2
15	1	1	2	1	1	1	1	38,675	28	2	1
16	1	2	2	0	1	1	2	46,150	32	1	1
17	1	2	2	0	0	2	2	46,150	32	1	1
18	1	2	2	0	1	1	2	46,150	32	2	2
19	1	1	2	2	1	2	1	49,075	36	2	2
20	2	2	2	1	0	1	1	30,401	29	2	1
21	2	1	2	2	0	2	2	35,388	35	1	1
22	2	2	2	1	0	2	2	37,526	36	1	2
23	2	2	2	2	0	2	2	41,326	40	2	1
24	2	1	2	2	0	1	1	28,263	28	1	1
25	2	1	2	2	1	2	1	35,863	36	2	1
26	2	2	2	2	0	2	2	41,326	40	2	2
27	2	2	2	1	0	2	2	37,526	36	1	1
28	2	2	2	1	0	1	2	33,726	32	1	1
計								1,044,270			

6. 本章のまとめ

本章では、タイムウィンドウ制約付きスタッフが中心であるコンビニエンスストアを想定し、パートタイムの勤務における勤務時間帯、総勤務時間などパートタイム勤務特有の制限を考慮したモデル化を行った。

シフトスケジューリング問題は、規模が大きくなると、厳密解法による最適性の保証された最適解を現実的な時間で求めるのは困難であるが、ABC アルゴリズムの考え方を取り入れることにより、通常の計算では 10 時間経っても解が求められなかったケースや、1 時間近くかかったケースでも、20 秒～2 分と、高速に求めることができた。

また拘束条件についてパートタイム勤務者に焦点を合わせて見直しと再構築を行った結果、勤務者の希望が十分に反映されるシフト構築を迅速かつ正確に行えることが明らかになった。

人件費については case2 において、「103 万円の壁」「130 万円の壁」を下回ることが解った。さらに先行研究の多くで用いられたモデルに比べ、年間 7% のコスト削減効果も期待できることがわかった。

すなわち、従前のモデルに比べ、計算時間が大幅に短縮できることに加え、パートタイム勤務者を活用するうえで経営的な視点からはコスト面削減効果が大きい。ホスピタリティマネジメントの視点からは、被雇用者に公平で満足度の高い労働環境を提供できるというメリットがある。

本章で示したモデル化では、他のパートタイムのスタッフを中心とした職場でも適用可能だと思われる制約を考えた。

職場によっては、相性を考慮したペア・組み合わせを考慮する必要がある。今回は用いていないが、拘束条件で設定したグループは、使い方によっては、相性の良くない 2 人、もしくは数人でグループを設定し、そのグループからの人数の上限を 1 とすることで、組ませないことが可能となる。1 人のスタッフは複数のグループに所属可能なので、このことによって他グループを組み直す必要はない。モデルを変えることなく、それぞれの職場の要望を取り入れることが期待できる。

また、今回は、ABC アルゴリズムの考え方を取り入れて、最適解を求めたが、条件がより複雑になったり、規模が大きくなったりすれば、最適解を得ることが困難となることが予想される。その場合は、ヒューリスティクスによる近似解の精度を上げることが求められる。

参考文献

- [1] 厚生労働省(2012):「平成 23 年パートタイム労働者総合実態調査の概況」, <http://www.mhlw.go.jp/toukei/itiran/roudou/koyou/keitai/11/>
(2019 年 1 月 7 日確認)
- [2] リクルートホールディングス(2014):「2015 年トレンド予測 アルバイト・パート領域」,
https://recruit-holdings.co.jp/news_data/release/pdf/20141217_10.pdf
(2019 年 1 月 7 日確認)
- [3] A.T. Ernst, H. Jiang, M. Krishnamoorthy, D. Sier: “Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models”, *European Journal of Operational Research*, Vol.153, (2004), pp.3-27
- [4] J. Byrne, R. Potts: “Scheduling of toll collectors”, *Transportation Science*, Vol.7, (1973), pp.224-245
- [5] K. Baker: “Scheduling full-time and part-time staff to meet cyclic staffing requirements”, *Operational Research Quarterly*, Vol.25, (1974), pp.65-76
- [6] L.J. Krajewski, L.P. Ritzman, P. McKenzie: “Shift scheduling in banking operations: A case application”, *Interfaces*, Vol.10, (1980), pp.1-8
- [7] J. Lauer, L. Jacobs, M. Brusco, S. Bechtold: “An interactive, optimization-based decision support system for scheduling part-time computer lab attendants”, *Omega*, Vol.22, (1994), pp.613-626
- [8] R. Willis, S. Huxford: “Staffing rosters with breaks: A case study”, *Journal of the Operational Research Society*, Vol.42. , (1991), pp.727-731
- [9] S. Schindler, T. Semmel: “Station staffing at Pan American World Airways”, *Interfaces*, Vol.23, (1993), pp.91-98
- [10] R.J. Love, J.R. Hoey: “Management science improves fast-food operations”, *Interfaces*, Vol.20, (1990), pp.21-29
- [11] F. Glover, C. McMillan: “The general employee scheduling problem: An integration of management science and artificial intelligence”, *Computers and Operations Research*, Vol.13, 1986, pp.563-593
- [12] K. Dowsland: “Nurse scheduling with tabu search and strategic oscillation”, *European Journal of Operational Research*, Vol.106, (1998),

pp.393-407

[13] F. Easton, D. Rossin: “Overtime schedules for full-time service workers”, *Omega*, Vol.25, (1997), pp.285-299

[14] 池上敦子, 丹羽明, 大倉元宏: 「我が国におけるナース・スケジューリング問題」, *オペレーションズ・リサーチ : 経営の科学*, Vol.41, (1996), pp. 436-442

[15] Srimathy Mohan: “Scheduling part-time personnel with availability restrictions and preferences to maximize employee satisfaction”, *Mathematical and Computer Modelling*, Vol.48, Issues 11-12, (2008), pp.1806-1813

[16] Employee Shift Scheduling Benchmark Data Sets,
<http://www.schedulingbenchmarks.org/>

(2019年1月7日確認)

[17] D. Karaboga and B. Basturk: “A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: Artificial bee colony (ABC) algorithm”, *J. Global Optimization*, Vol.39, (2007), pp.459-471

[18] GNU Project, GLPK,
<http://www.gnu.org/software/glpk/glpk.html>

(2019年1月7日確認)

第 5 章 保育士のシフトスケジューリング問題

第 5 章 保育士のシフトスケジューリング問題

1. 本章の目的

保育の量拡大に伴い必要とされる保育士の数は増えている。保育士の有効求人倍率は 9 割超の都道府県において 1 割を超えており、深刻な人手不足感が広がっている [1]。

人材が集まらない原因の一つが長期間労働を前提として勤務体系がある。保育士不足を解消するために、早朝保育や延長保育などにパートタイムの保育士を配置する保育園がある。時間外保育を中心に、3～4 時間だけの短時間のシフトを組んで対応する。また、「短時間正社員」の制度を設け、保育士の雇用形態をそれぞれの保育士の生活環境の変化によって選択できるようにパート、短時間正社員、正社員に設定できるようにするという方法が取られている [2]。

フルタイムでは求人の応募が少ない保育施設では、多様な働き方を提示することで、人材不足を解消できる。

また、子育てや介護が理由で仕事との両立が難しい社員も職種を転換することで仕事を続けることができ、労使双方にメリットがある人材活用であり、今後も広がることが予測される。

こうした多様な働き方を前提とした勤務体系を実現するには、緻密なパートタイム勤務者を考慮したシフト管理が必要になっている。

そこで、本章では、保育施設が抱える問題を明らかにし、第 4 章の結果を踏まえ、パートタイム勤務者を活用するシフトスケジューリングを適用することによる問題の解消を示すものである。

2. 保育士不足の現状

保育士不足の要因として挙げられている潜在保育士の数は、平成 25 年時点で、約 76 万人にもなる。 [1]

指定保育士養成機関卒業者のうち、約半数は保育所に就職していない。

また、保育士資格を有しながら保育士としての就職を希望しない求職者のうち、保育士としての勤務経験があるものについては、その勤務年数は半数以上が勤務年数 5 年未満であり [3]、せっかく保育士として就職しても、早期に離職してしまい、もう保育士として働きたくなくなってしまう状況が見て取れる。

保育士資格を有しながらハローワーク求職者のうち約半数は保育士としての就業を希望しておらず、新卒者だけでなく、再就職者にとっても、保

育士職が魅力ある職業となっていないことが分る。

保育士職への就業を希望しない理由では、就業継続に関する項目としては、「責任の重さ・事故への不安」が最も多く、働く職場の環境改善に関する項目としては、「賃金が希望と合わない」が最も多い。[3]

保育士は看護師と同様に命を預かる職業であり、その責任は重い割に給料には反映されていないと感じている者が多い。保育施設は、保護者のニーズに応えるために、早期保育や延長保育などに対応をせざるを得ない状況に置かれており、長時間労働やサービス残業・遅番早番などの勤務体制の変更といった職場環境の悪化が要因として考えられる。シフトが命に関わる事故を引き起こす可能性を持つようになっている。

また、同じく、保育士職への就業を希望しない理由で、再就職に関する項目としては、「就業時間が希望と合わない」が最も多く、働く職場の環境改善に関する項目としては、「休暇が少ない・休暇がとりにくい」ことなどが挙げられている。[3] これは、家庭の状況などにより、就業時間への配慮が求められていると言える。

保育施設の基本勤務時間は 8 時間であるが、延長保育などがあるため、施設の開設時間に応じて、早番、中番、遅番の 3 交代制のシフトで対応していることが多い。

認可保育所の保育士数の最低基準は、第 2 章で述べたように、児童福祉法第 45 条の規定に基づき定められている。

そのため、必要な人数の保育士が確保できず、認可保育所が開園できない、あるいは、園運営に支障をきたしているという園もある。

こうした中、早朝保育や延長保育などにパートやアルバイトの非正規雇用の保育士を配置し、3～4 時間だけの短時間のシフトを組んで対応する保育園がある。

また、保育士の雇用形態をそれぞれの保育士の生活環境の変化によって選択できるようにパート、短時間正社員、正社員に設定できるようにする取り組みが見られる[2]。

こうした取り組みは、長時間勤務やサービス残業を解消するとともに、勤務時間に制約があり働きたくても働けない人材の確保、短時間で勤務したい求職者の応募を期待できる。

保育士の働く職場環境の改善し、保育士のなり手を増やすには、「短時間勤務」におけるシフト管理、パートタイム勤務者を考慮したスケジューリングが必要となる。

3. 保育施設におけるシフト管理

3.1 従来型のシフト管理

定員 99 名，年齢別保育を行っている認可保育所を対象として保育施設におけるシフト管理を考える。

子供の年齢別の定員に合わせて，必要な保育士の人数は，表 5.1 に示した配置基準に従い，表 5.2 の通りとなる。

表 5.2 必要な保育士の数

年齢	定員	保育士の数
0 歳児	9	3
1 歳児	12	2
2 歳児	18	3
3 歳児	20	1
4 歳児	20	1
5 歳児	20	1
合計	99	11

合計すると，保育士の数は 11 人となるが，実際には，11 人いれば運営できる訳ではない。

開所時間を 7 時－20 時，子供が全員揃うコアタイムを 9 時－17 時とし，フルタイム勤務を前提とした従来のシフトの組み方で，早番（7 時－16 時），中番（9 時－18 時），遅番（11 時－20 時）を割り当てた例を図 5. 1 に示す。太字は，守らなくては行けない配置基準に対して必要な保育士の人数，○は勤務，●は超過勤務を表す。

例では，子供の数が少ないコアタイム前の 7 時－9 時，コアタイム後の 17 時－20 時では，年齢別の 6 クラスを A：0 歳児，B：1-2 歳児，C：3-5 歳児の 3 クラスにまとめることで，必要な保育士数の軽減を図っている。例えば，7 時－8 時は，6 クラスのままでは，3 歳児，4 歳児，5 歳児で各 1 人ずつ，3 人の保育士が必要となるが，3-5 歳児で 1 クラスとすると，1 人の保育士で済む。

しかし，実際には，それでも，11 人では回すことができない。

このままでは，各時間に余裕がなく，休憩の時間を確保することが難しい。そこで，どのクラスの担任を持たないフリーの保育士を用意し，13 人でシフトを組んでいる。

担当のクラスを持たないフリーの保育士を用意することで、乳児クラスの担任やフリー保育士が交代で幼児クラスに入るなどして、保育士たちの休憩の時間を確保することができるようになる。

それでも、定時間内の勤務をしていたのでは回せず、各保育士に時間外勤務が発生してしまっている。

シフト	時間数										13 h
	1 h	1 h	2 h	2 h	2 h	1 h	1 h	1 h	1 h	1 h	
	7-8時	8-9時	9-11時	11-13時	13-15時	15-16時	16-17時	17-18時	18時-19時	19時-20時	
全体											
在園児数合計	26	50	99	99	99	99	99	68	34	19	
配置基準保育士数合計	2.92	5.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	6.97	3.48	1.97	
配置保育士数	4	8	13	13	13	13	13	9	4	3	
A:0歳児											
配置基準保育士数	1.00	1.67	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.00	1.00	0.67	
配置保育士数	1	2	3	3	3	3	3	2	1	1	
0歳児(9人)	3	5	9	9	9	9	9	6	3	2	
配置基準保育士数	1.00	1.67	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.00	1.00	0.67	
配置保育士数	1	2	3	3	3	3	3	2	1	1	
保育士 1 (担任)	早番	○	○	○	○	○	○	●			10 h
保育士 2 (副担任)	中番		●	○	○	○	○	○	○		10 h
保育士 3	遅番			●	○	○	○	○	○	○	11 h
B:1-2歳児											
配置基準保育士数	1.33	2.50	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	3.33	1.67	0.83	
配置保育士数	2	3	5	5	5	5	5	4	2	1	
1歳児(12人)	3	6	12	12	12	12	12	8	4	2	
配置基準保育士数	0.50	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.33	0.67	0.33	
配置保育士数	1	1	2	2	2	2	2	2	1	0	
保育士 4 (担任)	早番	○	○	○	○	○	○	●	●		11 h
保育士 5 (副担任)	中番			○	○	○	○	○	○	●	10 h
2歳児(18人)	5	9	18	18	18	18	18	12	6	3	
配置基準保育士数	0.83	1.50	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.00	1.00	0.50	
配置保育士数	1	2	3	3	3	3	3	2	1	1	
保育士 6 (担任)	早番	○	○	○	○	○	○	●			10 h
保育士 7 (副担任)	遅番			●	○	○	○	○	○	○	11 h
保育士 8	中番		●	○	○	○	○	○	○		10 h
C:3-5歳児											
配置基準保育士数	0.58	1.17	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	1.63	0.82	0.47	
配置保育士数	1	2	3	3	3	3	3	2	1	1	
3歳児(20人)	5	10	20	20	20	20	20	14	7	4	
配置基準保育士数	0.25	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	0.35	0.20	
配置保育士数	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
保育士 9 (担任)	中番		●	○	○	○	○	○	○		10 h
4歳児(20人)	5	10	20	20	20	20	20	14	7	4	
配置基準保育士数	0.17	0.33	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.47	0.23	0.13	
配置保育士数	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	
保育士 10 (担任)	早番	○	○	○	○	○	○	●			10 h
5歳児(20人)	5	10	20	20	20	20	20	14	7	4	
配置基準保育士数	0.17	0.33	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.47	0.23	0.13	
配置保育士数	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
保育士 11 (担任)	遅番			●	○	○	○	○	○	○	11 h
フリー											
配置保育士数	0	1	2	2	2	2	2	1	0	0	
保育士 12 (主任)	中番		○	○	○	○	○				9 h
保育士 13 (フリー)	中番			○	○	○	○	○			9 h

○ : 出勤, ● : 時間外勤務

図5.1 従来型シフト例

3.2 本研究でのモデルによるシフト管理

従来のシフト管理と同様に、定員 99 名、年齢別保育を行っている認可保育所を対象とした保育施設におけるシフト管理を考える。

各クラスの時間帯別の保育士の必要人数は、従来型と同じ人数とする。

ここで、保育士は雇用体系別に、正社員、短時間正社員、パート（有資格者）の3つのグループに分かれるものとする。正社員は時間の制約は無いが、基本的には9時間（休憩1時間）とし、短時間正社員は4時間または5時間、パートは2時間~4時間とする。

コアタイムの9時~17時は、配置基準に対して必要な保育士の人数を年齢別の6クラスごとに守るとともに、必ず1名は、正社員または短時間正社員を各クラスに配置する。また、コアタイム前の7時~9時、コアタイム後の17時~20時では、従来のシフト管理と同様に、6クラスをA:0歳児、B:1-2歳児、C:3-5歳児の3クラスにまとめることで、必要な保育士数の軽減を図るが、コアタイムと同様に、クラスごとに、正社員または短時間正社員を1名以上配置するものとする。

割り当てた例を図5.2に示す。保育士の人数は23人、超過勤務は発生していない。

											時間数
	雇用 形態	1 h	1 h	2 h	2 h	2 h	1 h	1 h	1 h	1 h	13 h
		7-8時	8-9時	9-11時	11-13時	13-15時	15-16時	16-17時	17-18時	18時-19時	19時-20時
全体											
在園児数合計		26	50	99	99	99	99	99	68	34	19
配置基準保育士数合計		2.92	5.33	10.33	10.33	10.33	10.33	10.33	6.97	3.48	1.97
配置保育士数		4	8	13	13	13	13	13	9	4	3
A:0歳児											
配置基準保育士数		1.00	1.67	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.00	1.00	0.67
配置保育士数		1	2	3	3	3	3	3	2	1	1
0歳児(9人)		3	5	9	9	9	9	9	6	3	2
配置基準保育士数		1.00	1.67	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.00	1.00	0.67
配置保育士数		1	2	3	3	3	3	3	2	1	1
保育士 1 (担任)	正	○	○	○	○	○	○				
保育士 2 (副担任)	正				○	○	○	○	○	○	○
保育士 3	短正			○	○						
保育士 4	短正					○	○	○			
保育士 5	パート		○	○							
保育士 6	パート							○	○		
B:1-2歳児											
配置基準保育士数		1.33	2.50	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	3.33	1.67	0.83
配置保育士数		2	3	5	5	5	5	5	4	2	1
1歳児(12人)		3	6	12	12	12	12	12	8	4	2
配置基準保育士数		0.50	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.33	0.67	0.33
配置保育士数		1	1	2	2	2	2	2	2	1	0
保育士 7 (担任)	正	○	○	○	○	○	○				
保育士 8	短正			○	○						
保育士 9	短正					○	○	○	○		
保育士 10	パート							○	○	○	
2歳児(18人)		5	9	18	18	18	18	18	12	6	3
配置基準保育士数		0.83	1.50	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.00	1.00	0.50
配置保育士数		1	2	3	3	3	3	3	2	1	1
保育士 11 (担任)	正				○	○	○	○	○	○	○
保育士 12	短正		○	○	○						
保育士 13	短正					○	○	○	○		
保育士 14	パート			○	○						
保育士 15	パート	○	○	○							
保育士 16	パート					○	○	○			
C:3-5歳児											
配置基準保育士数		0.58	1.17	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	1.63	0.82	0.47
配置保育士数		1	2	3	3	3	3	3	2	1	1
3歳児(20人)		5	10	20	20	20	20	20	14	7	4
配置基準保育士数		0.25	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	0.35	0.20
配置保育士数		0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
保育士 17 (担任)	正		○	○	○	○	○	○			
4歳児(20人)		5	10	20	20	20	20	20	14	7	4
配置基準保育士数		0.17	0.33	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.47	0.23	0.13
配置保育士数		0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
保育士 18 (担任)	正			○	○	○	○	○	○		
5歳児(20人)		5	10	20	20	20	20	20	14	7	4
配置基準保育士数		0.17	0.33	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.47	0.23	0.13
配置保育士数		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
保育士 19 (担任)	正				○	○	○	○	○	○	○
保育士 20	短正	○	○	○							
フリー											
配置保育士数		0	1	2	2	2	2	2	1	0	0
保育士 21 (主任)	正		○	○	○	○	○	○			
保育士 22 (フリー)	短正					○	○	○	○		
保育士 23 (フリー)	パート			○	○						

正：正社員，短正：短時間正社員，パート：パート社員，出勤：○

図5.2 本研究でのモデルによるシフト例

この例では、各グループの人数がなるべく同数になるように配分している。

表 5.3 に各グループの人数を示す。

表 5.3 各グループの人数

	時間	人数
正社員	9 時間	8
短時間正社員	4 時間 or 5 時間	8
パート	2 時間~4 時間	7

この例は、1 日の勤務状況であるが、実際には、パートタイム勤務者は、毎日出勤する訳ではなく、個別の事情による勤務制限や出勤ペースなどを考慮しなくてはならない。さらにいえば我が国の場合、パートタイム勤務者の年収については「103 万円の壁」(配偶者控除: 配偶者の給与年収が 103 万以下であれば、配偶者は扶養家族に該当)、「130 万円の壁」(配偶者の見込み年収が 130 万円以上になると社会保険への加入義務が発生)が存在し、年間総収入をその枠内に収める必要が生じるケースも多い。

それらを考慮し、パートタイム勤務者の出勤が、週に 2, 3 日であることを考えると、パートのグループの人数はこの 2~3 倍程度を確保しておくことが必要となる。

実際の勤務表作成は、勤務に必要な人数、各人の能力や希望など様々な条件を考慮しながら決めなければならず、手間と時間がかかる作業となり、熟練者が経験と勘を頼りに時間をかけて行うのが一般的である。副園長、園主任といった園長の次に園内を統括する立場の人が、1 ヶ月のシフトをその前月に組むことになる。

従来型のシフト管理では、シフトをパターン化して当てはまらない場合のみ調整を行う等の作業軽減を図り、手作業でシフト勤務表を作成することも考えられる。

しかし、本研究でのモデルのシフト管理のように、パートタイム勤務者を活用する現場では、配置基準保育士数が少人数であっても、出勤時間、勤務時間が複数存在するため、フルタイムの現場より、問題の規模は大きく複雑になり、手作業でシフトパターンを作成することは困難である。

また、年間の行事や子供たちの様子、スタッフの事情を加味して組む必要があるため、シフトパターンを固定化することはできない。さらに、スタッフの流動性の高い職場では、シフトパターンそのものを作り直す頻度

が高くなり、手作業の負荷を軽減することにならない。

そのための従来以上に、シフト管理に対するコンピュータによる支援の需要は大きくなる。

4. 拘束条件

パートタイムの勤務シフトに合わせた制約条件及び拘束条件はフルタイム勤務者シフトの拘束条件とは異なる。

フルタイム勤務パターンのようにシフトとして取り扱う方法では、時間単位のパートタイム勤務のシフトに対応することができない。スタッフ毎に、出勤時間、勤務時間の長さが異なり、シフトの取り得るパターンは膨大な数になるためである。

また、本章で対象とした保育施設では、日によって、異なるクラスに勤務することも考えられる。各シフトに勤務パターンを割り当ててのではなく、各クラスを割り当てることとし、クラスに関わる条件について表現する。これにより、日によって異なるクラスを担当するような勤務を考慮することができる。

また従来型のシフト管理では、全員正社員であるため、人件費に関する条件を考慮する必要がないが、パートを考慮すれば、人件費（コスト）は必要最小限とすることが望ましい。

以上を踏まえ、従来型のシフト管理と本研究の相違点をまとめたものが表 5.4 である。

表 5.4 フルタイム勤務とパートタイム勤務における拘束条件の比較

区分	割り当て単位	割り当てる勤務	目的関数
従来型のシフト管理（従前研究）	日ごと（8時間勤務が原則．条件として表現する必要なし）	勤務パターン（早番，中番，遅番），休み	必要人数や希望時間等の条件違反の最小化
本研究モデルのシフト管理（本研究）	時間帯ごと（勤務時間長，退勤後の再出勤禁止等の条件が必要）	担当クラス，休み	人件費（コスト）の最小化（条件違反は許さない）

本問題では、拘束条件を以下のように定義した。

- (a) 各日，各時間帯，各グループ，各勤務シフト（担当クラス）の最小人数・最大人数を守る
- (b) 保育士が最大連続日数を超えて連続勤務することを禁止する
- (c) 勤務と勤務の間隔は，勤務シフト（担当クラス）毎に最大間隔を超えない
- (d) 禁止勤務パターンを設け，それに違反しない
- (e) 対象期間内の出勤回数は，各時間帯，各保育士，勤務シフト（担当クラス）毎の最小回数・最大回数の範囲内
- (f) 対象期間内の土曜日に休む回数は，各保育士の土休暇の最小日数以上
- (g) 各保育士の希望勤務を考慮する

このうち，(a)は，「シフト拘束条件」で，サービスレベルを満足するための各シフトの勤務メンバー構成に関わる条件である。(a)では，グループによって，全ての日の全ての時間帯について各シフトに必要な保育士の人数の下限と上限を設定する。本問題では，シフト＝担当クラスであり，年齢別にクラスを設けている保育施設では，各時間帯でクラス毎に，配置基準を守れるだけの保育士を確保する必要がある。さらに，安全な保育ができるか，を考慮して人数を決定する。

グループは，正社員を1人以上配置する，経験の浅い者同士を組ませない，などの条件を実現するためのものであり，保育士は各グループに所属する。

このグループの使い方によっては，相性を考慮した組合せも表現できる。今回は用いていないが，相性の良くない2人，もしくは数人でグループを設定し，そのグループからの人数の上限を1とすることで，組ませないことが可能となる。

クラス担任制を用いている保育施設では，担任が休みを取っても大丈夫なように，クラス毎に担任のグループを用意し，担任と，担任が休みを取ったときに任せられる人（主任など）を同じグループとすることで，安心して，計画的な休暇が取得できるようになる。

1人の保育士は複数のグループに所属可能なので，このことによって他グループを組み直す必要はない。

また，下限，上限をすべて0にすることで，休日を表現する。

(b), (c), (d), (e), (f), (g)は「保育士拘束条件」で、各保育士の労働負荷、希望に関わる条件である。

(b)は、保育士の連続勤務についての条件であり、連続勤務回数の上限を設定する。本来、連続勤務による健康への悪影響などを避けるための労働条件であるが、勤務が一時期に集中することを避けるために利用することも可能である。

(c)は、保育士の勤務の間隔が開きすぎないように、上限によって制限するものである。

(b), (c)の条件により、勤務の偏りを避けることができる。

(d)は、夜勤のあとに、そのまま朝勤が続くなどの勤務パターンを禁止するものである。一日の勤務時間の制限や、一度退勤してからの再出勤を禁止する。

(e)は、各保育士が、どれだけ出勤するかをシフト毎に規定するものである。各保育士がそれぞれの店舗にどれだけ出勤するか、下限と上限を設定する。出勤のペースや総労働時間の制限に関わる重要な条件である。

(f)は、土曜日にも出勤する保護者に合わせて、土曜保育を行わなければならない保育施設で利用する。土曜に休む回数の下限を制限するものである。土曜にどの程度出勤が可能かを設定するために用いる。

(g)は、各保育士の希望を聞き、特定の日々の勤務の割り当て、あるいは出勤できない日を休みにするためのものである。「この曜日の夕方の勤務は不可」などの保育士の事情による個別の勤務制限も表現できる。

先行研究では、(a)での必要な保育士の人数や、(e)での保育士の出勤回数を緩和可能な制約とし、(a)や(e)の条件に違反するペナルティの総和を最小化することを目的関数とする場合が多い。

しかしながら、(a)を緩和可能とすると、配置基準人数を下回る時間帯が出てきてしまう恐れがあり、現実的では無い。また、本問題が対象とするパートタイムでは、より個人の都合や志向、満足度を重視する必要があるが、(e)のペナルティの総和を最小化することに焦点を当てても、「公平性」、「納得感」などは評価できず、課題が残る。

(a), (e)のいずれの制約も、ペナルティを許せば、実際の運用では、シフト勤務表作成後に、部分的なスケジュールの調整が必要となり、なるべく幅広い時間帯に対応できる人材が求められ、勤務可能時間帯制約付き保育士を活用する、本問題の目的は果たせない。

(a)と(e)の条件を同時に満たすことが難しい理由として、(e)での各グループの保育士の最大出勤回数が、(a)での各日・各時間帯に必要なグループ

毎の保育士数の総和に満たなければ解けなくなり（解がない）、逆に、(e)での最小出勤回数の総和が、(a)での必要な保育士数の上限を上回っても解けなくなることが挙げられる。

これらは、解の探索時ではなく、データ作成時であっても、チェックが可能である。事前に過不足時間の調整を行うことで、シフト勤務表の作成後に、スケジュールそのものを手作業で調整することをなくすことができる。また、過不足時間を明確にすることで、保育士の採用計画に活かすことも可能となる。

本問題では、各制約条件を絶対制約とすることで、制約のペナルティを考慮することなく、解の探索を行うこととし、目的関数は、対象期間の総人件費を最小とすることとした。

従来型のシフト管理では、全員正社員であるため、人件費に関する条件を考慮する必要がないが、パートを考慮すれば、人件費（コスト）は必要最小限とすることが望ましい。

5. 本章のまとめ

本章では、保育士不足の現状について着目し、保育施設が抱える問題を明らかにした。保育施設は、保護者のニーズに応えるために、早期保育や延長保育などに対応をせざるを得ない状況に置かれており、長時間労働やサービス残業・遅番早番などの勤務体制の変更といった職場環境の悪化により、保育士資格を有しながら保育士としての就業を希望しない、保育士として就職しても早期に離職してしまう等、潜在保育士の問題が深刻化している。

保育士不足を解消するためには、長期間労働を前提としている勤務体系を改善することが必須である。

本章では、フルタイムでは求人の応募が少ない保育施設では、多様な働き方を提示することで、人材不足を解消できるとし、パート、短時間正社員を活用したシフトを示した。

その場合、必要となるシフトスケジューリングは、従来の早番、中番、遅番を割り当てるフルタイム勤務を前提としたシフト管理ではなく、パートや短時間社員の配置を想定したものでなくてはならない。

そこで、第4章の結果を踏まえ、従前のシフトスケジューリング問題では、対象とされていなかったパートタイム勤務者を考慮したシフト管理について、モデル化を行い、拘束条件を設定した。

多様な働き方を前提とした勤務体系を実現するとともに、被雇用者の視

点からは公平で満足度の高いモデル，経営的な視点からはコスト低減を考慮したモデルとなった。

参考文献

- [1] 厚生労働省 (2015): 保育士等における現状,
<https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-11901000-Koyoukintouji-doukateikyoku-Soumuka/4.pdf> (2019年1月7日確認)
- [2] 厚生労働省 (2017): 厚生労働省 人材確保に「効く」事例集,
<http://koyoukanri.mhlw.go.jp/result/data/example.pdf>
(2019年1月7日確認)
- [3] 厚生労働省 (2014): 保育人材確保のための『魅力ある職場づくり』に向けて,
<https://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-11601000-Shokugyouanteikyoku-Soumuka/0000057898.pdf> (2019年1月7日確認)
- [4] 池上敦子: “ナーススケジューリング -調査・モデル化・アルゴリズム-”, 統計数理, 第53巻 第2号, (2005), pp.231-259
- [5] 乾伸雄, 池上敦子: “ナーススケジューリング問題における混合整数線形計画問題と充足可能性判定問題による厳密解法の比較”, オペレーションズ・リサーチ : 経営の科学, 55, (2010), pp.706-712
- [6] Srimathy Mohan: “Scheduling part-time personnel with availability restrictions and preferences to maximize employee satisfaction”, Mathematical and Computer Modelling, Vol.48, Issues 11-12, (2008), pp.1806-1813
- [7] D. Karaboga and B. Basturk, “A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: Artificial bee colony (ABC) algorithm”, J. Global Optimization, Vol.39, (2007), pp.459-471
- [8] X.-S. Yang, “Firefly algorithms for multi-modal optimization”, Stochastic Algorithms: Foundations and Applications, Vol.5792, (2009), pp. 169-178

第 6 章 トラック輸送の入荷バース割り当て問題

第 6 章 トラック輸送の入荷バース割り当て問題

6.1 本章の目的

ドライバーの長時間労働が問題視されている。その大きな要因として指摘されるのが荷物の積み下ろしの間に運転手が待機する「荷待ち時間」である。

国土交通省は、2017年7月より、トラック運送会社に対し、荷待ち時間を乗務記録に記載するよう義務付けた。これは、荷待ち時間の明記で運送会社が荷主に追加費用を請求しやすくし、ドライバーの待遇改善につなげる狙いがある。

2018年1月に国土交通省より発表された荷主都合による荷待ち時間のサンプル調査の結果（速報値）[1]によると、1ヵ所あたりの荷待ち時間が1時間を超える割合が55%であり、そのうち、4時間を超えるものも4%あった。荷待ち時間を解消できれば労働時間の短縮が期待できる。

荷待ち時間の発生の多くは、指定時間に到着して、待機している時間である。これは、物流センター側に原因があり、納品トラックの台数・納品数量を処理できないために発生する。このことを解消するには、入荷作業人員の体制に応じて、時間帯別の納品トラック数をスケジューリングし、平準化することが求められる。

本章では、スケジューリング問題として捉え、物流センター側の処理能力、納品トラックの数量をコントロールするために、拘束条件を設定し、最適解を求めるものである。

第3章、第4章のシフトスケジューリング問題のモデル化により、スタッフを車両に、置き換え、日々の勤務シフトの代わりに、時間枠、入荷バースを割り当てることが可能になったために解くことができるようになった問題である。入荷バース割り当て問題への適用は、現在特許出願中であり、新規性の高い研究である。

また、解法としては、現実的な計算時間で、厳密解法で最適性の保証のある最適解を現実的な計算時間で得ることが難しいため、ヒューリスティクスによる近似解法を用いて数値計算を行う。厳密解法による最適値の下限は、計算が終了していなくても知ることができるため、その値と一致していれば、便宜上、最適解と呼ぶこととする。

近似解法は、スケジューリング問題の先行研究で、有効性が確認されている遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm: GA）とともに、近年、海外において注目を集めているが、シフトスケジューリング問題の国内事例に

においては応用例がない群知能の1つである人工蜂コロニー (Artificial Bee Colony: ABC) [2], ホタルアルゴリズム (Firefly Algorithm: FA) [3]を用いる.

2. 本研究での手法

物流センターの受付ルールは, 「受付先着順」(図 6.1) または「事前予約制」(図 6.2) である.

受付先着順では, 受付時間が早い順からバース接車許可が出されるため, 納品トラックは, 可能な限り早く到着して受付をする. 物流センター側の運用は極めて容易であるが, 納品車両が多ければ, 待機時間が発生しやすく, 納品事業者側にメリットはない.

事前予約制では, 納品事業者は, 遠隔手法 (Web, Fax, 電話等) により, 予め希望する時間枠を予約する. その情報を基に, 物流センター側は, 入荷バース割当, スケジューリングを行い, 納品事業者に割り当て枠を提示する. 受付先着順と比較して, 待機時間が発生し難く, 納品事業者側は希望時間を受け入れてもらえるメリットがあるが, 物流センター側には, 運用能力が必要であり, ノウハウ, 熟度が求められる.

本研究では, 納品事業者側の希望時間を考慮しつつ, 物流センター側の倉庫内作業の効率性を踏まえて, 組合せ最適化問題として定式化し, スケジューリング問題を解く. 数理計画で取り扱うスケジューリング問題は, 生産工程のスケジューリングや要員配置のためのスタッフスケジューリングなどがある. ここでは, スタッフスケジューリングを基に, スタッフを車両に置き換え, 日々の勤務シフトの代わりに, 時間枠, バースを割り当てることとする.



図 6.1 受付先着順のイメージ図

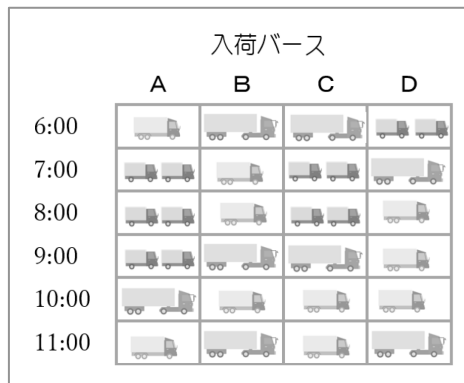


図 6.2 事前予約制のイメージ図

3. 拘束条件

本問題では、拘束条件を以下のように定義した。

- (a) 各指定時間、各グループ、各バースの最小台数・最大台数を守る
- (b) 割り当て禁止パターンを設け、それに違反しない
- (c) 各トラックは、いずれかの指定時間・入荷バースに1つ割り当てる
- (d) 各トラックの希望時間を考慮する

このうち、(a)、(b)は、物流センター側のサービスレベル、効率を高めるものである。

(a)では、車両を大型、中型、小型等のグループに分け、そのグループによって、時間枠毎に各バースで受け付ける車両台数の下限と上限を設定する。

(b)の割り当て禁止パターンは、同バースで大型車両を続けて処理する等の作業効率が悪くなるパターンを禁止する。

(c)、(d)は、納品事業者側の希望を考慮するものである。

(c)は、予約数が1日で処理できる件数を超えると違反してしまうが、物流センターの受付時間、バース数によって、事前に、予約数が調整されていることを前提とする。

(d)は、全ての希望時間が受け入れられることはないので、緩和可能な制約とし、この条件に違反するペナルティの総和を最小化することを目的関数とする。

4. 定式化

本研究では、混合整数線形計画問題 (Mixed Integer Linear Programming : MILP) として定式化し、厳密解を求める。MILPを採用した理由は、記述性が高く、細かい拘束条件についての数式を用いてのモデル化に対応できることにある。

Minimize

$$\sum_{h \in H} \sum_{n \in N} z_{hn} \quad (6.1)$$

Subject to

$$\sum_{s \in S} x_{hns} = 1, \quad h \in H, \quad n \in N \quad (6.2)$$

$$\sum_{n \in N_g} x_{hnb} \geq c1_{hgb}, \quad h \in H, \quad g \in G, \quad b \in B \quad (6.3)$$

$$\sum_{n \in N_g} x_{hnb} \leq c2_{hgb}, \quad h \in H, \quad g \in G, \quad b \in B \quad (6.4)$$

$$\sum_{n \in N_g} x_{hnb} + \sum_{n \in N_g} x_{h+1, n, b} \leq 1, \\ h = 1, 2, \dots, T-1, \quad g \in G_p, \quad b \in B \quad (6.5)$$

$$\sum_{g \in G_k} y_{hgb} \leq 1, \quad h \in H, \quad b \in B \quad (6.6)$$

$$y_{hgb} - \sum_{n \in N_g} x_{hnb} \leq 0, \quad h \in H, \quad g \in G_k, \quad b \in B \quad (6.7)$$

$$K_g y_{hgb} - \sum_{n \in N_g} x_{hnb} \geq 0, \quad h \in H, \quad g \in G_k, \quad b \in B \quad (6.8)$$

$$x_{hn_l b} - \sum_{n \in N} x_{h+1, n, b} \leq 1, \\ h = 1, 2, \dots, T-1, \quad n_l \in N_l, \quad b \in B \quad (6.9)$$

$$x_{Tn_l b} \leq 0, \quad n_l \in N_l, \quad b \in B \quad (6.10)$$

$$\sum_{h \in H} \sum_{b \in B} x_{hnb} = 1, \quad n \in N \quad (6.11)$$

$$L^+_{hn} - \sum_{b \in B} x_{hnb} \leq z_{hn}, \quad h \in H, \quad n \in N \quad (6.12)$$

$$M^+_{hn} + \sum_{b \in B} x_{hnb} \leq 0, \quad h \in H, \quad n \in N \quad (6.13)$$

$$x_{hns} \in \{0, 1\}, \quad h \in H, \quad n \in N, \quad s \in S \quad (6.14)$$

$$y_{hgb} \in \{0, 1\}, \quad h \in H, \quad g \in G_k, \quad b \in B \quad (6.15)$$

$$z_{hn} \in \{0, 1\}, \quad h \in H, \quad n \in N \quad (6.16)$$

目的関数(6.1)式は、希望時間との差異の最小化である。変数 z_{hn} は、拘束条件(d)に違反するペナルティであり、各トラック n の希望時間 h とマッチしていない場合は1、そうでない場合は0となる2値整数変数である。 z_{hn} は、(6.16)式で定義されている。(6.1)式はこの z_{hn} の和を最小化する。

(6.2)式は各トラック n について、各指定時間 h で「無し」を含むバース s に必ず割り当てられることを表す。ここで、 S はバースの集合 B に「無し」を

加えた集合である．変数 x_{hns} は，各指定時間 h に，各トラック n について割り当てられたバースが b の場合は 1，そうでない場合は 0 となる 2 値整数変数で，(6.14)式で定義されている．

(6.3)，(6.4)式は，拘束条件(a)について，指定時間 h におけるグループ g のバース b に対する最小台数 $c1_{hgb}$ に関する制約および最大台数 $c2_{hgb}$ に関する制約を表している．トラックは車格などによって各グループに所属する．1 台のトラックは複数のグループに所属可能である．

(6.5)式は，拘束条件(b)について表している．ここでは，各バース s において，集合 G_p で指定されたグループのトラックが 2 つの指定時間で連続して割り当てられることを禁止している．

(6.6)式も，拘束条件(b)を表す制約である．指定時間 h のバース b において，割り当てられる車格（小型，中型，大型等）は 1 つ以下とし，異なる車格のトラックを同時に指定することを禁止している．変数 y_{hgb} は，1 または 0 の 2 値整数変数であり， y_{hgb} は(6.15)式で定義されている．集合 G_k は，グループの集合 G のうち，車格を表しているグループを抜き出したものである．

(6.7)，(6.8)式は，その車格が指定時間 h のバース b に割り当てられているかどうかを表している．(6.7)式で，指定時間 h ，グループ g ，バース b において， y_{hgb} が 1 ならば，グループ g に含まれるトラックが 1 台以上割り当てられていることを制約し，逆に(6.8)式で，グループ g に含まれるトラックが 1 台以上割り当てられているならば， y_{hgb} を 1 としている．定数 K_g は，各グループのトラックの数である．

(6.9)式は，処理時間が 1 時間以上かかる場合（次の時間枠にかかる場合）の制約である．集合 N_l は処理が 1 時間以上かかるトラックの集合である．この集合で指定されたトラック n_l を割り当てられたバースは，次の時間帯，空き（割り当て不可）となる．

(6.10)式で，処理が 1 時間以上かかるトラックの場合，最終の時間帯には割り当てることを禁じている．

(6.11)式は拘束条件(c)を表す制約であり，各トラック n がバース b に割り当てられる総数が 1 回であることを表す．

(6.12)式は，拘束条件(d)に関する制約である．各トラックの希望時間 L^+_{hn} を使って，各トラック n の指定時間 h を制約する．希望時間にマッチしない場合（違反）をペナルティ z_{hn} で認めることによって緩和している．

(6.13)式は，拘束条件(d)のうち，緊急性，あるいはセンターの処理上，ペナルティが許されないものを表す． M^+_{hn} は，各トラックのペナルティが許されない希望時間である．

5. 解法

スケジューリング問題は、整数変数を含んだ最適化問題として解くことができる。スケジューリング問題のほとんどは、NP 困難であり、どのくらいの規模の問題で計算量の増大が発生するかの予測は難しく、同じ問題でも、実際に数値を入れた問題の構造によって解ける規模が全く異なる。

そのため、GA やタブーサーチ (Tabu Search: TS)、焼きなまし法 (Simulated Annealing: SA) といったヒューリスティクスによる近似解法が用いられることが多い。

近似解法では、近年、複雑かつ多変数の最適化問題に対して有効であるとして、海外において群知能が着目されているが、スケジューリング問題の国内事例においては応用例がない。

本章では、スケジューリング問題で有効性が確認されている GA とともに、代表的な群知能のアルゴリズムである ABC 及び FA を用いた。

GA は、単純遺伝的アルゴリズム (Simple GA: SGA)、パラメータフリーGA (PfGA) の 2 種類を用いた。

PfGA は、GA で用いられる個体数、選択方式、交叉率、突然変異率といったパラメータ設定を不要とする新しい GA として、考案されたものである。

計算フローを図 6.3 に示す。

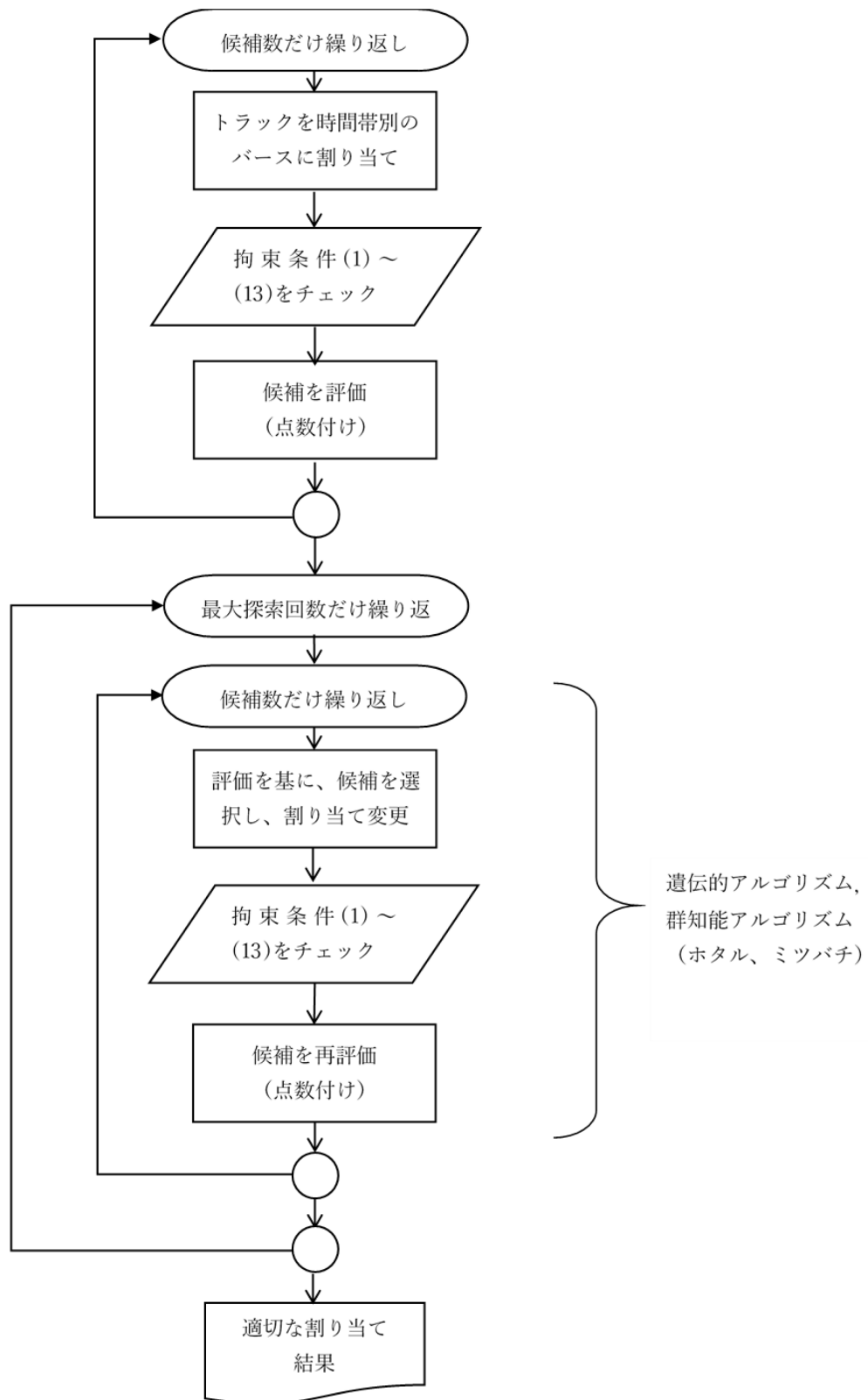


図 6.3 計算フロー

6. 数値実験

6.1 入力値及び実験パラメータ

割り当てる時間帯は，6:00 から 12:00 までを 1 時間毎に 6 つに分けた．車格によって，グループを分け，入荷バースは 4 つとし，それぞれのバースで処理できる台数は，様々なケースに対応できるように時間毎に設定できるが，今回のケースではすべて一律とし，表 6.1 のように設定した．

表 6.1 処理できる台数
(上段:最小台数, 下段:最大台数)

	全て	大型	中型	小型
1	0	0	0	0
06:00-07:00	2	1	1	2
2	0	0	0	0
07:00-08:00	2	1	1	2
3	0	0	0	0
08:00-09:00	2	1	1	2
4	0	0	0	0
09:00-10:00	2	1	1	2
5	0	0	0	0
10:00-11:00	2	1	1	2
6	0	0	0	0
11:00-12:00	2	1	1	2

予約を受け付けたトラックの台数は 24 台及び 28 台の 2 ケースとした．

24 台のケース (以下, case1) は, 大型 7 台, 中型 8 台, 小型 9 台とし, 処理が 1 時間以上かかるトラックを 1 台とした．各トラックの希望時間を表 6.2 に示す．そのうち, ペナルティが許されないトラックを 2 台とした．

28 台のケース (以下, case2) は, 大型 8 台, 中型 10 台, 小型 10 台とした．各トラックの希望時間を表 6.3 に示す．そのうち, ペナルティが許されないトラックを 1 台とした．

また, 解候補の評価値を算出するために, 拘束条件の各式に対してのペナルティの値を表 6.4 のとおりに設定した．

シミュレーションで設定した各手法のパラメータを表 6.5, 表 6.6 に, FA 特有のパラメータを表 6.7 に示す．

表 6.2 トラック希望時間 case1

Truck No.	サイズ	1	2	3	4	5	6	備考
		6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	
1	大型	*						
2	大型	*						
3	大型		*					
4	大型		*					
5	大型			*				
6	大型			*				8:00-9:00 時間指定
7	大型				*			
8	中型	*						6:00-7:00 時間指定
9	中型	*						
10	中型		*					
11	中型		*					
12	中型		*					
13	中型			*				1H以上（二枠必要）
14	中型			*				
15	中型				*			
16	小型	*						
17	小型	*						
18	小型		*					
19	小型		*					
20	小型		*					
21	小型		*					
22	小型			*				
23	小型			*				
24	小型			*				

表 6.3 トラック希望時間 case2

Truck No.	サイズ	1	2	3	4	5	6	備考
		6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	
1	大型	*						
2	大型	*						
3	大型		*					
4	大型		*					
5	大型		*					
6	大型			*				
7	大型			*				
8	大型				*			
9	中型	*						
10	中型	*						
11	中型		*					
12	中型		*					
13	中型		*					
14	中型			*				
15	中型			*				
16	中型			*				
17	中型				*			
18	中型					*		
19	小型	*						
20	小型	*						
21	小型	*						6:00-7:00 時間指定
22	小型		*					
23	小型		*					
24	小型		*					
25	小型		*					
26	小型			*				
27	小型			*				
28	小型			*				

表 6.4 各式に対しての評価値

計算式	拘束条件	ペナルティ	条件の概要
式(1)	-	-	目的関数 ペナルティの総計を最小にする
式(2)	c	100	各トラックが各時間で割り当てられているバース (割り当てられていなければ、「無し」に割り当てる)
式(3)	a	100	各時間あたりに各バースで処理できる最小台数c1 (大型なら1台、小型なら2台というように、グループ毎に設定)
式(4)	a	100	各時間あたりに各バースで処理できる最大台数c2 (大型なら1台、小型なら2台というように、グループ毎に設定)
式(5)	b	100	同じバースで、大型が連続で割り当てられることを禁止する
式(6)	b	100	異なる車格のトラックを同時に指定することを禁止 (1つの枠で、中型1台・小型1台というように混在しない)
式(7)	b	100	指定時間の各バースに割り当てられている車格 (yが1ならそのグループのトラックが1台以上割り当てられている) ※1
式(8)	b	100	指定時間の各バースに割り当てられている車格 (割り当てられているグループならyを1にする) ※1
式(9)	b	100	処理が1時間以上かかるトラックの割り当て (次の時間枠を空きにする)
式(10)	b	100	処理が1時間以上かかるトラックの割り当て (最終時間帯に割り当てない)
式(11)	c	100	各トラックは、いずれかの時間・入荷バース1つ(1枠)に必ず割り当てる※2
式(12)	d	1	希望時間LP。マッチしない場合は、違反(ペナルティ)を許す
式(13)	d	100	絶対厳守の希望時間MP。センターの都合上その時間でないとダメなもの。(ペナルティを許さない)
式(14)	-	-	変数x (各トラックが割り当てられている枠) の定義
式(15)	-	-	変数y (枠に割り当てているグループ) の定義
式(16)	-	-	変数z (各式に対するペナルティ) 定義

※1 式(6)を表現するために必要な式

※2 予約数が1日で処理できる件数を超えると違反してしまうが、物流センターの受付時間、バース数によって、事前に、予約数が調整されていることを前提としている

表 6.5 各解法のパラメータ case1

case1(24台)

解法	SGA	PfGA	ABC	FA
個体数 N_F	20			20
食糧源 N_F			20	
最大探索回数	2000	20000	5000	2000
最大断念回数			1600	
試行回数			3	
選択方式	Tournament			
交叉	一様交叉	一様交叉		
交叉率	0.9			
突然変異率	0.6			

表 6.6 各解法のパラメータ case2

case2(28台)				
解法	SGA	PfGA	ABC	FA
個体数 N_F	40			40
食糧源 N_F			40	
最大探索回数	4000	40000	9000	4000
最大断念回数			2700	
試行回数			3	
選択方式	Tournament			
交叉	一様交叉	一様交叉		
交叉率	0.9			
突然変異率	0.6			

表 6.7 FA 特有のパラメータ

case	case1	case2
スケール α	1.0014	1.001
魅力の強さ β_0	1.2	1.0
吸引係数 γ	0.001	0.002

6.2 計算結果

SGA, PfGA, ABC, FA を用いて行った最適化の結果を表 6.8 に, ペナルティが最小となった case1 の PfGA 及び, case2 の ABC の割り当て結果を表 6.9, 表 6.10 に示す.

表 6.8 最適化結果

ケース	SGA	PfGA	ABC	FA
case1	15	12	14	219
case2	115	113	23	423

表中の値は, 各制約に対するペナルティであり, 希望通りの時間に割り当てられなかったトラックの台数及び, 守らなくてはならない制約に対する違反の数である. case1 では, FA の値が 100 を超えている. これは,

守らなくてはならない制約条件に対して、違反があったことを表す。同様に、case2 では、ABC を除き、守らなくてはならない制約条件に対して、各解法で違反があったことを表す。

表 6.9 割り当て結果 case1 PfGA

時間帯	バス				※表内の数字はトラックNo.
	1	2	3	4	
1 6:00-7:00	16	1	8	9	大型
2 7:00-8:00	10	20 21	11	18	中型
3 8:00-9:00	5	7	22	6	小型
4 9:00-10:00		19	2	17 23	6 8:00-9:00時間指定
5 10:00-11:00	3	15	14	13	8 6:00-7:00時間指定
6 11:00-12:00	4	24	12		13 1H以上 (二枠必要)

表 6.10 割り当て結果 case2 ABC

時間帯	バス				※表内の数字はトラックNo.
	1	2	3	4	
1 6:00-7:00	6	1	21	16	大型
2 7:00-8:00	15	12	2	13	中型
3 8:00-9:00	9	8	24 28	3	小型
4 9:00-10:00	5	19 20	4	18	21 6:00-7:00時間指定
5 10:00-11:00	11	7	17	27	
6 11:00-12:00	23 25	14	22 26	10	

最適解に対する達成度を表 6.11, 表 6.12 に示す。ここで、最適解は、GLPK で計算を行った場合の整数制約を取り除いた線形緩和の最適解である。

表 6.11 最適解に対する達成度 case1

解法	違反	希望が叶わなかったトラックの率	希望通りのトラック数	最適解に対する達成度	備考
最適解	9	37.5%	62.5%	100.0%	GLPK (線形緩和)
SGA	15	62.5%	37.5%	60.0%	
PfGA	12	50.0%	50.0%	80.0%	
ABC	14	58.3%	41.7%	66.7%	
FA	219	-	-	-	

表 6.12 最適解に対する達成度 case2

解法	違反	希望が叶わなかったトラックの率	希望通りのトラック数	最適解に対する達成度	備考
最適解	9	32.1%	67.9%	100.0%	GLPK (線形緩和)
SGA	114	-	-	-	
PfGA	113	-	-	-	
ABC	23	82.1%	17.9%	26.3%	
FA	423	-	-	-	

GLPK は、計算開始直後に、線形緩和した場合の最適解が出る。分枝限定法は線形緩和問題を利用しているため、計算が終了しなくても、本来解くべき整数計画問題の最適値の下界を知ることができる。

case1 では、FA を除き、達成度が 60% を超えており、実用可能なレベルである。

一方、case2 では、解を求めることができた ABC も達成度は 26.3% となり、納品トラック側の希望時間を満たしたとは言えない。24 の枠に対して、28 台を割り当てなくてはならず条件が厳しかったと思われる。制約を守れなかった他の解法では、1 枠に 2 台の割り当てが許されない小型以外の車格の割り当てがあった。

また、パラメータの組み合わせは、結果に大きく影響し、今回計算においても、ケース毎に、多大な試行錯誤を必要とした。問題サイズが頻繁に変更される実際のスケジューリング問題においては、さらに困難が予想される。

これらの問題に対しては、PfGA のように、パラメータの設定、調整の負荷を軽減するためのアルゴリズムが考えられる。

6.3 計算結果評価

従来 of 受付先着順と、今回得られた割り当て結果を基に、時間帯別の待

機車両発生状況を図 6.4～図 6.7 にまとめた。

スケジューリング無しの結果は，従来の受付先着順であり，トラックが希望時間のままに到着したとして計算を行った．スケジューリング有りの結果は，case1 は PfGA，case2 は ABC の割り当て結果を用いて計算を行った．

ここで，待機台数 = 到着台数累積 - 接車台数累積である．

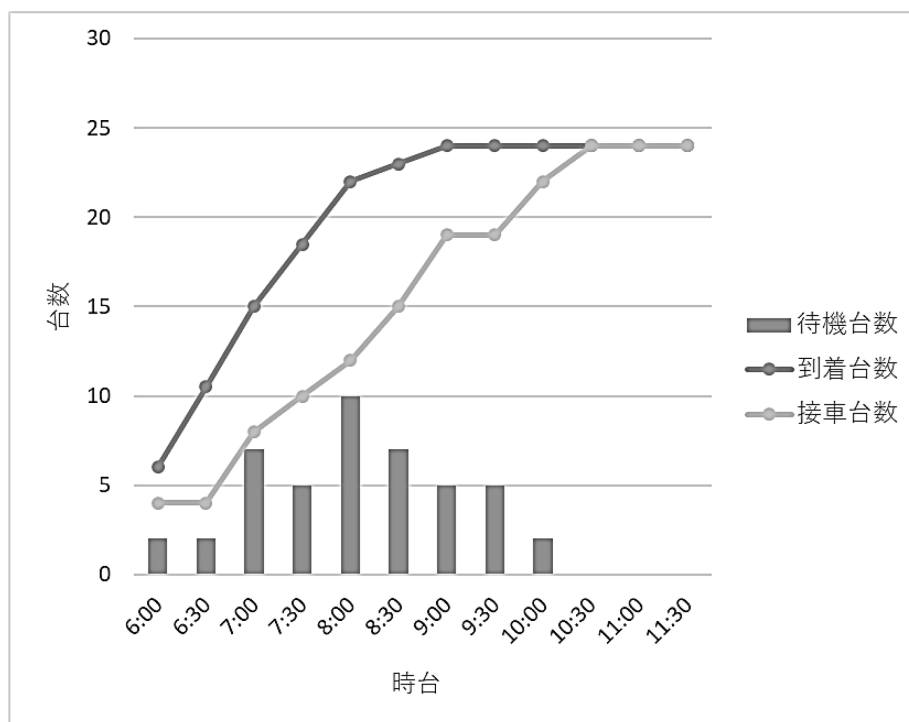


図 6.4 待機時間の発生状況 スケジューリング無し case1
24 台 平均待機時間 56.3 分

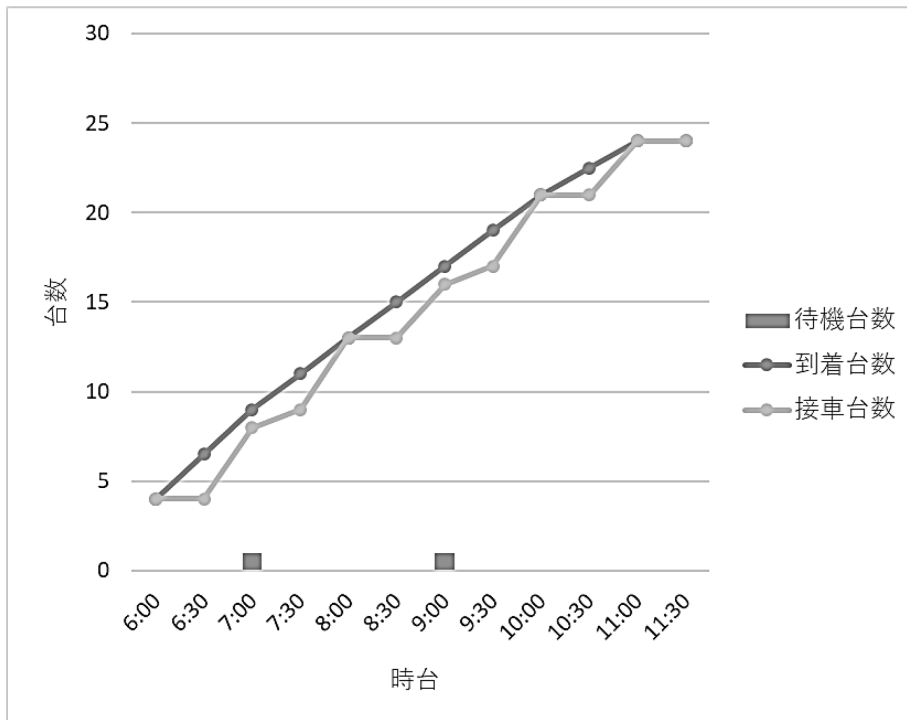


図 6.5 待機時間の発生状況 スケジューリング有り case1
24台 平均待機時間 2.5分

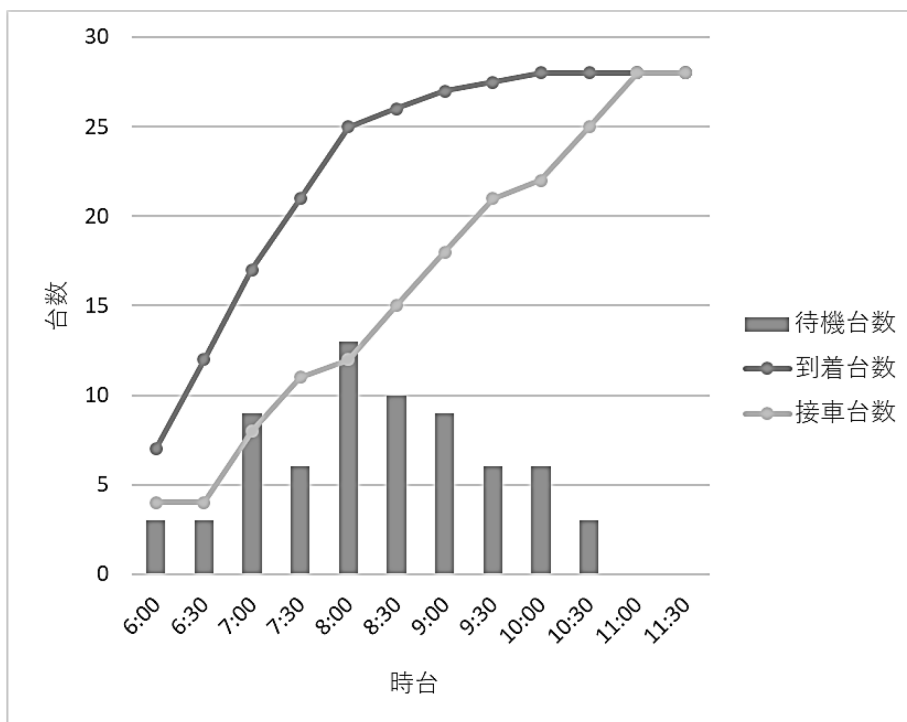


図 6.6 待機時間の発生状況 スケジューリング無し case2
28台 平均待機時間 1時間 13分

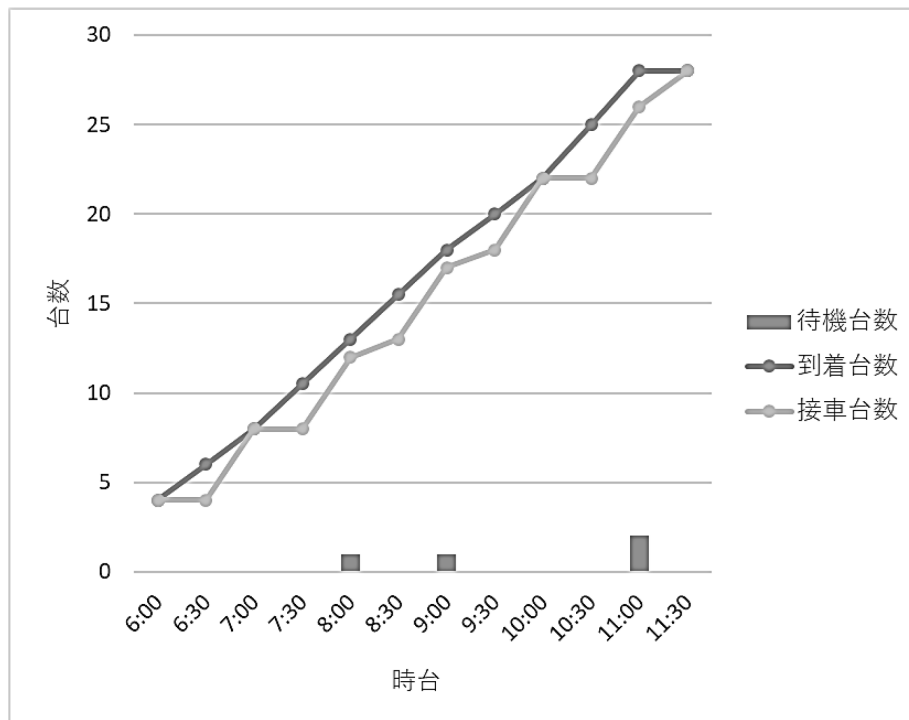


図 6.7 待機時間の発生状況 スケジューリング有り case2
28 台 平均待機時間 4.3 分

スケジューリング無しの場合，24 台の入荷作業について平均待機時間が 56.3 分，28 台の場合は，1 時間 13 分（72.9 分）となった．スケジューリングを行った結果は，それぞれ，2.5 分，4.3 分の待機時間で済む．

スケジューリングにより，24 台の場合は，95.6%，28 台の場合は，94.1% の待機時間削減が可能となる．

荷待ち時間を解消し，ドライバーの労働時間の短縮が期待できることが明らかになった．

7. 本章のまとめ

ドライバーの長時間労働の大きな要因である「荷待ち時間」を解消するために，時間帯別の納品トラック数をスケジューリングし，平準化することを目的とし，シフトスケジューリング問題のモデル及び解法を応用として用いた．

従来の勤務パターンを割り当てるシフトスケジューリングではなく，第 3 章，第 4 章のパートタイム勤務を中心とした職場において用いた時間帯別にシフトを割り当てる方法を適用することで，スタッフを車両に置き換

え，日々の勤務シフトの代わりに，時間枠，入荷バースを割り当てることができた。

結果として，荷待ち時間を解消することができ，ドライバーの労働時間の短縮に有効な方法を示した。

また，解法には，ヒューリスティクスによる近似解法である GA (SGA, PfGA) とともに，群知能の代表的な解法である ABC, FA を用いて，線形緩和の最適解とその達成度を比較し，実用可能なレベルであることを明らかにした。

参考文献

- [1] 国土交通省, 「荷待ち時間調査の結果について」,
<http://www.mlit.go.jp/common/001223200.pdf> (2019年1月7日確認)
- [2] D. Karaboga and B. Basturk, “A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: Artificial bee colony (ABC) algorithm”, *J. Global Optimization*, Vol.39, (2007), pp.459-471
- [3] X.-S. Yang, “Firefly algorithms for multi-modal optimization”, *Stochastic Algorithms: Foundations and Applications*, Vol.5792, (2009), pp. 169-178

第 7 章 運行管理における乗務割作成問題

第7章 運行管理における乗務割作成問題

1. 本章の目的

我が国における貨物輸送はトラック輸送によって担われており、近年は企業戦略を展開するうえでトラック輸送の重要性が高まっている。

しかしながらトラック運送事業に従事する就業者数のうちドライバーなどの輸送・機械運転従事者は減少傾向にある。トラック運送業を含む自動車運送事業は40歳以上の男性労働力に大きく依存しており、40歳未満の若年就業者数は全体の約30%に過ぎない[1]。

こうした少子高齢化によるトラックドライバーの減少傾向や安全・安心を念頭に置いての長時間労働の改善に対応するために今後、充実させなければならないのが運行管理（貨物）の充実である[2]。

本章では、運行管理（貨物）の現状と課題を明らかにしたうえで運行管理業務の効率化に不可欠な乗務割の作成についてのモデルを示す。

2. トラック運送における運行管理

2.1 運行管理者の選任

平成25年5月1日より、「貨物自動車運送事業輸送安全規則」が改正され、すべての事業用自動車営業所での運行管理者の選任が義務づけられた。

事業者は運行の安全確保のために法令で定められた数の運行管理者を選任しなければならない。

運行管理者の主たる職務は事業者の選任した運転者を適切に管理し、乗務員の休憩・睡眠時間の確保、乗務割の作成などを行うことである。より具体的にいうと、運行に関する一連の書類などの記録・保存、運転者台帳、運行指示書の作成、運行記録計の管理・記録の保存などを行うほか、酒気帯び状態での乗務防止、過積載運送防止の指導・監督も行う。

貨物の積載方法についての指導・監督、健康状態の把握を行うのである。

さらにいえば長距離運転、夜間運転では交代の運転者を配置し、異常気象などの発生に際しては安全確保に必要な措置を講じ、まなければならない。また事故防止対策について乗務員、従業員への指導・監督を行う。

貨物の積載方法についての指導・監督、健康状態の把握を行うのである。さらにいえば長距離運転、夜間運転では交代の運転者を配置し、異常気象などの発生に際しては安全確保に必要な措置を講じ、まなければならない。また事故防止対策について乗務員、従業員への指導・監督を行う。

トラック運転者が使用する車両については運行の開始前に車両法に基づ

いて目視などにより日常点検を行う。車両に異常があれば整備を行い、異常を取り除くか、代替の車両を使うなどで対処する。

なお、法令で定められた運行管理者選任数の算出式は次の通りである。ただし、1未満の端数は切り捨てる。

$$T_{om} = \frac{(K-K_d)}{30} + 1 \quad (7.1)$$

ここで、

T_{om} : 運行管理者の選任数

K : 当該事業所管理の事業用自動車台数

K_d : 被牽引自動車台数

(7.1)式をもとに貨物運送事業者法に基づく運行管理者の設置数を求めると表 7.1 のようになる。

表 7.1 運行管理者の設置数

事業用自動車の車両（被けん引車を除く）	運行管理者
29 両まで	1 人
30 両から 59 両	2 人
60 両から 89 両	3 人
90 両から 119 両	4 人
120 両から 149 両	5 人
150 両から 179 両	6 人
180 両から 209 両	7 人
210 両から 239 両	8 人
240 両から 269 両	9 人
270 両から 299 両	10 人

出所：国土交通省資料

2.2 運行管理者の日常業務の基本フロー[3]

運行管理者の日常業務は次のようになる。

運行管理者は運行開始前に定められた場所で運転者の点呼を行う。営業所または車庫で原則として対面で行う。運行管理者が運転者の体調、健康状態を直接、チェックする。運転者に異常が見られた場合などにはそのま

ま乗務させることはせず代替の運転者を用意するなどの対策を講じる。

運転者が使用する車両については運行の開始前に車両法に基づいて目視などにより日常点検を行う。

同様に乗務後についても運転者の対面による点呼を行う。

運行管理者は運転者の乗務前、乗務後のいずれも対面点呼できない場合は運行指示書を作成して運転者に運行経路、交代地点などを指示しなければならない。運転者はこの運行指示書を携行しなければならない。さらにその運転者の乗務途中で電話などの方法で点呼を行う。ただし、メールやファックスでの点呼は認められていない。

乗務などの記録については、運行記録計により瞬間速度、運行距離、運行時間が運行記録計により記録され、1年間の保存が義務となっている。運行記録計の管理と記録の保存も運行管理者の業務で、事故の記録については3年間保存することになっている。

3. 運転者の労働時間

我が国では自動車運転者の労働の実態を考慮し、拘束時間、休息期間等について基準を定めている。

拘束時間とは始業時刻から終業時刻までの時間で、労働時間と休憩時間（仮眠時間を含む）の合計時間を指し、休息期間とは勤務と次の勤務の間の時間で、睡眠時間を含む労働者の生活時間として、労働者にとって「全く自由な時間」と定義されている。

我が国では1か月の拘束時間は原則として293時間が限度とされるが、毎月の拘束時間の限度を定める書面による労使協定を締結すれば、1年間の拘束時間が3516時間を超えない範囲で1か月ごとの拘束時間を延長することができる。とされている。

我が国における1日の拘束時間は13時間以内が基本となり、延長が認められる限度は16時間となっている。また我が国では1日の休息期間は継続8時間以上となっている。1日の運転時間は2日（始業時刻から48時間）、平均で9時間が限度となっている。

なお、連続運転時間は4時間が限度で、運転開始後4時間以内、または4時間経過直後に運転を中断して30分以上の休憩等を確保することが求められている。

運行管理者は運転者の勤務状況を把握したうえで、労働基準法に従って、表7.2に示す日次、週次、月次、年次レベルの労働時間、拘束時間を考慮し、運行計画を作成しなければならない。

労働基準法により 6 時間を超える労働時間の場合は 45 分、8 時間を超える場合は 60 分が必要になる。

トラック運送などの自動車運転業務の場合、拘束時間についても規定があるのが大きな特徴となっている。休憩時間は労働時間にはならないが拘束時間になる。拘束時間とは営業所に入ってから退出するまでの時間で休憩時間も拘束時間に含まれる。

実際に運転する時間だけではなく、乗務前後の点呼や日常点検、朝礼なども労働時間に含まれる。

また、トラック運送による疲労がたまれば大きな事故につながる。その点を考慮して、連続運転は 4 時間までという厳しい規制が設けられている。

連続 4 時間の運転時間の間に休憩（非運転時間）を入れる場合は 1 回 10 分以上で合計 30 分以上だが、細かく非運転時間をとらず連続 4 時間の運転を行った場合は、次の運転まで 30 分以上の非運転時間をまとめてとることになる。

表 7.2 トラック運転者の勤務条件

時間・日名	日時／短期	月次／長期	備考
拘束時間	原則 13 時間以内 最大 16 時間以内(15 時間を超える回数は 1 週間に 2 回以内)	1 か月に 293 時間以内*	*労使協定を締結した場合:1 年のうち 6 か月までは, 1 年間の拘束時間が 3516(293 時間×12 か月)時間を超えない範囲内で, 1 か月の拘束時間を 320 時間まで延長することができる
労働時間	1 日に 8 時間, 1 週間に 40 時間(労働基準法 32 条). 荷卸し・点検・点呼, 手待ち時間は労働時間に含まれる		拘束時間から休憩時間を減じた時間が労働時間, 労働基準法 36 条(36 協定)により労働時間の延長が可能
運転時間	連続 4 時間まで(4 時間経過直後に 30 分以上の休憩などが必要, ただし少なくとも 10 分以上として分割することが可能)	2 週間を平均した 1 週間当たりの運転時間は 44 時間まで	特定の日を起算日として 2 日ごとに区切り, その 2 日間の平均について, ((特定日の前日の運転時間) + (特定日の運転時間)) ÷ 2 と, ((特定日の運転時間) + (特定日の翌日運転時間)) ÷ 2 がともに 9 時間を超える場合は改善基準告示に違反し, そうでない場合は違反しない
休憩時間	労働時間が 6 時間を超える場合は 45 分以上, 8 時間を超える場合は 1 時間以上の休憩		
休日	30 時間を下回ってはいけない. 原則 8 時間の休息期間と連動すると 32 時間以上(休憩期間 + 24 時間)の連蔵した時間. 隔日勤務の場合は 144 時間以上の連続した時間【20 時間(休息期間) + 24 時間】	少なくとも毎週 1 日の休日か, 4 週間を通じて 4 日以上の日, 6 か月継続勤務し, 全労働日の 8 割以上出勤した場合, 継続し, または分割した 10 労働日の救急休暇	労働基準法では最低条件として週休 1 日を原則としているが, 多くの起業は週休 2 日制を採用

出所: 鈴木邦成, 運行管理者(貨物)必携ポケットブック, 日刊工業新聞社, 2016 年, pp.140~143

4. 乗務割の作成における課題

運行管理者は労働基準法，及び労働大臣告示「自動車運転者の労働時間等の改善のための基準」(改善基準告示)により運行計画を策定しなければならない。

しかしながら，基準に違反しない運行計画の作成に時間がかかることはもとより，作成した運行計画が基準に合致しているかどうかの判断も時間に追われている現場にとっては難しくなることが少なくなく，さらにいえば個々のトラック運転者の労働時間を把握できないというケースも少なくない。

以上を踏まえたうえで，株式会社 JLN（ジャパン・ロジスティクス・ネットワーク 現 ロジボン株式会社）のトラック運送ネットワークを中心にヒヤリング調査を行い，(1)～(4)のようにまとめ，課題の現状と改善策を考えた[4]。

(1) 管理者の勤務体制

貨物運送事業者法によりあらゆる営業所に運行管理者を配置しなければならない。運行管理者選任なしの場合には 30 日間の事業停止などの厳しい行政処分が講じられる。トラック運転者の勤務時間の変化に対応すると，車両数 30 両未満の場合，運行管理者 1 人が 24 時間，営業所で対応しなければならないが，実際は不可能であるため，運行管理者補助者を 30%しか補助者は行えないこととなっている。したがって，運行管理者と複数の補助者が運行管理業務にあたるためのシフト管理が必要になる。

(2) 乗務割作成の負荷

トラック運転者の乗務割の作成は運行管理者が行わなければならない主要業務の 1 つであるが，その作成には相当の時間がかかる。運行管理者は労働基準法及び改善基準告示に従って，トラック運転者の乗務割を作成しなければならない。

その複雑な一例を示したものが図 7.2 及び図 7.3 である。すなわち図 7.2，図 7.3 はトラック運転者の 1 週間の勤務シフトを図示したものである。1 日の拘束時間を労働協定により延長する場合でも 15 時間を超える勤務は 1 週間に 2 回が限度となる。したがって片道拘束 15 時間を超える長距離の往復運送は図 7.2 のように 1 週間に 1 度しかできない。

したがって，図 7.3 のように 15 時間を超える勤務が月曜日，火曜日，及び水曜日と，3 回にわたる場合は違法となる。

このようにトラック運転者の乗務割は複雑で，経験豊富な運行管理者であっても判断に迷うこともある。運行管理者の作成した乗務割，及び運行

計画の適・否を別の視点，角度からチェックする必要があるといえよう．したがって，人的ミスを実に回避し，迅速かつ正確に乗務割を作成するためのアプリケーションの導入が求められることになる．

月	休日	拘束時間(16)	
火	休息(8)	拘束時間(16)	
水	休息(8)	拘束時間(15)	
木	休息(9)	拘束時間(15)	休息
金	休息(9)	拘束時間(13)	休日
土	休日		
日	休日		

図 7.2 トラック運転者の勤務例（適切）

月	休日	拘束時間(16)	
火	休息(8)	拘束時間(16)	
水	休息(8)	拘束時間(16)	
木	休息(8)	拘束時間(16)	休息
金	休息(9)	拘束時間(16)	休日
土	休日		
日	休日		

図 7.3 トラック運転者の勤務例（不適切）

(3) 乗務情報の非共有

運行管理者が乗務割をストレスなく作成するのが容易ではないのは，実務上，個々のトラック運転者の運行情報を正確に把握できないことが少なくないからである．

たとえばトラック運転者が渋滞や事故などの交通事情の変化で運行時間が当初の予定とは大きく異なってしまうこともある．あるいは納入時刻に間に合わないことを懸念して，トラック運転者が自己の勝手な判断で法令で定められた休憩時間を守らないという事態が発生する恐れもある．

法令で定められた中間点呼，乗務後点呼において違反の有無，運転状況

などの確認を行い、それを運転日報に反映させなければならないが中小規模の運送会社ではそれが見落とされ、事故などの発生により表面化し、経営者や運行管理者が責任を問われるケースも報告されている。

こうしたリスクを回避するためにトラック運転者の乗務情報を情報システム上で共有化する必要性が高まっている。

(4) 長時間の労働環境

運行管理の現場の視点から考えると、運送するべき貨物があり、それを運ぶことのできる車両を有していても、労働基準法で定められた労働時間内でトラック運転者を供給できないという問題が発生するケースは決して少なくない。そのため長時間労働を余儀なくされるトラック運転者が増えることになるが、当然ながらこれは違法行為で、交通事故などの発生により表面化すれば経営者も運行管理者も厳罰に処される。

労働環境が過酷であれば労働者も当該業務を行うことを敬遠することになるので、一層、労働力が不足するという悪循環に陥る。長時間の労働環境を解消するには運転者の勤務シフトを後述する中継輸送を活用するなどの対策を講じる必要がある。

5. 最適化問題の選択

5.1 スケジューリング問題の適用

前項の課題を解決するためには乗務割の作成とリンクするかたちでの運行管理システムの導入が不可欠となる。そこで本稿ではトラック運転者の乗務割の迅速で効率的かつ適切な作成を念頭に問題解決に向けてのモデル化を行う[5]。

すなわち、各トラック運転者の運行ごとに労働時間を確認し、労働違反となる運行計画については順法の範囲内での修正を提案する必要がある。この点を踏まえると、たんなる経路適正化にとどまらず、トラック運転者の勤務シフトについて、スケジューリング問題を解くことにより最適化を行うこととする。なお、本稿では定式化したモデルを示す。

5.2 トラック運転者の拘束条件

先行研究を参考にスケジューリング問題の視点からトラック運転者の拘束条件を考えると、以下の条件をもとに乗務割を作成する必要がある。

トラック運転者の拘束条件はシフト拘束条件と運転者拘束条件の2つに分けて、次のように考えられる。

① シフト拘束条件

メンバー構成に関わる条件（サービスレベル満足）

- (a) 各日，各時間帯，各グループ，各勤務シフト（運行ルート）の最小人数・最大人数を守る

② 運転者拘束条件

各運転者の労働負荷，勤務制限に関わる条件

- (b) 運転者が最大連続日数を超過して連続勤務することを禁止する
(c) 勤務と勤務の間隔は，勤務シフト（運行ルート）毎に最大間隔を超えない
(d) 禁止勤務パターンを設け，それに違反しない
(e) 月あたりの出勤回数は，各時間帯，各運転者，勤務シフト（運行ルート）毎の最小回数・最大回数の範囲内
(f) 月あたりの土曜日に休む回数は，各運転者の土休日の最小日数・最大日数の範囲内
(g) 各運転者の希望勤務を考慮する

5.3 定式化

前項の拘束条件を前提に次のように定式化を行う．

目的関数(7.2)式は，人件費の総和を最小化する．

$$\text{Minimize} \quad \sum_{d \in D} \sum_{h \in H} \sum_{n \in N} \sum_{b \in B} x_{dhnb} M_{hnb} \quad (7.2)$$

ここで， D は対象期間の日の集合， H は時間帯の集合， N はスタッフの集合， B はシフト(勤務場所)の集合，変数 x_{dhnb} は，各日 d ，各時間帯 h に，各スタッフ n について割り当てられた勤務が b の場合は1，そうでない場合は0となる0-1変数． M_{hnb} は，各時間帯 h の各トラック運転者 n の勤務別の賃金である．

(7.3)式は各トラック運転者について各日 d ，各時間帯 h の勤務で必ず一つの休みを含むシフト s に割り当てられることを表す．

Subject to

$$\sum_{s \in S} x_{dhn s} = 1, d \in D, h \in H, n \in N \quad (7.3)$$

ここで， S は B に休みを加えたシフトの集合である．

(7.3)式は拘束条件(b)を表す制約であり，出勤が最大連続回数 $c3$ 回を超えて連続しないことを示す． Gp は最大連続回数を考慮する必要のあるトラッ

ク運転者の集合である.

$$\sum_{i=0}^{c3} y_{(d-i)n} \leq c3, d \in D, n \in Gp \quad (7.4)$$

(7.5), (7.6)式はトラック運転者が n 日に出勤するかどうかを表している. 変数 y_{dn} は, 1なら出勤, 0ならば休みの 0-1 変数であり, (7.17)式で定義されている.

(7.5)式で, y_{dn} が 1 ならば d 日にトラック運転者 n が時間帯 h , シフト b によらず出勤していることを制約し, 逆に(7.6)式で, 出勤ならば y_{dn} を 1 とする.

ここで定数 T は 1 日の時間帯の数である.

$$y_{dn} - \sum_{h \in H} \sum_{b \in B} x_{dhnb} \leq 0, d \in D, n \in N \quad (7.5)$$

$$Ty_{dn} - \sum_{h \in H} \sum_{b \in B} x_{dhnb} \geq 0, d \in D, n \in N \quad (7.6)$$

(7.7)式は拘束条件(c)についてのシフト b 毎の最大間隔 $c4$ に関する制約であり, $c4$ 日の間に必ず 1 回は出勤していることを表す.

$$\sum_{i=0}^{c4} \sum_{h \in H} x_{(d-i)hnb} \geq 1, d \in D, n \in N, b \in B \quad (7.7)$$

(7.8)式は, 拘束条件(d)について表している. d 日の 1~ T の時間帯の勤務が, 禁止パターン p と一致するシフトが出現しないようにする制約である. $k1$ は, 禁止パターンの数である.

$$\sum_{h \in H} x_{dhnp_{ih}} \leq T - 1, d \in D, n \in N, i = 1, \dots, k1 \quad (7.8)$$

(7.9), (7.10)式は, 拘束条件(a)について, d 日における配送エリア g の勤務シフト b に対する最小人数 $c1_{dhgb}$ に関する制約および最大人数 $c2_{dhgb}$ に関する制約を表す.

$$\sum_{n \in N_g} x_{dhnb} \geq c1_{dhgb}, d \in D, h \in H, g \in G, b \in B \quad (7.9)$$

$$\sum_{n \in N_g} x_{dhnb} \leq c2_{dhgb}, d \in D, h \in H, g \in G, b \in B \quad (7.10)$$

(7.11), (7.12)式は, 拘束条件(e)について, 対象期間に関する各トラック運転者のシフト b の勤務数を最小回数 $c5_{hnb}$, 最大回数 $c6_{hnb}$ で制約を表す.

$$\sum_{d \in D} x_{dhnb} \geq c5_{hnb}, h \in H, n \in N, b \in B \quad (7.11)$$

$$\sum_{d \in D} x_{dhnb} \leq c6_{hnb}, h \in H, n \in N, b \in B \quad (7.12)$$

(7.13), (7.14)式は, 拘束条件(f), (g)についての制約であり, 各トラック

運転者の土曜日に休む回数を土休日の最小日数 $c7_n$ 以上，日曜日・祭日に休む回数を日・祭日休日の最小日数 $c8_n$ 以上とする．ここで Hst は，対象期間の土曜日の集合， Hld は，日曜日・祭日の集合である．

$$\sum_{d \in Hst} x_{dhn\text{休}} \geq c7_n, n \in N \quad (7.13)$$

$$\sum_{d \in Hld} x_{dhn\text{休}} \geq c8_n, n \in N \quad (7.14)$$

(7.15)式は，拘束条件(g)に関する制約である．希望勤務 $L^+_{dhn\text{b}}$ を使って特定の日 d の各運転者 n のシフト s を制約する．

$$L^+_{dhn\text{b}} - x_{dhn\text{s}} \leq 0, d \in D, h \in H, n \in N, s \in S \quad (7.15)$$

(7.16)式は，夜勤を表している． d 日の最終時間帯の勤務と翌日($d+1$ 日)の最初の時間帯の勤務が連続(同じ)勤務とする．

$$x_{dTnb} - x_{(d+1)1nb} \leq 0, d \in D, n \in N, b \in B \quad (7.16)$$

変数 $x_{dhn\text{b}}$ は，各日 d ，各時間帯 h に，各スタッフ n について割り当てられた勤務が b の場合は 1，そうでない場合は 0 となる 0-1 変数で，(7.17)式で定義する．

$$x_{dhn\text{s}} \in \{0,1\}, d \in D, h \in H, n \in N, s \in S \quad (7.17)$$

変数 y_{dn} は，1 なら出勤，0 ならば休みの 2 値整数変数であり，(7.18)式で定義する．

$$y_{dn} \in \{0,1\}, d \in D, n \in N \quad (7.18)$$

ここで， $c1 \sim c8$ はすべて定数である．

$c1$: 各日，各時間帯，各グループ，各勤務場所の最小人数

$c2$: 各日，各時間帯，各グループ，各勤務場所の最大人数

$c3$: 最大連続勤務回数

$c4$: 最大勤務間隔

$c5$: 期間内の各時間帯，各スタッフ，勤務場所毎の最小回数

$c6$: 期間内の各時間帯，各スタッフ，勤務場所毎の最大回数

$c7$: 各スタッフの土曜日に休む最小日数

$c8$: 各スタッフの日曜日・祭日に休む最小日数

6. 本章のまとめ

本章ではトラック運行管理の概要を紹介したうえで、運行管理者が義務として行わなければならない乗務割作成の現状と課題を明らかにし、ついでその効率化の方策としてスケジューリング問題の視点から拘束条件を見直し、定式化したモデルを示した。

今後、具体的に実装可能なプログラムを構築することで、高い専門性が求められる運行管理者業務システムの構築の基盤作りができると考えられる。

参考文献

- [1] 国土交通省資料「ドライバー不足等トラック業界の現状と課題について」,
<http://www.tb.mlit.go.jp/chubu/jidosya/tekiseitorihiki/img10/10shiryou1.pdf> (2019年1月7日確認)
- [2] 鈴木邦成,『運行管理者(貨物)必携ポケットブック』,日刊工業新聞社,(2016)
- [3] 前掲書, pp.31~52
- [4] 本研究における株式会社JLN(ジャパン・ロジスティクス・ネットワーク) 現 ロジボン株式会社からのヒヤリング調査によるデータ提供,
<http://logibon.com/> (2019年12月7日確認)
- [5] 伊藤潔他,『ドメイン分析・モデリング』,共立出版,(1996), pp.74-86

第 8 章 結論

第 8 章 結論

1. 結論

本論文では、「シフトスケジューリング問題の群知能アルゴリズムの応用」をテーマに挙げ、研究を行った。

少子高齢化の進行、生産年齢人口の減少により、産業界での人材不足が顕在化しつつある中、特に、医療福祉業（看護、介護、保育など）、サービス業、運輸業などで人材不足の傾向が強くみられるようになっている。

第 2 章では、特に、社会的に重要性が高まっている分野において、人材不足の解消が喫緊の課題となっている職種である、サービス業におけるパートタイム勤務者、コンビニエンスストアのスタッフ、保育士、トラックドライバーに着目し、スタッフのシフトスケジューリング問題の研究が強く求められる背景について明らかにした。シフトを細分化することにより、従来よりも勤務時間を短くし、時間の制約の問題で働きたくても働けない主婦層を取り込むことで人材不足を凶る企業が増えている。こうした状況のもとにより緻密なパートタイム管理が必要になっている。

シフトスケジューリング問題の従前研究は、代表的な看護師のシフトスケジューリング問題を中心に、フルタイム勤務を前提とした「日勤」「夜勤」といった勤務の種類を割り当てる問題がほとんどであり、パートタイム勤務者については、フルタイム勤務者の補完的な役割に留まり、パートタイムに特化したかたちでのスケジューリング研究はなく、新規性の高い領域となった。

解法においては、大規模な問題では、厳密解法による最適解を得ることが困難であることに加え、小規模の職場でも、近似解法で得られた解を手作業で修正する手法が取られ、解が最適解である意味は小さかった。しかし、小規模とはいえ、パートタイム勤務者が中心となる職場では、問題が複雑になり、手作業による修正は困難であり、より精度の高い解法が必要となることを示した。

第 3 章では、より精度の高い解法として、群知能をシフトスケジューリング問題に適用するために、その代表例として、ABC, FA を取り上げ、整数計画問題で有効性が確認されている GA とともに、解法の特徴を明らかにした上で、整数計画問題のベンチマーク関数及び、パートタイマーによる小規模な職場のスケジューリング問題にて検証を行った。

GA は、最も単純な GA (SGA) とパラメータ設定を不要とする新しい GA である PfGA の 2 種類とし、ABC, FA と最適解に達する探索回数などを比

較した。

ABCは、すべてのケースで良い結果が得られ、その有効性が確認できた。

パートタイマーによる職場のスケジューリング問題では、パソコン教室を対象とし、パートタイム勤務特有の制限を考慮したモデル化を行い、厳密解法にて最適性が保証された最適解を得た。

従前の研究で主流であった1日毎に勤務パターンをシフトとして取り扱うのではなく、1日を分割し、勤務パターンの代わりに勤務場所を割り当てることで、小規模組織であるがパート中心という実情に合わせたモデル化を行うことができた。

こうしたモデル化により、サービスレベルを維持し、スタッフの時間制約、労働負荷を考慮したシフト勤務表を得ることができた。あるスタッフの勤務が一時期に集中してしまったり、特定の勤務が続いたり、といった偏りは発生しておらず、実用可能なレベルとなった。

さらに、必要人数の条件違反の最小化を目的関数とせず、総人件費の最小化にすることにより、コストの削減が可能となることを示した。

シフトスケジューリング問題の解法として、ベンチマーク関数で成績の良かったPfGA及び、ABCにより、計算を行い、その結果を厳密解法にて最適性が保証された最適解と比較した。PfGAでは、拘束条件をすべて満たすことができないケースでも、ABCでは解を得ることができた。コストを最小化するケースでは、コスト削減効果は見込まれ、手作業による修正を必要とせず、実用的なレベルの勤務表を得ることができた。

第4章では、短時間勤務のパートタイム勤務者に特化したシフトスケジューリング問題として、コンビニエンスストアに対するシフトスケジューリング問題のモデル化、解法を提言した。

従前のシフトスケジューリングの研究では、パートタイム勤務者は、主たる対象となっておらず、そのままでは、コンビニエンスストアに適用することは出来ない。従来のフルタイムにパートタイムを加えたかたちでの勤務シフト決定とは異なり、働ける時間に制約のあるスタッフを活用することを目的としたためである。

拘束条件についてパートタイム勤務者に焦点を合わせて見直しと再構築を行った結果、勤務者の希望が十分に反映されるシフト構築を迅速かつ正確に行えることに加え、7%のコスト削減効果が期待できることを示した。パートタイム勤務者を活用する上で経営的な視点からはコスト面削減効果が得られ、労使双方にとって、ともに満足度の高い結果が得られることが明らかになった。

具体的には、割り当ての単位を日ごとから、時間帯ごとに変更し、目的関数を必要人数や希望時間等の条件違反の最小化から、人件費（コスト）の最小化（条件違反は許さない）へと変更した。これにより、問題を解くことが困難となったが、ABCの考え方を取り入れ、分枝限定法で解く問題を絞ることで、計算負荷を軽減し、従来の解法では10時間以上計算しても解けなかった問題でも20秒～2分で、最適性の保証された厳密解法と同じ最適解を得ることができた。

第5章では、保育士の短時間勤務を考慮したシフト管理について、シフトスケジューリング問題の適用を提言した。

人材が集まらない原因の一つである長期間労働を前提として勤務体系を改善し、パートタイムや短時間正社員などの多様な雇用形態を設けることが、潜在保育士の問題などの人材不足解消の対策として重要である。

しかし、多様な雇用形態は、労働時間管理が難しくなる等、雇用管理は複雑化する。従来の早番、中番、遅番を割り当てるフルタイム勤務を前提としたシフト管理では対応できない。

人材不足問題を解消するために、パートや短時間社員の配置を想定した新たなシフトスケジューリングのモデルが有効であることを示した。

第6章では、シフトスケジューリング問題のモデルをバース割り当て問題に適用し、モデル及び解法の他問題での応用の可能性を提言した。

ドライバーの長時間労働の大きな要因である「荷待ち時間」を解消するために、時間帯別の納品トラック数をスケジューリングし、平準化することを目的とし、スタッフを車両に置き換え、日々の勤務シフトの代わりに、時間枠、入荷バースを割り当てることができた。

結果として、56.3分の待ち時間を2.5分とするなど、荷待ち時間を解消することができ、ドライバーの労働時間の短縮に有効な方法を示すことが出来た。

この問題は、現在特許出願中であり、新規性の高い研究となっている。

バース割り当て問題に適用したシフトスケジューリング問題のモデルに対して、ABC、FAで解き、GAや線形緩和して得られた最適解と比較することで、実用可能かどうかの検証を行った。

ABCでは、GAと同等以上の結果が得られ、実用性を示すことができた。

第7章では、トラック運行における乗務割作成を対象として、シフトスケジューリングを行うことを提言し、定式化によるモデルを示した。

運行管理者が行うトラック運転者の乗務割の作成は、労働基準法及び改善基準告示に従って、トラック運転者の乗務割を作成しなければならない。

基準に違反しない運行計画の作成に時間がかかることはもとより，作成した運行計画が基準に合致しているかどうかの判断も時間に追われている現場にとっては難しい．長時間労働による過労運転による事故が社会問題となり，人材不足の解消が喫緊の課題となっている分野で，迅速で効率的かつ適切な乗務割の作成を示した意義は大きい．

本研究では現代的汎用性の高いシフトスケジューリング問題の分析・モデル化とその実装を，群知能の適用による効果を示しつつ行った．

シフトスケジューリング問題は，規模が大きくなると，最適性の保証された最適解を現実的な時間で求めるのは困難であるが，時間帯別にシフトを割り当てる方法を適用し，群知能を応用することで，本研究で定義する最適解に近い解を短時間で求めることが可能となった．

今後の研究の方向性としては人工知能の概念とアルゴリズムをシフトスケジューリング問題のモデル化に加えることでより幅広いビジネス領域に対応できる柔軟性を高めていくこととする．

付録

付録

付録 A 第 3 章のベンチマーク関数計算結果

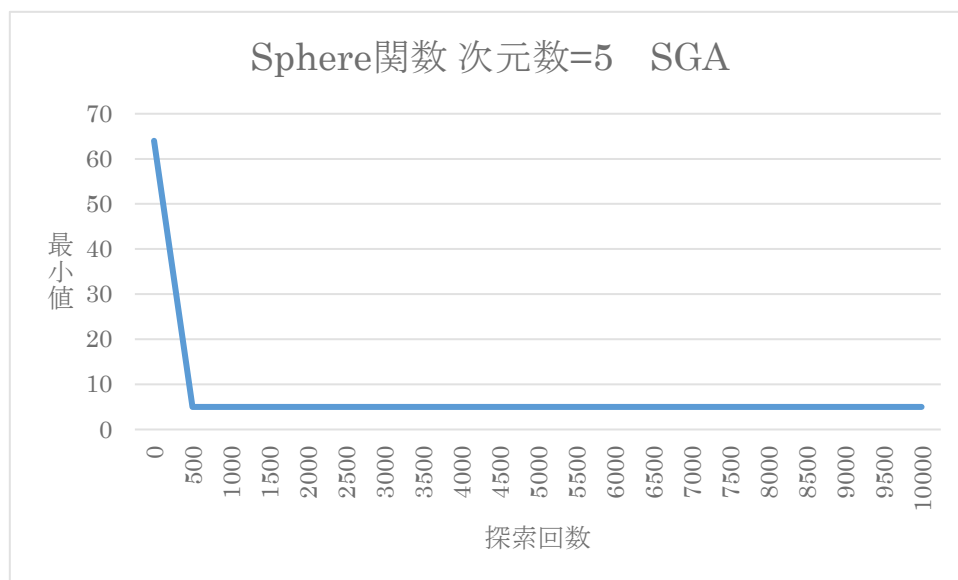


図 A.1 Sphere 関数 次元数 5 SGA による最小値推移

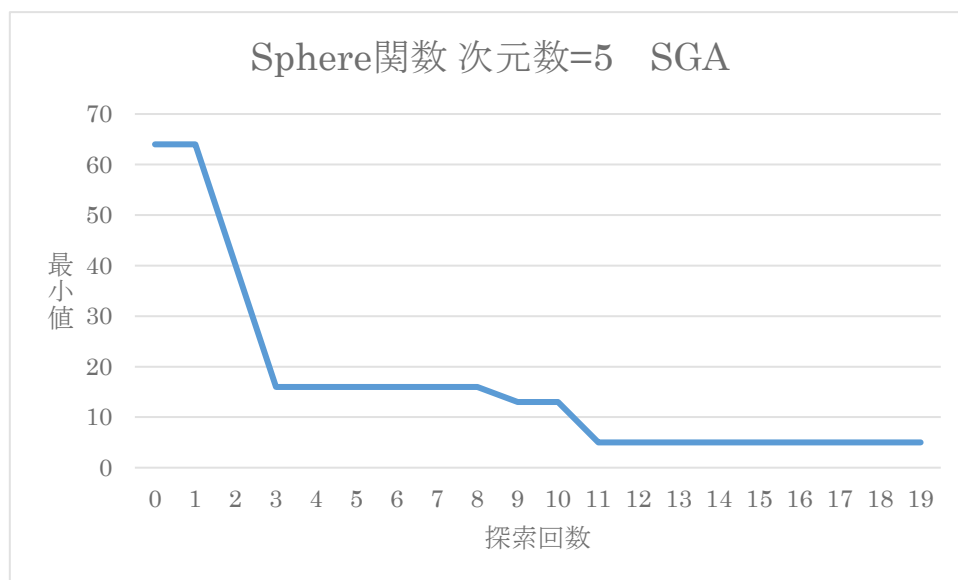


図 A.2 Sphere 関数 次元数 5 SGA による最小値推移 詳細

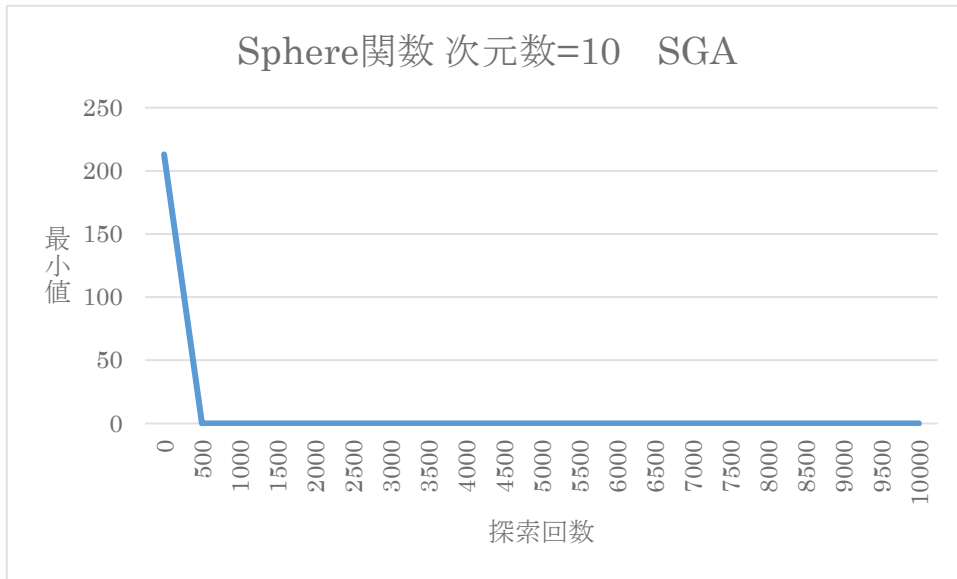


図 A.3 Sphere 関数 次元数 10 SGA による最小値推移

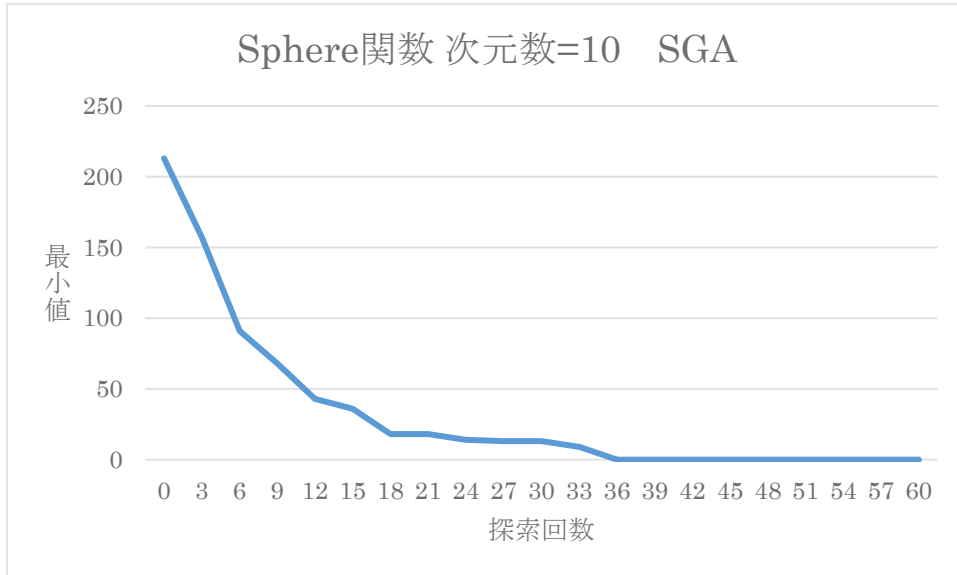


図 A.4 Sphere 関数 次元数 10 SGA による最小値推移 詳細

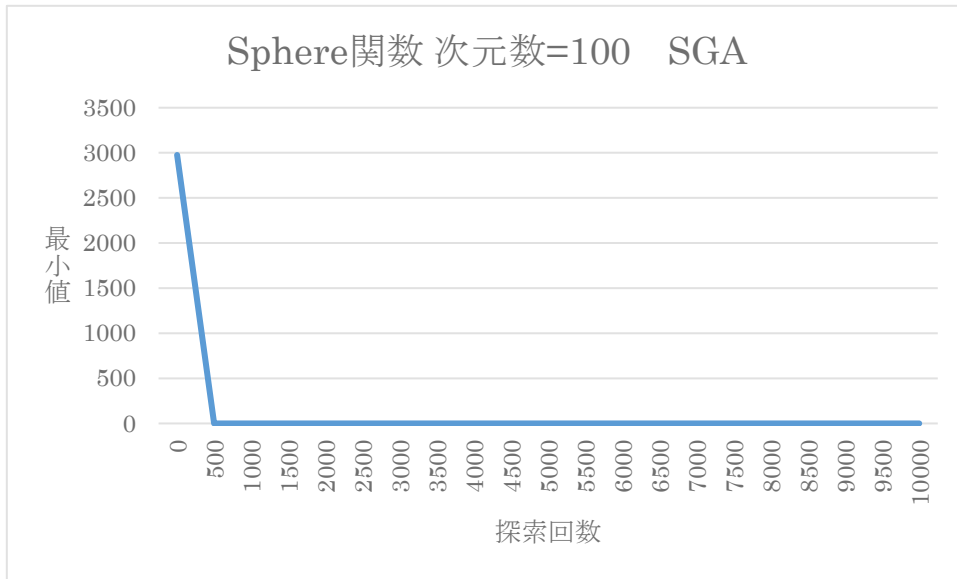


図 A.5 Sphere 関数 次元数 100 SGA による最小値推移

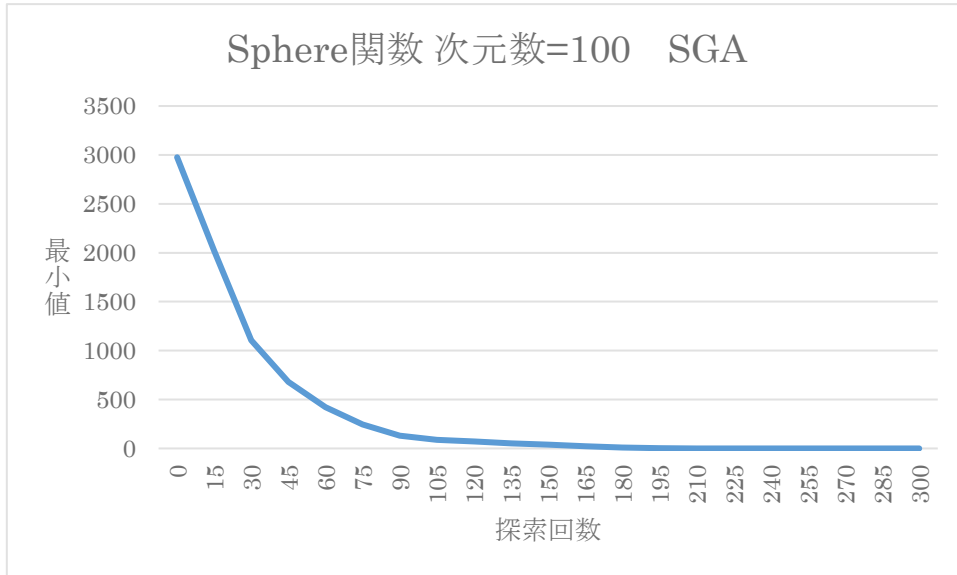


図 A.6 Sphere 関数 次元数 100 SGA による最小値推移 詳細

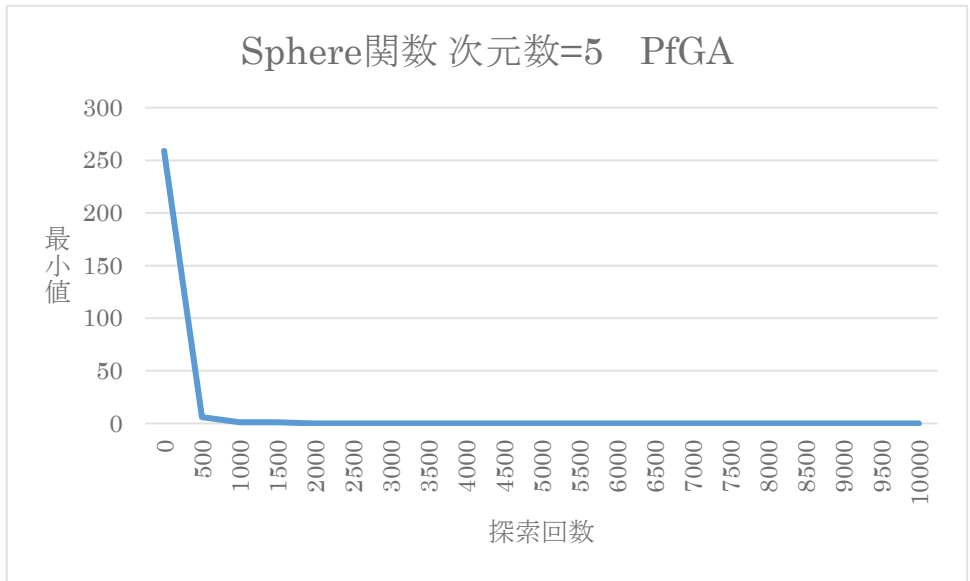


図 A.7 Sphere 関数 次元数 5 PfGA による最小値推移

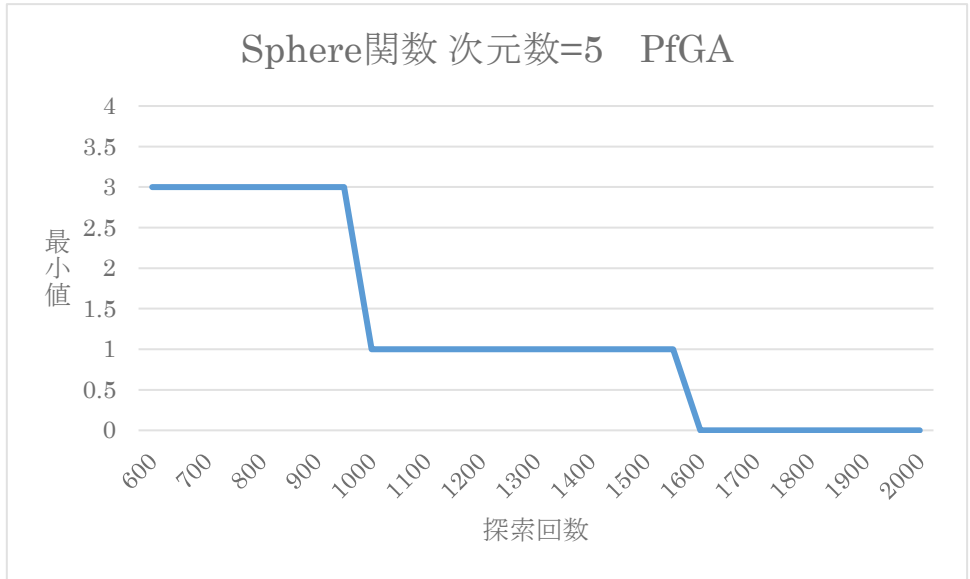


図 A.8 Sphere 関数 次元数 5 PfGA による最小値推移 詳細

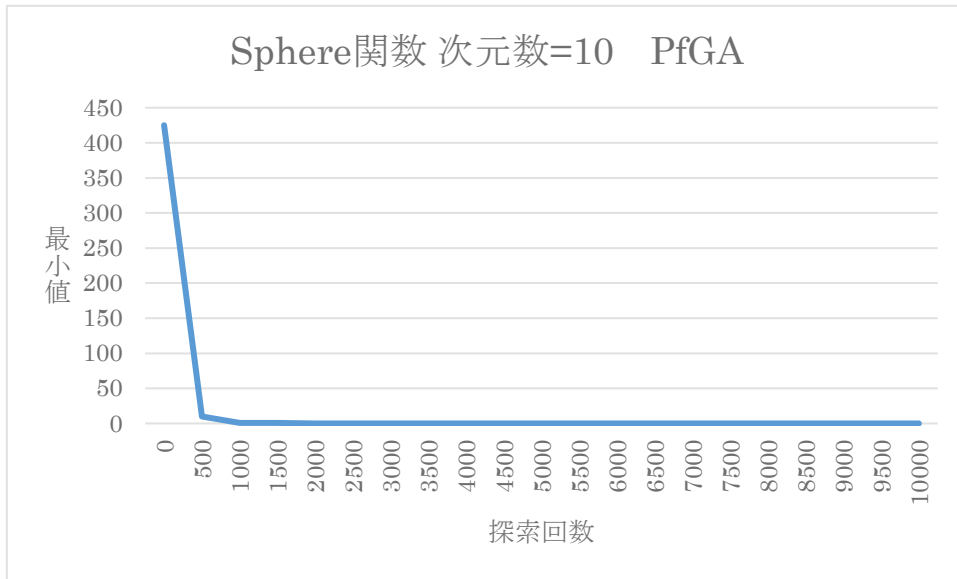


図 A.9 Sphere 関数 次元数 10 PfGA による最小値推移

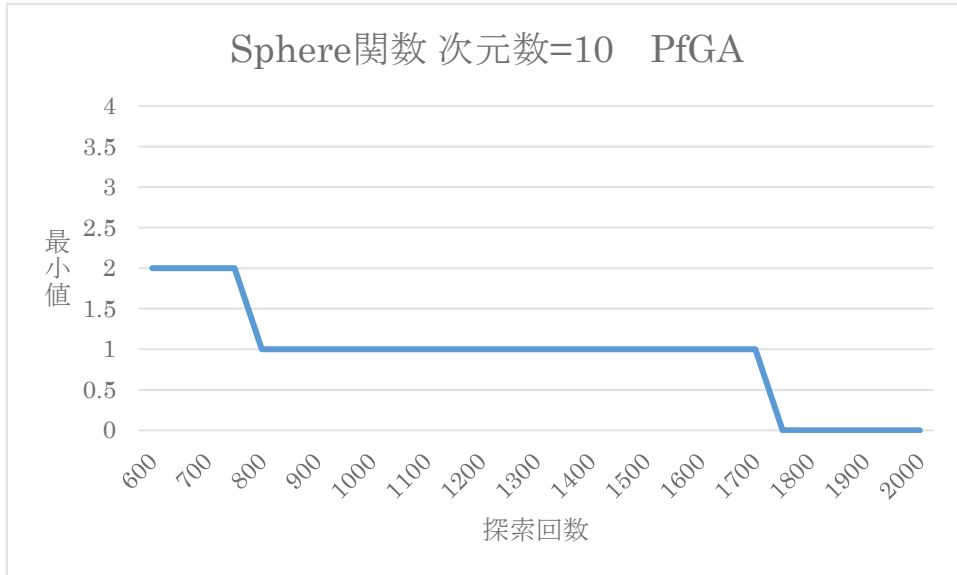


図 A.10 Sphere 関数 次元数 10 PfGA による最小値推移 詳細

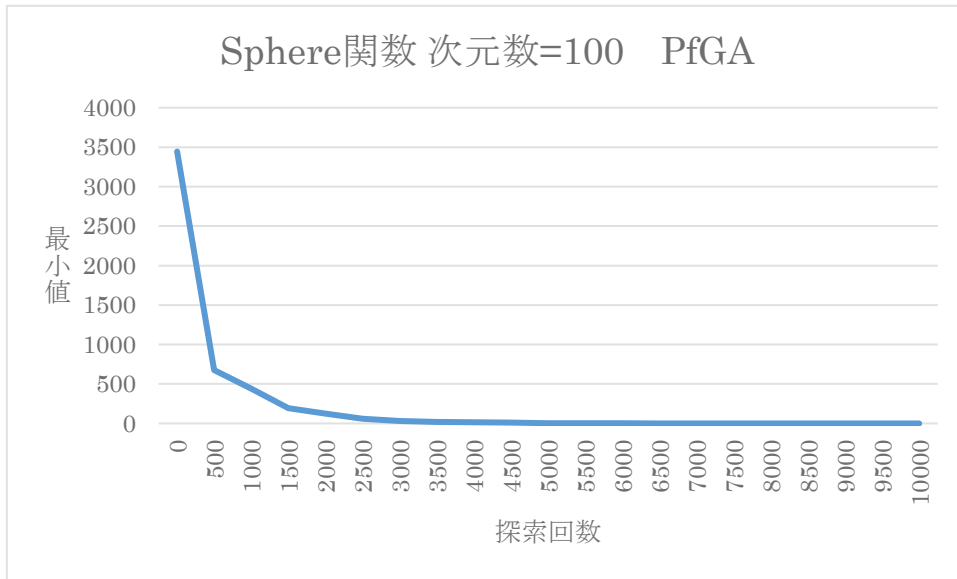


図 A.11 Sphere 関数 次元数 100 PfGA による最小値推移

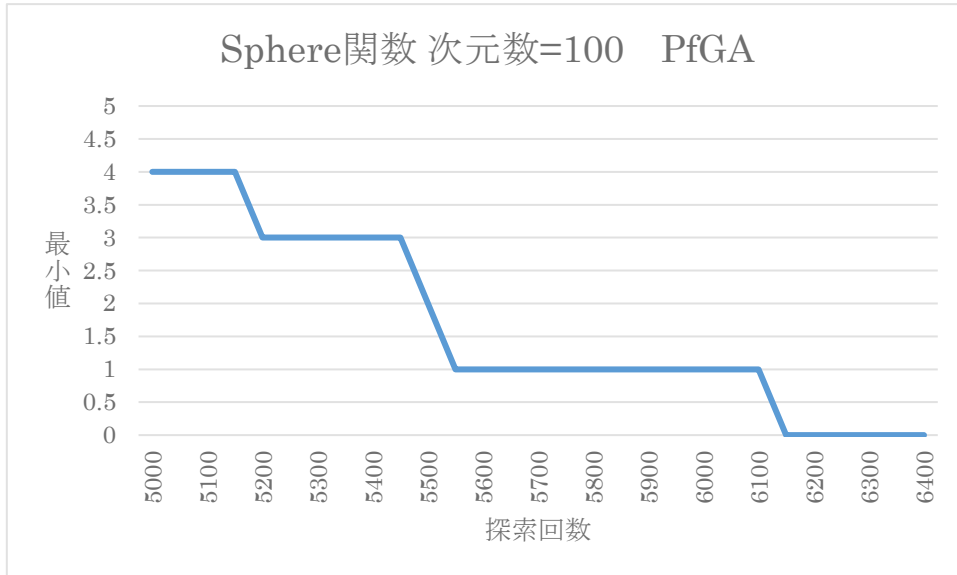


図 A.12 Sphere 関数 次元数 100 PfGA による最小値推移 詳細

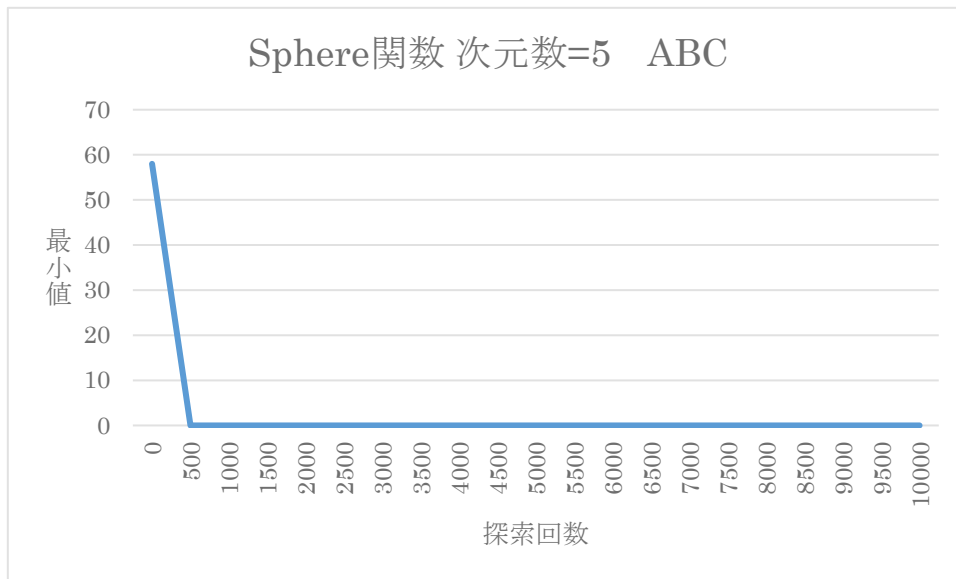


図 A.13 Sphere 関数 次元数 5 ABC による最小値推移

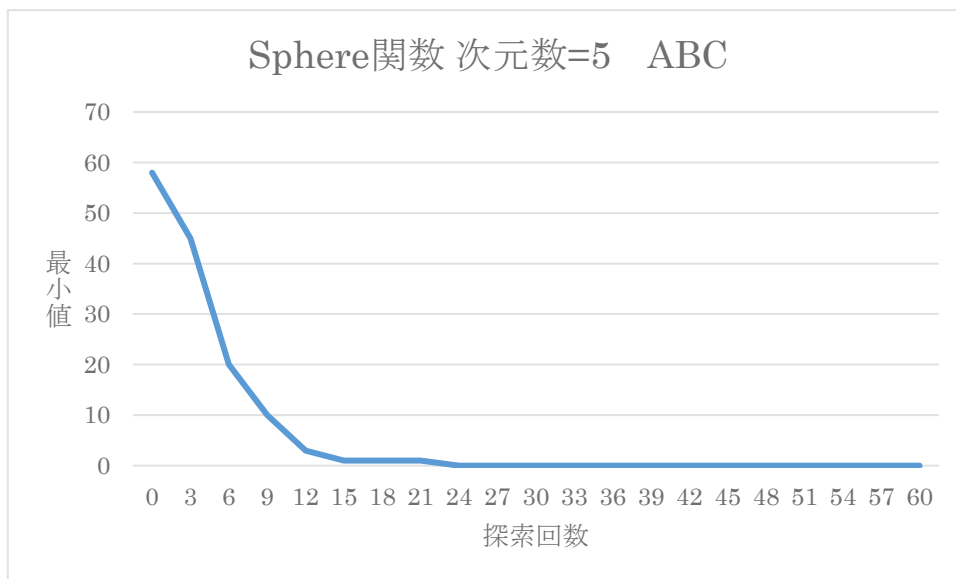


図 A.14 Sphere 関数 次元数 5 ABC による最小値推移 詳細

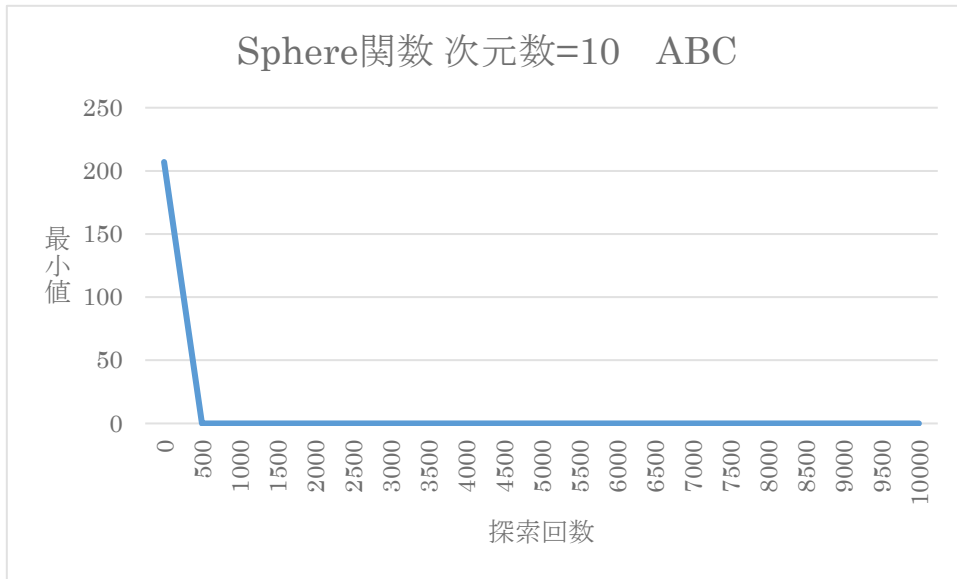


図 A.15 Sphere 関数 次元数 10 ABC による最小値推移

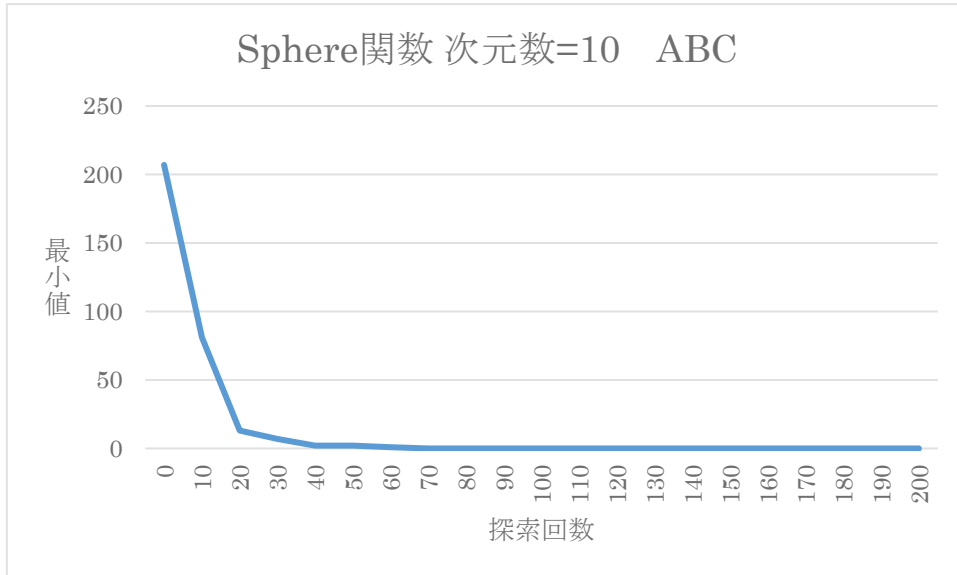


図 A.16 Sphere 関数 次元数 10 ABC による最小値推移 詳細

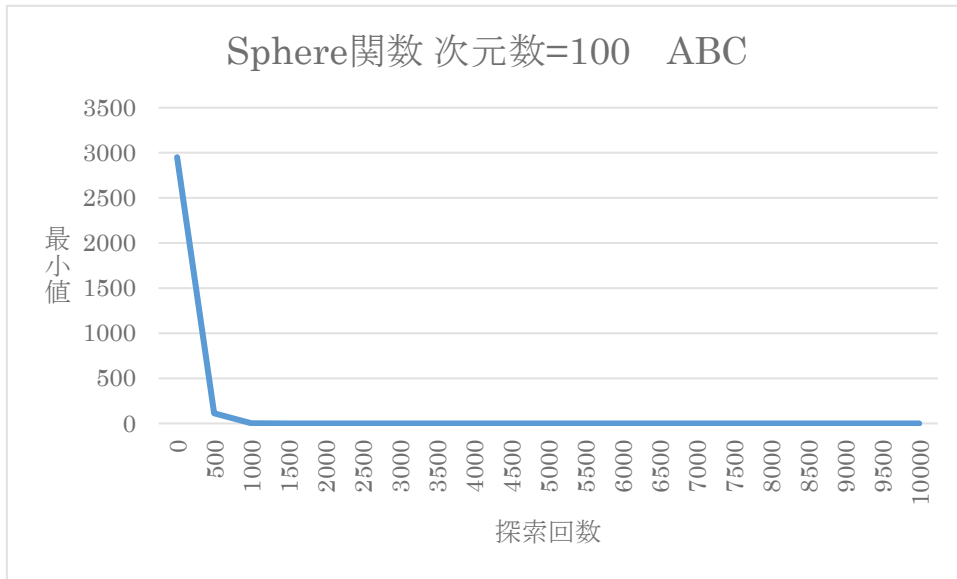


図 A.17 Sphere 関数 次元数 100 ABC による最小値推移

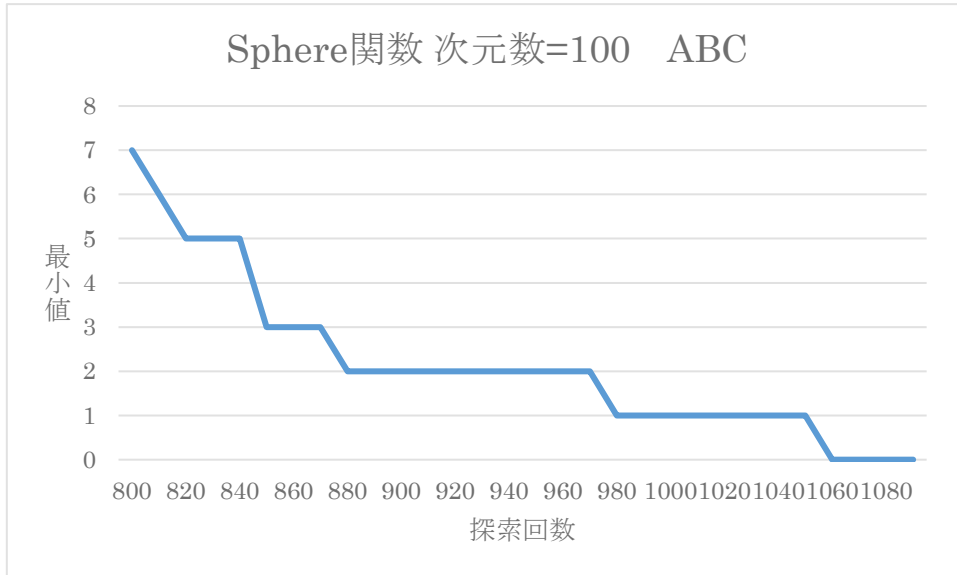


図 A.18 Sphere 関数 次元数 100 ABC による最小値推移 詳細

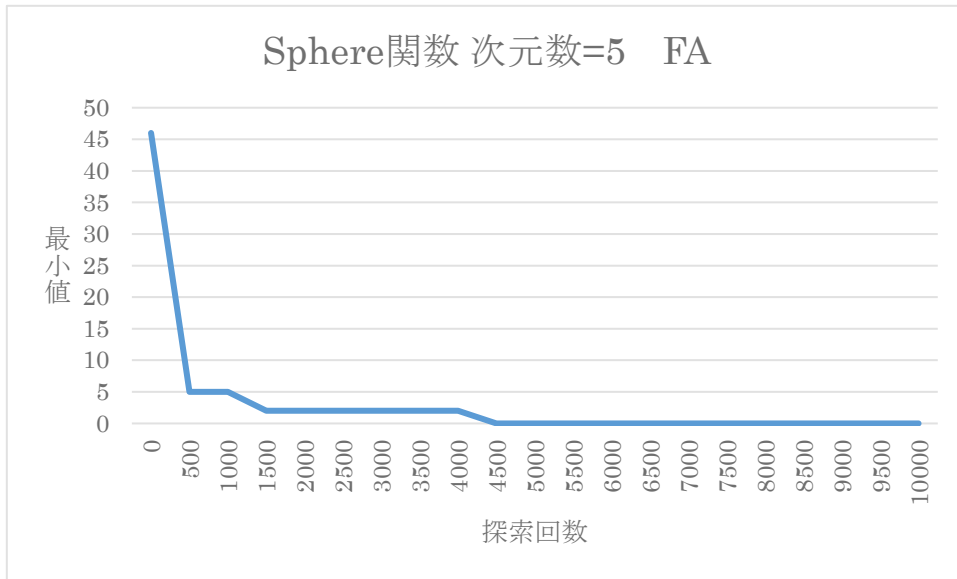


図 A.19 Sphere 関数 次元数 5 FA による最小値推移

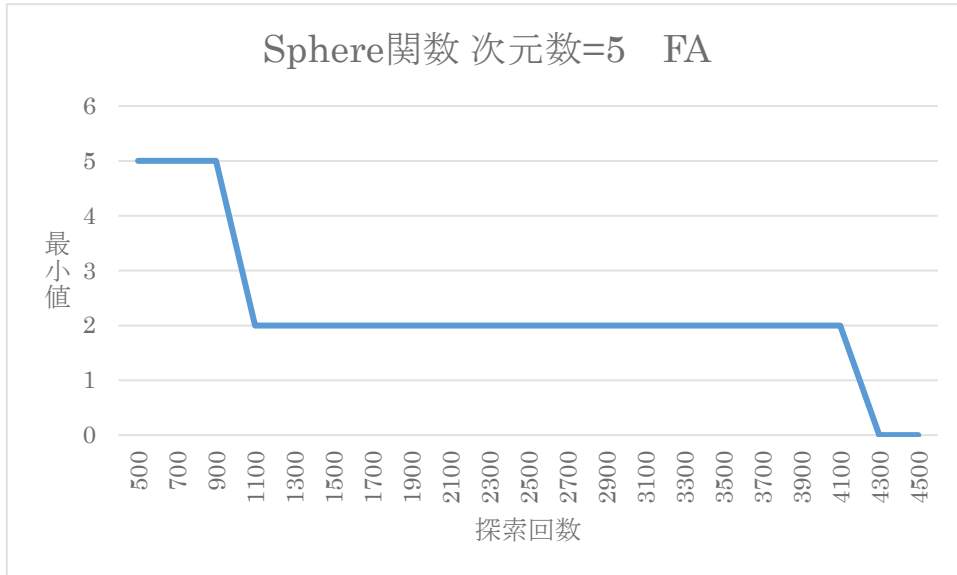


図 A.20 Sphere 関数 次元数 5 FA による最小値推移 詳細

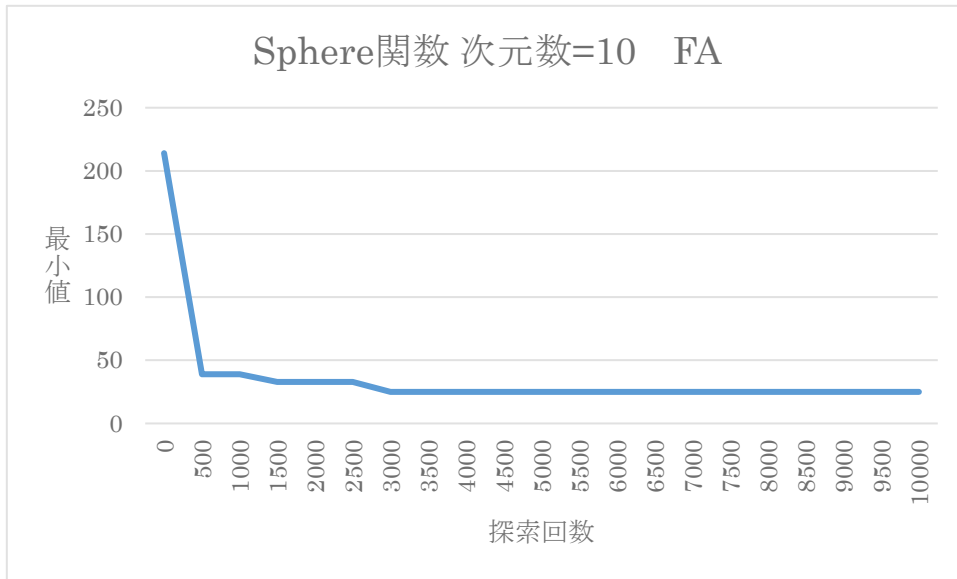


図 A.21 Sphere 関数 次元数 10 FA による最小値推移

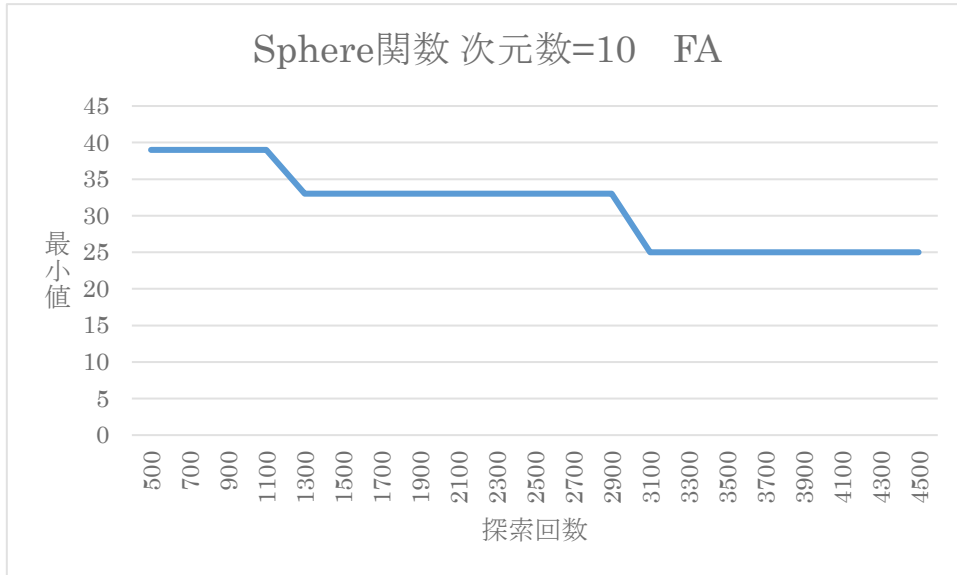


図 A.22 Sphere 関数 次元数 10 FA による最小値推移 詳細

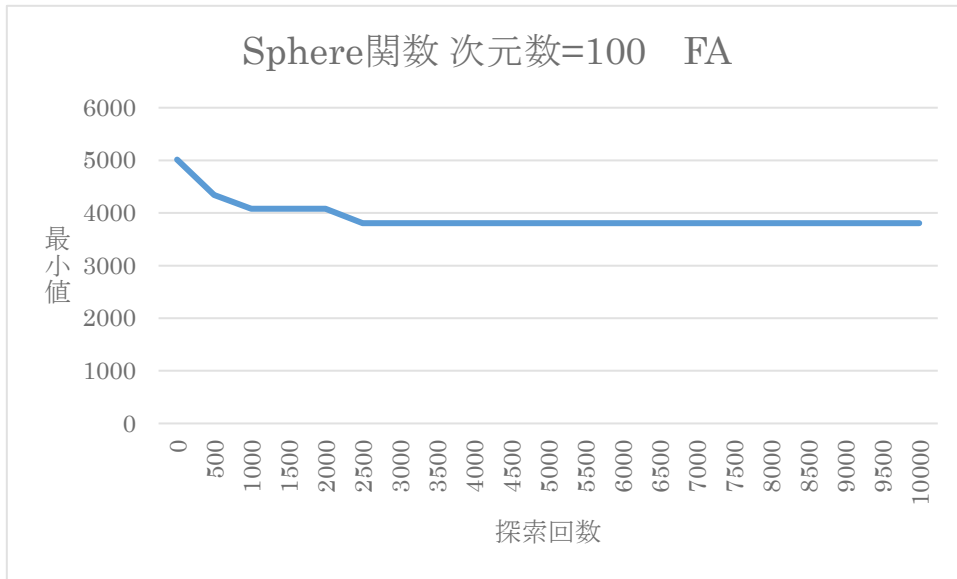


図 A.23 Sphere 関数 次元数 100 FA による最小値推移

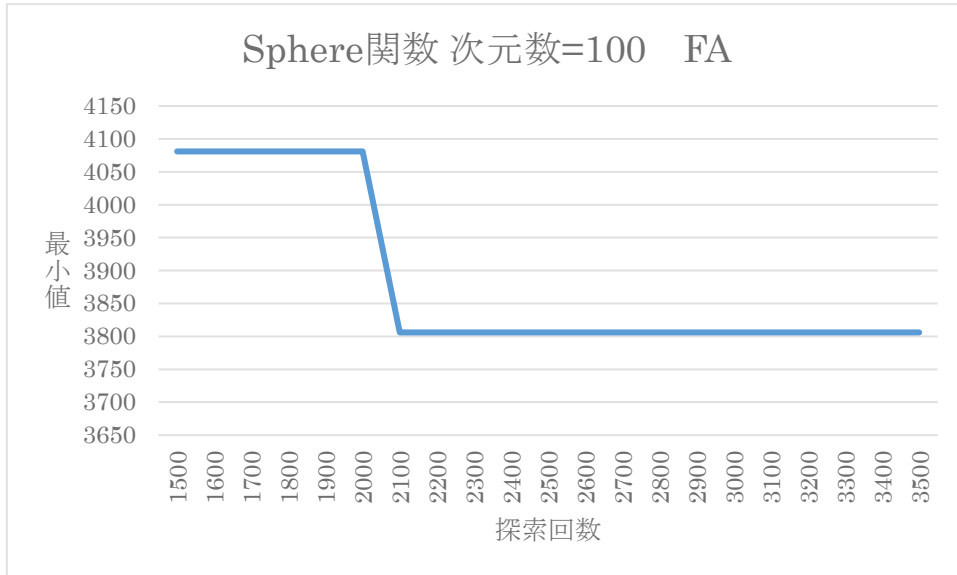


図 A.24 Sphere 関数 次元数 100 FA による最小値推移 詳細

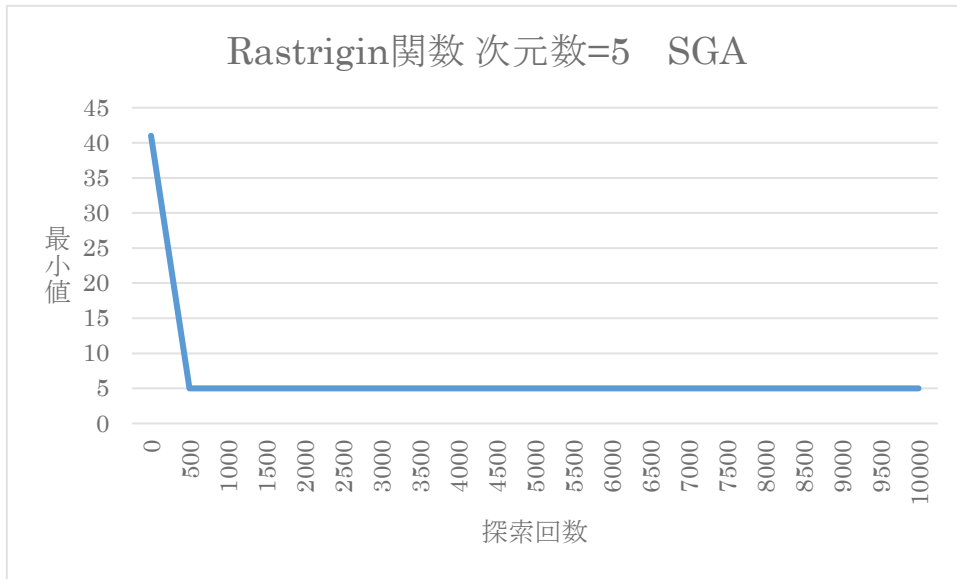


図 A.25 Rastrigin 関数 次元数 5 SGA による最小値推移

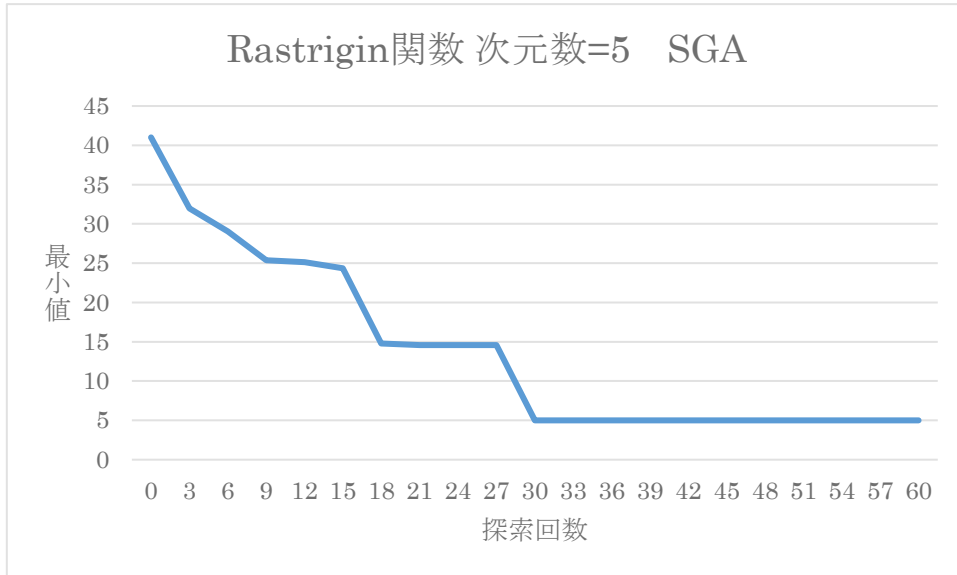


図 A.26 Rastrigin 関数 次元数 5 SGA による最小値推移 詳細

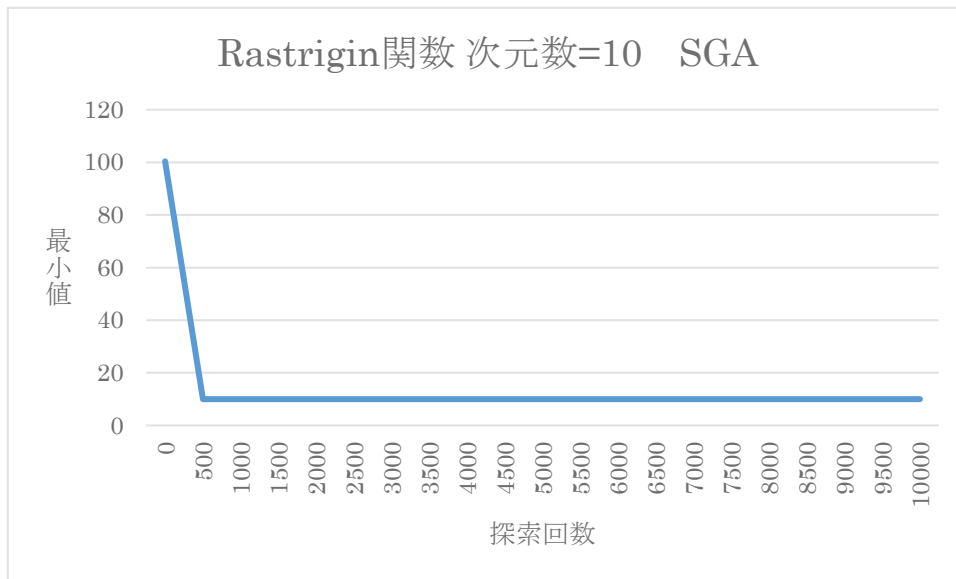


図 A.27 Rastrigin 関数 次元数 10 SGA による最小値推移

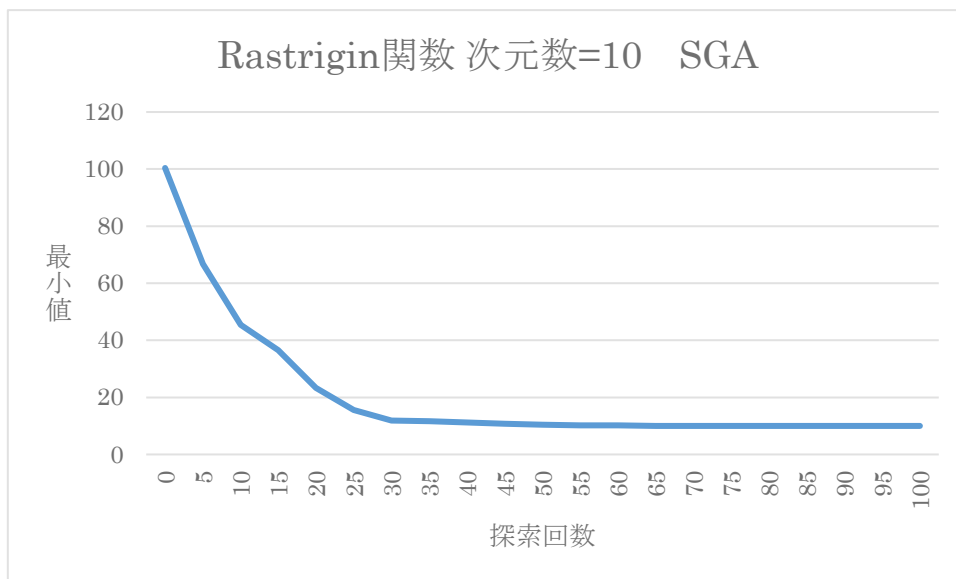


図 A.28 Rastrigin 関数 次元数 10 SGA による最小値推移 詳細

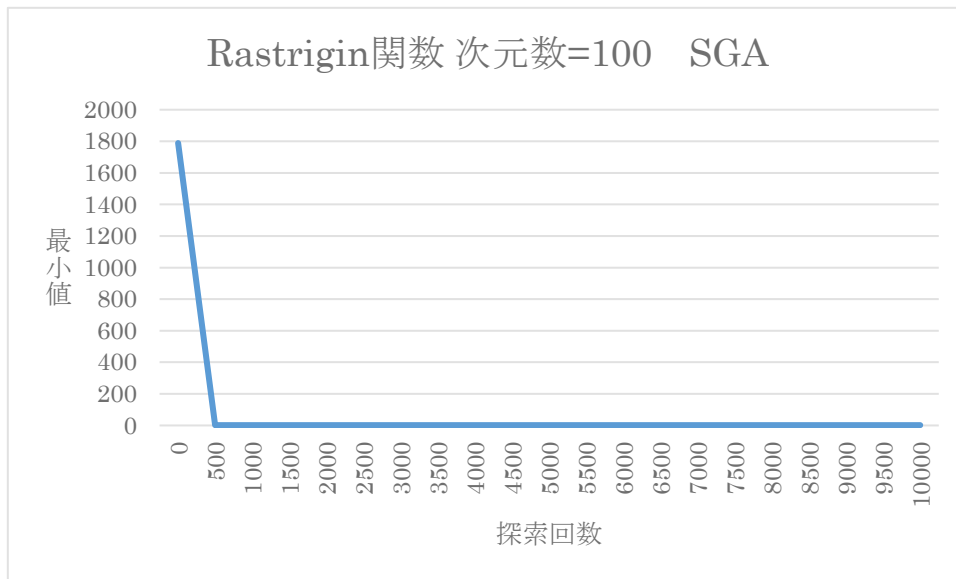


図 A.29 Rastrigin 関数 次元数 100 SGA による最小値推移

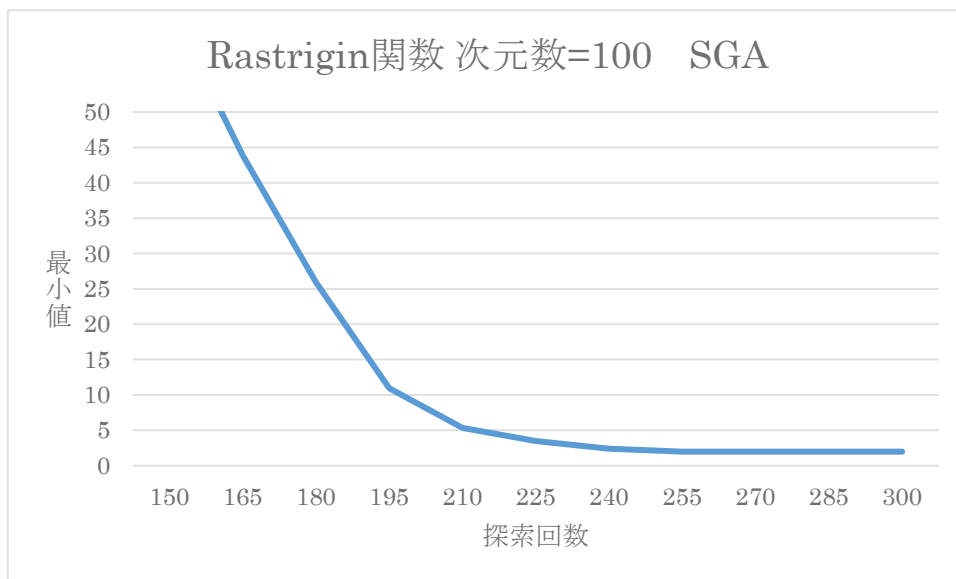


図 A.30 Rastrigin 関数 次元数 100 SGA による最小値推移 詳細

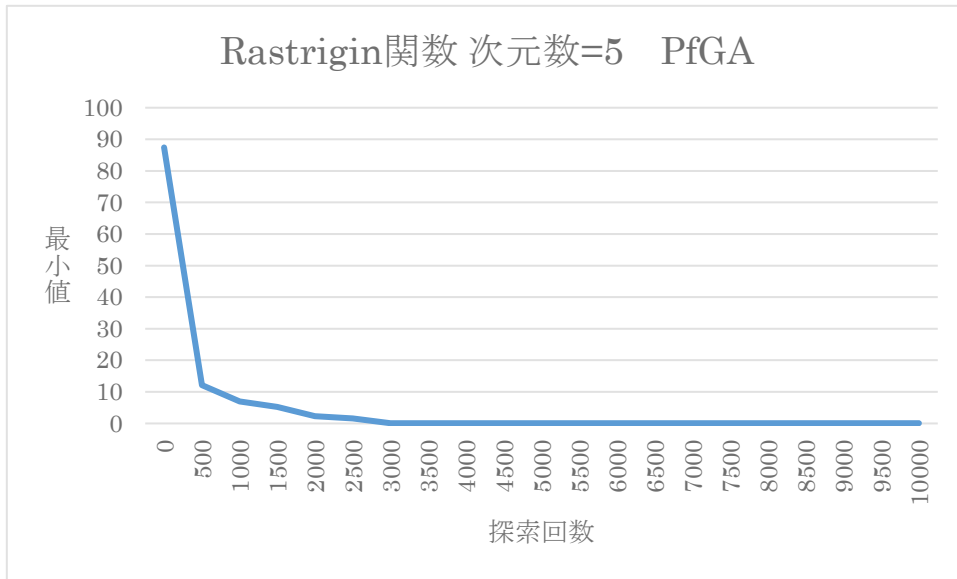


図 A.31 Rastrigin 関数 次元数 5 PfGA による最小値推移

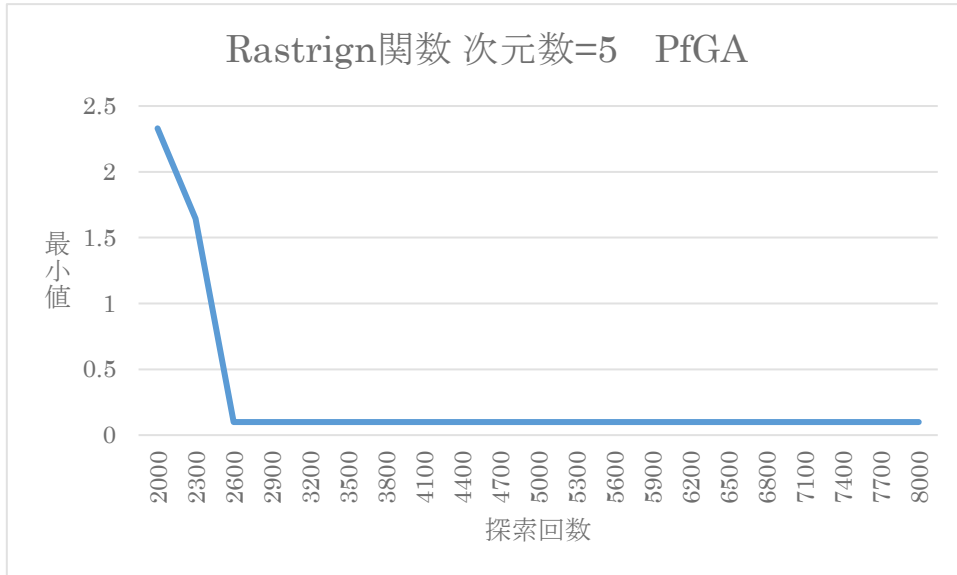


図 A.32 Rastrigin 関数 次元数 5 PfGA による最小値推移 詳細

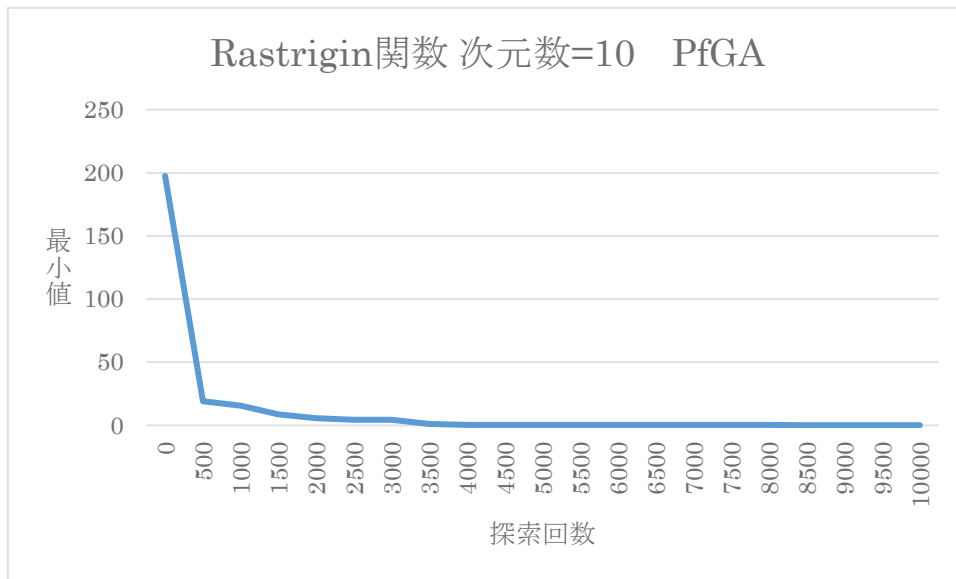


図 A.33 Rastrigin 関数 次元数 10 PfGA による最小値推移

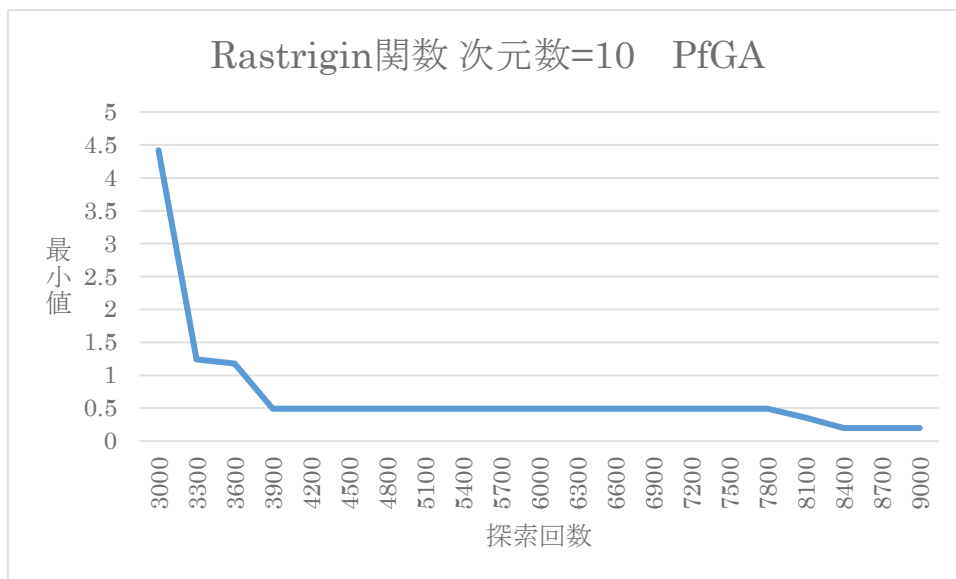


図 A.34 Rastrigin 関数 次元数 10 PfGA による最小値推移 詳細

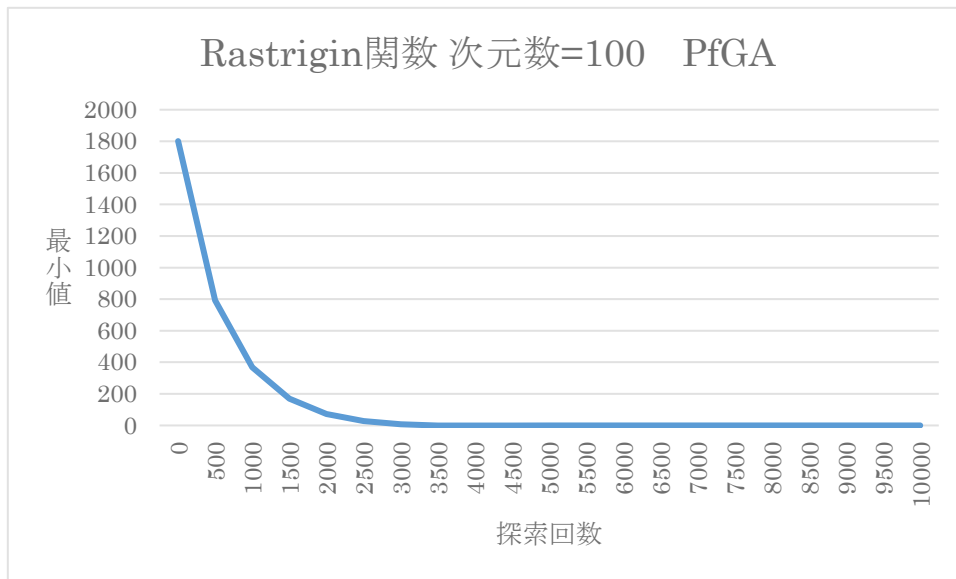


図 A.35 Rastrigin 関数 次元数 100 PfGA による最小値推移

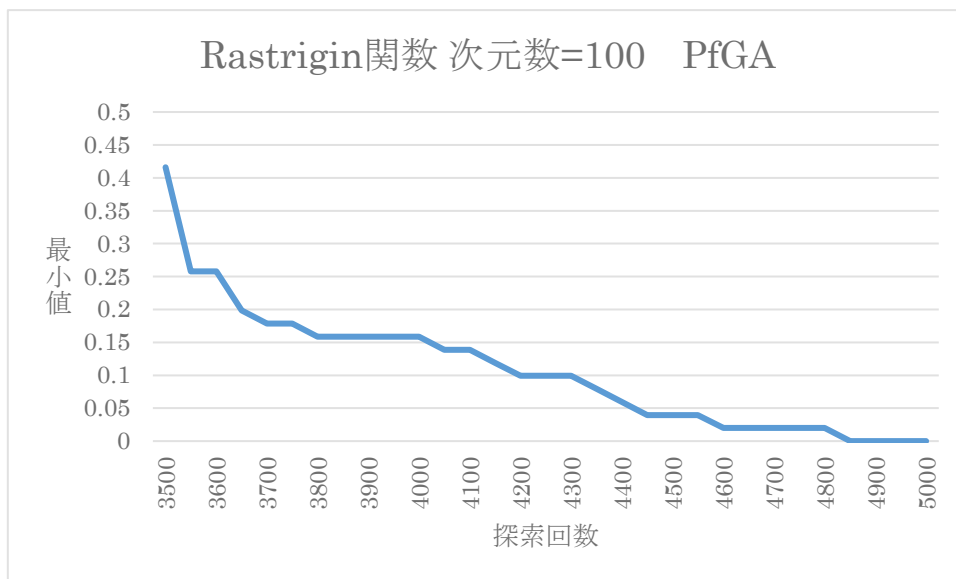


図 A.36 Rastrigin 関数 次元数 100 PfGA による最小値推移 詳細

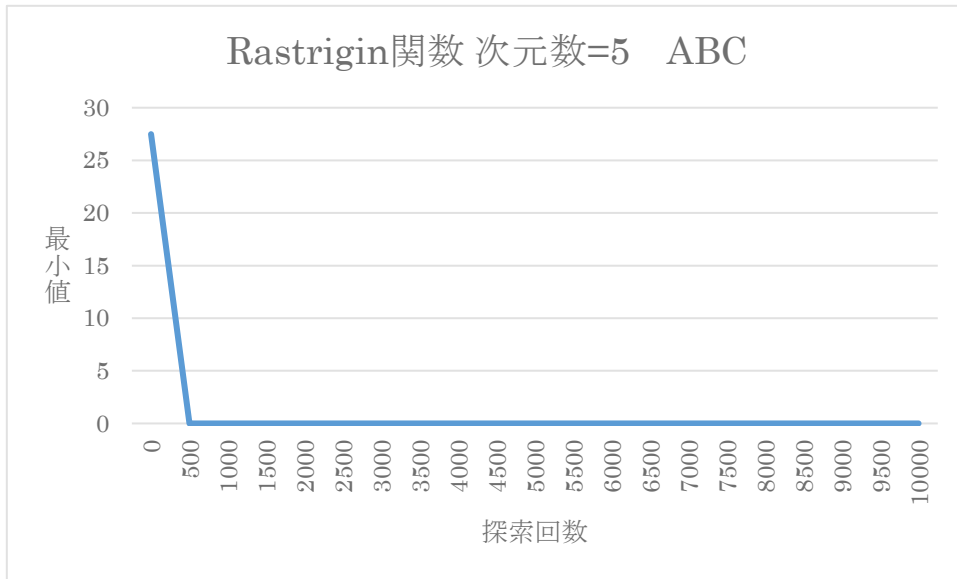


図 A.37 Rastrigin 関数 次元数 5 ABC による最小値推移

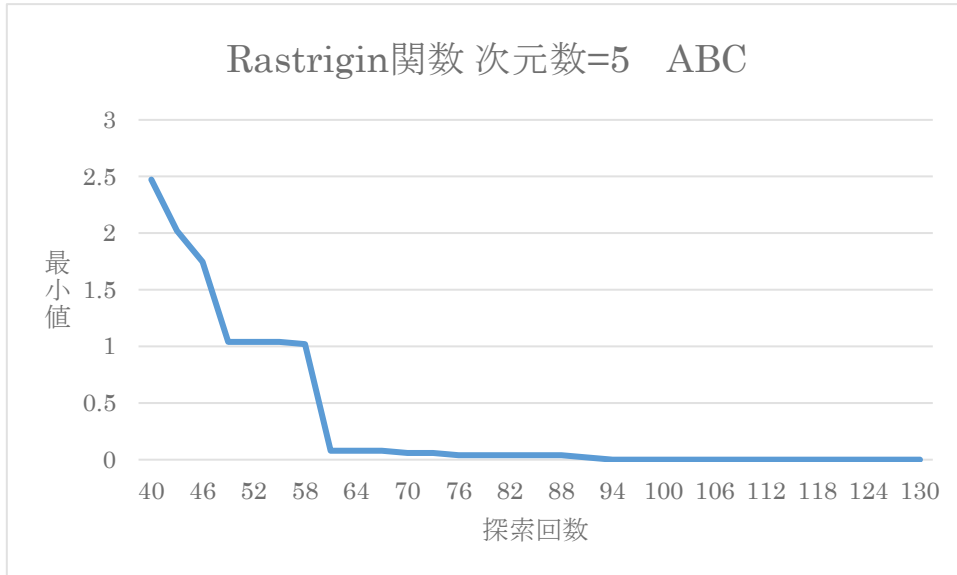


図 A.38 Rastrigin 関数 次元数 5 ABC による最小値推移 詳細

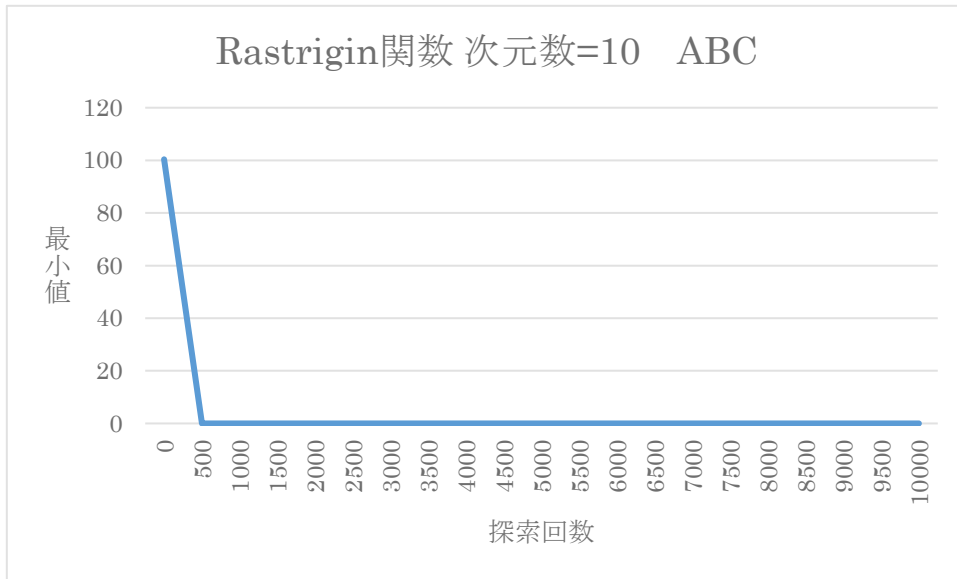


図 A.39 Rastrigin 関数 次元数 10 ABC による最小値推移

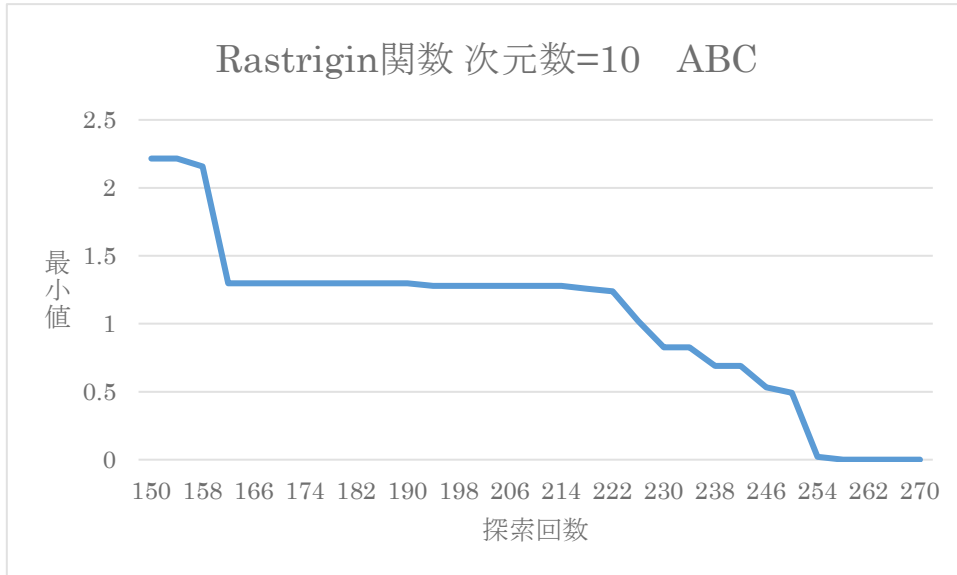


図 A.40 Rastrigin 関数 次元数 10 ABC による最小値推移 詳細

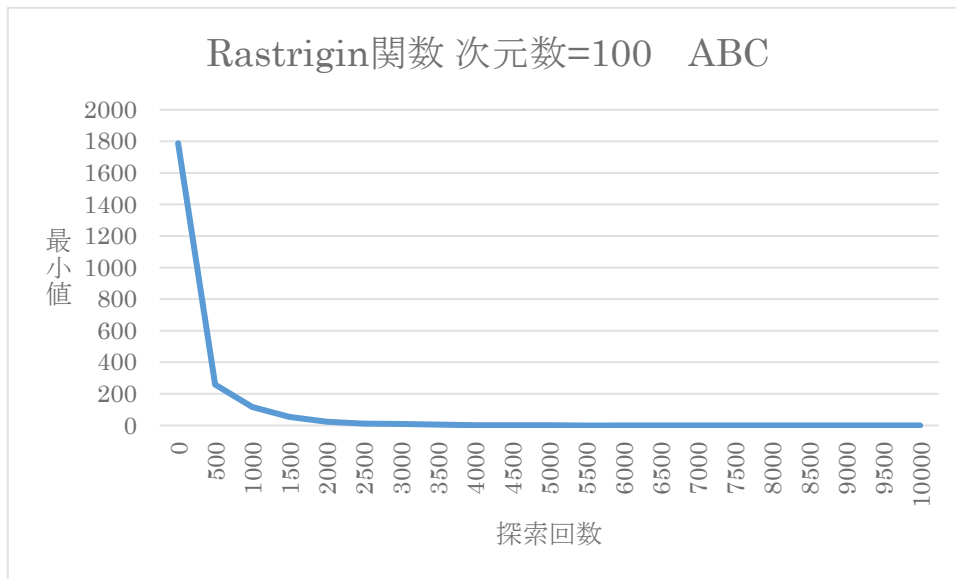


図 A.41 Rastrigin 関数 次元数 100 ABC による最小値推移

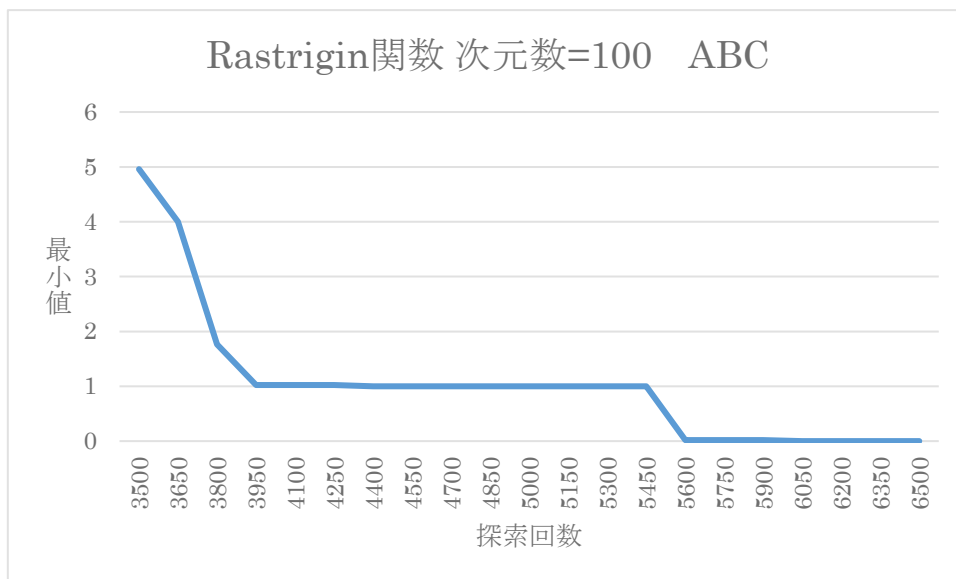


図 A.42 Rastrigin 関数 次元数 100 ABC による最小値推移 詳細

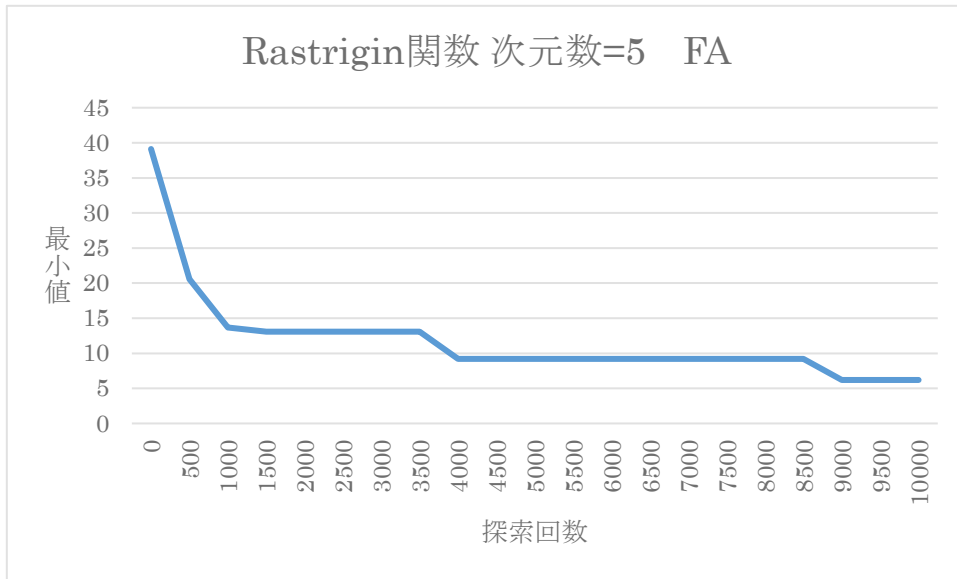


図 A.43 Rastrigin 関数 次元数 5 FA による最小値推移

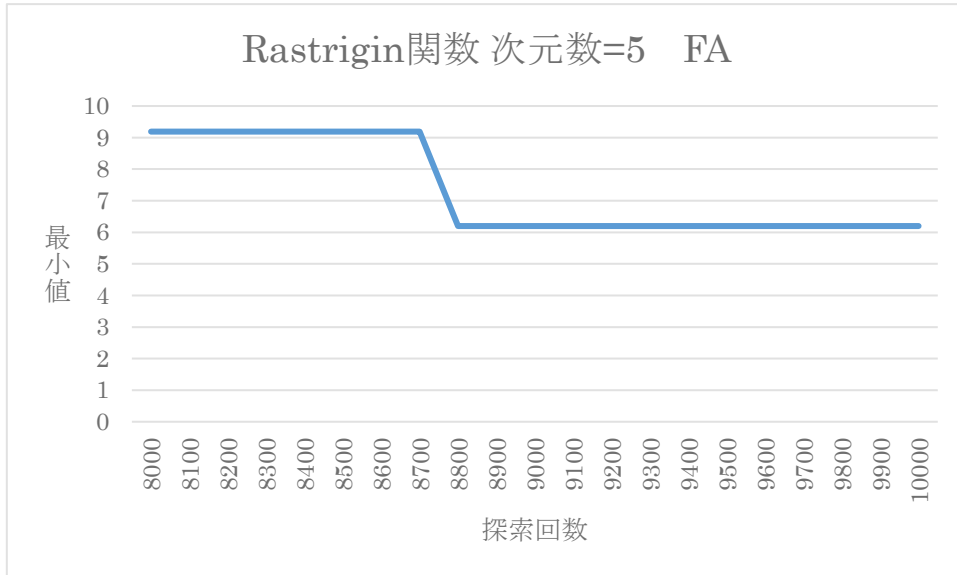


図 A.44 Rastrigin 関数 次元数 5 FA による最小値推移 詳細

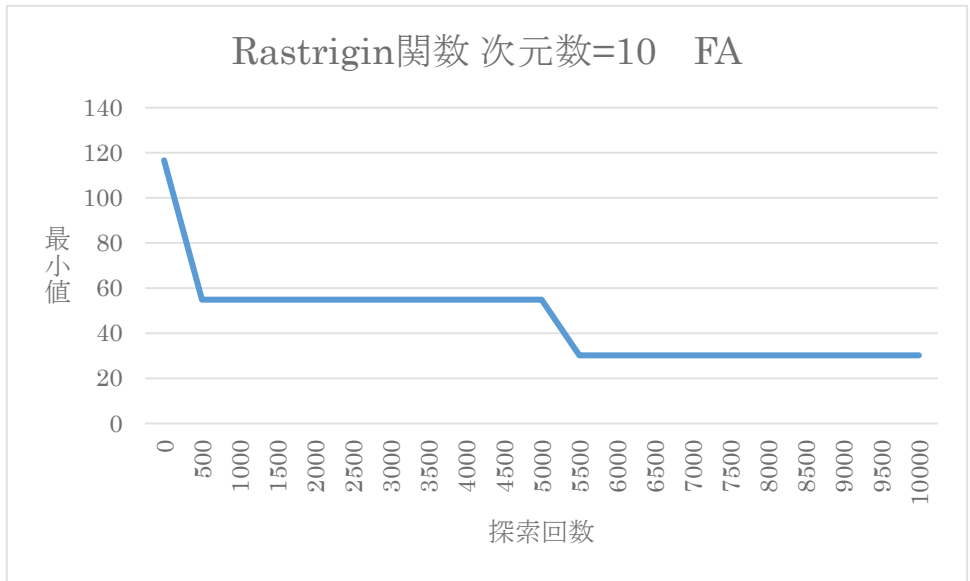


図 A.45 Rastrigin 関数 次元数 10 FA による最小値推移

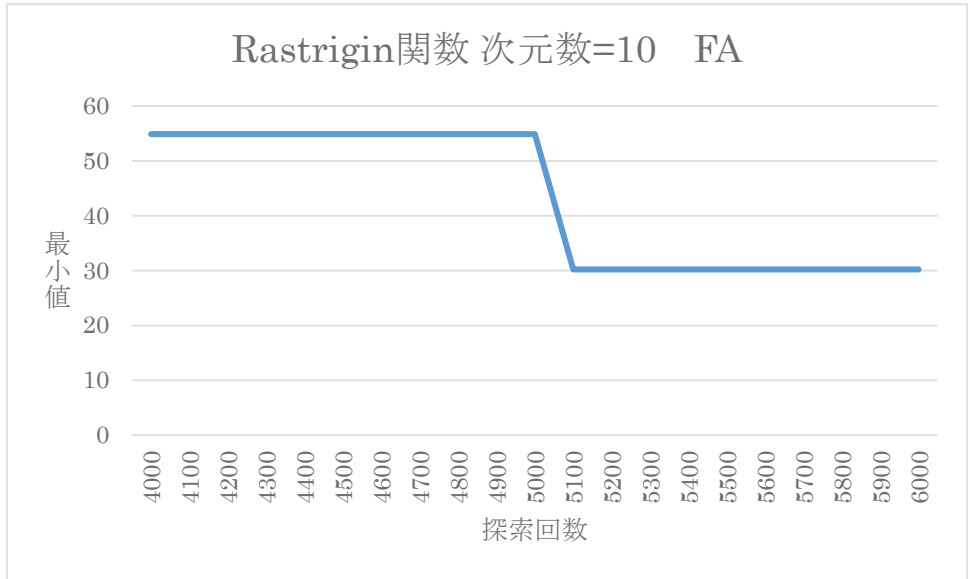


図 A.46 Rastrigin 関数 次元数 10 FA による最小値推移 詳細

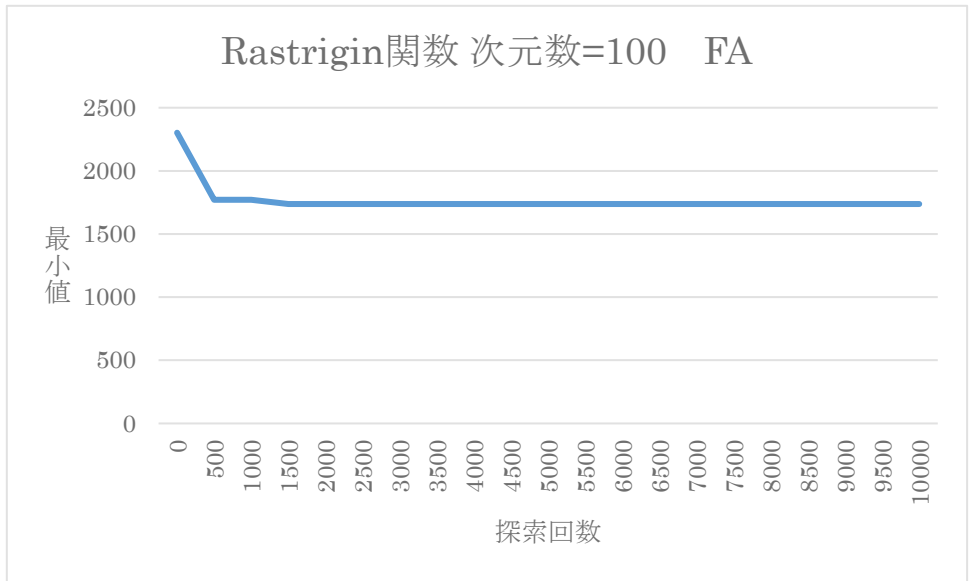


図 A.47 Rastrigin 関数 次元数 100 FA による最小値推移

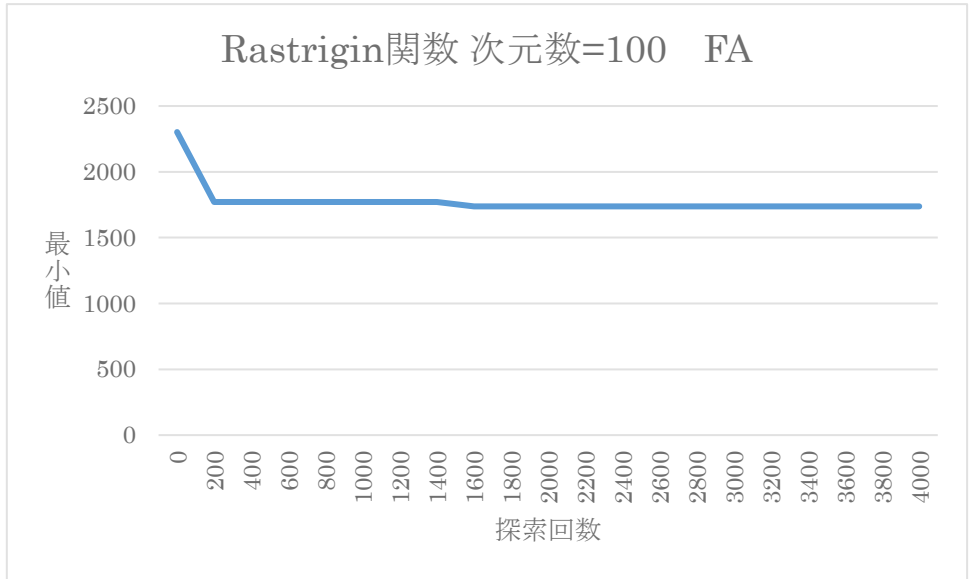


図 A.48 Rastrigin 関数 次元数 100 FA による最小値推移 詳細

付録 B 第 3 章のパートタイマーによる職場のスケジュールリング問題計算結果

	Sun			Mon			Tue			Wed			Thu			Fri			1 Sat			
	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	
	1																			-	-	-
2																				出	出	-
3																				-	-	-
4																				-	-	-
5																				-	-	-
6																				-	-	-

	2 Sun			3 Mon			4 Tue			5 Wed			6 Thu			7 Fri			8 Sat		
	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM
	1	-	-	-	-	-	出	出	出	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	出	出
2	-	-	-	出	出	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	出	出	-	-	-	-
3	-	-	-	出	出	-	-	-	出	-	-	-	出	-	-	-	出	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	出	-	出	-	出	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	出	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-

	9 Sun			10 Mon			11 Tue			12 Wed			13 Thu			14 Fri			15 Sat		
	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM
	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	出	出
2	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-	-	出	出	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	出	出	出	出	-	出	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	出	出	出	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	出	出	出	-	-	-	-	-	-

図 B.1 GLPK case2 拘束条件(c)に違反するペナルティの最小化勤務表結果（出:出勤， -:休み）

表 B.1 GLPK case2 拘束条件(c)に違反するペナルティの最小化スタッフの出勤回数と人件費

	Sun			Mon			Tue			Wed			Thu			Fri			Sat			合計			人件費 (円)
	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	
1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	2	0	3	3	3	37,800
2	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	2	0	1	1	0	6	4	0	32,000
3	0	0	0	1	1	0	0	1	2	1	1	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	4	4	2	35,200
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	2	1	1	0	0	0	3	3	1	16,500
5	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	1	9,000
6	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	2	2	2	12,740
																									143,240

	Sun			Mon			Tue			Wed			Thu			Fri			1 Sat		
	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM
	1																			-	-
2																			出	出	-
3																			-	-	-
4																			-	-	-
5																			-	-	-
6																			-	-	-

	2 Sun			3 Mon			4 Tue			5 Wed			6 Thu			7 Fri			8 Sat		
	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM
	1	-	-	-	-	-	出	出	出	出	-	-	出	-	-	-	-	-	-	出	出
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	出	出	-	-	-	-	出	出	-	-	-	-
3	-	-	-	出	出	-	-	-	-	出	-	-	出	出	-	出	出	-	-	-	-
4	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-	-

	9 Sun			10 Mon			11 Tue			12 Wed			13 Thu			14 Fri			15 Sat		
	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM
	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	出	出
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	出	出	-	出	出	出	出	出	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	出	出	出	-	-	-	出	-	-	-	出	出	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	出	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

図 B.2 GLPK case2 コスト最大化 勤務表結果（出:出勤， -:休み）

表 B.2 GLPK case2 コスト最大化 スタッフの出勤回数と人件費

	Sun			Mon			Tue			Wed			Thu			Fri			Sat			合計			人件費 (円)			
	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM	AM1	AM2	PM				
1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	3	3	4	43,200
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	1	1	1	2	2	0	1	1	0	6	6	1	6	6	1	43,200
3	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	2	1	0	1	2	1	0	0	0	6	5	2	6	5	2	44,800
4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	1	1	2	1	1	9,900
5	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	1	2	0	1	7,000
6	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	2	1	0	5,460
																												153,560

付録 C 第 6 章の入荷バース割り当て問題計算結果

表 C.1 割り当て結果 case1 SGA

時間帯	バース				※表内の数字はトラックNo.
	1	2	3	4	
1 6:00-7:00	9	8	2	18 20	大型
2 7:00-8:00		12	19 21	11	中型
3 8:00-9:00	1	17	6	10	小型
4 9:00-10:00	23	13	14	7	6 8:00-9:00時間指定
5 10:00-11:00	24		5	15	8 6:00-7:00時間指定
6 11:00-12:00	4	3	16	22	13 1H以上 (二枠必要)

表 C.2 割り当て結果 case1 ABC

時間帯	バース				※表内の数字はトラックNo.
	1	2	3	4	
1 6:00-7:00	15	16	5	8	大型
2 7:00-8:00	3	10	18	19 21	中型
3 8:00-9:00	20 23	2	6	13	小型
4 9:00-10:00	1	11	9		6 8:00-9:00時間指定
5 10:00-11:00	14	12	4	22	8 6:00-7:00時間指定
6 11:00-12:00	7	17		24	13 1H以上 (二枠必要)

表 C.3 割り当て結果 case1 FA

時間帯	バース				※表内の数字はトラックNo.
	1	2	3	4	
1 6:00-7:00	10	8	2	18 20	大型
2 7:00-8:00	11	23			中型
3 8:00-9:00	12	6	17 19	9	小型
4 9:00-10:00	3		14	7	6 8:00-9:00時間指定
5 10:00-11:00	24	13	5	15	8 6:00-7:00時間指定
6 11:00-12:00	4		21	22	13 1H以上 (二枠必要)

※ 1番と16番が割り当てられていない

表 C.4 割り当て結果 case2 SGA

時間帯	バース			
	1	2	3	4
1 6:00-7:00	2	19 21	3	10
2 7:00-8:00	22 23	9	17	12 13
3 8:00-9:00	26 27	7	6	14
4 9:00-10:00	4	15	24	1
5 10:00-11:00		20	8	25 28
6 11:00-12:00	5	11	18	16

※表内の数字はトラック

大型

中型

小型

21 6:00-7:00時間指定

制約違反

表 C.5 割り当て結果 case2 PfGA

時間帯	バース			
	1	2	3	4
1 6:00-7:00	9	20 26 21 22	2	
2 7:00-8:00	12	13	4	24 25
3 8:00-9:00	7 16	5	28	6
4 9:00-10:00	14	11	8	17
5 10:00-11:00	10		19 23 27	
6 11:00-12:00	18	3	15	1

※表内の数字はトラック

大型

中型

小型

21 6:00-7:00時間指定

制約違反

表 C.6 割り当て結果 case2 FA

時間帯	バース			
	1	2	3	4
1 6:00-7:00	16	6	22	2 25
2 7:00-8:00	10	24 26	4	15
3 8:00-9:00	7	14		19
4 9:00-10:00	18	3	9	21 23
5 10:00-11:00	17	27	11	13
6 11:00-12:00	12	5	28	20

※表内の数字はトラック

大型

中型

小型

21 6:00-7:00時間指定

制約違反

※ 1番と8番が割り当てられていない

表 C.7 トラック別割り当て結果 case1 SGA

Truck No.	車格	1	2	3	4	5	6	備考	チェック 割り当て数
		6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00		
1	大型	0	0	1	0	0	0		1
2	大型	3	0	0	0	0	0		1
3	大型	0	0	0	0	0	2		1
4	大型	0	0	0	0	0	1		1
5	大型	0	0	0	0	3	0		1
6	大型	0	0	3	0	0	0	8:00-9:00 時間指定	1
7	大型	0	0	0	4	0	0		1
8	中型	2	0	0	0	0	0	6:00-7:00 時間指定	1
9	中型	1	0	0	0	0	0		1
10	中型	0	0	4	0	0	0		1
11	中型	0	4	0	0	0	0		1
12	中型	0	2	0	0	0	0		1
13	中型	0	0	0	2	0	0	1H以上 (二枠必要)	1
14	中型	0	0	0	3	0	0		1
15	中型	0	0	0	0	4	0		1
16	小型	0	0	0	0	0	3		1
17	小型	0	0	2	0	0	0		1
18	小型	4	0	0	0	0	0		1
19	小型	0	3	0	0	0	0		1
20	小型	4	0	0	0	0	0		1
21	小型	0	3	0	0	0	0		1
22	小型	0	0	0	0	0	4		1
23	小型	0	0	0	1	0	0		1
24	小型	0	0	0	0	1	0		1

※表内の数字はバース

大型希望時間
大型指定時間

中型希望時間
中型指定時間

小型希望時間

太字は希望時間違反
制約違反

表 C.8 トラック別割り当て結果 case1 PfGA

Truck No.	車格	1	2	3	4	5	6	備考	チェック 割り当て数
		6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00		
1	大型	2	0	0	0	0	0		1
2	大型	0	0	0	3	0	0		1
3	大型	0	0	0	0	1	0		1
4	大型	0	0	0	0	0	2		1
5	大型	0	0	1	0	0	0		1
6	大型	0	0	4	0	0	0	8:00-9:00 時間指定	1
7	大型	0	0	2	0	0	0		1
8	中型	3	0	0	0	0	0	6:00-7:00 時間指定	1
9	中型	4	0	0	0	0	0		1
10	中型	0	1	0	0	0	0		1
11	中型	0	3	0	0	0	0		1
12	中型	0	0	0	0	0	3		1
13	中型	0	0	0	0	4	0	1H以上 (二枠必要)	1
14	中型	0	0	0	0	3	0		1
15	中型	0	0	0	0	2	0		1
16	小型	1	0	0	0	0	0		1
17	小型	0	0	0	4	0	0		1
18	小型	0	4	0	0	0	0		1
19	小型	0	0	0	2	0	0		1
20	小型	0	2	0	0	0	0		1
21	小型	0	2	0	0	0	0		1
22	小型	0	0	3	0	0	0		1
23	小型	0	0	0	4	0	0		1
24	小型	0	0	0	0	0	1		1

※表内の数字はバース

大型希望時間
大型指定時間

中型希望時間
中型指定時間

小型希望時間

太字は希望時間違反
制約違反

表 C.9 トラック別割り当て結果 case1 ABC

Truck No.	車格	1	2	3	4	5	6	備考	チェック 割り当て数
		6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00		
1	大型	0	0	0	1	0	0		1
2	大型	0	0	2	0	0	0		1
3	大型	0	1	0	0	0	0		1
4	大型	0	0	0	0	3	0		1
5	大型	3	0	0	0	0	0		1
6	大型	0	0	3	0	0	0	8:00-9:00 時間指定	1
7	大型	0	0	0	0	0	1		1
8	中型	4	0	0	0	0	0	6:00-7:00 時間指定	1
9	中型	0	0	0	3	0	0		1
10	中型	0	2	0	0	0	0		1
11	中型	0	0	0	2	0	0		1
12	中型	0	0	0	0	4	0		1
13	中型	0	0	4	0	0	0	1H以上 (二枠必要)	1
14	中型	0	0	0	0	1	0		1
15	中型	1	0	0	0	0	0		1
16	小型	2	0	0	0	0	0		1
17	小型	0	0	0	0	0	2		1
18	小型	0	3	0	0	0	0		1
19	小型	0	4	0	0	0	0		1
20	小型	0	0	1	0	0	0		1
21	小型	0	4	0	0	0	0		1
22	小型	0	0	0	0	2	0		1
23	小型	0	0	1	0	0	0		1
24	小型	0	0	0	0	0	2		1

※表内の数字はバース

大型希望時間
大型指定時間

中型希望時間
中型指定時間

小型希望時間

太字は希望時間違反
制約違反

表 C.10 トラック別割り当て結果 case1 FA

Truck No.	車格	1	2	3	4	5	6	備考	チェック 割り当て数
		6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00		
1	大型	0	0	0	0	0	0		0
2	大型	3	0	0	0	0	0		1
3	大型	0	0	0	1	0	0		1
4	大型	0	0	0	0	0	1		1
5	大型	0	0	0	0	3	0		1
6	大型	0	0	2	0	0	0	8:00-9:00 時間指定	1
7	大型	0	0	0	4	0	0		1
8	中型	2	0	0	0	0	0	6:00-7:00 時間指定	1
9	中型	0	0	4	0	0	0		1
10	中型	1	0	0	0	0	0		1
11	中型	0	1	0	0	0	0		1
12	中型	0	0	1	0	0	0		1
13	中型	0	0	0	0	2	0	1H以上 (二枠必要)	1
14	中型	0	0	0	3	0	0		1
15	中型	0	0	0	0	4	0		1
16	小型	0	0	0	0	0	0		0
17	小型	0	0	3	0	0	0		1
18	小型	4	0	0	0	0	0		1
19	小型	0	0	3	0	0	0		1
20	小型	4	0	0	0	0	0		1
21	小型	0	0	0	0	0	3		1
22	小型	0	0	0	0	0	4		1
23	小型	0	2	0	0	0	0		1
24	小型	0	0	0	0	1	0		1

※表内の数字はバース

大型希望時間
大型指定時間

中型希望時間
中型指定時間

小型希望時間

太字は希望時間違反
制約違反

表 C.11 トラック別割り当て結果 case2 SGA

Truck No.	車格	1	2	3	4	5	6	備考	チェック 割り当て数
		6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00		
1	大型	0	0	0	4	0	0		1
2	大型	1	0	0	0	0	0		1
3	大型	3	0	0	0	0	0		1
4	大型	0	0	0	1	0	0		1
5	大型	0	0	0	0	0	1		1
6	大型	0	0	3	0	0	0		1
7	大型	0	0	2	0	0	0		1
8	大型	0	0	0	0	3	0		1
9	中型	0	2	0	0	0	0		1
10	中型	4	0	0	0	0	0		1
11	中型	0	0	0	0	0	2		1
12	中型	0	4	0	0	0	0		1
13	中型	0	4	0	0	0	0		1
14	中型	0	0	4	0	0	0		1
15	中型	0	0	0	2	0	0		1
16	中型	0	0	0	0	0	4		1
17	中型	0	3	0	0	0	0		1
18	中型	0	0	0	0	0	3		1
19	小型	2	0	0	0	0	0		1
20	小型	0	0	0	0	2	0		1
21	小型	2	0	0	0	0	0	6:00-7:00 時間指定	1
22	小型	0	1	0	0	0	0		1
23	小型	0	1	0	0	0	0		1
24	小型	0	0	0	3	0	0		1
25	小型	0	0	0	0	4	0		1
26	小型	0	0	1	0	0	0		1
27	小型	0	0	1	0	0	0		1
28	小型	0	0	0	0	4	0		1

※表内の数字はバース

大型希望時間

中型希望時間

小型希望時間

小型指定時間

太字は希望時間違反

制約違反

表 C.12 トラック別割り当て結果 case2 PfGA

Truck No.	車格	1	2	3	4	5	6	備考	チェック 割り当て数
		6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00		
1	大型	0	0	0	0	0	4		1
2	大型	4	0	0	0	0	0		1
3	大型	0	0	0	0	0	2		1
4	大型	0	3	0	0	0	0		1
5	大型	0	0	2	0	0	0		1
6	大型	0	0	4	0	0	0		1
7	大型	0	0	1	0	0	0		1
8	大型	0	0	0	3	0	0		1
9	中型	1	0	0	0	0	0		1
10	中型	0	0	0	0	1	0		1
11	中型	0	0	0	2	0	0		1
12	中型	0	1	0	0	0	0		1
13	中型	0	2	0	0	0	0		1
14	中型	0	0	0	1	0	0		1
15	中型	0	0	0	0	0	3		1
16	中型	0	0	1	0	0	0		1
17	中型	0	0	0	4	0	0		1
18	中型	0	0	0	0	0	1		1
19	小型	0	0	0	0	3	0		1
20	小型	2	0	0	0	0	0		1
21	小型	3	0	0	0	0	0	6:00-7:00 時間指定	1
22	小型	3	0	0	0	0	0		1
23	小型	0	0	0	0	3	0		1
24	小型	0	4	0	0	0	0		1
25	小型	0	4	0	0	0	0		1
26	小型	2	0	0	0	0	0		1
27	小型	0	0	0	0	4	0		1
28	小型	0	0	3	0	0	0		1

※表内の数字はバース

大型希望時間

中型希望時間

小型希望時間

小型指定時間

太字は希望時間違反

制約違反

表 C.13 トラック別割り当て結果 case2 ABC

Truck No.	車格	1	2	3	4	5	6	備考	チェック 割り当て数
		6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00		
1	大型	2	0	0	0	0	0		1
2	大型	0	3	0	0	0	0		1
3	大型	0	0	4	0	0	0		1
4	大型	0	0	0	3	0	0		1
5	大型	0	0	0	1	0	0		1
6	大型	1	0	0	0	0	0		1
7	大型	0	0	0	0	2	0		1
8	大型	0	0	2	0	0	0		1
9	中型	0	0	1	0	0	0		1
10	中型	0	0	0	0	0	4		1
11	中型	0	0	0	0	1	0		1
12	中型	0	2	0	0	0	0		1
13	中型	0	4	0	0	0	0		1
14	中型	0	0	0	0	0	2		1
15	中型	0	1	0	0	0	0		1
16	中型	4	0	0	0	0	0		1
17	中型	0	0	0	0	3	0		1
18	中型	0	0	0	4	0	0		1
19	小型	0	0	0	2	0	0		1
20	小型	0	0	0	2	0	0		1
21	小型	3	0	0	0	0	0	6:00-7:00 時間指定	1
22	小型	0	0	0	0	0	3		1
23	小型	0	0	0	0	0	1		1
24	小型	0	0	3	0	0	0		1
25	小型	0	0	0	0	0	1		1
26	小型	0	0	0	0	0	3		1
27	小型	0	0	0	0	4	0		1
28	小型	0	0	3	0	0	0		1

※表内の数字はバース

大型希望時間

中型希望時間

小型希望時間

小型指定時間

太字は希望時間違反

制約違反

表 C.14 トラック別割り当て結果 case2 FA

Truck No.	車格	1	2	3	4	5	6	備考	チェック 割り当て数
		6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00		
1	大型	0	0	0	0	0	0		0
2	大型	4	0	0	0	0	0		1
3	大型	0	0	0	2	0	0		1
4	大型	0	3	0	0	0	0		1
5	大型	0	0	0	0	0	2		1
6	大型	2	0	0	0	0	0		1
7	大型	0	0	1	0	0	0		1
8	大型	0	0	0	0	0	0		0
9	中型	0	0	0	3	0	0		1
10	中型	0	1	0	0	0	0		1
11	中型	0	0	0	0	3	0		1
12	中型	0	0	0	0	0	1		1
13	中型	0	0	0	0	4	0		1
14	中型	0	0	2	0	0	0		1
15	中型	0	4	0	0	0	0		1
16	中型	1	0	0	0	0	0		1
17	中型	0	0	0	0	1	0		1
18	中型	0	0	0	1	0	0		1
19	小型	0	0	4	0	0	0		1
20	小型	0	0	0	0	0	4		1
21	小型	0	0	0	4	0	0	6:00-7:00 時間指定	1
22	小型	3	0	0	0	0	0		1
23	小型	0	0	0	4	0	0		1
24	小型	0	2	0	0	0	0		1
25	小型	4	0	0	0	0	0		1
26	小型	0	2	0	0	0	0		1
27	小型	0	0	0	0	2	0		1
28	小型	0	0	0	0	0	3		1

※表内の数字はバース

大型希望時間

中型希望時間

小型希望時間

小型指定時間

太字は希望時間違反

制約違反