

(研究調査資料)

ソフトコンピューティングによる時間割編成の自動化手法

森 靖 之

A Method of Automated Timetabling by Softcomputing

Yasuyuki Mori

Abstract Automated timetabling is a practical problem. Timetabling is a typical application of constraint programming whose task is to allocate activities to slots in available resources, respecting various constraints like precedence and capacity. There are various methods to solve these problems. Especially genetic algorithm (GA) has been widely used in combinatorial optimization problems that is conference timetabling problem, but direct application of GA to grouping problems often turns to fail. This difficulty arises from the large amount of constraints that are intrinsic to the problems of this category. Following this observation, this paper adopts an alternative encoding based on the “grouping genetic algorithm” (GGA) proposed by Falkenauer.

1 はじめに

時間割編成という言葉を知ると学校における講義や試験の時間割が考へるが、病院の看護師含む雇用者の勤務のシフト表やスポーツの試合で出場選手を決めるシフト表も考へられる。いかに効率よくシフト表を組むかというのが時間割編成問題といえる。この時間割編成問題は、いまでもなくスケジューリング問題の一種である。

その中でも、学校の講義や試験の時間割編成は、担当職員にとってきわめて多大な時間がかかる問題として身近な問題となっている。この問題にコンピュータを用いる試みがなされてきて30年以上の年月が経っている。これまで、線形計画法やグラフ理論アプローチが試されてきたが、結局は、実際規模の問題を解くためには、ヒューリスティックなアルゴリズムが主として用いられてきた。

しかし近年、コンピュータのCPUパワーの増大と、モデリングの比較的容易なメタヒューリスティックな手法が研究されてきたために、この時間割編成問題でも取り入れられるようになってきた。この問題を、組合せ最適化問題として見ることにより、柳浦・茨木らによる調査論文では、メタヒューリスティックな手法として取り上げられている。メタヒューリスティックな手法とは、

過去の探索履歴を利用して新たな解を生成し、その生成した解を評価して、その情報を解の探索にフィードバックするという操作を繰り返すものである。柳浦・茨木らは、1機械スケジューリング問題及び充足最大化問題に対して、欲張り法、局所探索法などの近似解法、多スタート局所法、遺伝的アルゴリズム (GA)、シミュレーテッドアニーリング (SA)、タブー検索法など実際に適用して性能評価を行っている。その結果、これらの問題に対して、GAにより得られる解の精度は高くないことや局所探索法では、近傍の取り方に結果が大きく依存することが報告されている。

しかしながら、時間割編成問題のような組合せ最適化問題に対しての各手法の性能評価に関しては、検討の必要がある。そこで、本稿では、各時間割編成問題に対しての解法を紹介して、あまり研究論文の報告がされていない学術学会講演会プログラムにおける時間割編成問題に焦点を当てて議論を進めていく。

2 時間割編成問題

一般に学校の講義や試験の時間割や学術学会講演会などにおいては、あらかじめ準備された部屋と時間帯の直積空間の配列上に、試験や講義、講演などを割り当てるのが時間割編成問題である。すなわち、時間割問題とは、イベント e_i の集合を \mathcal{E} とし、資源 r_j の集合を \mathcal{R} とするとき写像

$$\phi: \mathcal{E} \rightarrow \mathcal{R}$$

を決める問題である。ここでイベントおよび資源の要素の一つ一つが様々な属性をもつ。また、資源の中には既に別のイベントが割り当てられていて使用できないものも存在する。

また、時間割編成問題には、制約条件が非常に重要であり、制約条件は、イベントの部分集合と資源の部分集合またはそれらの属性からなる論理式で表現できる。これから各種の時間割編成問題の特徴と相違点について述べる。

2.1 大学の講義・試験時間割

大学の講義時間割問題は、イベントが講義、資源が時間割と教室を特定した枠であることとみることができる。各授業には、教員名、必修・選択、標準配当年次、履修者数、設備条件などが属性として存在する。

ハード制約として、「同じ教員が同一時間帯において複数の講義を担当できない。」と「同一年次開講の必修科目が同一時間帯に2科目以上存在することができない。」といった制約がある。ただ、前者においては、担当教員を変更することにより回避も可能である。大学の講義時間割問題は、一見して中高校の時間割と似ていると思いがちであるが、大学の講義では選択科目が多く、

高校などのように学生を単純にグループで扱えないという特徴がある。また、単位修得に失敗して再履修者が発生することが避けられないため、そうした学生が困らないような配慮が必要などといったソフト制約が多数発生する。

なお、大学の試験時間割については、全学内で試験のスケジュールを作成する大学は多い。その場合、個人ごとに試験が同じ時間帯に重ならないかということが重要である。

2.2 学校（高校・中学）の時間割

学校（高校・中学）の時間割においては、生徒をクラス単位で一括して扱うことができる。また、教員の時間割が非常に窮屈であるなどの特徴がある。

2.3 雇用者用時間割

雇用者用時間割とは、看護師のシフト勤務スケジュール、バス乗務員の勤務スケジュールなどの作成である。3交替あるいは2交替では、すべての交替時刻が基本的に同じ3つあるいは2つの時刻であり、学校の時間割と同じに扱うことが可能な部分もある。しかし、バス乗務員スケジュールでは、担当バスの開始・終了時刻は、様々であり、同じ長さの時間帯にイベントをはめ込む通常的时间割とは、かなり異なるものである。なお、看護師のシフト勤務スケジュール問題では、看護師一人ずつの労働面からの扱いを重視する必要性から、各人の勤務パターンを中心にしたヒューリスティックなアルゴリズムが提案されている。[12, 13]

2.4 学術学会講演会時間割

学術学会講演会時間割は、セッションを1つの資源と見て、発表を1つのイベントとみると、形の上では、他の時間割と同じに見ることができる。今回は、簡単に時間割編成問題の解法について説明した後で、この学術学会講演会時間割編成問題の解法について考えてみる。

3 時間割編成問題の解法のための手法

この章では、時間割編成問題における解法のための手法について説明を行う。

まず、最初にグラフ彩色問題の方法が考えられる。同時に開催できるイベントを決定するという立場から同時開催できない競合する別のイベントの集合をあらかじめ求めておく。グラフにおいて、設定をイベント、辺を競合するイベント間に付与するとき、辺でつながれている節点に同じ色を塗ることができない。このとき、同じ色を塗られたイベントを同じ時間帯に開催するとして、節点に色を塗る問題として時間割編成問題を考えることができる。

次に、遺伝的アルゴリズム (GA) の適用が考えられる。GA は、ダーウィンの自然選択に遺伝子を取り入れたネオダーウィニズムの原理を工学的な最適化問題に適用する方法である。与えられた最適化問題を「環境」と考えて、環境によく適応する個体が遺伝的に出現することを期待するものである。染色体の文字列を1個体として、個体郡の中で選択、交叉、突然変異といった遺伝的操作をランダムに繰り返すというアルゴリズムである。なお、アルゴリズムの説明には、遺伝学用語が用いられ、染色体とは、1つのコードを表し、遺伝子とは、コードの中の各位置、対立遺伝子とは、遺伝子に入ることのできる記号のことを表す。時間割編成問題では、各イベントを遺伝子座とし、対立遺伝子として部屋や時間帯などの資源を用いて、1個体を一つの時間割全体としたりする。

更に、SOM(Self Organizing Maps)による解法も考えられる。1973年にマーズバーグがSOMの先駆的な開発を行い、コーネンがこのアルゴリズムの簡略化に成功し [9]、使いやすいものとした。この技術は、音声認識の分野で、音素マップを含むクラスタ化(類似性)図形をつくることに成功している。このSOMを利用して、高次元データを2次元マップ化し、トポロジカル(位相幾何学的)な特徴を維持することにより、細かいもののパターン識別して、データから直接見ることのできないデータ構造をビジュアル化する用途をもっている。時間割編成問題にこのSOMの技術を用いた事例として、学会講演会時間割編成問題に、各論文のもつ複数のキーワードの高次元データの探索空間(SOM)から時間割の部屋と時間帯の2次元SOMに落とし込むことにより、類似論文を近くセッションに配置できることが報告 [16] されている。

最後に、局所探索法や近傍探索法が考えられる。これらの方法は、一つの個体を扱う操作である点が、既に述べたGAとは基本的に異なっている。通常近傍とは、コード空間において、現在着目している値の隣であるようなコードのことをいう。時間割編成問題で考えると二つのイベントを入れ替えるというのが近傍にあたる。可能な近傍集合の中から最もよいものを採用するという方法は計算時間が膨大になるため、ランダムに二つを選んで改善されれば進化するというような目的関数の改善をベースにした手法は、局所最適化手法である。局所探索の改善としてタブーサーチ [14, 15] やシミュレーテッドアニーリングなどの手法が研究されている。

また、以上の複数の手法を融合させることにより、ハイブリッド化した手法も研究されている。

4 学会講演会時間割編成問題の解法

発表の数が二三百から数百にのぼるような、中規模から大規模な学術講演会のプログラムの編成問題を考察する。このような講演会は3日か4日程度の日程で、多数の部屋に分かれて平行して講演を行うのが通例である。1件あたりの講演時間は講演会によって異なり、15分から30分程度であるが、1つの学会においては、1講演の時間はすべての部屋の講演で同じ時間として、

途中で興味のあるセッションの会場へ移動することのできるようなプログラムが組まれていることが多い。このようなプログラムを編成するために、あらかじめ講演申込者からタイトル、キーワードや希望セッションなどの情報を集め、学会事務職員等による前処理をおこなったあと、多数の委員が集まって長時間かけて行うのが通例であると思われる。それにもかかわらず、複数個のキーワードを詳細に検討するのはおそらく困難であるし、時には全く違う講演が同じセッションに入っていて興ざめな思いを経験することもある。

近年は、企画セッションやテーマセッションが増えてきた。この1つの理由としては、自由に投稿した場合に、類似の論文をグルーピングし、優れた時間割を編成するのが困難であるためにそれを回避するという意味があると思われる。しかし、自由に講演を申し込み、その上で関連の深い講演が同じセッションで行われれば、学会はより興味深いものとなろう。また、インターネットの普及により、学会の申し込みはWEB上で行うのが普通になってきた。こうした現状を考えると、効率の良い学会プログラム編成への期待は今後高まると思われる。

プログラム編成問題は、何らかの目的を定義して、組合せ最適化問題として扱うことができる。組合せ最適化問題においては、メタヒューリスティック法 [1, 7, 11], とりわけ遺伝的アルゴリズム (genetic algorithm; GA) はよく用いられる。単純遺伝的アルゴリズム (simple genetic algorithm; SGA) はその形態から、組合せ最適化問題によく用いられるが、既存のヒューリスティックな手法や他のメタヒューリスティック手法と比較して有用であるとは必ずしも言えず [11], 特に、グルーピング問題には必ずしも適していない。それに対して、Falkenauer [3, 4] は、Grouping Genetic Algorithm(GGA) を提案して、このアルゴリズムを BPP(Bin Packing Problem) [3] に適用した。本稿では、グルーピング問題の1つである学会プログラム編成問題において、セッション構成問題に GGA を適用することを提案し、その効果を検討した。

4.1 学会プログラム編成問題

学術講演会の成否はセッションの中でお互いに興味のある発表が集められ、活発な議論が展開できるかどうかにかかっているといても過言ではない。それほどセッションの組み方は重要であると思われる。

しかし、どの論文を組み合わせてセッションにするかということは自明ではない。そこで、本稿では、著者によってあらかじめキーワードが数個ずつ与えてあるものとして、キーワードが一致するような論文を集めるという組合せ最適化問題として問題をとらえる。

本稿では、これまで報告された論文 [17, 18] をもとに以下の前提で問題を解説する。

前提

1. 論文は P 個あるとする。

2. 論文 p の著者 $\{a_p(1), \dots, a_p(n_p)\}$ は自ら数個のキーワード $\{k_p(1), \dots, k_p(w_p)\}$ を提供する.
3. セッション $\{s(1), \dots, s(M)\}$ は, それぞれ同じキーワードを持つ論文から構成されることを目標とする.
4. 各セッションに許される時間の長さ τ は同一とする.
5. 各論文の発表時間の長さ h は同一とする.
6. 特別講演など, 特別の時間や部屋の使用を行うものは事前に配置しておき, 問題要素から除外する.
7. キーワードは必ずしも同じでなく表現が異なるが内容はほぼ同一ということもあるし (例えば「遺伝的アルゴリズム」と「GA」), 内容的にある程度の差異はあるが類似性もあるというようなもの (例えば「遺伝的アルゴリズム」と「進化的アルゴリズム」などのような) もあるが, 最初に挙げた例のようなものは計算をする前に整理することで解決できる. また, 後に挙げた例については統一するか関連をもたない別のキーワードとして扱うかのいずれかとする.
8. 司会者の選定は, セッションを組んだのちに関連する研究に携わっている者に依頼するケースが多いと考えられる. その場合, 当初の申込者以外の者を含めることも多いと思われるため, 今回の問題では司会者を決定する問題は除外する.
9. セッションを構成したのちにセッションを配置するものとする. 従って, セッション構成問題とセッション配置問題を考える必要がある. セッションを配置してみて, ハード制約に違反するためセッションを構成しなおすべきという状況がないわけではないが, そのようなケースは少ないと考え, ここでは2つの問題を順に行うものとする.

4.2 セッション構成問題

すべてのセッションについて, そのセッションを構成する論文が同じキーワードを持つように組合せを求めることができればそれが最良である. ただし, それが無理な場合もなるべく多くのセッションでほとんどの論文のキーワードが共通であるように組み合わせることを目標とする.

4.3 ハード制約

4.3.1 セッション当り論文数の上限

セッションの長さは τ を上限としているので, セッションあたりの論文の個数は $M = \tau/h$ を超えてはならないものとする. この制約により, セッションの配置を工夫することができるだけでなく, ある時間帯をすべて占有する特別講演や休憩時間を余裕をもって入れることができるようになる.

4.3.2 セッションの数の上限

会場準備のために、あらかじめ設けることのできるセッションの数はハード制約として決まっている場合が多い。ここでも、セッションの数の上限はハード制約とする。すべてのセッションに論文をフルに埋めても論文が収まりきらない場合はこのハード制約は守れないが、そういうケースが生じそうな場合には発表の受理を制限するなどの方法で対処するものとする。

4.4 GGA を用いた解法

まず、この問題を SGA で考えると、それぞれの論文番号を遺伝子座とし、セッション名を対立遺伝子としてエンコーディングすることが一般的な方法である。ただし、セッションを構成するというグルーピング問題という視点で見ると、GA 操作により個体がひどく壊される可能性がある。しかし、GGA では、個体に付随するグループだけを遺伝的操作するように設計されたもので、それぞれのセッションを遺伝子座とし、論文番号を対立遺伝子としてある遺伝子座に対して、複数の対立遺伝子をもつようにエンコーディングする方法である。この手法により、よいグループつまりセッションが構成されると GA 処理によりそのよいグループが継承されるという特性をもっている。

4.5 セッション構成 GGA

ここではセッション構成のための GGA のアルゴリズムを具体的に示す。

4.5.1 適応度

ここでは、セッションの内容のみを議論するので、各セッションの適応度の求め方を定義し、その総和を個体の適応度とする。セッションの適応度は、配置された論文の共通のキーワードの個数に応じて設定する。いま、キーワード w はこのセッションの中で $n(w)$ 個の論文が共通して持っているものとする。なるべく多くの論文がキーワードを共通に持っていることが望ましいので、このキーワードの個数に対する適応度を $u(n(w))$ とおき、具体的には例えば表 1

表 1: Fitness values for a session with respect to the number of papers of common keyword.

$n(w)$	1	2	3	4	5	6
$u(n(w))$	0	2	4	9	16	25

のようにおく。そこで、このセッション l に含まれているキーワード $w_1^l, \dots, w_{n_l}^l$ と、それぞれをもつ論文の個数 $n(w_1^l), \dots, n(w_{n_l}^l)$ を求める。セッションの適応度として、それらの総和 $\sum_{v=1}^{n_l} n(w_v^l)$

を用い、個体の適応度 f は、それを時間割全体に亘って足したものにする。すなわち

$$f = \sum_{l=1}^{\mu} \left(\sum_{v=1}^{n_l} u(n(w_v^l)) - p(l) \right) \quad (1)$$

である。

なお、同一セッション内に同じキーワードをもつ論文が集中すると高い適応度が得られるよう、表 1 にあるように、キーワードの数に対する適応度 $u(n(w))$ の設定値は、 $n(w)$ が大きくなるにつれて、急速に増大するように設定する必要がある。また、 $p(l)$ はセッション l における、キャパシティに満たない論文数によって決まるペナルティであるが、以下のアルゴリズムではセッションあたりの論文数は、端数以外の部分で不足は生じないようにしているため、具体的には値を設定していない。

【例】

あるセッションが次のようなキーワードをもつものとする。

Keyword	論文 1	論文 2	論文 3	論文 4	論文 5
kw1	✓	✓	✓	✓	✓
kw2	✓	-	✓	✓	✓
kw3	✓	-	-	-	-
kw4	-	✓	-	✓	-

このセッションに対応する適応度は $16 + 9 + 2 = 27$ となる。

4.5.2 アルゴリズム

1. 初期個体の生成

論文 $P_i, i = 1, \dots, n$ をランダムに並び替え、それをセッション $1, 2, \dots, \mu$ に順に格納する。論文が残っていれば再度 $1, 2, \dots$ に戻り、すべての論文をいずれかのセッションに格納する。これにより、各セッションにおいて、キャパシティ限度まで詰め込んだ初期個体が生成される（いくつかのセッションは1つの空きがあるかもしれない）。世代番号 $t = 0$ とする。また、このときの個体群を $P(0)$ とする。

2. 所定の回数繰り返す

選択 ランキング選択を採用する。世代 t の個体集合 $P(t)$ の各個体 i の適応度 f_i (f_i はすぐ上で述べた適応度 f を個体 i について求めたもの) により、個体群を更新する。ただし、全個体の上位 $1/2$ までの個体を、複製数がランクにしたがって直線的に減少するような関数に従って複製する。

交叉 個体集合中の個体を，重複を許さずに2個ずつランダムに組み合わせる．各個体の各遺伝子座で入れ替える確率を0.5にして一様交叉を行う．

突然変異 突然変異は，1個体内の一部入れ替え操作と位置づけ，セッション突然変異と論文突然変異を行う．セッション突然変異は，セッションの順を突然変異により変更する．論文突然変異は，ランダムに選ばれた2つの異なるセッションから論文を1つずつランダムに選び，それらを交換する．

なお，交叉・突然変異後各個体内で論文が重複，不足することがあるので，下記の局所操作のアルゴリズムを次に実行する．

局所操作

1. 各個体内でグループに属していない論文を抽出し，リストを作成する．
2. 各個体内で複数個のグループに所属している論文を抽出し，その論文それぞれについて，候補となっているセッションごとに適応度が高い方を残して，他方のセッションに属している論文を削除する．
3. (2)で論文が削除されたセッションに(1)で抽出した論文の中から適応度の高くなる論文を追加する．追加した論文を(1)のリストから削除する．
4. 不足している論文がなくなるまで(2)と(3)を繰り返す．

以上の操作を行い得られたものを，次世代の個体群 $P(t+1)$ とする．最後に世代数を $t := t+1$ により更新する．

4.6 実験結果

この実験は，313論文から56セッションに編成する時間割を考えた．SGAとGGAの性能の比較を行いながら，セッション構成の性能を議論する．

各セッションの論文数の上限を6論文とした．そのため，セッション数は56とおいた．部屋は7室準備してあるので，その7室で，同じ発表者が重複しないように行った．個体群の個体数は50とおいた．セッション構成の初期解は，ランダムに生成したが，比較のためにSGA，GGAの両方において，同じ初期解を用い，その適応度は263である．セッションごとの適応度には表1を用いた．

図1は，セッション構成問題においてSGAとGGAを適用して，各適応度を時系列に表し比較したものである．この問題に，GGAを適用することの有効性は，明らかである．

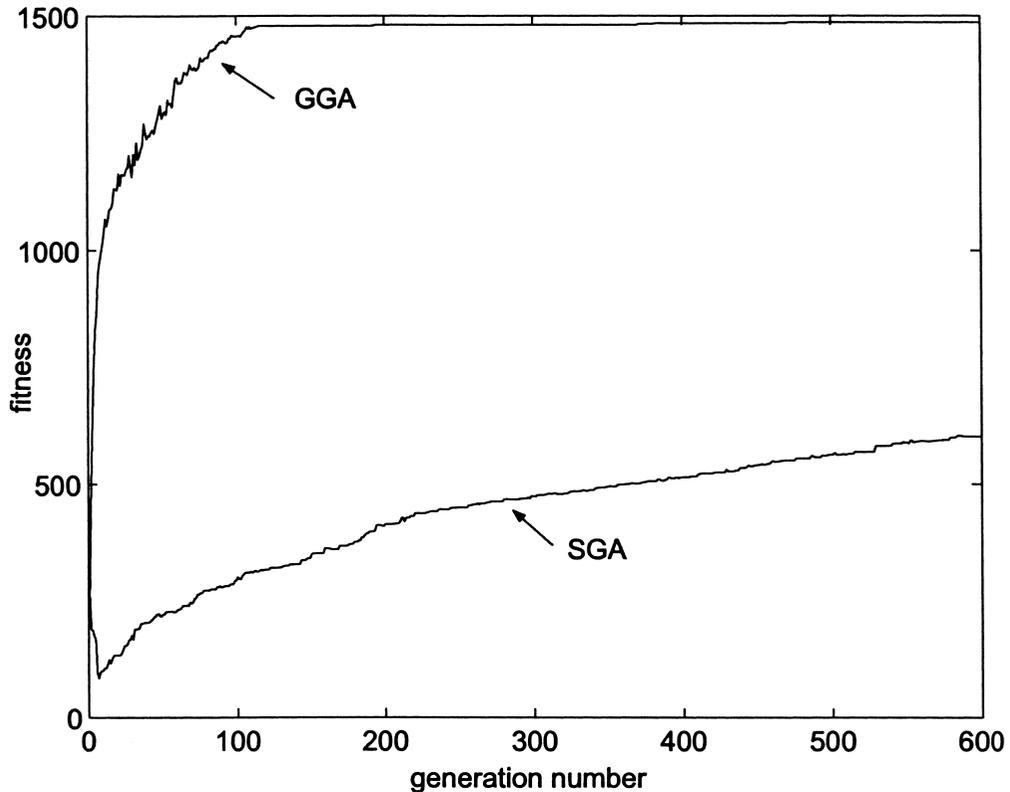


図 1: Transition of fitness values of session construction.

5 おわりに

本稿では、各時間割編成問題について紹介し、どのようにして自動化をするのかについて解説した。そして、学術学会時間割編成問題において、自動化の手法としてGGAを適用したことにより、学会プログラム編成問題のセッション構成時においてGGAの有効性が示されたことを述べた。

今回のようなソフトコンピューティングによる時間割編成の自動化手法は、今後実用化される可能性が高い。そのため、イギリス Nottingham 大学の Edmund Burke 教授が議長を務める国際会議 The International Series of Conferences on the Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT) という時間割編成の自動化手法をテーマとした国際会議が1995, 1997, 2000, 2002年に開催されるまでに至っている。この2002年に行われた学会には、学術学会時間割編成

問題の解法について論文 [17] を投稿し壇上発表を行った。なお、今後もこの分野の研究の発展を期待する一方で、自ら研究に従事していきたい。

参考文献

- [1] 電気学会 GA 等組合せ最適化手法応用調査専門委員会編 (1998) 遺伝アルゴリズムとニューラルネットワーク-スケジューリングと組合せ最適化-, コロナ社
- [2] A.E.Eiben, J.K Vander Hauw and J.I.Van Hemert (1996) Graph Coloring with Adaptive Evolutionary Algorithms; *Journal of Heuristics*, Vol.4, pp.25-46
- [3] E.Falkenauer (1994) A New Representation and Operators for Genetic Algorithms Applied to Grouping Problems; *Evolutionary Computation*, Vol.2, No.2, pp.123-144
- [4] E.Falkenauer (1996) A Hybrid Grouping Genetic Algorithm for Bin Packing; *Journal of Heuristics*, Vol.2, pp.5-30
- [5] E.Falkenauer (1998) *Genetic Algorithms and Grouping Problems*, John Wiley & Sons
- [6] D. E. Goldberg (1989) *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison Wesley
- [7] V.J. Rayward-Smith, I.H. Osman, C.R. Reeves and G.D. Smith (1996) *Modern Heuristic Search Methods*, Wiley
- [8] 坂和正敏, 田中雅博 (1995) 遺伝的アルゴリズム, 朝倉書店
- [9] T.Kohonen (1995) *Self Organizing Maps*, Springer-Verlag
- [10] 田中雅博 (2001) メタヒューリスティック手法による時間割編成の自動化; システム制御情報学会論文誌, Vol.45, No.12
- [11] 柳浦睦憲, 茨木俊秀 (2001) 組合せ最適化-メタ戦略を中心に-, 朝倉書店
- [12] 池上, 丹羽 (1998) 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—; *j.Operations Research of Japan*, Vol.41, No3, pp.572-588
- [13] 池上 (2000) 2 交替制ナース・スケジューリングのアルゴリズム改善; *j.Operations Research of Japan*, Vol.43, No3, pp.365-380

- [14] F.Glover (1989) Tabu search –part I; *ORSA J. Computing*, Vol.4, pp. 190–206
- [15] F.Glover (1990) Tabu search –part II; *ORSA J. Computing*, Vol.2, pp. 4–32
- [16] M.Tanaka, Y.Mori and A.Bargiela (2002) Granulation of Keywords Into Sessions for Timetabling Conferences; *Proceedings of SCIS & ISIS 2002*, 23B3-2, PP.1–5
- [17] Y.Mori and M.Tanaka (2002) A Hybrid Grouping Genetic Algorithm for Timetabling of Conference Programs; *Proceedings of the 4th International Conference on Practice And Theory of Automated Timetabling*, pp.421–440
- [18] 田中雅博, 森靖之 (2003) グルーピングGAによる学会時間割編成法; システム制御情報学会論文誌, Vol.16, No.8, pp.406–414

高松大学紀要

第 40 号

平成15年 9月25日 印刷

平成15年 9月28日 発行

編集発行 高松大学
高松短期大学
〒761-0194 高松市春日町960番地
TEL (087) 841 - 3255
FAX (087) 841 - 3064

印刷 株式会社 美巧社
高松市多賀町 1 - 8 - 10
TEL (087) 833 - 5811