

汎用ソルバーによる研究集会開催日程 スケジューリングの自動化

小木曾 由明, 野々部 宏司, 柳浦 睦憲

1. はじめに

近年, 時間割やスケジュールの作成を自動化する研究が盛んに行われているが, これらを人手で作成している事例も依然として数多くある. 自動化が実現されない原因の1つとして, とくに中小規模の問題を扱う現場においては, システムの開発や導入, 運用にかかる費用を負担する余裕のないことが挙げられる [6]. また, 自動化のためのアルゴリズムは利用可能であるとしても, 十分なインターフェースが備わっていないために実用化に至らないケースも見られる [2].

本研究では, 京都大学数理解析研究所 (Research Institute for Mathematical Sciences, RIMS) における研究集会の開催日程スケジューリングを扱う. RIMSでは, スケジュール作成の作業を毎年人手で行っており, 70 を超える数の研究集会の日程調整に多くの労力と時間を費やしている. そこで, この業務にかかる負担を軽減するため, 計算機によるスケジュール作成を試みた. その際, 既存の汎用ソルバーを活用することで, アルゴリズム開発の手間を省いている. 具体的には, 問題を重み付き制約充足問題 (weighted constraint satisfaction problem, WCSP) として定式化し, 既存の WCSP ソルバー [3, 4] を適用することでスケジュールの作成を行った. また, データの入力や結果の表示を Excel 上で行うことができるユーザインターフェースを実装した. 本章以降では, 本研究で扱う問題と WCSP の定義について説明した後, スケジュール作成問題の

WCSP への定式化と適用結果, さらにユーザインターフェースについて述べる.

なお, 研究集会のスケジューリングに関連した話題として, (ある1つの) 学会や研究発表会のプログラム作成がある. これについては自動化の事例がこれまでに報告されている [1, 5].

2. 問題説明

RIMS 研究集会のスケジュール作成問題について説明する.

この問題では, 4月1日から翌年の3月31日までの期間に開催することが決定している t 個の研究集会について, それぞれをいつ, どの部屋で開催するかを決定することが求められている. ここで, 部屋は3部屋あり, 各研究集会について開催可能な部屋が少なくとも1つ与えられている. また, 開催日程については, 各研究集会に対して第1希望から第3希望までの3つの候補が与えられており, この中から1つを選択する. なお, 研究集会は, 連続する1つの期間で開催される場合と2つの期間に分けて開催される場合があり, 後者の場合, 期間の組が1つの候補として与えられる.

スケジュールを作成する際の制約条件を以下に列挙する.

以下の制約 (i)~(iii) は部屋の使用に関するルールである.

- (i) 同日に同じ部屋で2つ以上の研究集会を行ってはならない.
- (ii) 各研究集会が使用する部屋は1つのみである. また, 研究集会が数日に渡って開催される場合は開催期間中同じ部屋で開催されなければならない.
- (iii) 各研究集会に対して, 同日程に開催可能な部屋が複数空いている場合は収容人数の最も大きな部屋で開催しなければならない.

以下の制約 (iv)~(vii) は個々の研究集会の要望であり, 各制約の有無は研究集会によって異なる.

おぎそ よしあき
中部電力株式会社 三重支店
〒 514-8558 三重県津市丸之内 2-21
ののべ こうじ
法政大学デザイン工学部
〒 102-8160 東京都千代田区富士見 2-17-1
やぎうら むつのり
名古屋大学大学院情報科学研究科
〒 464-8601 名古屋市中千種区不老町
受付 11.2.28 採択 13.1.22

(iv) 他の特定の研究集会と同一週に連続開催しなければならない。このとき、それぞれの研究集会を開催する部屋も同じでなければならない。ただし、連続開催を希望する2つの研究集会は、同一希望順位の開催期間がそれぞれ連続しており、開催可能な部屋は一致しているものとする。

(v) ある特定の期間に、特定の部屋で開催しなければならない。

(vi) 第1希望の開催日程での開催が強く望まれる。

(vii) 他の特定の研究集会と同一週に開催してはならない。

以下の制約 (viii), (ix) はスケジュール作成業務を行う RIMS 共同利用掛からの要望であり、事務手続きを円滑に行うためのものである。

(viii) 1週間の間に4つ以上の研究集会を開催してはならない。

(ix) RIMS の年間行事が予定されている期間など、あらかじめ定められた期間に研究集会を開催することは極力避けなくてはならない。開催せざるを得ない場合でも2つ以上の研究集会を開催してはならない。

これらの制約のうち、(i)~(v), (viii) は必ず満たさなければならない絶対制約である。一方、(vi), (vii), (ix) は考慮制約であり、必ずしも満たす必要はないが、満たすことが望ましい。

すべての制約を満たし、しかもすべての研究集会を第1希望の日程で開催することができれば理想的であるが、通常これは困難である。そのため、実際にはいくつかの研究集会を希望順位の低い日程や希望外の日程で開催したり、いくつかの考慮制約に違反したりすることになる。この場合のスケジュールの評価基準は明確でなく、最終的な判断はスケジュール作成者に委ねられている。

3. 重み付き制約充足問題 (WCSP)

本研究では、前章で述べたスケジュール作成問題を WCSP として定式化する。以下ではまず、WCSP について述べる。

WCSP とは、制約充足問題 (constraint satisfaction problem, CSP) の自然な拡張の1つである。CSP は、 n 個の変数 X_i ($i = 1, 2, \dots, n$) と、各 X_i について X_i の取りうる値の集合 D_i 、および m 個の制約 C_l ($l = 1, 2, \dots, m$) で定義され、すべての制約を満たすよう各変数 X_i に値 $j \in D_i$ を割り当てる問題である。ここで、変数 X_i とその値 $j \in D_i$ の組のそれぞれに

対して、0-1 変数 x_{ij} を

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{変数 } X_i \text{ が値 } j \text{ をとる} \\ 0, & \text{その他} \end{cases}$$

と定義し、割当てを 0-1 ベクトル

$$\mathbf{x} = (x_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, n, j \in D_i)$$

を用いて表すことにする。このとき、各変数には値が1つずつ割当てられることから、

$$\sum_{j \in D_i} x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

でなくてはならない。以下では、条件 (1) を満たす 0-1 ベクトル \mathbf{x} を CSP あるいは WCSP の解と呼ぶ。

CSP の目的がすべての制約を満たす解を求める（またはそのような解が存在しないことを示す）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。より厳密には、WCSP において、各制約 C_l はその重要度を表す重み $w_l (\geq 0)$ と制約違反度を表すペナルティ関数 $p_l(\mathbf{x})$ を持ち、WCSP は以下の最小化問題

$$\begin{aligned} \text{minimize} \quad & p(\mathbf{x}) = \sum_{l=1}^m w_l p_l(\mathbf{x}) \\ \text{subject to} \quad & \sum_{j \in D_i} x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

として定式化される。ただし、各 p_l は、解 \mathbf{x} が C_l を満たすとき $p_l(\mathbf{x}) = 0$ 、満たさないとき $p_l(\mathbf{x}) > 0$ であるとする。なお、制約 C_l を絶対制約として扱いたい場合は、重み w_l を十分大きな値に設定することで対処する。

CSP では、各制約 C_l の記述方法について特に制限はなく、線形や非線形の等式や不等式、論理式、制約を満たす値の組の集合など、形式を自由に選ぶことができる。WCSP では、ペナルティ関数 p_l を記述することが C_l を記述することに対応し、 p_l の記述方法について原理的には特に制限はない。この自由度の高さが、CSP や WCSP の最大の長特である。

4. WCSP への定式化

スケジュール作成問題を WCSP に定式化する方法について述べる。

ここでは、問題をより一般的に扱うため、部屋の個数を s 、日にちの集合を U とし、各研究集会 i には開催可能な部屋の集合 $S_i \subseteq \{1, \dots, s\}$ と、第1希望から第 v 希望までの開催日程候補が与えられているとする。また、特定の期間内の研究集会開催数を制限した

表 1 希望順位と部屋に対応するラベル

	部屋 1	部屋 2	部屋 3
第 1 希望	(1, 1)	(1, 2)	(1, 3)
第 2 希望	(2, 1)	(2, 2)	(2, 3)
第 3 希望	(3, 1)	(3, 2)	(3, 3)
希望外	(4, 1)	(4, 2)	(4, 3)

い場合は、そのような期間ごとに、開催してもよい研究集会数の上限が与えられているものとする。

各研究集会 i ($i = 1, 2, \dots, t$) を変数 X_i と対応させ、 X_i の領域 D_i を、「第 k 希望の日程で部屋 h で開催する」ということを示すラベル (k, h) の集合

$$\{(k, h) \mid k = 1, \dots, v+1, h \in S_i\}$$

とする。ここで、ラベル $(v+1, h)$ は、第 1 希望から第 v 希望のいずれの日程にも割り当てることができず、希望外の日程で開催されることを示す。例として、今回扱った RIMS 研究集会のスケジュール作成問題における変数のラベル付けを表 1 に示す。なお、本研究では、WCSP の解においてラベル $(v+1, h)$ が割り当てられた研究集会については、その具体的な日程を、スケジュール作成者が諸事情を考慮しながらあとから人手で決定することを想定している。

以上のように X_i と D_i を定義することで、スケジュール作成問題の制約 (ii) は自然に満たされることになる。また、制約 (iv) については、各希望の開催期間が連続であるため、同一週に連続する 2 つの研究集会を合わせて 1 つの変数 X_i と見なすことで満たすことができ、制約 (v) は、変数 X_i の領域 D_i を唯一の値を含む集合とすることで満たすことができる。

そのほかの制約は、以下に述べるとおり、0-1 変数 $x_{i(k,h)}$ に関する線形不等式で記述することができる。なお、以下では、説明の簡便のために $x_{i(k,h)}$ を x_{ikh} と表記する。

この問題では、可能な限り各研究集会を希望順位の高い日程で開催することが求められている。そのために、パラメータ α_{ikh} ($i = 1, 2, \dots, t, (k, h) \in D_i$) を導入する。ただし、 $\alpha_{ikh} < \alpha_{ik'h}$ ($k < k'$) であるとする。そして、これらを用いて線形制約

$$\sum_{(k,h) \in D_i} \alpha_{ikh} x_{ikh} \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, t \quad (2)$$

を考慮制約として追加する。ここで、 α_{ikh} を適切な値に設定することで、制約 (iii) を記述することができる。また、制約 (vi) は、 α_{i1h} の値と第 2 希望以降に対応

する $\alpha_{ik'h}$ ($k' \geq 2$) の値の差を大きく設定することで実現可能となる。

次に、残りの制約の定式化について述べていく。

制約 (i) を実現するために、

$$\beta_{iku} = \begin{cases} 1, & \text{研究集会 } i \text{ の第 } k \text{ 希望の開催日程に} \\ & \text{日にち } u \text{ が含まれる,} \\ 0, & \text{含まれない,} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, t, k = 1, 2, \dots, v, u \in U$$

とし、部屋 h で開催可能な研究集会の集合を T_h とする。これらを用いて、以下の制約

$$\sum_{i \in T_h, 1 \leq k \leq v} \beta_{iku} x_{ikh} \leq 1, \quad u \in U, h = 1, 2, \dots, s \quad (3)$$

を設ける。この制約は同じ部屋で開催可能な研究集会の中から同じ日に高々 1 つまでしか選ぶことができないことを示している。

また、制約 (viii) や (ix) のように、ある期間 $U' \subset U$ 内に開催する研究集会数を、与えられた上限 q 以下に制限する制約は、各期間 U' に対して、

$$\beta'_{ikU'} = \begin{cases} 1, & \text{研究集会 } i \text{ の第 } k \text{ 希望の開催日程に} \\ & \text{期間 } U' \text{ 内の日が含まれる,} \\ 0, & \text{含まれない,} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, t, k = 1, 2, \dots, v$$

とし、

$$\gamma_i = \begin{cases} 2, & \text{変数 } X_i \text{ が連続する 2 つの研究集会} \\ & \text{に対応している,} \\ 1, & \text{変数 } X_i \text{ が 1 つの研究集会に対応し} \\ & \text{ている,} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, t$$

を用いて、

$$\sum_{1 \leq i \leq t, 1 \leq k \leq v, 1 \leq h \leq s} \gamma_i \beta'_{ikU'} x_{ikh} \leq q$$

を導入すればよい。制約 (viii) については、各週を U' としてそのおのおのについて制約式

$$\sum_{1 \leq i \leq t, 1 \leq k \leq v, 1 \leq h \leq s} \gamma_i \beta'_{ikU'} x_{ikh} \leq 3 \quad (4)$$

を導入し、制約 (ix) については、特定の期間を U' とし、右辺を 0 とする考慮制約

$$\sum_{1 \leq i \leq t, 1 \leq k \leq v, 1 \leq h \leq s} \gamma'_i \beta'_{ikU'} x_{ikh} \leq 0 \quad (5)$$

と、右辺を 1 とする絶対制約

$$\sum_{1 \leq i \leq t, 1 \leq k \leq v, 1 \leq h \leq s} \gamma'_i \beta'_{ikU'} x_{ikh} \leq 1 \quad (6)$$

の 2 つの不等式制約式を導入する。

制約 (vii) については、同一週開催を禁止する研究集会のペア i, i' に対し、 i の第 k 希望と i' の第 k' 希望の開催期間が同一週に含まれている場合、

$$\sum_{h \in S_i} x_{ikh} + \sum_{h' \in S_{i'}} x_{i'k'h'} \leq 1 \quad (7)$$

とすることで定式化できる。

以上の制約式のうち、制約式 (3), (4), (6) は絶対制約、それ以外は考慮制約とし、考慮制約には重み w_i をパラメータとして与える。

5. RIMS 研究集会スケジュール作成への適用結果

平成 22 年度および平成 23 年度の RIMS 研究集会を対象に、実データを用いてスケジュールの作成を行った。これらのデータは内部情報であり、各研究集会に関する情報等の詳細を公開することはできないため、ここでは平成 23 年度の問題の概要についてのみ述べる（なお、最終的なスケジュールは RIMS のホームページ¹にて公開されている）。スケジュール対象となる研究集会数は 74 であり、すべてを第 1 希望の期間に開催するとした場合、制約 (i), (ii) 以外の制約をすべて無視したとしても、6 つの研究集会について部屋を確保することができない。制約 (iv), (v), (vi), (vii) に該当する研究集会は、それぞれ 4 つ (2 組)、9 つ、3 つ、2 つ (1 組) である。また、制約 (ix) に該当する期間は 4 つあり、いずれも 15 日間である。ただし、いずれの期間についても、「この期間に研究集会を開催するならば、期間の後半ではなく期間の前半に開催するほうがよい」という要望がある。これを実現するため、各期間について、「期間全体」「期間の前半」「期間の後半」のそれぞれに関する 3 個の制約 (計 12 個の制約) を記述している。

WCSP ソルバーには、文献 [3, 4] のアルゴリズムを用いた。このソルバーは商用の数値計画パッケージに最適化エンジンとして組み込まれており、また、研究目的の利用であれば、文献 [3, 4] の著者から提供を受けることができる。なお、このソルバーはアルゴリズムの枠組みとしてメタヒューリスティクスを用いており、出力解の最適性を保証するものではない。また、計算の終了判定は計算時間によって行われ、計算時間はソルバー実行時にユーザが指定する。

本研究で使用した WCSP ソルバーでは、0-1 変数 x_{ij} に関する線形、および 2 次の等式・不等式制約、all_different 制約 (与えられた変数集合 V_i に対し、 V_i に含まれる変数はすべて異なる値を取らなくてはならないとする制約) が標準的な制約として実装されており、その他のタイプの制約についてもユーザが独自に追加することができる。しかし前章で述べたとおり、今回扱う問題については、すべての制約を線形制約として、人為変数を新たに導入することなく自然に記述することが可能であるため、本研究の計算実験においては線形制約のみを用いている。

計算時間はすべて 5 秒に設定した。これは、計算時間を 5 秒以上に設定したとしても得られる解はほとんど変わらないことが予備実験から明らかになったからである。実務上の観点からも、データ入力後、最適化計算を開始してから計算結果が得られるまでの応答時間を数秒程度に抑えることは好ましいと言える。

パラメータ α_{ikh} については以下のとおりとした。各研究集会 i に対し、 ρ_{ik} ($k = 1, \dots, 4$) を第 k 希望に対するコスト、 ϕ_{ih} ($h = 1, \dots, 3$) を開催可能な部屋の優先順位に対するコストとしてそれぞれ導入し、

$$\alpha_{ikh} = \rho_{ik} + \phi_{ih}, \quad 1 \leq i \leq t, (k, h) \in D_i$$

と設定した。ここで、 ρ_{ik} の値は、通常の研究集会 i に対しては $(\rho_{i1}, \rho_{i2}, \rho_{i3}, \rho_{i4}) = (1, 500, 5000, 30,000)$ 、第 1 希望を強く希望する研究集会 i' に対しては $(\rho_{i'1}, \rho_{i'2}, \rho_{i'3}, \rho_{i'4}) = (1, 5000, 50,000, 300,000)$ としている。また、部屋については、 $h = 1$ が最も大きな部屋、 $h = 3$ が最も小さな部屋であるとし、研究集会 i の参加予定人数を r_i として、 ϕ_{ih} の値を $(\phi_{i1}, \phi_{i2}, \phi_{i3}) = (0, r_i, 2r_i)$ とした。このように設定することで、高い希望順位を優先すること、制約 (iii) を満たすこと、および参加予定人数の多い研究集会をより大きな部屋に割り当てることを実現しようとしている。

制約の重み w_i については、制約式 (2) の重みを 1 と

¹ <http://www.kurims.kyoto-u.ac.jp/~kyodo/workshop-ja.html> (2012-12-03 参照)

し、制約式 (5) の重みは禁止度の強さに応じて 10,000, 5000, 1000 のいずれかとした。同様に、制約式 (7) の重みも禁止度の強さに応じて 45,000, 30,000, 10,000 のいずれかとした。

計算結果を以下に述べる。なお、本研究は、平成 22 年度当時、翌年度（平成 23 年度）のスケジュール作成を目指して進められていたが、当初、制約 (iii), (viii), (ix) は RIMS の要望として与えられていなかったため、まずは、これらの制約を除いたモデル化で平成 22 年度と平成 23 年度の問題を解いている。しかし、そこで得られたスケジュールを RIMS 側で検討したところ、制約 (iii), (viii), (ix) が必要であることが判明した。平成 23 年度の最終的なスケジュールとしては、著者らが作成したスケジュールをもとに、新たな制約を考慮しながら RIMS の担当者が人手で修正を加えたものが採用されている。一方で、著者らは RIMS 側による修正とは別に、新たな制約を追加したモデル化を行い、最適化計算を行っている。

平成 22 年度 RIMS 研究集会スケジュール作成問題

スケジュール対象となる研究集会数は 80 である。この問題については、人手により作成されたスケジュールが存在する。従来、人手で数日間かけて行っていたスケジュールの作成を、データ入力時間を除き 5 秒の計算で行うことができた。人手で作成したスケジュールでは、第 1～第 3 希望、および希望外の日程に割り当てられた研究集会の数がそれぞれ 64, 8, 5, 3 であったのに対し、WCSP ソルバーによって得られたスケジュールでは、それぞれ 63, 11, 4, 2 であった。また、 ρ_{ik} の値を変えて解き直したところ、第 1～第 3 希望、および希望外の数がそれぞれ 65, 8, 5, 2 の解を得ることができた。 ρ_{ik} の値の違いにより、第 1～第 3 希望の数は異なるが、いずれにせよ、希望外の開催日程となってしまう研究集会の数がより少ないスケジュールを短い計算時間で得ることができたと言える。

平成 23 年度 RIMS 研究集会スケジュール作成問題

スケジュール対象となる研究集会数は 74 である。制約 (iii), (viii), (ix) を除いた問題例に対して、第 1 希望の日程で開催する研究集会数が 66, 第 2 希望が 5, 第 3 希望が 2, 希望外が 1 となるスケジュールを作成することができた。

その後、新たな制約 (iii), (viii), (ix) を加えた問題例に対してスケジュール作成を行ったところ、第 1 希望の日程で開催する研究集会数が 52, 第 2 希望が 12,

第 3 希望が 9, 希望外が 1 となった。一方、人手で修正されたものには、研究集会からの要望による日程の希望順位の変更などが反映されており、その結果、問題例が当初のものとは異なっている。特に、日程の変更依頼により RIMS の会場以外の場所で開催することになった研究集会もある。RIMS の会場で開催した 73 個の研究集会に対するスケジュールの結果は、第 1 希望が 57, 第 2 希望が 10, 第 3 希望が 5, 希望外が 1 であった。これらの 2 つのスケジュールを直接比較することはできないが、提案手法によって得られたスケジュールは、第 1 希望の日程に割り当てられた研究集会数では劣るものの、人手の修正では満たしていない考慮制約（例えば制約 (ix) など）をより多く満たすものとなっている。

以上の結果から、本研究で用いた方法によって従来のスケジュールと同等以上のスケジュールを作成することができ、さらにスケジュール作成に要する時間を大幅に減らすことができると考えられる。ただし、人手で作成したスケジュールと提案手法によって得たスケジュールのどちらがより望ましいかについての明確な基準はなく、その判断は担当者に委ねられている。パラメータ α_{ikh} の値や制約の重み w_i を適当な値に設定することによって、担当者の満足度の高いスケジュールが得られると考えられるが、そのような値の設定を、担当者が直観に基づいて簡単に行えるようにする仕組みを構築することは容易ではない。今回は、予備実験で設定した値によって、RIMS 担当者にとっても違和感のないスケジュールが得られたため、重み設定に関する議論は省略したが、この点は今後の重要な課題の 1 つである。

6. ユーザーインターフェース

冒頭で述べたように、本研究は RIMS 研究集会のスケジュール作成を自動化するものであり、そのためには、スケジュール作成問題のデータを入力し、それを WCSP の問題例に変換した後、WCSP ソルバーを適用し、その出力結果に基づいてスケジュール結果の表示を行う必要がある。そこで、これらを行うインターフェースを Excel VBA を用いて作成した。以下に、作成したインターフェースについて述べる。

ユーザ（RIMS 共同利用掛の担当者）は種々のデータを入力する必要があるが、とくにライトユーザにとっても使いやすい仕様を目指した。具体的には、図 1 に示す「手順シート」に記載の手順に従って必要事項を

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
2	手順1	以下の「集回数」の欄に総集回数を入力してください。								
3		集回数	74							
4	手順2	「データ入力シート」に各集会の情報を入力してください。								
5	手順3	RIMSの会議等により集会などを開催できない期間がある場合「禁止期間入力シート」に情報を入力してください。								
6	手順4	同一週に開催できない集会のペアがある場合は「同一週開催禁止ペア入力シート」に入力してください。								
7	手順5	パラメータを変更したい場合は「パラメータ情報シート」の情報を更新してください。(通常は変更する必要ありません。)								
8	手順6	下のスケジュール作成ボタンを押してください。								
9		スケジュール作成								
10	結果	第一希望	第二希望	第三希望	希望外					
11		52	12	9	1					
12		各集会毎の実施結果は「データ入力シート」に表示されています。								
13		禁止期間の条件を満たしたかどうかは「禁止期間入力シート」に表示されます。								
14		同一週開催禁止ペアの条件を満たしたかどうかは「同一週開催禁止ペア入力シート」に表示されます。								
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
32										
33										
34										
35										
36										
37										
38										
39										
40										
41										
42										
43										
44										
45										
46										
47										
48										
49										
50										
51										
52										
53										
54										
55										
56										
57										
58										
59										
60										
61										
62										
63										
64										
65										
66										
67										
68										
69										
70										
71										
72										
73										
74										
75										
76										
77										
78										
79										
80										
81										
82										
83										
84										
85										
86										
87										
88										
89										
90										
91										
92										
93										
94										
95										
96										
97										
98										
99										
100										

図1 「手順シート」の画面イメージ

入力していき、「スケジュール作成」ボタンをクリックすればよい。また、ユーザの利便性を重視し、Excel上のデータ入力フォーマットは、極力RIMSが以前からデータ整理のために使用していた形式に沿うようにした。制約(vii)や(ix)については、ユーザは、制約(vii)に該当する研究集会のペアを「同一週開催禁止ペア入力シート」に、制約(ix)に該当する期間と期間内の最大開催数を「禁止期間入力シート」にそれぞれ入力すればよい。これらのシートの画面イメージを図2に示す(図中のデータは架空のものであり、実際のデータとは異なる)。ここで、WCSPの制約として記述する際の重み w_i を設定するために、ユーザは各制約の重要度を「強」「中」「弱」のいずれかで入力することとしている。これは、制約式の重み w_i を直接値で入力するのではなく、3段階の基準から1つを選ぶようにすることで、ユーザが重みを直観的に定義しやすくするためである。

なお、「同一週開催禁止ペア入力シート」に入力された2つの研究集会について、それぞれの希望する開催期間がいずれも同一週内とならない場合には、この条件に対する制約式を記述する必要はない。この判定は内部で自動的に行われ、適切な制約式が生成されるため、ユーザが制約式の有無を考える必要はない。制約(viii)の制約式の記述は、「禁止期間入力シート」に1週間ごとの期間を入力し、「期間内の最大開催数」を「3」に設定するようユーザに指定することでも実現可能であるが、この方法でこの制約を1年分記述するためには50以上の制約を入力する必要がある。また、実際には同一週内に開催を希望している研究集会が3以

1	A	B	C	D	E	F	G
1	禁止期間						
2	期間初日	AM/PM	期間最終日	AM/PM	期間内の最大開催数	禁止の強さ	制約を満たしたかどうか
3	H23.9.14	AM	H23.9.28	PM	1強	○	
4	H23.9.14	AM	H23.9.20	PM	0弱	○	
5	H23.9.21	AM	H23.9.28	PM	0中	×	
6	H23.11.21	AM	H23.12.5	PM	1強	○	
7	H23.11.21	AM	H23.11.27	PM	0弱	○	
8	H23.11.28	AM	H23.12.5	PM	0中	×	
9							
10							

1	A	B	C	D	E
1	同一週開催禁止ペア				
2	集会のNo1	集会のNo2	禁止の強さ	制約を満たしたかどうか	
3	21	76	強	○	
4	50	82	弱	×	
5					
6					
7					

図2 「同一週開催禁止ペア入力シート」(上)と「禁止期間入力シート」(下)の画面イメージ

下の場合には制約式を記述する必要はない。そこで、ユーザがこのような判断や多くの入力を行う必要のないよう、これらの制約式のうち必要なもののみを内部で自動的に生成するようにしている。

各制約式の重み w_i の値や4章で述べた制約式(2)の各パラメータ α_{ikh} ($i = 1, 2, \dots, t, (k, h) \in D_i$)の値について、「パラメータ情報シート」からユーザが任意の値に変更することもできるようにしている。

出力に関しては、結果をよりわかりやすくユーザに提示するため、スケジュール結果以外に、各研究集会が何番目の希望に割り当てられたかや、第1希望に割り当てられた研究集会の数など、各希望ごとの集計結果も表示するようにした(図1)。さらに、制約(vii)、(ix)がある場合には、それぞれの制約を満たしたかどうかを表示するようにしている(図2)。

さらに、RIMSの担当者にソフトウェアを実際に利用してもらい、そこで得られたコメントをもとに、「第1~第3希望の各期間が同日数であるかを自動でチェックする」「ある研究集会が午前中で終了した後、別の研究集会を同じ部屋で午後から開始することを許可するか否かを設定できる」といった機能を追加している。

7. おわりに

本研究では、スケジュール作成問題のWCSPへの定式化を行い、またExcel上で入出力を行うインターフェースを実装した。このソフトウェアは、RIMSの担当者の利便性を高めるために、一部RIMS研究集会スケジュール作成問題に特化した実装となっているが、基本的には、4章で述べた、より一般的な問題設定に対するソフトウェアとして使用することができると考えている。

本ソフトウェアは、平成 24 年度 RIMS 研究集会のスケジュール作成にも実際に用いられ、今後も RIMS において継続的に使用される予定となっている。スケジュール作成の担当者からは、「数秒で計算が終わり、時間短縮に効果的である」「昨年と比べて 1 週間早く日程を確定することができ、各研究集会代表者への実施日程決定通知の送付を早めることができた」などの好意的なコメントをいただいている。ただし、実際には、このソフトウェアで得られたスケジュールをそのまま確定版として使用するのではなく、人手による微調整が必要になることが多い。その場合でも、微調整にかかる手間は通常それほど大きくはないと考えられるが、うまく調整しきれない場合などには、条件を少し変えて問題を解き直す必要が出てくる。その場合、新たに得られるスケジュールが前のものとは大きく異なることも多く、そのためにユーザが使いづらさを感じる可能性がある。この点については、今後の課題である。

謝辞 実験データを提供していただき、また、本稿

の執筆にあたって貴重なコメントをいただいた京都大学数理解析研究所の藤重悟、高田早津紀の両氏に感謝します。

参考文献

- [1] 藤井靖大, 佐々木美裕, 鈴木敦夫, 研究発表会プログラムの自動作成—OR 学会研究発表会を例として—, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2008 年秋季研究発表会アブストラクト集, 236–237, 2008.
- [2] 池上敦子, ナース・スケジューリング, オペレーションズ・リサーチ, **54**, 401–407, 2009.
- [3] K. Nonobe and T. Ibaraki, A tabu search approach for the constraint satisfaction problem as a general problem solver, *European Journal of Operational Research*, **106**, 599–623, 1998.
- [4] K. Nonobe and T. Ibaraki, An improved tabu search method for the weighted constraint satisfaction problem, *INFOR*, **39**, 131–151, 2001.
- [5] 鵜飼孝盛, 佐々木美裕, 鈴木敦夫, 学会プログラムの自動作成, スケジューリング・シンポジウム 2010 講演論文集, 117–121, 2010.
- [6] 宇野毅明, 池上敦子, 運用コストを重視した OR に向けて, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2012 年秋季研究発表会アブストラクト集, 142–143, 2012.