

大学時間割編成モデルの研究†

伊藤 美登^a 佐々木 美裕^b 鈴木 敦夫^b 伏見 正則^b

概要

本論文では、汎用性を重視した大学の時間割編成モデルを提案する。提案するモデルでは、各大学や学部固有の複雑な制約条件を簡単に記述するための枠組みとして時間割編成を行う科目をグループ化する手法を用いる。目的に応じて科目を適切にグループ化することにより、さまざまな要求に応える時間割の作成が可能である。たとえば、教職課程等の選択コース履修者や再履修者に配慮した時間割を作成できる。また、本モデルでは、オムニバス科目等の開講形態が不規則な科目も自動編成の対象とし、教員の担当授業数の上下限を設定して自動的に授業担当者を割り当てることも可能である。南山大学情報理工学部の2012年度時間割実データを用いた計算実験により、実用的な時間で時間割を作成し、出力できることを示す。

1 はじめに

大学の時間割編成は、一般に手作業で行われることが多く、非常に手間がかかる業務である。各大学で独自の時間割編成モデルが作成され、システム化されているものもあるが、どの大学でも利用できるような汎用的なシステムの開発は進んでいない。しかし、多くの大学で時間割作成に労力を費やしている現状を鑑みると、汎用的な時間割編成モデルを作成することは重要であると言える。

汎用的モデルの作成を困難にするもっとも大きな要因は、各大学や学部等に存在する固有の制約条件である。また、オムニバス科目や複数クラス開講科目など、さまざまな開講形態が存在することも挙げられる。各大学や学部で固有の制約が存在する一方、時間割を編成する際の共通点は、同じ曜日時限に開講できない科目の配置に細心の注意を払うことであると言える。たとえば、1年次の必修科目を同じ曜日時限に開講することは不可能である。

この事実に着目し、本研究では、固有の複雑な制約条件を簡単に記述するための枠組みとして時間割編成を行う科目をグループ化する手法を用いる。具体的に、「同じ時間帯に開講できない科目」をグループ化することによってハード制約を記述するものである。同様に、「同じ時間帯に開講しないことが望ましい科目」についてもグループ化し、ソフト制約として記述する。目的に応じて科目を適切にグループ化することにより、さまざまな要求に応える時間割の作成が可能である。たとえば、教職課程等の選択コース履修者や再履修者に配慮した時間割を作成することができる。また、カリキュラム改正等の影響で複数のカリキュラムが存在する場合の時間割編成にも対応できる。

提案するモデルでは、オムニバス科目等の開講形態が不規則な科目も自動編成の対象とする。既存の研究では、このような科目は自動編成の対象となっていないものが多いが、オムニバス科目は大学で開講される授業形態としては一般的であり、システムで自動編成できることが望ましい。さらに、教員の担当授業数の上下限を設定して自動的に授業担当者を割り当てることも可能である。既存の研究では、授業担当者の決定は手作業で行うことを前提としているものが多い。しかしながら、各教員の担当授業数のバランスを考慮しながら担当授業を手作業

†本研究は、2011年度南山大学パツヘ研究奨励金 I-A-2 の助成を受けた。

^a南山大学大学院 数理情報研究科

^b南山大学 情報理工学部

で決定することに時間がかかる場合も多い。授業担当者の自動割り当てが可能であれば、時間割編成作業の軽減につながると言える。

本論文の構成は次のとおりである。第2節では、時間割編成モデルに関する過去の研究について概観する。第3節では、本研究で提案するモデルの特徴について、既存のモデルと比較を行いながら説明する。第4節では、本研究で扱う時間割編成モデルについて説明する。第5節では本モデルを定式化し、第6節で実際の時間割データを用いた計算実験の結果を紹介する。第7節では、本研究のまとめと今後の課題について述べる。

2 既存の研究

大学の時間割編成問題は、規模が大きくなることが多く、モデル化および解法に工夫が必要となる。久保田 [5] は、タブー探索法を用いた大学時間割編成モデル、計算量を減少させるような科目モデルの提案を行った。また、遺伝アルゴリズムを用いた時間割作成システムと提案モデルにおいて実装を行い、その結果の比較を行ったところ、同程度の解の質で、計算時間において優位であったことを示している。

一方、汎用ソルバやスケジューラを用いた研究も進んでいる。堀尾ら [1, 2] は、汎用プロジェクトスケジューラ SEES を用いて大学時間割編成システムを開発するために、時間割編成問題を RCPSP(資源制約付きプロジェクトスケジューリング問題) の枠組みで表現する方法を提案し、実データを用いて時間割編成を行った。SEES を用いて実装した結果、一般的な数理計画ソフトとは異なり個々の制約条件に対して定式化などの必要がないことから、問題への適応性を高め、さらに、インタフェースの開発を容易にしたことを示している。茨木ら [3] は、メタヒューリスティクスに基づく汎用ソルバの性能評価のために、国際的な時間割作成コンペティション ITC-2007 において、全ての授業に時限と教室を割り当てる問題を制約充足問題として定式化した後、CSP 汎用ソルバを用いて、3種類の時間割編成問題を解いた。いずれの時間割編成問題においても好成績を収め、汎用ソルバによるアプローチが現実的であることを示している。

また、時間割編成システムを実用化するうえで重要となるユーザインタフェースの開発もされている。光部 [6] は、IBM ILOG CPLEX と VBA を用いて時間割を自動で作成するシステムを開発し、2011 年度南山大学情報理工学部の春学期と秋学期の実データを用いて、実用的な計算時間で時間割編成した結果を示している。

本論文では、光部 [6] の時間割自動編成システムで用いたモデルに改良を加え、汎用性の高い時間割自動編成システムを試作する。具体的な改良点については、次節で述べる。

3 モデルの改良

提案モデルでは、光部 [6] のモデルに改良を加える。改良の一部については、伊藤ら [4] に記載されている。主な改良点は以下の5点である。

改良点 1: 授業担当者の決定を行う。

既存のモデルでは、各科目の授業担当者を指定しておく必要があった。本モデルでは、科目ごとに指定された複数の授業担当可能教員の中から自動的に担当者を選び、開講曜日時限を決定することができる。

改良点 2: 担当者変動科目 (開講曜日時限指定, 担当者のみ自動割り当て) に対応する.

改良点 1 により授業担当者の自動割り当てを可能とするのに伴い, 開講曜日時限指定で授業担当者が可変である科目も自動編成の対象とする. この改良により, 開講曜日時限のみを決定する場合, 授業担当者のみを決定する場合, 双方を決定する場合のいずれにも対応できるようにする.

改良点 3: 教員の担当授業数のバランスを考慮した自動編成を行う.

授業担当者の自動割り当てを行うためには, 各教員の担当授業数を考慮する必要がある. 本モデルでは, 担当授業数の上下制限約を設けることによって担当授業数にばらつきが出ないように時間割編成を行う.

改良点 4: オムニバス科目を自動編成の対象科目とする.

オムニバス科目を構成する各分野の授業担当可能教員を指定し, その中から担当者を決定することが可能である. また, オムニバス科目を担当した場合の担当授業数を厳密に計算する. 既存のモデルでオムニバス科目を自動編成の対象としているものはない.

改良点 5: 同じ曜日時限に開講しないことが望ましい科目を考慮した自動編成を行う.

時間割編成を行ううえで, 同じ曜日時限に開講できない科目の配置に配慮することは必要不可欠である. さらに学生にとって履修しやすい時間割編成を行うためには, 同じ曜日時限に開講しないことが望ましい科目にも配慮すべきである. このような科目が同じ曜日時限に開講された場合はペナルティを与え, その総和を最小化するモデルとして定式化する.

4 モデルの説明

本節では, 時間割編成の際に考慮している制約を提案するモデルで記述するために必要となる「科目のグループ化」, 「科目の分類」, 「教員グループの設定」, 「オムニバス科目の設定」の定義について述べる. さらに, 「オムニバス科目, 複数開講科目の自動編成」についても述べる.

4.1 時間割編成問題の制約条件

時間割編成にあたり考慮すべき点は, 環境, 教員, 科目の 3 つの観点から考えることができる. それぞれの観点から一般的に以下の制約が挙げられる.

環境の制約

1. 各曜日時限で使用できる教室数を超える数の授業を開講できない.
2. 1 つの教室で同じ曜日時限に 2 つ以上の授業をすることができない.
3. 特別な設備のある教室で授業をしなければいけない科目がある.

教員の制約

1. 教員は担当可能科目以外の授業は行なわない.
2. 教員は同じ曜日時限に 2 つ以上の授業を担当することはできない.

3. 教員は都合の悪い曜日時限に授業を担当することはできない。
4. 教員の希望日程を考慮する。
5. 教員の1日の授業における負担を考慮する。
6. 担当教員が同じで複数クラス開講する科目は連続して授業を開講する。

科目の制約

1. 各科目で決められた数の授業を毎週開講する。
2. オムニバス形式の授業など、複数の教員が1つの授業を担当することがある。
3. 複数クラスを開講する科目の中には、そのすべてあるいは一部を同じ曜日時限に開講するものがある。
4. 履修対象者が同じである2つの異なる必修科目など、同じ曜日時限に開講することができない科目がある。
5. 2時限連続で授業を開講する科目(実習科目など)がある。
6. 開講できない時間帯のある科目がある。

4.2 科目のグループ化

提案するモデルでは、2種類のグループを考える。1つが「同じ曜日時限に開講できない科目のグループ」であり、もう1つが「同じ曜日時限に開講しないことが望ましい科目のグループ」である。すなわち、ある「同じ曜日時限に開講できない科目のグループ」に含まれる科目は、いずれも同じ曜日時限に開講することが許されない。また、ある「同じ曜日時限に開講しないことが望ましい科目のグループ」に含まれる科目は、いずれも同じ曜日時限に開講しないように時間割編成することが望まれる。前者はハード制約、後者はソフト制約に対応する。提案するモデルを用いて自動編成を行う際、科目のグループ化を適切に行うことで時間割編成の複雑な制約を簡単に記述することができる。1つの科目を複数のグループに含めることも可能である。

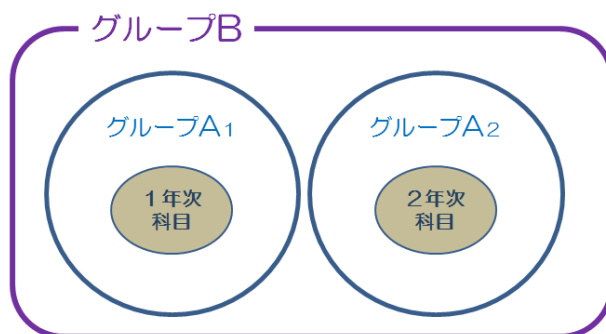


図 1: グループ設定の例

図1にグループ化の例を示す。グループ A_1, A_2 は「同じ曜日時限に開講できない科目のグループ」であり、それぞれ、「1年次科目」、「2年次科目」で構成されている。グループ B は「同じ曜日時限に開講しないことが望ましい科目のグループ」であり、ここでは、 A_1 と A_2 の和集合として設定している。これは、2年次に1年次科目を再履修する可能性を想定してグループ設定をしている例である。 A_1 に含まれる科目同士および A_2 に含まれる科目同士は、ハード制約により同じ曜日時限には開講されないため、実際には、 A_1 に含まれる任意の科目と A_2 に含まれる任意の科目が同じ曜日時限に開講されないように配慮すれば十分である。

4.3 科目の分類

開講曜日時限および授業担当教員が指定されているかどうかによって、各科目を「定置科目」、「変動科目」、「担当者変動科目」の3つに分類する(表1)。

表 1: 科目の分類

	開講曜日時限	授業担当教員
定置科目	指定	指定
変動科目	可変	可変
担当者変動科目	指定	可変

「定置科目」は、開講曜日時限、授業担当教員ともに指定されている科目であり、時間割自動編成対象の科目ではない。「変動科目」は、開講曜日時限、授業担当教員ともに自動編成する科目である。「担当者変動科目」は、開講曜日時限は指定されており、授業担当教員のみ自動編成で決定する科目である。

1つの科目に対して担当可能な教員が複数いる場合、候補者の中から担当する教員を選ぶことができる。このような科目は、「変動科目」あるいは「担当者変動科目」に分類して担当可能な教員を複数指定することにより、システムで自動的に担当者を決めることができる。

一方、担当教員は指定されているが開講曜日時限は自動編成したい科目については、「変動科目」に分類し、授業担当可能教員を指定された教員のみとすることで対応可能である。

4.4 教員グループの設定

時間割編成作業を行う際、各教員の担当授業数にばらつきが出ないように授業担当者の割り当てを行うことが必要となる。この作業を自動化するため、各教員の担当授業数に制約を設ける。

ここでは、教員グループを作成し、この教員グループに担当授業数の制約を設ける。表2は、それぞれの教員グループごとに設けた上下限値の例を示している。例えば、教員グループ1に属する教員は、担当授業数が3以上7以下となる。

4.5 担当授業数の設定

各教員が担当する授業数のバランスを考慮することは、時間割を編成するうえで重要な点の1つである。ここでは、週に90分の授業を半期で15回行う場合に担当授業数を1とする。し

表 2: 教員グループごとの担当授業数上下限値の設定例

教員グループ名	担当授業数 (下限値)	担当授業数 (上限値)
教員グループ 1	3	7
教員グループ 2	3	6
教員グループ 3	3	5

たがって、1つの授業に複数の分野が含まれ、それぞれ異なる教員が担当するオムニバス科目の担当授業数は、実際に授業を行った回数によって変化する。

表 3は、オムニバス科目の担当授業数の計算例を示している。情報システム数理実習は、OR、統計、数学の3つの分野に分かれている。分野ごとに授業担当可能教員が指定されており、この中から、分野ごとに、1人ずつ選ばれる。1つの分野につき5回の授業を行うため、この授業の1分野を担当した場合の担当授業数は $5/15=0.333\dots$ となる。

表 3: オムニバス科目の例

科目名	分野	授業担当可能教員	担当教員数	担当授業数
情報システム数理実習	OR	笹山, 鈴木, 三村	1	0.333
	統計	松田, 木村, 白木	1	0.333
	数学	小藤, 佐々木	1	0.333

4.6 オムニバス科目, 複数開講科目の自動編成

オムニバス科目は複数の教員が担当する科目であり、複数開講科目は同じ内容の授業を複数開講する科目である。これらの科目は、通常の科目とは別の方法で自動編成を行う。

表 3がオムニバス科目の例、表 4が複数開講科目の例である。表 3では情報システム数理実習をOR、数学、統計の3つの分野に分け、表 4では数学演習 Bを1, 2, 3の3つのクラスに分けている。システム上では、各分野、各クラスを仮想的に1つの授業として設定し、他の授業と同様に時間割編成を行う。1つの科目を複数の分野やクラスに分けることによってできる仮想的な授業をすべて同じ曜日時限に開講するという制約を設けることで、オムニバス科目や複数開講科目の自動編成を行う。

表 4: 複数開講科目の例

科目名	クラス	授業担当可能教員	担当教員数	担当授業数
数学演習 B	1	池田, 古市, 笹山, 陳, 松田	1	1
	2	池田, 古市, 笹山, 陳, 松田	1	1
	3	池田, 古市, 笹山, 陳, 松田	1	1

5 モデルの定式化

時間割編成問題を定式化するにあたり，以下の記号を定義する．

S : 科目の集合．

V : 変動科目の集合 ($V \subset S$)．

D : 定置科目の集合 ($D \subset S$)．

Q : 担当者変動科目の集合 ($Q \subset S$)．

J : 同じ曜日時限に開講できない科目のグループの集合．

I : 同じ曜日時限に開講しないことが望ましい科目のグループの集合．

S_j : グループ $j \in J$ に含まれるの科目の集合 ($S_j \subset S$)．

V_j : グループ $j \in J$ に含まれる変動科目の集合 ($V_j = S_j \cap V$)．

D_j : グループ $j \in J$ に含まれる定置科目の集合 ($D_j = S_j \cap D$)．

Q_j : グループ $j \in J$ に含まれる担当者変動科目の集合 ($Q_j = S_j \cap Q$)．

S'_i : グループ $i \in I$ に含まれるの科目の集合 ($S'_i \subset S$)．

V'_i : グループ $i \in I$ に含まれる変動科目の集合 ($V'_i = S'_i \cap V$)．

D'_i : グループ $i \in I$ に含まれる定置科目の集合 ($D'_i = S'_i \cap D$)．

Q'_i : グループ $i \in I$ に含まれる担当者変動科目の集合 ($Q'_i = S'_i \cap Q$)．

W : 2時限連続科目の集合 ($W \subset S$)．

W_j : グループ $j \in J$ に含まれる 2時限連続科目の集合 ($W_j = S_j \cap W$)．

T : 時間帯 (開講曜日時限) の集合．

\hat{T} : 2時限連続科目の割り当てが可能な時間帯の集合 ($\hat{T} \subset T$)．

O : オムニバス科目の集合 ($O \subset S$)．

O_i : オムニバス科目 $i \in O$ に含まれる分野の集合．

M : 複数開講科目の集合 ($M \subset S$)．

M_i : 複数開講科目 $i \in M$ に含まれるクラスの集合．

B_s : 科目 $s \in S$ の担当授業数．

F : 教員の集合．

r_t : 時間帯 $t \in T$ に使用できる教室数．

e_s : 科目 $s \in V \cup Q$ に必要な教員数．

P : 教員グループの集合．

u_p : 教員グループ $p \in P$ の担当授業数の上限．

l_p : 教員グループ $p \in P$ の担当授業数の下限．

$$a_{sf} = \begin{cases} 1: \text{教員 } f \in F \text{ が科目 } s \in V \cup Q \text{ を担当できる,} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

$$b_{tf} = \begin{cases} 1: \text{教員 } f \in F \text{ が時間帯 } t \in T \text{ に授業を担当できる,} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

$$c_{tf} = \begin{cases} 1: \text{教員 } f \in F \text{ が時間帯 } t \in T \text{ に定置科目を担当する,} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

$$g_{st} = \begin{cases} 1: \text{時間帯 } t \in T \text{ に定置科目 } s \in D \text{ を開講する,} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

$$h_{st} = \begin{cases} 1: \text{時間帯 } t \in T \text{ に変動科目 } s \in V \text{ を開講できる,} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

$$n_{st} = \begin{cases} 1: \text{時間帯 } t \in T \text{ に担当者変動科目 } s \in Q \text{ を開講する,} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

$$o_{sf} = \begin{cases} 1: \text{教員 } f \in F \text{ が定置科目 } s \in D \text{ を担当する,} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

$$m_{fp} = \begin{cases} 1: \text{教員 } f \in F \text{ が教員グループ } p \in P \text{ に属する,} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

決定変数は以下のように定める.

$$x_{st} = \begin{cases} 1: \text{時間帯 } t \in T \text{ に変動科目 } s \in V \text{ を開講する,} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

$$y_{stf} = \begin{cases} 1: \text{教員 } f \in F \text{ が時間帯 } t \in T \text{ に科目 } s \in V \cup Q \text{ を担当する,} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

$$k_{s_1 s_2 t} = \begin{cases} 1: \text{時間帯 } t \in T \text{ に変動科目 } s_1, s_2 \in V \text{ を開講する,} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

この問題は次のように定式化できる.

$$\text{minimize } \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \sum_{s_1 \in V'_i} \sum_{s_2 \in V'_i \setminus s_1} x_{s_1 t} x_{s_2 t} + \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \sum_{s_1 \in D'_i} \sum_{s_2 \in V'_i} d_{s_1 t} x_{s_2 t} + \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \sum_{s_1 \in Q'_i} \sum_{s_2 \in V'_i} n_{s_1 t} x_{s_2 t} \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i \in O} \frac{1}{|O_i|} \left\{ \sum_{s \in V \cap O_i} x_{st} + \sum_{s \in D \cap O_i} g_{st} + \sum_{s \in Q \cap O_i} n_{st} \right\} + \sum_{s \in V \setminus O} x_{st} + \sum_{s \in D \setminus O} g_{st} + \sum_{s \in Q \setminus O} n_{st} \leq r_t, \quad t \in T, \quad (2)$$

$$\sum_{t \in T} y_{stf} \leq a_{sf}, \quad s \in V \cup Q \setminus W, f \in F, \quad (3)$$

$$\sum_{t \in T} y_{stf} \leq 2a_{sf}, \quad s \in W, f \in F, \quad (4)$$

$$\sum_{s \in V \cup Q} y_{stf} + c_{tf} \leq b_{tf}, \quad t \in T, f \in F, \quad (5)$$

$$e_s x_{st} = \sum_{f \in F} y_{stf}, \quad s \in V, t \in T, \quad (6)$$

$$e_s n_{st} = \sum_{f \in F} y_{stf}, \quad s \in Q, t \in T, \quad (7)$$

$$\sum_{t \in T} x_{st} = 1, \quad s \in V \setminus W, \quad (8)$$

$$\sum_{t \in T} x_{st} = 2, \quad s \in W, \quad (9)$$

$$\sum_{s \in V_j} x_{st} + \sum_{s \in D_j} g_{st} + \sum_{s \in Q_j} n_{st} \leq 1, \quad j \in J, t \in T, \quad (10)$$

$$x_{st} = x_{s(t+1)}, \quad s \in W, t \in \hat{T}, \quad (11)$$

$$y_{stf} = y_{s(t+1)f}, \quad s \in W, t \in \hat{T}, \quad (12)$$

$$x_{st} \leq h_{st}, \quad s \in V, t \in T, \quad (13)$$

$$m_{fp} l_p \leq m_{fp} \left(\sum_{s \in V \cup Q} \sum_{t \in T} y_{stf} * B_s \right. \\ \left. \sum_{s \in D} o_{sf} * B_s \right) \leq m_{fp} u_p, \quad p \in P, f \in F, \quad (14)$$

$$\sum_{f \in F} y_{s_1 t f} = \sum_{f \in F} y_{s_2 t f}, \quad i \in O, s_1, s_2 \in O_i, t \in T, \quad (15)$$

$$\sum_{f \in F} y_{s_1 t f} = \sum_{f \in F} y_{s_2 t f}, \quad i \in M, s_1, s_2 \in M_i, t \in T, \quad (16)$$

$$x_{st} \in \{0, 1\}, \quad s \in V, t \in T, \quad (17)$$

$$y_{stf} \in \{0, 1\}, \quad s \in V \cup Q, t \in T, f \in F. \quad (18)$$

目的関数 (1) は、同じ曜日時限に開講しないことが望ましい科目が同じ曜日時限に割り当てられた場合のペナルティの総和を最小化することを意味する。第 1 項は、同じ曜日時限に開講しないことが望ましい変動科目同士が同じ曜日時限に割り当てられたときのペナルティが 1 であることを示している。同様に、第 2 項は定置科目と担当者変装科目、第 3 項は変動科目と担当者変動科目が同じ曜日時限に割り当てられたときのペナルティが 1 であることを示している。制約条件 (2) は、各時間帯で教室数を超える数の授業を開講することができないことを表わしている。制約条件 (3)(4) は、各教員が担当可能な科目のみを担当することを表し、制約条件 (5) は、各教員の担当できない時間帯には授業を担当しないことと、同じ時間帯に 2 つ以上の科目を担当できないことを表している。制約条件 (6)(7) は、各科目に必要な教員数を割り当てて示している。制約条件 (8)(9) は、指定された時限数だけ開講することを表しており、制約条件 (10) は、同じグループに含まれる科目同士は同じ時間帯に開講しない制約である。制約条件 (11)(12) は、科目 $s \in W$ を 2 時限制り当てることを表わしている。制約条件 (13) は、各科目は開講不可能な時間帯には開講しないことを示し、制約条件 (14) は、教員が担当する授業数の上下限を表わしている。制約条件 (15) は、オムニバス科目に含まれる科目 (分野) を同じ時間帯に開講することを表わし、制約条件 (16) は、複数開講科目に含まれる科目 (クラス) を同じ時間帯に開講することを表わしている。制約条件 (17)(18) は、変数の 0-1 整数制約である。

目的関数 (1) は非線形であるが、新たに 0-1 変数 $k_{s_1 s_2 t} (s_1 \in V'_i, s_2 \in V'_i)$ を導入し、

$$\sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \sum_{s_1 \in V'_i} \sum_{s_2 \in V'_i \setminus s_1} k_{s_1 s_2 t} + \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \sum_{s_1 \in D'_i} \sum_{s_2 \in V'_i} d_{s_1 t} x_{s_2 t} + \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \sum_{s_1 \in Q'_i} \sum_{s_2 \in V'_i} n_{s_1 t} x_{s_2 t} \quad (19)$$

と書きかえ、さらに制約条件

$$x_{s_1 t} + x_{s_2 t} - 1 \leq k_{s_1 s_2 t}, \quad i \in I, s_1, s_2 \in V'_i, t \in T, \quad (20)$$

$$k_{s_1 s_2 t} \in \{0, 1\}, \quad i \in I, s_1, s_2 \in V'_i, t \in T, \quad (21)$$

を追加することにより，等価な線形計画問題が得られる．計算実験で用いた定式化は，

$$\begin{aligned} & \text{minimize} && (19) \\ & \text{s. t.} && (2) - (18), (20) - (21) \end{aligned}$$

である．

6 計算結果

2012年度情報理工学部秋学期の時間割編成実データを使用し，IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.2 を用いて時間割の自動編成を行った．使用した計算機の CPU は Intel Core2 Duo(2.53GHz)，OS は Windows7，搭載しているメモリは 2GB である．問題に含まれる変数の数は約 54,000，制約式の数は約 48,000 である．計算時間は約 1 秒であり，最適値は 24 となった．これは，科目が同じ曜日時限に開講されたとき，同じ曜日時限に開講しないことが望ましい科目のペアのうち，24 ペアにおいて科目が同じ曜日時限に割り当てられたことを意味する．1つのペアが 2 回以上数えられる場合があるため，実際に同じ曜日時限に開講された科目のペアは 15 であった．

表 5 は，各教員の担当授業数の出力例 (一部) を示している．各教員の定置科目，変動科目，担当者変動科目の担当数とその合計が出力されている．担当授業数が小数値となっているのは，オムニバス科目を担当することを意味している．

図 2 は，2012年度情報理工学部秋学期の時間割の出力例を示している．かっこ内は担当教員名である．定置科目，変動科目，担当者変動科目のすべてが記載されている．木曜 3 限と 4 限に開講されるシステム創成工学実習は，2 クラス開講の 2 時限連続科目でオムニバス科目である．システム創成工学実習 1-1, 1-2, 2-1, 2-2 は，それぞれ，クラス 1 の分野 1，クラス 1 の分野 2，クラス 2 の分野 1，クラス 2 の分野 2 を表し，担当可能教員の中から担当者が選択されている．また，3 限と 4 限で同じ教員が担当するように割り当てられている．

表 5: 各教員の担当授業数

教員名	定置科目	変動科目	担当者変動科目	合計
青山	3	3.533	0	6.533
石崎	3	1	0	4
大石	3	2	2	7
金山	1	0.533	3.607	4.6
木村	3	0	0.667	3.667
小市	0	1	2	3
高見	3	0	2.933	5.933
中道	0	0	2.933	2.933

	1限	2限	3限	4限	5限
月曜	回路理論(陣)	システム理論(河野)	統計的方法(竹崎)	アルゴリズム論(吉田)	
	通信ネットワーク[S E](河野)	プログラミング言語[S E](野呂)	生命と環境(自然環境と生物)2(江田)	統計解析(松田)	
	情報科教育法B(三村)		プログラミング基礎実習1(古市)	プログラミング基礎実習1(古市)	
			プログラミング基礎実習2(宮澤)	プログラミング基礎実習2(宮澤)	
			プログラミング基礎実習3(金山)	プログラミング基礎実習3(金山)	
			プログラミング基礎実習4(池田)	プログラミング基礎実習4(池田)	
			プログラミング基礎実習5(大月)	プログラミング基礎実習5(大月)	
			プログラミング基礎実習6(中道)	プログラミング基礎実習6(中道)	
火曜	物理学応用(市川)	情報理工学概論(青山,大石,奥村,笹山,松田,吉田)	微積分学Ⅲ[S E]2(小藤)	プログラミング基礎1(蜂巣)	
	情報理工学特別講義A(ソフトウェア工学)(青山)	確率モデル[S E](竹崎)	英語ⅡA[S E]1 上級レベル(Sean)	英語ⅡA[S E]5 上級レベル(Sean)	
	教育の方法・技術論2(宇田)	異文化との出会い(東南アジア文化論)(野口)	異文化との出会い(文学にみる異文化受容)(淺香)	異文化との出会い(日本文化論)(樋口)	
		生命と環境(地域開発と環境保全)2(高橋)	コンピュータ基礎演習Ⅳ(大月,藤井,横山)	コンピュータ基礎演習Ⅲ(大月,藤井,横山)	
		学校カウンセリング(大塚(弥))	幾何学入門(山本)	特別活動指導論(小見山)	
		教職総合演習2(宇田)	数学演習B1(高見)	数学演習B2(大石)	
			数学演習B3(大石)	数学演習B4(鈴村)	
			数学演習B5(白木)	数学演習B6(高見)	
水曜	生命と環境(経済と環境問題)(未定)	ソフトウェア工学応用1-1(横森)			
	知識・言語と情報社会(情報社会とコンピュータネットワーク)(藤井)	ソフトウェア工学応用1-2(金山)			
	モダンの系譜(現代社会の諸問題と心理)(西脇)	モダリティ理論(大石)			
	教職入門2(宇田)	多変量解析[S E](白木)			
	数学科教育法B(佐々木)	知識・言語と情報社会(知識と意識)(中島)			
		モダンの系譜(社会科学のパラダイム)久			
		学校加キラム論2(酒井)			
木曜	微積分学Ⅱ[S E]1(杉浦)	通信理論[S E](河野)	情報理工学特別講義C(数理解科学)(澤田)	ソフトウェア工学基礎(青山)	
	線形代数Ⅱ[S E]2(池田)	シミュレーション[S E](三村)	英語コミュニケーションⅡ[S E]1 上級レベル(Robert)	英語コミュニケーションⅢ[S E]5 上級レベル(未定)	
	位相幾何入門(佐々木)	基礎体育B1(三浦)	英語ⅢB[S E]5 上級レベル(Sean)	英語ⅢB[S E]1 上級レベル(Sean)	
	生命と環境(環境倫理)(高橋)		基礎体育B5(加藤)	基礎体育B9(三浦)	
	知識・言語と情報社会(情報社会におけるソフトウェアの役割)(金山,蜂巣,宮澤)		システム創成工学実習1-1(高見)	システム創成工学実習1-1(高見)	
	モダンの系譜(科学技術論)(野内)		システム創成工学実習1-2(陣)	システム創成工学実習1-2(陣)	
	教職総合演習4(大塚(弥))		システム創成工学実習2-1(長)	システム創成工学実習2-1(長)	
			システム創成工学実習2-2(藤井)	システム創成工学実習2-2(藤井)	
			情報システム数理解習-1(鈴村)	情報システム数理解習-1(鈴村)	
			情報システム数理解習-2(木村)	情報システム数理解習-2(木村)	
			情報システム数理解習-3(佐々木)	情報システム数理解習-3(佐々木)	
金曜	線形代数Ⅱ[S E]1(古市)	ソフトウェア開発技術Ⅱ-1(青山)	OR概論[S E](石崎)	計算機アーキテクチャとOS(宮澤)	
	プログラミング基礎2(長)	ソフトウェア開発技術Ⅱ-2(横山)	応用解析学[S E](杉浦)	英語リテラシーⅡA[S E]1 上級レベル(Meagan)	
	知識・言語と情報社会(計算機を用いた最適化計算入門)1(笹山)	知識・言語と情報社会(社会現象とOR)(大塚)	英語リテラシーⅡA[S E]5 上級レベル(Meagan)	現代教育論(宇田)	
	モダンの系譜(都市論)2(高橋)	教育の方法・技術論1(宇田)	異文化との出会い(ウラニス語文化)(Ronald)	英語コミュニケーションⅢ[S E]5 上級レベル(未定)	
	教育原論B(清田)		英語コミュニケーションⅡ[S E]1 上級レベル(Robert)	ソフトウェア工学実習1-1(横森)	
			ソフトウェア工学実習1-1(横森)	ソフトウェア工学実習1-2(金山)	
			ソフトウェア工学実習1-2(金山)	ソフトウェア工学実習2-1(中道)	
			ソフトウェア工学実習2-1(中道)	ソフトウェア工学実習2-2(横山)	
			ソフトウェア工学実習2-2(横山)		

図 2: 2012 年度秋学期時間割の出力結果

7 おわりに

2012 年度秋学期の科目・教員の実データを用いて本研究で試作したシステムで時間割自動編成を行なった結果、学生にとって履修しやすく、また、教員間の担当授業数のばらつきが少ない時間割作成が可能となった。

時間割編成作業自動化のベースとなるモデルを作成したが、今後は本システムの汎用化に向けて、大学全体、さらには他大学において、汎用的に利用できるように時間割自動編成システムへの改良が必要となる。そのための課題として、次の 2 点を挙げる。

1 点めは、教室の容量制約を考慮することである。現在、南山大学瀬戸キャンパスでは、時間割編成の際には教室の容量は考慮せず、時間割編成作業完了後に教室の割り当てを行っている。これは、必要な容量の教室が十分に揃っていることが理由としてあげられる。しかし、十分な数の教室がない大学では、教室の容量を考慮しながら時間割編成を行う必要があり、時間割編成作業の負担はさらに大きくなっている。2 点めは、同じ曜日時限に開講しないことが望

ましい科目に対して優先度の設定を行うことである。この改良により、学生にとってさらに履修しやすい時間割の自動編成が可能となるだろう。

上記のモデルの改良に加え、ユーザインタフェースも改良し、時間割自動編成システムの汎用性をさらに高めることが今後の課題である。

参考文献

- [1] M. Horio and A. Suzuki: Application to a University Course Timetabling Problem by a General Project Scheduler, *Lecture Notes in Operations Research*, Vol. 8, 2008, pp. 266-273.
- [2] 堀尾正典: 汎用プロジェクトスケジューラの大学時間割問題への適用, 名古屋学芸大学教養・学際編・研究紀要第4号, 2008, pp. 61-74.
- [3] 茨木俊秀, 熱田光紀, 野々部宏司: 汎用ソルバによる時間割作成—国際コンペティション ITC2007 に参加して—, スケジューリング・シンポジウム 2008 講演論文集, 2008, pp. 173-176.
- [4] 伊藤美登, 光部翔太, 佐々木美裕, 鈴木敦夫, 伏見正則: 大学授業時間割の自動編成システムについて, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2011 年秋季研究発表会, 2011, pp. 152-153.
- [5] 久保田敬: 時間割編成問題に対する近似解法の研究, 中央大学大学院理工学研究科情報工学専攻 2003 年度修士論文, 2004.
- [6] 光部翔太: 大学の時間割自動編成システムの研究, 南山大学大学院数理情報研究科 2010 年度修士論文, 2011.