

# 南山小学校の時間割自動編成システム の試作と実用に向けて

2009SE061 細田昌志 2012SE048 星野貴生

指導教員：鈴木敦夫

## 1 はじめに

南山小学校では、時間割を手作業で編成している。各教員の都合や特別教室の使用などの制約を満たすように編成するには、3名で1週間以上の時間を費やしているのが現状である。非常に効率が悪く、1年分の時間割を編成するのに多くの手間と時間を要している。この研究の目的は、時間割編成を自動化するシステムを試作することで、時間割の編成にかかる手間と時間を削減することである。

2007年に行われた先行研究[2]では、学校の時間割編成に関するスケジューリング問題を0-1混合整数計画問題として定式化し、What's Best!8.0を使用することで実用的な時間割編成システムを試作することに成功した。時間割編成問題を解くための計算時間は私立S高等学校において7秒、南山小学校では10秒で編成に成功した。ただし、現在S高等学校、南山小学校ではこのプログラムは使用されていない。

2013年にも時間割の自動編成に関する研究が行われ、中高一貫校の時間割編成問題について研究された[3]。[3]の筆者の一人が勤務する南山中学・高校男子部では、当時4人の教員によって1週間かかっていた時間割の編成であったが、会議などに関する変更、確認といった作業を含めても3人が10時間で編成できるようになった。内、時間割編成問題を解くための計算時間は25秒であった。なお、[3]で使用したPCはCPUがIntel Core 2 Duo 2.80GHz、メモリが4GB、OSがWindows 7 Home Premiumである。

## 2 南山小学校の時間割編成

南山小学校で実際に時間割編成に携わっている教員に要求の聞き取りを行った。その結果、南山小学校では他の学校にはない独自の条件を持つことが分かった。以下に南山小学校独自の条件を記す。

### 2.1 隔週で異なる時間割

南山小学校では、書写や家庭科、理科といった科目の単位数の調整のために隔週で時間割が異なる。それぞれの週をA週、B週と呼ぶことにする。例えば、ある科目の単位数が2.5単位だけ必要としたとき、A週で2単位、B週で3単位の授業を行うことで平均して2.5単位の授業を行うように調整している。

また6月3日から9月の末までの間には水泳の授業がある。外部のプール施設を利用しているために、水曜日・木曜日・金曜日の1限目と2限目のみに行う。水泳の授業は2限続きであり、1週間で3学年しか行うことができない。従って、すべての学年が1回の授業を行うには2週間必要

となり、体育で水泳の授業を行う期間中は通常のA週、B週とは異なる時間割が必要となる。

以上からA週、B週、A週(水泳時)、B週(水泳時)の4通りの時間割を作成する必要がある。

### 2.2 ことば・英語

南山小学校では、特殊な条件を持つことば・英語という科目がある。ことば・英語については以下のような条件を持つ。ただし、以下の条件は各学年には3つずつクラスがあることを前提とする。

- ことば・英語の科目は1限の半分でことばの授業、残りの半分で英語の授業を行う。半限ずつをセットで1限の間に行うので、ことば・英語を1つの科目として扱う。
- ことば・英語はできるだけ2クラス同時に行うことが好ましい。
- 残りの1クラスは、その前後の時間帯に割り当てることが好ましい。
- ことば・英語は午前中に編成することが好ましい。

	J4	R4	P4
月1	国語	社会	算数
月2	こ英	国語	社会
月3	社会	英こ	こ英
月4	理科	算数	体育
月5	体育	理科	国語
月6	算数	体育	理科

図1 A週の時間割の一部

図1はA週の時間割の一部を抜き出したものである。ことば・英語は同じ学年内のクラスでペアを作る。図1は、4年生の月曜日の時間割について示しており、R組の英語・ことばとP組のこ英・ことばがペアになっている。この場合はR組が前半に英語の授業を行い、P組がことばの授業を行う。後半ではR組でことば、P組が英語の授業を行うようになっている。

## 3 担当教科

南山小学校では、基本的にクラス担任の教員が担当するクラスの授業を行うという訳ではなく、独自の形で各教員

の担当科目が決められている。1年生から4年生においては音楽, 図工, 理科, ことば・英語や宗教の授業を専門の教員が受け持ち, その他の科目をクラス担任が受け持っている。5年生と6年生においてはすべての科目に関してそれぞれ専門の教員が担当している。また, 1人の教員が複数の科目を担当することや, ことば・英語の担当教員は前半だけ授業を行って後半は他のクラスで授業を行うこともある。このような条件も考慮する必要があるため教員の予定を調整することが難しくなっている。

## 4 時間割編成の方針

### 4.1 標準時間割

A週とB週では, 一部の科目を除き大部分の時間割が共通している。以下の図2は3年の月曜日の時間割をA週とB週で比較したもので, 太枠の部分以外は等しいことが分かる。

	J3	R3	P3		J3	R3	P3
月1	算数	国語	体育	月1	算数	国語	体育
月2	体育	書写	国語	月2	体育	図書	国語
月3	書写	体育	社会	月3	図書	体育	社会
月4	英こ	こ英	書写	月4	英こ	こ英	図書
月5	社会	算数	英こ	月5	社会	算数	英こ
月6	国語	社会	算数	月6	国語	社会	算数

図2 A週(左)とB週(右)の比較

このことから, A週, B週の時間割を編成する前に双方で共通している部分を割り当てることが効率的であると考える。よって, A週とB週の時間割の基となる標準時間割を作成した後に, A週, B週, A週(水泳時), B週(水泳時)の時間割はこの標準時間割を手作業で調整して作成することとする。

### 4.2 複合科目

標準時間割において, 図音, 図工・理科, 書写・図書, 国語・図書, 社理, 家写を複合科目と呼ぶこととする。複合科目は2つの科目を合わせた科目であり, A週に片方の科目を行い, B週に他方の科目を行う科目である。また, 複合科目の単位は元の2つの科目の単位として換算する。図音を例にすると, A週に図工を行うならば, B週の同じ時間帯では音楽を行うことになる。また, この場合は図音の1単位を図工の単位数0.5単位と音楽の単位数0.5単位として換算する。

### 4.3 段階的な時間割編成

先行研究[1]のシステムでは, 2つの段階に分けて割り当てることで時間割編成問題を解くための計算時間を短縮させていた。この研究においても, 全ての科目を1度に割り当てると時間割編成問題を解くための計算時間が長くなると

予想されるので, 以下の3つの段階に分けて割り当てる。

- ことば・英語, 理科(3年), 図工(1年から4年), 宗教(1年), クラス・クラブ・委員会
- 残った5年生と6年生の科目すべて, また理科(4年), 音楽(1年から6年)
- 残った1年生から4年生の科目すべて

1段階目) ことば・英語の科目については, 特に複雑な条件を持つことから, 初めに割り当てる手直しを行いやすくする必要がある。また, 他の科目は割り当てることができる時間帯が少ないので, 優先的に割り当てるために1段階目に割り当てる。

2段階目) 5年生と6年生は教員の都合を満たすことが1年生から4年生と比べて難しいため先に割り当てる。また, 4年生の理科や音楽は特別教室の条件や担当教員の都合を満たすことが他の科目より難しいために先に割り当てる。

3段階目) 条件が比較的厳しくない残りの科目を最後に割り当てる。

## 5 定式化

### 5.1 記号の定義

#### 5.1.1 集合

$J$ : 教員の集合

$R$ : 複合科目の集合

$I$ : 科目の集合(小学校で行われるすべての科目に通し番号を付ける)

$I_c$ : クラス  $c$  の生徒が履修する科目の集合,  $I_c \subset I$

$I_o$ : 1日2時限以上入れない科目の集合,  $I_o \subset I_c$

$I_r$ : 複合科目の集合,  $I_r \subset I$

$I_a$ : ことば・英語の集合,  $I_a \subset I$

$Q$ : 特別教室の集合

$E_q$ : 特別教室  $q$  使用する科目の集合,  $E_q \subset I, q = 1, 2, \dots, 10$

$D$ : 曜日の集合

$H$ : 1限から6限までの時間帯の集合

$T$ : 時間帯の集合(すべての曜日の時間帯に月曜日の1限から順に通し番号を付ける)

$T_d$ : 曜日  $d$  に設けられている時間帯の集合,  $T_d \subset T, d = 1, 2, \dots, 10$

$P_h$ : 月曜日から金曜日の  $h$  時限目となる時間帯の集合,  $P_h \subset T, h = 1, 2, \dots, 6$

$G$ : 学年の集合

$C$ : クラスの集合

$C_g$ : 学年  $g$  に設けられているクラスの集合,  $C_g \subset C$

#### 5.1.2 定数

$u_i$ : 科目  $i$  に必要な教員数

$n_q$ : 特別教室  $q$  を使用する科目について, 同じ時間帯に

割り当てることができるクラス数,  $q = 1, 2, \dots, 10$

$b_{ic}$ : クラス  $c$  における科目  $i$  の必要単位数

### 5.1.3 変数

$$x_{ijt} = \begin{cases} 1: \text{時間帯 } t \text{ 教員 } j \text{ が科目 } i \text{ を行う} \\ 0: \text{それ以外} \\ t \in T, j \in J, i \in I \end{cases}$$

$$y_{itc} = \begin{cases} 1: \text{時間帯 } t \text{ クラス } c \text{ で科目 } i \text{ を行う} \\ 0: \text{それ以外} \\ t \in T, c \in C, i \in I \end{cases}$$

変数制約

$$x_{ijt} \geq 0$$

$$y_{itc} \in \{0, 1\}$$

これらの変数の下で以下の制約条件を満たす実行可能解を求める。

## 5.2 制約条件

前述した通り, 以下の3つの段階に分けて考える。

1. ことば・英語, 理科 (3年), 図工 (1年から4年), 宗教 (1年), クラス・クラブ・委員会
2. 残った5年生と6年生の科目すべて, また理科 (4年), 音楽 (1年から6年)
3. 残った1年生から4年生の科目すべて

次に各段階の制約について以下に記す。

### 5.2.1 共通の制約

同じ教員の担当する科目がことば・英語と複合科目は同じ時間に3つ以上, それ以外の科目は同じ時間に2つ以上重複しない。また, 同じ教員の担当する複合科目とそれ以外の科目が同じ時間に重複しない。

$$0.5 \sum_{i \in I_r \cup I_a} x_{ijt} + \sum_{i \in (I - I_r - I_a)} x_{ijt} \leq 1,$$

$$r \in R, j \in J, t \in T \quad (1)$$

国語, 2時間続きの教科 (理科, 図工など) を除き同じ日・クラスに同じ教科が入っていない。

$$\sum_{t \in T_d} y_{itc} \leq 1, \quad d \in D, i \in I_o, c \in C \quad (2)$$

同じ学年内で複合科目が重複しない。

$$\sum_{i \in I_r} y_{itc} \leq 1, \quad r \in R, t \in T, c \in C_g \quad (3)$$

同じ教員の担当することば・英語と複合科目が重複しない。

$$0.5 \sum_{i \in I_r} x_{ijt} + x_{i_1jt} \leq 1, \quad r \in R, j \in J, t \in T, i_1 \in I_a \quad (4)$$

担当教員の都合の悪い時間にその教員の担当する教科を入れない。

$$\sum_{j \in J} x_{ijt} = u_i \sum_{c \in C} y_{itc}, \quad i \in I, t \in T \quad (5)$$

各学年・クラスに設定されている各科目について, 全日程内で必要単位数を満たすように割り当てる。

$$\sum_{t \in T} y_{itc} = b_{ic}, \quad i \in I, c \in C \quad (6)$$

特別教室を使用する科目について,  $y_{itc}$  の全クラスに関する和が  $n_q$  以下になっていれば制約条件を満たしている。

$$\sum_{c \in C} \sum_{i \in E_q} y_{itc} \leq n_q, \quad q \in Q, t \in T \quad (7)$$

月曜日から金曜日の同じ時間帯に科目  $i$  を割り当てる回数は  $\alpha$  以下とする。

$$\sum_{t \in P_h} y_{itc} \leq \alpha, \quad h \in H, i \in I_c, c \in C \quad (8)$$

1年生から3年生において, 各曜日に行う科目の組合せが全クラスで同じになるように割り当てる。隣接するクラス ( $c$  と  $c+1$ ) で共通する科目  $i$  について  $y_{itc}$  の各曜日の和が等しい時, この条件を満たしていると言えるので, 以下のように制約条件を加える。

$$\sum_{t \in T_d} y_{itc} = \sum_{t \in T_d} y_{it(c+1)},$$

$$d \in D, i \in I, c \in C_g, g = \{1, 2, 3\} \quad (9)$$

### 5.2.2 1段階目

各時間帯には2つ以上の科目を割り当てることのできない。(次の段階の割当があるので, 空欄を許す。)

$$\sum_{i \in I_c} y_{itc} \leq 1, \quad t \in T, c \in C \quad (10)$$

2つの科目を連続で入れる。

$$y_{i'(2\tau-1)c} = y_{i''(2\tau)c}, \quad \tau = \{1, 2, \dots, 15\}, i', i'' \in I, c \in C \quad (11)$$

2つの異なる科目が同じ日に割り当てられない。

$$\sum_{t \in T_d} y_{i''''tc} + \sum_{t \in T_d} y_{i''''tc} \leq 1, \quad d \in D, i''', i'''' \in I, c \in C \quad (12)$$

1日につき  $\gamma$  以上の空欄を確保する。ただし  $\beta$  は1日の授業数とする。

$$\beta - \sum_{t \in T_d} \sum_{i \in I} y_{itc} \leq \gamma,$$

$$d \in D, \beta \in \{5, 6\}, \gamma \in \{2, 3\}, c \in C \quad (13)$$

$i_k$  は 2 クラス同時に行うことば・英語の科目番号とする。

2 つのクラスで同じ科目を同時に割り当てる。

$$y_{i_k t c'} = y_{i_k t c''}, \quad i_k \in I_a, t \in T, c', c'' \in C \quad (14)$$

同じ教員の担当することば・英語が同じ時間に 3 つ以上重複しない。

$$\sum_{i_1 \in I_a} x_{i_1 j t} \leq 2, \quad j \in J, t \in T \quad (15)$$

$i_2$  は 1 年の宗教を表す科目番号とする。

1 年の宗教は月曜午前 (1~4 限目) のみ入れる。

$$\sum_{t \in T_1 \cap P_h} y_{i_2 t c} = 1, \quad h \in \{1, 2, 3, 4\}, c \in C_1 \quad (16)$$

$i_3$  はクラブ委員会・クラス活動を表す科目番号とする。また  $t_1$  は金曜 6 限を表す通し番号とする。

4, 5, 6 年生の金曜 6 限はクラブ, 委員会, クラス活動が必ず入る (クラス→クラブ→クラス→委員会) の順に原則まわしていく。

$$y_{i_3 t_1 c} = 1, \quad c \in C_g, g \in \{4, 5, 6\} \quad (17)$$

### 5.2.3 2 段階目

各時間帯には 2 つ以上の科目を割り当てることができない。(次の段階の割当があるので, 空欄を許す。) 式 (10)

1 日につき  $\gamma$  以上の空欄を確保する。ただし  $\beta$  は 1 日の授業数とする。式 (13)

2 つの科目を連続で入れる。式 (11)

$i_4$  を体育を表す科目番号とする。体育は同時に 3 学級以上重複しない。

$$\sum_{c \in C} y_{i_4 t c} \leq 2, \quad t \in T \quad (18)$$

$i_5$  は国語もしくは図書を表す科目番号とする。国語もしくは図書が毎日必ず 1 時間以上入っている。

$$\sum_{t \in T_d} y_{i_5 t c} \geq 1, \quad c \in C \quad (19)$$

### 5.2.4 3 段階目

各クラスにおいて, 各時間帯には必ず 1 つの科目を割り当てなければならない。

$$\sum_{i \in I_c} y_{i t c} = 1, \quad t \in T, c \in C \quad (20)$$

体育は同時に 3 学級以上重複しない。式 (18)

国語もしくは図書が毎日必ず 1 時間以上入っている。式 (19)

なお, 式 (11) については [2] の定式化を引用している。

また, 式 (9) については [1] の定式化を参考にしている。

さらに, 以下の制約式については [1] の定式化から引用している。

式 (2), 式 (5), 式 (6), 式 (7), 式 (8), 式 (10), 式 (20)

## 6 結果

南山小学校の 2015 年度の時間割編成を行う。6 学年に各 3 クラスずつあり, 合計 18 クラスとなり, 全 231 科目の履修科目と 34 名の教員を割り当てる。各教員の出勤可能な日や担当科目などのデータは予め決められている。また, 編成は 1 週間分行い, 1 日の授業は 5 限もしくは 6 限までである。

時間割編成問題を解くための計算時間は次の通りとなった。1 段階目については該当する科目が 66 科目, 教員 20 名を割り当てるために, 計算時間が約 4 秒であった。2 段階目については, 87 科目, 教員 15 名を割り当てるために約 11 秒, 3 段階目については, 78 科目, 教員 8 名を割り当てるために約 4 秒の計算時間がかかった。

時間割編成問題の計算には Microsoft 社の Excel の追加アドインであり, 数値計画ソフトウェア What's Best!12.0 を利用する。また, PC の環境は次の通りである。OS: Windows 7 Professional(32bit), CPU: Intel(R) Core(TM) i5-2520M CPU 2.50GHz, RAM: 3.17GHz

## 7 おわりに

本研究では南山小学校の時間割編成作業において, A 週, B 週の基となる標準時間割の自動編成システムを試作することが目的である。標準時間割を割り当てることに成功したが, 現状ではシステムに詳しくなければデータ入力に難しい。よって今後の改善策としては, データ入力に容易になるようユーザーインターフェースを変更することが挙げられる。これを改善することにより, 次年度以降も使用しやすいものになると考えられる。

## 参考文献

- [1] 長谷川千春, 伊藤雄貴, 植木絢香: 中高一貫校の時間割作成システムの改良-システムの実用化を目指して-, 南山大学情報理工学部情報システム数理学科 2014 年度卒業論文, 2014.
- [2] 太田正和: 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修士論文, 2007.
- [3] 山本佳奈, 鈴木敦夫, 寺田尚広: 中高一貫校の時間割作成の改良-平成 25 年度の時間割を作成して-, スケジュール・シンポジウム 2013 講演論文集, pp.41-45, 2013.
- [4] 吉川昌澄: 学校時間割り自動編成, オペレーションズ・リサーチ 9 月号 Vol.46 No.9 2001, pp.461-468, 2001.

What's Best! は LINDO 社の登録商標である。