

個人指導塾における講師割り当て問題

8.8

野村 比香(沼田 一道 助教授)

1. はじめに

不況と少子化の影響から学習指導塾の競争は激化しており、私のアルバイト先の個人指導塾(以下、A塾と呼ぶ)も生徒数、授業時間数の減少に苦しんでいる。

生徒を増やす方策の1つとして、春・夏・冬の期間講習による生徒の囲い込みが挙げられる。新規入塾希望者は期間講習を正式入塾の判断材料にする事が多いが、申込から授業予定提示までの時間が長いと、塾の管理体制に不安を抱いたり、他の塾に心変わりしたりする可能性がある。また講師は十分な準備をもって授業に臨めず、授業に悪影響が及ぶ可能性もある。

本研究では、授業予定提示までの時間を長くする原因であるスケジュール作成を自動的に行うシステムを作成する。このとき、生成されるスケジュールは、生徒・塾にとって望ましいものであることを目標とする。更にこのシステムを用いて講習の授業予定を作成し、その有用性を検討する。

2. 現状と遅れの原因

スケジュール作成作業は講師の予定・授業可能科目の調査、生徒の希望日時・授業希望科目の受付から始まり、大方の情報が集まった時点で、担当の社員や講師が手作業で授業割り当てを行う。所要時間はおよそ1週間で、ほぼ終了するのは早くとも開始数日前、前日に決定するという事もある。

スケジュール作成に時間がかかる主な原因として、A塾の規模の大きさと授業システムの複雑さが挙げられる。A塾は、生徒数約200人、登録講師数約100人、部屋数約35部屋と規模が大きい。また、講師1人で生徒1人を教える本来の個人指導(以下、シングルと呼ぶ)の他に、講師1人で異なる部屋の生徒2人を同時に教える授業(以下、ダブルと呼ぶ)が存在し、システムを複雑化している。

3. 問題整理

3.1 作成するシステムの概要

システムの概要は図1のようになる。本研究では、以下A塾に即して、部屋数を35、1日のコマ数を7と固定して記述を行う。システムは、これらを設定可能な定数として扱う。

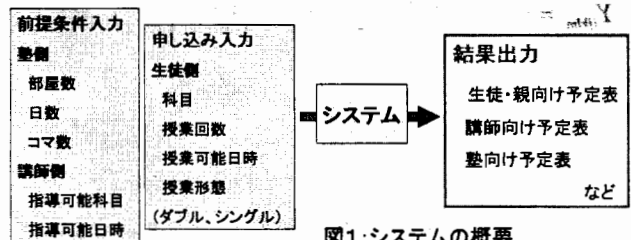


図1: システムの概要

3.2 良いスケジュールの定義

顧客である生徒・親にとって良いスケジュールを最優先に考えると、生徒の弱点・性格等の生徒情報の共有、綿密な授業計画作成を可能にすべく、担当講師数は最小限に抑える必要がある。また生徒の集中力低下を防ぐ為、生徒一人につき1日の同科目の授業数を2コマ未満に抑えるべきである。

次に、経営者である塾側にとって良いスケジュールを考えると、ダブルの授業はシングルの授業に比べ1コマ当たりの授業料が安い事から、授業の質と料金が見合うようにする為、ダブルの授業で申し込まれた授業は可能な限り講師1人につき生徒2人になるよう割り当てる必要がある。また各講師の1日の授業数を5コマ以下にする事で講師の過労を抑える必要もある。

3. 3 条件整理

良いスケジュールの指標：スケジュールの良し悪しの判断基準

- ①生徒 1 人あたりを受け持つ講師人数. これを最小にする (以下, 目的関数 1 とする)
- ②ダブルの授業を申し込んでいる生徒がシングルで受ける授業数. これを最小にする (以下, 目的関数 2 とする)

制約条件：実行可能なスケジュールである為の条件

- ①生徒は 1 日に同じ科目を 2 回以上受講しない
- ②講師の授業数は 1 日に 5 コマ以内とする
- ③生徒の申し込み数と授業数の一致
- ④講師と生徒の授業可能日時の一致
- ⑤講師の指導可能科目と生徒の授業希望科目の一致

システムの条件：塾と講師・生徒が授業可能である為の条件

- ①部屋数を 35 部屋, 一日あたりのコマ数を 7 コマ, 講習の日は任意に設定する
- ②生徒は 1 コマに 1 授業, 講師はシングルの際は 1 授業, ダブルの際は 2 授業行う

3. 4 定式化

整理した条件を, 定式化する. まず, 基本となる決定変数 X_{ijklm} Y_{ijklm} を導入する. 添え字 i は生徒番号を, j は日にちを, k はコマを, l は講師番号を, m は科目番号を表す. $X_{ijklm} = 1$ の時生徒 i が j 日 k コマ目に, 講師 l と科目 m をシングルで学ぶ授業がある事を示している. また $Y_{ijklm} = 1$ の時, 生徒 i が j 日 k コマ目に, 講師 l と科目 m をダブルで学ぶ授業がある事を示している. $\phi_{(j)}$ を生徒 i が授業可能な日時の集合, $\varphi_{(l)}$ を講師 l が授業可能な日時の集合, $\alpha_{(i)}$ を生徒 i の希望科目の集合 $\beta_{(l)}$ を講師 l が授業可能な科目の集合とする時, $X_{ijklm} = 1$ ($Y_{ijklm} = 1$) ならば (1) を満たさなくてはならない. (制約条件④⑤)

$$\begin{aligned} & jk \in \phi_{(j)} \cap jk \in \varphi_{(l)} \\ & m \in \alpha_{(i)} \cap m \in \beta_{(l)} \quad (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \min & \left\{ \sum_i \sum_m \sum_l \min \left(1, \sum_j \sum_k X_{ijklm} + \sum_j \sum_k Y_{ijklm} \right) \right\} / N \\ \min & \sum_j \sum_k \sum_l \min \left(1, \sum_i \sum_m Y_{ijklm} \right) \quad (2) \end{aligned}$$

目的関数は, N を生徒数とする時, (2) のように表される. 上段は良いスケジュールの指標①に, 下段は②に対応している.

次に, 制約式を定める. その他の制約条件とシステムの条件をもとに, $Kim_{(s)}$ を生徒 i が科目 m をシングル授業で申し込んだ授業数, $Kim_{(d)}$ を生徒 i が科目 m をダブル授業で申し込んだ授業数とすると, 制約条件とシステム条件は (3) のように表される.

$$\begin{aligned} & \sum_i \sum_l \sum_m X_{ijk} + \sum_i \sum_l \sum_m Y_{ijk} \leq 35 \\ & \sum_i \sum_k \sum_m X_{ijl} + \sum_i \sum_k \sum_m Y_{ijl} \leq 5 \\ & \sum_k \sum_l X_{ijm} + \sum_k \sum_l Y_{ijm} \leq 1 \\ & \left\{ \begin{aligned} & \sum_i \sum_m X_{jkl} \leq 1 \\ & \sum_i \sum_m Y_{jkl} \leq 2 \left(1 - \sum_i \sum_m X_{jkl} \right) \\ & \sum_l \sum_m X_{ijk} + \sum_l \sum_m Y_{ijk} \leq 1 \\ & K_{im(s)} = \sum_j \sum_k \sum_l X_{ijm} \\ & K_{im(d)} = \sum_j \sum_k \sum_l Y_{ijm} \end{aligned} \right. \quad (3) \end{aligned}$$

4. 解法

A 塾程度の規模の問題では厳密解を求めるのは困難なため、近似解法を用い、“ある程度”良い解を求める事を目標とする。本研究ではまず発見的解法によりシングルで申し込んだ授業、ダブルで申し込んだ授業の順に走査し、解を求めた後、その近傍を探索する事で解の改善を図る。

<発見的解法の方針>

用いた発見的解法は探索順位を以下に述べる基準に沿って降べき順に並べる事で良い解を求める。

Step 1 : 科目の重要度が高い順に並べ、走査する。

Step 2 : 申し込み授業総数の多い順に生徒を優先順位付けし、受け持つ講師を探索する。

Step 3 : シングルの際は Step 4, ダブルの際は Step 5 に進む。

Step 4 : 生徒と授業可能日時の合致回数が多い順に講師を優先順位付けし授業日程を探索する。

Step 5 : 講師の優先順位を定める際、生徒と授業可能日時が一致した日時の中で既にダブル授業の生徒を一人持っている時間数が多い講師順に並べる。

Step 6 : 同講師内で既にダブルの生徒を一人だけ持っている日時を優先的に割り当てた後、予定がない日時を探索して授業日時を決定する。

<近傍探索の方針>

発見的解法の際、科目の重要度により、優先順位を決め、その順に解を探索したが厳密に順位付けする事が困難な科目が複数存在する為、本研究では科目の中でも重要度が高く、授業頻度も高い主要 3 科目のみについて近傍探索を行う。概要は図 4 に示す。

5. 実験と結果

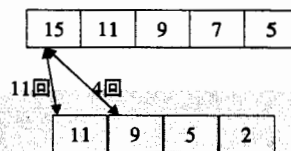
《実験 1》

割り当て探索に要する時間を計るため、単純にこのシステムを用いて解を求める。データは乱数で作成した講師情報と生徒申し込み情報を用いる。また、A 塾と同様の規模を想定し、生徒人数 200 人講師人数 100 人とし、日数は冬期講習の 14 日としてシステムを動かす。

《実験 1 の結果》

解の探索を行い、結果を出力するには約 3 分程度の時間がかかった。尚、試験的にデータ入力を行ったところ、25 人のデータを入力する為におよそ 1 時間を要したため、生徒 200 人講師 100 人の情報を入力するにはおよそ 12 時間がかかると考えられる。

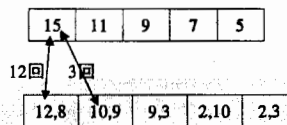
生徒の申し込み授業数



講師の生徒との可能日時一致回数

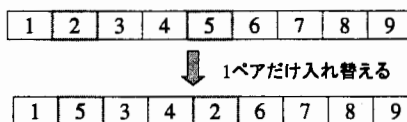
図2: シングルの際の生徒・講師の並べ替え

生徒の申し込み授業数



講師の生徒との可能日時一致回数 (1:1の回数、予定なしの回数)

図3: ダブルの際の生徒・講師の並べ替え



科目の順列の1ペアだけを入れ替え、解を求める作業を何度も繰り返し、全通り終わった時点で最も良い解を選択する。

図4: 近傍探索概略図

《実験2》

目的関数に沿ってこのシステムで求めた解の有効性を検証するこのシステムで割り当てを行った場合と、生成したデータ順に割り当てた場合とで目的関数の結果を比較する。規模は生徒・講師数の若干の増減も想定し、(I) 生徒 250 人、講師 125 人 (II) 生徒 200 人、講師 100 人 (III) 生徒 150 人、生徒 75 人の 3 パターンを実験する。

※ 本研究では目的関数が 2 つある為非劣解が考慮対象となる。本システムでは非劣解を全て列挙し、その中から良い結果を選択するものとする。

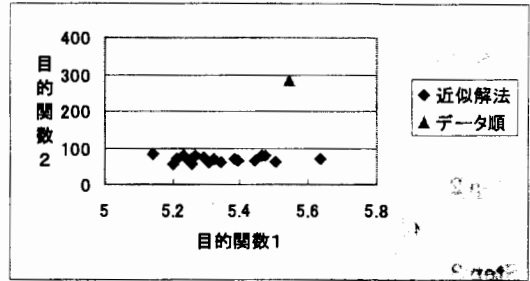


図5：実験2の結果

《実験2の結果》

結果として出力された目的関数値を散布図に表した。(I) (II) (III) 全てはほぼ同一の傾向が見られた為、A 塾と同規模のロの場合のみを図5に示した。

6. 考察

実験1の結果から、本システムを用いて授業予定を決定するには、データ入力、システムに対する不慣れさを含めてもおよそ2日間あれば決定する事ができると考えられる。

また、実験2の結果から、本研究で考案した解法を用いて割り当てを行った場合とデータ順に割り当てた場合を比較すると、近似解法で求めた解の方が左下に偏っている事が分かる(図5)。目的関数1, 2共に、求められた値を最小化する事が目標である為、近似解法で求めた解の方が明らかに優れていると言える。

7. まとめ

本研究では、授業予定決定の所要時間短縮を目的として数値的に表す事が可能な指標を用いて有効と思われる割り当てを行うシステムを作成し、その有用性を検証した。しかし、現実には数値として表せない指標、例えば生徒と講師の性格的な相性、講師の能力の差等が存在し、それは本システムでは考慮する事ができない。よって、結果を出力した後、特に注意が必要な生徒に関しては多少の手を加えたり、予め割り当てたりする事で、この問題を解消する事ができると考えられる。当然、このシステムの有用性を検討する際、この作業時間も考慮にいれなければならない。しかし、現在の所要時間1週間と比較し、本システムを用いると、手を加える作業時間を考慮に入れても、およそ2, 3日程度で割り当てが決定できると考えられ、時間短縮の目的は十分に果たされたと考えられる。しかし、生徒の情報は顧客の個人情報であるという理由から実際のデータを用いて検証する事が不可能であったため、検証が不十分である事が否めない。よって、更なる検証が必要と考えられる。

参考文献

- [1] 杉原厚吉, 浅野孝夫, 茨木俊秀, 山下雅史: 「アルゴリズム工学—計算困難問題への挑戦—」 共立出版, 2001
- [2] 掌田津耶乃: 「Delphi パーソナルプログラミング」 毎日コミュニケーションズ, 2002
- [3] 柳浦陸憲, 茨木俊秀: 「組合せ最適化—メタ戦略を中心として—」 朝倉書店, 2001