

南山大学におけるオペレーションズ・リサーチを用いた業務改善手法の研究

M2004MM044 山本 佳奈

指導教員 鈴木 敦夫

1 はじめに

現在、南山大学は学内の多方面でコスト削減と効率化を目指した業務の改善に取り組んでいる。そこで本研究では、本学における図書館の購入雑誌見直し問題と交流会館部屋割り問題、入試監督者割当問題を取り上げ、オペレーションズ・リサーチを用いた改善手法を考案する。

現在、図書館では多くの雑誌を購入している。しかし、近年は雑誌の購入価格が高騰状況にあり、さらに大学は予算の緊縮化を進めている。そのため図書館委員会は、2006年度以降に購入する雑誌について、早急な見直しを迫られている。そこで、雑誌の購入価格と必要度を考慮した上で、購入雑誌を見直すモデルを作成する。

本学には、留学生が共同生活をする学生寮として交流会館がある。瀬戸キャンパス事務部は、各学期に入学する留学生を交流会館の各部屋へ割当てる作業を手動で行なっている。しかし割当てる際には、留学生の出身国などに関する条件がある。そのため事務部は、割当作業にほぼ1日費していた。そこで、自動的に部屋割りを求めるシステムを作成し、実用化することを目標とする。

本学一般入試では、教職員と大学院生が監督を行なう。ただし、監督者を試験室へ割当てる際には様々な条件が存在する。そのため、2003年に自動割当システムを作成した [1]。しかし担当部署である入試課は、2006年度から割当ルールを一新することにした。また、センター利用入試も割当の対象に加えることになった。そこで、2006年度の入試監督者割当に対応する自動割当システムを作成する。

2 図書館における購入雑誌見直し問題

2.1 問題の説明

現在、図書館では様々な雑誌を購入している。図書館委員会は、この中から購入を見直す雑誌(継続雑誌)のリストを作成する。そして本学の各専任教員に対しては、一定の100ポイントを付与する。各専任教員は雑誌の購入価格と価値を考慮して、必要な継続雑誌にポイントを付与することができる。このとき、100ポイントを1誌に付与することもできれば、任意に分散したポイントを複数誌に付与することもできる。また、新規に購入を希望する雑誌(新規雑誌)がある場合は、各自でリストアップして、ポイントを付与する。ただし、継続雑誌と新規雑誌に付与したポイントの合計は、100ポイントを越えてはならない。

各専任教員が付与したポイントから、雑誌ごとのポイントを集計する。さらに、継続的な所蔵の有効性を考慮する意味で、各継続雑誌には基礎ポイントを付与する。この各雑誌のポイントを用いて、購入及び停止雑誌を見直す。そ

の際、予算の目標削減額の達成を前提として、購入しない雑誌の付与ポイントの総計が最も小さくなるようにする。

2.2 定式化

記号の定義

I : 見直し対象の雑誌の集合。

I_1 : 継続雑誌の集合。

I_2 : 新規雑誌の集合, $I_1 \cup I_2 = I$ 。

p_i : 雑誌 i に付与されたポイント, $i \in I$ 。

c_i : 雑誌 i の購入価格, $i \in I$ 。

Z : 目標削減額。

$$x_i = \begin{cases} 1 & : \text{雑誌 } i \text{ を購入しない,} \\ 0 & : \text{購入する,} \end{cases} \quad i \in I.$$

この問題を 0-1 整数計画問題として定式化する。

$$\text{minimize} \quad \sum_{i \in I} p_i x_i \quad (2.1)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{i \in I_1} c_i x_i - \sum_{i \in I_2} c_i (1 - x_i) \geq Z \quad (2.2)$$

$$x_i \in \{0, 1\}, \quad i \in I \quad (2.3)$$

2.3 実行結果

瀬戸キャンパスにおける 2006 年度納品分の雑誌について見直しを行なった。継続雑誌 62 誌と新規雑誌 1 誌を対象とし、目標削減額は 350 万円とした。Microsoft Excel ソルバーを用いて解いたところ、予算内で、必要度が高い雑誌を選定できた。計算時間は数秒であった。PC 環境は、CPU Athlon 64(2.2GHz)、メモリ 512MB である。

3 交流会館部屋割り問題

3.1 問題の説明

2005 年 8 月現在、瀬戸キャンパスには男子 27 名、女子 31 名の留学生が在籍している。秋学期には男子 8 名、女子 7 名の留学生が入学した。留学生の出身国は中国や台湾などのアジア地域 9ヶ国に及び、彼らの大半はそれぞれの出身国の特定機関を介して留学している。機関は 1ヶ国 1 機関とは限らず、全部で 19 機関ある。ただし、特定の機関に属さず、私費で留学する学生もいる。そのため、「私費」を 1 機関として扱い、全部で 20 機関とする。

彼らは交流会館の各ユニットに入居する。ここで 1 ユニットとは、定員が 4~5 名で、定員分の個室と共有スペースで構成される部屋である。事務部は定員を満たしていないユニットへ新入学の留学生を割当てる。

各ユニットに対しては、次の条件がある。まず、同じ出身

国の留学生は、なるべく同じユニットに入居しないようにする。各ユニットにおいて、入居者の出身国が重複する場合は、なるべく機関が異なるようにする。ただし機関にかかわらず、中国語を話すことができる国（中国、台湾、マレーシア）の出身者のみのユニットはなるべく作らない。特に、中国出身者のみになることは最も避ける。しかし最近では、特定の国からの留学生が多くなり、すべての条件を満たす割当を求めることが不可能になった。そこで、なるべく多くの条件を満たす割当を求めることにする。

3.2 定式化

記号の定義

- I_1 : 新入学の留学生の集合.
 - I_2 : 在学中の留学生の集合.
 - J : 定員を満たしていないユニットの集合.
 - K : 出身国の集合, $K = \{1, 2, \dots, 9\}$.
 - K' : 中国・台湾・マレーシア以外の国の集合, $K' \subset K$.
 - K'' : 中国以外の国の集合, $K'' \subset K$.
 - L : 機関の集合, $L = \{1, 2, \dots, 20\}$.
 - w_j : ユニット j ($\in J$) の定員.
 - P_1 : 各ユニットにおいて、同じ機関に属する留学生が2名以上入居する場合のペナルティ.
 - P_2 : 各ユニットにおいて、同じ出身国の留学生が2名以上入居する場合のペナルティ.
 - P_3 : 各ユニットにおいて、入居する留学生が中国・台湾・マレーシア出身者のみになる場合のペナルティ.
 - P_4 : 各ユニットにおいて、入居する留学生が中国出身者のみになる場合のペナルティ.
- ただし、 $P_1 < P_2 < P_3 < P_4$ とする。

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & : \text{在学学生 } i \text{ がユニット } j \text{ に入居している,} \\ 0 & : \text{その他,} \end{cases} \quad i \in I_2, \quad j \in J.$$

$$b_{ik} = \begin{cases} 1 & : \text{新入学生 } i \text{ の出身国が } k \text{ である,} \\ 0 & : \text{その他,} \end{cases} \quad i \in I_1, \quad k \in K.$$

$$b'_{ik} = \begin{cases} 1 & : \text{在学学生 } i \text{ の出身国が } k \text{ である,} \\ 0 & : \text{その他,} \end{cases} \quad i \in I_2, \quad k \in K.$$

$$c_{il} = \begin{cases} 1 & : \text{新入学生 } i \text{ が機関 } l \text{ に属する,} \\ 0 & : \text{その他,} \end{cases} \quad i \in I_1, \quad l \in L.$$

$$c'_{il} = \begin{cases} 1 & : \text{在学学生 } i \text{ が機関 } l \text{ に属する,} \\ 0 & : \text{その他,} \end{cases} \quad i \in I_2, \quad l \in L.$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & : \text{新入学生 } i \text{ をユニット } j \text{ に割当てて,} \\ 0 & : \text{割当てない,} \end{cases} \quad i \in I_1, \quad j \in J.$$

この問題を 0-1 整数計画問題として定式化する。

minimize

$$\sum_{j \in J} \left\{ \sum_{l \in L} P_1 \max \left(\sum_{i \in I_1} c_{il} x_{ij} + \sum_{i \in I_2} c'_{il} a_{ij} - 1, 0 \right)^2 \right.$$

$$\begin{aligned} & + \sum_{k \in K} P_2 \max \left(\sum_{i \in I_1} b_{ik} x_{ij} + \sum_{i \in I_2} b'_{ik} a_{ij} - 1, 0 \right)^2 \\ & + P_3 \max \left(1 - \sum_{k \in K'} \left(\sum_{i \in I_1} b_{ik} x_{ij} + \sum_{i \in I_2} b'_{ik} a_{ij} \right), 0 \right) \\ & \left. + P_4 \max \left(1 - \sum_{k \in K''} \left(\sum_{i \in I_1} b_{ik} x_{ij} + \sum_{i \in I_2} b'_{ik} a_{ij} \right), 0 \right) \right\} \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{j \in J} x_{ij} = 1, \quad i \in I_1 \quad (3.2)$$

$$\sum_{i \in I_1} x_{ij} \leq w_j - \sum_{i \in I_2} a_{ij}, \quad j \in J \quad (3.3)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i \in I_1, \quad j \in J \quad (3.4)$$

3.3 実行結果

数値計画ソフトウェア What's Best! 7.0 を用いて、2005 年度 9 月に入学した留学生に対する割当を実際に行なった。対象者の中には中国出身者が多く、男女共に、中国出身者が2名以上入居するユニットができてしまった。しかし機関はすべて異なった。また、男子は中国と台湾の出身者が特に多いため、彼らのみのユニットができてしまった。ただし中国出身者のみのユニットは避けることができた。このシステムにより、すべての割当作業を約 15 分で行なうことが可能になった。PC 環境は 2 節と同じである。

4 入試監督者割当問題

4.1 問題の説明

監督者割当は、名古屋キャンパスで行なわれるセンター利用入試と一般入試を対象とする。センター利用入試は名古屋キャンパスと県外の会場で 2 月 7 日に行なわれる。ただし、県外の会場は対象としない。また一般入試は、名古屋キャンパスにおいて、2 月 9 日から 13 日までの 5 日間実施される。そして、両試験とも 1 日に 3 時限行なわれる。ただし監督者割当は 1 日単位で行なう。つまり、各試験日における各試験室の監督は 3 時限とも同じメンバーが担当する。そして 1 日の監督を 1 回として扱う。

試験室としては体育センターと教室を使用する。保健室として使用する部屋も含め、全部で 80 室用意する。入試課はその中から各試験日で使用する試験室を選び、その各試験室に必要な監督者数を決定する。各試験日に必要な監督者数は、その日に使用する試験室に必要な監督者数の合計で決まる。そして、各試験室の監督者は責任者と補助者に分かれる。責任者は各試験室で 1 名である。

監督業務を行なう教職員は 253 名である。このうち、採点など、他の入試関連の業務に携わる教職員は、監督を行なうことができない試験日がある。入試課はその試験日を考慮した上で、各教職員に対して、全 6 回のうちで監督を行なうことができる最大回数（監督可能回数）を決定する。

教職員の監督可能回数は最も多くて3回である。ただし教職員の中には、特定の試験日・試験室での監督が既に決定している人がいる。そして各教職員の監督可能回数は、監督が決定している回数も含んでいる。そこで、監督可能回数から、決定している回数を除いた回数を割当可能回数と定義する。この問題では、監督者が決定していない試験室を対象として、各教職員の割当可能回数に基づいて監督者割当を考える。また教職員は、担当する役割によって2つのカテゴリーに分けられる。カテゴリー1に属する教職員は、試験室の責任者と補助者のどちらも担当することができる。一方、カテゴリー2に属する教職員は補助者のみ担当する。そのため、各試験日に割当ててる教職員のうち、カテゴリー1に属する教職員の合計人数は、その日に必要な責任者数以上でなければならない。

大学院生61名も監督業務を行ない、彼らは補助者を担当する。ただし、各試験日の待機者と保健室の補助者は必ず大学院生が担当する。そして各大学院生に対しても、割当可能回数が決まっている。最も多い人は6回の監督が可能である。また、彼らも監督を行なうことができない試験日がある。さらに大学院生に対しては、各試験室に割当てることができる最大人数が決まっている。例えば、監督者が4名必要な試験室に割当てることができる大学院生は2名までである。各試験室における最大人数の合計より、各試験日に割当てることができる最大人数も決まる。

4.2 問題の分割

この問題では、各教職員と各大学院生が6日間で実際に行なう監督回数と、彼ら314名の監督者の各試験日・各試験室への割当の両方を求めなければならない。そこで、解法を単純にするために、問題を2段階に分割する。

4.2.1 第1段階

各教職員と各大学院生について、割当可能回数から6日間で実際に行なう監督回数を求め、各試験日へ割当てて入試課は、監督回数を決定するときに大学院生をなるべく多く割当てたい；つまり、教職員の監督回数をなるべく少なくしたいと考えている。ただし各教職員と各大学院生は、既に監督が決まっている回数も含めて、6日間で必ず1回は監督を行なう。また、割当てることができる試験日がそれぞれ異なる。さらに大学院生は、各試験日に割当てることができる人数が限られている。

また入試課は、教職員の監督回数を決定する際には、監督可能回数が多い教職員の割当可能回数から1回ずつ減らすことにした。ただし、監督可能回数と同じ場合は、生年月日が早い教職員を優先する。そこで教職員については、以下の手順に基づいて監督回数を決定する。

手順1：生年月日が早い順に、監督可能回数が3回の教職員の割当可能回数を1回減らす。

手順2：生年月日が早い順に、監督可能回数が2回の教職員の割当可能回数を1回減らす。

手順3：監督可能回数が3回で、割当可能回数が2回以

上の教職員を対象にして、生年月日が早い順に、手順1で得た回数をさらに1回減らす。

ただし、手順1から手順3の任意の時点において、各試験日に必要な監督者数などの条件によって教職員の回数をさらに減らすことができない場合は、その時点で終了する。

そこで、第1段階をネットワーク(図1)で表し、監督回数の決定と各試験日への割当を同時に行なう。

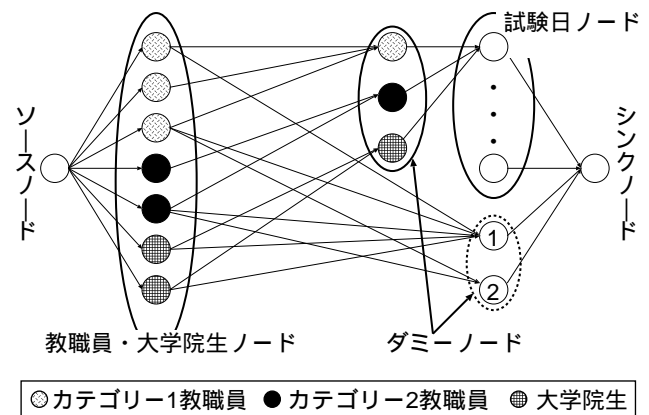


図1 割当問題の第1段階を表したネットワーク
左側のノードは教職員と大学院生を表し、右側上部のノードは試験日を表す。

ネットワークには次の条件が反映されている。まず、各教職員と各大学院生が実際に行なう監督回数を求めるために、図1において破線で囲まれているダミーノード1,2を用いる。ダミーノード1,2へは、各教職員と各大学院生の割当可能回数のうち、監督を行なわない回数が流れる。ただし教職員については、前述した手順に従って、割当可能回数から1回ずつ減らす。そこで、監督可能回数が3回の教職員のうち、割当可能回数が2回以上の教職員に対してはダミーノード1,2へ枝をつくり、割当可能回数が1回の教職員はダミーノード1へのみ枝をつくる。監督可能回数が2回の教職員に対してはダミーノード1へのみ枝をつくる。これらの枝の容量はすべて1とする。ただし、監督可能回数が1回の教職員はダミーノード1,2への枝が存在しない。一方、大学院生についてはダミーノード1へのみ枝が存在し、その容量を割当可能回数-1とする。

ダミーノード1,2への流量は、コストでコントロールする。まず教職員については、手順に従って、ダミーノード1,2への流量を決定したい。そこで、教職員のダミーノード1,2への枝については、各教職員の監督可能回数と生年月日を考慮してコストを決定する。また、大学院生はできる限り多く割当て、教職員が行なう監督回数をなるべく少なくする。そのため、教職員におけるダミーノード1,2への流量よりも、大学院生のダミーノード1への流量が流れにくくなるようにコストを決定する。

それ以外の枝の容量については、各試験日に必要な監督者数や補助者数などを用いる。以上のような条件を反映す

ることによって、割当条件の一部をネットワーク上でコントロールできる。

4.2.2 第1段階の定式化

記号の定義

- I : ノード全体の集合, $h, i, j \in I$.
- I_1 : 教職員ノードの集合, $I_1 \subset I$.
- I_{11} : カテゴリー1に属する教職員ノードの集合.
- I_{12} : カテゴリー2に属する教職員ノードの集合.
 $I_{11} \cup I_{12} = I_1$.
- I_2 : 大学院生ノードの集合, $I_2 \subset I$.
- E : 枝の集合.
- p_{ij} : 各枝の容量, $(i, j) \in E$.
- c_{ij} : 各枝の1単位あたりのコスト, $(i, j) \in E$.
- s : ソースノード, $s \in I$.
- t : シンクノード, $t \in I$.
- q : 6日間で必要な監督者の延べ人数.
- a_i : 監督者*i*の割当可能回数, $i \in I_1 \cup I_2$.
- λ : 試験日, $\lambda = 1, 2, \dots, 6$.
- M_λ : 試験日*λ*に必要な責任者数.
- N_λ : 試験日*λ*に割当てることができる大学院生の最大人数.
- k_λ : 試験日*λ*において、カテゴリー1に属する教職員が集まるダミーノード.
- l_λ : 試験日*λ*において、大学院生が集まるダミーノード.
- J : 試験日ノードの集合, $J = \{j_\lambda \mid \lambda = 1, \dots, 6\}$.
- ∂V_i^+ : *i*から出る枝の集合, $i \in I$.
- ∂V_i^- : *i*に入る枝の集合, $i \in I$.
- x_{ij} : *i*から*j*への流量, $(i, j) \in E$.

この問題を線形計画法の問題として定式化する。

$$\text{minimize} \quad \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij} \quad (4.1)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{(i,j) \in \partial V_i^+} x_{ij} = a_i, \quad i \in I_1 \cup I_2 \quad (4.2)$$

$$x_{k_\lambda j_\lambda} \geq M_\lambda, \quad \forall \lambda \quad (4.3)$$

$$\sum_{i \in I_2} x_{il_\lambda} \leq N_\lambda, \quad \forall \lambda \quad (4.4)$$

$$\sum_{i \in J} x_{it} = q \quad (4.5)$$

$$\sum_{(s,j) \in \partial V_s^+} x_{sj} = \sum_{(i,t) \in \partial V_t^-} x_{it} = \sum_{i \in I_1 \cup I_2} a_i \quad (4.6)$$

$$\sum_{(i,j) \in \partial V_i^+} x_{ij} = \sum_{(h,i) \in \partial V_i^-} x_{hi}, \quad i \in I - \{s, t\} \quad (4.7)$$

$$0 \leq x_{ij} \leq p_{ij}, \quad (i, j) \in E \quad (4.8)$$

4.2.3 第2段階

第1段階において各試験日に割当てた教職員と大学院生を各試験室に割当てる。その際、各試験日に割当てた監督者はどの試験室に割当てても良い。ただし、各試験室には責任者が1名ずつ必要である。また、待機者と保健室の補助者は必ず大学院生が担当する。さらに大学院生は、各試験室へ割当てることができる人数が限られている。そこで、貪欲算法を用いた以下の手順により、各試験日に割当てた教職員と大学院生を各試験室へ割当てる。

まず、カテゴリー1に属する教職員の中から、各試験室の責任者を1名ずつ割当てる。次に、大学院生の中から待機者と保健室の補助者を割当て、残りの大学院生をそれ以外の試験室に割当てる。このとき、各試験室で決められた最大人数を越えないようにする。最後に、カテゴリー2に属する教職員と、まだ割当てていないカテゴリー1に属する教職員を補助者として各試験室へ割当てる。この手順を各試験日に対して行なう。

4.3 実行結果

第1段階は What's Best! 7.0 を用いて解いた。第2段階は、Microsoft Visual Basic for Application を用いてプログラムを作成した。2006年度のセンター50と一般入試に対する監督者割当を行なったところ、計算時間は第1段階が6秒、第2段階が11秒であった。計算に必要な表の作成と結果の出力、確認も含めて、約20分で割当作業を終えることができた。PC環境は2節と同じである。

5 おわりに

図書館における購入雑誌見直し問題では、購入及び停止雑誌を見直すモデルを作成した。その結果、コスト感覚に優れた選定が可能になった。このモデルは瀬戸キャンパスにおける2006年度納品分に対して適用された。

交流会館部屋割り問題では、自動割当システムを作成した。このシステムは、2005年度9月入学の留学生に対する部屋割りで実際に使用された。

入試監督者割当問題では、2006年度の監督者割当に対応する自動割当システムを作成した。このシステムは2006年度入試の監督者割当で実際に使用された。そして、割当結果に関連する帳票類の作成など、入試課が行なう作業も含めて、約3時間半で業務を終えることができた。

本研究で取り上げた問題以外に、時間割編成問題などに対しても、オペレーションズ・リサーチを用いた改善手法を考案することができる。このような問題への取り組みを今後の課題とする。

参考文献

- [1] 山本佳奈, 小川留里, 内田麻衣子, 鈴木敦夫: 入試監督者自動割当システムの試作, 日本OR学会2004年度秋季研究発表会アブストラクト集(2004), pp.50-51.