

手術室のスケジューリング支援システムについて

鈴木 敦夫, 藤原 祥裕

病院の手術室の管理運営は病院の麻酔科医が中心となって行っている。手術室の運営に関しては、手術のスケジューリング、麻酔科医のシフト作成、手術部の看護師のシフト作成などオペレーションズ・リサーチ (OR) を用いて解決できる問題が数多くある。ここでは、南山大学の鈴木研究室と愛知医科大学の麻酔科学講座とで共同開発中の、これらのスケジューリングやシフト作成を支援するシステムの紹介をする。これらのシステムの作成にあたっては、現場で使いやすいように、スケジュールやシフトを作成している麻酔科医や看護師長の知識や経験が活かせるような工夫をしている。現在、これらのシステムは愛知医科大学の麻酔科講座で試用中である。

キーワード：手術のスケジューリング、麻酔科医のシフトスケジューリング、看護師のシフトスケジューリング

1. はじめに

病院などの医療機関への OR の適用は近年急速に話題になってきている。ヨーロッパや米国では、ORAHS (The European Working Group on OR Applied to Healthcare Service), HAS (The INFORMS Healthcare Application Society) のこの分野の研究グループがあり、学会を開催するなどして急速に研究が進んでいる。わが国でも、医療機関に関連した OR 研究が徐々に進んでいる。特に、スケジューリングに関しては、ナーススケジューリングに関する研究 [1] や、介護に関するスケジューリングに関する研究、またその研究成果に基づく実用的なシステムが公開されているなど [2]、これからますますこの分野の研究は発展していくと思われる。

一方、最適化のアルゴリズムの研究が進み [5]、また、その成果を取り入れた高性能の最適化ソフトウェアが安価に利用可能になって、病院などの医療機関での実用的な規模のスケジューリング問題が短時間で解けるようになってきている。

しかしながら、現状では、看護師のシフトスケジューリングの作成問題に代表されるように、OR の研究成果は、なかなか現場で広く受け入れられるまでには至っ

ていない。病院の情報システムの一部には、給与システムに連動した看護師のシフト作成のツールが付属している場合も多いが、実際には、担当者が手作業で作成したシフトをそのシステムに入力して給与計算だけに利用している例が多い。現場ではなかなかこれらの OR の成果が利用されないのはなぜだろうか。

現場の担当者に実際に使ってもらえるシステムは、担当者の持っている知識や経験をうまく取り入れる必要がある。実際に、病院の情報システムに付属のシフト作成ツールのようなシステムは、条件を入力するとシフトを自動的に作成するものの、それを担当者の知識や経験を活かして修正することが非常に困難である。その結果、担当者にとって満足のいくスケジュールが作成できずに、結局利用されなくなっている。OR の成果を取り入れて作成しているにもかかわらず、実際に使ってもらえないのでは開発の時間と費用の無駄でもある。

実際に現場で使われるシステムを作成するには、現場で担当者が直面している問題をシステムの作成者が良く理解し、そのうえで担当者がシステムにどのようなことを望んでいるかを考えることが重要である。それをせずに、問題を定式化して、最適化ソフトウェアを利用して解くだけのシステム、もしくはその問題を解くためだけにプログラムを作成したシステムは、前述の医療情報システムに付属したツールのようにすぐに使われなくなってしまう。

ここでは、実際に手術室の現場で使ってもらえるシステムを目指して、南山大学の鈴木研究室と愛知医科

すずき あつお
 南山大学情報理工学部
 〒489-0863 瀬戸市せいれい町 27
 ふじわら よしひろ
 愛知医科大学医学部
 〒480-1195 長久手市岩作雁又 1-1

大学の麻醉科学講座が共同で開発中のスケジューリング支援システムを紹介する。このきっかけになったのは、筆者の一人の藤原が南山大学のビジネススクールで、澤木勝茂教授のもとで OR を学んだことである。藤原は愛知医科大学の麻醉科学講座の教授で、手術部の責任者でもある。そこで、ビジネススクールで OR の威力を認識し、愛知医科大学の手術室で直面している問題の解決に利用することを考えた。そして澤木教授の紹介で鈴木が共同開発にあたることになった。

開発を目指しているシステムは、麻醉科医の当直シフト作成システム、手術スケジューリング作成システム、手術部看護師のシフト作成システムの3つのシステムである。これらは相互に関連しているが、最初はそれぞれ独立のシステムとして開発することにした。麻醉科医の当直シフト作成システムは、麻醉科医が行う夜間の当直のシフト作成を支援するシステムである。このシフトは1カ月単位で作成されている。手術スケジューリング作成システムは、病院で行う手術をどの手術室でいつ行うのかというスケジュールを作成するシステムである。これは1週間単位で作成される。手術部看護師のシフト作成システムは手術室を担当する看護師のシフト作成システムである。これは4週間単位で作成される。

愛知医科大学の手術室のスケジューリング支援システムの開発にあたっては、筆者ら2人に加えて、愛知医科大学の手術部的小林千尋看護師長、実際にシステムを作成する大学院生の今泉隆徳君、伊東美奈さんにも加わってもらい、打ち合わせを多数回行って入念な情報交換を行っている。そこでは、試作したシステムを試しに病院で使ってもらい、改善点を指摘してもらって、システムを改修することを繰り返している。この過程はシステムを担当者にとって使いやすくするために重要であり、担当者が納得するまで継続する予定である。

3年前に、筆者の一人の鈴木は、愛知医科大学病院のほかの病棟の看護師のスケジューリング問題に取り組んだことがあった。その際には、担当の看護師長に打ち合わせの時間をとってもらったにもかかわらず、システムを実際に使ってもらうまでには至らなかった。その原因は、担当者が容易にシフトを修正できるシステムを作成することをしなかったためである。開発に加わってもらった看護師長との情報交換が足りず、看護師長がおそらく持っていた要望をうまくシステムに取り入れられなかった。時間を費やしてもらったにもかかわらず、使ってもらえるシステムを作成できずに申

し訳ないことをしたと思っている。この失敗を教訓に、担当者との打ち合わせは十分に行うようにしている。

麻醉科医の当直シフト作成システムでは実際にシフト作成を行う担当者が、システムが自動的に作成したシフトを知識や経験に基づいて修正できるようにした。まず、シフト作成のための条件を入力して、後述のように定式化したシフト作成問題を解いて初期のシフトを作成する。そのシフトを担当者が直接修正し、もしくはシフト作成のための条件を変更して、再度シフト作成問題を解いてシフトを作成する。これを担当者が知識と経験に照らして妥当と判断するシフトが得られるまで繰り返す。この方法により、担当者にとって使いやすく、しかもその作成の手間は大幅に減少する。また、シフト作成問題は、後述のようにごく短時間で解けるので、試行錯誤を繰り返すことができる。その結果、質の高いシフトを作成することができる。

本システムで採用したこの方法は、南山大学鈴木研究室が過去に開発したスケジューリングシステムでも用いられている。南山大学の入学試験関係のいくつかのシフトスケジューリングシステム [6] は、2003年から開発を始めた。最初に開発した入学試験監督者の割当システムは11年間使われている。ホームセンターのシフト作成システム [4] も5年間使われている。これらのシステムが長期間にわたって使用されていることを踏まえ、前述の3年前の愛知医科大学の病棟看護師のシフトスケジューリング作成システムの失敗のあと、現場で使われるシステムについて考えた。そこで過去に開発して長く使われているシステムは、担当者が容易に修正できるように設計していたことに気がついた。その後は、作成するスケジューリング関係のシステムでは必ず担当者の知識や経験を活かせるようにしている。例えば、現在開発中の南山高等学校・中学校の時間割システム [7] でも、時間割編成の担当者が最適化計算によって得られた時間割を容易に修正できるように設計している。実際、このシステムを使って今年度の時間割を作成した際には、このことが有効であることが確かめられた。

以降の節では、3つのシステムのなかで最も開発が進んでいる麻醉科医の当直シフト作成システムについて紹介する。第2節では、麻醉科医の勤務について紹介する。第3節では試作したシステムを紹介する。第4節では、シフト作成問題の定式化の紹介し、CPLEX¹で実現した際の計算時間について述べる。第5節では、

¹ CPLEX は IBM 社の、Excel は Microsoft 社の登録商標である。

まとめと今後の開発予定について述べる。

2. 麻酔科医の勤務について

近年、手術を中心として、手術前、手術後を含めた周術期医療の重要性が増している。周術期医療では、麻酔科医がチームリーダーとなってチーム医療が行われる。そこでは、麻酔科医の果たす責任は非常に重く、手術室内での患者の容態管理のみならず、手術を受ける患者の治療において麻酔科医の重要性は増している。一方で麻酔科医の養成は遅れており、わが国では、麻酔科医は大幅に不足している。米国では訓練を受けた看護師が麻酔科医の役割を代行して補助しているが、わが国ではそのような制度はなく、麻酔科医の負担は大きい。現在では麻酔科講座を持つ大学も増加しており、将来的には不足は解消される可能性が高い。しかし、医療の高度化に従って、手術の件数も増えており、麻酔科医の需要も増加している。こしばらしくは、麻酔科医の不足状態は解消されそうにない。

麻酔科医の勤務は激務である。前述したように麻酔科医が不足しているにもかかわらず、その重要性は増している。それにともなって、麻酔科医1人あたりの業務は増加し、勤務時間は長時間に及んでいる。ときには、昼間の勤務の直後に夜間の当直をしなくてはならないこともあるくらいである。さらに、自分が所属する病院での勤務に加えて、麻酔科医が不足しているほかの病院への応援にも行かなくてはならない。また、大学病院に所属する麻酔科医は、研究者として学会に参加して情報収集するとともに、研究成果を発表しなければならない。これらの勤務の状況は限界に近づいており、麻酔科医が携わる業務の効率化が急務である。

そのような激務のなかで、麻酔科医は手術室の管理運営も行っている。麻酔科医の主たる勤務場所が手術室であるので、管理運営を任されている。その管理運営は、一部で病院の情報システムの支援を受けているものの、ほとんどが手作業によっている。例えば、ここで取り上げる当直医のシフトは、経験の豊富な麻酔科医がほとんど1日ばかりで作成している。

一方では、手術は病院にとって最も利益になる治療という側面がある。現在の医療保険制度では、病院にとって手術が大きな収入源の一つである。したがって、現有的手術室の設備と医師、看護師の体制でできるだけ多くの手術を行うことは、一刻も早く患者の命を救うという意味のみならず、病院経営にとっても重要な問題になっている。

このように手術室の管理運営の効率化は病院の経営にとって重要である。そのためには、手術のスケジュールリング、それにともなう麻酔科医のシフト、手術部の看護師のシフトを、手術を効率的に行えるように作成しなくてはならない。これらのスケジュールやシフトの品質が手術室の効率に直結している。

この管理運営には、経験を積んだ麻酔科医に、看護師長も加わって携わっている。麻酔科医は激務をこなしながら、看護師長は本来の業務である周術期医療での業務をこなしながら、手術室の管理運営を行っている。したがって、その負担はかなり重い。また、そのなかで作成したシフトの品質に関しては必ずしも十分でない場合もある。この管理運営の時間や手間を減らし、品質の高いシフトを作成することは、かれらの負担を減らして、本来の業務である医療に専心できる時間を増やすと同時に、病院経営にとっても重要である。

愛知医科大学では手術室の管理運営で重要な各種のスケジュールリングは手作業で行われている。ほかの多くの病院でも同様の事情のようである。麻酔科医の当直シフトは医局長がほぼ1日かけて、手術のスケジュール、手術部の看護師のシフトは看護師長がそれぞれ1日から4日かけて作成している。また、作成した手術のスケジュールやシフトについては、現場からの意見によって修正されることも多い。特に、手術のスケジュール作成については、毎週、各診療科の代表が集まって調整するなど、麻酔科のみならず、ほかの科の医師の負担にもなっている。

手作業で行うスケジュールの作成は大きな負担になっていることに対し、これらを効率的に作成するシステムがあれば、麻酔科医や看護師長の負担は大幅に減少するとともに、手術のスケジュールやそれにともなう、麻酔科医や看護師のシフトが改善されて、病院経営にも貢献することができる。ここではその取り組みの最初として、麻酔科医の夜間の当直シフト作成システムを紹介する。このシステムは、愛知医科大学に勤務する22名の麻酔科医の夜間の6種類の当直勤務に対するシフトの作成を支援するシステムである。次節で紹介するように、Excelのシート上のインターフェースを持ち、ごく短時間でシフトを作成できるように設計されている。

3. 麻酔科医の当直シフト作成システムについて

愛知医科大学では手術は通常は昼間に行われるので、麻酔科医はそれに対応して昼間の勤務（当番と呼ばれ

ている)を行う。夜間は、緊急の手術や、患者の容態の急変に備えて当直勤務をしなくてはならない。最も重要なのはSICU(Surgical Intensive Care Unit)と呼ばれる設備の当直である。SICUは、手術後、患者が、容態が安定するまで滞在する部屋である。そのほかに、麻酔科当直①、麻酔科当直②、居残り①／待機、居残り②、居残り③と呼ばれている5種類の当直勤務がある。各当直勤務は1名の麻酔科医が行う。

麻酔科医は経験によってランクづけされており、経験豊富なランク1の麻酔科医は現在22名中8名である。ランク1の麻酔科医は最も重要なSICU当直勤務を担当する。ランク1の麻酔科医はそのほかの当直もできるが、ここではそれは行わない。ランク2、ランク3の麻酔科医はそれぞれ残りの5種類の当直勤務を担当する。麻酔科医は希望する日に休みを取得でき、また、学会参加や、他病院への応援の日も確保しなくてはならない。これらに配慮し、しかも麻酔科医の間の公平性を保つシフトを作成する。

麻酔科医の勤務は激務であるだけに、麻酔科医の間の勤務の公平性は重要である。公平性が崩れると、単に麻酔科医の間の不公平感が増すだけでなく、一部の麻酔科医に限界を越えた勤務を課すことになる。これは、それらの麻酔科医の健康状態に大きな影響を与え、ひいては医療行為にも差し支えてしまう。前述のように経験を積んだ麻酔科医が当直のシフト作成を行っているのは、このような事情をよく認識しているからである。

麻酔科医の当直シフト作成システムの作成にあたっては、前述のように、経験を積んだ麻酔科医である担当者がその知識や経験をシフト作成に取り入れられる工夫をした。麻酔科医や勤務に関する種々の条件を入力して、次節で定式化を説明するシフトスケジューリング問題を解く。担当者は得られたシフトに修正を加

え、さらに条件も修正して再度スケジューリング問題を解く。この過程を繰り返して、担当者が妥当と判断するシフトを作成する。次節で紹介するように、シフトスケジューリング問題はごく短時間で解くことができる。担当者は短時間で幾通りもの試行錯誤をすることができる。以降では、実際のシステムの画面を紹介しながらシステムを紹介する。

図1はシステムのインターフェースである。Excelのシートの上に配置する。作業の順にボタンが並んでおり、これらをクリックすることでシフトを作成する。ボタンをクリックすると、エクセル上の必要シートに移動できるようになっている。「固定・修正」ボタンと「計算実行」ボタンの間には矢印でループが表示されている。これは前述の繰り返しの作業をこのループで行うことを示している。また、「計算実行」、「勤務情報」、「固定・修正」の各ボタンを結んでもう一つのループが矢印で表示されている。これは、条件の変更を行う作業を示している。このようなごく簡便なインターフェースであるが、シフト作成作業には必要十分であるとわれわれは考えている。

図2は「医師勤務種類」ボタンをクリックして移動するシートである。麻酔科医師のランク、曜日による勤務種類、休みの種類を入力する。その後、「スケジュール作成月」ボタンをクリックして、スケジュールを作成する月、「休み希望」ボタンをクリックして各麻酔科医の休みや学会参加などを入力する。

図3は「勤務情報」ボタンをクリックしたときのシートである。ここでは、休み希望や、麻酔科医のランクによる当直の割当の可・不可、麻酔科医ごとの当直回数の下限・上限を入力する。このシートは、これらの条件を設定するだけでなく、一度作成したシフトの修正のためにこれらの値を修正するときにも利用する。その後、「麻酔科当番・SICU当番」ボタンで、昼間のこ

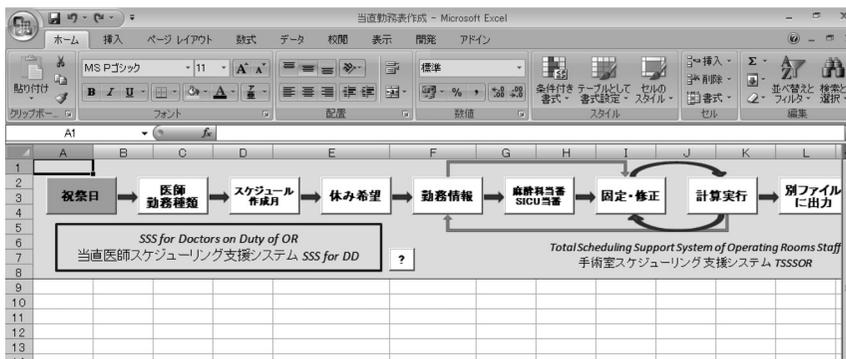


図1 麻酔科医当直シフト作成システムのインターフェース部分

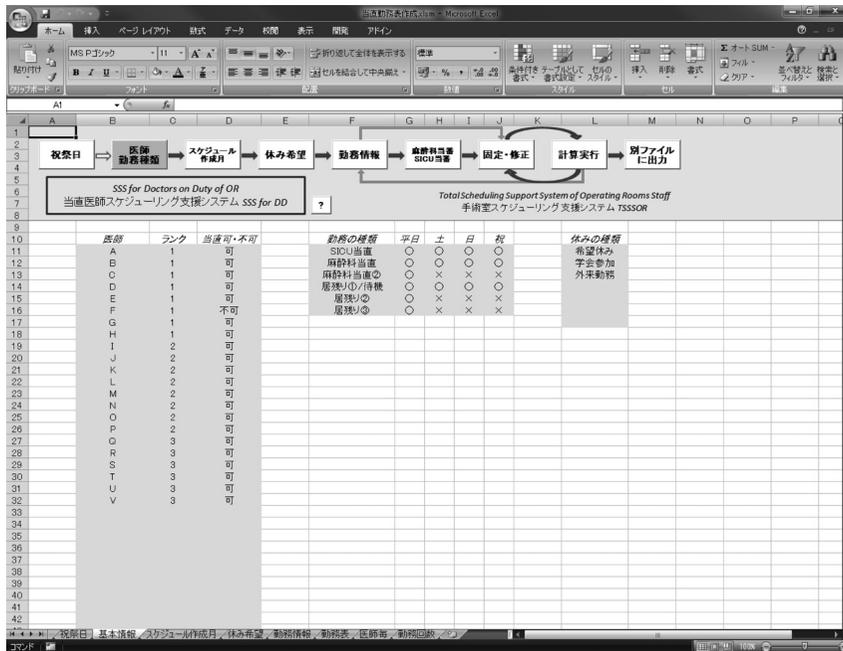


図2 麻酔科医の勤務種類の入力シート
麻酔科医の名前はアルファベットにしてある。

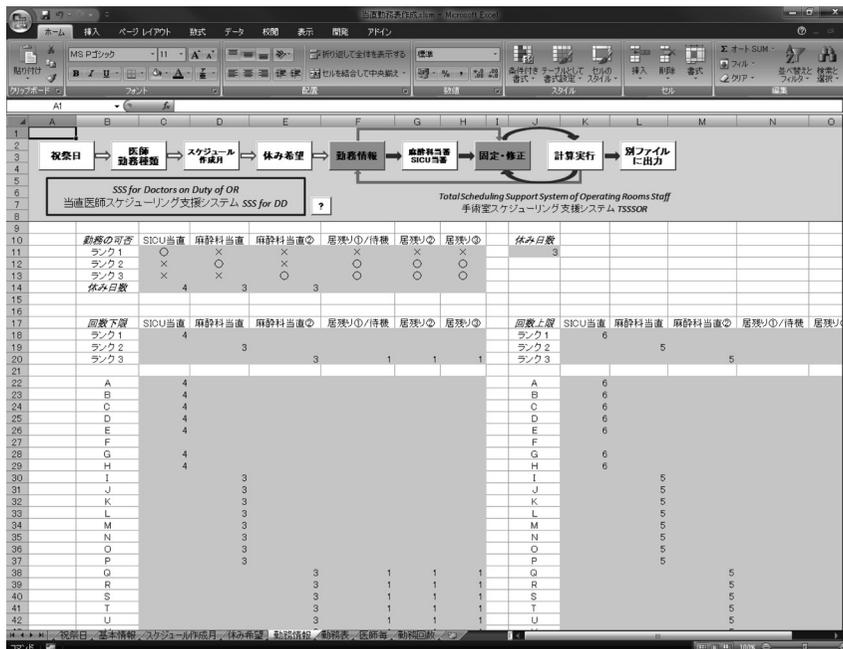


図3 麻酔科医の勤務情報を入力するシート

れらで勤務する麻酔科医を入力する。

図4には「固定・修正」ボタンで固定すべきシフトを指定した後で、「計算実行」ボタンをクリックしてシフトスケジューリング問題を解き、その結果が表示さ

れている。影のついているセルは、適切な麻酔科医が配置されなかったシフトを示している。実際には、ダミーの麻酔科医を導入しており、これらのシフトにはダミーが割り当てられている。ダミーの麻酔科医を導

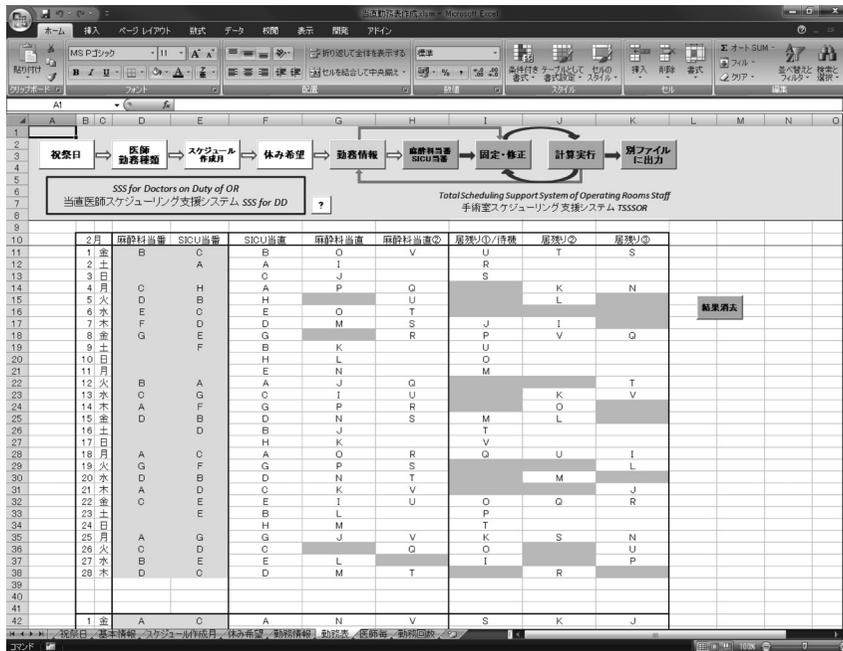


図4 第1回目に求められたシフト
影付きの部分は適切な麻酔科医が割り当てられなかったことを示している。

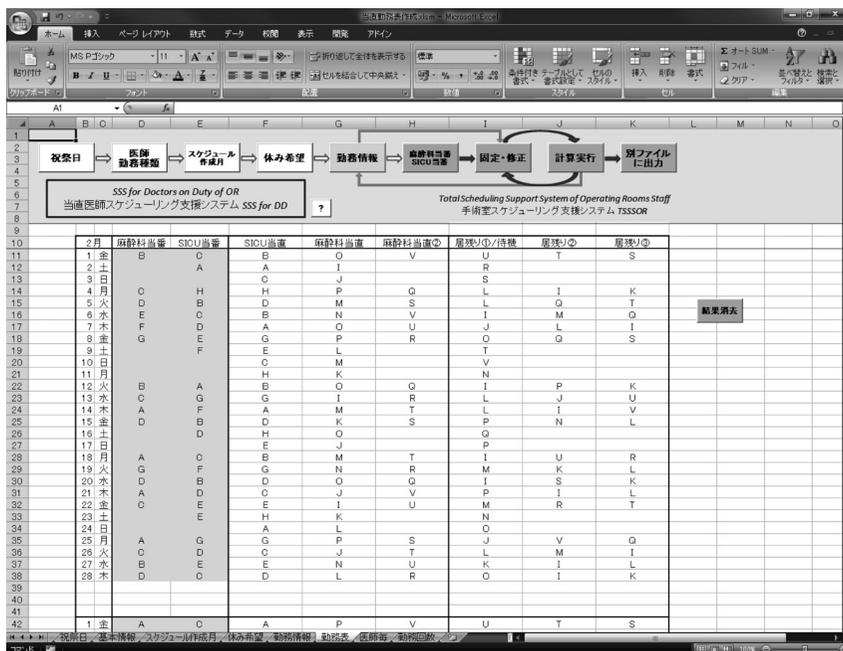


図5 最終的に得られた麻酔科医のシフト
影のついたセルがなくなり、適切な麻酔科医が各当直に割り当てられた。

入したのは、問題が実行不可能になるのを防ぐためである。担当者にとっては、実行不可能となった場合は、次に何を行ってよいかわからないことになる。ほかにも

問題が実行不可能にならないような工夫もしているが、これは次節の定式化の制約条件の説明で紹介する。このシフトスケジューリング問題は標準的なPCで1秒

以内で解ける.

図5は、図3の「勤務情報」ボタンで、各種の条件を変更した後で、最初に得られたシフトの一部を「計算実行」ボタンをクリックして再度計算した結果である。影のついたセルがなくなり、条件を満たすシフトが得られたことを示している。もし、担当者がこのシフトで妥当でないと判断した場合には、再度「勤務情報」ボタンをクリックして条件を変更して再計算することで新しいシフトを作成することができる。

4. 問題の定式化について

ここでは、問題の定式化について述べる。問題の定式化はスケジューリング問題に携わっている方にとってはなじみのものである。スケジューリングの教科書 [3] にもある基本的な定式化である。まず記号の定義を示し、その後、定式化を示す。最後に目的関数と制約式の意味について簡単に紹介する。

記号の定義

集合

D : 麻酔科医全体の集合 $d \in D$

D_1 : ダミーを除いた麻酔科医全体の集合

R : 麻酔科医のランクの集合 $r \in R = \{1, 2, 3, 4\}$

$r = 1$: ランク 1

$r = 2$: ランク 2

$r = 3$: ランク 3

$r = 4$: ダミーの麻酔科医が属するランク

G_r : $\{i | i \text{ はランク } r \text{ に属する麻酔科医}\}, r \in R$

T : 日にちの集合 $t \in T = \{1, 2, \dots, |T|\}$

S : 当直勤務の集合 $s \in S = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$

$s = 1$: SICU 当直

$s = 2$: 麻酔科医当直

$s = 3$: 麻酔科医当直②

$s = 4$: 居残り①/待機

$s = 5$: 居残り②

$s = 6$: 居残り③

定数

$$p_d = \begin{cases} 1 \dots \text{麻酔科医 } d \text{ は当直勤務が可能である} \\ 0 \dots \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$a_{ts} = \begin{cases} 1 \dots t \text{ 日に当直勤務 } s \text{ を割り当てる} \\ 0 \dots \text{その他の場合 (土日祝など)} \end{cases}$$

$$b_{dt} = \begin{cases} 1 \dots \text{麻酔科医 } d \text{ が } t \text{ 日の昼間に麻酔科} \\ \text{当番を行う} \\ 0 \dots \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$c_{dt} = \begin{cases} 1 \dots \text{麻酔科医 } d \text{ が } t \text{ 日の昼間に SICU} \\ \text{当番を行う} \\ 0 \dots \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$e_{dts} = \begin{cases} 1 \dots \text{麻酔科医 } d \text{ が } t \text{ 日の当直勤務 } s \text{ を} \\ \text{固定する} \\ 0 \dots \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$f_{dt} = \begin{cases} 1 \dots \text{麻酔科医 } d \text{ が } t \text{ 日に休みを希望する} \\ 0 \dots \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$g_{dt} = \begin{cases} 1 \dots \text{麻酔科医 } d \text{ が } t \text{ 日に当直勤務を行う} \\ 0 \dots \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$h_{rs} = \begin{cases} 1 \dots \text{ランク } r \text{ の麻酔科医が勤務 } s \text{ を行う} \\ \text{ことができる} \\ 0 \dots \text{その他の場合} \end{cases}$$

l_{ds}^- : 1 カ月あたりの、麻酔科医 d の当直勤務 s の回数
の下限值

l_{ds}^+ : 1 カ月あたりの、麻酔科医 d の当直勤務 s の回数
の上限值

o : 前月から引き継ぎを考慮すべきスケジュール
日数

m_s : 当直勤務 s のあと、次に同じ当直勤務 s を行う
までの最低日数

n : いずれかの当直勤務を行ったあと、次にいずれ
かの当直勤務を行うまでの最低日数

決定変数

$$x_{dts} = \begin{cases} 1 \dots \text{麻酔科医 } d \text{ が } t \text{ 日に当直勤務 } s \text{ をする} \\ 0 \dots \text{その他の場合} \end{cases}$$

y_{ds}^- : 1 カ月あたりの麻酔科医 d の当直勤務 s の回数
の下限値の緩和のための変数

y_{ds}^+ : 1 カ月あたりの麻酔科医 d の当直勤務 s の回数
の上限値の緩和のための変数

u_{ds} : 麻酔科医 d が前月のスケジュールを考慮した最
初の当直勤務 s を行ったあと、次に同じ当直勤
務 s を行うまでの休みの最低日数の緩和のため
の変数

v_d : 麻酔科医 d が前月のスケジュールを考慮した最
初のいずれかの当直勤務を行ったあと、次にい
ずれかの当直勤務を行うまでの休みの最低日数
の緩和のための変数

x_{dts} 以外の変数、 y_{ds}^+ と y_{ds}^- 、 u_{ds} 、 v_d は制約条件を緩
和して問題が実行不可能にならないようにするために
導入した変数である。

以上の変数を用いて問題を定式化すると、

目的関数

$$\begin{aligned} & \max \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} (b_{dt} x_{dt1} + c_{dt} x_{dt1}) \\ & - \sum_{d \in G_4} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} x_{dts} \\ & - \sum_{d \in D} \sum_{s \in S} (y_{ds}^- + y_{ds}^+) \\ & - \sum_{d \in D} \left(\sum_{s \in S} u_{ds} + v_d \right) \end{aligned}$$

制約条件

$$\sum_{s \in S} x_{dts} \leq 1, \quad d \in D, \quad t \in T \quad (1)$$

$$\sum_{d \in D} x_{dts} = a_{ts}, \quad t \in T, \quad s \in S \quad (2)$$

$$\sum_{s \in S} x_{dts} \leq p_d, \quad d \in D, \quad t \in T \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{t'=t}^{t+m_s} x_{dt's} \leq 1 + u_{ds}, \quad d \in D_1, \quad s \in S, \\ & t = 1, \dots, o-1 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{t'=t}^{t+m_s} x_{dt's} \leq 1, \quad d \in D_1, \quad s \in S, \\ & t = o, \dots, |T| - m_s \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{t'=t}^{t+n} \sum_{s \in S} x_{dt's} \leq 1 + v_d, \quad d \in D_1, \\ & t = 1, \dots, o-1 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{t'=t}^{t+n} \sum_{s \in S} x_{dt's} \leq 1, \quad d \in D_1, \\ & t = o, \dots, |T| - n \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & l_{ds}^- - y_{ds}^- \leq \sum_{t \in T} x_{dts} \leq l_{ds}^+ + y_{ds}^+, \\ & d \in D_1, \quad s \in S \end{aligned} \quad (8)$$

$$\sum_{d \in G_r} x_{dts} = h_{rs}, \quad r \in R, \quad t \in T, \quad s \in S \quad (9)$$

$$\sum_{s \in S} x_{dts} \leq 1 - f_{dt}, \quad d \in D, \quad t \in T \quad (10)$$

$$\sum_{s \in S} x_{dts} \geq g_{dt}, \quad d \in D, \quad t \in T \quad (11)$$

$$x_{dts} \geq e_{dts}, \quad d \in D, \quad t \in T, \quad s \in S \quad (12)$$

$$x_{dts} \in \{0, 1\}, \quad d \in D, \quad t \in T, \quad s \in S$$

$$y_{ds}^-, y_{ds}^+, u_{ds}, v_d \geq 0, \quad d \in D, \quad s \in S$$

目的関数の第1項は、昼間のSICU当番と続けてSICU当直を行う麻酔科医の人数、第2項は当直を割り当てられるダミー麻酔科医の人数、第3項はあらかじめ定められた当直回数の上下限を超えている回数の

総和、第4項は当直の間のあらかじめ定められた間隔を下回る日数の総和を表している。第1項は昼間の勤務と夜間の当直を続けたい麻酔科医が多いので目的関数としている。第2項、第3項と第4項は問題が実行不可能にならないように目的関数に加えられている。

以下、制約条件について述べる。麻酔科医は医師と略することにする。

(1)は、医師は各日、各当直シフトに高々1回しか入れない。(2)は当直勤務が必要な日には必ず医師を割り当てる。(3)は当直勤務可能な医師のみを割り当てる。(4)はダミーを除いた医師がある当直を行った場合、次に同じ当直を行うまで、あらかじめ定められた日数だけ間隔をあける、ただし前月から引き継いだ日に当直があったとき、あけられなかった場合も認め、その回数は変数 u_{ds} に蓄えられる。(5)は当月のシフトだけを考え、(4)と同様、必ず決められた日数だけ間隔をあける。(6)は当直を行った場合、どの当直でも次の当直を行うまで、あらかじめ定められた日数だけ間隔をあける、ただし前月から引き継いだ日に当直があったとき、その日数だけ間隔をあけられなかった場合も認め、その回数は v_d に蓄えられる。(7)は当月のシフトだけを考え、(6)と同様、必ず決められた日数だけ間隔をあける。(8)はある医師がある当直を行う回数は、あらかじめ定められた上限と下限の間になくはない。ただし、上限を上回る場合と下限を下回る場合も認め、その回数はそれぞれ y_{ds}^+ と y_{ds}^- に蓄えられる。(9)は、医師はランクごとに定められた当直を行う。(10)は医師の休み希望を実現する。(11)はあらかじめ定められた医師が当直を行う。(12)は、医師はあらかじめ固定された当直を行う。(4)、(6)、(8)で導入した u_{ds} 、 v_d 、 y_{ds}^+ と y_{ds}^- は制約を緩和するために導入した変数で、制約をなるべく満たすように、目的関数に組み入れられている。

5. まとめ

愛知医科大学の手術室に関連する、手術のスケジューリング、麻酔科医の当直シフト作成、手術部の看護師のシフト作成は、本来相互に関連している作業である。手術のスケジューリングが決まってから、麻酔科医のシフトが決まり、手術部の看護師のシフトを決め、さらに、再度手術のスケジュールを見直すことができれば、手術室に関わる人的資源の無駄も省け、手術室の効率も上がるはずである。

現在、開発中の3つのスケジューリングシステムの改修を進めると同時に、麻酔科医の昼間のシフト作成

の自動化にも取り組み始めた。麻酔科医の昼間のシフト作成も、現在手作業で行われている。その作成には、夜間の当直シフトの場合ほど時間はかからないものの、それでも毎月3時間程度は作成に時間を費やしている。もし自動化されればその手間を削減できる。

手術のスケジューリング、麻酔科医の昼間・夜間の勤務シフト作成、手術部の看護師のシフト作成の3つのシステムが統合できれば、互いの関連を考慮した手術室に関連するトータルなスケジューリングができることになる。手術室のトータルスケジューリング支援システム (Total Scheduling Support System of Operating Rooms, TSSSOR) として2年後の完成を目指して現在作業中である。OR学会の研究発表会で逐次成果を報告したい。

参考文献

- [1] 池上敦子, 丹羽明, 大倉元宏, 我が国におけるナーススケジューリング, オペレーションズ・リサーチ, **41**, 436-442, 1996.
- [2] 池上敦子, 宇野毅明, 足立幸子, 村野真吾, 佐藤宏幸, 吉田勇人, 軍司奈緒, 内山広紀, 運用コストを重視した最適化: 小規模な事業所で運用可能なシステムを考える, オペレーションズ・リサーチ, **57**, 695-704, 2012.
- [3] M. L. Pinedo, *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*, 2nd ed. 2009, Springer, New York.
- [4] 鈴木敦夫, ホームセンターのサービスイノベーション: 最適店舗レイアウトとシフト作成 (<特集>サービスイノベーションと OR の視点), オペレーションズ・リサーチ, **56**, 439-444, 2011.
- [5] 柳浦睦憲, 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.
- [6] 山本佳奈, 鈴木敦夫, 南山大学における入試監督者自動割当システムの作成, オペレーションズ・リサーチ, **54**, 335-341, 2009.
- [7] 山本佳奈, 鈴木敦夫, 寺田尚広, 中高一貫校の時間割編成支援システムの試作, スケジューリング・シンポジウム 2012 講演論文集, 2012年9月, 145-150.