

南山大学大学院
博士（数理情報学）論文

医療機関のスケジューリング問題に対する
オペレーションズ・リサーチを用いた解決方法の研究

平成28年1月29日
伊藤 真理

謝辞

本論文を作成するにあたり、指導教員としてご指導頂いた鈴木敦夫先生に心より感謝いたします。南山大学大学院数理情報研究科の大学院1年生として、鈴木研究室に配属されて以来5年もの間、ご教授頂いたこととなります。研究面の指導、助言のみならず、学会発表の練習や生活面、行動面に至るまで多くのことを教えて頂きました。その根底にあった暖かなお心遣いは大変貴重なもので、鈴木先生の存在がなければこの論文の完成はなかったものと思われます。そのご指導に心より感謝いたします。

南山大学のOR研究会や博士論文の中間発表では、福島雅夫先生、高見勲先生、佐々木美裕先生、三浦英俊先生、小市俊悟先生、鈴木淳生先生、元南山大学 元筑波大学名誉教授 腰塚武志先生に、本研究を発展させる貴重なコメントを頂戴しました。その全てを本論文に反映させることは適いませんでしたが、今後研究生活を送っていく上での指針としていく所存です。特に、福島雅夫先生には、研究指導の時間に、有益なコメントを頂き、感謝の念に絶えません。佐々木美裕先生には、特に国際学会のプレゼンテーションにおいてご指導を頂き、大変感謝をしております。

大学時代の指導教員である金城学院大学の中村正治先生には、感謝してもしきれない程、お世話になりました。この場を借りて感謝の意を表します。

研究に関わってくださったリバーフィールド・コミュニケーションズ河原芳昭氏、愛知医科大学の藤原祥裕教授、今村明教授、愛知医科大学病院の小林千尋看護師長、伊藤卓也氏、卒後臨床研修センターに所属する医師・研修医の方々に心より感謝致します。また、手術室のスケジューリング問題の手術の所要時間の推定においては、松田眞一先生に助言を頂きました。お忙しい中、お時間を割いていただき、感謝しております。

鈴木研究室における5年間を充実して過ごすことができたのは、多くの魅力的な先輩、同期そして後輩たちに恵まれたからです。

最後に、生まれてからこれまでの人生の中で、生活面、精神面ともに常に私の支えとなってくれた両親および弟、また祖父母、親戚の皆さまに心より感謝の意を捧げたいと思います。

概要

本論文では、医療機関におけるスケジューリング問題に対して、オペレーションズ・リサーチを用いた解決方法とその有効性について論じる。近年、赤字に苦しむ医療機関が増加し、国立大学病院においても黒字化が要求されている。一方、高齢化の影響で病院の患者数は年々増加している。このような状況の中で、医療機関の運営者は限られた施設や人的資源を有効に活用して、より多くの患者を治療できるよう管理運営の合理化を行う必要がある。実際に、医療機関では医療情報システムが管理運営の合理化を担い、大規模病院を中心に医療情報システムの導入が進んでいる。医療情報がデータベース化する一方で、施設利用や人的資源の運営スケジュールは、手作業で作成している。その理由の一つとして、医療機関の運営者はスケジュール作成の作業に関する効率化を実現する有効な方法を見出せていないからである。そこで、我々はこのデータベース化された医療情報を活用し、スケジュール作成においても効率化させることを考える。このような医療機関のスケジューリング問題について、国外を中心に多数の研究が行われている。しかしながら、その研究成果が実問題へ適用できている例は数少ない。

本研究は、医療機関のスケジューリング問題の事例に対して、オペレーションズ・リサーチの最適化手法を適用して解決することを考える。具体的には、問題を整数計画問題として定式化し、最適化ソフトウェアの CPLEX を利用して Excel 上にシステムを実装する。これによって、医療機関の運営者自身がスケジュールの自動作成を行えるようにする。ここでは、3つのスケジューリング問題に対して、システムを実装し、適用した結果について示す。具体的には、人間ドックにおけるスケジューリング支援システム、手術室のスケジューリングシステム、研修医の当直シフトスケジューリングシステムである。これらのシステムについて、計算結果の紹介とそのシステムの有効性について示す。

目次

第 1 章	序論	1
1.1	はじめに	1
1.2	本研究の背景	1
1.3	関連する既存研究	2
1.4	本研究の目的と概要	4
1.5	論文の構成	5
第 2 章	人間ドックにおけるスケジューリング問題	6
2.1	はじめに	6
2.2	SSSMC の構築	7
2.3	問題の定式化	9
2.4	計算結果	11
2.5	待ち時間の削減を実現するために	13
2.5.1	まとめ	14
2.6	受診者の順序を変更することの効果について	15
2.7	SPT 規則を用いた受診者の順序によるスケジュールの作成	15
2.8	SPT 規則を近似的に実現する予約方法の提案	17
2.8.1	まとめ	18
2.9	まとめ	19
第 3 章	手術室のスケジューリング問題	20
3.1	はじめに	20
3.2	愛知医科大学病院の紹介	21
3.3	手術室のスケジューリングシステムの構築	21
3.4	手術の所要時間の推定	23
3.5	問題の定式化	27
3.6	計算結果	29
3.7	手術情報入力補助システムの構築	32
3.8	まとめ	32
第 4 章	研修医のスケジューリング問題	39
4.1	はじめに	39

4.2	研修医の当直シフトスケジューリングシステムの構築	40
4.3	研修医の当直シフトスケジューリングシステムと研修医のローテーションシステム の関連性	42
4.4	問題の定式化	42
4.5	AHP による制約式の重要度の数量化	46
4.6	計算結果	47
4.7	愛知医科大学病院でのシステムの実用化まで	50
4.7.1	愛知医科大学病院の当直シフトスケジュール作成	50
4.7.2	当直シフトスケジュールの説明	55
4.8	まとめ	56
第 5 章	結論と今後の課題	57
5.1	本研究の結論	57
5.2	本研究の課題と展望	58
	参考文献	59
付録 A	人間ドックにおけるスケジューリング問題	63
A.1	目的関数におけるパラメータ値の比較	63
A.2	$\alpha=1.9$, $\beta=0.04$, $\gamma=0.1$ のパラメータ値を用いて, 他データでスケジュールを 作成した結果	65
A.3	待ち時間を削減するための対応策の検討	67
付録 B	手術室のスケジューリング問題	75
B.1	目的関数のパラメータ値の比較	75
B.2	2014 年 6 月 3 日から 2014 年 6 月 6 日の手術室のスケジュール	78
B.3	2015 年 3 月 2 日から 2015 年 3 月 6 日の手術室のスケジュール	79
B.4	2015 年 8 月 24 日から 2015 年 8 月 28 日の手術室のスケジュール	81
付録 C	研修医の当直シフトスケジューリング問題	83
C.1	2015 年 11 月分の当直シフトスケジュール	83
C.2	2015 年 12 月分の当直シフトスケジュール	86
C.3	2015 年 1 月分の当直シフトスケジュール	90
C.4	2015 年 2 月分の当直シフトスケジュール	91

目次

2.1	SSSMC システムのユーザーインターフェイス	8
2.2	工程 2 におけるスケジューリングの様子	9
2.3	実際の受診者の順序によるスケジュールの一部	14
2.4	人間ドックの実績データの一部	14
2.5	SPT 規則を用いた受診者の順序によるスケジュールの一部	16
2.6	Short, Long の分割と開始時刻の関係	16
2.7	SPT 規則を近似的に用いた受診者の順序によるスケジュールの一部	18
2.8	1, 2, 3 によるスケジュールの 1 日あたりの総待ち時間のボックスプロット	19
3.1	手術室のスケジューリングシステムのユーザーインターフェイス	21
3.2	5 日分のスケジュールの 1 日目を設定するためのフォーム	22
3.3	1 つの手術に対する手術の所要時間の詳細	23
3.4	手術件数の上位 13 診療科の手術の所要時間のヒストグラム	24
3.5	手術件数の上位 13 診療科の正規 QQ プロット	25
3.6	2014 年 6 月 2 日の一部の手術の推定した手術の所要時間と執刀医によって申告された手術の所要時間, 実際の手術の所要時間の比較	26
3.8	手術情報入力補助システムのユーザーインターフェイス	38
4.1	研修医の当直シフトスケジューリングシステムのユーザーインターフェイス	41
4.2	階層図	47
4.3	2 年目の研修医 27 名に実施した一対比較アンケート	48
4.4	制約条件に関する総合重要度のレーダーチャート	49
4.5	2016 年 1 月分のシステムより得られた当直シフトスケジュールに手修正を加え, 実用化したスケジュール	55
A.1	$\alpha=1, \beta=0.04, \gamma=0.04$, 最長待ち時間 95 分, 総待ち時間 345 分	63
A.2	$\alpha=2, \beta=0.04, \gamma=0.04$, 最長待ち時間 85 分, 総待ち時間 150 分	63
A.3	$\alpha=2, \beta=0.04, \gamma=0.1$, 最長待ち時間 50 分, 総待ち時間 175 分	64
A.4	$\alpha=2.5, \beta=0.04, \gamma=0.15$, 最長待ち時間 80 分, 総待ち時間 180 分	64
A.5	$\alpha=1.9, \beta=0.04, \gamma=0.1$, 最長待ち時間 80 分, 総待ち時間 175 分	64
A.6	$\alpha=1.9, \beta=0.04, \gamma=0.1$ のデータ 1 でスケジュールを作成した結果	66
A.7	$\alpha=1.9, \beta=0.04, \gamma=0.1$ のデータ 2 でスケジュールを作成した結果	66

A.8	ボトルネックによって長い待ち時間が発生したスケジュール	68
A.9	受診者の同時に検診を開始する人数を5人に変更したスケジュール	69
A.10	問診の配置人数を2人へと変更したスケジュール	70
A.11	問診の配置人数を3人へと変更したスケジュール	71
A.12	問診の配置人数を4人へと変更したスケジュール	72
A.13	30分休憩を導入したスケジュール	73
A.14	受診者の順序変更したスケジュール	74
B.1	$\alpha=2, \beta=2, \gamma=1$	76
B.2	$\alpha=2, \beta=2.5, \gamma=1$	76
B.3	$\alpha=2.5, \beta=2, \gamma=1$	76
B.4	$\alpha=2.5, \beta=3, \gamma=1$	77
B.5	2014年6月3日(火)のスケジュール	78
B.6	2015年3月2日(月)のスケジュール	79
B.7	2015年3月3日(火)のスケジュール	79
B.8	2015年3月4日(水)のスケジュール	80
B.9	2015年3月5日(木)のスケジュール	80
B.10	2015年3月6日(金)のスケジュール	80
B.11	2015年8月24日(月)のスケジュール	81
B.12	2015年8月25日(火)のスケジュール	81
B.13	2015年8月26日(水)のスケジュール	81
B.14	2015年8月27日(木)のスケジュール	82
B.15	2015年8月28日(金)のスケジュール	82
C.1	2015年11月分のシステムより得られた当直シフトスケジュール	84
C.2	2015年11月分の手作業により作成した最終版の当直シフトスケジュール	85
C.3	2015年12月分のシステムにより得られた当直シフトスケジュール	87
C.4	2015年12月分の手作業により作成した最終版の当直シフトスケジュール	88
C.5	2015年12月分のシステムにより得られた修正版の当直シフトスケジュール	89
C.6	2016年1月分のシステムにより得られた当直シフトスケジュール	90
C.7	2016年2月分のシステムにより得られた当直シフトスケジュール	91
C.8	2016年2月分のシステムより得られた当直シフトスケジュールに手修正を加え、実用化したスケジュール	92

表目次

2.1	SSSMC の構成	8
2.2	望ましい検査の順序と検査名称	12
2.3	同時受診可能人数	13
2.4	検査の先行制約	13
2.5	スケジュールの総待ち時間の比較	17
3.1	2012 年 3 月 12 日から 2014 年 2 月 3 日までの各診療科の手術件数	34
3.2	重回帰分析の結果	35
3.3	回帰モデルの説明変数の係数と定数項	35
3.4	診療科の優先度	36
4.1	2015 年 2 月の当直回数に対する研修医数	49
4.2	2015 年 2 月の研修医の土日祝日の当直回数	50
4.3	(a) 手作業のスケジュールにおける 2015 年 2 月の研修医の各曜日の出勤回数	51
4.4	(b) 制約条件の重要度付けなしのスケジュールにおける 2015 年 2 月の研修医の各曜日の出勤回数	52
4.5	(c) AHP より制約条件の重要度付けしたスケジュールにおける 2015 年 2 月の研修医の各曜日の出勤回数	53

第1章

序論

1.1 はじめに

本章では、日本の医療機関の経営状況と社会背景を述べたのち、医療機関の管理運営の合理化の必要性、スケジューリング問題を解決することで、その合理化にいかに関与できるかについて述べる。さらに、医療機関におけるスケジューリング問題の既存研究を紹介しながら、本研究の位置づけを明らかにする。それに加えて、本研究の目的と概要について紹介する。最後に各章の構成を述べる。

1.2 本研究の背景

厚生労働省が2003年から導入した包括医療化 (Diagnosis Procedure Combination:以下 DPC と称する) 制度によって、医療費は定額払い制となった。病院が医療行為を提供するほど収益が上がる出来高払い制であった従来の保険制度に比べて、DPC 制度を導入後、慢性の赤字に苦しむ病院が増えた。一般社団法人全国公私病院連盟の病院運営実態分析調査において、2012年では、調査対象719病院のうち、総利益からみた赤字病院の数の割合は、67.6%であったと報告されている [1]。そのうえ、2004年の独立行政法人化によって、国立大学病院においても黒字が要求されている。黒字を実現するために、病院は患者の回転率や手術件数を増加させることが必要となった [2]。

一方、高齢化の影響で病院の患者数は年々増加している [3]。一般的に、医療分野では、高齢化と患者数の推移には強く相関があることが知られている。実際、日本の高齢化の状況は世界的に見ても深刻である。United Nations, World Population Prospects の The 2008 Revision [4] では、日本の高齢化率は、中国、インド、アメリカなどの世界的に人口が多い国や韓国、シンガポールなどの、今後急速な高齢化を迎えるアジア諸国にまさると予想されている。2050年には、日本の高齢化率は35%になると推測されている。日本政策銀行の病院業界事情ハンドブック [5] では、高齢化に伴い、入院・外来患者が年々増加すると予想されている。このハンドブックでは、2025年頃まで外来患者数が増加し、それ以降外来に通院できない入院患者が増加すると想定している。

このような状況の中で、病院の運営者は限られた施設や人的資源を有効に活用して、より多くの患者を治療できるよう管理運営の合理化を行う必要がある。実際に、電子カルテシステムや予約システム、人員管理システムなどの医療情報システムが管理運営の合理化を担っている。これらのシステムは大規模な医療機関を中心に導入が進んでいる。特に、医療情報システムのなかでも、電子カルテシ

システムの普及率が最も高い。2013年の電子カルテシステムの普及率は約31%である。大規模病院(ここでは、400床以上の病院である821施設を対象とする。)では、69.9%と普及率が高い。市場調査会社のシード・プランニングは[6]、普及率が未だ低い中規模病院(ここでは、100~399床の病院である4562施設を対象とする。)において、電子カルテシステムの単価が下がることで、2018年には2倍近くの納入が見込まれると予想している。一方で、手術室の利用スケジュールや医師の勤務スケジュールなどの施設利用や人的資源の運営のスケジュールは、手作業で作成している。要するに、医療情報システムの技術が進歩し、医療情報がデータベース化する一方で、スケジュール作成においては未だ手作業による管理が行われている。その理由の一つとして、医療機関の運営者は、管理運営の効率化を実現する有効な方法を見出せていないからである。一般的に、施設利用や人的資源の運営のスケジュールの作成は、施設の容量や必要な人員数などの様々な条件を満たす必要がある。また、それらの必要な条件を満たした上で、スケジュール内容の更なる充実を図りたいと運営者は考えている。しかしながら、このようなスケジュールを作成することは手間と時間がかかる。

今後、医療機関は患者への質の高い医療サービスの提供が求められている。つまり、医療行為を施すだけでなく、患者の心のケアや治療以外のストレスを削減する必要がある。これらを実現するためにはより一層、施設利用の効率化と医師や看護師などの人的資源の確保が重要になる。たとえば、施設利用の効率化という面では、人間ドックのような予防医療においては、受診者を効率的に検査へ誘導することで検査間の待ち時間を削減する必要がある。同様に、手術室の利用においても手術の延びを考慮してスケジュールを組み、そのスケジュール通りに運用することで、手術室を効率的に使用する必要がある。また人的資源の確保という面では、医師・研修医の勤務形態や研修医の研修先の診療科などの勤務に関する希望を考慮する必要がある。さらに、これらの運用には労働基準法や医療機関による規定があり、それらを守りながら、より良い運用を実現するためのスケジュールを作成することが重要である。

これらのスケジューリング問題に対して、オペレーションズ・リサーチの手法を適用すれば、必要な条件に加えて、スケジュール内容の更なる充実を実現することができる。しかしながら、オペレーションズ・リサーチの手法を用いて、解決したスケジュールが実用化している例は数少ない。その理由の一つとして、オペレーションズ・リサーチの手法が未だ医療機関業界に浸透していないことがあげられる。実用化するためには、医療機関の運営者へのスケジューリング問題に関する調査が重要となるため、医療機関の運営者の協力が必要である。また、医療機関の運営者がオペレーションズ・リサーチの知識や問題の解決に用いた手法の基礎となる部分を理解していない場合であっても、医療機関の運営者自身がデータ分析をし、スケジューリング問題を解けるように支援するシステムが必要である。

1.3 関連する既存研究

医療機関には、様々なスケジューリング問題がある。たとえば、Brunner and Edenharter [7]は病院の医師の長期的な雇用に関する人員配置問題について研究した。この問題は混合整数問題として定式化し、列生成法に基づいた近似解法を用いて、解いた。その結果、この手法は運営者が人員配置を決定する際の支援ツールとしての有効性を示した。他にも、Berg et al. [8]は外来処置センターでの予約スケジューリング問題を解いた。この問題は予約の有無や患者の検査の受診時間が不明なまま

スケジュールを作成するその不確実な条件の中で、予約数を最大にするために、二段階確率的混合整数問題として定式化した。現在、外来処置センターの管理運営において使用されている。

日本では、看護師の勤務表を作成するナース・スケジューリングにおいて、池上 [9] が多くの制約を考慮して定式化した。その結果、現行よりも質の良い勤務表を作成した。他にも、鶴飼と吉瀬 [10] が、病床割当について研究をした。この割当問題は病棟・部屋の種類の決定と病室・病床の決定の二段階に分け、0-1 整数計画問題として解いた。さらに、病床管理の自動化を目指し、病床自動割当システムを実装した。その結果、スケジュール作成における時間と手間を削減することができた。現在は、入院フローの改訂とともに、タブレット上のソフトウェアとして実装し、対象となる病棟を限って試用を行っている。医療分野では、藤原 [11] が管理運営におけるスケジュールを作成し、運営の向上を図ることは重要であると述べている。このように日本でも医療機関におけるスケジューリング問題の研究が重要視されている。しかし、日本の医療機関においては、オペレーションズ・リサーチを用いてスケジューリング問題を解決する試みは、未だ十分に行われていない。

本論文では、人間ドックにおけるスケジューリング、手術室のスケジューリング、研修医の当直シフトスケジューリングについて述べる。人間ドックにおけるスケジューリングにおいては、現在の医療機関では、事前に検査順序のスケジュールを作成することは、あまり一般的ではない。しかしながら、スケジュール作成による受診者の効率的な誘導が求められている。たとえば、医療供給者である平野・松田・濱田・橋本・中村 [12] は検査順序のスケジュールを手作業によって作成した。医療現場でのタイムスケジュールに従った検査は、医師によって検査の所要時間やトラブルの対応の時間が異なるという点が難しいとされているが、平野らは5分刻みの時刻を使用し、遅延しそうな検査については検査時間を多めに設けることで、スケジュールどおりの検診を実現させた。その結果、スケジュールを作成しない人間ドックより、このスケジュールを作成して運用を行った人間ドックの方が検査間の待ち時間を短くすることができ、受診者もこのスケジュールを用いた検診体系に満足していると報告されている。しかしながら、未だオペレーションズ・リサーチの最適化手法を用いて、解決された事例はない。

一方、手術室のスケジューリングは、現在までに最適化手法を用いて数々の研究者によって研究されている。たとえば、Lamiri et al. [13] は手術スタッフの残業コストの最小化を目的とする確率モデルを作成した。このモデルを解くために、モンテカルロシミュレーションと混合整数計画法を組み合わせた手法を提案した。他にも、Denton et al. [14] は手術室のスケジューリング問題に対して、資源問題を含む2段階確率線形計画モデルと2段階モデルよりも早く手術室のスケジューリングの解を見つけることができるロバスト性の2つのモデルの記述により、確率最適化モデルを提案した。また、Yu Wang et al. [15] は、手術時間の不確実性や緊急手術、手術のキャンセルを考慮する確率モデルを定式化した。さらに、この問題を解くために、列生成ヒューリスティックを提案した。その結果、大規模な問題において、線形問題の得られた解の下限5%ギャップで解を得ることができたと報告している。事例研究として、Blake and Donald [16] がニューヨーク市のマウントサイナイ病院の手術室のスケジューリング問題を整数計画問題として定式化した。この定式化を用いて問題を解いた結果、スケジュールの担当者の作業の負担を軽減し、外科医と担当者間の競合を避けることができた。

研修医の当直シフトスケジューリングについても、特に国外で研究されてきている。たとえば、

Topaloglu and Ozkarahan[17] は混合整数計画問題として定式化した。この定式化では、研修医の学びたい意欲、教育的な価値、患者の安全のバランスを考慮した。また、Hannah and Pinar[18] は研修医の診療科のローテーションと当直シフトスケジューリングの各々を整数計画問題として定式化した。さらに、そのスケジューリングの過程を自動化するシステムを開発した。その結果、スケジューリングの作業効率を向上させることができたと報告されている。

1.4 本研究の目的と概要

本研究は、オペレーションズ・リサーチの最適化手法を医療機関のスケジューリング問題に適用して解決することを考える。すなわち、問題を整数計画問題として定式化し、最適化ソフトウェアの CPLEX を利用して Excel 上にシステムを実装することで、スケジューリングの自動作成を行えるようにする。さらに、現在のスケジュールの問題点を解決し、スケジュールの質を向上させる。ここでは、3つの実際のスケジューリング問題に対して、システムを実装した。具体的には、人間ドックにおけるスケジューリング支援システム (Scheduling Support System for Medical Check-up:以下本論文では SSSMC と称する)、手術室のスケジューリングシステム、研修医の当直シフトスケジューリングシステムの3つのシステムを実装した。

SSSMC はシステムエンジニアの河原氏の協力を得た。人間ドックの検査間の待ち時間を短くするために、対話型のスケジューリング支援システムを試作した。さらに、受診者の検診の開始順序を決定する問題をジョブショップ・スケジューリング問題の変種として捉えることで、受診者の順序に SPT 規則を適用し、受診者の検診を開始する順序を並びかえた問題を解く。SPT 規則を用いた受診者の順序は、医療機関で実際に使用されていた受診者の順序よりも受診者の待ち時間が短いスケジュールを与えることができた。そこで、SPT 規則を近似的に実現する予約方法を提案し、その有効性を数値例で確かめた。

手術室のスケジューリングシステムは、愛知医科大学病院の手術部に協力を得た。愛知医科大学病院の手術室のスケジューリング問題を解決するために、手術室のスケジューリングシステムを実装した。このスケジューリングは、手術室のスタッフの残業、スケジュールの変更や手術室の再割り当てを減らすことを目標としている。そこで、正確な手術の所要時間を用いて、スケジュールを作成することによって、この目標を達成する。手術の所要時間は回帰分析を用いて、過去のデータより推定した。その手術の所要時間を用いて、混合整数計画問題として定式化した問題を解いた。手術の所要時間は調節済み決定係数が 0.6 以上となる精度で推定することができた。その結果、現在のものよりも正確なスケジュールを作成することができた。さらに、手術室のスケジューリングの目標を達成した。このシステムから得られたスケジュールと現在の愛知医科大学病院のものを比較し、スケジュールの有効性を確認した。

当直シフトスケジューリングシステムは、愛知医科大学病院の卒後臨床研修センターと共同研究を行った。スケジュール作成の手間と時間の削減を行うために、当直シフトスケジューリングシステムを実装した。このスケジュールの目標は、研修医の満足度を向上させるスケジュールを作成することである。この当直シフトスケジューリング問題を 0-1 整数計画問題として定式化した。目的関数は、制約条件の違反量の最小化とした。また、現在のスケジュールでは満たされていない条件を新たに追加した。その制約条件の重要度を Analytic Hierarchy Process(以下 AHP と称する) を用いて数

量化した。その結果、スケジュール作成の手間と時間を削減した。研修医にアンケート調査を行い、AHP を適用することで、制約条件の重要度を明確にした。さらに、新たな条件を満たした。

1.5 論文の構成

本論文は、本章第 1 章を含めて全部で 5 章から成る。第 5 章は、本研究の結論と今後の課題をまとめたものである。以下に、第 2 章から第 4 章までの概要を我々が試作したシステムに触れながら紹介する。

第 2 章では、SSSMC を紹介する。SSSMC は (1) 各受診者が決められた検診開始時刻からどの順番で検査するかという検査順序と (2) 受診者の検診の開始順序の 2 つの順序を決定している。(1) の検査順序の問題は、0-1 整数計画問題として定式化した。(2) の受診者順序の問題は、Shortest processing time(以下 SPT と称する) 規則を適用した。さらに、実際に人間ドックを予約する際に SPT 規則を用いるために、SPT 規則を近似的に実現する予約方法を提案した。これらの方法は、A 病院の人間ドックにおける実績データを使用して、数値例で確かめた。その結果について、受診者の待ち時間の長さを評価の観点として有効性を示す。

第 3 章では、手術室のスケジューリングシステムを紹介する。手術室のスケジューリングシステムは (1) 手術の所要時間を過去の手術データから推定する機能と (2) 手術をいつどの手術室で行うかを決定する手術室のスケジューリング問題を解く機能の 2 つの機能を持っている。(1) の手術の所要時間の推定は、重回帰分析を用いた。(2) の手術室のスケジューリング問題は、混合整数計画問題としての定式化した。さらに、このシステムに手術のデータを容易に入力するための手術情報補助入力システムを作成した。これらのシステムを愛知医科大学病院の問題に適用した結果について示す。

第 4 章では、研修医のスケジューリングシステムを紹介する。ここでは、主に研修医の当直シフトスケジューリングシステムについて紹介する。研修医の当直シフトスケジューリングシステムは研修医の通常勤務以外の勤務(当直)をいつ行うのかを自動的に決定するシステムである。研修医の当直シフトスケジューリング問題は 0-1 整数計画問題としての定式化を行い、目的関数の各項の重み付けに対して、AHP を用いた。このシステムを愛知医科大学病院の問題に適用した結果とスケジュール作成者による評価について示す。それに加え、研修医の診療科ローテーションシステムとの関連性とデータの更新についても紹介する。

第2章

人間ドックにおけるスケジューリング問題

2.1 はじめに

平成8年12月18日に厚生労働省の公衆衛生審議会は生活習慣病という新たな疾病概念を導入した。これ以降、生活習慣病を減らすために定期的な検診での健康状態の評価と生活習慣の改善による健康維持への取り組みが行われてきた。近年でも、生活習慣病は増加傾向であり、国民医療費も年々増加している [19]。これを解決するために、病気を早期発見できる人間ドックに対する人々の関心が高まってきている。ここ数年間で、人間ドックを受診する人々は増加している [20]。

医療機関では、人間ドックの受診者が増加していることから、一定時間により多くの受診者の検診を行うことが求められている。しかし、医療機関の制約（医療機器台数や医師数、施設数などの上限）から、無制限に多くの受診者の検診を行うことはできない。これらの制約のもとで、より多くの受診者が1日に検診を行うために、効率のよいスケジューリングが必要である。このスケジュールにはこれらの制約の影響によって、検査間に待ち時間が発生する。

検査間の待ち時間は、受診者に不満を与えるため、改善しなければならない重要な問題である [21]。この待ち時間の影響によって、検診の実際の終了時刻が、予定していた終了時刻よりも遅くなる場合がある。最悪の場合には、終了時刻の遅延により受診者の当日のスケジュールを乱してしまう可能性もある。他にも、受診者の予測を上回る待ち時間が発生することで受診者に不満を与えている [22]。待ち時間の予測ができない状態で待つことは、受診者にとって大きなストレスとなるため、待ち時間の目安や待ち人数を受診者へ情報提供することが必要である。

スケジュールは、受診者が偶然空いた検査や回転率が良いと考えられる検査へ移動するような、一時的に待ち時間が短くなるのではなく、全体の効率をあげるようにすべきである。しかし、スケジューリングは、医療機関の制約を満たし、各受診者で異なる検査時間と検査項目を組み合わせるため、スケジュール作成者にとっては、作業量の増加となる。そこで本研究では、この作業量を減らすように、SSSMCを試作した [23]。このシステムで、作成者の負担を増加させずに、受診者のすべての検査の完了時刻の和が最小となる最適なスケジュールを作成することができる。

今泉・伊東・鈴木・藤原・小林 (2012) が、病院の手術室のスケジューリングシステムを対話型システムを用いて開発を行い、その事例を紹介している [24], [25], [26]。このシステムは、スケジュー

ル作成者が最適化問題を繰り返し解くことで得られた解を適宜修正しながら、最終的なスケジュールを作成する設計となっている。この研究は実際に病院でスケジュールを作成している医師と看護師との共同研究であり、この対話型システムに対して実用的であると評価していると報告されている。

本研究では、平野ら [12] が手作業で行っている検査順序のスケジュール作成を数理計画モデルとして定式化し、スケジュールを作成する。さらに、今泉ら ([24], [25], [26]) による対話型システムの構造を人間ドックにおけるスケジューリングシステムへと適用することで、作成したスケジューリングを段階的に修正するシステムの構築を行う。

この論文では、人間ドックにおけるスケジューリングのモデル化から実際例への適用までの過程を紹介することにより、システムの設計の考え方を報告する。これ以降の論文構成として、第 2 章では、実装した SSSMC の構築についてと人間ドックにおけるスケジューリングの 0-1 整数計画問題としての定式化を紹介する。第 3 章では、A 病院の人間ドックにおける実績データを使用して、SSSMC で作成したスケジュールを紹介する。第 4 章では、受診者の待ち時間を短くするために、受診者の検診の開始順序を決定する問題をジョブショップ・スケジューリング問題 (JSP: Job-shop Scheduling Problem) の変種として捉え、受診者の順序を SPT 規則を用いて並びかえた問題を解く。さらに、SPT 規則を近似的に実現する予約方法を提案し、この受診者の順序で問題を解き、SPT 規則で並びかえた受診者の順序の有効性を数値例で確かめた結果を示す [27]。

人間ドックにおけるスケジューリングとは、各受診者が決められた検診開始時刻からどの順番で検査するかという検査順序のみを決定する問題である。この問題では、受診者によって検査数、検査時間、検診時間がそれぞれ異なる。本論文では、各検査にかかる所要時間を検査時間とし、受診者が最初の検査を開始してから最後の検査を終えるまでの所要時間を検診時間と呼ぶ。スケジュール作成には、必ず守るべき条件と守ることが望ましい条件がある。必ず守るべき条件には、(条件 1) 特定の検査は必ず守らなければならない順序を満たす (先行制約)。(条件 2) 医療機関が定める同時刻の受診可能人数を満たす (同時受診可能人数の上限)。がある。また、守ることが望ましい条件には、(条件 3) 各受診者の各検査の完了時刻の合計を最小にする (すべての検査の完了時刻の和の最小)。(条件 4) 受診者は検診の開始順でなるべく検診を終了する (受診者の開始順の考慮) (条件 5) 医療機関の状況 (医師の出勤状況や検査室の配置場所など) による順序を考慮する (望ましい検査順序の考慮) がある。

2.2 SSSMC の構築

Excel の VBA を用いて SSSMC を実装した。スケジュール作成者が日常的に使用することを想定している。作成者にとって利用し易いシステムとするために、簡単な操作でスケジュールが作成できること、作成者の意思がスケジュールに反映されること、作成時間が負担とまらない範囲に留まっていることを満たすシステムの構築を目指す。

これらを実現するために、操作方法を以下のように単純なインターフェイスとする。このシステムのインターフェイスを図 2.1 に示す。作成者はこのインターフェイス上にあるボタン 1~ボタン 8 を順に押す操作でスケジュールを作成する。このシステムのインターフェイスは情報入力・データの格納、計算・確認、結果出力の 3 工程をさらに複数の部分工程に分け、その部分工程をボタンに対応させて作成されている。このボタンは数字がついた 8 個のボタンと「Check」がついた 3 個のボタンからなる。この SSSMC の工程を表 2.1 に示す。工程 1 では、スケジュールを作成するための情報の取

Scheduling Support System for Medical Checkup

～人間ドック・スケジューリング支援システム～

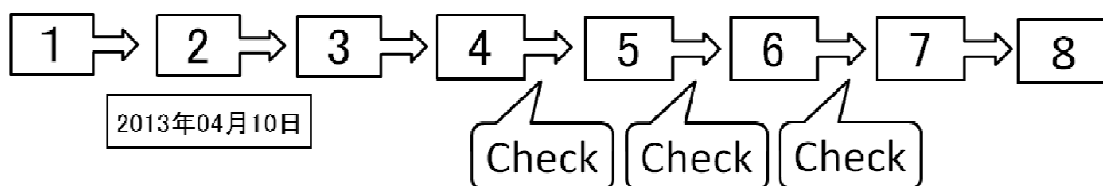


図 2.1: SSSMC システムのユーザーインターフェイス

表 2.1: SSSMC の構成

	工程内容	ボタン	操作内容
工程 1	情報入力・ データの格納	1	予約情報の取り込み
		2	スケジュール作成日の決定
		3	データの格納
工程 2	計算・確認	4	受診者グループ 1 を計算
		5	受診者グループ 2 を計算
		6	受診者グループ 3 を計算
		7	受診者グループ 4 を計算
工程 3	結果出力	8	ガントチャートに結果を出力

り込みや入力を行い、計算を行うためのデータの格納を行う。工程 1 のボタン 1 では、他の Excel ファイルに作成された受診者の予約情報をこのシステム内へと取り込む。1 名分の予約情報には、検査日、検診開始時刻、受診者氏名、検査項目を含み、1 日につき最大 40 人の予約情報を与える。各受診者は、5 分おきに検診開始時刻を指定している。工程 1 のボタン 2 ではスケジュールを作成する日を決める。工程 1 のボタン 3 では、ボタン 2 で指定した日付を基にボタン 1 で取り込んだ受診者の予約情報と過去の検査時間の実績データを照らし合わせ、検査時間を格納する。

工程 2 では最適化計算ソフトウェアである CPLEX^{*1} Optimization Studio バージョン 12.4 を用いて 2.2 節で示す人間ドックにおけるスケジューリング問題を解き、スケジュールを作成する。また、受診者の検診開始時刻が早い順に、1 人目～10 人目を受診者グループ 1、11 人目～20 人目を受診者グループ 2、21 人目～30 人目を受診者グループ 3、31 人目～40 人目を受診者グループ 4 と名付けた。もし受診者の人数が 40 人に満たなかった場合には、工程 2 の受診者グループに該当しない一部のボタンをとばし、工程 3 のボタン 8 へと移る。

作成者は、受診者グループごとに作成したスケジュールを工程 2 の各ボタン (ボタン 4～ボタン 6) の直後の「Check」を押し、もしそこである受診者に長い待ち時間が発生するようなスケジュール

^{*1} IBM, ILOG, CPLEX は、IBM Corporation の米国およびその他の国における登録商標

となった場合、作成者は部分的に手作業でスケジュールを修正する。その手作業で修正されたスケジュールを基に、次の受診者グループの検査順序の決定を行う。具体的なスケジュールの作成の流れは、以下のようなものである。受診者グループ1の最適化計算をする(ボタン4)。作成したスケジュールの確認・修正する(Check)。同様に、受診者グループ2(ボタン5,Check)、受診者グループ3(ボタン6,Check)、受診者グループ4(ボタン7)のスケジュール作成を行う。また、受診者グループ4の直後には、「Check」機能を設けていない。その理由は、受診者グループ4の実行結果が他グループの実行結果へ影響を与えないため、「Check」機能を駆使して、修正を行わなくても良いからである。このスケジュール作成の流れのようにSSSMCでは、ボタンの順番に沿ってスケジュールを作成する。

図2に、工程2のボタン4の直後の「Check」ボタンでのスケジュールの作成の様子を示す。作成したスケジュールはガントチャートに出力される。ガントチャートには機械向きガントチャートとジョブ向きガントチャートがある[30]。ここではジョブ向きガントチャートを用いて各受診者が検査を受診する時間を帯状に記載する。縦軸は受診者の番号、横軸は5分刻みの時刻、チャート内の数字は検査番号である。また空白セルは待ち時間である。スケジュール作成者は「Check」の機能を使用することによって、早く終わりそうな検査や回転率が良いと予想される検査など、現場の経験に基づいた知見をスケジュールに反映させることができる。

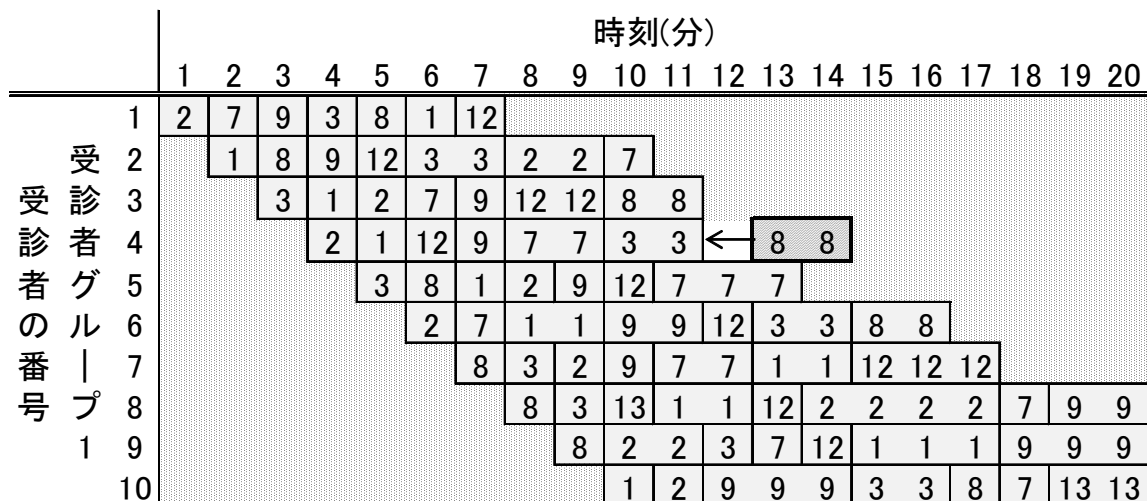


図 2.2: 工程 2 におけるスケジュールリングの様子

工程 3 では作成したスケジュールの全体をガントチャートに出力する。

2.3 問題の定式化

数理計画モデルの目的関数の決定において、より現実的なスケジュールを作成するためには単一の目的にとどまらず、いくつかの目的について、バランスのとれた最適解を得られるよう考慮する必要がある[31]。目的関数は、第2章で述べた守ることが望ましい条件(条件3~条件5)を定式化することによって作成する。

これらの条件を1つの目的関数に組み込むためには、守ることが望ましい条件の優先順に対応する

適切な重みを与えなければならない。本研究ではすべての検査の完了時刻の和の最小化を最も重要視する条件とする。また、受診者の開始順は 2 番目に、望ましい検査順序は 3 番目に重要視する。

ここでは数理モデルとして 0-1 整数計画法を用いて定式化する。定式化においては、数理計画モデルとして 0-1 整数計画法を用いる。記号と定式化を以下に示す。

集合

I : 受診者 i の集合 $i \in I, I = \{1, 2, \dots, k\}$ (ただし, k は 40 以下)

J : 検査 j の集合 $j \in J, J = \{1, 2, \dots, 22\}$

T : 診療時刻 t の集合 $t \in T, T = \{1, 2, \dots, \tau\}$

P_j : 検査 j より先に受診しなければいけない
検査の集合

(ただし, 受診者の番号は検診開始時刻の昇順, 検査の番号は検査の優先度の昇順)

定数

S_{ij} : 受診者 i が検査 j を受診するときの
検査時間

L_i : 受診者 i の開始時刻

K_{tj} : 時刻 t で検査 j を受診可能な人数

決定変数

$$x_{ijt} = \begin{cases} 1 \cdots \text{受診者 } i \text{ が検査 } j \text{ を時刻 } t \text{ で開始} \\ 0 \cdots \text{その他の場合} \quad (i \in I, j \in J, t \in T) \end{cases}$$

目的関数

$$\begin{aligned} \min \quad & \alpha \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} (t + S_{ij}) x_{ijt} \\ & - \beta \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} j t x_{ijt} \\ & - \gamma \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} i t x_{ijt} \end{aligned} \quad (2.1)$$

制約条件

$$\sum_{t=L_i}^{\tau-S_{ij}} x_{ijt} = 1 \quad (i \in I, j \in J, S_{ij} > 0) \quad (2.2)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{t'=t-S_{ij}+1}^t x_{ijt'} \leq 1 \quad (i \in I, t \in T) \quad (2.3)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{t'=t-S_{ij}+1}^t x_{ijt'} \leq K_{tj} \quad (j \in J, t \in T) \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} \sum_{t=L_i}^{\tau-S_{ih}} (t + S_{ih} - 1) x_{iht} & \leq \sum_{t=L_i}^{\tau-S_{ij}} t x_{ijt} \\ & (i \in I, j \in J, h \in P_j) \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$x_{ijt} \in \{0, 1\} \quad (i \in I, j \in J, t \in T) \quad (2.6)$$

各式の説明

1. すべての検査の完了時刻の和の最小化と受診者の開始順, 望ましい検査順序を考慮する目的関数, α, β, γ は重み係数
2. 受診者が予約した検査を必ず 1 度受ける制約, 予約していない検査の検査時間は 0
3. 受診者が同時刻に 1 つのみ検査を受ける制約
4. 同時受診可能人数の上限の制約
5. 先行制約

目的関数の各項に適切な重みを付けるために, パラメータにいくつかの数値を当てはめ, 検証した. これらのパラメータの選定結果を付録 A.1 に示す. その結果, 付録の図 A.5 が最も良いことがわかったため, $\alpha=1.9, \beta=0.04, \gamma=0.1$ の値をパラメータに用いた.

2.4 計算結果

前章で紹介した数理計画モデルで, A 病院の人間ドックの実績データを使用して, 検査順序スケジュールを作成した. この病院では, 1 日に最大 40 人の受診者が約 5 分おきに検診を実施している. A 病院の人間ドックの実績データは Excel 上に 20 日分がデータベース化されていた. 実績データの内容は, 受診日, 検診の開始時刻, 検診の終了時刻, 受診者の ID, 検査名, 各検査の開始時刻, 各検査の終了時刻, 検査時間, 検診時間であった. 受診者数の 1 日あたりの平均値は約 36 人, 中央値は約 38 人であり, 検診時間の 1 人あたりの平均値は約 88 分, 中央値は約 96 分である.

SSSMC で作成するスケジュールは, 5 分おきに検診の予約をとっていることや各検査時間は 5 分を単位として考えても問題ないことから, スケジュールの時間刻みを 5 分とした. 受診者の検査時間は過去の実績データを 5 分刻みのデータとして修正した. 実際, 受診者のほとんどが過去に受診したことがあった. もし過去に受診していない受診者のスケジュールを作成する場合には, 各検査の 1 人あたりの検査時間の平均値を用いる. 各受診者は合計 28 項目の検査の中から事前に選択した検査を全て受診する. 検査は検査順序に関係のない検査 (便潜血検査と尿検査) を除く 26 項目であり, 身体計測, 血圧, 視力, 眼底, 眼圧については同室で行っているため, 1 グループとしてまとめる. A 病院の望ましい検査順序 (検査を表す検査番号として使用している) と検査名称を表 2.2 に, 同時受診可能人数を表 2.3 に, 先行制約を表 2.4 に示す. ここでは, 20 日分のデータのうち最大の受診者数であり, 受診者 1 人あたりの検診時間が平均値に近い, 受診者数が 40 人, 受診者 1 人あたりの検診時間が約 90 分となる 2011 年 4 月 10 日について, SSSMC で作成したスケジュールのガントチャートの一部を図 2.3 に示す. 目的関数中の重み係数 (α, β, γ) の値は, $\alpha = 1.9, \beta = 0.04, \gamma = 0.1$ とする. また, 開始時刻の定数 L_i は 5 分おきの時刻に設定した. 最早の受診者開始時刻から最遅の受診者終了時刻までは 6 時間 45 分となり, 受診者の平均待ち時間は 52 分となった. このスケジュールは, 計算時間が 1 分程度となる. 計算機環境は CPU が Intel Core i5-2450M 2.50GHz, RAM が 4.00GB である. さらに, 20 日分のスケジューリングの計算時間は平均 72 秒, 最長 106 秒, 最短 36 秒であった. 図 2.3 より, 必ず守るべき条件 (条件 1, 条件 2) の制約によって, 稼働率が 100 %と

表 2.2: 望ましい検査の順序と検査名称

望ましい検査の順序 (検査番号)	検査名称
1	問診
2	採血
3	胸部レントゲン
4	骨密度
5	C T検査
6	マンモグラフィ
7	身体計測 血圧 視力 眼底 眼圧
8	聴力
9	心電図
10	肺機能
11	動脈硬化
12	診察
13	歯科検査
14	腹部超音波
15	頸動脈エコー
16	乳腺エコー
17	乳腺視触診
18	婦人科 内診
19	胃部レントゲン
20	胃カメラ
21	循環器診察
22	負荷心電図

なる検査 (ボトルネック) の前に待ち時間が発生する可能性があることがわかった。ボトルネックは問診 (検査番号 1)、胸部レントゲン (検査番号 3)、聴力 (検査番号 8)、診察 (検査番号 12)、胃部レントゲン (検査番号 19) である。

さらに、人間ドックの実績データをガントチャートに表したものを図 2.4 に示す。図 2.4 では、作成したスケジュールと比較するために、時刻を 5 分刻みに修正した。また、身体計測、血圧、視力、眼底、眼圧は検査番号 7 として 1 つにまとめた。図 2.4 と図 2.3 を比較すると、SSSMC を用いて作

表 2.3: 同時受診可能人数

上限人数 (人)	検査 (番号)
1	1,3,4,5,6,8,10,11,12,17,18,20,21,22
2	2,9,13,15,16,19
3	14
5	7

表 2.4: 検査の先行制約

受診検査 (番号)	受診検査前に完了する検査 (番号)
7	2
17	16
19	7,9,13,14
20	7,9,12,14
22	7,9,12

成した図 2.3 のスケジュールは図 2.4 よりも受診者の検診の開始順や望ましい検査順序を考慮したスケジュールとなった。

2.5 待ち時間の削減を実現するために

待ち時間を削減するために、以下の4つの対応策について検討した。

対応策 1. 受診者の検診順序の変更

対応策 2. 受診者の同時検診開始人数の増加

対応策 3. 検査における配置人数の変更

対応策 4. 人間ドックの途中休憩の導入

まず、ボトルネックによって長い待ち時間が発生したスケジュールを付録の図 A.8 に示す。図 A.8 は 2013 年 4 月 10 日のある病院の予約データを用いた。図 A.8 では、最長待ち時間が 105 分、総待ち時間が 2,110 分であった。

【対応策 1】では、受診者の検診順序を変更した。その結果を付録の図 A.14 に示す。図 A.14 では、最長待ち時間は 130 分、総待ち時間は 1,130 分であった。この対応策の詳細については、2.6 章と 2.7 章で述べる。【対応策 2】では、受診者が同時に検診を始める人数を 1 人から 5 人と増やした。その結果を付録の図 A.9 に示す。図 A.9 では、最長待ち時間が 150 分、総待ち時間が 1,835 分であった。【対応策 3】では、ボトルネックとなる検査に対して、配置人数を増加させた。付録の図 A.8 より、検査番号 1 の問診がボトルネックとなっていることは明らかのため、問診の配置人数を 2 人、3 人、4 人と変化させた。問診の配置人数を 2 人に変更したときの結果を付録の図 A.10 に示

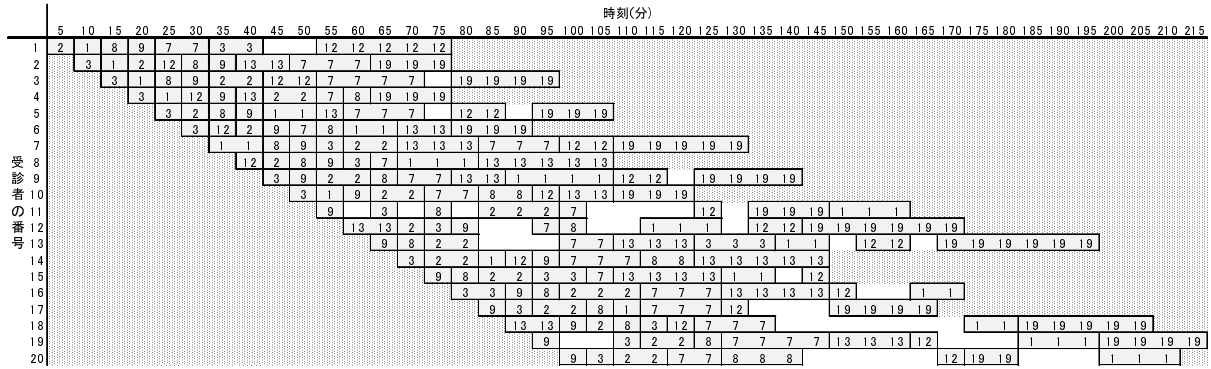


図 2.3: 実際の受診者の順序によるスケジュールの一部
チャート内：検査番号

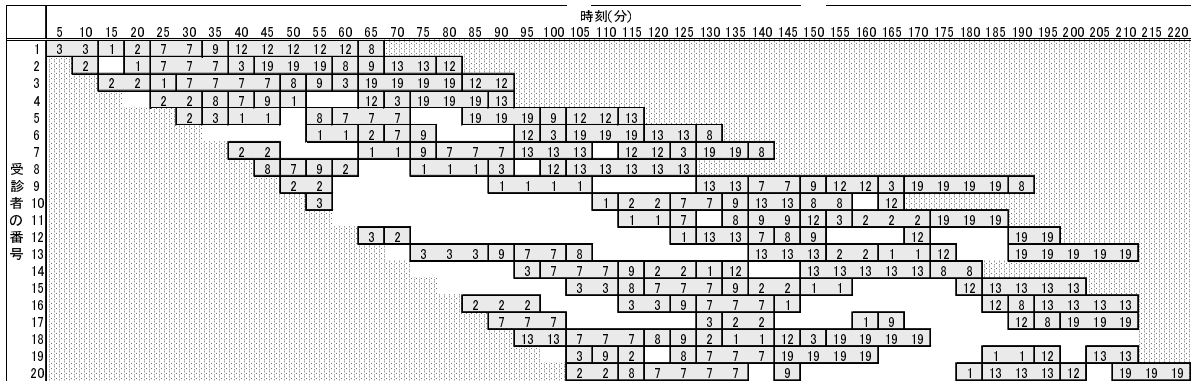


図 2.4: 人間ドックの実績データの一部
チャート内：検査番号

す。図 A.10 では、最長待ち時間は 90 分、総待ち時間は 1,535 分であった。問診の配置人数を 3 人に変更したときの結果を付録の図 A.11 に示す。図 A.11 では、最長待ち時間は 90 分、総待ち時間は 1,605 分であった。問診の配置人数を 4 人に変更したときの結果を付録の図 A.12 に示す。図 A.12 では、最長待ち時間は 95 分、総待ち時間は 1,605 分であった。【対応策 4】では、人間ドックの途中で 30 分間の休憩を導入した場合を検討した。その結果を付録の図 A.13 に示す。図 A.13 では、最長待ち時間は 140 分、総待ち時間は 1,770 分であった。

2.5.1 まとめ

4 つの対応策について検討した結果、全ての対応策において総待ち時間を削減することが可能となった。しかし、実問題に適用するためには、コスト面や実用性について考察する必要がある。たとえば、【対応策 2】では、同時に検査を受ける受診者の増加に伴って、配置人数を増加させなければならない。そのため、同時検診開始人数の増加前よりも対応策後の人件費の方が増加することは明らかである。また、【対応策 3】では、問診に対しての配置人数を増加する必要がある。問診は、医師が患

者に本人や家族の病歴，現在の病気の経過・状況などを尋ねる検査である．つまり，配置人数の増加は毎時の医師数を増加することである．平成 26 年の厚生労働省による「賃金構造基本統計調査」では，医師の平均時給は 5,130 円と報告されている [19]．この医師の平均時給を用いて，配置人数における人件費を計算した．問診の配置人数が 1 人のとき，400 分 (約 6.7 時間) で全ての問診の検査が終了している．つまり，時給 5,130 円×約 6.7 時間=34,371 円が必要である．問診の配置人数が 2 人のとき，240 分 (4 時間) で全ての問診の検査が終了している．つまり，時給 5,130 円×4 時間×2 名=41,040 円が必要である．問診の配置人数が 3 人のとき，200 分 (約 3.5 時間) で全ての問診の検査が終了している．つまり，時給 5,130 円×約 3.5 時間×3 名=約 53,865 円が必要である．問診の配置人数が 4 人のとき，200 分 (約 3.5 時間) で全ての問診の検査が終了している．つまり，時給 5,130 円×約 3.5 時間×4 名=約 71,820 円が必要である．【対応策 1】と【対応策 4】では，人件費は変わらなかった．【対応策 2】や【対応策 3】では，人件費を払うことができなければ，実用化することが困難であることが考えられる．

【対応策 4】においては，従来の人間ドックの方法を変更しなければならない．これらのことを考慮すると，なるべく配置人数や人間ドックの方法を変更せず，待ち時間を削減できることが望ましい．以上のことより，【対応策 1】がこの問題を解決するために最も有効であると考えられることができる．

2.6 受診者の順序を変更することの効果について

この章では，受診者の検診時間の長さによって，SPT 規則を用いて，受診者の検診開始時刻の決定を行う．さらに，それを基に 2.2 節で示す人間ドックにおけるスケジューリング問題の解法によって各受診者の検査順序の決定を行い，待ち時間短縮のアプローチを提案する．なぜならば，人間ドックにおけるスケジューリングでは，1 人の受診者の検査順序の決定が，その他の受診者の検査順序に制約を与えるため，効率的に検診を行うことができるような受診者の順序を決定する必要がある．

JSP は，各機械上での最適なジョブの作業順序を求めることを目的とする最適化問題として，多くのスケジューリング問題に取り上げられ，ジョブの順序付け規則によって解決されてきた [32]．そこで，受診者の検診の開始順序を決定する問題を JSP の変種とみなすことで，受診者の検診を開始する順序に順序付け規則を適用することを考えた．人間ドックにおけるスケジューリングの制約条件には，同時受診可能人数の制約があり，JSP の 1 つの機械が同時に複数のジョブを処理することはできないという制約に対応していると考えられる．ここでは JSP におけるジョブを受診者，機械を検診とし，受診者の検診の開始時刻を決定する問題を解く．

ジョブの順序付け規則の代表的なものとして，ジョブの処理時間の短いものから処理する SPT 規則，ジョブの処理時間の長いものから処理する LPT(Longest processing time) 規則がある [30]．SPT 規則と LPT 規則を用いて，受診者の検診を開始する順序の変更により受診者の開始時刻を決定し，2.2 節で示す人間ドックにおけるスケジューリング問題を解き，スケジュールを作成する．

2.7 SPT 規則を用いた受診者の順序によるスケジュールの作成

表 2.5 に，実際の受診者の順序で作成したスケジュールと SPT 規則を用いて作成したスケジュール，LPT 規則を用いて作成したスケジュールの総待ち時間を示す．SPT 規則は受診者の検診時間が

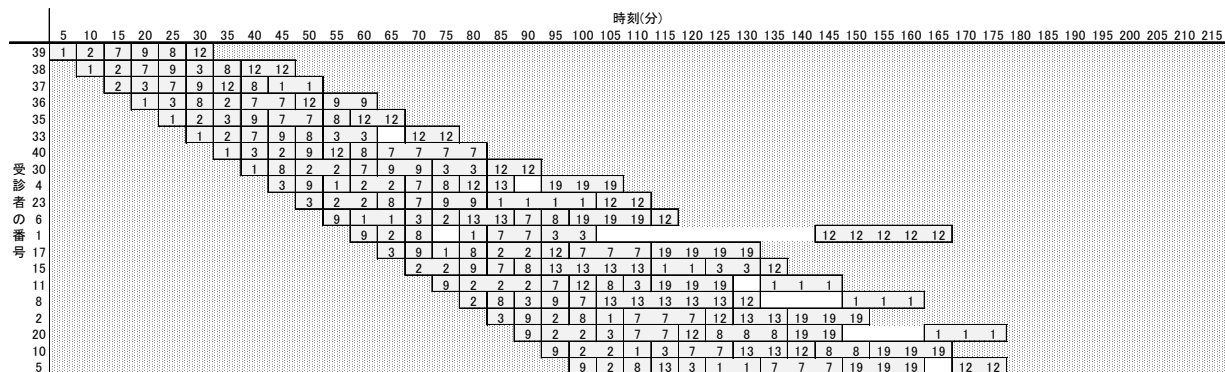


図 2.5: SPT 規則を用いた受診者の順序によるスケジュールの一部
 チャート内：検査番号

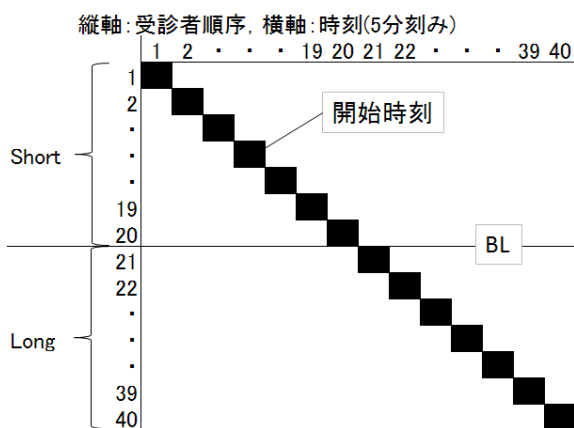


図 2.6: Short, Long の分割と開始時刻の関係

短い順に並べた受診者の順序であり、LPT 規則は受診者の検診時間が長い順に並べた受診者の順序である。SPT 規則を用いた受診者の順序で作成したスケジュールでは、実際の受診者の順序で作成したスケジュールと比較して、1日あたりの総待ち時間が平均で約 57% 短くなった。一方、LPT 規則を用いた受診者の順序で作成したスケジュールでは、実際の受診者の順序で作成したスケジュールと比較して、1日あたりの総待ち時間が平均で約 15% 長くなった。つまり、LPT 規則を用いて受診者の順序を決める方が、総待ち時間がより長くなる。以上のことから、SPT 規則を用いた受診者の順序によって、スケジュールを修正する。また、検診時間が同じ受診者は到着順とした。

2011 年 4 月 10 日のデータで SPT 規則を用いた受診者の順序で並びかえ、SSSMC で作成したスケジュールのガントチャートを図 2.5 に示す。このスケジュールでは、受診者の平均待ち時間が 24 分となった。

表 2.5: スケジュールの総待ち時間の比較

表中 : 1. 実際の受診者の順序, 2.SPT 規則を用いた受診者の順序, 3.LPT 規則を用いた受診者の順序, 単位 : 分

受診日 (年/月/日)	受診者数 (人)	1	2	3
2011/3/24	19	470	80	800
2011/3/27	40	4850	1710	5320
2011/3/28	36	1500	1345	2000
2011/3/29	30	1700	805	1800
2011/3/30	35	2120	1455	3200
2011/3/31	36	1700	1350	2200
2011/4/3	40	3950	2060	4335
2011/4/4	37	2190	1005	2450
2011/4/5	38	2400	1800	2580
2011/4/6	40	3980	1370	4320
2011/4/7	34	1320	880	1480
2011/4/8	27	1120	900	1550
2011/4/10	40	2580	960	2760
2011/4/12	40	3560	2340	4040
2011/4/13	40	2600	1340	3200
2011/4/14	40	4560	2200	3250
2011/4/17	28	1130	940	1550
2011/4/18	39	2450	2300	3300
2011/4/19	40	3200	2850	4330
2011/4/20	40	1640	1200	1900

2.8 SPT 規則を近似的に実現する予約方法の提案

前章で示した SPT 規則を受診者順序に適用するためには, まず初めに, 1 日あたりの受診者の検診データを全て収集し, 次に, 検診時間の昇順で受診者順序を並び換える必要がある. しかしながら, 人間ドックの予約制度では, 受診者が予約時に検診の開始時刻を決めるため, 予約を受け付けた後に検診の開始時刻を変更することは難しい. そのため, SPT 規則をそのまま受診者の順序に適用することは困難である. そこで, SPT 規則を受診者の順序へ近似的に適用するために, 受診者の検診時間で 2 つの時間帯に分割し, 予約の受付を行う方法を提案する.

今回, A 病院の実績データより, 受診者の検診時間の中央値を求め, 中央値よりも検診時間が短い受診者は“Short”の時間帯で予約を受け付け, 中央値よりも検診時間が長い受診者は“Long”で予約を受け付ける. Short と Long の各時間帯内の順序は受診者の予約順とする. また, 片方の時間帯

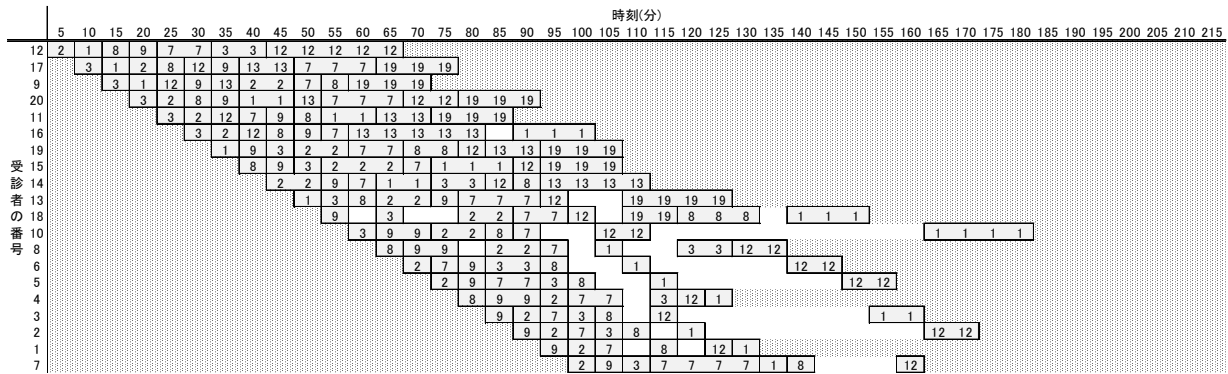


図 2.7: SPT 規則を近似的に用いた受診者の順序によるスケジュールの一部,
チャート内: 検査番号

の受け付け人数が多くなった場合, 1 日の病院の検査が可能な時間内で, もう一方の時間帯に変えて予約を受け付ける. 例えば, Long の時間帯の受け付け人数が多くなった場合, Short の時間帯に受け付ける. Short, Long の分割と開始時刻の関係を図 2.6 に示す. 縦軸が受診者の順序, 横軸が時刻, チャート内の黒印が各受診者の開始時刻である. また, 開始時刻は待ち時間を含む. 以上のことから, SPT 規則を近似的に用いた受診者の順序によって, スケジュールを修正する.

2011 年 4 月 10 日のデータで SPT 規則を近似的に用いた受診者の順序で並びかえ, SSSMC で作成したスケジュールのガントチャートを図 2.7 に示す. このスケジュールでは, 受診者の平均待ち時間が約 37 分となった.

2.8.1 まとめ

実際の受診者の順序, SPT 規則を用いた受診者の順序, SPT 規則を近似的に用いた受診者の順序において待ち時間に対する効果を A 病院の 20 日分のデータを用いて分析した. それらの受診者の順序で作成したスケジュールの 1 日あたりの総待ち時間のボックスプロットを図 2.8 に示す. 図 2.8 より, 実際の受診者の順序で作成したスケジュールでは 1 日あたりの総待ち時間の平均は約 2438 分, 最大は 4850 分, 最小は 470 分, SPT 規則を用いた受診者の順序で作成したスケジュールでは 1 日あたりの総待ち時間の平均は約 1445 分, 最大は 2850 分, 最小は 80 分, SPT 規則を近似的に用いた受診者の順序で作成したスケジュールでは 1 日あたりの総待ち時間の平均は約 1689 分, 最大は 3540 分, 最小は 70 分となった.

この結果より, 部分的であっても受診者の順序に SPT 規則を用いることで SPT 規則を全く考慮していない受診者の順序よりも待ち時間が短くなることがわかった. ここでは, 20 日分の全データにおいて, SPT 規則を用いた受診者の順序によるスケジュールが実際の受診者の順序によるスケジュールよりも総待ち時間が少なくなった.

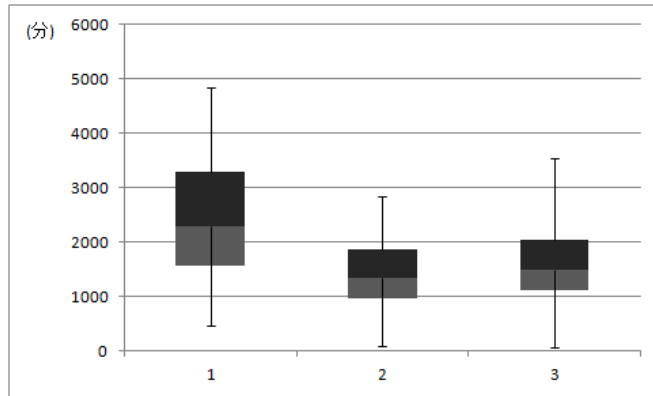


図 2.8: 1, 2, 3 によるスケジュールの 1 日あたりの総待ち時間のボックスプロット

1. 実際の受診者の順序
2. SPT 規則を用いた受診者の順序
3. SPT 規則を近似的に用いた受診者の順序

2.9 まとめ

本研究では、人間ドックの検査間の待ち時間を短くするスケジュールを作成するために、数理モデルを用いた対話型の SSSMC を実装した。そして、検査順序を決定する問題を 0-1 整数計画問題として定式化した。さらに、待ち時間の削減の対応策として、受診者の検診の開始順序を決定する問題を JSP の変種として捉え、受診者の順序に SPT 規則を適用した。また、実際の医療機関で受診者の順序付けを実現するために、SPT 規則を近似的に実現する予約方法を提案し、その有効性を数値例で確かめた。

SPT 規則を用いた受診者の順序は、医療機関で実際に使用されていた受診者の順序よりも受診者の待ち時間が短くなるスケジュールを与えることができた。

今後は、受診者の待ち時間の平準化について考慮し、一部の受診者に待ち時間が偏らないスケジュールを作成したい。また、新規受診者に対しては検査項目の組み合わせパターンによって検査時間を与え、スケジュールへ反映していきたい。

第3章

手術室のスケジューリング問題

3.1 はじめに

手術室の管理運営の効率化は患者への医療サービスの質の向上と病院の収益の双方にとって重要である。日本の病院では、手術の開始時刻が変更することが頻繁にある。これは、他の手術が予定の終了時刻から遅れることから起こり、多くの患者が長い待ち時間を課されている。手術は特に患者に与えるストレスが高い治療である [35]。そのため、手術の術前と術後のメンタルケアが重要視されている。特に、術前においては、患者が手術への不安や恐怖からストレスを感じてしまうため、そのストレスを緩和することが、必要である [36]。つまり、術前に長い待ち時間を患者に与え、ストレスを増加させることは望ましくない。

一方、病院が手術から得られる収益は他の治療よりも多い。たとえば、国立大学病院経営分析システムによって、入院中の患者に収支分析を行った結果、手術当日に大きな利益が得られたことが確認できた [37]。他国でも、この状況はほとんど同じである。たとえば、Jackson [38] は、手術は病院の総収入の約 3 分の 2 を占めると予想し、病院の収入の源であると述べた。つまり、手術室の管理運営を効率化することは、手術室を更に重要な病院の利益を生み出す資源とすることが可能である。その一方で、Macario ら [39] によると、手術室の運営費用や医師や看護師などの手術スタッフの person 費は、病院全体の支出の 40% を占めると述べた。特に、残業における person 費は病院にとって、削減したい費用である。それゆえに、時間通りに手術室を管理運営することが重要である。

手術室の管理運営において、質の良い手術室のスケジュールを作成することは、重要である。つまり、患者の待ち時間を削減し、手術スタッフの残業を削減するようなスケジュールが理想的である。さらに、そのスケジュール通りに手術室の運営が行えるようにスケジュールを工夫する必要がある。

1.3 節で紹介したように、手術室のスケジューリング問題は多数の研究者によって、研究されてきた。しかしながら、日本では、これらの結果は実際のスケジュール問題において使用されていない。その理由の 1 つとして、手術室のスケジューリング問題における戦略が個々の病院によって、大きく違うからである。つまり、システムが特定の病院のために設計することが必要である。本研究では、愛知医科大学病院の事例について取り組んだ。提案する手術室のスケジューリングシステムでは、手術の所要時間の延長を考慮し、より正確な手術室のスケジュールを作成することにより、残業における person 費を削減することが期待できる。

手術室のスケジューリングとは、どの手術室でいつ手術を開始するかを決定する問題である。現

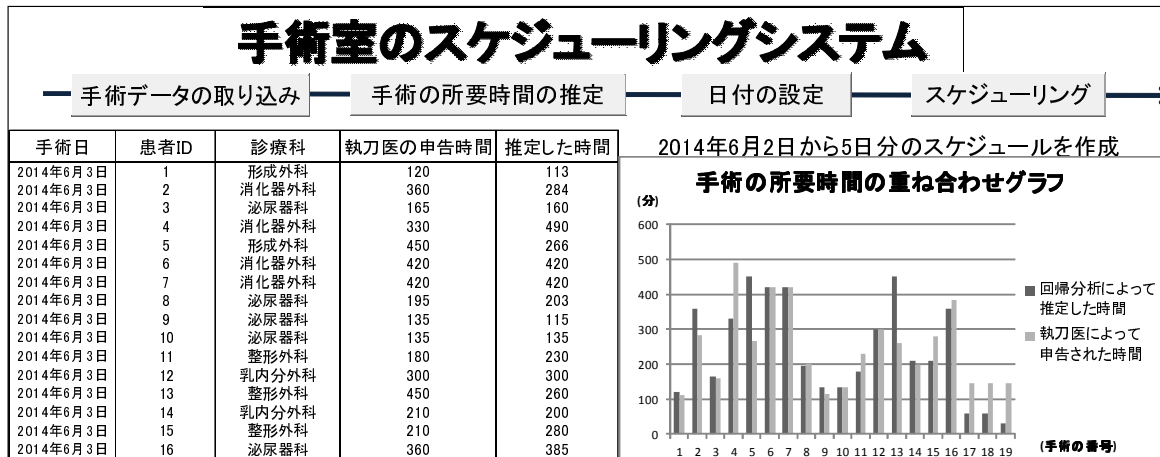


図 3.1: 手術室のスケジューリングシステムのユーザーインターフェイス

在，愛知医科大学病院には，2つの手術室のスケジューリングに関する問題がある．1つ目は，スケジュール作成に手間と時間がかかっていることである．現在の手術室のスケジュールの作成では，まず初めに，執刀医が手術の所要時間を Web 上の予約システムにて，看護師長に申告する．その申告された手術の所要時間に基づいて，看護師長は予約システムによりデータベース化された情報を紙媒体へと変換し，手作業で約 2 時間 30 分費やし，5 日分のスケジュールを作成している．さらに，その作成したスケジュールを毎週の打ち合わせによって，約 2 時間費やし，医師と相談して調整している．

しかし実際には，予定されていた手術の終了時刻を越えて手術が行われ，このスケジュール通りに手術室の運営が行われていない．なぜならば，執刀医が申告した手術の所要時間が実際の手術の所要時間と異なっているからである．この問題を解決するために，実際の手術の所要時間に近い値を用いて，正確なスケジュールを作成する必要がある．本研究では，この手術室のスケジューリング問題を解く支援システムとして手術室のスケジューリングシステムを Excel の VBA を用いて実装した ([40], [41], [42])．

3.2 愛知医科大学病院の紹介

愛知医科大学病院は，愛知県長久手市にある愛知医科大学の附属大学病院である．病院には，900 床の病床があり，標榜診療科は 21 診療科ある．平成 26 年度には，外来患者数が 1 日平均で 2,393.5 人，入院患者数が 1 日平均で 697.2 人であった．建物の延べ面積は，90,014.85 平方メートルである．常勤の専門医が 623 名，非常勤の専門医が 125 名の合計 748 名である [33] ．

3.3 手術室のスケジューリングシステムの構築

手術室のスケジューリングシステムはボタンを押す操作で自動的にスケジュールを作成することができる．手術室のスケジューリングシステムのユーザーインターフェイスを図 3.1 に示す [34] ．このシステムは 2 つの機能を備えている．1 つ目の機能では，手術の所要時間を推定する．手術室のスケ

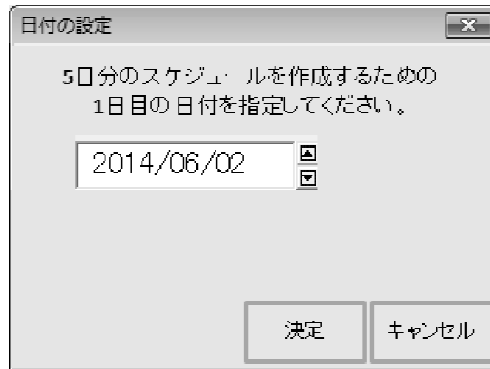
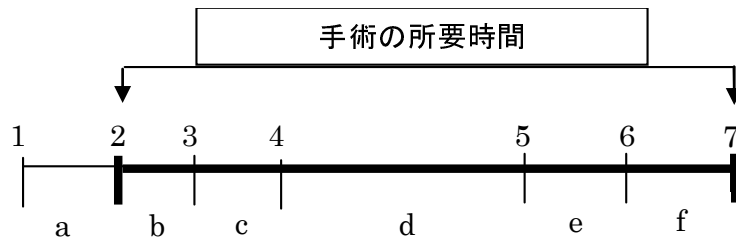


図 3.2: 5 日分のスケジュールの 1 日目を設定するためのフォーム

ジューリングシステムは、2012 年 3 月 12 日から 2014 年 2 月 3 日までの過去のデータと各診療科の回帰モデルを蓄積している。「手術データの取り込み」ボタンでは、他の Excel ファイル (3.6 章で紹介する出力ファイル) に作成された手術の予約情報データを手術室のスケジューリングシステム内へ取り込む。「手術データの取り込み」ボタンを押すと、Excel ファイルを指定するウィンドウが表示される。その手術の予約情報データは、手術日、担当する診療科、患者の年齢・性別、術前診断の種類、手術の種類、執刀医の希望する手術の開始時刻、執刀医名、麻酔の種類などを含む。ここで 2012 年 3 月 12 日から 2014 年 2 月 3 日までの過去のデータと手術の予約情報データを照らし合わせ、番号を割り振る。「手術の所要時間の推定」ボタンでは、表 3.3 で示す各診療科の回帰モデルを用いて、手術の所要時間を推定する。「手術の所要時間の推定」のボタンを押した後、図 3.1 の表に手術日、手術の番号、診療科、執刀医による申告された手術の所要時間と回帰モデルによって推定された手術の所要時間を表示する。さらに、図 3.1 の“手術の所要時間の重ね合わせグラフ”で、手術につき、回帰モデルによって推定された手術の所要時間と執刀医によって申告された手術の所要時間を表示する。このグラフによって、推定された手術の所要時間と執刀医が申告した時間が異なる場合に、手術の執刀医と相談し、手術の所要時間を調節することができる。

2 つ目の機能では、3.4 章で示す手術室のスケジューリング問題を解く。ここでは、5 日分の手術室のスケジュールを作成する。「日付の設定」ボタンを押すと、生成する 5 日分のスケジュールの初めの日を設定するための新しいウィンドウ (図 3.2) が開く。日付を設定し、「完了」ボタンを押し、ウィンドウを閉じる。図 3.1 に選択した日を“年 月 日から 5 日分のスケジュールを作成”と表示する。「スケジューリング」ボタンを押すと、指定した週の月曜日から金曜日までの 5 日分の手術室のスケジューリングを作成し、その結果を表示する。具体的には、3.4 で紹介する定式化による手術室のスケジューリング問題を CPLEX Optimization Studio version 12.4 を用いて解く。得られたスケジュール (図 3.7(a)) は各日のシートに分けて表示される。このシステムはセットアップの時間を含めて、215 秒で 5 日分のスケジュールを作成した。



- 1: 手術室の空室時刻
- 2: 患者の入室時刻
- 3: 麻酔の開始時刻
- 4: 手術の開始時刻
- 5: 手術の終了時刻
- 6: 麻酔から覚醒時刻
- 7: 患者の退室時刻
- a: 手術のための医療機器の準備時間
- b: 手術の準備時間
- c: 麻酔管理時間
- d: 手術時間
- e: 麻酔覚醒時間
- f: 手術の片付け時間

図 3.3: 1つの手術に対する手術の所要時間の詳細

3.4 手術の所要時間の推定

今回、愛知医科大学病院から2012年3月12日から2014年2月3日までの9311件の麻酔科管理手術データの提供を受けた。これは、手術中に麻酔科医によって記録されたデータである。データには、患者名・ID、患者の年齢・性別、担当する診療科名、術前診断の種類、手術の種類、麻酔の種類、麻酔科医名・麻酔科助手名、執刀医名・主治医名・執刀医助手名などが記録されている。データの提供の際には、患者名、麻酔科医名、麻酔科助手名、執刀医名、主治医名、執刀医助手名などの個人情報については匿名化されていた。このデータの診療科ごとの手術件数の割合は、消化器外科が約20%、整形外科が約19%、耳鼻咽喉科が約13%となり、これらの診療科が手術件数の上位を占めている。各診療科の手術件数の詳細を表3.1に示す。

手術の所要時間は、患者の入室時刻から患者の退室時刻として定義した。この時間は麻酔科医の1つの手術に対する労働時間の長さに等しい。1つの手術に対する手術の所要時間の詳細を図3.3に示す。図3.3において、麻酔科医は1つの手術に対して、*b, c, d, e, f*の時間の労働が必要となる。なぜならば、麻酔科医は患者が手術室にいる間、患者の状態を観察し、手術記録を作成しなければならな

い。さらに、患者が手術室を退室した後も手術室の片付けなどの業務を行う必要があるからである。

手術件数の上位 13 診療科の手術の所要時間のヒストグラムを図 3.4 に示す。ヒストグラムの横軸

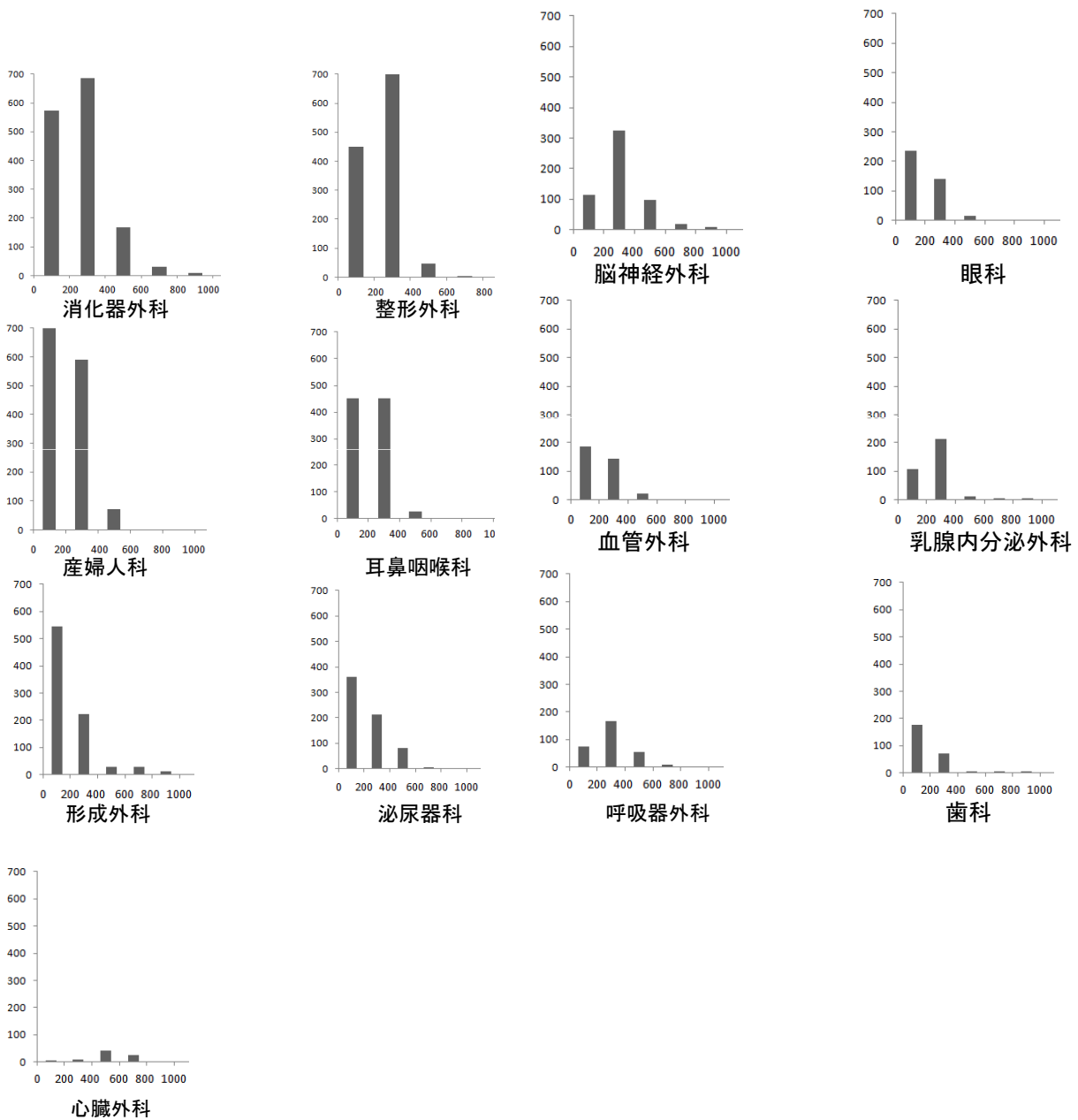


図 3.4: 手術件数の上位 13 診療科の手術の所要時間のヒストグラム,
横軸：分単位の実際の手術の所要時間

は分単位で手術の所要時間を表す。縦軸は、手術件数を表す。図 3.4 より、手術の所要時間のデータが対数正規分布に従うことが予想できるため、QQ プロットを用いて、手術の所要時間の対数の正規性を確認した。なぜならば、回帰モデルは、データが正規分布に従うことを仮定するため、回帰分析を行う際に正規性の検定を行う必要がある。この正規性の検定より、もし正規分布を仮定することが可能ならば、直接、回帰分析を適用することが可能である。一方、データが正規分布と仮定できない場合には、事前に変数変換する必要がある。手術件数の上位 13 診療科の QQ プロットを図 3.5 に示

す. 図 3.5 では, 縦軸は手術の所要時間を表す. 横軸は, 推定期間を表す. 図 3.5 より, 各診療科の

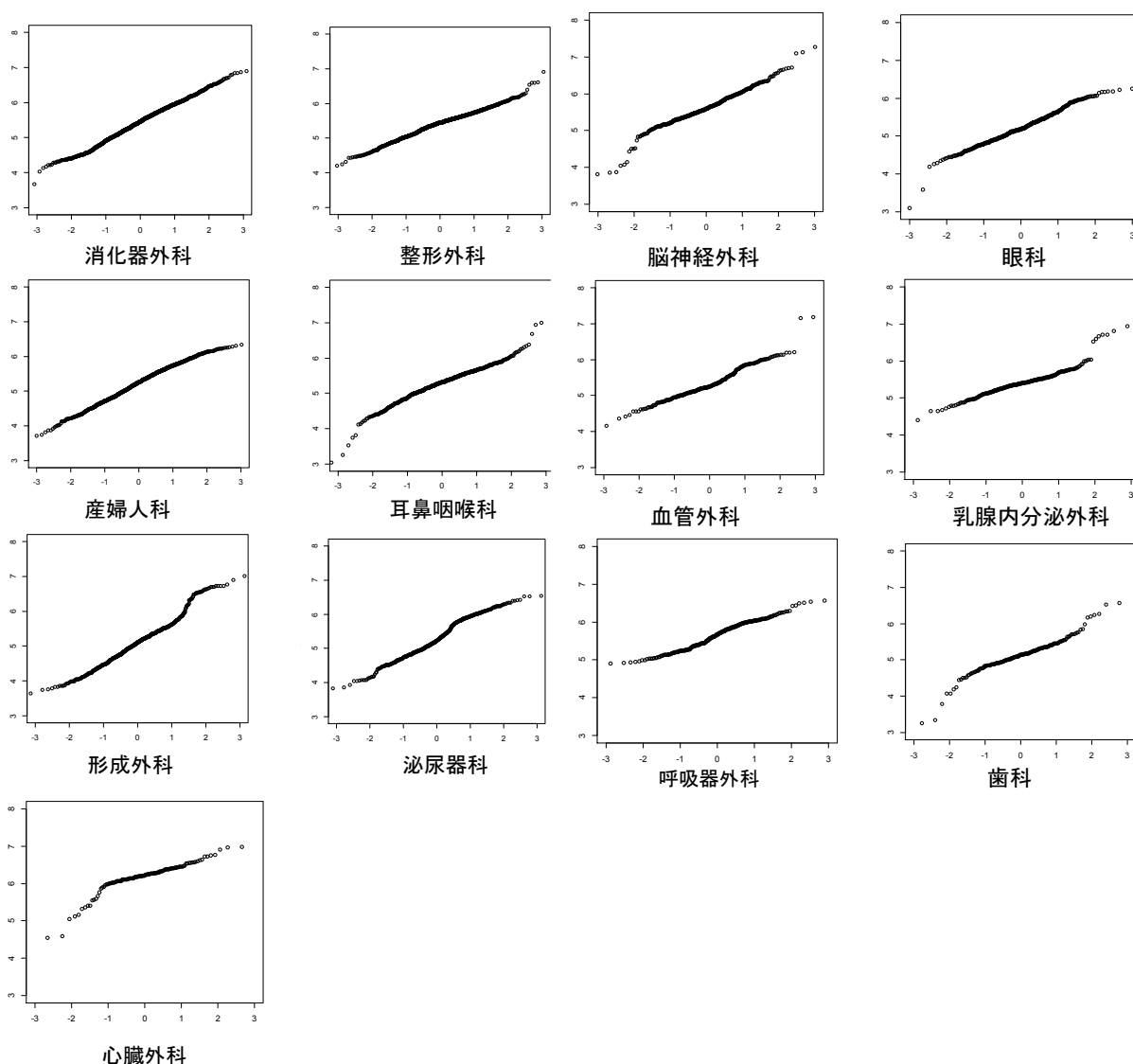


図 3.5: 手術件数の上位 13 診療科の正規 QQ プロット

手術の所要時間は, QQ プロットを用いた正規性の検定より, 対数正規分布に従うことが明らかになった. よって, 全ての手術の所要時間は対数正規分布に従うと仮定し, 手術の所要時間の対数で回帰分析を行った. 分析には, 統計解析ソフトの R を用いた.

回帰分析の説明変数を選定するために, 藤原教授と打ち合わせを重ねた. 藤原教授の長年の経験より, 手術の所要時間に影響を与える説明変数の候補をいくつか挙げた. 具体的には, 患者の年齢と性別, 術前診断, 施行術式, 執刀医, 麻酔法, 麻酔科医が説明変数の候補となった. 被説明変数は患者の入室時刻から退室時刻までの手術の所要時間とした. 説明変数の変数選択には, An Information Criterion(以下 AIC と称する)を用いた. データは, 記録する麻酔科医によって名称が異なるような統一性のないデータであるため, 施行術式の名称を厚生労働省が定める診療報酬点数表によって統一的に区分けした.

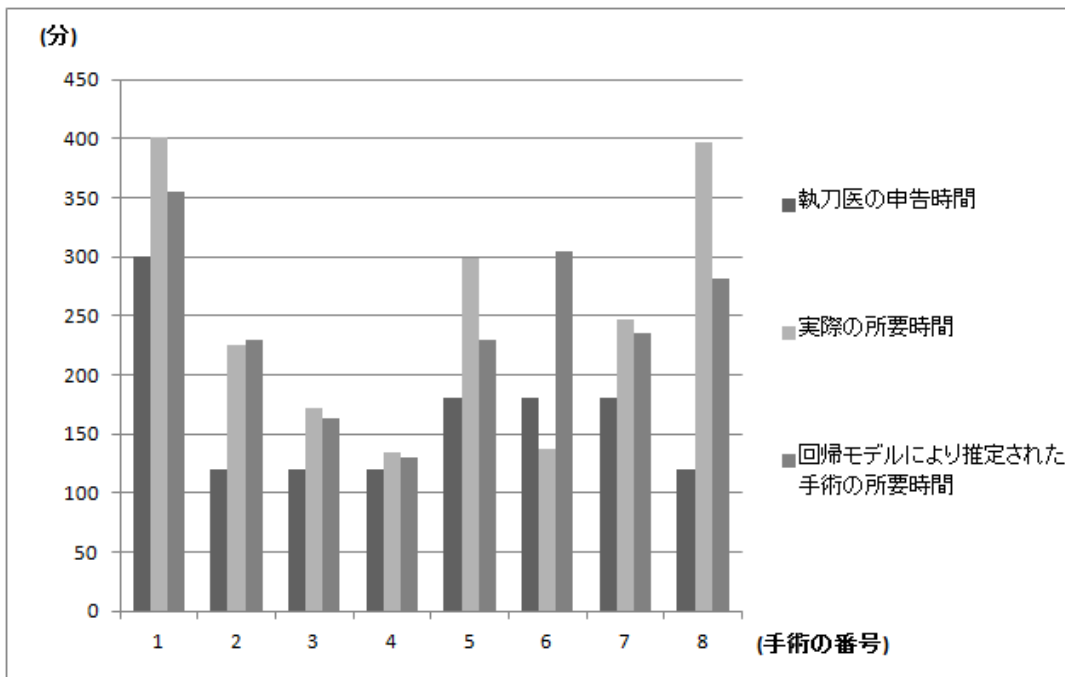


図 3.6: 2014 年 6 月 2 日の一部の手術の推定した手術の所要時間と執刀医によって申告された手術の所要時間, 実際の手術の所要時間の比較

重回帰分析の結果を表 3.2 に示す. 表 3.2 より, AIC を用いた変数選択の結果は診療科によって異なったが, 全診療科において, 術前診断と施行術式の変数が選択された. そのため, 術前診断と施行術式は, 組み合わせがパターン化し, ダミー変数を削減するために, 1 つの変数にまとめた. つまり, 表 3.2 の “c. 術前診断 + 術式” は, 術前診断と施行術式をペアにした 1 つの変数である. 加えて, 分析データから異常値や外れ値を削除する. 異常値や外れ値は推定時間との差の絶対値を超える標準偏差の 3 倍と定義する. 表 3.2 の左の列から診療科, 異常値や外れ値を除いた手術数, AIC によって選択された変数の数, AIC によって選択された説明変数を示す. また, 左から 5 列目には, 調節済み決定係数 R^2 の値を示す. R^2 の値は, 2014 年 6 月 2 日から 2014 年 6 月 6 日の 5 日の手術データを用いて計算した. R^2 が 1 に近い程, 回帰モデルの精度が高いと考えることができる. ここでは, 各診療科とも R^2 は 0.6 以上の値をとった [43].

回帰モデルの説明変数の係数と定数項を表 3.3 に示す. 表 3.3 より, 手術の所要時間に特に影響を与える説明変数を確認することが可能である. 例えば, 消化器外科では, 同じ手術であった場合を比較すると, 患者の年齢が上がるほど, 手術の所要時間が長くなることがわかる.

図 3.6 では, 回帰モデルによって推定した手術の所要時間と執刀医によって申告した手術の所要時間と実際の手術の運営時間とを比較する. 図 3.6 の縦軸は分単位の手術の所要時間を表す. 横軸は, 手術の番号を表す. 太線は, 回帰モデルにより推定された手術の所要時間である. 点線は, 執刀医によって申告された手術の所要時間である. 実線は, 実際の手術の所要時間である. 図 3.6 より, 推定した手術の所要時間は, 執刀医による申告された手術の所要時間と実際の手術の所要時間の差よりも小さくなった.

3.5 問題の定式化

手術室のスケジューリング問題は、混合整数計画問題として定式化した [44]. 定式化を以下に示す.

集合

- I : 手術 i の集合
- J : 手術室 j の集合
- T : 時刻 t の集合
- L : 診療科 l の集合
- N : 外科医 n の集合
- G : 全身麻酔の手術 g の集合, $G \subset I$
- A : 局所麻酔の手術 a の集合, $A \subset I$
- H : 全身麻酔の手術を行うことができる手術室 h の集合, $H \subset J$
- C : 局所麻酔の手術を行うことができる手術室 c の集合, $C \subset J, H \cap C = \emptyset$
- B : 外科医の希望する時刻から開始する手術 b の集合, $B \subset I$

定数

- K : 手術の準備時間
- U : 手術室の閉室時刻
- F_{lj} : 診療科 l が手術室 j を使用することができる時間
- d_i : 手術 i の推定した所要時間
- σ_i : 手術 i の所要時間の標準偏差
- a : 手術を不適当な手術室へ割り当てたときのペナルティ和の上限
- δ : 手術の有余時間
- b_i : 手術 i の開始時刻 $i \in B$
- P_{lj} : 診療科 l の手術が手術室 j へ割り当てられたときのペナルティ
- S_l : 診療科 l の手術の最早開始時刻

$$W_{il} = \begin{cases} 1 & \text{手術 } i \text{ が診療科 } l \text{ に所属} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$V_{in} = \begin{cases} 1 & \text{外科医 } n \text{ が手術 } i \text{ の執刀医} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases}$$

決定変数

$$x_{ijt} = \begin{cases} 1 & \text{手術 } i \text{ が手術室 } j \text{ を時刻 } t \text{ で開始} \\ 0 & \text{その他の場合 } (i \in I, j \in J, t \in T) \end{cases}$$

- O_i : 手術 i の延長時間
- Z_{lj} : 診療科 l が F_{lj} を越えて手術室 j を使用する時間
- R_j : 手術室 j の 2 つの連続する手術 i の標準偏差の差の上限

目的関数

$$\text{minimize } \alpha \sum_{i \in I} O_i + \beta \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} Z_{lj} + \gamma \sum_{j \in J} R_j \quad (3.1)$$

制約条件

$$\sum_{t \in T} (t + d_i + \delta \sigma_i) x_{ijt} - U \leq O_i \quad (i \in I, j \in J) \quad (3.2)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{i \in I} d_i W_{il} x_{ijt} \leq F_{lj} + Z_{lj} \quad (l \in L, j \in J) \quad (3.3)$$

$$\sum_{t'=t}^{t+d_i} \sigma_i x_{ijt'} - \sum_{i' \in I} \sum_{t''=t+d_i}^{t+d_i+d_{i'}} \sigma_{i'} x_{i'jt''} \leq R_j \quad (i \in I, j \in J, t \in T) \quad (3.4)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t'=t-d_i}^t V_{in} x_{ijt'} \leq 1 \quad (t \in T, n \in N) \quad (3.5)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{i \in I} P_{lj} W_{il} x_{ijt} \leq a \quad (l \in L, j \in J) \quad (3.6)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{j \in H} x_{ijt} = 1 \quad (i \in G) \quad (3.7)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{j \in C} x_{ijt} = 1 \quad (i \in A) \quad (3.8)$$

$$b_i = \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} t x_{ijt} \quad (i \in B) \quad (3.9)$$

$$S_l \leq \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} W_{il} t x_{ijt} \quad (i \in I, l \in L) \quad (3.10)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{t'=t-(K+d_i+\delta\sigma_i)}^t x_{ijt'} \leq 1 \quad (j \in J, t \in T) \quad (3.11)$$

$$O_i \geq 0 \quad (i \in I) \quad (3.12)$$

$$R_j \geq 0 \quad (j \in J) \quad (3.13)$$

$$Z_{lj} \geq 0 \quad (l \in L, j \in J) \quad (3.14)$$

$$x_{ijt} \in \{0, 1\} \quad (i \in I, j \in J, t \in T) \quad (3.15)$$

各式の説明

- (3.1) 重み係数 α, β, γ を各項に持つ三項から成り立つ。(第一項) 延長時間 O_i の和である。延長時間 O_i は、制約条件 (3.2) で表される。(第二項) 時間 Z_{lj} の和である。時間 Z_{lj} は制約条件 (3.3) で表される。(第三項) 上限 R_j の和である。上限 R_j は制約条件 (3.4) で表される。
- (3.2) (左辺) 手術 i の終了時刻 (i.e., $t + d_i + \delta\sigma_i$) と手術室の閉室時刻 (i.e., U) の差の上限
- (3.3) (左辺) 診療科 l の手術 i が手術室 j を使用する時間
- (3.4) (左辺の第一項) 手術室 j で t から $t + d_i$ までに手術 i を行ったときの標準偏差 σ_i , (左辺の第二項) 手術室 j で $t + d_i$ から $t + d_i + d_{i'}$ までに手術 i' を行ったときの標準偏差 $\sigma_{i'}$
- (3.5) 外科医 n が時刻 t で行う手術は 1 つ以下
- (3.6) 診療科 l の手術 i が不適切な手術室 j へ割当てられたときのペナルティ P_{lj} の和は a 以下
- (3.7) 全身麻酔の手術 i は全身麻酔専用の手術室 j に割り当てる
- (3.8) 局所麻酔の手術 i は局所麻酔専用の手術室 j に割り当てる
- (3.9) 外科医が希望する時刻から手術 i を開始
- (3.10) 診療科 l の手術 i は診療科 l の決められた開始時刻以降から開始
- (3.11) 手術 i を同時刻に重複して割り当てない
- (3.12), (3.13), (3.14) 非負制約
- (3.15) バイナリ制約

これらの定式化で、最適化計算ソフトウェアである IBM ILOG CPLEX Optimization Studio version 12.4 によって計算を行った。

3.6 計算結果

愛知医科大学病院では、月曜日から金曜日まで手術が行われている。1日に20~40件の手術が予定されている。手術室は、19室あり、午前8時30分から午後5時30分まで空いている。ほとんどの診療科は、午前8時30分以降で手術を開始するが、いくつか例外の診療科がある。たとえば、耳鼻咽喉科は全日午前8時から手術を開始することができる。他にも形成外科は、火曜日のみ午前8時15分から手術を開始することができる。脳神経外科は金曜日のみ午前8時15分から手術を開始することができる。各手術は、医療機器を準備するのに約15分を必要とする。ただし、希望する時刻から手術を開始する必要がある場合については省略可能である。

手術室4、手術室8、手術室14は特別な手術室である。手術室4と手術室8は緊急手術の際に使用される。心臓外科においては、時々これらの手術室を使用するが、なるべく使用を避けている。また、手術室14には、ダ・ヴィンチ手術システムが装備されている。そのため、このダ・ヴィンチを必要とする手術のみ、この手術室へ割り当てる。それに加えて、手術室1~手術室16は、全身麻酔を

必要とする手術を割り当てる．手術室 17～19 は，局所麻酔を必要とする手術を割り当てる．表 3.4 は各曜日の手術室の割り当てを優先する診療科を示す．これらの優先順位はペナルティ P_{ij} によって表されている．

目的関数の優先度は， $\gamma < \alpha < \beta$ である (付録 B.1 を参照)．計算実験の結果から，目的関数の重み係数を $\alpha = 2, \beta = 3, \gamma = 1$ と設定した． α, β, γ の重みの値によるスケジュールの結果には大幅な違いはなかった．そのため，優先度としてこれらの重みを使用する．また，我々は $\delta = 1$ として 3.4 節の制約条件 (3.2) に重みを設定する．つまり，重みを与えていないことと等価である．

2014 年 6 月 2 日の月曜日の手術室のスケジューリングシステムより得られたスケジュールを図 3.7(a) に示す．図 3.7 では，20 件の手術が予定されている．図 3.7 において，一番左の列は，手術室の番号を示す．そして最上行は，15 分刻みの時刻を示す．灰色の箇所は，手術の準備時間を表す．そしてリストの中には，手術の開始時刻，診療科，手術の番号を示す．濃い灰色の部分には，手術の所要時間を示す．使用したコンピュータは，Intel Core i5-2450M 2.50 GHz の CPU と 4 GB の RAM である．CPLEX Optimization Studio version 12.4 を用いて解いた結果，CPU 時間は 13 秒だった．問題は，変数が 18,620 と制約が 3,571 であった．

図 3.7(a) の質を確認するために，同日の看護師長が手作業で作成したスケジュールと比較した．看護師長が手作業で作成したスケジュールを図 3.7(b) に示す．また，同日の実際の手術室の運営のスケジュールを図 3.7(c) に示す．図 3.7 では手術室の閉室時刻の午後 5 時 30 分以降を省略する．なお，図 3.7(c) の一部の手術には，手術の準備時間がない．これは，予定していた終了時刻をこえて手術を行うことで，手術の準備時間がなくなっている．たとえば，図 3.7(c) の手術室 2 の手術 4 は，手術 3 が図 3.7(b) の予定している終了時刻をこえて手術を終えたため，手術の準備時間がなくなっている．その場合には，手術の準備は，他の空いている手術室または患者の入室後に行われている．さらに，図 3.7(a)，図 3.7(b)，図 3.7(c) の手術の所要時間が異なるため，図 3.7(c) の手術の所要時間で，図 3.7(a) と図 3.7(b) を運営した場合について，比較する．“手術室の閉室時刻からの延長時間”，“手術の開始時刻の遅延”，“手術室の変更”の 3 項目について比較した結果を以下に示す．

- (1) 手術室の閉室時刻からの延長時間：図 3.7(c) では，手術室 1 は，午後 7 時 45 分，手術室 3 は，午後 5 時 45 分，手術室 9 は午後 8 時 15 分，手術室 15 は午後 6 時 30 分で閉室する．これとは対照的に，図 3.7(a) では，手術室 1，手術室 3，手術室 9 が手術室の閉室時刻の前に閉室する．つまり，手術室の閉室時刻を延長する可能性は極めて低い．しかしながら，手術室 7 と手術室 12 は手術室の閉室時刻を超えると予想できる．図 3.7(a) と図 3.7(b) の手術室の閉室時刻からの延長時間の合計を比較すると，図 3.7(a) は図 3.7(b) より小さくなった．
- (2) 手術の開始時刻の遅延：図 3.7(c) では，手術室 1 の手術 1 は，図 3.7(b) によって予定されていた終了時刻をこえた．そのため，手術 2 の開始時刻が遅延している．同様の問題が，手術室 2，手術室 5 でもあった．手術室 9 では，手術 15 が図 3.7(b) によって予定されていた終了時刻をこえ，手術室の閉室時刻後に終了した．同様の問題が，手術室 15 にも見られる．図 3.7(a) では手術 1 と手術 2 は，別の手術室に割り当てられているため，手術 1 に遅延が発生しても，手術 2 に影響を与えない．同様の状況は，手術室 2，手術室 5 でもあった．手術室 9 では，図 3.7(c) と等しくなった．手術室 15 の手術 17 は図 3.7(b) よりも 1 時間 15 分早く開始するスケジュールとなったため，手術室の閉室時刻からの延長時間がなくなった．

(3) 手術室の変更：手術室 7 の手術 13 は 4 時間の手術の延長によって、図 3.7(b) の予定していた終了時刻を超えた。手術 14 はこの予定していた手術室 7 から手術室 11 に変更された。一方、図 3.7(a) では、手術 13 は、別の手術室に割り当てられた。そのため、手術室 15 は変更されないと予想できる。

これらの結果より、手術室のスケジューリングシステムを使用して作成したスケジュールは、いくつかのスケジュールの問題点を改善することが可能となった。たとえば、手術室の閉室時刻からの延長時間を減らすことが可能となった。図 3.7(b) は、1,740 分も延長した。一方、図 3.7(a) は、240 分の延長であった。また、手術の開始時刻の遅延を削減することが可能になった。図 3.7(a) と図 3.7(c) を比較すると、手術の開始時刻の差の合計は 120 分である。これは、図 3.7(b) と図 3.7(c) との間の差の合計の 1,080 分よりもはるかに小さい。

さらに、執刀医によって申告された時間を用いてシステムによりスケジュールを作成し、図 3.7(c) の手術の所要時間で運営した場合について検証した。その結果、手術室の閉室時刻からの延長時間は 480 分であった。つまり、執刀医によって申告された時間を用いてシステムにより作成したスケジュールは、図 3.7(b) よりも優れている。図 3.7(a) と執刀医によって申告された時間を用いてシステムにより作成したスケジュールを比較すると、図 3.7(a) は、執刀医によって申告された時間を用いてシステムにより作成したスケジュールよりも優れている。つまり、図 3.7(a) は最も良いスケジュールとなる。以上より、手術の所要時間の推定と手術室のスケジューリング問題のモデルの両方の方法が、手術室のスケジューリング問題を解決するために有効である。

2014 年 6 月 2 日から 2014 年 6 月 6 日のシステムにより得られたスケジュールを付録の図 B.5～図 B.10 に示す。2014 年 6 月 2 日から 2014 年 6 月 6 日のシステムにより得られたスケジュールでは、手術室の閉室時刻からの延長時間は 1 日あたり平均 66 分、標準偏差は 89 分である。看護師によって手作業で作成されたスケジュールでは、手術室の閉室時刻からの延長時間は 1 日あたり平均 1,029 分、標準偏差は 735 分である。手術の開始時刻の遅延について、システムにより得られたスケジュールと実際の手術室の運営のスケジュールとの間の手術の開始時刻の差の合計は 1 日あたり平均 198 分、標準偏差は、211 分である。一方、看護師によって手作業で作成されたスケジュールと実際の手術室の運営スケジュールの間の手術の開始時刻の差の合計の 1 日あたり平均は 246 分、標準偏差は、421 分である。

さらに、手術室のスケジューリングシステムは、時間や手間を削減することができる。図 3.7(a) の一日のスケジュールの作成は、CPU 時間が 13 秒を必要とし、出力に約 10 秒を必要とする。3.2 章で示されるように、5 日分のスケジュールを作成するための合計時間は約 5 分だった。これは手作業のスケジュールの作成の必要な時間（約 2.5 時間）よりもはるかに短い。

手術の予約情報には、患者の個人情報が含まれているため、その情報を通して患者を特定しないように注意して扱わなければならない。本研究でも、データの提供の際には、藤原教授または看護師長が患者の氏名を匿名化している。現在は紙媒体で情報を得ているため、その情報をこの手術室のスケジューリングシステムに取り組む際に、大幅な時間がかかっている。実際に、2015 年 3 月 2 日から 2015 年 3 月 6 日のデータをシステムに取り込んだところ、2 時間半の時間が費やされた（付録 B.3 を参照）。手術室のスケジューリングシステムを実用化するためには、データ収集を補助するシステムが必要である。

3.7 手術情報入力補助システムの構築

データ収集を補助するために、手術情報入力補助システムを Excel の VBA を用いて実装した。このシステムのユーザーインターフェイスを図 3.8 に示す。このシステムのユーザーインターフェイスは、最上行の 9 項目 (診療科, 年齢, 性別, 術前診断, 施行術式, 希望開始時刻, 執刀医の申告時間, 執刀医名, 手術日) の入力セルと 4 項目 (診療科, 術前診断, 施行術式, 執刀医) の参照セルで成りたつ。参照セルの情報は、他のシートに蓄積された情報を入力セルの診療科について表示したものである。蓄積された情報には、各診療科の 2012 年 3 月 12 日から 2014 年 2 月 3 日までの術前診断名, 施行術式名, 執刀医名の情報が蓄積されている。これらの蓄積した情報には全て番号が紐付されている。手術情報のデータは、1 件ごとに全て数字で入力を行う。

このシステムの使い方は、参照セルの情報を基に、入力セルに数字を順々に入力していく。まず初めに、入力セルの最も左側の診療科を指定する。診療科を指定すると、参照セルが表示される。その参照セルを基に、情報を入力し、1 つの手術の情報を入れ終えるごとに、“OK” ボタンを押す。この作業を繰り返し、手術の予約情報を蓄積することで、データベース化していく。

たとえば、図 3.8 の入力セルでは、診療科 9 を選択している。つまり、産婦人科の手術の情報を入力しようとしている。患者の年齢は、48 歳、性別は女性である。番号 85 の術前診断を受ける。番号 33 の施行術式を受ける。番号 191 が執刀医である。執刀医の希望の開始時刻はなく、2015 年 8 月 24 日のどの時刻からも手術が可能である。図 3.8 では、具体的な術前診断名や施行術式名はアルファベットによって省略している。手術情報入力補助システムを通し、データを手術室のスケジューリングシステムへ移し、作成したスケジュールを付録の B.4 節に示す。

3.8 まとめ

愛知医科大学病院の過去の手術データより、手術の所要時間を推定した。さらに、この推定した手術の所要時間を用いて、手術室のスケジューリング問題を混合整数計画問題として解いた。これらの作業を自動的に行う手術室のスケジューリングシステムを Excel 上に VBA を用いて実装した。それに加えて、手術の予約情報を手術室のスケジューリングシステムに取り組みするために、手術情報入力補助システムを実装した。

その結果、手術室の運営の問題点を改善することが可能になった。具体的には、手術室の閉室時刻からの延長時間を削減することができた。さらに、手術の延長による手術の開始時刻の遅延を削減することができた。また、スケジュール作成の手間と時間を軽減することができた。

2015 年 3 月 23 日の看護師長への手術室のスケジューリングシステムについてのアンケートでは、「手術室のスケジューリングシステムによって作成したスケジュールで、手術室の運営を行うことができそうか。」の質問に対して、「できるが、スケジュール結果の修正が必要」と回答を得た。具体的には、「出来上がってからの微調整が必ず必要となる。たとえば、異なる診療科が同じ手術室に入る場合、準備品や執刀医同士の関係性などで手術室を決定することもある。修正というよりも微調整が必要になる。」との評価を得た。また、「推定した手術の所要時間は、執刀医が申告した時間よりも実際の手術の所要時間に近い値になっていましたか。」の質問に対して、「なっている。」と回答を得た。

具体的には、「例えば、推定した手術の所要時間では、婦人科の短時間で行う手術の場合は、ずれが10分前後で、3時間程の長時間で行う手術の場合は、多少のずれがある。呼吸器外科の手術に関しては、実際の手術の所要時間と推定した手術の所要時間の差は少ない手術もあるが、推定した手術の所要時間より実際の手術の所要時間が伸びている感覚になることが多い。」との評価を得た。

表 3.1: 2012 年 3 月 12 日から 2014 年 2 月 3 日までの各診療科の手術件数

診療科	手術の数
消化器外科	1469
整形外科	1402
産婦人科	1387
耳鼻咽喉科	939
形成外科	835
泌尿器科	661
脳神経外科	567
眼科	393
血管外科	352
乳腺内分泌外科	339
呼吸器外科	306
歯科	261
心臓外科	179
精神神経科	106
皮膚科	57
腎移植外科	14
小児科	14
血液内科	10
消化管内科	8
呼吸器内科	5
救命救急科	4
麻酔科	2
糖尿病内科	1
心臓内科	0
内分泌内科	0
放射線内科	0
総合内科	0
睡眠科	0
感染症科	0
リハビリテーション科	0

表 3.2: 重回帰分析の結果

AIC による変数選択の結果 : a. 患者の年齢, b. 患者の性別, c. 術前診断 + 施行術式, d. 執刀医

診療科	手術の数	変数の数	変数選択の結果	R ²
整形外科	1273	728	a, c, d	0.6206
産婦人科	1150	426	c, d	0.7675
消化器外科	1029	487	a, b, c, d	0.7901
耳鼻咽喉科	727	343	a, c, d	0.6914
形成外科	590	420	b, c	0.8367
脳神経外科	567	204	a, b, c, d	0.7228
泌尿器科	546	113	a, b, c	0.7707
眼科	371	197	a, c	0.6205
呼吸器外科	304	170	a, b, c, d	0.6153
血管外科	300	115	b, c, d	0.6382
歯科	261	152	b, c, d	0.7562
乳腺内分泌外科	257	156	a, c, d	0.6025
心臓外科	127	65	a, c	0.7421

表 3.3: 回帰モデルの説明変数の係数と定数項

診療科	患者の年齢	患者の性別 (男性)	術前診断 + 術式 (最大値/最小値)	執刀医 (最大値/最小値)	定数項
整形外科	-0.0019167		1.298605/-1.38412	0.642339/-0.85046	5.6828176
産婦人科			1.811413/-0.82427	0.748384/-0.59026	4.588205
消化器外科	0.0814244	0.0486443	2.433181/-1.09064	1.2467707/-0.9691393	5.0099433
耳鼻咽喉科	0.0022385		1.317178/-2.6607812	0.3942068/-0.4095577	5.732589
形成外科		-0.09652	2.66289/-0.70622	4.34381	
脳神経外科	-0.001588	0.095683	1.301717/-2.234884	0.850745/-0.465337	5.823905
泌尿器科	-0.0016767	-0.0879424	1.9048967/-0.6891588		4.6466176
眼科	0.002992		0.243589/-2.680907		5.753995
呼吸器外科	0.002665	-0.150062	0.625485/-0.981701	0.276771/-1.108627	6.068348
血管外科	0.072391		0.830961/-0.76061	1.851817/-0.983613	5.126331
歯科		-0.06809	1.861057/-1.165431	0.552616/-0.542119	4.7499
乳腺内分泌外科			115.316/-704.281	573.177/-89.42	275.104
心臓外科	-0.15781		1.420916/-1.188552		6.233368

表 3.4: 診療科の優先度

A: 消化器外科, B: 整形外科, C: 産婦人科, D: 耳鼻咽喉科, E: 形成外科, F: 泌尿器科, G: 脳神経外科, H: 眼科, I: 血管外科, J: 乳腺内分泌外科, K: 呼吸器外科, L: 歯科, M: 心臓外科

手術室の番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17 18 19
月	C	C	C	M	A	D	K	G	G		D	I	I		H		局所麻酔の手術専用
火	E	E	A		A	A	F		B	B	B	B		F	H	H	局所麻酔の手術専用
水	E	E	E	M	A	D	K	G	G			I	I				局所麻酔の手術専用
木	L	N	A		A	A	F		B	B	B	B		F	H	H	局所麻酔の手術専用
金	C	C	C		A	J	F	G	G		B	J		F	H		局所麻酔の手術専用

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
手術室 1		(8:30)/産婦人科/2		(10:45)/産婦人科/7						
手術室 2		(8:30)/産婦人科/6		(11:30)/産婦人科/12						
手術室 3		(8:30)/産婦人科/1								
手術室 4	緊急手術室									
手術室 5		(8:30)/消化器外科/8								
手術室 6				(11:45)/耳鼻咽喉科/4						
手術室 7		(8:30)/産婦人科/5		(12:00)/呼吸器外科/13						
手術室 8	緊急手術室									
手術室 9		(8:30)/脳神経外科/15								
手術室 10				(10:45)/耳鼻咽喉科/11						
手術室 11										
手術室 12		(8:00)/耳鼻咽喉科/3				(12:45)/血管外科/16				
手術室 13		(8:30)/消化器外科/9								
手術室 14	ダ・ヴィンチシステムの設置									
手術室 15		(8:30)/消化器外科/14					(14:15)/眼科/17			
手術室 16		(8:00)/耳鼻咽喉科/10								
手術室 17							(13:45)/内科/19			
手術室 18		(8:30)/整形外科/20								
手術室 19		(8:30)/内科/18								

(a) システムにより作成したスケジュール

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
手術室 1		(8:30)/産婦人科/1						(15:00)/産婦人科/2		
手術室 2		(8:00)/耳鼻咽喉科/3			(11:45)/耳鼻咽喉科/4					
手術室 3		(8:30)/産婦人科/5			(12:00)/産婦人科/6			(15:30)/産婦人科/7		
手術室 4	緊急手術室									
手術室 5		(8:30)/消化器外科/8					(13:30)/消化器外科/9			
手術室 6		(8:00)/耳鼻咽喉科/10		(10:45)/耳鼻咽喉科/11				(15:30)/産婦人科/12		
手術室 7		(8:30)/呼吸器外科/13					(13:30)/消化器外科/14			
手術室 8	緊急手術室									
手術室 9		(8:30)/脳神経外科/15								
手術室 10										
手術室 11										
手術室 12		(8:30)/血管外科/16								
手術室 13										
手術室 14	ダ・ヴィンチシステムの設置									
手術室 15								(15:30)/眼科/17		
手術室 16										
手術室 17		(8:30)/内科/18					(14:00)/内科/19			
手術室 18		(9:00)/整形外科/20								
手術室 19										

(b) 看護師長によって手作業で作成されたスケジュール

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
手術室 1		(8:32)/産婦人科/1						(15:45)/産婦人科/2		
手術室 2		(8:05)/耳鼻咽喉科/3			(12:04)/耳鼻咽喉科/4					
手術室 3		(8:39)/産婦人科/5			(11:44)/産婦人科/6		(14:12)/産婦人科/7			
手術室 4	緊急手術室									
手術室 5		(8:33)/消化器外科/8					(14:48)/消化器外科/9			
手術室 6		(8:03)/耳鼻咽喉科/10		(10:30)/耳鼻咽喉科/11			(14:52)/産婦人科/12			
手術室 7		(8:31)/呼吸器外科/13								
手術室 8	緊急手術室									
手術室 9		(8:39)/脳神経外科/15								
手術室 10										
手術室 11					(13:03)/消化器外科/14					
手術室 12		(8:33)/血管外科/16								
手術室 13										
手術室 14	ダ・ヴィンチシステムの設置									
手術室 15								(16:10)/眼科/17		
手術室 16										
手術室 17		(8:31)/内科/18			(12:01)/内科/19					
手術室 18		(8:59)/整形外科/20								
手術室 19										

(c) 実際の手術室の運営スケジュール

図 3.7: 2014 年 6 月 2 日のシステムにより作成されたスケジュール, 手作業で作成されたスケジュール, 実際の手術室の運営スケジュール

診療科	年齢	性別	術前診断	施行術式	希望開始時刻	執刀医の申告時間	執刀医	手術日			
9	48	女	85	33		150	191	2015/8/24			
OK											
診療科		術前診断		施行術式			執刀医				
か	1	眼科	外	A	8	両	K	1	あ	38	V
	2	感染症科		B	9		L	2		3	W
	3	救命救急科		C	10		M	3		4	X
	4	形成外科		D	11		N	4		5	Y
	5	血管外科		E	12		O	5		10	Z
	6	血管内科								11	AA
	7	呼吸器・アレルギー	右	F	13	右	P	11		25	AB
	8	呼吸器外科		G	14		Q	13		26	AC
				H	15		R	12		27	AD
さ	9	産婦人科		I	16		S	16		30	AE
	10	歯科		J	17		T	17		18	AF
	11	耳鼻咽喉科			18		U	21		14	AG

図 3.8: 手術情報入力補助システムのユーザーインターフェイス

第4章

研修医のスケジューリング問題

4.1 はじめに

研修医とは、医師免許取得後、プライマリ・ケアを中心とする幅広い診療能力を習得するために、大学病院又は臨床研修病院で2年間の臨床研修を受けている医師である。2015年度では、1,018か所の病院が過去最多の8,244名の研修医を採用している[19]。日本の研修医数は年々増加傾向であるが、一部の病院で研修医が不足していることが問題となっている[45]。この理由として、2004年に実施された臨床研修制度の変更により、研修先を自由に選択することが可能になったことがあげられる。その結果、研修医は、臨床研修のプログラム、指導体制や待遇などが魅力的な研修環境であるか否かで研修先の病院を選択するようになった。そのため、病院では、いかに研修医の健康状態や生活の安定を保ち、研修医の希望を最大限に満たす魅力的な研修環境を提供できるかが課題になっている。

魅力的な研修環境を提供するために、研修医の研修の診療科や勤務状況を管理するスケジュールは重要である。一般的に、研修医に関するスケジューリング問題をRSP(Resident scheduling problem)と呼んでいる。RSPを解決するために、多くの病院では、研修医の希望を調査しているが、病院は研修医の希望を全て満たすことはできない。指導医の人数や各診療科の受入れ状況、各日の必要人数や臨床研修のカリキュラム、病院の規則、労働基準法などのいくつかの他の条件も考慮しなければならないからである。実際に、研修医は診療科の希望が満たされないことに対するストレスを抱えている。また、研修医は通常勤務に加えた通常勤務以外の勤務(当直)勤務による長時間労働からもストレスを感じている[46]。カナダのある大学病院では、研修医の半数以上が週あたり80時間以上、そのうち約6人に1人が100時間以上勤務していた。このように長時間労働による研修医の過酷な研修環境が明らかになった[47]。そして、各国の研修医制度に沿ったスケジューリングシステムが開発されている。

第1章で紹介したように、RSPの研究は、欧米を中心に現在までに数多く行われてきた。一方、日本ではRSPにおける数理計画モデルを用いた研究は未だ十分に行われていない。また、欧米の手法をそのまま日本のRSPに適用することはできない。なぜならば、欧米と日本の研修制度が異なり、その国に特化した解決手法となっているからである。例えば、欧米の研修医の研修期間が12ヶ月であるのに対して、日本の研修医の研修期間は24ヶ月である。また、欧米の研修医の労働時間は全米卒業医学教育認定評議会(Accredited Council for Graduate Medical Education : ACGME)が研

修医の労働時間を週あたり 80 時間以下に規制している。一方、日本の研修医の労働時間は労働基準法が研修医の通常の労働時間を週あたり 40 時間以下に規制している。それに加えて、時間外・休日労働が可能であるため、事実上、労働時間の上限はない。これは、患者あたりの医師数が少ないために、通常の労働時間を越えて、患者の診療を行わなければならないことが関連している。

愛知医科大学病院では、卒後臨床研修センターにおいて RSP が管理されている。現在、担当者が長い作業時間を費やして、手作業でスケジュールを作成している。なぜならば、スケジュールを作成するには、様々な条件を考慮しなければならないからである。しかしながら、作成されたスケジュールは多くの場合、スケジュールを使用する関係者が満足できるものではない。このように手間と時間の削減とスケジュールの質の向上が、卒後臨床研修センターの長年の課題であったが、現在に至るまで改善されていない。本研究では、卒後臨床研修センターで早急に解決が必要な問題としてあげられた研修医の診療科ローテーションスケジュールリング問題と当直シフトスケジュールリング問題について解決した。本稿では、当直シフトスケジュールリング問題の事例について紹介する。さらに、研修医の診療科ローテーションスケジュールリング問題については概要を当直シフトスケジュールリングシステムとの兼ね合いから紹介する。

当直シフトスケジュールリングは 0-1 整数計画問題として定式化し、目的関数を重み付き制約条件の違反量の最小化として表した。その重み付けは Analytic Hierarchy Process (AHP) によって決定した。さらに、自動的に当直シフトスケジュールを作成する当直シフトスケジュールリングシステムを VBA を用いて、Excel 上に実装した。それに加えて、診療科ローテーションスケジュールリングシステムと当直シフトスケジュールリングシステム間で研修医の診療科ローテーションのデータの共有ができるようにした。その結果、スケジュール作成の時間と手間を削減し、愛知医科大学病院のスケジュールの問題点を解決した。現在、この実装したシステムは、愛知医科大学病院で試用中である。その結果、2016 年 1 月の当直シフトスケジュールから、システムで作成したスケジュールを伊藤氏が手作業で調整した後、実際に使用した。

この章では、当直シフトスケジュールリングのモデル化から実際例への適用までの過程を紹介する。これ以降の章構成は、4.2 節では、研修医の当直シフトスケジュールリングシステムの設計を紹介する。4.3 節では、研修医の当直シフトスケジュールリングシステムと研修医の診療科ローテーションシステムとのデータのやり取りにおける関連性について説明する。さらに、研修医の診療科ローテーションシステムの概要を紹介する。4.4 節では、0-1 整数計画問題としての問題の定式化について紹介する。4.5 節では、AHP を用いた制約条件の重要度付けの方法について紹介する。4.6 節では、愛知医科大学病院のデータを用いて、計算した結果について述べる。4.7 節では、愛知医科大学病院へ当直シフトスケジュールリングシステムを試作した結果と考察について述べる。4.8 節では、この章についてのまとめを記す。

4.2 研修医の当直シフトスケジュールリングシステムの構築

本研究では、スケジュールリングの時間と手間を削減し、愛知医科大学病院の問題点を解決するために、当直シフトスケジュールリングシステムを Excel 上に VBA を用いて実装した [48]。研修医の当直シフトスケジュールリングシステムのインターフェイスを図 4.1 に示す。このシステムは、スケジュールの担当者がインターフェイス上にあるボタンを順に押す操作でスケジュールを作成する。まず初め

研修医当直表(2016年2月)

スケジュール作成月の決定	当直に入れない日の指定	<input type="checkbox"/> 医療安全 <input type="checkbox"/> 昼食会 <input type="checkbox"/> AED <input type="checkbox"/> ICT <input type="checkbox"/> ICLS <input type="checkbox"/> グラム <input type="checkbox"/> CPC <input type="checkbox"/> 他	児 救 E	消	データの数値化	制約条件チェック	スケジュールリング	別ファイルに出力	当直に入れない日の指定画面に戻る	?
--------------	-------------	--	-------------	---	---------	----------	-----------	----------	------------------	---

年次	No.	氏名	診療科	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	13月	14月	15月	16月	17月	18月	19月	20月	21月	22月	23月	24月	25月	26月	27月	28月	29月	
2	1	a	児	x	x	救			救																								
2	2	b	児	x	救				救																								
2	3	c	産婦	x					救																								
2	4	d	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	5	e	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	6	f	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	7	g	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	8	h	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	9	i	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	10	j	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	11	k	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	12	l	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	13	m	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	14	n	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	15	o	外科																														
2	16	p	外科																														

図 4.1: 研修医の当直シフトスケジュールリングシステムのユーザーインターフェイス

に、スケジュールの作成年月を最上行の日付の書かれた箇所を押し、プルダウンによる選択肢の中から適切な日付を選択する。その後、「スケジュール作成月の決定」ボタンを押し、スケジュールを作成する月を決定する。「スケジュール作成月の決定」ボタンを押すと、決定した月のカレンダーとその月にローテイトする診療科を表示する。これは、研修医が毎月異なる診療科をローテーションするからである。ここで、4.3 で紹介する研修医のローテーションシステムで生成したローテーション表とスケジュールの作成年月を対応させている。

「当直に入れない日の指定」ボタンでは、研修医が当直に入れない日を指定する。このボタンを押すことで、自動的に図 4.1 上の当直表の適切な箇所へ“×”印が入力される。“×”印が入力される箇所は、ローテイト先の診療科によって、当直規制されている箇所や他の予定(勉強会、研修、会議など)が入っている箇所である。インターフェイス上の「×」、「医療安全」、「クロス」、「エコー」、「昼食会」、「AED」、「ICT」、「ICLS」、「グラム」、「CPC」、「他」ボタンはいずれも当直に入れない日の種類を当直シフトスケジュールへ入力するためのボタンである。また、「児」、「救」、「E」のボタンは、研修医が当直に入りたい希望日を指定する。「児」ボタンは小児科当直、「救」ボタンは救命救急センター、「E」ボタンはICUを示す。「消」ボタンでは、当直シフトスケジュールの選択した箇所の文字を消すことができる。

「データの数値化」ボタンでは、「当直に入れない日の指定」ボタンで入力した情報やスケジュールリングに必要なデータを数値化する。「制約条件チェック」ボタンでは、手入力の際の誤記入を確認する。具体的には、“毎日の必要配置人数以上の空白セルがあること”と“各研修医において毎月の必要当直回数以上の空白セルがあること(ただし、学外、救急科、産婦人科、麻酔科をローテイトする研修医を除く。)”を確認する。「スケジュールリング」ボタンでは、0-1 整数計画問題として定式化した研修医の当直シフトスケジュールリング問題を解く。「別のファイルに出力」ボタンでは、作成したスケジュールを別のファイルに移す。「当直に入れない日の指定画面に戻る」ボタンでは、研修医の当直に入れない日と当直に入りたい希望日を入力した後の画面に戻る。「？」ボタンでは、研修医の当直シフトスケジュールリングシステムのマニュアルを示す。現在、この実装したシステムは、愛知医科大学病院で試用中である。

4.3 研修医の当直シフトスケジューリングシステムと研修医のローテーションシステムの関連性

当直シフトスケジューリングを作成する上で、研修医がどの診療科をローテーションするかということは重要なことである。なぜならば、診療科によって当直の有無や人数が決定するからである。たとえば、勉強会や研修などで毎週、当直できない曜日がある診療科や、同じ日に当直できない診療科の組み合わせなど、複数の条件がある。そのため、当直シフトスケジューリングシステムと研修医の診療科ローテーションスケジューリングシステムはデータを共有できるようにした。

ここで紹介している研修医の診療科ローテーションスケジューリング問題は、研修医が各月にどの診療科で研修を行うかを決定する問題である。現在、今村教授が手作業で3日程かけスケジュールを作成している。このスケジュールは研修医の希望を基に、各診療科に割り当てられる研修医数の公平性を考慮しながら作成している。しかしながら、研修医の希望と各診療科の受入れ状況によって、各月の診療科の研修医数に偏りが生じて問題となっている。研修医の診療科ローテーションスケジューリング問題を解決するために、問題を0-1整数計画問題として定式化した。さらに、短時間で効率良くスケジュールを作成するために、研修医の診療科ローテーションスケジューリングシステムをExcel上にVBAを用いて実装した [49]。

4.4 問題の定式化

当直シフトスケジューリング問題は0-1整数計画問題として定式化した。定式化を以下に示す。

集合

R : 研修医 r の集合

D : 診療科 d の集合

K : 勤務形態 k の集合

T : シフト t の集合

M : 曜日 m の集合

F : 1 学年の研修医 f の集合

S : 2 学年の研修医 s の集合

N : 宿直 n の集合

Day : 日直 day の集合

Z : 学外、救急科、産婦人科、麻酔科を除く診療科 z の集合

O : 学外、救急科、産婦人科 o の集合

Res : 学外、救急科、産婦人科、麻酔科以外をローテイトする研修医 r の集合

L : 制約条件 l の集合

勤務形態の集合 K の $k = 1$ は救命救急センター、 $k = 2$ はICUである。曜日の集合 M の $m = 1$ は月曜日、 $m = 2$ は火曜日、 $m = 3$ は水曜日、 $m = 4$ は木曜日、 $m = 5$ は金曜日、 $m = 6$ は土曜日、 $m = 7$ は日曜日である。

定数

Ane : 麻酔科

UB : 1ヶ月あたりの当直回数の上限

LB : 1ヶ月あたりの当直回数の下限

HUB : 1ヶ月あたりの土日祝日の当直回数の上限

HLB : 1ヶ月あたりの土日祝日の当直回数の下限

FRU : 1年次の研修医の上限必要人数

FRL : 1年次の研修医の下限必要人数

SRU : 2年次の研修医の上限必要人数

SRL : 2年次の研修医の下限必要人数

$daycount$: 1ヶ月あたりの日直の上限回数

$$G_{mt} = \begin{cases} 1 & \text{シフト } t \text{ が曜日 } m \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$W_{rt} = \begin{cases} 1 & \text{研修医 } r \text{ がシフト } t \text{ で休みを希望} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$H_{rt} = \begin{cases} 1 & \text{研修医 } r \text{ がシフト } t \text{ で当直に入れない} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$B_{rd} = \begin{cases} 1 & \text{研修医 } r \text{ が診療科 } d \text{ をローテイト} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$E_t = \begin{cases} 1 & \text{シフト } t \text{ が通常勤務日} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$q_{rt} = \begin{cases} 1 & \text{研修医 } r \text{ がシフト } t \text{ で救命救急センターの} \\ & \text{当直を希望} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$ICU_{rt} = \begin{cases} 1 & \text{研修医 } r \text{ がシフト } t \text{ でICUの当直を希望} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$ped_{rt} = \begin{cases} 1 & \text{研修医 } r \text{ がシフト } t \text{ で小児科当直} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases}$$

決定変数

$$x_{rtk} = \begin{cases} 1 & \text{研修医 } r \text{ がシフト } t \text{ で勤務形態 } k \text{ の当直} \\ 0 & \text{その他の場合} \quad (r \in R, t \in T, k \in K) \end{cases}$$

p_{rl} : 研修医 r の制約条件 l の違反量

目的関数

$$\text{minimize } \alpha \sum_{r \in Res} p_{r1} + \beta \sum_{r \in Res} p_{r2} + \gamma \left(\sum_{r \in Res} p_{r3} + \sum_{r \in Res} p_{r4} \right) + \delta \sum_{r \in Res} \sum_{m \in M} p_{r5} \quad (4.1)$$

制約条件

$$\sum_{k \in K} \sum_{t \in T} W_{rt} x_{rtk} \leq 0 + p_{r1} \quad (r \in Res) \quad (4.2)$$

$$\sum_{t \in T} x_{rt1} + \sum_{t \in T} E_t x_{rt2} + 2 \sum_{t \in T} (1 - E_t) x_{rt2} + \sum_{t \in T} q_{rt} + \sum_{t \in T} ped_{rt} \leq UB + p_{r2} \quad (r \in Res) \quad (4.3)$$

$$\sum_{t \in T} (1 - E_t) (x_{rt1} + 2x_{rt2} + q_{rt} + ped_{rt}) \leq HUB + p_{r3} \quad (r \in Res) \quad (4.4)$$

$$\sum_{t \in T} (1 - E_t) (x_{rt1} + 2x_{rt2} + q_{rt} + ped_{rt}) \geq HLB - p_{r4} \quad (r \in Res) \quad (4.5)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{k \in K} G_{mt} x_{rtk} \leq 1 + p_{r5} \quad (r \in Res, m \in M) \quad (4.6)$$

$$\sum_{r \in R} x_{rt1} + \sum_{r \in R} q_{rt} = 4 \quad (t \in T) \quad (4.7)$$

$$\sum_{r \in F} x_{rt1} + \sum_{r \in F} q_{rt} \geq FRL \quad (t \in T) \quad (4.8)$$

$$\sum_{r \in F} x_{rt1} + \sum_{r \in F} q_{rt} \leq FRU \quad (t \in T) \quad (4.9)$$

$$\sum_{r \in S} x_{rt1} + \sum_{r \in S} q_{rt} \geq SRL \quad (t \in T) \quad (4.10)$$

$$\sum_{r \in S} x_{rt1} + \sum_{r \in S} q_{rt} \leq SRU \quad (t \in T) \quad (4.11)$$

$$\sum_{r \in R} x_{rt2} + \sum_{r \in R} ICU_{rt} = 1 \quad (t \in N) \quad (4.12)$$

$$\sum_{r \in R} x_{rt2} = 0 \quad (t \in Day) \quad (4.13)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{k \in K} B_{rd} x_{rtk} \leq 2 \quad (r \in R, d = Ane) \quad (4.14)$$

$$\sum_{k \in K} x_{rtk} + H_{rt} \leq 1 \quad (r \in R, t \in T) \quad (4.15)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{t \in T} x_{rtk} + \sum_{t \in T} q_{rt} + \sum_{t \in T} ped_{rt} \geq LB \quad (r \in Res) \quad (4.16)$$

$$G_{6t} \sum_{k \in K} x_{rtk} \leq 1 (r \in R, t \in Day) \quad (4.17)$$

$$G_{6t} \sum_{k \in K} x_{rtk} \leq 1 (r \in R, t \in N) \quad (4.18)$$

$$\sum_{t \in Day} \sum_{k \in K} x_{rtk} \leq daycount (r \in R) \quad (4.19)$$

$$\sum_{t \in T} x_{rt2} \leq 1 (r \in R) \quad (4.20)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{t'=t}^{t+5} x_{rt'k} + \sum_{t'=t}^{t+5} q_{rt'} + \sum_{t'=t}^{t+5} ped_{rt'} \leq 1 \quad (r \in R, t \in T) \quad (4.21)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{t'=t}^{t+5} (1 - E_{t'}) x_{rt'k} \leq 1 \quad (r \in R, t \in T) \quad (4.22)$$

$$p_{rl} \geq 0 \quad (r \in R, l \in L) \quad (4.23)$$

$$x_{rtk} \in \{0, 1\} \quad (r \in R, t \in T, k \in K) \quad (4.24)$$

各式の説明

- (4.1) 制約条件 (4.2)～制約条件 (4.6) の重み付き違反量の和の最小化
- (4.2) 研修医の休み希望日の考慮
- (4.3) 当直回数の公平性
- (4.4) 土日祝日の出勤回数の上限
- (4.5) 土日祝日の出勤回数の下限
- (4.6) 当直に入る曜日の偏りをなくす
- (4.7) 毎日、救命救急センターに 4 名割り当てる
- (4.8) 毎日、救命救急センターの 1 年次の研修医数の下限
- (4.9) 毎日、救命救急センターの 1 年次の研修医数の上限
- (4.10) 毎日、救命救急センターの 2 年次の研修医数の下限
- (4.11) 毎日、救命救急センターの 2 年次の研修医数の上限
- (4.12) 宿直時、ICU に必ず 1 人割り当てる
- (4.13) 土日祝日の日直時、ICU へ割り当てない
- (4.14) 麻酔科の研修医の当直は、2 回以下
- (4.15) 通常勤務、昼食会、研修など予定がある場合、当直に割り当てない
- (4.16) 当直を必ず 1 ヶ月あたりの当直回数の下限以上割り当てる

- (4.17) 土曜日の日直は, 1 回以下
- (4.18) 土曜日の宿直は, 1 回以下
- (4.19) 日直は, 2 回以下
- (4.20) ICU の当直は, 1 回以下
- (4.21) 1 週間のうち, 研修医が当直に入る回数は 1 回以下
- (4.22) 1 週間のうち, 土日祝日に当直に入る回数は 1 回以下
- (4.23) 非負制約
- (4.24) バイナリ制約

この問題の最適解を求めるには, CPLEX Optimization Studio version 12.5.1 を用いた.

4.5 AHP による制約式の重要度の数量化

AHP を用いて, 4.4 節の式 (4.1) の $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ の制約条件の重要度を数量化した. AHP は, 総合目標を明確にするために, いくつかの代替案と評価基準を設定する. ここでは, 総合目標を「制約条件の重要度の数量化」とした. 評価基準は, 愛知医科大学病院のスケジュール運営者 (ここでは, 卒後臨床研修センターの今村教授と伊藤氏を示す.) と研修医に適切な基準を調査し, 決定した. 決定した評価基準は, “仕事”, “健康”, “給料”, “プライベート” の 4 項目である. 各項目の内容の詳細として, “仕事” では, 前日, 当日, 翌日などの仕事内容による負担についてである. “健康” では, 睡眠, 過労などの健康状態についてである. “給料” では, 時間外労働手当, 休日出勤手当などによる給料についてである. “プライベート” では, 旅行, 趣味などのプライベートについてである. 代替案は, 以下の 4 項目とした.

代替案 1. 研修医の休み希望日の考慮 (制約条件 (4.2))

代替案 2. 当直回数の公平性 (制約条件 (4.3))

代替案 3. 土日祝日の出勤回数の公平性 (制約条件 (4.4) と制約条件 (4.5))

代替案 4. 曜日による当直回数の偏りをなくす (制約条件 (4.6))

階層図を図 4.2 に示す. 図 4.2 の下位レベルから上位レベルに向けて評価値を計算し, 意思決定を行う. ここでは, 評価基準と代替案の両方とも, 一対比較行列の固有ベクトルから値を求めた.

2015 年 4 月 16 日に実施した一対比較アンケートを図 4.3 に示す. 調査対象は, 研修医 2 年目の 27 名 (女性 13 名, 男性 14 名) である. 評価は, 「左の項目が圧倒的に重要」から「右の項目が圧倒的に重要」までの 18 段階とした. その結果, 総合重要度は, 【代替案 1】 0.460281, 【代替案 2】 0.21571, 【代替案 3】 0.181196, 【代替案 4】 0.142152 となった. この総合重要度のレーダーチャートを図 4.4 に示す. 図 4.4 より, 【代替案 1】, 【代替案 2】, 【代替案 3】, 【代替案 4】 の順で重要度が高いことがわかった. このアンケート実施前に, スケジュールの運営者に代替案の重要度を確認したところ, 【代替案 3】, 【代替案 1】, 【代替案 2】, 【代替案 4】 の順で重要度が高いと返答していた. この結果より, 研修医とスケジュール運営者では, 重要視する条件が異なっていることがわかった. また, 【代替案 1】 においては全体の約 50% を占めた.

AHP では、各研修医の一対比較アンケート結果に整合性があるか否かを判定する必要がある。ここでは、判定の尺度として、整合度 C.I. を用いる。整合度 C.I. は最大固有値の λ_{max} と一対比較を行う要素 n によって以下のように示す [30].

$$C.I. = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (4.25)$$

この値が 0.1 以上のとき、整合性が欠けている。判定の結果、全ての一対比較行列において 0.1 より小さい値となった。つまり、本研究で実施した一対比較アンケートの結果は整合性をもつといえる。4.4 節の式 (4.1) の δ の値については、 α, β, γ と単位を揃えるために、曜日の数 (7) で総合重要度の値 (0.142152) を割った。つまり、 $\alpha = 0.460281, \beta = 0.21571, \gamma = 0.181196, \delta = 0.142152$ として、制約条件の重み付けを決定した。

4.6 計算結果

この節では、2015 年 2 月の当直シフトスケジュールについて述べる。スケジューリングの CPU 時間は、5 秒であった。ここでは以下の 3 つのスケジュールを比較する。

- (a) 手作業により作成したスケジュール
- (b) 制約条件の重要度付けなしのスケジュール
- (c) AHP より制約条件の重要度付けしたスケジュール

以下に各制約条件に対して (a), (b), (c) を比較した結果についてまとめる。

【制約条件 (4.2) 研修医の休み希望日の考慮】: (a), (b), (c) のスケジュールにおいて全ての研修医の休み希望日を満たした。

【制約条件 (4.3) 当直回数の公平性】: 図 4.1 に 2015 年 2 月の各当直回数に対する研修医数を示す。図 4.1 より、一見、(a) が最も当直回数が公平そうだが、考慮されていない制約がある。また、(c) の方が (b) よりも公平になった。

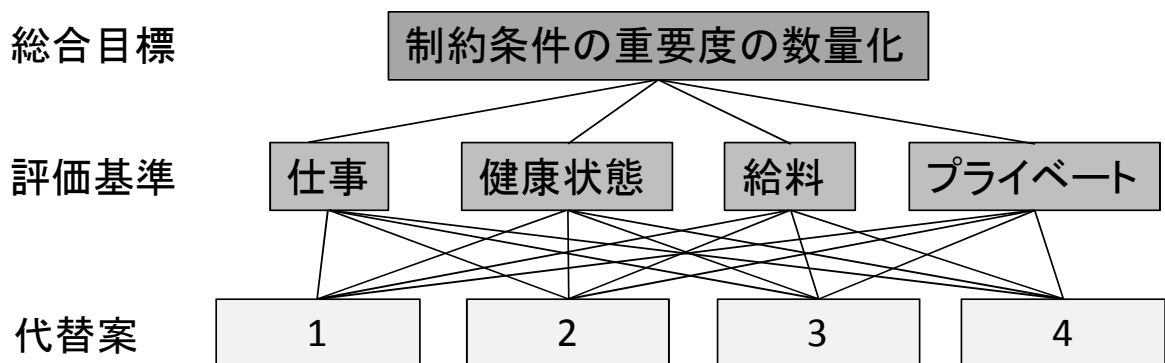


図 4.2: 階層図

代替案: 1. 研修医の休み希望日の考慮, 2. 当直回数の公平性, 3. 土日祝日の出勤回数の公平性, 4. 曜日による当直回数の偏りをなくす

Q1
当直表に関して左の項目と右の項目のどちらが重要かお答えください。

	①	★	②	★	③	★	④	★	⑤	★	⑥	★	⑦	★	⑧	★	⑨	
仕事に対する負担																		健康状態
仕事に対する負担																		給料
仕事に対する負担																		プライベート
健康状態																		給料
健康状態																		プライベート
給料																		プライベート

↑表の中をクリックしてください。

Q2
仕事に対する負担に関してどちらが考慮されるのが望ましいかお答えください。

	①	★	②	★	③	★	④	★	⑤	★	⑥	★	⑦	★	⑧	★	⑨	
休祝日の出勤回数の公平性																		休み希望日の考慮
休祝日の出勤回数の公平性																		当直回数の公平性
休祝日の出勤回数の公平性																		曜日による偏りをなくす
休み希望日の考慮																		当直回数の公平性
休み希望日の考慮																		曜日による偏りをなくす
当直回数の公平性																		曜日による偏りをなくす

Q3
健康状態に関してどちらが考慮されるのが望ましいかお答えください。

	①	★	②	★	③	★	④	★	⑤	★	⑥	★	⑦	★	⑧	★	⑨	
休祝日の出勤回数の公平性																		休み希望日の考慮
休祝日の出勤回数の公平性																		当直回数の公平性
休祝日の出勤回数の公平性																		曜日による偏りをなくす
休み希望日の考慮																		当直回数の公平性
休み希望日の考慮																		曜日による偏りをなくす
当直回数の公平性																		曜日による偏りをなくす

Q4
給料に関してどちらが考慮されるのが望ましいかお答えください。

	①	★	②	★	③	★	④	★	⑤	★	⑥	★	⑦	★	⑧	★	⑨	
休祝日の出勤回数の公平性																		休み希望日の考慮
休祝日の出勤回数の公平性																		当直回数の公平性
休祝日の出勤回数の公平性																		曜日による偏りをなくす
休み希望日の考慮																		当直回数の公平性
休み希望日の考慮																		曜日による偏りをなくす
当直回数の公平性																		曜日による偏りをなくす

Q5
プライベートに関してどちらが考慮されるのが望ましいかお答えください。

	①	★	②	★	③	★	④	★	⑤	★	⑥	★	⑦	★	⑧	★	⑨	
休祝日の出勤回数の公平性																		休み希望日の考慮
休祝日の出勤回数の公平性																		当直回数の公平性
休祝日の出勤回数の公平性																		曜日による偏りをなくす
休み希望日の考慮																		当直回数の公平性
休み希望日の考慮																		曜日による偏りをなくす
当直回数の公平性																		曜日による偏りをなくす

Q6
自由記入欄(何かご意見等ございましたら、ご記入ください。)

ご協力ありがとうございました

図 4.3: 2年目の研修医 27名に実施した一対比較アンケート

表中：1. 左の項目が圧倒的に重要，2. 左の項目が非常に重要，3. 左の項目がかなり重要，4. 左の項目が少し重要，5. 左右同じくらい重要，6. 右の項目が少し重要，7. 右の項目がかなり重要，8. 右の項目が非常に重要，9. 右の項目が圧倒的に重要，★中間

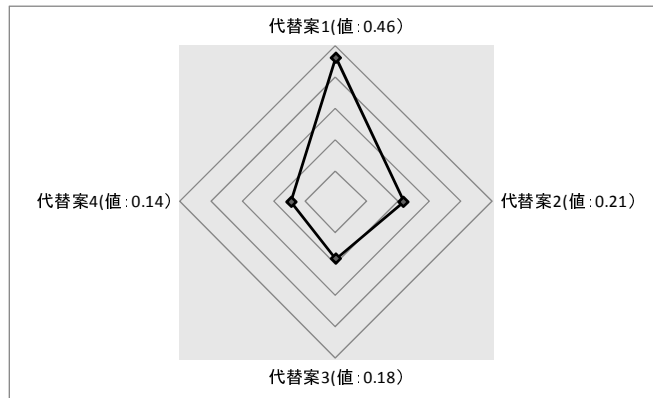


図 4.4: 制約条件に関する総合重要度のレーダーチャート

目盛：0.1 刻み

代替案：1. 研修医の休み希望日の考慮，2. 当直回数の公平性，3. 土日祝日の出勤回数の公平性，4. 曜日による当直回数の偏りをなくす

【制約条件 (4.4) と制約条件 (4.5) 土日祝日の出勤回数の公平性】：図 4.2 に 2015 年 2 月の土日祝日の当直回数に対する研修医数を示す。図 4.2 より，(b) と (c) は (a) よりも公平になった。また，(c) において，制約条件 (4.4) と制約条件 (4.5) は制約条件 (4.2) と制約条件 (4.3) に比べて，優先度が低いのに関わらず，(b) と同じくらいの公平さである。(a) では，土日祝日の当直回数が 0 回の研修医が 1 名，3 回の研修医が 6 名となり，研修医間で土日祝日の当直回数に差があった。

【制約条件 (4.6) 曜日による当直回数の偏りをなくす】：表 4.3 に (a)2015 年 2 月の手作業のスケジュールにおける研修医の各曜日の出勤回数を示す。表 4.4 に (b)2015 年 2 月の制約条件の重要度付けなしのスケジュールにおける研修医の各曜日の出勤回数を示す。表 4.5 に (c)2015 年 2 月の AHP より制約条件の重要度付けしたスケジュールにおける研修医の各曜日の出勤回数を示す。(a) は同じ曜日に当直を数回行うシフトであった。一方，(b) と (c) では，曜日の重複が一つもないスケジュールを作成することができた。

表 4.1: 2015 年 2 月の研修医の当直回数

表中：(a) 手作業により作成したスケジュール，(b) 制約条件の重要度付けなしのスケジュール，(c)AHP より制約条件の重要度付けしたスケジュール)

当直回数	(a)	(b)	(c)
4 回	6 名	10 名	9 名
5 回	18 名	9 名	12 名
6 回	9 名	14 名	12 名

表 4.2: 2015 年 2 月の研修医の土日祝日の当直回数

表中 : (a) 手作業のスケジュール, (b) 制約条件の重要度付けなしのスケジュール, (c) AHP より制約条件の重要度付けしたスケジュール

土日祝日の当直回数	(a)	(b)	(c)
0 回	1 名		
1 回	4 名	1 名	2 名
2 回	22 名	32 名	31 名
3 回	6 名		

4.7 愛知医科大学病院でのシステムの実用化まで

2015 年 11 月, 12 月, 2016 年 1 月, 2 月において, 当直シフトスケジュールを試作した. 2016 年 1 月, 2 月の当直シフトスケジュールにおいて, システムで作成したスケジュールを伊藤氏が手作業で調整した後, 実際に使用した.

4.7.1 愛知医科大学病院の当直シフトスケジュール作成

愛知医科大学病院の当直シフトスケジュールの作成は, スケジュール作成の前月の 5 日までに研修医の休みと出勤の希望を聞き, その希望を考慮し, その次週までにスケジュールを完成する. 2015 年 11 月の当直シフトスケジュールは, 研修医の休み希望日や出勤希望日, 会議や勉強会による休みなどを入力するデータの準備で 15 分と CPLEX による計算時間 5 秒で合計 15 分 5 秒で作成した. システムより作成した 2015 年 11 月の当直シフトスケジュールを付録の図 C.1 に示す. 伊藤氏は, 「このスケジュールは使用不可である.」と述べた. そのため, 図 C.1 は実用化まで至らなかった. その理由は, 土日祝日の当直に入る際に, 同じ曜日, 同じシフト, 同じ種類の当直に入るようなシフトが複数箇所あったからである. さらに, 2 週連続で土日祝日の当直の種類が同じになった. たとえば, No.5 の脳神経外科で研修を行っている e 医師は, 1 日の日曜日の宿直に救命救急センターの当直に入る. また, 15 日の日曜日の宿直に救命救急センターの当直に入っている.他にも No.8, No.9, No.10, No.14 などの複数の医師のシフトでこのようなことが起こっていた. そこで, この図 C.1 のフィードバックより, 定式化の調整を行った.

2015 年 12 月のシステムより得られた当直シフトスケジュールを付録の図 C.3 に示す. 2015 年 11 月 10 日に, 図 C.3 について, 伊藤氏から「今回できた当直表は, 全く今までに作った経験がない人ならば, 多分研修医にそのまま公表すると思う. 公表できるレベルの内容ではある. しかしながら, 現在までの経験を踏まえて今回の当直表を見ると, やはり研修医に公表できなかつた.」との内容のフィードバックのメールを得た. そのため, 12 月の当直シフトスケジュールは手作業で作成したものを使用することになった. 一部, 直前になり, 研修医の当直することができない×印の位置が変

表 4.3: (a) 手作業のスケジュールにおける 2015 年 2 月の研修医の各曜日の出勤回数
 行: 研修医名 (匿名), 列: 曜日 (学外, 救急科, 産婦人科, 麻酔科をローテーションする研修医を除く)

	月	火	水	木	金	土	日
a	0	2	1	0	0	2	1
b	1	0	0	2	1	1	1
c	1	1	0	0	1	2	1
d	1	0	1	2	0	1	1
e	0	1	1	0	1	1	1
f	2	1	0	0	0	1	1
g	1	0	2	0	0	1	1
h	0	0	1	1	2	1	1
i	1	0	1	1	2	1	1
j	0	1	0	1	1	1	2
k	0	0	1	1	1	1	2
l	0	2	1	0	1	2	0
m	1	0	1	0	0	1	2
n	1	1	0	0	1	1	1
o	0	2	0	1	0	1	1
p	1	0	2	0	0	1	1
q	0	1	1	2	0	1	0
r	1	0	1	0	0	1	1
s	1	0	1	0	1	1	1
t	1	0	0	1	1	1	1
u	1	0	0	0	1	1	1
v	0	0	1	1	0	0	2
w	0	1	1	1	0	1	1
x	1	0	1	1	1	1	0
y	0	0	1	2	0	1	1
z	0	1	0	2	0	1	1
a'	0	1	0	0	1	0	2
b'	0	1	2	0	0	1	1
c'	1	1	1	0	2	0	0
d'	3	0	1	0	0	1	0
e'	0	1	0	0	1	1	1
f'	0	1	1	0	1	1	0
g'	0	1	0	1	1	1	1

表 4.4: (b) 制約条件の重要度付けなしのスケジュールにおける 2015 年 2 月の研修医の各曜日の出勤回数

行: 研修医名 (匿名), 列: 曜日 (学外, 救急科, 産婦人科, 麻酔科をローテーションする研修医を除く)

	月	火	水	木	金	土	日
a	0	1	1	1	1	1	1
b	1	1	0	1	1	1	1
c	1	1	1	1	0	1	1
d	1	0	1	1	1	1	1
e	0	1	1	1	1	1	1
f	1	0	1	1	1	1	1
g	1	1	0	1	0	1	1
h	1	1	1	0	1	1	1
i	0	1	1	1	1	1	1
j	1	1	1	0	1	1	1
k	1	1	1	1	0	1	1
l	1	0	1	1	1	1	1
m	1	0	1	1	1	1	1
n	0	0	1	1	0	1	1
o	1	0	1	0	0	1	1
p	1	1	0	1	0	1	1
q	0	1	0	1	0	1	1
r	1	1	1	0	1	1	1
s	0	0	0	1	1	1	1
t	0	0	1	1	1	1	1
u	0	1	1	0	1	1	1
v	1	0	1	0	0	1	1
w	1	0	1	1	1	1	1
x	0	1	1	0	1	1	1
y	0	1	1	1	0	1	1
z	0	1	0	0	1	1	1
a'	1	1	0	0	1	1	1
b'	0	1	1	0	0	1	1
c'	1	0	0	1	0	1	1
d'	0	1	1	0	1	0	1
e'	1	1	1	0	0	1	1
f'	1	0	0	0	1	1	1
g'	1	0	1	1	0	1	1

表 4.5: (c)AHP より制約条件の重要度付けしたスケジュールにおける 2015 年 2 月の研修医の各曜日の出勤回数

行 : 研修医名 (匿名), 列 : 曜日 (学外, 救急科, 産婦人科, 麻酔科をローテーションする研修医を除く)

	月	火	水	木	金	土	日
a	1	1	1	0	1	1	1
b	0	1	1	1	1	1	1
c	1	0	1	1	1	1	1
d	1	1	1	0	1	1	1
e	1	1	0	1	1	1	1
f	1	1	0	0	1	1	1
g	1	1	1	0	1	1	1
h	1	1	0	1	1	1	1
i	0	1	1	1	1	1	1
j	1	0	1	1	0	1	1
k	1	1	1	1	0	1	1
l	1	1	1	0	1	1	1
m	1	1	1	1	0	1	1
n	1	0	1	0	0	1	1
o	0	0	1	1	0	1	1
p	0	1	1	0	1	1	1
q	1	1	0	1	0	1	1
r	1	0	1	0	0	1	1
s	1	0	0	1	0	1	1
t	0	1	0	1	1	1	1
u	0	0	1	1	0	1	1
v	0	1	1	1	0	1	1
w	1	0	1	1	0	1	1
x	0	0	1	1	1	0	1
y	0	0	1	1	1	1	1
z	0	1	0	1	1	1	1
a'	1	1	0	0	1	1	1
b'	0	0	1	1	0	1	1
c'	1	0	0	0	1	1	1
d'	1	1	1	0	1	1	1
e'	0	1	1	0	1	1	1
f'	1	0	1	0	1	1	1
g'	0	1	1	1	0	1	1

更した。2015年12月の手作業により作成した最終版の当直シフトスケジュールを付録の図 C.4 に示す。

2015年12月1日の愛知医科大学病院での打ち合わせでは、付録の図 C.3 の問題点を解決したスケジュールを作成した。付録の図 C.3 の問題点は、土日祝日に同じ種類の当直が割り当てられていることであった。そのため、新たに4.4章の制約条件(4.15)と制約条件(4.16)を加えた。上記の問題点を改善した2015年12月1日の打ち合わせで、2015年12月のシステムより得られた修正版のスケジュールを付録の図 C.5 に示す。図 C.5 については、今村教授は「この当直シフトスケジュールで問題はなさそう」と述べた。伊藤氏は「大体良い、土日祝日の当直についての微調整で実用化できそう。」と述べた。しかしながら、研修医への当直シフトスケジュールの公表日を過ぎていたため、図 C.5 は実用化まで至らなかった。

2016年1月の当直シフトスケジュールは数回試作し、その問題点を改善した。その最終的に作成したスケジュールを手修正することによって実用化した。問題点は、土日祝日の救命救急センターでの当直とICUでの当直の種類を考慮されていない点であった。打ち合わせより、4.4節の制約条件(4.3)と制約条件(4.4)と制約条件(4.5)を修正した。これらの制約条件によって、土日祝日のICU当直が割り当てられた場合、土日祝日の救命救急センターでの当直を2回割り当てられたのと同等とみなすことにした。さらに、土日祝日のICUの表記を日直と宿直の両方に記入するように変更した。

以上のやり取りを通し、最終的にシステムによって完成したスケジュールを付録の図 C.6 に示す。さらに、図 C.6 を手修正した結果を図 4.5 に示す。手修正には、1人がかりで2、3時間かかった。

システムを使用し、図 4.5 を作成してみて、伊藤氏は「研修医の当直シフトスケジュールリングシステムを使用することで、データ入力の手間を感じなくなった。さらに、スケジュール作成後の必要人数の確認の手間を省くことができた。スケジュールの質については、悪くはない。欲を言えば、改善してほしい点がある。」と述べた。その改善点の一つに、データ入力の際の制約条件の矛盾を確認する機能がほしいとのことだった。そのため、制約条件の引っかけのチェック機能をもつ「制約条件チェック」ボタンを新たに当直シフトスケジュールリングシステムに加えた(4.2章参照)。

2016年2月の当直シフトスケジュールにおいても、システムで作成したスケジュールを手修正することによって実用化した。最終的にシステムによって完成したスケジュールを付録の図 C.7 に示す。さらに、図 C.7 を手修正した結果を図 C.8 に示す。手修正には、1人がかりで2、3時間かかった。

システムを使用し、図 C.8 を作成してみて、「必要となる割当て人数を忘れていたり、間違えたりするような人間的な間違いがなくなった。」「研修医の休み希望日を全て満たすことができるようになり、手作業で作成していたスケジュールより良くなった。」「研修医の当直できない日のデータ入力、自動的に入るようになったので、入力の手間が減った。」「微調整でスケジュールを作成することができ、作業時間が減った。」と述べた。改善点として、当直シフトスケジュールのレイアウトの変更があげられた。

ば、白色は平日の宿直、黄色は日曜日または祝日の日直、赤色は日曜日または祝日の宿直、水色は土曜日の日直、青色は土曜日の宿直である。

4.8 まとめ

本研究では、当直シフトスケジューリング問題を 0-1 整数計画法問題として定式化し、PC 上に当直シフトスケジューリングシステムを実装した。さらに、目的関数の重みは AHP により数値化した。その結果、スケジュール作成の時間と手間を削減することができた。具体的には、手作業時、1 ヶ月のスケジュールを作成するために、24 時間を費やしていた。一方で、システムによるスケジュールの作成では、データの準備時間が 15 分、CPU 時間が 5 秒、手修正の時間が 2、3 時間となり、約 3 時間程でスケジュールを作成することが可能になった。さらに、今までに考慮されていなかった条件を新たに考慮し、スケジュールの質を向上することができた。具体的には、研修医の土日祝日の出勤回数を平等にし、曜日による当直日の偏りを失くした。加えて、条件の優先順位を AHP を使用することで明確にした。現在、当直シフトスケジューリングを調整と修正を行っている。

第5章

結論と今後の課題

5.1 本研究の結論

本論文では、医療機関におけるスケジューリング問題を解決するために SSSMC、手術室のスケジューリングシステム、研修医の当直シフトスケジューリングシステムの3つのシステムを実装した。さらに、手術室のスケジューリングシステムにデータを入力するための手術情報入力補助システムを実装した。これらのシステムによって、スケジュール担当者の手間と時間を削減することができた。さらに、それらのスケジューリングに対する問題点を解決し、スケジュールの質を向上することができた。以下で各章ごとに、本研究の成果を今一度まとめる。

第2章では、人間ドックにおけるスケジューリング問題について取り上げた。この問題を解決するために、SSSMCを試作した。SSSMCでは、人間ドックの検診の受診者の順序を決定する問題と各受診者の検査順序を決定する問題の2つの問題を解決した。受診者の順序の問題では、検診時間が短い受診者から検診を行うようSPT規則を適用した。検査の順序の問題では、0-1整数計画問題として定式化した。その結果、SPT規則による受診者の順序は受診者の検査間の待ち時間を削減することが明らかになった。さらに、実問題へSPT規則を適用するために、SPT規則を近似的に実現する予約方法の提案を行った。この提案により、受診者順序の一部にSPT規則を適応することで、検査間の待ち時間が削減できることが可能となった。

第3章では、愛知医科大学病院の手術部の手術室のスケジューリング問題について取り上げた。この問題を解決するために、手術室のスケジューリングシステムを試作した。手術室のスケジューリングシステムは、2つの機能を持つ。1つ目は、手術の所要時間を過去の手術データから推定する機能である。2つ目は、手術室のスケジューリングを自動的に作成する機能である。手術の所要時間の推定は、重回帰分析を用いて行った。手術室のスケジューリング問題は混合整数計画問題として定式化した。その結果、現在の愛知医科大学病院の3つの問題点を解決することができた。1つ目は、手術室の終了時刻を超えた手術の延長時間を削減した。2つ目は、予定した手術の開始時刻の変更を削減した。3つ目は、予定した手術室の変更を削減した。それに加え、このシステムへ手術データを迅速に入力するために、手術情報補助システムを試作した。その結果、手術室のスケジューリングシステムへの手術のデータの入力が速くなった。

第4章では、愛知医科大学病院の卒後臨床研修センターの研修医の当直シフトスケジューリング問題について取り上げた。この問題を解決するために、研修医の当直シフトスケジューリングシステム

を試作した。当直シフトスケジューリング問題は 0-1 整数計画問題として定式化した。さらに、その目的関数は制約条件の違反量とし、その各項の重みを AHP を用いて決定した。その結果、制約条件の優先度を明確にすることができた。スケジュールの質においては、手作業により作成したスケジュールでは考慮されていない新しい条件を考慮することができた。たとえば、土日祝日の出勤回数の公平性を数値的に考慮したこと、曜日による偏りをなくしたことである。研修医の当直シフトスケジューリングシステムにおいては、2016 年 1 月から、システムで作成したスケジュールを伊藤氏が手作業で調整した後、実際に使用した。

5.2 本研究の課題と展望

本研究では、医療機関におけるスケジューリング問題に対し、オペレーションズ・リサーチの手法を用いることで問題解決を行ってきた。以下で各章ごとに、課題と展望についてまとめる。

第 2 章で紹介した人間ドックにおけるスケジューリング問題では、事前に人間ドックのスケジュールを作成することを想定した。そのため、人間ドックの受診場所を誤ったり、検査の終了時刻が遅れるなどの受診者が予定通りに検査を受けることができないような状況に対する対処については、ここでは考慮していない。今後、このような状況を改善するために、各検査の優先度を考慮することや変更できない検査の前後に十分な時間を設けたり、検査により前後の並び方について、工夫していきたい。第 3 章で紹介した手術室のスケジューリング問題では、手術室の終了時刻からの延長時間や手術の開始時刻の遅延を削減することができた。今後は、施設や人的資源の利用による支出と患者数の増加による利益を考慮するような金銭的な評価も取り入れたい。第 4 章で紹介した研修医のスケジューリング問題では、研修医の休み希望日を最も考慮したスケジュールを作成することができた。今後は、病院の特有の式を一般化し、汎用性を高めていきたい。

以下で各スケジューリング問題に対する課題と展望についてまとめる。SSSMC については実用化に至らなかったが、今後実用化に向けて、他病院の人間ドックの実例を調査していき、SSSMC の改良を行っていきたい。手術室のスケジューリングシステムについては、試作を繰り返した。手術の予約データをこのシステムに導入する過程での手間と時間が課題となった。現在、愛知医科大学病院では医療情報管理システムによって、手術のデータや予約の管理を行っている。実用化にあたって、医療情報管理システムと手術室のスケジューリングシステムの連携を行う必要がある。そのシステムを連携するためには、手術情報入力補助システムのような患者の情報を匿名化するシステムが必要である。今後、これらの 3 つのシステムの連携について、愛知医科大学病院の藤原先生と看護師長と打ち合わせを重ね、実用化させたい。当直シフトスケジューリングシステムについては、2016 年 1 月から、システムで作成したスケジュールを伊藤氏が手作業で調整した後、実際に使用した。今後は、更に打ち合わせを重ね、継続的に使用できるようシステムの微調整を行っていきたい。

参考文献

- [1] 一般社団法人 全国公私病院連盟, 一般社団法人 日本病院会 : 「平成 24 年 病院運営実態分析調査の概要」, (2011)
- [2] 高橋 宏, 堀田 哲夫, 伊藤 博徳 : “国立大学病院手術部における麻酔担当医の現況” , 日本手術医学会誌, Vol. 35, No. 4, pp. 330–334 (2014)
- [3] 土井 俊祐, 井上 崇, 井出 博生, 中村 利仁, 藤田 伸輔, 高林 克日己 : “患者受療圏モデルによる医療需要超過地域のマッピング-地域医療政策のための患者数の将来推計と需給評価” , 医療情報学, Vol. 33, No. 6 pp.301–310 (2013)
- [4] United Nations Department of Economic and Social Affairs/Population Division 87 World Population Prospects: 「The 2008 Revision」, (2008)
- [5] 日本政策銀行, 「病院業界事情ハンドブック 2010 年版」, (2010)
- [6] 株式会社シード・プランニング, 「2013 年版 電子カルテの市場動向調査－電子カルテ/PACS 市場規模予測とシェア動向-」, (2013)
- [7] Brunner, Jens O. and Edenharter, Gunther M. : “Long term staff scheduling of physicians with different experience levels in hospitals using column generation” , *Health Care Management Science*, Vol. 14, No. 2, pp. 189–202 (2011)
- [8] Berg, Bjorn P. and Denton, Brian T., Erdogan, Ayca S., Rohleder, T., Huschka, T.: “Optimal booking and scheduling in outpatient procedure centers” , *Computers & Operations Research*, Vol. 50, pp. 24–37 (2014)
- [9] 池上 敦子 : “ナース・スケジューリング-調査・モデル化・アルゴリズム” , 統計数理, Vol. 53, No. 2, pp. 231–259 (2005)
- [10] 鶴飼 孝盛, 吉瀬 章子 : “病床自動割当システムの作成” , オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, Vol. 58, No. 11, pp. 634–640 (2013)
- [11] 藤原祥裕 : “データから読み解く医療サービス-急性期医療を中心に-” , 経営の科学 オペレーションズ・リサーチ, Vol. 58, No. 11, pp. 651–656 (2013)
- [12] 平野英保, 松田達, 濱田ひとみ, 橋本修二, 中村吉孝 : “時刻ダイヤによる短時間に多項目を高信頼性で行う 4W1H の健診システムの立ち上げ” , バイオメディカル・ファジィ・システム学会大会講演論文集, 10A-C-2, Vol. 1, No. 1, pp. 169-173 (2010)
- [13] Lamiri, M. and Xie, X., Dolgui, A., Frederic G. : “A stochastic model for operating room planning with elective and emergency demand for surgery” , *European Journal of Operational Research*, Vol. 185, pp. 1026–1037 (2008)

- [14] Denton, B.J. and Viapiano, A.V.:“Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty” , *Health Care Management Science*, Vol. 10, No. 1, pp. 13–24 (2007)
- [15] Yu Wang and Jiafu Tang, Richard Y.K.Fung:“A column-generation-based heuristic algorithm for solving operating theater planning problem under stochastic demand and surgery cancellation risk” , *International Journal of Production Economics*, Vol. 158, pp. 28–36 (2014)
- [16] Blake, John T. and Donald, J.:“Mount Sinai Hospital Uses Integer Programming to Allocate Operating Room Time” , *Interfaces*, Vol. 32, No. 2, pp. 63–73 (2002)
- [17] Topaloglu, S. and Ozkarahan, I. : “A constraint programming-based solution approach for medical resident scheduling problems” , *Computers & Operations Research*, Vol. 38, No. 1, pp.246–255 (2011)
- [18] Smalley, Hannah K. and Keskinocak, P. : “Automated medical resident rotation and shift scheduling to ensure quality resident education and patient care” , *Health Care Management Science*, Vol. 30,pp.1–23 (2014)
- [19] 厚生労働省 HP : <http://www.mhlw.go.jp/>
- [20] 日本人間ドック学会 HP : <http://www.ningen-dock.jp/>
- [21] 河北俊子：“健診機関の立場から”，日本総合健診医学会，第40回大会，Vol. 39, No. 3, pp. 435-438 (2012)
- [22] 江崎高史，本田純久，橋本英樹，Doosub Jahng：“企業外労働衛生機関による健康診断受診時における受診者満足度とその影響因子”，産衛誌，Vol. 41, pp. 159-165 (1999)
- [23] 伊藤真理，鈴木敦夫，河原芳昭：“人間ドックにおける最適スケジュール作成支援システムの試作”，日本オペレーションズ・リサーチ学会2013年秋季研究発表会予稿集，2-E-9 (2013)
- [24] 今泉隆徳，伊東美奈，鈴木敦夫，藤原祥裕，小林千尋：“手術室のスケジュールリング支援システムの試作”，日本オペレーションズ・リサーチ学会2013年春季研究発表会予稿集，1-D-6, pp. 70-71 (2013)
- [25] 鈴木敦夫，今泉隆徳，藤原祥裕：“医療機関のスケジュールリング問題の事例紹介—手術室のスケジュールリング”，スケジュールリング・シンポジウム2012予稿集，OS5-3 (2012)
- [26] 鈴木敦夫，藤原祥裕：“手術室のスケジュールリング支援システムについて”，オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学，Vol. 58, No. 9, pp. 515-523 (2013)
- [27] 伊藤真理，鈴木敦夫，河原芳昭：“人間ドックの最適スケジュール作成におけるSPT規則の有効性について”，スケジュールリング・シンポジウム2013講演論文集，G3-3, pp. 59-64 (2013)
- [28] 伊藤真理：“人間ドックにおける最適スケジュール作成支援システムの試作”，南山大学大学院数理情報研究科2012年度修士論文，(2012)
- [29] 伊藤真理，鈴木敦夫，河原芳昭：“人間ドックにおける最適スケジュール作成について—SSSMCシステムの構築—”，日本経営工学会論文誌，Vol. 66, No. 1, pp.50–58 (2015)
- [30] 日本オペレーションズ・リサーチ学会編：「OR用語辞典」，日科技連出版社 (2000)
- [31] Pinedo, Michael L. : *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*, Springer-Verlag New York (2009)

- [32] 大橋和正, 人見勝人: “単一多能生産システムの工程計画とスケジューリングに関する研究”, 日本経営工学会誌, Vol. 33, No. 2, pp. 106-114 (1982)
- [33] 愛知医科大学病院 HP : www.aichi-med-u.ac.jp/hospital/
- [34] Ito, M. and Suzuki, A., Fujiwara, Y. : “An Implementation of Operating Rooms Scheduling System in Aichi Medical University Hospital” , *INFORMS Annual Meeting 2014*, p.339 (2014)
- [35] 根本良子: “心臓手術を受ける患者の術前, 術後のストレス・コーピング: 患者が遭遇している体験過程による分析”, 看護研究, Vol.28, No.1, pp.61-81(1995)
- [36] 岡谷恵子: “手術を受ける患者の術前術後のコーピングの分析”, 看護研究, Vol. 21, No.3, pp. 261-268 (1988)
- [37] 田中亨治, 佐藤純三, 郭錦秋, 高田彰, 吉原 博幸: “疾患別収支分析を基にした大学病院経営改善への取り組み”, 医療情報学, Vol. 23, No.6, pp. 451-460 (2003)
- [38] Jackson, R.: “The business of surgery,” *Health Management Technology*, Vol. 23, No. 7, pp. 20-22 (2002)
- [39] Macario, A. and Vitez, T.S., Dunn, B., McDonald,T.: “Where are the costs in perioperative care?: Analysis of hospital costs and charges for inpatient surgical care,” *Anesthesiology*, Vol. 83, No. 6, pp. 1138-1144 (1995)
- [40] Ito, M. and Suzuki, A., Fujiwara, Y. : “Operating rooms scheduling system -A case study in Aichi Medical University Hospital” , *International Symposium on Scheduling 2015*, pp. 114-120 (2015)
- [41] 伊藤真理, 鈴木敦夫: “愛知医科大学病院における手術室のスケジューリング支援システムについて”, 日本手術医学会誌, Vol. 36, No.4, pp. 324-326 (2015)
- [42] Ito, M. and Suzuki, A., Fujiwara, Y. : “A prototype operating room scheduling system -A case study at Aichi Medical University Hospital” , *Accepted to Journal of Japan Industrial Management Association*, Vol. 67, No. 2E (2016)
- [43] 伊藤真理, 鈴木敦夫, 藤原祥裕: “手術室スケジューリングのための手術所要時間の推定について”, 2014年春季大会日本経営工学会予稿集, D5, pp.74-75 (2014)
- [44] 伊藤真理, 鈴木敦夫, 藤原祥裕: “手術所要時間の予測値を用いた手術室のスケジューリング”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2014年秋季研究発表会予稿集, pp.62-63 (2014)
- [45] 日本医師会勤務医委員会, 「医師の不足、偏在の是正を図るための方策－勤務医の労働環境（過重労働）を改善するために－」, (2008)
- [46] 前野哲博., 中村明澄, 前野貴美: “新臨床研修制度における研修医のストレス”, 医学教育, Vol. 39, No.3, pp.175-182 (2008)
- [47] Aach, R.D. and Cooney, T.G., Girard, D.E.,Grob, D., McCue, J.D., Page, M. I., Reinhard, J.D., Reuben, D.B., Smith, J.W. . : “Stress and Impairment during Residency Training: Strategies for Reduction, Identification, and Management” , *Annals of internal medicine* ,Vol. 109, No. 2, pp. 154-161 (1988)
- [48] Ito, M. and Suzuki, A., Onishi, A., Imamura, A., Ito,T.: “Implementing Night-Shift Scheduling System for Residents in Aichi Medical University Hospital” , *INFORMS Annual Meeting*

2015, p.105 (2015)

- [49] Onishi, A. and Suzuki, A., Ito, M., Imamura, A., Ito, T.: “Scheduling System for the Resident Training Program in Aichi Medical University Hospital” , *INFORMS Annual Meeting 2015*, p.105 (2015)

付録 A

人間ドックにおけるスケジューリング問題

A.1 目的関数におけるパラメータ値の比較

ここでは目的関数におけるパラメータ値を変更させ、スケジュールを作成した結果を図 A.1～図 A.5 に示す。



図 A.1: $\alpha=1$, $\beta=0.04$, $\gamma=0.04$, 最長待ち時間 95 分, 総待ち時間 345 分



図 A.2: $\alpha=2$, $\beta=0.04$, $\gamma=0.04$, 最長待ち時間 85 分, 総待ち時間 150 分

		時刻(分)																																										
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195				
受診者の 番号	1	3	1	9	13	2	2	12	12	7	8	8		19	19	19		6	6	6	6	6																						
	2		3	9	1	1	2	2	13	7	7	12	12	12	19	19	19	19																										
	3			2	3	8	12	1	1	7	9	13	13				19	19	19	19					6	6	6	6	6	6	6													
	4				2	9	3	8	7	7	1	1	6	6	6	6	6	12	12																									
	5					3	8	9	6	6	6	6	2	2	1	1	13	13	13	12	12	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
	6						1	3	2	2	9	13	8	8	12	12	7	7	7			19	19	19	19	19	19																	
	7							9	8	3	2	2	1	1	7	7	13	13	13	13	13	12	12	12	12																			
	8								3	1	2	2	9	7	13	8	12				19	19	19	19																				
	9									12	3	9	2	2	8	7	7				1	1	1																					
	10											12	9	3	3	2	2	1	1	8	8	7	7	7	19	19																		

図 A.3: $\alpha=2$, $\beta=0.04$, $\gamma=0.1$, 最長待ち時間 50 分, 総待ち時間 175 分

		時刻(分)																																											
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195					
受診者の 番号	1	3	1	9	13	2	2	12	12	7	8	8		19	19	19		6	6	6	6	6																							
	2		3	9	1	1	2	2	13	7	7	12	12	12	19	19	19	19																											
	3			2	3	8	12	1	1	7	9	13	13				19	19	19	19					6	6	6	6	6	6	6														
	4				2	9	3	8	7	7	1	1	6	6	6	6	6	12	12																										
	5					3	8	9	6	6	6	6	2	2	1	1	13	13	13	12	12	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
	6						1	3	2	2	9	13	8	8	12	12	7	7	7			19	19	19	19	19	19																		
	7							9	8	3	2	2	1	1	7	7	13	13	13	13	13	12	12	12	12																				
	8								3	1	2	2	9	7	13	8	12				19	19	19	19																					
	9									12	3	9	2	2	8	7	7				1	1	1																						
	10											12	9	3	3	2	2	1	1	8	8	7	7	7	19	19																			

図 A.4: $\alpha=2.5$, $\beta=0.04$, $\gamma=0.15$, 最長待ち時間 80 分, 総待ち時間 180 分

		時刻(分)																																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39					
受診者の 番号	1	3	1	9	13	2	2	12	12	7	8	8		19	19	19		6	6	6	6	6																							
	2		3	9	1	1	2	2	13	7	7	12	12	12	19	19	19	19																											
	3			2	3	8	12	1	1	7	9	13	13				19	19	19	19					6	6	6	6	6	6	6														
	4				2	9	3	8	7	7	1	1	6	6	6	6	6	12	12																										
	5					3	8	9	6	6	6	6	2	2	1	1	13	13	13	12	12	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
	6						1	3	2	2	9	13	8	8	12	12	7	7	7			19	19	19	19	19	19																		
	7							9	8	3	2	2	1	1	7	7	13	13	13	13	13	12	12	12	12																				
	8								3	1	2	2	9	7	13	8	12				19	19	19	19																					
	9									12	3	9	2	2	8	7	7				1	1	1																						
	10											12	9	3	3	2	2	1	1	8	8	7	7	7	19	19																			

図 A.5: $\alpha=1.9$, $\beta=0.04$, $\gamma=0.1$, 最長待ち時間 80 分, 総待ち時間 175 分

A.2 $\alpha=1.9$, $\beta=0.04$, $\gamma=0.1$ のパラメータ値を用いて, 他データでスケジュールを作成した結果

ここでは, 目的関数のパラメータを $\alpha=1.9$, $\beta=0.04$, $\gamma=0.1$ とし, 図 A.5 と異なるデータで人間ドックにおけるスケジュールを作成した結果を図 A.6 と図 A.7 に示す.

		時刻(分)																															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29			
受診者の番号	1	3	9	2	2	6	6	7	7	1	1	1	8	8	8	8	12	12	12	12	19	19	19	19									
	2		1	3	8	9	12	13	2	2	2	7				19	19	19	19														
	3			1	3	8	9	2	2	7	12	12	19	19	19																		
	4				2	3	9	12	8	8	7	7	1	1	6	6	6	6	6	6	6												
	5					1	3	8	9	12	13	2	2	7	7	7	19	19	19														
	6						8	3	12	2	9	13	7	7	7		1	1	1	19	19	19	19			6	6	6	6				
	7							1	3	9	8	2	2	12	12	13	13	7	7	7			6	6	6	19	19	19	19	19	19		
	8								1	3	2	8	12	9	7	7	7																
	9									9	3	6	6	6	1	12	2	2	7	7	8	8	8	19	19								
	10										6	3	9	2	2	1	8	7	7	7	12	12	12					19	19	19	19		

図 A.6: $\alpha=1.9$, $\beta=0.04$, $\gamma=0.1$ のデータ 1 でスケジュールを作成した結果
 最長待ち時間 10 分, 総待ち時間 35 分

		時刻(分)																																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28					
受診者の番号	1	1	3	8	9	13	2	2	7	12	19	19	19																					
	2		8	9	2	2	13	7	1	1	3	3	19	19	19	19	12	12	12	12														
	3			2	3	8	9	12	7	7	19	19	1	1	1																			
	4				1	1	3	9	2	2	12	12	13	13	8	8	7	7	7	7			19	19										
	5					3	1	9	2	2	13	7	8	12	19	19	19	19																
	6						8	1	12	3	9	2	2	7	13	13	19	19																
	7							3	8	9	2	2	12	7	13	1	1					19	19	19	19									
	8								3	8	1	1	9	2	2	7	13	13	19	19	19					12	12	12						
	9									9	2	8	3	3	12	12	7	7	7	13	13	1	1	1	19	19	19	19						
	10										8	9	2	2	3	13	13	7	1	1	12	12	12	19	19	19	19	19	19					

図 A.7: $\alpha=1.9$, $\beta=0.04$, $\gamma=0.1$ のデータ 2 でスケジュールを作成した結果
 最長待ち時間 10 分, 総待ち時間 20 分

A.3 待ち時間を削減するための対応策の検討

ここでは、まずボトルネックによって長い待ち時間が発生したスケジュールを図 A.8 で紹介する。さらに、4つの待ち時間を削減するための対応策によるスケジュールの結果を示す。受診者の同時に検診を開始する人数を5人へと変更したスケジュールを図 A.9 に示す。問診の配置人数を2人へと変更したスケジュールを図 A.10 に示す。問診の配置人数を3人へと変更したスケジュールを図 A.11 に示す。問診の配置人数を4人へと変更したスケジュールを図 A.12 に示す。30分休憩を導入したスケジュールを図 A.13 に示す。受診者の順序変更したスケジュールを図 A.14 に示す。図 A.8～図 A.14 のデータは2013年4月10日のある病院の予約データを用いた。

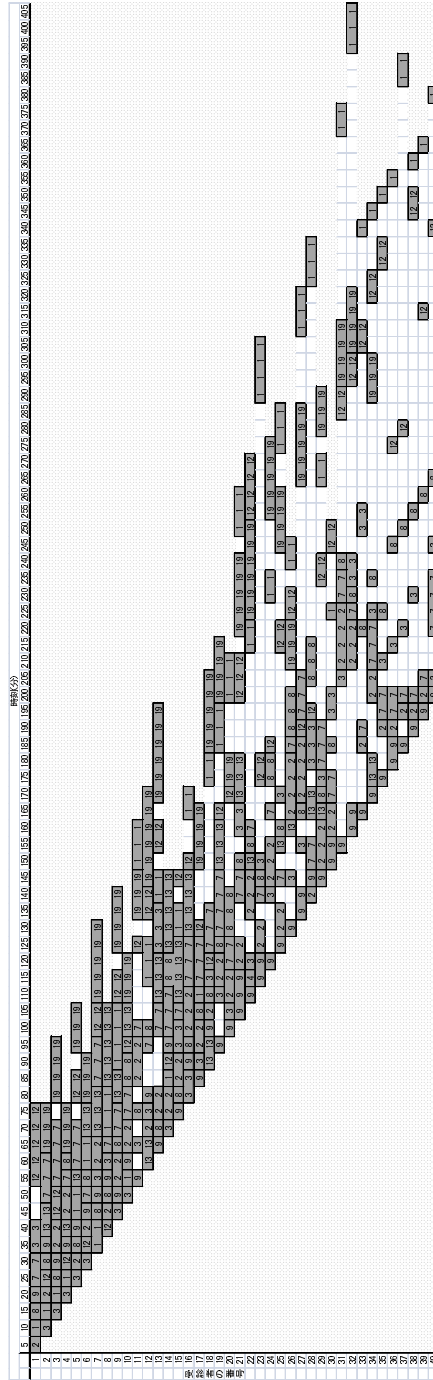


図 A.8: ボトルネックによって長い待ち時間が発生したスケジュール
 チャート内；検査番号，最長待ち時間 105 分，総待ち時間 2,110 分

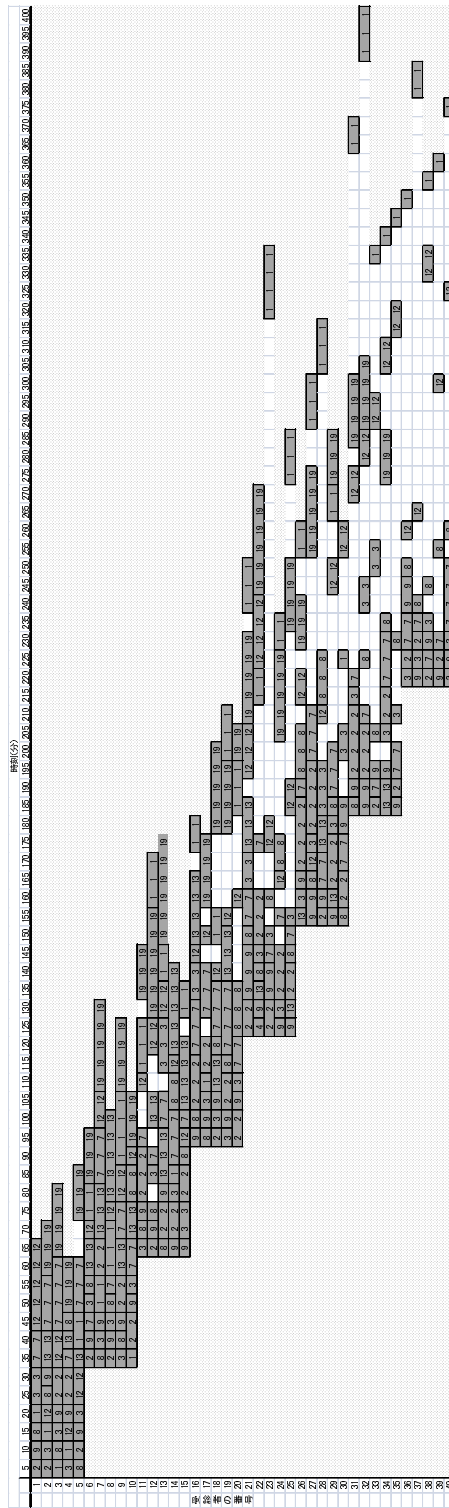


図 A.9: 受診者の同時に検診を開始する人数を 5 人に変更したスケジュールチャート内；検査番号，最長待ち時間 150 分，総待ち時間 1,835 分

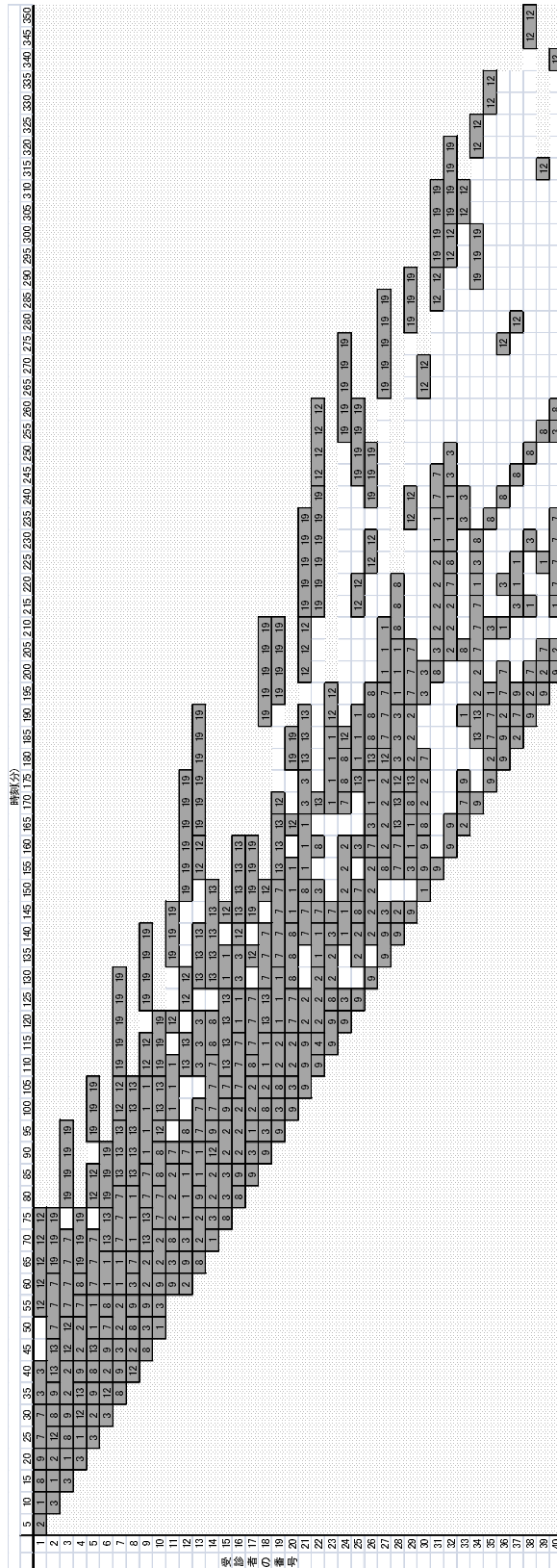


図 A.10: 問診の配置人数を2人へと変更したスケジュール

チャート内：検査番号，最長待ち時間 90 分，総待ち時間 1,535 分

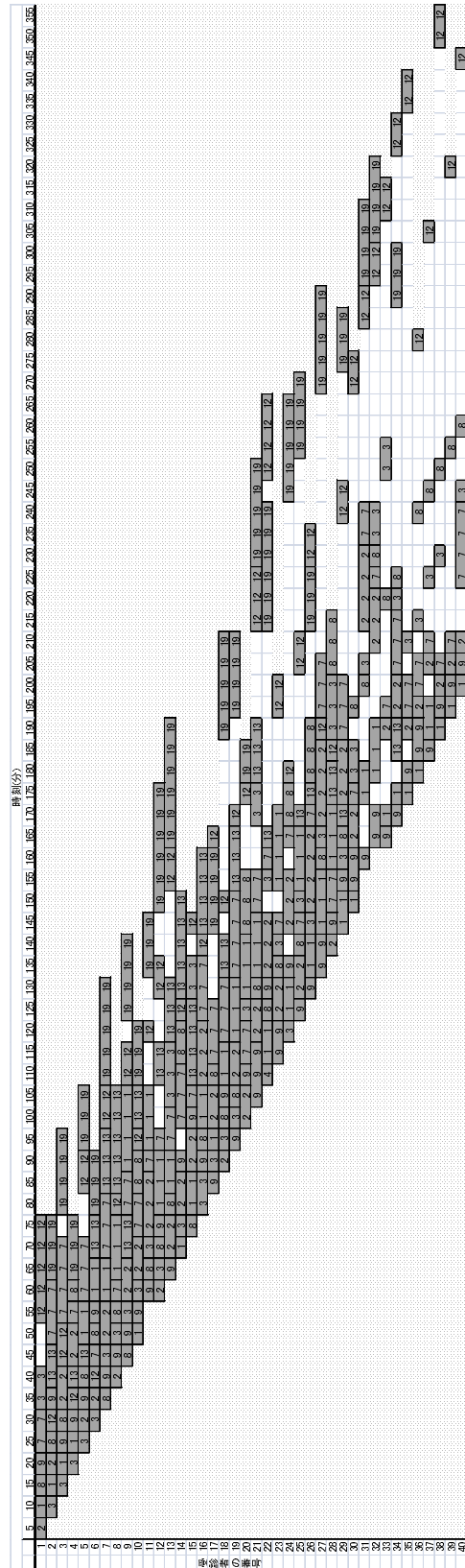


図 A.11: 問診の配置人数を 3 人へと変更したスケジュール

チャート内：検査番号，最長待ち時間 90 分，総待ち時間 1,605 分

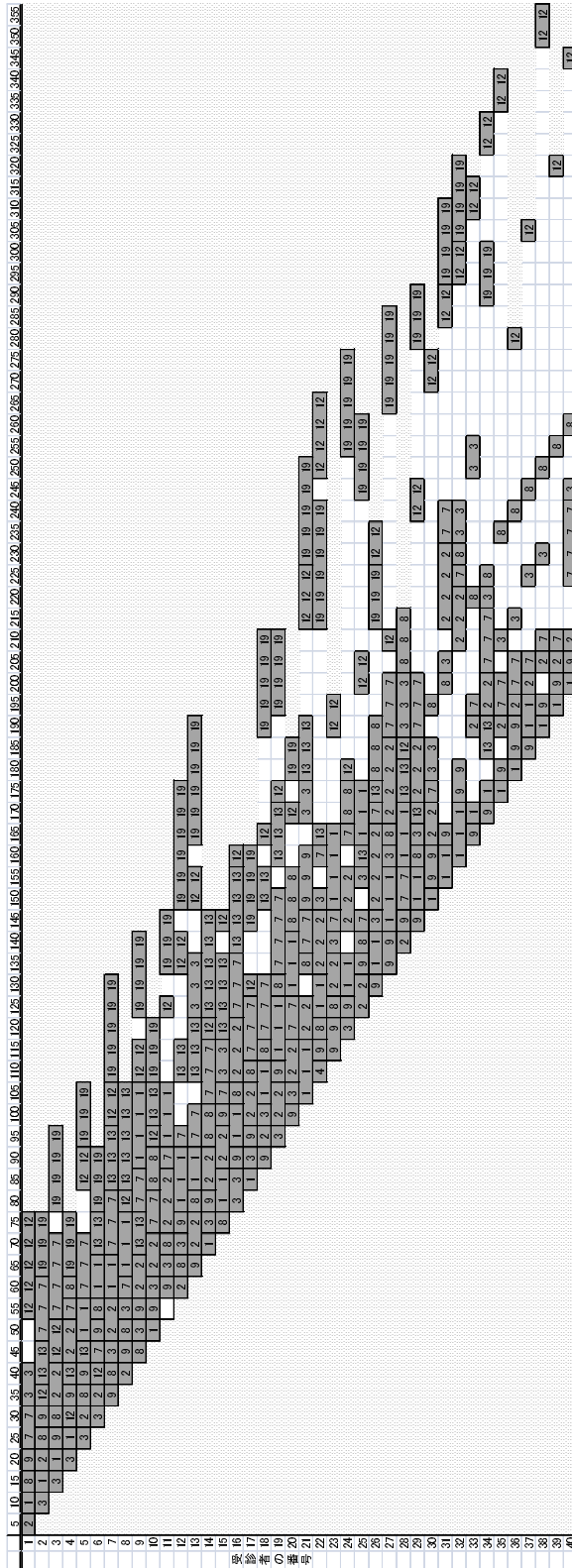


図 A.12: 問診の配置人数を4人へと変更したスケジュール

チャート内：検査番号，最長待ち時間 95 分，総待ち時間 1,605 分

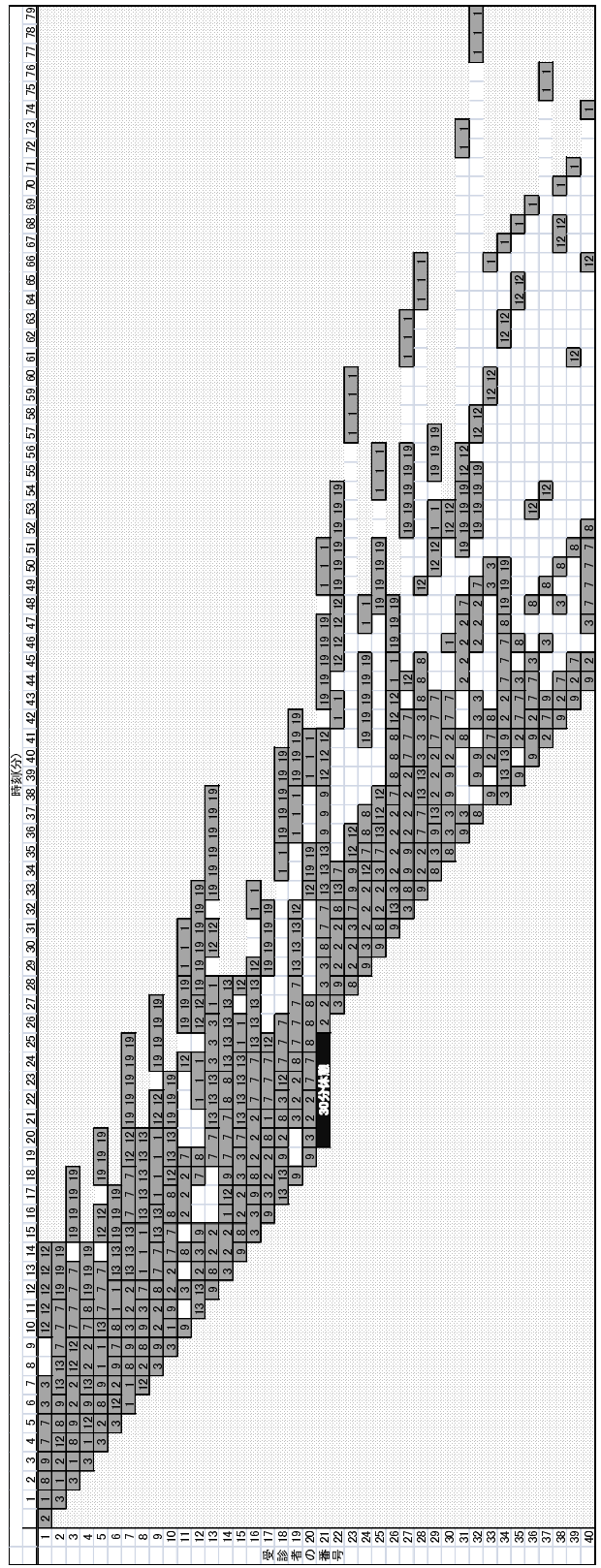


図 A.13: 30分休憩を導入したスケジュール
 チャート内；検査番号，最長待ち時間 140 分，総待ち時間 1,770 分

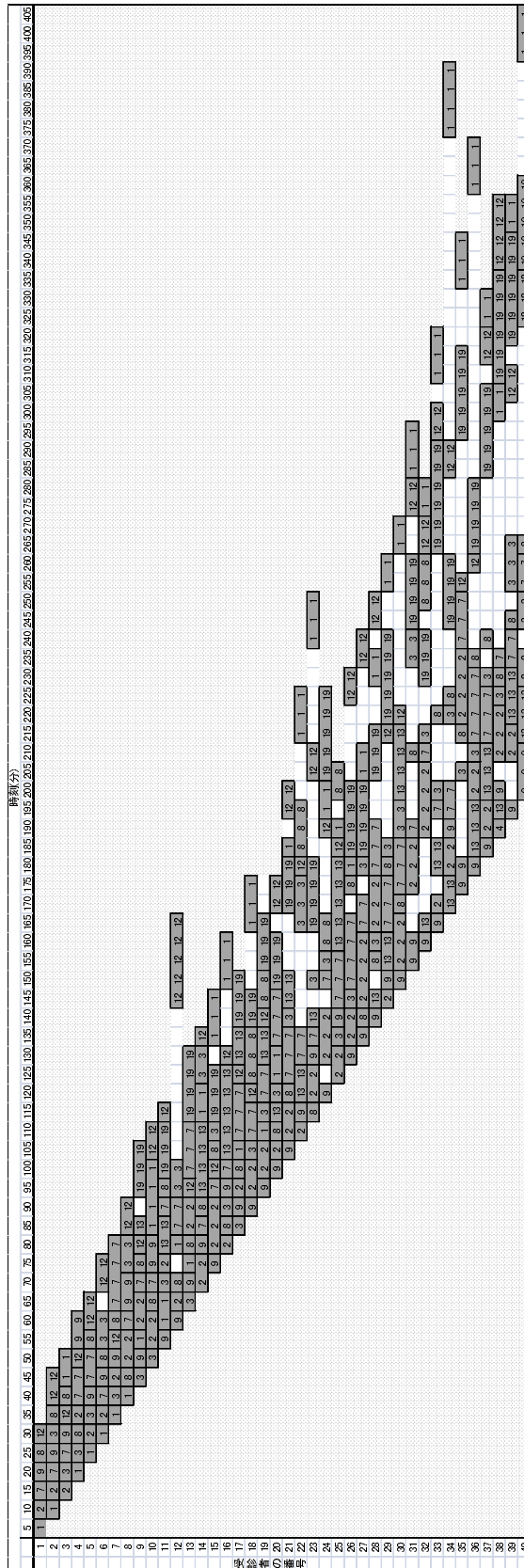


図 A.14: 受診者の順序変更したスケジュール
 チャート内 ; 検査番号, 最長待ち時間 130 分, 総待ち時間 1,130 分

付録 B

手術室のスケジューリング問題

B.1 目的関数のパラメータ値の比較

ここでは目的関数におけるパラメータ値を変更させ、手術室のスケジューリングを作成した結果を図 B.1～図 B.4 に示す。

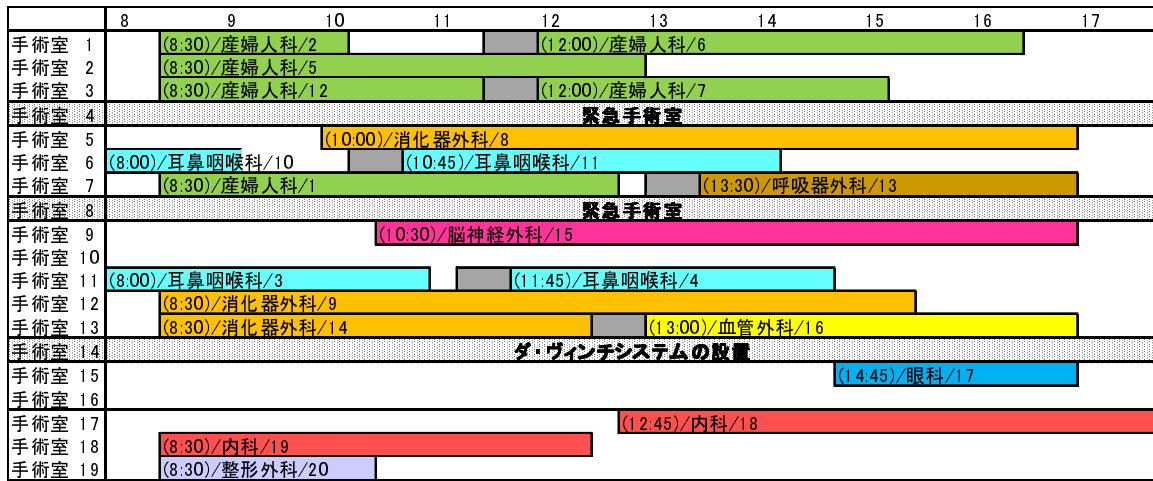


図 B.1: $\alpha=2, \beta=2, \gamma=1$

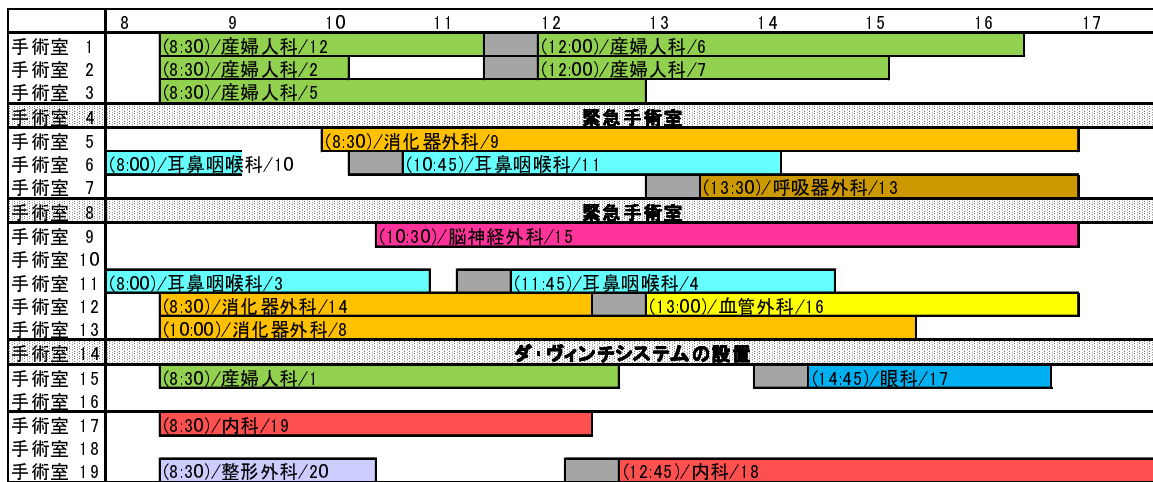


図 B.2: $\alpha=2, \beta=2.5, \gamma=1$

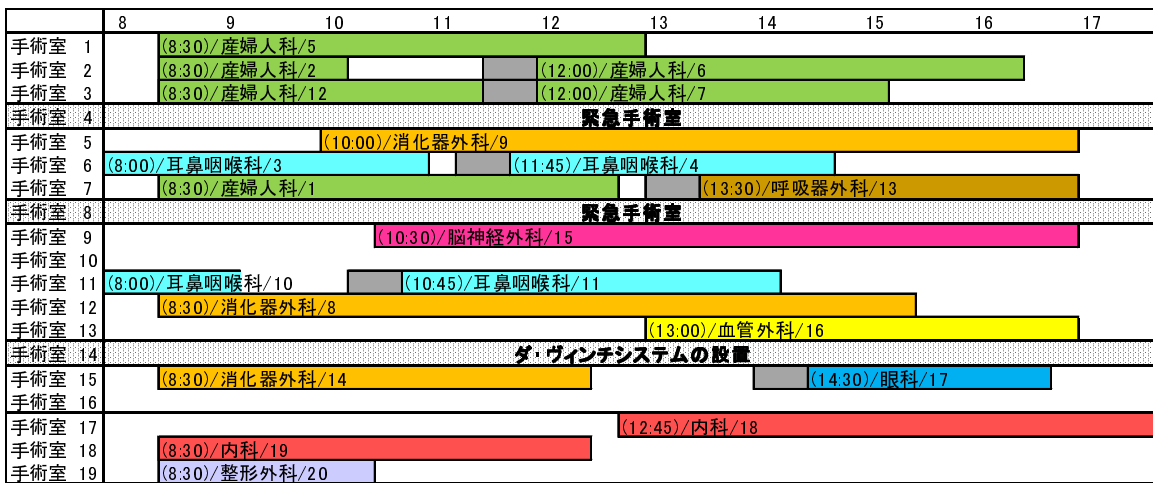


図 B.3: $\alpha=2.5, \beta=2, \gamma=1$

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
手術室 1		(8:30)/産婦人科/5								
手術室 2		(8:30)/産婦人科/2			(12:00)/産婦人科/7					
手術室 3		(8:30)/産婦人科/12				(12:00)/産婦人科/6				
手術室 4	緊急手術室									
手術室 5		(10:00)/消化器外科/9								
手術室 6	(8:00)/耳鼻咽喉科/10			(10:45)/耳鼻咽喉科/11						
手術室 7		(8:30)/消化器外科/14					(13:30)/呼吸器外科/13			
手術室 8	緊急手術室									
手術室 9		(10:30)/脳神経外科/15								
手術室 10										
手術室 11	(8:00)/耳鼻咽喉科/3				(11:45)/耳鼻咽喉科/4					
手術室 12		(8:30)/消化器外科/8								
手術室 13								(13:00)/血管外科/16		
手術室 14	ダ・ヴィンチシステムの設置									
手術室 15		(8:30)/産婦人科/1							(14:45)/眼科/17	
手術室 16										
手術室 17		(8:30)/整形外科/20								
手術室 18		(8:30)/内科/19								
手術室 19								(12:45)/内科/18		

図 B.4: $\alpha=2.5$, $\beta=3$, $\gamma=1$

B.2 2014年6月3日から2014年6月6日の手術室のスケジュール

ここでは2014年6月3日から2014年6月6日のシステムにより作成したスケジュール結果を図B.5～図B.10に示す。

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
OR 1		(8:30)/消化器外科/55									
OR 2		(8:30)/形成外科/53									
OR 3		(8:30)/消化器外科/52									
OR 4	緊急手術室										
OR 5		(8:30)/消化器外科/57									
OR 6		(8:30)/消化器外科/54									
OR 7		(9:00)/形成外科/47			(11:30)/泌尿器科/49						
OR 8	緊急手術室										
OR 9		(8:30)/整形外科/59		(10:30)/整形外科/51							
OR 10		(8:30)/泌尿器科/44	(10:00)/整形外科/58								
OR 11		(8:30)/整形外科/45	(10:00)/整形外科/42								
OR 12		(8:30)/整形外科/56									
OR 13		(8:30)/消化器外科/41									
OR 14		(8:30)/泌尿器科/16			(11:30)/泌尿器科/50						
OR 15		(8:30)/乳内分科/46									
OR 16		(8:30)/乳内分科/48									
OR 17		(8:30)/眼科/	(9:30)/眼科/	(10:30)/眼科/30	(12:00)/眼科/25		(13:45)/眼科/39		(15:30)/消化器外科/38		
OR 18		(8:30)/眼科/	(9:30)/眼科/29	(10:45)/眼科/34	(12:15)/眼科/31		(14:00)/眼科/28				
OR 19		(8:30)/眼科/	(9:30)/眼科/	(10:30)/眼科/26	(12:00)/眼科/27		(13:45)/眼科/33		(15:45)/消化器外科/32		

図B.5: 2014年6月3日(火)のスケジュール

B.3 2015年3月2日から2015年3月6日の手術室のスケジュール

ここでは2015年3月2日から2015年3月6日のシステムにより作成したスケジュール結果を図B.6～図B.10に示す。

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
手術室 1		(8:30)/産婦人科/2	(10:00)/産婦人科/6							
手術室 2		(9:00)/産婦人科/1			(12:00)/産婦人科/7					
手術室 3		(8:30)/産婦人科/3	(10:00)/産婦人科/5							
手術室 4		(8:30)/産婦人科/4								
手術室 5		(8:30)/消化器外科/	(10:00)/消化器外科/8		(11:30)/消化器外科/9					
手術室 6		(8:00)/耳鼻咽喉科/9	(9:00)/耳鼻咽喉科/14							
手術室 7								(15:15)/呼吸器外科/15		
手術室 8	緊急手術室									
手術室 9					(11:30)/脳神経外科/17					
手術室 10								(15:00)/脳神経外科/18		
手術室 11					(11:30)/耳鼻咽喉科/11					
手術室 12					(10:00)/血管外科/16					
手術室 13										
手術室 14	ダ・ヴィンチシステムの設置									
手術室 15										
手術室 16										
手術室 17										
手術室 18		(8:30)/整形外科/20								
手術室 19		(8:30)/脳神経外科/19								

図 B.6: 2015年3月2日(月)のスケジュール

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
手術室 1	(8:15)/形成外科/29	(10:00)/形成外科/30				(12:30)/形成外科/33			(15:15)/形成外科/32	
手術室 2	(8:15)/形成外科/31			(10:45)/形成外科/28						
手術室 3										
手術室 4	緊急手術室									
手術室 5	(8:30)/消化器外科/24	(10:30)/消化器外科/21								
手術室 6		(9:30)/乳内分科/23								
手術室 7			(10:30)/消化器外科/25							
手術室 8		(8:45)/消化器外科/26								
手術室 9	(8:30)/整形外科/34	(10:30)/整形外科/35					(14:00)/整形外科/26			
手術室 10		(9:45)/整形外科/37			(12:15)/整形外科/38					
手術室 11		(9:30)/整形外科/39								
手術室 12		(9:30)/泌尿器科/40								
手術室 13	(8:30)/乳内分科/	(9:30)/乳内分科/22								
手術室 14	(8:30)/泌尿器科/41									
手術室 15	(8:30)/眼科/	(9:30)/眼科/	(10:30)/眼科/47	(12:00)/眼科/	(13:00)/眼科/	(14:00)/眼科/	(15:00)/眼科/	(16:00)/眼科/52		
手術室 16	(8:30)/眼科/	(9:30)/眼科/	(10:30)/眼科/55	(12:00)/眼科/	(13:00)/眼科/57					
手術室 17	(8:30)/眼科/44		(10:30)/腎リウマチ/43							
手術室 18										
手術室 19		(8:30)/消化器外科/42								

図 B.7: 2015年3月3日(火)のスケジュール

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
手術室 1						(13:00)/腎リウマチ/78							
手術室 2		(8:30)/形成外科/73			(11:00)/形成外科/74								
手術室 3		(8:30)/形成外科/72											
手術室 4			(10:15)/糖尿病内科/77										
手術室 5			(10:15)/消化器外科/81										
手術室 6		(8:00)/耳鼻咽喉科/63											
手術室 7			(9:30)/呼吸器外科/79										
手術室 8			(9:30)/脳神経外科/75										
手術室 9		(8:30)/脳神経外科/76											
手術室 10		(8:00)/耳鼻咽喉科/58		(10:00)/耳鼻咽喉科/59									
手術室 11		(8:00)/耳鼻咽喉科/60											
手術室 12													
手術室 13													
手術室 14	ダ・ヴィンチシステムの設置												
手術室 15													
手術室 16													
手術室 17		(9:30)/眼科/67			(11:30)/眼科/70								
手術室 18		(8:30)/眼科/65					(13:30)/眼科/68		(16:00)/形成外科/71				
手術室 19		(8:30)/消化器外科/80		(10:30)/眼科/66		(12:30)/眼科/69							

図 B.8: 2015 年 3 月 4 日 (水) のスケジュール

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
手術室 1		(8:30)/整形外科/105					(13:45)/整形外科/88				
手術室 2		(8:30)/整形外科/106						(16:00)/産婦人科/108			
手術室 3		(8:30)/整形外科/90						(15:15)/産婦人科/107			
手術室 4	緊急手術室										
手術室 5		(8:30)/消化器外科/91			(12:00)/消化器外科/104						
手術室 6		(8:30)/泌尿器科/93									
手術室 7			(10:00)/呼吸器外科/102								
手術室 8	緊急手術室										
手術室 9							(13:30)/産婦人科/94				
手術室 10		(8:30)/整形外科/101									
手術室 11							(13:30)/整形外科/109				
手術室 12						(12:45)/歯科/92					
手術室 13											
手術室 14		(8:30)/泌尿器科/103									
手術室 15											
手術室 16											
手術室 17		(8:30)/眼科/(9:30)/眼科/(10:30)/眼科/(11:30)/整形外科/89									
手術室 18		(8:30)/眼科/(9:30)/眼科/(10:30)/眼科/96									
手術室 19		(8:30)/眼科/(9:30)/眼科/(10:30)/眼科/100									

図 B.9: 2015 年 3 月 5 日 (木) のスケジュール

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
手術室 1		(8:30)/産婦人科/131		(11:15)/産婦人科/111							
手術室 2		(8:30)/産婦人科/124	(10:15)/産婦人科/127								
手術室 3		(8:30)/産婦人科/133		(10:45)/産婦人科/114							
手術室 4	緊急手術室										
手術室 5		(8:30)/産婦人科/125				(13:45)/消化器外科/121					
手術室 6		(8:30)/乳内分外科/120		(11:30)/乳内分外科/113							
手術室 7		(8:30)/泌尿器科/119									
手術室 8		(8:30)/乳内分外科/132				(12:30)/脳神経外科/75					
手術室 9					(12:15)/脳神経外科/130						
手術室 10											
手術室 11											
手術室 12		(8:30)/整形外科/128									
手術室 13		(8:30)/産婦人科/112			(12:45)/産婦人科/117						
手術室 14		(9:00)/泌尿器科/118									
手術室 15		(8:30)/眼科/123	(10:00)/眼科/122		(12:00)/眼科/126						
手術室 16							(14:00)/精神科/129				
手術室 17											
手術室 18		(8:30)/血管外科/116									
手術室 19		(8:30)/血管外科/115									

図 B.10: 2015 年 3 月 6 日 (金) のスケジュール

B.4 2015年8月24日から2015年8月28日の手術室のスケジュール

ここでは2015年8月24日から2015年8月28日のシステムにより作成したスケジュール結果を図B.11～図B.15に示す。

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
手術室 1		(8:30)/産婦人科/14					(13:45)/産婦人科/13						
手術室 2		(8:30)/産婦人科/1					(14:15)/産婦人科/2						
手術室 3		(8:30)/産婦人科/4											
手術室 4													
手術室 5		(8:30)/消化器外科/5											
手術室 6		(8:00)/耳鼻咽喉科/9											
手術室 7													
手術室 8													
手術室 9		(8:30)/脳神経外科/12											
手術室 10					(11:30)/脳神経外科/11			(16:10)/眼科/20					
手術室 11	(8:00)/耳鼻咽喉科/8						(13:00)/耳鼻咽喉科/17	(15:15)/耳鼻咽喉科/15					
手術室 12							(13:00)/消化器外科/10						
手術室 13		(8:30)/血管外科/19				(12:15)/眼科/21		(15:00)/血管外科/18					
手術室 14													
手術室 15		(8:30)/眼科/22			(12:30)/産婦人科/3		(14:30)/消化器外科/6						
手術室 16			(10:45)/耳鼻咽喉科/16		(13:00)/脳神経外科/7					(17:15)/眼科/23			
手術室 17		(8:30)/産婦人科/24											
手術室 18			(10:30)/腎リウマチ/27				(14:15)/産婦人科/25						
手術室 19		(9:45)/産婦人科/26				(12:45)/整形外科/28		(15:15)/精神科/29					

図 B.11: 2015年8月24日(月)のスケジュール

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
手術室 1	(8:30)/形成外科/31						(13:30)/形成外科/33								
手術室 2					(12:30)/形成外科/34		(15:00)/形成外科/30								
手術室 3		(9:45)/消化器外科/35					(14:15)/消化器外科/32								
手術室 4															
手術室 5	(8:30)/腎移植外科/36														
手術室 6															
手術室 7	(8:30)/乳内分科/40						(14:45)/乳内分科/39								
手術室 8															
手術室 9	(8:30)/整形外科/43						(14:00)/整形外科/44								
手術室 10	(8:30)/整形外科/41						(14:45)/整形外科/38								
手術室 11	(8:30)/整形外科/42						(16:00)/腎移植外科/36								
手術室 12	(8:30)/整形外科/45					(13:15)/整形外科/46									
手術室 13															
手術室 14															
手術室 15	(9:15)/眼科/54	(12:15)/眼科/51	(13:30)/眼科/51	(14:45)/眼科/61		(17:00)/眼科/64		(19:30)/眼科/63	(20:45)/眼科/52						
手術室 16	(9:15)/眼科/60	(10:45)/眼科/51	(12:00)/眼科/51	(13:15)/眼科/47	(14:30)/眼科/51	(15:45)/眼科/51	(17:00)/眼科/67	(19:15)/眼科/56	(21:15)/眼科/59						
手術室 17	(8:30)/泌尿器科/66					(13:15)/眼科/47									
手術室 18	(8:30)/泌尿器科/68														
手術室 19	(8:30)/消化器外科/65				(12:00)/泌尿器科/67		(15:45)/眼科/49								

図 B.12: 2015年8月25日(火)のスケジュール

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
手術室 1					(12:00)/形成外科/69													
手術室 2		(9:30)/血管外科/87		(12:15)/形成外科/71	(13:45)/消化器外科/72	(13:45)/消化器外科/71												
手術室 3		(8:30)/消化器外科/78	(10:30)/消化器外科/73															
手術室 4		(8:30)/消化器外科/74																
手術室 5	(8:00)/耳鼻咽喉科/76																	
手術室 6																		
手術室 7		(9:30)/産婦人科/83		(11:45)/呼吸器外科/79														
手術室 8	(8:30)/脳神経外科/81		(11:00)/脳神経外科/82															
手術室 9																		
手術室 10	(8:00)/耳鼻咽喉科/75																	
手術室 11																		
手術室 12							(13:45)/耳鼻咽喉科/77											
手術室 13																		
手術室 14																		
手術室 15	(8:30)/眼科/92	(10:00)/眼科/93	(12:00)/眼科/89	(14:45)/眼科/90	(16:15)/眼科/88													
手術室 16		(10:15)/脳神経外科/80																
手術室 17	(8:30)/形成外科/96		(11:45)/整形外科/95															
手術室 18																		
手術室 19	(9:45)/形成外科/97		(10:30)/腎リウマチ/94															

図 B.13: 2015年8月26日(水)のスケジュール

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
手術室 1		(8:30)/歯科/100		(10:45)/歯科/99		(13:00)/眼科	(14:00)/歯科/98			
手術室 2		(8:30)/歯科/101		(12:00)/歯科/102						
手術室 3		(8:30)/乳内分科/103						(14:45)/眼科/126		
手術室 4	緊急手術室									
手術室 5		(8:30)/消化器外科/104								
手術室 6			(10:30)/消化器外科/105				(15:00)/眼科/120			
手術室 7				(11:15)/呼吸器外科/107		(13:30)/眼科/119	(14:45)/呼吸器外科/108			
手術室 8	緊急手術室									
手術室 9		(8:30)/整形外科/116				(13:00)/整形外科/109				
手術室 10		(8:30)/整形外科/114			(12:30)/整形外科/113				(16:30)/眼科/118	
手術室 11		(8:30)/整形外科/115		(11:30)/整形外科/111		(14:00)/整形外科/110				
手術室 12		(8:30)/整形外科/106		(12:00)/眼科/124	(13:00)/整形外科/112					
手術室 13				(12:15)/眼科/124	(13:45)/眼科/119					
手術室 14	ダ・ヴィンチシステムの設置									
手術室 15		(9:00)/眼科/118			(12:30)/眼科/129		(14:30)/眼科/119			
手術室 16		(9:00)/眼科/127		(11:15)/眼科/128			(14:45)/眼科/125			
手術室 17		(9:00)/整形外科/133		(11:45)/整形外科/130		(14:00)/泌尿器科/131				
手術室 18		(9:00)/整形外科/134			(12:30)/整形外科/132					
手術室 19										

図 B.14: 2015 年 8 月 27 日 (木) のスケジュール

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
手術室 1		(8:30)/産婦人科/135			(12:00)/産婦人科/136						
手術室 2		(8:30)/産婦人科/137			(12:30)/産婦人科/139						
手術室 3		(8:30)/産婦人科/140			(12:00)/産婦人科/138				(16:30)/産婦人科/141		
手術室 4	緊急手術室										
手術室 5		(8:30)/整形外科/142						(15:00)/産婦人科/143			
手術室 6		(8:30)/消化器外科/144					(13:45)/消化器外科/145				
手術室 7		(8:30)/乳内分科/146				(13:00)/乳内分科/147					
手術室 8						(13:30)/脳神経外科/148					
手術室 9		(8:00)/脳神経外科/149									
手術室 10						(13:30)/整形外科/150					
手術室 11							(14:00)/乳内分科/151				
手術室 12		(8:30)/血管外科/152		(11:30)/血管外科/153							
手術室 13		(8:45)/循環器科/154									
手術室 14		(9:00)/泌尿器科/155									
手術室 15		(8:30)/眼科/156			(12:00)/眼科/157						
手術室 16											
手術室 17		(8:30)/眼科/158				(13:30)/眼科/159					
手術室 18											
手術室 19			(10:00)/精神科/160				(14:00)/整形外科/161				

図 B.15: 2015 年 8 月 28 日 (金) のスケジュール

付録 C

研修医の当直シフトスケジューリング 問題

ここでは、2015年11月、12月、2016年1月、2月のシステムより得られた当直シフトスケジュール、手作業により作成した当直シフトスケジュール、システムより得られた当直シフトスケジュールを手作業で調整したスケジュールを示す。

C.1 2015年11月分の当直シフトスケジュール

2015年11月分のシステムより得られた当直シフトスケジュールを図 C.1 に示す。2015年11月分の手作業により作成した最終版の当直シフトスケジュールを図 C.2 に示す。

年次	No.	氏名	診療科	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	
2	1	a	精神	救	x	x	x	救	E	x	x	x	x	x	x	救	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	2	b	精神	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	3	c	学外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	4	d	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	5	e	脳外	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	6	f	学外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	7	g	未定	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	8	h	脳外	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	9	i	PCC	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	10	j	PCC	救	x	x	x	x	E	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	11	k	児	x	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	12	l	循内	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	13	m	学外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	14	n	学外	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	15	o	地域	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	16	p	地域	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	17	q	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	18	r	地域	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	19	s	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	20	t	学外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	21	u	整形	救	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	22	v	学外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	23	w	眼	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	24	x	児	x	x	x	x	E	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	25	y	学外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	26	z	児	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	27	aa	精神	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	28	ab	周産期	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	29	ac	呼内	x	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	30	ad	糖内	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	31	ae	児	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	32	af	神内	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	33	ag	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	34	ah	循内	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	35	ai	循内	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	36	aj	消内	x	x	x	x	E	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	37	ak	消内	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	38	al	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	39	am	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	40	an	麻	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	41	ao	麻	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	42	ap	麻	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	43	aq	呼外	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	44	ar	心外	x	x	x	x	E	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	45	as	泌	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	46	at	消外	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	47	au	児	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	48	av	PCC	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	49	aw	PCC	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	50	ax	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	51	ay	麻	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	52	az	呼内	x	x	x	x	E	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	53	aaa	腎内	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	54	aab	呼内	救	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

図 C.2: 2015 年 11 月分の手作業により作成した最終版の当直シフトスケジュール

C.2 2015 年 12 月分の当直シフトスケジュール

2015 年 12 月分のシステムにより得られた当直シフトスケジュールを図 C.3 に示す。2015 年 12 月分の手作業により作成した最終版の当直シフトスケジュールを図 C.4 に示す。2015 年 12 月分のシステムにより得られた修正版の当直シフトスケジュールを図 C.5 に示す。

年次	No.	氏名	診療科	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
				火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	
2	1	a	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
2	2	b	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
2	3	c	学外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
2	4	d	児	x				救				救					救					救					救					
2	5	e	地域	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
2	6	f	学外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
2	7	g	未定	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
2	8	h	地域	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
2	9	i	神内	救											E						救						救					
2	10	j	整形	x	x			救				救										救					救				救	
2	11	k	脳外	x		E		x	x			救			x	x						救				救	x	x			救	
2	12	l	PCC	x	x	x		x	x			x			救	救				x	救			x	救	x				救	x	
2	13	放		x	x			x	救												救			x	x	救						
2	14	n	整形	x		救				救						救				x		救					救	x	x	x	x	
2	15	o	精神	x	救									x	x	x		救						E	救					救	x	
2	16	p	精神	x				救						救	x	x	x	x	x	x				E	救					救	x	
2	17	q	児	x		救	x	x	x			救					救					x	x			x	x			救	x	
2	18	r	精神	x	x	x	x	x	x						救					救					救			x			救	x
2	19	s	児	x				救						E						救				救						救	x	
2	20	t	学外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	21	u	地域	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	22	v	学外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	23	w	眼	x	x	E	x	x	x			救					救						x	x	救					救	x	
2	24	x	脳外			救						E				救								救				救			x	
2	25	y	学外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	26	z	PCC	x	x	x		救	x	x			x	救			E		x				救	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	27	aa	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	28	ab	周産期	救				救							救					救							E			救	x	
2	29	ac	感染	x	救		x						救				救						救					救				
1	30	ad	腎内	x	救				E											救								救				
1	31	ae	神内	x		救					救						E								救				救		救	
1	32	af	糖内	救	x	x	x	x	x	x	x			救							E				救	救				救	x	
1	33	ag	呼内	x				救							救					E	救				救							
1	34	ah	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	35	ai	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	36	aj	麻	x	x	x		E	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	37	ak	麻	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		救	x	x	x	x	x	救	x	
1	38	al	児	x	x				救						救						E					救				児	x	
1	39	am	麻	x	x	x			x	x	x	x	x	救			x	x	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	40	an	内内	x		救				救						救				x	x	x	x	x	救					E	x	
1	41	ao	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	42	ap	神内		E								救				救				救	x	x	x	救			救				
1	43	aq	血内					救					救	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x			E	
1	44	ar	消内	E					救				E	x	x	x	x	x	x	救			救	救						救	x	
1	45	as	糖内	x				救													救				救						救	x
1	46	at	循内	x	救					救				x	x	x	x	救			救	x	x	x	E	救		x	救		救	
1	47	au	乳外					救				E								救				救				救				
1	48	av	耳	救			x	x	x	x		救					E									救						
1	49	aw	泌	x	x		救			救			x	x	x	x	救						E	救			救				救	
1	50	ax	CPC外	x				救					救							救				救				E				
1	51	ay	児			救					救						救				救			救			児				E	
1	52	az	消内					救	x							救							救				E	x	x	x	x	
1	53	aaa	PCC	x	x	x			救				x			救	x			x	救			x	E	x	x	x	x	x	救	
1	54	aab	PCC			x				救			x			救	x			x		救		x		x	x	救			x	

図 C.3: 2015 年 12 月分のシステムにより得られた当直シフトスケジュール

年次	No.	氏名	診療科	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
				火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月
2	1	a	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	2	b	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	3	c	学外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	4	d	児	E						救				救							救				救						
2	5	e	地域	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	6	f	学外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	7	g	未定	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	8	h	地域	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	9	i	神内	E						救					救										救						
2	10	j	整形	x	x								救						救					救				E			
2	11	k	脳外	x		E							救						救					救							
2	12	l	PCC	x	x	E							救						救					救					救		
2	13	m	放	x			救						救								救				x	x		救			
2	14	n	整形	x									救								x				救			E	x	x	
2	15	o	精神	救	救					x	x	x	x	x	x	x	x	E					救	救				救		x	
2	16	p	精神	x	救					救				E						x	x			救	救					x	
2	17	q	児	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	18	r	精神	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	19	s	児	x		救						E								救				救						救	
2	20	t	学外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	21	u	地域	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	22	v	学外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	23	w	眼	x	x		救								x								x			救					
2	24	x	脳外	x		救									救										救						
2	25	y	学外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	26	z	PCC	救	x									x					救						E		x		救	x	
2	27	aa	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	28	ab	周産期	救										救	x	x									救				救		
2	29	ac	感染	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	30	ad	腎内	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	31	ae	神内	x										救							救					救				救	
1	32	af	糖内	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	33	ag	呼内	救											救					救	AE					E		救		x	
1	34	ah	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	35	ai	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	36	aj	麻	x	x	x	x	E		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	37	ak	麻	x	x	x	x	救	x	x	x	x	x	x	E		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	38	al	児	x	x							救							救						E		救			児	
1	39	am	麻	x	x	x	x			x	x	x	x	x									E	x	x	x	x	x	x	x	
1	40	an	内内				救							救							x	x	x	x	x	x	x	x	x	救	
1	41	ao	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	42	ap	神内												救					E	AE	x	x	x	救				救		
1	43	aq	血内			救				E				x	x	x	x	x	x	x	救				x	x	x		救		
1	44	ar	消内				救														AE	救				救				救	
1	45	as	糖内	x									救	x	x	x	x	x	x	x	救					救			救		
1	46	at	循内	x						救				x	x	x	x	x	x	救	AE	x	x	x	救	心			救	救	
1	47	au	乳外						E						救										救					救	
1	48	av	耳		救	x	x	x	x	救													救			E					
1	49	aw	泌	x	x				救	x	x	x	x	x	救					E					救			救		x	
1	50	ax	心外	x	救				救	x	x	x	E											x	x	x	救		救	救	
1	51	ay	児							救					救						E	救				児			救	救	
1	52	az	消内					救									救				救			救						E	
1	53	aaa	PCC	x	x	x	救							x						救	x					x	x	x	x	E	
1	54	aab	PCC	救	x								救	x									救	x			x	救		x	

図 C.4: 2015 年 12 月分の手作業により作成した最終版の当直シフトスケジュール

年次	No.	氏名	診療科	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28								
				火	水	木	金	土	土	日	日	月	火	水	木	金	土	土	日	日	月	火	水	木	金	土	土	日	日	月	火	水	木	金	土	土	日	日	月
2	1	a	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	2	b	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	3	c	学外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	4	d	児	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	5	e	地域	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	6	f	学外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	7	g	未定	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	8	h	地域	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	9	i	神内	救																																			
2	10	j	整形	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	11	k	脳外	救																																			
2	12	l	PCC	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	13	m	放	x	救																																		
2	14	n	整形	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	15	o	精神	x																																			
2	16	p	精神	x																																			
2	17	q	児	x	救																																		
2	18	r	精神	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	19	s	児	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	20	t	学外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	21	u	地域	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	22	v	学外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	23	w	眼	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	24	x	脳外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	25	y	学外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	26	z	PCC	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	27	aa	産婦	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2	28	ab	周産期	E																																			
2	29	ac	感染	x																																			
1	30	ad	腎内	救																																			
1	31	ae	神内	x																																			
1	32	af	糖内	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	33	ag	呼内	x																																			
1	34	ah	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	35	ai	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	36	aj	麻	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	37	ak	麻	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	38	al	児	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	39	am	麻	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	40	an	内内	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	41	ao	救	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	42	ap	神内	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	43	aq	血内	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	44	ar	消内	救																																			
1	45	as	糖内	x	救																																		
1	46	at	循内	x	E																																		
1	47	au	乳外	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	48	av	耳	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	49	aw	泌	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	50	ax	心外	x	救																																		
1	51	ay	児	救																																			
1	52	az	消内	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	53	aaa	PCC	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	54	aab	PCC	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

図 C.5: 2015 年 12 月分のシステムにより得られた修正版の当直シフトスケジュール

C.4 2015年2月分の当直シフトスケジュール

2016年2月分のシステムにより得られた当直シフトスケジュールを図C.7に示す。また、図C.7に手修正を加え、実用化したスケジュールを図C.8に示す。

年次	No.	氏名	診療科	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	13月	14月	15月	16月	17月	18月	19月	20月	21月	22月	23月	24月	25月	26月	27月	28月	29月				
2	1	a	児	救					E	E				X	X	X	X	X	救				X	X	X	X	救	X	X	X	X	X				
2	2	b	児	救					救						救					救				X	X	X	X	救								
2	3	c	選択	救						救					E									X	X	X	X	救								
2	4	d	精神	救																				X	X	X	X	E	X	X	X	X	X			
2	5	e	産婦	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
2	6	f	選択	E										救									救				救						救			
2	7	g	未定	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
2	8	h	産婦	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
2	9	i	選択	E										救									X	X	X	X							救			
2	10	j	整形	救					E						X	X	X	X	救					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
2	11	k	地域	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2	12	l	選択	X					救							救							救											救		
2	13	m	選択	救	X	X	X	X								救						E												救		
2	14	n	地域	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2	15	o	外科系	救					E	E					救								救													
2	16	p	外科系	救																			救													
2	17	q	精神	救																				X	X	X	X	救								
2	18	r	外科系								E					救				X	X	X	X	X	X	X	X	救						救		
2	19	s	精神																				E											救		
2	20	t	学外	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2	21	u	産婦	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2	22	v	選択	救	X	X	X	X																救										E		
2	23	w	PCC	救	X	X	X	X								救								X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2	24	x	地域	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2	25	y	PCC	X																				X	X	X	X	救	X	X	X	X	X	X		
2	26	z	児	救																			救													
2	27	aa	児	X																				救												
2	28	ab	選択																															救		
2	29	ac	選択																																救	
1	30	ad	未定	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
1	31	ae	腎内	救												E	E						救													
1	32	af	救	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
1	33	ag	内外					E																												
1	34	ah	内内	X					救																										救	
1	35	ai	麻	X	X	X	X	X																											救	
1	36	aj	循内	救	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
1	37	ak	救	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
1	38	al	麻	X	X	X	X	X																												救
1	39	am	外	救																																救
1	40	an	救	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
1	41	ao	外科系	救																																
1	42	ap	外科系	救																																
1	43	aq	PCC	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
1	44	ar	PCC	救	X	X	X	X																												
1	45	as	PCC	救	X	X	X	X																												
1	46	at	児	X																																
1	47	au	呼内																																	
1	48	av	神内																																	
1	49	aw	神内	救																																
1	50	ax	児	救																																
1	51	ay	消内	救																																
1	52	az	産内	救																																
1	53	aaa	産内	救																																
1	54	aab	麻	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

図 C.7: 2016年2月分のシステムにより得られた当直シフトスケジュール

