

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00435

研究課題名(和文)医療機関における患者オペレーションマネジメントのサービス科学的研究

研究課題名(英文)Service scientific study of operations management for patients in a hospital

研究代表者

高木 英明(Takagi, Hideaki)

筑波大学・システム情報系(名誉教授)・名誉教授

研究者番号：30260467

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：筑波大学附属病院における2年間にわたる新生児入院患者について、入院から退院までの病棟間移動に関するログデータの分析に基づき、マルコフ連鎖及び待ち行列ネットワークでモデル化して、各病棟における毎日の在院患者数の度数分布が予測できることを実証した。横浜南共済病院の協力を得て、泌尿器科及び外科の手術について、急性期病院における週間手術予定表作成の半自動化システムを試作した。その他に、航空機の座席やホテルの宿泊予約等に使用される期待収益を最大化するための多期間レベニューマネジメントの理論について研究した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

病院等の医療機関においては、高度な科学的基礎及び臨床研究が進んでいる一方で、患者を顧客として扱う観点からの業務サービスの研究は(特に我が国では)あまり行われていない。患者指向のオペレーションマネジメントに、これまでに研究開発されてきた経営工学の手法を応用し、最近の数理工学やデータサイエンスの技術を加えて、医療サービスの効率と質を向上させる方法を探求することで、高齢化が進む我が国の医療マネジメントの科学研究に貢献した。

研究成果の概要(英文)：We have constructed a combined Markov chain and queueing network model for the neonatal inpatient flow over several wards in the University of Tsukuba Hospital, and succeeded in predicting the long-term probabilistic distribution for the number of patients staying in each ward from the daily statistics of their admission rate and length of stay. Also, with help of Yokohama Minami-Kyosai Hospital, we have implemented a semi-automatic method for converting doctor's order of urology and general surgical operations with patient's information to succinct phrases to fit in a weekly scheduling table of the operating rooms. In addition, we have studied optimization theory for multi-period static revenue management models.

研究分野：サービス科学へ数理的アプローチ

キーワード：医療・福祉 サービス科学 数理工学 データサイエンス レベニューマネジメント 待ち行列理論

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

高齢化が急速に進む我が国においては、健康寿命の充実を期するため、国民の健康・医療・介護を支える地域連携医療ネットワークを、病院等の医療機関を中心に、効率的・効果的に運用する体制に整備することが喫緊の課題である。我が国の医療機関では、高度な科学的基礎及び臨床研究が日進月歩で進んでいる一方で、患者を顧客とみなす医療サービス組織としての認識は低く、サービス担当者としての医師・看護師等スタッフの業務管理や、サービスの受け手としての患者の取り扱い方に関する科学的研究は多くない。

人工知能とデータサイエンスの進歩により、医療分野においてもビッグデータの処理による診断システムや伝染病の流行予測が実現してきたが、ビッグデータ処理では、伝統的科学の基本に反して、諸現象における因果関係の究明を求めず、相関関係が方策決定の基礎とされる。この兆候は医療にとって受け入れ難いと考えられる識者は多く、研究代表者も後者の見方に立って、物理的・システムのモデル化(見える化)による医療サービス科学への貢献に努めてきた。理由が明らかではない結果の集積は、個別問題への対処や一時的業務改善になっても、系統的科学知識や技術の蓄積と発展にはつながらないというのが研究代表者の見解である。

2. 研究の目的

上記の現状に鑑み、本研究では、総合病院の協力を得て、医学的研究ではなく、病院を顧客である患者に対する医療サービス組織として捉え、「患者の取扱い」に焦点を当てて、数理工学とデータサイエンスの手法により、データ分析、数理工学的モデル化、及び最適システム設計を研究する。

今回の研究期間においては、特に、手術室スケジューリング業務の半自動化による運用効率化の試行、入院患者の病棟間移動のシステム工学的モデルの精密化に焦点を当て、数理工学(最適化) 統計科学(データ分析) システム科学(確率過程論) 情報科学(情報処理・見える化)等を協力病院の現実データに適用して、患者志向の病院経営を支援する成果を出し、医療サービス科学の実証を目指す。また、関連する最適化問題の理論研究を進める。

3. 研究の方法

本研究では、総合病院における課題を医療情報部や電算部から提供される実績データを分析することにより発見する。協力を得た病院は、筑波大学附属病院(2011~2014年度科研費研究期間)と国家公務員共済組合連合会横浜南共済病院(神奈川県横浜市)である。本研究は、患者に対する侵襲・介入を伴わない観察研究であるが、患者を特定した個人情報を取扱うことについて、筑波大学システム情報系研究倫理委員会及び横浜南共済病院臨床研究審査委員会から、それぞれ2017年3月21日及び4月26日付けで承認を受けている。

与えられた実績データを統計的に分析することにより、患者の取扱いを数量的に把握することができ、浮かび上がった問題点を病院の業務担当者と検討して、研究課題を設定する。課題は数理工学的モデルとして定式化し、オペレーションズ・リサーチ分野の待ち行列理論や最適化理論を応用して考察する。結果は現場の言葉を用いて数値的に示し、実用化を目指す。逆に、これらの現実的課題に対応するために、関連する理論モデルを新規に開拓・発展させることも研究に含める。研究成果は、国内外の学会・専門雑誌において発表する。

4 . 研究成果

2017～2019年度における研究成果を3分野に分けて述べる。

(1) 病院の入院患者の病棟間移動に対する Markov 連鎖及び待ち行列ネットワークモデル

研究代表者は、筑波大学附属病院医療情報部から 2010 年 4 月 1 日～2012 年 3 月 31 日までの 731 日間におけるすべての入院患者について（患者名は暗号化）入院から退院までの病棟間移動の月日記録の提供を受けた。そのうち、産科患者の病棟間移動に関する待ち行列ネットワークモデルの研究を 2014～2017 年度の科研費研究期間に行った。本研究期間では、病院が患者の入院時期をコントロールすることが難しく、病床利用率が高いために病床割り当てに苦労している新生児病棟に焦点を当て、新生児患者 1,132 名の病棟間移動について、Markov 連鎖及び待ち行列ネットワークモデルを構築した。

本研究では、まず、各患者の在院期間における病棟間移動経路を特定し、その経路上の各病棟に滞在する日数を算出した。一方で、各病棟における毎日の在院患者数の観測値から平均病床利用数を計算し、それらの出所が異なるデータが「Little の定理」と呼ばれる恒等式を満たすことを確認して、データの精度を検証した。病床利用率が高い新生児集中利用室と回復治療室における在院患者数を 2 次元 Markov 連鎖でモデル化し、ベビーコートを収容可能な限り設置することができる病棟を M/G/ 待ち行列でモデル化して、それらを結ぶ患者の移動を待ち行列ネットワークモデルで表した。数理モデルのパラメタは、観測値から決定して、数値計算により毎日の各病棟の病床利用数の度数分布を求め、各病棟及び全病棟における観測データと良く一致することが確かめられた。本研究で確立されたモデル化の方法は、病院の長期的な病床数計画に役立つと思われる。

(2) 急性期病院における週間手術予定表の自動作成の試み

横浜市南部の急性期病院である国家公務員共済組合連合会横浜南共済病院(病床数 565 床)では、毎週の手術室スケジュール情報を関係者が共有する簡便な手段として、各手術について、診療科の医師による手術申込のオーダーと患者情報を簡潔にまとめた手術予定表が使われているが、その作成は手作業で行われ、看護事務職員と手術室看護師の大きな負担になっている。電子カルテが導入された際に、週間手術予定表の廃止が検討されたが、その使い易さから継続が強く望まれ、現在に至っている。研究代表者は、同病院における手術室スケジューリングの効率化のために（本事例が他の病院でも役立つことを期待して）、この作業の自動化に取り組んだ。自動化の中心作業は、電子カルテに記載された診療報酬上の術式名や手術部位等で書かれた手術オーダー（以下で、申込術式と呼ぶ）から、手術予定表の枠内に記入する簡易術式名称（以下で、予定術式と呼ぶ）を生成することである。これは手術方式・人体部位と個人の属性に分野を限った日本語の自然言語処理と捉えることができるが、年間手術数が数千件程度の個々の病院には固有の用語も多いので、ビッグデータ処理のアルゴリズムをそのまま使うことは適当でなく、そのための研究開発投資もできない。そこで、研究代表者は、過去の手術における術式変換の事例から 1 文字ずつの度数分布を作り、Bayes の定理を応用して、与えられた申込術式から予定術式を予測する方法を Excel で実装した。ユニグラム処理なので、形態素解析は必要なく、医療用語の辞書等も使わない。

泌尿器科の手術の術式について、2016 年 4 月～2017 年 3 月の手術約 700 件の術式を学習データとし、2017 年 4～9 月の週間手術予定表で使われた約 450 件の術式をどの程度予測できたかをサービス学会第 6 回国内大会において報告した。また、その要点を第 40 回日本手術医学会総会で紹介した。また、上記と同じ期間における外科(呼吸器外科と乳腺外科を含む)手術では、特に、1 つの手術が複数の術式から構成される場合（例えば「ラパロ下低位前方切除+人工肛門

造設」)に、術式単位で分解→変換→合成し、それに患者情報等を付加して手術予定表のエントリーを作るという一連の実用的操作を Excel 関数で行う手順を作り上げた。この成果は、サービス学会第 7 回国内大会及び第 41 回日本手術医学会総会で発表した。本方法の特徴は、過去の術式変換事例が蓄積するにつれ精度が向上することであるが、今後は、日進月歩の先進的手術技術に伴い、ロボット手術等の新しい術式名が現れることへの対処が必要である。

(3) バイアップがある静的レベニューマネジメントの最適化

飛行機の座席予約やホテルの部屋の予約では、搭乗日や宿泊日が近づくにつれて料金を上げる一方で、各期に予約数の上限を設けて、低料金の早期予約を制御することにより、収益最大化を図るレベニューマネジメント(RM)が行われている。各期において将来の需要予測に基づき予約数の最適上限値を決める最適化理論は 1980 年代から研究され、大手航空会社やホテルが使っている RM ソフトウェアの基礎となっている。しかし、現実によくある「各期の予約数の上限を超えるため予約できなかった客が、後に、より高い料金での予約を求める」というバイアップ(buy-up)行動を取り入れた数理モデルは、各期の需要が過去の需要に依存するので、Bellman の最適性定理に基づく後向き逐次反復計算の定式化ができないため、現在でも、不正確な近似解法しか存在しない。間違った各期の予約数上限値を用いると、最大期待収益が真の値よりも低く評価されてしまうという問題がある。

本研究では、2 期間と 3 期間のモデルについて、需要量の確率分布関数が与えられたときに、各期の「予約数の期待値」を「各期の予約上限値」をパラメタとする需要分布関数の多重定積分で表わす式を正確に導く。各期の「予約数の期待値」に料金を掛けた値の和が全期間にわたる期待収益であり、これは「各期の予約上限値」を独立変数とする多変数関数である。期待収益を「各期の予約上限値」で偏微分することにより、「各期の最適予約上限値」に対する連立方程式が得られる。この連立方程式は数値計算で解く。

2 期間モデルについては、代表的文献に示されている最適な予約数上限値の計算式の間違いを訂正した。3 期間モデルについては、最適な各期の予約数上限値の計算式を新しく導出した。また、3 期間モデルについて、各期の客のバイアップ確率に応じて決まる最大期待収益を 3 次元グラフに表わして、直感的理解を助けるものとした。この方法は、4 期間以上のモデルにも原理的には適用可能である。

本研究の貢献は、サービス科学の基礎理論の 1 つであるレベニューマネジメントにおいて、「バイアップ」という現実的な客の行動を取り入れた数理モデルに対し、従来は不正確な近似解法しかなかったところ、(大学初年級の多変数微分積分法の応用により) 厳密に「各期の最適予約上限値」を算出する方法を示したことである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Takagi Hideaki	4. 巻 12
2. 論文標題 Distribution of the waiting and service time in an M/M/m preemptive-resume priority queue with impatient customers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Electronic Journal of Pure and Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 65 ~ 108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.12732/iejpam.v12i1.6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Takagi Hideaki	4. 巻 116
2. 論文標題 Distribution of the waiting and service time in an M/M/m preemptive-resume LCFS queue with impatient customers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Pure and Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 501 ~ 545
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.12732/ijpam.v116i2.21	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Takagi Hideaki	4. 巻 14
2. 論文標題 Times until service completion and abandonment in an M/M/m preemptive-resume LCFS queue with impatient customers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Industrial and Management Optimization	6. 最初と最後の頁 1701 ~ 1726
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/jimo.2018028	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Takagi Hideaki	4. 巻 online
2. 論文標題 Extension of Littlewood's rule to the multi-period static revenue management model with standby customers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Industrial and Management Optimization	6. 最初と最後の頁 1-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/jimo.2020064	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Takagi Hideaki
2. 発表標題 Extension of Littlewood's rule to a multi-period model with possible standby customers
3. 学会等名 2018 INFORMS Revenue Management and Pricing Section Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masuda Yasushi, Kawahara Taishi, Takagi Hideaki
2. 発表標題 Effect of retailer's profit maximization on the amount of unsold products in the presence of strategic customers
3. 学会等名 29th European Conference on Operational Research, EURO 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高木英明、北川郁代
2. 発表標題 急性期病院における手術予定作成での術式指定の自動化 - 泌尿器科手術での試み -
3. 学会等名 第40回日本手術医学会総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takagi Hideaki
2. 発表標題 Explicit calculation of optimal booking limits for the static multi-period revenue management with standby customers
3. 学会等名 Joint International Conference of Service Science and Innovation and Serviceology, ICSSI 2018 and ICServ 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高木英明
2. 発表標題 スタンバイ客を見込んだ多期間Littlewoodの法則
3. 学会等名 RIMS共同研究（公開型）不確定性の下での意思決定理論とその周辺
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高木英明、北川郁代、繁野麻衣子
2. 発表標題 急性期病院における週間手術予定表の自動化の試み
3. 学会等名 サービス学会第7回国内大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高木英明、成島栄
2. 発表標題 地域に寄り添う銀行の顧客満足度調査
3. 学会等名 サービス学会第7回国内大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高木英明
2. 発表標題 レベニューマネジメントにおけるLittlewoodのモデルの拡張へのコメント
3. 学会等名 RIMS共同研究（公開型）不確定性の下での意思決定理論とその応用：計画数学の展開
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高木英明、北川郁代、繁野麻衣子
2. 発表標題 急性期病院の手術予定作成における術式指定の自動化の試み
3. 学会等名 サービス学会第6回国内大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高木英明
2. 発表標題 レベニューマネジメントにおけるLittlewoodのモデルの拡張
3. 学会等名 サービス学会第6回国内大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takagi Hideaki
2. 発表標題 Extension of Littlewoods' rule to the multi-period static revenue management with standby customers
3. 学会等名 INFORMS Revenue Management and Pricing Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 家内祐太、高木英明
2. 発表標題 病院における新生児患者の病棟間移動に対するMarkov連鎖モデル
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会2019年秋季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高木英明、北川郁代
2. 発表標題 急性期病院における週間手術予定表作成の自動化に向けてー外科手術での試みー
3. 学会等名 第41回日本手術医学会総会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高木英明
2. 発表標題 パイアアップがある静的レベニューマネジメントモデル
3. 学会等名 RIMS共同研究（公開型）不確実・不確定性の下における数理的意思決定の理論と応用
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高木英明
2. 発表標題 パイアアップがある静的レベニューマネジメントの最適化
3. 学会等名 サービス学会第8回国内大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 家内祐太、高木英明
2. 発表標題 急性期病院における新生児患者の病床使用に対するMarkov連鎖モデル
3. 学会等名 サービス学会第8回国内大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 高木英明	4. 発行年 2017年
2. 出版社 筑波大学出版会	5. 総ページ数 352
3. 書名 サービスサイエンスの事訊：データサイエンスと数理科学の融合に向けて	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----