

入院患者の予測に基づく病床スケジューリング

05001602 東京理科大学

05000319 神戸大学

01308970 東京理科大学

01015653 防衛大学校/海老名総合病院

海老名総合病院

海老名総合病院

海老名総合病院

海老名総合病院

*松林祐加 MATSUBAYASHI Yuka

伊藤真理 ITO Mari

高嶋隆太 TAKASHIMA Ryuta

鵜飼孝盛 UKAI Takamori

小泉正樹 KOIZUMI Masaki

矢野明美 YANO Akemi

松島俊輔 MATSUSHIMA Shunsuke

猪口貞樹 INOKUCHI Sadaaki

1. はじめに

平均寿命の上昇により、病院治療の需要が増している。中でも病床は、病院内の人員や救急搬送応需率など様々な要因に影響を与える。たとえば、病床が不足すると、入院を急遽必要とする救急患者を受け入れることができず、不応需に繋がる。そのため、適切な病床管理が重要視されている。

高度急性期病院である海老名総合病院では、病床使用実績や天候のデータ等を参考に、入院数や患者の在院日数を予測し手作業で病床スケジュールを作成している。救急患者の入院は不確実性があり、病床管理者の長年の経験を活かしても予測は難しい。また入院患者の在院日数についても患者の回復具合に依存し、予測は難しい。近年、データ解析技術による精緻な予測とそれに基づく病床スケジューリングが求められている[1]。

入院数や入院患者の在院日数を予測する研究は、機械学習を用いて疾患別に予測したものが多く、たとえば Zolbanin et al. [2]は、入院時の年齢や性別などの変数をもとに、慢性閉塞性肺疾患及び肺炎患者の在院日数を深層学習で予測した。患者の需要予測と病床スケジューリングを統合した研究は数少ない。Schäfer et al. [3]は、混合整数計画問題の目的関数を全ての利害関係者の効用最大化とし、外傷外科及び消化器内科の救急患者の到着予測と病床スケジューリングの統合的な手法を開発した。

本研究では、救急患者の入院数と入院患者の在院日数の予測を機械学習により行う。また、予測した在院日数を病床スケジューリングに適用させ、パラメータの精度の違いによるスケジュールへの影響を評価する。さらに病院の収益の観点から提案手法の有効性を検証する。

2. モデル

2.1. 救急患者の入院数予測

本研究では救急患者の入院数を予測するために、特徴量が非常に多いことや説明変数の重要性を考えられるという点で、ランダムフォレストを用いる。説明変数は先行研究や病院との打ち合わせを参考に気象データや日時データ、医療データを用いる。データは海老名総合病院における 2018 年 4 月から 2021 年 3 月までの入院患者データのうち、救急搬送された患者データ 3,549 件を対象とする。一様分布となるように 3 分割して入院数の分類予測を行い、学習データ 8 割、テストデータ 2 割として 5 交差検証を行う。

2.2. 在院日数予測

在院日数においてもランダムフォレストを用いる。海老名総合病院における 2018 年 4 月から 2019 年 3 月までの入院患者データのうち、病院で実際に必要とされる在院日数 30 日以下の 11,572 件について、一様分布となるように 3 分割して在院日数の分類予測を行う。説明変数は、入院患者に関する主要診断群 (MDC) コード等の入院症例データや体温等のバイタルデータ、赤血球数等の検体検査データを用いる。

2.3. 入院患者の病床スケジューリング

患者を病床に割り当てる病床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する。ここでは紙幅の制約のため、制約式の記載を省略する。

Maximize

$$\sum_{b \in B} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} R_p^m s_{bpt} Q_t x_{bpt} + \sum_{r \in R} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} R_p^r Q_t y_{rpt} - \sum_{b \in B} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} C^f Q_t z_{bpt} - \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} C^l R_p^r Q_t w_{pt} \quad (1)$$

上記における集合として、 B は病床の集合、 P は患者の集合、 T はスケジューリング期間、 R は病室の集合である。変数として、 x_{bpt} は患者 p が病床 b に日 t に入院中のとき1、その他の場合0となるバイナリ変数、 y_{rpt} は日 t に病室 r で患者 p が入院中のとき1となるバイナリ変数、 z_{bpt} は日 t に患者 p が病床 b に転床するとき1となるバイナリ変数、 w_{pt} は日 t に患者 p が希望室に割り当てられなかったとき1となるバイナリ変数である。定数として s_{bpt} は患者 p が日 t に病床 b が利用可能な場合に1、その他の場合0となる。 s_{bpt} は割当前の病院の病床状況と患者の入院診療科や手術日、男女及び隔離制約の情報を考慮している。目的関数(1)は、患者が入院した場合の病院の利益を最大化する。第1項目は患者の診療報酬 R_p^m の合計、第2項目は室料差額 R_p^s の合計である。第3項目は転床にかかるコスト C^f の合計、第4項目は室料差額の機会損失 C^l とした。制約式としては、男女制約や隔離制約など計12個の制約がある。

実際のスケジューリングの流れと同様に、1段階目でクリニカルパス適応患者を病床スケジューリングモデルにより決定し、2段階目で一般患者を病床スケジューリングモデルにより決定する。

3. 結果

本研究では、入院数と在院日数の予測を Visual Mining Studio Ver.8.7 (NTT データ数理システム) を用いて行った。解析時間は2分ほどである。入院数予測は、検証データの的中率が約70%と病床管理者の予測よりも精度の高い結果を得た。説明変数は搬送数が最も高い重要度を示した。これにより搬送数が既知であれば高い精度で入院数を予測することが可能になるが、搬送数も不確実な要素である。搬送数を精度良く予測することが必要である。在院日数予測は、検証データの的中率が約60%と病床管理者の予測よりも精度の高い結果を得た。また、説明変数の重要度についても、病床管理者が在院日数の推定を行ううえで参考にして説明変数の重要度が高くなった。

数理最適化ソルバ IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Ver.20.1 を用いて、海老名総合病院の循環器内科の病床スケジュールを作成した。具体的には、スケジューリングの対象となる病床数30床11病室(うち

3病室が室料差額が発生する病室)、スケジューリング期間7日、1段階目で割り当てるクリニカルパス適応患者4名(男性3名女性1名)、2段階目で割り当てる一般患者(要隔離患者1名男性3名)を想定した。患者の在院日数について、実測値や平均値、予測値の異なるパラメータを用いてスケジューリングを行い、比較した。

結果として、提案モデルを用いてスケジュールを作成することにより病院の収益があがることが示唆された。

4. おわりに

本研究では救急患者の入院数と入院患者の在院日数の予測モデルと病床スケジューリングモデルの提案を行った。予測については、入院数・在院日数ともに病床管理者よりも精度の高い予測結果を得た。また、予測した在院日数を用いてスケジューリング問題を解いた結果、在院日数の予測と病床スケジューリングの両手法の有効性が、病院の収益の観点から示された。

今後の展望として、入院数の説明変数の見直しや救急患者の入院数をスケジューリングに適用することがあげられる。

謝辞

本研究の一部は、日本科学協会の笹川科学研究助成を受けて実施したものである。

参考文献

- [1] J. Ohara, M. Ito, R. Takashima, T. Ukai, M. Koizumi, A. Yano, S. Matsushima, S. Inokuchi, Scheduling of Inpatient Hospital Beds: A Case Study of Ebina General Hospital, *INFORMS Healthcare*, 2021.
- [2] H. Zolbanin, B. Davazdahemami, D. Delen, A. Zadeh, Data Analytics for the Sustainable Use of Resources in Hospitals: Predicting the Length of Stay for Patients with Chronic Diseases, *Information & management*, 103282, 2020.
- [3] F. Schäfer, M. Walther, D.G. Grimm, A. Hübner, Combining Machine Learning and Optimization for the Operational Patient Bed Assignment Problem, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3919282>, 2021.