

# クリニックにおける予約患者枠の最適設定

M2021SS006 山本万梨花

指導教員：鈴木敦夫

## 1 はじめに

近年、技術の発展により、多くの分野でIT化が進んでいる。医療機関にもITが導入され、病院経営にも著しい変化がみられる。そのようなITを構成する技術の1つにオペレーションズ・リサーチ (OR) を用いた問題解決の手法がある。ORとは、複雑な問題を数学的・統計的モデルによって記述し、それを効率的なアルゴリズムなどを用いて解くことで、制約条件を満たした最適解を求める科学的手法である。ORは生産スケジューリング等の様々な分野で、業務の効率化や利益の増加を目的として活用されている [1]。

インターネットの普及により、クリニックなどの医療機関でもネット予約システムを導入するところが年々増加し、診察の予約が容易になっている。容易に診察の予約が可能になる一方で、受診患者の増加により予約が取りにくい状況やクリニックが注力したい診察の診察時間を確保できないなど、様々な課題に直面している。

我々の研究が対象としているクリニックも、予約枠の配合に問題があり、実際に患者から「予約が取りづらい」との意見や院長の専門 (出生前診断) に十分な時間が確保できていない問題に直面している。そこで我々は、最適な予約枠の配分を明らかにするために、AIを用いて予約患者数の予測を行うとともに、予測結果に基づいて、最適な予約配分を決定する最適化モデルを構築することとした。

ORの手法は日々進歩しており、医療業界の課題解決にも用いられている。手術室スケジューリング問題などをORの手法を用いて解決する研究が進められている [2]。しかし、医療機関におけるスケジューリング問題は、複雑な条件が複数存在するため、適切に満たすようにスケジューリングすることは非常に複雑で難しい問題である。

手術室のスケジューリング問題 [3] では、麻酔科医の手術への割り当てを混合整数計画法の問題として定式化し、実用規模の問題を実用的な計算時間で解くことができる自動スケジューリングシステムの開発を行った。このシステムにより、手作業で1週間かかっていた1か月の勤務表の作成を1分程度で解決することを可能にした。

本研究ではネット予約システムの予約データを用いて予約患者数の予測を行った。予約患者数の予測については、AIを用いた。予約システムから抽出された予約患者のデータから患者数の予測等に必要要素のみを抜き出し整理し、予測用プログラムを用いて予約患者数の予測を行う。次に、最適な予約枠の配分を求める問題を予測結果を用いて数理最適化問題として定式化した。

## 2 クリニックにおける予約枠の問題

研究対象の産婦人科クリニックでは、次のような課題を抱えている。

1. 特に初診診療の予約の当日・数日前の予約を取得することが難しい。
2. 専門性の高い診療の予約が十分に確保できていない。
3. 専門性の高い診療の提供による診療報酬が伸び悩んでいる。

患者が受診予約をした日から受診当日までの期間 (予約待機時間) が長いと、受診までの間に症状が改善し予約キャンセルや他の医療機関で受診することで当該クリニックを受診する機会を失っている。また、専門性の高い診療については他の診療に比べて時間がかかるにも関わらず、十分な予約枠を確保できていない。これに伴い診療報酬が伸び悩んでいることが主な課題である。

## 3 AIによる予測

### 3.1 Prophet の利用

予測手法の一つに Prophet [4] がある。Prophet とは、2017年にFacebookが開発した時系列解析用のライブラリであり、主に売上金額や来客数など将来予測に用いられている。Prophetの一般式は式(1)であり、トレンド関数 ( $g(t)$ )、季節性 ( $s(t)$ )、休日の影響 ( $h(t)$ )、誤差項 ( $\epsilon_t$ ) を組み合わせることで将来の値を予測する一般化加法モデルである。さらに、外部変数を加えることも可能である。

$$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \epsilon_t \quad (1)$$

トレンド関数は、通常、ロジスティック成長モデルでモデル化され、基本式を式(2)に示す。

$$g(t) = \frac{C}{1 + \exp(-k(t - m))} \quad (2)$$

( $C$ :環境収容力,  $k$ :成長率,  $m$ :オフセットパラメータ)  
季節性は、フーリエ級数を用いて表す。任意の滑らかな季節効果を、標準的なフーリエ級数である基本式で近似する。標準的なフーリエ級数の式を式(3)に示す。

$$s(t) = \sum_{n=1}^N (a_n \cos(\frac{2\pi nt}{P}) + b_n \sin(\frac{2\pi nt}{P})) \quad (3)$$

( $P$ :時系列が持つと予想される規則的な期間)

休日の影響は、回帰因子行列 ( $Z(t)$ ) を用いて、式(4)のように表すことができる。

$$h(t) = Z(t)\kappa \quad (4)$$

( $\kappa$ :各休日に対応する予測の変化)

このとき、事前分布として、 $\kappa \sim Normal(0, v^2)$  を使用する。

### 3.2 予測結果

予約患者数の予測では、総患者数、再診患者数、初診患者数の3通りを行った。予測期間と予測に使用した訓練データ期間は次のとおりである。

訓練データ期間	予測期間
1. 2020/8/1~2021/9/30	2021/10/1~2021/10/31
2. 2020/8/1~2021/10/31	2021/11/1~2021/11/30
3. 2020/8/1~2021/11/30	2021/12/1~2021/12/31

3つの予測すべてに、外部変数として診察日、医師の人数、予約可能枠数を加えた。医師の人数は2診療があるかどうかを示し、予約可能枠数は5分を1枠とした予約枠の合計である。さらに、再診患者数の予測には初診患者数、初診患者数の予測には再診患者数を加えた。ただし、予測期間の初診患者数は前年の同時期のデータ、再診患者数は予測した再診患者数の予測値を外部変数として使用した。12月の総患者数予測の訓練データを表1に示す。

表1 総患者数予測の訓練データ

ds	y	dholidays	docter	number
2020/8/1	32	0	1	65
2020/8/2	0	1	0	0
2020/8/3	26	0	1	57
2020/8/4	30	0	1	66
2020/8/5	28	0	1	59
2020/8/6	28	0	1	59
2020/8/7	32	0	1	65
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2021/11/24	44	0	1	55
2021/11/25	19	0	1	27
2021/11/26	45	0	1	52
2021/11/27	65	0	2	79
2021/11/28	0	1	0	0
2021/11/29	41	0	1	53
2021/11/30	58	0	2	71

(ds: 日付, y: 総患者数, dholidays: 0 → 診察日, 1 → 休診日, docter: 医師の人数, number: 5分を1枠とした予約枠の合計)

予測計算を行い、予測値、上限値、下限値を表2にまとめた。

実際のデータと予測値から式(5)で相対誤差を用いて予測精度の検証を行った。

$$(\text{相対誤差}) = \frac{|(\text{実データ}) - (\text{予測値})|}{(\text{実データ})} \quad (5)$$

総患者数、再診患者数、初診患者数の各月の相対誤差の平均は、総患者数の10月が約8.0%、11月が約10.7%、12月が約8.8%、再診患者数の10月が約15.8%、11月が約13.9%、12月が約12.3%、初診患者数の10月が約22.1%、11月が約15.4%、12月が約22.4%であった。

表2 総患者数の予測結果(12月)

日付	予測値	誤差	相対誤差
2021/12/1	40.9	1.901	0.049
2021/12/2	44.8	-0.219	0.005
2021/12/3	43.5	7.484	0.208
2021/12/4	59.6	-10.360	0.148
2021/12/5	11.8		
2021/12/6	51.4	-8.634	0.144
2021/12/7	48.3	-1.703	0.034
⋮	⋮	⋮	⋮
2021/12/25	52.3	4.321	0.090
2021/12/26	14.8		
2021/12/27	57.7	-3.312	0.054
2021/12/28	45.4	6.385	0.164
2021/12/29	14.9		
2021/12/30	13.9		
2021/12/31	15.2		
	平均	0.310	0.088

## 4 最適化モデル

### 4.1 記号の定義

#### 集合

$D$ : 1か月の診療日の集合 (1週間の診療日の集合)

$I$ : 診療の種類集合

$I_1 \subset I$ : 専門性の高い診療の集合

$I_2 \subset I$ : 初診診療の集合

$I_3 \subset I$ : 再診診療の集合 ( $I_1 \cup I_2 \cup I_3 = I$ )

#### 定数

$m_d$ :  $d$ 日の診療枠数 ( $d \in D$ )

$t_i$ : 診療  $i$ の所要枠数 ( $i \in I$ )

$p_i$ : 診療  $i$ の診療枠数 ( $i \in I$ )

$s_d$ :  $d$ 日の専門性の高い診療の患者の予測数 ( $d \in D$ )

$f_d$ :  $d$ 日の初診診療の患者の予測数 ( $d \in D$ )

$r_d$ :  $d$ 日の再診診療の患者の予測数 ( $d \in D$ )

$\alpha_d, \beta_d, \gamma_d$ : 予測の不確実性を反映するためのパラメータ ( $d \in D$ )

$l_{id}$ :  $d$ 日の診療  $i$ の最低人数 ( $i \in I, d \in D$ )

$n_d$ :  $d$ 日の専門性の高い診療の最低人数 ( $d \in D$ )

#### 変数

$x_{id}$ :  $d$ 日の診療  $i$ を受ける患者数

### 4.2 定式化

#### 目的関数

$$\max. \sum_{i \in I, d \in D} p_i x_{id} \quad (6)$$

## 制約条件

$$\sum_{i \in I} t_i x_{id} = m_d \quad (d \in D) \quad (7)$$

$$s_d - \alpha_d \leq \sum_{i \in I_1} x_{id} \leq s_d + \alpha_d \quad (d \in D) \quad (8)$$

$$f_d - \beta_d \leq \sum_{i \in I_2} x_{id} \leq f_d + \beta_d \quad (d \in D) \quad (9)$$

$$r_d - \gamma_d \leq \sum_{i \in I_3} x_{id} \leq r_d + \gamma_d \quad (d \in D) \quad (10)$$

$$\sum_{d \in D} x_{8d} \geq \sum_{d \in D} (x_{9d} + x_{10d}) \quad (11)$$

$$\sum_{d \in D} x_{1d} = \sum_{d \in D} (x_{6d} + x_{7d}) \quad (12)$$

$$\sum_{d \in D} x_{6d} \geq \sum_{d \in D} x_{7d} \quad (13)$$

$$\sum_{d \in D} x_{2d} = \sum_{d \in D} x_{11d} \quad (14)$$

$$x_{0d} \geq x_{5d} \geq x_{1d} \geq x_{2d} \geq x_{4d} \geq x_{3d} \quad (d \in D) \quad (15)$$

$$x_{id} \geq l_{id} \quad (d \in D, i \in I_2) \quad (16)$$

$$\sum_{d \in D} x_{2d} \geq 15 \quad \left( \sum_{d \in D} x_{2d} \geq 3 \right) \quad (17)$$

$$x_{6d} \geq l_{6d} \quad (d \in D) \quad (18)$$

$$x_{7d} \geq l_{7d} \quad (d \in D) \quad (19)$$

$$x_{8d} \geq l_{8d} \quad (d \in D) \quad (20)$$

$$x_{9d} \geq l_{9d} \quad (d \in D) \quad (21)$$

$$x_{10d} \geq l_{10d} \quad (d \in D) \quad (22)$$

$$x_{11d} \geq l_{11d} \quad (d \in D) \quad (23)$$

$$x_{12d} \leq 1 \quad (d \in D) \quad (24)$$

$$x_{13d} \leq 1 \quad (d \in D) \quad (25)$$

$$x_{14d} \leq 2 \quad (d \in D) \quad (26)$$

$$x_{15d} \leq 3 \quad (d \in D) \quad (27)$$

$$\sum_{d \in D} x_{17d} \geq \sum_{d \in D} x_{16d} \quad (28)$$

$$\sum_{d \in D} x_{18d} \geq 10 \quad (29)$$

$$\sum_{i \in I_1} x_{id} \geq n_d \quad (d \in D) \quad (30)$$

$$\sum_{d \in D} x_{id} \geq 1 \quad (i \in I) \quad (31)$$

$$x_{id} \in \{0, 1, 2, \dots\} \quad (i \in I, d \in D) \quad (32)$$

## 目的関数の説明

(6) 診療報酬の最大化

## 制約条件の説明

- (7) 各患者の診療枠数の和と1日の設定した総診療枠数が等しい
- (8) 専門性の高い診療を受ける患者の人数が予測数の $\pm\alpha_d$ 以内
- (9) 初診診療を受ける患者の人数が予測数の $\pm\beta_d$ 以内
- (10) 再診診療を受ける患者の人数が予測数の $\pm\gamma_d$ 以内
- (11) 再診(婦人科・結果の説明)と再診(婦人科・処方のみ)の和が再診(婦人科)以下
- (12) 初診(産科)の患者数と再診(産科・母子手帳のある方)と再診(産科・母子手帳のない方)の患者数の和が等しい
- (13) 再診(産科・母子手帳のない方)より再診(産科・母子手帳のある方)の方が多い
- (14) 初診(不妊)と再診(不妊)の患者数が等しい
- (15) 初診の予約内容の重要度(婦人科 $\geq$ 足立区子宮がん検診 $\geq$ 産科 $\geq$ 不妊 $\geq$ 緊急避妊 $\geq$ 月経移動)
- (16) 1日の各初診診療の最低人数
- (17)  $d$ 日間の初診(不妊)の受診患者は15人以上(1週間の場合は $d$ 日間の初診(不妊)の受診患者は3人以上)
- (18) 1日の再診(産科・母子手帳のある方)の最低人数
- (19) 1日の再診(産科・母子手帳のない方)の最低人数
- (20) 1日の再診(婦人科)の最低人数
- (21) 1日の再診(婦人科・結果の説明)の最低人数
- (22) 1日の再診(婦人科・処方のみ)の最低人数
- (23) 1日の再診(不妊)の最低人数
- (24) 1日の予防接種の最大人数
- (25) 1日の再診(月経移動)の最大人数
- (26) 1日の再診(緊急避妊)の最大人数
- (27) 1日の血液検査の最大人数
- (28)  $d$ 日間の中期スクリーニングエコーは初期スクリーニングエコーより多い
- (29)  $d$ 日間の遺伝カウンセリングの受診患者は10人以上
- (30) 1日の専門性の高い診療の受診患者は1人以上
- (31)  $d$ 日間の各診療の受診患者は1人以上
- (32) 整数条件

## 4.3 結果

最適化計算を行った期間は2021/12/1~2021/12/7の1週間と1か月間を2021/10/1~2021/10/31, 2021/11/1~2021/11/30, 2021/12/1~2021/12/31の3か月分を行った。2021/12/1~2021/12/31の1か月間に使用したデータとプログラムを実行した結果を以下に示す。使用したデータは表3, 表4のとおりである。

## パラメータ

- $\alpha_d = 7$
- $\beta_d = 5$
- $\gamma_d = 13$
- $l_{0d} = 3, l_{1d} = 1, l_{2d} = 0, l_{3d} = 0, l_{4d} = 0, l_{5d} = 2,$   
 $l_{6d} = 3, l_{7d} = 0, l_{8d} = 4, l_{9d} = 2, l_{10d} = 3, l_{11d} = 0$   
 $n_d = 1$  (休診日: $l_{id} = 0, n_d = 0$ )
- 専門性の高い予測患者数については、総予測患者数-(初診予測患者数+再診予測患者数)を使用した。

表 3 各診療の所要枠数と診療報酬

番号 $i$	診察内容	所要枠数	診療報酬
0	初診(婦人科)	3	12430
1	初診(産科)	2	8800
2	初診(不妊)	4	8800
3	初診(月経移動)	1	7150
4	初診(緊急避妊)	1	7150
5	足立区子宮がん検診	1	7150
6	再診(産科・母子手帳のある方)	2	13000
7	再診(産科・母子手帳のない方)	2	13000
8	再診(婦人科)	2	11000
9	再診(婦人科・結果の説明)	1	11000
10	再診(婦人科・処方のみ)	1	11000
11	再診(不妊)	2	13000
12	予防接種	1	7150
13	再診(月経移動)	1	7150
14	再診(緊急避妊)	1	7150
15	血液検査	1	7150
16	初期スクリーニングエコー	5	48000
17	中期スクリーニングエコー	5	36000
18	遺伝カウンセリング	5	36000

表 4 各日の総診療枠数と予測患者数

番号 $d$	日付	診療枠	初診予測	再診予測	専門予測
0	2021/12/1	79	12.1	27.4	1.4
1	2021/12/2	81	14.8	28.4	1.6
2	2021/12/3	69	13.2	28.5	1.7
3	2021/12/4	115	17.0	39.2	3.5
4	2021/12/5	0	0	0	0
5	2021/12/6	111	15.3	33.8	2.3
6	2021/12/7	92	15.0	30.9	2.4
7	2021/12/8	62	11.6	27.5	0.8
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

表 3, 表 4 のデータを利用し, 計算を行い実績の患者数と比較したグラフを図 1 に示す.

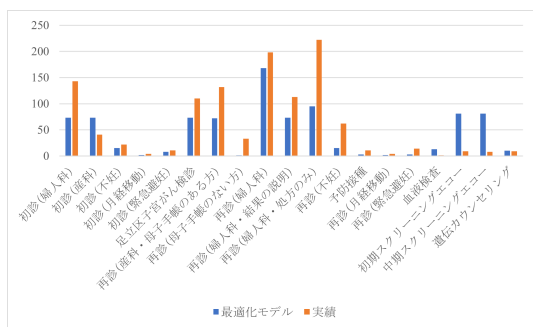


図 1 最適化モデルと実績の患者数(12月)

さらに, 最適化モデルで算出された患者数から診療報酬を算出し, 1 か月の各日の診療報酬の合計と実績を比較した. ここから最適化モデルの診療報酬を実績の診療報酬で割り, 倍率を算出した. 最適化モデルと実績の診療報酬を比較したグラフを図 2 に示す. 各期間の倍率は, 2021/12/1~2021/12/7(1 週間) が約 7.8%, 2021/10/1~2021/10/31(1 か月) が約 13.7%, 2021/11/1~2021/11/30(1 か月) が約 13.5%, 2021/12/1~2021/12/31(1 か月) が約 8.5%増加していることが分

かった. また, 10月・11月・12月の3か月間では約 12.0%増加することが分かった.

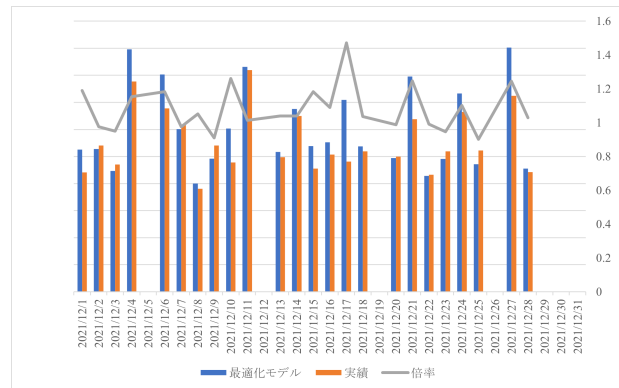


図 2 最適化モデルと実績の診療報酬(12月)

## 5 おわりに

本研究では, あるクリニックにおける予約患者数の予測と, 最適な予約患者枠の自動算出に取り組んだ. AI による予測では総患者数は 10%程度, 再診患者数は 15%程度, 初診患者数は 20%程度での予測が可能であることが分かった. また, この予測結果を用いて記述される最適化モデルを解くことで 3 か月間の診療報酬を約 12.0%増加する予約患者枠の配分を明らかにすることに成功した.

この研究によれば, AI による予測の結果を用いて記述される最適化モデルを解き, 初診診療では産科の診療枠を増加し婦人科の診療枠を制限することで長期的な受診患者を確保しながら診療報酬を増加できるような結果が期待できる.

## 参考文献

- [1] 森雅夫, 松井知己:『経営システム工学ライブラリー 8 オペレーションズ・リサーチ』. 朝倉書店, 2004.
- [2] Mari Ito, Atsuo Suzuki and Yoshihiro Fujiwara, A Prototype Operating Room Scheduling System - A Case Study at Aichi Medical University Hospital -, Journal of Japan Industrial Management Association, 日本経営工学会,67,pp. 202-214, 2016.
- [3] Hiroyuki Ichihara, Yoshito Matsuzaki, Aino Ohnishi, Atsuo Suzuki and Atsushi Hashimoto, A scheduling system for anesthesiologists - A case study in Aichi medical university hospital -, Proc. of International Symposium on Scheduling 2017, スケジューリング学会, pp. 216-221, 2017.
- [4] Taylor, S. J.; and Letham, B. 2018. Forecasting at scale. The American Statistician 72(1): 37-45.