

回復期リハビリテーション病棟における スケジュール作成支援システムの開発

M2018SS004 三ヶ田瑠菜

指導教員：鈴木敦夫

1 はじめに

近年、医療業界におけるリハビリテーション(リハビリ)は患者の在宅復帰や状態改善に大きく貢献する重要な場面を担っている。しかし、リハビリを行うスタッフの不足により、リハビリテーションスタッフ(リハビリスタッフ)の業務負担はより大きくなっている。また、患者の増加に伴い、事務作業の1つであるシフトスケジュール作成はリハビリスタッフの業務の負担となっている。

本研究で対象とする病院においても、リハビリスタッフの日ごとの勤務表の作成は、手作業で行われている。本研究で取り扱うのは、日ごとのリハビリスタッフのシフトスケジューリング問題である。ここで取り上げるスケジューリング問題は、365日稼働している入院病棟におけるリハビリスタッフの適切な勤務表を決定する問題である。スケジュール作成担当者は、質の高い医療サービスを提供するために患者の容態や患者固有条件、リハビリスタッフのスキルレベルなどを考慮してリハビリスタッフを割当る必要がある。したがって、スケジュール作成担当者が、すべての条件を満たすスケジュールを組むことは難しい。

このスケジューリング問題を解決するために、オペレーションズ・リサーチ(OR)の手法である0-1整数計画法を用いて定式化する。そして、定式化した問題をPC上に実装した。これにより、リハビリスタッフのシフトスケジュールを自動作成する実用的なシステムを開発する。

2 リハビリスタッフのシフト作成問題

この病院において、本研究で対象となるリハビリスタッフは、理学療法士(PT)・作業療法士(OT)・言語聴覚士(ST)の三種類に分類される。リハビリは、20分間を1単位とする。この20分間で区切った単位を時間単位と呼ぶ。リハビリスタッフは、1日に最大20単位リハビリを行う。

各患者において担当する主担当・副担当のリハビリスタッフを事前に決めている。各患者が1日に受けるリハビリの総単位数は決まっており、最大で9単位である。単位数のほかに、それぞれの患者が持つ条件として休息単位、連続可能単位、事前予定がある。休息単位とは、リハビリ終了時から次のリハビリ開始までに何も行わない時間単位がいくつ必要かを定めている。連続可能単位とは、リハビリ開始から終了までいくつの時間単位を連続させられるかを定めている。事前予定は、スケジュール作成前に決まっている各リハビリスタッフと各患者が持つリハビリ以外の予定である。例えば、リハビリスタッフの外出や患者の入浴などが挙げられる。事前予定がある時間帯は、リハビリスタッフはリハビリの提供が不可であり、患者はリ

ハビリを受けることができない。

リハビリスタッフの翌日のスケジュール作成のために、当日の出勤者が全員で話し合いを行い、スケジュールを決定する。また、このスケジュール作成のために、当日の患者の容体、リハビリスタッフ全員の勤務表、各患者における主担当副担当表を用いる。このスケジュール作成に1から2単位分の時間を費やす。

2.1 問題解決の方法

この問題を解決するために、シフトスケジューリングを0-1整数計画問題として定式化する。そして、短時間で効率よくスケジュールを行う自動化システムを最適化ソフトウェアを用いて実現し、実際の現場に導入することを最終目標とする。

定式化のために、基本的な、患者の人数、PT・OT・STの人数、勤務形態、プルダウンメニューに使用するリスト、各患者における固有の条件、事前予定、リハビリスタッフの優先度を設定する。

各患者の固有の条件とは、各患者の容体に合わせて、PT・OT・STの担当単位数のことである。優先度とは、各患者に対して割当たいリハビリスタッフの順位付けのことであり、数値が大きいほど優先される。

スケジュール作成に必要な条件を踏まえて、1日のスケジューリングを行うと、問題の規模が大きくなってしまいスケジューリングに多大な時間がかかってしまう。そのため、問題を午前と午後のスケジューリング分割し、午前の計算を行ってからその結果を所与として午後の計算を行うようにシステムを開発する。

3 問題の定式化

本節では、回復期リハビリ病棟におけるリハビリスタッフのシフトスケジュール作成問題の定式化を示す。これらの定式化の1部は、大西ら([1], [2])の研究を参考にしている。

3.1 問題の定式化 1

本節では、回復期リハビリ病棟におけるリハビリスタッフの午前中のシフトスケジュール作成問題の定式化を示す。

3.1.1 記号の定義

集合

I :患者の集合

J :リハビリスタッフ全体の集合

J_1 :PTの集合 $J_1 \subseteq J$

J_2 :OTの集合 $J_2 \subseteq J$

T :1日の時間単位の集合

T_1 :1日の時間単位の中で昼休憩に当たる時間単位の集合

$T_1 \subseteq T$
 T_2 :午前の時間単位の集合 $T_2 \subseteq T$
 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$:目的関数における各項の優先順位を決める重み

定数

u_i :各患者の総単位数
 pt_i :各患者における1日の中のPTの担当単位数
 ot_i :各患者における1日の中のOTの担当単位数
 st_i :各患者における1日の中のSTの担当単位数
 d_i :各患者の連続可能単位数
 r_i :各患者の休息単位数
 v_j :各リハビリスタッフの1日に持つ最大単位数
 bt_{ij} :患者 $i \in I$ のPT $j \in J_1$ に対する優先度
 bo_{ij} :患者 $i \in I$ のOT $j \in J_2$ に対する優先度

$$p_j = \begin{cases} 1: \text{リハビリスタッフ } j \text{ が出勤している} \\ 0: \text{それ以外の場合} \end{cases}$$

$$e_{it} = \begin{cases} 1: \text{時間 } t \text{ に対して患者 } i \text{ が事前予定を持つ} \\ 0: \text{それ以外の場合} \end{cases}$$

$$f_{jt} = \begin{cases} 1: \text{時間 } t \text{ に対してリハビリスタッフ } j \text{ が} \\ \text{事前予定を持つ} \\ 0: \text{それ以外の場合} \end{cases}$$

$$h_i = \begin{cases} 1: \text{患者の1日の合計単位数が5より大きいとき} \\ 0: \text{それ以外の場合} \end{cases}$$

決定変数

q_{it} :患者 $i \in I$ が設定した休憩単位数をとれないときの余剰を表す変数
 s_{it} :患者 $i \in I$ が設定した連続可能単位数を超えた時の余剰を表す変数
 sq_{ijt} :患者とリハビリスタッフの同じ組み合わせが連続しない場合を表す変数
 y_{ijt} :時間 $t, t+1, t+2$ に患者 i がリハビリスタッフ j からリハビリを受けるとき1をとる連続変数
 $x_{ijt} = \begin{cases} 1: \text{患者 } i \text{ がリハビリスタッフ } j \text{ から} \\ \text{時間 } t \text{ にリハビリを受ける} \\ 0: \text{それ以外の場合} \end{cases}$

3.1.2 午前の定式化

目的関数

$$\begin{aligned} \max. & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_1} \sum_{t \in T_1 \cup T_2} bt_{ij} x_{ijt} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_2} \sum_{t \in T_1 \cup T_2} bo_{ij} x_{ijt} \\ & - \alpha \sum_{i \in I} \sum_{t \in T_1 \cup T_2} q_{it} - \beta \sum_{i \in I} \sum_{t \in T_1 \cup T_2} s_{it} \\ & - \gamma \sum_{i \in I} \sum_{t \in T_1 \cup T_2} sq_{ijt} + \delta \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T_1 \cup T_2} y_{ijt} \quad (1) \end{aligned}$$

制約条件

$$\sum_{j \in J_1} \sum_{t \in T_2} x_{ijt} \leq pt_i \quad i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J_2} \sum_{t \in T_2} x_{ijt} \leq ot_i \quad i \in I \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{t \in T_2} x_{ijt} \leq u_i - st_i \quad i \in I \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{t \in T_2} x_{ijt} \leq (v_j + 1)p_j \quad j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ijt} \leq 1 \quad i \in I, t \in T_2 \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ijt} \leq 1 \quad j \in J, t \in T_2 \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ijt} \leq 1 - e_{it} \quad i \in I, t \in T_2 \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ijt} \leq 1 - f_{jt} \quad j \in J, t \in T_2 \quad (9)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{t \in T_2} x_{ijt} \leq h_i \left(\frac{u_i - st_i}{2} - 2 \right) \quad i \in I \quad (10)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{t \in T_1 \cup T_2} x_{ijt} \leq |T| p_j \quad j \in J \quad (11)$$

$$x_{ijt} = 0 \quad i \in I, j \in J, t \in T_1 \quad (12)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k=t}^{t+1+d_i} x_{ijk} \leq d_i - s_{it} \quad i \in I, t \in T_1 \cup T_2 \quad (13)$$

$$r_i \sum_{j \in J} (x_{ijt} - x_{ijt+1}) - \sum_{j \in J} \sum_{k=t+1}^{t+1+r_i} (1 - x_{ijk}) \leq q_{it} \quad (14)$$

$$i \in I, t \in T_1 \cup T_2$$

$$-sq_{ijt} \leq x_{ijt+1} - x_{ijt} \leq sq_{ijt} \quad (15)$$

$$i \in I, j \in J, t \in T_1 \cup T_2$$

$$x_{ijt} + x_{ijt+1} + x_{ijt+2} \geq 3y_{ijt} \quad (16)$$

$$i \in I, j \in J, t \in T_1 \cup T_2$$

$$x_{ijt} \in \{0, 1\} \quad i \in I, j \in J, t \in T_1 \cup T_2 \quad (17)$$

$$0 \leq y_{ijt} \leq 1 \quad i \in I, j \in J, t \in T_1 \cup T_2 \quad (18)$$

式 (1):第1項では,各患者に割り当てられたPTの優先度の総和を示す組合せ,第2項では,各患者に割り当てられたOTの優先度の総和を示す組合せ,第3項では,設定された休息単位数を下回るほど超過負担が大きくなる組合せを示す,第4項では,リハビリの連続可能単位数を超えるほど超過負担が大きくなる組合せを示す,第5項では,患者とリハビリスタッフの同じ組み合わせが異なる場合の負担が大きくなる組合せを示す,第6項では,患者が連続してリハビリを受けられない場合の負担が大きくなる組合せを示す

式 (2):各患者が1日に受けるPTの単位数は,その患者のPT最大単位数までである

式 (3):各患者が1日に受けるOTの単位数は,その患者のOT最大単位数までである

式 (4):各患者が1日に受けるリハビリの総単位数はその患者の最大単位数を超えてはいけない

式 (5):リハビリスタッフが1日に担当するリハビリ単位数は最大単位数を超えてはいけない

式 (6):患者は時間単位 t に1人のリハビリスタッフからしかリハビリを受けることができない

式 (7):リハビリスタッフは時間 t に1人の患者しかリハビリを担当することができない

式 (8):患者は,時間単位 t に事前に予定を持っている場合にリハビリを入れない

式 (9):リハビリスタッフは,時間単位 t に事前に予定を持っている場合リハビリを入れない

式 (10):午前と午後のリハビリの回数をなるべく均等にするために,午前に受けるリハビリの単位数の上限を設けている

式 (11):リハビリスタッフ全体から出勤するリハビリスタッフを判別する

式 (12):お昼の時間にはリハビリをしない

式 (13):リハビリの連続可能単位数を超えるほど負担が大きくなる

式 (14):休息単位数以下になるほど負担が大きいこと

式 (15):患者とリハビリスタッフの同じ組み合わせはなるべく連続する

式 (16):患者 i を受け持ったリハビリスタッフ j はなるべく連続してリハビリを受け持つ

式 (17): x_{ijt} のバイナリ制約

式 (18): y_{ijt} が非負かつ1以下である

3.2 問題の定式化 2

本節では,回復期リハビリ病棟におけるリハビリスタッフのシフトスケジュール午後の定式化を示す. 午後の定式化は,午前のシフトスケジュールリングの結果を前提としている. 午後の定式化における記号の定義は,午前の定式化で定義していないもののみを説明する. また,午前の制約式 (6), (7), (8), (9), (11), (13), (14), (15), (16), (17), (18)と同様であるため省略する. ただし,(6), (7), (8), (9), (11), (13), (14), (15), (16), (17), (18)では, $t \in T_1 \cup T_2$ を $t \in T_3$ と置き換える.

3.2.1 記号の定義

集合

T_3 :午後の時間単位の集合 $T_3 \subseteq T$

定数

pm_pt_i :午前の結果を差し引いた残りのPTの担当単位数

pm_ot_i :午前の結果を差し引いた残りのOTの担当単位数

pm_v_j :午前の結果を差し引いた残りの各リハビリスタッフの割当可能な単位数

3.2.2 午後の定式化

目的関数

$$\begin{aligned} \max. & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_1} \sum_{t \in T_3} bt_{ij} x_{ijt} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_2} \sum_{t \in T_3} bo_{ij} x_{ijt} \\ & - \alpha \sum_{i \in I} \sum_{t \in T_3} q_{it} - \beta \sum_{i \in I} \sum_{t \in T_3} s_{it} - \gamma \sum_{i \in I} \sum_{t \in T_3} sq_{ijt} \\ & + \delta \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T_3} y_{ijt} - \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_1} \sum_{t \in T_3} \left(\frac{t}{bt_{ij} + 1} + 1 \right) x_{ijt} \\ & - \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_2} \sum_{t \in T_3} \left(\frac{t}{bo_{ij} + 1} + 1 \right) x_{ijt} \end{aligned} \quad (19)$$

制約条件

$$\sum_{j \in J_1} \sum_{t \in T_3} x_{ijt} = pm_pt_i \quad i \in I \quad (20)$$

$$\sum_{j \in J_2} \sum_{t \in T_3} x_{ijt} = pm_ot_i \quad i \in I \quad (21)$$

$$(pm_v_j - 1)p_j \leq \sum_{i \in I} \sum_{t \in T_3} x_{ijt} \leq (pm_v_j + 1)p_j \quad (22)$$

$j \in J$

式の説明

式 (19):第1項では,各患者に割り当てられたPTの優先度の総和を示す組合せ,第2項では,各患者に割り当てられたOTの優先度の総和を示す組合せ,第3項では,設定された休息単位数を下回るほど超過負担が大きくなる組合せを示す,第4項では,リハビリの連続可能単位数を超えるほど超過負担が大きくなる組合せを示す,第5項では,患者とリハビリスタッフの同じ組み合わせが異なる場合の負担が大きくなる組合せを示す,第6項では,患者が連続してリハビリを受けられない場合の負担が大きくなる組合せを示す,第7項では,PTが行うリハビリを可能な限り前詰めにするを示す,第8項では,OTが行うリハビリを可能な限り前詰めにするを示す

式 (20):患者は与えられた分のPTの単位を必ず行うこと

式 (21):患者は与えられた分のOTの単位を必ず行うこと

式 (22):リハビリスタッフが1日に受け持つことが可能な単位数の上下限に収めること

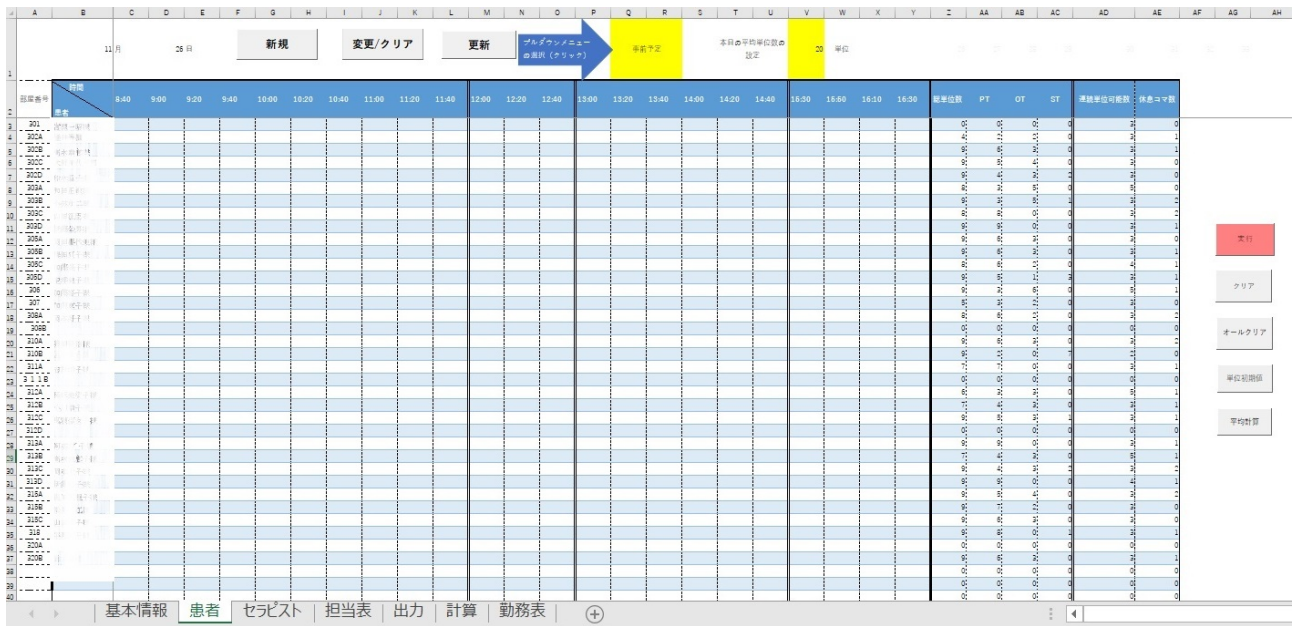


図 1 システムのインターフェース画面の一部 縦軸:患者の名前, 横軸:時間

4 システムのインターフェース

図 1 は作成したシステムのインターフェース画面の一部である。

スケジュール作成者は、各 Excel シートに必要な情報を入力する。そして、事前予定を入力した後、実行ボタンをクリックすることでスケジュールを作成する。計算に必要な各種データのうち、勤務表などの既に病院で使用しているフォーマットがあるデータは、同様の形式で使用できるように作成した。さらに、入浴や外出といった事前に定めている情報を表示できるようにしている。また、存在しないリハビリスタッフとしてダミーを用意し、割当が困難な時に表示するように設定している。実際の現場では、主担当と副担当のみを明確化してスケジュール作成を行っているが、システム化をするにあたり、すべてのリハビリスタッフを対象に優先度を定めた。リハビリスタッフは、どちらにも所属しない主任と二つのチームに分けられる。そして、患者にとって優先度の高いリハビリスタッフが優先的に割り当てられ、優先度が 0 であるリハビリスタッフが割り当てられることはない。さらに、1 人の患者に対してなるべく同じチーム内に数字の大きい人を割り振る。また、ダミーのリハビリスタッフを配置し、それぞれの優先度を負の値に設定することで割当が行われる場合の負担を大きくした。

5 計算結果

計算に用いたデータは、患者:35 人程度、PT:15 人程度、OT:10 人程度である。計算時間は 30 秒程度であった。 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 値は、パラメータ実験の結果、 $\alpha = \beta < \gamma < \delta$ となるように設定し、かつ γ, δ の値の差は大きくしないものを使用した。計算に使用した最適化ソフトウェアは、MIPCL、計算環境は、CPU: Intel(R) Core(TM) i7-7560、RAM: 8.00GB、OS: Microsoft Windows 10 Home、実装

メモリ: 64GB である。

実際に、1 人の作業者が条件の入力から計算結果の検証までを計測した結果、事前予定等の入力に 10 分程度、計算に 30 秒程度、結果を確認するために 10 分程度の時間がかかる。したがって、出勤者全員でスケジュール作成を行っていた現状と比較するとおよそ 80% の作業時間の短縮が実現可能となる。

6 おわりに

システムを使用することで、手作業で作成するよりも短時間で条件を満たすスケジュールを作成することが可能になる。また、スケジュール作成業務の負担を減らすだけでなく、空いた時間をリハビリ業務や別の業務に費やすことで、病院は医療の質や利益の向上につながる。そして、質の高いスケジュールによってリハビリスタッフの負担を軽減して、患者の満足度の向上も期待できる。

今後は、このシステムを利用者に試用してもらい、手作業によるシフトスケジュールと大きく異なる点はないか、システムで作成したスケジュールに不具合はないかを確認する。そして、フィードバックより得た知見をもとに、現場の利用者が意図した結果が得られるような定式化とインターフェースのをもとにさらなる改善を行う予定である。

参考文献

- [1] 松崎佳人, 『スケジュールリングシステム開発についての実験的研究』. 南山大学理工学研究科システム数理専攻, 2017 年度修士論文, 2018.
- [2] 大西愛乃, 『医療機関におけるスケジュールリング支援システムの試作-愛知医科大学病院の事例-』. 南山大学理工学研究科システム数理専攻, 2015 年度修士論文, 2016.