1J-07

最適化問題における多様な解の導出

加藤　尚瑛 †　　呉　偉 ‡　　池上　敦子 §
成蹊大学 †　　静岡大学 ‡　　成蹊大学 §

1　はじめに

本研究では，暗黙的な制約や評価尺度を含めた「現場の意思決定者が目指す納得できる解」を，意思決定者自身が導き出すための支援情報導出を目指す．具体的には，シンプルで普遍的なモデルを構築することにより修正しやすい構造を持つ解を提供するとともに，効率的な修正を可能にする情報を提供する．制約から与えられた意思決定変数の重要度を考慮することで，多様な解と類似な解を定義し，複数最適解を得るためのモデルを提案する．さらに，解修正の可能性を可視化することについても議論する．本稿では，病棟ナースの勤務表作成を最適化問題として扱うナーススケジューリングを対象に進めている成果を報告する．

2　ナーススケジューリング

ナーススケジューリング [1] は，病棟ナースの勤務表を作成する問題である．この問題では，病院側，ナース側双方に都合が存在するため，多くの制約を考慮する必要があるものの, 大きくは「シフト制約」と「ナース制約」に分類できる．シフト制約は，病棟内での看護の質を あるレベル以上に保つ制約である．全体人数が必要数を満たす，スキルや担当患者で分けられたグループ毎に必要数を満たすように課される．ナース制約は，ナースの仕事の負荷を考慮する制約である．ひと月に行うシストの回数を制限する，連続するシフトならびを制限するよう制約を課す.

ナースの集合を I, 日の集合を J，シフトの集合を S とする．勤務表作成モデルにおける意思決定変数 x_{ijs} は，ナース $i \in I$ の日 $j \in J$ にシフト $s \in S$ を割り当てるならば 1，そうでないならば 0 となるものである．また，前述した制約を満たした解 $\mathbf{x}$ の集合を $\mathbf{X}$ とし，目的関数で最小化したい $\mathbf{x}$ の関数を $f(\mathbf{x})$ すると，ナーススケジューリング問題は，以下のように記述できる．

$$\begin{array}{ll} \text{minimize} & f(\mathbf{x}) \\ \text{subject to} & \mathbf{x} \in \mathbf{X}. \end{array}$$

ナーススケジューリングでは，看護の質が守られた勤務表を作成することを最大の目的としている．目的関数で看護の質を数値で表現する必要があるが，暗黙的なものを含め，全てを明確に表すことは現実的ではない．そこで，暫定的に設定する目的関数では，後の解修正に自由度を残せるよう，各日の各シフトの過不足人数の総和を最小化する．

3　解の特徴

病院現場で，作成した勤務表を評価してもらう際，大きなポイントとして,「何人以上必要」といった勤務人数制約が多く課されているベテランナースのシフト割当の重要性，勤務人数の少ない夜勤帯のメンバー構成の重要性が，先行研究でわかっている．よって，本研究では，勤務表にとって重要度の高い意思決定に注目して，その決定の違いを解の特徴と考えてみることにした．つまり，与えられた問題の定式化の中で，解空間を大きく絞り込む要素となる意思決定変数に着目する．具体的には，対象とする問題インスタンスを最適化問題として定式化した際に，制約式にどれほど関わっているのかを，変数ごとに調べてみた．また，その変数が，どのナースのどの日に関わるのか（場合によっては，どのシフトに関わるのか）を整理した.

ある問題インスタンス（ナース数 25，日数 30）[2] について，各ナースの各日に関わる変数が制約式中に登場する頻度を，勤務表型のグラフに表したものを図 1 に示す．横軸が日，縦軸がナース番号を示しており，カラーバーは，各ナースの各日に関わる変数が制約式内に登場した回数を示している．図 1 から，ひと月を通して，ナース毎に制約式に

Modelling diversity of solutions for combinatorial optimization problems
†Naoaki KATOH, Seikei University
‡Wei WU, Shizuoka University
§Atsuko IKEGAMI, Seikei University

Copyright ©2021 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

登場する頻度が異なることがわかる．特に，ナース番号1，14–17，25番が多くの制約式に関わっていることがわかる（ナース番号1–6，14–17，25はベテランナース）．このことから，ベテランナースは他のナースに比べ，登場頻度が高く，多くの制約が課されていることがわかる．

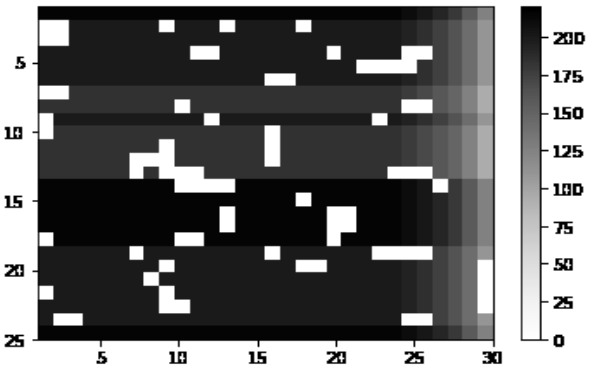

図 1: 各ナースの各日に関わる変数の出現回数

4 複数解取得モデル

3節で，多くの制約が課されたナースとそうでないナースがいることがわかった．そこで，制約式内出現回数を用いて，同時に複数の解を求めることを考えてみる．具体的には，出現回数が上位のセル（ナース・日）のシフトが，生成する勤務表それぞれで異なったものとなるようなモデルを構築する．このモデルが与える勤務表は，重要度が高いナースの日に割り当てられたシフトが互いに異なるため，現場にとっての多様な解を提供することができ，意思決定のための重要な情報となると考える．

4.1 ナースと日のみを考慮するモデル

本稿では，複数解を取得するモデルとしてナースと日のみを考慮するモデルを紹介する．モデルの意思決定変数 x^k_{ijs} は，k 個目の勤務表のナース i の日 j にシフト s を割り当てるなら1そうでないならば0となるものである．集合 T は制約式内登場回数が上位100位の (i,j) セットを持つ集合とする．変数 d^{kh}_{ijs} は，x^k_{ijs} と x^h_{ijs} がともに1となるときに1そうでないときに0となる．$f(\mathbf{x^k})$ は1つの勤務表を評価する関数である．以下に提案モデルの定式化を示す．モデルの目的関数で，d^{kh}_{ijs} の総和と各勤務表の評価値 $f(\mathbf{x^k})$ にパラメータ ρ をかけたものの和を最小化することで，勤務表の評価値を良い状態に保ちつつ，集合 T に含まれる (i,j) セットがそれぞれの勤務表でできる限り異なる勤務表を複数取得できるように設計している．

$$
\begin{aligned}
&\text{minimize} \\
&\qquad \sum_{\substack{k,h\in K\\ k<h}} \sum_{i\in I} \sum_{j\in J} \sum_{s\in S} d^{kh}_{ijs} + \rho \sum_{k\in K} f(\mathbf{x^k}) \\
&\text{subject to} \\
&\qquad \mathbf{x^k} \in \mathbf{X}, \qquad\qquad \forall k \in K. \\
&\qquad x^k_{ijs} + x^h_{ijs} \le 1 + d^{kh}_{ijs}, \\
&\qquad\qquad \forall k,h \in K, k<h, \forall (i,j) \in T, \forall s \in S.
\end{aligned}
$$

4.2 複数の勤務表生成

前述の問題インスタンス（ナース数25，日数30，最適な勤務表の評価値2）[2] に対して，4.1節のモデルを用いて3つの勤務表を生成した．生成した勤務表の評価値はそれぞれ $f(\mathbf{x^k}) = 2$ であり，3つとも最適な勤務表を得ることができた．集合 T に含まれるセルのうち，3つの勤務表全てに同一のシフトを割り当てていたセルが9あることがわかった．一方で，合計750セルのうち，それぞれの勤務表で異なるシフトを割り当てることができたセルは138あることがわかった．

5 おわりに

本稿では，ナーススケジューリングを対象に，制約式から得られた情報を基に，重要度の高いセル（ナース・日）のシフトが互いに異なる勤務表を生成するモデルを提案した．1つの多様性を定義し，多様な解を生成することができたと考える．

参考文献

[1] 池上敦子. ナース・スケジューリング –問題把握とモデリング–. 2018.

[2] Nurse rostering benchmark instances. “http://www.schedulingbenchmarks.org/nrp/”. （2021年1月6日閲覧）.

Copyright ©2021 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.