

京都大学工学部	学生員	○今永 幸貴
京都大学大学院工学研究科	フェロー	谷口 栄一
京都大学大学院工学研究科	正会員	山田 忠史
京都大学大学院工学研究科	正会員	中村 有克

1. 研究の背景と目的

近年の高齢化に伴い、在宅医療の需要が増加している中で、医療現場における医師数や看護師数は不足しており、在宅医療の需給ギャップが問題となっている。また、それに伴う医療従事者の長時間労働も問題となっており、医療・看護側、患者側の両者に不利益の少ない訪問計画が求められている。医療・看護側では労働時間と労働費用、患者側では指定時間内での到着と症状による優先度を考慮する必要があるが、これら全てを考慮した訪問計画に関する研究は進んでいない。そこで、本研究では、在宅医療における患者の優先度を考慮した看護師の訪問計画問題の定式化を行い、看護師の最大労働時間と、訪問されない患者がいる場合に発生するペナルティ（以降、未訪問ペナルティと呼ぶ）のパラメータを変化させて計算し、それらの変化が結果に及ぼす影響を明らかにする。

2. 在宅医療における訪問計画問題

本研究では複数の看護師が1つの拠点から複数の患者を訪問する際の訪問順序の最適化問題を、以下のよう定式化する¹⁾。なお、目的関数は、看護師の労働費用と早着遅刻ペナルティ、看護師の時間外労働手当、未訪問ペナルティを重みづけした和とし、未訪問ペナルティは患者の優先度によって決まる既知の値とする。

Minimize

$$z = \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c'_{ij} x_{ijk} + \sum_{k \in K} w_k + \alpha \sum_{i \in V} p_i (1 - \sum_{k \in K} \sum_{j \in V} x_{ijk}) \quad (1)$$

Subject to

$$wh_k \leq l' \quad \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{j \in V} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \in V} x_{i0k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ihk} - \sum_{j \in V} x_{hjk} = 0 \quad \forall h \in C, \forall k \in K \quad (5)$$

$$s_{ik} + t_{ij} - s_{jk} \leq (1 - x_{ijk}) M_{ijk} \quad \forall (i,j) \in A, \forall k \in K \quad (6)$$

$$a'_i \leq s_{ik} \leq b'_i \quad \forall i \in V, \forall k \in K \quad (7)$$

$$a_i \leq s_{ik} \leq b'_i \quad \forall i \in V, \forall k \in K \quad (8)$$

$$|K| = n \quad (9)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in A, \forall k \in K \quad (10)$$

$$c'_{ijk} = \begin{cases} c_{ij}, & \text{if } a_j \leq s'_{jk} \leq b_j \\ c_{ij} + c_l(s'_{jk} - b_j), & \text{if } b_j < s'_{jk} \leq b'_j \\ c_{ij} + c_e(a_j - s'_{jk}), & \text{if } a'_j \leq s'_{jk} \leq a_j \end{cases} \quad (11)$$

$$w_k = \begin{cases} 0, & \text{if } wh_k \leq l \\ (v_k - l)c_n, & \text{if } wh_k > l \end{cases} \quad (12)$$

ただし、

k	: 看護師番号	K	: 看護師集合
i, j, h	: 患者番号	C	: 患者集合
V	: 患者と拠点の集合	n	: 総看護師数
c'_{ij}	: 早着遅刻ペナルティと看護師の労働費用の和 (円)		
α	: 未訪問ペナルティの重みづけ係数		
p_i	: 未訪問ペナルティ (円)		
x_{ijk}	: 看護師 k が患者 $i-j$ を訪問するときには 1, それ以外の時は 0 をとる整数変数		
w_k	: 時間外労働による割増分の費用 (円)		
t_{ij}	: 患者 i ($i=0$ の時は拠点) での作業時間と $i-j$ 間の移動時間の和 (分)		
q	: 看護師の最大労働時間 (分)		
A	: 患者、または拠点 (i,j) の組み合わせの集合		
a_i	: 患者や拠点 i での早着遅刻ペナルティが発生しない時の最早到着時刻 (分)		
a'	: 患者や拠点 i での早着遅刻ペナルティが発生した時の最早到着時刻 (分)		
b_i	: 患者や拠点 i での早着遅刻ペナルティが発生しない時の最遅到着時刻 (分)		
b'	: 患者や拠点 i での早着遅刻ペナルティが発生した時の最遅到着時刻 (分)		
s_{ik}	: 看護師 k が患者 i のサービスを始める時刻 (分)		
s'_{ik}	: 看護師 k が患者 i のもとに到着する時刻 (分)		
v_k	: 看護師 k の労働時間 (分)		
l	: 時間外労働が発生しない時の看護師の最大労働時間 (分)		
l'	: 時間外労働が発生したときの看護師の最大労働時間 (分)		
c_n	: 単位時間当たりの看護師の時間外労働手当 (円/分)		

c_l : 単位時間当たりの遅刻ペナルティ(円)
 c_e : 単位時間当たりの早着ペナルティ(円)
 M_{ijk} : 十分に大きな定数

3. 計算ケース

本研究では大きく分けて 2 つのケースの計算を行う。ケース 1 を看護師の最大労働時間が 480 分で看護師の時間外労働を認めないケースとし、ケース 2 を最大労働時間が 600 分で時間外労働を 2 時間まで認めるケースとする。また、それぞれのケースの中でも α の値を 0, 0.1, 1, 10 の 4 段階に変化させて計算を行う。

未訪問ペナルティは患者の優先度に応じた定数で、ケース 1 とケース 2 で異なる値を与える。その値は、少なくとも $\alpha=1$ のときに、より多くの患者を訪問したときのほうが目的関数値を小さくするような値に設定する。拠点と患者の配置と到着時刻の制限は、全てのケースにおいて、Solomon のベンチマーク問題の R_101_25 のデータを利用する。なお、この配置は、1 つの拠点の周りに 25 の患者がランダムに配置されている。看護師の労働費用は 32.8 円/分とし、早着ペナルティはこれと同等、遅刻ペナルティはこの 5 倍の費用がかかるものとする。訪問先での作業時間は患者ごとに 30 分, 60 分, 90 分, 120 分の中からランダムに与えられ、全てのケースにおいて一定であるものとする。最適化問題の解法には、近似解法である挿入法を用いる。

4. 計算結果

計算結果として、図-1 と図-2 に、それぞれケース 1 とケース 2 の目的関数値を示す。また、図-3 に、各ケースの労働費用と早着遅刻ペナルティの和の値を示す。ただし、全ての患者を訪問できる人数はケース 1 では 6 人、ケース 2 では 5 人で、それ以下の人数では全ての患者を訪問できていない。

図-1 と図-2 より、 α の値が 0.1 以下では全ての患者を訪問しない方が良いという結果になること、および、時間外労働の発生を認めると 1 人の看護師が訪問できる患者の人数が増えることがわかる。また、図-3 からは、 α の値が大きいくほど看護師の労働費用と早着遅刻ペナルティの和は大きくなり、時間外労働の発生を認めると、労働費用と早着遅刻ペナルティの和は大きくなることわかる。

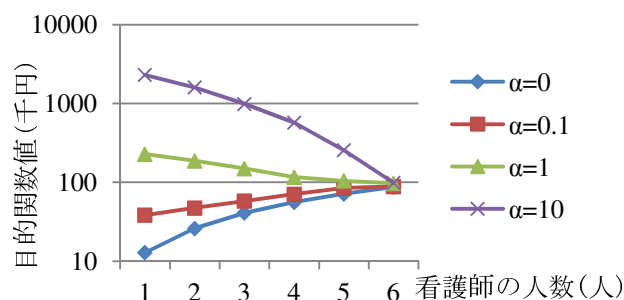


図-1 ケース 1 の目的関数値

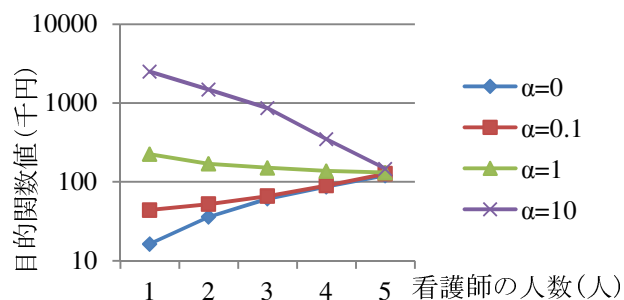


図-2 ケース 2 の目的関数値

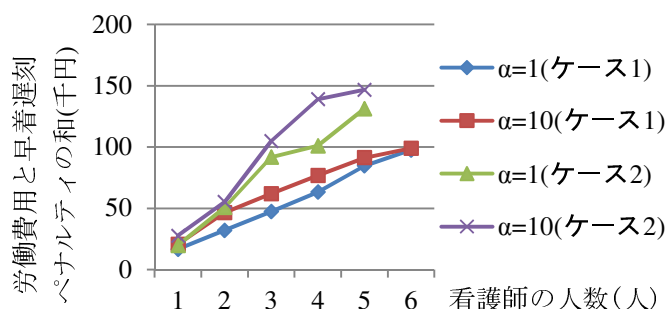


図-3 労働費用と早着遅刻ペナルティの和

5. 結論

本研究では在宅医療における看護師の訪問計画問題の定式化を行い、看護師の最大労働時間と未訪問ペナルティの項の重みづけ係数 α を変化させて計算を行った。その結果、時間外労働の発生により、看護師 1 人当たりの訪問患者数が増え、看護師の労働費用と早着遅刻ペナルティの和が大きくなること、未訪問ペナルティが厳しいほど、看護師の労働費用と早着遅刻ペナルティの和が大きくなることの知見を得た。今後の課題としては、より現実に近いデータや設定に対して、モデルの適用を行いたい。

参考文献

- 1) Rasmussen, M. S., Justesen, T., Dohn, A. and Larsen, J.: The Home Care Crew Scheduling Problem: Preference-based visit clustering and temporal dependencies, European Journal of Operational Research 219, 598-610, 2012.