

在宅介護ヘルパー・スケジューリングのための基礎的研究

01009840	成蹊大学	*池上敦子	IKEGAMI Atsuko
	成蹊大学	宇野綾希	UNO Aki
	成蹊大学	雨谷賢一	AMAGAI Kenichi
(社福) 至誠学舎立川至誠ホーム		上原幸恵	UEHARA Yukie
(社福) 至誠学舎立川至誠ホーム		有賀清美	ARIGA Kiyomi
(社福) 至誠学舎立川至誠ホーム		中川謙夫	NAKAGAWA Norio
(社福) 至誠学舎立川至誠ホーム		春山順子	HARUYAMA Junko

1 はじめに

在宅介護を対象とするヘルプステーションでは、通常、常勤のヘルパーの他に、パートや登録といった、勤務した時間等に依存して賃金を得るタイプのヘルパーが勤務しており、利用者にサービスを提供している。利用者は、ケアマネージャーが設定したサービスや時間に基づき、指定した時刻にサービスを受けることになるが、サービスの種類や、必要とするスキルなどによって、対応するヘルパーも何人かに絞り込まれているのが一般的である（ここでは、担当ヘルパーと呼ぶことにする）。

在宅介護におけるヘルパーのスケジュールは、先ず第一に、利用者のサービスを確実にカバーすることであり、穴をあけることは決して許されない。スケジュールは、利用者の必要とするサービスとその時刻、ならびに所在地の情報と、ヘルパーの勤務可能日や勤務可能な時間帯ならびにスキルレベルの情報を頭に入れ、毎月、このスケジュールを作成することになる。この他に、ヘルパーにとっての空き時間を極力作らない、ヘルパー間の負荷の偏りが無いようにする、利用者にとって、ヘルパーの偏りのないようにする、さらに、ヘルパーと利用者の相性等、さまざまな条件を考慮しなければならない。

本研究では、この問題を、サービスの質を守ることを第一に考えるという面からは、ナース・スケジューリング問題 [1]、時間指定のあるサービスに移動時間等も考慮して訪問するという面からは、時間指定のあるビークル・ルーティング問題 [2] を意識し、問題のモデル化やアルゴリズム開発に必要な情報を整理する。特に、本発表では、利用者のサービスを確実にカバーするための「各日に必要なヘルパーの人数」の下限値について議論する。

2 ヘルパー・スケジューリング

問題の拘束条件を以下の記号を利用して説明する。

$M = \{i \mid i \text{ はスケジューリング対象ヘルパー} \}$.

$N = \{j \mid j \text{ はスケジューリング対象日} \}$.

$U_j = \{k \mid k \text{ は } j \text{ 日にサービスが必要な利用者} \}$.

ub_{ij} : ヘルパー i の j 日のサービス件数上限値。

p_{ijk} : ヘルパー i が j 日の利用者 k の「担当ヘルパーの 1 人」であるか (値 1)、否か (値 0) を示す。

q_{jkh} : j 日の利用者 k の直後に h への訪問が、時間的・距離的に可能か (値 1)、否か (値 0) を示す。

便宜上、 $k=0$ をヘルパーが各日にスタート、および戻ってくる地点 (ヘルプステーション) とし、 $p_{ij0} = 1, i \in M, j \in N$, と $q_{j0k} = q_{jk0} = 1, k \in U_j, j \in N, q_{j00} = 0, j \in N$ を設定しておく。

決定変数 x_{ijkh} を、ヘルパー i が j 日に利用者 k の直後に利用者 h を訪問するとき 1、そうでないとき 0 となる 0-1 変数とし、以下に拘束条件を示す。

$$(1) \sum_{i \in M} \sum_{h \in U_j \cup \{0\}} x_{ijkh} = 1 \quad k \in U_j, j \in N$$

$$(2) \sum_{h \in U_j \cup \{0\}} x_{ijkh} = \sum_{h \in U_j \cup \{0\}} x_{ijkh} \quad i \in M, k \in U_j, j \in N$$

$$(3) \sum_{h \in U_j} x_{ij0h} \leq 1 \quad i \in M, j \in N$$

$$(4) \sum_{k \in U_j \cup \{0\}} \sum_{h \in U_j} x_{ijkh} \leq ub_{ij} \quad i \in M, j \in N$$

$$(5) x_{ijkh} \leq p_{ijk} \cdot p_{ijh} \cdot q_{jkh} \quad i \in M, k, h \in U_j \cup \{0\}, j \in N$$

$$(6) x_{ijkh} = 0 \text{ or } 1 \quad i \in M, k, h \in U_j \cup \{0\}, j \in N$$

(1)~(5)の拘束条件の意味は以下の通りである。
 (1) j 日にサービスを必要とする利用者 k に対し、ヘルパーの1人が、必ず訪問する、(2) ヘルパー i が、利用者 k を訪問する場合、必ず直前の訪問先と直後の訪問先が存在し、訪問しない場合は、その両方が存在してはいけない、(3) ヘルパー i が j 日の最初に訪問できる利用者は高々1件、(4) 1日の訪問件数の上限を守る、(5) 担当、時間帯、距離的に考えて、不可能な訪問順序を禁止する。

ここでは、絶対守らなくてはならない条件のみで拘束条件を構成したので、目的関数では、(i) コスト最小化(空き時間の最小化)、(ii) ヘルパー間の負荷の平準化、(iii) ヘルパーの賃金の適正化、(iv) 利用者に対するヘルパーの偏り最小化、また、場合によっては、(v) ヘルパー人数の最小化など、多くの要素を考慮しなければならない。

3 ヘルパー必要人数の下限值

この問題を解くためには、各日に必要なヘルパーが確保されていることが大前提である。

そこで、Subproblem-centric Approach[1]の利用を念頭に入れ、1日分のスケジュールを作成する問題を「部分問題」として設定する。

この部分問題は、ピークル・ルーティング問題の構造をもち、担当ヘルパー制約を緩和(すべての p_{ijk} を1に設定)すれば、時間指定およびキャパシティ制約付ピークル・ルーティング問題[2]、さらに、1日のサービス件数の上限を緩和($ub_{ij} = \infty, i \in M$)すれば、ヘルパーの人数の最小化は、Dantzig[3]のタンカー・スケジューリングと同等になる。

その日の利用者数(仮に n とする)だけ需要ノードを作成し、その需要量を1とする。そして、ヘルプステーションを表す供給ノード(供給量 n)と利用者へのサービス終了直後の(つまりフリーになった)ヘルパーを表すノード(供給量1)を n 個作成する。さらに、その日のサービスを終了したヘルパーが戻るヘルプステーションを表す需要点(需要量 n)を用意する。この供給ノード($k \in U_j \cup \{0\}$)と需要ノード($h \in U_j \cup \{0\}$)の間には、時間的・距離的に可能なペア($q_{jkh} = 1$ となる k と h)にアークをひき、供給ノード0から出るアークのみコスト1、それ以外のアークにはコスト0を設定して、輸送問題として解く。

これを解いて得られたヘルパー人数は、その日に必要なヘルパーの人数の下限值になるが、そのすべてが、朝早くから夕方遅くまでの勤務が必要なのではない。そこで、どのタイミングで何人のヘルパーが必要になるのかを知るために、各利用者のサービス開始時刻毎に、その利用者も含め、その時刻までにサービスをスタートすべき利用者を対象に、同様な輸送問題を解いて、その時点までの「必要ヘルパー人数」を得る。逆に、各利用者のサービス終了時刻毎に、その利用者を含め、その時刻以降にサービスが終了する利用者を対象に、同様な輸送問題を解いて、その時点以降に対する「必要ヘルパー人数」を得る。横軸を時間、縦軸を人数としたグラフ上に、この2つをそれぞれステップ関数のように描くと、勤務をスタートしなければならない人数や終了してもよい人数が読みとれるようになる。また、これらを相殺して、各時間帯に必要な人数の下限值を得ることができる。

必要人数の下限值計算に加えて、その日に勤務可能なヘルパーに対し、時間制約を緩和($q_{jkh} = 1, k \neq h \in U_j$ に設定)し、別の輸送問題を解くこと(供給量 u_{ij} をもつ供給ノード $i \in M$ と需要量1をもつ需要ノード $k \in U_j$ と p_{ijk} に基づくアーク)により、その実行可能性を探ることを考えた。

4 おわりに

双方の結果をあわせることにより、事前にヘルパー不足状況を得、カバーできない利用者を知ることにより「どのヘルパーに応援を頼めば有効か」の議論に必要な情報を得ることができた。

参考文献

- [1] Ikegami, A., Niwa, A. : A Subproblem-centric Model and Approach to the Nurse Scheduling Problem, *Mathematical Programming Series B* **97**, 517-541, 2003.
- [2] 池上敦子, 丹羽明 : 時間指定のあるピークル・ルーティング問題, *Journal of the Operations Research Society of Japan* **38**, 107-123, 1995.
- [3] Dantzig, G. B., Fulkerson, D. R. : Minimizing the number of tankers to meet a fixed schedule, *Naval Research Logistics Quarterly* **1**, 217-222, 1954.