

訪問介護スタッフ・スケジューリング

池上敦子* 緒方洋平* 森田隼史* 土谷隆†

* 成蹊大学 † 統計数理研究所

1 はじめに

訪問介護を対象とする事業所では、通常、常勤ヘルパーの他に、パートや登録型といった、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内容に基づき、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。

訪問介護におけるヘルパーのスケジューリングでは、利用者のサービスを確実にカバーすることが何よりも大事であり、穴をあけることは決して許されない。ヘルパーの勤務表と利用者へのサービス提供表を作成する担当者は、利用者が必要とするサービスとその時刻ならびに利用者宅の地理的情報、そして、ヘルパーの勤務可能日や勤務可能時間帯ならびにスキルレベルの情報を頭に入れ、毎月、このスケジューリングをおこなうことになる。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ないようにする、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。その作成に、昼夜あわせて数日を要する場合もあるという。

この問題を数理的に捉えると、サービスの質を守るという面からは、看護師勤務表作成問題（ナース・スケジューリング）[1][2][3][4]、時間指定のあるサービスに対し移動時間等を考慮して訪問するという面からは、時間指定のある配送計画問題（ビークル・ルーティング）[5][6][7] やタンカー・スケジューリング [8] 等を意識することができる。これら個々のテーマについてはこれまでも多くの研究がなされてきたが、ヘルパーに関わる条件、利用者に関わる条件、そして、ヘルパーと利用者の組合せや、移動時間をも考慮し、その他の様々な考慮点や目標が与えられる「訪問介護ヘルパーのスケジューリング」については、ごく最近、海外で論文 [9] が出始めたものの、わが国では、その問題の数理的構造すら明らかになっていないのが現状である。

また、スタッフ・スケジューリングについては、航空機の乗務員を対象に多くの研究 [10][11][12] がおこなわれてきているが、介護する者とされる者という人対人の関係を抱えながら、さらに介護の質を問われるこの問題は、その他のスタッフ・スケジューリングとは、異なる構造を持つと考えられる。

そこで、本研究では、問題の数理的構造を明らかにし、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。具体的には、訪問介護事業所の勤務表作成担当者に対して、スケジューリングにおける考慮点、スケジューリングにおける負荷、利用しているツール等に関するアンケート調査をおこなったので、その結果を報告する。そして、アンケート調査結果から明らかになったスケジューリングのための「制約条件」と「目標となる考慮点」を整理し、この問題を扱う数理モデルを提案する。

2 問題説明

2.1 訪問介護

訪問介護における需要は，訪問介護事業所周辺に住む利用者のサービス依頼にあたり，利用者は，必要とする「サービスの種類と曜日と時刻」を事業所に明らかにする．このサービスの提供パターンは事業所との契約時に決定されるものの，利用者の容態や希望により，月単位でも頻繁に変更になる上，急なキャンセルやサービスの追加もあるという．

一方，この問題の供給側にあたるのが，ヘルパーの勤務時間である．パートや登録型といった，働ける時間に制約のあるヘルパーが主力となるこの問題では，勤務可能時間帯（タイムウィンドウ）制約付きヘルパーを，時間指定のあるサービスに割り付けることになるが，勤務表作成担当者は，移動時間や利用者に対するヘルパーの担当制約の他，ヘルパーに支払う給料（つまり振り当てる仕事量）や，負荷の平準化（名目は同じ仕事内容でも，利用者の体重などによりヘルパーにかかる負荷も異なるという）を考慮し，この割当問題を解かなければならない．

例として，ある訪問介護事業所の1日分のデータ（簡略化したデータ）を以下に示す．表1は，サービスの情報（指定された時刻），表2は，この日に勤務可能なヘルパーの情報（勤務可能時間帯）である．表1では，サービスの内容を示していないが，実際には，身体に関わるもの，生活に関わるもの，そしてその両方に関わるものという3種類のサービスがある．この日の各サービスに対して，受け持ち可能なヘルパーのリストを表3に示す．

ここでは小さめのデータを示したが，勤務可能なヘルパーの数，利用者の数ならびにサービスの数は，その事業所の規模によって大きく異なる．

表 1: サービスの時間指定

サービス番号	利用者氏名	開始時刻	終了時刻
1	赤塚 代	10:30	12:00
2	赤塚 代	15:30	16:30
3	青山 子	9:30	12:30
4	黒田 代	9:00	11:30
5	白川 郎	8:30	10:30
6	灰崎 子	15:00	17:00
7	緑川 平	10:30	12:00
8	緑川 美	10:30	12:00
9	桃井 子	14:30	16:30
10	黒木 夫	13:00	14:00
11	白石 江	15:40	16:40
12	茶川 子	10:00	12:00
13	紺屋 子	11:00	12:00
14	緋川 子	9:30	12:00
15	鷺谷 子	13:00	14:00
16	金田 子	11:30	12:30

表 2: ヘルパーの勤務可能時間

ヘルパー番号	氏名	開始時刻	終了時刻
1	池上	9:00	16:30
2	緒方	9:00	17:30
3	森田	7:00	19:00
4	笹川	9:00	16:30
5	星名	7:00	12:00
6	岡本	9:00	18:30
7	宇野	7:00	19:00
8	雨谷	7:00	19:00
9	荻久保	7:00	19:00

表 3: サービスに対する担当ヘルパー

サービス番号	ヘルパー番号					
1	7					
2	7					
3	3	5	8			
4	1	8				
5	1	2	7	8	9	
6	7	9				
7	1	2	3	9		
8	1	2	3	9		
9	2	5				
10	1	4	8			
11	2	6	7	8		
12	2	5	6	7		
13	8	9				
14	1	2	6			
15	1	6				
16	1	2	4	5	6	

2.2 勤務表作成の考慮点

3節のアンケート調査に先立ち、東京都内の訪問介護事業所（2004年12月22日現在：ヘルパー数27名、利用者数70名）の勤務表作成担当者1名のスケジュールリング作業の観察（2004年9月21日、22日、10月22日、11月22日、12月22日の計5日間）と、担当者3名のインタビューをおこない、考えうる制約条件の洗い出しをおこなった。その結果を以下に示す。

利用者に対して

- (1) 指定されたサービス時刻を確実に守る
- (2) 1人の利用者に複数ヘルパーが対応可能な場合、サービスを提供するヘルパーが特定のヘルパーに偏らないようにしている
- (3) 定期的に責任者（例えば常勤ヘルパー）がサービスを提供している
- ヘルパーにかかる負荷、仕事量、支払われる給料について
- (4) 希望している曜日や時間帯以外には仕事を依頼しない
- (5) 1日の勤務負荷に上限をつけている（例：入浴介護は1日1回まで）
- (6) 1日の訪問数に上限をつけている（例：1日の訪問数は4件まで）
- (7) 勤務表対象期間（例えば1ヶ月）を通して、負荷（肉体的または精神的に気を使う仕事）が一部のヘルパーに偏らないようにしている
- (8) 給料については、望まれる水準を満たせるように仕事を割当てている
- (9) 公休を確実に達成できるようにしている
- (10) 相性のよくない訪問先への割当てを避ける、または少なくなるようにしている

経営の観点から

- (11) 働いてもらう量に関しては、ヘルパー間に優先順位がある（例えば、パートヘルパーには、可能な限りたくさん働いてもらいたい。常勤ヘルパーには、新規利用者や急な変更に対応できるよう勤務表作成時には多くの仕事を割り振りたくない、等）
- (12) ヘルパーに支払う給料の合計を最小限に抑えたい

3 アンケート調査

アンケートの対象を東京都内の全訪問介護事業所とし、東京都のホームページ「とうきょう福祉ナビゲーション」<http://www.fukunavi.or.jp/fukunavi/> に登録されている東京都内の2380訪問介護事業所（2004年11月24日現在）宛てに、A3の質問用紙を送付（2004年12月6日）して、2004年12月1日現在の状況を（記名、無記名は自由選択で）回答してもらった。回答締め切りを2004年12月末としたが2005年2月24日までに回収された回答を集計した。回収数は387通（全質問無回答の3通を除く）、宛先不明、転居先不明、撤退、休止等が97通あったので、回収率は、 $17.0\%(387 \div (2380 - 97) \times 100)$ であった。

アンケートでは、基本情報として、勤務表作成の対象となるヘルパー数と利用者数、勤務表作成対象期間、ヘルパーによる勤務時間帯の違い、利用者に対する担当ヘルパーの決め方、訪問介護事業所のヘルプステーションや利用者宅間の移動時間と移動手段を質問した。そして、勤務表作成における制約条件として、2節で明らかにした制約条件を取り入れているかについて、それぞれ はい、考慮

しているが他の制約のために達成できない場合がある，考慮したいが実際には難しい，特には考慮していない，の4つの中から選択してもらい，それ以外で考慮している条件や，その他考えていることを自由に述べてもらった．以下に調査結果を示す．

3.1 基本情報

ヘルパー数

勤務表作成対象ヘルパー数は，1事業所あたり平均36.6名（常勤3.9名，パート5.7名，登録型27.0名）であり，最も少ない人数の事業所では3名，最も多い事業所では444名であった（回答数364）．また，常勤ヘルパーは0～52名，パートヘルパーは0～240名，登録型ヘルパーは0～444名の範囲で分布していた．1事業所あたりの各タイプのヘルパーの割合の平均は，常勤18.8%，パート18.8%，登録型62.5%であった．1事業所における各タイプのヘルパーの割合に対する事業所の分布を観察すると，常勤ヘルパーの占める割合が15%以下の事業所が多いこと（227事業所），登録型ヘルパーの占める割合が85%より多い事業所が多く存在すること（167事業所）がわかった．但し，以上の結果は，各タイプのヘルパー数に対し未記入だったもの（常勤未記入28事業所，パート未記入199事業所，登録型未記入77事業所）を0名として扱っている．

利用者数

勤務表作成対象利用者数は，1事業所あたり平均69.4名，最も少ない事業所で1名，最も多い事業所で976名であった（回答数365）．その数に対する事業所の分布を表4に示す．また，1ヘルパーあたりの利用者数（利用者数÷ヘルパー数）は平均2.1であり，0.1～6の範囲であった（計算可能回答数351）．その数に対する事業所の分布を表5に示す．

表 4: 1事業所あたりの利用者数

利用者数	事業所数
1 - 50	194
51 - 100	113
101 - 150	30
151 - 200	11
201 - 250	4
251 - 300	6
301 -1000	7

対象期間

勤務表作成対象期間は，1ヶ月毎が247事業所，4週間毎が9事業所，2週間毎が14事業所，1週間毎が86事業所，それ以外が32事業所（回答事業所数378，そのうち10事業所が重複回答）であった．その他の意見で「頻繁に利用者の予定変更やヘルパーの予定変更が起こることから再スケジュールリングも頻繁に起こっている」ことが述べられていたものの，多くの事業所において，1ヶ月毎にスケジュールリングがおこなわれ，そのタイミングでヘルパーには勤務表，利用者にはサービス提供表が配られていることがわかった．

表 5: 1 ヘルパーあたりの利用者数

1 ヘルパーあたりの利用者数	事業所数
0.0 ~ 0.5 以下	13
0.5 ~ 1.0 以下	70
1.0 ~ 1.5 以下	38
1.5 ~ 2.0 以下	69
2.0 ~ 2.5 以下	52
2.5 ~ 3.0 以下	44
3.0 ~ 3.5 以下	21
3.5 ~ 4.0 以下	20
4.0 ~ 4.5 以下	10
4.5 ~ 5.0 以下	5
5.0 ~ 5.5 以下	2
5.5 ~ 6.0 以下	7

それ以外の作成対象期間としては、「変更の都度」が 8 事業所、「毎日」が 7 事業所、そして「固定」または「行っていない」が 3 事業所となっていた。

勤務時間帯

働ける曜日や時間帯はヘルパーによって異なるか、については、368 事業所が「はい」と答えている（「いいえ」11，無回答 8）。

担当ヘルパー

1 人の利用者に対しサービスを提供するヘルパーを、原則として、どのように決めているかについては、(i) 担当ヘルパーを 1 名に固定し、そのヘルパーだけがサービスを提供している：54 事業所、(ii) 担当ヘルパーを複数決めておき、その中から 1 人がサービスを提供している：247 事業所、(iii) 担当は決めず、どのヘルパーでもサービスを提供できるようにしている：57 事業所、であった。この他、複数回答もあり、(i) と (ii)：16 事業所、(i) と (iii)：1 事業所、(ii) と (iii)：7 事業所、(i)(ii)(iii) 全て：2 事業所、であった（回答数 384，無回答 3）。

また、同じ利用者でもサービス内容によって担当できるヘルパーが異なるかについては、288 事業所が「はい」、87 事業所が「いいえ」と答えている（無回答 12）。

移動時間

ヘルプステーションや利用者宅の間の移動時間の最短と最長を質問した結果、最短移動時間の平均は 5.4 分、最長移動時間の平均は 32.4 分であった（回答数 366）。1 時間以内での移動が 354 事業所と大部分の事業所を占め、30 分以内での移動が 273 事業所であった。また、最短移動時間の最大は 1 時間、最長移動時間の最大は 2 時間であった。

移動手段

ヘルプステーションや利用者の間を移動するときの手段とそのおよその割合を、徒歩、自転車、バイク、車、バス、電車について質問したが、利用の割合が 50%以上、30%以上、そして、利用はあるけれど 30%未満の事業所数（累積数）を表 6 に示す（回答数 378）。自転車の利用が多いことがわかる。

まとめ

「とうきょう福祉ナビゲーション」に登録されている事業所数も増加を続ける（2005 年 4 月 8 日現在では 2625 事業所であり、4 ヶ月半で 245 事業所増えている）と同時に、宛先不明、転居先不明、撤退、休止等も非常に多く存在することがわかった（今回の調査では 97 事業）。そして、さまざまな規模（ヘルパー数や利用者数）の

表 6: 移動手段とその利用率

手段	50%以上の利用	30%以上の利用	わずかでも利用
徒歩	12	30	216
自転車	299	322	356
バイク	0	3	128
車	35	51	116
バス	1	1	16
電車	21	37	147

事業所が存在し、まだまだ変動の大きい事業であることがうかがえた。また、そのサービスを担うヘルパーの多くは登録型であり、安定したヘルパーの確保が難しいこと、またヘルパーの事業所間の移動、そして事業所を掛持ちしているヘルパーのスケジュールの難しさ等が、その他の意見で挙げられていた。

対象利用者は、多くは1時間以内で移動できる範囲に分布しており、スケジュールリングは1ヶ月単位で発生する事業所が多く、移動手段は自転車为主となっていた。

3.2 制約条件

スケジュールリングの際に考えられる制約条件について、どの程度考慮しているかを尋ねた質問について、質問内容と回答事業所数を表7に示す。

表 7: 制約条件を守る度合いに対する事業所数

はい、考慮しているが他の制約のために達成できない場合がある、考慮したいが実際には難しい、特に考慮していない、他：無回答、無効回答、対象外。

番号	質問概要(制約条件)					他
(1)	指定されたサービス時刻を確実に守る	<u>254</u>	<u>129</u>	3	0	1
(2)	サービスを提供するヘルパーが特定のヘルパーに偏らないようにしている	<u>170</u>	<u>135</u>	31	29	22
(3)	定期的に責任者(例えば常勤ヘルパー)がサービスを提供している	<u>145</u>	<u>98</u>	69	64	11
(4)	希望している曜日や時間帯以外には仕事を依頼しない	<u>136</u>	<u>173</u>	67	8	3
(5)	1日の勤務負荷に上限をつけている	75	89	60	<u>156</u>	7
(6)	1日の訪問数に上限をつけている	64	79	52	<u>186</u>	6
(7)	勤務表対象期間を通して、負荷が一部のヘルパーに偏らないようにしている	<u>155</u>	<u>130</u>	67	30	5
(8)	給料については、望まれる水準を満たせるように仕事を割当てている	<u>146</u>	<u>140</u>	88	8	5
(9)	公休を確実に達成できるようにしている	<u>193</u>	<u>117</u>	47	26	4
(10)	相性のよくない訪問先への割当を避けるまたは少なくなるようにしている	<u>281</u>	78	11	11	6
(11)	働いてもらう量に関しては、ヘルパー間に優先順位がある	<u>159</u>	<u>121</u>	40	60	7
(12)	ヘルパーに支払う給料の合計を最小限に抑えたい	53	49	84	<u>195</u>	6

重複回答に関しては、制約(1)(2)(3)(4)(8)(9)(10)のそれぞれで と が1事業所、制約(2)で と が11事業所、制約(8)で と が11事業所、存在したが、いずれも若い方の番号に含めて集計した。また、30%以上の事業所、50%以上の事業所が回答した部分については、それぞれ下線と太字を利用することにより、回答の傾向がわかるようにしてある。

その他の考慮点

制約(1)~(12)以外で考慮していることを自由記述してもらったので、その内容を整理した結果を表8に示す。

まとめ

制約(1)~(12)の中で「考慮していない制約」の数(の数)に対する、事業所の

表 8: その他の考慮点

スケジュールングにおいて制約条件となり得る考慮点		事業所数
ヘルパーの移動	ルートの質（移動距離、移動時間、待機時間、移動余裕時間、交通手段、坂道等の身体的負荷）	20
	交通費がかからないようにする	2
ヘルパーの稼働条件	適正な労働時間数、仕事量、給料	15
	休日の確保	4
	ヘルパーの生活、健康等に対する配慮	4
その他	1 利用者に対してヘルパーの偏りを避ける、出来るだけ同一のヘルパーにする	3
	利用者の都合を最優先、利用者間の優先順位、ヘルパー間の優先順位	4
スケジュールング前後における考慮点（人事・担当・方針・問題点・その他）		
ヘルパーの確保	雇用ヘルパーの確保（人数不足やヘルパーの質の問題、採用、教育）	6
	日々のヘルパー人数の確保、サービス時間帯の偏りへの対応	9
ヘルパーと利用者のマッチングにおける考慮点	担当ヘルパー体制について（担当が長期にならないようにする、週1回なら担当は1人、複数担当制）	4
	ヘルパーの技術、経験、年齢、性別、性格、適性	16
	利用者の希望、利用者と家族との関係	11
	その他（サービス内容、相性、利用者とヘルパーの居住地の距離、家族との関連性の有無）	10
サービスの質を守る	担当件数等を少なく、利用者に柔軟に対応できるスケジュール、相談できる体制、等	7
スケジュールの変更	利用者側の変更（サービスのキャンセル、追加、変更、通院介助等の不規則な依頼）に対する苦勞	8
	ヘルパー側の変更（急な休み、代行ヘルパーの確保等）に対する苦勞	8
その他	目指す勤務表作成（柔軟性、公平、もれのない、見やすいもの）	5
	手続きに関すること（勤務表提示方法、希望時間の申告方法、駐車場の確保）	3
	その他の苦勞	7

分布を表9に示す。ここからは、64%の事業所が10制約以上、84%の事業所が9制約以上、92%の事業所が8制約以上を考慮したいと考えていることがわかる。

最も考慮対象となっていない制約は、ヘルパーに支払う給料の最小化（制約(12)）であった。給料については、望まれる給料の水準を満たすこと（制約(8)）の方が重要だと言えそうである。その次に考慮対象とならなかった制約としては、ヘルパーの1日あたりの仕事量や負荷が挙げられた。サービス時間や移動時間から自ずと1日の仕事量の上限が決まってくるため、特に考慮する必要性を感じていないことが考えられる。

表 9: 12 制約条件のうち「特に考慮していない条件」の数とその事業所数

「特に考慮していない条件」と回答した数	事業所数
0	83
1	86
2	82
3	74
4	30
5	22
6	8
7	2
8	0
9	1
10～12	0

また、事業所毎に回答番号

の番号自体を数値としてこの平均値を計算

した結果と、その数に対する事業所の分布を表 10 に示す。ラフではあるが、この値が低い方が、提示した制約をより強く考慮している（考慮できている）と考えることができる。ここで、番号の平均の最も高い値（最も制約を考慮していない事業所における数値）は 3.8（(1)(3)(8) が、それ以外、その他の考慮点なし）であった。この事業所の利用者数は 300 名以上だが、担当ヘルパーは固定せず誰でもサービス提供可能であり、なぜか勤務表作成はおこなっていなかった。しかし、ヘルパーの質に対する問題点をその他の意見で述べており、作成ソフトウェア利用も希望していた。

表 10: 回答番号の平均値とその事業所数

回答番号の平均値	事業所数
1	2
1~1.5 以下	36
1.5~2 以下	139
2~2.5 以下	161
2.5~3 以下	48
3~3.5 以下	0
3.5~4 以下	1

表 7 の結果からは、ほとんどの事業所で、(1)~(4)、(7)~(11) の 9 つの制約を考慮している（考慮したいと思っている）ことが明らかになった。

3.3 スケジューリングのツール

スケジューリングに費やす時間

約 1ヶ月分の勤務表作成に費やす時間（考えている時間を含めて）を、数値で回答のあった 262 事業所のうち、スケジューリング対象期間が明らかな（重複回答していない）240 事業所を対象に集計した。アンケートでは「スケジューリング対象期間」と「1つの勤務表の作成に費やす時間」を別々に質問していたので、期間の違いを統一するため、1ヶ月毎または 4 週間毎に作成している場合に対し、2 週間毎に作成している場合は、その作成時間を 2 倍、1 週間毎に作成している場合は 4 倍して扱うことにした。

勤務表作成時間の平均は 9.2 時間、最短は 5 分、最長は 120 時間と非常に大きなばらつきがあった。また、明確な時間数で表していない回答（「わからない」3 事業所、「はかりしれない」「不明」「ケースバイケース」それぞれ 2 事業所、「特定できない」「無限・とても多い」「7 日」「5~7 日」「2~3 日」「他業務をやりながら 2~3 日」「数日」「ずっと」「常時」「毎日」「毎日 2 時間」「月末 8 時間」「随時」「1 日分が 1 時間」「1 人約 5 分かかる」それぞれ 1 事業所：合計 24 事業所）をみると、実際の平均時間はもっと長くなると考えられる。上記の 240 事業所の分布の表とグラフを表 11 と図 3.3 に示す。表 11 には、それぞれの時間区分に対応する事業所の平均ヘルパー数と平均利用者数（ヘルパー数、利用者数に回答のあった事業所のみで平均値を計算）も示す。

表 11 からは、明確な時間数で表していなかった事業所は、その他の事業所に比べてヘルパー数、利用者数が多いことがわかる。また、4 時間未満で作成できている 102 事業所と 4 時間~120 時間で作成している 138 事業所で、1 ヘルパーあたり

表 11: 約 1ヶ月分のスケジュールリングに費やす時間とヘルパー数・利用者数

時間区分	事業所数	平均ヘルパー数	平均利用者数
1 時間未満	19	35.6	63.1
1 時間～2 時間未満	35	38.3	61.1
2 時間～3 時間未満	32	24.8	44.8
3 時間～4 時間未満	16	27.4	52.1
4 時間～5 時間未満	35	26.7	58.9
5 時間～6 時間未満	15	31.4	68.1
6 時間～7 時間未満	7	30.0	65.0
7 時間～8 時間未満	1	28.0	50.0
8 時間～9 時間未満	16	40.1	88.1
9 時間～10 時間未満	0	—	—
10 時間～20 時間未満	29	34.9	77.5
20 時間～30 時間未満	15	27.9	62.5
30 時間～40 時間未満	9	39.1	84.1
40 時間～50 時間未満	5	31.2	61.0
50 時間～120 時間未満	4	37.5	84.8
120 時間	2	22.0	44.0
明確に表していない	24	53.7	100.8

(1ヶ月分または 4 週間分の勤務表作成に費やす時間とし、2 週間毎に作成している場合は、その作成時間を 2 倍、1 週間毎に作成している場合は 4 倍することで、おおよその期間を統一した。また、平均ヘルパー数と平均利用者数については、ヘルパー数、利用者数が明記されていた事業所のみ対象として計算した。)

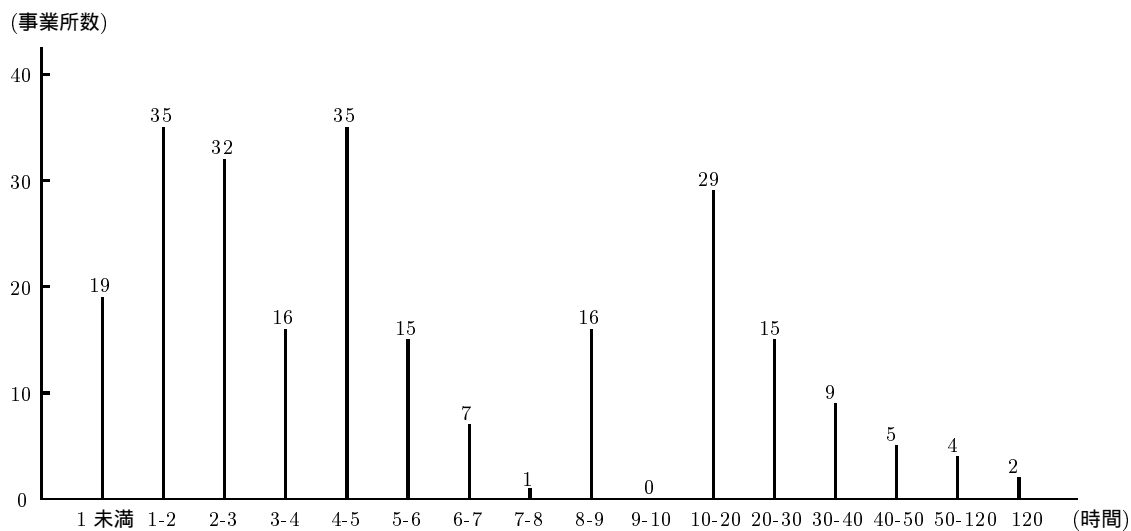


図 1: スケジュールリングに費やす時間

の利用者数（平均利用者数÷平均ヘルパー数）を比較したところ，前者は1.7，後者は2.2であった．利用者数に比べてヘルパーの数が少なくなるとスケジューリングが難しくなってくるのがうかがえる．

図3.3のグラフでは，8時間未満と8時間以上のそれぞれの範囲に分布の山があり，根本的な違いのある作成方法が複数存在する可能性が考えられる．具体的作成方法として挙げられていたものから推測すると「ある利用者のある曜日の担当は常に固定（例えば，利用者Aの水曜のサービスは，必ずヘルパーBがおこなうと固定）し，予定変更があった場合は当事者（利用者と担当ヘルパー）に調整させた結果を採用する」といった，おおよそ固定された勤務表を微調整するだけのタイプが，「これらを固定せず，すべての可能性を考慮しつつ作成する」タイプより著しく短い時間で作成できるのではないかと考えられる．また，担当ヘルパーの決め方によって作成時間が異なるかを調べたところ，1利用者に対し担当ヘルパーを1名に固定している事業所（担当ヘルパーの決め方の回答に重複がなく作成時間が明らかな28事業所）では平均作成時間が5.8時間，担当ヘルパーを複数決めていく事業所（同じく160事業所）では9.2時間，担当を決めず誰でも対応できるようにしている事業所（同じく35事業所）では13.3時間となっていた．担当ヘルパーの決め方，そして利用者とヘルパーの予定変更を誰が調整するかによって，勤務表作成時間が異なってくると考えられる．一方，スケジューリングに費やす時間と，制約(1)～(12)に対する回答の間に，何らかの関係を見つけることはできなかった．

ソフトウェア利用

勤務表作成に利用しているコンピュータソフトウェアがあると答えた事業所は134事業所，全体の35%程度であった．具体的なソフトウェア名としては，自社作成ソフトが19事業所，マイクロソフト社のエクセルが17事業所，その他30種類（最も多いソフトウェアは7事業所が利用）が挙げられた．そのうち，自動スケジューリング機能があるかという質問に対しては，約2/3（回答122事業所のうち80事業所）が「はい」と回答していた．また，自動作成された勤務表は「そのまま利用可能」が33事業所，「手直し必要」が59事業所，「全く使えない」が10事業所（101事業所が回答，うち重複回答1）であり，修正時間の平均は5.4時間，最短が1分，最長が30時間（回答50事業所）となっていた．また，スケジューリング機能を利用しているかについては「はい」が50事業所，「いいえ」が25事業所，無回答が8事業所であった．

そこで，ソフトウェア利用の場合と利用しない場合で作成時間の平均を（明確な数値で回答していた事業所を対象に）比べてみると，前者が7.1時間（対象事業所における平均ヘルパー数は40.2，平均利用者数は75.1），後者が5.2時間（平均ヘルパー数33.3，平均利用者数70.5），そしてスケジューリング機能を利用している場合には7.5時間（平均ヘルパー数37.0，平均利用者数69.0）となっていた．まだまだ「スケジューリング機能が著しく有効に働いている」とは言えなさそうである．

最後に，このアンケートで挙げた考慮点を考慮して勤務表を自動作成するようなソフトウェアが開発されたら利用してみたいか，という質問に対しては206（半分強の）事業所が「はい」と回答していた．

4 モデル化

3.2 節で明らかになった制約条件や考慮点に基づき，訪問介護スタッフ・スケジューリングのモデル化をおこなう．

4.1 訪問介護スタッフ・スケジューリング問題

まず，利用者から時間指定で要求されたサービスを確実に提供することをサービス時刻制約 (service time constraints)，各ヘルパーが勤務可能な時間帯にサービスを割り付けることを勤務時間帯制約 (work time window constraints)，そして，各利用者の各種サービスに対して担当できるヘルパーが固定されていることを担当制約 (provision constraints) と呼ぶことにする．これらの条件は，ほとんど変更できない (もしくは，ぜひ守りたい) 制約とする．前述の制約 (1) はサービス時刻制約，制約 (4)(9) は勤務時間帯制約を守ることであり，制約 (10) も担当制約に含めて考えることができる．

一方，多くの事業所で考慮したいと思われている条件のなかで，上記に含まれなかった制約 (2)(3)(7)(8)(11)，さらには制約 (10) も，ヘルパーに割当てられるサービスの量と質に関わるものと捉えることができるので「あるサービスの集合に対し，あるヘルパーを割当てる量を制限する」ことで達成可能と考える．また，このことは利用者側からみると，自分に割当てられるヘルパーのバランスを考慮するものと考えることができる．そして，これらは，サービス時刻制約，勤務時間帯制約，担当制約に比べると，比較的緩い制約になっていると思われる (実際，2.2 節の調査からも明らかになっている) ．

さらに，その他の考慮点として挙げられたものの中で，上記に含まれなかったものは，ヘルパーの移動に関するもので，移動距離，移動時間，待機時間，移動余裕時間，交通手段，坂道回避，交通費などであった．つまり，ヘルパーにとっての 1 日のスケジュール (ならびにルート) の質に関わるものである．これは，1 日分の負荷を考慮する制約 (5) や (6) とも共通の制約と考えることができる．

これらのことを踏まえ，以下に，訪問介護スタッフ・スケジューリング問題を記述し，その定式化を示す．

訪問介護スタッフ・スケジューリング問題

利用者から要求された時間制約付きサービスに対し，これらのサービスが確実に提供されるよう，担当制約，移動時間，ルートの質，そして，スケジューリング期間を通してのヘルパーの勤務負荷や利用者に対するヘルパーのバランスを考えながら，勤務に時間帯制約のあるヘルパー達をそれらのサービスに割当てたい．

言い換えれば，この問題は，各日に対する各ヘルパーにとっての適切な勤務パターン (ルート) をヘルパーの勤務負荷や利用者にとってのヘルパーのバランスを考えながら割当ててる問題といえる．

4.2 定式化

そこで， H をヘルパーの集合， D をスケジューリング対象日の集合， S_j を j 日に提供しなければならないサービス (サービスは，対象利用者，サービス時刻，担

当ヘルパーの情報を持つものとする．例えば「10:00～11:30の利用者Aへのサービスで，ヘルパーB,CもしくはDが提供可能」といった情報を持つ．通常，担当ヘルパーは対象利用者とサービス内容に依存する)の集合とし，各日各ヘルパーに対して，勤務可能な勤務パターンの集合 P_{ij} を考える．ヘルパー i の j 日のパターン $p \in P_{ij}$ の構成要素は，そのパターンに含まれる各サービス s のサービス時刻制約と担当制約，ヘルパー i の勤務時間帯制約，移動時間やパターンの質に対する制約を満たしているものとする．そして，このパターンを表すために， δ_{ijps} を利用することにする． δ_{ijps} は，ヘルパー i のパターン p が j 日のサービス s を含んでいるとき 1，そうでないとき 0 の値をとっているものとする．

一方，ヘルパーの勤務負荷や，利用者にとってのヘルパーのバランスを考えるために Q_i という集合を各ヘルパーの考慮項目として設定する．ヘルパー i に対する考慮項目 $q \in Q_i$ としては，給料，スケジュール期間中の提供サービス総数，ある利用者に対する提供サービス数などが考えられる．そして， c_{ijpq} を考慮点 q に関するパターン p のコスト（またはペナルティ）， a_{iq} と b_{iq} をそのコストのそれぞれ下限と上限とする．例えば， q が給料であるならば， c_{ijpq} をパターン p に支払われる金額， a_{iq} と b_{iq} をヘルパー i に支払う給料の下限と上限として利用できる．また， q がある利用者に対するヘルパーのバランスであるならば， c_{ijpq} を「パターン p にその利用者へのサービスが含まれる場合に 1，そうでない場合に 0」と設定し， a_{iq} と b_{iq} をヘルパー i のその利用者へのサービス提供数の下限と上限として利用できる．

以下に，これらの記号を使った定式化を示すが，ここでの意思決定変数は x_{ijp} とし，ヘルパー i の j 日にパターン p を割当てるとき 1，そうでないとき 0 となる変数とする．

$\alpha_{iq}^-, \alpha_{iq}^+, \beta_{iq}^-, \beta_{iq}^+$ は，ヘルパーの勤務負荷や利用者にとってのヘルパーのバランスを考慮するために設定した上下限值との差を表す非負変数であり，下限を割ってしまう度合いを α_{iq}^- ，上限を超してしまう度合いを β_{iq}^+ で表す．また，それらへの重み付けとして w_{iq}^-, w_{iq}^+ を利用する．

定式化

$$(0) \quad \text{Minimize } \sum_{i \in H} \sum_{q \in Q_i} w_{iq}^- \alpha_{iq}^- + \sum_{i \in H} \sum_{q \in Q_i} w_{iq}^+ \beta_{iq}^+$$

subject to

$$(1) \quad \sum_{p \in P_{ij}} x_{ijp} = 1 \quad i \in H, j \in D$$

(P_{ij} :パターンの集合)

(H :ヘルパーの集合, D :日の集合)

$$(2) \quad \sum_{i \in H} \sum_{p \in P_{ij}} \delta_{ijps} x_{ijp} = 1 \quad j \in D, s \in S_j \quad (S_j:サービスの集合)$$

$$(3) \quad \sum_{j \in D} \sum_{p \in P_{ij}} c_{ijpq} x_{ijp} + \alpha_{iq}^- - \alpha_{iq}^+ = a_{iq} \quad i \in H, q \in Q_i \quad (Q_i:考慮項目の集合)$$

$$(4) \quad \sum_{j \in D} \sum_{p \in P_{ij}} c_{ijpq} x_{ijp} + \beta_{iq}^- - \beta_{iq}^+ = b_{iq} \quad i \in H, q \in Q_i$$

$$(5) \quad x_{ijp} = 0 \text{ or } 1 \quad i \in H, j \in D, p \in P_{ij}$$

$$(6) \quad \alpha_{iq}^-, \alpha_{iq}^+, \beta_{iq}^-, \beta_{iq}^+ \geq 0 \quad i \in H, q \in Q_i$$

拘束式 (1) は各ヘルパーが各日に請け負える勤務パターンは唯 1 つであること、拘束式 (2) は各日の各サービスが確実に提供されることを表し、拘束式 (3) と (4) と目的関数 (0) で、その他様々な目標をできる限り達成できるように設定している。そして、拘束式 (5)(6) は変数が取り得る値の範囲を示している。

5 おわりに

2.2 節で調査協力頂いた訪問介護事業所で、2004 年 10 ~ 12 月の 3ヶ月分のデータに対して、提案するモデルにおける P_{ij} (各日各ヘルパーの実行可能勤務パターンの集合¹) が利用可能であるか確認してもらったが、「そのまま利用可能である」と評価された。また、簡単なヒューリスティックを利用して、提案するモデルにおける「必ず守りたい条件 (拘束式 (1)(2)(5))」のみを満たす部分解 (1 日分の解) を 1ヶ月分 (2004 年 12 月分) 提示したところ、どの部分解も現実的に実行可能である (好ましい) と評価された。そして、これらの部分解を、各ヘルパーの勤務時間数の合計 (1ヶ月分) を考慮して組合せることができれば、なお好ましいとの意見を得ることができた。今後、拘束式 (3)(4) ならびに目的関数中のパラメタ設定の検討が必要であるものの、提案するモデルに基づく解が、現実としての解 (勤務表) になり得ることを確認できたと考える。

訪問介護のスタッフ・スケジューリングについては、海外の介護先進国やワークシェアリング先進国において、研究以外にも現場で利用されているソフトウェアの開発 [9] 等もわが国よりも進んでいることが想像されるが、わが国のこの問題の特徴は人間関係を重視すること、つまり担当制約が強く課せられているところにあると考えられる。今後は、こういった海外事情との差を明らかにし、提案するモデルに対するアルゴリズム開発をおこなっていきたい。

参考文献

- [1] 池上敦子, 丹羽明, 大倉元宏 (1996): 我が国におけるナース・スケジューリング問題. *オペレーションズ・リサーチ* 41, 436-442
- [2] Dowsland, K.A. (1998): Nurse scheduling with tabu search and strategic oscillation. *European Journal of Operational Research* 106, 393-407
- [3] Ikegami, A., Niwa, A. (2003): A Subproblem-centric Model and Approach to the Nurse Scheduling Problem. *Mathematical Programming* 97, 517-541

¹ヘルパーの勤務可能時間帯に含まれる担当可能なサービスを対象に、サービス終了時刻ともう一方のサービス開始時刻との間に、「それぞれのサービスに対応する利用者宅間の移動時間+ 着替え等の準備や後始末のための時間 10 分」の余裕があるサービスだけを組合せたパターンの集合。

- [4] 池上敦子 (2005): ナース・スケジューリング -調査・モデリング・アルゴリズム-. *統計数理* **53**, 231-259
- [5] Christofides, N. (1985): Vehicle Routing. *The Traveling Salesman Problem* (ed. Lawler, E.L., Lenstra, J.K., Rinnooy Kan, A.H.G. and Shmoys). John Wiley & Sons Ltd, 431-448
- [6] Solomon, M.M. (1987): Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints. *Operations Research* **35**, 254-265
- [7] 池上敦子, 丹羽明 (1995): 時間指定のあるビークル・ルーティング問題. *Journal of the Operations Research Society of Japan* **38**, 107-123
- [8] Dantzig, G.B., Fulkerson, D.R. (1954): Minimizing The Number of Tankers to Meet A Fixed Schedule. *Naval Research Logistics Quarterly* **1**, 217-222
- [9] Eueborn, P. (2004): Scheduler - A System for Staff Planning. *Annals of Operations Research* **128**, 21-45
- [10] Arabeyre, J.P., Fearnley, J., Steiger, F.C., Teather, W.(1969): The airline crew scheduling problem: A survey. *Transportation Science* **3**, 140-168
- [11] Baker, E.K., Bodin, L.D., Finnegan, W.F., Ponder, R.J.(1979): Efficient heuristic solutions to an airline crew scheduling problem. *AIIE Transactions* **11**, 79-85
- [12] Marsten, R.E., Shepardson, F.(1981): Exact solution of crew scheduling problems using the set partitioning model: Recent successful applications. *Networks* **11**, 165-177