

通所介護施設における送迎バスルートの研究

石橋 聡子 (沼田 一道 助教授, 田中 健一 助手)

1 はじめに

1.1 本研究の背景

日本社会は高齢化が急速に進行しており, 2015年には国民のおよそ4人に1人が65歳以上という超高齢者社会を迎える[2]. 現在でも, 高齢者の約半数は夫婦のみ又は単独で暮らしており, 介護サービスのニーズは大きい[1].

介護サービスは大きく分けて施設に入所して利用する施設サービスと, 在宅で訪問または通所により利用する在宅サービスの2種類に分けられる. 両者の利用者数の推移を見ると, 在宅サービスは施設サービスと比べて, その伸びが著しい[1]. 本研究では在宅サービスを提供する施設のひとつである通所介護施設に着目する.

1.2 通所介護施設の現状と問題点

介護サービスを必要とする人は, その程度に応じて要支援1, 2および要介護1~5という7段階の区分に認定される. この区分を要介護度と呼ぶ. 通所介護施設は7段階のどの区分の人でも利用する事が出来る. 通所介護施設は利用者に対して食事, 入浴介助やレクリエーションなどのデイサービスを提供するが, 多くの場合, 利用者の自宅と施設間の送迎サービスも提供している. 1台の送迎車に複数の利用者を乗せるので, 送迎ルート(利用者の乗車順)が問題となる.

多くの施設では, 事前に施設利用者に対して車に長時間乗車可能かどうかアンケートをとり, 長時間乗車不可能と答えた利用者の送迎車乗車時間を出来るだけ少なくするようにしている. しかし, 回答のなかった利用者に関しては, 優先度などはつけずに乗車順を決めているので, 要介護度が高い利用者が長時間乗車していることがある.

1.3 本研究の目的

通所介護施設利用者が, 送迎車乗車中に感じる負担の度合いは各人により異なる. 本研究では利用者の要介護度, 送迎車に長時間乗車可能か否かに応じて負担考慮の度合いを設定する. そして, その値をもとに各利用者の負担を考慮した上で, 各送迎車の移動距離の総和が最小となる送迎ルートを求める方法を提案する.

2 問題とその数理計画モデル

2.1 本研究で扱う問題

1つの通所介護施設が n 人の利用者を送迎する場合の最適な送迎ルートを求める問題を扱う. 利用可能な送迎車は m 台とし, 各送迎車は全て等質であるとする. また, その乗車定員を Q (人)とする. 各送迎車の送迎ルートは施設を始点とする巡回路である. なお, 利用者を送るルートは迎えに行くルートの逆を辿れば良いので, 送るルートと迎えに行くルートは等しいと考える. よって本研究では, 利用者を自宅まで迎えに行くことのみを考えることにする. 以後, 以下の記号を用いる.

- 利用者との施設の集合を $N = \{0, 1, 2, \dots, n, n+1\}$ とする. $1 \sim n$ は利用者を表し, 0 と $n+1$ は施設を表すことにする. このとき, 点 0 と点 $n+1$ は同一施設を表している.
- 送迎車の集合を $M = \{1, 2, 3, \dots, m\}$ とする.

- d_{ij} : 利用者 i と利用者 j 間の距離

2.2 最適送迎ルート

送迎ルートは利用者の乗車負担を考慮しつつ，送迎車の総移動距離の小さいものが望ましい．本研究では，総移動距離の最小化は，利用者の送迎車への配分によって達成するものとし，配分された利用者の乗車順は各人の乗車負担考慮度の昇順とする（乗車負担考慮度の大きい人程 後から乗車する）．配分の際には，乗車負担考慮度の大きい人が別の送迎車に配分された小さい乗車負担考慮度の人より早い順番で乗車することのないように制限する．

2.3 施設利用者の乗車負担考慮度の設定方法

施設利用者の乗車負担を考慮した送迎ルートを求める為には，各利用者の乗車負担考慮度の設定が必要である．この指標は各人の要介護度，長時間乗車可能度に応じて設定する．具体的な各利用者の乗車負担考慮度の設定方法を以下に示す．以後，乗車負担考慮度のことを考慮度と呼び，利用者 i の考慮度を w_i と表すことにする．

w_i は利用者の要介護度に応じて，要支援 1 ならば α_1 ，要支援 2 ならば α_2 ，そして要介護 1~5 ならばそれぞれ $\alpha_3 \sim \alpha_7$ という値を割り当てる．このとき，要支援 1 の人の考慮度を最も小さく，要介護 5 の人の考慮度を最大とする．すなわち， $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < \alpha_4 < \alpha_5 < \alpha_6 < \alpha_7$ とする．送迎車に長時間乗車不可能な利用者に関しては，要介護度に応じた考慮度に β という値を加える．

また，施設を表す点も利用者の点と同様に扱うために施設にも仮想的な考慮度を設定する．送迎ルートの始点である施設の考慮度を $w_0 = 0$ とし，送迎ルートの終点である施設の考慮度を $w_{n+1} = \infty$ とする．

2.4 定式化

通所介護施設の送迎において，最適送迎ルートを求める問題を数理計画モデルとして定式化する．決定変数は x_{ijk} ($i, j = 0, 1, \dots, n+1, i \neq j, k = 1, 2, \dots, m$) と y_{ik} ($i = 1, 2, \dots, n, k = 1, 2, \dots, m$) である． x_{ijk} は送迎車 k が利用者 i の直後に利用者 j を迎えに行くならば 1，それ以外は 0 をとる．また， y_{ik} は送迎車 k が利用者 i を迎えに行くならば 1，それ以外は 0 をとる．

$$\min \sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^{n+1} \sum_{j=0}^{n+1} d_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=0}^{n+1} x_{ijk} = \sum_{j=0}^{n+1} x_{jik} = y_{ik} \quad (i = 1, 2, \dots, n \quad k = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jk} = \sum_{i=1}^n x_{i(n+1)k} = 1 \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^m y_{ik} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n y_{ik} \leq Q \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad (\forall S \subseteq \{1, 2, \dots, n\} \quad k = 1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

$$(w_j - w_i) x_{ijk} \geq 0 \quad (i, j = 0, 1, \dots, n+1 \quad k = 1, 2, \dots, m) \quad (7)$$

$$\sum_{j \in P_i} y_{jk} \leq \left\lfloor \frac{r_i}{m} \right\rfloor \quad (P_i = \{j \mid w_j \geq w_i\} \quad k = 1, 2, \dots, m) \quad (8)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad (i, j = 0, 1, \dots, n+1 \quad k = 1, 2, \dots, m) \quad (9)$$

$$y_{ik} \in \{0, 1\} \quad (i = 1, 2, \dots, n \quad k = 1, 2, \dots, m) \quad (10)$$

(1)式は各送迎車の移動距離の総和を最小化する目的関数を示す。以下は制約条件を示しており、(2)式は利用者*i*を送迎車*k*が迎えに行くならば、送迎車はある利用者から利用者*i*にやってきて別の利用者へ向かう事を示す。(3)式は送迎車が必ず施設を出発し、施設に戻ってくる事を示す。(4)式は利用者が必ずいずれかの送迎車に迎えに来てもらう事を示す。(5)式は各送迎車に乗る利用者の人数が送迎車の乗車定員*Q*(人)以下である事を示す。(6)式は各送迎車の送迎ルートにおいて部分巡回路を禁止する事を示す。(7)式は考慮度の低い利用者から順番に送迎車に乗車する事を示す。そして、(8)式は利用者*i*の乗車順が、利用者*i*より考慮度の小さい人の(その人が乗車する送迎車で)乗車順より早くならないように制限するものである。 r_i は利用者*i*の考慮度 w_i 以上の考慮度を持つ利用者の人数(利用者*i*を含む)を表す。

3 提案モデルの検証

例題 提案した数理計画モデルの有効性を検証する為、20人の施設利用者を乗車定員6人の送迎車4台で送迎するときの最適送迎ルートを求める。利用者2, 9, 10, 11, 14, 20を送迎車に長時間乗車不可能な人とし、要介護度に応じた考慮度の値を要支援1の人を1とし、要介護度が上がるにつれて1ずつ加えた値を設定し、 $\beta = 7$ とする。 $\beta = 7$ と設定した理由は、要介護度が軽度であっても長時間乗車不可能な利用者であれば要介護度が最も高い要介護5の利用者よりも後に送迎車に乗車出来るようにする為である。このように設定すると、各利用者の考慮度 w_i は表1のようになる。また、各利用者の配置は図1の通りである。図1において利用者を表す点の大きさは考慮度の値の大きさに対応している。利用者間の距離 d_{ij} は利用者*i*と*j*の間の直線距離で測る。

解法 定式化した問題をソルバー(NUOPT[4])に入力して解く。このとき、(6)式は 2^n 本の数に対応する。例題は $n = 20$ なので(6)式の本数は 2^{20} となる。そこで、(6)式を外した緩和問題をソルバーに与えて実行可能解が求まるかどうかを試す。

結果 上述のような緩和問題をソルバーで解いた結果、部分巡回路を含まない解が得られたので、最適解が求まったことになる。このときの各送迎車の送迎ルートを図2に示し、各送迎車における利用者の乗車順と移動距離をまとめたものを表2に示す。そして、このときの送迎車の総移動距離は510.31となった。表2より送迎車3の移動距離が他の送迎車よりも比較的多くなっていることがわかる。また、考慮度が同程度の利用者が同一送迎車に乗ることなく、バランスよく各送迎車に割り当てられていることもわかる。

比較 次に、現状の方法と提案モデルに基づく方法の比較を行う。前者については、本研究では次の

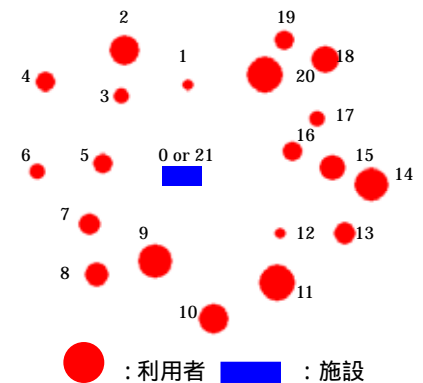


図1 利用者・施設の配置

表1 各利用者の考慮度

利用者	要介護度	考慮度
1	要支援1	1
2	要介護5	8
3	要支援2	2
4	要介護1	3
5	要介護1	3
6	要支援2	2
7	要介護2	4
8	要介護3	5
9	要介護1	10
10	要支援1	8
11	要介護2	11
12	要支援1	1
13	要介護2	4
14	要介護1	10
15	要介護4	6
16	要介護1	3
17	要支援2	2
18	要介護5	7
19	要介護1	3
20	要介護2	11

表2 各送迎車における利用者の乗車順

送迎車	乗車順	移動距離
1	6 5 8 10 11	128.93
2	1 17 19 18 20	109.15
3	3 4 7 2 9	159.27
4	12 16 13 15 14	112.96

ような方法で代用する。送迎車に長時間乗車不可能な利用者の各送迎車への割り当てと乗車順は提案モデルに基づいて得られた最適送迎ルートそのまま固定し、それ以外の利用者の各送迎車への割り当てと乗車順をランダムに決めるという作業を100回繰り返し、送迎車の総移動距離が最小となる送迎ルートを求める。

現状の方法に基づいて得られた送迎ルートの総移動距離は629.29である。そして、このときと提案モデルに基づく方法で得られた最適送迎ルートにおいて、利用者が施設までの最短距離の何倍の距離を移動しているのかを調べる。その結果をまとめたグラフを図3に示す。図3の横軸は左から考慮度の大きい利用者から順番にとり、縦軸は各利用者の実移動距離を利用者の施設までの最短距離で割った値を表しており、これを距離増分比とする。

考察 図3より、現状の方法よりも提案モデルに基づく方法で得られた最適送迎ルートの方が、考慮度が中程度以上の利用者に関しては利用者の実移動距離が短くなっていることがわかる。よって、提案モデルに基づく方法は現状の方法よりも、利用者全員の送迎車乗車中の負担を考慮し、かつ移動距離も短くなるので施設と施設利用者の両者にとって望ましい送迎ルートであるといえる。

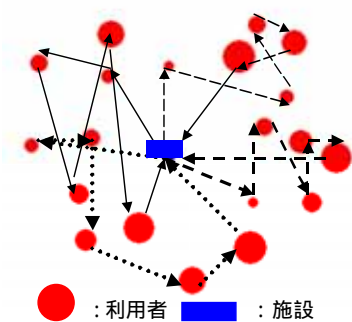


図2 最適送迎ルート

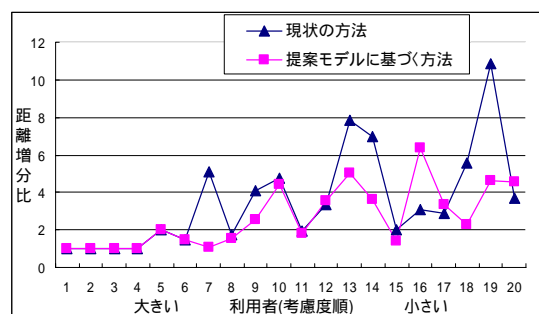


図3 各利用者の距離増分比

4 まとめと今後の課題

本研究では、通所介護施設における送迎の問題を取り上げ、施設利用者の送迎車乗車中の負担を考慮した上で、送迎車の総移動距離が最小となる送迎ルートを求める方法を提案した。この方法により、施設と施設利用者の両者にとって望ましい送迎ルートが得られることがわかった。

今回のモデルには各送迎車の移動距離の上限や移動距離の差を考慮していないが、実際には決められた時間に施設でサービスを開始しなくてはならないので、各送迎車の移動距離にばらつきがあると利用者によっては極端に早い時間に自宅を出なくてはならないという問題が起こる。これらの条件を考慮した定式化を考える事は今後の課題である。また、解法についても検討する必要がある。

主要参考文献

- [1] 介護支援研究会：「ケアマネジャー基本問題集 06」，晶文社(2006)
- [2] 国立社会保障・人口問題研究所：「日本の将来推計人口」，<http://www.ipss.go.jp/>，最終アクセス日 2006/12/2
- [3] 久保幹雄，田村明久，松井知己：「応用数理計画ハンドブック」，朝倉書店(2002)
- [4] NUOPT/SIMPLE マニュアル，株式会社 数理システム