

介護送迎サービスにおける移動経路の研究

白坂 禎貴 (沼田 一道 教授、松浦 隆文 助教)

1. はじめに

1.1. 背景

我国における高齢化率は、他国と比較すると急速に進行している。このまま進行していくと、2050年には、総人口の約3割が65歳以上の高齢者になると予測されている[1]。すでに現在でも「老老介護」の問題が浮上し、介護サービスの必要性が以前よりも大きくなっている。このようなニーズに対応するため2000年に介護保険制度が施行された。この制度は、地域密着型サービス、施設サービス、在宅サービスの3つを統合した介護サービスを提供することを目的とし、導入されたものである。その中でも、在宅サービスは、より基本的な必需サービスであることから、年々利用者が増加してきている[2]。在宅サービスは、入浴、排泄、食事等の世話をを行う訪問サービスと、デイケア施設などへの移動の面倒を見る送迎サービスの2つに分類されるが、本研究では送迎サービスに着目する。

1.2. 本研究の目的

送迎サービスは、施設でのサービス開始時刻に遅延することなく要介護者（以下、利用者）を当該施設まで送迎する。その際、送迎車での移動に伴う利用者の負担を軽くするため、長時間の乗車を避けて、複数の車による送迎を行っている。そのため、利用者の集合が決まった後、利用者の組分けと各組に対する送迎ルートを決めなくてはならない。現状では、この作業をサービス提供者が経験にもとづき手作業で行っている。図1に、手作業で作成された経路を示す。図1より、各送迎車の移動距離に大きな差が生じ、移動距離が長い送迎車が存在するので、利用者が負担を感じている場合がある。

本研究では、この問題を、移動距離が最長の送迎車の移動距離をできるだけ短くする数理計画問題として定式化・求解し、長時間の乗車を緩和することを目的とする。



図1：格差の大きい送迎経路集合

2. 取り扱う問題

2.1. 問題設定

登録利用者に対して介護施設への送迎サービスを行う事業者を考える。ある日の送迎サービスを申し込んだ利用者が n 人いたとする。事業者事務所から出発した m 台の送迎車は、 n 人の利用者を分担して共通の介護施設へ送り届ける。ここで、介護施設、事務所、全利用者間の距離はすべて分かっているものとする。

問題は、最も長い距離を走る送迎車の移動距離を最小化する利用者の分割と各送迎車の移動経路を

求めることである。送迎ルートに関しては、往路と帰路があるが、距離は等しいので、往路のみを考えるものとする。また、渋滞による遅延は考えないものとする。

2.2. 定式化

定式化に用いられる記号について説明する。利用者の集合を $N = \{1, 2, \dots, n\}$ ，送迎車の集合を $M = \{1, 2, \dots, m\}$ ，送迎車の定員数を q とする。利用者 i, j 間の距離を $d_{ij} (= d_{ji})$ とする。また、事務所を 0，目的地である介護施設を $n+1$ とする。決定変数 x_{ijk} は、送迎車 k が利用者 i の次に利用者 j を訪れるならば 1，それ以外は 0 とする。また y_{ik} は、送迎車 k が利用者 i を送迎するならば 1，それ以外は 0 とする。以下に本問題の定式化を示す。

$$\left\{ \begin{array}{ll} \min & \max_{1 \leq k \leq m} \left(\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ij} x_{ijk} \right) & (1) \\ \text{s.t.} & \sum_{j=1}^n x_{0jk} = 1 & (k=1, 2, \dots, m) & (2) \\ & \sum_{i=1}^n x_{i(n+1)k} = 1 & (k=1, 2, \dots, m) & (3) \\ & \sum_{k=1}^m y_{ik} = 1 & (i=1, 2, \dots, n) & (4) \\ & \sum_{j=1}^{n+1} x_{ijk} = y_{ik} & (i=1, 2, \dots, n \quad k=1, 2, \dots, m) & (5) \\ & \sum_{i=0}^n x_{ijk} = y_{ik} & (j=1, 2, \dots, n \quad k=1, 2, \dots, m) & (6) \\ & \sum_{i=1}^n y_{ik} \leq q & (k=1, 2, \dots, m) & (7) \end{array} \right.$$

(1)式は、全送迎車の中で移動距離が最も長い送迎車の移動距離（以下、最大移動距離）を最短にする目的関数である。(2)式以降は制約条件である。(2)式は、全送迎車は事務所から出発することを示している。(3)式は、全送迎車は必ず最後に目的地である介護施設に行くことを示している。(4)式は、全ての利用者は必ずある送迎車が迎えに来ることを表す。(5)、(6)式はある利用者がある送迎車が訪れるなら、その送迎車は他の利用者からやってきて、他の利用者へ向かうことを表す。(7)式は、各送迎車は定員数を超えて利用者を乗車させてはならないことを示す。

3. 解法

本研究で提案する解法は、①各送迎車が担当する利用者の決定・初期経路の構築と②送迎車間で利用者の交換を行う最大経路長の改善の2段階に分けられる。

① 各送迎車が担当する利用者の決定・初期経路の構築

初期経路を決定するために、まず、各送迎車が担当する利用者を決定する。次に、列挙法を用いて各送迎車に割り当てられた利用者を目的地である施設に送り届ける最短経路を求める。

A) 無作為な割り当て

step 1: 送迎車に、無作為に利用者を1人割り当てる。

- step 2: 全ての利用者がある送迎車に割り当てられるまで step 1 を繰り返す.
- step 3: 各送迎車に割り振られた利用者に対して, 事務所を出発して集合内の全利用者を迎えに行き, 介護施設へ向かう最短経路を列挙法にて求める.

B) 最近傍法を用いた割り当て

- step 1: 送迎車に順番付けをし, 事務所を始点とする.
- step 2: 送迎車番号が小さい送迎車から順に, 始点から最も近い利用者に移動し新たな始点とする.
- step 3: 全ての利用者を迎えに行くまで step 2 を繰り返す.
- step 4: 各送迎車に割り振られた利用者に対して, 事務所を出発して集合内の全利用者を迎えに行き, 介護施設へ向かう最短経路を列挙法にて求める.

② 近傍探索

最大経路長の送迎車が担当する利用者 1 人と別の送迎車が担当する利用者 1 人を入れ替え最大経路長の改善を行う. 以下に改善の手順を示す.

- step 1: 最大経路長の送迎車 m' を決定し, その経路長を α とする.
- step 2: 送迎車 m' が担当する利用者 i と, m' 以外の送迎車が担当する利用者 j を入れ替える. 入れ替え後の最短経路を列挙法により求め, 送迎車 m' の移動距離を β , 新たに利用者 i を担当する送迎車の移動距離を γ とする. 現在の最大移動距離 α よりも, 移動距離 β と γ が短いならば利用者を交換する.
- step 3: step 2 を満たす改善がなくなるまで, 改善操作を行う.

4. 数値実験

4.1. 実験概要

S 介護施設に登録している利用者の実データを用い, 前節で示した解法により送迎車の経路を求める. S 介護施設の利用者は 25 人で, 乗車定員数が 5 名の送迎車 5 台を用いて送迎を行っている. 利用者 i と j 間の距離 d_{ij} は, 直線距離で求めた. 提案手法のプログラムは Borland 社の Delphi6 [4] で実装した.

4.2. 実験結果・考察

図 2 に, 提案法により得られた各送迎車の経路を示す (■: 事務所, ○: 介護施設, ●: 利用者). 図 2 より, 従来の経路に比べて, 利用者の割り当てが広範囲に広がっておらず, 送迎車の経路に交わりが少なくなっていることが分かる. これは, 改善操作による利用者の交換が有効であったためだと考えられる. 図 3 に, 初期利用者の割り当てを無作為に行い, 近傍操作によって各送迎車の移動距離がどのように変化したかを示す. 図 4 に, 最近傍法

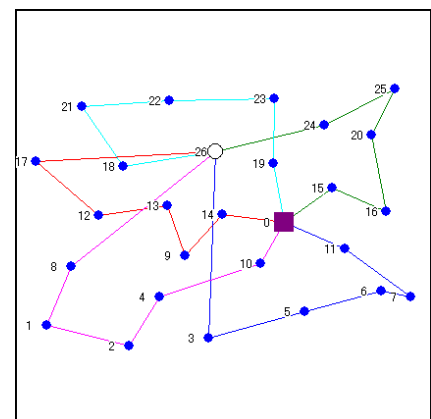


図 2 : 送迎車の経路

を用いて初期利用者の割り当てを行い、近傍操作によって各送迎車の移動距離がどのように変化したかを示す。図 3、4 の縦軸は移動距離、横軸は局所探索法の実行回数を示す。図 3、4 より、初期割り当てを無作為に行った場合は、最近傍法を用いた場合に比べて、初期経路が長くなっている。しかし、改善操作を行うことで、どちらの場合においても送迎車の移動距離は 30~40km の範囲に収まっている。提案法による求解時間は 30 秒程度であることから、提案法は、S 介護施設の送迎経路の作成に有効であると考えられる。

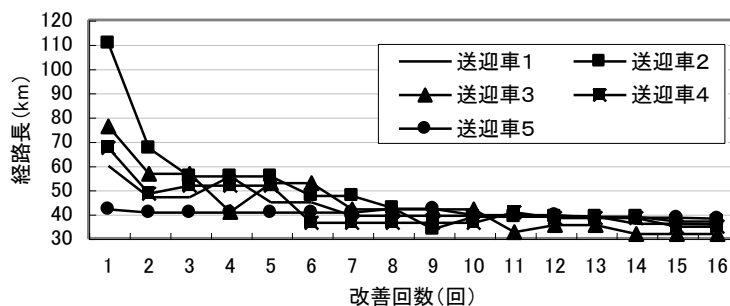


図 3：移動距離長の推移（無作為）

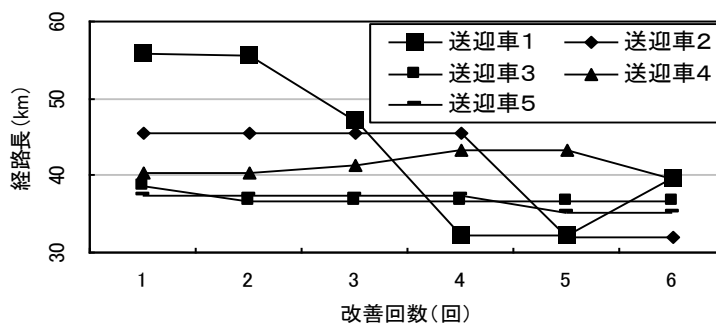


図 4：距離の推移（最近傍法）

5. まとめと今後の課題

本研究では、介護サービスの一つである送迎サービスに着目し、送迎の際に移動距離が最大になる送迎車の経路を短くすることを目的とし、改善法を用いた発見的解法を提案した。数値実験の結果、提案法を用いることで、送迎経路がほぼ均等な経路を得ることができた。しかし、今回のシミュレーションで用いた利用者間の距離情報は、実際に車が走る道路網から得た距離ではなく、利用者間の直線距離である。今後の課題として、実際の道路網、交通状況を考慮したデータを作成し、シミュレーションを行う必要がある。また、今回提案した手法は貪欲的な探索法であるため、局所最適解に陥ってしまう。タブーサーチ法や遺伝的アルゴリズムなどのメタ戦略アルゴリズムを導入し、局所最適解に陥ることを回避する探索法を構築する必要がある。

6. 参考文献

- [1] 国立社会保障・人口問題研究所：「人口資料集 2009」、国連“2008 年改訂国連推計”
<http://www2.ttcn.ne.jp/honkawa/1157.html> 最終アクセス日 2010/12/22
- [2] 厚生労働省：介護・高齢者福祉～明るい高齢者の実現に向けて～
<http://www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/index.html> 最終アクセス日 2010/12/23
- [3] 石橋 聡子：“通所介護施設における送迎車ルートの研究”、東京理科大学工学部第一部経営工学科卒業論文 2007
- [4] 掌多 津耶乃：「Delphi パーソナルプログラミング」、MYCOM