

高齢者通所送迎バスの巡回路決定支援システム

東京大学大学院 工学系研究科 正会員 堤 盛人
 東京大学大学院 工学系研究科 学生会員 成松 雅子

1. はじめに

平成 12 年 4 月の介護保険法施行により、我が国においても介護ビジネスが本格的に動き出した。訪問介護・通所介護のいずれにおいても、送迎や訪問のために、サービスを提供する側が利用者の居住する地域を巡回する必要がある。本研究は、介護保険の給付対象となる在宅サービスのうち、通所介護/リハビリテーションにおける送迎バスの巡回路の決定を、GIS により支援することを目的とする。

2. 通所サービスとバスによる送迎

本研究では、「通所介護」「通所リハビリテーション」の二つを総称して「通所サービス」と呼ぶ。通所サービスでは、各利用者はその要介護の程度や嗜好、予算等に応じて、週に 2 回程度のサービスを受受するために施設に通所するのが一般的である。

筆者らは、利用者が 120 名ほどの施設を持つ社会福祉法人にヒアリングを行った。そこでは、月曜と木曜、火曜と金曜、水曜と土曜が一つのセットにされ、それぞれについて、サービス開始時刻が 10 時・11 時・12 時という 3 つの時間帯が用意され、利用者は計 9 つのグループに分けられている。施設は、それぞれのグループについて、巡回路の決定、さらに各利用者のところへの到着時間の算出手作業により行っており、利用者の入れ替えや利用希望時間帯の変更が生じるたびにこれを繰り返している。

3. サービス利用者の送迎において考慮すべき情報

本研究で扱う送迎バスの巡回路の決定問題の本質は、配車配送計画問題(Vehicle Routing Problem: VRP)である(例えば、谷口・根本(2001))。ただし、物流における VRP と比べると、特に次の(iv)~(vii)に示すような、より細かな配慮が必要となる。

道路等に関わる物理的な情報

介護サービスに限らず、都市の密集市街地におけ

る道路上で巡回を行う際には、道路のリンク・ノードに関する以下の条件を考慮する必要がある。

(i)幅員： バスによる送迎に際しては、幅員が小さいために通行が不可能なリンクや、右左折が不可能なノード(交差点)が多く存在する。

(ii)一方通行・進入禁止・右左折禁止： 都市部、とりわけ密集市街地では、これらの規制が設けられた道路が多い。

(iii)リンクごとの所要時間： 道路による混雑により、時間帯によって所要時間が大きく変化する。

利用者に関わる個人の情報

(iv)希望するサービスの内容： 通所介護か通所リハビリテーションか、あるいは入浴サービスを希望するかなど、希望するサービス内容が多様である。

(v)乗車可能時間： 心臓疾患や痴呆を患っている場合など、長時間バスに乗るのが困難な場合がある。

(vi)待機可能時間： (v)と同様の理由で、屋外の停留所で余り長く待てない場合がある。

(vii)その他の考慮すべきこと： 利用者の心身の機能障害によっては、利用者の居住地のすぐ前まで迎えに来て欲しいという希望があり、また、車椅子利用者か、杖が必要な人かといったことも考慮する必要がある。その他、同じ施設に通う他の利用者と同じ曜日・時間帯にして欲しいといった希望もある。

主として施設側の制約から考慮すべき情報

(viii)バスの乗車定員： 通常、小回りの利く小型バスが利用され、10 数名が乗車人数の上限となる。

(ix)車椅子の数の上限： 車椅子に乗ったまま乗降可能なバスが利用されることも多いが、一台のバスに乗れる車椅子の数には制限がある。

(x)利用者グループごとの人数のばらつき： ある時間帯に送迎する利用者のグループは、その後概ね共通のプログラムに従ってサービスを受けるため、グループ間であまり人数のばらつきがあると、サービスを提供する上で支障が生じる可能性がある。

キーワード：高齢者介護、地理情報システム、送迎バス、配車配送計画問題

連絡先：〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL:03-5841-6128 FAX:03-5841-7453

4. 通所送迎バスの巡回路決定支援システムの構築

3. を踏まえ、図に示すようなシステムを構築する。

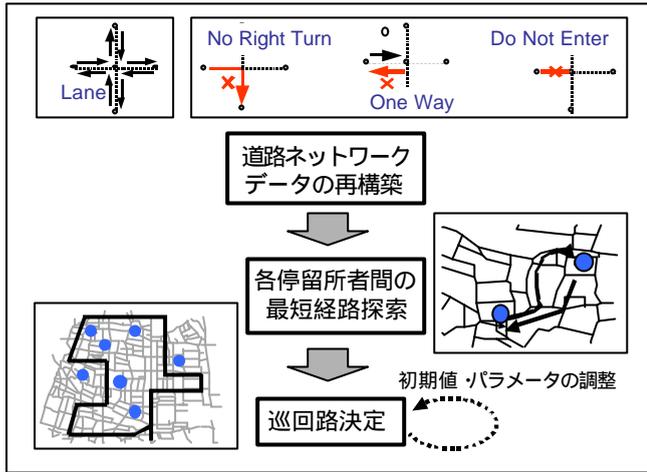


図 支援システムの概略

(i) ~ (iii) の情報に関しこれを GIS 上で管理し、巡回地点（停留所）の間の最短経路と時間を求める。一方、施設を除いた巡回地点の数を \bar{I} として変数を以下のように定義し、巡回路の決定問題を定式化する。

$S = \{i=0,1,2,\dots,\bar{I}\}$: 利用者に対応した停留所 ($i=1,2,\dots,\bar{I}$) と施設 ($i=0$ のみとする) の集合
 c_{ij} : 停留所若しくは施設 i から j への最短時間

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & : \text{停留所 (施設) } i \text{ から停留所 (施設) } \\ & j \text{ からへ移動する場合。} \\ 0 & : \text{それ以外の場合。} \end{cases}$$

添え字等が煩雑になるため、ここでは施設を 1 つとし、巡回バスも 1 台のみとする。バスは、 \bar{K} 回に分けて全利用者の間を巡回する ($T_k \subset S, k=1,2,\dots,\bar{K}$)。

$$\begin{aligned} \min_{x_{ij}} \quad & C = \sum_{i \in S} \sum_{j \in S - \{i\}} c_{ij} x_{ij} \\ & + a \left\{ \sum_{\forall k} \left(\sum_{i \in T_k} \sum_{j \in T_k - \{i\}} c_{ij} x_{ij} - \frac{1}{\bar{K}} \cdot \sum_{i \in S} \sum_{j \in S - \{i\}} c_{ij} x_{ij} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i \in S - \{j\}} x_{ij} = 1 \quad (\forall j \in S - \{0\}), \quad (2) \\ & \sum_{i \in S - \{0\}} x_{i1} = \bar{K}, \quad (3) \\ & \sum_{j \in S - \{i\}} x_{ij} = 1 \quad (\forall i \in S - \{0\}), \quad (4) \\ & \sum_{j \in S - \{0\}} x_{1j} = \bar{K}, \quad (5) \\ & \sum_{i \in U} \sum_{j \in T_k - U} x_{ij} \geq 1 \quad (\forall U (\neq \emptyset) \subset T_k \subset S, \forall k), \quad (6) \\ & |T_k| - 1 \leq \bar{T} \quad (\forall k), \quad (7) \\ & \sum_{i \in T_k - \{0\}} y_{li} \leq \bar{y}_l \quad (\forall k, \forall l), \quad (8) \\ & x_{ij} \in \{1, 0\} \quad (\forall i, \forall j \in S), \quad (9) \\ & \bigcup_{k=1}^{\bar{K}} T_k = S, \quad (10) \end{aligned}$$

$$T_k \cap T_{k'} = \{0\} \quad (\forall k, k' (k \neq k')). \quad (11)$$

c_{ij} は、地点 i から地点 j の所要時間を表し、一般に、 $c_{ij} \neq c_{ji}$ ($i \neq j$) である。式(1)の第二項は巡回時間の標準偏差を表し、 (\cdot) はパラメータである。式(7)はバスの容量制約(viii)に対応し、 \bar{T} はバスの乗車定員、 $|\cdot|$ は集合の要素の個数を表す。式(8)は(iv)(ix)に対応している。 y_{li} ($i=1$) は利用者 i がここで考慮する事項(l)をその属性として持つか否かを示すものであり、例えば次のように与える。

$$y_{li} = \begin{cases} 1 & : \text{車椅子利用者の場合} \\ 0 & : \text{それ以外の場合} \end{cases}$$

このとき、 \bar{y}_1 はバスに乗れる車椅子の数の上限を表す。その他にも、通所介護が通所リハビリテーションか、また、入浴サービスを受けるか否かについて、それぞれ同様にして y_{2i}, y_{3i}, \dots ($i=1$) を定義する。なお、式(8)において、例えば入浴サービスを希望する人が仮にサービス可能な上限の人数以下であっても、特定のグループに集中するよりはある程度分散して欲しいというのが施設側の要望としてある場合には、次のように下限 ($y_{l \min}$) を設定すれば良い。

$$(y_{l \min} \leq \sum_{i \in T_k - \{0\}} y_{li} \leq y_{l \max}) \quad (\forall k, \forall l) \quad (8)'$$

グループごとの人数についてのばらつきを抑えたい場合には、次のような制約式を追加すれば良い。

$$T_{\min} \leq |T_k| \leq T_{\max} \quad (\forall k), \quad (12)$$

さらに、(vii)で述べたように、例えば利用者 m と利用者 n が同一のグループに属することを希望する場合には、次のような制約式を追加すれば良い。

$$\prod_{\forall k} \left[\sum_{i \in T_k - \{m\}} x_{im} + \sum_{i \in T_k - \{n\}} x_{in} - 1 \right] = (-1)^{\bar{K}-1} \quad (13)$$

この他の条件については、若干既述が複雑になるため、ここでは省略する。

4. おわりに

本研究では、東京都足立区における実際の施設を対象にして本システムの適用を試みているが、紙面の都合上、結果の詳細は講演会の場で報告する。

参考文献 谷口栄一・根本敏則(2001):『シティロジスティクス』, 森北出版.

謝辞 本研究を進めるにあたり、社会福祉法人聖風会(本部:東京都足立区)及び朴成元氏(東京大学空間情報科学研究センター特別研究員)にお世話になった。記して感謝の意を表したい。