

地域巡回バスルートの最適化 西春くるくるタクシーを例として

2001MM033 加藤 茜

指導教員 伏見 正則

1 はじめに

現在、愛知県西春町では社会福祉事業の一環として西春町内を走る巡回バス「西春くるくるタクシー」を運行している。しかし巡回経路の選択、運営コストなどの問題があるのが現状である。西春町社会福祉の一環として運行しているため、コスト面での改善はあまり期待されていない。一方、巡回経路は利用者からも改善してほしいとの要望も出ており、よりよい巡回経路の設定が求められている。よって西春くるくるタクシー経路の改善を行いたい。運営費の増大を避けるために、増発や運転手の増員はしないで、ルートの最適化を進め利用者を増やしたい。

1.1 西春くるくるタクシー

西春町内を3つのコースに分け、各コース1日約2往復運行している。1日の利用者は平均約40人である。

2 研究方法

くるくるタクシーの主な利用者である60歳以上の人口が多い地域を通るほうが、利用者が増えると考えられる。

2.1 巡回セールスマン問題 + ダイクストラ法

現行の西春くるくるタクシーは出発点から停留所を回り終着点に行く。今回は出発点と到着点を同じにし、ループ状のコースを作り利用者を増やす方法をとった。

停留所は高齢者が必要としている施設（駅、病院、スーパーなど）を設定した。また字の60歳以上の人口が20人、30人、40人を超える地域をノードとして設定し、3パターンで巡回セールスマン問題 + ダイクストラ法を用いてC言語のプログラムを作り最適経路を導いた。

最初ダイクストラ法のみで求めようとしたが、その場合ダイクストラ法の特徴で、すべてのノードを通らず最適経路を求めるため、停留所を通らない可能性がある。そこで巡回セールスマン問題で停留所だけを考えたネットワークの最適経路を求めてから、ダイクストラ法で停留所間の最適経路を求めた。

2.2 線形計画法

成城大学の上田先生の論文 [1] を参考に定式化し、What's Best!を用いて最適化を行った。

2.3 データ

字ごと（約300m×300m）の60歳以上の人口は、平成12年度の国勢調査のデータである。距離データは、西春町の10000分の1の地図より測り求めたものである。またダイクストラ法の距離データは人口数によって重要度をつけるため、ノード間の距離にその両端のノードの60歳以上の人口の逆数を掛けて距離を求めた。

3 最適経路を求める

ここでは中之郷ルート为例として示す。

3.1 巡回セールスマン問題 + ダイクストラ法

このルートは集会場が出発、終着点である。また停留所として西春駅、西春町役場、保健所、スーパー、文化勤労会館（講堂）、県営住宅、神社、徳重公会堂（公民館）を設定した。

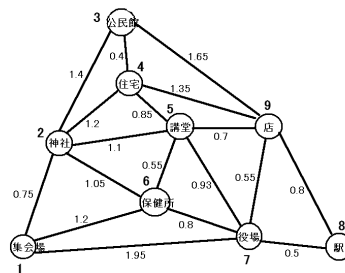


図1 中之郷ルートの停留所

中之郷ルートを巡回セールスマン問題を用いて解いた結果を次に示す。

1 → 6 → 7 → 8 → 9 → 5 → 4 → 3 → 2 → 1

上記の巡回セールスマン問題の結果よりダイクストラ法を用いて、各停留所間の最適経路を求めた。

4 結果と考察

表1 結果の比較

ノード (60歳以上の人口)	利用人口数(人)	運行距離(m)
20人以上	1217	10751
30人以上	1204	10374
40人以上	1170	10361
現行ルート	993	8500

巡回セールスマン問題とダイクストラ法により、導かれた経路と現行経路の比較である。運行距離は直線距離の130%を実運行距離として計算した。利用者数はバスの運行ルート上の60歳以上の人口の和である。この結果より、現行ルートよりどのルートも利用人口数が増えていることが分かる。特に60歳以上の人口が20人以上の地域をノードとした場合は、利用人口数が1217人と一番多く現行ルートの約1.2倍に増えていることが分かる。また運行距離が現行ルートよりどのルートも増えているが、この程度であれば許容範囲内であると考えられる。

5 線形計画問題

C_{ij} : 道路 (i, j) 沿いの 60 歳以上の人口

d_{ij} : 道路 (i, j) の距離

$X_{ij} = 1$: 道路 (i, j) をバスが通るとき

$X_{ij} = 0$: その他

s : 出発ノード

t : 到着ノード

y_i : 各ノード i に対する実変数 $(0 \leq y_i \leq m)$

目的関数 (利用人口の最大化)

$$\max \sum_{i,j} C_{ij} X_{ij}$$

制約条件

$$\sum_j X_{ij} = \sum_k X_{ki} \quad (i = 1, 2, \dots, m \text{ かつ } i \neq s, t) \quad (1)$$

$$\sum_j X_{ij} \leq 1 \quad (i = 1, 2, \dots, m \text{ かつ } i \neq s, t) \quad (2)$$

$$\sum_k X_{ki} \leq 1 \quad (i = 1, 2, \dots, m \text{ かつ } i \neq s, t) \quad (3)$$

$$X_{ij} + X_{ji} \leq 1 \quad (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, m) \quad (4)$$

$$\sum_j X_{sj} = 1 \quad \sum_k X_{kt} = 1 \quad (5)$$

$$y_i - y_j + mX_{ij} \leq m - 1 \quad (0 \leq i \leq m - 1; 1 \leq j \leq m; i \neq j) \quad (6)$$

現行ルートの運行距離の 130% 増 D 以下

$$\sum_{i,j} d_{ij} X_{ij} \leq D \quad (7)$$

式 (6) は閉路排除制約である。これは当初必要ないとされたため設定せずに解いたところ、コース上に 3 つの巡回路ができてしまった。1 コースにつき「西春くるくるタクシー」は 1 台しかないため、3 つの巡回路を 1 台で回することは不可能である。閉路排除制約で、1 コースに対して 1 つの巡回路を作ることができるようになった。しかし、これを追加することで問題も生じた。これまでは始点から出発し、始点に戻ってくるルートを探ってきたが、この閉路排除制約を加えると始点から始点に戻ってくるルートも 1 つの閉路とみなしてしまい、最適解が出なくなる。そこで始点に一番近いノードの中で人口が一番多いノードを終点に設定し、閉路ができないように設定した。

5.1 中之郷ルート

上記のように定式化した線形計画問題を「What's Best!」を用いて解いた。その結果を以下に示す。

表 2 結果の比較

	利用人口数 (人)	運行距離 (m)
線形計画問題の結果	1263	11050
現行ルート	993	8500

この結果より、現行ルートより利用人口数が大幅に増えていることが分かる。運行距離も増えているが許容範囲内である現行距離の 130% 増して設定し解いたため問題ないとする。よって現行ルートよりも線形計画問題で導いた経路のほうが良い経路といえる。

6 結果と比較

巡回セールスマン問題とダイクストラ法を用いて最適化を行った結果と、線形計画法で最適化を行った結果の比較を行う。

表 3 結果と考察

		TSP + ダイ クストラ法	LP 1	LP 2	現行 ルート
加島新田 ルート	人口	1083	1337	****	874
	距離	8060	9750	****	7500
鍛冶ヶ色 ルート	人口	1110	1110	1354	769
	距離	10725	10725	13000	8250
中之郷 ルート	人口	1217	1263	****	993
	距離	10751	11050	****	8500
計算		容易	面倒	****	
目的関数の意味づけ		不明確	明確	****	

この結果より、線形計画法の方がルート上の 60 歳以上の人口が増えた。よって線形計画法で解いたほうが良い結果が出ることが分かる。また線形計画法では制約条件に距離の条件を入れることができるので、運行距離を設定して解くことができるメリットもある。それに加えて目的関数が利用人口の最大化とはっきりしている。これら点では線形計画法の方がよい方法といえる。しかし、線形計画法はデータの入力に膨大な時間がかかりとても面倒なことが分かった。巡回セールスマン問題とダイクストラ法では、プログラムさえ作ってしまえば、データの入力はわずかなので時間的に早く結果を出すことができた。結果も線形計画法と比べて、利用者数が 4% から 20% 減るだけなので、場合によっては巡回セールスマン問題とダイクストラ法を使った方がよいといえる。

本研究の結果は 3 コースとも人口の増加が多かった、線形計画法の結果を採用した。当初の目標であった「西春くるくるタクシー」のルート上の 60 歳以上の人口を増やすことができた。このルートにより、使いやすく利用者のみさんの新たな足になれることを期待したい。

参考文献

- [1] 上田 徹, 岡本 和友 : 人口を考慮したコミュニティーバス最適経路の研究, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 2005 年春季研究発表会, pp.10-11.
- [2] Tomy : Tomy's Home Page, <http://www5.airnet.ne.jp/tomy/index.html>.
- [3] 山本 芳嗣, 久保 幹夫 : 巡回セールスマン問題への招待, 朝倉書店, 1997.
- [4] 柳浦 親憲, 茨木 俊秀 : 組合せ最適化 - メタ戦略を中心として -, 朝倉書店, 2002.