

バス路線の決定問題

戸田 和宏 (沼田 一道 助教授)

1. はじめに

我々は社会生活を営む上で、物理的な移動を様々な交通手段を利用して行っている。特に、通勤、通学といった定常的な移動の手段としては、電車とバスが主要なものである。バスは電車の駅を中心とする地域を覆う路線ネットワークで人々を駅まで運び、電車はそれらの人々を都心へ送り、そこから戻す役割を果している。どちらも移動の手段としては不可欠な存在である。

本研究ではバス路線に注目し、1つの鉄道駅を中心とする地域のバス路線をどのように決定すべきかについて考察する。バスは公平性を考えると、出来るだけ多くの人々が利用しやすいものでなくてはならない。一方、効率性を考えると利用者の多い地域を優先して考えざるを得ない。実際のバス路線は運行会社の経営政策（開発予定地域の優先）や住民の既特権等によって決まっているようであるが、新しい住宅が次々と建てられているような地域の路線集合は、必ずしも多くの利用者に利用しやすいものとはなっていない。

本研究では神奈川県横浜市青葉区の東急田園都市線青葉台駅を中心とする地域を例として取り上げ、バス路線集合を公平性と能率性の観点から再構築する問題を考える。妥当なバス路線集合を求める問題の定式化を行ったあと、実際の道路網上でそれを求め、現行のバス路線と比較検討する。

2. 現行のバス路線

現在青葉台駅を中心とする地域には、10本のバス路線が運行されている。各路線の行き先と配置状況を図1に示した。路線の中には最短経路を通らずに遠回りをしているものもある。またいくつかの路線は、学校、会社、公共施設といった利用者の多い施設を通過するため大変混雑している。現行のバス路線では、ダイヤの改正を定期的に行うことでバスの本数を増やし、利用者の

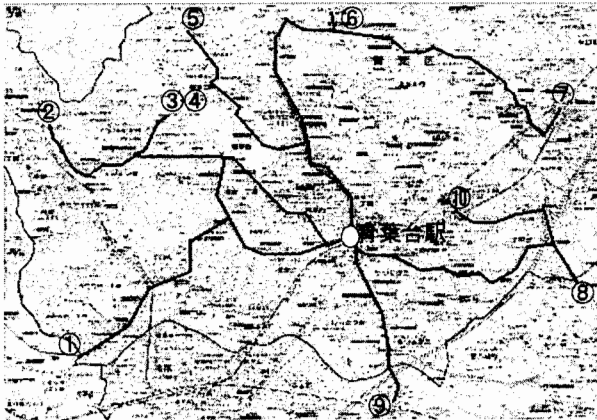


図1. 青葉区の路線図

表1. 青葉区を走行するバス路線の距離

終点	距離(m)	最短距離(m)
①あかね台	4250	4250
②こどもの国まで	3800	3800
③日体大(松風台経由)	3800	3150
④日体大	3200	2950
⑤鶴志田団地	3050	3050
⑥桐蔭学園	3300	3300
⑦市ヶ尾	5900	2950
⑧北八朔	2750	2750
⑨十日市場駅まで	2100	2100
⑩藤が丘駅	4400	1500

多い地域の混雑を避けようとしている。しかしもともと路線の少ない地域の住人や、路線のない地域に次々と建てられている住宅に住む人々は、ダイヤの改正だ

けではバスを利用しやすくなるとは云えない。そこで本研究では、現行に見られる問題を通過経路を再構築することで解決しようと考えた。

3. バス路線の再構築

3. 1 公平性と能率性

公平性の指標から路線の構築を考えると、最も不便な人の所要時間をできるだけ小さくするのが自然である。一方、能率性の指標から考えると、全住民の平均所要時間を小さくする必要がある。しかしこの2つを指標として路線を構築しようとする、モデル化、解法の両面で難しい点がある。最も不便な人の所要時間を小さくしようとするれば、路線の利用人口は少なくなる。全住民の平均所要時間を小さくしようとするれば、住人の多い地域の所要時間が小さくなり不便な人まで路線が行渡らない可能性がある。2つの指標に重みを付けてバランスをとることも考えられるが、重みを変化させて良い解を作るのは難しい。そこで本研究では、公平性と能率性の指標として次の2つの目標を考慮してバス路線集合を再構築することを考える。

- ・ 路線集合の覆う人口（路線を利用できる人口）の最大化
- ・ 路線集合として採用する路線の距離の最小化

3. 2 前提

本研究では、路線を決定する問題のみを扱い、バス停の配置やダイヤの再構築は行わない。路線本数は既存のものと同じ10本で考え、各路線の終点はそのまま使用する。バス利用者は近くの道路を利用するものとして積算する。同じ道路を2本以上の路線が通過した場合、利用人口は各々数える。

3. 3 モデル

扱う範囲は青葉区のバスが走行可能な道路網内で、交差点を頂点 $(0, \dots, 68)$ 、道路セグメントを枝 $e_k (k=0, \dots, 106)$ としてグラフを作成する。(図1) ここで頂点番号0は青葉台駅を表す。頂点番号1, 3, 6, 31, 32, 34, 50, 64, 67, 68は10本の路線の終点 i を表している。枝には距離 l と利用人口 N を対応付ける。利用人口は住人や周辺の建物を考慮し、一回の走行で乗車する人を10段階で評価した。

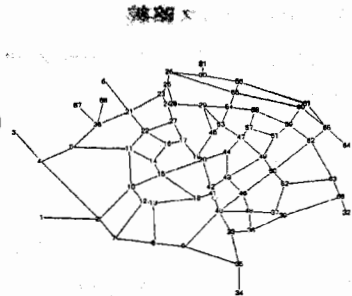


図2. 青葉区のグラフ化

4. 定式化

始発点から終点 i までの経路を $p^{(i)} = (e_1, e_2, \dots, e_s)$ 、その利用者人口 $C(p_i)$ を

$$C(p^{(i)}) = \sum_{k=1}^s N(e_k)$$

で与える。始点と終点 i との最短経路の長さを L_i とするとき、 $p^{(i)}$ はその長さが αL_i 以下であるものに限って考える。長さ αL_i 以下の始発点と終点 i の間の経路集合を $P^{(i)}(\alpha)$ で表す。

α (最大許容係数) は最短距離からの最大倍率を表している。この α が与えられたとき、路線集合の総利用人口を最大化する問題は次のように定式化できる。

$$(R_\alpha) \left\{ \begin{array}{l} \max \sum_{i=1}^{10} C(q_i) \\ \text{sub.to } q_i \in P^{(i)}(\alpha) \quad (i = 1, 2, \dots, 10) \end{array} \right.$$

5. 解法

問題を解くための手順を以下に示す。

Step1: 始発点から各終点までの最短経路をダイクストラ法により求める。

Step2: α を 1.1, 1.2, ..., 2.0 と変えながら Step3 以下の作業を繰り返す。

Step3: 各終点について $P^{(i)}(\alpha)$ を求める。

Step4: 問題 (R_α) を解いて、総利用人口が最大となる路線集合 $p_1^*, p_2^*, \dots, p_{10}^*$ を求める。

6. 実験

モデルに従って青葉区の地図をグラフ化する。 $N(e)$ は表3に従って「青葉区町別世帯と人口」のデータから見積った。 l は地図で道路の長さを計り縮尺に合わせて実寸長にしたもので、それぞれの値を枝(道路)に割り振った。(表2)作成したプログラムは各終点までの最短経路と α を変えたときの路線候補を出力する。(図3)出力された路線候補の人口データから、総利用人口が最大となる路線集合を決定した。

表2. 枝に割り振った人口と距離のデータの一部

枝	距離	人口
0-40	400	1
0-41	100	1
1-2	1850	10
2-4	1500	6
2-7	550	3
2-10	900	3
3-4	700	10

表3. 人口の評価法

総人口	評価	総人口	評価
1~100	1	501~600	6
101~200	2	601~700	7
201~300	3	701~800	8
301~400	4	801~900	9
401~500	5	900~, 学校	10

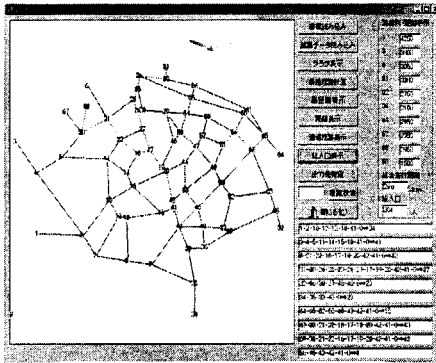


図3. プログラム実行画面

7. 結果・考察

計算の結果、新しいバス路線集合の α と総合利用人口の関係は図4, 総走行距離と総合利用人口の関係は図5のような結果が得られた。

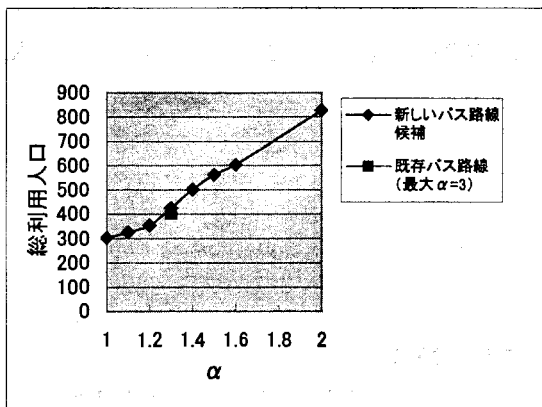


図4. α と総合利用人口の関係

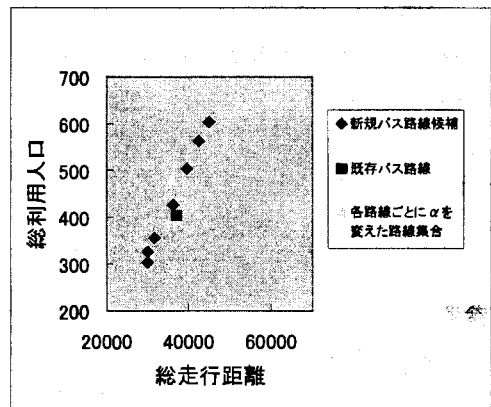


図5. 総合距離と総合利用人口の関係

既存のバス路線集合 ($\alpha=3$) の総利用人口は実験結果の $\alpha=1.3$ のときの利用人口の値に近い。(図4) $\alpha=1.4$ 以上の新しいバス路線集合は既存のバス路線集合よりも α の値が小さく総利用人口が大きいという意味で '優れている' と云えなくもない。既存のバス路線集合は α の最大が3で、次に大きいものが $\alpha=2$ となっている。新しいバス路線集合はその二つよりも α が小さいため、最短距離からの最大延長がかなり小さくなり、利用人口も増えているので納得のいく結果である。一方図5を見ると、 $\alpha=1.4$ 以上の新しいバス路線集合は、既存のバス路線集合と比べて利用人口は上回っているが、同時に総合距離も上回ってしまっている。これは、新しいバス路線が全路線の最大延長を均一にして小さくし、利用人口を大きくしようとしたのに対し、既存のバス路線は各路線によって最大延長が異なっているために起きていると考えられる。

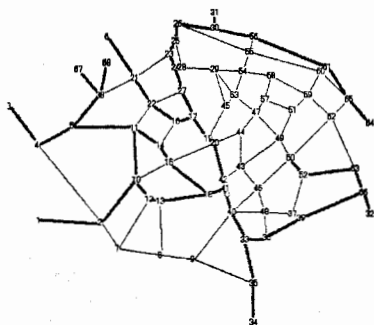


図6. 既存バス路線網

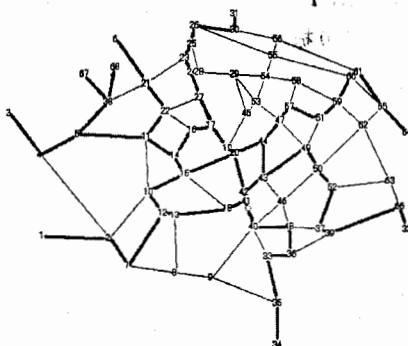


図7. 新しいバス路線網

本研究の実験で求めた路線集合の中では $\alpha=1.4$ のときの路線集合が良いバス路線と思われる。 $\alpha=1.4$ 以上の路線は効率的ではあるが、現実問題として α の値が大きくなりすぎると終点 i までの所要時間が大きくなりあまり現実的ではない。利用人口が既存を超えている路線集合の中から α が一番小さい $\alpha=1.4$ の路線集合に決めた。既存バス路線集合と新しいバス路線集合を路線網で表示した。(図6)(図7)

同じ道路を2本以上の路線が通過しても、人口を重複して数えているので全体的に人口の多い地域に路線が集中している。その結果混雑の減少が見込める。既存のバス路線網と新しいバス路線網を比較すると路線網の右中央の交通不便地域が少し解消されている。

8. 今後の課題

本研究では、できるだけ現実的な改善を行うべく、道路の距離や人口を正確に入力したが、人口を道で計算するのではなく、地域を細かく分割して人口計算を行えばより精度の高い結果が得られたのではないと思われる。利用者は近くの道路からバスを利用すると定義したが、バス停を設置してそこに集まる人口を計算できれば、より現実的な路線が求まるのではないと思われる。これらは今後の課題である。

[参考文献]

- [1] 横浜市区分地図 13 緑・青葉区都筑区, 昭文社, 2001.
- [2] 横浜市青葉区役所ホームページ <http://www.city.yokohama.jp/me/stat/mesh-A01.html>
- [3] 塚越 一雄:「はじめての Delphi」, 技術評論者, 1996.