

コミュニティバスの路線網策定システムの構築*

A method of optimization for community bus transportation network

高山純一**・柳沢吉保***・中野泰啓****・加藤隆章*****

By Jun-ichi TAKAYAMA**, Yoshiyasu YANAGISAWA***, Yasuhiro NAKANO**** and Takaaki KATOU*****

1. はじめに

都市内公共交通としてのバス交通は面的な交通サービスを供給する重要な交通機関である。しかし、近年の自動車交通の急速な普及により、バス交通の利用者数は年々減少しており、事業者側の運営状況は大変厳しいものとなっている。また、規制緩和の風潮を受け、運輸省は平成13年度を目標に乗合バス事業の需給調整規制の緩和・撤廃を計画している。これによって事業者側の自由競争を促進し、沿線住民からの需要に対応した高サービス・低料金のバスシステムに転換することが期待されている。

また、高齢化・福祉社会の本格的到来を控え、公共交通システムもこれまでの量的拡大から人々の多様なモビリティに的確に対応するという質的充実が求められており、このような社会的要求から、いわゆるコミュニティバスの施策・導入が全国的にも増加傾向となってきている。

コミュニティバスを対象とした研究として、山口ら¹⁾は、全国で導入されているコミュニティバスのうち22地域54路線を対象として、バス停間隔や運行間隔・運行ルートといったバス交通のサービス改善のための提言を行っている。新田ら²⁾は、高齢者対応型バスに着目し、一般化時間を組み込んだ交通手段選択と需要予測を行っている。特に需要予測では、バス停までの徒歩時間、乗車時間、利用料金、の3つのサービスについて、レベルの異なるサービ

ス条件を設定して、予測を行っている。橋本ら³⁾は、路線候補を6路線挙げ、路線毎に通勤時と業務時を対象とした比較分析を行っている。特にここでは、最短移動時間算出モデルを用いて需要予測を行い、運行間隔を変化させ、コミュニティバスの費用便益も行うことによって、路線と運行間隔を検討している。秋山ら⁴⁾は、福祉送迎との融合、交通不便地域の解消、交通弱者の利便性向上などの観点から路線を4通り設定し、それぞれに対して需要予測と費用便益分析を行っている。

このように、コミュニティバスに関するこれまでの研究は、主にアンケート調査を用いたコミュニティバス導入前後におけるコミュニティバスの評価(満足度評価)と需要予測が主体であり、コミュニティバスの路線を明確に決定する研究はあまり見受けられない。最適な導入路線を決定する場合においても住民へのアンケート調査を用いて決めることが大半であり、理論的に決定する方法は見られない。

そこで本研究では、住民の福祉的立場や地域の市街地活性化を重視したコミュニティバスの路線網を理論的に策定するシステムの構築を行う。ただし、この問題はコミュニティバスの路線網と運行スケジュールを同時決定する組み合わせ最適化問題であるため、解の探索が非常に困難である。そこで本研究においては遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithms, 以下GAと略す)を援用することによって、解の探索を比較的容易に行うこととする。なお、ここではこのGAを用いて、コミュニティバスの路線網策定システムを構築し、その適用性を長野市(中心市街地)の実道路網を用いて検証する。

2. 路線網策定のための定式化

(1) 定式化のための前提条件

コミュニティバスの路線網を策定する際には、既存のバス路線(路線バスの路線)と新設のコミュニティバスの路線とのバランスをいかにとるかが最も重

*キーワード：公共交通計画，コミュニティバス

**正会員，工博，金沢大学工学部土木建設工学科

〒920-8667 金沢市小立野2-40-20

TEL 076-234-4613 FAX 076-234-4632,

E-mail takayama@t.kanazawa-u.ac.jp

***正会員，工博，長野工業高等専門学校環境都市工学科

〒381-8550 長野市大字徳間716

TEL 026-295-7140 E-mail yana@eu.nagano-nct.ac.jp

****学生会員，金沢大学大学院自然科学研究科

E-mail ynakano@nihonkai.kanazawa-u.ac.jp

*****学生会員，金沢大学大学院自然科学研究科

E-mail takaaki@nihonkai.kanazawa-u.ac.jp

要と思われる。また、従来の研究^{5),6)}のように最短経路や運搬ODが最大となる路線を対象路線網とする方法では、コミュニティバスとしての意義が薄れるために路線網決定条件(目的関数、制約条件等)を考え直す必要がある。

また、コミュニティバスは交通弱者に対してやさしい運行形態、福祉的・補完的な運行形態をとる必要があると思われる。

これらのことを考慮して、本研究では、次の前提条件を設定する。

- ① 対象ネットワーク内でのコミュニティバスの起終点は予め決定しておく。
- ② 着時刻指定のバス停間OD(バス利用者のOD需要)が既知であるものとする。
- ③ バスの1台当たりの乗車可能人数は与えられているものとする。また、それを越えるODは運搬せず積み残しとして扱う。
- ④ コミュニティバスの路線網は福祉目的と市街地活性化(観光目的を含む)を目的としたものとする。
- ⑤ バス台数は与えられているものとする。
- ⑥ 対象ネットワーク内のコミュニティバスのバス停(バス停間隔はおよそ200m~300mとする)はあらかじめ設定しておくものとする。
- ⑦ 乗客の乗り換えは、その利便性を考慮して1トリップにつき最大1回までの乗り換えとする。

(2) 最適化問題の定式化

以上の条件により、最適化問題を定式化すると以下ようになる。

目的関数

- ① 対象ネットワーク内でのコミュニティバスの目的別(福祉目的、市街地活性化目的)運搬OD交通量の最大化

$$T^r = \alpha \cdot \sum_i \sum_j \sum_k l_{ij}^r \cdot \delta_{ij}^k + \beta \cdot \sum_i \sum_j \sum_k m_{ij}^r \cdot \delta_{ij}^k + \gamma \cdot \sum_i \sum_j \sum_k n_{ij}^r \cdot \delta_{ij}^k + \delta \cdot \sum_i \sum_j \sum_k o_{ij}^r \cdot \delta_{ij}^k \Rightarrow \max. \quad (1)$$

- ② 乗客の平均所要時間の最小化

$$Z = \frac{\sum_i \sum_j \sum_k t_{ij}^r \cdot \delta_{ij}^k \cdot a_n |_{i,j}}{\sum_i \sum_j \sum_k t_{ij}^r} \Rightarrow \min. \quad (2)$$

ここに

Z : 乗客の平均所要時間 (分)

l_{ij}^r : 高齢者の福祉目的時の対象時間帯 r におけるバス停 i からバス停 j へのバス利用者数 (バス停間 OD 交通量)

m_{ij}^r : 非高齢者の福祉目的時の対象時間帯 r におけるバス停 i からバス停 j へのバス利用者数

n_{ij}^r : 高齢者の市街地活性化目的時の対象時間帯 r におけるバス停 i からバス停 j へのバス利用者数

o_{ij}^r : 非高齢者の市街地活性化目的時の対象時間帯 r におけるバス停 i からバス停 j へのバス利用者数

δ_{ij}^k : 路線 k によりバス停 i からバス停 j へのトリップが可能ならば $\delta_{ij}^k = 1$, 不可能であれば $\delta_{ij}^k = 0$

$a_n |_{i,j}$: 乗客 n が (i, j) 間を乗車したときの乗り換え待ち時間を含んだ旅行時間 (分)

T^r : 時間帯 r においてネットワーク全体の総交通需要 (全 OD 交通量)

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$: 係数

制約条件

- ① コミュニティバスの運行ルートは、同じバス停に停車しないようにする。
- ② コミュニティバスの運行ルートは、許容距離範囲内とする。
- ③ 既設バス路線と重複する運行ルートはできるだけ削除する。

3. コミュニティバス路線網策定システムの概要

(1) システムの全体構成

本モデルは、まず対象ネットワーク内の起終点ごとに許容距離以内の経路の探索を行い、目的別の沿線 OD の多いものを対象路線候補として抽出するサブモデル(路線限定サブモデル)と、コミュニティバスの運行頻度に応じて、コミュニティバス利用者の乗り換え地点の決定を行うサブモデル(乗り換え地点決定サブモデル)、そして GA を用いて最適コミュニティバス路線網と運行間隔を求めるサブモデル(スケジュール決定サブモデル)の 3 つのサブモデルで構成される。システム全体のフローを図-1 に示す。

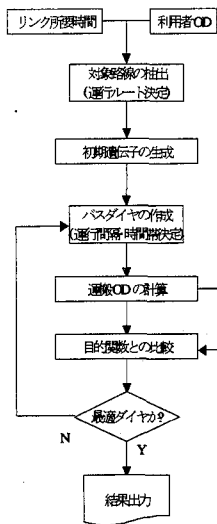


図-1 本研究のモデルの構成

(2) スケジュール決定サブモデル

ここでは路線限定サブモデルで得られた路線網と目的別コミュニティバス利用者 OD を用いて最適なコミュニティバスの運行間隔・運行時間帯(始発時間・終発時間)を決定する。

具体的には、GA の考え方に従って次のような手順で進める。

- 1:決められた人口サイズだけの遺伝子を初期世代としてランダムに発生させる。(尚、GA の遺伝子の設計方法については後の節で述べる)
- 2:発生させた遺伝子に含まれる路線番号の情報と始発時刻に従って、発ノード、着ノード、経路ならびにバス運行時刻(運行間隔)を決定する。ここで、各バスの運行路線は、終日同じルートを運行することとした。
- 3:作られたダイヤに対して、着時刻指定 OD 表から目的別の乗車人数を計算する。ここで計算されるのは、直達 OD(乗り換えが生じない OD)のみである。
- 4:手順「3」で運搬されなかった OD(乗り換えが必要な OD)について、乗り換え地点決定サブモデルにより乗り換え地点、乗車路線の選択、バス待ち時間、乗り換え OD(乗り換えをすることで目的地に到着できる OD)の計算を行う。
- 5:目的関数(式(2))を計算する。
- 6:GA のアルゴリズムにしたがって淘汰・交差・突

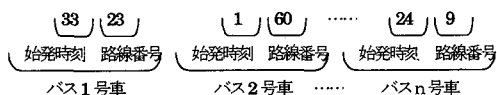


図-2 本モデルにおける遺伝子の設計方法

然変異の遺伝子操作を行う。

7:以上の操作を繰り返して、目的関数の更新が一定世代数の間で行われない場合、或いは世代数がある値(最大世代数)になったところで計算を打ち切る。

(3) 遺伝的アルゴリズム(GA)の適用

本モデルは、路線の数ならびに始発時刻の設定などにより、解の候補が膨大な組み合わせとなるため、最適化、探索アルゴリズムの一種である遺伝的アルゴリズムを援用して、近似解ながら効率的に解の探索を行うこととした。

具体的には、設計変数である遺伝子の情報として、各バスに運行路線の情報と始発時刻をランダムに割り当てる。このように割り当てることで、1 つの遺伝子列の上に複数のバスの情報をのせることができ、コミュニティバスの路線とダイヤ(始発時刻、運行間隔)を同時に決定することができる。遺伝子列の概要を図-2 に示す。

4. 長野市中心市街地におけるケーススタディ

(1) 概要

長野市中心市街地は、平成 12 年 4 月から市内循環バスである「ぐるりん号」が運行されている。

そこで本研究では、長野市中心市街地を対象としたネットワークを作成して、コミュニティバスの路線網策定のケーススタディを行うことにより、本システムの有効性を検証する。

なお、ネットワーク作成には電子地図帳を、着時刻指定 OD 表の作成には、平成 11 年 11 月に行った市内循環バス導入前の SP 調査のアンケート結果⁷⁾を利用した。

(2) 計算の実行条件

対象とする地域は、JR 長野駅、長野市役所、長野県庁、善光寺を中心とするネットワークで、道路の幅員は 6m 以上を基本的に考慮した。ネットワーク

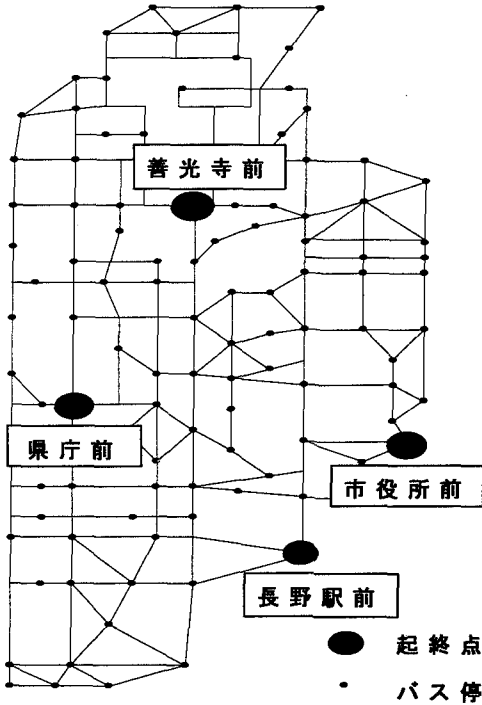


図-3 コミュニティバスの対象ネットワーク図

図を図-3に示す。

OD 表は、上に挙げたアンケート調査の結果を参考にして、7:00~19:00の12時間に30分ごとの着時刻指定ODを作成した。

このケーススタディにおける計算の実行条件は次の通りである。

- ・ コミュニティバス運行時間：7:00~19:00
- ・ コミュニティバス路線の発着点：4地点(長野駅前西口、長野市役所、長野県庁、善光寺前)
- ・ バス停間隔：300m以内
- ・ 運行時間の許容時間：30分以内
- ・ バス台数：適宜変化させる
- ・ 乗車定員：40人

ここで計算結果の例(イメージ図)を図-4に挙げる。発着点は長野駅、市役所、県庁となり、特に長野駅発の路線網はバスを3台運行させているので、運行間隔もより短くなり、利用者にとって利便性の高い運行条件となっていると思われる。

5. 本研究の成果と今後の課題

本研究は、バス停をあらかじめ設定している状態

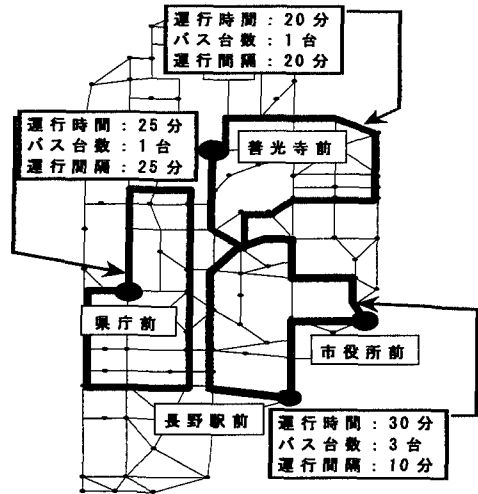


図-4 出力結果のイメージ図

で、利用者の利用目的を考慮したコミュニティバスの路線網策定システムの提案を行った。

しかしながらバス停を決定するときに、本研究では、対象となる地域の特徴(公共施設の場所、住宅地等)を考慮し、バス停間隔は300m以内という条件を設定しているが、バス停の配置が明確化されていないため、今後はバス停の最適配置も考慮する必要があると思われる。

【参考文献】

- 1) 山口隆之・浅野光行：地域特性を考慮したコミュニティバスの導入促進に関する研究，都市計画論文集，No.34,pp.985-990,1999.
- 2) 新田保次・都君優・森康男：サービスレベルに応じた高齢者対応型バスへの転換需要予測に関する研究，都市計画論文集，No.33,pp.211-216,1998.
- 3) 橋本浩史・徳永幸之：通勤および業務需要から見た都心部循環バスシステムの検討，土木計画学研究・講演集 Vol.22(1),pp.487-490,1999.
- 4) 秋山哲男・小沢達也・大久保博・山岸勇一・丸山教史・荒木俊博：三鷹市におけるコミュニティバスの導入について，土木計画学研究・講演集 Vol.21(2),pp.823-827,1998.
- 5) 高山純一・塩土圭介：乗客の乗り換えを考慮した最適バス路線網計画策定システムの構築，第53回土木学会年次学術講演会講演概要集，第IV部，pp.744-745，1998.
- 6) 高山純一・柳沢吉保・中野泰啓・加藤隆章：市内循環バスと路線バスを共存させたバス路線網最適化システムの構築，平成11年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，pp.???-???, 2000.
- 7) 高山純一・柳沢吉保・中野泰啓・加藤隆章：長野市における市内循環バス導入計画に対するアンケート調査，平成11年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，pp.379-380，2000.