

3. 高齢社会に対応した地域公共交通サービスに関する研究

～低密度地域における需要応答型公共交通システムに着目して～

A Study on Local Public Transportation Service for Aged Society -Focusing on Demand Responsive Transit in Low-Density Areas-

東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 96138 土肥 徹

Japan is rapidly aging, and ensuring mobility of the elderly and the handicapped has become an urgent problem to be solved. Against this background, many municipalities in Japan have recently introduced “Community Buses”, but these buses are not without problems especially in efficiency. After reviewing overseas cases of new public transportation system for aged society, we focused on demand-responsive transit (DRT). We examined the applicability of DRT (advance request, many-to-many type) in a low-density region – Takayama areas in Gifu Prefecture. As a result, we found that DRT is more efficient than conventional bus systems characterized by fixed-route fixed-schedule service, and needs less subsidies.

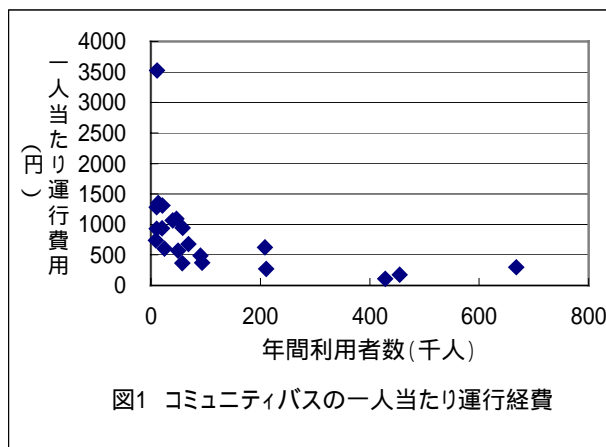
1. 研究の背景と目的

我が国では、急速な高齢化が進んでいる。2000年の交通バリアフリー法制定に見られるように、高齢者、障害者等のモビリティ対策への関心は高まっている一方で、2001年度に施行される乗合バスの規制緩和（道路運送法改正）により、低密度地域における公共交通は大きな影響を受けると予想される。生活路線の確保や、交通バリアフリーの推進において、自治体の役割は重要になっていく。しかしながら、右肩上がりの時代は終わり、今後の財政規模の拡大が見込めない現在、福祉的要素のある施策においても、効率性が求められる。本研究は、そのような背景のもと、自家用車を運転できない人々のための地域に応じた効率的な公共交通システムの形態について実際の地域に即して検討することを目的とする。特に、本研究では、需要応答型公共交通システムについて着目している。

2. 高齢社会対応地域公共交通サービスの現状と課題

交通空白・不便地域における高齢社会に対応した地域公共交通サービスの供給方策として、自治体が計画し、ほとんどの場合民間に運行を委託するいわゆるコミュニティバスがあり、急増している。しかし、実際のデータを見ると、トリップ長の差異を考慮する必要があるが、武蔵野市ムーバスのように運営費ベースで黒字に転換した事例

がある一方で、利用者数が少なく、高額な費用がかかっている事例がある。同額の財政支出でより良いサービスを提供するために、サービスの供給方法の改善が必要であると考えられる。



3. 海外等における高齢社会に対応した地域公共交通への取り組み

高齢社会に対応した地域公共交通の改善の方策として、国内外で、ボランティアの活用や、地域負担、地域住民主導のサービス供給、新たな運行モードの導入の試みが行われ始めている。本研究では、近年の技術発展と国内での研究事例がほとんどないことを踏まえ、この中で新たな運行システムについて着目した。

新たな運行システムとして、需要応答型公共交

通が挙げられる。需要応答型公共交通（DRT：Demand-Responsive Transit）とは、EU やアメリカでの定義によれば、定時定路線型運行の乗合サービスと、一般のタクシーの中間に位置する公共交通サービスである。近年、情報技術の発展により需要応答型公共交通システムへの関心が高まっており、欧米では、高度技術を用いたプロジェクト（アメリカ APTS、EU の SAMPO、SAMPLUS プロジェクト）が、5 年以上前から行われはじめている。我が国においても、最近注目されている（ITS スマートタウン構想等）。需要応答型公共交通システムについて整理すると表 1 のようになる。

また、イギリスにおいては、ボランティアグループによって、需要応答型等の公共交通サービスがなされている（コミュニティトランスポート）。

DRT については、情報技術等の活用により、既存のバス、タクシーにとらわれない多様な運行形態が可能になり、地域特性に応じたより適切な公共交通サービスの供給が可能になると期待される。しかしながら、どのような地域にどのようなタイプのシステムが適しているのか、ということに対する検討は不十分である。

4. 仮想地域における需要応答型公共交通システムの適用可能性の検討

実際の地域での検討に先立ち、交通手段比較に関する文献レビューを行った後、需要応答型交通システム（DRT）のモードの一つである Many-to-one 型サービスについて、需要が時空間的に均一な仮想的な地域を対象として、異なる需要密度毎の適用可能性について検討した。その結果、需要応答型公共交通システムが低密度需要に対して適しているという通説が確かめられた。

5. 低密度地域の公共交通の現状と地域住民の意識

対象地域として、岐阜県高山市を中心とする 1 市 2 郡を取り上げた。高山周辺地域を対象とした理由として、公共交通サービスに関する問題が深刻であると考えられる低密度地域（中山間地域）であり、また高齢化が全国平均よりも進んでいること（EU・SAMPO プロジェクトにおいても農村部における実験が行われている。）旧国土庁による高齢者・障害者の交通に着目した調査「小都市を核とする中山間地域の交流促進戦略に関する調査」がこの地域を対象として行われており、交通サービス等の概要について、一定のデータが蓄積されていることを考慮した。

高山市役所、古川町役場、バス事業者、古川町の廃止代替バス沿線の地域住民の代表（太江、中野区長）に対してヒアリングを行い、地域の公共交通の実状と地域住民の意識について把握した。高山市・古川町の概要

高山市は人口 66,139 人、高齢化率 16.7%（H7 国勢調査）であり、この地域の中心都市である。古川町は人口 16,035 人、高齢化率 20.4%で、この地域において 2 番目に人口が大きい。

現状の公共交通サービス

JR 高山本線が南北に通っている。商業ベースのバスサービスは国道を中心とする幹線部分を主に担っている。古川町は、廃止代替バス、福祉施設送迎バス、スクールバス、透析患者輸送バスを運行している。高山市は、福祉バス（コミュニティバス）、スクールバスを運行している。他の町村の多くにおいても、廃止代替バス、その他送迎バスが運行されている。

バスの利用状況と意識

バスを日常的に利用する人は限定されており、自治区の中で誰が利用しているか容易に特定できる。普段、車を利用している人は、飲みに行っ

表1 需要応答型公共交通の事例整理

	路線	停留所	スケジュール	事例
Route Deviation	基本の固定 路線 + 迂回	固定	固定	デマンドルート（日本）
フレックスルート	自由	固定	いくつかの点で固定	オムニリンク（アメリカ）
Many-to-Many	自由	固定	自由	RufBus（ドイツ）、 Personal Bus（イタリア）
	自由	自由	自由	STS（アメリカ）
Many-to-One	自由	自由	自由（ターミナル で固定）	Treintaxi（オランダ）、 空港シャトル
On-call 固定路線 サービス	固定	固定	自由	遊園地等のシャトル便

た翌日に車を取りに行くために利用するなど年単位の利用である。運行実績によれば、人口1人当たりの年平均利用回数は4~5回である。

ヒアリングにご協力頂いた区長は、バスは集落(区)にとって必要であると述べている。その理由として、車を利用できない人々にとって必要であること、集落のイメージに影響すること、活気がなくなることなどを挙げている。また、バスサービスについては、地域で負担してでも残していこうということになっているとも述べている。(代替運行が始まった当初は地域で負担)



図2 対象地域(古川町)

現状の公共交通サービスの経費等

公共交通サービスが必要とされている一方で、古川町では収支率が約2割と、効率が悪くなっている。古川町では、利用者数も減少傾向にあり、財政負担が増加していることから、サービスが維持できるかどうか危惧している。

一方で、バスのない地区から、バス路線開設の要望も出ている。

表2 現状のバスサービスの状況(1999年度)

	古川町廃止代替バス	高山市コミュニティバス
収入(千円)	3,163	15,505
運行経費(千円)	15,933	49,500
収支率	19.9%	31.3%
1便当たり乗客数	2.05	11.6

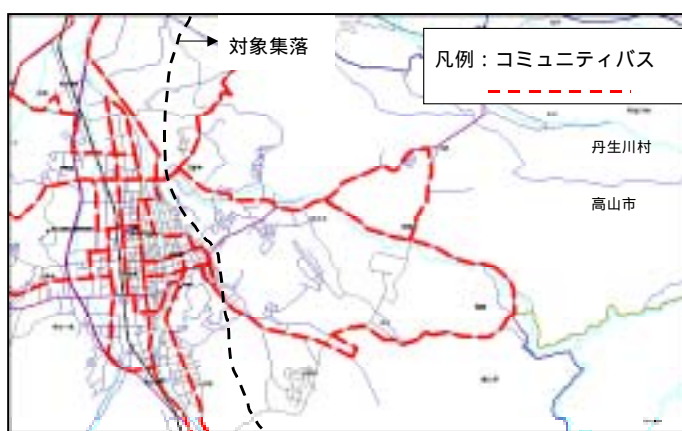


図3 対象地域(高山市)

6. 低密度地域における需要応答型公共交通システムのケーススタディ

高山周辺地域における地域公共交通の改善方策として、需要応答型公共交通サービスの適用可能性を検討するため、シミュレーションプログラムを作成し、ケーススタディを行った。

6.1 対象地域と想定するサービスの概要

対象地域

古川町については、廃止代替バス(自主運行バス)太江線及び信包線が運行されている、旧細江村、旧小鷹利村の区域の一部(太江、大村3区、谷、信包、黒内、笹ヶ洞、寺地の各集落)を対象とする。

高山市については、市東部のコミュニティバス東線沿線の集落を対象とした。

想定する新たなサービスの概要

現状のバスに関する問題として、「運行本数が少ない」ということが挙げられている(国土庁2000)ことも考慮し、商業施設や病院が集まっているDID地区と周辺集落とを結ぶ交通サービスとして、時刻・経路がフレキシブルで乗降場所が自由なmany-to-many(複数地点対複数地点)型の乗合公共交通サービス(以下、単に「DRT」と言う。)を想定する。このサービスは事前予約制で、約1~2時間前の予約が必要である。

6.2 シミュレーションについて

前提条件

- ・ 現状の廃止代替バス・コミュニティバス利用者が新サービスにそのまま移行するものとする。
- ・ スクールバス等の統合等、制度・慣習の面での代替案は考察しない。
- ・ 予約・通信等に関わる追加的費用は無視できるものとする。
- ・ 地点間の所要時間は一定である。

DRT のシミュレーションの方針

待ち行列理論では、需要が空間的に均一に分布している場合など扱える範囲がごく単純な場合に限られるので、配車プログラムを作成し、運行シミュレーションを行うこととした。

計算の流れは、以下の通りである。各データについては後に説明する。

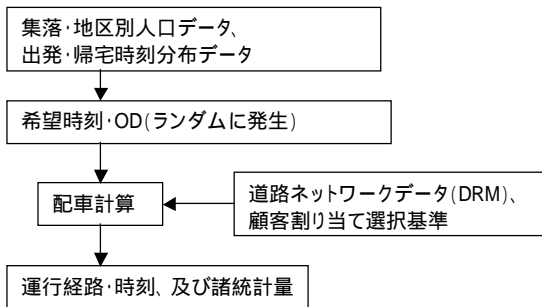


図4 DRTシミュレーションの流れ

定時定路線型バスサービスの評価

定時定路線型バスについては、DRT と共通の希望時刻及び OD データと、バス停の位置データ、バスの運行時刻表から、歩行距離や希望時刻との差異、乗車時間を計算した。なお、複数の路線(循環路線における方向(右回り・左回り)の区別を含む。)を利用可能な場合には、利用者は、一般化費用が最小となる路線を利用するものとした。希望時刻(希望到着・出発時刻)について

国土庁(2000)の調査データによる。時刻選択における制約のない高齢免許保有者の出発・帰宅時刻データを、公共交通利用の高齢者の希望時刻と見なし、その分布をもとに、1日のトリップ発生総量を所与として、逆関数法を用いて希望時刻をランダムに発生させた。時間帯(例:9時台)内の確率密度は一定と仮定している。また、到着時刻の指定は、往路については到着時刻、復路(帰宅)については、出発時刻を指定するものとした。

ODについて

- ・ 需要発生ポイント:本研究では、乗降場所が自由なサービスを想定しているが、計算上の都合により、需要の発生ポイントを設定した。古川町については、ポイント数78(居住集落側:1ポイントあたり平均約40人)、高山市については、ポイント数117(居住集落側:1ポイントあたり101人)である。市街地(目的とする活動側)については、代表点を古川町については2点、高山市については10点お

いている。

- ・ 居住地側の需要発生は、人口に比例するものとして、ランダムに発生させた。市街地については、データがないため、各点が目的地となる確率は均一のものとした。

配車手法について

想定する新たな公共交通サービスの配車問題は組み合わせ最適化問題(NP 困難)であり、小規模な問題を除けば、完全な最適化は実用的ではなく、ヒューリスティックな方法が必要となる。本研究では、静的(Static)な複数車両によるダイヤル・ア・ライド問題(時間制約付き)についての Jaw et al(1986)のコンセプトに沿った配車アルゴリズム(Insertion Algorithm)を用いる。なお、リアルタイムのサービス(呼び出すと一定時間内に車両が迎えにきてくれるサービス)と比較すると、情報をあらかじめ得ている分、効率の良い配車が可能になると考えられる。

配車アルゴリズムの概略は次の通りである。

- (1) p を開始時間帯とする。
- (2) 時間帯 p の顧客の希望時刻・OD の読み取り
- (3) 配車割り当て候補となる顧客集合を更新する。
- (4) 候補となる顧客ごとに、ミニマムのサービス水準(乗車時間、希望時刻との相違に関するもの。後述。)と車両定員制約を満たす、最適な割り当て車両、乗車・降車バスを決定する。最適な組み合わせは、後述する顧客割り当ての目的関数により決定する。
- (5) 候補顧客集合の中で、最適な割り当て顧客を決定し、車両運行計画を更新する。
- (6) 時間帯 p の全顧客の割り当てが終了していなければ、(3)に戻る。
- (7) 時間帯 p が運行の最終時間帯であれば、終了。そうでなければ、p を次の時間帯とし、(2)にもどる。

ミニマムのサービス水準

一部の利用者が、大きな不便を強いられることがないように、ミニマムのサービス水準を設定した。これは、例えば、特定の顧客の乗車時間があまりにも長くなることを防ぐための基準である。

- (1) 出発・到着時刻に関する希望との調整
(タイムウィンドウの幅)

相乗り運行であるため、必ずしも希望時刻通りになるとは限らない。出発時刻指定の場合には、希望出発時刻からその30分後までの間の時刻に、指定場所に迎えが来ることとする。到着時刻指定

の場合には、希望到着時刻の 30 分前から希望到着時刻までの間に目的地に到着するものとする。
 (2)乗車時間の上限

相乗り運行とするため、乗車時間が増える場合がある。本研究では、乗車時間は出発地から目的地まで直行した場合の所要時間の 1.5 倍に 5 分を加えた時間を上限とした。

顧客割り当ての目的関数

既存研究においては、走行距離等と乗車時間等を変数とした線形関数を用いられることが多い。本研究では、運行費用と利用者の不便さの和を考え、次式の C(ある顧客を追加することによる追加的費用)をもとに選択する。

$C = * (\text{車両走行距離の変化}) + * (\text{車両走行時間の変化}) + * (\text{全乗客の乗車時間の変化}) + * (\text{全乗客の希望到着 (出発) 時刻とのずれの変化})$

但し、 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ はパラメータである。 α :キロ当たり燃料費、 β :時間当たりの運転手の人件費、 γ :乗車時間の時間価値、 δ :待ち・スケジュール調整時間の時間価値とした。その他

現状のバスは、時刻表通りの定時運行とした。需要応答型システムの基本設定速度は、現状のバスよりも約 5km/h 速い速度とし、古川町におけるサービスは 30km/h、高山市におけるサービスは 25km/h とした。顧客 1 人当たりの停車時間を 10 秒とし、加減速度を考慮している。また、運行費用については、事業者の会計資料・その他資料、既存文献から算出した。時間価値については、新田ら(1993)による。なお、次節以降の計算結果は、50 回のシミュレーションにより値を求めたものである。

6.3 現状のサービスとの比較

次の 4 つのサービスを比較する(α を加えたのは、人件費による影響を見るためである。)。現状のバスサービス タクシーベースの DRT 1 (タクシーの人件費、ジャンボタクシー使用) タクシーベースの DRT 2(バスの人件費、ジャンボタクシー使用) バスベースの DRT(バス

の人件費、バス車両使用)

同じ人件費を用いた場合でも、運行費用、利用者のサービスの両項目とも改善が図られている。

表3 現状のサービスとDRTとの比較

		古川町			
		既存バス	タクシー DRT1	タクシー DRT2	バスベースDRT
需要レベル	日利用者数	28			
	平均需要キロ(km)	6.0			
	可住地人口密度(人/平方km)	4.22			
	可住地需要密度(人/平方km/時)	0.51			
設定条件	人件費	バス	タクシー	バス	バス
	使用車両	バス	タクシー	タクシー	バス
運行費用	運行費用	47,910	33,029	41,599	52,063
	運転人件費	26,878	17,242	25,773	22,916
	乗客一人当たり運行費用	1711	1180	1486	1859
サービス指標	平均乗車時間	14	14	14	12
	希望時刻との差異の平均	70	13	14	14
	歩行距離(m)	421	0	0	83
	乗客一人当たり利用者費用	443	132	133	122
社会全体	総費用	60,317	36,727	45,309	55,492
	乗客一人当たり総費用	2154	1312	1618	1981

費用等は、日額。費用、時間の単位は円、分
 利用者費用：サービス利用に関する非金銭的費用
 需要キロ：出発地から目的地までの最短距離

6.4 DRT が有利となる条件に関する把握

他の地域(特に、中山間地域)での適用可能性を検討するために、DRT が有利となる条件について把握する。現状の需要発生原単位のもとで、仮想的に人口密度を変化させて、2 つの交通サービスの有利、不利を把握した。

設定条件

人件費については、システムの違いによる影響を見るため、共通のものとした。車両は、ジャンボタクシー車両とバス車両のうち、全体の費用が少ない方を選択した。定時定路線型サービスについては、投入車両台数と、時刻(全体の運行ダイヤのシフト量)を最適なものとした。

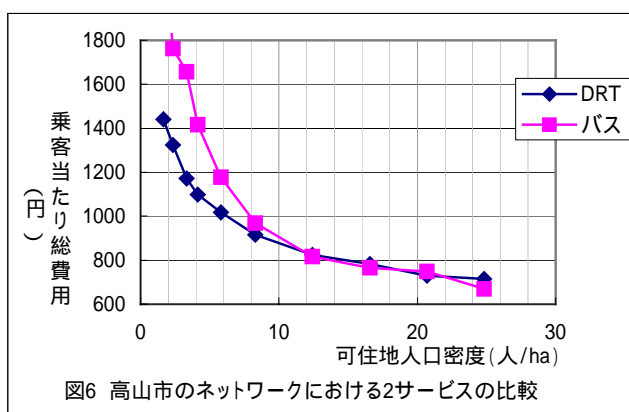
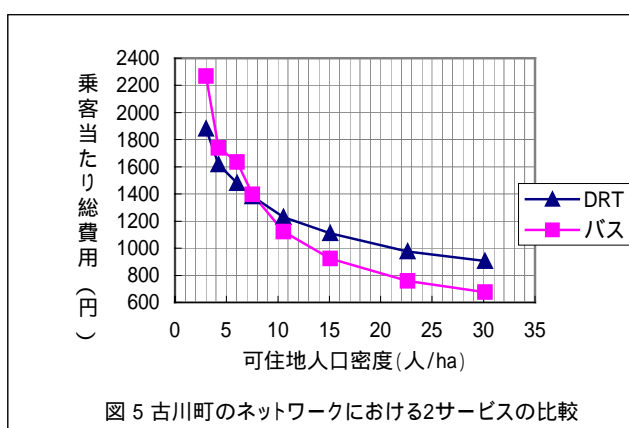
比較指標

手段間のサービス形態の違い(戸口まで来てくれるのか/バス停まで歩かねばならないのか)を考慮するため、比較の際には利用者がサービスを利用するための非金銭的費用(乗車時間等)を金銭換算して含める必要がある。このため、運行費用と非金銭的費用(利用者費用)の和として表される総費用を指標とした。運賃と行政等の補助金で運行費用を賄う場合、この総費用は、利用者の負

担する一般化費用と補助金の和としても表される。

計算結果

DRT が有利となる地域の境界は、古川町については、可住地人口密度 7.8 人/ha (利用客数 52 人、可住地需要密度 0.95 人/(平方 km・時)) のところとなった。高山市については、可住地人口密度 12.4 人/ha (利用者数 150 人/日、可住地需要密度 1.6 人/(平方 km・時)) 以下の場合について DRT が有利となった。高山市と古川町とで、境となる可住地人口密度、可住地需要密度に差が出たのは、諸条件を変化させて分析した結果、道路ネットワークの特性や人口分布の差が原因として挙げられる。



7. 結論

7.1 研究のまとめ

本研究では、規制緩和によりバス路線網の衰退が懸念される低密度地域において、高齢社会に対応した公共交通サービスのあり方について検討した。海外等の事例からは、バス・タクシーの隙間を埋めるような多様な交通サービスが存在す

ることが分かった。特に、需要応答型公共交通システムに着目し、まずは、仮想的地域において検討を行った。次に、実際の低密度地域の状況を把握した後、実際の地域の人口分布、道路ネットワークのもとで、many-to-many 型の需要応答型サービスの適用可能性を検討した。その結果、現状のサービスよりも、有効となる可能性があることが分かった。また、2つの公共交通サービスが有利となる境界条件は、古川町や高山市レベルの公共交通の需要発生原単位のもとでは、概ね 10 人/ha 前後が境界となることが分かった。概ね 10 人/ha 以下の自治体は、本研究で検討したような既存のバス・タクシーにとられない新しい交通サービスの検討を行うべきである。

7.2 今後の課題

分析の課題

- ・ サービス水準の変化による需要の変化を取り入れた評価
- ・ スクールバス、福祉施設送迎バス、その他送迎バスを一体化した運行に関する検討
- ・ バス停まで歩くことの困難な重度の交通困難者向けサービスとの統合を考慮した評価
- ・ 冬季の積雪を考慮した評価

導入に向けての課題

実際の導入にあたっては、社会実験等を通して、利用者のサービスの受容可能性等を確認していく必要がある。また、通信・予約等のシステムについては、既存設備の活用や、他のシステムとの統合、高齢者等の操作への配慮が必要である。

主要参考文献

- ・ Jaw, J.J., Odoni, A.R., Psaraftis, H.N., and Wilson, N.H.M: A Heuristic Algorithm For the Multi-Vehicle Advance Request Dial-a-Ride Problem with Time Windows, *Transportation Research*, Vol.20B, No.3, pp.243-257, 1986
- ・ 国土庁：小都市を核とする中山間地域の交流促進戦略に関する調査報告書, 2000
- ・ 新田保次, 上田正, 森康男：高齢者の交通形態別等価時間係数と時間価値, *土木計画学研究・講演集*, No.16(2), pp.191-194, 1993