

地方部の公共交通サービスの効率的な需給を実現する統合型予約配車システムの検討

横山 光祐¹・加藤 博和²

¹ 学生会員 名古屋大学 大学院環境学研究科 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 C1-2)

E-mail:kyoko@urban.env.nagoya-u.ac.jp

² 正会員 名古屋大学教授 環境学研究科附属持続的共発展教育研究センター

臨床環境学コンサルティングファーム部門 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 C1-2)

E-mail:kato@genv.nagoya-u.ac.jp

情報通信技術の発達に伴い、公共交通の分野においてもタクシー配車アプリなど、情報通信技術を活用した新たなサービスが始まっている。本研究では、公共交通で移動したい人が情報端末からリアルタイムに代替的な手段の選択肢を知ることができ、手段選択に応じて配車も行われる「統合型予約配車システム」の導入によって、地方部における公共交通サービスの利便性が向上する可能性を検討する。実際の地域において導入を想定しその効果を検証するために、現在の公共交通の運営形態を改善しうる複数のシナリオを設定して、一般化費用、運行経費、費用対効果の観点から評価を行った。その結果、システム導入に伴う一般化費用低減や利便性向上の程度が推計できた。

Key Words : public transport, ICT, generalized cost, rural area

1. はじめに

路線バス・タクシー事業の縮小が進み、公共交通空白・不便地区が拡大し移動が困難・不便となる人が増加している。そのため、財源や運転者確保制約の中で利用者・地域のニーズを満たしつつ、各公共交通機関の特性を生かして、公共交通機関間の連携や一体化を行い、サービスを効率的に提供する必要がある。

一方で、ICT (Information and Communication Technology) の発達と普及は目覚ましいものがあり、多くの国民がスマートフォンやタブレット端末を利用するようになった。公共交通の分野においても ICT を活用したサービスが始まっている。例えば、タクシー配車アプリは、現在地情報を送ることで、利用者に一番近いタクシーを呼び寄せることを可能にするだけでなく、迎車中のタクシーの現在地、待ち時間を利用者に伝えることも可能であり、利用者の利便性向上に貢献している。

このような ICT の活用により、現在公共交通で生じている様々な問題の解決に繋がる可能性がある。例えば、近年地方を中心に人手不足を理由とした公共交通事業者の廃業や事業縮小が広がっているが、タクシーや DRT であれば ICT の導入により予約管理、配車の自動化が可能になり、運営業務の軽減が見込まれる。また、DRT を導入する場

合、運行主体として想定される地方のタクシー会社は、予約・配車業務を手作業で行っていることが多く、複雑な配車や相乗りを導入することは難しい。この点も ICT 導入によって容易になり、運行の効率化を図ることができる。さらに、普段公共交通を利用しない人や、観光客などの目的地までの移動に最適な公共交通が分からない人に、リアルタイムで最適な移動手段を提示することができる。一例として、京都府京丹後市丹後地区では ICT を用いて予約配車や決済を行う公共交通空白地有償運送である「ささえあい交通」が 2016 年 5 月から導入された。これは、アプリケーションを用いて迎車場所を指定すると最寄りの住民ドライバーが対応して利用者を運ぶもので、事業者が撤退してしまったタクシーに代わって住民の移動手段となっている。また、アプリケーションが 45 言語に対応しているため、外国人観光客の利用も期待されている。

2. 研究対象地域

本研究は、三重県三重郡菰野町を対象地域とする。同町は三重県北西部にある(図-1)。町の西側にある鈴鹿山脈の麓に位置し、西側の山地には人

はほとんど住んでいない。2015 年国勢調査による人口は 40,939 人である。また面積は 106km²である。東に隣接する三重県四日市市のベッタタウンとして新興住宅が盛んに建設されており、人口は増加傾向にある。高齢化率は 26%と全国平均をわずかに下回る。

菰野町は 5 つの小学校区（菰野、千種、鵜川原、朝上、竹永）に分かれており、図-2 に各地区の位置関係を、また表-1 に各地区の特徴を示す。

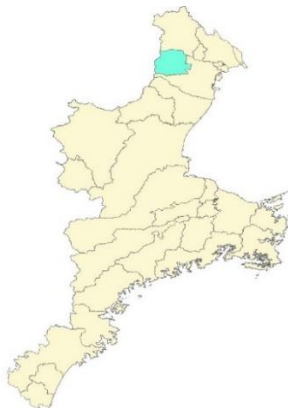


図-1 菰野町の位置

表-1 各地区の特徴

	人 口 (人)	地区の特徴
菰野	16,212	・中心に近鉄湯の山線の菰野駅がある。 ・東側に菰野厚生病院等の公共施設や、商業施設が集中する。 ・西側には湯の山温泉がある。
千種	5,804	・福祉施設「けやき」、町役場（庁舎）、千種工業団地がある。
鵜川原	4,235	・主に住宅地。
朝上	8,898	・駅から最も遠く、バスで 30 分以上を要する。 ・新興住宅が多い。
竹永	5,417	・中規模の商業、娯楽施設がある。 ・新興住宅地が多い。



図-2 菰野町内の各小学校区

(1) 対象地域の公共交通

町内の公共交通は鉄道、路線バス 2 路線、コミュニティバス「かもしか号」、タクシー、公共交通空白地有償運送「あいあい自動車」の 5 種類が存在する。その他、高速バスの名古屋湯の山高速線と御在所ロープウェイがある。以下それぞれの公共交通機関について概説する。

a) 鉄道

近鉄湯の山線は近鉄四日市駅と湯の山温泉駅を結び、菰野町南部を東西に横断する。湯の山温泉への観光利用もあるが、主に四日市方面への通勤通学に利用されている。本数は通勤・通学時間帯は 1 時間に 4 本、他の時間は 1 時間に 2 本程度である。町内には 4 駅存在し、菰野駅が全駅の乗降者数の過半数を占める。

b) 路線バス

三重交通株式会社が、四日市福王山線と湯の山線の 2 路線を運行している。四日市福王山線は、町北部の福王山から四日市までを結ぶ。鉄道駅から離れている朝上、竹永、鵜川原地区から四日市への通勤・通学に利用され。本数は 1 時間に 1 本程度である。地域間幹線として国と県の補助を受けている。利用者数は 146,125 人（H28）である。また、湯の山線は近鉄湯の山温泉駅と三交湯の山温泉を結ぶ（一部は近鉄湯の山線駅からアクアイグニスまでを延長運行）。鉄道と乗り継ぐ観光利用が大半である。

c) コミュニティバス「かもしか号」

かもしか号は全 9 路線で町内全域をカバーするコミュニティバスである。図-3 に路線図を示す。運賃は一乗車 200 円均一と安く設定されているが、車両が 4 台しかないため、全 9 路線とも、本数は少なく 1 日数便である。また日曜・祝日は運休である。利用者数は 55,482 人（H26）である。



図-3 かもしか号・湯の山線路線図

d) タクシー

町内にはタクシー会社が 1 社存在する。車両台数は 15 両であるが実質は 12 両が営業する。以前は複数社存在していたが撤退により 1 社になった。この結果、住民の日常生活の足として利用できるタクシーは少なくなっている。

e) 公共交通空白地有償運送「あいあい自動車」

あいあい自動車は株式会社リクルートホールディングスが 2016 年 2 月から実証実験を行っている。ICT を用いた公共交通空白地有償運送である。その概要を表-2 に示す。公共交通空白地有償運送とは、道路運送法 79 条に基づき、公共交通が希薄な地域において、国から許可を得た NPO 法人等が有償で旅客運送を行う制度である。利用できる範囲は病院や商業施設が所在する市街地から離れた大羽根園（菰野地区）、川北（鵜川原地区）での利用に限定されている。（図-3） 2016 年 11 月の利用実績は大羽根園地区で 9 名、川北 0 名である。

表-2 あいあい自動車の概要

利用対象者	65 歳以上又は障がい者の住民のみ
乗降場所	菰野町内
営業時間	平日・土曜日のみ 8:30~17:00
運賃	15 分 500 円
予約方式	タブレット端末 (2016 年 9 月より電話予約開始)
支払方法	クレジットカード
運転者数	9 名
使用する車	自家用車
相乗り	可

(2) 利用者アンケートとヒアリング調査

コミュニティバスの利用者に対して乗り込み調査によるアンケートを実施した。アンケートの概要を表-3 に示す。利用者アンケートの結果、菰野駅前、けやき、菰野厚生病院への利用が多いことが分かった。本研究ではこれらの施設に着目し集計・分析を行う。

また、2016 年 12 月にタクシー会社へヒアリング調査を行い、タクシー利用者の移動実態を把握し、利用者の OD データとして用いるタクシーの運行記録を入手した。

調査の結果の概要を表-4 に示す。

表-3 かもしか号利用者アンケートの概要

調査時期	2016 年 9 月 15 日～10 月 4 日 のうち各便 2 回ずつ調査
調査路線	神森菰野線（菰野小学校への通学便） を除く 8 路線 26 便
調査対象	全乗客
回収数	172
査項目	- 年齢 - 乗車・降車バス停 - 満足している面 - 運賃の限度額 - 目的地 - 往復の有無 - 不満な面

表-4 調査の結果

・かもしか号に満足している点	- 運賃が安い。 - バス停が近くにある。
・かもしか号に不満な点	本数が少ない。
・タクシー会社へのヒアリング調査	- 午前 9 時から 11 時に高齢者の通院目的での利用が多い。 - 自家用車で移動できない高齢者の利用が多い。
・町内の OD	図-4 に示す。午前に町北部から菰野地区への移動が多いが、帰りの移動は少なく非対称的である。
・交通手段割合	図-5 に示す。市街地からの距離が交通手段選択に大きく影響する。

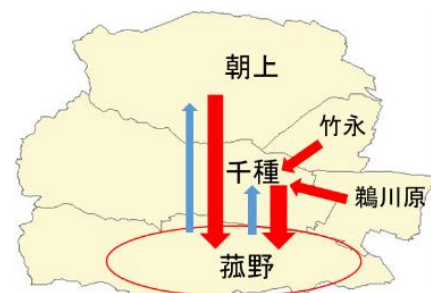


図-4 町内の OD



図-5 交通手段割合

3. 新たな地域公共交通網の提案

(1) 統合型予約配車システムの提案

第 2 章で述べた現状の問題の解決を図るために、統合型予約配車システムの導入を仮定する。またシステムを最大限活用できるよう公共交通網の再編を行うことを想定する。

統合型予約配車システムとは、利用者が公共交通を利用したいときに、スマートフォンやタブレット端末を用いて複数の公共交通からリアルタイムで効用が最も高い公共交通機関の組み合わせを自動で選定し、提示・配車できる ICT を用いたシステムである。これにより地域公共交通の一体化を図り、限られた費用、人員で効率化を図る。

(2) 新たな公共交通網の設定

システム導入に伴い、以下の内容で公共交通網の再編を行う。

a) 幹線の設定

コミュニティバスの利用が少なく、本数に対する不満が多いため、利用の多い路線のみを残し、その運行頻度を上げる。

b) 支線への乗合 DRT 導入

コミュニティバスがなくなる地域は乗合 DRT を導入し、利用者の要望に応じて柔軟に対応していく。また同時刻・同方向の移動に関してはシステムが相乗りをマッチングし、少ない車両を活用して運行経費削減を図る。なお、DRT の車両は一般タクシー車両を活用するものとする。

また、既存の一般タクシーのサービスについても、統合型予約配車システムの対象に含め、配車を可能とする。

c) 乗合 DRT の運行形態

導入する乗合 DRT の運行形態は、国土交通省中部運輸局（2013）の「デマンド型交通の手引き」を参考に選定した。この手引きは、運行方式、運行ダイヤ、発着自由度の 3 つの観点から DRT を分類し、特徴や導入例を示している。本研究での運行方式は、運行ルートやバス停を設けず、エリア内の予約に応じて運行する「自由経路ドアツードア型」、運行ダイヤを、運行時間内であれば需要に応じて運行する「非固定ダイヤ型」、発着地自由度は利用者の自宅から最寄りバス停等に限定されている「DT (Door-Transfer)」をそれぞれ採用する。

約 100km²の町内を 1 つのエリアとして運行することは非効率的であるため、町内を地形や道路状況をもとに 4 つのエリアに分割し運行する。DRT 運行エリアは幹線長によって図-6、図-7、図-8 の

ように異なる形で設定する。

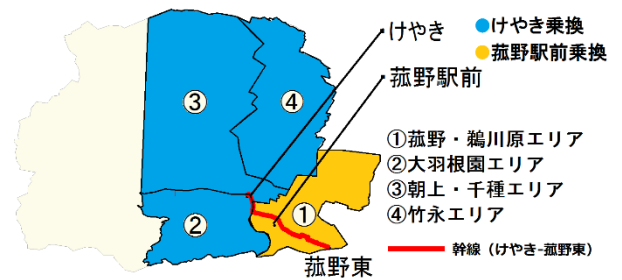


図-6 幹線（短）シナリオ



図-7 幹線（中）シナリオ



図-8 幹線（長）シナリオ

DRT の運行は 1 つのエリア内と乗換場所（菰野駅前、けやき、尾高口のいずれか）を結び、他のエリアへの移動の際は乗換場所より幹線を利用するものとする。乗換場所は、待機場所を設置しやすい、主要施設の近くである等を考慮し選定した。また、発着地のいずれかが乗換場所を含まなければならないとする。この仮定は、相乗りのマッチングが図りやすくなることや、移動実態調査により、不都合になる利用者が少ないと予測できるためである。利用者のトリップが上記の条件を満たしていない場合は一般のタクシーを利用するものとする。また、DRT の運賃は固定額とする。

(3) シナリオ設定

幹線の長さ、DRT の運賃によって表-5 の 6 つのシナリオに分類する。幹線バスの運行間隔は 3 台で幹線を往復した際の最小の間隔である。

表-5 シナリオ内容

シナリオ	DRT 運賃	幹線	幹線運行間隔
幹(短)・DRT(安)	300 円	けやき- 菰野東	3 本/h
幹(短)・DRT(高)	500 円	けやき- 菰野東	3 本/h
幹(中)・DRT(安)	300 円	尾高口- 菰野東	2 本/h
幹(中)・DRT(高)	500 円	尾高口- 菰野東	2 本/h
幹(長)・DRT(安)	300 円	福王山- 菰野東	1.5 本/h
幹(長)・DRT(高)	500 円	福王山- 菰野東	1.5 本/h

(4) 統合型予約配車システムによる交通手段選択

統合型予約配車システムによる交通手段選択フローを図-9 に示す。

本研究ではデータの制約上、需要一定のもと、システム導入後の交通手段選択を予測する、また実際の公共交通利用者の OD データを用いて予測しているため、歩行距離が 500m 以上になるような選択はせず、公共交通を利用するものとする。

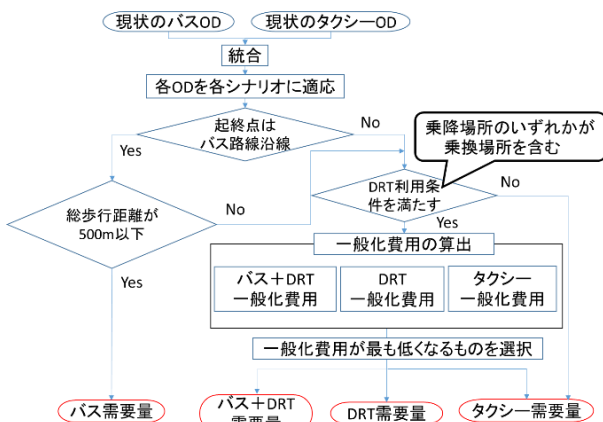


図-9 統合型予約配車システムによる需要振り分け

4. シナリオ評価手法

シナリオの評価には一般化費用 (GC) と運行経費、費用対効果を用いる。

(1) 一般化費用算出方法

一般化費用とは、利用者が公共交通の利用の際に生じる抵抗を費用に換算したものである。そのため運賃や所要時間に加えて、停留所までの歩行距離や待ち時間を説明変数とする。定時定路線型では式 (4a)、タクシーや乗合 DRT では式 (4b) と定義する。また、対象地域の平均的な一般化費

用を求める式として式 (4a) を定義する。

$$GC_i = V \left(\frac{d_i^w}{v_i^w} + t_i^m + t_i \right) + c_i^m \quad (4a)$$

$$GC_i' = V(t_i^m) + c_i^m \quad (4b)$$

$$WGC_i = \sum_i^{P_j} (GC_i + GC_i') f_i / P_j \quad (4c)$$

また式中の説明変数を表-6 に示す。

(2) 運行経費算出方法

1 日当たりの運行経費を求める式を以下に示す。

$$C_{bus} = X_{bus} \cdot L \cdot e_b \quad (4d)$$

$$C_{taxi} = X_{taxi} \cdot \frac{L \cdot e_c}{R} + (N_o \cdot C_o) \quad (4e)$$

$$C_{DRT} = X_{DRT} \cdot \frac{L \cdot e_c}{R} + C_s \quad (4f)$$

C_{bus} : バスにおける総費用 (円/日), C_{taxi} : タクシーにおける総費用 (円/日), C_{DRT} : DRT における総費用 (円/日), L : 1 台当たりの 1 日の運行距離 (km), R はタクシーの実車率 : 39.693 (%) (タクシー事業者へのヒアリング調査より (2016 年 8 月)) N_o はオペレーターの人数. X_{bus} はバスの運行台数. X_{DRT} は DRT の運行台数. X_{taxi} はタクシーの運行台数である。

e_b はバスの走行経費原単位である。国土交通省 (2008) 「時間価値原単位および走行経費原単位」を参照し、バスが一般道路 (平地部) を 25km/h で 1km 走行した時の走行経費原単位 63.60 円/km に、乗合バス事業者の走行キロ当たりの人件費 199.81 (円/km) を足し合わせた 263.41 (円/km) を用いる。

e_c はタクシー及びハイヤーの走行経費原単位であり、国土交通省自動車局 (2014) の「自動車運送事業経営指標 2013 年版」をもとに、人件費、燃料費、保険料、維持費等を含めた 130.49 (円/km) とする。また、 C_o はオペレーター費用 (円/日), C_s はシステムランニング費用 (円/日) であり、国土交通省総合政策局 (2009) 「地域公共交通に関する新技術・システムの導入促進に関する調査業務」を参照し、 C_o : 7200 (円/人・日) と C_s は 4000 (円/日) とする。

一般的な ICT を用いた予約配車システムには数百万円～数千万円の導入費用がかかるとされているが、本研究では試算に入れていない。

表-6 説明変数

V	時間価値	24.94 (円/分) 国土交通省「時間価値原単位及び走行経費原単位」(2008) より	
d_l^w	徒歩でのリンク l における移動距離	バス	町内の平均的なバス停間距離の半分である 150m とする.
		タクシー・DRT	ドア・トゥ・ドアのため無し
v_l^w	徒歩でのリンク l における移動速度	5km/h ※利用者アンケートにおいて年齢が 60 歳以上の利用者に関しては 2.5km/h とする. 青野ら (2015)	
t_l^m	リンク l における交通機関 m の所要時間	バス	実際の時刻表を使用
		タクシー・DRT	Network Analysis より道路データから算出
t_l	リンク l における待ち時間	バス	運行間隔の半分
		タクシー・DRT	無し
c_l^m	リンク l における所要時間	バス・DRT	定額 (シナリオによる設定)
		タクシー	実際の運賃 7 パターンをもとに算出
P_i	地区 j における利用者数	入手した OD データを使用	
f_i	個人 j の利用頻度	利用者アンケートの項目を反映.	

(3) 費用対効果の算出方法

システム導入に伴う全利用者の一般化費用の減少分=ΔB (円) を, シナリオ導入に伴う (運行経費-運賃収入) の増加分=ΔC (円) で除すことにより, 費用対効果を求め, コストの増大が妥当なものであるかを検証する.

5. 評価の結果

システム導入後の各交通手段の利用者は図-10 のように変化した.

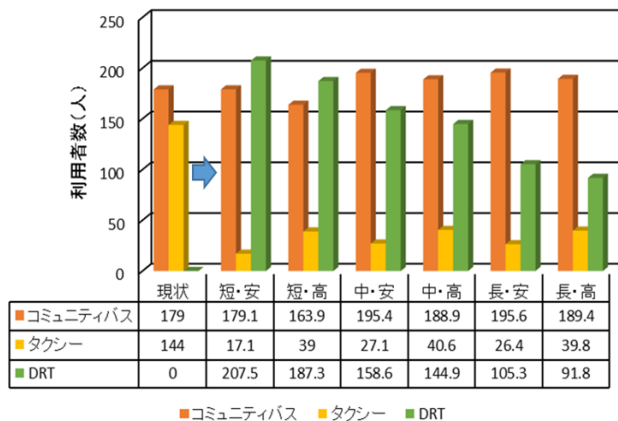


図-10 各交通手段の利用者数の変化

システム導入に伴いタクシー利用者は大きく減少した. これは DRT の運賃が安いためである. また, 幹線(中), 幹線(長)シナリオでは現状よりもバスの利用者が増加した. DRT の運賃が 300 円から 500 円に増加すると DRT の利用者は 1 割程減少することが明らかになった.

(1) 一般化費用の変化

本研究での OD データはバス停が起終点であるため, 一般化費用をトリップの出発点に属するものとして分析した.

試算の結果を表-7 に示す. 幹線(短)・DRT(安)シナリオが 1 人当たりの一般化費用が最も小さくなった. 幹線の長さ別にみると, 幹線(短)が一番小さくなり, 続いて(中), (長)という順番になる. 鶴川原地区では全体を通じて減少率が小さく, 幹線(中)・DRT(高), 幹線(長)・DRT(高)シナリオでは現状より一般化費用が大きくなった. また, 菰野地区や, 千種地区では幹線から外れると, 大きく一般化費用が増加する. また, 朝上地区に幹線を延長しても朝上地区での一般化費用は減少しないことが分かった.

表-7 地区別 GC 減少率 (%)

シナリオ	菰野	千種	鶴川原	朝上	竹永	一人当たり
短・安	-35	-26	-27	-34	-25	-33
短・高	-25	-15	-15	-24	-24	-23
中・安	-27	-26	-22	-13	-23	-23
中・高	-18	-22	+1	-10	-14	-16
長・安	-23	-20	-17	-18	-19	-21
長・高	-17	-17	+5	-15	-11	-15

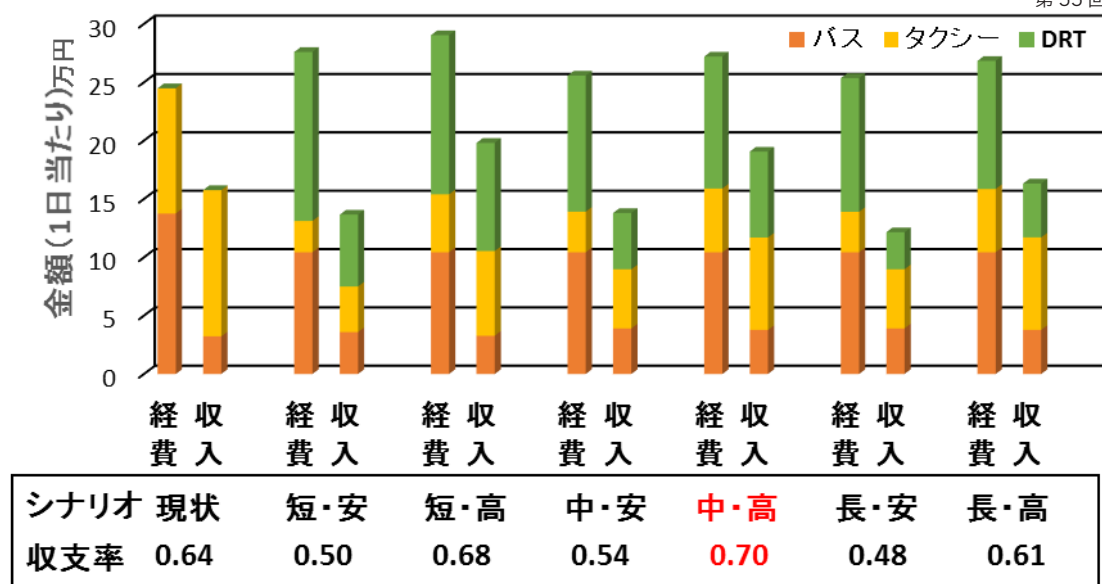


図-11 運行経費・運賃収入の変化

(2) 運行経費・運賃収入の変化

シナリオごとの運行経費・運賃収入のグラフを図-11に示す。現状ではタクシーは黒字、バスは赤字であり、バスの運行経費の多くは補助金でまかなわれている。最も収支率が高いのは幹線（中）・DRT（高）シナリオである。また、DRTの収支率はいずれのシナリオも低い。タクシーの収支率はオペレーターがシステムの導入によって不要になったため向上した。

(3) 費用対効果の変化

各シナリオでの費用対効果を表-8に示す。すべてのシナリオで1を上回るため、投資額以上の便益が得られることになり、システムの導入は妥当なものであることが分かる。また幹線（短）・DRT（高）シナリオで最も費用対効果が大きくなった。

表-8 費用対効果

費用対効果(1円あたりのGC減少量)	
幹線(短)・DRT 運賃(安)	1.62
幹線(短)・DRT 運賃(高)	2.53
幹線(中)・DRT 運賃(安)	1.53
幹線(中)・DRT 運賃(高)	2.36
幹線(長)・DRT 運賃(安)	1.14
幹線(長)・DRT 運賃(高)	1.23

6. 結論

本研究では統合型予約配車システムの導入を仮定し、一般化費用、運行経費、費用対効果の観点から評価した。その結果、利用者にとって抵抗の少ない公共交通網の形成が実現することを明らかになった。また、シナリオ間の比較により、一般化費用が最小となるのは幹線（短）・DRT（安）シナリオとなった。一方で費用対効果が最小となる

のは幹線（短）・DRT（高）シナリオとなった。現状よりも収支率の悪化するシナリオが多いが、システム導入により費用対効果は1を上回り、費用相応もしくはそれ以上の効用が得られることが明らかになった。

参考文献

- 1) 伊藤真章, 松本幸正 (2015): 運賃変更によるコミュニティバス利用者の利用頻度変化の確定, 交通工学論文集, Vol.1, No.2, p.A-54_A_61
- 2) 加藤博和 (2014): 公共交通として位置づけられたタクシーが果たすべき社会的役割, 土木計画学研究・講演集, CD-ROM
- 3) 国土交通省 (2008): 時間価値原単位および走行経費原単位
- 4) 国土交通省自動車局 (2014): 自動車運送事業経営指標 2013 年版
- 5) 国土交通省中部運輸局 (2013): デマンド交通の手引き
- 6) 坂本結佳, 森本祥一 (2013): デマンド交通が適さない地域の分類, 秋期全国研究発表大会
- 7) 佐々木邦明, 二五 啓司, 山本理浩, 四辻裕文 (2013): 低密度居住地域における交通制約者の移動手段としてのライドシェアの可能性, 社会技術研究論文集, Vol.10,54-64,
- 8) 竹内龍介, 大蔵泉, 中村文彦 (2002): DRT システムコストに関する研究, 土木計画学研究
- 9) 田尾圭吾, 橋本成仁 (2015): 中山間地域における将来の移動手段の不安に関する要因分析, 交通工学論文集, 第1巻, 第2号, pp.A_165-A_171
- 10) 中島秀之, 野田五十樹, 松原仁, 平田圭二, 田柳恵美子, 白石陽, 佐野渉二, 小柴等, 金森亮 (2015): バスとタクシーを融合した新しい公共交通サービスの概念とシステムの実践, 土木学会論文集

I_875-I_888

- 11) 藤垣洋平, 高見淳史, 大森宣暁, 原田昇 (2014) :
大都市圏郊外の住宅団地を対象とした高利便性の
定額制乗合タクシー成立可能性に関する分析, 都
市計画論文集, pp.369-374
- 12) 森山昌幸, 宮地岳志, 藤原章正 (2004) : 中山間地

域における DRT 導入効果の分析, 土木計画学研
究・講演集, Vol.30,CD-ROM

- 13) 青野亮, 柳川達郎, 杉浦晶子, 加藤博和 (2015) : オ
ンデマンド型乗合交通システム導入による住民の
アクセシビリティ改善評価手法, 土木計画学研
究・講演集, Vol.51, CD-ROM

(????)

INTEGRATED VEHICLE RESERVATION AND ALLOCATION SYSTEM FOR EFFECTIVE SUPPLY AND DEMAND OF PUBLIC TRANSPORT SERVICES IN LOCAL AREA

Kosuke YOKOYAMA and Hirokazu KATO

This paper aims to consider the possibility of improving the convenience of public transport system in local areas by introducing "Integrated Reservation and Allocation System" that enables real-time provision to people who want to use public transport service. In order to propose a solution using the system in the target area, we set up multiple scenarios that can improve the current public transport system. We evaluated from the viewpoint of generalized cost, operation cost, the number of necessary passengers, cost benefit ratio. A result, shows that the generalized cost can decrease by the introduction of the system and the convenience can improve.