

常総市予約型乗合交通の最適化に関する研究

国立大学法人筑波大学・常総市 共同研究
研究成果報告書

平成 25 年 3 月

筑波大学システム情報系・常総市

まえがき

モータリゼーションの進行によって、都市の郊外化や市街地の空洞化によって人々の移動需要が分散し、乗合バスに代表される都市内公共交通の分担率が減少してきた。これに対して、近年、全国の多くの地方自治体で「デマンド型」交通システムの導入が進められている。デマンド型交通システムとは、多くの場合赤字となっているバス路線の代わりに、利用者の要望に応じて運行経路・ダイヤをオンデマンドで変更していく形式で、ワゴン車や乗用車を使って利用者の玄関先から指定場所までの間を door to door で送迎する交通サービスを指し、その形態から乗合タクシーと言われることもある。利用者は事前に目的地を指定して予約して利用する。自宅からの利用も、外出先からの利用も可能である。デマンド型交通システムは、未だ試行的段階ではあるものの、タクシーに近い便利で効率的なサービスを低料金で利用できる仕組みであり、「空気を運んでいる」と揶揄されるバスに代わって、高齢者を中心に新しい公共交通の形態として定着しつつある。

常総市では、平成 21 年 10 月 26 日から、市民が安全で安心に移動できる交通手段を確保するため、常総市予約型乗合交通ふれあい号の運行を行っている。この「予約型乗合交通ふれあい号」は、他のお客様と乗り合いで、電話予約によって自宅や指定する場所から、市内の公共施設や病院、商店などに市民の皆様を送迎するサービスであり、上述のデマンド型交通の一つである。本報告書は、平成 22 年 10 月以降、常総市と筑波大学の共同研究として実施した研究成果をとりまとめたものである。

デマンド型交通システムは分散した移動需要にも対応できる形式とされており、特にバスを運行する程の空間的・時間的需要密度が得られない人口密度低密地域において、輸送の効率化や低コスト化を実現するシステムとされている。また、停留所の有無、車両定員の大小の違い、運行ダイヤの有無など様々な運行方法が存在するため、既存の交通手段で発生しているトランスポーターギャップを埋める役割もあるとされている。しかし、有利不利を分ける条件やその程度については定量的に明らかにされているとは言い難い。また、大型車両の空走を無くし、需要に則したサービス提供を実現することで得られる環境負荷低減効果についても明らかにされていない。

そこで本共同研究では、都市規模・形状・密度とデマンド型交通を含めた最適な都市内交通手段の関係を明らかにすることを目的とし、(1) 全国デマンド型交通導入地域の特徴と運行システムの把握、(2) 都市規模・形状・需要密度とデマンド運行方法のモデル分析、(3) 採算性制約を導入した最適交通システムのシミュレーション分析、(4) デマンド型交通導入に関する環境負荷の分析の 4 つの分析を行う。これによって、これまで定量的には明らかにされてこなかった、デマンド型交通の導入が望ましい条件の解明とその効果を明らかにし、新しい公共交通としてのデマンド型交通の特徴と環境負荷低減を中心とした都市内モビリティの改善可能性について有益な知見を得る。

国立大学法人筑波大学と常総市とは、平成 24 年 2 月に包括連携協定を締結した。今後も、

協定に基づいて共同研究をはじめとする活動を継続していく所存である。

なお、本研究の実施に当たっては、筑波大学が住友財団より環境研究助成を受けた。ここに記して謝意を表したい。

平成 25 年 3 月 31 日

筑波大学システム情報系教授

鈴木 勉

常総市企画部企画課 主事

金子 浩也

研究概要

近年自治体で乗合バスの代替として導入が進んでいるデマンド交通の導入状況を調査し、都市規模・需要密度に着目した導入地域の特徴を明らかにするとともに、数理的モデルを用いてデマンド型交通の有利不利を分ける基礎的条件について定量的に解明することを目的とすることとした。また、路線・ダイヤといったデマンド型交通の運行方法に関して導入地域へのヒアリングを行い、そこから得た知見によって全国のデマンド型交通を分類・整理しその特徴を明らかにするとともに、茨城県常総市を対象として車両の経路データの分析による利用状況の把握と車両数・車両大型化に着目した運行シミュレーションを行い、デマンド型交通の適切な運行方式を分析することを目的として分析を行った。

第一に、デマンド型交通導入地域、及びそれらの運行方式の把握とその統計的特徴の分析を行った。わが国においてデマンド型交通を導入している自治体を調査し、230 の地域での運行が確認され、その半数が予約時のみ運行する定時・定路線型の運行、半数が非定時・非定路線の運行を行っていた。また、導入地域の統計的特徴として面積が大きく人口密度が低い地域、及び通勤通学利用交通手段の自家用車の利用分担率が高く、乗合バスの分担率が低いということが明らかになった。

第二に、デマンド型交通導入地域の詳細な運行方式や利用の特徴を把握した。実際に運行を行っている 12 自治体でヒアリング調査を行い、運行方法において路線型とエリア型の二つに分類できること、運行システムの有無や車両台数・車両定員の違いがあること、女性高齢者の通院・買い物の利用が多いことなどがわかった。また、茨城県常総市「ふれあい号」の経路データの分析を行い、利用者の OD パターン、およびその分散度合いについて評価を行った。

第三に、都市規模・形状・需要密度とデマンド運行方法のモデル分析を行った。数理的モデルを用いてデマンド型交通の都市内における有利な地域として都市の端部のような交通空白地域における有意性を示すとともに、都市規模が小さく低密な都市において有利であることを定量的に導出した。また、実際の導入地域の値をあてはめた結果、都市規模の小さな都市においてあてはまることを確認した。

第四に、車両数・車両の大きさに着目したデマンド型交通の適切な運行方式に関する分析を行った。茨城県常総市を対象として車両の経路データを用いた車両数・車両大型化に着目した運行シミュレーションを行い、車両数の不足による待ち時間の大幅な増加、および利用者の平均所要時間と車両の走行距離のトレードオフ関係を明らかにした。また、将来人口から需要増加を仮定したパターンによって、実際の提供費用を考慮した車両提供パターンによる検証を行い、大型車両と小型車両の併用による運行が最も運行効率が良いことなどを示した。また、以前運行していたコミュニティバスとの比較を行い、デマンド型交通の有効性を示した。

目 次

第1章	はじめに.....	1
1.1	研究の背景.....	2
1.2	研究の目的.....	7
1.3	本研究の流れ.....	8
第2章	既存研究の整理.....	11
2.1	都市の規模・需要密度と交通手段の関係に関する研究.....	12
2.2	デマンド型交通の導入・運行方式に関する研究.....	12
2.3	本研究の位置づけ.....	14
第3章	全国のデマンド型交通導入状況とその統計的特徴.....	15
3.1	全国のデマンド型交通導入状況.....	16
3.2	デマンド型交通導入地域の統計的特徴.....	21
3.3	小括.....	23
第4章	導入自治体の運行方法の違いと運行方法の特徴.....	25
4.1	導入自治体のヒアリング調査.....	26
4.2	調査対象自治体の運行方式と年間費用.....	42
4.3	全国のデマンド型交通導入地域の運行方式の把握.....	49
4.4	茨城県常総市「ふれあい号」経路データを用いた デマンド型交通運行の特徴把握.....	54
4.5	小括.....	68
第5章	デマンド型交通有利地域・成立条件に関する理論的考察.....	71
5.1	モデル概要.....	72
5.2	デマンド型交通有利地域の検証.....	72
5.3	都市規模・需要密度に着目したデマンド型交通成立条件.....	86
5.4	小括.....	107
第6章	車両台数・車両定員に着目したデマンド型交通システムの 適切な運行形式.....	109
6.1	分析の流れ.....	110
6.2	ArcGIS Network Analyst 配車ルート解析.....	111
6.3	車両の設定.....	111
6.4	利用者の設定.....	123
6.5	車両数の減少・車両の大型化による影響の分析.....	125
6.6	一週間の需要パターンを用いた検証.....	135
6.7	需要が増加した場合の検証.....	143
6.8	環境指標を用いたコミュニティバスとデマンド型交通の比較.....	151
6.9	小括.....	165

第7章	おわりに.....	167
7.1	本研究のまとめと成果.....	168
7.2	今後の課題.....	169
参考文献.....		171

第1章 はじめに

1.1 研究の背景

1.1.1 モータリゼーションの進行

我が国では1960年代からモータリゼーションが急速に進展した。その結果都市内の移動を対象とした乗合バスに代表される地域公共交通は、利用者の減少という大きな影響を受けている。図1.1は乗合バスの年間輸送人員と乗用車保有台数、運転免許保有者数の推移を示したものである。これによると我が国の乗合バスの乗車人数は1968年ののべ101億人をピークに減少し続け、2005年ではのべ40億人まで減少し、それに伴い路線数も年々減少している。その一方で、運転免許保有者数は1970年では2644万人であったのが、2005年では7880万人と約3倍、自動車保有者数は1970年の700万台であったのが、2005年には5600万台にまで増加している。

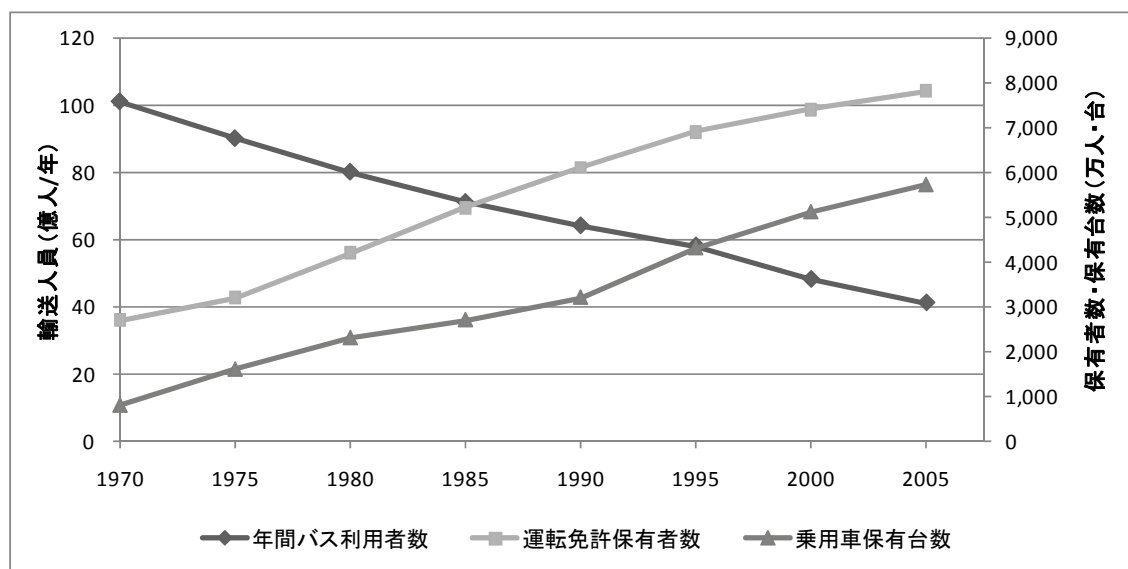


図 1.1 年度別バス輸送人口※1と乗用車保有台数、運転免許保有者数※2の推移

※1 (出典 日本バス協会「日本のバス事業」より作成)

※2 (出典 警察庁「運転免許統計」より作成)

こういった現状から、特に地方都市ではロードサイドショップの立地に代表されるように、モータリゼーションに適応する都市構造に変化し、その進行に拍車がかかり、公共交通の利用者減少が加速した。

しかし、秋山・中村(2000)[1]や加藤(2006)[2]でも述べられているように、モータ

リゼーションの進行は渋滞や交通事故、大気汚染や騒音、振動などの局地環境問題、自動車を利用できない交通弱者との格差の広がり、地球環境問題への影響など様々な問題が生じることが示されている。

これに対し、2007年に「地域公共交通の活性化及び再生に関する法律」が施行され、地域の公共交通の活性化・再生を総合的、かつ一体的に推進するための「地域公共交通総合連携計画」を作成するために調査費や運行開始3年間の費用の一部を国から補助を受けることが可能になった。

自治体では既存の路線バスの代わりにコミュニティバスを導入する例が見られたが、天野ら(2005)[3]のコミュニティバス運行取組に関する研究によるとコミュニティバスの全体の80%以上が収支率40%未満、一日の運行回数10回未満と採算性、利便性ともに低いという結果が示されている。

このように、都市内交通の現状はモータリゼーションの進行によって利用者の減少が起こった結果、各地で路線の廃止・減便が行われている。地方自治体では地域のモビリティを確保するためにコミュニティバスなどの取り組みが行われているが、採算性や利便性の低さから自治体では大きな負担になっている。

そこで、近年、路線バスとは異なる新しい公共交通手段としてデマンド型交通(DRT : Demand Responsive Transit)が注目されている。

1.1.2 デマンド型交通とは

デマンド型交通 (DRT : Demand Responsive Transit)とは、明確な定義が有るわけではないが、一般的には図 1.2 のように複数の利用者の移動に関する要望（時刻、行先）に応じその都度運行経路や時刻表を決定しながら運行する交通手段である。利用客は電話などによって事前の予約を行い、その予約から運行ルート、到着時刻などのダイヤを設定する公共交通の一つの形態である。

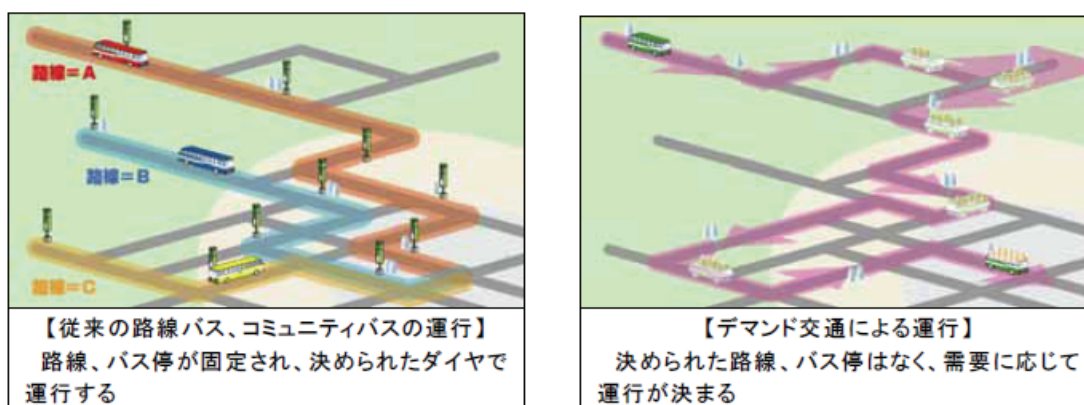


図 1.2 路線バス、コミュニティバスとデマンド交通の違いの概念図

参照：国土交通省報告書(2009) [4]

デマンド型交通としては、古くはアメリカのジトニー、東南アジアのパラトランジット等、路上での利用者の呼び止めに応じて乗降を取り扱うサービスが存在する(表 1.1)。1960～70 年代から欧米諸国で「ダイアル・ア・ライド(Dial-a-Ride)」や DRT の名称で導入され、その後 1972 年に大阪府能勢町で「デマンドバス」が初めて導入された。そして、東京・神奈川地域でも導入されたが、当時は情報技術が未発達であったため、経路選択システムに多大なコストがかかり、そのほとんどが在来コミュニティバスなどに置き換わった。しかし近年では、バス事業の現状や情報通信技術の進展により、再びデマンド型交通が脚光を浴びるようになった[5]。しかし、元田ら(2005)[6]によると、需要が大きすぎる場合、少なすぎる場合ではデマンド型交通が適用できないことが懸念されている。

表 1.1 デマンド型交通の過去の事例

地域	年代	名称	導入目的/運行上の特徴	
			導入地域・対象利用者	運行上の特徴
北米	1900-	ジトニー	都市内の移動	利用者の需要に応じて運行車両数を変化。利用者は利用時に呼び止め
	1960-	ダイアル・ア・ライド	高齢者・障害者等の移動制約者や、低所得者層へのモビリティ提供	利用時に電話で予約
	1970-	乗合タクシー	郊外鉄道駅～居住地、商業地域～空港等、特定2点間でのタクシー相乗り	利用時の呼び止め、起終点乗場での乗合乗車
		通勤送迎バス	朝夕ピーク時に起こる道路混雑の緩和を目的に相乗りを推進	事前に登録した会員の自宅の前から勤務地までの戸口間のサービス
		自家用車乗合		
欧州	1970-	ダイアル・ア・ライド	既存公共交通適用が困難な郊外地域や過疎地域での地域内トリップを対象	利用者の予約に応じ路線・時刻表を柔軟に設定。電話による予約
	1990-	デマンド型交通		ITS技術を適用し、予約に応じ運行。電話・インターネットでの予約
日本	1970-	デマンドバス	郊外地域や過疎地域で既存公共交通の運行が困難な地域での移動を対象	利用者の予約に応じ運行経路や時刻表を設定。電話やキオスク端末での予約
東南アジア	1900-	パラランジット	固定路線(もしくは一部の迂回経路)に沿った需要の変化に応じ運行	呼び止めによる利用

参照：「生活支援の地域公共交通」[5]

1.1.3 地域公共交通の分類

地域公共交通は、既存の路線バス、デマンド型交通も含め、運行路線・停留所・運行ダイヤの有無によって様々な運行方式が考えられる。原・秋山(2005)[7]では表 1.2 のようにまとめている。また、ほかにも車両の大小、運行システムの有無など、地域公共交通の運行にあたってはどの方式を採用するかという議論が必要である。

表 1.2 公共交通の分類

分類	内容	模式図
路線バス	①通院バス、買い物バス 起終点固定で中間停留所がほとんどなく、定時定路線で起終点を直接結んで運行する。通院、買い物、通勤などの単一の交通目的に対して、郊外の団地と市街地を結ぶような路線に適用される。	
	②路線バス 起終点を結び、その間に幾つかの中間停留所を持ち、定時定路線で運行される。様々な交通目的に対応しており、最も一般的なバスサービスである。	
	③循環バス、スクールバス 起終点が同一で環状になった路線を持ち、その間に幾つかの中間停留所を持つ。通常の路線バスに比べて生活道路を路線としている場合が多く、小型バスを使用するケースが多い。	
	④フリー乗降バス 路線バスであるが、路線内であれば乗客の希望によって自由に乗降ができる。農村部など需要が小さく、停留所間隔が長い地域等で適用される。	
	⑤迂回路付き路線バス 路線バスを基本に路線内に迂回路をもっている。迂回路側の停留所に需要がある時は、運転者は迂回路を通る。比較的狭い範囲を対象としていることから、到着時間の変動は小さい。	
エリアサービス	①フレックスルート方式 DRT 起終点を結び、その間に面的に配置された停留所のうち、需要のある箇所だけ通って運行する。出発時間は決まっているが到着時間は、発生した需要の数や位置によって変動する。	
	②乗合タクシー DRT 起終点が同一もしくは、2カ所の場合がある。出発時間が決まっているが、需要の数や位置によっては、到着時間が変動する。サービス地域内であれば乗降はドア・ツー・ドアで輸送する。	
	③STS DRT 起終点はなく、自宅や待機場等から最初の需要に対してドア・ツー・ドアでサービスを実施するが、時間やルートも需要に応じて設定される。複数の需要に対して乗合的な運行を行う。	
	④フルディマンド方式 DRT 起終点や時刻表がなく、経路も自由である。面的に配置された需要対応型停留地点の間を、需要にあわせて自由に運行する。高い情報通信機能をもった予約センターが必要である。	
	⑤タクシー・有償ボランディア輸送 DRT 起終点はなく、待機場から需要に対してドア・ツー・ドアでサービスを実施する。時間やルートも需要に応じて設定される。一般に単独の需要ごとに乗降を繰り返す。	

凡例 ■：起終点停留所(常にこの地点で停車)
□：中間停留所(常にこの地点で停車)
●：需要対応型停留地点(予約必要)
○：自由停留地点(予約必要/ドア・ツー・ドア)
※フリー乗降バスについては、自由停留地点において予約不要

参照：原・秋山(2005) [7]

1.2 研究の目的

そこで本研究では、都市規模・需要密度の観点からデマンド型交通の導入に適する地域について調査・分析を行うとともに、デマンド型交通の適切な運行方法について考察することを目的とする。本研究の分析は以下の5つの部分からなる。

(1) **全国のデマンド型交通導入地域の調査と導入・非導入地域の統計的特徴の分析**

デマンド型交通は、近年の自治体の経費削減の流れから導入する自治体が増加している。インターネット・文献調査によって全国のデマンド型交通導入地域を調査し、導入地域・非導入地域において人口・面積などの指標の平均に差が見られるか分析する。

(2) **導入地域へのヒアリング調査によるデマンド型交通導入地域の詳細な運行方式や利用者の特徴の把握、及び導入地域の運行方式の分類・整理**

実際にデマンド型交通へのヒアリングを行い、導入の背景や運行方式、利用者のデータや運行費用等について調査する。そして導入地域の調査に併せて停留所の有無、路線・ダイヤの固定度合いといった運行方式を調査し、ヒアリング調査も踏まえた運行方式の分類を行う。

(3) **茨城県常総市デマンド型交通「ふれあい号」経路データの分析による利用パターンの空間的特徴の把握**

茨城県常総市で運行されている「ふれあい号」の車両経路データの分析を行い、利用状況の詳細な把握、利用者の出発地・目的地のパターンの分析を行う。

(4) **数理的モデルによる都市規模・需要密度におけるデマンド型交通の有利地域・有利条件の把握**

簡便な都市モデルを用い、デマンド型交通を含む3つの交通手段が都市規模・需要密度の違いによって平均所要時間にどのような影響を受け、都市内における各交通手段の有利地域がどのように変化するか、及びその条件下でどの交通手段が有利かを調べ、デマンド型交通成立条件に関する基礎的特徴を把握する。

(5) **運行シミュレーションによる車両数・車両の大きさに着目したデマンド型交通の適切な運行方式に関する分析**

茨城県常総市を対象に、実際の運行データをもとに利用者の需要パターンを作

成し、利用者数・車両数・車両の大小を変化させ、利用者の所要時間・車両運行距離にどのような影響を与えるかを調べ、デマンド型交通の適切な運行方法について検証する。

1.3 本研究の流れ

以下に本研究の流れを示す。

第1章では、研究の背景と目的を示す。第2章では、既存研究の整理とそれを踏まえた本研究の位置づけについて述べる。第3章では全国のデマンド型交通の導入地域を把握し、導入地域・非導入地域において人口・面積といった都市規模・需要密度に関する指標に有意な差が見られるか分析する。第4章では、デマンド型交通を実際に導入している自治体に対してヒアリング調査を行い、その導入背景、運行方式、運行実績などを調査する。それを踏まえて全国のデマンド型交通の運行方式について調査・分類を行う。また、茨城県常総市で運行されているデマンド型交通「ふれあい号」の経路データを分析し、利用状況の詳細な把握、利用者の出発地・目的地のパターン分析を行う。第5章では単純な数理モデルを作成し、デマンド型交通を含む3つの交通手段が都市内に複数提供されている場合、需要密度の違いが平均所要時間にどのような影響を与え、都市内における各交通手段の有利地域がどのように変化するかを調べる。また、都市規模・需要密度の変化に応じて利用者の一般化費用、提供側の費用が変化するモデルを用い、都市規模・需要密度の観点デマンド型交通が成立する条件について検証する。そして、第6章では、茨城県常総市を対象とし、実際の運行データをもとに利用者の需要パターンを作成し、利用者数・車両数・車両の大小を変化させて運行シミュレーションを行い、利用者の所要時間・車両運行距離を評価基準としてデマンド型交通の適切な運行方法について検証を行う。また、最後に CO₂ 排出量、燃料消費量を評価指標に加えた検証を行う。

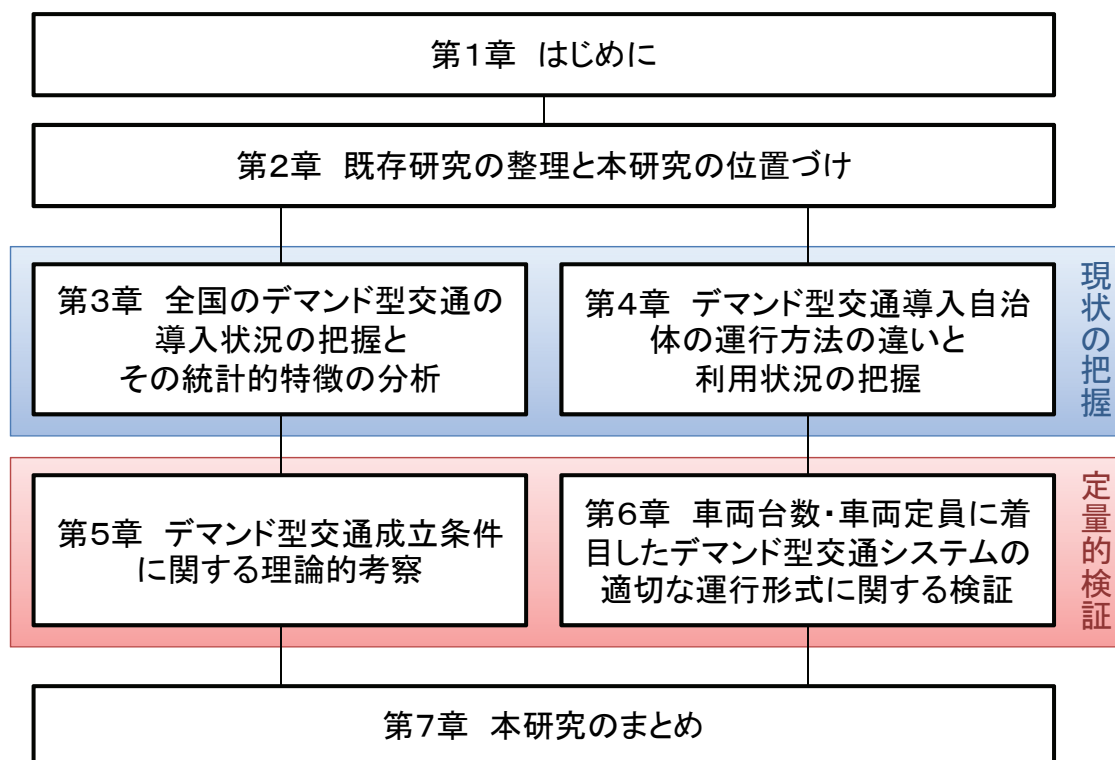


図 1.3 研究の流れ

第1章 はじめに

第2章

既存研究の整理

2.1 都市の規模・需要密度と交通手段の関係に関する研究

都市の規模・需要密度と交通手段の関係に関する研究として、新谷(1993)[8]は公共交通機関を走行空間、輸送能力で種類分けし、需要密度の高さとトリップ距離から各交通機関の適正な守備範囲を概念的に表している。谷口・石田・黒川(1995)[9]は、都市の規模・需要と交通手段の輸送能力からどのような規模・密度なら対応可能かを理論的に導出し、各交通手段が対応できないトランスポーターションギャップの検出を行っている。ここでは鉄道やバスなどの路線が定まっているものに関しては都市のどの場所でも乗車することができるとしているため、それらのアクセス距離・時間は考慮されていない。また、評価指標が輸送可能性と採算限界性というサービスを提供する側の指標であり、利用者側についての議論はなされていない。

一方、石田・谷口・鈴木・古屋(1999)[10]では各交通手段を供給側、利用側から検証し、都市領域における有利領域を明らかにしている。また、ロードプライシングや運営費補助など各種交通政策を行うことによる有利領域への影響を算出し、実施可能性に関する検討を行っている。利用者側については鉄道の有利地域と自動車の有利地域に関しての検証が行われていて、主要な都市内交通であるバスや自転車の検討はなされていない。また、ここでは都市の全ての人が一つの交通手段を使用すると仮定していて、交通手段の競合による利用者の増減についての議論がなされていない。

これらの研究では需要密度が低い、または都市内のように狭い範囲に着目しておらず、鉄道と自動車における有利地域を議論している。また、デマンド型交通に関しては検証の対象に入っていない。

2.2 デマンド型交通の導入・運行方式に関する研究

デマンド型に関する研究としては、原・秋山(2005)[7]がデマンド型交通(DRT_Demand Responsive Transit)の概念を明らかにし、メリットとデメリットをまとめている。そして、交通手段におけるDRTの位置づけとして乗車密度の大きさと公共交通の位置づけを述べ、DRTの適用範囲については一般のバスとタクシー・

ST サービスの間にあることを述べている。公共交通の基本システムを 10 種類に分類し、それぞれの内容と概念図を記述している。また、秋山・吉田・猪井・竹内(2009)[5]は、上記に加えて東京都町田市や青森県八戸市など地域特性の異なる都市でケーススタディを行い、地域の公共交通計画にあり方について考察している。多くの事例を用いた実証的な研究ではあるが、理論的なアプローチには欠けていると言える。

福本・加藤 (2005)[11]は、地域の公共交通の運営方式について、自治体、交通事業者、沿線企業、地域住民、利用者を主体とし、地域交通の運営方式を分類した上で、各主体が人材の搬出、費用負担、当事者意識、意見表明をどのように行っているかなどをまとめている。また、その中で住民主体のボトムアップ型運営方式について、その有効性と一般普及のための方法論について述べている。

また、国土交通省報告書(2009)[4][12]では、自治体担当者への資料提供を目的に、デマンド型交通の導入地域の調査、及び事例調査及びシステムの実証運行によって得られた情報を整理・分類しているが、導入事例のケーススタディとなっており、定量的アプローチには欠けていると言える。

海外の事例として、1996 年から 1997 年にかけて EU によって実施された SAMPO(公共交通最新管理運営システム)プロジェクトにおいて、EU 加盟国 6 カ国で DRT 技術開発のための実証実験が行われ、乗客のカバーエリアの拡大や農村部のアクセス改善などの効果が挙げられているが、こちらも導入事例のケーススタディに留まっている[13][14]。

大和・坪内・稗方(2008)[15]は、オンデマンドバスシステムの導入設計の導入設計を行い、時間指定ができないという定時性の問題に着目し、千葉県柏市北部において運行シミュレーションを行い、車両台数・車両定員の違いによって利用者の希望時間内に運行できるかの成立率によって評価を行っている。しかし、利用者のパターンとしては既存の路線バスの乗降データを用いていること、利用者のパターンの評価を行っていないこと、対象地である千葉県柏市北部が新興住宅地であることが、現実のデマンド型交通の導入地域である過疎地域とは都市特性が異なる点を考慮する必要がある。

太田ら(2008)[16]は固定路線バス方式とデマンド型方式の違いについて、仮想的な空間においてシミュレーションを行いデマンド型方式の効果を示しているが、実際の

都市空間を考慮したパラメータを用いておらず、現実の問題を説明しているとは言い難い。

元田ら(2005)[6]では車両の運行形態のうち、路線・ダイヤ・バス停を3段階の固定度合いに分類し、岩手県雫石町におけるその中からフレキシブルバスの運行形態を選択した経緯に関する検証を行っているが、より柔軟性の高いドアトゥードア形式に関する検証については、システムの導入、配車の煩雑性などを述べているにとどまっている。

2.3 本研究の位置づけ

本研究の特徴として以下の点を挙げる。

(1) 全国のデマンド型交通導入地域の調査と運行方法の分類

デマンド型交通の導入地域は年々増加しており、最新の導入地域を調べることは有意義であると考えられる。また、路線型・エリア型と分類し運行方法を調べることによって、導入における空間的特徴を明らかにする。

(2) デマンド型交通成立条件の定量的導出

デマンド型交通が鉄道、バス、自動車、自転車等の既存の交通手段と比してどのような特性を有しているかについては、定性的な評価研究はあるものの、定量的な評価はほとんどなされてこなかった。運行形態はタクシーと類似しているが、タクシーは私的企業による営利目的の交通機関であるのに対し、近年導入の盛んなデマンド型交通は自治体主導による公共交通であり、公益性の観点からの評価が望まれている。

(3) デマンド型交通の運行データを用いた分析

デマンド型交通の車両の経路データを用い、利用者の利用パターンの特徴把握、車両の旅行速度の推計、及びその利用パターンを用いた分析を行うことにより、利用の詳細な分析を行えるだけでなく、現実の条件に即した運行シミュレーションを行うことができる。

第3章

全国のデマンド型交通導入状況とその統計的特徴

本章では、デマンド型交通を導入している自治体を調査し、都市規模・需要密度に関連する統計的指標に関して、導入/非導入地域の特徴の差の有無について分析を行う。

3.1 全国のデマンド型交通導入状況

デマンド型交通の明確な定義があるわけではないが、国土交通省による調べでは、デマンド型交通の事業運用に必要な「区域運行の許可」を受けている市区町村数は、平成21年2月時点で1,940自治体中148となっている。

第3章 全国のデマンド型交通導入状況とその統計的特徴

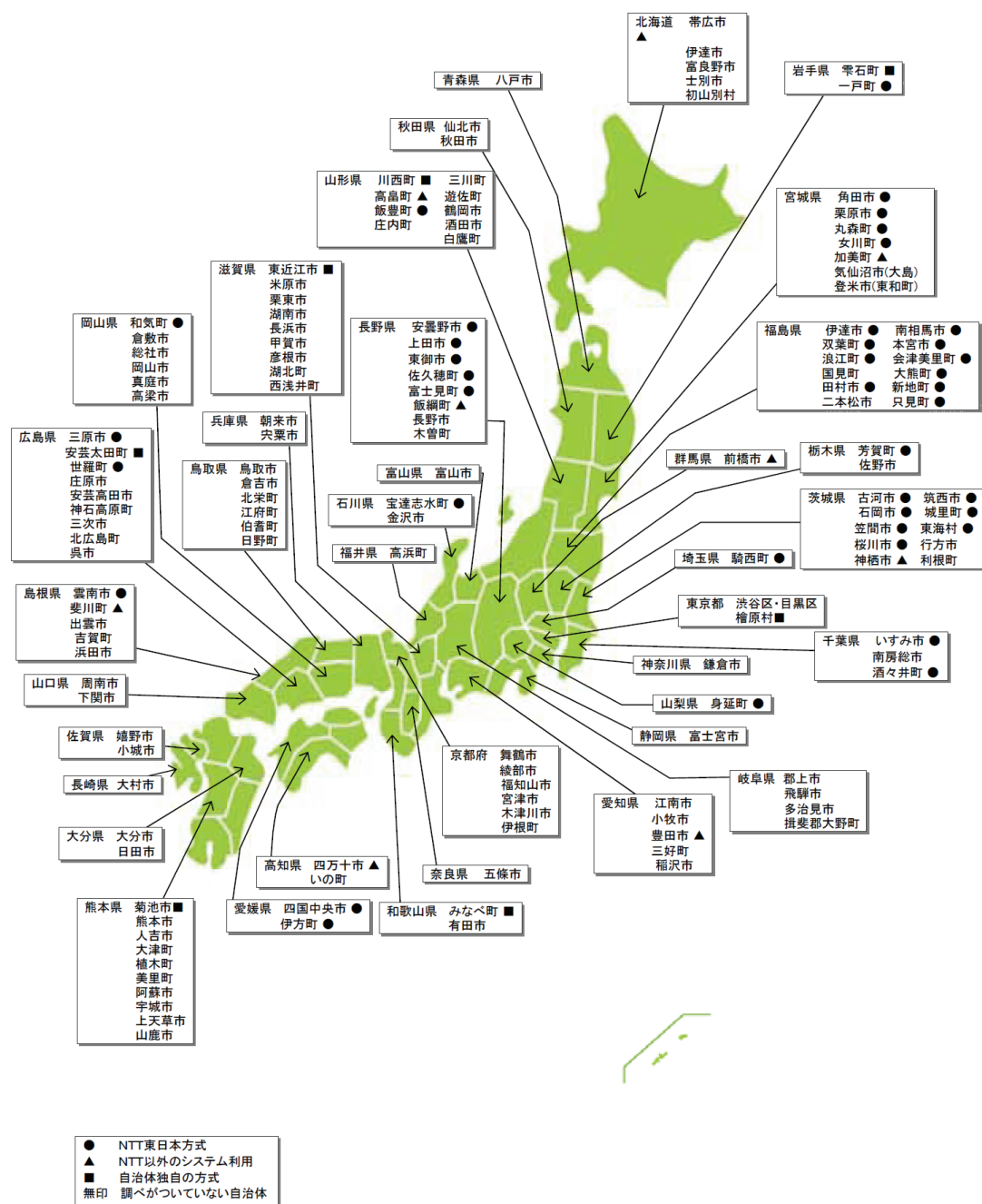


図 3.1 導入地域の一例 (2009 年 2 月 1 日時点)

参照：国土交通省(2010) [6]

しかし、2006 年に道路運送法が改正され、その認可のための法的な障害が緩和され、さらに 2007 年には「地域公共交通の活性化及び再生に関する法律」が施行され、翌年には地域公共交通に対する補助事業がおこなわれるようになった。その影響で、その導入自治体は年々増加傾向にある。例えば、茨城県つくば市ではデマンド型交通

「つくタク」を2011年4月1日より運行を開始している。

そこで本研究ではインターネット・文献調査によって全国のデマンド型交通導入地域を調査した。

調査の概要を以下に示す。

- ・ 文献調査：秋山・吉田・猪井・竹内(2009)[5]、鈴木・寺田(2006)[17]、山本・鈴木(2008)[18]及び国土交通省資料(2009)[4][12]
- ・ インターネット調査：「市町村名 デマンド型交通」もしくは「市町村名 乗合タクシー」といったキーワード検索を行い、導入している市町村のHPからその概要を抽出。

なお、インターネット調査におけるデマンド型交通の定義として「利用にあたり事前に予約が必要な公共交通」とした。例えば乗合タクシーと記されていても予約が不要であり、一般的なバスと運行形態が変わらないものもあるが、そうしたものはデマンド型交通の一般的な認識とは外れるため対象外とした。

調査結果を地図上で表したものが図3.2である。導入自治体は2011年12月現在で230箇所存在することがわかった。

図3.3は県別の導入自治体数である。導入自治体の分布を見ると、東日本に多く見られることがわかる。特に、山形県南西部、岩手県・宮城県境、福島県浜通り北部、茨城県西部、長野県南部に集中していることがわかる。これらの地域は鉄道がない、もしくはあっても本数が少ないなど、公共交通利便性の低い地域である。また、図3.1では運行を行っているとされている自治体でも、運行が確認できなかった自治体もあった。これは、デマンド型の運行が実証実験の段階で思ったような効果が得られない、もしくは市内の他の交通事業者との折り合いが付かず廃止になった、あるいは自治体のHPに掲載されないほど小規模な運行を行っている等の理由が考えられる。

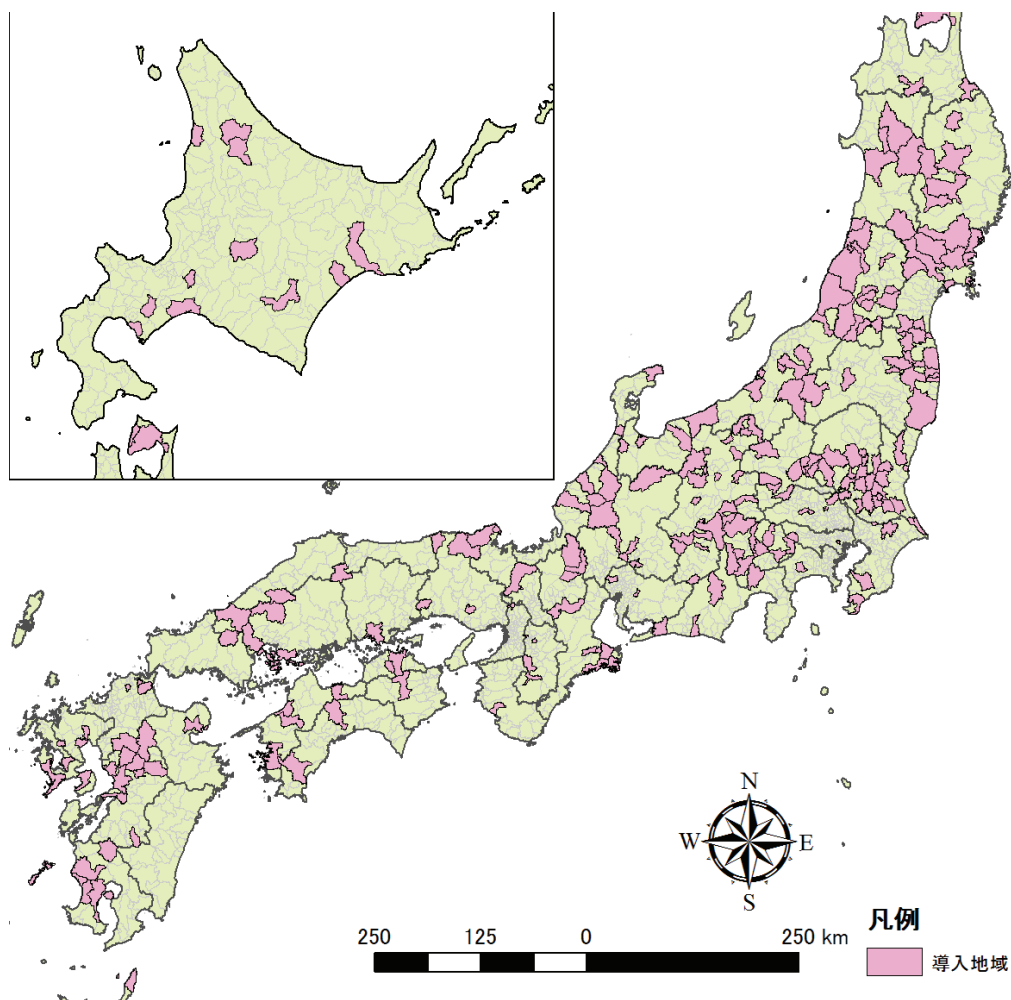


図 3.2 全国のデマンド型交通導入地域
(2011 年 12 月 31 日時点)

第3章 全国のデマンド型交通導入状況とその統計的特徴

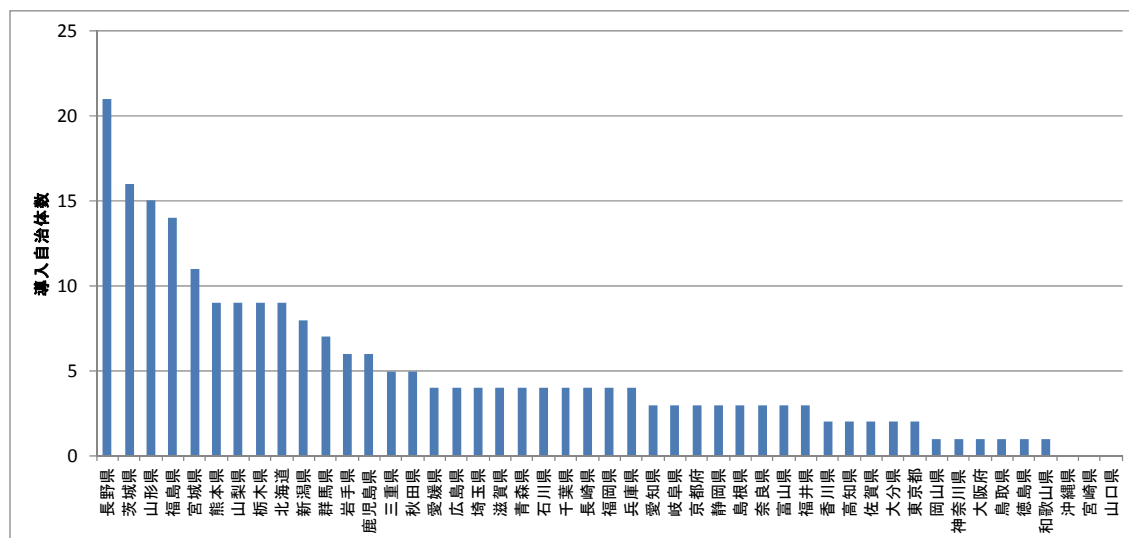


図 3.3 デマンド型交通導入自治体数

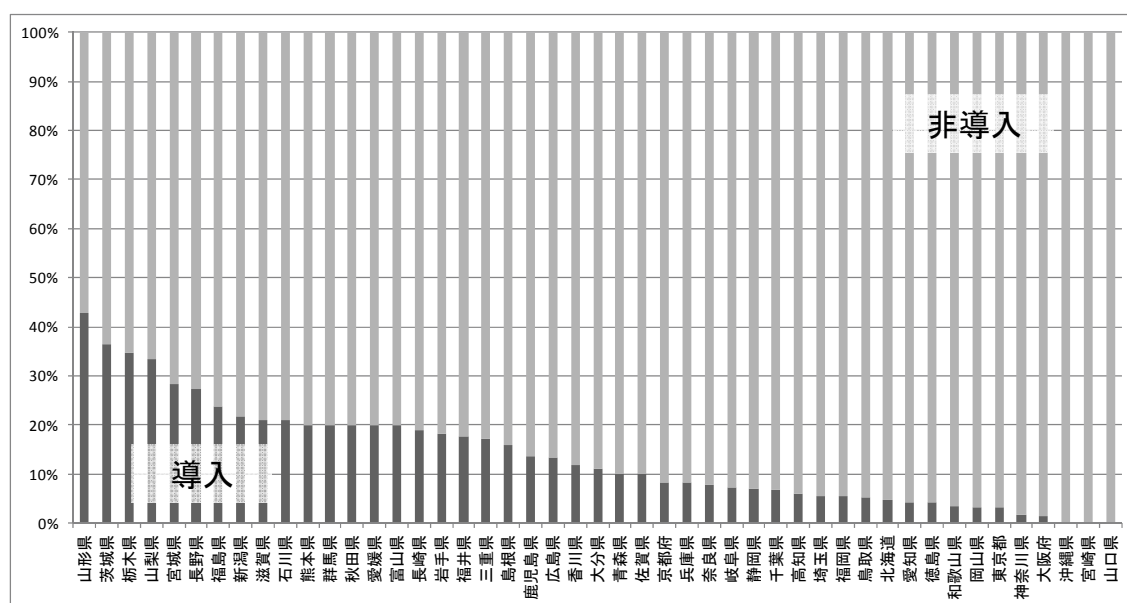


図 3.4 導入自治体と非導入自治体の割合

さらに、図 3.4 は県内の総自治体数における導入自治体数の割合を示したものである。これを見ると、導入自治体の割合が最も高いのは山形県で、県内 4 割以上の自治体が導入を行っている。また、ここからもデマンド型交通が東日本において、より普及していることがわかる。

3.2 デマンド型交通導入地域の統計的特徴

デマンド型交通を導入している市区町村の面積・人口といった統計的な特徴を明らかにするため、導入と非導入の市区町村の二群に分け、両群の平均値の差の有意性について t 検定により検定を行う。

使用するデータは都市規模・需要密度に関係のあると考えられる指標として、表 3.1 に挙げるものを用いる。平成 17 年（一部は平成 12 年）の国勢調査のデータ、及び国土数値情報で提供されているものを用いた。全ての指標について、両群の平均値の差の有意性について t 検定により検定を行った。

表 3.1 分析に用いたデータ

項目	データソース
人口総数(人)	H17 年 国勢調査
65 歳以上人口(人)	H17 年 国勢調査
DID 人口(人)	H17 年 国勢調査
世帯数(世帯)	H17 年 国勢調査
高齢単身世帯数(65 歳以上の者1人)(世帯)	H17 年 国勢調査
総面積(北方地域及び竹島を除く)(ha)	H17 年 国勢調査
可住地面積(ha)	H17 年 国勢調査
DID 面積(ha)	H18 年 国土数値情報※1
県内乗り合いバス分担率	H12 年 国勢調査※2
県内自動車分担率	H12 年 国勢調査※2
DID 面積割合	DID 面積/総面積
DID 人口割合	DID 人口/人口総数
人口密度(人/km ²)	人口総数/総面積(km ²)
高齢者人口密度(人/km ²)	65 歳以上人口/総面積(km ²)
高齢化率	65 歳以上人口/人口総数

※1 国土数値情報 H18 年度人口集中地区データより引用

※2 平成 12 年度国勢調査 「従業地又は通学地までの利用交通手段」より引用

検定結果は表 3.2 の通りである。これを見ると、①総面積、可住地面積、県内乗合バス分担率内自家用車利用分担率、人口密度、高齢者人口密度、世帯密度、高齢者単身世帯密度において有意に差が見られ、総面積、可住地面積、県内自家用車分担率について、導入地域の方が有意に高い値を示している。また、②県内乗合バス利用分担率、人口密度、高齢者人口密度、世帯密度、高齢者単身世帯密度、高齢者単身世帯数に関しては、導入地域の方が有意に低い値を示している。③総人口、65 歳以上人口、世帯数、高齢単身世帯数、高齢化率に関しては有意な差は見られない。

以上の結果から、都市の面積が大きく、路線バスのサービスレベルが低下してしまうような地域、そして自家用車の利用分担率が高く、地域公共交通である乗合バスの利用分担率が低い自治体においてデマンド型交通が導入されていることがわかる。

表 3.2 導入/非導入地域の基礎指標の比較

	デマンド型交通導入地域 (N=228)		非導入地域 (N=1700)		t値
	平均		平均	標準偏差	
人口総数 (人)	74205.89	100342.30	65629.91	101376.72	1.20
65歳以上人口 (人)	16234.45	19443.00	13013.53	18624.25	2.44 *
DID人口 (人)	21946.58	56631.29	39713.13	84422.64	-4.16 **
DID人口割合	0.17	0.25	0.30	0.38	-6.94 **
世帯数 (世帯)	0.17	0.25	0.30	0.38	0.43
高齢単身世帯数 (65歳以上の者 1 人) (世帯)	26970.97	39971.66	25698.63	42364.43	0.26
総面積 (北方地域及び竹島を除く) (ha)	2069.41	3303.91	2006.94	3385.62	7.17 **
可住地面積 (ha)	31175.97	26887.16	17811.64	22777.82	8.14 **
DID面積 (ha)	940.55	2241.60	712.99	1584.66	1.48
DID面積割合	0.04	0.09	0.15	0.29	-12.12 **
県内乗り合いバス分担率	0.06	0.04	0.08	0.04	-7.65 **
県内自動車分担率	0.62	0.12	0.54	0.16	9.75 **
人口密度 (人/km ²)	408.33	985.94	1579.17	3128.76	-11.70 **
高齢者人口密度 (人/km ²)	84.90	180.36	291.60	587.76	-11.11 **
高齢化率	0.26	0.06	0.24	0.07	2.68 **

*：有意水準5%で有意

**：有意水準1%で有意

3.3 小括

本章では、デマンド型交通の導入実態、そして都市規模・需要密度に関する統計的特徴について明らかにするため、文献・インターネット調査によるデマンド型交通導入自治体の把握、そして導入地域/非導入地域、両群の都市規模・需要密度に関する指標の平均値の差の有意性について t 検定により検定を行った。その結果以下の知見が得られた。

1. 国土交通省の調査による、2009年時点でのデマンド型交通導入自治体数は148であったが、インターネット・文献調査によって、2011年12月現在で230の自治体で導入されていることが確認された。そして県内における導入割合が最も高いのが山形県、次に茨城県、栃木県となるように、国内でも東日本において導入が積極的に行われていることがわかった。
2. 導入/非導入地域において人口、面積といった都市規模・需要密度に関する指標において統計的特徴があるか把握するため、各指標の平均値の差の有意性について t 検定により検定を行った。その結果、総面積、可住地面積、県内自家用車分担率について導入値の方が有意に高く、県内乗合バス利用分担率、人口密度、高齢者人口密度、世帯密度、高齢者単身世帯密度、高齢者単身世帯数に関しては導入地域の方が有意に低いという結果になった。以上のように、デマンド型交通の導入の傾向として、都市の面積が大きく、人口密度が低い地域、そして自動車の利用分担率が高く、乗合バスの利用分担率の低い、モータリゼーションの進行した、交通弱者にとって不便な地域において導入される傾向が見られた。

第4章

導入自治体の運行方法の違いと運行方法の特徴

本章ではデマンド型交通を実際に導入している自治体に対してヒアリング調査を行い、その導入背景、運行方式、運行実績などを調査する。また、前章で調査した全国のデマンド型交通の導入地域について、その運行方法を調べ、様々な運行方法が考えられるデマンド型交通において、実際にどのような運行がなされているかを調べ、その統計的特徴について検討する。また、茨城県常総市で運行されているデマンド型交通「ふれあい号」の経路データを分析し、デマンド型交通の運行状況についてより詳細な分析を行う。

4.1 導入自治体のヒアリング調査

デマンド型交通を導入・運行している自治体 12 箇所に対しヒアリング調査を行った。調査対象は運行の実績、運行方法の違いなどから選択した。ヒアリング調査実施自治体、及びヒアリング対象団体を表 4.1 に示す。三重県玉城町については、東京大学が主催するオンデマンド交通カンファレンスに参加して得られた知見を基に述べる。

表 4.1 ヒアリング対象先

自治体名	名称
北海道帯広市	あいのりタクシー
岩手県雫石町	あねっこバス
山形県川西町	デマンド交通
福島県南相馬市	おだか e-まちタクシー
茨城県筑西市	のり愛くん
茨城県常総市	ふれあい号
千葉県酒々井町	しすいふれ愛タクシー
滋賀県米原市	まいちゃん号・カモン号
滋賀県彦根市	愛のりタクシー
三重県玉城町	元気バス
熊本県菊池市	あいのりタクシー
熊本県阿蘇市	乗合タクシー

4.1.2 調査対象自治体の基礎的特徴

ヒアリング実施自治体の面積・人口等の各種指標について表 4.2 に示す。なお、北海道帯広市「あいのりタクシー」に関しては、運行主体である（有）大正交通様にお話を伺ったため、帯広市の中でも大正地区のみについて調査を行っている。

表 4.2 調査対象自治体の面積・人口・人口密度・高齢化率・運行開始年度

名前	面積(km ²)	可住地面積(km ²)	人口(人)	人口密度 (人/km ²)	高齢化率	運行開始年度
北海道帯広市(大正地区)	112	112	3393	30.29	0.224	H16
岩手県雫石町	609.01	128.41	18010	140.25	0.257	H16
山形県川西町	166.46	86.23	17094	198.24	0.297	H18
福島県南相馬市小高区	91	91	12932	142.11	0.28	H15
茨城県筑西市	205.35	195.18	112581	576.81	0.208	H20
茨城県常総市	123.52	117.17	66536	567.86	0.204	H21
千葉県酒々井町	19.02	14.62	21385	1462.72	0.16	H16
滋賀県米原市	254.06	65.04	41009	630.52	0.23	H16
滋賀県彦根市	198.64	72.42	109779	1515.87	0.17	H21
三重県玉城町	40.94	40.94	15223	371.84	0.219	H21
熊本県菊池市	276.66	124.03	49802	401.53	0.271	H18
熊本県阿蘇市	376.25	163.06	28251	173.26	0.319	H19

4.1.3 調査対象自治体の運行に関する詳細

ヒアリング調査を行った自治体において、運行方式に特徴があるものについて

(1) 路線固定型（岩手県雫石町 あねっこバス）

雫石町は岩手県の県都盛岡市の西方約 16km にあり、面積は 609.01km²、81.6%を森林が占めている。人口は 18,521 人(H22.1 現在)で、高齢者の割合は 27.8%と高齢化が進行している。

雫石町では、平成 6 年に 2 つの民間バス路線が既に廃止となっており、廃止路線バスの代替を含め、その対策に財政負担を余儀なくされた。しかし、全ての町内完結のバス路線 8 路線が平成 16 年 3 月末に廃止されるに伴い、交通弱者への十分な輸送サービスがなくなることから、デマンド型交通「あねっこバス」の導入に至った。

あねっこバスの運行の特徴として、図 4.2 のように一般的なバスのように運行経路とダイヤが設定されており、予約があった時だけ運行を行う路線固定型の運行を行っているというものがある。他にも滋賀県彦根市「愛のりタクシー」でも同様の運行を行っている。

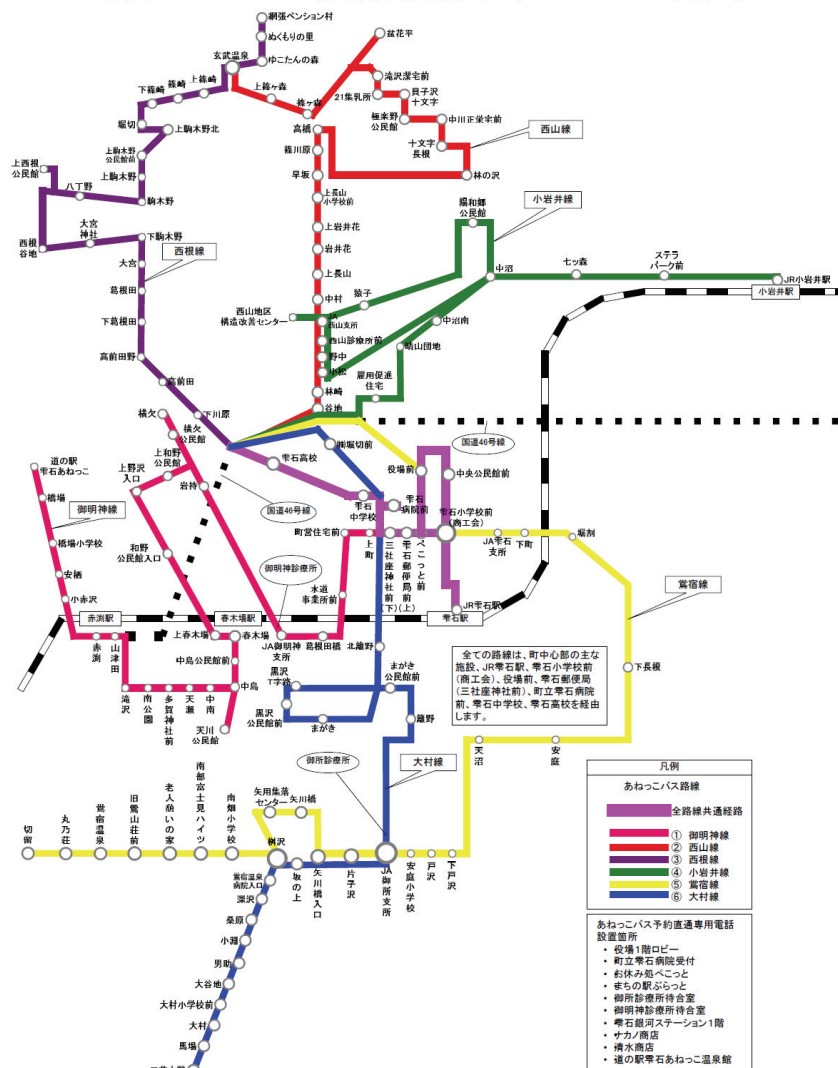
利用者は、氏名、路線名、乗車希望便名、乗車停留所、目的地の停留所などを予約センターの受付に連絡し乗車する。また、利用者の利便性向上のために、図 4.1 のように予約専用の電話を設置する等の取り組みを行っている。

この方式を導入した経緯として、元田では、ドアトゥードアの送迎では配車や経路選定が複雑になることや、システムの導入といった初期コスト及び通信などの運営コストがかかってしまうが、路線固定方式（論文中ではフレキシブルバス方式）のように路線・ダイヤを固定してしまえば特別なシステムを必要とせず、また車両との連絡も通常のタクシー無線を用いることで初期・運営コストを抑えることができることを挙げている。



図 4.1 あねっこバス及び予約専用電話

○ 網張ペンション村



平成19年10月1日(月)改正 **あねっこバス運行時刻表 御明神線** 予約電話番号 692-6323

階	東石巻市立小学校(東石巻市立小学校)																																						
	東石巻小学校 No.1	磯城小学校 No.2	磯城小学校 No.3	安城小学校 No.4	小倉小学校 No.5	山田小学校 No.6	滝沢小学校 No.7	東公園小学校 No.8	多賀小学校 No.9	天瀬小学校 No.10	中瀬小学校 No.11	天川公園小学校 No.12	中瀬小学校 No.13	中瀬公園小学校 No.14	中瀬公園小学校 No.15	上瀬小学校 No.16	和野小学校 No.17	上野沢小学校 No.18	上野沢公園小学校 No.19	横久小学校 No.20	横久公園小学校 No.21	土橋公園小学校 No.22	土橋公園小学校 No.23	別所小学校 No.24	JIA中学校 No.25	水田小学校 No.26	水田小学校 No.27	町家小学校 No.28	上野小学校 No.29	東石巻中学校 No.30	東石巻中学校 No.31	東石巻中学校 No.32	べつこ中学校 No.33	中瀬中学校 No.34	中瀬中学校 No.35	東石巻中学校 No.36	JR東石巻中学校 No.37	JR東石巻中学校 No.38	
1階	8.00	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12	8.13	8.14	8.15	8.16	8.17	8.18	8.19	8.20	8.22	8.23	8.24	8.28	8.27	8.28	8.29	8.30	8.31	8.32	8.33	8.34	8.35	8.36	8.38	8.37	8.38	
2階	9.33	9.36	9.37	9.38	9.38	9.40	9.41	9.42	9.43	9.44	9.45	9.46	9.47	9.48	9.48	9.50	9.51	9.52	9.53	9.54	9.56	9.57	9.58	9.59	10.01	10.02	10.03	10.04	10.05	10.06	10.07	10.08	10.09	10.10	10.11	10.11	10.12	10.13	
3階	12.30	12.31	12.32	12.33	12.34	12.35	12.38	12.37	12.38	12.39	12.40	12.41	12.42	12.43	12.44	12.45	12.46	12.47	12.48	12.51	12.52	12.53	12.54	12.56	12.57	12.58	12.59	13.00	13.01	13.02	13.03	13.04	13.05	13.06	13.08	13.07	13.08		
4階	14.50	14.51	14.52	14.53	14.54	14.55	14.56	14.57	14.58	14.59	15.00	15.01	15.02	15.03	15.04	15.05	15.06	15.07	15.08	15.09	15.11	15.12	15.13	15.14	15.15	15.16	15.17	15.18	15.19	15.20	15.21	15.22	15.23	15.24	15.25	15.26	15.29	15.27	15.28
5階	17.13	17.14	17.15	17.16	17.17	17.18	17.19	17.20	17.21	17.22	17.23	17.24	17.25	17.26	17.27	17.28	17.29	17.30	17.31	17.32	17.34	17.35	17.36	17.37	17.39	17.40	17.41	17.42	17.43	17.44	17.45	17.46	17.47	17.48	17.49	17.48	17.50	17.51	
6階	18.55	18.56	18.56	18.57	18.58	18.59	19.00	19.01	19.01	19.01	19.02	19.03	19.04	19.04	19.04	19.05	19.05	19.06	19.07	19.08	19.09	19.09	19.10	19.11	19.12	19.12	19.13	19.14	19.14	19.15	19.16	19.16	19.17	19.17	19.18	19.18	19.19	19.20	

図 4.2 あねっこバス運行経路図及びダイヤ

(引用 雫石町資料)

(2) エリア間移動型（北海道帯広市 あいのりタクシー）

帯広市大正地区は、帯広中心部から 15km 離れた農村部で、南北 20km、東西 10km の地区であり、540m²の1区画に1戸～2戸の世帯が居住する極めて散居型の集落である。

平成 14 年 10 月時点で市町村の生活バス路線が 3 路線あったが、一日に 2 往復程度しか運行しておらず、表 4.2 で示すように一日の輸送量は 4.8 人と極めて少ない状況であった。

表 4.3 大正地区における市町村生活バス路線の状況(H14)

系統名	平均乗車 密度(人)	輸 送 量 (人)	補 助 合 計 (千円)	国・動補助 金(千円)	市補助(千 円)
西以平線	0.6	0.4	876	87	789
愛の国線	0.4	0.6	2906	0	2906
大和線	3.2	3.8	465	46	419
合計	4.2	4.8	4247	133	4114

帯広市資料より作成

こうした状況を踏まえ、帯広市では平成 13 年度から農村部における新しい生活交通システムについて検討を行い、平成 15 年 7 月から大正地区において「呼び出し型の乗合タクシー」の実証実験を実施し、翌 16 年には「あいのりタクシー」本格運行を開始している。

「あいのりタクシー」の運行方法は、図 4.3 に示すように、大正地区の中心部に位置する大正本町のバス停を起終点とし、散村型の集落形態を考慮して大正地区内は戸口までのデマンド運行を行っている。また、市街地は路線・停留所を定めた運行を行っている。当初は大正地区内のみで運行を行い、市街地までは既存のバスを用いる方式であったが、市街地に直接入るようルートを変更した。その際に既存のバス事業者との兼ね合いを図るため、路線・停留所を固定している。また、配車に関しては特別なシステムは用いておらず、地元のタクシー会社である大正交通のオペレーターが配車処理を行っている。

利用者は、氏名、乗車希望便名、乗車地、目的地を大正交通に連絡し乗車する。



図 4.3 あいのりタクシー運行路線図

(引用 大正交通資料)

(3) エリア間移動型（福島県南相馬市小高区 おだか e-まちタクシー）

福島県南相馬市小高区（旧小高町）は、福島県東部の相馬郡の最南端に位置し、東西 12km、南北 8km、総面積 91.95km² となっている。人口は約 13,000 人で、高齢化率が 28% 近くと高い水準になっている。

旧小高町では平成 11 年時点でバス路線が 1 路線を除き既に廃止されており、交通弱者の移動手段確保、及び小売店舗数・商品販売額の減少傾向の改善が課題となっていた。そこで 2 年間の検討の後、平成 13 年度、14 年度において国土交通省「交通不便者のシビルミニマム確保のためのデマンド交通システムモデル実験事業」に採択され、試験運行を行った。そして平成 15 年 4 月から本運行を実施している。

配車を行う際には NTT 東日本社のシステムを用いているのが特徴である。これは後述する千葉県酒々井町や茨城県常総市、茨城県筑西市でも同じシステムを用いている。図 4.4 はその概略図である。

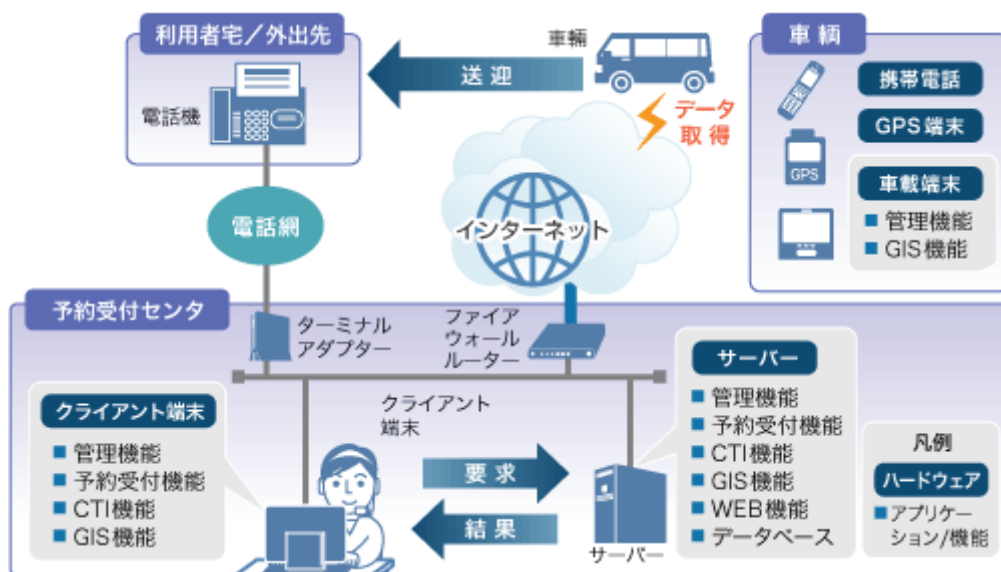


図 4.4 デマンド交通システム ソリューション概要図

（NTT 東日本 HP より引用）

このシステムの特徴として、オペレーターが GPS、専用端末を搭載した車両の位置をリアルタイムで把握し、配車処理を行うことにある。これにより手動の配車よりもより多くの利用客を処理できるようになる。ただし、車両に専用端末を搭載しなけ

ればならない関係で、車両をタクシー会社から借り上げる必要があり、運行距離に比例せず、常に固定費用がかかるものとなっている。また、利用者が多くなり運行時間を守れない場合は予約をお断りし、呼損状態になることもある。

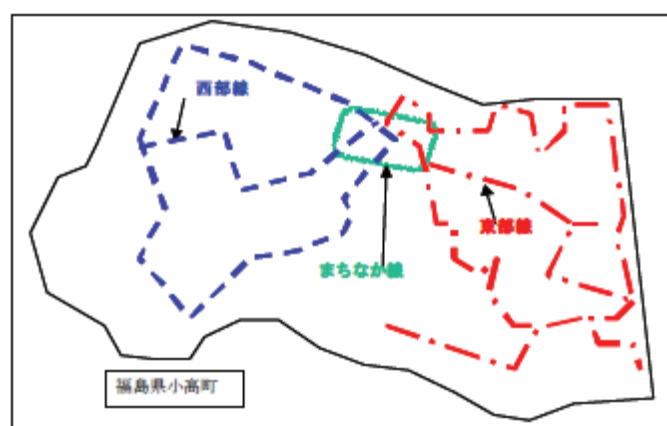


図 4.5 おだか e-まちタクシー路線図

(引用 小高商工会資料)

表 4.4 おだか e-まちタクシー時刻表

(引用 小高商工会資料)

東部線		上り	下り
・浦尻	・井田川	8:00	
・下蛭沢	・上蛭沢	9:00	
・下浦	・上浦	10:00	10:30
・行津	・神山	11:00	11:30
・泉沢	・福岡	12:00	12:30
・上耳谷	・下耳谷	13:00	13:00
・女場	・村上	14:30	14:30
・角部内	・塚原	15:00	15:00
・大井	・川原田	15:30	15:30
・岡田	・南町	16:00	16:00
・田町		16:30	16:30

西部線		上り	下り
・大富	・金谷	8:00	
・羽倉	・川房	9:00	
・大田和	・摩辰	10:00	10:30
・北鳩原	・南鳩原	11:00	11:30
・小谷	・角間沢	12:00	12:30
・飯崎	・小屋木	13:00	13:00
・片草	・上根沢	14:30	14:30
・吉名	・小高	15:00	15:00
・関場		15:30	15:30
・西町		16:00	16:00
		16:30	16:30

「おだか e-まちタクシー」の運行方法は、図 4.5 に示すように町内を東西 2 エリアと、町中心部のまちなかエリアの 3 つに区分し、東西エリアからまちなかエリア間を結ぶ運行形式を行っている。停留所はなく、利用者は町内の任意の位置で乗降することができる。利用者は便の出発時間 30 分前までに予約センターに出発地・目的地を

連絡し利用する。

(4) エリア間移動型（滋賀県米原市 まいちゃん号・カモン号）

米原市は平成17年2月に坂田郡山東町・伊吹町・米原町、同年10月に近江町が合併して誕生した自治体で、滋賀県東北部地域の中心に位置し、面積は250.46 km²（うち琵琶湖の面積：27.36 km²）人口は約40000人、高齢化率は23.3%である。

デマンド型交通導入以前はコミュニティバス「カモンバス」が運行していたが、その赤字額の増大もあり、公共交通空白地帯に対する対策が遅れていた。加えて、平成16年9月で民間路線バス（彦根米原線）が廃止されたことから、その運行廃止への対応、公共交通空白地域における生活交通の確保、路線バス交通の活性化を目的に「まいちゃん号」の運行を開始した。その後、「カモンバス」もデマンド型の運行を行う「カモン号」に変更された。また、「まいちゃん号」に関しては、旧米原町で運行が開始されたが、前述した市町村合併によって米原地域・近江地域と運行エリアを拡大した運行を行っている。

運行を行うにあたり、専用のシステムを用いておらず、配車処理などは委託先である近江タクシー(株)に一任している。まいちゃん号の運行要望があった際に米原駅や坂田駅等で滞留しているタクシーで配車を行っている。

費用負担に関しては、走行距離に応じて（タクシーのメーター分）自治体が負担する仕組みになっている。また、車両台数に関しても必要分だけ提供するため呼損が発生しないのも利点である。しかし、利用者数が多くなると配車・車両に関し委託先であるタクシー会社の負担が大きくなってしまうこと、また、配車を行う際タクシー会社側は運行距離が長ければ長いほど利益になるため、費用負担・運行効率性に関して問題が生じる可能性がある。

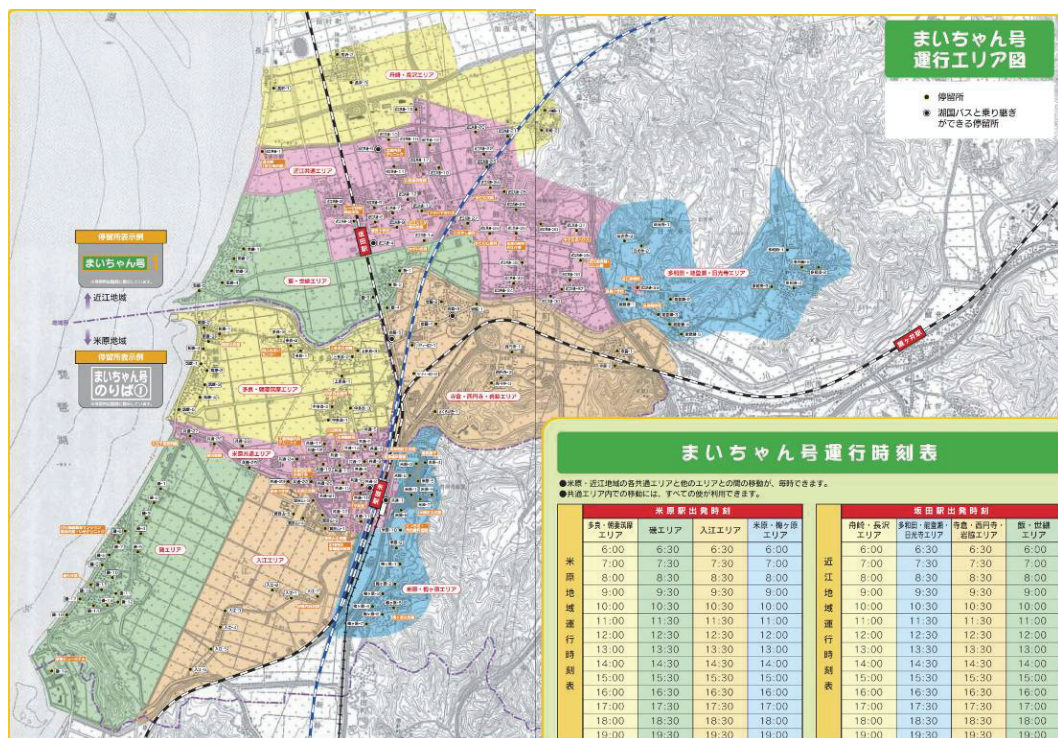


図 4.6 まいちゃん号運行エリア・時刻表

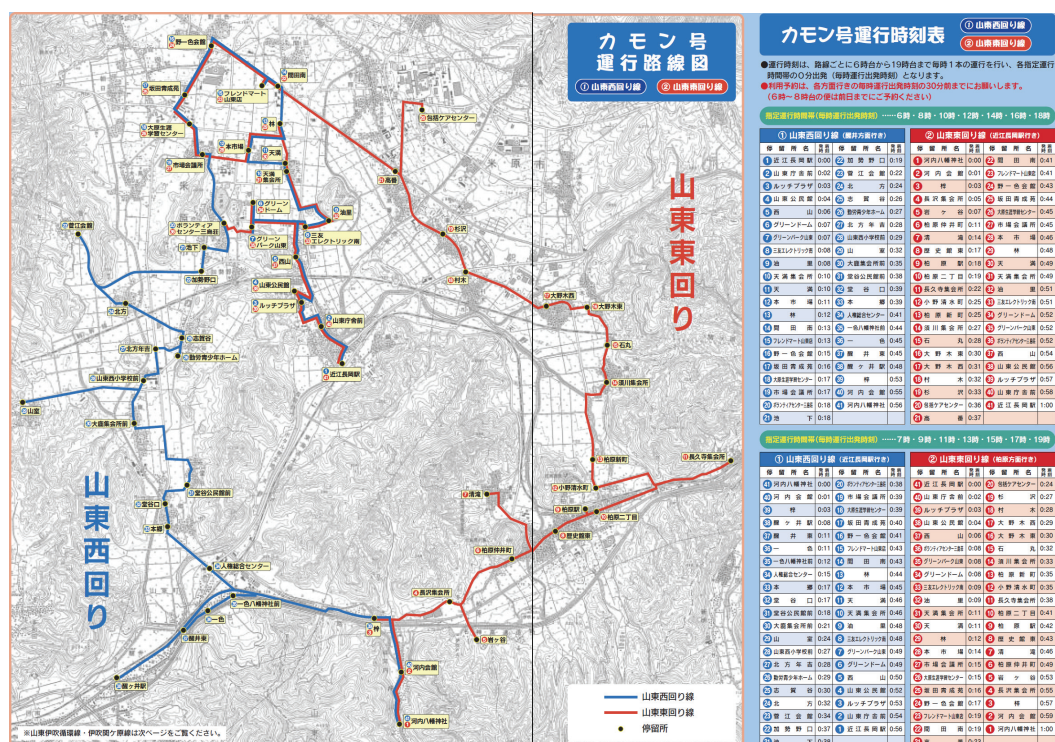


図 4.7 カモン号運行エリア・時刻表

(引用 米原市資料)

図 4.6 は「まいちゃん号」の運行、図 4.7 は「カモン号」の運行についての図である。まいちゃん号は、米原地域・近江地域と共通のエリアに分けられた各エリア間で運行を行っている。

カモン号は山間部で運行を行っているため、図では路線が定まっているが、これは山間部を通るため運行のルートが限られるためである。どちらも停留所が定まっており各停留所間を結ぶ運行を行っている。

利用者は、氏名、乗車希望便名、乗車する停留所、目的地停留所を近江タクシーに連絡し乗車する。

(5) 完全デマンド型（千葉県酒々井町 しすいふれ愛タクシー）

千葉県酒々井町は東西 4.2km、南北 6.2km、面積 19.02km²の自治体である。国土交通省のモデル実験事業「公共交通不便地域における情報通信技術を活用したデマンド型タクシーモデル事業」の採択を受け、平成 16 年 3 月 1 日より試験運行を開始し、6 月 1 日よりデマンド交通システムにスクールバス機能を併せ持つデマンド型交通の運行を行っている。運行システムには前述した福島県南相馬市小高区「おだか e-まちタクシー」と同じく NTT 東日本社のシステムを用いている。

図 4.8 は「しすいふれ愛タクシー」運行のサービスを示したものである。スクールバスの運行時はそちらが優先的な運行になるが、市内全域、及び市外の成田日赤病院、印旛日医大北総病院に行くことができる。また、市内全域の移動が可能である点は、茨城県常総市、茨城県筑西市も同様である。

利用者は、便の出発時間 30 分前までに予約センターに出発地・目的地を連絡し、利用する。

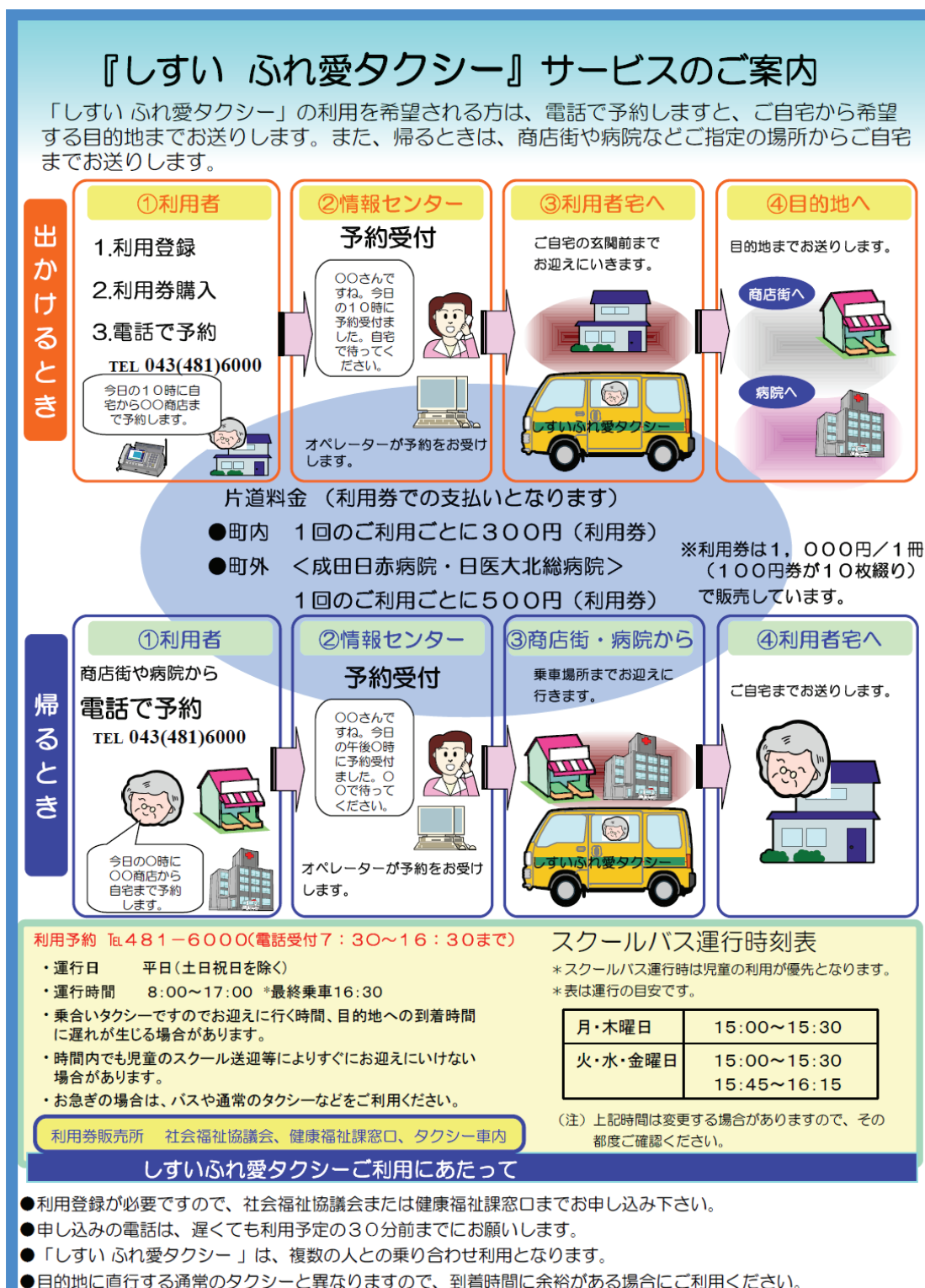


図 4.8 しすいふれ愛タクシー サービス案内

(引用 酒々井町 HP)

(6) 完全デマンド型（茨城県常総市 ふれあい号）

茨城県常総市は、茨城県の南西部・都心から約 55km に位置し、面積 123.5km²・人口 65,536 人である。2006 年 4 月 1 日に水海道市と石下町が合併し誕生した市である。同市では無料の福祉バスを運行していたが、目的地となる施設間の行き来の不便さ、及び本数の増大によるサービスの向上を図るため、2009 年 10 月よりデマンド型交通「ふれあい号」が運行を開始している。

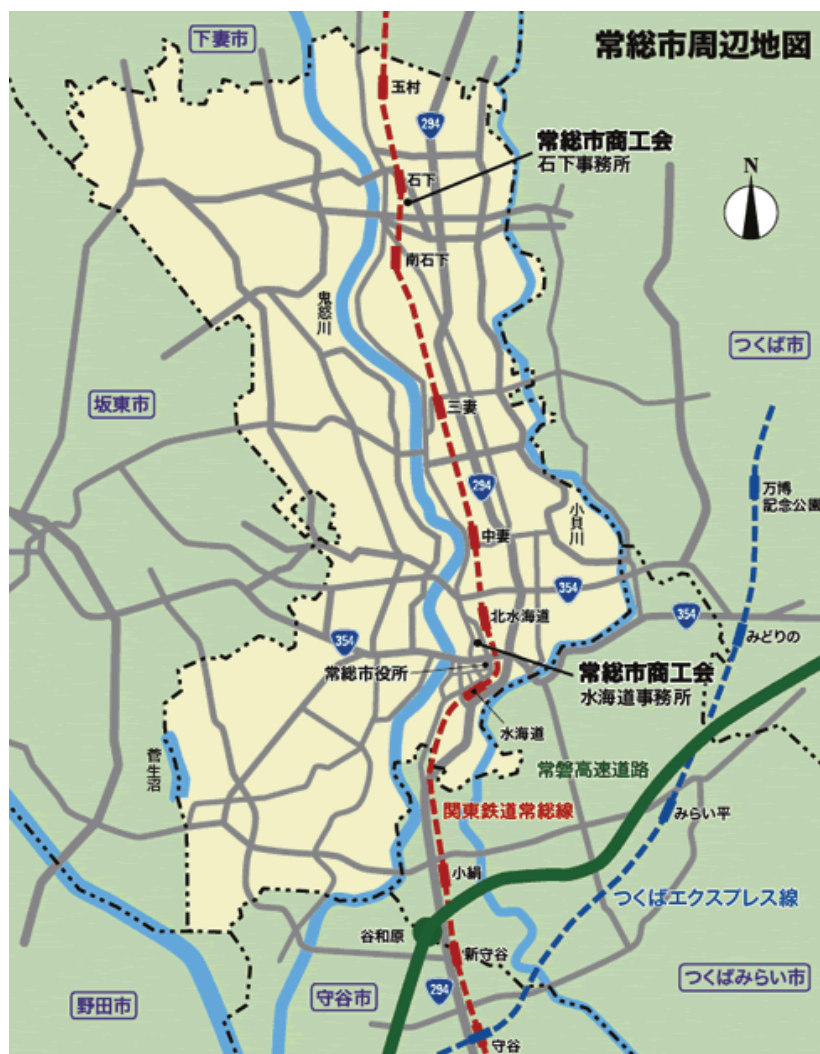


図 4.9 常総市概要（常総市 HP より引用）

ふれあい号も NTT 東日本のデマンド交通システムを用い運行を行っている。運行エリアは市内に限定され、酒々井町のように市外への運行は行っていないが市内ならどこでも乗車・降車場所を指定できる。

また、図 4.10 は利用の流れを示した図である。利用者は、便の出発時間 1 時間前までに予約センターに出発地・目的地を連絡し、利用する。

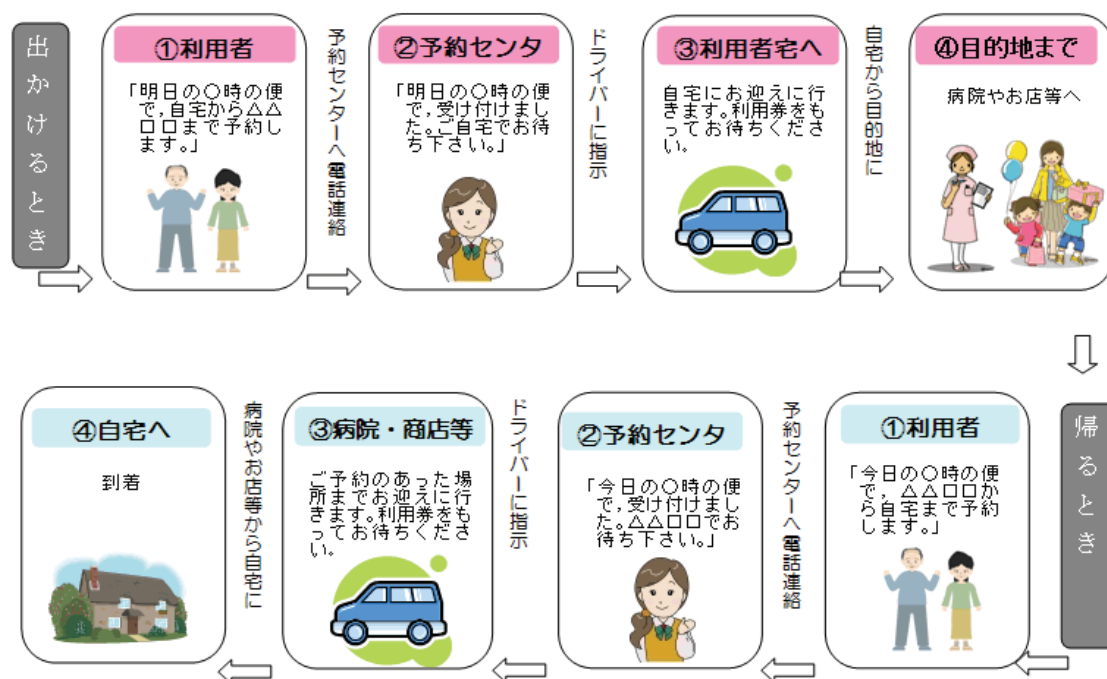


図 4.10 ふれあい号利用概要（常総市 HP より引用）

4.2 調査対象自治体の運行方式と年間費用

表 4.5 はヒアリング調査を行った自治体の利用者数・運行日数及び停留所・路線・運行エリア・ダイヤの有無によって分類したものである。運行形式、図 4.11 は人口と年間の利用者数の関係を、図 4.12 は人口密度（人口/総面積）と利用者数の関係を示したものである。これを見ると、年間の利用人数は自治体によって大きく異なるが、人口・人口密度に対してその関係性は少ないことが分かる。また、ヒアリングの中で利用者数に関して地域によって公共交通への志向性が異なり、もともと公共交通が導入されていない地域では潜在的な需要があっても利用者数は増加しないという意見があった。

表 4.5 調査対象自治体の運行開始年度・車両台数・利用人数・運行パターン

名前	人口(人)	面積(km ²)	運行 開始年度	台数	年間 利用人数 (人)	運行日数	一日当たり 利用人数	停留所	路線	運行エリア	運行ダイヤ
北海道帯広市(大正地区)	3393	112	H16	10人乗り1台※1	3875	365	10.62	なし※3	なし※3	あり	起点のみ※3
岩手県雫石町	18010	609.01	H16	5人乗り4台 10人乗り3台	25378	365	69.53	あり	あり	あり	あり
山形県川西町	17094	166.46	H18	5人乗り3台	9987	365	27.36	なし	なし	なし	起点のみ
福島県南相馬市小高区	12932	91	H15	10人乗り2台 5人乗り3台	29970	242	123.84	なし	なし	あり	起点のみ
茨城県筑西市	112581	205.35	H20	10人乗り5台 5人乗り5台	38375	242	158.57	なし	なし	なし	起点のみ
茨城県常総市	66536	123.52	H21	5人乗り6台	25030	245	102.16	なし	なし	なし	起点のみ
千葉県酒々井町	21385	19.02	H16	10人乗り2台 15人乗り2台	15875	243	65.33	なし	なし	なし	なし
滋賀県米原市	41009	254.06	H16	5人乗り ※2	18343	310	59.17	あり	なし	あり	起点のみ
滋賀県彦根市	109779	198.64	H21	5人乗り ※2	4921	310	15.87	あり	あり	あり	あり
三重県玉城町	15223	40.94	H21	29人乗り2台	23400	242	96.69	あり	なし	なし	起点のみ
熊本県菊池市	49802	276.66	H18	5人乗り ※2	10900	245	44.49	あり	なし	あり	あり
熊本県阿蘇市	28251	376.25	H19	5人乗り ※2	2211	245	9.02	あり	なし	あり	起点のみ

※1 必要に応じて5人乗りセダン型を配車

※2 必要な台数だけ配車

※3 中心市街地は定時・定路線で運行

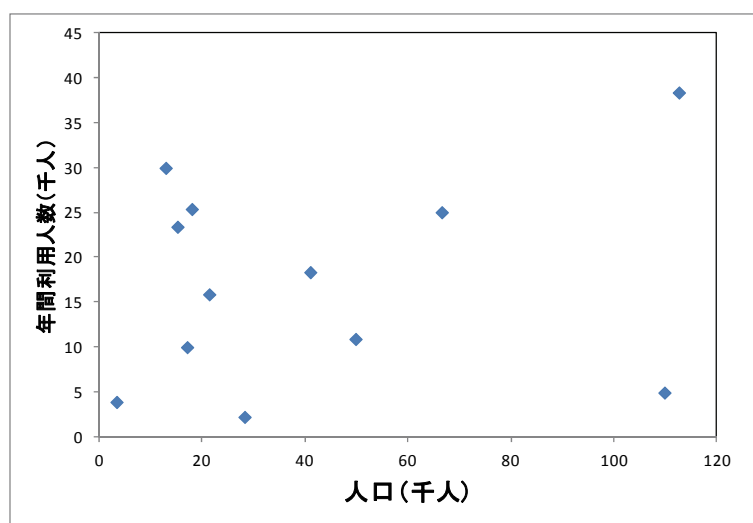


図 4.11 各自治体の人口と利用者数の関係

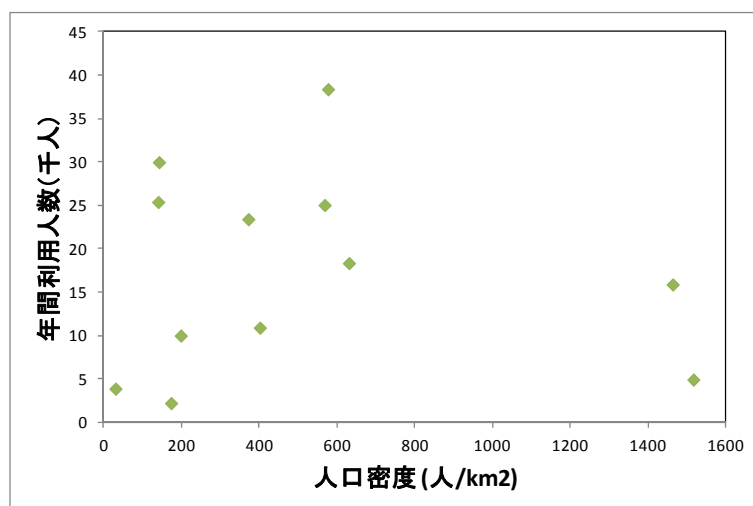


図 4.12 各自治体の人口密度と利用者数の関係

また、運行形式に関しては、対象とするエリアが広い自治体は停留所を設け、乗降地点を限定した運行を行っていることがわかる。これは運行を行う際にエリアが広い場合には、ある程度停車位置を限定しないとドライバーへの指示を始めとした配車処理に影響が生じるためである。

運行ダイヤに関しては、8時の便、9時の便、というように一時間ごとに目安のダイヤが定まっていることが多く、運行開始より前に予約を締め切り、ルートを決める形になっている例が多い。



図 4.13 車両の大きさの違い

図 4.13 は実際に運行している車両の写真である。車両は大きく分けてセダン型、ジャンボタクシー型、マイクロバス型の3パターンが存在することがわかった。表 4.5 にあるように各自治体によって使い分けているが、ジャンボタクシー型の車両は概ね利用者数が多い場合に用いられることがわかった。



図 4.14 予約・配車システムの種類

図 4.14 は予約・配車システムの端末の写真である。前節で述べた NTT 東日本のデマンド交通システムの他にも三重県玉城町では東京大学オンデマンド交通システムを用いた運行を行っており、図 4.14 下段の写真のように利用者に対して予約専用の端末の設置や、スマートフォンの配布等を行っている。また、山形県川西町、滋賀県米原市といった予約に関して特別なシステムを用いていない場合は、基本的に配車はタクシー会社にまかせることになり、前記二つのシステムのように、自治体が設ける、予約を承る予約センターは存在せずタクシー会社に直接連絡する形になっている。複数のタクシー会社が存在する場合、予約用の携帯電話を用いて予約を承る自治体もあった。

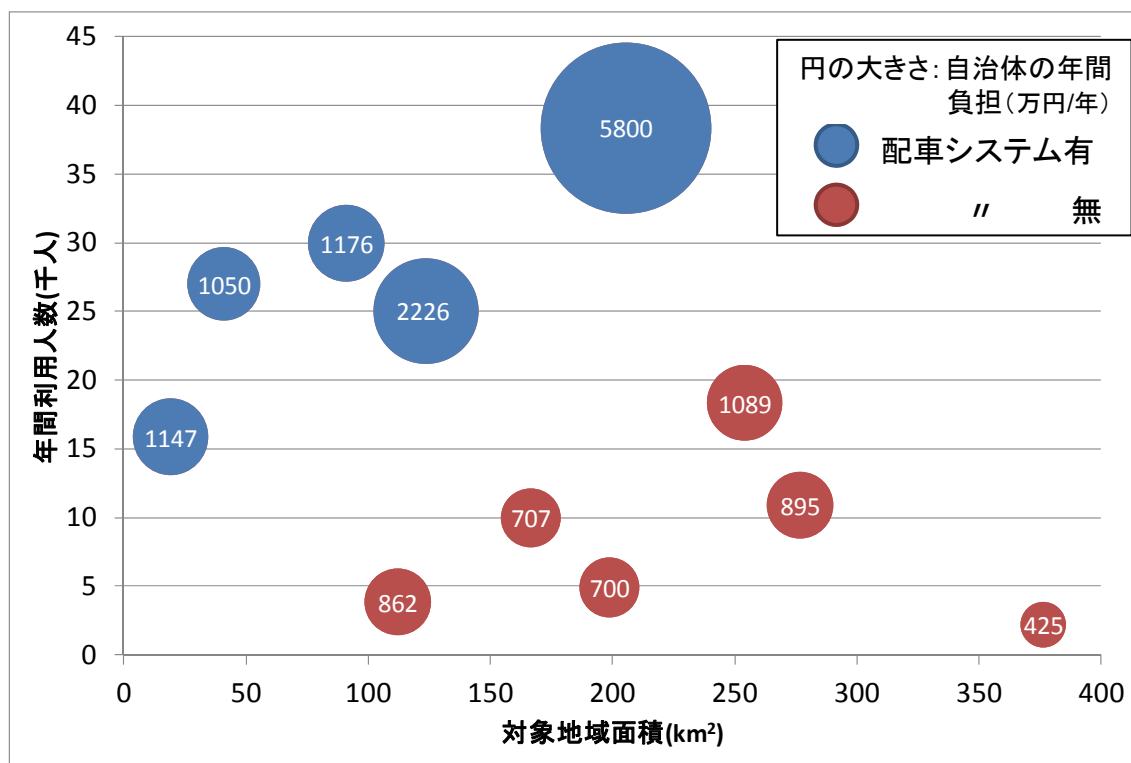


図 4.15 各自治体の面積と年間利用人数、及び自治体の年間負担額

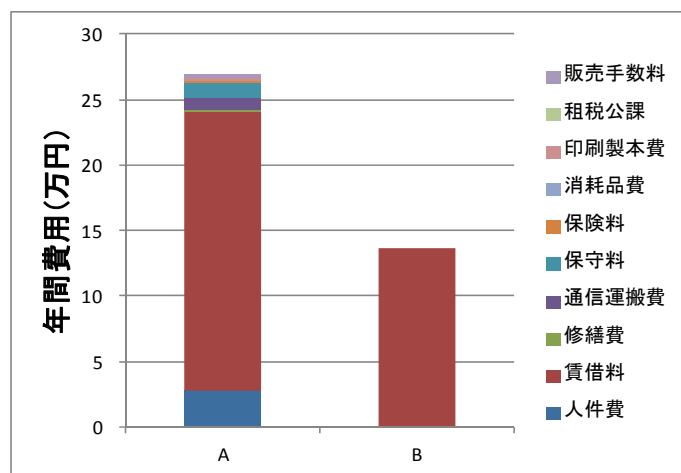


図 4.16 デマンド型費用負担の一例

図 4.15 は各自治体の面積と年間利用人数、及び自治体の年間負担額を示したもの、図 4.16 は二つの自治体の運行にかかる費用負担を示したものである。これを見ると費用の負担はエリアの面積ではなく利用者数に応じて増加していることが分かる。また、利用者数が多い地域は配車に関してシステムを用いていることがわかる。年間利用人数が 20,000 人以上、一日の平均乗車人数 80 人以上であればシステムを導入する傾向にあると見られる。

また、図 4.13 のうち自治体 A は配車システムを用いている例、自治体 B は用いていない例である。配車にシステムを用いる場合、オペレーターの人件費、サーバ・端末のリース費用、システムの保守費用も発生し、運行の規模に関係なく固定費用が発生する。また、車両も借り上げるため、例えば予約が少なく運行しない車両がある場合もその車両の費用がかかる。一方、システムを用いない場合は基本的に車両の走行費用だけの負担になるため、自治体の費用負担は少なくなる。しかし、タクシー会社の負担が相対的に大きくなるため、それに対するタクシー会社の理解が必要である。

4.2.1 利用者の特徴

図 4.17 はデマンド型交通利用者の男女比、図 4.18 は年齢層を表したものである。これを見ると女性の利用が 80%以上、60 歳以上の高齢者の利用が 90%となっていて、女性の高齢者の利用が多いことが分かる。男性の場合高齢者であっても自家用車を運転できる方が多いが、女性の場合自家用車を運転できない人が多く、加えて歩いての

移動が困難な人も多い。これはデマンド型交通に限ったことではなく、主に買い物・通院などの目的で利用する生活交通・地域公共交通では女性の需要が高い。図 4.19 は千里ニュータウン内を運行するバスの中で撮影した写真であるが、乗客の大半が高齢者であることがわかる。

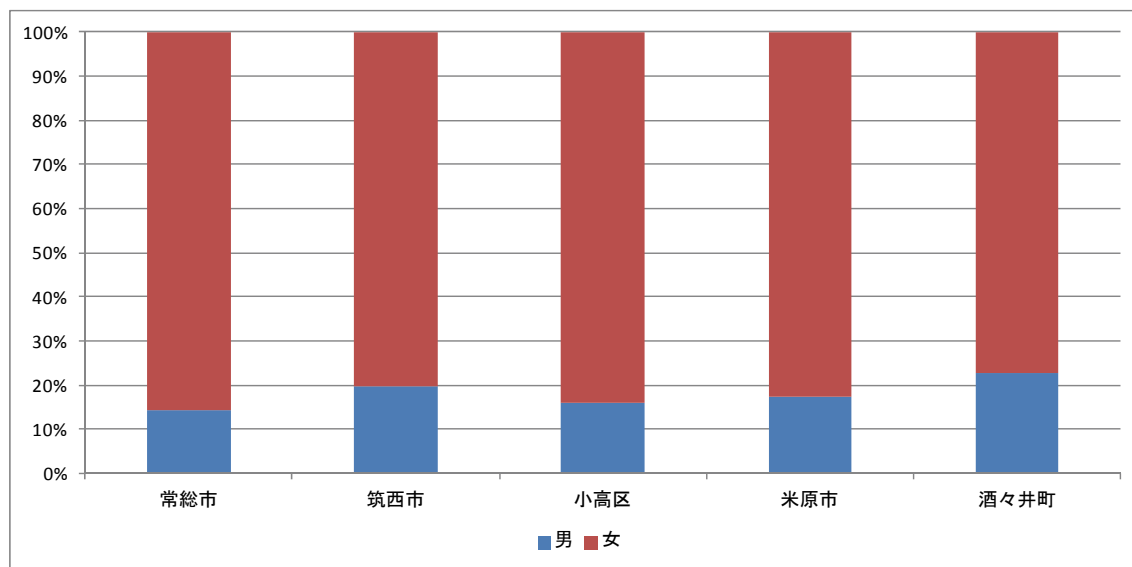


図 4.17 デマンド型利用者の男女比

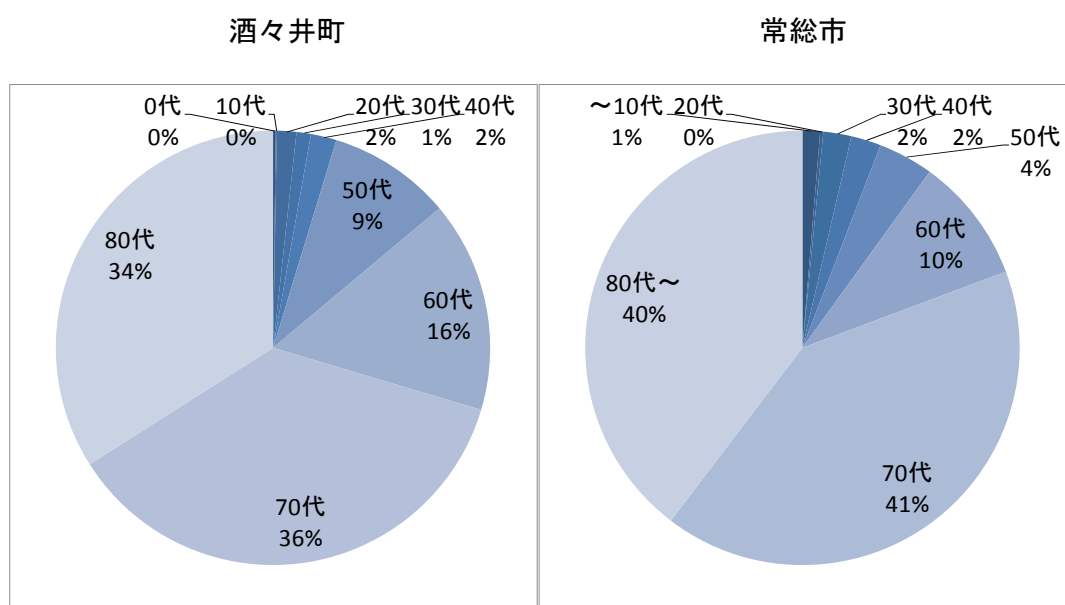


図 4.18 デマンド型利用者の年齢層



図 4.19 生活交通としてのバスの利用状況
(千里ニュータウン内を運行しているバスで撮影)

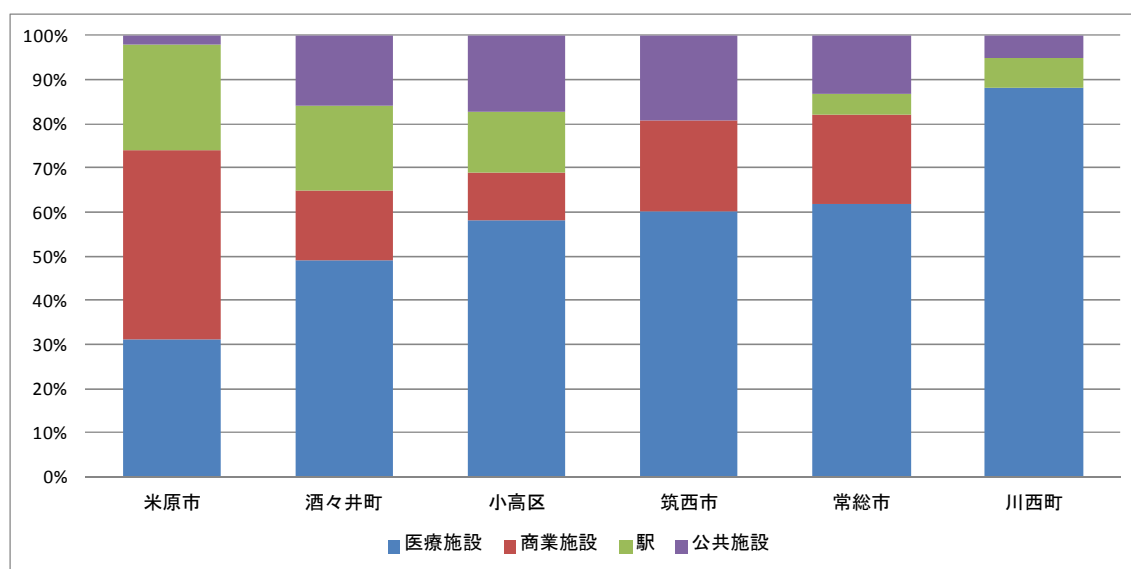


図 4.20 デマンド型利用者の目的地割合

図 4.20 は利用者の目的地の割合を示したものである。これを見ると多くの自治体で医療施設を目的とした移動が多く、高齢者の通院目的の利用が多くなっていることがわかる。またその他にも商業施設や駅の利用が多い。

また、自宅から目的地までを運行を行うことで高齢者の移動に対する敷居を下げ、単なる公共交通としての役割だけでなく、娯楽施設の利用に起因して高齢者同士のコミュニティの創出にも影響を与えることもあるとのことであった。

4.3 全国のデマンド型交通導入地域の運行方式の把握

4.3.1 デマンド型交通導入地域・運行方式の把握

前章で行った全国のデマンド型交通導入自治体の把握に併せ、市のHPや資料を調べることにより、その運行方式についても調査を行った。その分類方法に関しては、福本・加藤[11]及び前節のヒアリング結果を参考に図4.21のように分類した。路線型、エリア型の二つに大きく分け、岩手県雫石町「あねっこバス」の運行形式のように路線、停留所が固定され、それらが通過するダイヤが定まっている①路線固定型、東京都渋谷区東急トランセ代官山線のように予約があった時のみ迂回路線が存在する②迂回型、北海道帯広市「あいのりタクシー」、福島県南相馬市「おだかe-まちタクシー」のように、中心部及び郊外部にエリアが設定されていて、エリア内の乗降には路線が存在せず、エリア間の移動に限定されている③エリア間移動型、千葉県酒々井町「しすいふれ愛タクシー」のように市内・町内であれば限定なく運行できる④完全デマンド型の4つに分類した。

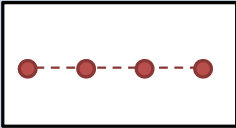
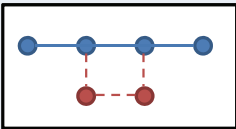
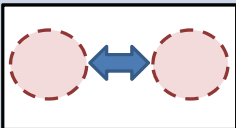
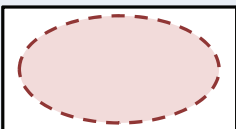
	分類	概略図	概要	路線	停留所
路線型	①路線固定型		路線・停留所、及びそれを通過するダイヤは定まっている。 予約があった時のみその路線を運行。	有	有
	②迂回型		路線・停留所、ダイヤが定まっていて、予約があった時のみ運行する迂回路がある。	有	有
エリア型	③エリア間移動型		エリア内の乗降には路線が存在しないが、別のエリアへの運行を行う。 (例 郊外エリア⇄市街地エリア)	一部有 or無	有or無
	④完全デマンド型		エリア内に路線が存在せず、どの地点でも乗降することができる。	無	有or無

図 4.21 デマンド型交通の分類

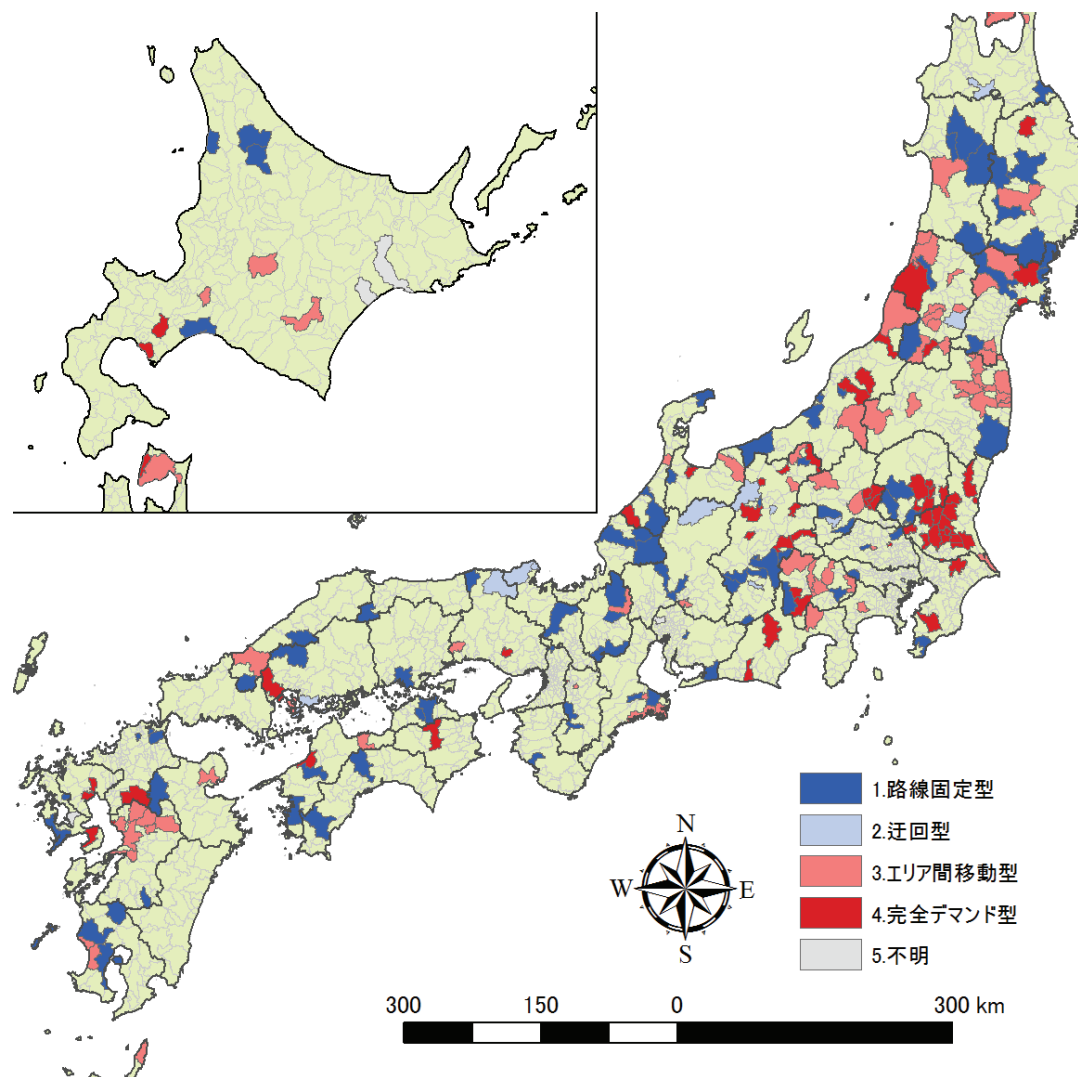


図 4.22 デマンド型交通導入地域の運行分類

図 4.22 はデマンド型交通導入地域における運行形式を分類したものである。これを見ると以下の内容がわかる。

- 導入形式で最も多いのが①路線固定型で 83 自治体、次に③エリア間移動型 71 自治体、④完全デマンド型 61 自治体、②迂回型 12 自治体となっている。路線型は運行に際し、既存のバス停留所などの既存のストックを活用できること、配車に関する特殊なシステムを用いなくても運行が可能であることから、コミュニティバスの運行コストを減少させるために導入している例が多いためと考えられる。
- また、①路線固定型は全国的に展開しているのに対し、③エリア間移動型、④完

全デマンド型は山形県西部、福島県北東部、茨城県西部、熊本県北部等、局所的に偏って集中している。エリア型の運行は導入に際し、既存のコミュニティバスとは違う運行形式を行うため、導入に際し初期コストがどうしてもかかってしまう。そのため導入に際し近隣地域にモデルケースがないと導入に対し慎重になってしまう傾向がある。そのため、エリア型の運行を行っている自治体は近隣にモデルケースとなる自治体があり、そこから広まっていった可能性が高い。矢萩[19]でも、地域政策の伝搬性として説明されている。

4.3.2 デマンド型交通導入地域・各運行方式の統計的特徴

路線型、エリア型において自治体の面積・人口といった統計的な特徴を明らかにするため、3章で行った導入／非導入地域の分析と同様に、路線型／エリア型の自治体群に分け、両群の平均値の差の有意性について t 検定により検定を行う。

表 4.6 分析に用いたデータ

項目	データソース
人口総数(人)	H17 年 国勢調査
65 歳以上人口(人)	H17 年 国勢調査
DID 人口(人)	H17 年 国勢調査
世帯数(世帯)	H17 年 国勢調査
高齢単身世帯数(65 歳以上の者1人)(世帯)	H17 年 国勢調査
総面積(北方地域及び竹島を除く)(ha)	H17 年 国勢調査
可住地面積(ha)	H17 年 国勢調査
財政力指数	H17 年 国勢調査
DID 面積(ha)	H18 年 国土数値情報※1
県内乗り合いバス分担率	H12 年 国勢調査※2
県内自動車分担率	H12 年 国勢調査※2
DID 面積割合	DID 面積/総面積
DID 人口割合	DID 人口/人口総数
人口密度(人/km ²)	人口総数/総面積(km ²)
高齢者人口密度(人/km ²)	65 歳以上人口/総面積(km ²)
高齢化率	65 歳以上人口/人口総数

使用するデータは都市規模・需要密度に関係のある指標を、平成17年（一部は平成12年）の国勢調査のデータ、及び国土数値情報で提供されているものを用いた。データの一覧は表4.6のとおりである。

表 4.7 運行形式ごとの各指標平均値

	①路線固定型 (N=82)	②迂回型 (N=12)	③エリア移動型 (N=72)	④完全デマンド型 (N=59)
人口総数（人）	86258.35	86169.75	62885.64	65567.34
65歳以上人口（人）	18847.26	20207.08	14286.61	13631.42
DID人口（人）	29297.29	49343.25	16448.39	12146.10
DID人口割合	0.18	0.26	0.15	0.16
世帯数（世帯）	31829.79	34629.17	22674.08	22564.41
高齢単身世帯数（65歳以上の者1人）（世帯）	2568.76	3208.08	1796.10	1376.42
総面積（北方地域及び竹島を除く）（ha）	38480.67	33064.25	29529.86	21575.36
可住地面積（ha）	10748.16	8576.33	10751.45	9623.29
DID面積（ha）	991.53	1300.96	737.60	898.86
DID面積割合	0.03	0.10	0.03	0.05
県内乗り合いバス分担率	0.06	0.06	0.05	0.05
県内自動車分担率	0.61	0.54	0.65	0.63
人口密度（人/km ² ）	296.43	1337.07	299.74	484.79
高齢者人口密度（人/km ² ）	65.56	257.19	65.81	96.54
高齢化率	0.27	0.27	0.26	0.24
財政力指数	0.50	0.40	0.52	0.63

表 4.8 導入/非導入地域の基礎指標の比較

	路線型 (N=94)		エリア型 (N=131)		t値
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
人口総数（人）	86247.04	117126.27	64093.43	86160.24	1.63
65歳以上人口（人）	19020.85	23201.61	13991.53	16104.35	1.92
DID人口（人）	31856.35	75565.86	14510.72	36993.06	2.28 *
DID人口割合	0.19	0.27	0.15	0.24	1.13
世帯数（世帯）	32187.16	46724.04	22624.69	34103.67	1.77
高齢単身世帯数（65歳以上の者1人）（世帯）	2650.37	4091.18	1607.08	2528.10	2.36 *
総面積（北方地域及び竹島を除く）（ha）	37789.21	28196.07	25947.30	23294.68	3.44 **
可住地面積（ha）	10470.90	8400.69	10239.44	7962.87	0.21
DID面積（ha）	1020.31	1609.12	813.26	1526.86	0.69
DID面積割合	0.04	0.12	0.04	0.07	0.60
県内乗り合いバス分担率	0.06	0.04	0.05	0.03	1.39
県内自動車分担率	0.60	0.13	0.64	0.10	-2.61 **
人口密度（人/km ² ）	429.28	1410.54	383.08	508.46	0.30
高齢者人口密度（人/km ² ）	90.02	258.94	79.65	91.53	0.37
高齢化率	0.27	0.07	0.25	0.05	2.54 *
財政力指数	0.48	0.27	0.57	0.32	-2.13 *

*：有意水準5%で有意

**：有意水準1%で有意

表 4.7 は各運行方式の指標の平均値を示したもの、表 4.8 は路線型・エリア型に分け、平均値の差の検定を行った結果である。これを見ると、**DID** 人口、高齢者単身世帯数、総面積、高齢化率について、路線型の運行を行っている地域の方が有意に高い値を示している。また、県内自家用車利用分担率、財政力指数に関しては、導入地域の方が有意に低い値を示している。

以上の結果から、都市の面積が大きく、人口が多く都市規模の大きい、高齢化が進んだ財政力指数の低い地域においては初期コストの低い路線型が導入されている傾向にあり、都市規模の小さく、財政力指数が比較的高い地域に関してエリア型の運行を行っている傾向がある。

4.4 茨城県常総市「ふれあい号」経路データを用いたデマンド型交通運行の特徴把握

本節では4.2節でも取り上げた常総市のデマンド型交通の実際の運行状況について、「ふれあい号」の運行実績のデータ、及び車両経路を記録したデータを用い、運行の特徴を利用状況について定量的に把握する。

4.4.1 ふれあい号経路データ概要

常総市「ふれあい号」は前節図 4.4 で説明した NTT 東日本が開発したデマンド交通システムによって配車処理を行っている。

配車の際、車両に搭載した GPS からの信号によってオペレーターが車両の位置を確認している。その際、サーバに各車両の位置情報が記録されている。表 4.9 はデータの概要、図 4.23 はそのデータのフォーマット、表 4.10 はその項目である。データはカンマ区切りのテキストデータで 2009/10/26 から 2011/7/31 まで一日ごとに保存されている。

表 4.9 ふれあい号経路データ概要

車両	常総市ふれあい号の車両 7 台
期間	2009/10/26～2011/7/31 の平日
データ取得項目	配車操作(一回の運行に関する操作)、予約操作(客の乗降に関する操作) 上記操作時、もしくは3分ごとに時刻、走行位置を記録

車両	サーバ時刻	GPS時刻	GPS緯度	GPS経度	配車ID	配車操作	運行時刻	配車実行時	予約ID	予約操作	操作時刻	操作緯度	操作経度
1	8:56:42	8:56:25	139.9931	36.02866									
1	8:59:45	8:59:25	139.9931	36.02867									
1	9:05:42	9:05:25	139.9931	36.02862	12942	配車	1000	9:01:50					
1	9:05:44	9:05:43	139.9931	36.02862	12942	送信済み							
1	9:08:44	9:08:25	139.9931	36.02863									
1	9:11:15	9:10:55	139.9931	36.02862	12942	確認					9:10:53	2831.771	14687.92
1	9:11:46	9:11:25	139.9931	36.02863									
1	9:14:42	9:14:25	139.9931	36.02865									

図 4.23 経路データのデータフォーマット

表 4.10 データフォーマットの項目

タイトル	内容	備考
車両	車両の番号	1～6
サーバ時刻	サーバが信号を受信した時刻	hh:mm:ss
GPS 時刻	GPS から送られてくる時刻	hh:mm:ss
GPS 緯度	緯度	度
GPS 経度	経度	度
配車 ID	配車ごとの ID	
配車操作		配車 送信済み 確認 走行開始 走行完了
運行時刻	その配車の終了時間(一時間ごと)	900～1700
配車実行時刻	配車操作を実行した時刻	hh:mm:ss
予約 ID	利用者ごとの ID	
予約操作		乗車 降車
操作時刻	予約操作を実行した時刻	hh:mm:ss
操作緯度	予約操作時の緯度(投影座標)	メートル
操作経度	予約操作時の経度(投影座標)	メートル

ここから、配車操作によって一回の運行距離が、予約操作によって利用者ごとの乗車位置、降車位置を抽出することができる。

4.4.2 ふれあい号運行実績

(1) 利用者数

図 4.24 はふれあい号の月別の利用者数と一日当たり平均利用者数を示したものである。2009 年 10 月より運行を開始し、利用客数は平均して月 2,000 人程度、一日当たり平均 100 人の利用者がある。2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災の影響で利用者数は 1,700 人/月程度まで減少したが、6 月には元の水準に戻っている。

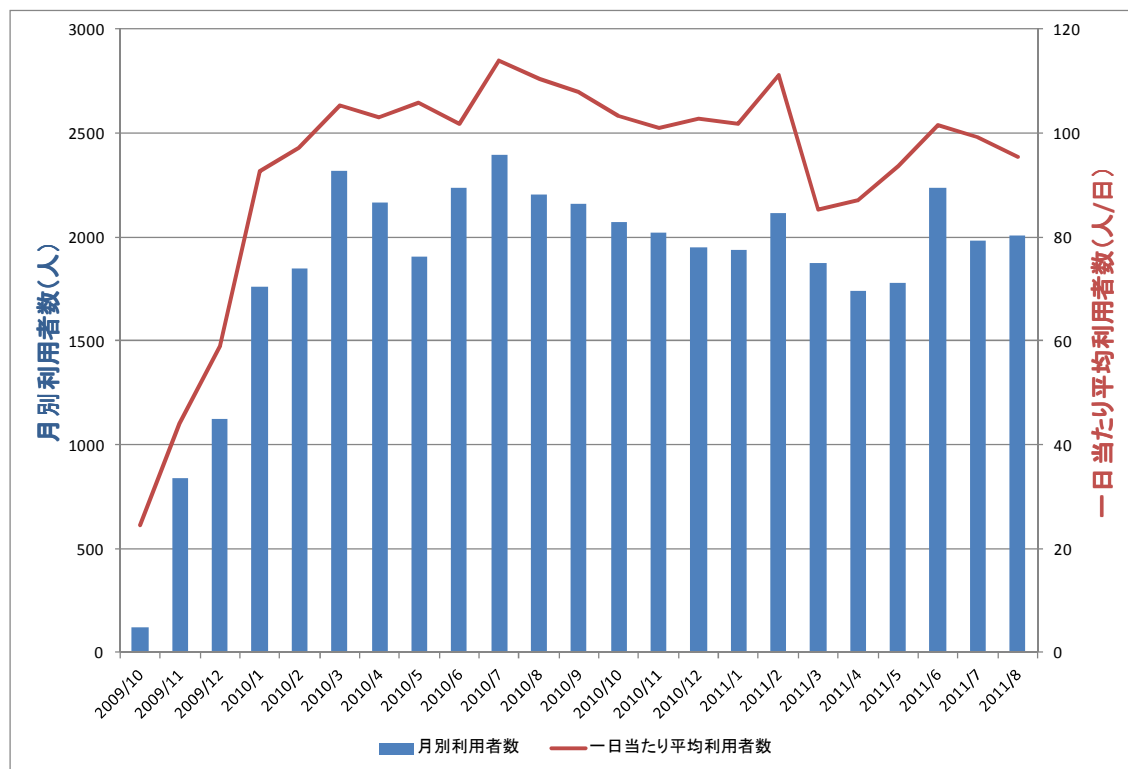


図 4.24 ふれあい号利用者数の推移

図 4.25 は平成 17 年度国勢調査より引用した常総市の 2 分の 1 地域メッシュ(一辺約 500m)別人口を示したものである。これを見ると、石下駅周辺、水海道駅周辺、市の南部、それぞれ石下地区、水海道地区、内守谷地区に人口が集中していることがわかる。これは、石下地区、水海道地区はそれぞれ旧石下町、旧水海道市の中心部であった。また、内守谷地区は内守谷工業団地やきぬの里という新興住宅地があるため人口が多い。

ふれあい号の利用目的としては、図 4.26 に示すように総合病院であるきぬ医師会病院への通院が最も多く、温浴・福祉施設がある石下総合福祉センターの利用、水海道西部病院への通院が次いで多くなっている。また、施設の分布を見ると多くの施設が市の南部、水海道地区に集中していることがわかる。

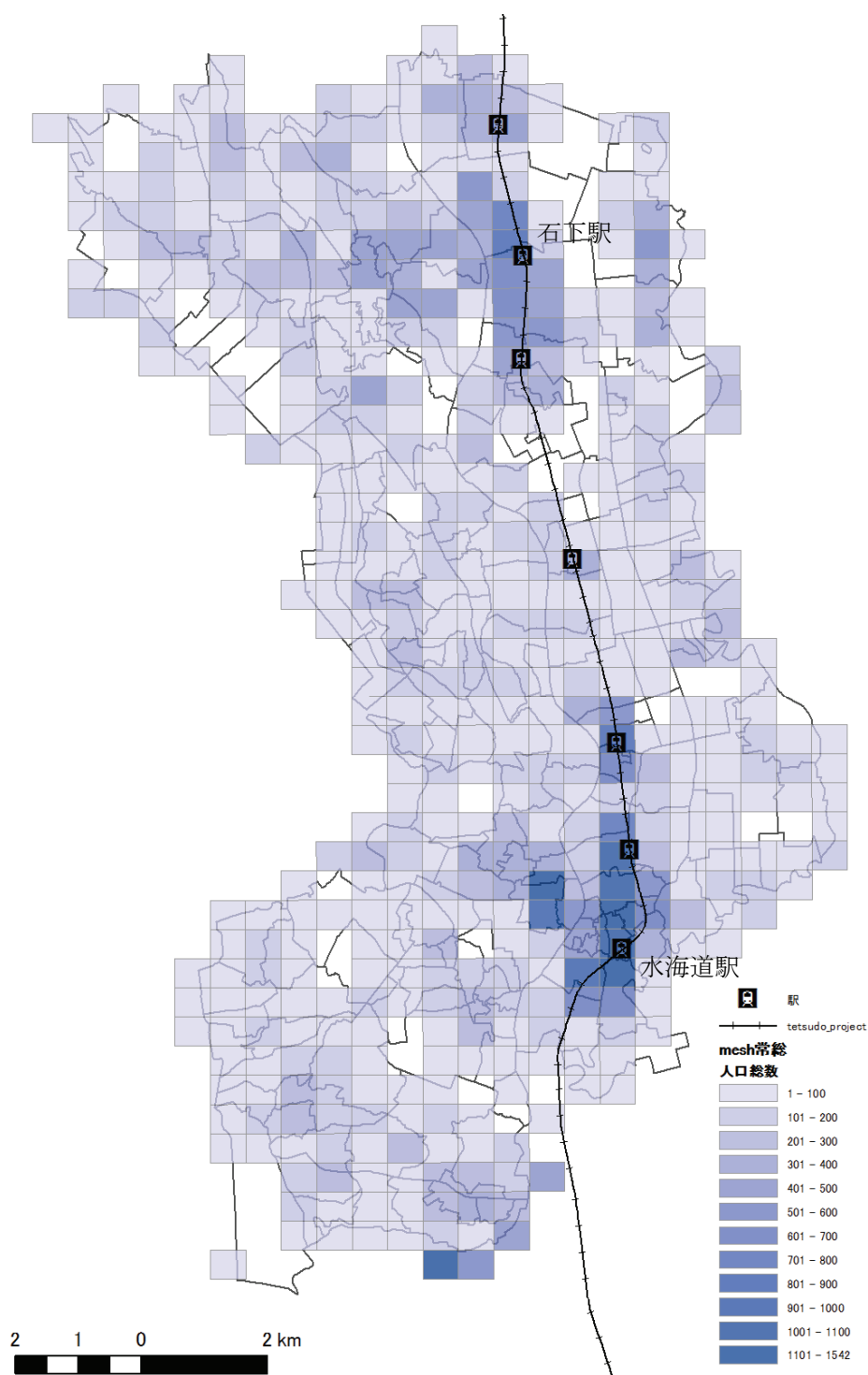


図 4.25 常総市 2 分の 1 地域メッシュ別人口

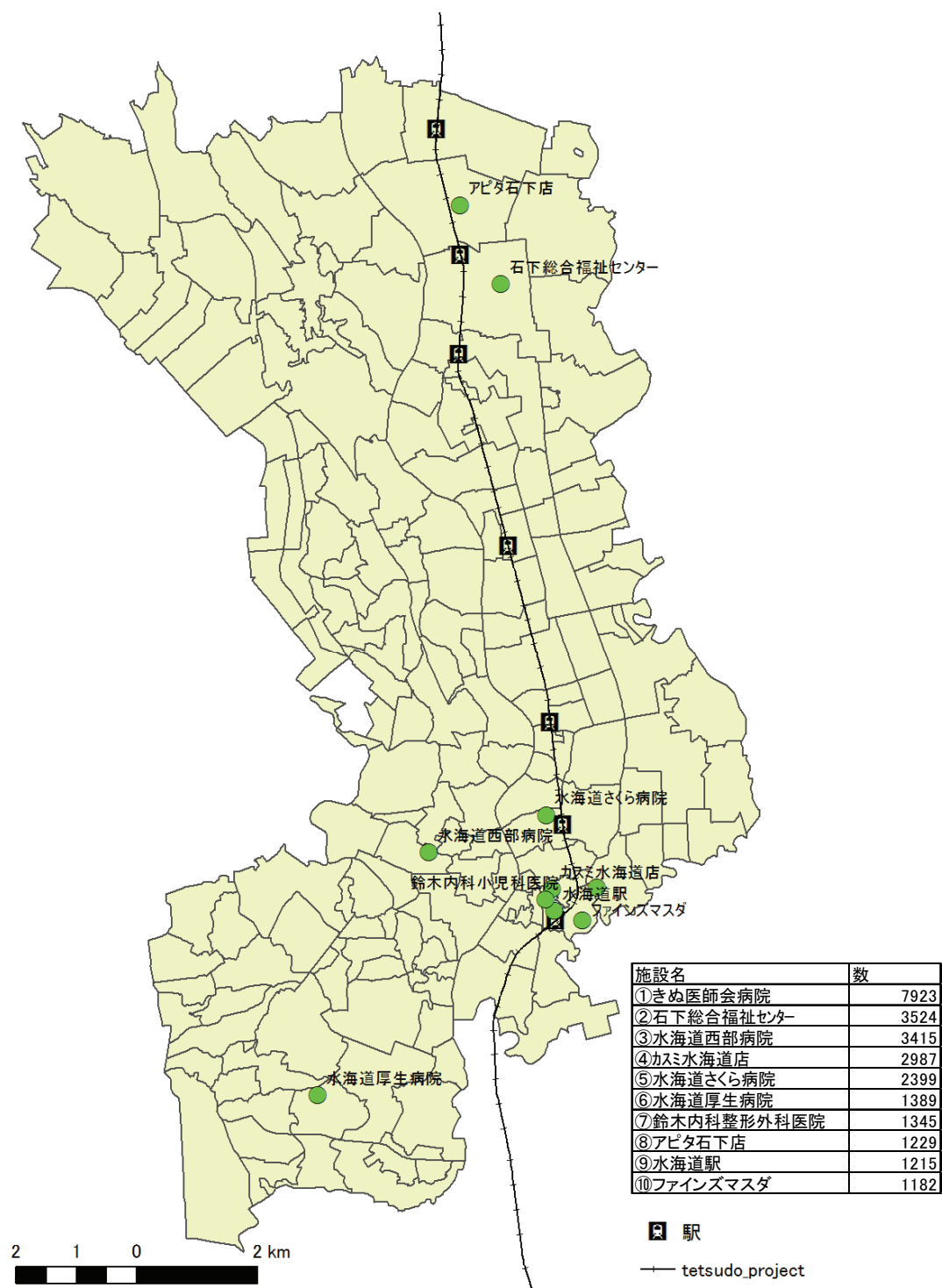


図 4.26 利用者数の多い施設とその位置 (H23.08 集計)

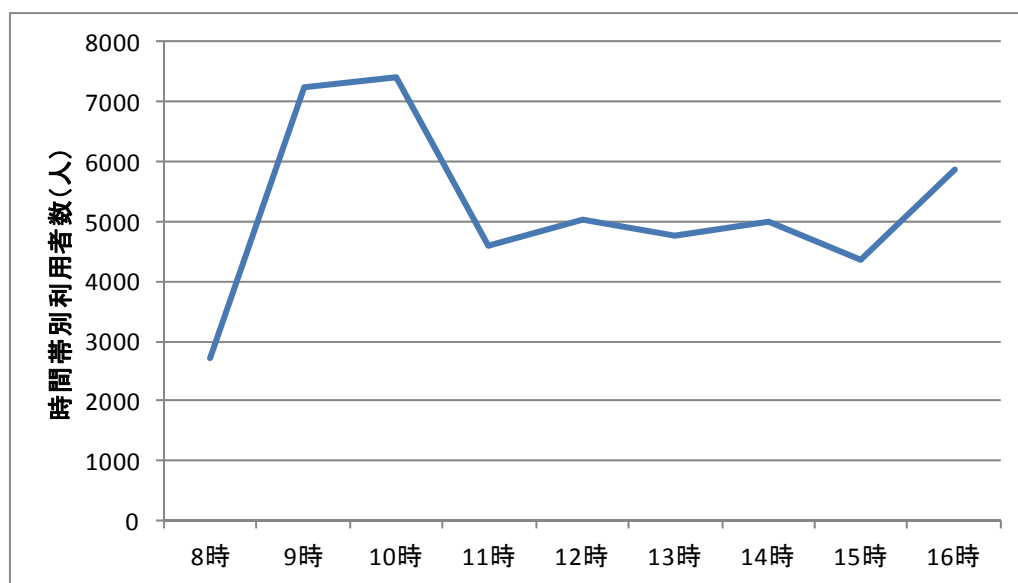


図 4.27 時間帯別利用者数（H23.08 集計）

時間帯別の利用者数を示したものが図 4.27 である。これを見ると午前中の 9、10 時の便の利用者が多いことがわかる。図 4.26 でも示したように、ふれあい号は通院目的の利用者が多い。そのため、午前中に病院に向かう利用者が多いためである。また、最終便である 16 時便の乗客が多い。

4.4.3 利用者の OD パターンの推移と分散度の評価

前節で利用者の目的地については、水海道地区あるいは石下地区に集中していることを述べた。本節では、出発地がどのような特徴があるかを明らかにするため、経路データを用い利用者の Origin-Destination パターンを調べる。

その際、図 4.28 に示すように 15 の地区別に前節で示した経路データより利用者の出発地・目的地を経路データより抽出し、月別の出発地・目的地がどのようになっているかを調査する。

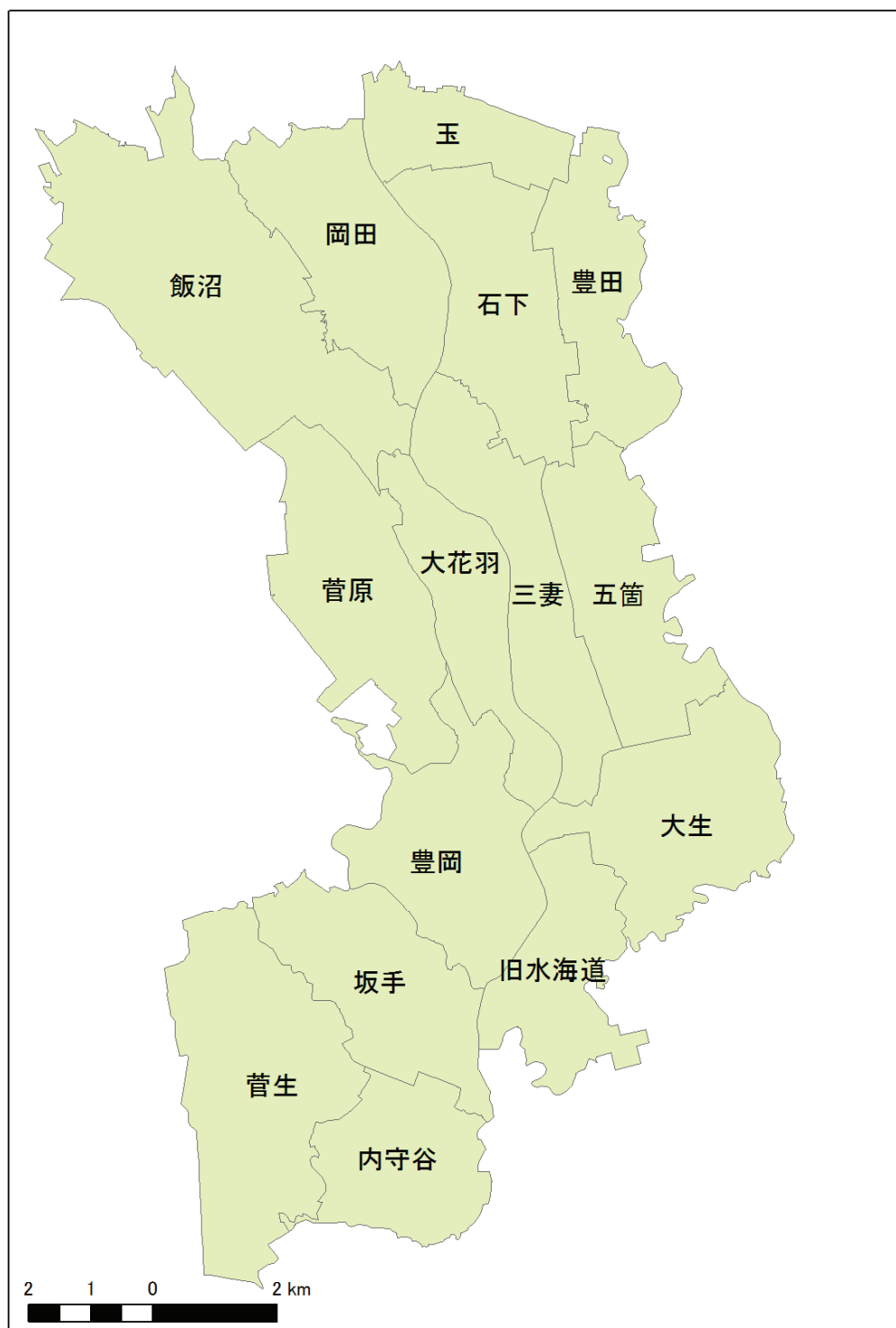


図 4.28 常総市地区

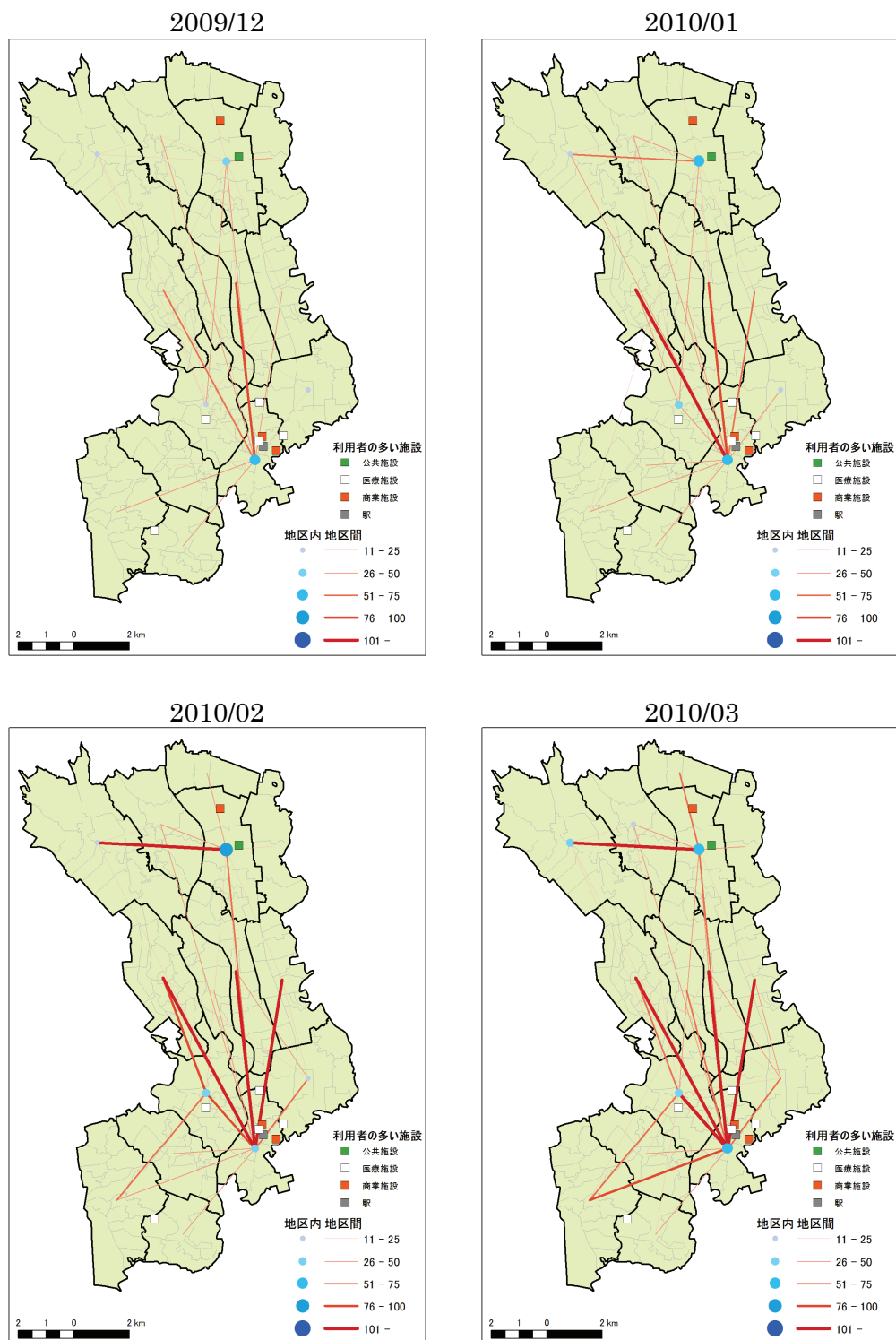


図 4.29 一月ごとの地区別出発地-目的地集計結果 (2009/12～2010/03)

図 4.29 は 2009/12～2010/03 の期間の地区別集計の利用者の出発地・目的地の組み合わせである。この期間は前節でも示したように運行開始からあまり時間がたっておらず、利用者が増加している期間である。これを見ると旧水海道地区へ利用者が集まっている様子がわかる。旧水海道地区は旧水海道市の中心部であり、市役所や病院、商業施設が集中しているためである。特に、三妻地区、五箇地区、菅原地区からの利用、及び旧水海道地区内の利用が多くなっている様子がわかる。この地区は旧水海道市であったため、もともと生活圏内であったことが理由と考えられる。また、旧石下町の中心地区であった石下地区では 2010/01 から飯沼地区からの利用が増え始めている様子がわかる。これは図 4.26 で示した石下総合福祉センターの利用者である。同施設には温浴・カラオケといった福祉施設があり、それを利用する方がふれあい号で自宅から移動しているためである。

図 4.30 は 2010 年 5 月、2010 年 7 月の地区別出発地・目的地集計結果である。これを見ると、ある程度の利用者数のぶれはあるものの、通院・買い物といった高齢者の日々の生活に利用されているため、三妻・五箇・豊岡・菅生地区と旧水海道地区間に見られるように、利用のパターンは固定化されていることがわかる。

図 4.31 は 2011/03,04 における出発地・目的地の集計結果である。2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災の影響で石下総合福祉センターの施設の一部が破損し、福祉施設が利用を停止した。そのため、石下総合福祉センターを目的とする利用がなくなった影響が反映されている。これを見ると旧石下町内での利用が大きく減少していることがわかる。一方、旧水海道地区を目的とする利用者は減少していない様子がわかる。

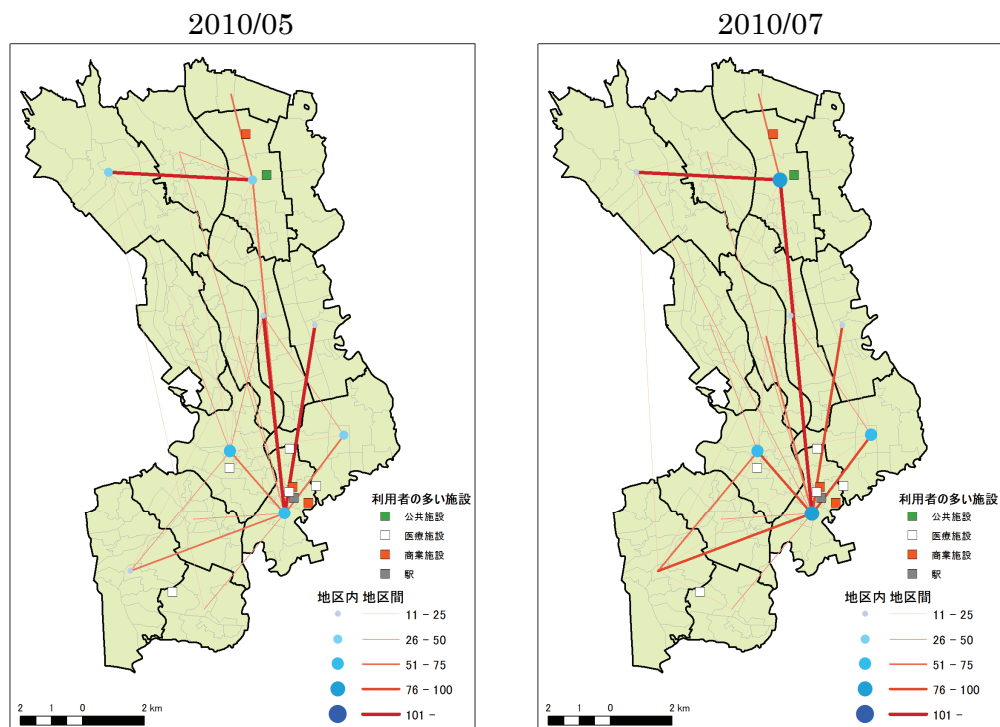


図 4.30 一月ごとの地区別出発地-目的地集計結果 (2010/05,2010/07)

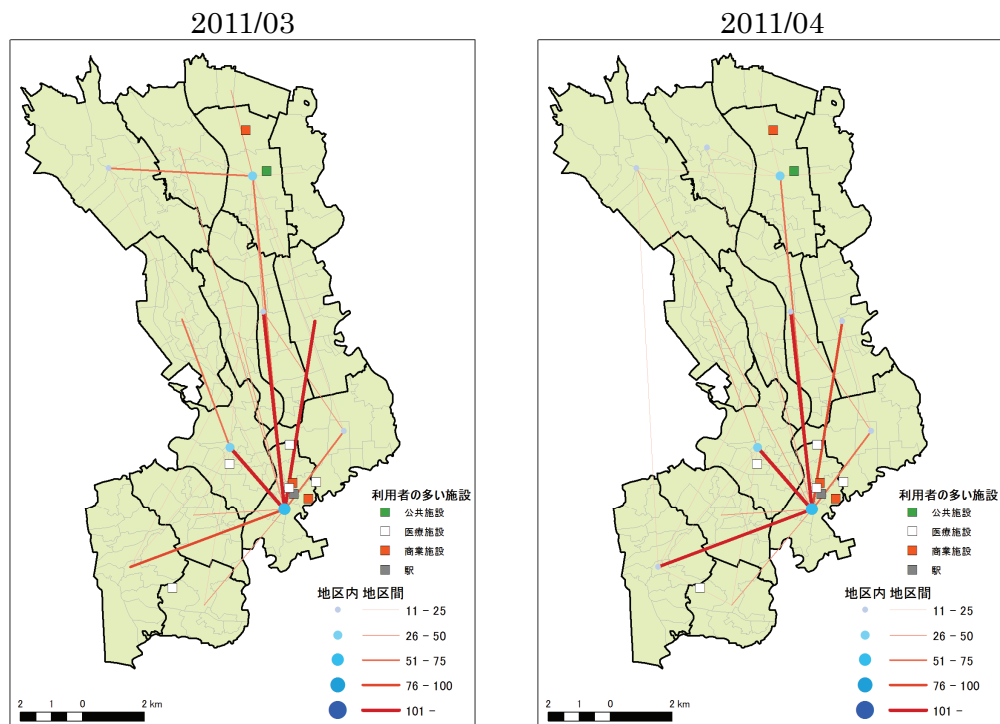


図 4.31 一月ごとの地区別出発地-目的地集計結果 (2011/03,2011/04)

4.4.4 利用者の OD パターンの分散度の評価

前節で利用者数について述べたが、本節ではその分散度について評価を行う。同じ利用者数でも図 4.32 に示すようにその分布が集中しているか、分散しているかでその経路長が異なってくる。よって利用者数の違いだけでなく、分布パターンの評価を行うことも必要である。

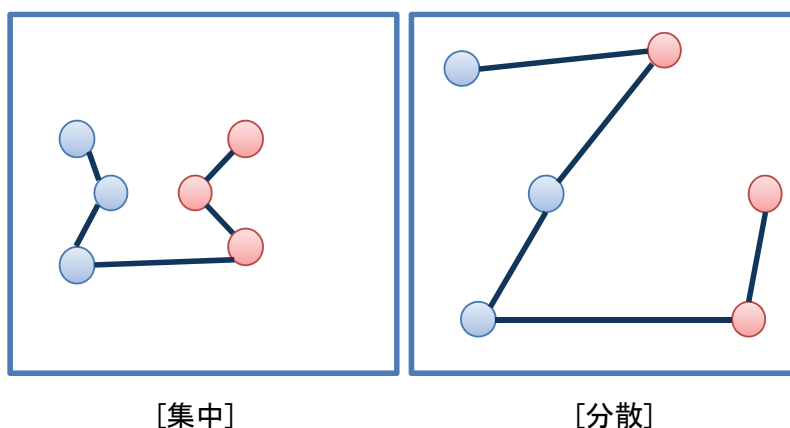


図 4.32 分布の違い概念図

そこで本研究では腰塚(1985)[20]を参考に都市空間内の任意の場所から最寄りの出発・目的地点の距離の平均および分布がどのようになるかを一便ごとに導出する。図 4.33 のように常総市に発生させた 500m メッシュの中心点から出発・目的地点の距離を GIS により算出し、その平均距離、分布によって評価する。

図 4.34、4.35 はその評価の例である。二つの点の数は同じであるが、図 4.34 のように出発地の点が分散している場合、距離帯別にヒストグラムをとると距離が短い距離帯の頻度が高くなっていることがわかる。逆に図 4.35 のように地点が集中している場合、距離の長い距離帯の頻度が高くなっていて、最近隣距離の平均値が図 4.34 の場合は 1,896.95m なのに対し、図 4.35 の場合は 6,605.67m と長くなっている。このように、地点が集中していれば高い値を、分散していれば低い値をとることがわかる。

図 4.36 は利用者数及び前述の最近隣距離を利用者の出発地・目的地に分けて曜日に集計したものである。これを見ると利用者数は週末である金曜日が多くなっているものの、最近隣距離に関しては出発地・目的地ともにあまり差がないことがわかる。

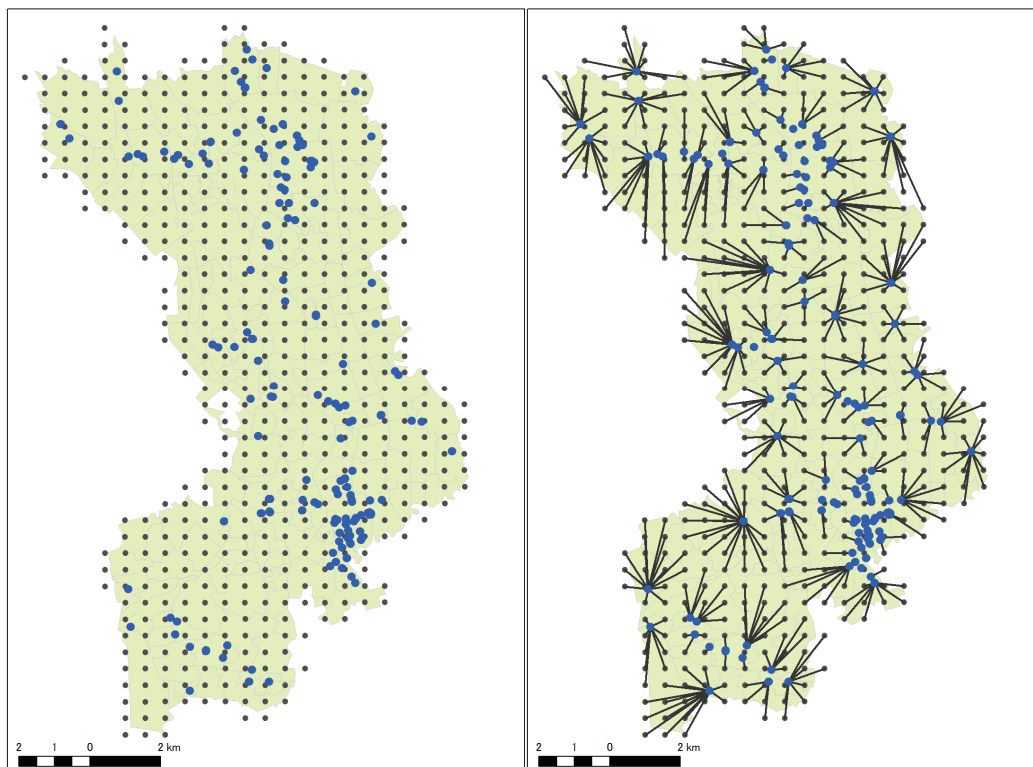
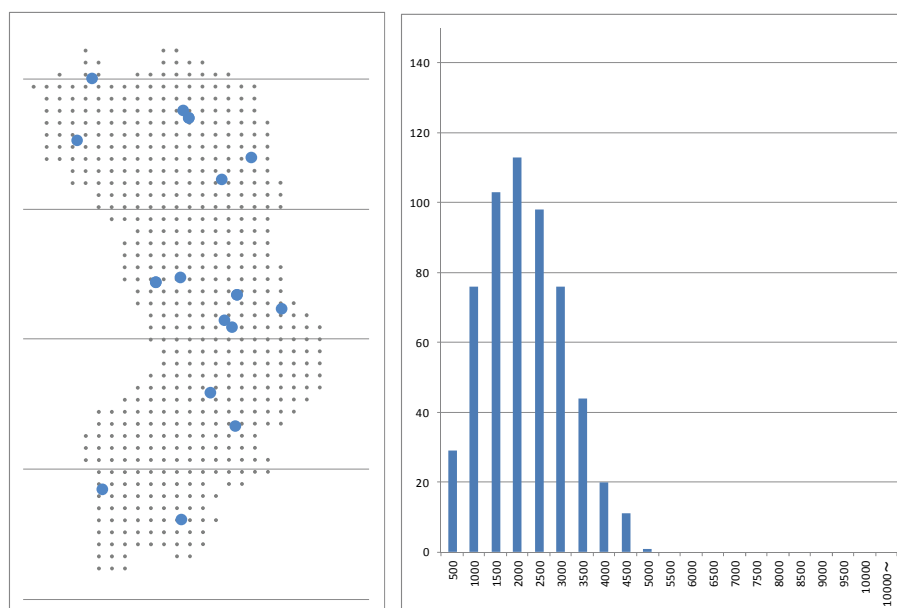
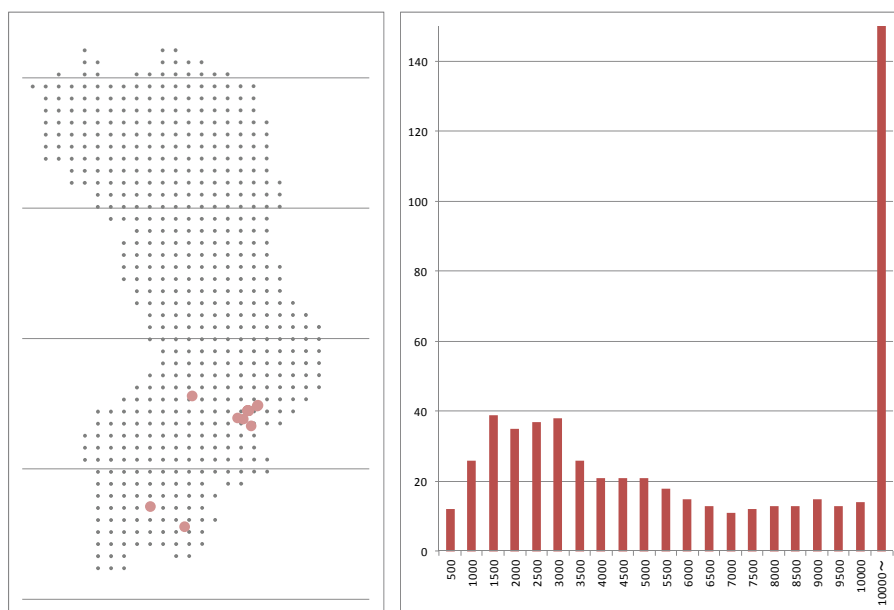


図 4.33 腰塚(1985)で用いた手法による概念図



2010/08/27 1 便 出発地の分布 平均距離 1896.85m

図 4.34 分散している場合の最近隣距離の平均距離と分布の例



2010/01/22 1便 目的地の分布 平均距離 6605.67m

図 4.35 集中している場合の最近隣距離の平均距離と分布の例

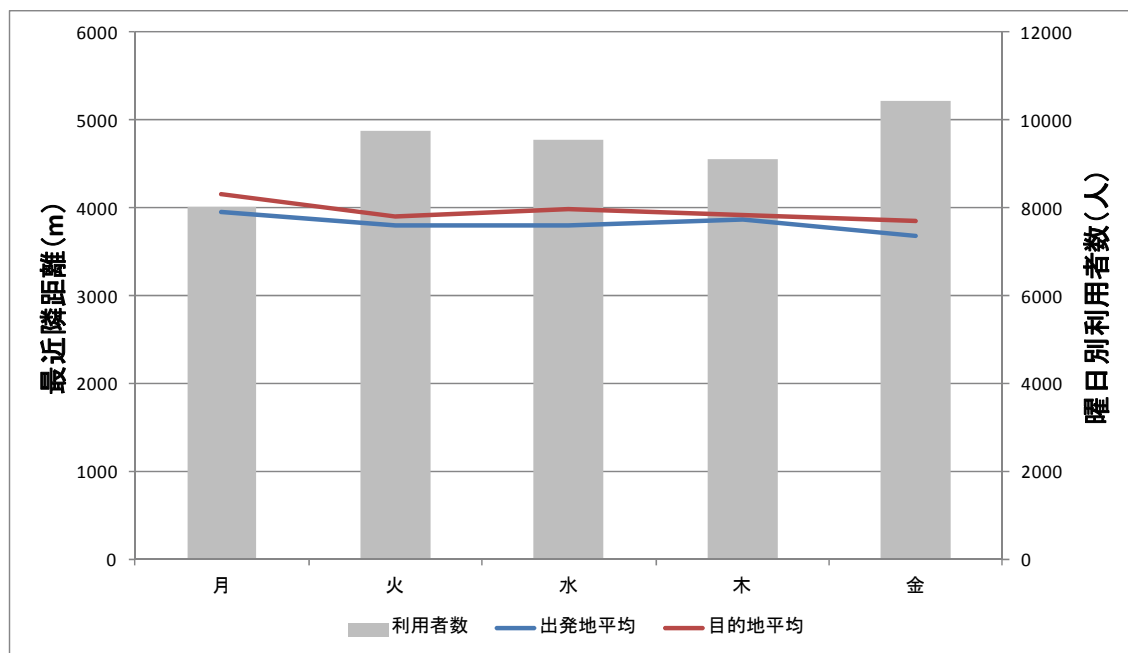


図 4.36 曜日別の利用者数と出発地・目的地の最近隣距離

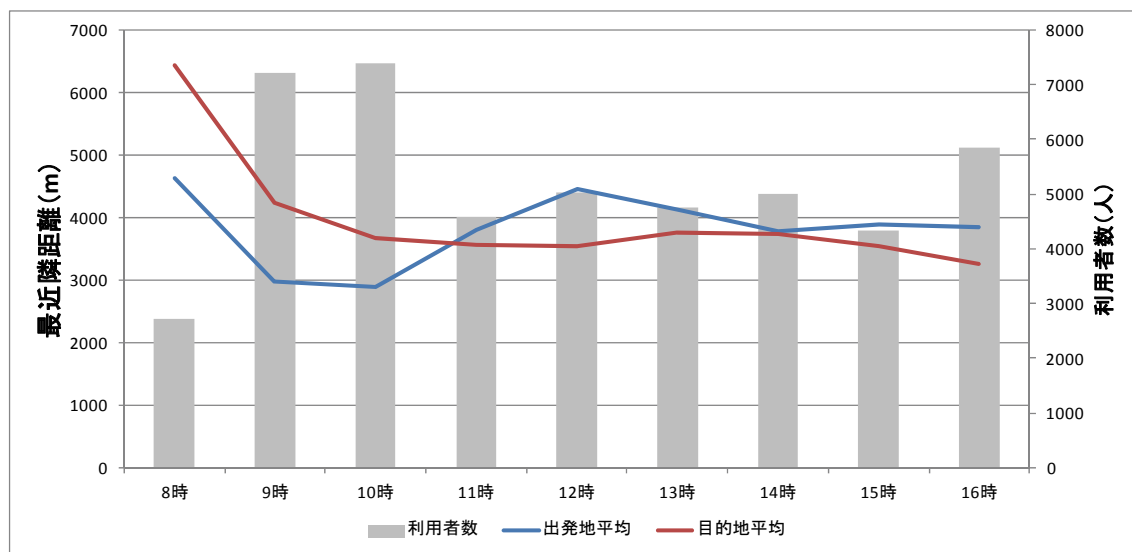


図 4.37 時間帯別の利用者数と出発地・目的地点の最近隣距離

図 4.37 は時間帯別に集計を行ったものである。これを見ると、図 4.27 でも示したように、利用者数は朝の 9 時・10 時が最も多くなっている。加えて、目的地の最近隣距離の方が高くなっていて需要が集中していることがわかる。これは前節でも述べたように自宅から病院等がある市街地への移動が多いためと考えられる。また、午後は逆に自宅に戻る人が多く、出発地の方が集中している。始発便は出発地・目的地ともに値が高くなっているが、これは利用者そのものが少ないためと考えられる。

4.5 小括

本章ではデマンド型交通の運行状況・利用状況の把握とデマンド型交通を実際に導入している自治体に対してヒアリング調査、全国のデマンド型交通の導入地域について、実際にどのような運行がなされているかの調査とその統計的特徴についての分析、及び茨城県常総市で運行されているデマンド型交通「ふれあい号」の経路データを分析し、デマンド型交通の詳細な導入背景、運行方式、運行実績などの把握を行った。その結果、以下の内容について知見が得られた。

1. デマンド型交通という分類であっても、ドアトゥードアの輸送ではなく運行路線・ダイヤが定まっている、コミュニティバスの運行形式に近い路線型の運行形式の自治体がある。それらは人的・金銭的成本をかけることなく費用軽減を望めるため、全国各地での運行が進んでいる。一方、路線・ダイヤが非固定で、利用者の希望に応じて変更するエリア型は既存の乗合バスと運行方式が異なるため、導入に際し人的・金銭的成本がかかる。そのため、導入に際しては近隣自治体に先進的な事例がある場合に普及が進んでいる。
2. 路線型とエリア型の導入地域において都市規模・需要密度に関する指標の平均値を比較したところ、都市の面積が大きく、人口が多く都市規模の大きい、高齢化が進んだ財政力指数の低い地域においては初期コストの低い路線型が導入されている傾向にあり、都市規模が小さく、財政力指数が比較的高い地域でエリア型の運行を行っている傾向があった。
3. エリア型の運行に関して、配車を行うにあたり専用のシステムを用いる場合と配車をタクシー会社に任せる場合が存在する。前者の場合、システムのリース費・オペレーターの賃金等のコストがかかるものの、多くの利用者に対して配車を行うことができる。しかし、車両台数が限られるため多くなりすぎる場合呼損が発生してしまう。後者は基本的に車両の走行費用のみの負担となる場合が多く費用を軽減できるが、配車を行うタクシー会社の負担が増してしまうことに対する合意形成が必要である。
4. 茨城県常総市を例としたふれあい号の経路データを用いた分析では、旧市町村内での移動が多い、生活圏が隣接する市町村であるため人口が多いにも関わら

ず利用者が少ない地域があることがわかった。また、朝の8時・9時の便の利用が多い。午前中に自宅から病院・商業施設のある市街地へ移動し、午後に戻るという利用が多いため、午前の便は目的地の地理的分布が集中傾向にあり、午後は出発地の地理的分布が集中傾向にある。

第5章

デマンド型交通有利地域・成立条件に関する理論的考察

本章では簡便な数理モデルを用い、需要密度の変化による都市におけるデマンド型交通の有利地域の検証を行う。また、都市規模・需要密度の観点から、デマンド型交通が成立する条件について検証を行う。

5.1 モデル概要

正方形上の都市に住民が一様に住んでいて、その住民が都市内を交通手段によって移動するものとする。各交通手段は路線・運行ダイヤの固定度合いが異なり、都市の大きさ・利用者数によってそのサービスレベルが変化する。5.2節では交通手段が競合し、利用者が選択できる状況を仮定し、都市内においてどの地域が選択されるかを検証する。5.3節では利用者の所要時間をもとに算出する一般化費用と提供費用の双方を考慮した、都市規模・需要密度に着目したデマンド型交通の成立条件について検証するとともに、都市におけるデマンド型交通の有利地域を明らかにする。

本節では都市に路線・運行ダイヤの固定度合いが異なる2種の交通手段、及び住民の所有する移動手段が競合する場合、需要密度の増減によってサービスレベルがどのように変化し、都市においてどの地域の住民が選択するかを検証する。

5.2 デマンド型交通有利地域の検証

本節では、複数の交通手段が競合し、利用者が選択できる状況を想定し、以下のことを仮定する。都市の需要密度の増減に伴いサービスレベルが変化するものとし、サービス提供量を固定した場合、需要密度が小さければ利用者は待たずに利用できるが、需要密度が高い場合は利用を希望する人数が多く、車両が出払ってしまい、待ち時間が発生し、利用人数が減少する。その利用希望人数と利用人数の均衡解を求めることで、都市内においてどの地域でどの交通手段が選択されるかを検証する。

5.2.1 都市空間の設定

長さ $L(\text{km})$ の正方形の都市を考える。住民は領域内で一様に住んでおり、1時間当たり密度 ρ (人/ $\text{km}^2 \text{ hr}$) で総需要数 P が時間的に一様ランダムに発生し、全ての人が都市の中心に向かうものと仮定する。ここで、

$$P = \rho L^2 \quad (5.1)$$

P : 総需要数

ρ : 1 時間当たり需要密度

L : 都市の一辺の長さ

である。また、都市は直交格子状の道路網を持つと仮定し、マンハッタン距離を用いる。

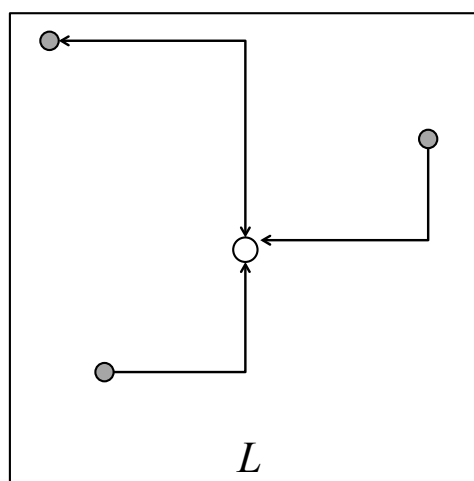


図 5.1 都市空間の設定

5.2.2 交通手段の設定

交通手段は、東西方向の路線、一定の運行間隔で運行する定時・定路線の**固定路線型**、路線・ダイヤがなく利用者の要望に応じて逐次運行する非定時・非定路線の**タクシー型**、自動車や自転車など住民の所有する手段を用いる**自由移動型**があり、住民はこれら 3 つの中から目的地まで最も早く行くことのできる手段を選択するものとする。各交通手段による所要時間は以下ようになる。

a) 固定路線型

固定路線型は図 5.2 のように鉄道・バスをはじめとする定時・定路線の運行を行うものである。ここでは、都市の東西方向に路線があり、利用者は路線上まで南北方向に単位距離当たり所要時間（速度の逆数） c_a で移動し、そこから路線上を c_l で移動

する状況を想定する。停留所は無数に存在し、路線上の至る場所から乗車できるとする。乗降時の停車時間は考えないが、一定の運行間隔があるものとし、待ち時間が発生するとする。

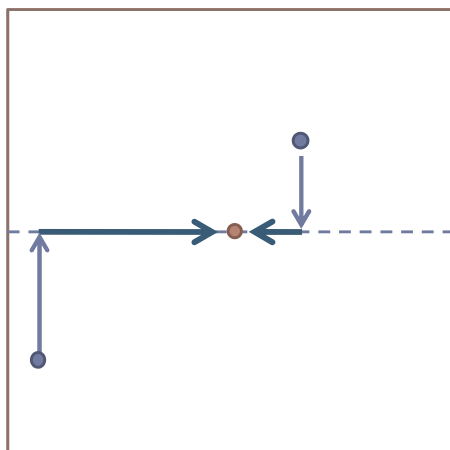


図 5.2 固定路線型概念図

固定路線型の単位時間当たり利用者数を λ_1 とすると、路線上を走る車両の運行間隔 f は単位時間当たり輸送人員 λ_1 を定員 α で除したもの

$$f = \alpha / \lambda_1 \quad (5.2)$$

f : 車両の運行間隔

α : 車両定員

λ_1 : 固定路線型単位時間あたり利用者数

となり、平均でその半分だけ待ち時間が発生する。また、固定路線型の単位時間あたり利用者数 λ_1 は P と一致するとする。

都市の中心を原点として東西-南北に直交座標をとると、 (x, y) の住民が固定路線型を利用した際の所要時間 t_1 は以下ようになる。

$$t_1 = c_1 x + c_a y + f / 2 \quad (5.3)$$

t_i : 利用者 i の固定路線型所要時間

c_1 : 固定路線型 1km あたり所要時間(速度の逆数)

c_a : 1km あたりアクセス所要時間(速度の逆数)

f : 車両の運行間隔

b) タクシー型

タクシー型は、図 5.3 に示すようにタクシーのように利用者の要望に逐次応対し、非定時・非定路線で運行を行うものである。利用者は都市の中心にある車両基地から出発地まで迎えに来てもらい、そこから目的地まで距離当たり時間 c_2 で移動する。ただし、車両は利用者に対して先着順で1名のために割り振られ、 s_2 台の車両全てが利用されている場合は車両に空きが出るまで待ち時間が発生するものとする。

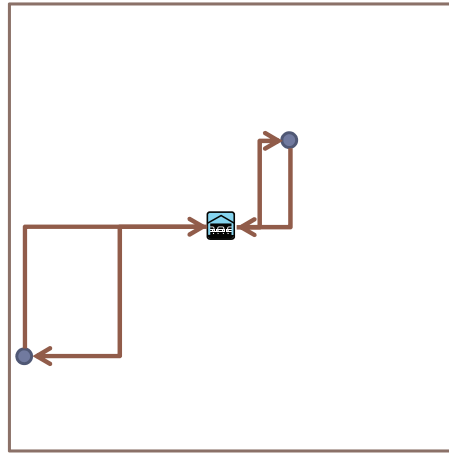


図 5.3 タクシー型概念図

ここで、一時間あたり処理人数 μ を以下のように求める。

$$\mu = 1 / c_2 d_2 \quad (5.4)$$

μ : 時間あたりサービス処理人数

c_2 : タクシー型 1km あたり所要時間(速度の逆数)

d_2 : 平均乗車距離

平均乗車距離 d_2 は以下のようになる。

$$d_2 = L / 3 \quad (5.5)$$

また、ここから混雑率 θ を以下のように定める。

$$\theta = \lambda_2 / s_2 \mu \quad (0 \leq \theta < 1) \quad (5.6)$$

λ_2 : タクシー型単位時間あたり利用者数

s_2 : タクシー型車両台数

μ : 時間当たりサービス処理人数

タクシー型単位時間あたり利用者数 λ_2 は P と一致するとする。平均待ち時間 W は標準型待ち行列 M/G/s 型のリー・ロントンの近似式[5]に従い、以下のように求める。

$$W \approx \left(\frac{1 + c_s^2}{2} \right) \frac{s_2^{s_2-1} \theta^{s_2}}{s_2! (1-\theta)^2} p_0 t_a \quad (5.7)$$

W : 平均待ち時間

s_2 : タクシー型車両台数

θ : 混雑率

t_a : 平均サービス時間

c_s : 変動係数

p_0 : 待ち人数が 0 である確率

待ち人数が 0 である確率 p_0 は以下のように求める

$$p_0 = \left(\sum_{n=0}^{s_2-1} \left\{ \frac{(s_2 \theta)^n}{n!} \right\} + \frac{(s_2 \theta)^{s_2}}{s_2! (1-\theta)} \right)^{-1} \quad (5.8)$$

平均サービス時間 t_a は時間当たりサービス処理人数 μ の逆数となる。また、変動係数 c_s は、サービス時間の標準偏差を δ をサービス時間の最大値から求め、

$$c_s = \delta / t_a \quad (5.9)$$

と求める。これらより、 (x, y) の住民がデマンド型を利用した際の所要時間 t_2 は以下の通りである。

$$t_2 = 2c_2(x + y) + W \quad (5.10)$$

t_2 : 利用者 i のタクシー型所要時間

c_2 : タクシー型 1km あたり所要時間(速度の逆数)

c) 自由移動型

自由移動型は自転車・自家用車などを想定し、図 5.4 のように利用者は自ら所有する車両を用いて出発地から目的地まで移動するものとする。

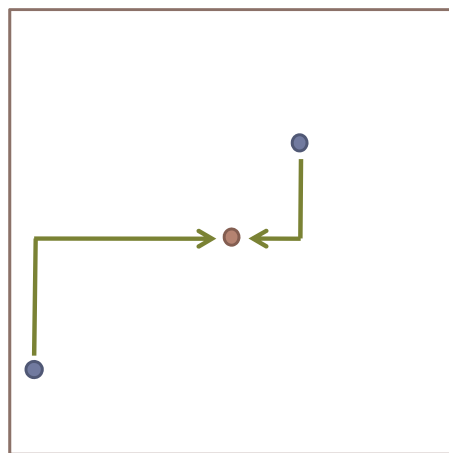


図 5.4 自由移動型概念図

距離当たり時間を c_3 とすれば、自由移動型による所要時間 t_3 は

$$t_3 = c_3(x + y) \quad (5.11)$$

t_3 : 利用者 i の自由移動型所要時間

c_3 : 自由移動型 1km あたり所要時間(速度の逆数)

となる。

5.2.3 入力パラメータの設定

交通手段の速度は固定路線型が最も速く、自由移動型が最も遅いものとする。すなわち、 $c_1 < c_2 < c_3 < c_a$ と仮定する。ここでは、各パラメータを以下の値に設定する。

表 5.1 パラメータの設定

時間当たり需要密度 ρ (人/km ² hr)	0.5
都市の一辺の長さ L (km)	5
固定路線型速度逆数 c_1 (hr/km)	1/50
タクシー型速度逆数 c_2 (hr/km)	1/25
自由移動型速度逆数 c_3 (hr/km)	1/10
固定路線型車両定員 a (人)	20
タクシー型車両台数 s_2 (台)	10

5.2.4 各交通手段の利用分担率の導出

利用者はその場所に応じて、上記の t_1, t_2, t_3 のうち最小となる交通手段を利用するものとする。利用交通手段ごとに矩形領域内を色分けすると、式(5.3)(5.10)(5.11)の所要時間式から図 5.5 に示すように各交通手段別の有利地域[10]が得られる。

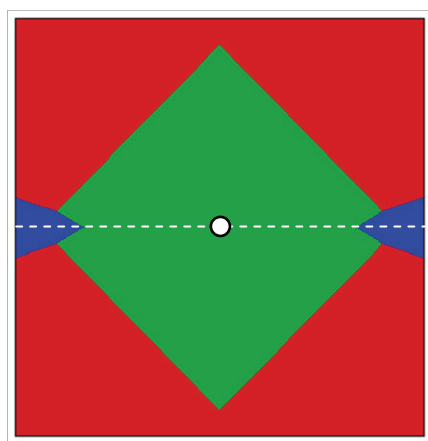


図 5.5 各交通手段の有利地域

λ_1, λ_2 は、この有利地域の面積に人口密度 ρ を乗じたものであるとする。このことから、 f および W, t_a も有利地域の面積に依存して変化することになり、実現されるサービスレベルと有利地域形状を均衡計算により求めることとした。ここで図 5.6 に示すように、都市の中心を原点 O とし、第一象限における各交通手段の所要時間が $t_1=t_2, t_1=t_3, t_2=t_3$ となる境界 F_{12}, F_{13}, F_{23} を図 5.6 のように定める。

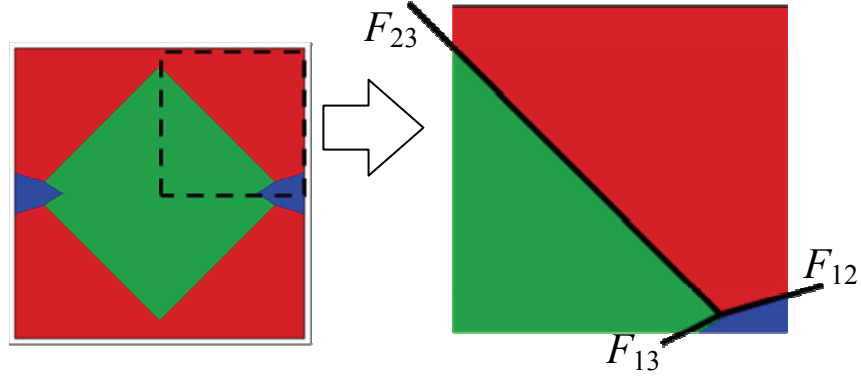


図 5.6 各有利地域の境界

すると、境界 F_{12}, F_{13}, F_{23} は以下のように求められる。

$$F_{12} : y = \frac{f - 2W + 2xc_1 - xc_2}{c_2 - 2c_a} \quad (5.12)$$

$$F_{13} : y = \frac{f - 2xc_1 - 2xc_3}{2(c_3 - c_a)} \quad (5.13)$$

$$F_{23} : y = \frac{-2W + xc_2 - 2xc_3}{c - 2c_a} \quad (5.14)$$

これより、固定路線型有利地域面積 S_1 、タクシー型有利地域面積 S_2 、自由移動型有利地域面積 S_3 は、図 5.7 のように各領域の上限 i と下限 j の位置で 9 通りに場合分けされる。

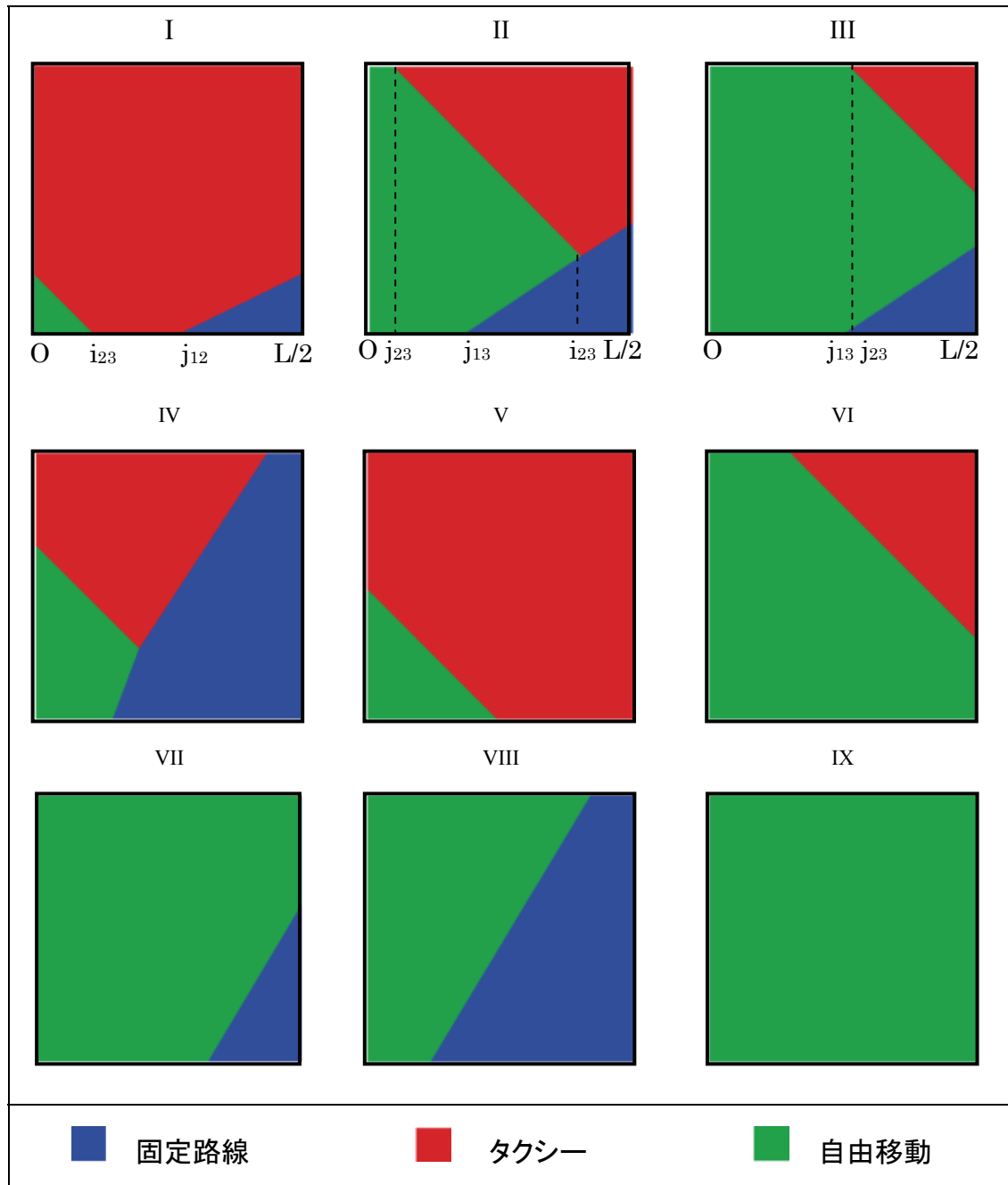


図 5.7 領域の場合分け

ここで、 S_1, S_2, S_3 を記述すると以下ようになる。ここでは、図 5.4 のうち領域形状Ⅰ，Ⅱ，Ⅲの場合だけ記す。

【領域形状Ⅰの場合】

$$S_1 = \int_{j_{12}}^{\frac{L}{2}} F_{12}(x) dx \quad (5.12)$$

$$S_2 = \int_0^{i_{23}} \left\{ \frac{L}{2}(x) - F_{23}(x) \right\} dx + \int_{i_{23}}^{j_{12}} \frac{L}{2}(x) dx + \int_{j_{12}}^{\frac{L}{2}} \left\{ \frac{L}{2}(x) - F_{12}(x) \right\} dx \quad (5.13)$$

$$S_3 = \int_0^{i_{23}} F_{23}(x) dx \quad (5.14)$$

【領域形状Ⅱの場合】

$$S_1 = \int_{j_{13}}^{i_{23}} F_{13}(x) dx + \int_{i_{23}}^{\frac{L}{2}} F_{12}(x) dx \quad (5.15)$$

$$S_2 = \int_{j_{23}}^{i_{23}} \left\{ \frac{L}{2}(x) - F_{23}(x) \right\} dx + \int_{i_{23}}^{\frac{L}{2}} \left\{ \frac{L}{2}(x) - F_{12}(x) \right\} dx \quad (5.16)$$

$$S_3 = \int_0^{j_{23}} \frac{L}{2}(x) dx + \int_{j_{23}}^{j_{12}} F_{23}(x) dx + \int_{j_{12}}^{i_{23}} \{ F_{23}(x) - F_{12}(x) \} dx \quad (5.17)$$

【領域形状Ⅲの場合】

$$S_1 = \int_{j_{13}}^{\frac{L}{2}} F_{13}(x) dx \quad (5.18)$$

$$S_2 = \int_{j_{23}}^{\frac{L}{2}} \left\{ \frac{L}{2}(x) - F_{23}(x) \right\} dx \quad (5.19)$$

$$S_3 = \int_0^{j_{13}} \frac{L}{2}(x) dx + \int_{j_{13}}^{j_{23}} \left\{ \frac{L}{2}(x) - F_{13}(x) \right\} dx + \int_{j_{23}}^{\frac{L}{2}} \{ F_{23}(x) - F_{13}(x) \} dx \quad (5.20)$$

交通手段 k の有利地域の面積 S_k から各交通手段の利用分担率 B_k を以下のように求める。

$$B_k = S_k / \int_0^{L/2} L/2 dx \quad (5.21)$$

ここで、 λ_1, λ_2 の値が増加すると t_1, t_2 も増加するため S_1, S_2 の値は減少する。図 5.8 のように、タクシー型利用希望者 λ_2' の際に導出される有利地域の面積によって決定されるタクシー型利用者 λ_2 の均衡解が存在する。

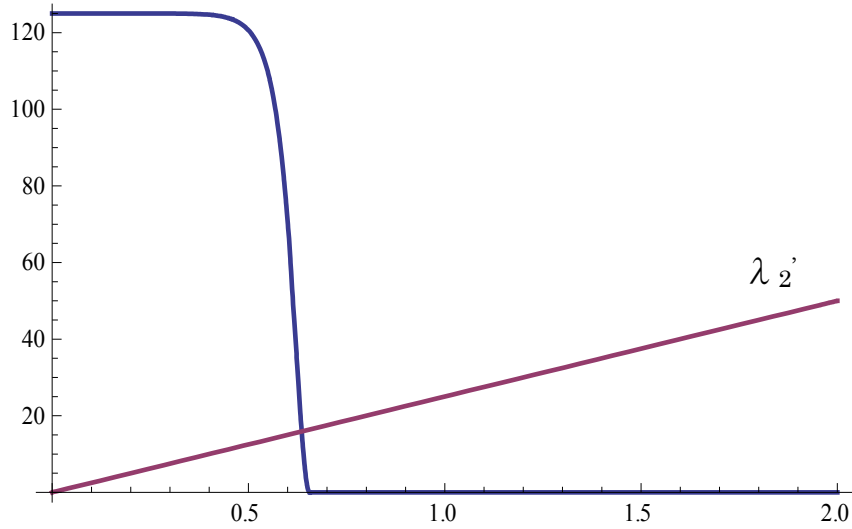


図 5.8 利用者数の均衡

$\rho'(\rho > \rho')$ とにおいて、連立方程式

$$\begin{cases} \lambda_k = P' \\ \lambda_k = B_k(P')P \end{cases} \quad (5.22)$$

を満たす λ_k を λ_k^* とし、

$$\lambda_k^* = B_k P \quad (5.23)$$

を代入することにより、提供量に対する利用者数の均衡を求めることができる。

図 5.9 は需要密度 ρ を変化させた時の有利地域の変化、図 5.10 は需要密度の変化による総面積 S における S_k の割合の変化を示した図である。これらより以下のことがわかる

- ・ 固定路線型は都心から離れた路線に近い地域、タクシー型は都心、路線から最も離れた地域、自由移動型は都心に近い地域で有利になる。

- ・ 需要が低密な都市ほどデマンド型は高いシェアを実現できる
- ・ 固定路線型は一定以上の人口密度がないと実現しない
- ・ 固定路線型のシェアの上昇には限界がある
- ・ 中途半端な人口密度では自由移動型が高いシェアを占める

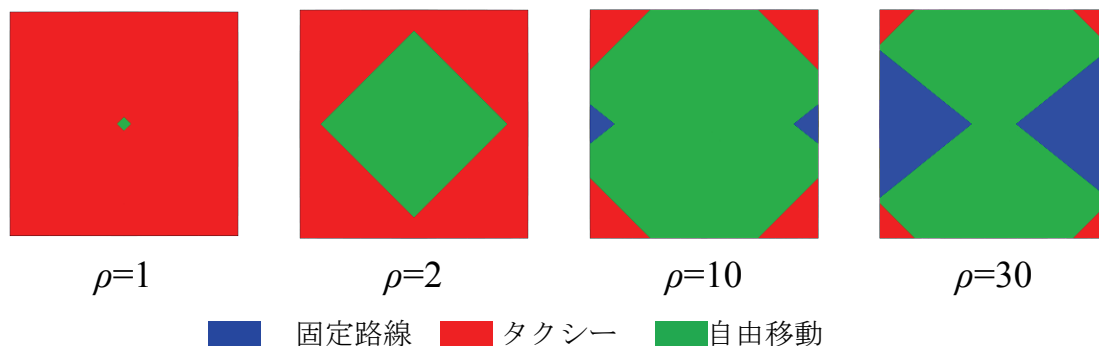


図 5.9 需要密度の変化による有利地域の変化

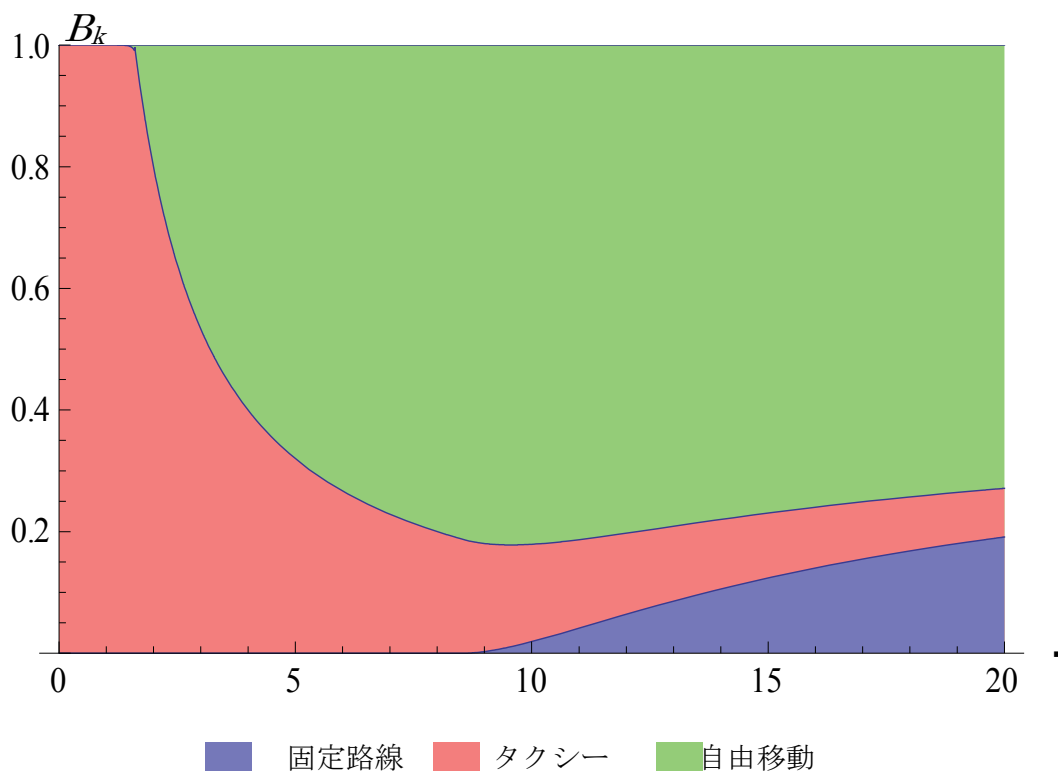


図 5.10 需要密度の変化における総面積 S における各交通手段の有利地域の面積 S_k の割合 B_k の変化

最後の点は、タクシー型では車両台数が限られているために待ち時間が上昇し、有利地域が小さくなってしまうためであると考えられる。自由移動型が自家用車であるとする、都市の高密度化により公共交通の利用促進を図る場合でも、固定路線型による自動車の代替には限界があること、そして、デマンド型交通による代替を考える際には運行方法の効率化と車両数の増加が重要であることが分かる。

5.2.5 本節のまとめ

本節では、都市内におけるデマンド型交通の有利になる地域を検証するため、固定路線型、自由移動型、そしてデマンド型交通を想定したタクシー型という3種類の交通手段を仮定し、待ち時間の増加による利用者数の増減を仮定し、需要密度の変化における各交通手段の有利な地域を導出した。その結果、以下の結論を得た。

1. バスを始めとした定時・定路線を行う固定路線型は、路線に近く都心から離れている地域、デマンド型交通を想定した非定時・非定路線の運行を行うタクシー型は、自転車を想定した自由移動型は距離が長すぎ、かつ固定路線型からは遠い都市の端部において選択される。
2. デマンド型交通は需要が低密な都市ほど利用者の利便性が上がり、高いシェアを実現できるが、高密な都市では定時性が保たれないことからそのシェアは減少し、固定路線の運行を行う交通手段のシェアが上昇する。

5.3 都市規模・需要密度に着目したデマンド型交通成立条件

本節では、前節で定義した固定路線型、タクシー型に加え、デマンド型交通の運行方法において乗合を考慮したデマンド型の3種の交通手段についての評価を行う。都市の大きさおよび需要密度の違いが各交通サービスの都市における平均所要時間にどのような影響を与えるかを調べる。さらに、都市の大きさ、需要密度によって決定される必要なサービス提供量と、交通サービスを提供する運営者側の運営・整備費用、利用者側の時間費用を考慮した一般化費用の合計が最小となる交通手段を明らかにし、各交通手段が有利になる都市規模・需要密度とその有利条件を定量的に導出することを目的とする。

5.3.1 都市空間の設定

前節で定義した、一辺の長さ $L(\text{km})$ の正形状の都市に住民が一様に住んでいる都市を仮定する。また、1時間当たりの需要密度 ρ (人/ km^2 hr)、総人数 $P=\rho L^2$ (人/hr) の利用者が時空間的に一様ランダムに発生するものと仮定する。以下の2つの需要パターンを考える。

・ [many-to-one, MO 型]

図 5.11 のように都市の中からランダムに発生する需要が都市の全ての人が都市の中心(0,0)に向かうパターン

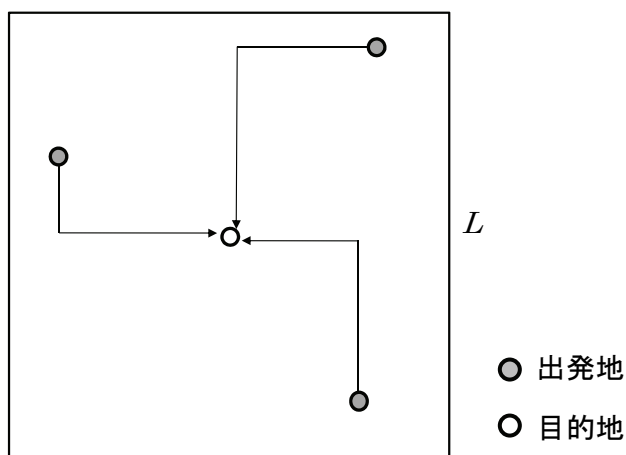


図 5.11 many-to-one, MO 型概念図

・ [many-to-many, MM 型]

図 5.12 のように出発地、目的地とも都市内に一様ランダムに分布するパターン

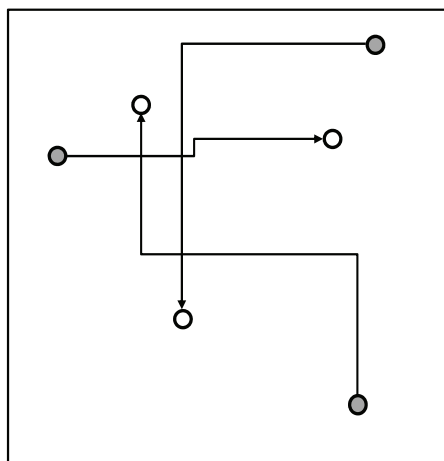


図 5.12 many-to-many, MM 型概念図

5.2 節では MO 型のみの考慮であったが本節では上記の 2 パターンを考える。ただし、直交格子状の稠密な道路網を仮定し、移動距離としてマンハッタン距離を用いる。

5.3.2 交通手段の設定

交通手段は路線・ダイヤが定まっている定時・定路線の固定路線型、ダイヤは定まっているものの、路線が無く利用者の要望に応じて運行経路を変更するデマンド型、路線、ダイヤは定まっておらず、利用者の要望に応じて逐次運行する非定時・非定路線のタクシー型の 3 つがあり、これらのうち 1 つを都市に提供するものとする。前節では、3 つの交通手段が競合する場合を考えたが、本節では都市において各交通手段は競合せず、どの交通手段を択一的に提供するかという状況を仮定する。

各交通手段による所要時間は以下ようになる。

a) 固定路線型

固定路線型は図 5.13 のように鉄道・バスをはじめとする定時・定路線の運行を行う。ただし前節で定義したものとは異なり、都市の東西・南北方向に路線があり、利用者は最短の路線上まで単位距離当たり所要時間（速度の逆数） c_a で移動し、そこから路線上を c_l で移動するとする。また、停留所は無限に存在し、路線上の至る所か

ら乗車できるとする。乗降時の停車時間は考えないが、一定の運行間隔があるものとする。

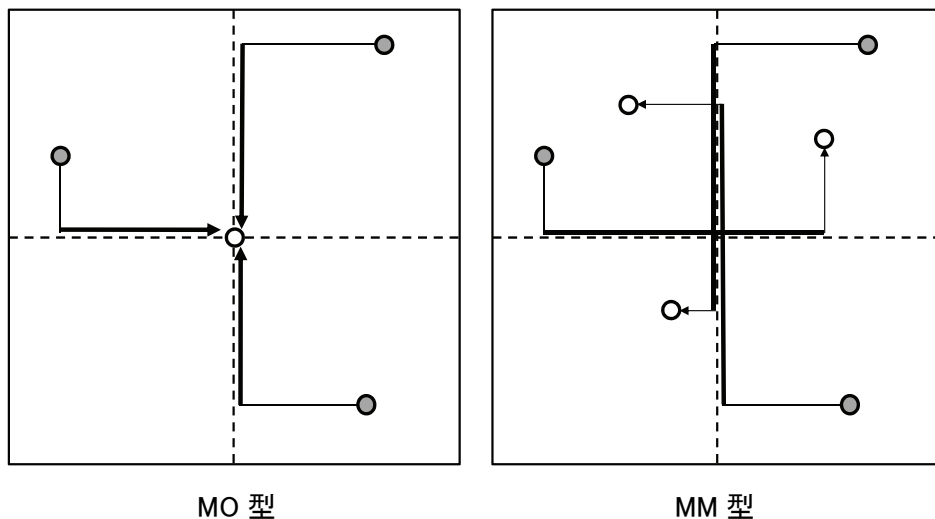


図 5.13 固定路線型概念図

運行間隔 f_1 は提供する車両台数 S_1 (台) を 2 路線に配分、そして一往復の時間 $2Lc_1$ を一路線あたりの車両数 $S_1/2$ で除し、以下のように設定する。

$$f_1 = 4Lc_1 / S_1 \quad (5.24)$$

f_1 : 固定路線型運行間隔

L : 都市の一辺の長さ

c_1 : 固定路線型 1km あたり所要時間(速度の逆数)

S_1 : 固定路線型車両台数

平均待ち時間はこの半分であるとする。以上から、都市における固定路線型平均所要時間 T_1 (hr) は以下のように算出される。

$$T_1 = c_1 d_1 + c_a d_a + f_1 / 2 \quad (5.25)$$

T_l : 固定路線型平均所要時間

c_l : 固定路線型 1km あたり所要時間(速度の逆数)

d_l : 固定路線型平均乗車距離

c_a : 1km あたりアクセス所要時間

d_a : 平均アクセス距離

f_l : 固定路線型運行間隔

ただし、 d_a は出発地座標(x, y)の住民の路線までの平均距離(km) (図 5.13 の細線)、 d_l は平均車両乗車距離(km) (図 5.13 の太線)を表し、MO 型、MM 型それぞれ算出すると、MO 型では $L/6$, $L/3$ であり、MM 型ではそれぞれ $L/3$, $8L/15$ である。

式(5.27)に代入すると、平均所要時間は以下のように求められる

$$MO型 : T_1 = \frac{L(2c_l + c_a)}{6} + f_l / 2 \quad (5.26)$$

$$MM型 : T_1 = \frac{L(8c_l + 5c_a)}{15} + f_l / 2 \quad (5.27)$$

b) デマンド型

デマンド型は乗合を行うデマンド型交通を想定し、図 5.14 のように非定路線の運行を行う。利用者は、距離当たり時間 α (hr/km)で走行し、一定時間間隔で運行する車両に出発地まで迎えに来てもらい、目的地まで移動するものとする。その際、目的地に着くまでは同乗する他の利用者の出発地を経由するものとする。

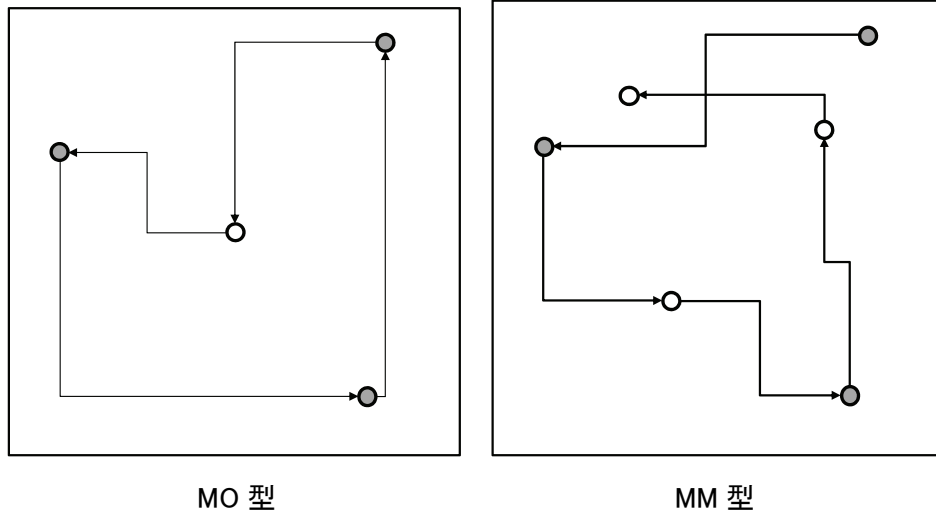


図 5.14 デマンド型概念図

運行間隔と他の利用者の出発地に迂回する分だけ余計な乗車時間がかかることになる。1回の運行での走行距離は利用人数如何でいくらでも長くなり得るが、ここでは一回の運行間隔の間に発生する需要を考える。都市の外周長 $4L$ を上限と考え、車両運行間隔 f_2 (hr) はその移動時間を車両台数 S_2 (台) で除したものとする。

$$f_2 = 4Lc_2 / S_2 \quad (5.28)$$

f_2 : デマンド型運行間隔 [hr]

L : 都市の一辺の長さ[km]

c_2 : デマンド型 1km あたり所要時間[hr/km]

S_2 : デマンド型車両台数[台]

MM 型、 MO 型における乗降地点数 m は以下のように算出される。 MM 型の場合、出発地と目的地の両方があるので $2Pf_2$ とする。

$$MO型 : m = Pf_2 \quad (5.29)$$

$$MM型 : m = 2Pf_2 \quad (5.30)$$

m : 利用者の乗降地点数

P : 1 時間当たり需要人数[人/hr]

f_2 : デマンド型運行間隔 [hr]

車両の移動距離は BHH 定理[23]によって算出するものとする。これは「面積 S の正方領域にランダムにばらまかれた n 個の都市を經由する最短巡回路のコストは $\beta\sqrt{nS}$ に収束する」という定理である。 β は S の値によって変化するが今回の検証では $\beta=0.765$ という経験値を用いる。

上記から、面積 L^2 (km²)に発生する乗降地点数 m の巡回経路の経路長は

$$2d_2 = \beta L \sqrt{m} \quad (5.31)$$

d_2 : デマンド型 目的地までの平均移動距離

m : 利用者の乗降地点数

となる。図 5.15 は $L=5$ とした時の d_2 と m の関係を示した図である。これを見ると m の増加とともに d_2 が増加していることがわかる。

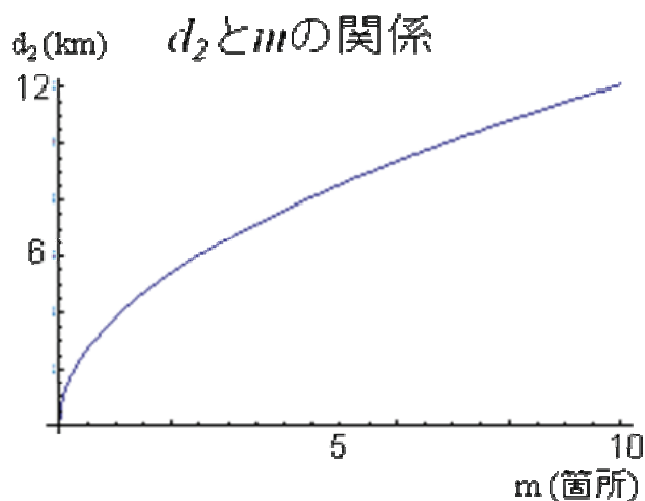


図 5.15 d_2 と m の関係

目的地までの平均乗車距離 $d_2(\text{km})$ は、最短巡回路上に起終点が独立にランダムにあると仮定して、式 (5.31) の半分であるとし、平均所要時間 $T_2(\text{hr})$ を以下のように算出する。

$$T_2 = c_2 d_2 + f_2 / 2 \quad (5.32)$$

T_2 : デマンド型平均所要時間[hr]

c_2 : デマンド型 1km あたり所要時間[hr/km]

d_2 : デマンド型平均乗車距離[km]

f_2 : デマンド型運行間隔[hr]

c) タクシー型

タクシー型は前節 b) で定義したように、乗合を行わないデマンド型交通を仮定する。利用者は、図 5.16 のように都市の中心にある車両基地から出発地まで迎えに来てもらい、そこから目的地まで距離当たり時間 $c_3(\text{hr/km})$ で移動するものとする。ただし、車両は利用者に対して先着 1 名のみに割り振られ、 $S_3(\text{台})$ の車両全てが利用されている場合は車両に空きが出るまで待ち時間が発生するものとする。

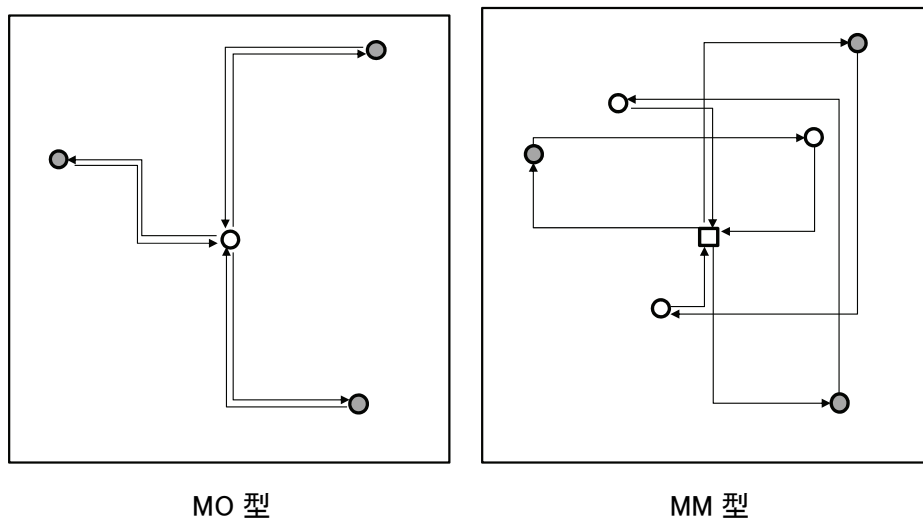


図 5.16 タクシー型概念図

一時間あたり処理人数 μ を以下のように求める。

$$\mu = 1/c_3 d_3 \quad (5.33)$$

μ : 時間当たりサービス処理人数

c_3 : タクシー型 1km あたり所要時間(速度の逆数)

d_3 : タクシー型平均乗車距離

平均乗車距離 d_3 は以下のようになる。

$$\begin{aligned} MO\text{型} : d_3 &= L/2 \\ MM\text{型} : d_3 &= 2L/3 \end{aligned} \quad (5.34)$$

また、ここから混雑率 θ を以下のように定める。

$$\theta = \lambda / S_3 \mu \quad (0 \leq \theta < 1) \quad (5.35)$$

λ : タクシー型単位時間あたり利用者数(=P)

s_2 : タクシー型車両台数

μ : 時間当たりサービス処理人数

タクシー型単位時間あたり利用者数 λ は一時間あたりの利用人数 P とする。ここから 5.2 節同様平均待ち時間 W はリー・ロントンの近似式[21]に従い以下のように求める。

$$W \approx \left(\frac{1 + c_s^2}{2} \right) \frac{S_3^{s_2-1} \theta^{S_3}}{S_3! (1 - \theta)^2} p_0 t_a \quad (5.36)$$

W : 平均待ち時間

s_2 : タクシー型車両台数

θ : 混雑率

t_a : 平均サービス時間

c_s : 変動係数

p_0 : 待ち人数が 0 である確率

待ち人数が 0 である確率 p_0 は以下のように求める

$$p_0 = \left(\sum_{n=0}^{S_3-1} \left\{ \frac{(S_3 \theta)^n}{n!} \right\} + \frac{(S_3 \theta)^{S_3}}{S_3! (1-\theta)} \right)^{-1} \quad (5.37)$$

平均サービス時間 t_a は時間当たりサービス処理人数 μ の逆数となる。

また c_s は変動係数であり、サービス時間の標準偏差を δ をサービス時間の最大値から求め、

$$c_s = \delta / t_a \quad (5.38)$$

とする。これより、タクシー型平均所要時間 T_3 は以下の通りとなる。

$$T_3 = 2c_3 d_3 + W \quad (5.39)$$

T_3 : 利用者 i のタクシー型所要時間

c_3 : タクシー型 1km あたり所要時間 (速度の逆数)

d_3 : タクシー型平均乗車距離

5.3.3 需要側と供給側のコスト

利用者の負担する時間コストは、式(5.27)(5.32)(5.39)の T_1 , T_2 , T_3 で決定されるとする。車両台数が増加すれば、これらの需要側コストは減少する一方、供給側コストは増加し、トレードオフの関係にある。そこで双方の合計が最小となるコストについて考察する。

交通手段 i の年間の需要側コスト TCD_i (円/年) は、所要時間に応じて時間費用を掛け合わせて以下のように算出する。

$$TCD_i = P \times T_i \times TV \times hour \times day \quad (5.40)$$

TCD_i : 交通手段 i の年間の需要側コスト

P : 時間あたり利用者数

T_i : 交通手段 i の平均所要時間

TV : 時間価値 (円/時間)

$hour$: 一日の運行時間 (時間/日)

day : 一年の運行日数 (日/年)

ここで、 TV (円/時間)は利用者時間価値、 $hour$ (時間)は一日の運行時間、 day (日/年)は一年の運行日数である。

一方、年間の供給側コスト TCS_i (円/年)は、車両台数 S_1, S_2, S_3 に一台あたり車両購入費と運営費を掛け合わせて算出する。なお、走行距離増加による費用の増加は考慮せず、台数に応じて変化するのみとする。

$$TCS_i = S_i \times \left(\frac{SCI}{year} \right) \times SCR \quad (5.41)$$

TCS_i : 交通手段 i の年間の供給側コスト

P : 時間あたり利用者数

S_i : 交通手段 i の提供台数

SCI : 一台あたり車両購入費(円/時間)

$year$: 耐用年数 (年)

SCR : 一年の運行日数 (日/年)

ここで、 SCI は一台あたり車両購入費、 $Year$ は耐用年数、 SCR_i は一台あたり年間運行経費である。なお、代入する値は国土交通省「地域公共交通ハンドブック」[12]より引用し、固定路線型は乗車定員の多いバス型の大型の車両を、デマンド型・タクシー型は小型のセダン型の車両を導入するものとする。

表 5.2 車両費用

国土交通省「地域公共交通ハンドブック」より引用

	バス(固定)	セダン(デマンド・タクシー)
車両購入費 SCI (万円/台)	1,700	300
年間運行経費 SCR (万円/台・年)	1,250	500

そして、総コスト TC_i は需要側と供給側のコストの和とする。

$$TC_i = TCD_i + TCS_i \quad (5.42)$$

TC_i : 交通手段 i の年間の総コスト

TCS_i : 交通手段 i の年間の需要側コスト

TCD_i : 交通手段 i の年間の供給側コスト

各パラメータに以下の値を代入する。

表 5.3 パラメータの値

時間当たり需要密度 ρ (人/km ² hr)	0.5
都市の一辺の長さ L (km)	5
固定路線型速度逆数 c_1 (hr/km)	1/15
デマンド型速度逆数 c_2 (hr/km)	1/25
タクシー型速度逆数 c_3 (hr/km)	1/25
アクセス速度逆数 c_a (hr/km)	1/4
利用者時間価値 TV (円/hr)	1200
一日の運行時間 $hour$ (hr/日)	6
一年の運行日数 day (日/年)	250

そして、車両台数 S_i を変化させた場合の TC_i の変化を図 5.17 に示す。

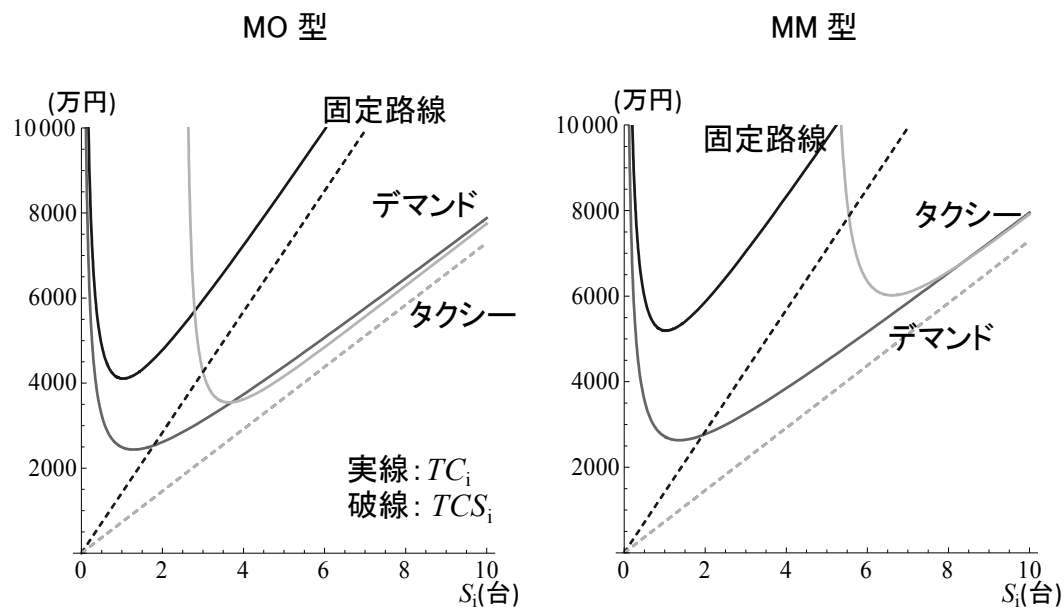


図 5.17 供給台数 S_i と TC_i 、 TCS_i の関係

これより、以下のことがわかる。

- 車両台数 S_i を増加させると、 TCS_i が比例して増加する一方、 TCD_i は反比例するように減少し、 TC_i に関して最小となる最適な車両台数が存在する。その台数は、固定路線型が最も小さく、タクシー型が最も大きい。
- 車両台数が十分にあれば、総コストにおける需要側コストの割合は、タクシー型が最小になる。
- MO 型と MM 型を比較したとき、デマンド型に比べ固定路線型、タクシー型のコスト増加が大きい。すなわち、目的地が分散している場合、デマンド型が有利になる。

ここで、図 5.18 に示すように、 TC_i が最小となるときの TC_i 、 TCS_i の値をそれぞれ TC_i^* 、 TCS_i^* とし、都市の大きさと需要密度を変化させた場合の変化を検証する。

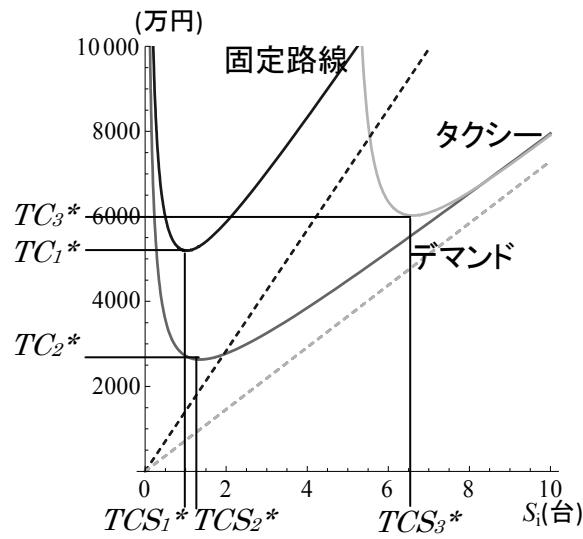


図 5.18 各都市規模・需要密度における各交通手段の最適な総コスト・供給側
コスト TC_i^* , TCS_i^*

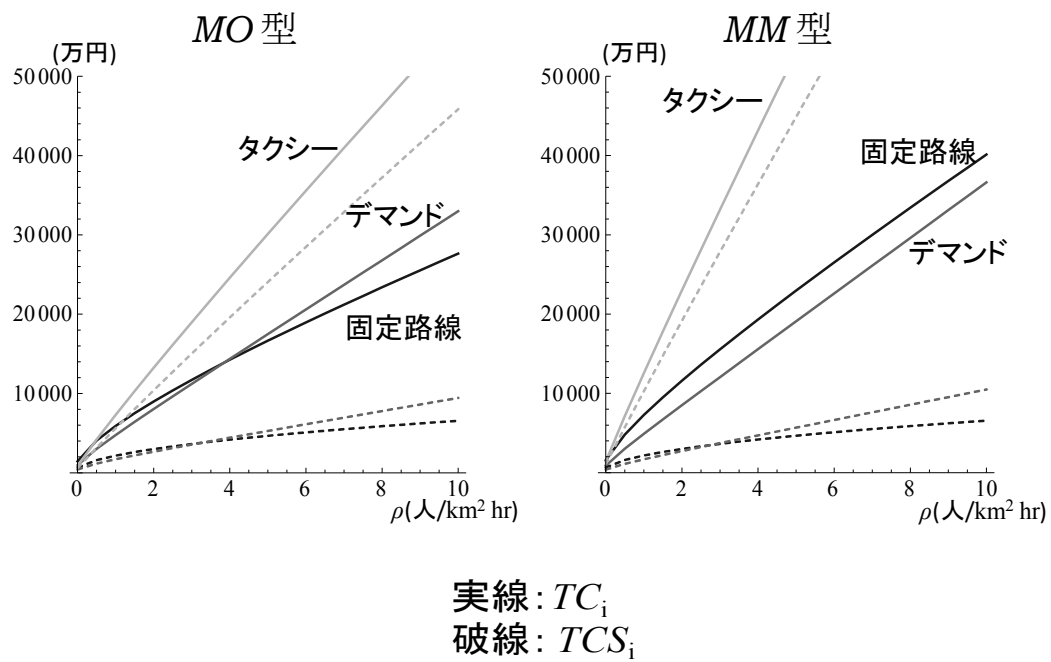


図 5.19 需要密度 ρ を変化させたときの TC_i^* , TCS_i^* の変化

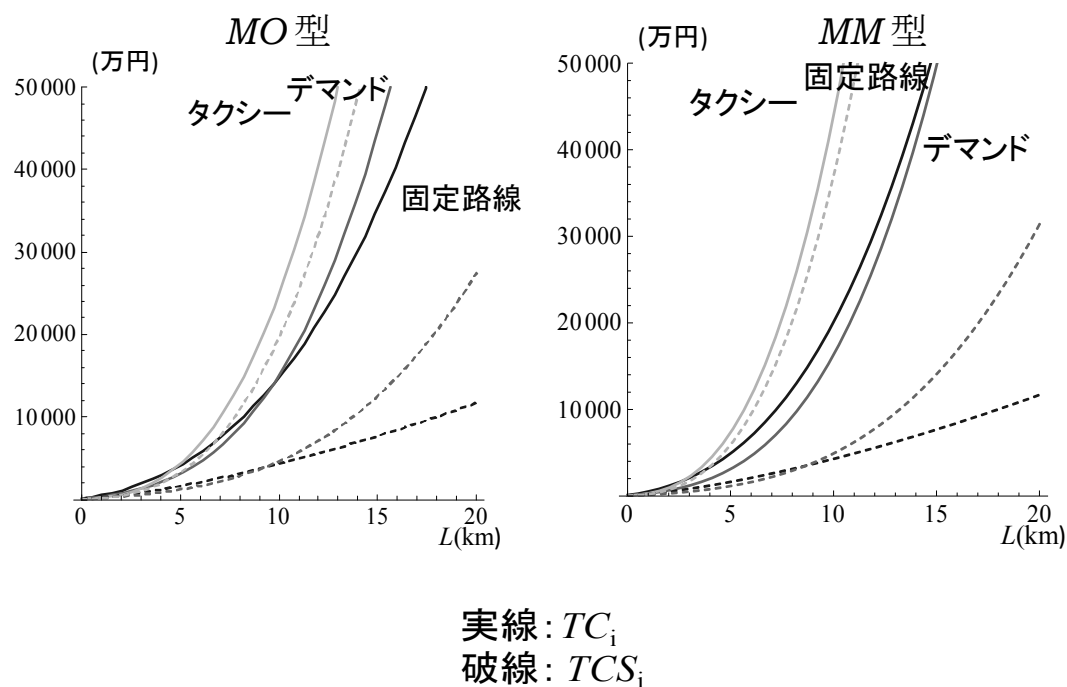


図 5.20 都市の大きさ L を変化させたときの TC_i^* , TCS_i^* の変化

$L=5$ とし、需要密度 ρ を変化させたときの TC_i^* , TCS_i^* の変化を示したのが図 5.19、 $\rho=0.5$ とし、都市の大きさ L を変化させたときの TC_i^* , TCS_i^* の変化を示したのが図 5.20 である。これより以下のことがわかる。

- 需要密度が低い場合はタクシー型の総費用が最小になるが、高密になるにつれ最小となる交通手段はデマンド型、固定路線型と変わっていく。また、MM 型の場合はデマンド型の曲線の傾きが小さく、有利になる需要密度が多くなる。
- 都市の大きさが小さい場合、タクシー型が有利になり、大きくなるにつれ、デマンド型、固定路線型が有利になる。 ρ は一定であるため、人口 $P=\rho L^2$ は L の増加関数となる。都市の大きさが大きくなると利用人数が増加するので、デマンド型では運行距離が、タクシー型では待ち時間が増加し、都市規模が大きいと導入効果が低くなる。

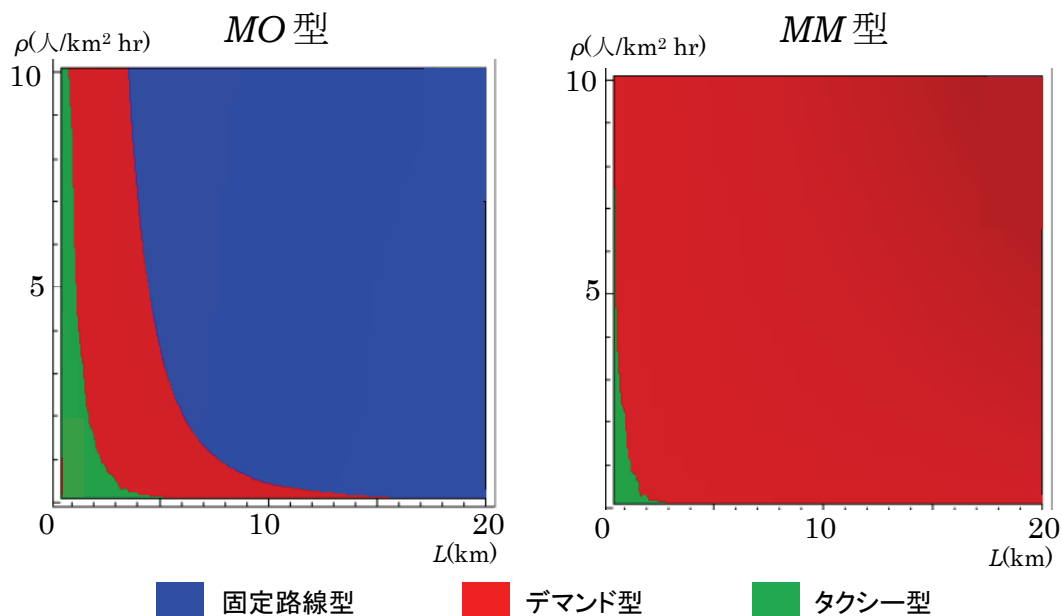


図 5.21 需要密度 ρ ・都市の大きさ L と TC^* が最小となる交通手段の関係

さらに、 ρ と L の値を変化させ、 TC_i^* が最小となる交通手段を示したのが図 5.21 である。なお、結果は数値計算によって導出している。これを見ると、以下のことが分かる。

- MO 型の場合、都市規模・需要密度が小さければタクシー型が有利で、それらが大きくなるにつれてデマンド型、固定路線型が有利になることがわかる。
 $L < 10(\text{km})$ となる都市規模の小さい都市であれば、需要密度が高密度でもデマンド型の導入可能性があることが示されている。
- MM 型の場合、MO 型に比してデマンド型が有利になる領域が広がり、需要が分散している都市におけるデマンド型導入の効果が高いことがわかる。

このことは、提供台数・運行システムの問題が解決できれば、都市においても在来交通手段を補完する形で導入が可能であることを意味している。例えば、タイで利用者に応じて路線を柔軟に変更するパラトランジットとして存在するトゥクトゥクなどがこれに該当すると考えられる。

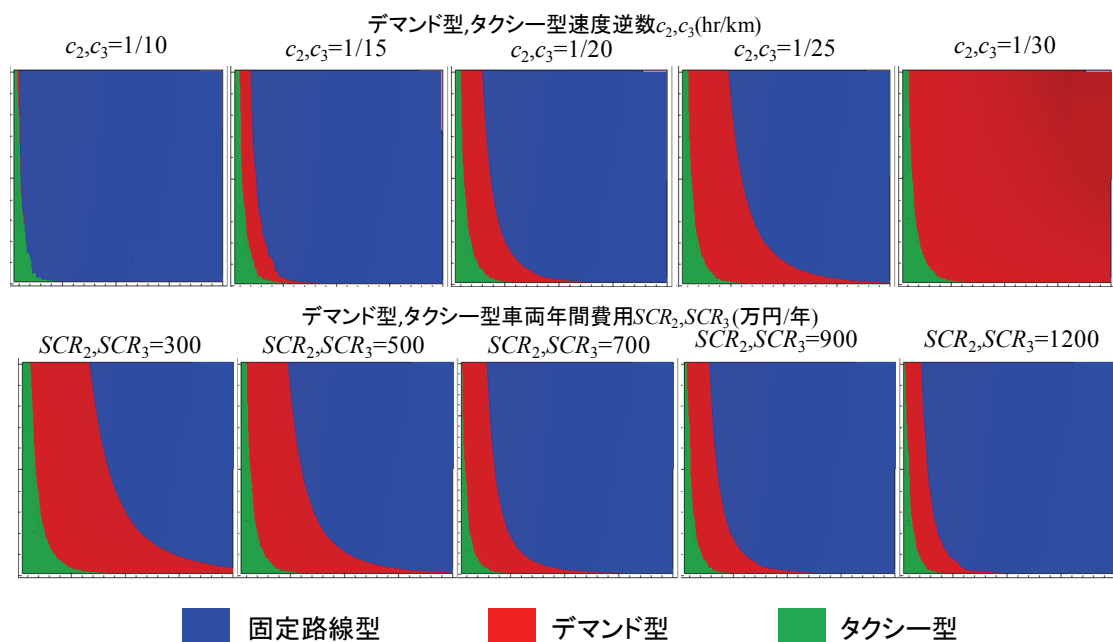


図 5.22 デマンド型・タクシー型の速度・車両年間費用と最小交通手段の関係

また、MO型において SCR_i, c_i に関して値を変化させ、パラメータの感度分析を行ったものが図 5.22 である。ここでは、社会情勢などの変化によって人件費・燃料費が変化した場合、バスの車両が影響を受けると考えられるため、デマンド型の年間運行費用 SCR_2 、タクシー型の年間運行費用 SCR_3 の変化の与える影響を検証した。また、バス型車両に比べ速度が速く、混雑等で平均速度の変化が大きいセダン型車両を用いているデマンド型の速度の逆数 c_2 、タクシー型の c_3 の変化が与える影響について検証した。これより以下のことがわかる。

- 車両一台当たりのコストの変化に関しては、車両コストが安いほど有利領域が大きくなるのは自明であるが、年間コストが固定路線型と同じ $SCR=1,200$ となってもデマンド型、タクシー型の有利領域が存在する。
- 速度の変化に関しては、運行コストの変化に比べ、デマンド型有利領域が大きく変化することが分かる。 $c_2=1/10$ でデマンド型の車両が固定路線型より遅い状態の場合、有利領域がほとんど出現せず、速度が同じ場合は固定路線型の有利領域が大きいことがわかる。その後、速度が増加すればデマンド型の領域が大きくなり、デマンド型速度が $1/30(\text{hr/km})$ を上回ると固定路線型の有利領域がなくなり、デマンド型の有意性が確認できる。

これらのことから、定時・定路線型で乗車人数の違いによる運行の影響がない固定路線型に比べ、利用者の需要によって運行経路が変更され、到着時間に大きな影響を与えるデマンド型、タクシー型は、車両の速度を上昇させることで、その変動を少なくさせることができ、有利となる条件に大きく影響を与えることがわかる。

5.3.4 理論的モデルと全国の導入地域との比較

前節で各交通手段の都市規模・需要密度に導出した条件に対し、実際に全国の市町村がどの程度含まれるかを図上にプロットし、各自治体のデマンド型交通導入可能性について検討する。全国の市町村のデータは3章で用いた、表3.1に示す平成17年及び12年の国勢調査のデータを用いる。

各市町村の都市の大きさ L_k は、都市を正形状と仮定し、各市町村の可住地面積 S_k の平方根とする。

$$L_k = \sqrt{S_k} \quad (5.43)$$

L_k : 市町村 k の都市の大きさ

S_k : 市町村 k の可住地面積(km²)

各市町村の一時間あたり需要密度 ρ_k は以下の式で導出した。都市における人口密度に各市町村の乗合バス分担率を掛け合わせたものを、各自治体の公共交通の利用密度とする。

$$\rho_k = \frac{D_k O_k}{hour} \quad (5.44)$$

ρ_k : 市町村 k の一時間あたり需要密度

D_k : 市町村 k の人口密度(人/km²)

O_k : 市町村 k の県別乗合バス交通手段分担率

$hour$: 一日の運行時間 (時間/日)

D_k は自治体 k の人口密度(人/km²)、 O_k は自治体 k の県別乗合バス交通手段分担率である。これを式(5.41)に示す一日の営業時間 $hour$ で除したものを一時間あたりの需要密度とする。

4章の常総市での検証から、デマンド型交通の利用は自宅から市街地への移動が多いことがわかった。これはMO型の移動に近い移動のパターンである。

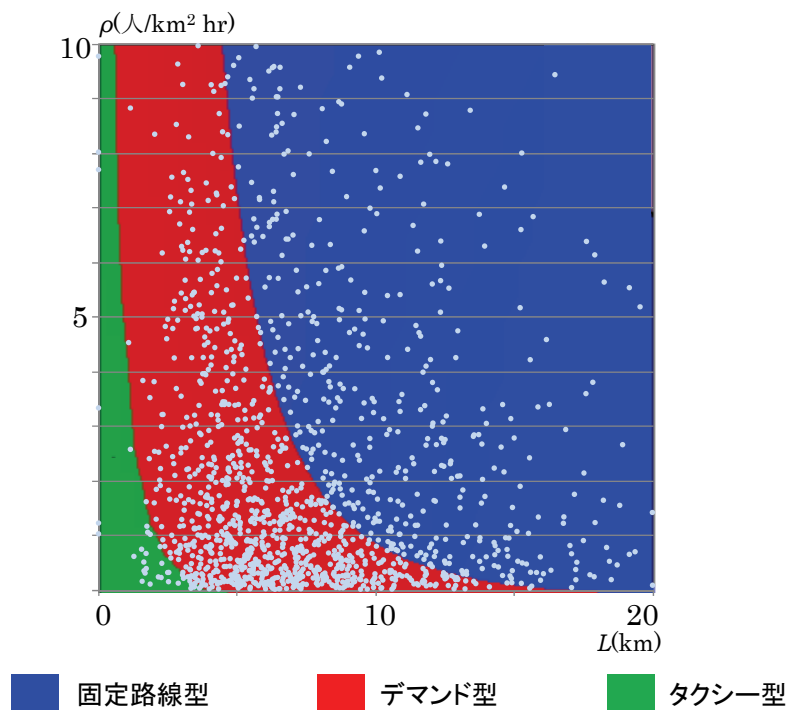


図 5.23 MO 型における各交通手段の有利領域と各自治体の L_k 、 ρ_k の関係

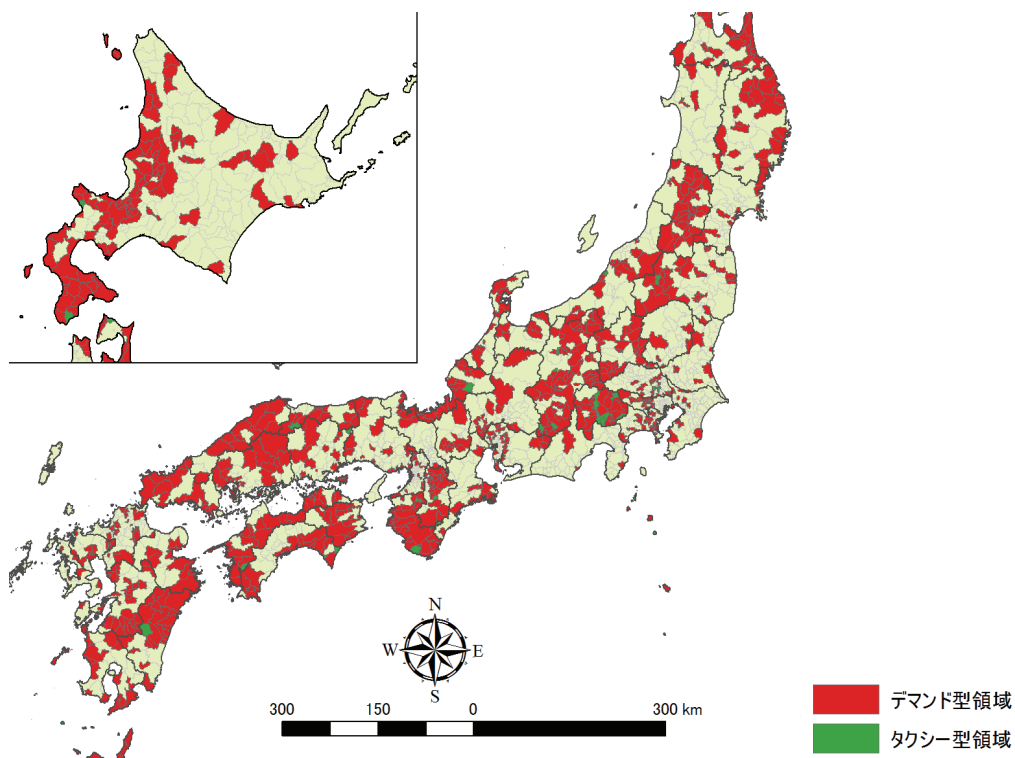


図 5.24 デマンド型・タクシー型有利領域に含まれる自治体

そこで、図 5.21 で示す有利領域のうち MO 型の図に対し、全国の自治体の L_k 、 ρ_k の値をプロットしたのが図 5.23、その中でデマンド型・タクシー型の領域に含まれる自治体を地図上で示したのが図 5.24 である。

その結果、1902 自治体のうち 930 の自治体がデマンド型領域に含まれ、49 の自治体がタクシー型領域に含まれた。これを見ると、導入可能性のある自治体は全国各地に分布していることがわかる。特に山形県東部や福島県西部、長野県南部、和歌山県、中国地方の日本海側、九州地方南東部で見られることがわかった。一方、茨城県や栃木県や静岡県西部、三重県や京都府、兵庫県南部の自治体は領域内に含まれないことがわかる。これらの地域では、県内の乗合バスの利用分担率が高いこと、及び人口密度が高いことが要因となっている。例えば茨城県の乗合バス利用分担率は 5.4%であるのに対し、群馬県の乗合バス分担率は 1.4%となっている。

図 5.25 はデマンド型・タクシー型有利領域に含まれるデマンド型交通導入地域を示したものの、図 5.26 はその中でもエリア型の運行を行っている自治体を抽出したものである。デマンド型導入自治体 230 箇所のうちデマンド型有利領域に含まれる所は 106 ヶ所、タクシー型有利領域に含まれる所は 1 ヶ所であった。また、エリア型運行を行っている 135 自治体のうち 62 箇所がデマンド型領域に、1 箇所がタクシー型に含まれていた。

主に三大都市圏から離れた、面積が小さく都市規模の小さい自治体が含まれていることがわかる。一方、都市規模・人口密度が比較的大きい、三大都市圏に近い地域では当てはまらないことがわかる。近年は市町村合併等によって都市規模が大きくなっているため、導出した L_k の値が大きくなっているため、このような結果となっている。

しかし、規模の大きい自治体では導入地域は一部の地域に限定されている場合が多い。例えば、北海道帯広市では川西地区および大正地区でデマンド型交通が運行されているが、面積は日高山脈を含む川西地区は 440km²、大正地区は 112km² と広大で、人口は両地区とも 3,500 人程度と人口低密地帯である。')他にも例えば福島県南相馬市では、小高区に限定して走行している「おだか e-まちタクシー」の例がある。小高区の面積は 91km²、人口は 13,000 人程度である。これらの地域は、市全体では有利地域の条件にあてはまらないが、地域を限定すれば含まれるようになる。

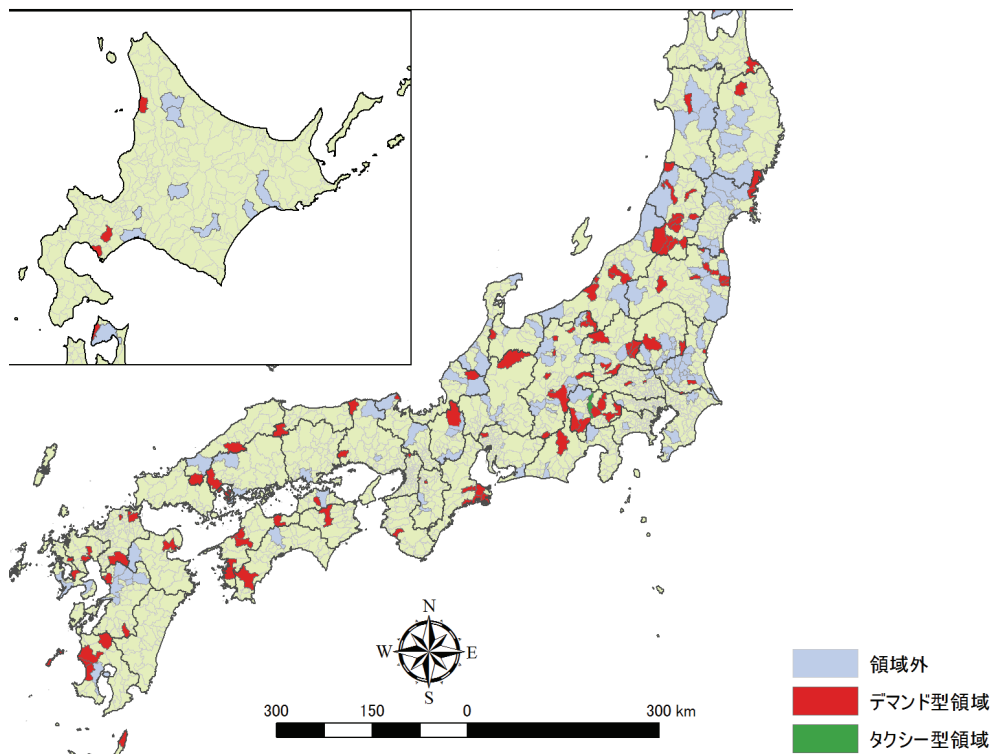


図 5.25 デマンド型・タクシー型有利領域に含まれるデマンド型交通導入地域

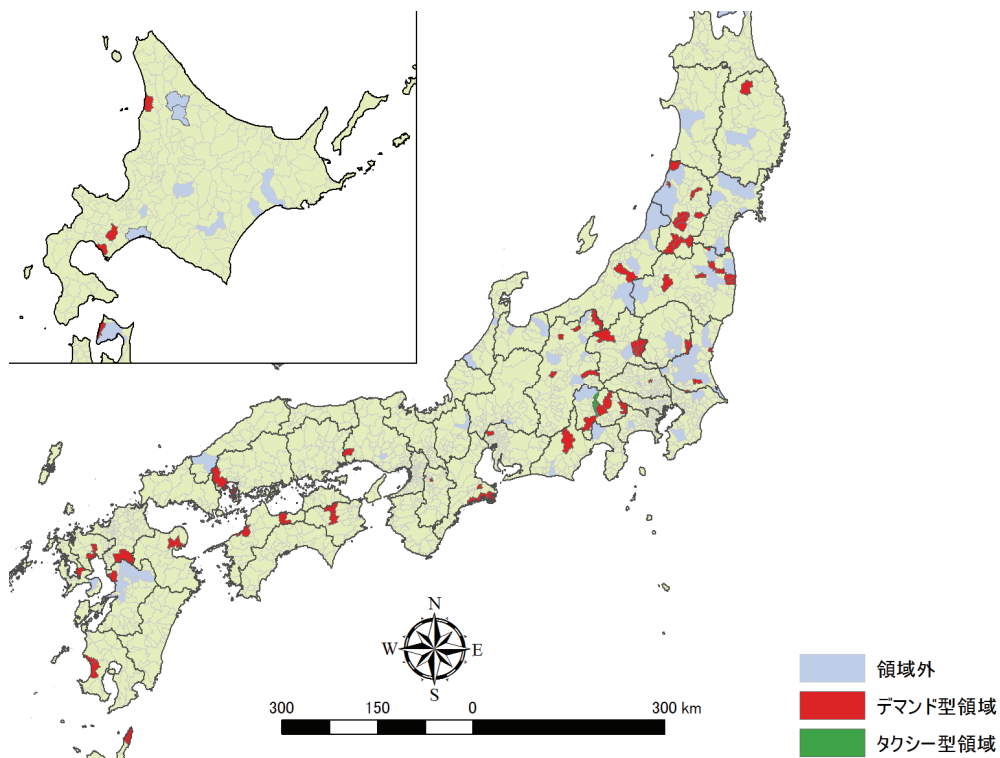


図 5.26 デマンド型・タクシー型有利領域に含まれるエリア型運行地域

また、図 5.24 に示される自治体と比較すると中国地方や九州南部などには導入の可能性のある地域が多くあることがあり、検討の余地があると考えられる。

加えて、都市規模の大きい自治体では病院や商業店舗といった、目的地となる施設が多く、移動が分散していることが想定される。MM 型の交通需要を考えると、デマンド型交通の有利地域が広がり、図 5.25 に見るように多くの自治体で採用されている要因となっている可能性が示される。

5.4 小括

本章では簡便な数理モデルを用い、まず都市におけるデマンド型交通の有利地域及びシェア率が需要密度の増減によってどのように変化するか、固定路線型、タクシー型、自由移動型の3つを設定して検証を行った。また、都市規模・需要密度の観点から、固定路線型、デマンド型、タクシー型の運行経路・ダイヤ柔軟性の異なる3つの交通手段の成立可能性について、需要側・供給側双方のコストの観点からデマンド型交通成立条件に関する基礎的条件を導出し、現実の導入地域との値の比較を行った。その結果、以下の結論を得た。

1. バスを始めとした定時・定路線を行う固定路線型は、路線に近く都心から離れている地域で、デマンド型交通を仮定した非定時・非定路線の運行を行うタクシー型は、自転車を仮定した自由移動型では距離が長すぎ、かつ固定路線の双方からは遠い都市の端部において選択される。
2. デマンド型交通は需要が低密な都市ほど、利用者の利便性が上がり、高いシェアを実現できるが、高密な都市では定時性が保たれないことから、そのシェアは減少し、固定路線の運行を行う交通手段のシェアが上昇する。
3. 3種の交通手段の運行方法の違いが都市の大きさや需要密度によって、交通手段の提供者側と利用者側の総コストがどのように変化し、どのような条件下で総コストが最小となるかを明らかにした。そして、都市規模が小さい都市や需要が分散している都市でのデマンド型交通の有効性が確認されるとともに、利用人数による影響が大きく、面積が大きい自治体での導入の困難性が示された。
4. モデルから得られたデマンド型交通の有利領域と全国の導入自治体の都市規模・需要密度の比較を行い、大都市圏から離れた都市規模の小さい地域におけるモデルの適合性が確認できた。

第6章

車両台数・車両定員に着目した

デマンド型交通システムの適切な運行形式

4章で述べたように、デマンド型交通には車両数・車両定員の違い、停留所、路線の有無といった多様な運行方式が考えられる。本章では、茨城県常総市で運行しているデマンド型交通「ふれあい号」の実際の運行データを元に利用者のパターンを作成し、ArcGIS 配車ルート解析を用いた運行シミュレーションを行い、適切な運行方法についての検証を行う。

本研究では、車両数・車両定員の違いが利用者の所要時間、車両の運行距離にどのような影響を及ぼすかを検証し、適切な運行形式を導出することを目的とする。

6.1 分析の流れ

以下に本章で行う分析の流れを示す。

6.2 節では運行車両の設定について述べる。「ふれあい号」経路データから各リンク通過時の速度を導出し、それにより車両の旅行速度の推計を行う。

6.3 節では利用者の設定について述べる。経路データより利用者の出発地・目的地を抽出し、それらの時間から乗車する時間についても設定する。また、乗車した便ごとで利用者の出発地、目的地がどの程度散らばりが見られるかを評価する。

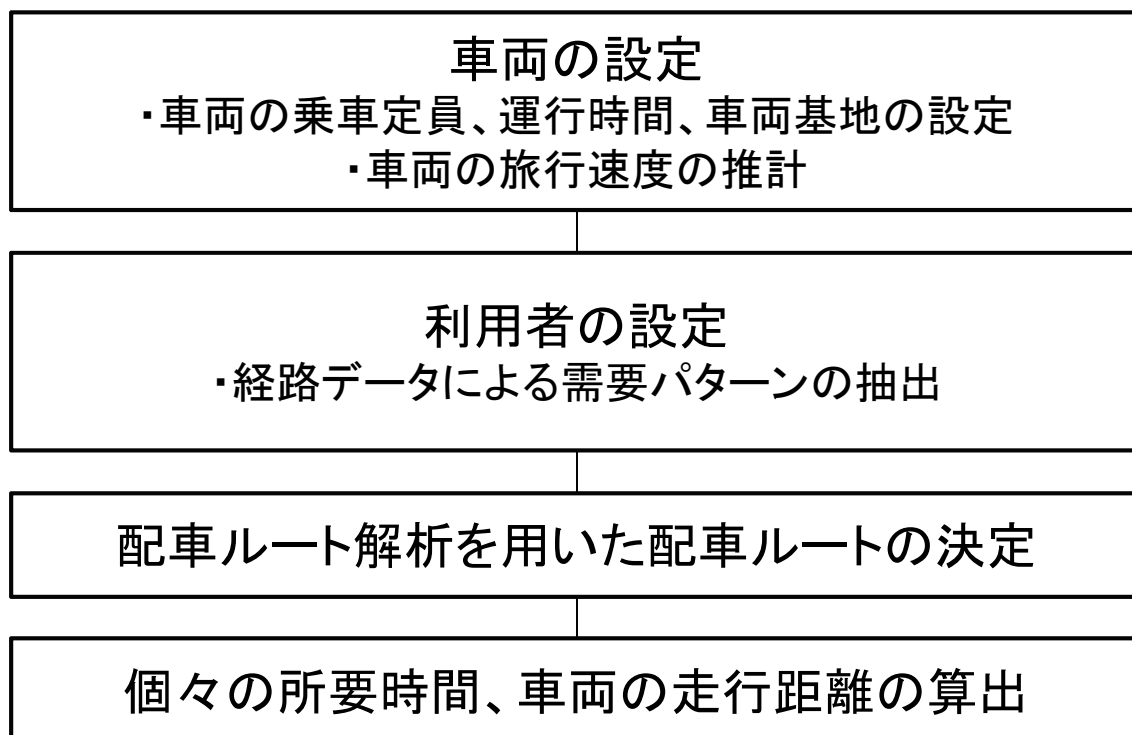


図 6.1 運行シミュレーションの流れ

6.4 節で車両・利用者それぞれ設定した後、6.5 節以降で ArcGIS 配車ルート解析 (VRP)を用い配車ルートの決定を行う。本研究では、まず基礎的特徴の把握として車両台数の減少の影響、車両の大型化の影響を行う。次に、現在運行している条件との比較として、車両の変更、車両数の増加の検証を行う。そして、常総市の将来人口から需要の増加を仮定し、その際の車両の変更、車両数の増加の検証を行う。

6.2 ArcGIS Network Analyst 配車ルート解析

本章の分析には ArcGIS Network Analyst 配車ルート解析を用いている。配車ルート解析とは、どの訪問先（住宅、レストラン、または検査現場）に各ルート（トラックまたは検査官）でサービスを提供するのか、訪問先をどのような順序で訪れるのかを決定するもので、以下の手順で最適ルートを決定する。

1. ネットワークに沿ったすべての訪問先と拠点との間の最短パスの OD (Origin-Destination) コスト マトリックスを作成する。
2. 最適ルートに訪問先を 1 つずつ挿入することで初期のソリューションを作成
3. タブー探索メタヒューリスティクスに基づき、以下の手段によって初期ソリューションを改善
 - ルートごとに訪問先の順序を再設定
 - ルートごとに訪問先の順序を再設定
 - あるルートから別のルートに訪問先を移動
 - ルート間で訪問先を交換

6.3 車両の設定

本節では、設定する車両の概要、及び車両が移動する道路ネットワークとその速度の決定方法について述べる。

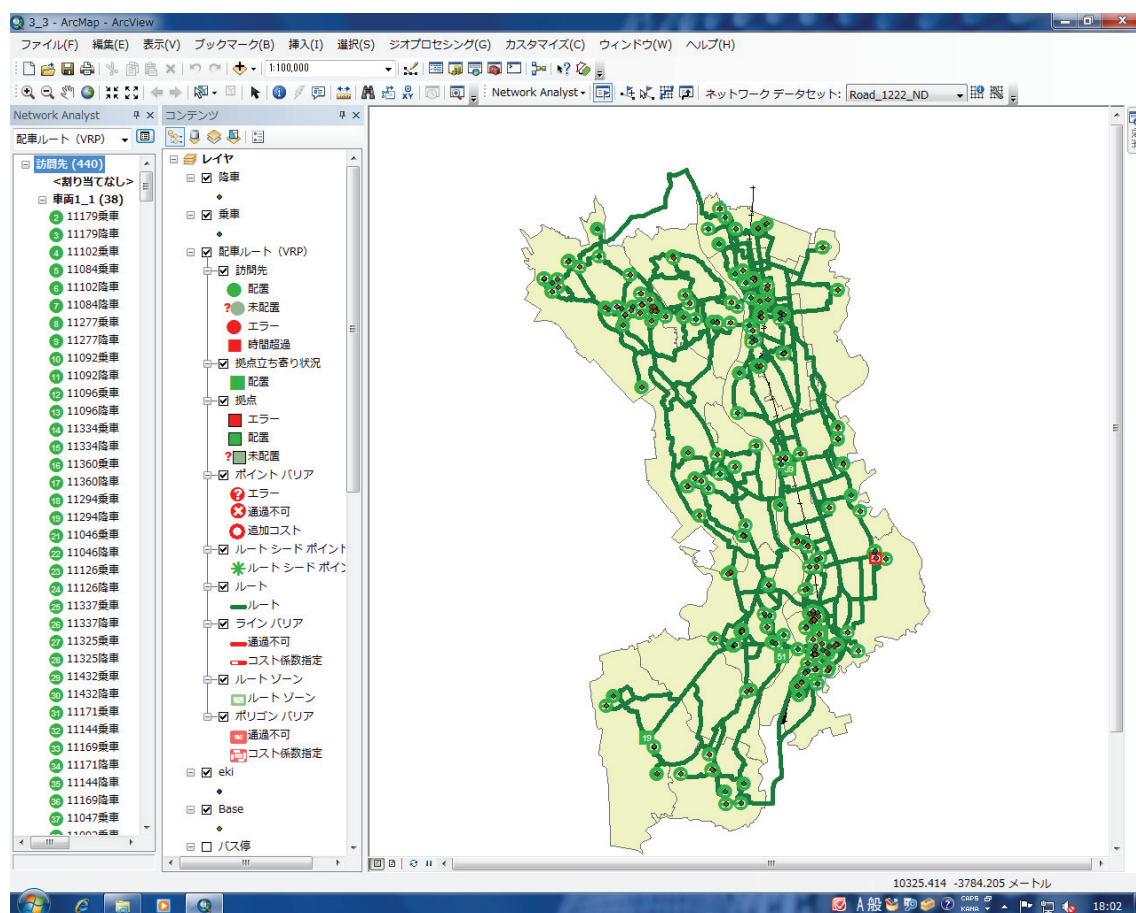


図 6.2 ArcGIS 配車ルート解析 出力結果例

6.3.1 車両の設定の概要

車両は図 6.3 のように設定する。車両基地から出発する車両は利用者の出発地と目的地を輸送し、全ての輸送が終わったら車両基地に戻る。途中空き時間があっても基地には戻らず、任意の場所で待機するものとする。乗合輸送を行うため、途中利用者は他の利用者の出発地・目的地を経由する可能性がある。また、夕方まで運行を行う車両に関しては昼休憩を設定する。

表 6.1 は車両の入力パラメータ、表 6.2 は休憩の入力パラメータである。車両は出発・到着拠点、拠点の出発時間、一日の最大運行時間、最大乗車人数、最大訪問数を設定できる。最大訪問数とは車両が止まる回数であり、例えば 1 人の利用者を運ぶ場合は訪問数は出発地・目的地の 2 か所となる。

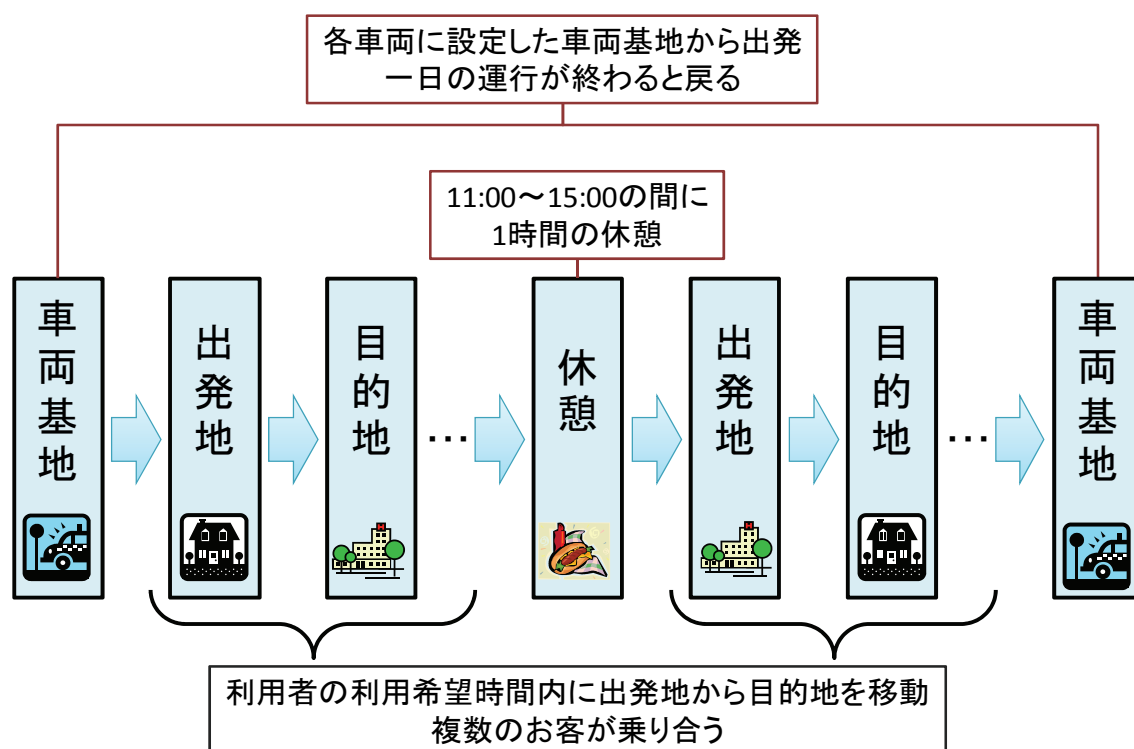


図 6.3 車両の移動概念図

表 6.3 は本研究で用いる二つの車両である。定員が 4 人乗りのセダンタイプの車両と、定員が 9 人乗りのワゴンタイプの車両を用いる。

表 6.4 は車両の運行方法の違いを述べたものである。朝の 1 便 (8:00) から最終便 (16:00) までを運行する一日運行と、運行時間を限定する限定運行を設定する。限定運行では最大運行時間を 4 時間、2 時間に、及び休憩無しで運行するものとする。

6.3.2 車両基地の設定

運行開始時出発する、及び運行終了時に戻る車両基地は表 6.1 は「ふれあい号」の実際の車両の所属会社、図 6.4 のタクシー会社の位置に設定する。実際の運行に用いている車両は 6 台で、車両 6 と車両 7 が隔週で運行している。本研究では車両基地を 1～6 のタクシー会社を車両基地として用いるものとする。

表 6.1 車両の入力パラメータ

入力項目	説明	備考
Name	ルートの名前	
StartDepotName	開始拠点名	
EndDepotName	終了拠点名	
EarliestStartTime	ルートにおいて許容される最も早い開始時刻	(yyyy" 年 "m" 月 "d" 日 ""、"h:mm:@)
LatestStartTime	ルートにおいて許容される最も遅い開始時刻	(yyyy" 年 "m" 月 "d" 日 ""、"h:mm:@)
MaxTotalTime	ルートの最大許容時間	分
Capacities	最大の乗車人数	人
MaxOrderCount	ルートに組み込むことができる最大訪問数	箇所

表 6.2 休憩の入力パラメータ

入力項目	説明	備考
RouteName	ルートの名前	
ServiceTime	休憩時間の長さ	分
TimeWindowStart	休憩の最も早い開始時刻	(yyyy" 年 "m" 月 "d" 日 ""、"h:mm:@)
TimeWindowEnd	休憩の最も遅い開始時刻	(yyyy" 年 "m" 月 "d" 日 ""、"h:mm:@)

表 6.3 車両の設定

車両イメージ	車両種類	Capacities	MaxOrderCount
	セダン	4	150
	ワゴン	9	300

表 6.4 車両の運行方法の設定

	StartDepot Name	EndDepot Name	EarliestStar tTime	LatestStar tTime	MaxTotal Time
一日運行	1～6	1～6	7:00	17:00	660
4h 運行	1～6	1～6	7:00	11:00	240
2h 運行	1～6	1～6	7:00	11:00	120

	TimeWindowStart	TimeWindowEnd	ServiceTime
一日運行	11:00	14:00	60
限定運行	なし		

表 6.5 「ふれあい号」車両の所属

車両	会社名
1	水海道ハイヤー
2	関鉄県南タクシー
3	石塚タクシー
4	絹西タクシー
5	三妻タクシー
6	野村タクシー
7	松並タクシー



図 6.4 「ふれあい号」が所属するタクシー会社の位置

6.3.3 ネットワークデータの設定

分析で使う道路ネットワークは、図 6.5 に示す財団法人デジタル道路地図協会により発行されている、「全国デジタル道路地図データベース標準第 3.10 版」に準拠した 2010 年度版のデジタル道路地図データである。常総市及びその周辺のリンクを抽出して使用している。表 6.6 は制限速度別にリンク数、及びリンク長を集計したものである。

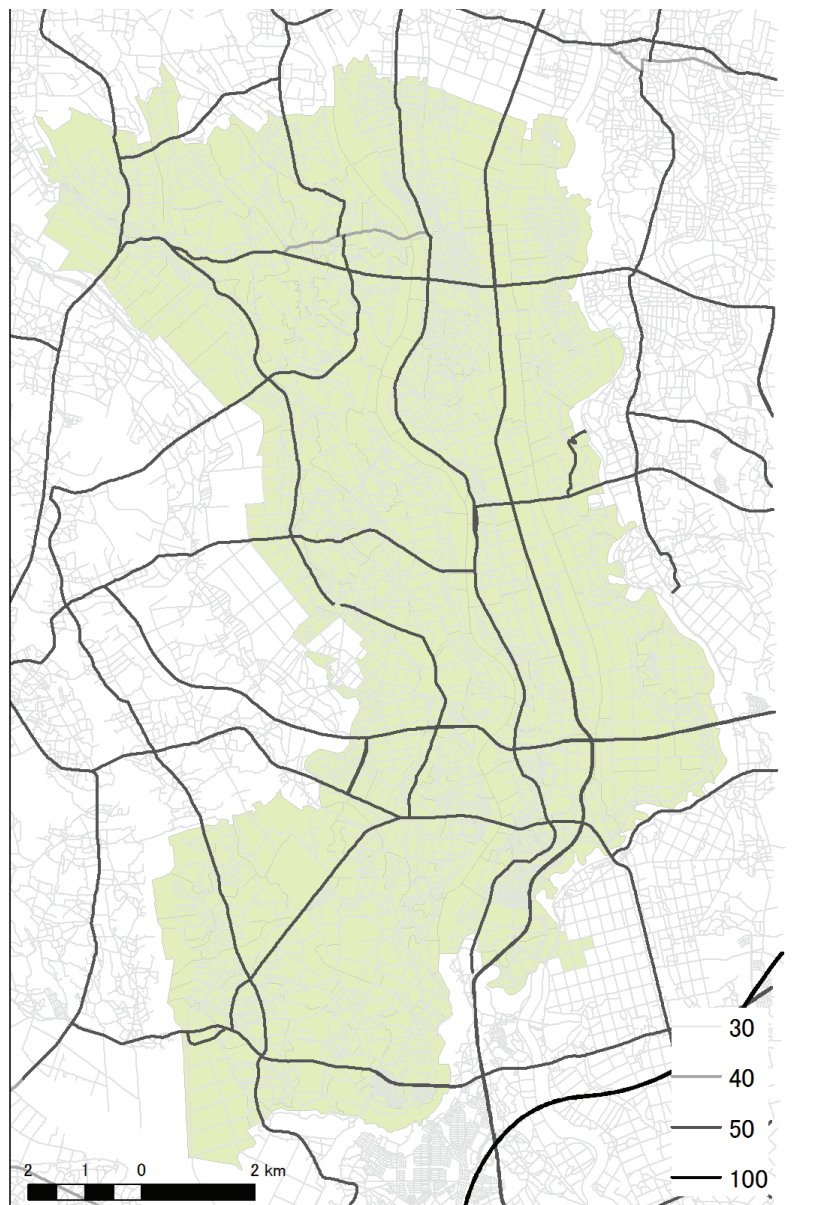


図 6.5 道路ネットワークの設定

表 6.6 リンクの制限速度別のリンク数・リンク長

制限速度	リンク数	リンク長(m)
100 (km/h)	8	19763.78
50 (km/h)	2965	248109.47
40 (km/h)	134	10891.10
30 (km/h)	35917	2858159.24

6.3.4 車両の旅行時間の推計

本節では、車両の移動時間について、実際の移動時間から計算を行う。前節で述べた道路ネットワークデータには制限速度のデータが含まれているが、平成17年度の道路交通センサスによると、茨城県の混雑時平均旅行速度は35.8km、うちDIDでは19.3kmになる等、混雑、信号停車など様々な条件で速度が変化する。そこで本研究では4.3.2節の分析で用いたふれあい号経路データを用い、旅行速度の推計を行う。

経路データは[運行開始・乗車・降車・運行完了]の操作時、もしくは3分おきの位置情報、時間を記録している。そこで、GISを用いて各点間の最短経路を導出し、その区間の速度を導出する。そして鈴木[24]より引用した以下の式によって各リンクの平均速度を導出する。

$$\bar{V}^l = \frac{\sum_{i=1}^{n^l} D^l}{\sum_{i=1}^{n^l} T^l} = \frac{n^l}{\sum_{i=1}^{n^l} \frac{1}{V^l}} \quad (6.1)$$

$\bar{V}^l$: リンク l の平均旅行速度(km/h)

D^l : リンク l の距離(km)

T^l : リンク l のデータ i の通過時間(時間)

V^l : リンク l のデータ i の走行速度(km/h)

n^l : リンク l のデータ数

また、速度推計には2010年7月～2010年10月のデータを用いる。そして速度推計を行う際には以下の条件で経路データを抽出した上で速度を計算した。これはデータ中にGPSの測位が完了していない場合のデータが含まれていること、車両がお客を取り扱っていない場合のデータを取り除くため、及び車両が乗降・滞留によって停車している場合の影響を防ぐためである。

[データ区間]

- 観測地点が常総市から周囲5km以内に含まれる
- 利用客の取扱を行っている運行開始～運行完了間
- 前点との道路距離差が5m以上

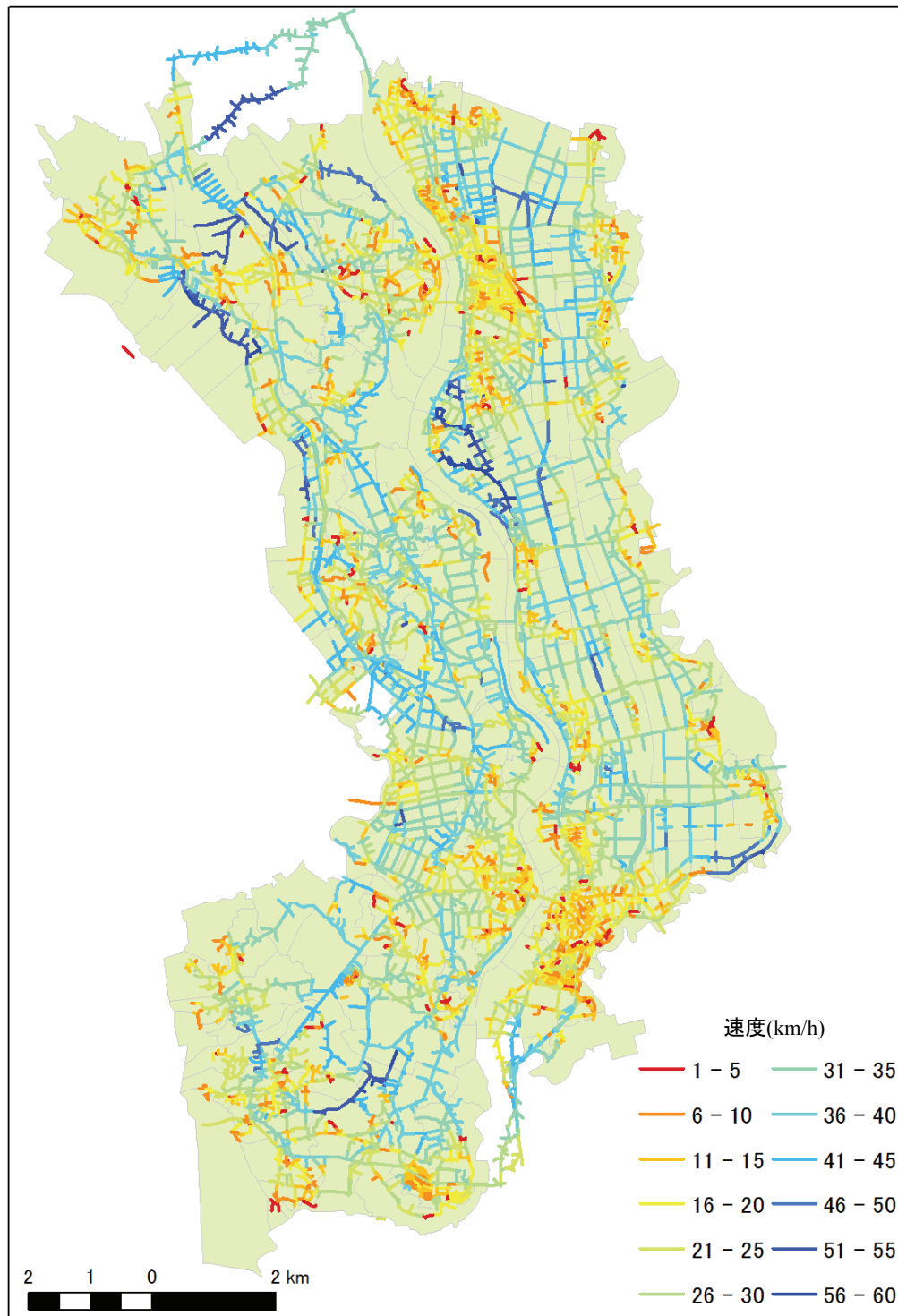


図 6.6 ふれあい号速度推計結果

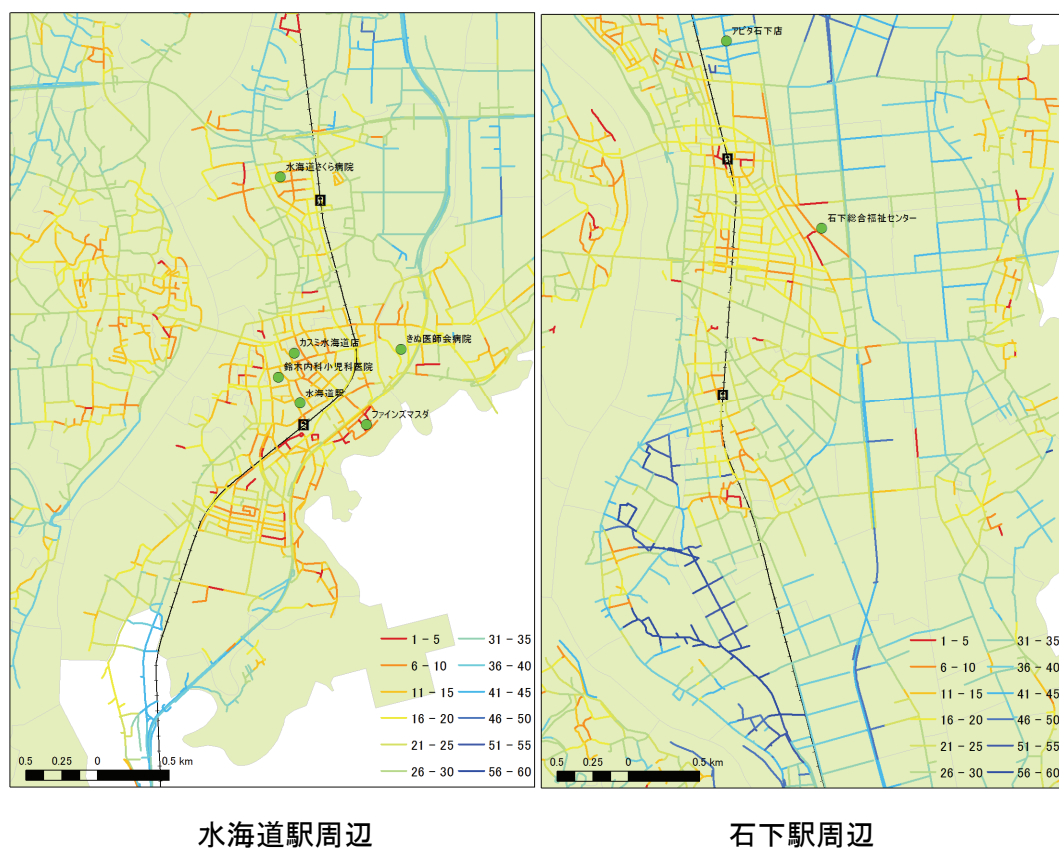


図 6.7 市街地における速度推計結果

式(6.1) D, T を導出するのに必要な各点間の経路は ArcGIS Network Analyst のルート解析を用い、点間を最短時間で移動できるルートを計算した。その際の速度については、図 6.5 で示した制限速度に従って移動するものとした。

図 6.6 は推計結果を示したもの、図 6.8 は市街地の水海道駅、石下駅周辺を拡大したものである。これを見ると、目的地として選ばれることが多い市街地は速度が遅く、水海道地区・石下地区共に速度が 10km/h 以下のリンクが多いことがわかる。また、逆に通過の多い郊外部、国道は速度が速く、50km/h 以上の平均値も存在することが分かる。表 6.7、図 6.8 はその集計結果である。

表 6.7 速度推計結果集計

データ区間	リンク数	距離(km)
～5	222	15.02503
～10	745	52.08968
～15	1315	88.32924
～20	1613	113.2506
～25	1983	146.0542
～30	1952	156.7275
～35	1976	180.1251
～40	1459	147.0953
～45	684	69.40339
～50	233	20.97122
～55	173	17.20639
～60	90	6.251185
60～	14	0.568971

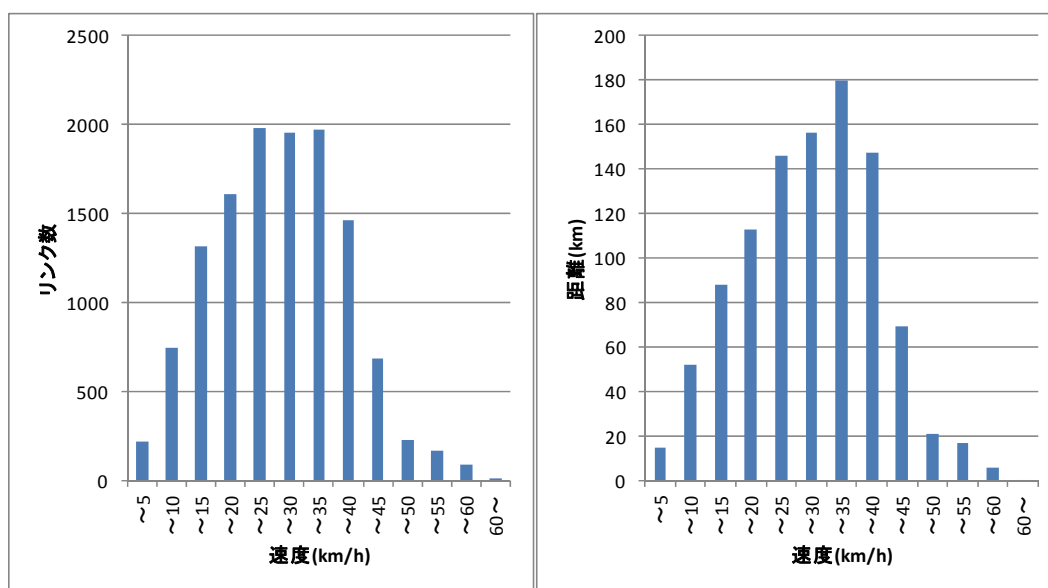


図 6.8 リンク数・リンク長別速度頻度・累積距離集計

また、経路として選ばれなかったリンク、速度が 5km/h 以下、60km/h 以上と推計されたデータについては、以下のように設定した上で、本分析で用いる車両は図 6.9 の速度に従って移動するものとする。速度に基づきリンクごとの所要時間を導出し、分析に用いる。

- 経路データと重ならなかったリンク：5km/h
- 速度が 5km/h 以下と推計されたリンク：5km/h
- 速度が 60km/h 以上と推計されたリンク：60km/h

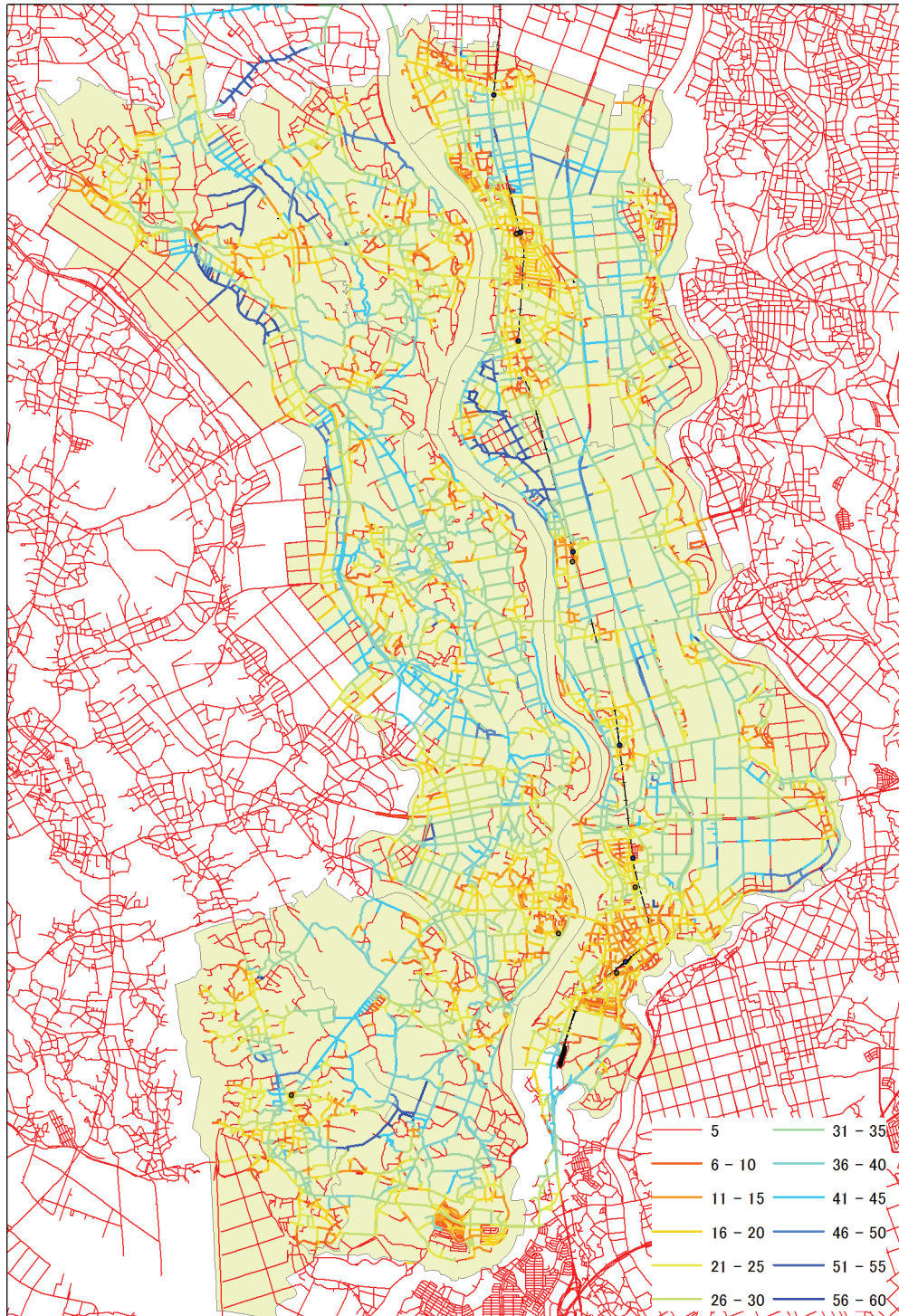


図 6.9 車両の移動速度

6.4 利用者の設定

本節では利用者の設定について述べる。利用者は 4.3.2 節で述べた経路データを用いて作成する。

6.4.1 利用者情報の抽出

表 4.4 の項目のうちのサーバ時刻、GPS 緯度、GPS 経度、予約 ID、予約操作の項目を用い、表 6.7 に示す利用者のパターンデータを作成した。表 6.8 はその項目である。利用者のごとの乗車位置・降車位置及びその時間、乗車を希望する便などがデータセットに格納されている。便については乗車時刻より導出した。

表 6.8 利用者パターンデータフォーマット

ID	乗車ID	車両	乗車時刻	乗車x	乗車y	予約ID	日付	配車ID_1	降車ID	降車時刻	降車x	降車y
15996	19032乗車	1	7:51:48	15246.41813	8886.508945	19032	2010/8/6	8459	19032降車	8:11:06	15165.22466	2414.839681
15997	19127乗車	1	8:01:01	13710.79131	5708.812051	19127	2010/8/6	8459	19127降車	8:17:59	14334.46542	1905.138734
15998	19149乗車	1	8:50:34	13561.84825	6991.353162	19149	2010/8/6	8496	19149降車	9:09:16	14333.18355	1955.248816
15999	19229乗車	1	8:54:50	14249.82143	6670.295944	19229	2010/8/6	8496	19229降車	9:09:16	14333.18355	1955.248816
16000	19260乗車	1	8:55:44	14343.26824	6632.722125	19260	2010/8/6	8496	19260降車	9:09:16	14333.18355	1955.248816
16001	19305乗車	1	9:00:11	14657.95409	4711.762645	19305	2010/8/6	8496	19305降車	9:13:30	15161.47062	2414.09366

6.4.2 利用者の設定

表 6.8 の情報を元に表 6.10 に示す利用者の入力パラメータに反映させる。

なお、ServiceTime は乗降時間を表し、地点到達時にかかる時間となる。本研究では 0.5(30 秒)を代入する。

表 6.9 利用者のパターンデータ項目

タイトル	内容	備考
ID	データごとの番号	
乗車 ID	予約 ID+”乗車”	
車両	実際の運行で用いた車両番号	1～6
乗車時刻	乗車した時刻	hh:mm:ss
乗車 x	乗車地点の緯度	度
乗車 y	” 経度	度
予約 ID	経路データの予約 ID	
日付	予約 ID の日付	yyyy/m/d
配車 ID_1	その予約 ID に配車 ID	
降車 ID	予約 ID+”降車”	
降車時刻	降車した時刻	hh:mm:ss
降車 x	降車地点の緯度	度
降車 y	” 経度	度
便	乗車時の時刻から設定した乗車希望便名	
開始	便の開始時刻	hh:mm:ss
終了	便の終了時刻	hh:mm:ss
日付便	日付+便	yyyymd 便
日付便車両	日付+便+車両	yyyymd 便 車両
曜日	その日付が何曜日か	1～7
開始日時	日付+便開始時刻	yyyy/m/d、hh:mm:ss
終了日時	日付+便終了時刻	yyyy/m/d、hh:mm:ss

表 6.10 利用者の入力パラメータ

入力項目	説明	備考
Name	乗車 ID、降車 ID	
TimeWindowStart	開始日時	(yyyy"年"m"月"d"日"、"h:mm:@)
TimeWindowEnd	終了日時	(yyyy"年"m"月"d"日"、"h:mm:@)
ServiceTime	サービスにかかる時間(乗降時間)	分

6.5 車両数の減少・車両の大型化による影響の分析

本節では車両数の減少、車両大型化によって利用者の所要時間、車両の走行距離にどのような影響があるかを検証する。

6.5.1 利用者の設定

本節の検証に用いる利用者のパターンを表 6.9 に示す。

本研究では4章で評価した最近隣距離分布のパターンの違いによる影響に着目し、同じ利用者数で最近隣距離パターンの異なる2つの日の利用者のパターンを抽出し検証をおこなう。

表 6.11 検証に用いる利用者のパターン

日付	利用者数	乗車平均	降車平均	合計
2010/4/27	110	4273.46	3828.90	8102.36
2010/7/6	110	3250.34	3233.29	6483.63

6.5.2 車両数を変更した場合

表 6.10 は本節で使う車両を示したものである。

表 6.12 車両数の変化の検証の設定

車両	車両種類	車両定員	運行方式	車両基地	
車両 1	セダン	4	一日運行	1	水海道ハイヤー
車両 2	セダン	4	一日運行	2	関鉄県南タクシー
車両 3	セダン	4	一日運行	3	石塚タクシー
車両 4	セダン	4	一日運行	4	絹西タクシー
車両 5	セダン	4	一日運行	5	三妻タクシー
車両 6	セダン	4	一日運行	6	野村タクシー

ここで、車両 6、車両 5..の順に減少させ、車両が不足した際の影響について検証を行う。

図 6.10 は車両減少時の利用者の乗車時間、図 6.11 は最大乗車時間の変化を示したものである。ここから以下のことがわかる。

- 車両が4台以下になると車両が不足し始め、平均所要時間、最大所要時間共に

上昇し始めている。

- 需要パターンが分散している 2010/7/6 のほうが平均・最大所要時間が高くなる。

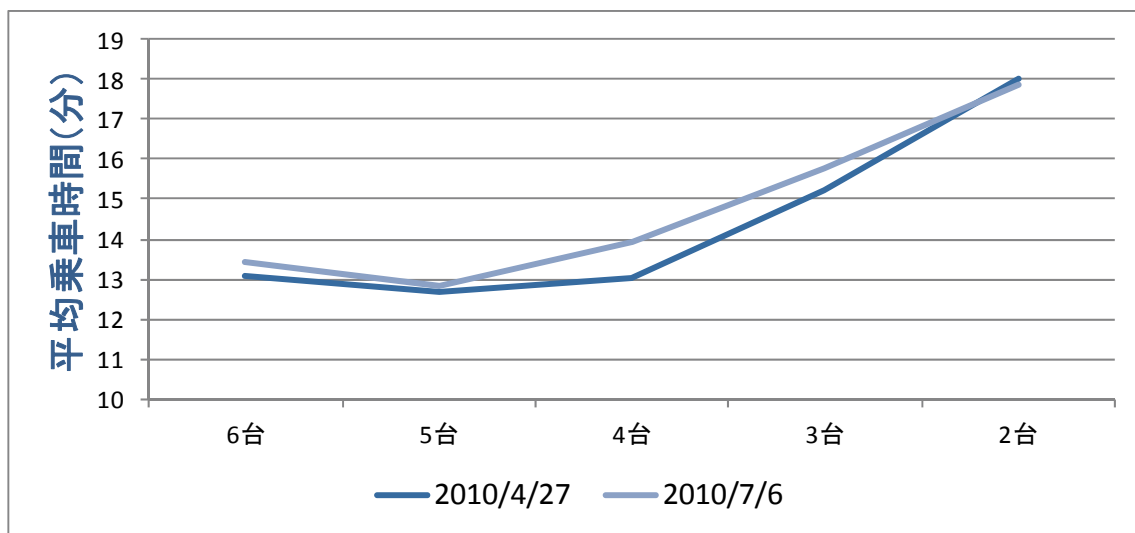


図 6.10 車両数減少時の平均乗車時間の変化

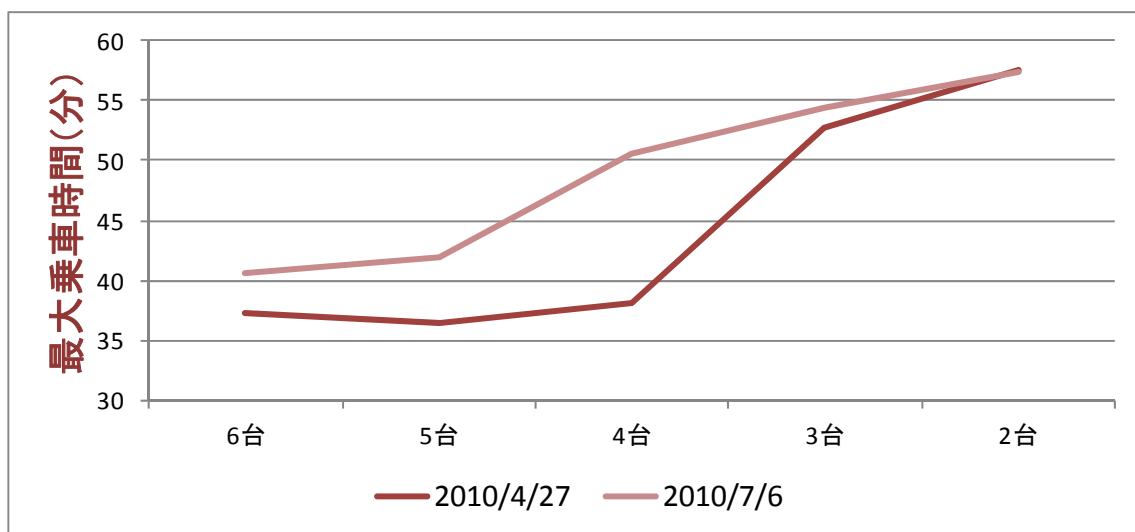


図 6.11 車両数減少時の最大乗車時間の変化

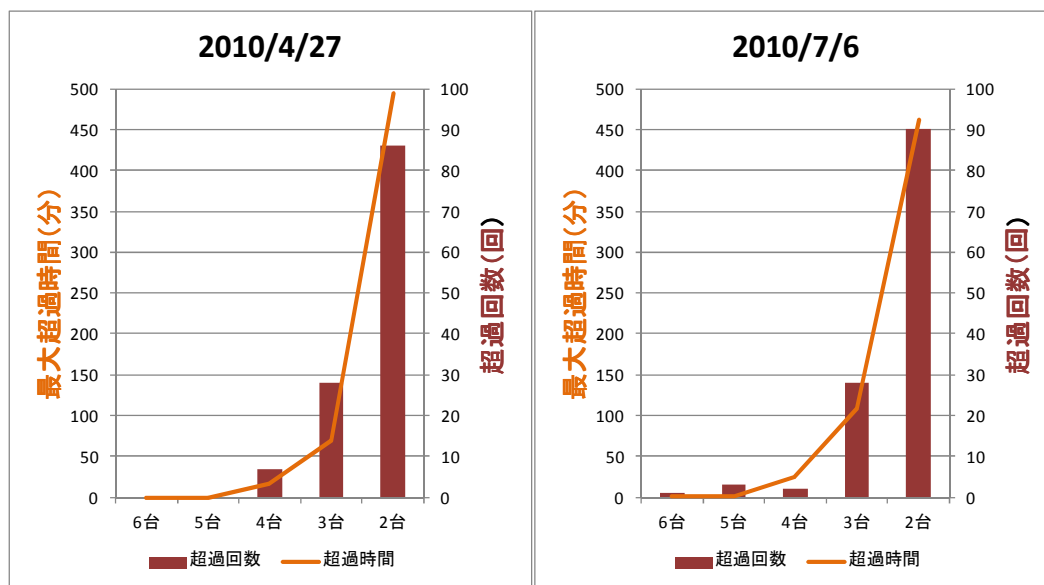


図 6.12 車両数減少時の最大超過時間、超過回数の変化

図 6.12 は最大の超過時間（希望乗車・降車時間から超過した時間）と超過回数（希望時間を超過した回数。乗車・降車を分けてカウント）を示したものである。ここから以下のことが分かる。

- それぞれ車両数が4台になると遅延が見られるようになる。3台、2台と減少するにつれその値が指数的に増加している。これは車両の不足によって遅延が累積しているためである。
- 需要が分散傾向にある 2010/7/6 の方が、車両が不足している際の遅延時間が大きい。

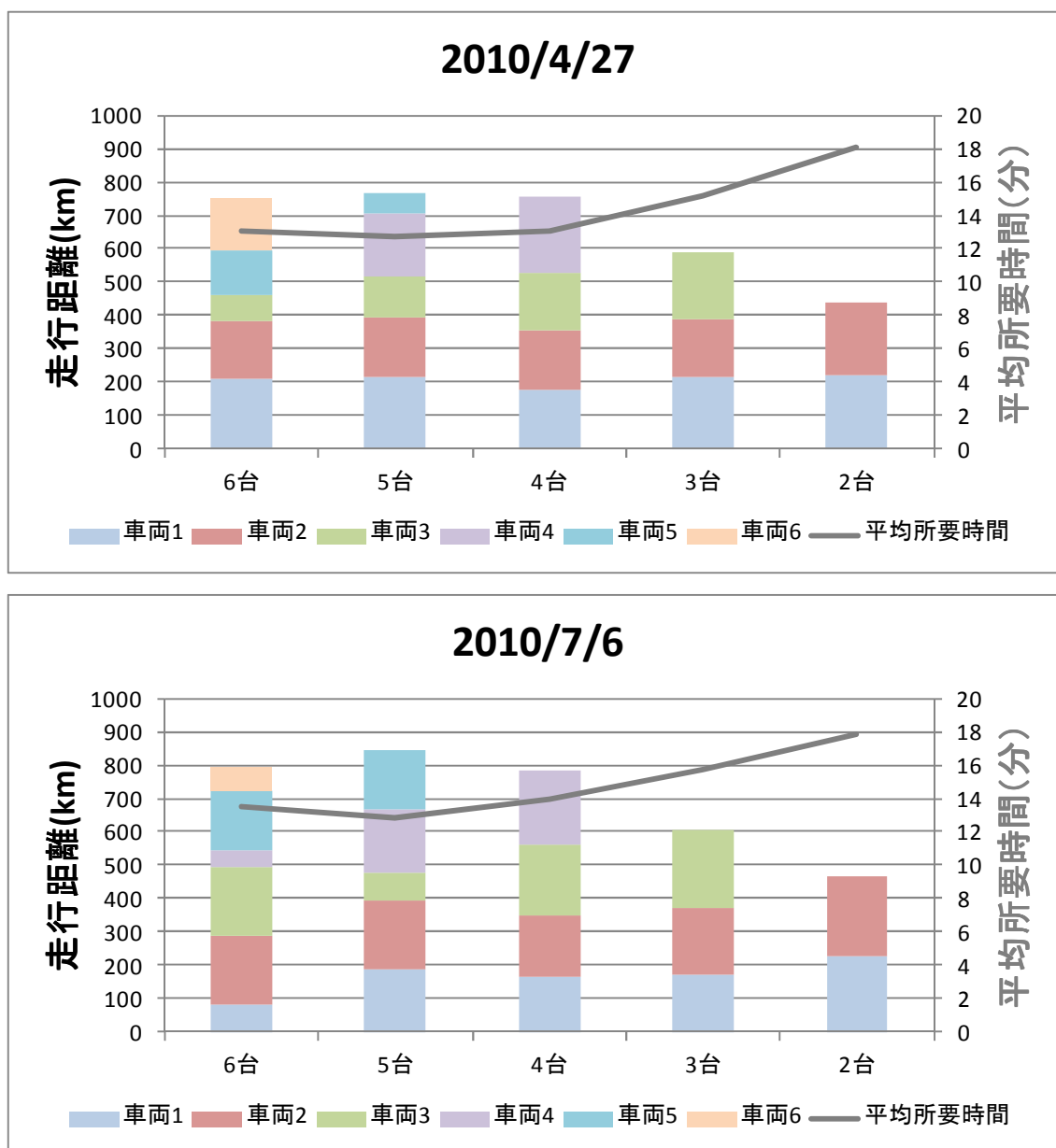


図 6.13 車両数減少時の走行距離、平均所要時間の変化

図 6.13 は車両別の走行距離の変化と平均所要時間の変化を示したものである。ここから以下のことが分かる。

- 平均時間が上昇すると走行距離が減少する。
- 需要が分散傾向にある 2010/7/6 の方が走行距離が長くなる。

6.5.3 車両定員を変更した場合

車両の大型化によって一度の運行による乗客が増加し、運行の柔軟性が上がることで予想される。本節では車両の大型化によってどのような影響があるか検証する。

表 6.3 に示す二種類の車両の影響を検証する。検証する内容として表 6.10 に示す①セダン型6台 ②セダン3台:ワゴン3台 ③ワゴン6台の3種類を設定する。利用者のパターンは前節と同様に表 6.10 を用いる。

表 6.13 車両定員の違いの影響

① セダン型6台					
車両	車両種類	車両定員	運行方式	車両基地	
車両 1	セダン	4	一日運行	1	水海道ハイヤー
車両 2	セダン	4	一日運行	2	関鉄県南タクシー
車両 3	セダン	4	一日運行	3	石塚タクシー
車両 4	セダン	4	一日運行	4	絹西タクシー
車両 5	セダン	4	一日運行	5	三妻タクシー
車両 6	セダン	4	一日運行	6	野村タクシー
② セダン型3台:ワゴン型3台					
車両	車両種類	車両定員	運行方式	車両基地	
車両 1	ワゴン	9	一日運行	1	水海道ハイヤー
車両 2	セダン	4	一日運行	2	関鉄県南タクシー
車両 3	ワゴン	9	一日運行	3	石塚タクシー
車両 4	セダン	4	一日運行	4	絹西タクシー
車両 5	ワゴン	9	一日運行	5	三妻タクシー
車両 6	セダン	4	一日運行	6	野村タクシー
③ ワゴン型6台					
車両	車両種類	車両定員	運行方式	車両基地	
車両 1	ワゴン	9	一日運行	1	水海道ハイヤー
車両 2	ワゴン	9	一日運行	2	関鉄県南タクシー
車両 3	ワゴン	9	一日運行	3	石塚タクシー
車両 4	ワゴン	9	一日運行	4	絹西タクシー
車両 5	ワゴン	9	一日運行	5	三妻タクシー
車両 6	ワゴン	9	一日運行	6	野村タクシー

6.5.4 計算結果

図 6.14 は車両定員損化時の利用者の乗車時間、図 6.15 は最大乗車時間の変化を示したものである。これより以下のことがわかる。

- 平均所要時間・最大所要時間で比較すると、全てをワゴンにするより、混合させた方が運行効率が高い。
- 全てをワゴン化すると平均所要時間、最大所要時間が上がり、逆に運行効率が下がる。

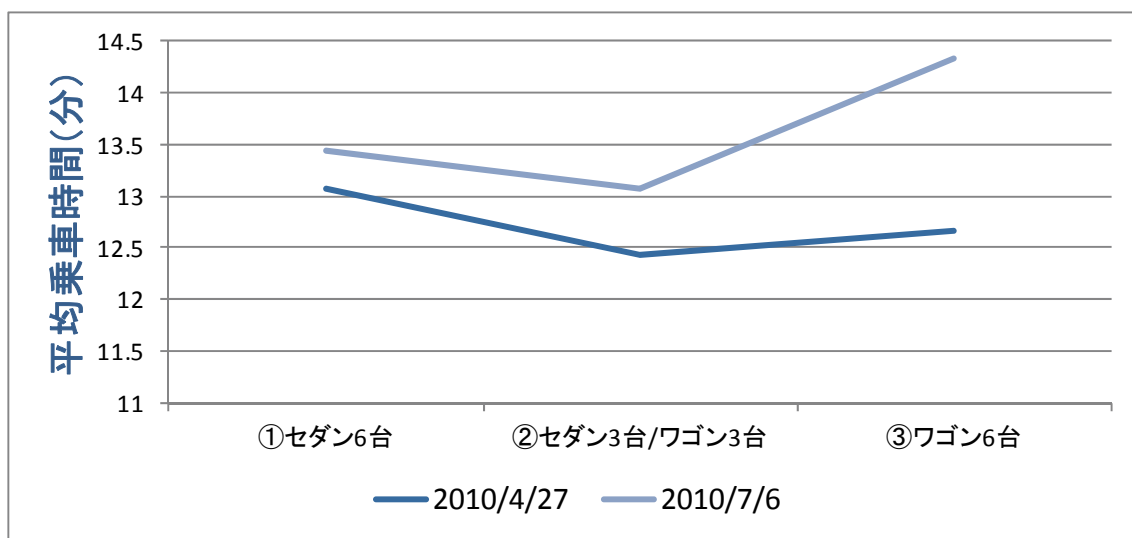


図 6.14 車両定員増加時の平均所要時間の変化

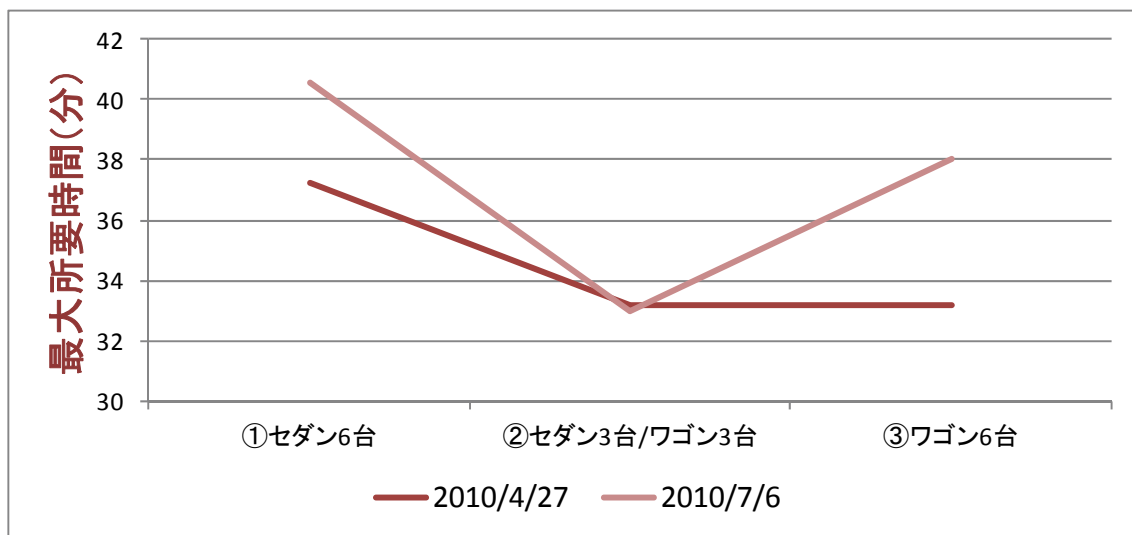


図 6.15 車両定員増加時の最大所要時間の変化

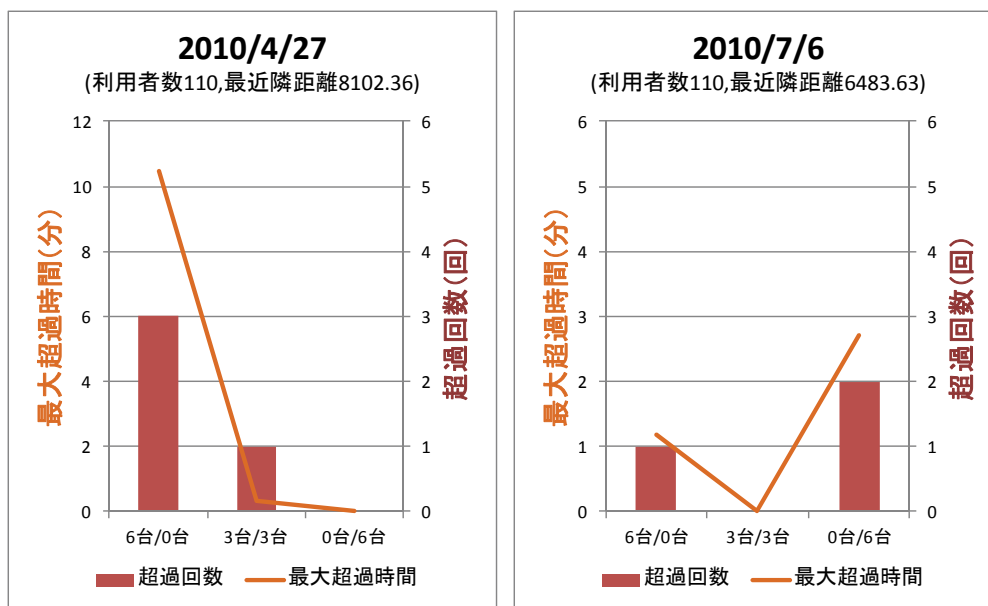


図 6.16 車両数減少時の最大超過時間、超過回数の変化

図 6.16 は最大の超過時間と超過回数を示したものである。ここから以下のことが分かる。

- 車両の大型化によって、需要が集中しているパターンの場合超過時間、超過回数が減少する。
- 需要が分散している 2010/4/27 のパターンの場合、大型車の数が多いほど超過回数が減少している。
- しかし、需要が分散している 2010/7/6 のパターンの場合、全ての車両を大型化してしまうと、超過回数、最大超過時間ともに増加してしまい、セダン・ワゴンの混合のパターンの方が効率が良い。

図 6.17 は車両別の走行距離の変化と平均乗車時間の変化を示したものである。これより以下のことが分かる

- 平均時間が上昇すると走行距離が減少する。これは走行距離を短くしようとすると、一回の乗車人数を増やし、それらを巡回するルートをとる必要があるためである。
- セダン型とワゴン型が混合する場合、ワゴン型の方（図中車両 1,3,5）が走行距離が長くなる。
- 平均乗車時間がもっとも短い②セダン 3 台/ワゴン 3 台のパターンの走行距離

が最も長い。

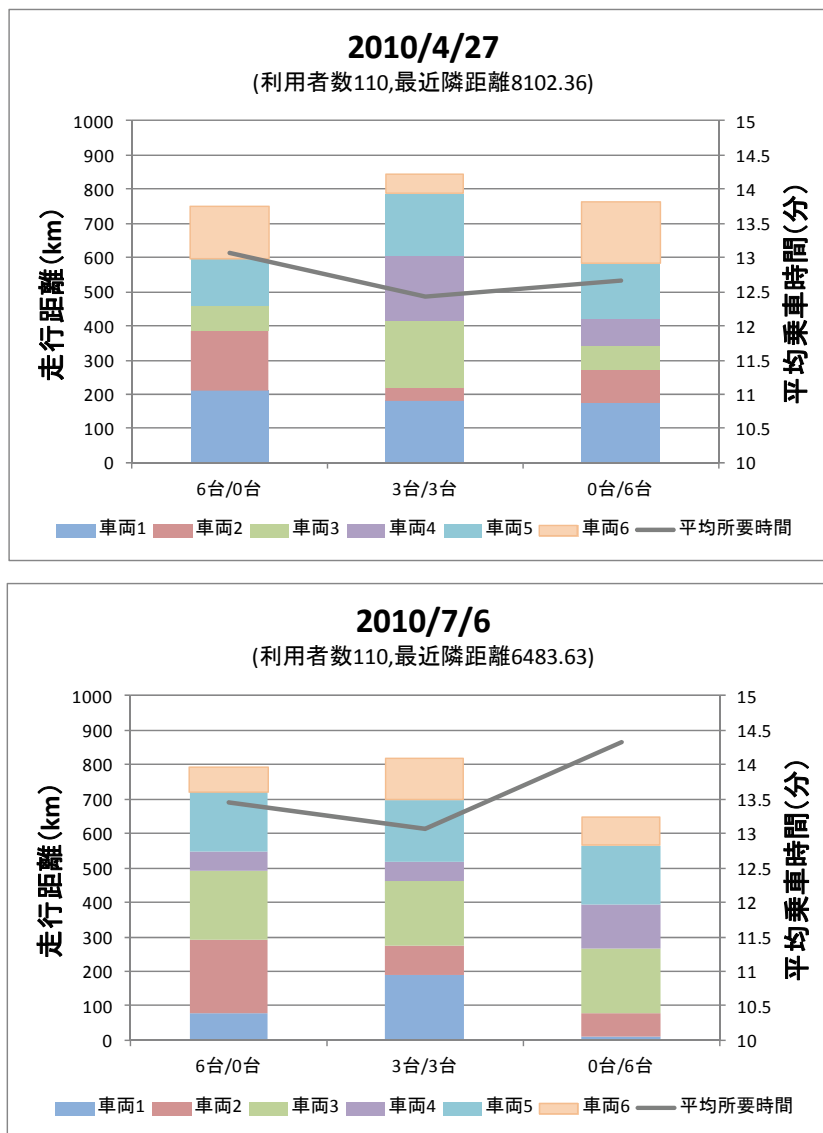


図 6.17 車両変更時の走行距離、平均乗車時間の変化

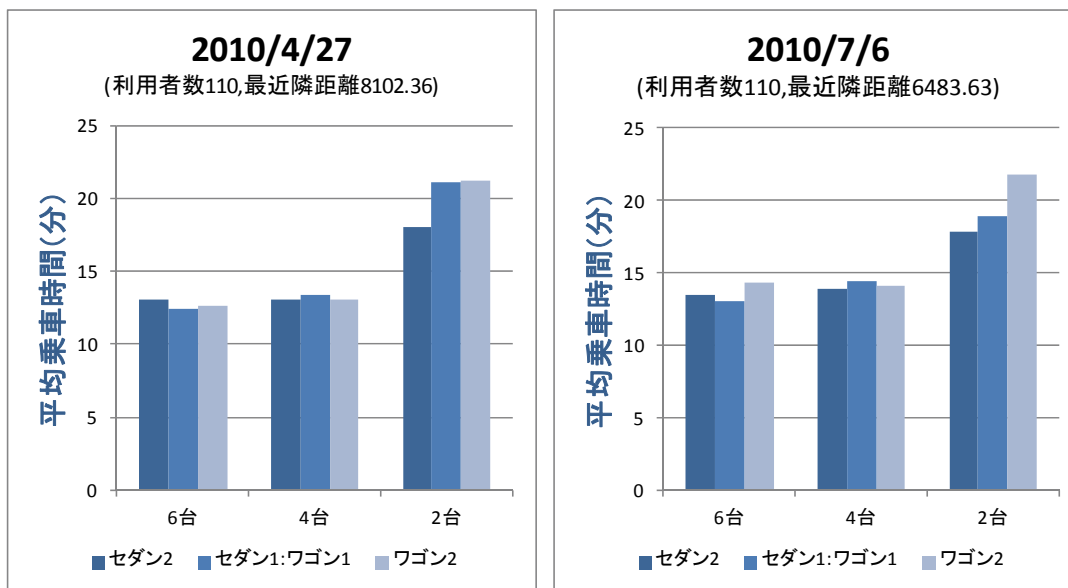


図 6.18 車両数が6台,4台2台で車両定員を変化させた場合の平均乗車時間

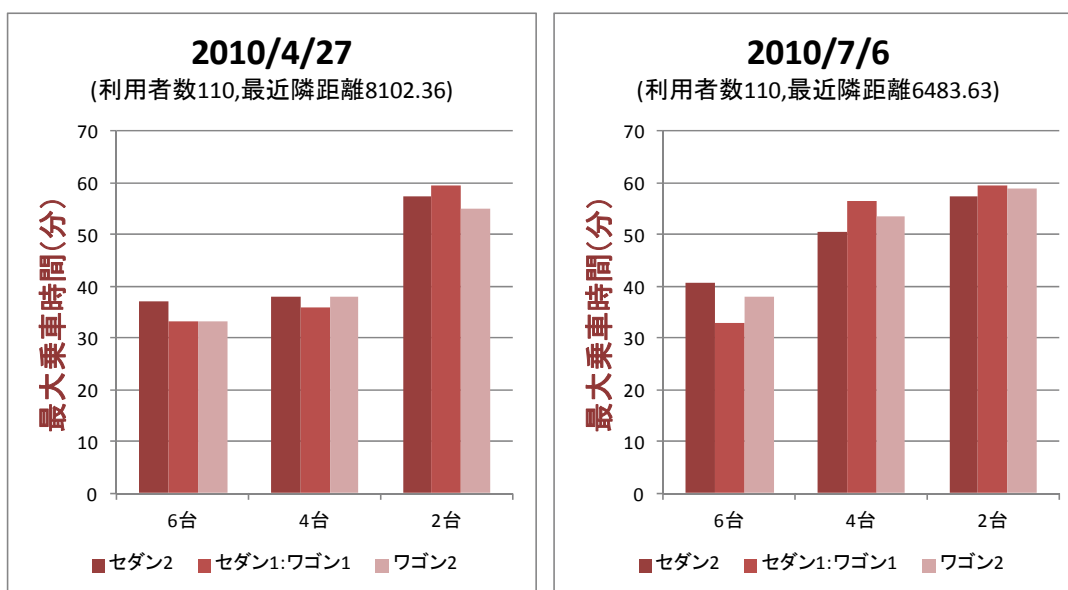


図 6.19 車両数が6台,4台2台で車両定員を変化させた場合の最大乗車時間

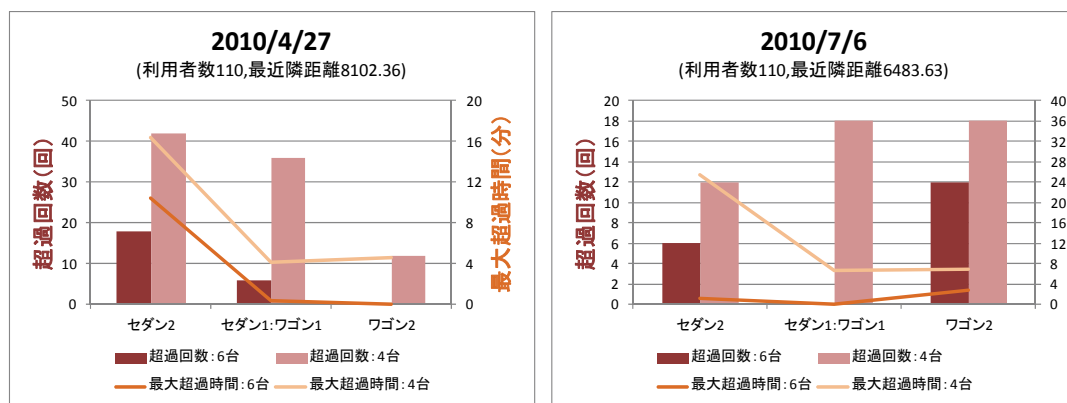


図 6.20 車両数が6台,4台2台で車両定員を変化させた場合の超過回数・最大超過時間

車両数が6台、4台、2台で、車両定員をセダンからワゴンに変更した場合の平均乗車時間を図 6.18、最大乗車時間を図 6.19、超過回数及び最大超過時間を図 6.20 に示す。なお、超過回数・最大超過時間に関しては6台、4台のみの検討を行う。

これらを見ると以下のことがわかる。

- 車両台数が十分に提供されていて、セダン型のみでも運行が可能である場合は一部車両を大型化することによって平均・最大乗車時間を減少する、あるいは希望時間超過の回数を減少することができる。
- しかし、全てを大型化すると逆効果になってしまう。
- また、車両が不足している場合は大型化によって平均乗車時間が増加してしまう。

6.6 一週間の需要パターンを用いた検証

前節では同じ利用者数で最近隣距離の平均値が異なる場合により、車両数・大型化の検証を行ったが、利用者数も当然ながら日によって異なり、長期間の検証が求められること、また、セダン型とワゴン型では車両にかかるコストが異なることも考慮に入れる必要がある。

そこで本節では、一週間の需要パターンをそのまま抽出した検証を行う。また、本節では実際の提供費用を考慮し、一定の予算枠内での車両台数と車両定員の変更を行い、その違いを検証する。

6.6.1 提供費用を考慮した車両の大型化と車両数変更の比較

ふれあい号の車両は、現在、表 6.14 の金額で各タクシー会社から借上げを行っている。2011 年 6 月まではセダン型 3 台、ワゴン型 3 台で一日 8 時間の運行を行っていた。しかし、お昼の時間帯にドライバーが休憩をとる関係で、昼の 4 時間のみ増便を 2011 年 7 月より行っている。

表 6.14 ふれあい号車両借り上げ費用

車両種類	借上げ金額
セダン型	2500 円/時間
ワゴン型	2750 円/時間

しかし車両を借り上げるパターンは例えば全てをセダン型、ワゴン型にする等様々な方式が考えられる。そこで本検証では、セダン 3 台・ワゴン 3 台の提供パターンを基準とし、そこから車両をどのように増加させるのが良いか検討する。

2011 年 7 月から運行を開始しているセダン 3 台+4 時間運行 1 台・ワゴン 3 台の一日の借上げ費用は 136,000 円となっている。この費用に収まるように異なる車両の提供パターンを考慮した。車両の提供パターンは全てセダン型の A:セダン型 6 台+2 時間運行 2 台、B:セダン型 3 台+4 時間運行 1 台・ワゴン型 3 台、C:ワゴン型 6 台とした。これらとセダン型 3 台・ワゴン型 3 台の 4 パターンによる比較を行う。

表 6.15 車両の設定・現行

現行:セダン型3台:ワゴン型3台					
車両	車両種類	車両定員	運行方式	車両基地	
車両 1	ワゴン	9	一日運行	1	水海道ハイヤー
車両 2	セダン	4	一日運行	2	関鉄県南タクシー
車両 3	ワゴン	9	一日運行	3	石塚タクシー
車両 4	セダン	4	一日運行	4	絹西タクシー
車両 5	ワゴン	9	一日運行	5	三妻タクシー
車両 6	セダン	4	一日運行	6	野村タクシー

表 6.16 車両の設定・A

A:セダン型6台:セダン型時間限定2台					
車両	車両種類	車両定員	運行方式	車両基地	
車両 1	セダン	4	一日運行	1	水海道ハイヤー
車両 2	セダン	4	一日運行	2	関鉄県南タクシー
車両 3	セダン	4	一日運行	3	石塚タクシー
車両 4	セダン	4	一日運行	4	絹西タクシー
車両 5	セダン	4	一日運行	5	三妻タクシー
車両 6	セダン	4	一日運行	6	野村タクシー
車両 7	セダン	4	2h 運行	1	水海道ハイヤー
車両 8	セダン	4	2h 運行	2	関鉄県南タクシー

表 6.17 車両の設定・B

B:セダン型3台:ワゴン型3台:セダン型時間限定1台					
車両	車両種類	車両定員	運行方式	車両基地	
車両 1	ワゴン	9	一日運行	1	水海道ハイヤー
車両 2	セダン	4	一日運行	2	関鉄県南タクシー
車両 3	ワゴン	9	一日運行	3	石塚タクシー
車両 4	セダン	4	一日運行	4	絹西タクシー
車両 5	ワゴン	9	一日運行	5	三妻タクシー
車両 6	セダン	4	一日運行	6	野村タクシー
車両 7	セダン	4	4h 運行	1	水海道ハイヤー

表 6.18 車両の設定・C

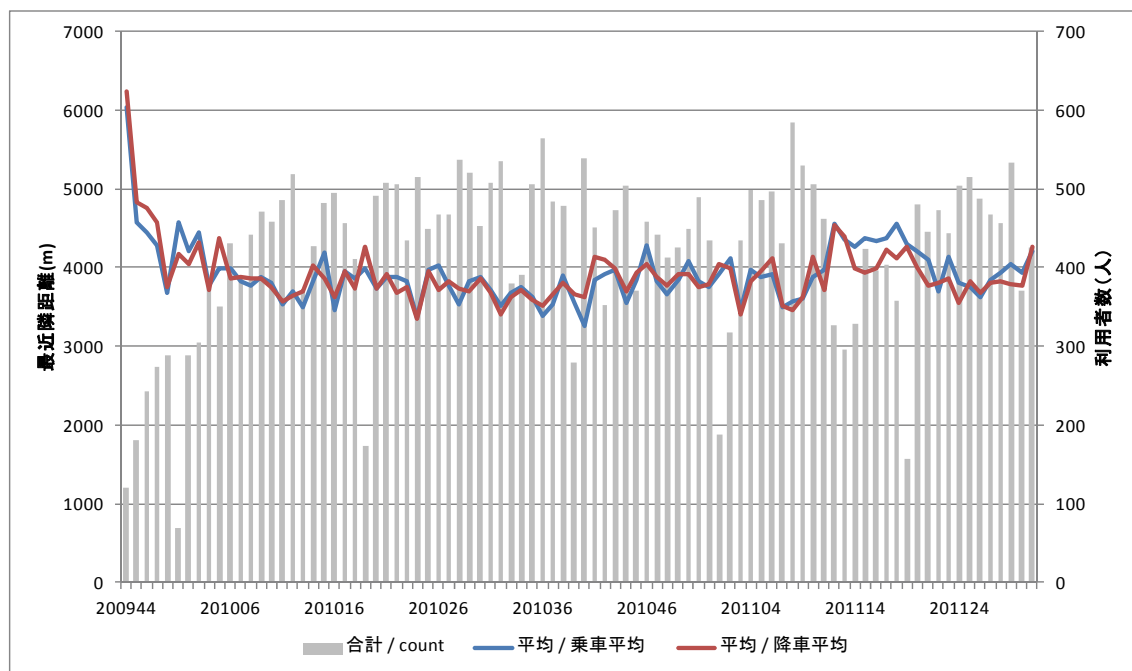
C:ワゴン型6台					
車両	車両種類	車両定員	運行方式	車両基地	
車両 1	ワゴン	9	一日運行	1	水海道ハイヤー
車両 2	ワゴン	9	一日運行	2	関鉄県南タクシー
車両 3	ワゴン	9	一日運行	3	石塚タクシー
車両 4	ワゴン	9	一日運行	4	絹西タクシー
車両 5	ワゴン	9	一日運行	5	三妻タクシー
車両 6	ワゴン	9	一日運行	6	野村タクシー

6.6.2 一週間の需要パターンの抽出

本節で用いる需要パターンを表 6.19 に示す。検証に用いるのは 2010/11/29～2010/12/3 の 5 日間である。図 6.21 に示す週ごとの利用者数、乗車・降車の最近隣距離の最も平均に近い値を示していて、平均的な需要パターンであると考えられるため、この週を抽出している。これより車両パターン・日付ごとに配車ルート解析を行う。それぞれの平均・最大乗車時間、希望時間の超過回数・最大超過時間、車両の走行距離の比較を行い、どのパターンが優位であるか検討する。

表 6.19 一週間の需要パターン

日付	利用者数	乗車平均	降車平均	合計
2010/11/29	79	4390.06	4220.25	8610.31
2010/11/30	100	3357.33	3634.88	6992.21
2010/12/1	71	4028.19	4902.86	8931.05
2010/12/2	81	3785.56	3502.25	7287.81
2010/12/3	94	3657.87	3291.18	6949.04
週計	425	3845.12	3919.55	7764.68



利用者数平均	420.40 人
最近隣距離乗車	3909.90m
最近隣距離降車	3892.45m

図 6.21 週ごとの利用者数、乗車・降車の最近隣距離

6.6.3 計算結果

図 6.21 は車両提供パターンの違いによる平均乗車時間の差を、図 6.23 は最大乗車時間の差を比較したものである。これを見ると以下のことがわかる。

- 提供量を増加させた場合の方が平均・最大乗車時間共に減少している。しかし、前節での結果と同様に、全てをワゴン型にした場合にはその効果は少なくなってしまう。
- 2010/12/1 のパターンの時は平均・最大乗車時間ともに提供量を多くした場合の方が高くなっている。これはこの日の利用者数は 71 人と少なく、現行の車両数でも提供量は十分であるため、走行距離に対してより効率的な運行を行うルーティングがなされた結果だと考えられる。

図 6.24 は各日付の車両提供パターンの違いによる希望時間超過回数と最大超過時間を示したものである。ここから以下のことがわかる。

- 2010/11/29 のパターンのように車両が大型化することによって超過時間・超過回数ともに減少している場合もあるが、大型化によって増加している場合が多い。だが、超える時間は 1 分以下であることが多い。
- 台数が最も多い A パターンにおいては 5 日間を通じて超過回数が 0 であり、最も良い結果を示している。

図 6.25 は各日付の車両提供パターンの違いによる走行距離と平均所要時間を示したものである。ここから以下のことがわかる。

- 前節の検証で平均乗車時間と総走行距離トレードオフの関係にあると考えられるとあったが、利用者数に対して提供量が多い 11/29、12/1 の場合、走行距離・平均乗車時間共に減少している場合もあり、必ずしもその関係にならない。

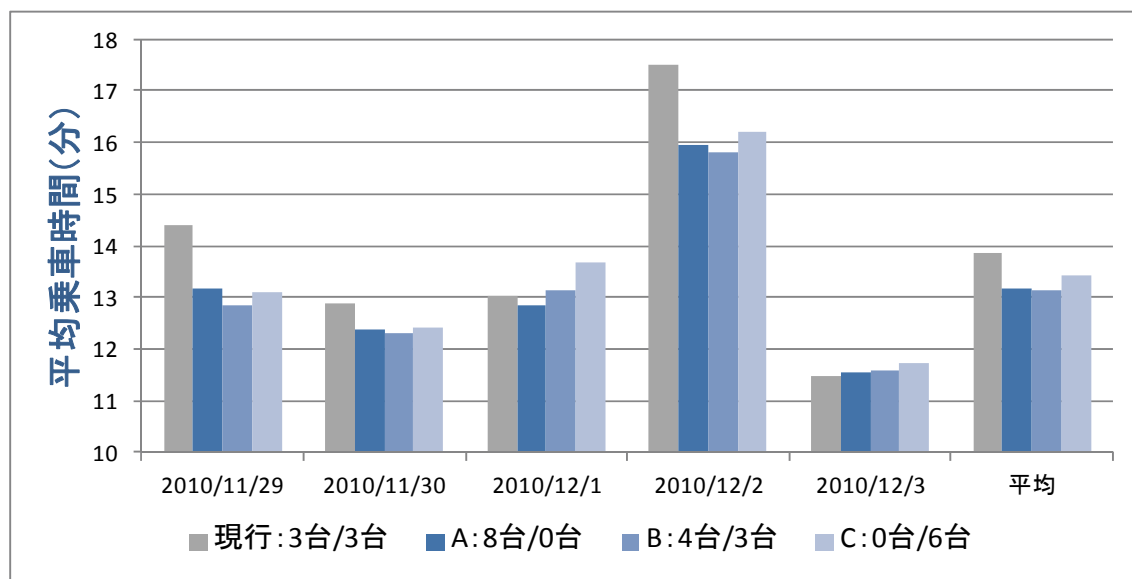


図 6.22 車両提供パターンの違いによる平均乗車時間の比較

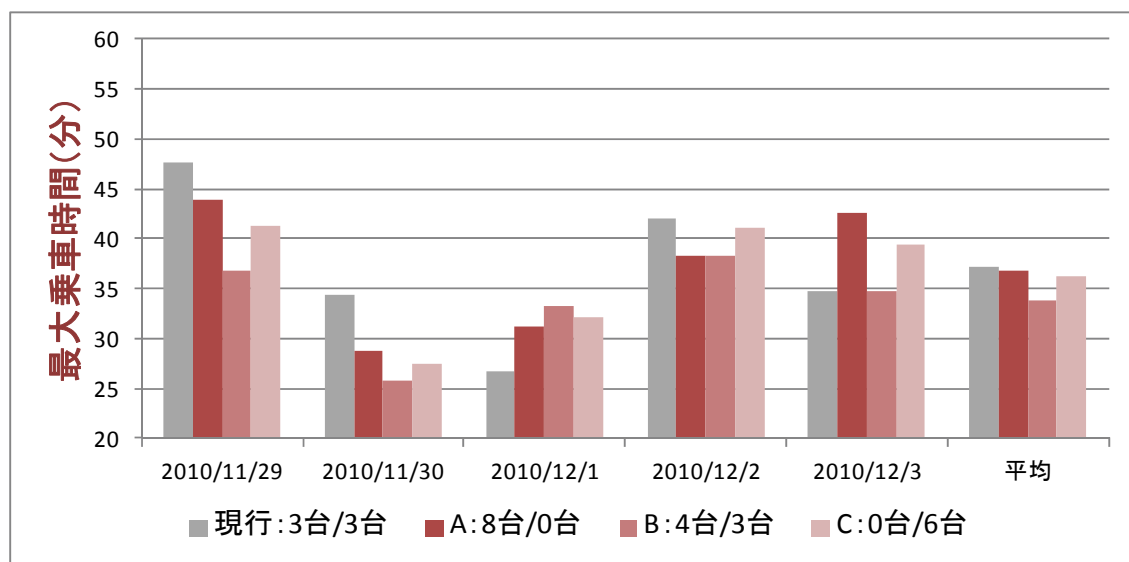


図 6.23 車両提供パターンの違いによる最大乗車時間の比較

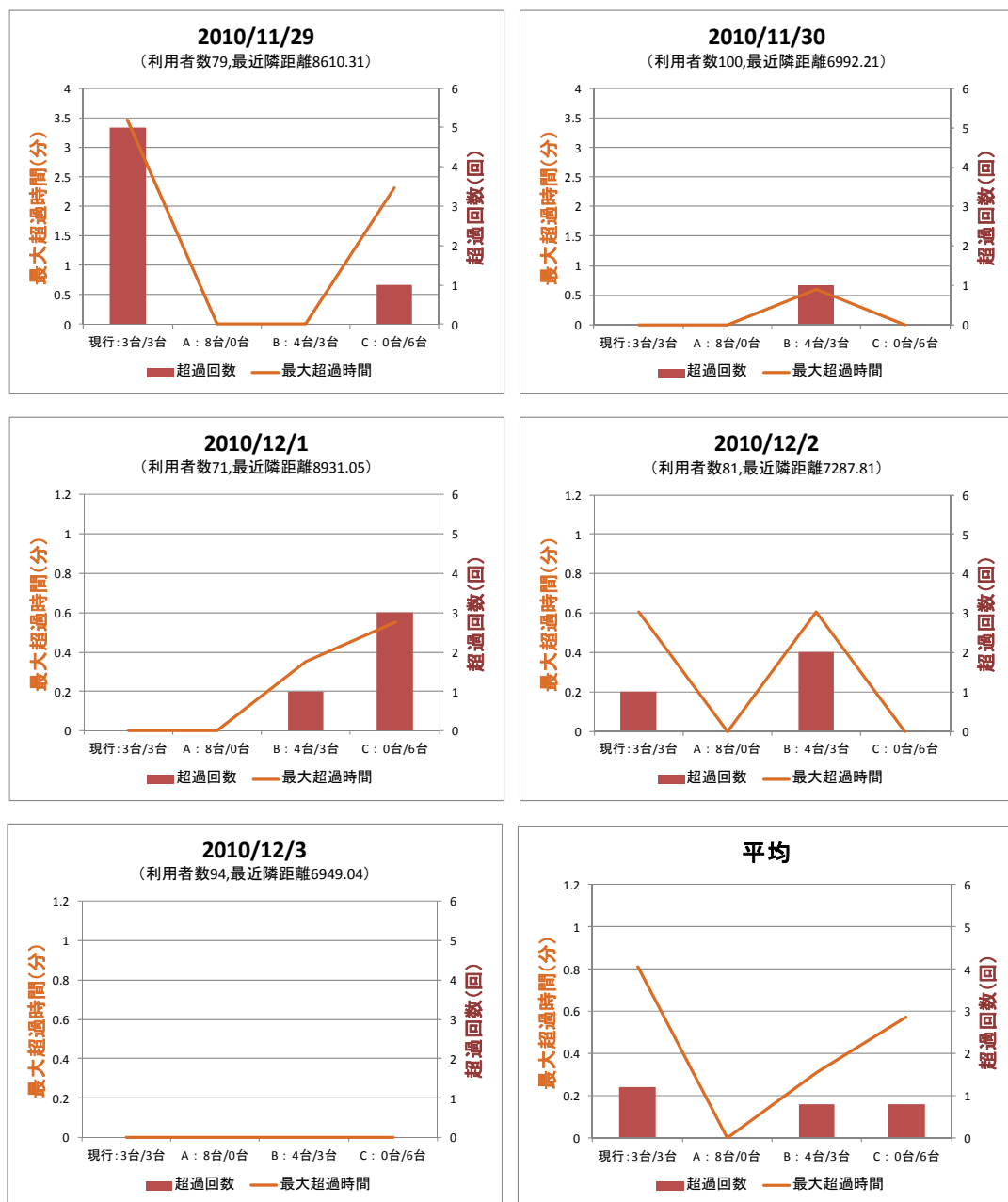


図 6.24 車両提供パターンの違いによる超過回数・最大超過時間

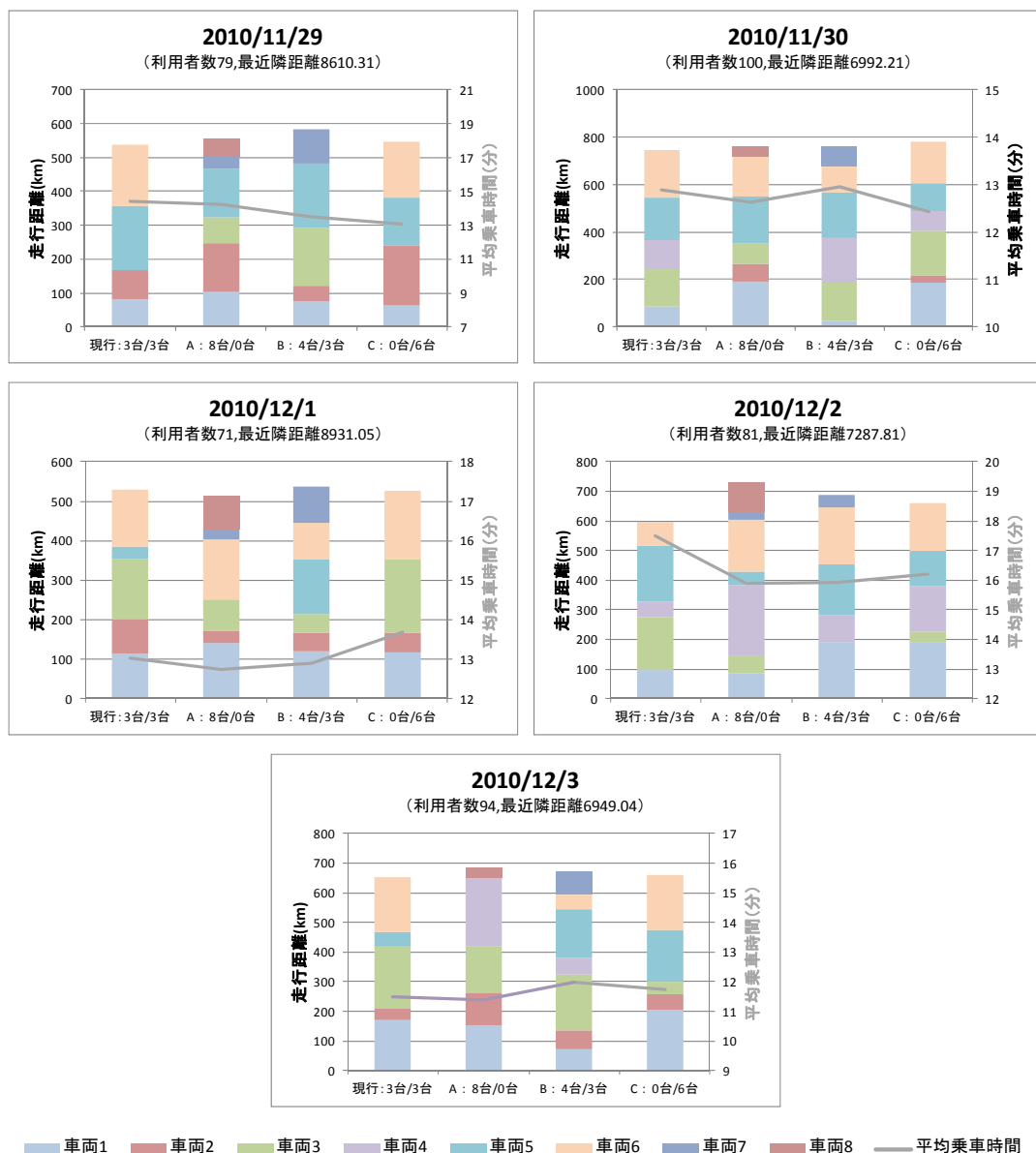


図 6.25 車両提供パターンの違いによる走行距離、平均乗車時間の変化

6.7 需要が増加した場合の検証

本節では 6.6 節の需要パターンと比較し、利用者数が増加した場合の検証を行う。

利用者数の増加によって、車両数・車両大型化のパターンの違いにどのような差が生じるかを検証する。

6.7.1 常総市将来人口

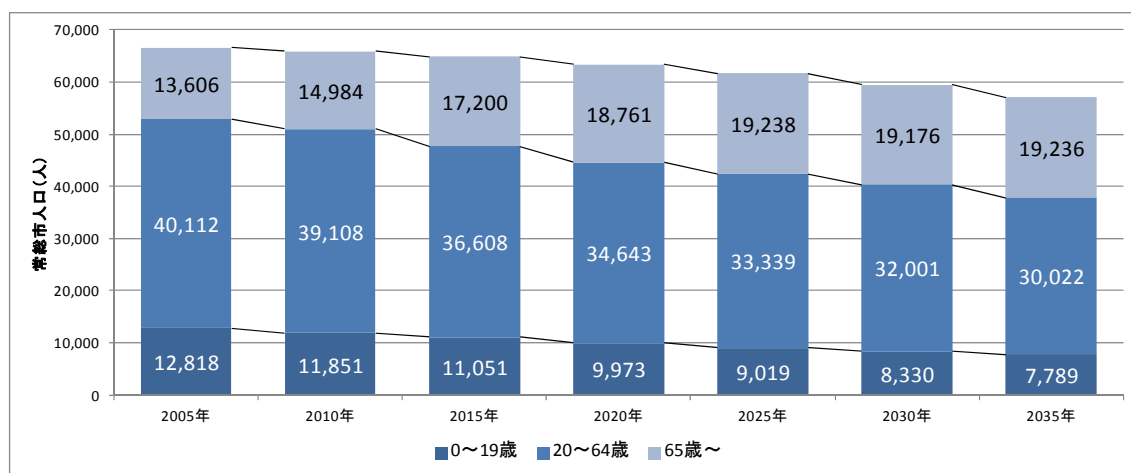


図 6.26 常総市の将来推計人口

社会保障・人口問題研究所「日本の市区町村別将来推計人口」（平成 20 年 12 月推計）

より作成

図 6.26 は常総市の将来推計人口を示したものである。これを見ると、総人口は減少の一途をたどっているが、高齢者は 2005 年を 1 とすると 2015 年には 1.26 倍、2025 年には 1.41 倍になるとされている。

4 章でも述べたようにデマンド型交通の利用者のほとんどは車の運転が困難な高齢者となっていて、高齢者が増えるということはそれだけ利用者数も多くなると考えられる。

そこで、前節で用いた 2010/11/29～2010/12/3 のパターンの利用者数を 1.26 倍、1.4 倍した場合考えられる需要パターンを別の日から抽出し、検証を行う。

6.7.2 2015 年、2025 年において想定される需要パターンによる検証

表 6.20 は表 6.17 の 2010/11/29～2010/12/3 のパターンをもとに、2015 年に想定される利用者のパターンを示したものの、表 6.21 は 2025 年に想定される利用者のパターンを示したものである。それぞれ利用者数が 1.26 倍、1.4 倍で最近隣距離の値が同程度の日を抽出した。

表 6.20 利用客のパターン・1.26 倍

日付	引用元	利用者数	乗車平均	降車平均	合計
1 日目	2010/10/13	100	4410.11	4646.16	9056.27
2 日目	2010/7/21	125	3438.34	3704.07	7142.41
3 日目	2010/5/12	90	3755.08	3979.18	7734.26
4 日目	2010/10/15	102	3525.67	3690.53	7216.20
5 日目	2011/2/22	118	3559.20	3626.86	7186.06
計		535	3737.68	3929.36	7667.04

表 6.21 利用客のパターン・1.4 倍

日付	引用元	利用者数	乗車平均	降車平均	合計
1 日目	2011/7/22	112	4148.80	4099.07	8247.88
2 日目	2011/2/16	136	3076.50	3228.08	6304.58
3 日目	2010/10/13	100	4410.11	4646.16	9056.27
4 日目	2010/4/28	114	3550.62	3932.45	7483.07
5 日目	2010/8/6	132	3565.22	3448.79	7014.01
計		594	3750.25	3870.91	7621.16

6.7.3 計算結果

図 6.28 は平均乗車時間の変化を、図 6.29 は最大乗車時間の変化を示したものである。ここから以下のことがわかる。

- 乗車時間に関してはいずれの需要パターンにおいても現行のパターンに比べ、車両台数を増加させた A,B の提供パターンは乗車時間が減少していることがわかる。そして、運行している車両台数の多い A プランの方が乗車時間が減少していることが確認された。
- しかし、全てを大型化した C の場合は平均・最大乗車時間が増加してしまい、現行パターンと比較し逆効果となっている。

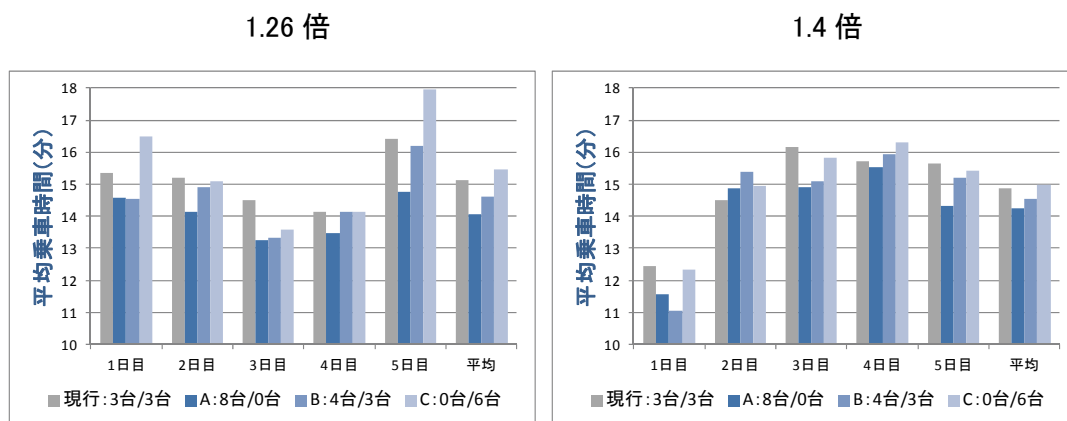


図 6.27 需要増加時における車両パターンの違いによる平均乗車時間の変化

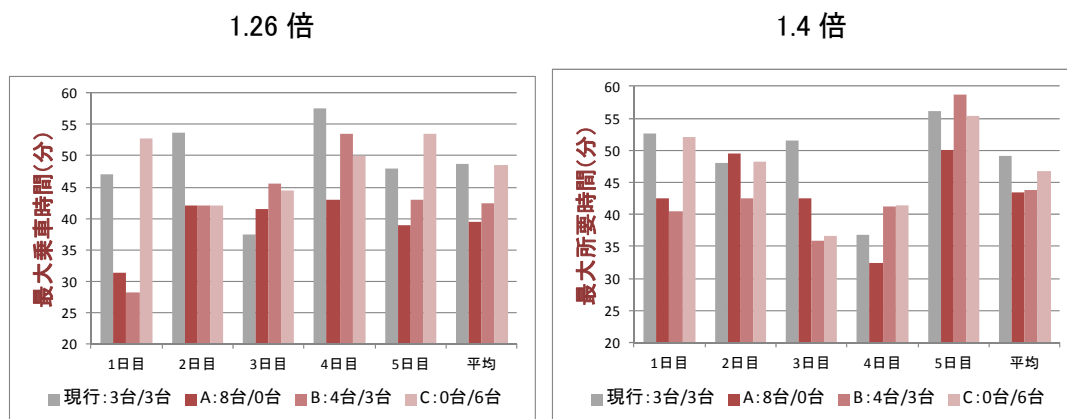


図 6.28 需要増加時における車両パターンの違いによる最大乗車時間の変化

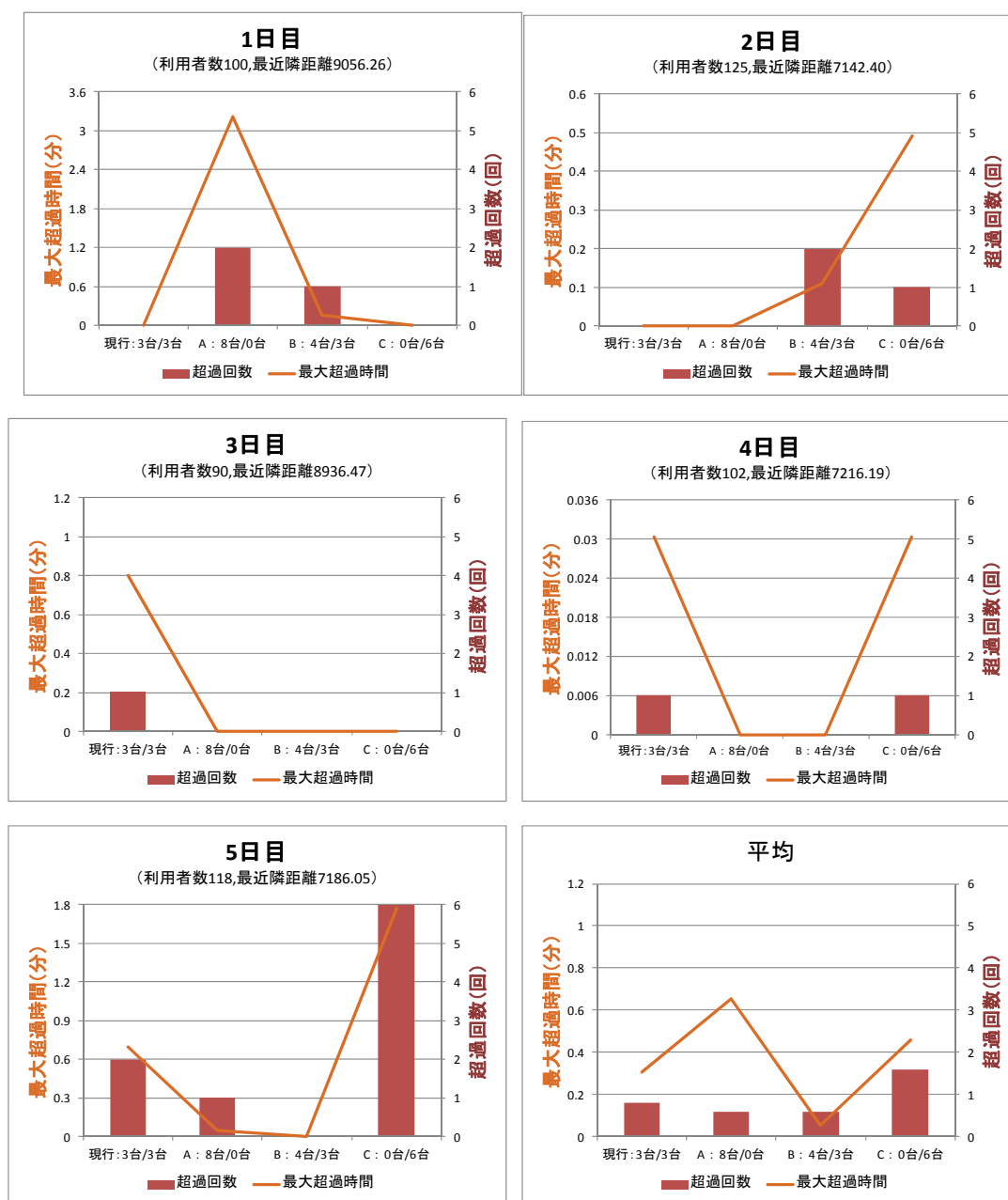


図 6.29 2015 年に推定される需要パターンでの最大超過時間、超過回数の変化

図 6.29 は 2015 年推定の需要パターンにおける最大の超過時間と超過回数を示したものである。これを見ると、以下のことが分かる。

- 図 6.24 の現状の需要パターンと比べ、希望時間を超過する人数・超過時間ともに増加しているが、最大の超過時間でも 1 分を下回る小さいものであることが多い。

- 最近隣距離の値が小さく、利用者の出発地・目的地が分散している4日目のような需要の場合は車両の大型化によって超過回数・超過時間ともに増加していることがわかる。
- 平均で見ると、大型車両と小型車両を混合させたBの提供パターンが最も低い値を示している。

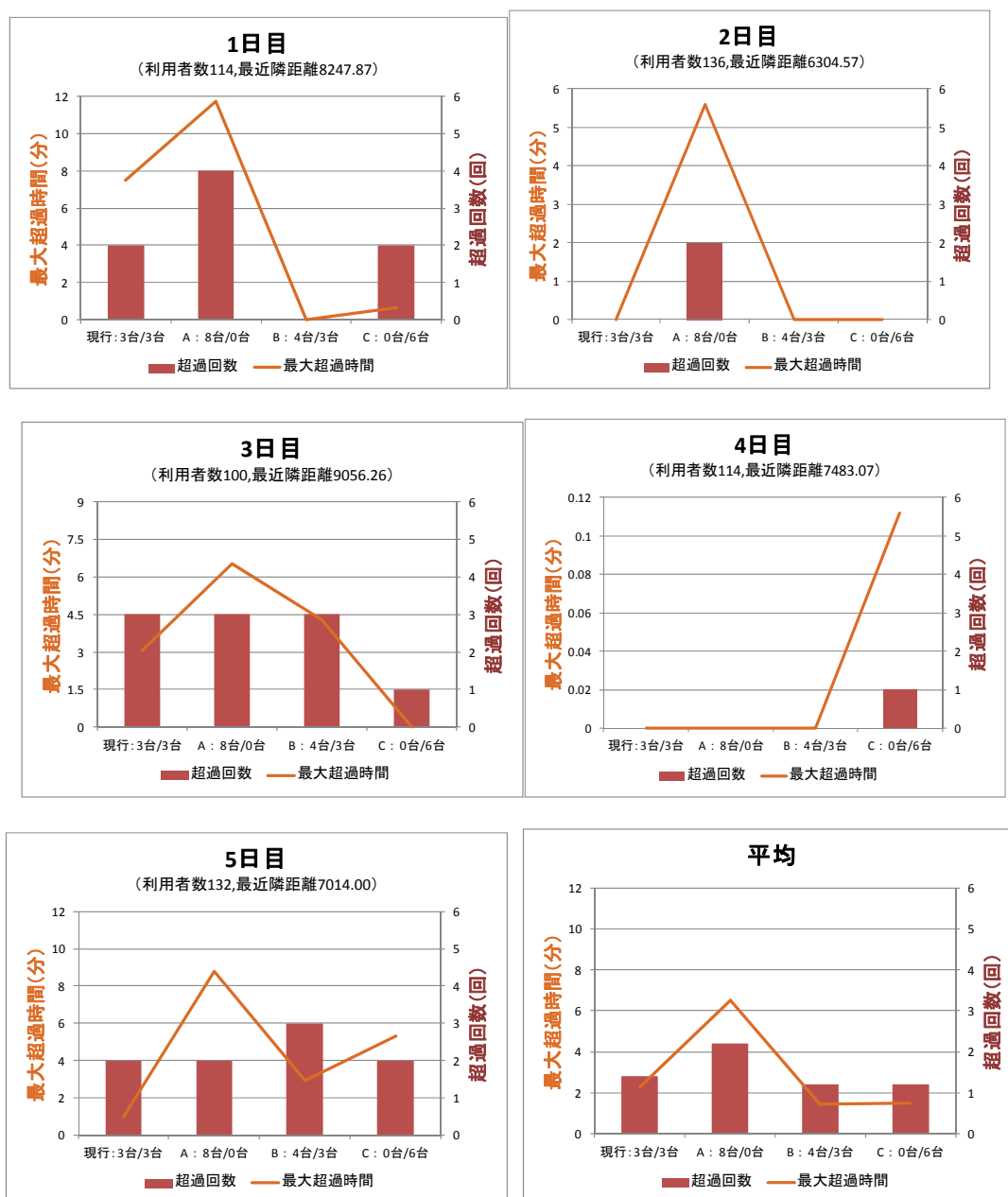


図 6.30 2025年に推定される需要パターンでの最大超過時間、超過回数の変化

図 6.30 は 2025 年推定の需要パターンにおける最大の超過時間と超過回数を示したものである。これを見ると、

- 利用客の増加によって図 6.29 以上に最大の超過時間が増加しているが、現行のセダン型 3 台、ワゴン型 3 台による運行でも車両の不足状況は見られない。
- 三日目のように最近隣距離の値が大きくなっている場合だけでなく、最近隣距離の値が小さく、利用者の出発地・目的地が分散している二日目の需要のような場合であっても大型化によって超過回数・超過時間の減少が見られる。
- 平均した値で比較すると 2015 年推定の需要パターン同様、大型・小型車両が混合する B パターンが最も低い値を示している。

図 6.31 は 2015 年に、図 6.32 は 2025 年に推定される需要パターンでの車両走行距離である。これを見ると以下のことがわかる。

- 前節の検証同様、平均時間が上昇すると走行距離が減少するトレードオフ関係にあり、セダン型とワゴン型が混合する場合、ワゴン型の方（図中車両 1,3,5）がセダン型車両よりも走行距離が長くなっている。

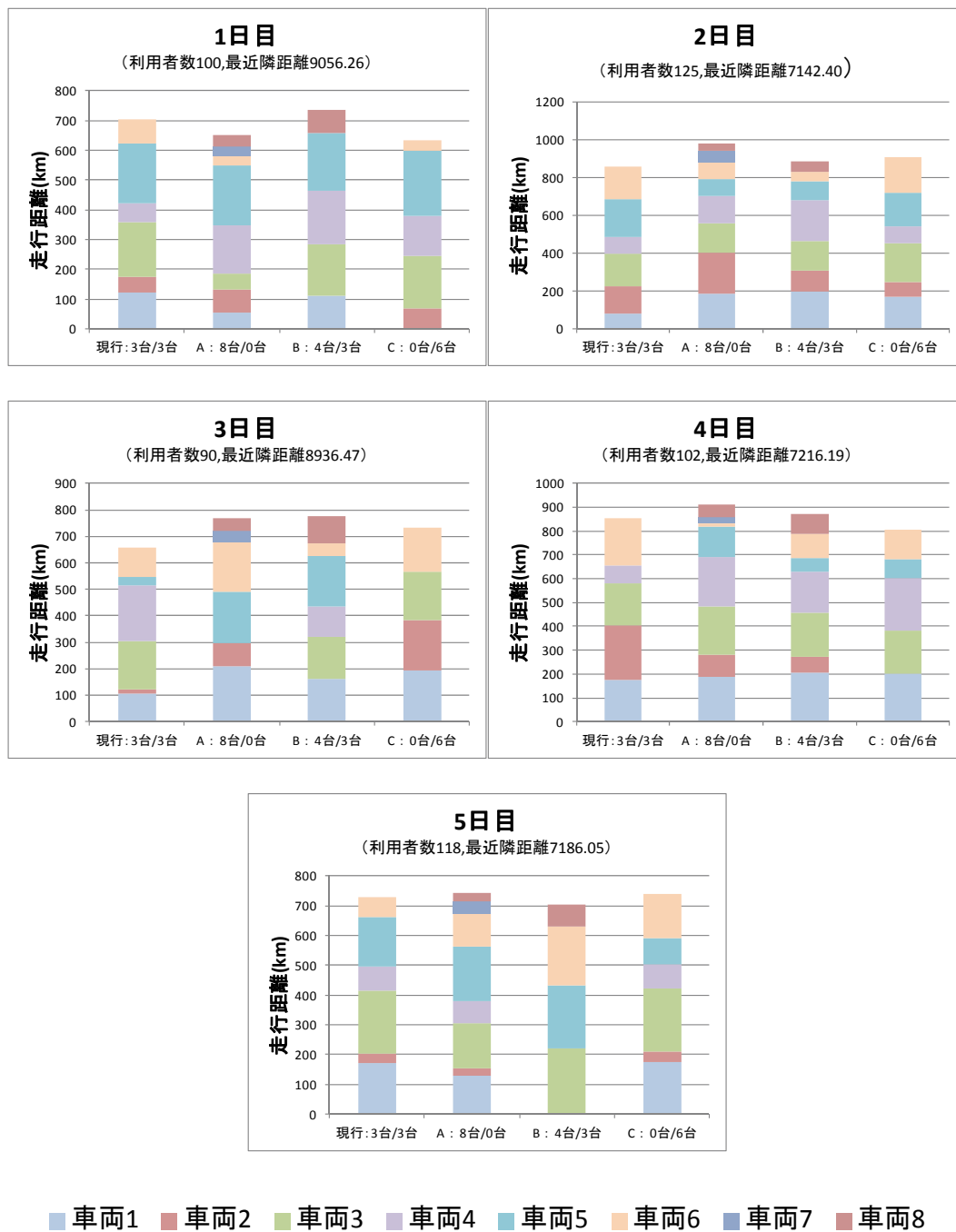


図 6.31 2015 年に推定される需要パターンでの車両走行距離

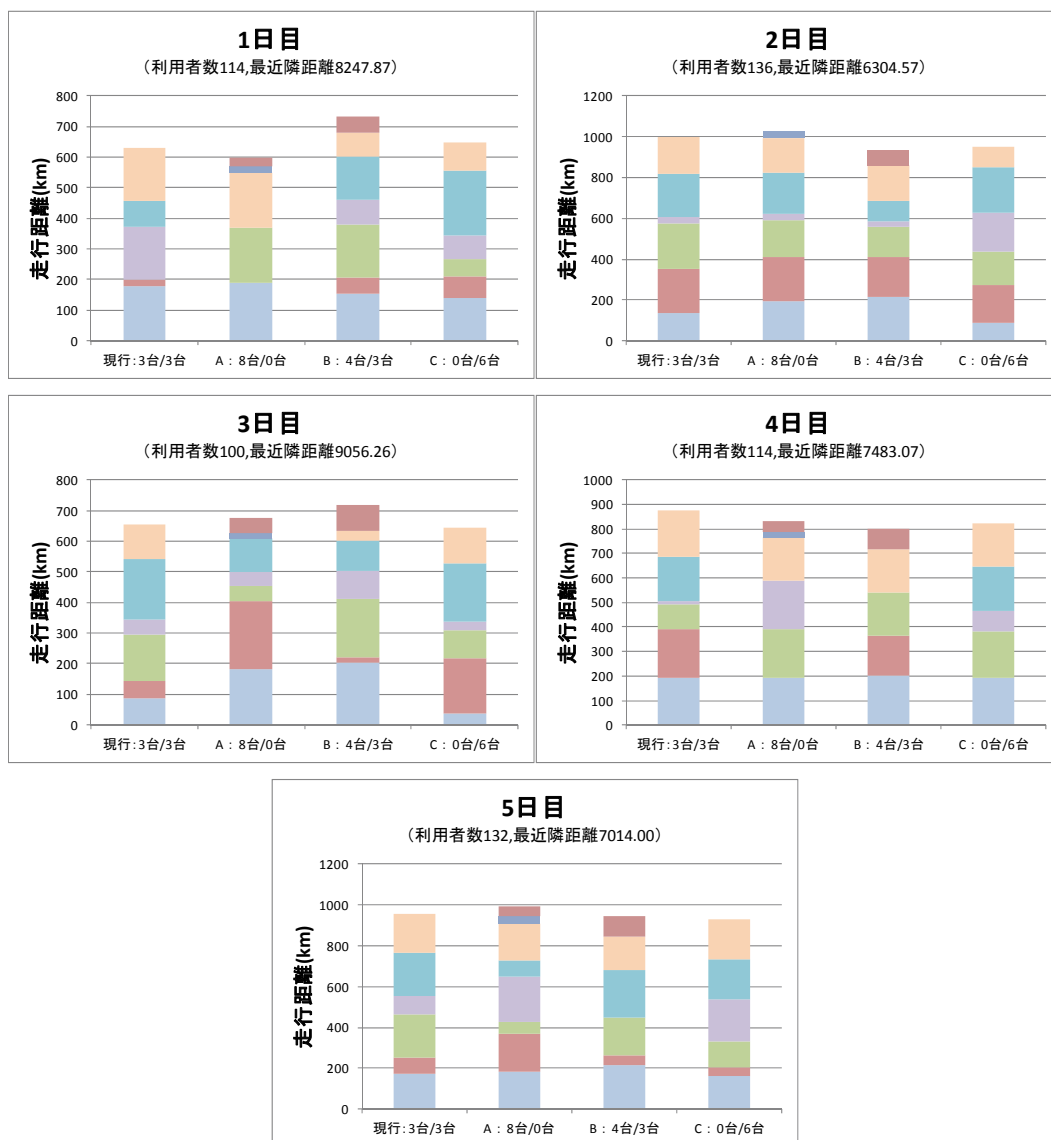


図 6.32 2025 年に推定される需要パターンでの車両走行距離

6.8 環境指標を用いたコミュニティバスとデマンド型交通の比較

本節ではふれあい号が運行する以前に運行を行っていたコミュニティバス「福祉循環バス」の概要を示し、利用者がコミュニティバスを利用した場合と、デマンド型交通を利用した場合の利用者の乗車時間とその際の運行距離、それに応じた CO₂ 排出量、燃料消費量を計測し、その比較を行う。

6.8.1 コミュニティバス「福祉循環バス」

常総市が合併する以前、旧水海道市では 1996 年から、旧石下町では 2001 年から定時・定路線の運行を行う福祉循環バスを運行し、市内の交通空白地帯をカバーしてきた。しかし 2002 年から利用者数が減少傾向にあり、両自治体が合併し、両地域をまたぐ運行経路、運行本数の増加、運行時間の延長（早朝や夕方）を求める要望が市民から出されたが、合併後の縦長な地理的状况から、バスであると運行日数、便数の増加が必要で多額のコストがかかってしまうことが予想された。そのため、2009 年 10 月よりデマンド型交通「ふれあい号」に移行した経緯がある。

表 6.22 は福祉循環バス及びふれあい号の概要を比較したものである。福祉循環バスは市内 9 路線、それぞれ週 2 回、水海道地区 4 便/日、石下地区 2 便/日の隔日運行で、石下地区・水海道地区をまたがる路線は設定されておらず、その両地区をまたがる利用者は関東鉄道常総線を経由する必要があったのに対し、ふれあい号は平日 9 便/日、乗り換えの必要無く市内全域でドアトゥードアの輸送を行っている。運賃は福祉循環バスが無料であったのに対し、ふれあい号の利用料金は 250 円である。しかし、利用者は 4000 人程度ふれあい号が少ないものの、運賃の差があれどかなりの方が利用していることがわかる。

また、図 6.33 は福祉路線バスの停留所と、停留所間でルート検索を行い、最短経路で結んだルートを表したものである。そのため実際のルートとは異なる点がある。このように路線は 9 路線存在し、全て循環する経路であった。各路線約 60 分で一周するルートとなっている。

表 6.22 福祉循環バス・ふれあい号概要

	福祉循環バス	ふれあい号
運行日時	月曜日～土曜日 8:20～17:00	月曜日～金曜日 8:00～16:00
運行形態	市内 9 路線 週 2 回 2,4 便/日	市内全域をデマンド運行 9 便/日
運行開始・ 終了期間	水海道地区 1996/6/1 ～2009/10/26 石下地区 2001/4/1～ ～2009/10/26	2009/10/26～
車両	水海道地区：中型バス (定員 50 人) 2 台 石下地区：マイクロバス (定員 29 人) 1 台	ジャンボタクシー型車両 (定員 10 人) 3 台 セダン型車両 (定員 5 人) 4 台 ※うち 1 台は 11 時～13 時の 限定運行
運賃	無料	250 円
経費	初期投資額 14,036 千円 年間運行費 17,656 千円	事業費 46,099 千円 (市の負担額は 19834 千円)
年間利用者数	29,531 人	25,031 人

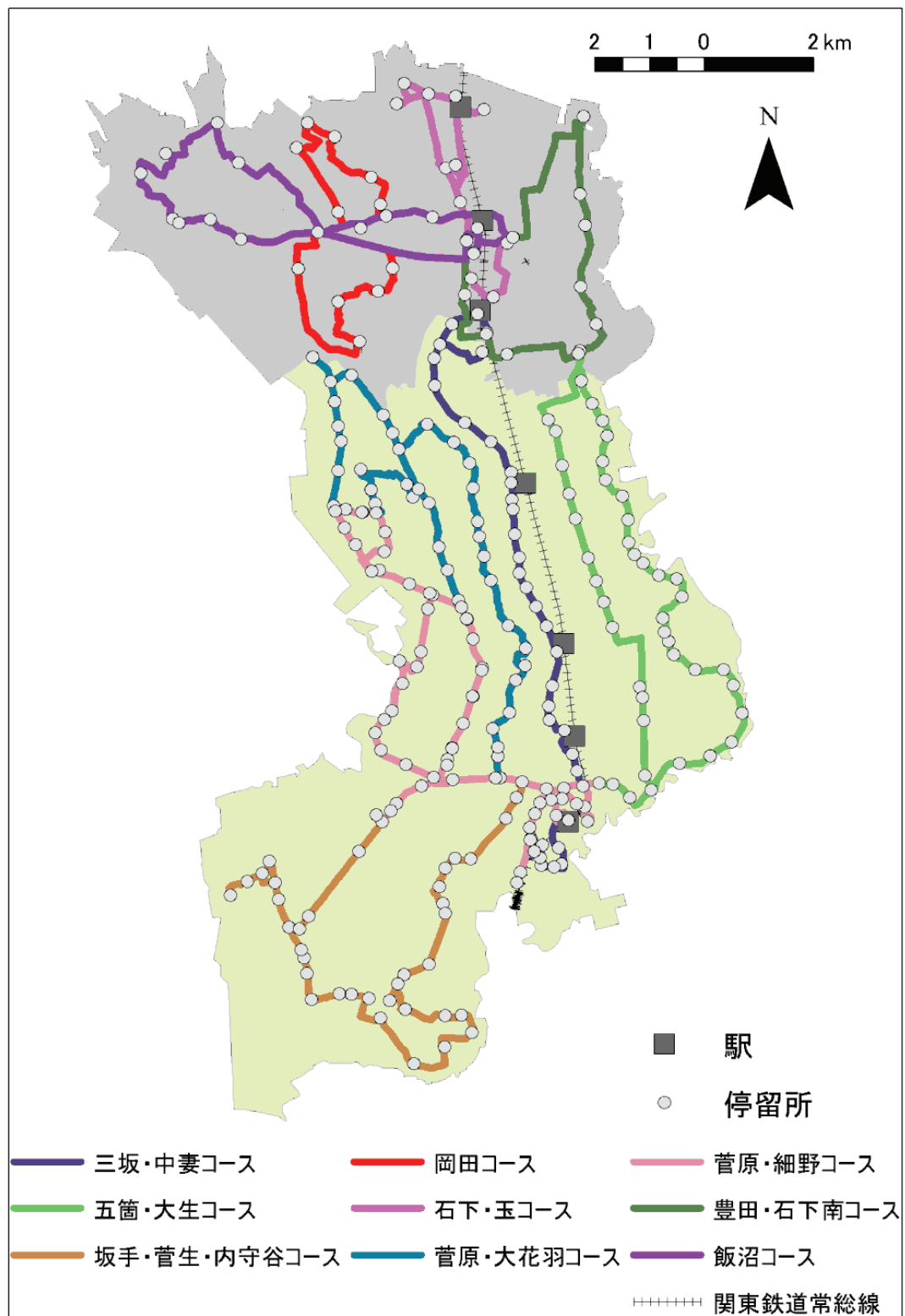


図 6.33 福祉路線バスルート

6.8.2 車両・ネットワーク・利用者の設定

本節では前節で紹介した福祉循環バスとふれあい号の利便性、及び車両の走行距離、CO₂排出量、燃料消費量による比較を行う。そのためにまず各項目の設定を行う。

a) 車両の設定

デマンド型交通の車両としては、表 6.22 にあるようにセダン型、ジャンボタクシー型を、バスの車両はマイクロバス、中型バスを設定する。それぞれの車種、排気量等は表 6.23 に記述する。以下の指標は常総市資料より実際に運行に用いている車両を特定し、国土交通省自動車燃費一覧(2011)より引用したものである。

これを見るとセダン型の車両は車両が小型なのに加え、燃料が LPG であるため排出量原単位が小さく、環境負荷の低い車両であることが分かる。また、ジャンボタクシー型の車両とマイクロバスの車両を比べると、マイクロバスの方が定員は多いが、燃費に関してはジャンボタクシー型とあまり差がないことがわかる。しかしディーゼル車であるために排出量原単位において差が出ている。

表 6.23 車種の設定（デマンド型交通）

	セダン型	ジャンボタクシー型
乗車定員(名)	5	10
排気量(cc)	2000	2700
燃料	LPG	ガソリン
燃費値(km/L)	11	8.2
CO ₂ 排出量 (g-CO ₂ /km)	153	283

表 6.24 車種の設定（コミュニティバス）

	マイクロバス	中型バス
乗車定員(名)	29	62
排気量(cc)	3000	7800
燃料	ディーゼル	ディーゼル
燃費値(km/L)	7.8	4.8
CO ₂ 排出量 (g-CO ₂ /km)	336	546

車両速度の変化による燃費・CO₂排出量の変化の関係は図 6.34 に示す平均時速と燃費指数の関係を示したものに従い、変化するものとする。

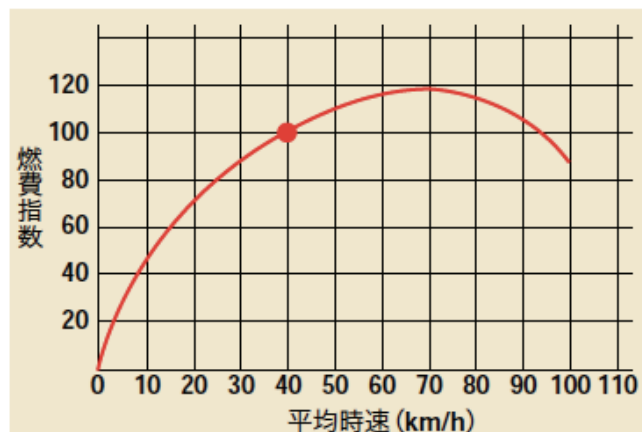


図 6.34 平均時速 40km/h 時の燃費を 100 とした時の各平均車速の燃費
(1999 年度三菱自動車環境報告書[25]より引用)

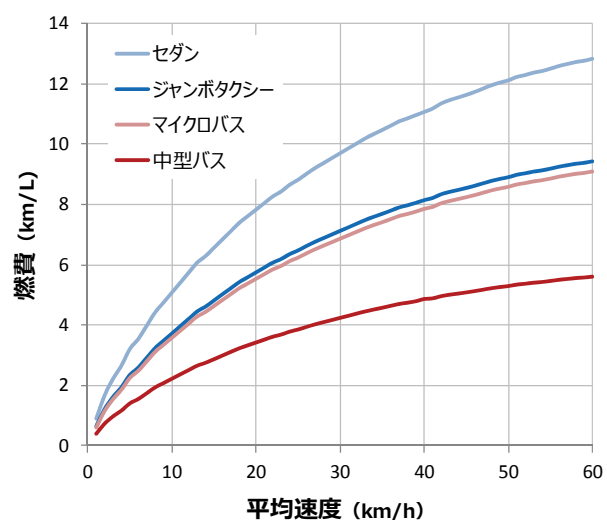


図 6.35 速度と燃費の関係

図 6.34 を参考に、速度 40km/h 時の燃費を表 6.23,24 に掲載されている燃費であるとし、平均速度と燃費の関係を示したものが図 6.35 である。各車両の燃費はこの値に従うものとする。

また、ここから CO₂ 排出量を計算する。計算式は国土交通省(2011)[26]より引用した以下の式を用いる。

○ガソリン車

$$1 \text{ km走行当たりのCO}_2\text{排出量 (g-CO}_2\text{/km)} = (1 \div \text{燃費値 (km/L)})^{\text{注1}} \times 34.6 \text{ (MJ/L)}^{\text{注2}} \times 67.1 \text{ (g-CO}_2\text{/MJ)}^{\text{注3}}$$

○ディーゼル車

$$1 \text{ km走行当たりのCO}_2\text{排出量 (g-CO}_2\text{/km)} = (1 \div \text{燃費値 (km/L)})^{\text{注1}} \times 38.2 \text{ (MJ/L)}^{\text{注4}} \times 68.6 \text{ (g-CO}_2\text{/MJ)}^{\text{注5}}$$

○LPGガス車

$$1 \text{ km走行当たりのCO}_2\text{排出量 (g-CO}_2\text{/km)} = (1 \div \text{燃費値 (km/L)})^{\text{注1}} \times 28.1 \text{ (MJ/L)}^{\text{注6}} \times 59.8 \text{ (g-CO}_2\text{/MJ)}^{\text{注7}}$$

注1：燃費値の1km走行当たりの燃料使用量 (L/km)

注2：ガソリン1L当たりの発熱量 (MJ/L)

注3：ガソリンの発熱量当たりのCO₂排出原単位 (g-CO₂/MJ)

注4：軽油1L当たりの発熱量 (MJ/L)

注5：軽油の発熱量当たりのCO₂排出原単位 (g-CO₂/MJ)

注6：LPGガス1L当たりの発熱量 (MJ/L)

注7：LPGガスの発熱量当たりのCO₂排出原単位 (g-CO₂/MJ)

上記の式より導出した、平均速度とCO₂排出量の関係を示したものが図 6.36 である。ここから、所要時間同様各リンクを通過した際、長さ・通過速度から燃料消費量・CO₂排出量を計算し、Network Analyst を用いその累計を求める。

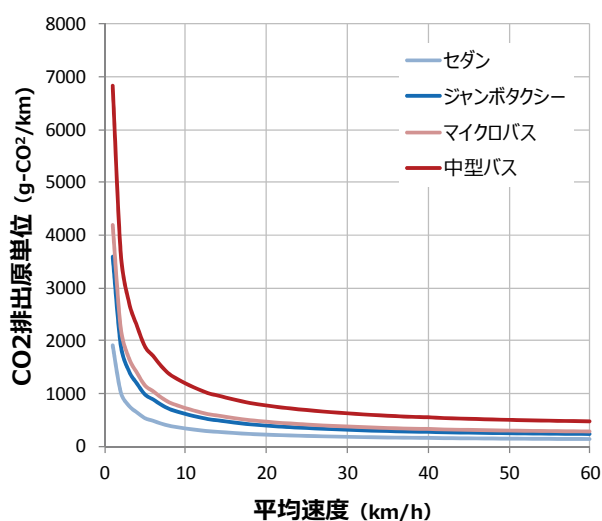


図 6.36 速度とCO₂排出量の関係

b) ネットワークの設定

次に、デマンド型交通・コミュニティバスのネットワークデータの設定を行う。各車両はこのネットワーク上を移動するものとする。

デマンド型交通の通行するネットワークについては、前節の検証で用いている道路ネットワークと同じものを用いる。また、車両速度に関しても図 6.6 にある旅行速度

の推計結果に従うものとする。ただし、その際、配車ルート解析の設定項目において、超過移動時間の設定の違いを考慮に入れることとする。これは、最小化するコストとして、利用者の乗車時間（重要度：高）と車両走行距離（重要度：低）を設定できるものである。

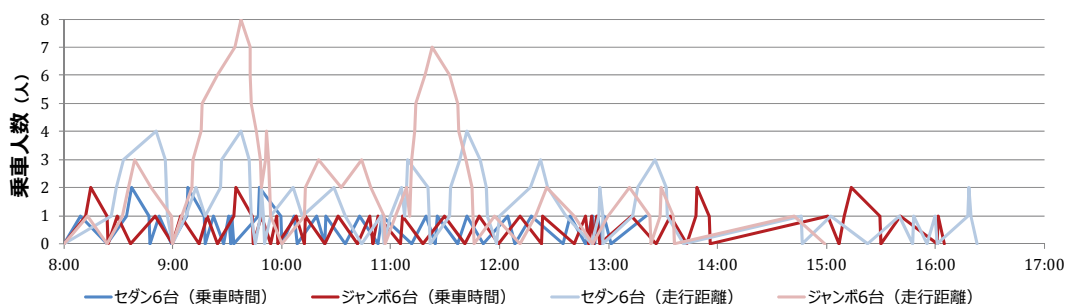


図 6.37 超過移動時間の設定の違いによる乗合人数への影響

図 6.37 は 2010/11/30 の利用者パターンにおいて、超過移動時間の設定を変更した際の乗合人数への影響を示したものである。このように利用者の乗車時間を最小化すると、乗車人数は 1～2 人で利用者の目的地へ目的地を直接向かうのに対し、走行距離を最小化すると乗車人数が増えて乗合が行われていることがわかる。また、セダン型に比べ定員が多く、運行の自由度が高いジャンボタクシー型の方が乗車人数が多く、最大 8 人の乗車があることが分かる。

コミュニティバスのネットワークは図 6.38 の赤線に示したリンク上を移動するものとする。なお、福祉路線バスは前述したように、旧石下町と旧水海道市をまたぐルートがなく、乗り換えが不可能である。そこで本研究では、そのような利用者は関東鉄道常総線による移動を行うものとする。このため、コミュニティバスのネットワークには、関東鉄道常総線、駅、最寄り停留所間のネットワークも加えるものとする。

固定路線は ArcGIS NetworkAnalyst のルート解析を用い、固定路線ネットワークを用いた際の最短ルートを分析する。利用者は最近隣の停留所まで徒歩(4km/h)で移動し、停留所からコミュニティバス、もしくは鉄道で目的地まで向かい、目的地の最寄り停留所から目的地まで再度徒歩で向かう。

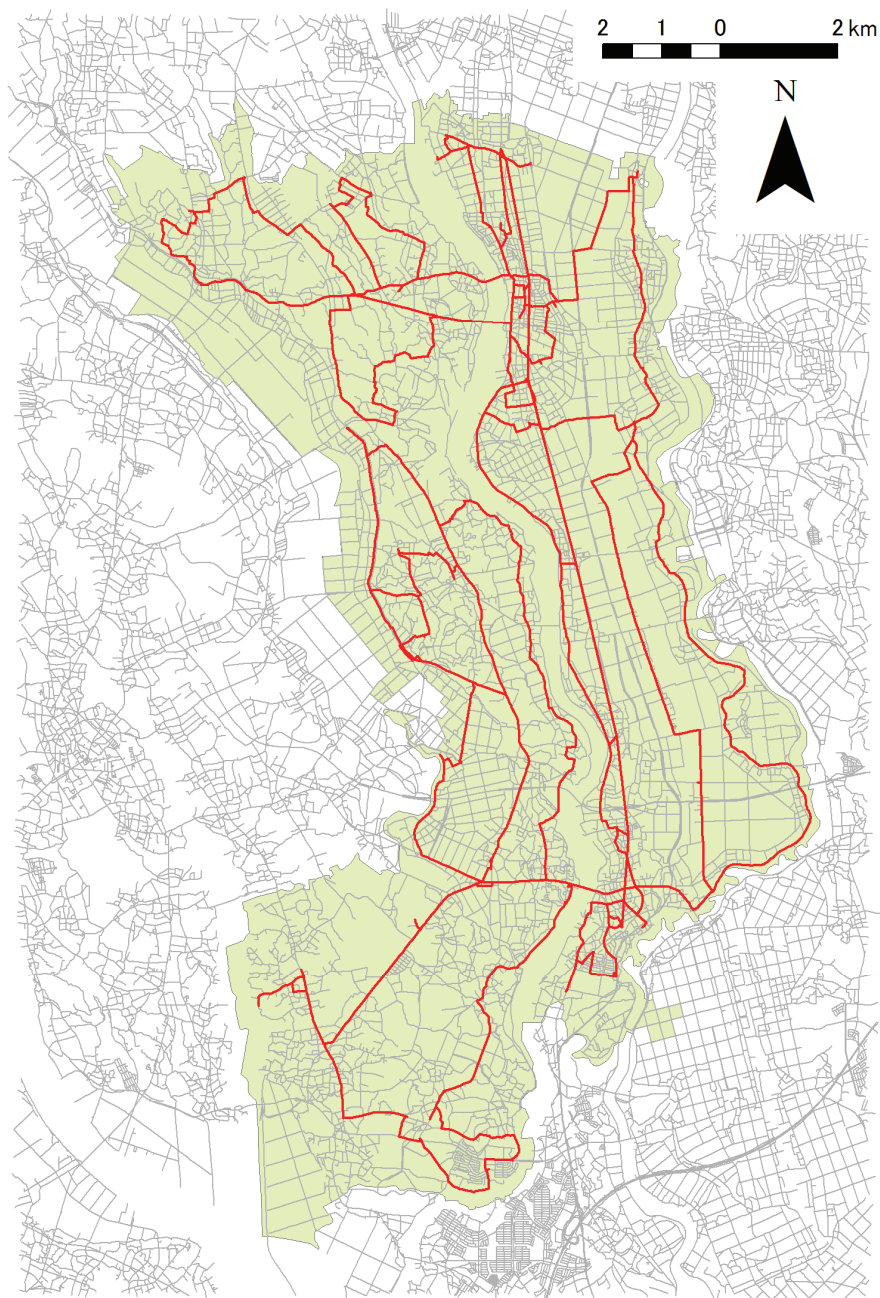


図 6.38 コミュニティバスネットワーク

なお、本研究ではサービスレベルをデマンド型交通と同一にするため、全ての路線を1時間間隔、平日全て運行するものとする。また、利用者の停留所までの徒歩での移動時間は考慮するが、車両への乗車時間、及び乗り換え時間は考慮しないものとする。

c) 利用者の設定

利用者は 6.5 節、6.6 節で分析したパターンを用いる。6.5 節で用いた 2010/4/27、及び 2010/7/6 のパターンを利用者の出発地・目的地が集中している A:需要集中、A と同じ利用者数で最近隣距離が低く分散している B:需要分散、加えて 6.6 節で分析した一週間の利用者パターンの平均 C:週平均を設定する。

表 6.25 分析に用いる利用者パターン

A: 需要集中			
日付	利用者数	最近隣距離乗車	最近隣距離降車
2010/4/27	110	4273.46	3828.9
B: 需要分散			
日付	利用者数	最近隣距離乗車	最近隣距離降車
2010/7/6	110	3250.34	3233.29
C: 週平均			
日付	利用者数	最近隣距離乗車	最近隣距離降車
2010/11/29	79	4390.06	4220.25
2010/11/30	100	3357.33	3634.88
2010/12/1	71	4028.19	4902.86
2010/12/2	81	3785.56	3502.25
2010/12/3	94	3657.87	3291.18
週平均	85	3845.12	3919.55

6.8.3 環境指標を考慮に入れたコミュニティバス・デマンド型交通の比較

前節 c)で示した利用者パターンA,B,Cにおいてデマンド型交通と固定路線の平均乗車時間、燃料消費量、CO₂排出量を比較する。なお、デマンド型交通はセダン 6 台、及びジャンボタクシー6 台をそれぞれ超過移動時間に関して乗車時間、走行距離を最小化する設定の 4 種類の比較を行う。

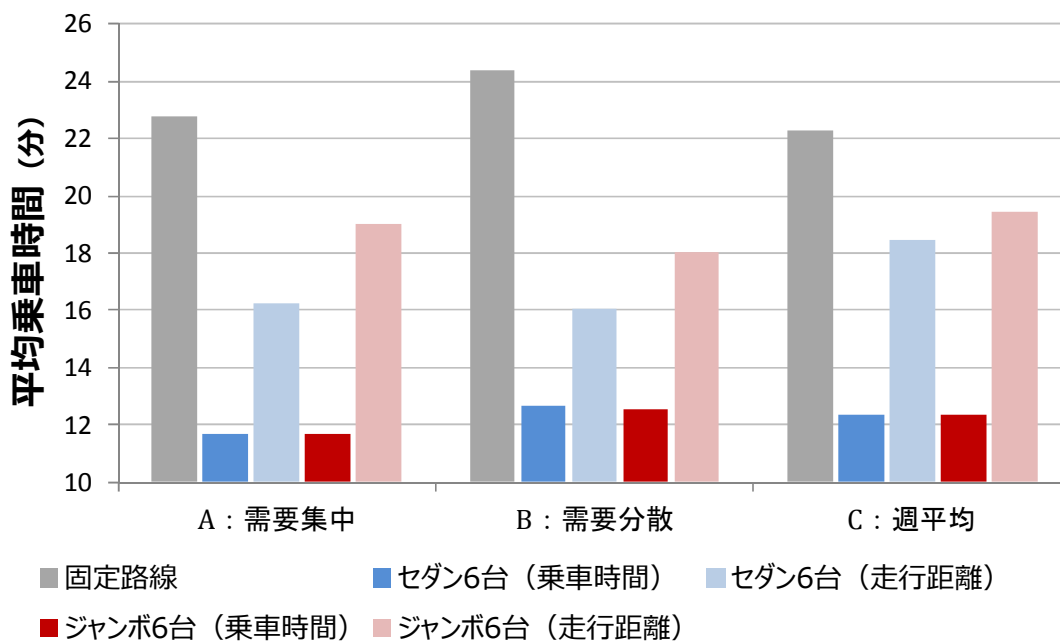


図 6.39 コミュニティバスとデマンド型交通の平均乗車時間

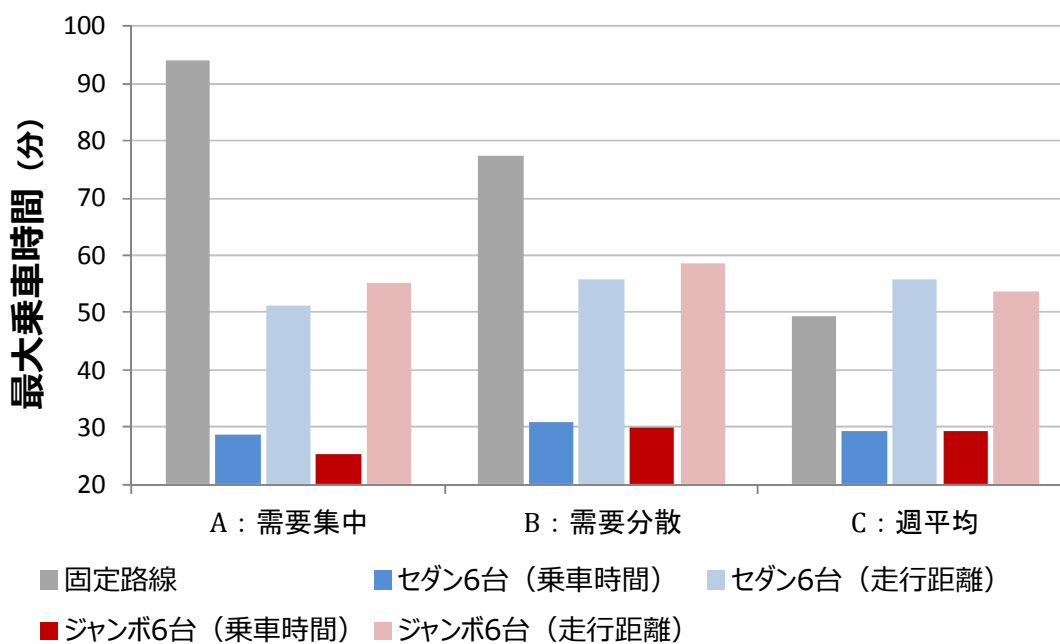


図 6.40 コミュニティバスとデマンド型交通の最大乗車時間

図 6.39 は固定路線とデマンド型交通の平均乗車時間を、図 6.40 は最大乗車時間を比較したものである。これを見ると固定路線からデマンド型交通への利用に代わると平均で 5～10 分近く、減少する例が見られることがわかる。需要パターンでの差で

見ると A の需要集中型より B の需要分散型の方が固定路線の平均乗車時間は長くなっているのに対し、デマンド型交通の場合は短くなっている。ここから、需要密度の低い場合におけるデマンド型交通の有意性が言える。また、今回の検証では固定路線の各バスルート、鉄道間の乗り換え時間は考慮に入れず、運行ダイヤを変更しているため、実際にはさらに乗車時間、及び待ち時間がかかる。また、乗車時間最小化と走行距離最小化の平均・最大乗車時間の差は平均 4 分、最大乗車時間では 20 分ほどの差となった。

図 6.41 は固定路線のうちバス、及びデマンド型交通の車両の総走行距離、図 6.42 は CO₂ 排出量、図 6.43 は燃料消費量を比較したものである。福祉循環バスを現在のふれあい号のように 1 本/時間で運行すると車両の走行距離は 2 倍以上になることがわかる。さらに、CO₂ 排出量、燃料消費量になると 10 倍以上の差が開くことが分かる。これは走行距離の差に加えて、表 6.23、6.24 の値を比べればわかるように、普通車と大型車においては燃費、排出量原単位が大きく異なるためである。ここから、利用者の利便性、車両走行距離、環境指標共にデマンド型交通の方が有利であることがわかる。また、デマンド型交通において、走行距離を最小化した場合、乗車時間を最小化した場合に比べ、平均乗車時間が 4 分増加したのに対し、走行距離が 300km 程度短くなっていることがわかる。

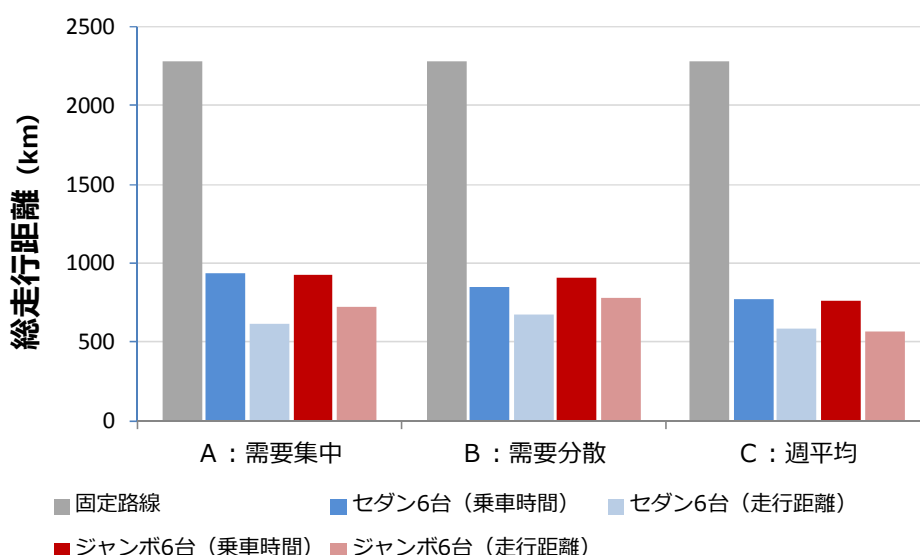


図 6.41 コミュニティバスとデマンド型交通の総走行距離

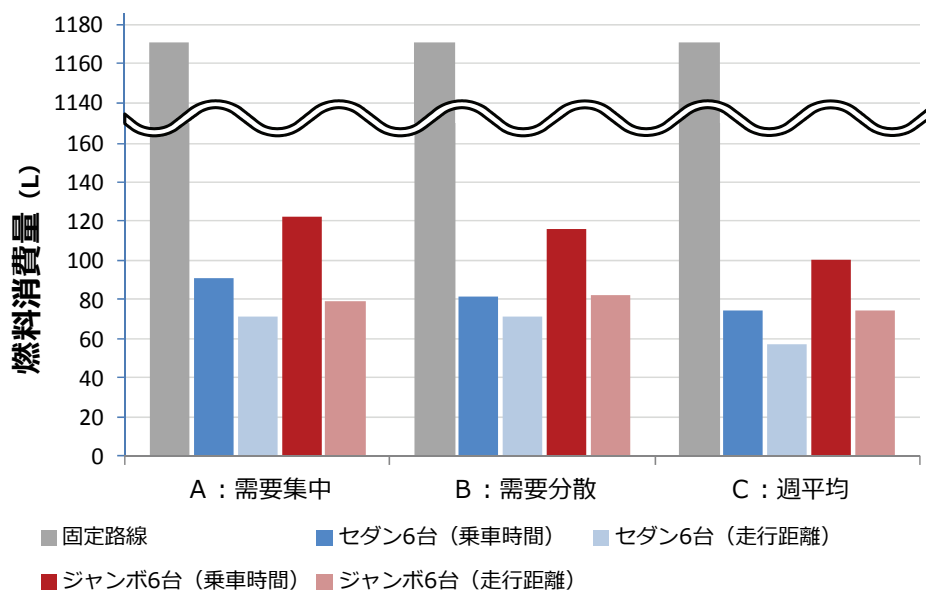


図 6.42 コミュニティバスとデマンド型交通の燃料消費量

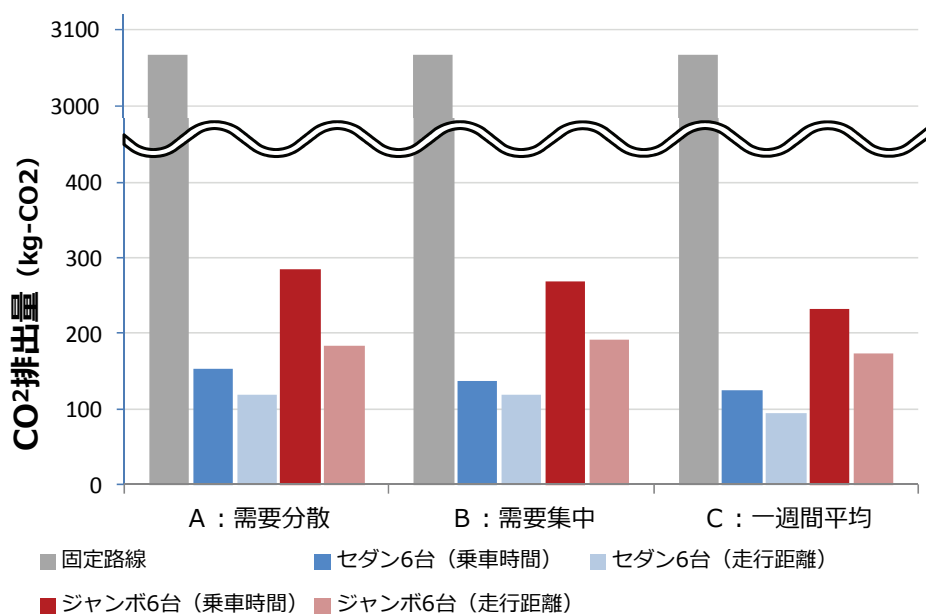


図 6.43 コミュニティバスとデマンド型交通の CO₂ 排出量

また、その分 CO₂ 排出量が約 53kg-CO₂、燃料消費が 25 リットル少なくなっている。また、CO₂ 排出量、燃料消費量で比較するとセダン型の方が少ないことがわかる。これはセダン型の車両が LPG 車であり、排出量原単位が小さいためである。

6.8.4 環境指標を考慮に入れたデマンド型交通・車種の変更

次に、デマンド型交通の車両をセダン型からジャンボタクシー型に変更した際の影響を検証する。なお、分析に用いた利用者のパターンは2010/11/30を、VRPの超過移動時間の設定はジャンボタクシー型とセダン型の差を明確に出すために「高」とし、走行距離を最小化させる設定で検証を行った。

図6.44は車両をセダン型車両6台を一台ずつジャンボタクシー型へ変更した時の平均・最大乗車時間と走行距離の変化を示したものである。平均乗車時間に関してはセダン型が多い方が小さい結果になっている。これは走行距離を最小化させるため、定員が少ないセダン型の方が迂回が少ないためである。

また、燃料消費量、CO₂排出量に関しては、図6.45、6.46に示す通り、走行距離は減少しているもののそれぞれ増加していることがわかり、セダン型が多ければ多いほど環境負荷が低い結果となった。このように環境指標の観点からセダン型のようなLPG車の有効性が明らかになった。

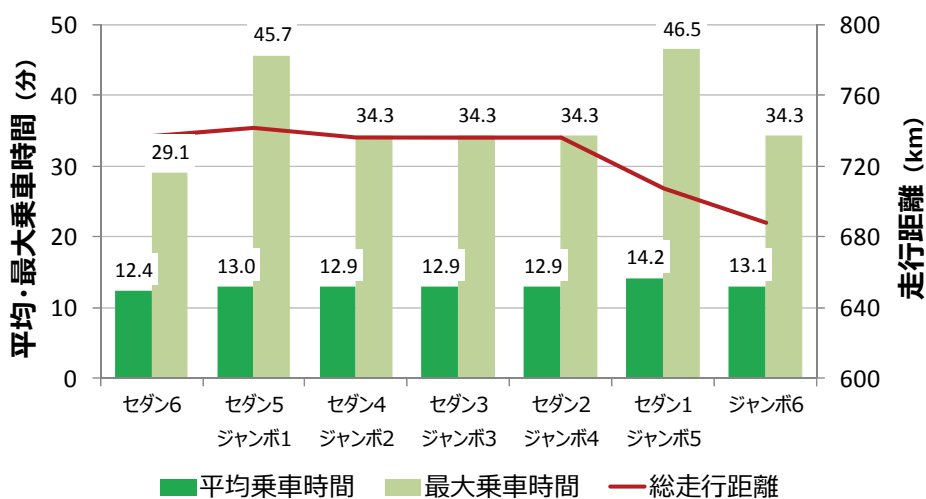


図 6.44 車種変更時の平均・最大乗車時間と走行距離

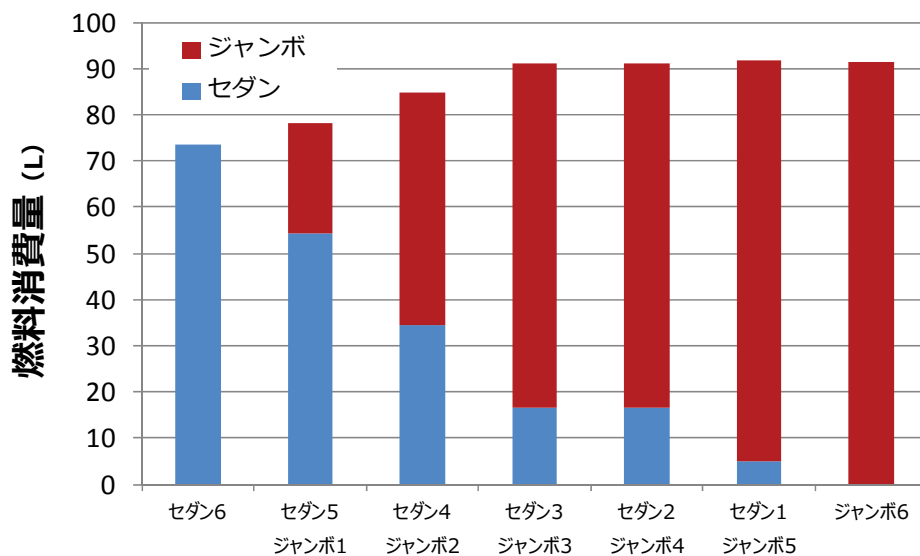


図 6.45 車種変更時の燃料消費量

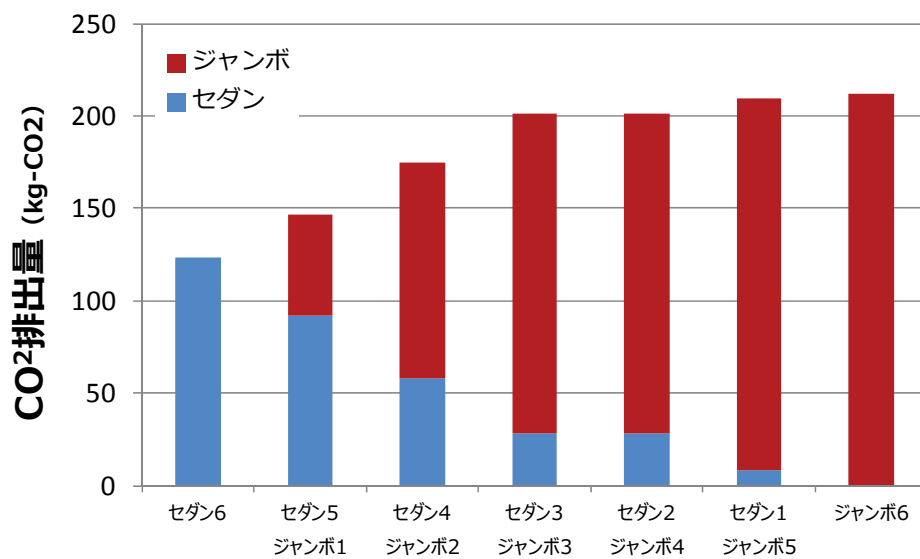


図 6.46 車種変更時の CO₂ 排出量

6.9 小括

本章では茨城県常総市を対象として車両の経路データを用い、利用者の出発地・目的地パターンの抽出、車両の旅行速度の推計を行い、車両数・車両大型化に着目した運行シミュレーションによる検証を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

1. 車両数を減少させ、車両数3台、2台の場合車両が不足した場合、時間帯が遅くなるにつれて待ち時間が累積し、大幅な遅れが生じる。
2. 車両の乗車定員を4人から9人に増加させる検証では、車両数の半数を大型化することによって利用者の平均乗車時間、希望時間超過の回数・時間共に減少できるが、全ての車両を大型化するとかえって増加し逆効果になる。
3. 利用者の平均乗車時間と車両の走行距離がトレードオフの関係にあり、大型化した車両の方が小型車両と比べ相対的に走行距離が増加する。
4. 将来人口から需要増加を仮定したパターンによって、実際の提供費用を考慮した車両提供パターンによる検証を行い、大型車両と小型車両の併用による運行が最も運行効率が良いことがわかった。
5. デマンド型交通の運行シミュレーション、鉄道とかつて運行していた定時・定路線方式のコミュニティバスを利用した際のルート解析を行った結果、固定路線とデマンド型と比較すると、運行本数を同じにした場合でも固定路線方式の方が平均所要時間が数分多くなり、その場合車両走行距離は2倍、CO₂排出量、燃料消費量10倍以上と大きく増加してしまう。
6. デマンド型交通において乗車時間・走行距離それぞれを最小化する検証の比較では、走行距離最小化の場合平均乗車時間で約4分増加する一方で、走行距離約300km、CO₂排出量が約53kg-CO₂、燃料消費量が25リットル少なくなっている。
7. セダン型とジャンボタクシー型を混合させた運行を行った場合、平均乗車時間に関してはセダン型が多い方が小さい結果になり、また、走行距離は減少しているものの、燃料消費量、CO₂排出量環境指標で考慮した場合は全てセダン型が多ければ多いほど低い値となり、環境指標の観点からセダン型の有効性が明らかになった。

第7章

おわりに

7.1 本研究のまとめと成果

本研究では近年自治体で乗合バスの代替として導入が進んでいるデマンド交通の導入状況を調査し、都市規模・需要密度に着目した導入地域の特徴を明らかにするとともに、数理的モデルを用いてデマンド型交通の有利不利を分ける基礎的条件についての定量的検証を行った。また、路線・ダイヤといったデマンド型交通の運行方法に関して導入地域へのヒアリング、及び全国のデマンド型交通の運行方式を分類・整理しその特徴を明らかにするとともに、茨城県常総市を対象として車両の経路データの分析による利用状況の把握、車両数・車両大型化に着目した運行シミュレーションを行い、デマンド型交通の適切な運行方式についての分析を行った。

本章では研究によって明らかになった点をまとめる。

(1) デマンド型交通導入地域、及びそれらの運行方式の把握とその統計的特徴の分析

わが国においてデマンド型交通を導入している自治体を調査し、230 の地域での運行が確認され、その半数が予約時のみ運行する定時・定路線型の運行、半数が非定時・非定路線の運行を行っていた。また、導入地域の統計的特徴として面積が大きく人口密度が低い地域、及び通勤通学利用交通手段の自家用車の利用分担率が高く、乗合バスの分担率が低いということが明らかになった。

(2) デマンド型交通導入地域の詳細な運行方式や利用の特徴の把握

実際に運行を行っている 12 自治体でヒアリング調査を行い、運行方法において路線型とエリア型の二つに分類できること、運行システムの有無や車両台数・車両定員の違いがあること、女性高齢者の通院・買い物の利用が多いことがわかった。また、茨城県常総市「ふれあい号」の経路データの分析を行い、利用者の OD パターン、およびその分散度合いについて評価を行った。

(3) 都市規模・形状・需要密度とデマンド運行方法のモデル分析

数理的モデルを用いてデマンド型交通の都市内における有利な地域として都市の端部のような交通空白地域における有意性を示すとともに、都市規模が小さく低密な都市において有利であることを定量的に導出した。また、実際の導入地域の値をあてはめた結果、都市規模の小さな都市においてあてはまることを確認した。

(4) 車両数・車両の大きさに着目したデマンド型交通の適切な運行方式に関する分析

茨城県常総市を対象として車両の経路データを用いた車両数・車両大型化に着目した運行シミュレーションを行い、車両数の不足による待ち時間の大幅な増加、及び利用者の平均所要時間と車両の走行距離のトレードオフ関係を明らかにした。また、将来人口から需要増加を仮定したパターンによって、実際の提供費用を考慮した車両提供パターンによる検証を行い、大型車両と小型車両の併用による運行が最も運行効率が良いことを示した。

7.2 今後の課題

今後の課題としては以下のような点が残されている。

(1) デマンド型交通廃止自治体の特徴とその要因調査

調査を行った中で、文献には区域運行の許可を得てデマンド運行を行っていると記されているが、実際には運行されていない、もしくはデマンド型運行の記載がない自治体が見られた。廃止自治体の整理と分類、及びその特徴と要因についての検討が必要であると考えられる。

(2) 非均質な需要でのモデル分析

5章におけるモデル分析において、利用者は時空間的に一様ランダムに発生するものとしたが、4章の常総市の分析の通り、現実の都市空間において需要は時空間的に偏りのある発生をしている。そのような非均質な需要を考慮に入れた分析を行う必要があると考えられる。

(3) 運行シミュレーションによる都市規模・需要密度とデマンド型交通成立条件の検証

本研究では運行シミュレーションによって車両数と車両定員の観点から適切な運行方式についての検証を行ったが、都市規模・需要密度の観点から対象地域の大小、需要密度の変化の影響の分析、及び路線・ダイヤの柔軟度の変化についての分析について考慮すべきであると考えられる。

参考文献

- [1] 秋山哲男・中村文彦(2000)：「バスはよみがえる」，日本評論社.
- [2] 加藤博和(2006)：「地域公共交通の企画・運営・運行地域公共交通の企画・運営・運行における"適材適所"の重要性」，第4回京都大学交通学セミナー.
- [3] 天野圭子・中山徹(2005)：「コミュニティバス運行取組状況に関する研究 全国自治体の実施状況把握と分析」，日本建築学会技術報告集，第23号，415-420.
- [4] 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」.
- [5] 秋山哲男、吉田樹、猪井博登、竹内龍介(2009)：「生活支援の地域公共交通」，学芸出版社.
- [6] 元田良孝・高嶋裕一・宇佐美誠史・金田一真矢(2005)：「DRT(デマンドバス)に関する幾つかの考察」，土木計画学研究・講演集，No.31，講演番号258.
- [7] 原文宏・秋山哲男(2005)：「公共交通としてのDRTの将来展望」，土木計画学研究・講演集，No.31，講演番号270.
- [8] 新谷洋二(1993)：「都市交通計画」，技報堂出版.
- [9] 谷口守・石田東生・黒川洸(1995)：「トランスポーターションギャップの存在領域に関する基礎的研究」，土木計画学研究・講演集，No.18(2)，217-220
- [10] 石田東生・谷口守・鈴木勉・古屋秀樹(1999)：「交通手段の成立可能領域と有利地域に着目した交通政策の有効性の分析」，運輸政策研究，Vol.2，No.1.
- [11] 福本雅之・加藤博和(2005)：役割分担に着目した地域公共交通運営方式の分類と各方式の有効性検討，土木計画学研究・講演集 No.31，講演番号280.
- [12] 国土交通省自動車交通局旅客課(2009)：「地域公共交通ハンドブック」
- [13] Ambrosino, G., Boero, M., Eloranta, P., Engels, D., Finn, B., Sassoli, P. (2000): "Flexible Mobility Solutions in Europe through Cooperation between Operators, It Suppliers and Authorities," Proceedings of the 7th World Congress on ITS, Italy.
- [14] Eloranta, P. (1999): "SAMPLUS TR4023" EUROPEAN COMMISSION - DGXIIITELEMATICS APPLICATION PROGRAMME TRANSPORT SECTOR.
- [15] 大和裕幸・坪内孝太・稗方和夫(2008)：「オンデマンドバスのためのリアルタイムスケジューリングアルゴリズムとシミュレーションによるその評価」，運輸政策研究，Vol.10 No.4, 2-10.
- [16] 野田五十樹・篠田孝祐・太田正幸・中島秀之(2008)：「シミュレーションによるデマンドバス利便性の評価」，情報処理学会論文誌 49(1), 242-252.
- [17] 鈴木文彦・寺田一薫(2006)：「バス・タクシーの地域・住民ニーズ-中間モード・システムと新市場~新しい事業区分と地域公共交通の構築：実践・実務資料集~」地域科

学研究会.

- [18] 山本雄二郎・鈴木文彦(2008):「新制度地域公共交通活性化・再生法~そのねらいと運用、先行都市にみる活用の方策と計画の手法~」, 地域科学研究会.
- [19] 矢萩雅広・小山雄資・大澤義明(2007):「地域政策の導入と空間的伝播」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集, 134-135.
- [20] 腰塚武志(1985):「都市施設の密度と利用者からの距離との関係について」, 都市計画, 20, 85-90.
- [21] Lee, A.M. and Longton, P.A. (1957): Queuing Process Associated with Airline Passenger Check-In, *Operational Research Quarterly*, 10, 56-71.
- [22] 大津晶・腰塚武志(1997):「都市域の交通流集中に関する数理的分析」, 都市計画論文集, 32, 133-138.
- [23] Bearwood, J., Halton, J.H., and Hammersley, J.M. (1959): The Shortest Path Through Many Points, *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 55, 299-232.
- [24] 鈴木完・石田東生(2004):「プローブカー調査データの特性に関する研究」, 筑波大学大学院システム情報工学研究科修士論文.
- [25] 三菱自動車(1999):「1999 年度 三菱自動車環境報告書」.
- [26] 国土交通省自動車交通局(2011)「自動車燃費一覧」.
http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr10_000009.html

常総市予約型乗合交通の最適化に関する研究

国立大学法人筑波大学・常総市 共同研究
研究成果報告書

平成 25 年 3 月 31 日発行

編集・発行
筑波大学 システム情報系
〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1
