

自動車共同利用による 車両数削減可能性に関する分析

山本 俊行¹・木内 大介²・森川 高行³

¹正会員 名古屋大学助教授 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)
E-mail:yamamoto@civil.nagoya-u.ac.jp

²学生員 名古屋大学大学院 環境学研究科都市環境学専攻 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)
E-mail:dai-k@trans.civil.nagoya-u.ac.jp

³正会員 名古屋大学教授 環境学研究科都市環境学専攻 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)
E-mail:morikawa@nagoya-u.jp

セカンドカー型自動車共同利用システムを対象として、世帯内での自動車利用の最適化を考慮した上で自動車共同利用システムの潜在需要を分析した。その際、現状の利用状況や利用意向からの需要予測ではなく、一定の条件を満たすトリップが共同利用システムを利用するとの仮定に基づく潜在需要の推計を行った。愛知県豊田市を対象とした分析結果から、世帯内で利用を最適化すると平日で約35%、休日で約55%の保有自動車を削減可能であることが示された。また、共同利用システム導入時の需要規模は10世帯に1台、1台で1日3トリップ程度と計算された。さらに、軽自動車保有世帯や人口密度の高い駅周辺地域の方が共同利用システムの潜在需要が大きいことが示された。

Key Words : *vehicle ownership and use, vehicle allocation, car sharing, potential market, simulation analysis, random coefficient model*

1. はじめに

(1) 背景

地方中小都市では公共交通機関の破綻によって自動車への依存が進んでいる。このような状況の中で新たな公共交通機関の形態として、自動車共同利用システムが検討されている¹⁾。自動車共同利用システムによる利用者便益としては、自動車を保有するより安いコストで自動車の利便性を享受出来るということが挙げられる。一方、社会的な便益としては、自動車利用の削減や自動車保有台数の削減、駐車スペースの削減等が挙げられる。このうち、自動車利用の削減は、自動車を利用する度に自動車の費用を意識することで習慣的な自動車利用から合理的な交通手段選択へと変化することによる。また、自動車保有台数の削減は車両製造に必要な資源の削減を通じて、自動車利用の削減とともに環境負荷削減に寄与する。一方、駐車スペースの削減は限られた都市空間の有効利用に寄与するものである²⁾。

欧米ではこのような便益が認識され、自動車共同利用システムの普及が進んでいる³⁾⁴⁾。自動車利用については、米国サンフランシスコのCity CarShareやポートランドのCarSharing Portlandの会員調査⁵⁾⁶⁾において、入会前に

自動車を保有していなかった会員による自動車利用の増加によって、会員全体として自動車利用の増加が観測されたケースもあるものの、米国の全ての自動車共同利用システムの会員に対するインターネット調査を実施したMillard-Ball *et al.*⁷⁾の結果は全体として自動車利用が減少していることを示している。自動車保有については効果がより顕著であり、Millard-Ball *et al.*⁷⁾は欧州およびカナダ、米国の自動車共同利用システムに関する多くの既存研究の結果から平均で20%程度の会員が自動車保有台数を削減したことを明らかにしている。また、前述のインターネット調査では、保有台数を削減した会員は50%以上という結果を得ている。

一方、我が国では、各所で実証実験や社会実験が続けられて来たものの、本格実施段階では事業性の点で多くの課題を抱えている⁸⁾。我が国の普及の遅れの原因として、平石ら⁹⁾も指摘するように、基礎的な需要予測が十分でないことが挙げられる。

(2) 既存研究

我が国の自動車共同利用システムの需要予測としては、想定される潜在的利用対象者に対する選好調査によるもの(例えば、平石ら⁹⁾)や自動車共同利用社会実験の参

加者に対する事業化した場合の意向調査によるもの（例えば、竹内・谷口¹⁰⁾）等が見られる。市場に現存しない商品やサービスの需要予測を開発段階や模索段階で行う際には、実際の行動や選択結果に基づくRP (revealed preference) データが得られないため、潜在的利用対象者に対する選好調査のようなSP (stated preference) データが有用である。しかしながら、SPデータには、表明された選好の信頼性が問題となる場合もある。特に、自動車共同利用のような新たな交通機関に対して信頼性の高い選好データを得るのは難しいと考えられる。一方、社会実験の参加者に対する意向調査では、被験者の自動車共同利用に対する知識には問題がないものの、サンプル数が小さくなるため母集団代表性に問題が生じる。

さらに、より本質的な問題としては、現状の選好意識や意向が将来も変化しない保障はなく、環境の変化による将来的な意識変化を考慮することが出来ない。Papon *et al.*¹¹⁾ (Massot *et al.*¹²⁾による引用) も述べているように、このような需要予測は過去や現在の行動(意識)に過剰に依存したものであると考えられる。Massot *et al.*¹²⁾は公共交通機関や自転車、徒歩の利用による自動車利用の削減可能性を対象として、現状の交通パターンから一定の条件を満たす自動車トリップを転換可能トリップとして抽出することによって潜在需要の最大値を算出している。

同様の需要予測手法は自動車共同利用システムの需要予測でも用いられている。八木・森川¹³⁾は都心部での業務利用や都心居住者の日常利用を対象としたシティカー型自動車共同利用システムについて、都心部における短距離、少人数の自動車トリップを抽出することで潜在需要を算出している。また、池田ら¹⁴⁾は郊外通勤駅の端末手段として通勤トリップを対象としたステーションカー型自動車共同利用システムについて、パークアンドライド利用者を抽出することで潜在需要を算出している。ただし、これらの研究では交通手段の転換に大きな影響を及ぼさずと考えられる自動車保有については考慮されていない。また、交通手段の転換による自動車保有の変化についても推計されていない。

(3) 本研究の目的

本研究では、郊外住宅地などで買い物等自由目的トリップを対象としたセカンドカー型自動車共同利用システムについて、世帯構成員間での自動車の配分を考慮した上で自動車共同利用システムの潜在需要の分析を行う。世帯構成員間での自動車の配分に関しては、複数の世帯構成員間で自動車利用に競合が生じた場合にどの世帯構成員が自動車を利用するかについて、山本ら¹⁵⁾や張ら¹⁶⁾によるモデル分析が行われている。しかしながら、もともと自家用車は平均して1日わずかの時間しか利用されず、利用希望が競合する場合に加えて、現状より

少ない保有台数でトリップ需要を満たす場合も考えられる。地方中小都市では自動車の複数台保有世帯が増加しており、保有自動車を減らしたとしても残された保有自動車で世帯の全ての自動車トリップ需要を満たし、自動車共同利用システムの需要を生み出さない可能性がある。本研究では現状のトリップパターンを基に保有自動車の世帯構成員間での配分を最適化した上で、共同利用システムの需要、および、共同利用システムの導入による保有自動車の削減量を算出する。ただし、世帯構成員間での配分については世帯構成員間での利用の競合は取り扱っておらず、全ての自動車利用需要が満たされるものと仮定している。より現実的な需要予測に必要となる自動車利用の競合についての考慮は今後の課題である。

また、世帯の自動車利用パターンは平日と休日で大きく異なっている¹⁷⁾ため、本研究では、平日・休日のそれぞれで保有自動車削減量、および、共同利用システムの需要を算出し、平日と休日のいずれが自動車共同利用システムの成立に大きな影響を及ぼすかについて検討する。さらに、世帯属性や地域属性が保有自動車削減可能性や共同利用システムの需要量に及ぼす影響を分析することによって、共同利用システムの成立可能性の高い地域特性や共同利用システムへの参加可能性の高い世帯特性を明らかにする。

著者ら¹⁸⁾は既に全ての自動車トリップ需要を共同利用システムで満たす場合の車両削減量および車両削減量に影響を及ぼす地域特性、世帯内での自動車再配分による保有自動車削減可能性に影響を及ぼす世帯特性に関する分析結果を報告している。本論文では、保有自動車で満たされるトリップ需要と共同利用システムで満たされるトリップ需要を明示的に区別することによって、より現実的な潜在需要の推計を行っている。また、世帯内での自動車再配分による保有自動車削減可能性に影響を及ぼす世帯特性の分析では、ランダム係数モデル¹⁹⁾を適用することで、世帯のトリップパターンは常に一定ではなく日々変動することを考慮した分析を行っている。自動車トリップ需要の日変動が大きい世帯は、需要の大きい日に合わせて自動車を保有している傾向にあるため、自動車共同利用システムを導入することによって保有自動車を削減できる可能性が高い世帯であると考えられる。ランダム係数モデルを適用することにより、そのような、潜在需要の高い世帯を抽出することが可能となる。

2. 分析対象地域およびデータの概要

本研究では、愛知県豊田市を対象地域とした分析を行う。豊田市は自動車依存度が高いと言われる中京都市圏の中でも特に自動車への依存が高く、脱自動車依存のた

めの新しいシステムを必要としている地方都市である。実際、ステーションカー型の自動車共同利用システムの社会実験が豊田市中心部で実施されている^{20, 21)}。しかしながら、この社会実験では小型電気自動車を用いていること、および、利用者が支払う費用としては初回登録時に個人会員は1000円、法人会員は2000円のICカード発行手数料を支払うのみであり、利用毎の料金は発生しないため、ここでの利用データを本研究で対象とするセカンドカー型自動車共同利用システムの需要予測にそのまま用いることは出来ない。

豊田市では、平日の交通行動を対象とした2001年の第4回中京圏パーソントリップ調査にあわせて、同時期に豊田市独自に休日パーソントリップ調査を実施している。本研究では、両調査データを用いた分析を行うことにより、平日と休日のトリップパターンの違いを考慮した分析を可能としている。両調査を集計して得られた世帯あたりの平均自動車保有台数を表-1に示す。

豊田市には2001年10月1日時点で127,359世帯が居住しており、表-1より休日のサンプル抽出率は低いものの、平日のサンプル抽出率は通常のパーソントリップ調査より高く、詳細な分析に耐えうると期待される。また、豊田市は中京都市圏の平均に比べて世帯当たりの平均保有台数が多いことが分かる。さらに、豊田市の自動車保有台数別世帯数を示した表-2より、非保有世帯は10%未満であり、複数台保有世帯が60%近くに達していることが分かる。また、平日と休日のデータの間には大きな違いはなくデータに偏りが無いことが分かる。

3. 世帯内での自動車利用の最適化

表-1, 2で示した豊田市のデータのうち、自動車によるトリップが観測された世帯のデータを抽出し、世帯の自動車トリップ需要を満たすために必要な最低保有台数を算出した。これは、1章で述べたように、世帯は共同利用システムの利用を検討する前に出来るだけ自家用車を利用し、保有する自動車を世帯構成員間で共有することによって最大限に利用すると考えられるためである。ここでの最適化の結果はKiuchi *et al.*¹⁸⁾で報告済みであるが、世帯特性が保有自動車削減可能性に及ぼす影響を分

表-1 調査データの概要

	中京圏		豊田市	
	平日	平日	平日	休日
世帯数	136,639	9,052	1,013	
(抽出率)	(4.1%)	(7.1%)	(0.8%)	
保有台数	97,543	16,801	1,822	
世帯当たり保有台数	1.40	1.86	1.85	

表-2 自動車保有台数別世帯数

	平日データ		休日データ	
	世帯数	(割合)	世帯数	(割合)
0台	779	(8.6%)	88	(8.7%)
1台	2881	(31.8%)	344	(34.0%)
2台	3361	(37.1%)	377	(37.2%)
3台	1258	(13.9%)	127	(12.5%)
4台以上	773	(8.5%)	77	(7.6%)

析するための基礎データであるため再掲する。抽出された世帯数は平日7506世帯（全サンプル世帯の83%）、休日751世帯（74%）であった。ただし、このうち保有台数が1台の世帯は自動車利用の最適化によっても保有台数を削減することは出来ないとした。

(1) 最適化方法

世帯内での自動車利用の最適化は次の2段階の推計を行う。まず、現状の自動車トリップの利用開始・終了時刻を維持したまま、利用する自動車を変更することによって必要車両台数の最小化を図る（以降では、利用車両最適化と呼ぶ）。すなわち、世帯内で各時刻に同時に利用されている台数を集計し、この最大値を当該世帯の現状必要台数とする。ここでの自動車利用の開始・終了時刻は、自宅から自動車で出発する時刻と自宅へ自動車で帰ってくる時刻を指す。すなわち、自動車通勤等を行っている場合、朝の自宅出発時と夜の帰宅時が利用開始・終了時刻となる。本研究では自動車の利用者の交代は自宅のみで行われると仮定しており、自宅からのトリップの目的地には関与しない。

次に、利用開始・終了時刻を変更することで世帯内のトリップを最適化し、同一時間に必要車両数の更なる削減を図る（以降では、利用時間最適化と呼ぶ）。よって、利用時間最適化の対象となる世帯は利用車両最適化の結果、2台以上の車両数が必要となった世帯となる。

利用時間最適化に際しては、業務や通勤・通学、送迎等のトリップは時間的な拘束が強いため、利用開始・終了時刻を変更できない自動車利用として取り扱い、利用開始・終了時刻を変更できるトリップを買い物目的か自由目的のトリップに限定した。ただし、主目的が買い物・自由目的であっても副目的にそれ以外が含まれている場合、例えば買い物に行った帰りに駅に家族を迎えに行った場合等は利用開始・終了時刻を変更できないものとして取り扱った。また、利用開始・終了時刻を大幅に変更することは現実的に困難である場合も多いため、一日を午前（8:00～12:00）、午後（12:00～19:00）、夜間（19:00～8:00）の3時間帯に区分し、利用開始時刻はそれぞれの時間帯内でのみ変更できるとした。さらに、夜間に自宅を出発する自動車利用は開始・終了時刻を変更できないものとした。実際には自宅に帰宅するトリップ

のトリップ到着時刻によって利用開始・終了時刻を変更できない場合や、複数の時間帯をまたぐ自動車利用はいずれかの時間帯に移動できる可能性も考えられるなど、ここでの仮定は若干恣意的なものとなっており、利用時間の長い自動車利用ほど強く制限を受ける可能性がある。自動車利用の開始・終了時刻の変更可能性に関しては、自動車共同利用システムの予約システムデータを用いた解析により、業務目的トリップや女性会員によるトリップの出発時刻変更可能性が高いことを示した研究結果²⁾もある。個別の自動車利用の開始・終了時刻の最大変更時間のより現実的な設定は今後の課題である。

上記の条件の下で利用車両数を最小化する問題は、複数の空き時間帯に個別の利用時間を持つ自動車利用を出来るだけ多く割り当てる、一種のナップザック問題となる。本研究では、結果を比較するため、自動車共同利用を導入した場合の最適化についても統一した手法の適用を行う必要があり、特に自動車共同利用を導入した場合に考慮すべき空き時間帯の数および自動車利用データの数が膨大となり、厳密解を求めるのが困難であることが懸念された。よって、本研究では、より簡便な方法として次のヒューリスティックを用いた最適化を行った。

- ① 利用車両最適化の結果から、最も利用時間の長い車両1台を選び、必要車両とする。なお、最終的には全ての自動車利用を車両に割り当てるため、いずれの車両を最初に必要車両としても問題ないが、計算時間が最も短くなるため上記の通り最も利用時間の長い車両を必要車両に割り当てる。
- ② 必要車両について、利用されていない空き時間（利用終了時刻から次の利用開始時刻まで）を抽出し、時間の短い順に並べたリストを作成する。
- ③ 必要車両以外の車両による自動車利用を利用時間の長い順に並べたリストを作成する。
- ④ 最長利用時間の自動車利用を③から抽出し、②のリストから、利用開始時刻と同一の時間帯に当てはめることが出来る最短の空き時間を抽出する。空き時間を抽出できなければ①に戻り、必要車両を1台増やして②からやり直す。抽出できた場合は抽出した自動車利用と空き時間をリストから削除する。なお、抽出する自動車利用の優先順位の設定にはトリップ目的や同乗者数等、様々なものが考えられるが、ここでも計算上の簡便さにより利用時間を用いている。
- ⑤ ④で抽出された空き時間から利用時間を引いた時間を新たな空き時間とし、②のリストに加え並べなおす。

表-3 現状必要台数（平日）（%）

		現状必要台数				世帯数
		0	1	2	3	
現状保有台数	0	91.0	4.9	2.8	1.3	779
	1	20.4	76.4	3.0	0.2	2881
	2	5.5	33.6	59.7	1.2	3361
	3	3.0	16.6	36.0	44.4	1258
	4+	3.2	10.7	22.2	63.8	773
	合計	17.1	40.4	30.3	12.2	9052

表-4 現状必要台数（休日）（%）

		現状必要台数				世帯数
		0	1	2	3	
現状保有台数	0	98.9	1.1	0.0	0.0	88
	1	30.5	69.2	0.3	0.0	344
	2	12.7	61.3	26.0	0.0	377
	3	14.2	41.7	37.0	7.1	127
	4+	5.2	26.0	40.3	28.6	77
	合計	25.9	53.6	17.5	3.1	1013

- ⑥ 必要車両以外の車両による自動車利用のリストに自動車利用データが残っていなければ終了し、現時点での必要車両数を利用時間最適化の解とする。リストに自動車利用が残っている場合は④に戻る。

(2) 最適化結果

利用車両最適化の結果として算出された現状必要台数と現状保有台数の関係を表-3, 4に示す。表中で網掛けされたセルは現状保有台数が現状の自動車利用を満たすのに必要な現状必要台数より多い世帯を示している。集計結果より、このような世帯は平日で約35%、休日で約55%を占めることが分かった。もちろん、これらの世帯は常に保有台数を削減可能とは限らず、日々のトリップパターンの変動により調査日のトリップパターンが偶然このような結果となった可能性がある。日々のトリップパターンの変動については5章で改めて考察を行う。

現状必要台数が2台以上となった世帯を対象として、利用時間最適化を行った結果を表-5に示す。表より、これらの世帯についても利用開始時間の変更により更なる必要台数の削減が可能であり、特に、休日について削減可能台数が多くなることが分かる。反対に、世帯の自動車保有台数は平日の自動車トリップ需要により大きな影響を受けていることが示されている。

4. 共同利用システムの導入による最適化

共同利用システムの導入による最適化を推計する際には、利用者の自宅から共同利用システムのステーショ

表-5 利用時間最適化対象世帯の最適化結果

	平日	休日
削減対象世帯数	3846	208
平均保有台数	2.64	2.86
利用車両最適化による平均削減台数	0.34	0.70
利用時間最適化による平均削減台数	0.07	0.25
両最適化による平均合計削減台数	0.41	0.95

ンまでの現実的なアクセス可能性を考慮するため、個々のステーションが対象とする地域を設定する必要がある。本研究では、地域属性によるトリップパターンの相違を考慮しつつ各ステーション毎のサンプル数を確保するため、平日データについては豊田市内のパーソントリップ調査の小ゾーン63ゾーン、休日データについては豊田市を猿投、高橋・松平、拳母、上郷、高岡の5地域に分割した5ゾーンについてそれぞれ一つのステーションを導入したという仮定で最適化を行った。1ゾーン当たりの平均世帯数は平日データで144世帯、休日データで202世帯である。本研究では自宅からステーションまでの移動時間を最適化の際に考慮していないため、それらの各ゾーンに含まれる世帯がステーションの近辺に会員として確保できた場合の需要を推計していることになる。アクセス時間を考慮した最適化については今後の課題である。

(1) 最適化方法

本研究では、前述のように、世帯は出来るだけ保有している自家用車を利用しようとし、保有自動車で満たすことの出来ないトリップ需要について共同利用システムを利用するものと仮定する。自家用車を利用するトリップと共同利用車を利用するトリップの区別に関して、Liu *et al.*²³⁾は共同利用システムの効率性に関するシミュレーション分析を行った際に、主に通勤トリップ等の高頻度で発生するトリップ需要のために小型車のリースを、その他の低頻度のトリップ需要のために共同利用車を利用すると仮定している。本研究でも同様に、日常的な通勤・通学トリップを満たすための台数は自家用車として保有され、それ以外のトリップ需要は自家用車あるいは共同利用システムで満たされるものと仮定する。また、現状で1台以上の自動車保有世帯に関しては、保有台数の削減量は最大でも保有台数が1台になるまでとした。これは、自動車を全く保有しない場合と1台でも保有する場合では利便性の上で大きな違いがあり、世帯の利便性を極端に悪化させないためである。これらの仮定は、本研究がセカンドカー型自動車共同利用システムの需要予測を念頭においていることにもよるものである。

以上より、共同利用システムの導入による最適化を以下の手順で行う。

- ① 各世帯の自動車トリップデータから通勤・通学

目的の自動車利用のみを抽出し、世帯内での利用車両最適化を行う。その結果得られた現状必要台数を世帯での保有台数とする。ただし、現状必要台数が0台になってしまう場合には、必要保有台数を1台とする。それらの車両の空き時間を抽出し、時間の短い順に並べたリストを作成する。

- ② 通勤・通学以外の自動車利用を利用時間の長い順に並べたリストを作成する。
- ③ 最長利用時間の自動車利用を②のリストから抽出し、利用開始時刻と同じ時間帯に出発可能な最短の空き時間を抽出する。空き時間を抽出できなければ、その自動車利用は共同利用システムを利用する自動車利用のリストに加える。抽出出来た場合には抽出された空き時間から利用時間を引いた時間を新たな空き時間とし、①のリストに加え、並べなおす。抽出した自動車利用と空き時間を②および①のリストからそれぞれ削除する。
- ④ ②のリストに自動車利用データが残っていなければ⑤に進み、残っていれば③に戻る。
- ⑤ 同一ゾーン内の全ての世帯の共同利用システム利用データのリストを統合する。
- ⑥ ⑤で統合したリストを一世帯の自動車利用リストと捉え、全ての時間が空き時間とする共同利用車両をはじめに1台設定し、世帯内での利用時間最適化手順を適用することで、共同利用システムの必要車両数を算出する。

(2) 最適化結果

はじめに、共同利用システムの導入による最適化の結果として算出された世帯での保有台数を表-6に示す。また、比較のため、共同利用システムを導入することなく世帯内だけで利用車両最適化、利用時間最適化を行った場合の世帯の平均保有台数についても示す。ただし、ここでは、共同利用システムの導入時と条件を合わせるため、世帯内だけでの最適化を行った場合でも、現状で1台以上保有している世帯は最低でも1台は保有するとし、平均保有台数を算出している。

表より、当然のことながら世帯内だけで最適化を行うよりも共同利用システムを導入した方が世帯保有台数を

表-6 世帯当たり平均世帯保有台数の比較

	平日	休日
世帯数	9052	1013
現状の保有台数	1.86	1.85
世帯内での利用車両最適化後の保有台数	1.50	1.15
世帯内での利用時間最適化後の保有台数	1.47	1.10
共同利用システム導入後の保有台数	1.18	1.02

表-7 ゾーン当たりの車両削減率および共同利用システムで処理されるトリップ数

	平日	休日
ゾーン数	63	5
平均世帯数	143.7	202.6
現状の平均自動車保有台数	248.8	364.4
保有台数の削減率	36.3%	43.0%
ゾーン単位の総車両削減率	30.8%	36.4%
現状保有台数に対する共同利用システムの車両数の割合	5.5%	6.6%
共同利用システムを利用するトリップ数	42.7	64.8

削減できることが分かる。また、共同利用システムを導入した場合でも平日の方が必要とされる保有台数は多くなっており、必要とされる自動車保有台数は平日の需要により大きな影響を受けることが示されている。さらに、世帯内での最適化と共同利用システム導入時の保有台数の差は平日の方が大きく、共同利用システム導入により平日と休日の必要保有台数の差が小さくなっている。これは、共同利用システムの導入により、世帯の自動車保有をより効率的に出来る可能性を示しているものと考えられる。

共同利用システム導入時のゾーン単位での車両削減率および共同利用システムを利用するトリップ数のゾーン平均を表-7に示す。表より、地域全体で見た場合、車両削減率は平日で30.8%、休日で36.4%となっており、より需要の多い平日に合わせて車両の削減を行った場合でも約30%の車両を削減することが可能であることが分かる。共同利用システムの導入により、車両の製造数の削減や必要とされる駐車スペースの削減など環境負荷削減の余地は非常に大きいと言える。また、共同利用システムの導入により平日のトリップ需要に合わせて車両の削減が行われた場合、共同利用システムとして必要な車両数は現状の地域での保有台数の6%程度、約14台であり、それらの車両で平日には約43トリップの需要を満たすことになる。ただし、これらの値は潜在需要の最大値であり、現実的な保有台数削減数や共同利用システム利用トリップ数は種々の要因により減少するものと考えられる。

5. 世帯属性や地域属性が最適化に及ぼす影響

(1) 世帯内での利用時間最適化による保有台数の削減可能性に影響を及ぼす要因

ここでは、3章での最適化の結果を基に、世帯保有自動車の削減が可能か否かを表す二項選択モデルを構築し、保有台数の削減に影響を及ぼす要因を明らかにする。なお、表-3, 4の結果を用いてオーダードプロビットモデル等のモデルを構築することも可能であるが、ここでの分析は保有車両数の削減可能な世帯の属性を把握すること

に主眼があるため、二項選択モデルを適用するものである。

ここでのモデルの推定は、1日のトリップデータに基づくものであり、世帯によってはトリップパターンは日々大きく変動している可能性が考えられる。そこで、本研究ではランダム係数モデルを適用することによって、トリップパターンの日変動を考慮した影響要因の把握を試みる。ランダム係数モデルは説明変数が削減可能性に及ぼす影響が一定ではなく確率分布に従うと仮定したモデルである。ただし、本研究で推定に用いるデータは断面データであるため、推定される分布は世帯間の非観測異質性と世帯内での日変動による影響を含んだものとなり、両者を分離することは不可能である。よって、ランダム係数モデルによって係数の分布の存在が統計的に確認されたとしても、必ず世帯内の日変動が存在するとは限らないことに注意が必要である。

本研究では、誤差項の分布として正規分布を仮定した2項プロビットモデルを基本モデルとし、係数の確率分布には正規分布を仮定した。また、モデルの推定にあたっては統計パッケージソフトのLIMDEP²⁴⁾を用いた。モデルの推定結果を表-8に示す。表中では、係数の平均が正である場合、説明変数値が大きいほど保有台数の削減可能性が高いことを表す。表より、平日、休日ともに、係数の確率分布を考慮しない通常のプロビットモデルに比べて有意にモデルの説明力が向上しており、ランダム係数モデルの有効性が確認された。

平日については、係数の平均値の推定結果より、世帯人数が多いほど削減可能性が高く、就業・就学者、免許保有者が多いほど削減可能性が低い等、全体として妥当な結果が得られている。ただし、世帯人数、就業者数、免許保有者数の係数の標準偏差は係数の平均と同程度の大きな値をとっており、それらの影響には世帯間異質性や日変動が大きいことが示されている。また、軽自動車保有ダミーやバイク保有ダミー、自転車保有ダミーの係数の平均値が有意に正の値を取っていることから、軽自動車やバイク、自転車を保有している世帯は自動車削減可能性が高くなっていることが分かる。このうち、軽自動車保有ダミーの係数の標準偏差は係数の平均と同程度の大きな値を取っており、軽自動車の影響には世帯間異質性や日変動が大きいことが示されている一方で、バイクや自転車ダミーの係数の標準偏差は係数の平均に比べて小さいことから、バイクや自転車の影響は軽自動車に比べて定常的であることが分かる。これは、軽自動車の使われ方として買い物等の自由目的で使われる傾向がその他の自動車に比べて高く、自動車トリップ需要に日変動が大きいことを示唆しているものと考えられる。すなわち、軽自動車を保有している世帯はセカンドカー型自動車共同利用システムの潜在的な利用者となる可能性が高

表8 世帯内での利用時間最適化による保有台数の削減可能性に関する二項選択モデル

		平日		休日	
		推定値	t値	推定値	t値
定数項		-3.161	-40.28	-3.120	-15.13
世帯人数	平均	0.155	5.75		
	標準偏差	0.120	19.62		
就業者数	平均	-1.608	-36.25		
	標準偏差	1.120	46.64		
就学者数	平均	-0.592	-18.09		
	標準偏差	0.012	0.71		
自営業ダミー	平均			0.625	4.55
	標準偏差			0.029	0.20
専業主婦ダミー	平均	0.142	3.67		
	標準偏差	0.008	0.26		
60才以上ダミー	平均	-0.353	-7.50		
	標準偏差	0.007	0.18		
免許保有者数	平均	-1.126	-25.48	-0.831	-8.51
	標準偏差	0.972	48.31	0.660	15.73
自動車保有台数	平均	3.601	48.94	3.793	18.42
	標準偏差	0.039	4.13	0.572	13.56
軽自動車保有ダミー	平均	0.156	4.26		
	標準偏差	0.160	6.71		
バイク保有ダミー	平均	0.141	3.39		
	標準偏差	0.044	1.66		
自転車保有ダミー	平均	0.469	9.47		
	標準偏差	0.158	3.21		
人口密度(人/km ²)	平均	98.2	7.49	-148.6	-4.82
	標準偏差	46.2	7.79	29.6	1.78
商業売り場面積密度(m ² /km ²)	平均	24.3	6.78		
	標準偏差	18.5	6.15		
サンプル数		9052		1013	
L(0)		-6274		-702	
L(C)		-5996		-683	
L(θ) [*]		-4586		-392	
L(θ)		-4440		-382	

*全ての説明変数の標準偏差を0とした場合の尤度

ことを示している。一方、バイクや自転車を保有する世帯は、それ以外の世帯に比べて自動車からの交通手段の転換も可能であるため、保有自動車の削減可能性が高いとともに、保有自動車を削減した場合に自動車トリップの減少も期待される。居住ゾーンの人口密度と商業売り場面積密度は削減可能性に正の影響を及ぼしている。これらの値が高いゾーンではトリップ目的地が自宅近辺に存在する確率が高いため、保有自動車を削減した際に、残りの保有自動車でもトリップを行うだけでなく、自動車から自転車や徒歩へ転換出来る可能性も高いことが考えられる。

平日は多くの説明変数がモデルに含まれているのに対して休日のモデルに含まれている説明変数の数が少なく、平日に比べて休日の交通パターンに対する非観測異質性が大きいことが分かる。また、自動車保有台数による影響も平日に比べて休日の方がばらつきが大きいことが示された。休日では平日とは反対に、人口密度が高いほど

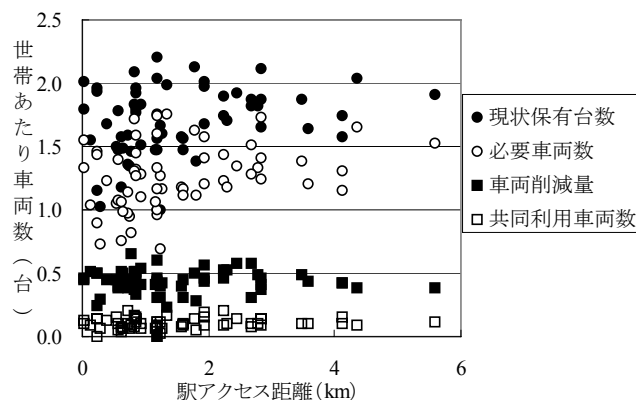


図-1 駅アクセス距離別の世帯当たり現状保有台数、共同利用システム導入時の必要車両数、車両削減量、共同利用車両数の分布

削減可能性が低いという結果が得られているものの、その理由は不明であり今後の更なる分析が必要である。

(2) 自動車共同利用による最適化に影響を及ぼす要因

ここでは、4章での自動車共同利用による最適化の結果を基に、車両削減量やゾーンでの必要車両数、共同利用システムの車両数に影響を及ぼす要因について分析を行う。4章では自動車共同利用システムの導入時に必要とされる保有台数が平日の方が多かったことから、ここでの分析は平日を対象とする。

はじめに、実際の自動車共同利用システムの導入に際し、指標としてよく用いられ、かつ、人口密度等の変数とも相関の高い、駅アクセス距離別の現状の自動車保有台数、共同利用システム導入時の最適化後の地域での車両削減量、ゾーンでの必要車両数（世帯で保有される自動車と共同利用システムの車両を合わせたもの）、共同利用車両数の分布を図-1に示す。図より、現状保有台数が少ない地域は駅アクセス距離の短い地域に限られており、駅アクセス距離が長くなるほど現状保有台数が多いことが分かる。また、共同利用システム導入後にゾーンで必要となる車両数も現状保有台数の分布と同様に、アクセス距離が長くなるほど多いことが分かる。一方で、共同利用システムの導入による車両削減量は駅アクセス距離との相関が低い。現状保有台数が駅アクセス距離が長いほど多いことと考えると、駅に近い地域ほど共同利用システムの導入による現状保有台数に対する車両削減率が大きいことを意味する。また、共同利用システム導入時の共同利用車両数も駅アクセス距離との相関が低い。これより、駅に近い地域ほど人口密度が高い傾向にあることを考え合わせると、駅に近い地域ほど自動車共同利用システムの潜在需要が大きいことを意味するものである。

次に駅アクセス距離以外の要因による影響を分析する

表-9 共同利用システム導入による世帯当たり平均車両削減量, 必要車両台数, 共同利用車両台数回帰モデル

	削減量		必要台数		共同利用台数	
	係数	t値	係数	t値	係数	t値
定数項	0.276	2.73	-0.141	-1.39	-0.157	-4.08
平均世帯人数	-0.147	-3.26	0.017	0.37	-0.050	-2.91
平均免許保有者数	0.059	0.65	0.767	8.39	0.189	5.46
自営業者率	0.475	2.18	-0.325	-1.49	0.146	1.77
軽自動車保有率	0.550	3.83	0.550	3.82	-0.034	-0.62
バイク保有率	0.442	3.53	-0.385	-3.07	0.055	1.17
駅アクセス距離(km)	0.00048	0.07	0.00801	1.11	0.00500	1.82
サンプル数	63		63		63	
\bar{R}^2	0.395		0.908		0.551	

ために、共同利用システム導入による世帯あたりの平均車両削減量, 必要車両台数, 共同利用車両台数を被説明変数とし回帰分析を行った。回帰分析においてもランダム係数モデルの適用は可能であるものの、サンプル数が小さいため有効な結果を得ることが出来なかった。回帰モデルの推定結果を表-9に示す。表より、共同利用システムの導入による地域での自動車削減量は、軽自動車やバイクの保有世帯が多い地域ほど多くなることが示された。また、平均世帯人数の係数が負であることから、単身世帯等の少人数世帯が多く居住する地域で削減量が大きくなる事が分かる。一方、駅アクセス距離については、係数値も他のモデルに比べて小さくt値も低いことから、図-1で示されたのと同様に削減量は駅アクセス距離に依存しないことが分かる。すなわち、人口密度の高い駅近辺では総量として削減量が高くなることを意味するものである。

共同利用システム導入後の必要車両台数に対する推定結果からは、削減量に対する推定結果とは反対に、平均免許保有者数が有意な影響を与えている一方で平均世帯人数の影響が有意でない。当然のことながら、免許保有者数が多いほど自動車トリップ需要は高いため、必要台数も多くなる事が示されている。また、軽自動車保有率に関しては、削減量に対する影響も正であったが必要台数に対しても正の影響を持つとの結果が得られた。軽自動車保有世帯の多い地域では、もともと自動車トリップ需要が高いものの、現状はその高い需要以上に保有していることを意味するものと考えられる。なお、図-1では必要車両台数と駅アクセス距離に正の相関が見られたものの、回帰モデルの推定結果からはそのような関係は見られなかった。変数間の相関を調べたところ、駅アクセス距離は平均免許保有者数(相関係数0.43)、平均世帯人数(0.35)、軽自動車保有率(0.34)の順で正の相関が高い一方、必要車両台数は平均免許保有者数(0.92)、軽自動車保有率(0.73)、平均世帯人数(0.70)の順で正の相関が高い。よって、図-1で見られた相関は、実際には平均免許保有者数や軽自動車保有率

の影響が間接的に表れていたことが分かる。

共同利用システムの必要車両台数に対する推定結果からは、平均世帯人数の小さい地域や免許保有者数の多い地域で共同利用車両数が多く必要となるという結果を示している。やはり、単身世帯が多く住む地域で共同利用システムの潜在需要が大きいものと考えられる。また、駅アクセス距離が長いほど世帯当たりの共同利用台数が多い傾向が見られるもののそれほど有意ではない。繰り返しになるが、駅周辺の人口密度が高い地域の方が共同利用システムの潜在需要は大きいものと考えられる。

6. おわりに

本研究では、セカンドカー型自動車共同利用システムを対象として、世帯構成員間での自動車利用の最適化を考慮した上で自動車共同利用システムの潜在需要の分析を行った。本研究では、愛知県豊田市を分析対象としたが、豊田市は自動車依存度が高く、公共交通機関への転換が困難な地域である。このような地域に対して自動車共同利用システムは有効であると考えられる。豊田市では既に小型電気自動車を用いた共同利用システムの社会実験が行われているものの、本格実施へは移行することなく2005年度末で実験終了となっている。社会実験の終了は電気自動車のバッテリー寿命も原因の一つであるが、市民の認知や利用が広がっていないことも大きな原因である。

本研究では現状の利用状況や利用意向から需要予測を行うのではなく、一定の条件を満たすトリップが共同利用システムを利用すると仮定に基づいて潜在需要の分析を行った。分析結果からは、世帯内で利用を最適化すると現状でも平日で約35%、休日で約55%の保有自動車を削減可能であることが示された。大幅に必要以上に自動車を保有している現状では、共同利用システムの需要は小さいことが確認された。

共同利用システムを利用できることを前提に車両数を削減した場合には、世帯内での最適化より更に保有台数を削減できることが示された。実際には共同利用システムを利用することなく保有自動車を削減できる世帯に関しても、共同利用システムが利用可能である、という認識が保有自動車の削減に対する不安感を払拭することに役立つと考えられる。また、共同利用システム導入時には共同利用車両数が平均で10世帯に対して1台の割合となり、1台で1日3トリップ程度のトリップ需要を満たすことになると計算された。Millard-Ball *et al.*⁷⁾のレビューでは、欧米での共同利用システムでは共同利用車両数は11世帯から53世帯に対して1台とばらつきがあるものの、平均では23世帯/台となっている。本研究での算出結果

との差異が見られるが、これは、本研究での計算では自宅からステーションまでの移動時間を考慮しておらず、潜在需要の予測を行っているため、現実的な需要予測よりも過大な値が算出されていることを意味する。

世帯属性や地域属性が最適化に及ぼす影響分析の結果からは、軽自動車を保有する世帯では世帯内での保有自動車の削減可能性が高く、軽自動車の利用は日変動が大きい可能性があることから軽自動車保有世帯がセカンドカー型自動車共同利用システムの潜在的な利用者となる可能性が高いことが示された。軽自動車保有世帯の多い地域では、もともと自動車トリップ需要が高いものの、現状はその高い需要以上に自動車が保有されており、共同利用システムによる車両削減量が大きくなることが示された。また、世帯あたりの共同利用車両台数は駅アクセス距離にあまり依存しないことから、人口密度の高い駅周辺地域の方が共同利用システムの潜在需要は大きいことが示された。これらの結果は今後の自動車共同利用システムのステーション立地選定に際して有効な知見となる。

なお、我が国の自動車共同利用システムの普及状況を見ると、セカンドカー型の共同利用システムよりも自動車を保有せず全面的に共同利用システム車両を利用する層の入会が先行している²⁵⁾。本研究の第4章で用いたアルゴリズムにおいて、現状で1台保有している世帯を対象として、保有車両を無くし、全てのトリップを共同利用システムを利用して行くと仮定すればそれらの世帯による共同利用システムの潜在的な需要推計が可能である。ただし、保有世帯から非保有世帯への変更は心理的な敷居が高いと考えられるため、どのような世帯が保有車両を削減するかの予測がより重要となる。今後は、より現実的な需要予測システムの構築に向けて、自家用車から共同利用へ転換した際のアクセス時間等の利便性の低下や自動車利用の競合等を考慮するとともに、現状の自動車保有時と共同利用システム利用時の世帯単位の負担費用の比較分析等、費用便益を加味した潜在需要の推計が課題である。

謝辞：本稿は文部科学省科学研究費補助金(15760396, 16206053)および財団法人大林都市研究振興財団の助成を受けた研究成果の一部である。豊田都市交通研究所からは休日パーソントリップ調査データの提供を受けた。また、匿名の複数の査読者から多くの有益な指摘を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 山本俊行：“カーシェアリング”特集にあたって，土木学会論文集，No. 786/IV-67, pp. 1-2, 2005.
- 2) Shaheen, S., Sperling, D. and Wagner, C.: Carsharing in Europe and North

- America: past, present, and future, *Transportation Quarterly*, Vol. 52, No. 3, pp. 35-52, 1998.
- 3) Shaheen, S.A., Cohen, A.P. and Roberts, J.D.: Carsharing in North America: market growth, current developments, and future potential, Transportation Research Board 82nd Annual Meeting Compendium of Papers CD-ROM, 2006.
- 4) Nobis, C.: Car sharing as a key contribution to multimodal and sustainable mobility behavior – the situation of car sharing in Germany, Transportation Research Board 82nd Annual Meeting Compendium of Papers CD-ROM, 2006.
- 5) Katzev, R., Brook, D. and Nice, M.: The effects of car sharing on travel behaviour: analysis of CarSharing Portland's first year, *World Transport Policy & Practice*, Vol. 7, pp. 20-26, 2001.
- 6) Cervero, R.: City CarShare: first-year travel demand impacts, *Transportation Research Record*, No. 1839, pp. 159-166, 2003.
- 7) Millard-Ball, A., Murray, G., ter Schure, J., Fox, C. and Burkhardt, J.: Car-Sharing: where and how it succeeds, *TCRP Report 108*, Transportation Research Board, Washington, DC, 2005.
- 8) 平石浩之，中村文彦，大蔵泉：カーシェアリング社会実験の現状と導入に向けた計画手法の課題，土木学会論文集，No. 786/IV-67, pp. 3-10, 2005.
- 9) 平石浩之，中村文彦，大蔵泉：通勤利用による自動車共同利用の需要推定に関する考察，土木計画学研究・論文集，Vol. 19, No. 3, pp. 473-480, 2002.
- 10) 竹内新一，谷口栄一：業務交通を対象としたカーシェアリング実証実験，土木学会論文集，No. 786/IV-67, pp. 21-29, 2005.
- 11) Papon, F., Armoogum, J., Madre, J.L. and Massot, M.H.: Prospective de la mobilité en Île-de-France: les apports et les limites d'une démarche économétrique, Working Document (Arcueil: INRETS), 2001.
- 12) Massot, M.-H., Armoogum, J., Bonnel, P. and Caubel, D.: Potential for car use reduction through a simulation approach: Paris and Lyon case studies, *Transport Reviews*, Vol. 26, No. 1, pp. 25-42, 2006.
- 13) 八木麻未子，森川高行：ZEV 共同利用システムの導入可能性に関する基礎的研究，土木計画学研究・講演集，Vol. 24, pp. 301-304, 2001.
- 14) 池田久美子，大蔵泉，中村文彦，平石浩之：車両共同利用システムの適用可能性に関する基礎的研究，土木計画学研究・講演集，Vol. 24, pp. 313-316, 2001.
- 15) 山本俊行，梅木亮，北村隆一：世帯における自動車利用の競合を考慮した交通手段選択行動の分析，土木計画学研究・論文集，No. 17, pp. 583-588, 2000.
- 16) 張峻屹，桑野将司，藤原章正：世帯構成員間における自動車の利用配分メカニズムの分析，土木計画学研究・講演集，Vol. 31, CD-ROM, 2005.
- 17) 樋口誠，青島縮次郎，宿良：世帯における複数保有車両の使い分けに関する平日・休日比較分析，土木学会年次学術講演会講演概要集第4部，Vol. 49, pp. 824-825, 1994.
- 18) Kiuchi, D., Yagi, M., Yamamoto, T. and Morikawa, T.: Preliminary analysis on how trip schedule and household attributes affect effectiveness of car-sharing systems, Proceedings of the 11th World Congress on Intelligent Transport Systems, CD-ROM, 2004.
- 19) Train, K.E.: *Discrete Choice Methods with Simulation*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2003.
- 20) Ogino, H., Asano, K. and Fukuta, S.: Continuation of shared use of small electric vehicles in Toyota City, Proceedings of ITS World Congress 2004, CD-ROM, 2004.
- 21) 河上省吾，古川陽彦：豊田市の小型電気自動車共同利用実験における利用者特性に関する研究，第25回交通工学研究発表会論文報告集，pp. 133-136, 2005.
- 22) 山本俊行，山本直輝，森川高行，北村隆一：ITSによるデー

- タ収集技術を活用した自動車共同利用システムの利用者行動分析, 土木計画学研究・論文集, Vol. 21, pp. 571-579, 2004.
- 23) Liu, C.C., Sinha, K.C. and Fricker, J.D.: Simulation analysis of a mobility enterprise system operation, *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 17, No. 2, pp. 159-182, 1983.
- 24) Greene, W.H.: *LIMDEP version 8.0: Econometric Modeling Guide*, Econometric Software, New York, 2002.
- 25) 山本俊行, 成瀬弘恵, 森川高行: カーシェアリングが自動車保有および交通行動に及ぼす影響の分析, 土木計画学研究・講演集, Vol. 34, CD-ROM, 2006.

(2006. 1. 30 受付)

A STUDY ON POSSIBILITY OF REDUCTION IN CAR OWNERSHIP BY CAR SHARING SYSTEM

Toshiyuki YAMAMOTO, Daisuke KIUCHI and Taka MORIKAWA

Maximal potential market for neighborhood car sharing is investigated considering optimization of car use within household. The maximal potential is not predicted from revealed or stated preference, but simulated based on the explicit rules that assign qualified travel demand by car to car sharing. Results of empirical analysis for Toyota City, Aichi Prefecture suggest that household fleet can be reduced by about 35% on weekdays and about 55% on weekends. Scale of the car sharing system is calculated that one vehicle per 10 households serves three trips a day. The results also suggest that potential demand is higher for households with light motor vehicles and areas close to train station.