デマンド型乗合タクシーにおけるイールドマネジメント手法導入による影響分析

日本大学大学院　学生会員　○西山　翔太郎
日本大学理工学部　正会員　轟　朝幸
日本大学理工学部　正会員　川﨑　智也

１．はじめに

近年，人口の減少や少子高齢社会を背景に，採算が見合わないバス路線が減便・廃止されるなど，日常生活における外出行動には格差が生じている．このため住民の移動手段を確保する観点から，新たな交通機関の導入事例が増加している．中でも地方自治体や商工会が主体として運行し，住民の利用予約に応じて運行することが特徴である需要応答（デマンド）型交通（Demand Responsive Transport）は，住民の移動需要が少ない地域において，導入事例が増加しつつある．本研究では時刻，路線ともに非固定で，予約を受けた場合のみ運行する公共交通機関を「デマンド型乗合タクシー」と定義する．

デマンド型乗合タクシーは，一般的に利用登録と事前予約をすることで乗車できる．運賃は一般的な乗用タクシーと比較すると低廉である代わりに，乗客同士の乗合が行われる場合がある．しかしながら，実際には複数組で乗合しながら運行することは多くない．また次の予約時間まで長時間待機する車両が存在するため，空いた車両や座席は活用できていない．

これまでに公共交通の促進策として行われてきた例を挙げると，料金の一律値下げや回数券の発行，また最近では自動車の運転免許証を返納した高齢者向けに割引を施すものなど多数存在する．その中で航空業界が先駆けて導入したイールドマネジメント手法（以下 YM 手法）は，現在では幅広い業界で利用されている料金施策である．しかし，移動需要が少ない交通機関での導入の検討及び事例は現在のところ見当たらない．

そこで本研究では，デマンド型乗合タクシーの運賃に YM 手法を導入した場合の住民の交通機関選択行動モデルを構築し，モデルの数値を用いた感度分析から運賃の変動によって，どの程度の利用者増加が期待できるのかを明らかにすることを目的とする．

２．イールドマネジメント手法の概要

YM 手法とは設備の容量に限度のある業界，特に航空，ホテル業界等で普及する収益管理手法である．これらの業界は，設備の供給量に対して需要量が少ない場合，販売されずに余った座席や部屋等は在庫として後日に繰り越すことができないという特徴がある．収益面を考慮しつつ可能な限り販売するために考案された YM 手法は，需要量や利用日までの残り日数に応じて料金を変動させることで，利用者の多様な需要を促進することが可能である．

YM 手法の一般的な方法として，容量に多数空きが見込まれる状況で利用予約を行った方は，予約を取り消した際に支払うキャンセル料などの制限が厳しくなる代わりに大幅な値下げを施し，残量が少なく，あるいは利用日に近づくに連れて段階的に料金を引き上げるような事例が多数ある．

デマンド型乗合タクシーにおいても待機車両や空席は，その後に繰り越すことができないことから YM 手法の導入は可能であると考えられる．

３．対象地域の選定及び山武市乗合タクシーについて

本研究では 2013 年４月現在における，千葉県内 54 市町村の高齢化率（市町村の各人口のうち 65 歳以上の人口が占める割合）の平均値と同程度の 27.1%で，デマンド型乗合タクシーを運行する千葉県山武市を対象自治体とする．山武市では交通弱者の日常交通手段を確保するために，基幹バスとともに 2010 年からデマンド型乗合タクシーが運行されている．なお，2008 年度のパーソントリップ調査によると，山武市の自宅ー市内間の発生集中量の 69%が自動車及び２輪車を利用していることが分かっており，移動の大半を私的交通に頼っている地域である．

山武市乗合タクシーは，５人乗りのセダン型乗用車（うち運転手１名）で平日８時から 18 時まで（土日祝日は９時から）運行されており，大人１人 300 円で乗車することが可能であるが，運行範囲は利用者の居住地域内（山武・成東・松尾の全３地域）の，個人が指定した施設及

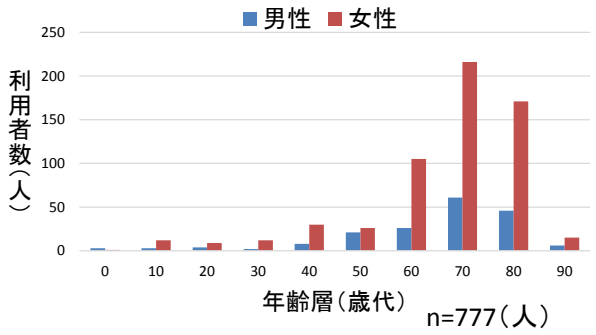
キーワード　デマンド交通，乗合タクシー，イールドマネジメント，早割，交通機関選択モデル
連絡先　〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1 744 室　TEL. 047-469-5219　E-mail：cssy12016@g.nihon-u.ac.jp

び市役所，さんむ医療センターの２施設に限定される．

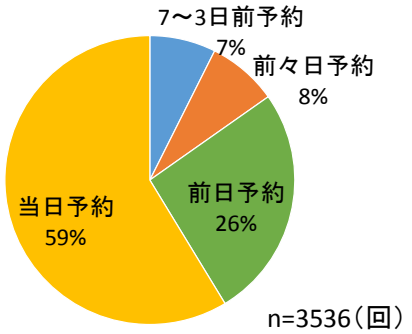
４．山武市乗合タクシーの予約・運行データによる分析

山武市乗合タクシーの 2012 年５月の１ヶ月間の予約・運行データを集計する．このデータでは予約や乗車した日時や乗降場所等が数値データで記されており，このデータを分析することにより，各利用者や乗降場所などの傾向が把握可能である．

図－１は，１ヶ月間で乗合タクシーを利用した乗客の男女別年齢層を示したグラフで，男性よりも女性の利用が多く，60 歳代以上の高齢者が大半を占めていることがわかる．図－２は，デマンド型乗合タクシーを利用した乗客が乗車希望日の何日前に予約を行ったかを示すグラフである．山武市乗合タクシーは，１週間前から利用予約を行うことが可能だが，これを見ると，６割近くの乗客が利用希望日当日に予約をしていることがわかる．



図－１　男女別乗合タクシー利用者年齢層



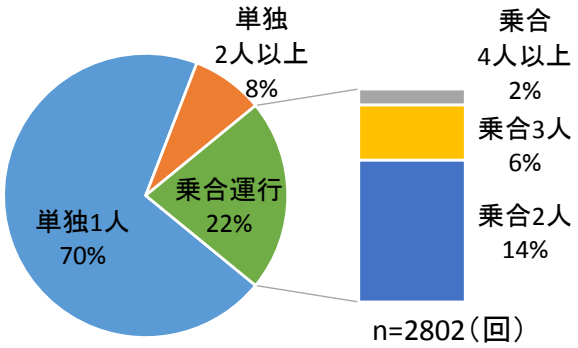
図－２　乗合タクシー利用者の予約時期

表－１は，山武市内の３地域における乗合タクシーの運行状況の内訳を示している．デマンド型乗合タクシーは 2012 年 5 月の１ヶ月間で 3536 件の運行があり，延べ利用者数は 3923 人に上る．この中で，始めの利用者が乗車してから乗合を続け，最後の利用者が降車するまでを実運行回数１回と定義したところ，2802 回運行されていることがわかった．この定義をもとに１回でも乗合を行った場合を「乗合運行」とし，逆に乗合を行わなかった場合を「単独運行」とした．表－１に示すとおり，最も乗合運行を行った地域は実運行回数が最も多い山武地域ではなく，成東地域の 316 回であった．これは，山武地域より成東地域の方が面積は１割ほど狭いが，利用者がほぼ同人数のためだと思われる．

図－３は，３地域の運行状況をグラフにまとめたものである．乗合運行は平均すると 22%であり，あまり乗合運行が行われていないことが把握できる．また，利用者が１組だけの単独運行の割合は 78%に上り，多くの運行が一般的なタクシーと同じ状況にあるため，空席が無駄になっていることがわかった．

表－１　市内３地域別の運行状況の内訳

	山武地域	成東地域	松尾地域
単独運行	1040回	799回	351回
乗合運行	249回	316回	47回
乗合運行割合	19.3%	28.3%	11.8%
単独1人	950回	711回	299回
単独2人以上	90回	88回	52回
乗合2人	179回	198回	30回
乗合3人以上	70回	118回	17回
実運行回数	1289回	1115回	398回
運行件数	1578件	1510件	448件
利用者数	1721人	1682人	520人
タクシー台数	4台	3台	2台



図－３　単独・乗合運行状況（2012 年５月データより）

本研究においては，図－３であまり行われていないことが明らかとなった乗合運行を促進させるために，YM 手法による料金施策が利用者へどのように影響するかを分析し，乗合タクシーの利用促進に対して有効であるか検討する．

５．対象地域でのアンケート調査

（1）調査概要

本研究では，アンケート調査を対面式インタビュー形式で実施した．その概要を表－２に示す．本アンケート調査の主な目的は，YM 手法を用いた料金施策を住民が受け入れ，デマンド型乗合タクシーの利用促進につながるか，また YM 手法導入時の交通行動に変化が認められるかを把握するためである．調査内容に含む利用意思額

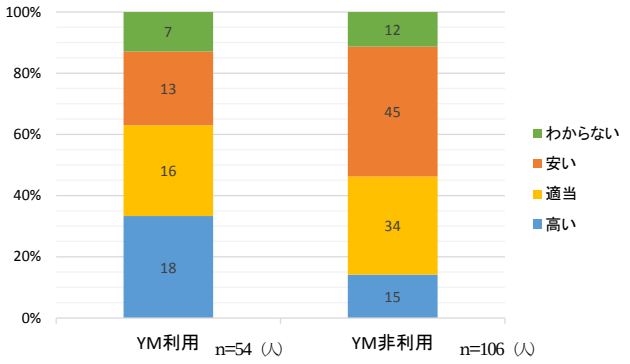
とは，YM 手法が導入された場合にデマンド型乗合タクシーの運賃がいくらまでなら乗車するかという利用意思を，予約時期（7 日前，3 日前，前日）に合わせてそれぞれ伺ったもので，表明選好（SP）法により調査した．

表－2　アンケート調査概要

項目	内容
調査日時	平成25年12月11日（水） 及び 13日（金）
調査場所	山武市 JR成東駅 他8箇所
調査対象者	山武市在住の方
調査目的	YM手法を用いた料金施策を受け入れるか YM導入時の交通行動に変化が見られるかを把握するため
配布・回収方法	調査員がアンケート用紙に沿ってインタビューする形式
調査内容	①個人属性 ②乗合タクシーの利用実態，運賃感度 ③住民の外出行動（買物，通院，最寄駅，公共施設） ④YM採用時の乗合タクシー利用意思・利用意思額（7，3，1日前予約）
回収数	172
有効回答数	160（93.0%）

（2）基礎集計

図－4 は，乗合タクシーの運賃に YM 手法を導入させた場合の利用意思と，現在の山武市乗合タクシーの運賃（300 円）をどのように感じているかを集計したものである．



図－4　YM 導入時の利用意思別現在の運賃感度

これを見ると，YM 手法を運賃に導入した場合に利用したいと回答したのは 54 人（有効回答数の 33%）で，うち現在の運賃が高いと感じている人は 18 人いた．反対に利用しないと回答した人では，運賃が安いと回答したのは 45 人だった．YM 手法を導入した場合には，乗合タクシーの利用運賃が安くなるため，これまで運賃が高いと感じていた人が利用することが期待されるため，乗合タクシーの利用が増加する可能性が伺えた．

ここで乗合タクシーに YM 手法の導入を想定した場合の施策の想定について説明する．山武市乗合タクシーの場合，平日においては午前より午後の方が，また休日ではすべての時間において利用者が少なく，タクシーが活用されていないという現状がある．これより移動需要が少ない「平日の午後」および「休日」に通常運賃より値下げを行えば利用者が増加すると考えられる．

6．YM 手法導入仮定時の交通手段選択モデルの構築

（1）分析手法

乗合タクシーの運賃に YM 手法を導入した場合のアンケート回答者の選択要因を把握するために，二項ロジットモデルを用いた交通手段選択モデルを構築した．モデルの基本式を式(1)，(2)に示し，最尤推定法によるパラメータ推定を行った．

$$P_{in} = \frac{\exp(V_{in})}{\exp(V_i) + \exp(V_j)} \quad (1)$$

$$V_{in} = \theta_1 X_{in1} + \theta_2 X_{in2} + \cdots + \theta_k X_{ink} \quad (2)$$

ここで，

P_{in}：個人 n が選択肢 i を選択する確率
V_{in}：行動変容をする上で要 因となる確定項
θ_k：k 番目の未知パラメータ
X_{ink}：説明変数

（2）変数の説明とパラメータ推定結果

構築したモデルの被説明変数は，YM 手法を導入した場合の住民の乗合タクシー選択の有無を，説明変数には「7 日前，3 日前，前日までに予約した場合の利用意思額（円）」，「自動車移動コスト（円／日）」，現在の乗合タクシーの運賃を安いと感じている「リーズナブルダミー」，「乗合タクシー利用頻度（回／月）」を用い，パラメータ推計結果を表－3，4 に示す．

表－3　平日午後割引・ｷｬﾝｾﾙ無しの場合の推計結果

平日午後無し	7日前予約		3日前予約		前日予約	
	パラメータ値	t値	パラメータ値	t値	パラメータ値	t値
車移動コスト（円）	−0.0121	−3.13	−0.00975	−2.56	−0.00657	−1.89
1日前意思額	−	−	−	−	−0.00344	−3.38
3日前意思額	−	−	−0.00503	−4.40	−	−
7日前意思額	−0.00669	−5.36	−	−	−	−
ﾘｰｽﾞﾅﾌﾞﾙﾀﾞﾐｰ	−0.797	−1.72	−0.919	−2.10	−1.02	−2.42
タクシー利用頻度	0.132	2.16	0.114	1.93	0.106	1.89
サンプル数	160		160		160	
自由度調整済み尤度比	0.243		0.176		0.129	
的中率	0.775		0.731		0.706	

表－4　休日割引・キャンセル料有りの場合の推計結果

平日午後有り	7日前予約		3日前予約		前日予約	
	パラメータ値	t値	パラメータ値	t値	パラメータ値	t値
車移動コスト（円）	−0.0117	−2.89	−0.0116	−2.87	−0.0102	−2.64
1日前意思額	−	−	−	−	−0.00818	−6.16
3日前意思額	−	−	−0.0095	−6.35	−	−
7日前意思額	−0.0112	−6.38	−	−	−	−
ﾘｰｽﾞﾅﾌﾞﾙﾀﾞﾐｰ	−0.843	−1.58	−0.839	−1.66	−0.859	−1.77
タクシー利用頻度	−	−	−	−	−	−
サンプル数	160				160	
自由度調整済み尤度比	0.446		0.392		0.350	
的中率	0.712		0.694		0.688	

表－3は，平日午後の乗合タクシー利用でキャンセル料不要の施策を適用した場合のパラメータ推計結果である．予約時期により異なる 3 種類のモデルすべてで 90%

有意水準を満たしている．自由度調整済み尤度比については7日前に予約する場合のモデルは0.2を超えており適合度は良好だが，３日前，前日は0.2より低い値であった．的中率は70～78%である．

表－４では，キャンセル料が必要な料金施策を適用した場合のパラメータ推計結果で，乗合タクシー利用頻度はｔ値が非常に低いため（0.2~0.3程度）説明変数から除外している．その結果，利用意思額のｔ値（-6.1～-6.4）はキャンセル料不要の場合と比べは大幅に上昇したが，その他の変数ではｔ値が低下したものもあり，7日前予約のリーズナブルダミーは有意ではなくなった（-1.58）．しかし，これ以上変数を除外するとモデルの説明力が低下するため，リーズナブルダミーは採用とした．また，尤度比は３つのモデルすべてが0.3以上で良好な値を示しており，的中率に関しては70%程度とキャンセル料不要の場合より若干低下した．パラメータの符号条件は表－３，４ともに満たしている．

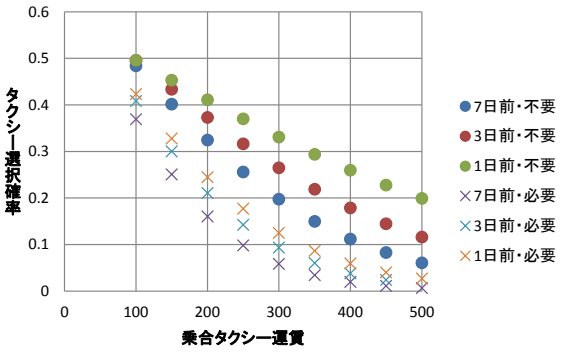
次に，各変数の推定結果について考察する．利用意思額は負の値を示しているため，設定運賃が安価であるほど利用意思が高くなり，結果として利用者が増加することが伺える．また３日前，前日予約と利用日が迫るほどパラメータ値が０に近づくため，乗合タクシーの運賃が選択要因として徐々に影響しなくなる．自動車移動コストは負のため，自動車移動が高コストになるほど自動車利用を控え，運賃を値下げした乗合タクシーを利用する可能性が高まることがわかる．リーズナブルダミーは負の値で，現在の運賃が安いと感じていれば乗合タクシーの運賃の値下げを行っても，利用する効用が無いことがわかる．キャンセル料が不要な場合のモデルにのみ説明変数として加えた乗合タクシー利用頻度は，頻度が高いほどYM手法導入後も継続的に利用することが伺える．また，キャンセル料が必要な場合のモデルでは，乗合タクシー利用頻度のｔ値は低かった．そのため，今まで事前予約を行っていた利用者は，キャンセル料が発生するため事前予約を行わなくなるのではと考える．

７．運賃設定に関する感度分析

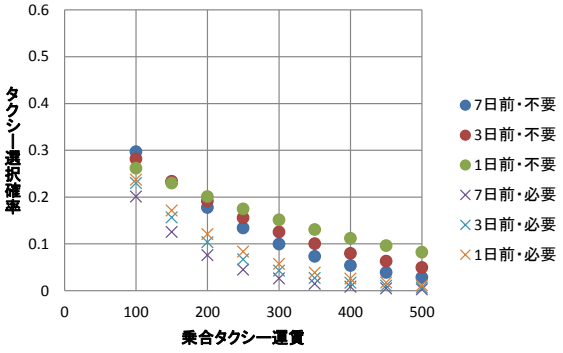
YM手法により料金が変動した場合，乗合タクシーはどの程度の確率で選択されるのかを算出するために感度分析を行う．図－５，６は，平日午後の時間帯にYM手法を導入した場合の，乗合タクシー運賃を100円から500円まで50円刻みで設定し，図－５では乗合タクシーの運賃を「安い」と感じていない方，図－６では運賃を「安い」と感じている方の乗合タクシー選択確率を示したものである．また，その他の設定は，乗合タクシー利用頻度を０回，自動車移動コストを50円／日と仮定した．

両図において，利用７日前に予約した場合の選択確率は低く，利用日が近づくに従い徐々に選択確率が上昇することが読み取れる．またキャンセル料金が必要な場合は，選択確率は不要の場合に比べ下回っている．これは，予約を取り消した場合に発生するキャンセル料を支払いたくないと考えるからである．

YM手法による乗合タクシーの運賃を100円に設定した場合を例に挙げると，現在の運賃を「安い」と感じている方は予約時期によって乗合タクシーの選択確率は20～30%で推移し，「安い」と感じていない方は35～50%で推移する結果となった．このように，予約時期によって乗合タクシー運賃を細かく設定できるYM手法は，利用日より前に予約を行う場合に値下げすることで，乗合タクシーの利用を高める可能性があることが明らかとなった．



図－５　現在「安い」と感じていない回答者の選択確率



図－６　現在「安い」と感じている回答者の選択確率

８．今後の課題

空席の解消や車両の利用促進のために，本研究と山武市乗合タクシー運行データとを組み合わせたシミュレーションを行いYM手法による影響を図る必要がある．