

共同利用型交通サービスの動的予約システムと利用者予約行動*

Dynamic Reservation System of Mobility Sharing and User Booking Behavior*

原祐輔**・羽藤英二***

By Yusuke HARA**・Eiji HATO***

1. はじめに

交通サービスの予約システムが近年、注目されている。前もって予約を行うことは各個人の行動制約となるが、それ以上に得られる便益が大きい場合、利用者にとってもサービス提供者にとっても望ましい結果を得ることができる。たとえば航空会社によるチケット値付けは Revenue Management の先駆的な事例として知られており、様々な価格設定を組み合わせることで利用されない座席を減少させ、資源の効率的な利用を行っている。

Edara and Teodorovic¹⁾は交通サービスに予約が必要な状況を次の8点にまとめている：(a)時間ごとに需要が異なる、(b)サービス利用が変化する、(c)痛みやすい資産(perishable asset)である、(d)資源に制約がある、(e)マーケットセグメンテーション、(f)新しく容量を増加させるのが高価、難しいまたは不可能である、(g)一人あたりの直接コストがサービスを提供するための総コストに比べ、無視できるほど小さい、(h)前もって売ることができる。ここで、痛みやすい資産(perishable asset)とは航空機の座席のようにある時点を超えた瞬間に価値が消滅する資産のことを示し、多くの交通サービスの時間指定利用権はすべてこの資産に含まれる。

交通サービスの利用権・予約権についての先行研究は赤羽ら²⁾による道路予約権、赤松³⁾、赤松ら⁴⁾による通行権取引制度、山本ら⁵⁾による駐車場予約システム、原・羽藤⁶⁾によるEVシェアリングの利用権の研究が挙げられる。また予約時の家計行動のモデル化を行った研究として松島ら⁷⁾、市場均衡モデルとして予約システムの経済厚生への影響を分析した研究として小林ら⁸⁾の研究を挙げることができる。しかし、これらの既往研究は未だ利用枠として予約権・予約行動を取り扱っているものが多く、交通サービス・交通行動の本質的な特徴である移動

*キーワード：予約システム、交通行動分析、

**学生員、東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻

(東京都文京区本郷7-3-1, TEL 03-5841-1672

hara@bin.t.u-tokyo.ac.jp)

***正員、博(工)、東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻

(東京都文京区本郷7-3-1, TEL 03-5841-1672

hato@bin.t.u-tokyo.ac.jp)

のODを明示的に取り扱うものが少ない。本研究が取り扱う共同利用型交通サービス(以下モビリティシェアリング)は近年、導入検討されているコミュニティバイクや加入促進が考えられているカーシェアリング⁹⁾である。これらは乗り捨て可能な交通手段であるため、モビリティそのものが空間的に偏在している。一時点前の利用者の到着ポートと現時点の利用者の出発ポートが一致していなければモビリティを利用できず、交通行動のODと予約行動を適切に結ぶ予約システムが必要とされている。

そこで本研究ではモビリティシェアリングサービスの予約システムとして、各個人のトリップODや移動時間帯といった時空間的要素を明示的に取り扱う。特にモビリティの空間的偏在を考慮した予約行動の利用者意思決定を取り扱った点が本研究の新規性である。既往研究⁶⁾では全ての利用者の選好が正直に表明されることを仮定して、動的予約システムのマッチング結果の効率性について議論した。しかし、動的予約システム下での利用者意思決定を理論的に考察すると、利用者は戦略的な意思決定を行うため、必ずしも正直に自身の選好を表明した予約を行うわけではないことを本研究で示す。

このような状況下において、利用ニーズの低い利用者の予約順序が早い場合に通常の予約システムで生じてしまう非効率性の問題を動的予約システムがどのように改善するのかに着目し、3章でゲーム理論的記述によってナッシュ均衡解として帰結を導く。3章では完全情報ゲームとして記述するが、本来的には相手プレイヤーの選好について各プレイヤーは情報を知り得ない。そこで4章では不完全情報ゲームにおいて各プレイヤーの最適反応戦略について考察を行う。5章では本研究で明らかになった点をまとめると同時に今後の課題を整理し、動的予約システムの導入可能性について検討を行う。

2. コーディネーション施策としての動的予約システム

(1) 動的予約システムの提案

動的予約システムとは既往研究⁶⁾で提案した、予約の確実性を価格によって差別化し、個人の自己選択メカニズムによってニーズの高い個人の利用を一部優先することで利用者の総利得とサービス提供者の総収入の合計で

表-1 動的予約システムの段階的予約レベル

予約レベル	各レベルの内容	価格
レベル1 (l=1)	予約+Lv.3に追い出される可能性を許容	c ₁
レベル2 (l=2)	空き枠を予約する	c ₂
レベル3 (l=3)	空き枠を予約+Lv.1をキャンセル可能	c ₃

(ただし c₁ < c₂ < c₃)



図-1 各予約システムによる割当結果

ある社会的総利得を高めることを目指す予約システムのことである。

具体的には表-1のような3種類の段階的予約レベルが存在する動的予約システムの例を考えることができる。どのレベルの予約であっても予約しようとしている利用枠が空き枠であれば問題なく予約が可能である。動的予約システムの特徴はもし既に予約枠が埋まっていたとしても、埋まっている予約枠の予約レベルが1である場合、自身の予約レベルを3にすれば追い出すことができる点にある。その分レベル3の予約の価格は高く、レベル1の予約は低く設定されている。予約システムが通常の早い者勝ちのルールである場合、予約順序が各利用者のニーズと大きな相関がないときにニーズの低い利用者によって利用枠が埋まってしまう、より高い料金を支払ってでも利用したいニーズの高い利用者が利用できない状況が発生しうる。そのため動的予約システムでは各個人は自身の選好に従って予約レベルを選択し、そこで発現する自己選択メカニズムによってニーズの高い利用者が一部予約順序にかかわらず優先的に予約できるような仕組みに設定している。

各システムの割当結果の具体例を図-1で示す。各家計が正直表明を行う場合、各家計が選択するレベルと各家計が得られる利得は一致しているとすると、通常の予約システムでは早い者勝ちのため、より高い利得が得られる家計がいるにもかかわらず、先に予約を行った家計が割り当てられる。一方で動的予約システムではそのような家計を一部追い出すことが可能なため、高い利得が得られる家計が優先的に割り当てられる結果となる。

3. 予約システムの違いによる利用者予約行動

(1) モデル設定と基本となる例

既往研究⁶⁾では動的予約システムにおいて、全ての利用者の選好が所与のものであるとき、安定的なマッチングが行われることが確認された。しかし、現実的には各利用者の選好はシステムにとって所与ではなく、各利用者は戦略的に意思決定を行う。そこで本章では各利用者の意思決定をゲーム理論の枠組みで分析する。

また、乗り捨て行動を許可したモビリティシェアリングにおいては一般的な時間帯枠予約と異なり、一時点前の利用者の到着ポートと現時点の利用者の出発ポートが一致していなければその交通サービスを利用することができない。そのため通常の交通サービスの予約行動に比べて、より強い制約条件が加わっているといえる。

これらの条件下における利用者予約行動を扱うため、次のようなポート間移動モビリティシェアリングゲームを考える。本稿では簡単のため2人ゲームとして定式化を行うがn人ゲームとしても一般性は失われない。ポート数(各ODとなるノード数)は3、モビリティの時間帯枠はl=1,2の2枠と設定するが、増加させても一般性は失われない。2人のプレイヤーにはそれぞれ時間価値、モビリティを利用したいOD、利用したい時間帯枠が異なる異質性が存在する。また本章では互いに選好を知っていると仮定する。これを緩和したモデルは4章で記す。

ここで簡単な、しかし特徴的な例として図-2のようなポート間距離を考えよう。徒歩の速度を1、モビリティによる速度を8とすると、各プレイヤーがノード間移動で得られる利得を一般的に次式で記述できる。

$$P_{i,pq} = VOT_i \cdot (t_i^* - t_{i,pq}) - c_u - \delta \cdot c_t \quad (1)$$

ここで、 VOT_i はプレイヤーの移動時間価値、 $t_{i,pq}$ はプレイヤーiが希望ODを移動するためにノード間pqでモビリティを利用する場合の徒歩を含めた全所要時間、 t_i^* はプレイヤーiが希望OD間を徒歩のみで移動する際の最短所要時間、 c_u は予約(利用)コスト、 c_t は時間帯変更コスト、 δ は希望時間帯枠を変更した場合1となるクロネッカーのデルタである。

ここで、プレイヤーAの希望ODは(1→3)、希望時間帯はl=1、移動時間価値は1 (type: L)であり、プレイヤーBの希望ODは(2→1)、希望時間帯はl=2、移動時間価値は2 (type: H)であるケースを考えよう。モビリティ利用コスト c_u を3とし、希望時間帯変更コスト c_t を1とする。

このときモビリティシェアリングにおける重要な性質は先行利用者が乗り捨てたポートでしか後続利用者は利用を開始することができないという空間的な偏在である。本研究では予約順序・利用順序とシェアリングの空間的偏在を取り扱い、以降の定式化を行う。

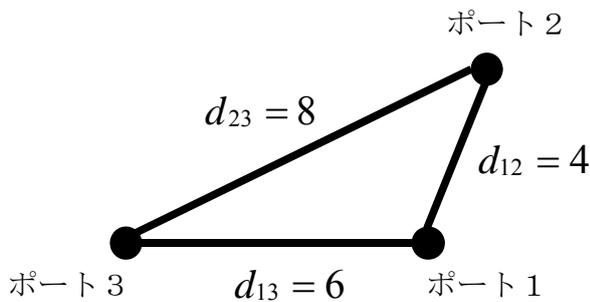


図-2 3ポートとポート間距離の設定

表-2 各プレイヤーA, BのOD間利用利得表

プレイヤーA (type: L)

1→2	$P_{A,12} = -5/2 - c_u = -11/2$
1→3	$P_{A,13} = 21/4 - c_u = 9/4$
2→1	$P_{A,21} = -9/2 - c_u = -15/2$
2→3	$P_{A,23} = 1 - c_u = -2$
3→1	$P_{A,31} = -27/4 - c_u = -39/4$
3→2	$P_{A,32} = -9 - c_u = -12$
利用しない	$P_{A,not} = 0$

プレイヤーB (type: H)

1→2	$P_{B,12} = -9 - c_u = -12$
1→3	$P_{B,13} = -27/2 - c_u = -33/2$
2→1	$P_{B,21} = 7 - c_u = 4$
2→3	$P_{B,23} = -6 - c_u = -9$
3→1	$P_{B,31} = -17/2 - c_u = -23/2$
3→2	$P_{B,32} = -18 - c_u = -21$
利用しない	$P_{B,not} = 0$

この例のもとで、先行利用・後続利用という点を除いた単純な各OD間でモビリティを利用時の利得を表-2にまとめておこう。ここでは選択肢になりうるものをすべて列挙しているため利得が負となるものも存在するが、利用しない場合の利得を0と基準化しているので、実質的に考えるべき選択肢は0以上の利得が得られる選択肢のみでよい。これらの設定の下で通常予約システムの場合の利用者予約行動と動的予約システムの場合の利用者予約行動の違いをみていくこととする。

(2) 通常予約システムにおける利用者予約行動

上記の設定の下で、通常予約システムにおける予約行動の意思決定を記述する。具体的には図-3で示す展開形ゲームとして記述することで、プレイヤーA, Bの選択する戦略の組合せにおけるサブゲーム完全均衡を導出することを目的とする。

まず、自然状態があり、先行利用者がどちらのプレイヤーであるかが1/2の確率で決定する。次に先行プレイヤーの手番となり、次に後続プレイヤーの手番となる。2プレイヤー双方の戦略が決定した時点でゲームは終了

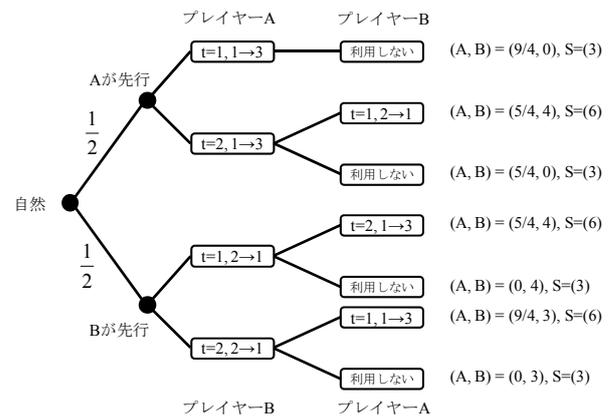


図-3 通常予約システム下における展開形ゲーム (利得が負となる戦略は表示していない)

し、このゲームのサブゲーム完全均衡はバックワードインダクションにより、次の2つの場合であることが示される。また図中に示されているSは予約システムが得ることができる収入(=予約システムの利得)である。

- 1) Aが先行プレイヤーであり、Aはt=1に(1→3)にモビリティを利用し、Bは利用しない。それぞれが得る利得は(A, B)=(9/4, 0)。S=3。
- 2) Bが先行プレイヤーであり、Bはt=1に(2→1)にモビリティを利用し、Aはt=2に(1→3)にモビリティを利用する。それぞれが得る利得は(A, B)=(5/4, 4)。S=6。

このとき、1)の場合では利用者はプレイヤーAのみであり、両プレイヤーが得る利得の合計やシステムが得る収入は少ない。2)の場合にはプレイヤーAが希望時間帯枠をずらすことによって両プレイヤーが利用しており、プレイヤーが得られる利得の合計やシステムが得る収入は1)の場合に比べて大きくなっている。予約システムの側からすれば1)は避けたい状況であるが、通常の早い者勝ちの予約システムの場合、1)の状況もまたサブゲーム完全均衡であるため避けられない。また、これらの2つの場合が起こる確率はそれぞれ1/2より、各プレイヤーの期待利得は $E[P_A] = 7/2$, $E[P_B] = 2$, $E[S] = 9/2$ であり、プレイヤーとシステム収入の合計の期待総利得は10である。

(3) 動的予約システムにおける利用者予約行動

次に、動的予約システムにおける予約行動の意思決定は図-4で示す展開形ゲームとして記述することができる。動的予約システムでは通常予約システムと異なり、先行プレイヤー、後続プレイヤーの順に意思決定を行った後、後続プレイヤーが先行プレイヤーの枠を奪った場合のみ先行プレイヤーは再度、予約に対する意思決定を行うこととなる。今回の例では動的予約システムの各レベルの予約コスト c_u はレベル1では $c_{u1} = 1$ 、レベル2では $c_{u2} = 3$ 、レベル3では $c_{u3} = 5$ と設定している。

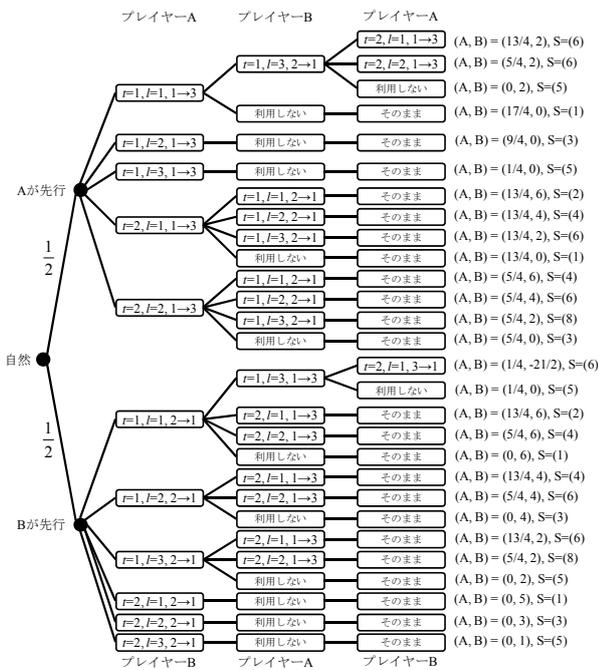


図4 動的予約システム下における展開形ゲーム
(利得が負となる戦略は一部を除き、表示していない)

このとき、このゲームのナッシュ均衡は

- 1) Aが先行プレイヤーであり、Aはf=1, l=1で(1→3)のモビリティを予約するが、Bがf=1, l=3, (2→1)で追い出すことにより、Aはf=2, l=1で(1→3)で再度予約を行う。それぞれが得る利得は(A, B)=(13/4, 2), S=6.
- 2) Aが先行プレイヤーであり、Aはf=2, l=1で(1→3)のモビリティを予約し、Bがf=1, l=1, (2→1)のモビリティを予約する。それぞれが得る利得は(A, B)=(13/4, 6), S=2.
- 3) Bが先行プレイヤーであり、Bはf=1, l=1, (2→1)のモビリティを予約し、Aはf=2, l=1, (1→3)のモビリティを予約する。それぞれが得る利得は(A, B)=(13/4, 6), S=2.

の3つの場合である。1), 2)はAが先行プレイヤーのときに等確率で起こりうるので、1), 2), 3)が起こりうる確率はそれぞれ1/4, 1/4, 1/2である。動的予約システムによるナッシュ均衡と通常の予約システムにおけるナッシュ均衡の大きな違いとして、まずどの均衡も両プレイヤーが利用すること、特にどの場合においてもプレイヤーAが希望時間帯を移行することによってプレイヤーBの利用を成立させていることがある。次に、その結果としてどのナッシュ均衡においてもプレイヤーとシステム収入の合計の総利得が等しく45/4である。これはどのプレイヤーが先行プレイヤーになるかという確率的要素があるにもかかわらず、系全体の社会的利得に変動が生じないという点で頑健性の高い予約システムであると言える。最後に各プレイヤーの期待利得は $E[P_A] = 13/4$,

$E[P_B] = 5$, $E[P_S] = 3$ である。2章で述べた選好が明らかな場合の安定マッチングに比べ、本章で考察している利用者モデルは合理的な個人を仮定しているため、自身の利得を最大化するように戦略を選択する。本来であればその選択肢から大きな効用が得られるにもかかわらず支払額が低いレベルの戦略的に選択するため、正直に選好を表明しないという点で予約システムが得られる期待収入が通常の予約システムよりも少なくなってしまうというシステム挙動が得られた。つまり、本ケースにおいて、動的予約システムは利用者利得を高め、系全体の総利得を大きくする可能性がある一方で、システムの期待収入は通常の予約システムよりも小さくしうることが確認された。

4. 相手のタイプがわからない時の利用者予約行動

(1) 不完備情報ゲームとしての定式化

3章で示した例はプレイヤーA, プレイヤーBは互いに選好についての情報が知られている完備情報ゲームとして定式化されている。しかし、現実的には単純な2人ゲームであっても相手プレイヤーの選好についての情報がない存在しないため、不完備情報ゲームとして定式化されるべきである。そこで、本章では相手のタイプ・選好がわからない場合における予約行動の戦略についての考察を行う。

(2) 期待利得を最大化する最適反応戦略

現在、関心がある問題は3章(2)節で示されたように、移動時間価値が低いプレイヤーの予約順序が一番手であったときに、通常の予約システムでは系全体の総利得が小さくなってしまいう状況が動的予約システムによって改善されるか否かである。そこで、本章では一つの例として、移動時間価値1, 希望ODが(1→3), 希望時間帯枠l=1であるプレイヤーA (type: L)が先行プレイヤーであるときにどの戦略を取るのかについて考察を行う。

ここで、プレイヤーAは相手プレイヤーBに対して全く情報を持たない。3章と同様の設定を考えたとき、移動時間価値について2つ、希望ODについて6つ、希望時間帯枠について2つの場合がありえるので、24パターンのプレイヤーBのタイプ・選好を考えることができる。このとき、各タイプの出現確率が等価であると仮定すると個々のタイプである確率は1/24である。

プレイヤーAの第一手の戦略は3章(3)と同様、(a)「f=1, l=1, 1→3」(b)「f=1, l=2, 1→3」(c)「f=1, l=3, 1→3」(d)「f=2, l=1, 1→3」(e)「f=2, l=2, 1→3」の5つの戦略が存在する。ここで(b), (c), (e)は後続プレイヤーBがどのような戦略を取ろうとも追い出されることはないので、選択した時点で期待利得は確定し、 $E[(b)] = 9/4$,

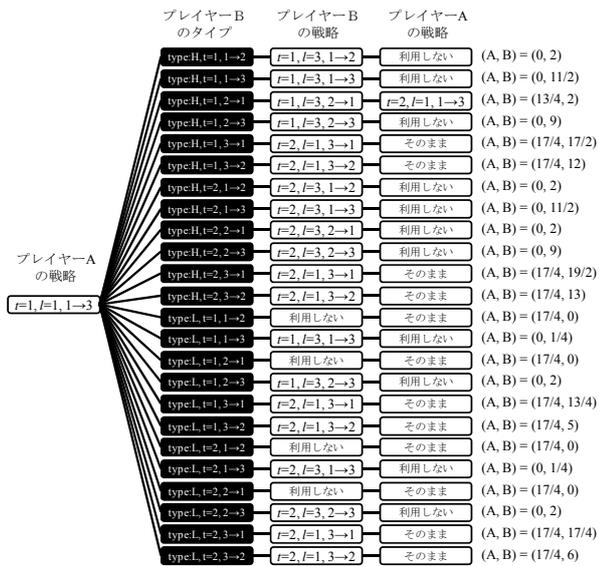


図5 プレイヤー(type: L)の戦略(a)による利得

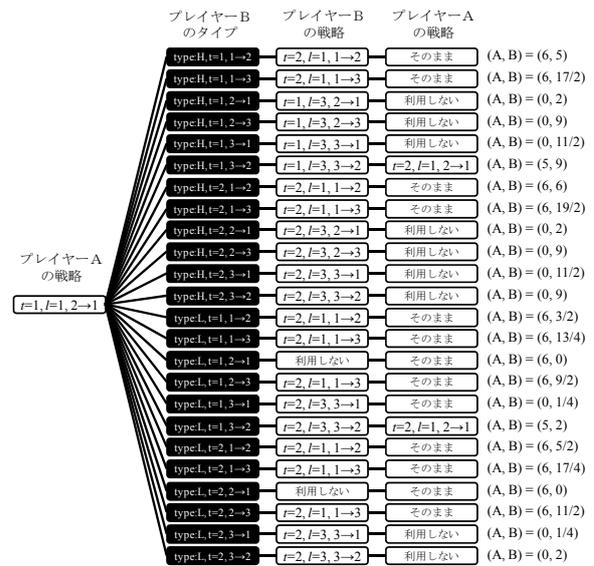


図7 プレイヤー(type: L)の戦略(a')による利得

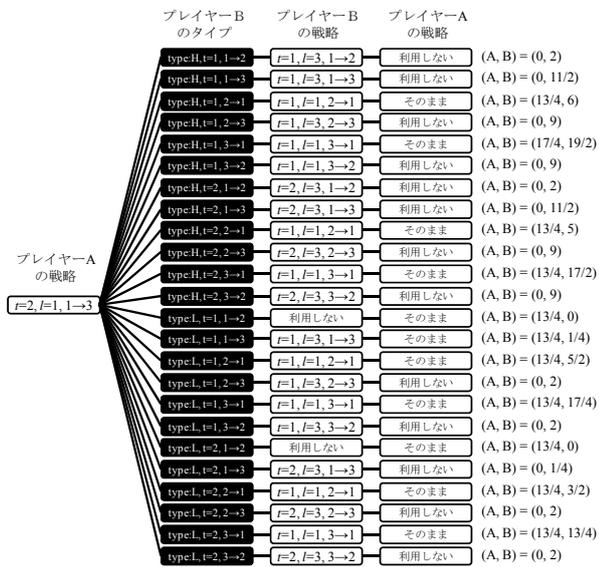


図6 プレイヤー(type: L)の戦略(d)による利得

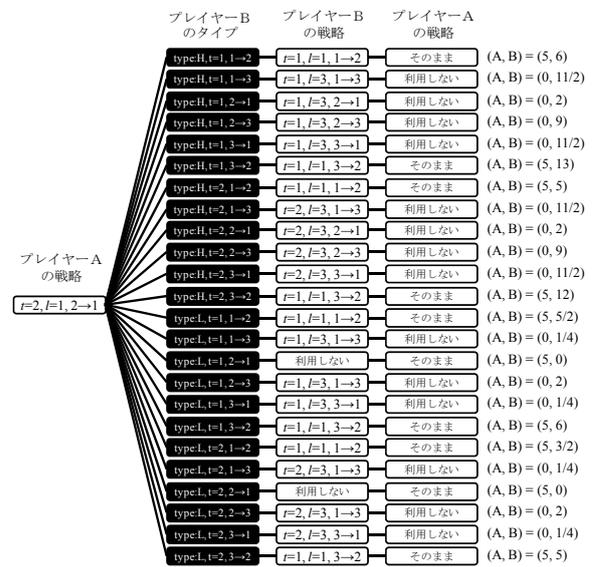


図8 プレイヤー(type: L)の戦略(d')による利得

$E[(c)]=1/4$, $E[(e)]=5/4$ である。一方, (a), (d)に対しては後続プレイヤーのタイプや取り得る戦略によって得られる利得が異なるため, 期待利得の計算を行う必要がある。図-5では戦略(a)の, 図-6には戦略(d)の各タイプ別利得を示す。ここから $E[(a)]=217/96$, $E[(d)]=65/48$ が得られる。各戦略の期待利得を比較すると, プレイヤーAにとっての最適反応戦略は戦略(a)であることがわかる。これは移動時間価値が低いプレイヤーが先行であるとき, 移動価値の高い後続プレイヤーがプレイヤーAを追い出すことができる可能性を示し, それが先行プレイヤーにとっても最適であるようなインセンティブが動的予約システムによって与えられていることを示す。このように固定的予約システムに比べ, 動的予約システムは柔軟性が高く, 予約順序とプレイヤーのタイプに相関がない場合に

においても, 社会的利得を高めることに寄与する。同様に, 先行プレイヤーAが移動価値の高いプレイヤー (type: H)の場合を確認する。ここでプレイヤーAの選好を移動時間価値2, 希望ODが(2→1), 希望時間帯幅f=1とする。プレイヤーAの第一手の戦略は3章(3)と同様, (a')「f=1, f=1, 2→1」(b')「f=1, f=2, 2→2」(c')「f=1, f=3, 2→1」(d')「f=2, f=1, 2→1」(e')「f=2, f=2, 2→1」(f')「f=2, f=3, 2→1」の6つの戦略が存在する。先ほどと同様, 各戦略の期待利得は $E[(b')]=4$, $E[(c')]=2$, $E[(e')]=3$, $E[(f')]=1$ であり, 追い出される可能性がある戦略については図-7, 図-8より $E[(a')]=41/12$, $E[(d')]=25/12$ と求まる。よって移動価値の高いプレイヤーにとっての最適反応戦略は戦略(b'), つまり追い出されない確定的予約であることがわかる。先ほどの移動価値が低いプレ

イヤーと異なり、高い費用を支払って確定的な予約を行うインセンティブが動的予約システムによって与えられていることを示す。これらの比較から動的予約システムは各個人の選好から自己選択的に戦略を選択することで、通常の子約システムを異なり、個人の選好を反映した配分結果になるよう各個人にインセンティブが与えられているということができる。

5. おわりに

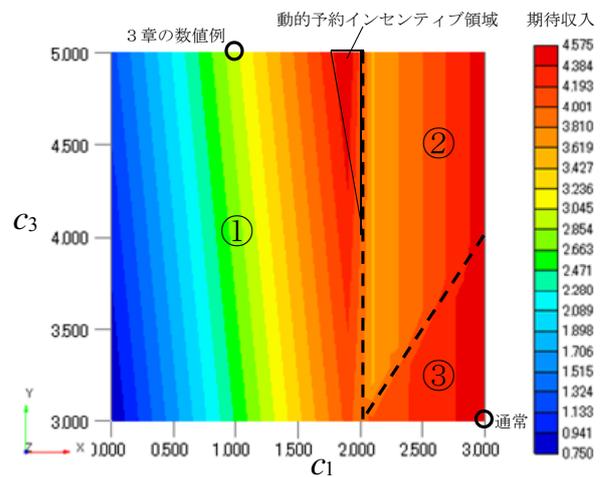
これまでの結果を整理する。利用者が合理的な個人であり自身の利得を最大化するように行動すると仮定した予約行動モデルでは各利用者は戦略的に意思決定を行い、サブゲーム完全均衡として各予約システム下におけるプレイヤーの選択を記述することができる。つまり、利用者意思決定の観点からは予約システムの違いはゲームの解をコーディネーションするゲームのルールとして記述することができる。3章、4章から、プレイヤーLは先行プレイヤーになっても追い出しを許可するレベル1を選択し、一方プレイヤーHは先行プレイヤーであるときにレベル2を選択して自身が追い出されることを拒否することがインセンティブとなっていることが示された。これはシステムにとって各個人の選好が不明な場合にも利用者自身に選好を表明させる良きコーディネーション施策であると言えよう。

では、ゲームのルールを決定するサービス主体はどの予約システムを採用するだろうか。ゲームのプレイヤーとしてサービス主体を加え、サービス主体が自身の期待収入を最大化するような意思決定を行うとき、3章の数値例のもとでは通常予約システムの期待収入9/2、動的予約システムの期待収入3であるため、サービス主体には通常の子約システムを選択する方にインセンティブが存在することがわかる。

ここで、動的予約システムによる期待収入が通常の子約システムによる期待収入よりも高くなるように各レベルの費用を変化させることを考える。 $c_{u2} = 3$ と固定した上で $c_{u1} = [0, 3]$ 、 $c_{u3} = [3, 5]$ として、各ケースでの期待収入を表現したものが図-9である。この図から料金設定によって3つの均衡解集合の領域に分割可能であり、通常の子約システムより大きな期待収入が得られる(動的予約システムに変更するインセンティブが存在する)料金は次式で表される領域①の右上三角の領域のみであることがわかる。

$$c_3 > -7c_1 + 18, 13/7 < c_1 < 2, 4 < c_3 < 5 \quad (2)$$

今後の課題として、本ケースでは動的予約システムに変更するインセンティブがある料金領域が存在したが、これが一般的に存在する条件や分割された領域の境界条件について更なる研究を進める必要がある。



- ① : (A, B) = (先行 $t=2, l=1, 1 \rightarrow 3$, 後続 $t=1, l=3, 2 \rightarrow 1$)
 = (先行 $t=2, l=1, 1 \rightarrow 3$, 後続 $t=1, l=1, 2 \rightarrow 1$)
 = (後続 $t=2, l=1, 1 \rightarrow 3$, 先行 $t=1, l=1, 2 \rightarrow 1$)
 ② : (A, B) = (先行 $t=1, l=2, 1 \rightarrow 3$, 後続 利用しない)
 = (後続 $t=2, l=1, 1 \rightarrow 3$, 先行 $t=1, l=1, 2 \rightarrow 1$)
 ③ : (A, B) = (先行 $t=2, l=2, 1 \rightarrow 3$, 後続 利用しない)
 = (先行 $t=2, l=1, 1 \rightarrow 3$, 後続 $t=1, l=2, 2 \rightarrow 1$)

図-9 レベル別料金を変化させたときの期待収入の変化

参考文献

- 1) Edara, P., Teodorovic, D., Model of an advance-booking system for highway trips, Transportation Research Part C, Vol.16, pp.36-53, 2008.
- 2) 赤羽弘和・桑原雅夫・佐藤拓也：高速道路の利用予約制に関する基礎的研究，土木学会論文集，Vol.660, IV-4, pp.79-87, 2000.
- 3) 赤松隆：一般ネットワークにおけるボトルネック通行権取引制度，土木学会論文集D, Vol.63, pp.278-301, 2007.
- 4) 赤松隆・佐藤慎太郎・Nguyen Xuan Long：時間帯別ボトルネック通行権取引制度に関する研究，土木学会論文集D, Vol.62, pp.605-620, 2006.
- 5) 山本裕一郎，吉田豊，坂本邦宏，久保田尚：観光地のパッケージ型TDMにおける駐車場予約システムの役割に関する実験的研究，土木計画学研究・論文集，No.21, pp.885-892, 2004.
- 6) 原祐輔・羽藤英二：電気自動車共同利用の動的料金システムの安定性に関する一考察，土木計画学研究・講演集，Vol.41, CD-ROM, 2010.
- 7) 松島格也・小林潔司・小路剛志：不確実性下における家計のサービス予約行動，土木計画学研究・論文集，No.17, pp.655-666, 2000.
- 8) 小林潔司・松島格也・菱田憲輔：予約システムの経済便益評価，土木学会論文集D, Vol.64, No.2, pp.299-318, 2008.
- 9) 太田裕之・藤井聡・西村良博・小塚みすず：カーシェアリング加入促進手法についての実証的基礎研究，土木学会論文集D, Vol.64, No.4, pp.567-579, 2008.