

社会ネットワーク上での 情報探索行動の実験と分析

石原 佳世子¹・井料 隆雅²

¹学生会員 神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1)
E-mail:ishihara@stu.kobe-u.ac.jp

²正会員 神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1)
E-mail:iryoy@kobe-u.ac.jp

人々が目的地を選択する際に参照する情報が、どのように探索されるのかを分析することは、目的地選択行動のメカニズムを知る際に重要である。もし、情報源が「過去に実際に選択肢を選んだ人の経験」のみであれば、選択行動と情報探索行動の間の相互依存関係により情報の伝搬が偏り、結果として選択行動が不完全な情報を基に行われる可能性が出てくる。本研究では、自身や他者の過去の経験以外に情報源がない状況で目的地を選択する情報探索行動をモデル化して数値シミュレーションを実施し、過去の研究で行った仮想的な飲食店をWeb上の実験環境で被験者が選択するという実験のデータとの整合性から理論の妥当性を確かめた。その結果、実験と同様に情報探索行動を一定の段階で停止し、最良の目的地を必ずしも選び得ない現象を再現することができた。

Key Words : *destination choice model, information search behaviour, optimal stopping problem*

1. 序論

ある地域に住む人が、その地域に存在する選択肢の中から目的地を選ぶときに考慮すべき要因としては次の4つが挙げられよう：

- ① 移動のための一般化交通費
- ② 目的地そのものの魅力 (効用)
- ③ 混雑
- ④ 情報と探索

目的地選択行動を分析する際には、各選択肢の情報が事前にどのような手段で得られるのかを知ることが重要である。そのため、本研究では「④情報と探索」を重視した。交通は時間軸に沿って展開される活動であり、選択肢を選ぶ前にその選択肢の「真の」よさを事前に知ることが不可能である。たとえば、ある経路の真の旅行時間がわかるのはその経路を使用した後であるし、ある観光地の真の満足度を知るのもその観光地に行った後である。これらのことは、交通行動を行う際には何らかの「情報源」から情報を取得し、それに依存してどの選択肢がよいかを推定する必要があることを示している。

交通行動で利用者が参考にする情報源は、「自身または他人の過去の経験」と「外生的に交通状況を観測するシステム」の2つが考えられる。このうち後者のような

システムが利用可能な環境 (ITS技術などが想定される) では、利用者が各選択肢の情報を完全に得ていると仮定することはそれほど難しくない。一方、そのような技術が存在しない状況では、自身や他人の過去の経験を参考に現在の選択を行う以外の方法はない。このような状況は目的地選択問題、例えば観光地や飲食店を選択する問題において発生する可能性があると考えられる。観光地や飲食店の価値は経験して初めて分かるものが多いと考えられる。ガイドブック等についても、それらが真の情報を提供しようと試みる (すなわち情報源として意味がある) ものであれば、その記述はそれらの著者やその周辺の人の過去の経験をベースにしていると考えられるべきである。

人々が自分や他人の過去の経験で得られた情報のみに依存して選択行動を行う状況では、より選択される選択肢の情報が偏って集まることにより、結果として利用者が不完全な情報を元にしたまま選択行動を行ってしまうことが往々にして発生することが考えられる。たとえば、Iryo et al.¹⁾ は、反復性のない選択行動においてそのような状況が発生する理論的可能性を示している。

人々がよりよい価値のある選択肢を発見し損ねるといふ現象は、一定の反復性がある選択行動においても発生することが考えられる。反復性のある選択行動であれば、

全選択肢にチャレンジすることも理論上は可能だが、実際には、情報探索によるメリットがその手間を下回れば、人々はそれ以上の自発的な探索を行わなくなると考えるべきである。例えば、いわゆる秘書問題に対する実験では、探索費用を考慮しない数学モデルで想定される最適停止タイミングよりも早いタイミングで決断を下す行動が観測されることが知られている^{2,3,4}。交通の分野では、未知の街路を回遊する歩行者の目的地探索行動を最適停止問題で分析した研究がある⁵。探索が有限の回数で停止すれば、すべての情報が社会に行き渡らず、結果として人々が価値のより高い選択肢を発見し得ない可能性があることが予想される。

石原ら⁶は、Web上で構築した実験的環境を用いて、自身や他人の過去の経験しか情報源がない状況で目的地選択行動を行うという状況を構築した（以降では「情報探索実験」と呼ぶ）。この状況のなかで、人々が他人の得た情報をどの程度まで探索し、それにより人々はどの程度までより価値の高い目的地を発見しうるのかを実験的に調査した。結果は、予測どおり、最善の選択肢にたどり着かないまま途中であきらめるといった状況がみられた。石原ら⁶は、この結果で得られたデータから、2項選択問題を用いて最適停止問題として選択行動のモデル化を行った。しかし、複雑な選択問題を単純な2項選択で再現することには限界があり、より複雑なモデル構築の必要性が示唆された。

本研究では、石原ら⁶の情報探索実験から得られた結果を考察した上で情報探索行動モデルを提案する。そのモデルを数値シミュレーションとして実装し数値計算を行い、その結果を実験観測値と比較することによって、提案モデルの妥当性を確かめることを目的とする。

2. 情報探索実験の詳細

本研究では、石原らの情報探索実験⁶で得られたデータをそのまま用いる。本章ではこの情報探索実験について改めて詳細を述べる。

情報探索実験はWebで構築されたシステムを用いた実験（Web実験）と、紙ベースで本実験の前後に行うアンケート調査、および実験参加者へのインセンティブを与えるための本実験後に行うペナルティ作業の3部で構成される。神戸大学工学部市民工学科の学生53名（2, 3年生）を実験参加者として雇用し、これらの実験参加者1人1人に対してWeb実験、アンケート調査、およびペナルティ作業のすべてを2010年11月末から12月中旬にかけて行った。

(1) Web実験の詳細

Web実験では、想定された架空の状態において実験参加者に対して複数の目的地を提示し、そこから1個の目的地を選んでもらうことをWeb上のシステムで行っている。今回の実験で想定した状況は「神戸市にあるとされる架空の食べ物店を複数提示し、その中から最もおいしい店を1軒選ぶ」である。実験参加者には複数の条件の下でこの選択を合計20回反復してもらう。

実験参加者が選択する店はいくまでも架空の店であり、その店の「おいしさ」を、直接味として実験参加者に味わってもらうことはできない。このため、実際の味かわりに、本実験では各々の店に「おいしさポイント（点数）」を付与し、その点数が高い店ほどおいしい店であると設定した。実験参加者にはすべての実験を通じて選択した20軒の店の点数の合計をできるだけ高くするように要請した。なお、実験参加者へのインセンティブとして、実験参加により一定の報酬を与えるかわりに、点数の低さに応じたペナルティ作業を実験後に課す（点数が低いほど作業量が多い）ことを説明し、実際にその作業を実験後に行わせた。

設定した店の総数は85軒である。これらは「お好み焼き屋(30軒)」「ケーキ屋(15軒)」「ラーメン屋(20軒)」「ドーナツ屋(20軒)」の4種類の店に分類される。1回1回の質問において実験参加者にはこれらのうち1種類のみの店が一括して提示される（たとえば、お好み焼き屋を提示する質問であれば、お好み焼き屋30軒がすべて提示され、他の店は提示されない）。20回の各質問において提示される店の種類は表-1のように設定した。この設定では同一種類の店を4回ないし6回連続して提示している。この提示パターンを含め、各設問でどの種類の店が選択肢として提示されるかは実験参加者には事前に知らされていない。ただし、実験実施の都合上、質問回数が20回であることは実験参加者に事前に通知されている。以降では、店の種類に対応して、「実験1」を第1～6回目の質問、「実験2」を第7～10回目の質問、「実験3」を第11～16回目の質問、「実験4」を第17～20回目の質問を示すラベルとする。

表-1 選択肢の設定

	実験1	実験2	実験3	実験4
食べ物	お好み焼き	ケーキ	ラーメン	ドーナツ
店の数 (選択肢数)	30軒	15軒	20軒	20軒
選択回数 (質問回数)	6回	4回	6回	4回
点数分布	最高点200 最低点-20 ランダム分布	最高点140 その他70	最高点175 最低点-15 線形分布 (10刻み)	最高点35 最低点-3 線形分布 (2刻み)

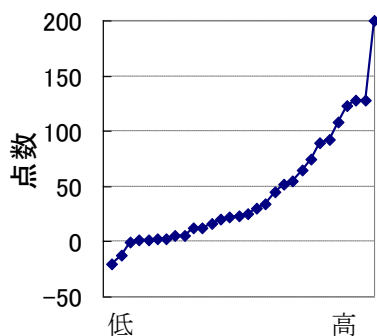


図-1 点数分布 (実験1: お好み焼き屋30軒)

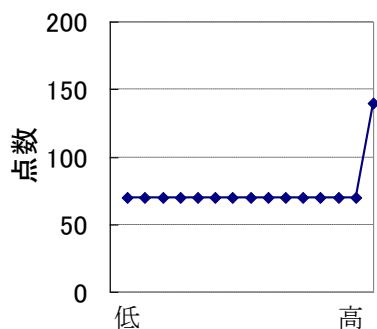


図-2 点数分布 (実験2: ケーキ屋15軒)

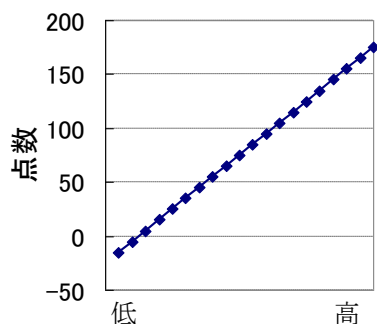


図-3 点数分布 (実験3: ラーメン屋20軒)

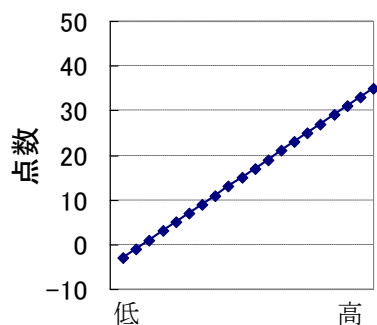


図-4 点数分布 (実験4: ドーナツ屋20軒)

各店には種類ごとに通し番号が振られており、実験参加者はその番号で店を選択する。提示されている店の種類が同一であれば、回数を重ねても、それぞれの番号の店の点数は変化しない。各店にあらかじめ割り振った点数の最大値および最小値を表-1に、その分布型を図-1から図-4に示す。なお、設定した店の種類とその数、および各店に与えられた配点に関する一切の情報（負の点数が存在するか等の基本的情報を含む）は、実験参加者には事前には知らされていない。

実験参加者が店の点数を知る方法は「実際にその店を選択すること」のみである。このルールは「各店の食べ物おいしいかどうかを知るためには、実際にそこについて味うしか方法がない」という考えに基づいて設定した。今回の実験では、各質問の回答を締め切り、次の質問の出題に移った際に、各実験参加者にメールにより前回選んだ店の点数を「個別に」知らせた。ただし、実験参加者どうして日常生活範囲内の口コミ等による情報交換は規制していない。よって、実験参加者は、自身が過去に選んだ店だけでなく、過去に他人が選んだ別の店の点数を知ること、その人から情報を提供してもらうことにより可能である。

すべての実験参加者はメール受信およびWeb閲覧が可能な携帯電話を所有しており、質問や回答等はすべて携帯電話を通じて行う。出題はメール送信によって行う。メールの文面は例えば下記のように設定した：

「【実験1】 こんにちは！お好み焼き食べに行きましょう！ 前回選んだお好み焼き屋は 24 番でしたね。その店の美味しさは 23 点でした！ 今回はどの店でお好み焼き食べます？お店は1番から30番まであります。つぎのリンクから 11月29日 23時59分 までに教えてください
<http://..> (以下略) 」

この文面には、前回その実験参加者が選んだ店の種類、番号と点数、今回選ぶべき店の種類と番号の範囲、締切時刻、回答ページへのリンクが掲載されている。実験参加者は自身の携帯電話から<http://..>以下のリンクをクリックし、回答ページへアクセスする。そして、回答ページで今回選択する店の番号をフォームから直接入力することにより回答を完了する。それ以外に回答ページは以下の機能をもたせている：

- 過去に自身が選んだ店の番号とその点数の照会
- 各回答において自身が参考にした情報源を聞くアンケート機能

なお、後者のアンケート機能の詳細については(2)節のb)項に記した。

以上で示した条件の実験の具体的なタイムラインを説明する。実験は10日間（連続する平日5日間の2週連続）

表-2 アンケートの概要

	事前アンケート	実験中アンケート	事後アンケート
実施回数	1回	20回	1回
実施時期	実験事前説明会	実験質問回答後	実験終了後
質問内容	実験に参加する友達関係	情報入手手段 ※選択肢あり 情報入手相手 ※自由記入	個別ヒヤリング等
形態	用紙	Web画面上	用紙



図-5 実験のタイムライン (1日目)

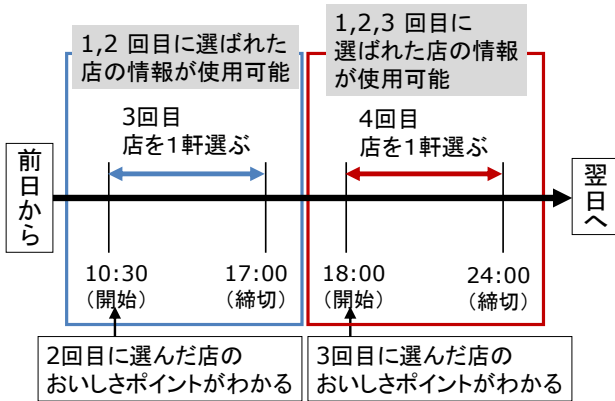


図-6 実験のタイムライン (2日目)

19回目の選択 (12月10日 23時59分締切) についてのアンケートです。

(1)このときは〇〇番のドーナツ屋を選びましたね。その際に最も参考にした情報源を1つ挙げてください。

- ・対面での会話 ・メール ・電話 ・twitter
- ・ブログ/SNS(mixi等) ・チャット ・自身の過去の経験
- ・特になし(勘) ・その他(他人から)

(2)だれから情報を得たか、その人の名前を1人だけ入力してください。
※ただし、「特になし」と「自身の過去の経験」については除く。

図-7 実験中アンケートの例

にわたって行い、1日に2回の質問を出題し解答してもらった。タイムラインの例(1日目および2日目)を図-5, 6に示す。1日に2回の質問は、朝の部と夜の部に分けられる。各質問において出題時刻および回答締め切り時刻は事前に設定されており、これらは実験参加者に事前に伝達されている。朝の部では10:30に出題し17:00に回答を締切る。夜の部では18:00に出題し24:00に回答を締切る。締め切り時間を過ぎた場合は原則未回答とする。なお、締め切り時間内であれば一旦回答した店番号は何度でも変更できるようにした。これにより、回答時間内に他の実験参加者からよりよい情報を得た場合は、回答を変更することが可能となる。

(2) アンケートの詳細

アンケート調査は「事前アンケート」「実験中アンケート」「事後アンケート」の3つからなる。表-2にそれぞれのアンケートの詳細を示す。

a) 事前アンケート

事前アンケートは、実験前に実験参加者を集めて行った実験説明会時に実施した。目的は、実験参加者間の人間関係(友達関係)を把握することである。実験参加者には、本実験に参加する実験参加者のうち、だれが自身の友達かを質問する。

b) 実験中アンケート

実験中のアンケートは、(1)節で記したとおり、Web上での質問に回答後、そのままアンケート回答ページに接続できるようにした。実験参加者は、質問回答後すぐにアンケートに答えることができ、また、後でアンケート回答Webページに接続して答えることもできる。また、回答時間に関係なく、何度でも修正可能で、いつでも答えられるように設定した。

実験中アンケートにおいては、自身が各質問で選択を行う際にどのような情報入手手段を使って誰から情報を得たのかを質問した。情報入手手段に関しては、こちらから与えた選択肢から1個を選んでもらった。情報入手相手に関しては、情報を得た実験参加者のフルネームを入力するように依頼した。実際の質問例を図-7に示す(Web上でのフォーマットはこの図とは異なる)。

c) 事後アンケート

20回の各質問において、自身が情報を自発的に探索したのか、あるいは偶発的に得たのかいずれであったかを尋ねた。あわせて、実験中アンケートの回答で不明な点を個別にヒヤリングした。そのほかにも質問を行っているが、今回の分析では用いていないので詳細は省略する。

(3) ペナルティ作業について

実験参加者により高い点数の店を選択させるために、実験終了後、20回の質問において獲得した点数の合計点に応じてペナルティ作業を課す。具体的には「漢字の書き取り」を作業として課した。作業の量は点数が少ないほど大きくなるとした。実験参加者間での競争が発生する（他人が情報を取得するのを妨害する）ことを防ぐために、実験参加者には、作業量は他人との相対的な順番で決まるものではないことを事前に説明した。

3. ネットワークについて

石原ら⁹⁾の情報探索実験の結果のうち、友人関係や実際に情報をやりとりした相手のデータを用いれば、今回の実験において情報伝達の経路となる人間関係を記述する社会ネットワークを再構築することができる。この社会ネットワークを以下では単に「ネットワーク」と呼ぶ。

本研究で記述するネットワークについて定義する。実験で観測されたネットワークの分類を表-3に示す。事前アンケートにより、被験者が友達と答えた被験者間のネットワークを友達ネットワーク、実験中アンケートで情報を聞いたと答えた被験者間のネットワークを友達外ネットワークとする。これらのネットワークを構成するリンクについては、実験時にはその方向（例えば、「誰が」「誰を」友達として答えたか）を含んだ一方方向の有向リンクとして観測されるが、ネットワークを記述する際には、リンクがある被験者間で一方方向にしか存在しない場合でも、逆方向のリンクを追加した双方向リンクを用いた。本研究ではこの2つのグラフを重ね合わせたものを合成ネットワークと定義する（合計リンク数308本）。

友達ネットワークを構成するリンクをすべて双方向リンクとする理由は複数ある。ある被験者aが事前アンケートで、ある被験者bを友達としている場合、被験者bが被験者aを友達と回答していなかったとしても、情報が一方方向にしか伝わらないとは断定できない。片方が友達としている以上、情報は双方向に伝わる可能性がある。また、ネットワークを測定する際、被験者自身の社会的つながりを、アンケート回答時その場でもれなくすべて列挙することは難しいことも理由として挙げられる。図-8に実際に実験で観測された情報通信と友達ネットワークを示す。

図-9に合成ネットワークのノードの次数分布を示した。図-9を見ると、山形のグラフとなっており、平均次数は5.81である(図中の点線)。グラフの形からして、本実験の被験者における友達ネットワークを構成するノードの次数には代表的な値が存在すること、すなわちスケールフリー性がないことがわかる。

表-3 ネットワークの分類

	友達ネットワーク	友達外ネットワーク
定義	事前アンケートで友達と答えた被験者間のリンクを繋いだネットワーク	実験中に情報伝達が観測されたリンクを繋いだネットワーク
合成ネットワーク図との対応	黒線 + 緑線	赤線

※ 合成ネットワーク…友達ネットワークと友達外ネットワークを合わせたネットワーク

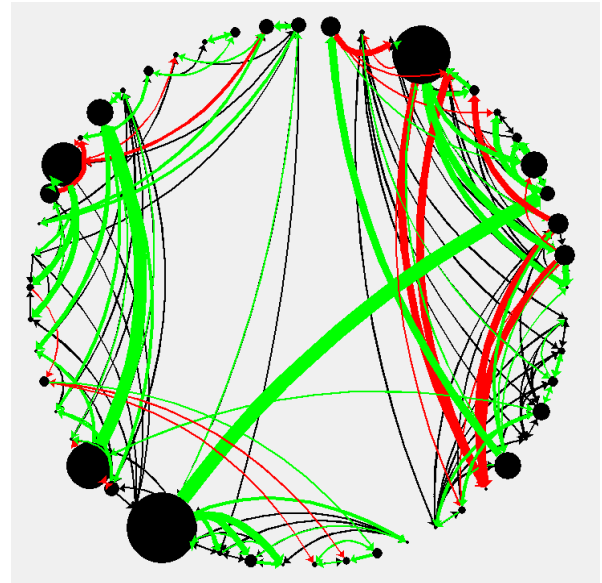


図-8 合成ネットワーク図

- 黒丸： 被験者(ノード)
- 黒線： 友達ネットワークのリンク
- 緑線： 友達でかつ通信があったリンク
- 赤線： 友達外通信ネットワークのリンク
- 黒丸の大きさ： 各被験者の通信頻度
- 線の太さ： 通信回数が多いほど太くなる

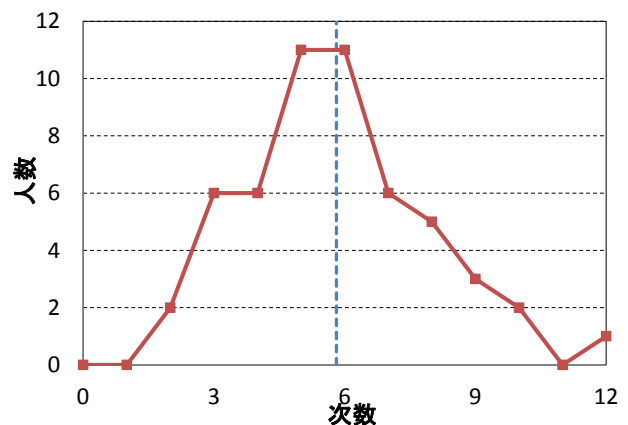


図-9 合成ネットワーク次数分布

表-4 情報通信集計

項目	内容
総通信回数	242回
総リンク数	308本
リンクの双方向率	80.9%
友達ネットワーク上の通信回数	176回
友達ネットワーク上の通信回数率	72.7%
友達ネットワークのリンク数	262本
友達外通信ネットワーク上の通信回数率	27.3%

※ 総リンク数：合成ネットワークのリンク

表-4は定義した合成ネットワーク上で行われた情報通信（被験者間の情報のやりとり）の集計である。ここでいう通信回数は（実験中のアンケートで把握できた）情報伝達が起こった回数に相当する。また、リンクの双方向率とは、ノード間の2本の有方向リンクが互いに情報を伝えた割合である。

ネットワーク内での総通信回数を質問ごとに集計したものを図-10に示す。グラフ上の縦線は実験の切れ目を表す。各実験の2回目の回答の際に情報伝達のピークが発生していることがわかる。

次にネットワーク内での情報通信量に偏りがあるかどうかを分析する。リンク1本それぞれに質問回数計20回、0または1の選択が確率 p でランダムに起こるとすると、そのヒストグラムは二項分布 $B(20, p)$ に従うと予測できる。ネットワーク内でのリンク別の伝達回数を次の図-11,12にヒストグラムとして示す。図-11は、自発的な情報探索を、図-12は偶発的な情報入手の集計になっている。自発的な情報探索とは、自身で他人に情報提供を要望した情報伝達のことであり、偶発的な情報入手とは、自身が意図せず、他人の会話がたまたま耳に入った場合などの情報伝達のこととしている。

図-11,12では、2つのグラフの観測値と、確率 p としてどのリンクについても一様に「全体の伝達回数」 / （「リンク本数」×20）を適用したときの二項分布を比較している。形を見ると、図-12は比較的近いように見えるが、どのヒストグラムも二項分布と完全には一致しないことがわかる。

リンク別情報伝達回数ヒストグラムと二項分布とを比較して一致しない理由として、2点考えられる。1つめは、個別のリンクが同じ確率で通信しているわけではなく、特定の少数リンクが高い頻度で通信しており、その他のリンクが低い頻度になっていると考えられる。2つめは、事前アンケートで友達と答えたリンクがあったとしても、実際に通信はなされておらず、情報伝達回数が0となっているリンクが過大であるため、二項分布とのずれが生じていると考えられる。とはいえ、二項分布から大きくずれているわけではないので、近似的には、意図的探索

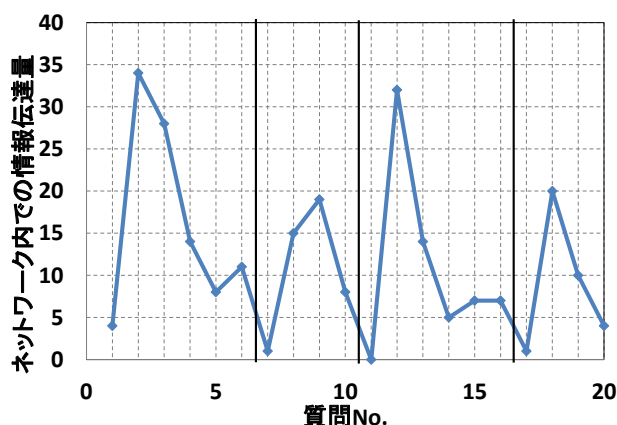


図-10 質問No.別情報伝達回数

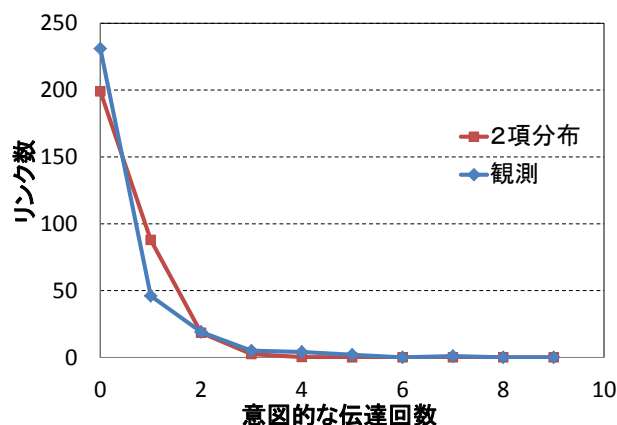


図-11 リンク別伝達回数（自発的）

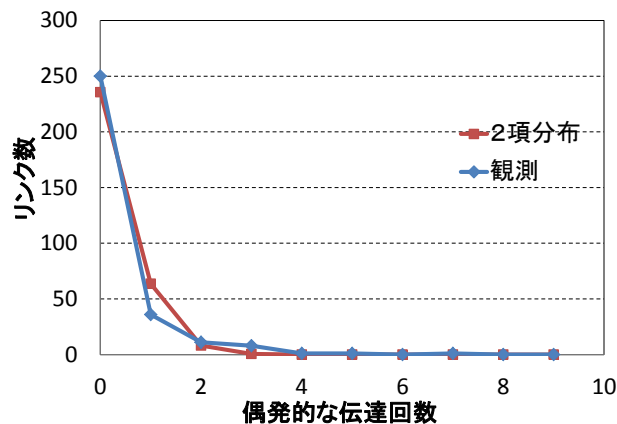


図-12 リンク別伝達回数（偶発的）

にせよ、偶然にせよ、各リンクは等確率で情報を伝播させている」ということができよう。

以上から、本研究の合成ネットワークについては：

- ・ネットワークの構造は、スケールフリー性はない。
- ・ネットワークに含まれる各リンクはおおむね等しい確率で情報を伝播させている。

ということがいえる。このことは、少なくとも今回の被験者集団を対象とするのであれば、ネットワークに情報の伝達のしやすさという属性をつける必要が小さいといえる。均質な社会集団を対象とする限り、この特性は適

用可能かもしれない。均質でない集団であれば、情報伝達のしやすさという偏りが発生し、各リンクは一定の確率で情報伝播を行わない可能性はある。また、本研究で提示した合成ネットワーク以外の構造の場合は、構造の細分化を行い、均質な集団を抽出することによって、適用できる可能性がある。

4. モデルの構築

本章では、情報探索実験の結果の考察から新しく情報探索モデルを提案する。既存の石原らによる情報伝達実験⁹⁾の分析においては、2項選択モデルによる探索停止問題を考えた。その思考過程を図-13に示す。ここでは、情報探索行動を情報探索継続効用と情報探索停止効用によって決定される停止問題として表した。情報探索継続効用 U_{ci} 、情報探索停止効用 U_{si} を以下の式：

$$U_{ci} = V_{ck} + \varepsilon_{ci} \quad (1)$$

$$U_{si} = \beta_k \alpha_{i-1}^* + \varepsilon_{si} \quad (2)$$

U_{ci} ：質問 i における情報探索継続効用($i = 1, \dots, 20$)

V_{ck} ：実験 k における確定効用($k = 1, 2, 3, 4$)

ε_{ci} ：質問 i での誤差項 (ガンベル分布に従う)

U_{si} ：質問 i における情報探索停止効用($i = 1, \dots, 20$)

β_k ：実験 k における効用係数($k = 1, 2, 3, 4$)

α_{i-1}^* ：質問 $i-1$ までに選んだ店の点数の最大値

$$\alpha_{i-1}^* = \max_{j \in \{1, \dots, i-1\}} \{a_j\}$$

a_j ： j 番目までに選んだ店の点数

ε_{si} ：質問 i での誤差項 (ガンベル分布に従う)

で表し、パラメータ推定を行った。表-5に結果を示す。

上で示される情報探索停止モデルは、実験中のアンケートで“自身の過去の経験に頼って”過去に選んだ店を選んだ時点で、探索を停止したとしている。しかし、質問 i 内での選択結果が“自身の過去の経験”を参考にしたものであったとしても、情報探索を停止したとは言いきれない。質問 i で情報探索を行ったが、自身知っているものよりも良い情報が得られなかった場合、結果的に、“自身の過去の経験 (質問 $i-1$ までに選択した店)”から選択するということが考えられるからである。石原らの情報探索実験では、第2章2節のb)項で述べたように、選択をする際に最も参考にした情報を得た相手1人のみを観測しているため、実験で得たデータのみでは、この過程を表すことは難しい。

表-5 パラメータ推定結果

	パラメータ	値	Vck/ β_k	t値	対数尤度	Mcfaddenの決定係数 (自由度調整済)	観測数
実験 1	Vc1 β_1	1.623** 0.016**	101.44	4.07 5.47	-120.21	0.16	207
実験 2	Vc2 β_2	4.644** 0.049**	94.78	6.29 6.19	-54.03	0.34	120
実験 3	Vc3 β_3	4.231** 0.037**	114.35	4.47 5.99	-82.03	0.44	213
実験 4	Vc4 β_4	9.266** 0.311**	29.79	4.69 5.07	-49.94	0.45	132

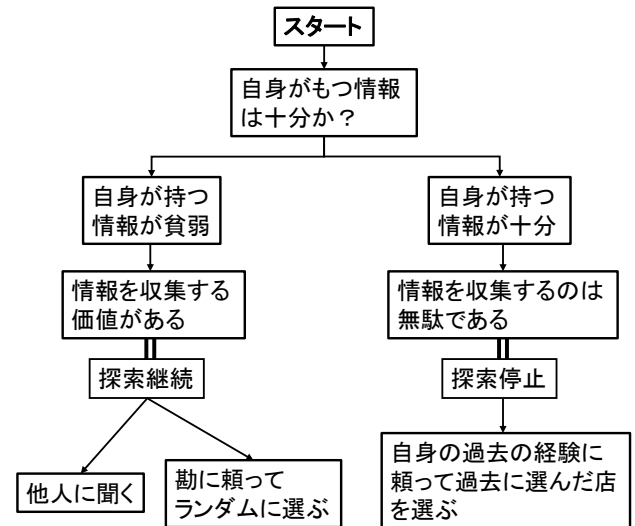


図-13 質問 i のなかでの思考過程①

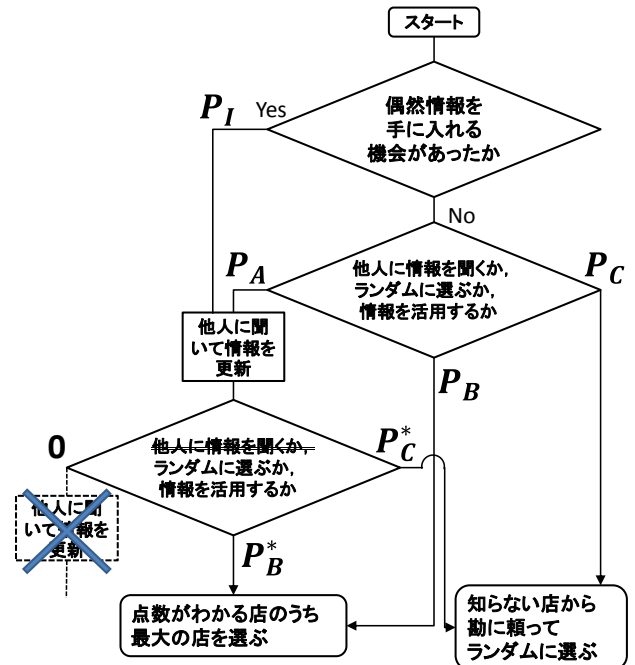


図-14 質問 i のなかでの思考過程②

本研究で提案するモデルは、情報探索実験から得られたデータの範囲内で、石原らの情報探索停止モデルで考慮しなかった過程も組み込んで構築した。提案モデルにおける選択の思考過程のフローチャートを図-14に示す。

被験者は、選択をする際、自発的な情報探索とは別に、偶発的に情報を知ることが起こりうる。この確率を P_I とし、人間行動とは別にある確率で起こる事象とする。また、偶発的な情報伝達が起こらなかった場合、被験者は、次の行動A,B,Cから3項選択を行うとする：

- A：他人に聞いて自身の知る最善の情報を更新する
- B：現時点で点数のわかる店のうち最大の店を選ぶ
- C：点数の知らない店の中から勘に頼ってランダムに選ぶ

BまたはCに進んだ場合、選択はそこで終了し、Aに進んで他人から情報を聞いた場合は、その時点で再度BまたはCの2項選択を行う。一方、偶発的に情報を得た場合は、必ず、他人から情報を得て情報の更新を（手持ちの情報よりよければ）行った上で、行動B,Cの選択を行うものとした。

Aの他人に聞くという行動や偶発的に情報を得る事象は、第2章の図-5、6に示した制限時間内で何度も繰り返すことが可能であるが、このモデルは、図-5、6内の横矢印（ \Leftrightarrow ）で表した制限時間内の思考を集約して表したものであり、最初の3項選択でAを選んだ、もしくは偶発的に情報を得た場合、もう一度Aや偶発的な情報伝達を繰り返すことは時間制約により不可能と考えている。

A, B, Cそれぞれの生起確率は、 P_A, P_B, P_C で記述し、Aに進んだ後のB, Cの生起確率は、 P_B^*, P_C^* で記述する。ただし、 $P_A + P_B + P_C = 1, P_B^* + P_C^* = 1$ を満たす。A, B, Cの効用は

$$V_{An} = V_{ck}/\beta_k \quad (3)$$

$$V_{Bn} = y_n \quad (4)$$

$$V_{Cn} = E(x) \quad (5)$$

- V_{An} ：行動Aの効用（店の点数単位）
- V_{Bn} ：行動Bの効用（店の点数単位）
- V_{Cn} ：行動Cの効用（店の点数単位）
- V_{ck}/β_k ：実験 k における探索の期待効用（点数単位）
（表-5の推定値を使用）
- $E(x)$ ：点数の期待値
- y_n ：持っている点数の最大値
- n ：個人($n = 1, \dots, 53$)

とし、各確率は式(3)-(5)の確定効用に分散パラメータを乗じたものに二項ロジットモデルを適用して計算した。

5. シミュレーションと分析

前章で述べたモデルのシミュレーションを行う。シミュレーションで使用する社会ネットワークは、第3章で記述した合成ネットワークを使用し、各被験者が情報伝達をする際の各リンクの情報伝達の生起確率は等しいとした。シミュレーションの値は、1000回繰り返したものの平均値をとることとした。

(1) 実測値に即したシミュレーション

前章で述べたモデルにより情報伝搬の様子が再現できるか、パラメータを操作して確かめてみる。石原ら⁹の情報探索実験の実際の選択結果と比較する。ここでパラメータとなるのは、

- ・分散パラメータ： θ
- ・行動Aで各被験者が情報を聞く最大人数（人）： μ
- ・偶発的な情報伝達率： γ

である。これらを手動で適宜変動させて、シミュレーションの結果を実験結果にできるだけ近づけるようにした。シミュレーションで用いた値は、表-6に記載した。

a) 選択結果

選択結果とは、被験者がどの点数の店を選んだか、その推移を表している。実験1から順番に、実際の実験結果とシミュレーション結果を示す。（図-15～図-22）シミュレーション値が1000回の平均であるのに対し、実験結果は、1度きりの観測値であるので伝播の広がりや完全に再現することは難しいが、実験と同回数選択を繰り返した際に最終的に良い点数の店（最高点から3番目の点数の店）が同人数に伝播するようにした。

最も選択結果に影響を与えたパラメータは μ である。 μ が大きいほど、より早い段階で、良い点数の店（最高点から3番目までの点数の店）が伝搬した。情報探索実験では、被験者が選択を行う際に最も参考にした情報入手相手のみを観測していた。しかし、一般的に情報を集める際、情報を聞く相手が1人とは限らない。複数人に聞いて、情報の価値を比べるという行動にでることが考えられる。一方で、 μ に20や30といった大きな数字を入れることはあまり意味をなさない。シミュレーションには合成ネットワークを使用しているため、個人 a が20人に情報から情報を得ようとしても、合成ネットワーク

表-6 シミュレーション変数値

	θ	μ (人)	γ
実験1	0.02	7	0.13
実験2	0.03	8	0.25
実験3	0.03	5	0.12
実験4	0.08	10	0.2

① 実験1

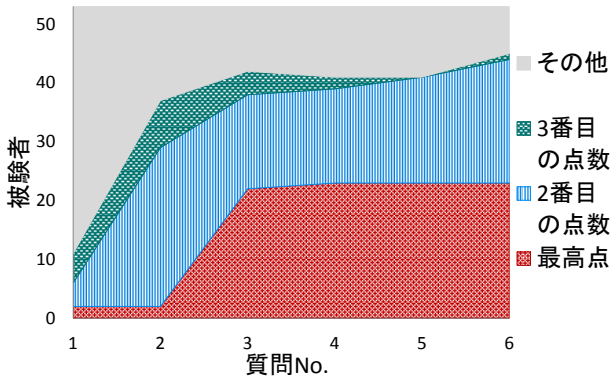


図-15 実験1選択結果

③ 実験3

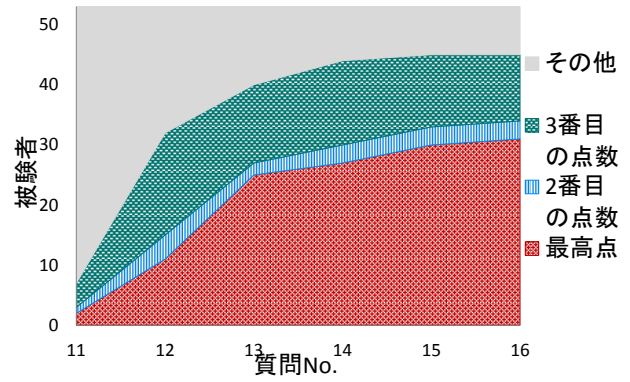


図-19 実験3選択結果

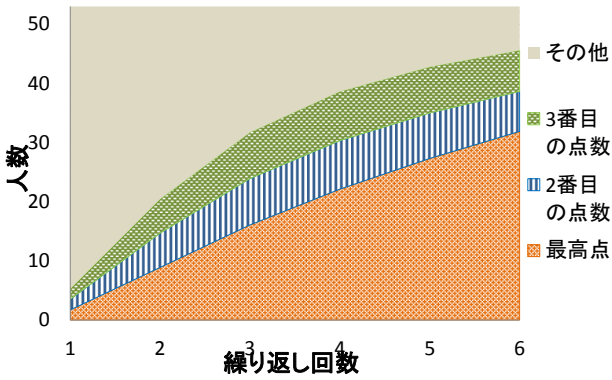


図-16 選択結果シミュレーション (実験1)

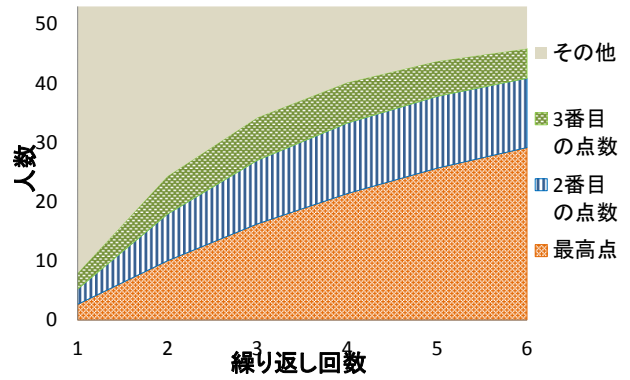


図-20 選択結果シミュレーション (実験3)

② 実験2

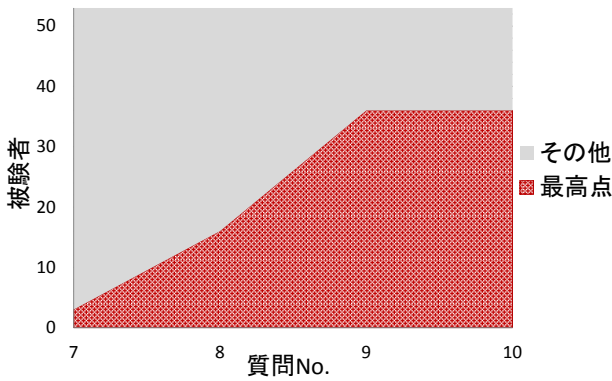


図-17 実験2選択結果

④ 実験4

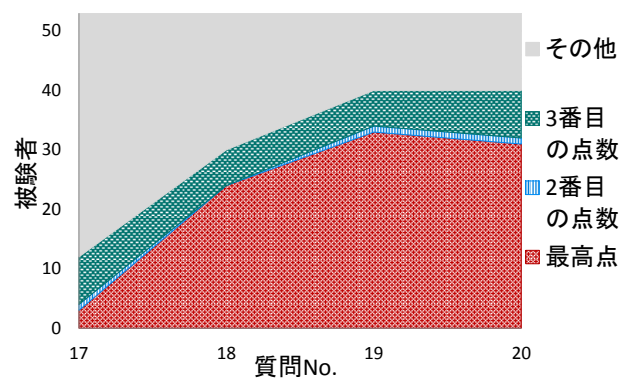


図-21 実験4選択結果

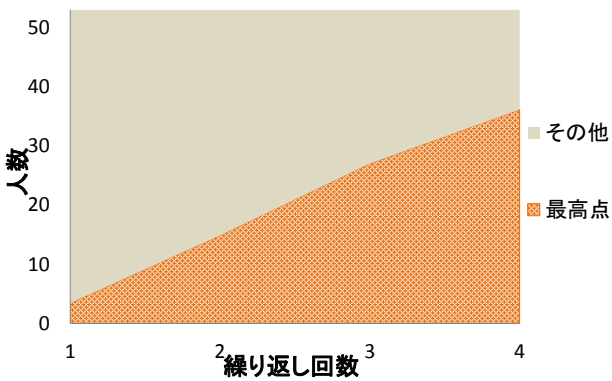


図-18 選択結果シミュレーション (実験2)

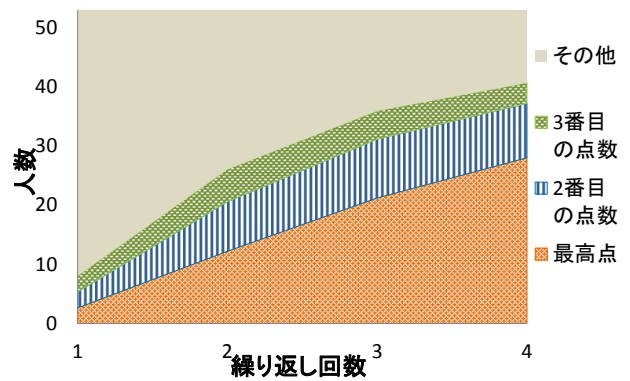


図-22 選択結果シミュレーション (実験4)

で3人としか繋がっていなければ、それは不可能である。表-6で示した実験1~4の μ の平均値は7.5人であり、ネットワークのリンクの平均値が5.81であることを考慮すると妥当な値といえる。

γ については、情報探索実験の情報伝達の集計から、偶発的情報伝達は観測された情報伝達全体の1/3と集計されたため、 $\gamma = 0.3$ 以下を想定してシミュレーションを行っている。 γ の値は、 μ ほどの感度はなかったが、情報の広がりに影響することがわかった。 γ の値が大きいくほど、比較的多くの人数に情報が伝播しやすいといえる。

b) 情報探索行動結果

情報探索実験で実測された行動結果を示す。(図-23)これはどのような手段で情報を得たかを表しており、行動ABCとの対応は以下のとおりである。

- ・メール, 対面での会話, ブログ/SNS, 電話, twitter, その他(他人から) → A
- ・自身の過去の経験 → B
- ・特になし(勘) → C

ただし、前にも述べたが、情報探索実験では、最終的に参考にした手段のみを観測している。たとえば、他の被験者に情報を聞いたが自身が持っている情報よりも良い情報が得られなかったため、最終的に自身が過去に選んだ店を選んだ場合は、“自身の過去の経験”を参考にしたと観測される。今回のシミュレーションでは、モデルの構造から、“自身の過去の経験”を最終的に参考にしたが、実際は他者から情報探索を行っていた場合(図中A→B(非更新))も推定することができた。シミュレーション結果を図-24~図-27に示す。

図-23を見ると、実験では行動に比較的ばらつきが見られる。シミュレーションの分散パラメータ θ も比較的小さい値になっていることがわかる。

(2) シミュレーションのまとめ

前章で述べたモデルから、石原ら⁹⁾の情報探索実験の結果を再現することができた。また、実験では観測不可能だった、実際に情報をきいた人数を推定することができ、観測値よりもより多くの情報伝達が行われていた可能性が考えられた。

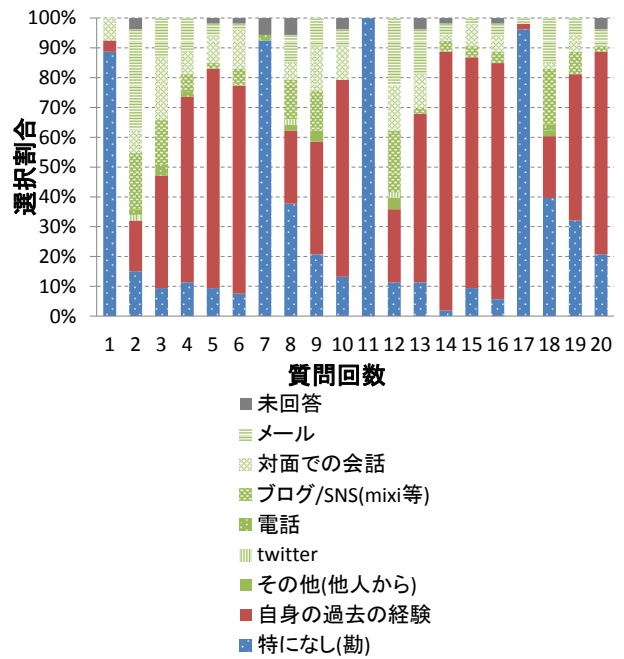


図-23 手段別集計

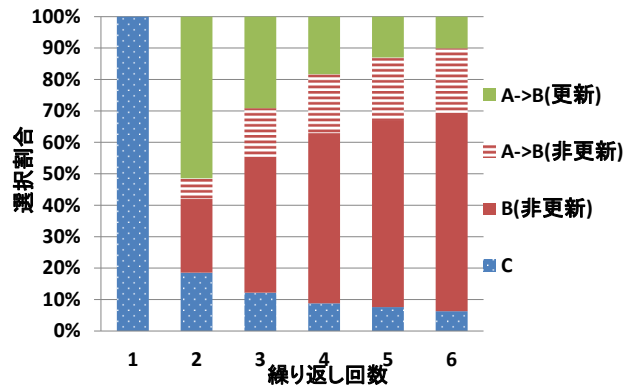


図-24 行動結果シミュレーション (実験1)

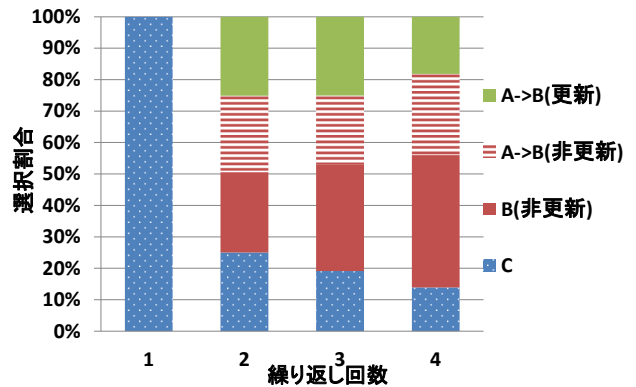


図-25 行動結果シミュレーション (実験2)

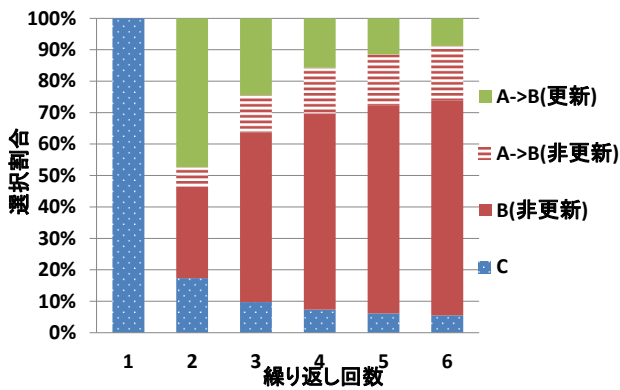


図-26 行動結果シミュレーション (実験3)

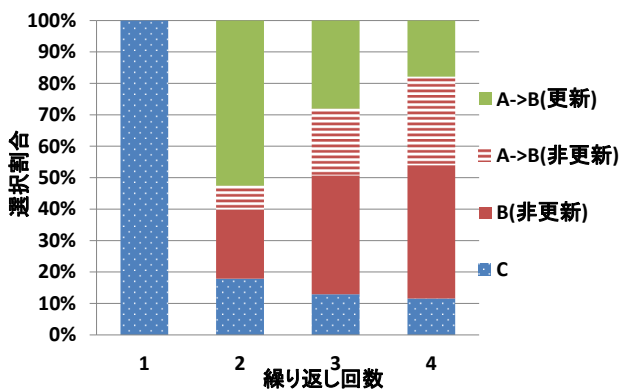


図-27 行動結果シミュレーション (実験4)

6. 結論と今後の課題

本研究は、目的地選択の思考過程をモデル化し、石原らの情報探索実験を用いて情報探索のシミュレーションを行った。シミュレーションの結果、石原らの情報探索実験に比較的近い状況を再現することができた。

石原らの情報探索実験では、最も良い選択肢（ここでは良い点数の店）がすべての人（ここでは53名の被験者）に伝わることなく、人は情報探索を止めるという状況が確認されたが、本研究のシミュレーションでも複数の選択肢が選ばれるという状況が再現できた。また、情報探索の行動に関しても、実験で観測された被験者の行動に近づけることができた。これは、本研究で提示したモデルが少なくとも石原らの情報探索実験の観測値との整合性はとれているといえる。さらに、実験では観測に限界

があった“情報を他人に聞いたが、その情報を使わずに自身の経験を参考に選択を行う”という行動をある程度推定することもできた。

このモデルは、さらに改良を加えることによって、情報探索の過程をより厳密に推測できる可能性が示唆できる。しかしながら、石原らの実験には、観測値に限界がある。情報探索についてより厳密なモデルを作成するには、より大規模で、情報伝達の細部までを観測できる実験を構築する必要があると考えられる。今後の課題としては、情報探索モデルの改良とより効率的なデータ収集を可能にする大規模実験の構築の2つがあげられよう。

謝辞：本研究は科学研究費補助金（研究種目：挑戦的萌芽研究，課題番号：23656319）の援助を受けてなされた。この場を借りて感謝の意を表する。

参考文献

- 1) Iryo, T., Yamabe, K., and Asakura, Y.: Dynamics of Information Generation and Transmissions through a Social Network in Non-recurrent Transport Behaviour, *Transportation Research Part C*, in Press.
- 2) Seale, D. A. and Rapoport, A.: Sequential Decision Making with Relative Ranks: An Experimental Investigation of the “Secretary Problem”, *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, Vol. 69, No. 3, pp. 221-236, 1997.
- 3) Bearden, J. N., Murphy, O. R., Rapoport, A.: A multi-attribute extension of the secretary problem: Theory and experiments, *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 49, pp. 410-422, 2005.
- 4) Bearden, J. N., Rapoport, A., Murphy, O. R.: Sequential Observation and Selection with Rank-Dependent Payoffs: An Experimental Study, *Management Science*, Vol. 52, No. 9, pp. 1437-1449, 2006.
- 5) Iryo, T., Asakura, Y., Onishi, R. and Samma, C.: Modeling Dynamic Generation of a Choice Set in Pedestrian Networks, in *Transportation and Traffic Theory 2009: Golden Jubilee*, W. H. K. Lam, S. C. Wong and H. K. Lo (Eds.), Springer: New York: pp. 517-539, 2009.
- 6) 石原佳世子，井料隆雅：目的地選択行動における情報探索メカニズムの実験的分析，土木計画学研究・講演集，Vol.44，CD-ROM(8pages)

(2012.8.3 受付)