最適貯蓄計画の数値解析手法の開発と経済実験による検証

マルデワ・グジェゴシュ 近畿大学
井澤　裕司 立命館大学

調査研究レジュメ

〈研究の背景〉

本研究は、消費と借入を組み合わせた家計の最大化問題を定式化し、数値シミュレーションによって近似解を推定し、我々の設計・実施した経済実験によって得られた実験データを数値解に比較して、一般家計の消費行動およびその合理性を検証することを目的としている。また、経済実験での被験者の個人選好の代表的なパラメーターである時間割引率を計測し、その消費計画や実施の最適性への影響も検証する。コンピューターにより得られた最適解をヒトにより得られた現実解と比較できるという独創的な要素にある上、消費者行動論・行動経済学・パーソナルファイナンス・進化計算論といった多様の学問分野にまたがる学際的性質を持ち、実務上では、消費者金融や貯蓄・借入市場といった市場にも、多面的に関わっていることが特徴である挑戦的な試みである。

最近、貸金業における議論では、「高金利・過剰貸付・過酷な取り立て」というイメージがマスメディアやインターネットにて広まり、社会から貸付金業界の存在意義が問われている。消費者金融の普及によって多重債務や過払い・不払い、自己破産など、様々な社会問題が多発している、というネガティブな側面もある。これらの問題を経済学の素朴な観点から見ると、家計の直面する最適化問題は一層複雑で解きにくくなった、という風な問題式に置き換えることができる。計算力や時間といった資源は希少であるため、最適解が存在することが分かっていても、限定合理的な経済主体である生身の人間が、その最適解からどれほど乖離した行動をとるかという実証的な課題が非常に重要であるが、この課題に取り組む研究は驚くほど少ない。

〈結果の概要〉

1年を30日×12か月＝360日、4つの消費項目、4つの借入手段のもとで計画の実験データを得るための経済実験システムを開発し、実験を実施し、家計の時間選好とその借入性向へ及ぼす影響を主要目的とした。直感的に、時間割引率が高いほど（将来消費をより高い利率で割り引く傾向があり、その分、現在消費の方により高い価値を見出す傾向がある）、将来の満足より現在の満足の方が重視され、借入額が高くなるだろう。我々の実験においてもそのような現象が見られるが、この比例な関係性は時間割引率の全範囲に渡って成立するとは限らない、という結果が得られた。

実験における消費・借入計画の最適計画との比較が重要であるが、このような消費−借入の最適計画を解析的に解くことが一般的には出来ないことに気付いたことが、本研究の背景でもある。この最適化問題を整数制約の下での実数の最大化問題として定式化し、進化計算を応用した数値シミュレーションによって、具体的なパラメータの組み合わせのもとで近似解を得ることができた。37名を対象とした経済実験から測定した、25個の異なった時間割引率の元で最適消費-借入計画を計算した結果、最適解には3つのパターンが存在することが分かった。それらの最適解は、時間割引率の大きさに応じて、最も限界効用の大きい消費財の購入時期と、借入の利用時期に関して大きく3つのパターンが存在することが分かった。

実験により得られた数値計算解を比較した結果、時間割引率が相対的に低い人ほど最適効用水準が高くなるだけではなく、最適解への達成率も高くなる、即ち高い効用水準が一般的により実現しやすいことが分かった。この結果は、家計の時間上の選択行動や消費者金融への含意を持つだけではなく、行動経済学における人間の限定合理性へも重要な学術的な含意も持つ。

〈解釈とディスカッション〉

行動経済学の創立者である、Tversky and Kahneman (1981)が提唱したフレーミング効果（表現の相違による問題の提起のされ方により、論理的には同値のことでも、意思決定の結果が相違する現象のこと）を適用し、ヒトは、個々の選択問題を自分の生涯厚生などより広く捉えた長期目標を上手く組み入れられず、直面するあらゆる選択問題を広範囲に捉えず狭義に解釈する傾向が強いのである。Read, Loewenstein, and Rabin (1999)は、この現象を選択括り「choice bracketing」と呼び、問題を狭義にしか捉えない傾向を狭義括り「narrow bracketing」と名付けた。さらに重要なことには、Rabin and Weizsäcker (2010)は、認知負担の低下とともに狭義括り傾向が弱まることを、実証的に証明した。

上記のことが、本稿における選択問題にとってどのような意義を有するかを確認するためには、まずRabinらの研究における「認知能力」と「認知費用」を詳細に見極める必要がある。彼らの言う「認知能力」とは、例えば7桁の数値を覚えさせる事や数学の成績といった、一般的に知能指数IQに帰着するようなタスクを使用し、そのタスクでのパフォーマンスを経済的な有意義な変数との相関関係で見ているのである。Dohmen et al. (2010)は、約1000名のドイツ人消費者を対象に、広く使われているIQテストからいくつかの問題を抽出し、それを時間選

好とリスク選好と照らし合わせたところ、認知能力が高い人ほどリスク回避度も時間割引率も低くなると報告した。

知能指数などとは対照的に、本研究における消費・借入選択タスクそのものは経済活動的なタスクであり、漠然とした「認知能力」ではなく直接経済問題と繋がる「経済認知能力」になる。また、本研究における、時間割引率によって変化する最適化問題の難易度は、自然に上記の選択括りの広狭に対応するため、認知能力と個人選好をめぐる議論へのより経済学的に有意義な貢献ができると確信する。

これから、我々の経済実験によって得られた個人の時間割引率と借入傾向の関係性の問題に戻り、そこでの借入回数と数値シミュレーションで得られた、最適解における最適な借入回数のパターンを比較する。時間割引率が高くなればなるほど、最適な借入回数が増加することが分かる。しかし、経済実験データから分かるように、時間割引率が極端に高くなると（どちらかというと）借入が回避される傾向が明らかになる。

この発見を認知能力における「選択括り」に踏まえて解釈すれば、選択括りの範囲が時間割引率とともに拡大し（最適化問題の難易度が難しくなることにつれて)、余程広範になると計算力や注意力には限りがあるため、かえって選択の狭義括りにならざるを得ず、将来のこと（借入の返済など）と現在の目標（基本的要求を満たすなど）を統一的に捉えられなくなるのである。確かに、実験の両トリートメントにおいて、一回も借入しなかった 3 人の被験者の時間割引率は極端に高かった。

個人時間選好と消費・借入問題の最適解の達成率と、上述の借入回数および選択括り効果に対する考察は、論理的な手順を踏んで容易に関連付けられることが分かった。時間割引率が高い人ほど、直面する異時点間最適化問題における選択括りが相対的に広範囲になるため、最適解への達成が相対的に困難になる。この発見は重回帰の結果によって確証され、個人消費者の経済厚生への効果がこれにより見えてくる。時間割引率が高いこと（せっかちさ・衝動性・短期などに帰着する特性）が、タスクの複雑性を高め効用の減少をもたらす。即ち、多くの日常経済問題において、知能指数等によって計測される本来持っている認知能力のせいではなく、時間選好によって、効用（経済厚生）が達成可能な水準よりも低くなる。認知能力は修正不可能であると仮定しても、自分自身の時間の捉え方は、本人の行動や態度や意志によってある程度修正可能であると考えられ、時間選好率を低くすることで、より最適に近い効用水準を得られるという非常に肯定的な結果となった。

最適貯蓄計画の数値解析手法の開発と経済実験による検証

調査研究報告書

マルデワ・グジェゴシュ　　近畿大学
井澤　裕司　　立命館大学

2014 年7 月

1　はじめに

本研究は、消費とローンを組み合わせた家計の最大化問題を定式化し、数値シミュレーションによって近似解を推定し、我々の設計・実施した経済実験によって得られた実験データを数値解に比較して、一般家計の消費行動およびその合理性を検証することを目的としている。また、経済実験での被験者の個人選好の代表的なパラメーターである時間割引率およびリスク回避度を計測し、その消費計画や実施の最適性への影響も検証する。

一定期間（例えば一年間＝365 日）の多段階で、複数の消費項目と複数の借入手段を組み合わせた時の具体的な家計の最適化問題は、日常の経済活動では頻繁に現れるにもかかわらず、その最適解を得ることは非常な困難を伴い、一般的な解は得られていない。こういった消費－借入の最適化問題は、数学的には極めて難解な内容を含んでいるが、日常的に行われている家計の計画を近似したものに過ぎない。むしろこのような日常的な家計の最適化問題の具体的な数値解を得る手法が確立されていないことが驚きでもある。

本研究の特徴が、コンピューターにより得られた最適解をヒトにより得られた現実解と比較できるという独創的な要素にある上、消費者行動論・行動経済学・パーソナルファイナンス・進化計算論といった多様の学問分野にまたがる学際的性質を持つ挑戦的な試みである。本研究の枠組みは下記のチャートでまとめて説明する。

① 経済実験　消費・ローン計画：現実解

- 時間選好およびリスク選好パラメーターを測定
- 消費・ローン計画実験を実施：被験者３７名
- 実験データを取得：消費・借入データ

② 数値解析　消費・ローン計画：最適解

- 最大化問題を定式化
- 近似解を推定
- 時間選好パラメータ毎に解析

③ 全比較　データと数値解：比較

- 効用の最適値への達成率
- 選好パラメーターの影響
- 経済厚生への洞察

結果をまとめて先に述べると、個人の時間選好と最適な効用水準への達成率との関係が明らかにされ、相対的に高い割引率を持つ人ほど達成率が低下することが分かった。また、この発見に関しては、経済実験における借入性向の時間割引率に対する非単調な応答関数という結果と照らし合わせたところ、一般家計の日常経済活動で要される認知能力ないし認知負担の配分が、時間割引率によって左右されるタスク複雑性に帰着することが分かった。これは家計および個人消費者の経済厚生への重要な含意を意味する。

本論文の構成は以下の通りである。次の第 2 節では本研究の背景を紹介し、第 3 節では経済実験の設計および結果の概要を報告する。第 4 節と第 5 節それぞれ、最適化問題の定式化とその数値シミュレーションによる解析および結果の概要を記述する。経済実験データより得られたヒトによるの最適化問題の現実解と数値計算より得られたコンピューターによる最適化問題の近似解との結果比較を第 6 節にまとめ、最後に第 7 節では結果比較を多面的に考察する。

２　研究の背景

本稿における消費者の選択問題が経済学の領域内では、時間上の選択行動・消費者の最適計画・限定合理性といった幾つかの分野に連関しており、なおかつ実務上では、消費者金融や貯蓄・借入市場といった様々な市場にも多面的に関わっていることが特徴である。本節では、その最も密接に関連している三つの関連領域について簡潔に紹介する。

２．１　　消費者金融の普及

あらゆる経済現象において過度な債務が急増している。民間部門での消費者金融の市場規模が世界中拡大しつつあり、アメリカ合衆国で起きたサブプライムローン問題や過度消費性向をはじめ、公共部門でのギリシアやスペイン南欧諸国における債務問題や、日本政府の財政赤字といった公債に対する過度の依存も深刻化している時代となっている。

日本における貸金業界の普及が本格的に進んできたのは、バブルが崩壊した１９９０年代になってからである。しかし同時に、以前から貯蓄率が高いと世界から称賛されてきた日本の貯蓄・消費行動が逆転し始めた。前田（２００８）によると、１９８１年の平均消費性向が８０％程度だったところ、２００５年には９０％まで着実に増加してきた。

金銭的に困難となった家計が消費者金融を頼って借り入れをし始めた当時の金利が

現在から振り返ってみると異様に高く、２０００年代になってからは、出資法で定まる上限金利の２９.２％まで下がり、さらに２０１０年６月１８日に貸金業法改正が執行されて以来現在の２０％まで引き下げ、借り手側が返済しやすい制度が整っている。

お金を必要とする局面は人それぞれによって多様である。消費者金融業界が存在することで、銀行では貸せない客層への融資供給や急にお金が必要となった人のための手助けになるし、より一般的に捉えて、消費の異時点間移動がより実現しやすくなる消費者金融サービスのお蔭で、安定した生活を送れるという利点がある。

しかしながら、最近「高金利・過剰貸付・過酷な取り立て」というイメージがマスメディアやインターネットにて広まり、社会から貸付金業界の存在意義が問われている。消費者金融の普及によって多重債務や過払い・不払い、自己破産など、様々な社会問題が多発している、というネガティブな側面もある。

これらの問題を経済学の素朴な観点から見ると、家計の直面する最適化問題は一層複雑で解きにくくなった、という風な問題式に置き換えることができる。

２．２　家計の経済活動における最適化と限定合理性

新古典派ミクロ経済学は、完全合理的な経済主体（個人消費者・家計・企業）を想定し理論分析を展開してきた。このような人間像を満たす経済主体は、与えられた諸制約の下で、自身の選好を考慮したあらゆる経済問題に直面した時に必ず最適な選択を行い主体的均衡状態にあると、従来の経済学が主張している。ここでいう「最適化問題」の最も典型的な形態であるフィッシャーの２期間モデルという、異時点間決定問題を例にして説明することにしよう。フィッシャーモデルの特徴は以下のようになっている。

- 家計は２期のみ（第１期：現在と第２期：将来）生き、次の世代に資産を残すことない。
- 消費財は１種類、所得は外生変数として所与（不確実はない）。
- 貯蓄に一定の利子が付く。借金をしても同じ利子率が適用される。
- 家計は異時点間の予算制約式を守りながら生涯消費からの効用を最大化し、最も満足の得られる消費の組み合わせを選択する。

この効用最大化問題は、一般に比較的容易に定数の組み合わせで表現できる解析解（closed-form solution）を出すことが可能だとと知られている。しかし、上記のフレームワークは極めて特定化された形の問題であり、制約や条件の数が増加させ、より現実に近い状態として拡張した時は、解析解をほとんど確実に得られないのである。

我々の実施した経済実験における最適化問題は、上記の問題とは本質的に大きな相違点がなく、単に消費項目と借入手段がより多くなっていることと、限界効用が時間の経過とともに低減していることが加わっている。にもかかわらず、変数や制約条件が増えたため上記の単純な最適化問題は、複雑な動学的最適化問題となり、解析解を得るこ

とが不可能になっていることが分かった。ついては、下記に説明するように、進化計算による数値シミュレーションを駆使し最適解を求める道しかなかったのである。

消費項目や借入手段が多くなり、消費者が実際に直面する問題に近づくにつれ解析解を得られなくなると同時に、問題自体が難しくなることは当然である。計算力や時間といった資源は希少であるため、最適解が存在することが分かっていても、限定合理的な経済主体である生身の人間がその最適解からどれほど乖離した行動をとるか、という実証的な課題が非常に重要であるが、この課題に取り組む研究は驚くほど少ない。

ここで、限定合理性（bounded rationality）についてもう少し説明する。Simon（1955）の画期的な研究を端として、従来の経済学理論におけるいくつかの強い仮定（選択にあたって完全情報を持ち，効用差を識別可能で，効用関数に加法性がある、等々）が疑問視され，合理性を限定的に捉えて理論研究や意思決定のモデル化を図ることが行われるようになってきた。限定合理性を明示的に認める行動経済学の発展は、心理学の研究成果を経済学でも活かせようという動きによるものであると言っても過言ではなかろう。元々心理学者は、ヒトの意思決定過程そのものは合理的なアプローチからかけ離れており、むしろ行動バイアスを伴った思考プロセスへ導く特徴を内在していると指摘してきた[1]。

本論文ではこのような実情を踏まえて、以下に数値シミュレーションによる得られた最適解と経済学実験でヒトにより出された現実解を比較することを試みる。

２．３　異時点間選択行動と時間選好

行動経済学の登場及び発展と同時に、1970 年代以来、時間上の選択行動におけるバイアスや非整合性といった、従来の経済学でいう割引効用モデルでは説明できない現象が続々と明らかになってきた。ここでいう非整合的な行動パターンのほとんどは、ヒトも含めて生物の近視眼的な行動および衝動性に帰着するものであろう。このような現象は行動経済学の領域内に属すると見なされてきたが、近年これらは心理学や行動分析学での研究対象として展開されてきた。

この分野で最も影響力の大きい研究は、動物行動分析学者 George Ainslie によるものであり、よく知られているハトを対象とした実験で（Ainslie, 1974）注目を集め始めた。ヒトがよく直面する経済生活の場面、時間上における行動の非整合性を簡潔に要約すると、予め決めた行動計画を実行しなければならない時間が来ると、目先の誘惑に屈したり衝動に駆られたりする傾向が非常に強いため、あるいは自己コントロールに欠けるため、決めていた行動計画を実行できなくなり選好の逆転が発生する。このような行動を説明できると唱えている経済学的なモデルの中では、「双曲型割引モデル」が主流であ

[1] 近年日本国内でも行動経済学の啓蒙書や一般向けの解説書が数多く出版されており、詳しくは真壁昭夫「行動経済学入門」（2010）、依田高典「行動経済学」（2010）などに記載されている。

る。この種の研究は非常に多く存在し、初期研究とその成果のサーベイには、Loewenstein and Prelec（1992）の参照を勧める。最近では、ダイエット・借金・嗜癖・環境といった多様の分野で幅広くこの応用研究が取り入れられ、日本国内でも注目を集めている。

本稿における異時点間計画問題に関連する要素として、消費、貯蓄および借入に対する時間選好が取り上げられる。現在の消費の一部を我慢し、その分将来の消費に回すこと、という行動は、貯蓄そのものに過ぎない。時間選好を考慮したこの行動こそが、我々の実施した経済実験における最適化問題の核心である。時間割引率が正である限り（将来の消費より現在の消費がより高い効用水準をもたらす）、現在の消費の減少がもたらす効用水準の低下は、将来に回された消費の増加がもたらす効用の上昇よりも高く評価されることで相対的に高いプレミアム（金銭化すると金利になる）が求められる。借入は逆に負の貯蓄を意味している。この場合、時間割引率が正であるとき、現在の消費の増加がもたらす効用の上昇は、将来における消費の減少による効用水準の低下よりも高くつくが、将来の消費の減少分を借入の返済に回さなければならないため、消費と借入を最適に組み合わせることが一層複雑になってくる。特に、将来における消費の減少をもたらす損失の感情が十分強ければ（Kahneman and Tversky 1979 のプロスペクト理論による説明される利得局面と損失局面の間における主観的効用の非対称的な評価）、借入を回避する傾向が現れる可能性がある（Loewenstein and Prelec 1992）。

上記の異時点間意思決定問題が極めて困難な課題であると同時に、実務的に非常に重大な含意を持つことを意識して本研究を進め、一般性を失うことを極力最小化しながら、経済実験を家計の直面する計画問題といった現実によくある具体的な枠組みを設計することにした。我々のアプローチの重要な特徴の一つに、時間上の選択行動を研究する多くの既存研究とは大いに異なり、効用をもたらすものは、現金や特定な消費財という定まった１次元領域のものではなく、多次元領域間の消費項目が複数存在することにある。この特徴は、消費者金融を使用する家計の意思決定にも当然ながら織り込まれており、本論文の応用性を明白に示す。

３　経済実験の概要

２０１０年３月立命館大学実験経済学ラボラトリーにて実施した経済実験は、個別時間選好パラメータ・個別リスク選好パラメーターの測定および消費・ローン計画実験、という二つで、大まかに構成されている。被験者には 37 名の大学生を採用し、実験でのパフォーマンス（消費・ローン計画実験）および抽選（個人選好パラメーター測定実験）により決定された謝礼金を現金で支払った。

３．１　時間割引率及びリスク回避度の測定

時間割引率とは、遠い将来時点 t_1 に消費することよりも、より近い将来時点 $t_0<t_1$ に消費することを、どの程度望ましいかを示す指標のことである。言い換えれば、将来の（消費の）価値と現在の（消費の）価値を比べた時に、将来の価値からどのくらい割り引いて考えるのかを表した指標のことである。本研究に用いられる測定法は、実験経済学では昨今主流な方法である。Coller and Williams (1999)と Holt and Laury (2002)により作られ、さらに最近 Andersen et al. (2008)によって洗練され MPL（Multiple Price List）法として知られてきた計測法である。

本実験では、被験者はある金額を、t_0＝1 ヶ月後かあるいは t_1＝3 ヶ月後のどちらで受け取る方が良いのかを答えてもらった。このような利子率だけを替えた二択問題に異なった金額で４回答えてもらうことで、被験者個別の時間割引率を測定することが可能となる。被験者の操作画面上には以下のよう画面が表示される。

［ 設問2 ］ （以下の選択問題に全て回答して下さい）

番号	受取額		年利(%)		AまたはBの枠をクリックして下さい	
	A（1ヶ月後）	B（3ヶ月後）	単利	複利		
(1)	2500円	2500円	0	0	A	B
(2)	2500円	2508円	2	1.99	A	B
(3)	2500円	2516円	4	3.98	A	B
(4)	2500円	2525円	6	5.96	A	B
(5)	2500円	2533円	8	7.95	A	B
(6)	2500円	2541円	10	9.92	A	B
(7)	2500円	2562円	15	14.81	A	B
(8)	2500円	2583円	20	19.68	A	B
(9)	2500円	2604円	25	24.50	A	B
(10)	2500円	2625円	30	29.28	A	B
(11)	2500円	2666円	40	38.74	A	B
(12)	2500円	2708円	50	48.06	A	B
番号	受取額		年利		選択肢	

選択結果を見る

図 1. 時間割引率測定実験画面

図１の「年利」によって各被験者の時間選好を測定し、本論文では、個人の時間割

引率を IDR とおき、

IDR＝切替(年利)

と定義し、以下の分析ではこの IDR 指標を用いることにする。例えば、全設問の平均として「番号（6）」において受取額 A から受取額 B へ切り替えた（「切替」した）被験者の時間割引率は

IDR＝0.08935＝8.935%

になる。この場合、1 年後に受け取る 1 万円の割引現在価値は 9 千 106.5 円である。

これ以外にも類似法（くじ選択問題による MPL 法）を用いて、各被験者のリスク選好を表す代表的なパラメーターであるリスク回避度も計測した。詳細については、Izawa and Mardyla (2011)を参照。

３．２　消費・ローン計画実験

この経済実験では、被験者に 1 年間の消費計画を決めてもらった。具体的に決められた所得のもとで、毎月の消費項目とお金の借入を決定してもらい、各消費項目には「満足点」が決められていた。被験者の目的は、消費によって得られる「満足点」の 1 年間の合計値を最大化させることであった。満足点は実験終了後に現金に換算され、被験者の謝礼金になった。

尚、消費項目の消費によって得られる満足点は、時間とともに一定の割合で減少しており、減少率はトリートメントによって異なる。この措置は本研究の中心を成し、得られた結果の根幹にかかわる重要な考案である。トリートメント 1「T1」における満足点の減少率は、時間割引率測定実験で測定した個人時間割引率に換算され、異なった割引率の被験者が異なった減少率を観察することになる。トリートメント 2「T2」において、満足点の減少率は個人選好に依存せず共通の 0.5 に設定された。

被験者はお金の借入（４種類・共通）もすることが出来るが、実験の最後の給料日までにローンが完済できなければ「破産」となり、その実験でのトリートメントの満足点はゼロとなり、謝金が得られなくなるように設計した。被験者の操作画面上では、それぞれの項目の費用と満足点が下図のように表示される。尚、消費項目の費用は共通で、実験内に一定で定まっていた。

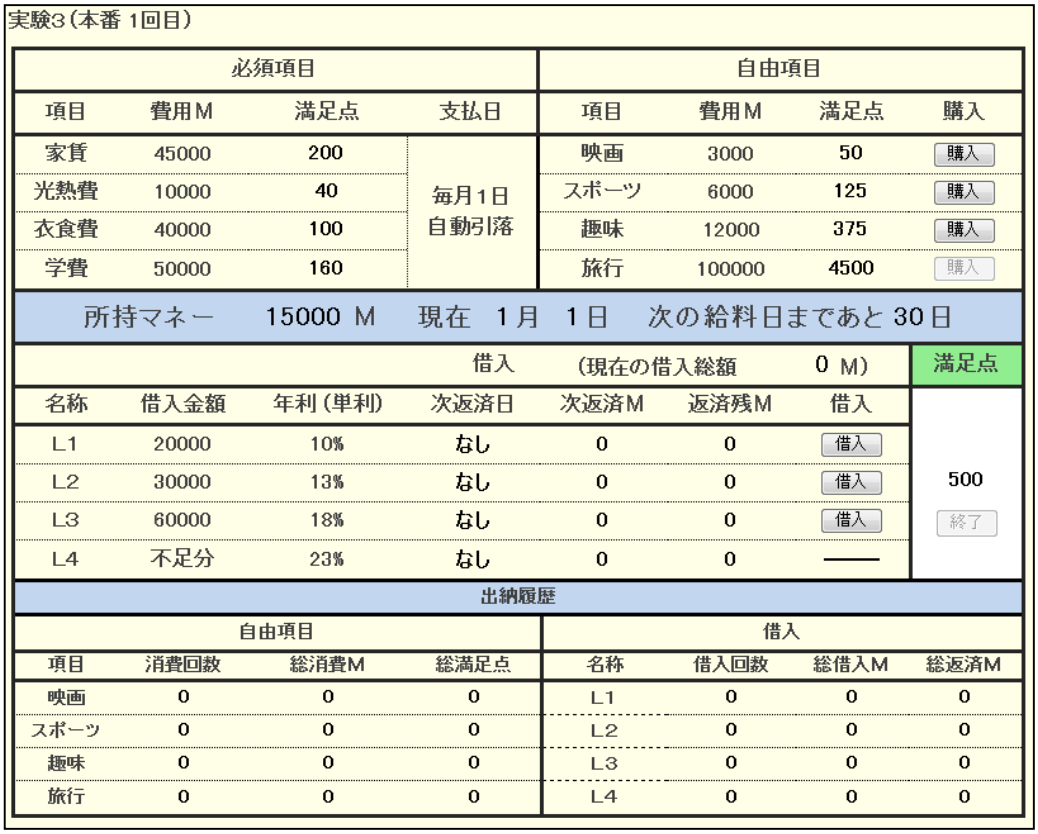

図 2. 消費・借入実験画面

上図のような「計画実験」は極めて複雑な問題である一方、被験者は、実際に操作すると、すぐに何をすれば満足点が多くなるのかが分かり、非常に直観的であると言える。この点では、一般家計の支出プランニング問題や消費者金融の最適使用問題とは極めてよく似た形であり、本研究の特徴のひとつであるとも言える。

３．３　実験結果の概要

本研究における経済実験では、家計の時間選好とその借入性向へ及ぼす影響を主要目的としている。直感的に、時間割引率が高いほど（将来消費をより高い利率で割り引く傾向があり、その分、現在消費の方により高い価値を見出す傾向がある）、将来の満足より、現在の満足の方が重視され借入額が高くなるだろう。我々の実験においてもそのような現象が見られるが、この比例な関係性は時間割引率の全範囲に渡って成立するとは限らない、という結果が得られてた。

まず、37 人の被験者がどういう時間選好を持っているかを確認する。

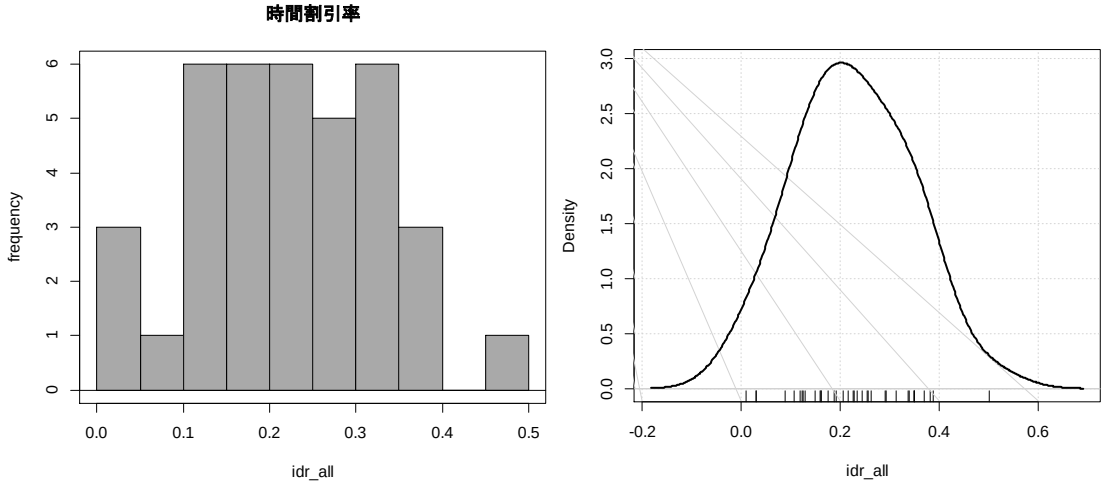

図 3. 時間割引率の分布：ヒストグラム（左）および密度関数の推計（右）

被験者の時間割引率は、関連文献（畫間 2012、木成・大竹・筒井 2006）に報告されている範囲と大きな違いを呈しておらず、平常であると言えよう。

続いて、時間割引率の借入回数への影響を確認しよう。ここでは借入回数を使用しているが、借入の回数ではなく借入の総額を使用しても同様の結果が得られた。

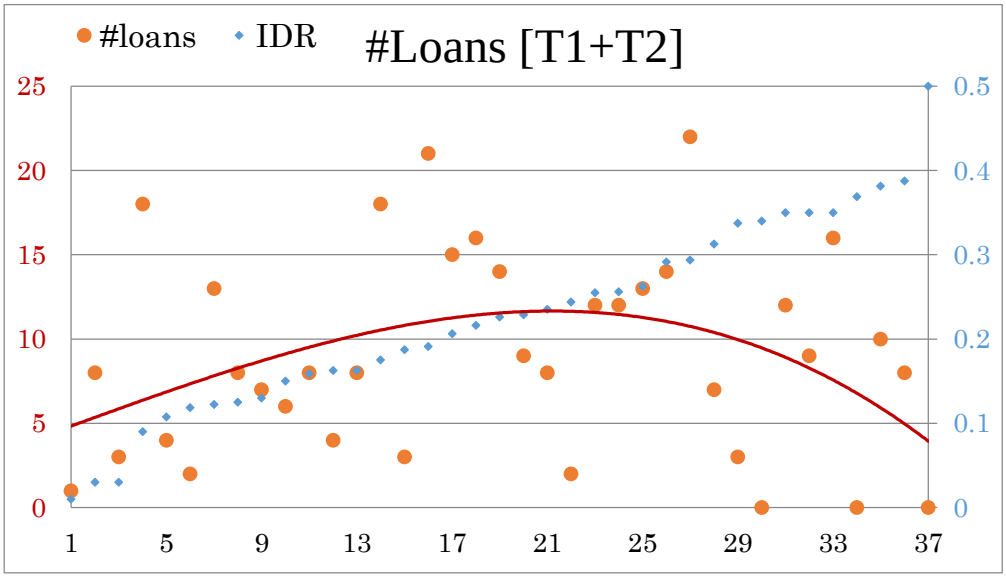

図 4. 借入回数と時間割引率の関係

上図に示されている通り、時間割引率（IDR = Individual Discount Rate）が高くなることにつれて、ローンの回数（#Loans）が上昇傾向を示しているが、割引率がかなり高くなる（IDR が極端に高くなる）とローンの回数が下落する傾向が明らかになった。この結果は、学術的にも実務的にも重要な意味を持ち、より精密な検証の必要性を呼び掛

けている。この発見については、第 7 節にて慎重に思料する。因みに、ローンの借入回数とリスク回避度との関係性について検定したところ、相関がなかったことが分かった。

次に、時間割引率 IDR と消費・借入実験におけるパフォーマンス、即ち総効用（実験の中で「満足点」）との関係について確認する。尚、この実験では、破産となった被験者のデータ（計 5 名）を以下の分析からは除外する。よって、サンプル数は 32 名となった。

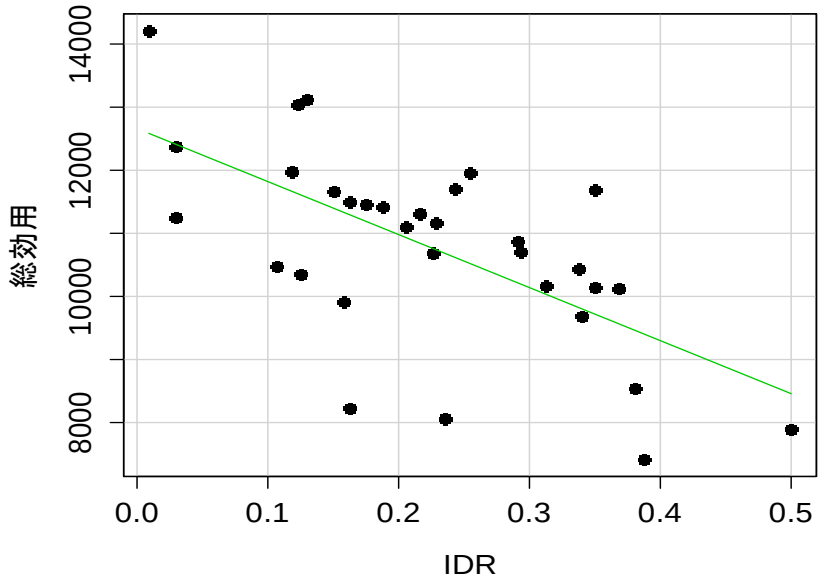

図 5. トリートメント 1（個人減少率）における時間割引率 IDR と実験で得られた総効用の関係

上図からわかるように、時間割引率が低いほど（0 に近いほど）総効用が高くなる、という結果は、実験の設計によるものである。他の条件が同じなら、一定期間内に、より遅い時点で行われる消費がより高く割り引かれ、早く行われた消費に比べて相対的に低い限界効用がもたらされ、その結果として、時間割引率が高くなると総効用が低下する。この単純明快な見解は、現実社会と同様である。続いて、消費満足点の減少率が共通であるトリートメント 2 の結果を確認する。

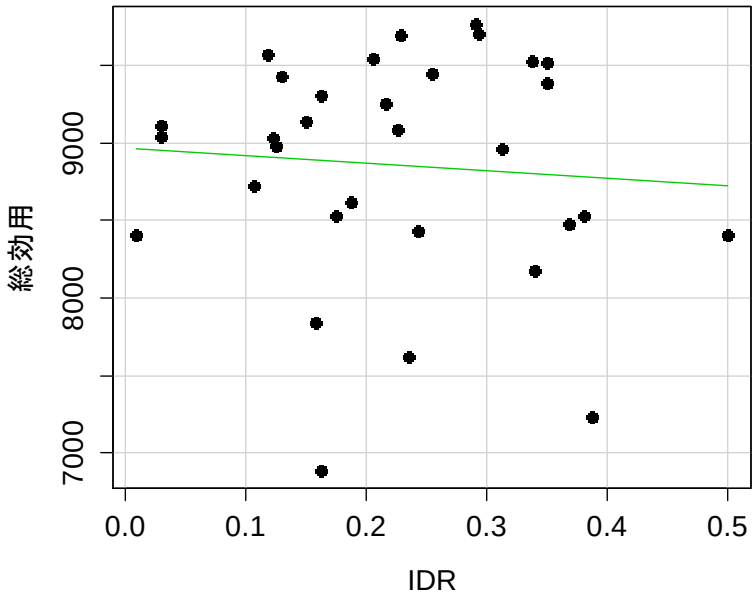

図 6. トリートメント 2（共通減少率）における時間割引率 IDR と実験で得られた総効用の関係

もし、個人の時間先行が計算力や知能指数といった認知能力の指数と相関しているのであれば、図 6 の右下がりの直線（最小二乗近似）はより鮮明だっただろう。図 5 および図 6 の結果を単回帰分析によって検証しを、以下に記述する。

	lm(score_idr ~ idr)				*lm(score_0.5 ~ idr)*			
Coefficients	Estimate	St. Error	t value	p-value	Estimate	St. Error	t value	p-value
(Intercept)	12666.5	475.8	26.623	0***	8963.9	284.9	31.462	0***
IDR	-8433.1	1885.0	-4.474	0***	-481.6	1128.8	-0.427	0.9254
R^2	0.4002				0.006031			

表 1．総効用（"*score*”） vs. 時間割引率（”*idr*”） - 単回帰分析

予想通りに、満足点の減少率が共通であるトリートメント 2 では、個人の時間選好率と総効用の関係性について統計的に有意な結果を得られなかった。

ところが、未だ総効用の最適解を全く考慮せずに分析を展開してきた。生の数値である「総効用」よりも、最適値への達成率との関連性を議論した方が適切であろう。この課題は以降の節の目標である。

4　最適化問題の定式化

上記の経済実験と整合的、家計の消費・ローン計画最適化問題を以下のように定式

化する。

- 確定所得
  - 確定した毎月毎月給料 16 万円；
  - 年 3 回（3 月 1 日、7 月 1 日、11 月 1 日）のボーナス 8 万円（合計 24 万円）。
  - 年末の貨幣残高は限界満足店として合計満足店に加算される。
- 4 種類の借入手段{*a, b, c, d*}
  - L1：年利（単利）10％で一律 20,000 円の借入。任意の時点に借入、利用した月末に自動的に返済される。
  - L2：年利（単利）13％で一律 30,000 円の借入。借入月以降の 3 か月後までに分割で自動的に返済される。
  - L3：年利（単利）18％で一律 60,000 円のボーナスローン。次回のボーナス月に自動的に返済される。
  - L4：L1～L3 が途中で完済できなくなった場合、破産を防ぐための特別ローンとして不足分を自動的に借入れる。年利（単利）は 23%
- 消費財
  - 「必須項目」: 費用（実験中は一定）は毎月 1 日に自動的に差し引かれる。
  - 「自由項目」4 種類{*w, x, y, z*}：費用（実験中は一定）およびその時に得られる満足点は決定時に発生する。
  - 各消費財の単価（固定）と（月初）限界効用を w =（3,000: 50）x =（6,000: 125）y =（12,000: 375）z =（100,000: 4,500）とする。
- 家計の効用関数は財の消費量に対して線形関数
  - 「必須項目の限界効用水準は一定とする；
  - 「自由項目」の限界効用水準は時間とともに一定の割合で減少する。
  - この減少率（主観的割引率）は計画期間内で一定とする。
- 破産
  - 12 月にローンが完済できなければ、その総効用は強制的に 0 となる。

上記の最適化問題を以下のモデルで数式化する。

- 消費者の目的関数

$$\text{Max W} = \sum_{t=1}^{12} \delta^{t-1} u_t + 0.01 s_{12}$$

w.r.t. $w_t, x_t, y_t, z_t, s_t, a_t, b_t, c_t, d_t$

s.t. 以下の (1) ～ (10) および 1 月～12 月の予算制約が成立。

ここで、W は総効用、u_tは限界効用、 δは時間割引率である。尚、

$u_t = 50w_t+125x_t+375y_t+4500z_t$

$0 \leq \delta \leq 1.$

s_tは t 期における貯蓄である。尚、各制約式を付録にて記述する。

５　数値シミュレーションの方法・結果

上記のように定式化されたモデルは、具体的なパラメータを与えなければ実際に解くことが出来ない。４つの支出項目、ボーナス月返済や緊急融資など 4 つの借入れ手段に直面する家計の借入れパターンは、約２９万ケース存在する。我々は、経済実験によって計測された時間選好パラメータを採用し、進化計算を応用した数値シミュレーションによって具体的な最適値を得ることができた。

５．１　数値解析の概要

今回利用した進化計算方法は、分布推定アルゴリズム（EDA: Estimation of Distribution Algorithm）と局所探索（Local Search）を併用したアルゴリズムである。進化計算とは、最適解を確率的探索によって求める最適化手法群の名称であり、一般には内点法などの数理計画手法で最適解を導くことができない混合整数計画問題や整数制約のある問題などの複雑な問題に対して適用される。

本研究で適用する EDA は、優れた解の集団から任意の確率モデルを構築し、そのモデルに従って新たな解の集団を生成する操作を繰り返すことで、最適解を探索的に得ることを特徴に持つ手法である。確率モデルとして、個々の決定変数（消費自由項目および各借入手段を表す変数）の整数値に対応するヒストグラムを採用した。また、ヒストグラムのビンの度数がゼロとなる可能性を考慮し、新たな解の集団の生成時に局所探索による解探索操作を取り入れている。

５．１　数値解の概要

37 名を対象とした経済実験から測定した、25 個の異なった時間割引率の元で最適消費-借入計画を計算した結果、最適解には 3 つのパターンが存在することが分かった。

それらの最適解は、時間割引率の大きさに応じて、最も限界効用の大きい消費財（z）の購入時期と、L1～L3 の利用時期および緊急避難的な L4 の利用の有無に関して大きく 3 つのパターンが存在し、下記の表にまとめた。

最適解パターン	時間割引率	L 1 ～L3 の利用	L4 の利用	z の消費
A	0.5	ほぼ全般	10，11 月	1,3,7,10 月
B	0.34	ほぼ全般	利用しない	1,3,7,11 月
C	0.03	後半のみ	11 月	3,6,7,11 月

表２．進化計算による最適解の分類

上表より、時間選好率が高い消費者は、計画期間の前半の段階で借入を行い高額商品の購入を行うと考えられる。このシミュレーション結果は、パターン A とパターン C のような極端な事例の比較では説明力を持つけれども、パターン B のような中間的な事例では、必ずしも当てはまらない場合がありうることを示している。

6　実験データと数値解の比較

本研究の独創的な構造、即ち経済実験および数値シミュレーションという２つの措置を同時に実施したことにより、時間選好と生活満足度の関係がより明らかになった。下図からわかるように、より忍耐強い人ほど（横軸の変数）生涯総効用（縦軸の変数）が高くなる。

この結果は、上記の第 3 節に報告した実験におけるパフォーマンス（図 5 を参照）からも明らかではあるが、今回の数値シミュレーションでより一層明白になった。これは実験のデザインに織り込まれているのみならず、家政学や社会厚生に関わる政策への重要な意義を持つ。

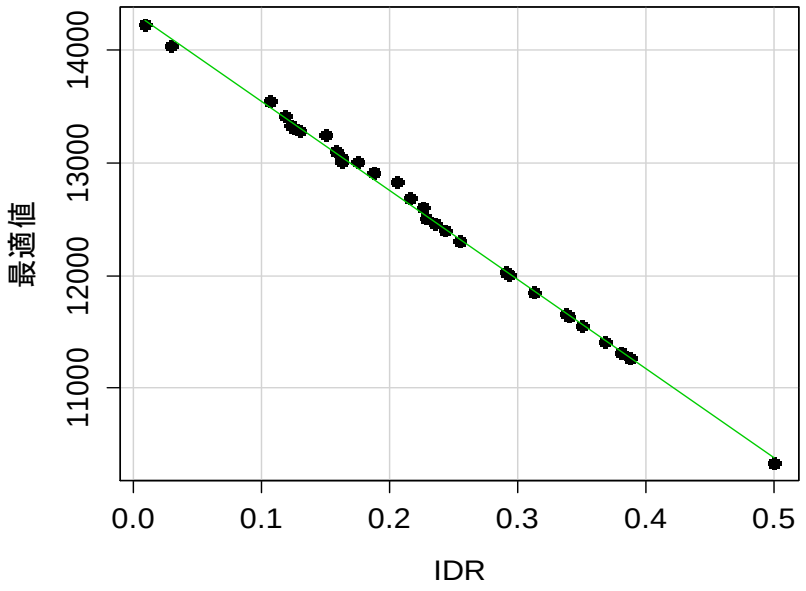

図 7. 個人時間割引率 IDR と消費・借入実験における総効用の最適値

上記の分析では、実際に計測した被験者の時間割引率のデータを使用したが、実データを使用せず同値な結果が得られるのは当然なことである。これより、経済実験による得た実証データと数値シミューレーションにより得た最適化問題の解群とを比較し、人間の解析力を検証する。始めに生涯総効用の最適値への達成率を説明する。

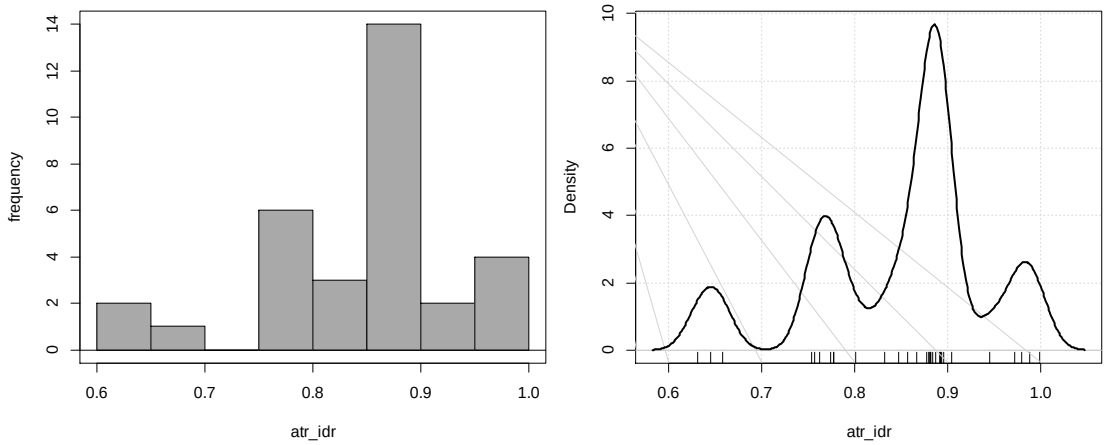

図 8. トリートメント 1 での達成率の分布：ヒストグラム（左）および密度関数の推計（右）

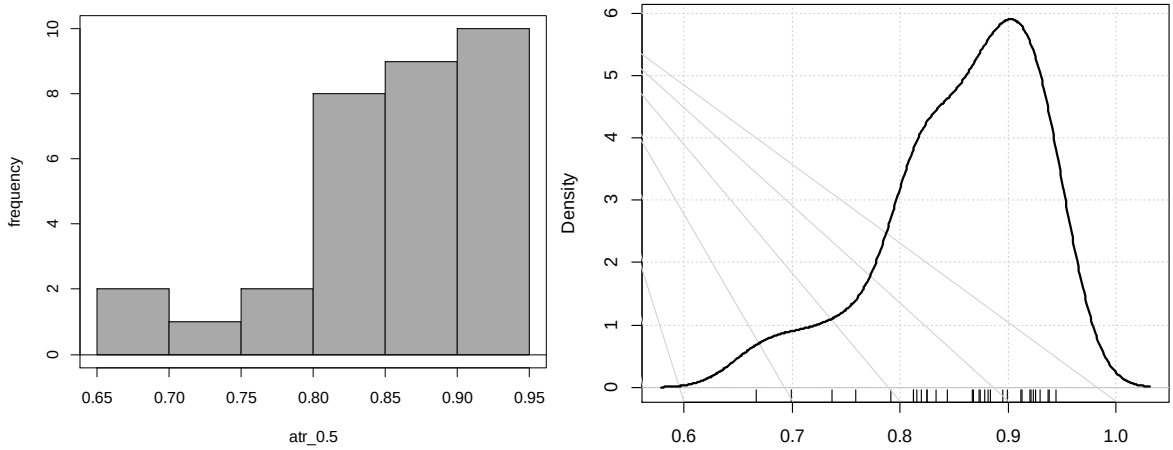

図 9. トリートメント 2 での達成率の分布：ヒストグラム（左）および密度関数の推計（右）

	atr_idr	*atr_0.5*
平均値	0.8491242	0.8568861
標準偏差	0.09378229	0.07053444
変動係数	0.1104459	0.08231484
N	32	32

Welch Two Sample t-test for *atr_idr=atr_0.5*	
t 値	-0.3742
p 値	0.7097
0.95 信頼空間	-0.04929243　0.03376862

表 3. 達成率（"*atr*"）の記述統計量および平均値の検定

上記の図および表より、両トリートメントにおいて最適解への達成率は 85%程度で平均しており、個人時間割引率を用いられたトリートメント 1 の方が達成率の変動幅が広いことが分かる。また、両トリートメントにおける平均値間には有意な差がないことも確認された。

次いで、関心の時間選好と実験の両トリートメントにおける総効用の最適値への達成率の関係が、下図（図 8）に示されている。

縦軸の変数を最適値の達成率とし、横軸の変数を時間選好を表す時間割引率として（「0」は 1 年後の消費と現時点の消費を同値とみなし、「0.5」は 1 年後の消費を現時点で半割りとみなす。）、図 8 の右下がりの関係は、忍耐強い人ほど高い生活満足度が一般的により実現しやすいことを意味している。この結果は、必ずしも容易に推論しやすいものではなく、著者が知る限り既存の研究でも報告されていないが、人間の限定合理性およびその時間選好との関連付けについて、重要な発見にもなり得るであろう。

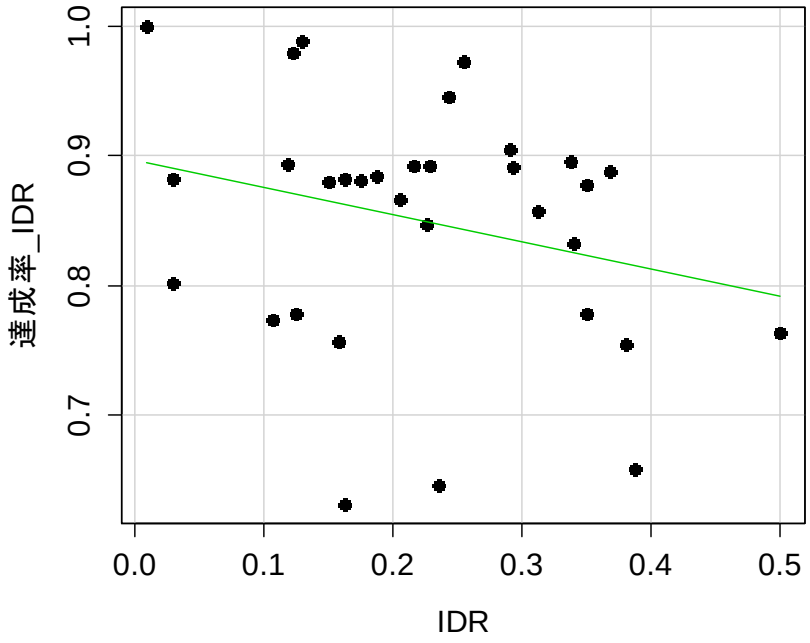

図 8. 個人時間割引率 IDR とトリートメント 1 での最適解への達成率

次いで、第 3 節に報告した経済実験の結果と対照的に、トリートメント 2 での時間割引率と達成率の関係を検証する。

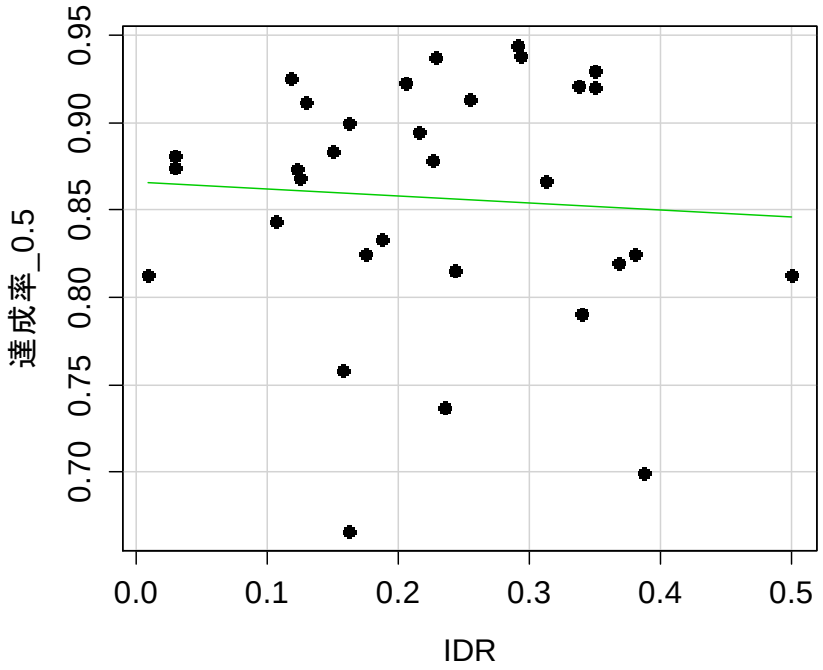

図 9. 個人時間割引率 IDR とトリートメント 2 での最適解への達成率

トリートメント 2 における IDR と達成率の反比例な関係は、トリートメント 1 と比較するとより貧弱なものになったと言わざるを得ない。

上記の各図の結果からは暫定的なことしか言えず、より頑健な計量手法を駆使し、個人の時間選好と消費・借入計画問題における行動の最適さを分析するのが賢明である。

	lm(atr_idr ~ idr)				*lm(atr_0.5 ~ idr)*			
Coefficients	Estimate	St. Error	t value	p-value	Estimate	St. Error	t value	p-value
(Intercept)	0.89617	0.03579	25.041	0***	0.86588	0.02782	31.462	0***
IDR	-0.20927	0.14179	-1.476	0.1504	-0.04001	-0.363	-0.427	0.7191
R^2	0.09205				0.07154			

表 4. 達成率（"*atr*"）vs. 時間割引率（"*idr*"）– 単回帰分析

回帰分析の結果を見ると、前述の個人時間割引率とトリートメント 1 における最適値への達成率の相関関係が確認されたが、統計的に有意な相関関係をわずかな票差でもありながら得られなかった。R^2 の値は 0.09 くらいであることより、時間選好以外の要素の影響が大きいことを示している。

本論文の主要な目的は、時間選好の最適な消費行動への影響を調べることにあるが、被験者のリスク回避度の影響が考慮されれば、より包括的で頑健な検証が可能になる。リスク回避度を含めた多重線形回帰分析の結果を下記の表にまとめて報告する。尚、個人時間割引率 IDR とリスク回避度の間、微量ながらも相関係数 0.23（p-value = 0.2326）の有意でない相関関係が存在することに指摘する。

	lm(atr_idr ~ idr)				lm(atr_0.5~idr+risk)			
Coefficients	Estimate	St. Error	t value	p-value	Estimate	St. Error	t value	p-value
(Intercept)	0.896711	0.023704	37.830	0***	0.870737	0.020921	41.620	0***
IDR	-0.238951	0.096473	-2.477	0.02008*	-0.015162	0.085148	-0.178	0.860
RISK	0.025579	0.008158	3.135	0.00423**	0.005468	0.007200	0.759	0.454
R^2	0.335				0.0217			

表 5. 達成率（"*atr*"）vs. 時間割引率（"*idr*"）– 重線形回帰分析

複数の説明変数を用いた多重回帰分析では、R^2 で表した説明力が単回帰分析を 3.5 倍ほど優っており、なおかつ、時間割引率の係数とリスク回避度の係数が統計的に有意になった。有意性だけではリスク回避度の t 値が多少時間割引率の t 値を上回っているが、係数自体の絶対値は時間割引率の方が 10 倍程度高くなり、時間選好と最適値への達成率の関連性が確証されたと言えるだろう。

時間割引率とリスク回避度両方の、説明変数の個人時間割引率を用いたトリートメント 1 における最適値への達成率の関係をグラフ化したものは、以下の図に示す。

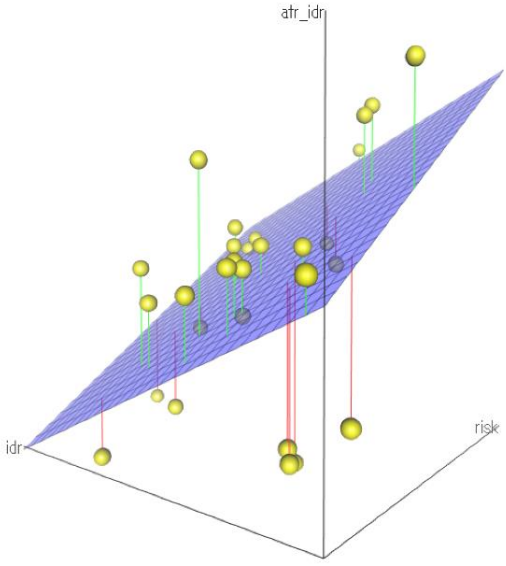

図 10. 個人時間割引率「idr」とリスク回避度「risk」のトリートメント 1 における最適解達成率「atr_idr」への影響

7　ディスカッション

本研究に得られた結果の諸解釈、既存研究との照合や当該専門分野での位置づけ、その実証的含意、及び今後の課題について、この最終節に大きく三区域に分けて報告する。

７．１　時間割引率、消費者金融における上限金利、及び行動の衝動性

時間上の選択行動において選好の逆転等、一貫性の欠けた行動パターンが現れるのは、人間の衝動性によるものであると考えられる。喫煙・ギャンブル・肥満・多重債務・財政赤字、等々、個人の健康をはじめ、社会問題やマクロ経済問題までと、幅広く影響を及ぼしているヒトの衝動的行動は、その個々の経済主体の選好だけでなく、社会動物であるヒトにとって周りの環境にも左右されるは当然のことだ。このような、衝動性と連関する個人の特性や選好と、経済的変数を含めた環境要因が多数存在することは言うまでもなく、その全ての影響を調べることは不可能である。本稿では、個人の選好を表す時間割引率と、経済的変数である借入に対する利子率を取り上げて議論を進めてきた。

消費者金融における上限金利規制をめぐる議論が２０００年代に徐々に過熱化し、国内の著名な行動経済学者もそれに参戦して（筒井・晝間・大竹・池田、２００７）本研究とも関連した重要な考察を呈している。貸金業における上限金利規制を消費者の衝動性・時間選好をアンケート調査の用いた実証的に分析した著者らは、時間非整合性や非合理的行動を示す人に対して、「規制を必要とする衝動性」の抑制を唱え、借入を制約する政策を是認している。また、極端に高い時間割引率（高双曲割引）は「消費者金融からの借り入れを促進し、自己破産に陥る原因である」と、報告している。

この結果は、本論文とは概ね一致しているが、衝動性と借入や個人破産の危険性との関係が、筒井 et al.（２００７）が主張しているような単純で単調な因果関係にあるとまでは言えないと、本論文の結果により明らかになった。上述で報告したように、我々が実施した経済実験でも、時間割引率が高くなるにつれて、多くの被験者は借入（その回数も総額も）を増やす傾向があり、それゆえ個人破産も発生しやすくなる（消費・ローン実験では５回、約７％の場合）。しかし、第３節に報告したように、時間選好率と借入性向の関係は必ずしも単調のものではなく、時間選好率がかなり高くなると、借入をむしろ控える傾向があるような逆Ｕ字型の関係になること（図４を参照）が示されている。この結果は一見パズルのようなものでもあり、筒井 et al.（２００７）が実施したアンケート調査のような、実証データを用いた手法でも発見困難でもある。とりわけ、筒井 et al.（２００７）が主張するように、「双曲割引や衝動性の結果、過剰な借り入れをする人を識別すること」が容易に出来なくなり、彼らの研究の消費者金融への応用性が問われるものである。これからは、より綿密な消費者行動の最適化度や時間上の選択における目的財の多様化、というような新たな要因を加えた検証が必要である。

７．２　異時点間意思決定における消費項目のドメイン多重化

近年において、個人消費者の時間選好を測定する標準的な計測法は、本研究（第３節を参照）にも用いられるＭＰＬ（Multiple Price List）法である。ＭＰＬ法を用いる既

存研究では、指数割引を測定する場合でも、双曲割引（現在と近い将来の間で、高い時間割引率を適用する一方、近い将来と遠い将来の間で低い割引率を適応すること）を測定する場合でも、消費者の報酬となる財としては、現金であれ余暇であれタバコであっても、ほとんど例外なく一種類の財しか含まない。このような単純な問題形式には、メリットもあれば問題点も多く指摘されている。Frederick et al. (2002) のサーベイ論文によれば、数多くの研究を集計し測定された個人時間割引率の間には、膨大な分散があり、ＭＰＬ法の信憑性に疑問があると批判している。その原因の一つには、報酬の対象になる財が、単一ドメインにあると指摘している。

本研究では被験者の時間割引率を、現金－即ち単一ドメイン財－を使用したＭＰＬ法によって測定した一方で、本研究対象の核となる経済実験および数値計算では、複数ドメインの消費財を使用したことが他の研究とは違う点である。現実社会で消費者が直面する経済問題のほとんどは、所詮、異なった時点での異なった物の間の相克問題である。その典型的な一例として、より遠い将来にあるより満足度の高い（例えば「お金を貯めてから夏休みにディズニーランドへ行く」）物を選ぶか、より近い将来に相対的に安価だが満足度が低い（例えば「今週末日帰り温泉旅行に行く」）物を選ぶか、という異時点間異部類間意思決定問題の方が、家計における日常経済生活の中では一般的であろう。

このような相克問題は、財が単一ドメインにしか属さないような異時点間意思決定問題とは本質的に同値だと思えないものの、従来のＭＰＬ法を使用することで、暗黙のうちにこのような同値の意味合いを持っている。その上、消費財が一種類ではなく、異なった限界効用（満足度）をもたらす複数の種類が入手可能になっているゆえに、消費者の直面する（効用最大化）問題が一層困難なものになるという推測が当然のことである。さらにその上、時間割引率が高ければ高いほど、より遠い将来にしか消費できないがより高い満足度をもたらすモノは、より近い将来に消費できるがより低い満足度をしかもたらさない異なるモノとを相対評価すると、後者の方が相対的に魅力的に見えてくるという誘惑が生じやすくなる。

上記のような、異なったモノが異なった時点で異なった基準によって相対的にどのように評価されるか、という日常経済生活で頻繁に現れる問題の複雑さを、ＭＰＬ法のような個人選好の測定方法に織り込まれることは不可能に近いが、我々の経済実験で考案された方法は、その点を補う有望的な第一歩になるかもしれない。

上記の議論より明らかになっているのは、異時点間意思決定における消費者行動がどの程度最適であるか、という問題の重大性である。最適化問題の難易度が消費項目の数が増加するとともに複雑になる、ということは、消費者がその問題を解く過程で必要とされる、計算力・注意力・意志力などの一認知能力のことは、次に説明する。

７．３　認知能力と問題難易度、個人選好、及び経済厚生

第 3 節の図 4 におけるローン回数と時間割引率の非単調な関係は、容易には説明のつかない結果になり、本節では経済行動の背後にあるヒトの（限定）合理性および認知能力を取り上げて、結果に対しての考察してみる。

個人の認知能力は、その人の時間選好やリスク選好に関連する可能性が、行動経済学の中で 1980 年代頃から議論されてきた。Tversky and Kahneman (1981)が提唱したフレーミング効果（表現の相違による問題の提起のされ方により、論理的には同値のことでも意思決定の結果が相違する現象のこと）を適用し、ヒトは個々の選択問題を自分の生涯厚生など、より広く捉えた長期目標を上手く組み入れられず、即ち直面するあらゆる選択問題を広範囲に捉えず狭義に解釈する傾向が強いのである。Read, Loewenstein, and Rabin (1999)は、この現象を選択括り「choice bracketing」と呼び、問題を狭義にしか捉えない傾向を狭義括り「narrow bracketing」と名付けた。さらに重要なことには、Rabin and Weizsäcker (2010)は、認知負担の低下とともに協議括り傾向が弱まることを実証的に証明した。

上記のことが、本稿における選択問題にとってどのような意義を有するかを確認するためには、まず Rabin らの研究における「認知能力」と「認知費用」を詳細に見極める必要がある。彼らの言う「認知能力」とは、例えば 7 桁の数値を覚えさせる事や数学の成績といった、一般的に知能指数 IQ に帰着するようなタスクを使用し、そのタスクでのパフォーマンスを経済的な有意義な変数との相関関係で見ているのである。Dohmen et al. (2010)は、約 1000 名のドイツ人消費者を対象に、広く使われている IQ テストからいくつかの問題を抽出し、それを時間選好とリスク選好と照らし合わせたところ、認知能力が高い人ほどリスク回避度も時間割引率も低くなると報告した。

知能指数などとは対照的に、本研究における消費・借入選択タスクそのものは経済活動的なタスクであり、漠然とした「認知能力」ではなく直接経済問題と繋がる「経済認知能力」になる。また、本研究における、時間割引率によって変化する最適化問題の難易度は、自然に上記の選択括りの広狭に対応するため、認知能力と個人選好をめぐる議論へのより経済学的に有意義な貢献ができると確信する。

これから、図 4 で図示されている経済実験によって得られた個人の時間割引率と借入傾向の関係性の問題に戻り、そこでの借入回数と数値シミュレーションで得られた、最適解における最適な借入回数のパターン（表 2）を比較する。時間割引率が高くなればなるほど、最適な借入回数が増加することが分かる。特に、表 2 のパターン A（時間割引率は極端に高く 0.34 よりも高い）での最適な借入回数は、パターン B（時間割引率は中程度で 0.03～0.34 の間）での最適な借入回数よりも多くことが分かる。しかし、経済実験データから分かるように、時間割引率が極端に高くなると（どちらかというと）借入が回避される傾向が明らかになる[2]。

[2] この極端なケースを除外すると、我々の実験でも、借入回数と時間割引率の間に統計

この発見を、認知能力における「選択括り」を踏まえて解釈すれば、選択括りの範囲が時間割引率とともに拡大し（最適化問題の難易度が難しくなることにつれて）、余程広範になる（最適化問題が余程困難になる「パターン A」）と計算力や注意力には限りがあるため、かえって選択の狭義括りにならざるを得ず、将来のこと（借入の返済など）と現在の目標（基本的要求を満たすなど）を統一的に捉えられなくなるのである[3]。確かに、実験の両トリートメントにおいて、一回も借入しなかった 3 人の被験者の時間割引率は極端に高く、0.34、0.37、および 0.5 だった。

第 6 節にて紹介した本研究の最大特徴である、個人時間選好と消費・借入問題の最適解の達成率と、上述の借入回数および選択括り効果に対する考察は、論理的な手順を踏んで容易に関連付けられることが分かった。時間割引率が高い人ほど、直面する異時点間最適化問題における選択括りが相対的に広範囲になるため、最適解への達成が相対的に困難になる。この発見は上記の表 5 にて報告された重回帰の結果によって確証され、個人消費者の経済厚生への効果がこれにより見えてくる。時間割引率が高いこと（せっかちさ・衝動性・短期などに帰着する特性）が、タスクの複雑性を高め効用の減少をもたらす。即ち、多くの日常経済問題において、知能指数等によって計測される本来持っている認知能力のせいではなく、時間選好によって、効用（経済厚生）が達成可能な水準よりも低くなる。認知能力は修正不可能であると仮定しても、自分自身の時間の捉え方は、本人の行動や態度や意志によってある程度修正可能であると考えられ、時間選好率を低くすることでより最適に近い効用水準を得られるという非常に肯定的な結果となった。

的に有意な関係が認められることを確認した。

[3] Dohmen et al.より直接引用すると”the tendency for some people to have trouble bracketing choices broadly, i.e., to recognize how individual risky decisions integrate with other assets like lifetime wealth, or to conceptualize and integrate future considerations with current goals”ということに直接繋がってくる。

付録

- 変数に関わる制約

$w_t, x_t, y_t, z_t \in$ {非負整数} (1)

$$\left.\begin{array}{l} 0 \le w_t \le 140 \\ 0 \le x_t \le 70 \\ 0 \le y_t \le 35 \\ 0 \le z_t \le 4 \end{array}\right\} \quad (2)$$

$s_t \in R_+$ (3)

$a_t, b_t, c_t \in [0,1]$ 0 or 1 (4)

$d_t \in R_+$ （但し $d_1 = 0$） (5)

e_t の定義

$$e_t = \left\{\begin{array}{l} e_1 = 0 \\ \textit{for } t \ge 2 \\ 3 \textit{ if } \quad d_{t-1} > 0 \\ 0 \textit{ if } \quad d_{t-1} = 0 \end{array}\right. \quad (6)$$

a_t について：

$a_t \le 1 \quad (t=1,\ldots,11)$ (7)

$a_{12}=0$

b_t について：

$$\left.\begin{array}{l} b_t + b_{t+1} + b_{t+2} \le 1 \quad (t=1,\ldots,7) \\ b_t = 0 \quad (t=10,11,12) \end{array}\right. \quad (8)$$

c_t について：

$$\left.\begin{array}{l} c_1 + c_2 \le 1 \\ c_3 + c_4 + c_5 + c_6 \le 1 \\ c_7 + c_8 + c_9 + c_{10} \le 1 \\ c_{11} + c_{12} = 0 \end{array}\right. \quad (9)$$

a_t, b_t, c_t, e_t について：

$a_t + b_t + c_t + e_t \le 3 \quad (t=1,\ldots,11)$ (10)

- 各月の予算制約

1 月の予算制約：

$$E_1+s_1 \leq I+L_1$$

2 月の予算制約：

$$E_2+20000R_a a_1+B_1 b_1+R_d d_1+s_2 \leq I+s_1+L_2$$

3 月の予算制約：

$$E_3+20000R_a a_2+B_2 b_1+B_1 b_2+60000R_c^2 c_1+60000R_c c_2+R_d d_2+s_3 \leq I+80000+s_2+L_3$$

4 月の予算制約：

$$E_4+20000R_a a_3+B_3 b_1+B_2 b_2+B_1 b_3+R_d d_3+s_4 \leq I+s_3+L_4$$

5 月の予算制約：

$$E_5+20000R_a a_4+B_3 b_2+B_2 b_3+B_1 b_4+R_d d_4+s_5 \leq I+s_4+L_5$$

6 月の予算制約：

$$E_6+20000R_a a_5+B_3 b_3+B_2 b_4+B_1 b_5+ R_d d_5+s_6 \leq I+s_5+L_6$$

7 月の予算制約：

$$E_7+20000R_a a_6+B_3 b_4+B_2 b_5+B_1 b_6+60000R_c^3 c_4+60000R_c^2 c_5+60000R_c c_6+R_d d_6+s_7 \leq I+80000+s_6+L_7$$

8 月の予算制約：

$$E_8+20000R_a a_7+B_3 b_5+B_2 b_6+B_1 b_7+ R_d d_7+s_8 \leq I+s_7+L_8$$

9 月の予算制約：

$$E_9+20000R_a a_8+B_3 b_6+B_2 b_7+B_1 b_8+ R_d d_8+s_9 \leq I+s_8+L_9$$

10 月の予算制約：

$$E_{10}+20000R_a a_9+B_3 b_7+B_2 b_8+B_1 b_9+ R_d d_9+s_{10} \leq I+s_9+L_{10}$$

11 月の予算制約：

$$E_{11}+20000R_a a_{10}+B_3 b_8+B_2 b_9+60000R_c^3 c_8+60000R^2 c_9+60000R_c c_{10}+R_d d_{10}+s_{11} \leq I+80000+s_{10}+L_{11}$$

12 月の予算制約：

$$E_{12}+20000R_a a_{11}+B_3 b_9+ R_d d_{11}+s_{12} \leq I+s_{11}$$

尚、各月の消費支出 E_t および借入額 L_t は以下のように決定される。

$$E_t = 3000w_t+6000x_t+12000y_t+100000z_t$$

$$L_t = 20000a_t+30000b_t+60000c_t+d_t$$

また、ローン L1 (a_t)，L3 (c_t)，L4 (d_t) の利子率は

$$R_a = 1 + \frac{1}{120}$$

$$\mathrm{R}_c = 1 + \frac{13}{200}$$

$$\mathrm{R}_d = 1 + \frac{23}{1200}$$

ローン L2 の 1 か月後，2 か月後，3 か月後の返済額 B_1, B_2, B_3 は、それぞれ

$$B_1 = 10225$$

$$B_2 = 10117$$

$$B_3 = 10108$$

所得 $I = 15000$。

引用文献

Ainslie, George W., “Impulse Control in Pigeons” *Journal of the Experimental Analysis of Behavior* 21(3), 485-489, 1974.

Andersen, Steffen, Glenn W. Harrison, Morten I. Lau, and E. Elisabet Rutström, “Eliciting Risk and Time Preferences” *Econometrica* 76(3), 583-618, 2008.

Coller, Maribeth, and Melonie B. Williams, “Eliciting Individual Discount Rates” *Experimental Economics* 2(2), 107-127, 1999.

Dohmen, Thomas, Armin Falk, David Huffman, Uwe Sunde, “Are Risk Aversion and Impatience Related to Cognitive Ability?” *American Economic Review* 100(3), 1238-1260, 2010.

Frederick, Shane, George Loewenstein, and Ted O’Donoghue, “Time Discounting and Time Preference: A Critical Review” *Journal of Economic Literature*, 40(2), 351–401.

Holt, Charles A., and Susan K. Laury, “Risk Aversion and Incentive Effects” *American Economic Review* 92(5), 1644-1655, 2002.

Izawa, Hiroshi, and Grzegorz Mardyla, “Borrowing Behavior and Attitudes towards Risk and Time – Experimental Approach” *Journal of International Finance and Economics* 11(1), 45-54, 2011.

Kahneman, Daniel, and Amos Tversky, “Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk” *Econometrica* 47 (2), 263–292, 1979.

Lowenstein, George, and Drazen Prelec, “Anomalies in Intertemporal Choice: Evidence and an Interpretation” *Quarterly Journal of Economics* 107 (2), 573–597, 1992.

Rabin, Matthew, and Georg Weizsacker, “Narrow Bracketing and Dominated Choices” *American Economic Review* 99(4), 1508-1543, 2009.

Read, Daniel, George Loewenstein, and Matthew Rabin, “Choice Bracketing” *Journal of Risk and Uncertainty* 19(1–3), 171–197, 1999.

Simon, Herbert A., “A Behavioral Model of Rational Choice” *Quarterly Journal of Economics* 69(1), 99-118, 1955.

Tversky, Amos, and Daniel Kahneman, “The Framing of Decisions and the Psychology of Choice” *Science* 211(4481), 453–58, 1981.

木成勇介・大竹文雄・筒井義郎、時間割引率:逓減的時間割引率と期間効果、Institute of Social and Economic Research Discussion Papers 666, 2006.

晝間文彦、アンケートによる時間割引率の背景要因に関する研究、*早稲田商学*第 432、2012.

筒井義郎・晝間文彦・大竹文雄・池田新介、上限金利規制の是非：行動経済学的アプローチ、*現代ファイナンス* 22, 25-73, 2007.

前田武宏、ＳＮＡと家計調査における平均消費性向の簡易調整 : 高齢化をマクロの消費予測に織り込む、*JCER Review Vol 64*、日本経済研究センター、2008.