

# 時間割引・不確実性下の意思決定の行動神経経済学

21COE 研究員 高橋泰城\*

東京大学 総合文化研究科

要旨：神経科学と経済学との境界分野は，Neuroeconomics（神経経済学）と名づけられ，近年活発な研究がなされている．本発表では，時間割引および不確実性下の意思決定に関して，経済学における規範的意思決定からの乖離に関する神経経済学的研究（神経ホルモンや中毒財との関連），および行動経済学・進化生物学との関連を紹介する．

キーワード：神経経済学，意思決定，ホルモン，双曲割引，危険回避

## 1. 序論

標準的な経済学の分野では，おもに①利己性と②無矛盾性の両方を兼ね備えた意思決定規則を合理的意思決定の規則であると定義し，さまざまな人間行動の理論モデルが構築されてきた．その中でも，不確実性存在下での意思決定に関する期待効用理論と時間割引（異時点間の資源配分の意思決定）に関する指数割引効用理論（定常な時間選好率を仮定した時間割引モデル）は幅広く応用されてきた．しかし，期待効用理論や指数割引理論に対する反例（アレのパラドックスや非定常な時間選好率など）も数多く見出されてきたため，代替理論の開発もすすんでいる．さらに近年，生物学と経済学とを融合させる試みもなされており，標準的経済学におけるパラドックスを，進化生物学や神経科学の理論・知見によって解決しようという研究戦略がうまれている．とくに神経科学と経済学との境界分野は，Neuroeconomics（神経経済学）と名づけられ，近年活発な研究がなされている．本発表では，そのうち，時間割引および不確実性下の意思決定に関して，経済学における規範的意思決定からの乖離を表す意思決定関数（双曲割引関数や決定荷重関数）に関する，われわれが行った神経経済学的研究（とくに神経薬理学との関連）を紹介する．また，これまでに行なわれてきた行動経済学的研究との関連・将来への展望も議論する．

### 1.1 異時点間選択（時間割引）

サミュエルソンによる割引効用理論の提唱以来，最近まで，指数割引関数：

---

\* 〒153-8902 東京都目黒区駒場 3-8-1

東京大学大学院 総合文化研究科 17号館 1F

e-mail: taikitakahashi@gmail.com

$$V(D)=V(0)\exp(-k_e D) \quad (1)$$

(ただし  $V(D)$  は遅延期間  $D$  後に受け取る報酬の効用、 $k_e$  は指数割引率) が広く用いられてきた。この割引関数の特徴は、割引率  $-[dV(D)/dD]/V(D)$  が遅延時間によらず一定 ( $=k_e$ ) であることである。このため、time-consistency が保障される。一方、経済学者 Strotz による指摘以来、非定常な割引率のモデルの研究も行われており、動物行動分析学者 Mazur や Ainslie らが提唱した、双曲割引関数が、ヒトの時間割引の行動データにもフィットすることが近年報告されている。双曲割引関数は、

$$V(D)=V(0)/(1+k_h D) \quad (2)$$

とあらわされ ( $k_h$  は双曲割引率)、特徴としては割引率  $-[dV(D)/dD]/V(D)=k_h/(1+k_h D)$  が時間の経過とともに減少することがあげられる。このため、双曲割引に従う行為者は、遠い未来における 2 時点間の異時点間選択計画にくらべて、直近における 2 時点間の異時点間選択行動がより衝動的 (impatient)・近視眼的 (myopic) になる。したがって、時間の経過とともに preference reversal (選好の逆転) が生じ、動学的非整合性が存在する。

最近の神経経済学的研究においては、時間割引率を高める神経機構、また動学的非整合性の強さ (「双曲性」の度合い) を決定している神経機構の両方が注目を集めている。本研究発表においては、われわれのおこなった、時間割引の神経化学相関 (特に、男性ホルモン・ストレスホルモン・アドレナリン系の賦活と、時間割引の関係、ニコチン依存やアルコール症と時間割引の関連) に関する実験データを報告する。

行動経済学の仮説によれば、双曲割引の原因は、自分が受け取る報酬は、「目の前に近づいてくると待ちきれなくなる」感情 (近視眼性) のせいだと提唱されている。しかし、(自分ではなく) 他人が受け取る報酬の時間割引の非整合性は、自分が受け取る報酬の時間割引よりも非整合性が大きいことを示す結果も報告し、行動経済学研究による政策インプリケーションとの関連を議論する。

## 1.2 不確実性下の意思決定(リスク態度)

不確実性下の意思決定を取り扱う際に、もっとも標準的となっている理論的枠組みは期待効用理論である。この場合、確率  $p$  で当たり、 $(1-p)$  で外れる報酬  $x$ 、すなわちくじ  $L(x,p; 0,1-p)$  の価値は、 $U(x,p)=pU(x)$  で表される。しかし、アレのパラドックスに代表される期待効用理論とヒトの意思決定の乖離を説明するため、近年ではプロスペクト理論など、修正された期待効用理論のさまざまなタイプが提唱されている。代表的なものとして、報酬と損失で非対称な曲率をもった価値関数と、意思決定に与える確率  $p$  の影響が非線形変換されている効果をとり入れた、以下の Prelec 型の確率ウェイト関数モデル：

$$V^+(x,p)=v^+(x)w(p)$$

$$=v^+(x)\exp[-\beta(-\ln p)^\alpha] \quad (3)$$

(ただし、 $v^+(x)$ は確実な報酬  $x$  の価値関数、 $\alpha$ 、 $\beta$  はフリーパラメータ) が、power-invariance という単純な公理から導出可能であることが近年証明され、神経経済学研究を含め、広く用いられ始めている。

また、行動分析学、動物学習理論における molar maximization 理論 (不確実性下の意思決定において、長期的な報酬の期待値と不確実性による報酬獲得の遅延が価値関数を決定するという仮説) から、

$$V(x,p)=V(1)/[1+k_p([1/p]-1)] \quad (4)$$

(ただし  $k_p$  は双曲確率割引率) という双曲確率割引価値関数が提唱され、精神神経薬理学の分野でも数年来盛んに用いられている (ただし  $V(x,p)$  は確率  $p$  で獲得される報酬  $x$  の価値). この理論においては、危険回避度が高い行為者は、当たるまでのトライアル回数が多いくじ引きに耐えられないという意味で、衝動的 (impatient) であると予測される。

さらに、神経ファイナンス分野における近年のニューロイメージング研究において、不確実な報酬の価値が、その予測不可能性 ( $p=0.5$  で最大) が原因で減少するということが示されている。この予測不可能性をエントロピーで定義する場合、

$$V(x,p)=A[p^a - T(-[p \log_2 p + (1-p)\log_2(1-p)])] \quad (5)$$

(ただし  $a$ : 確率知覚における非線形心理物理効果パラメータ、 $T$ : 予測不可能性回避パラメータ) というモデルが考えられる。本発表では、これらのモデルの比較をおこない、またニコチン依存と双曲確率割引の関連を調べた結果を報告する。

進化論研究者 Sozou の仮説によれば、双曲時間割引の原因は、指数分布にしたがって発生する複数の原因により遅延報酬の期待値が減衰することである。この仮説の検証もおこない、遅延報酬獲得の主観確率が双曲関数で減衰することも確かめた。しかし、時間割引の原因を、遅延にともなう不確実性の回避に完全に帰着させることはできず、純粋な時間選好の存在が示唆されたので、この点に関して行動経済学研究との関連を議論する。

## 2. 方法

行動実験をおこなうにあたって、神経薬理学者 Bickel の課題、また薬物依存者の意思決定の研究者 Kirby らの作成した質問票をもちい、被験者の時間割引率そのほかのパラメータを推定した。

## 3. 結果

主要な結果は以下のとおりである。

1) 時間割引の関数形に関して、すべての被験者において、指数割引より双曲割引のほうが

あてはまりがよかった。

- 2) ニコチン摂取量が多いほど、報酬の時間割引が大きい、損失の時間割引、報酬・損失の確率割引には影響がみられなかった。
- 3) アルコール症患者においては、断酒開始後、2ヶ月で時間割引率のわずかな低下がみられた。
- 4) 覚醒度を高めるホルモンや男性ホルモンは時間割引の低下と関連した。
- 5) 危険回避と予測不可能性回避とは関連しない。
- 6) 他人のための異時点間選択は、自分のためのものより非整合性が強く、また、衝動的行動になりやすい。
- 7) 遅延報酬の獲得確率の主観的見積もりは双曲関数で減衰するが、双曲時間割引は遅延にともなう報酬獲得の主観確率の低下に帰着されず、時間選好が存在する。

#### 4. 考察

以上の知見を行動経済学の研究との関連で議論し、神経経済学や進化理論と統合した研究の可能性に関して考察する。主要な点は以下のとおりである：

①薬物（ニコチン・アルコール）依存が、大きな時間割引と関連するという知見は、合理的中毒理論と整合的であるが、（指数割引ではなく）双曲割引が強くみられたので、常習的喫煙やアルコール症は、完全に合理的な行動であるとはいえない。この結果は動学的非整合性を取り入れた中毒・習慣形成理論の必要性を示唆する。②覚醒度を高めるホルモンが小さい時間割引と関連するという知見は、薬物依存などの衝動的行動に対して、薬理的な治療の可能性を示唆する。③他人のための異時点間選択行動の近視眼性・動学的非整合性が強いことから、「本人に代わって他の人に意思決定をおこなわせたほうがよい」という、Thalerら一部の行動経済学者の処方箋（Libertarian paternalism、近視眼的行動の原因が「自分のことだとどうしても感情的になってしまう」ことであることを前提にしている）は、必ずしも機能するとは限らないことが示唆される。また、行動経済学者 Loewenstein(1996)が主張する、「直近の報酬が visceral influences（”内臓要因”による選択行動への影響）を強めない限り、双曲割引が生じない」という仮説が正しくないことを示唆する。④時間割引から不確実性回避を取り除いた新しい時間選好のパラメータを提案し、行動経済学研究への応用を議論する。

#### 参考文献

Takahashi T "A comparison of intertemporal choices for oneself versus someone else based on

- Tsallis' statistics." *PHYSICA A: STATISTICAL MECHANICS AND ITS APPLICATIONS* (in press)
- Takahashi T, Oono H and Radford MHB "Empirical estimation of consistency parameter in intertemporal choice based on Tsallis' statistics" *PHYSICA A: STATISTICAL MECHANICS AND ITS APPLICATIONS* (2007) vol 381 338-342
- Takahashi T, Furukawa A, Miyakawa T, Maesato H and Higuchi S "Two-month stability of hyperbolic discount rates for delayed monetary gains in abstinent inpatient alcoholics." *NeuroEndocrinology Letters* 2007 Apr 15;28(2)
- Takahashi T, Ikeda K, Fukushima H, Hasegawa T. "Salivary alpha-amylase levels and hyperbolic discounting in male humans." *NeuroEndocrinology Letters* 2007 Feb 4;28(1)
- Takahashi T, Oono H, Radford MHB "Comparison of probabilistic choice models in humans." *Behavioral and Brain Functions* 2007, 3:20
- Takahashi, T., Sakaguchi, K., Oki, M., Honma, S., & Hasegawa, T. "Testosterone levels and discounting delayed monetary gains and losses in male humans." *NeuroEndocrinology Letters* 2006 Aug;27(4):439-444
- Takahashi T "A mathematical framework for probabilistic choice based on information theory and psychophysics." *Medical Hypotheses*. 2006;67(1):183-186.
- Takahashi T "Loss of self-control in intertemporal choice may be attributable to logarithmic time-perception." *Medical Hypotheses* (2005) 65(4):691-693
- Ohmura Y, Takahashi T, Kitamura N "Discounting delayed and probabilistic monetary gains and losses by smokers of cigarettes", *Psychopharmacology* 2005 Nov;182(4):508-515.