経済主体の選択と生理化学物質に関する実験調査の報告*

松葉　敬文　　蔵　　研也　　佐藤　　淳

概　要

本論文は、経済的選択行動における内分泌腺システムの役割についての実験調査の報告である。岐阜市内の女子短期大学１年次に在籍する学生から、2008年６月13日にステロイドホルモンの一種であるテストステロンを抽出し、経済的選択行動とテストステロンの相関を調査した。この調査により、調査項目のうちの一つである美人投票ゲームにおいて、女性のテストステロン濃度と経済的選択行動の間に有意な相関が存在することを観察した。

Keywords: Neuroeconomics, Bounded-Rationality, Teststeron

１．序

テストステロン（testosterone）は内分泌系における代表的なホルモンであり、アンドロゲングループに属するステロイドホルモンの一種である。テストステロンは、主として男性の場合は精巣から、女性の場合は卵巣から分泌され、副腎からも僅かながら分泌される。神経科学の分野において、テストステロンは認知と行動に対して影響をもたらすことが広く知られており、特にリスク愛好的な行動を選択する傾向を高めると予測されている。Mazur&Booth（1998）は、テストステロンがもたらす神経科学的な作用は攻撃性と相関しているが、その作用は直接的な他者に対する攻撃よりも、むしろ象徴的な攻撃として他者を打ち負かそうとする競争心を励起するものである可能性を指摘している。従ってテストステロン濃度が高い場合、競争的行動やハイリターンに対する志向が向上し、より積極的な行動を取る傾向が強くなるものと考えられる。またテストステロンは、蔵 et. al.（2008）が言及しているように、最後通告ゲームなどの信頼ゲームでの相手への不信に強い影響を持っているとも考えられている。

---

* 本研究の実施にあたり、岐阜聖徳学園大学経済情報学部から特別教員研究費の助成を受けたことに感謝します。また、岐阜聖徳学園大学短期大学部梅津博紀教授、岐阜大学大学院連合創薬医療情報研究科丹羽雅之教授、名城大学薬学部松葉和久教授より、試料の解析にあたり助力とコメントを頂きました。ここに深謝します。なお無論のことながら、本稿に残された錯誤等がある場合、その一切の責任は筆者らに帰します。

Zak et. al.（2005）は、男性被験者のジヒドロテストステロン（Dihydrotestosterone）の濃度が高い場合、他者から不信のシグナルに対して、有意に高い濃度に変化するという反応を示したことを報告している。これは不信に対する攻撃性が発露した結果として捉えることが出来る。しかしZak らの実験では、女性は不信のシグナルに対して生理的な反応を示していない。この点について、Zak らは明確な理由付けをしていない。

また Coates and Herbert（2008）は、運動競技における選手のテストステロン濃度が、競技に勝ったときは上昇して選手の自信とリスクに対して影響を与え、積極的な行動を導く正のフィードバック（勝者効果）をもたらし、負けた時は濃度が下がり、自信の喪失とリスクに対する消極さを増す負のフィードバックをもたらすことに着目し、このホルモンがリスク下における経済的選択行動に影響を与えているという仮説を立て検証している。Coates らは、実際に取引に従事しているトレーダーに対する調査という点を重視し、いわゆる経済実験室での実験を避けて17人の男性トレーダーを被験者として調査している。彼らはロンドンシティで働いているトレーダーを被験者としてテストステロンとコルチゾールの濃度を調査し、十分に合理的な思考力を有するトレーダー達の判断能力にさえ、ホルモン濃度が影響を及ぼしている可能性を報告した。

本論文では、信頼に対する生理的な反応が女性では見られない理由や、リスク下における選択や予測について、女性の生理学的な反応はどうなるのか、という点について調査を試みた実験の一次的な報告を行う。女性の血漿中のテストステロン濃度は男性と比べて10％未満程度の数値を示すことが標準であるが、テストステロンがもたらす生理的な作用そのものは同じである。よって女性においても、何らかの反応を予測することは十分に可能である。

今回の実験は、１）女性被験者を対象とし、２） Zak et.al（2005）の追試を主目的としつつ、３）美人投票ゲームを利用した市場の予測に関する実験と、４）リスク下の選択問題に関する経済実験を行い、テストステロン濃度と経済選択行動の相関について調査することを目的とした。Coats らは実験室実験を嫌ったが、現実にロンドンシティ等の金融市場で勤務している人物を募集し、調査に協力してもらうことは非常に困難が伴う。確かに、抽象化された課題提示型の経済実験では、被験者らのリスク認知をどう扱うかが難しくなるが、逆に多数の被験者から調査をすることが比較的に容易になる。女性被験者の反応を主目的の一つとする今回の実験の場合、被験者数を出来る限り確保することが望ましいため、実験の方式として課題提示型の経済実験を選択した。

本実験により、データを精査する前の段階の結果ではあるが、女性のテストステロン濃度と美人投票ゲームの回答の選択に、有意な相関が存在する可能性が大きいことがわかった。

2．実験の準備と実施

2-1　被験者の募集

岐阜市立女子短期大学事務局に被験者募集の許可を得た後、１年生を対象に被験者を募集した。募集にあたっては実験参加同意書を配布し、以下の内容を告知した。

１．実験内容（採取試料の説明を含む）
２．実験の非侵襲性
３．実験参加の取りやめの自由（途中棄権の自由を含む）
４．参加者の個人情報に関する取り扱い
５．参加意思確認のため、同意書が第三者（実験者と被験者以外の者）に閲覧される可能性
６．「不参加による不利益」の不存在

この参加同意書に署名した参加希望者のみ、実験への参加を認めた。実験実施日前に参加同意書を回収し、岐阜聖徳学園大学経済情報学部教授会決定に基づく『「ヒト試料」を用いる実験の事前承認申請書』の書式に従った申請書に参加同意書を添えて、経済情報学部評議会に提出し、経済情報学部評議会の倫理審査を経て実験許可[1)]を取得した。次いで、岐阜市立女子短期大学事務局に実験許可書を提示し、実験日を2008年６月13日に設定する許可を得た。以上の手続きを経て、実験を実施した。

実験の参加者については、参加予定者の実験当日の欠席や、実験当日になって同意書に署名した参加希望者の参加を認めたため、結果として68名が参加した。測定精度の確保のため、68名の参加者には、実験開始の１時間前から水以外の飲食を避けてもらった。

2-2　実験の課題

実験は課題名を「テストステロンと経済主体の選択行動に関する相関調査の実験」とし、以下のような３種に課題を分類した。

- 第一群：リスク下の選択行動
- 第二群：美人投票ゲーム（p-beauty contest game）
- 第三群：不信のゲーム（distrust game）

１）経済情報学部2008年「ヒト試料を用いる実験」事前承認番号１

この構成のうち、第一群では危険回避性に関する経済的選択問題を７問、第二群では美人投票ゲームを0.7倍で出題した。第三群の不信のゲームは、追試の対象である Zak（2005）を可能な限り精密にフォローして実験を設計した。第三群のゲームの設定は以下のようなものである。

第一段階において1000円を有する第一プレイヤー側（送金側）が他者（第二プレイヤーである返金側）に100円単位で好きに選択した金額ｎ円を送金する。第二段階として、第二プレイヤーである返金側が送金された金額の３倍の額（３ｎ円）を受け取り、その金額から第一プレイヤーに好きな金額ｍ円を返金する。よって、各プレイヤーが実験で受け取る金額は、

送金側：（1000－n）＋m　円
受金側：３n－m　円

となっている。

なお、第二群の美人投票ゲームは、第一群の出題と連続した出題で１回、第三群の送金側の選択後に１回、合計で二回の投票を実施している。

２-３　濃度測定用試料の回収

テストステロン濃度の測定にあたり、検出用の試料には唾液を選択し、３セット分のサリメトリック社（salimetrics）製 Salivary EIA[2] キットを使用することとした（この３セットはすべて同じ製造ロットのキットである）。このキットのテストステロン濃度の測定範囲は6.1 pg/mL－600 pg/mL であり、テストステロンの血漿中濃度との相関は0.96である。

唾液試料の回収は、被験者がチューブに試料を直に投入してもらう方式を採用した。採取筒には、ガンマ線で滅菌された後に真空密閉された未使用の15ml コニカルチューブ（口径17mm）を用い、使い捨てで使用することとした。試料を投入する前に、全被験者に紙タオルを用意し、さらに希望する者には歯科用使い捨てグローブを配布した。

実験における試料取得のタイミングと回数は、実験課題の開始前に１回、実験課題の終了後に１回とした（合計で二回分を回収した）。試料が投入されたチューブは投入直後に回収し、実験中は氷温で保冷箱に保管し、実験終了後は可能な限り速やかに冷凍庫に保管場所を移し、濃度測定日までマイナス20度で保管した。三日後の６月16日（試料の濃度測定日）、標本作製室に運ぶ１時間前に冷凍庫から試料の入ったチューブを取り出し、自然解凍させた後に標本作製室に搬入した。

２）Enzymeimmuno Assay、酵素免疫測定法

2-4　被験者に対する支払いおよび、実験後の説明と報告

最後まで実験に参加したか否かによらず、唾液試料を提供した実験参加者には全員に、実験参加に対する謝金として1000円を支払った。また、美人投票ゲームの正解者には、第一回投票の賞金として正解者に1000円を即座に支払い、第二回投票では3000円を正解者数で等分した金額を賞金として配布した。信頼ゲームでは、送金された金額の実額を支払うことを原則とし、200円未満の金額を受け取ることになった被験者に対して200円を支払った。また信頼ゲームでの獲得資金額から逆算的に送金・受金のペアを特定させないため、ランダムに決定した被験者に対して200円を上乗せして賞金を支払った。これにより、被験者の受け取り金額からゲーム中にペアを組んだ相手を特定することは不可能となっている。

実験の一週間後に全ての実験参加者から、事前の実験参加同意書に記されていた実験の説明と齟齬なく実験が行われたことの確認書を配布し、内容を確認してもらった後に回収した。また回収試料の解析終了と、試料の廃棄が規定通りに行われたことを事後説明書に記載して告知した。

経済情報学部評議会に対しては、実験に関わる支払いやヒト試料の取扱（廃棄手法等）に関する報告として、実験参加の非強制性を被験者に確認した確認書を添えて、実験実施報告書を７月２日に提出している。

2-5　試料の検査

実験に参加した被験者数は、実験開始時点では68名であったが、実験を早退した参加者の存在や、実験課題文書の落丁による無回答、さらに回収試料の目視検査で含有ムチンが多い試料は検査対象から除外した。なお検査対象には、二回分の試料がペアで揃っているもののみを対象とした。この結果、検査対象となるデータセットは57名分に減少した。

テストステロン濃度の検出にあたっては、試料を２倍希釈して検出作業を行った。（希釈液にはEIAキット付属の希釈液を用いた）。希釈された試料をマイクロプレートに投入し、キットの手順に従った作業の後、マイクロプレートリーダで計測した（この過程で使用した薬剤はすべてキット付属のものを利用している）。試料の計測は１試料につき２ウェルに投入する二重検出方式を取り、二つのウェルから得られた透過度の平均をもって、その試料の透過度とした。

この計測された透過度をシグモイド（sigmoid）関数を用いて濃度を回帰計算し、本稿で利用するテストステロン濃度を導出した。また検出作業の過程において、マイクロプレート上の近隣ウェルからの薬液漏出、あるいは薬液の誤投入等の技術的な問題も発生したため、これらの誤操作ウェルの検出値は廃棄した。以上により、利用可能な実験データ数は、１回目の回収試料では49名分、２回目の回収試料では46名分となった。

以上の解析により得られたデータを、各被験者のテストステロン濃度の原データセット

とした。本来は、このデータセットをさらに精査しなければならない[3)]が、本稿における分析では可能な限り恣意性を排除するため、あえてデータセットを精査する前の段階で、分析を行うこととした。

3．結果と考察

今回の実験から獲得されたデータの群のうち、ある程度の有意な結果を確認できた第2群の実験結果についてのみ、本稿では述べることとする。実験第2群（美人投票ゲーム）における第一回目の投票（観測数＝49）では、テストステロン濃度と回答値の間に、有意な相関は特に見られなかった。

しかし、第二回目の投票（観測数＝46）では、濃度で回答値を回帰した結果、t値＝−1.83、決定係数＝0.07、P値＝0.074であった。第二回の投票では、（二回目の回収した試料における）テストステロン濃度と美人投票ゲームの回答値との間に、負の相関が存在する可能性が高い。

これは被験者が初回の投票で美人投票ゲームの意味を理解し、他者との関係の中で正解値が導かれることを把握した結果、テストステロン濃度の高い被験者が他者の選択をより強く意識し、より低い数値を選択しようとしたためと考えられる。つまり、高濃度のテストステロンによる「攻撃性」が強く発揮され、被験者が他者との競争に打ち勝とうとする傾向を強めたという、被験者が選択する際の背景が変質した可能性が示唆される。

この結果は、ロンドンシティの現役トレーダーから朝の就業前にテストステロン濃度が高濃度だったトレーダーのその日の収益性が高かったという、Coates and Herbert（2008）の報告との関連性を示唆する結果であろう。

今回の実験におけるデータを改めて精査し、より信頼性のあるデータセットの下で解析作業を継続する必要があるだろう。

4．結語

今回の解析結果は、十分にデータ精度等を精査する前の結果ではあるが、このような経済実験において、女性のテストステロン濃度が選択行動と有意な相関を示すことは非常に

3）日本泌尿器科学会・日本Men's Health医学会による『加齢男性性腺機能低下症候群（LOH症候群）診療の手引き』では、医療研究用のテストステロンの基準値を測定データ群の平均値±2SDで取っている。

稀である。Zak et. al（2005）では、ジヒドロテストステロンを用いて不信のシグナルを受けた場合の攻撃的反応を分析しているが、男性の結果とは異なり、女性の攻撃性は不信のシグナルを受けても励起されなかった。しかし、美人投票ゲームのように他者との競争環境下にある中での選択では、女性もテストステロン濃度の影響を受け、積極的な選択する可能性が存在することを、今回の結果は指摘している。積極性の励起が推測レベルに影響を与えるか否かについては、即座には何も断定できることはない。個々の経済主体の生理的変化が、意思決定に対し何らかの相関を有しているか否かについて、より詳細に検討する必要があるだろう。しかし、選択行動における経済主体の限定合理性という問題に対し、経済主体の生理的な背景が何らかの関連性を有している可能性は被験者が女性である場合でも高い。今後は試料数の確保や解析精度の向上を図りつつ、選択行動の神経科学的な基礎付けを図ることが望まれる。

参考文献

Camerer, Colin. *Behavioral game theory: Experiments on strategic interaction*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 2003.

Camerer, Colin and Ho, Teck-Hua. "Experience-Weighted Attraction Learning in Normal Form Games." *Econometrica*, 1999, 67(4), pp. 827-874.

Camerer, Colin; Ho, Teck-Hua, and Chong, Juin-Kuan. "Sophisticated Experience-Weighted Attraction Learning and Strategic Teaching in Repeated Games." *Journal of Economic Theory*, 2002, 104(1), pp. 137-188.

Coates, J. M. and J. Herbert, (2008) "Endogenous steroids and financial risk taking on a London trading floor", Proceedings of National Academy of Science, 105, 16, pp. 6167-6172.

Ho, Teck-Hua; Camerer, Colin and Chong, Juin-Kuan. "Self-Tuning Experience Weighted Attraction Learning in Games." *Journal of Economic Theory*, 2007, 133(1), pp. 177-198.

Ho, Teck-Hua; Camerer, Colin and Weigelt Keith. "Iterated Dominance and Iterated Best Response in Experimental p-Beauty Contests." *American Economic Review*, 1998, 88(4), pp. 947-969.

Nagel, Rosemarie. "Unraveling in Guessing Games: An Experimental Study." *American Economic Review*, 1995, 85(5), pp. 1313-1326.

Zak, P. J., Borja, K, Matzner, W. T. and Kurzban, R. (2005) The Neuroeconomics of Distrust: Sex Differences in Behavior and Physiology. American Economic Review, 95, 360-365.

カールソン，N.R.、中村克樹(訳)、泰羅雅登(訳)、2007年、『神経科学テキスト脳と行動（第

二版)』、丸善
蔵研也・松葉敬文・佐藤淳、2008年、「体内化学物質に関する覚書」、岐阜聖徳学園大学紀要　Vol. 9 ., No. 1 & 2
ジョン・ピネル、佐藤敬（訳），泉井亮（訳）、若林孝一（訳）、飛鳥井望（訳）、2005年、『ピネルバイオサイコロジー　脳―心と行動の神経科学』、西村書店
日本泌尿器科学会・日本 Men's Health 医学会編、2007年、『加齢男性性腺機能低下症候群（LOH 症候群）診療の手引き』、じほう社
松葉敬文・佐藤淳・蔵研也、2007年、「美人投票ゲームにおける推論レベルの分析」、岐阜聖徳学園大学紀要　Vol. 8 , No. 3 & 4