

テストステロンと経済行動：濃度変化がリスクをとらせる

松葉敬文¹
佐藤 淳¹
蔵 研也¹
青木 貴子²
村上 弘³

要旨：女子短大の学生を被験者に3週間にわたり、テストステロンの濃度と、リスク選好指標、時間選好などを計測した。リスク選好指標は、choice task と matching task の2種類を用いた。また被験者の T 濃度を、グルコース投与によって一時的に低下させて、コントロール群との違いを見た。結果、T の絶対濃度とリスク選好には choice task, matching task とともにはっきりとした関係がなかった。また、30分間隔での T 濃度の変化と、リスク選好の指標である matching task の間には有意な正相関があるが、choice task とでは有意性は示されなかった。T 濃度の変化は、uncertainty 状況では影響を与えるが、risk 状況下では弱い、あるいは与えないことが示唆された。また T は時間選好には影響を与えない。

JEL classification number: D01, D03

キーワード: testosterone, risk-preference, uncertainty, risk,

1. Introduction

テストステロン(以下 T)は男性ホルモンとして良く知られており、動物やヒトにおいて攻撃行動を引き起こす。このため、経済行動に対してもリスク選好に関連して、T はリスクを取りやすくさせるのではないかと予想されてきた。van Honk et al. (2004)は、男性の T 濃度を高めると、IOWA Gambling task においてリスクをとりやすくすること、Sapienza et al. (2009)は T 濃度が女性のリスク選好を高め、男女ともに職業的にもより挑戦的な金融業に進むこと、Goudriaan et al. (2010)は、直接に女性の T 濃度を薬剤投与によって高め、事前に確率過程が未知である BART 実験において、リスク選好がより高まることを示した。

直接にリスク選好とは関連していない可能性もあるが、Coates 等(Coates and Herbert 2008, Coates et al. 2009)によれば、債券トレーダーでも、胎児期、あるいは現在の T 濃度が、長短期において利益の多寡や、キャリアの長さや相関している。Burnham (2007)によれば、T 濃度は、ultimatum game における受け手の側の拒否の頻度と相関している、つまり T 濃度の高い人は、低い分割案が提示された場合に、それを拒否しがちであるという。Zak et al. (2010)もまた、直接に男性に T を投与し、その結果、ゲームの相手プレイヤーへの分配が低下することを報告している。

これらの結果からは、男女の両方において、T 濃度はリスク選好を高めると考えられる。しかし、上記の研究では心理学・臨床医学的な実験が主で、経済学におけるリスク選好度を測ったのは Sapienza et al. のみである。

そこで、本論文ではのべ 210 人の女性被験者を使い、T 濃度を測定すると共に、そのリスク選好を、質問表への回答から推し量る choice task と、一つのクジがいくら価値をもつかを直接にたずねる matching task の2種類を使って、調べた。また性周期の影響を考慮して2週間の間隔において同じ質問をした。

また既存の研究では、T 濃度を人為的に変化させて、T の濃度がリスク選好を高めると結論付けている。そこで本論文でも、被験者群にグルコース(ブドウ糖)を投与することによって T 濃度を一時的に下げ、その場合の T 濃度の変化と、リスク行動の変化について調べた。

同様に、T 濃度と時間選好も調べた。すでに Takahashi et al. (2006) は、T 濃度が時間割引率を引き下げる、つまり T 濃度が高い人ほど、より忍耐強いといえると報告している。しかし、これまでの時間割引の研究では、効用関数が線形であること、つまり報酬額に比例して効用を得ることが当然に前提されていた。また時間割引のうち、どれだけが実際には報酬が支払われないかもしれないというリスク選好によるものなのかも特定されていない。

1 岐阜聖徳学園大学経済情報学部 tmatsuba@gifu.shotoku.ac.jp, jsato@gifu.shotoku.ac.jp, kkura@gifu.shotoku.ac.jp

2 岐阜女子短期大学食物栄養学科

3 愛知学院大学歯学部歯学科

よって、この実験では、線形の効用関数のみならず、リスクについての質問から CRRA クラスの効用関数パラメーターを推定し、そのリスク回避度を時間割引から差し引いて、より純粋な時間による割引を計算し、T 濃度との関係を調べてみた。

2. 実験方法

2.1. 基本的な方法

岐阜女子短大の学生を被験者として、6月18日に73人に、7月2日を第2回93人に、まず唾液を提出してもらおうと同時に、質問群に答えてもらい、我々が関心をもつ、多数な経済行動との関連を調べた。その後、唾液から T 濃度を検出した(Salimetrics 社の T 検出キット使用)。7月2日には、質問群への回答の後にも、唾液を提出してもらい、30 分間での経時的な T 濃度の変化も調べた。本論文では、リスク選好(あるいは回避度)と時間選好(割引率)について報告する。

2 週間を空けたのは、性周期が平均的に4週間を1周期とするためである。これによって、ある被験者が、性周期のどこかの時点で T 濃度が高かったり低かったりしても、その2週間後には反対のフェーズにあるため、個人の平均的な T 濃度を知ることが可能となる。また、実験時の T の絶対濃度だけでなく、その経時的な変化に関連して、どのような選択の変化が生じるのかについても調べることができるという利点があるためである。

リスクについては、2 種類の質問を使用した。第1は、徐々に変化するクジを左右に提示され、そのどちらかを選ぶという質問 choice task (Frederick et al. 2002)であり、第2は、80%で4000円があたり、20%で何ももらえないというクジが、いくらの確実な報酬と同じ価値を持つかという質問 matching task である。後述するように、前者は回答に関しての手がかりが質問票自体から得られることから、確率分布が既知の活動に対比される。また後者は、回答となる金額を被験者自身が直感的に考えて書き込む必要があるため、確率分布が未知の活動に対比されると考えられよう。

2.2. T 濃度の操作

これに加えて、6月25日に、被験者43人(一部は上記実験の被験者と重なっている)を使って、グルコース投与によって T 濃度を低下させ、同時に上記の質問に答えてもらった。これは糖尿病の診断に広く利用されている方法であるが、被験者にグルコース75グラムを投与すると、健常者の場合、インスリンが大量に分泌される。この時、T 濃度が低下することが報告されている(e.g., Hayes 2009)。

我々の実験では、まず被験者21人の唾液を採取した後、グルコース75グラムの入っている冷やした炭酸水(薬品名トレーラン)を約飲んでもらい、20分後から質問に答えてもらった。その後、T 濃度の変化を確かめるため、もう一度唾液を採取した。

グルコースは甘みを持つため、冷やした甘い飲料水を飲んだことによって、行動が変化することも考えられる。このことを考慮して、グルコース75グラムと同程度の甘みを感じるフルクトース(果糖)を30グラムを炭酸水に投与して冷やした炭酸飲料水を作成した。それをコントロール群22人に飲んでもらい、同じ手順で唾液を採取して、質問に答えてもらった。

この実験では、飲料を飲んだ20分後から1度しか質問に答えてもらっていない。これは、記憶がはっきりとしていくごく短時間に2度の同じ質問に答えてもらっても、回答への記憶が攪乱要因となって、行動の変化を捉えることができないのではないかという危惧があったためである。よってこの実験では、被験者個人のごく短時間の T 濃度の変化から生じる行動の変化を、直接に調べたわけではない。

しかし、グルコース投与によって T 濃度が低下し、それによって経済行動が変化するなら、実験群とコントロール群の質問への平均的な回答には有意な差が生じるはずである。時間的な制約もあって、今回はこのような間接的な方法を採用した。

なお、この実験時に、被験者が何を飲んだかについては、知らせていない。実験群、コントロール群ともに、ビン、またはコップに入っている飲み物を飲むようにのみ支持されていた。

2.3. 時間割引率

時間割引率については、Kirby et al. (1999) に従い、Kirby's MCQ (Monetary Choice Questionnaire)質問表を使って推計した。これは被験者に、matching task と同じように、待ち時間と金額が異なる左右の選択肢から望ましい方を選ばせることで、その hyperbolic discounting function のパラメーターを推定するものである。現在までに実証分析に広く用いられている(e.g., Takahashi et al. 2006, Hirsh et al. 2008)。

3. 結果

3.1. T とリスク選好

まず、性周期の存在にもかかわらず、被験者の T 濃度は非常に安定しているが、これは Liening et al. (2010)

でも確認されている。同じように、被験者のリスク選好や時間割引率は、経時的にも安定しており、また choice task と matching task 間においても強く相関し、安定している。

予想に反して、T 濃度とリスク選好の間には、相関のみならず、高次関数的にも何ら有意な関係は見られなかった。これは1週目、2週目、3週目、の実験データのみ使った場合でも、あるいは被験者の T 濃度を、1週目と3週目を平均した場合でも、また choice task, matching task とともに同様であり、非常に頑健である。

そこで、1週目から3週目の T 濃度の変化、また3週目における 30 分間の T 濃度の変化とリスクの関係について調べた。結果、3週目の 30 分間における T 濃度の上昇は、3週目の matching task で回答されたクジの等価金額と正の相関をしていた(表1、n = 72, p-value 0.0442)。つまり、30 分間のうちに T 濃度 (dT) が上昇した被験者は、同じクジをより高い価値があると評価している(リスクを好む)のである(表1)。

表1 クジの等価金額と T 濃度変化の関係

推計式	ce (等価金額) = $a_0 + a_1 dT$		
	推計値	t-value	p-value
a0	1505.192	11.364	< 2 e-16
a1	4.525	2.049	0.0442
F-statistic	4.199	p-value	0.0442

しかし、T 濃度の変化は、choice task でのクジの等価金額とは有意ではなかった。この結果は、各被験者の回答した choice task と matching task の金額が、当然ながら強く相関していることを考えると、やや不思議でもある。しかし、後述するように、matching task は uncertainty 状況であり、choice task は risk 状況であるからだろう。

この結果から、T 濃度の変化が重要な役割を果たしていることが予想される。被験者の T 濃度の変化を調べると、2週間の間隔でも、30 分程度の間隔においても回帰的な関係が見られた。つまり、T 濃度が低い被験者の場合、時間が経つと T 濃度が上昇し、反対に T 濃度が高い被験者の場合、低下する傾向があるのである。

そこで、この T 濃度の差分のもつ効果を踏まえて、もう一度 T 濃度がクジの等価金額 (ce) を従属変数として、T 濃度 (T) と濃度変化 (dT) と濃度変化の2乗 (dT^2)、その交互作用 ($T \times dT^2$) などを独立変数として、以下のような回帰式で調べた(数式1)。

$$ce = a_0 + a_1 T + a_2 dT + a_3 T \times dT + a_4 dT^2 + a_5 T \times dT^2 \quad (1)$$

この結果、 dT 項と $T \times dT$ 項を除き、その2乗を使った推定がもっとも有意なモデルであった(表2)。

表2 クジの等価金額と T 濃度変化の2乗の関係

推計式	ce (等価金額) = $a_0 + a_1 T + a_2 dT^2 + a_3 T \times dT^2$		
	推計値	t-value	p-value
a0	1563	4.186	8.34 e-05
a1	-0.2657	-0.081	0.9357
a2	0.1630	2.410	0.0186
a3	-0.001339	-2.145	0.0355
F-statistic	3.24	p-value	0.02736

このことから、差分そのものよりも、さらに T 濃度変化の2乗の項が重要である可能性が示唆される。a1 の符

号はマイナスであるが、数値はまったく有意ではない。前述したように、T 濃度は各被験者において回帰する傾向があるため、T 濃度が低い被験者の場合、時間が経つことによって、T 濃度が高まる傾向がある。a2 の符号は有意にプラスであり、これは T 濃度が低い被験者のほうが、T 濃度が上昇するために、よりリスクをとる傾向があることを意味する。反対に、a3 の符号はマイナスで有意であり、T 濃度の高い被験者は、その後の T 濃度の低下によって、リスクを回避する傾向が見られる。

3.2. T 濃度のグルコース投与による低下の影響

予想されたように、グルコースを投与した被験者では、およそ 30 分の間に、T 濃度の平均値は 124 マイクロ g/dl から 104 へと低下した。これは報告されている値、25%に近い。ほとんど T 濃度に変化していないフルクトース投与のコントロール群との片側 t 検定では、p 値が 0.0227 の有意度であった (Wilcoxon 検定でも p 値 0.0175 で有意)。

しかし、被験者の回答したクジの等価金額については、choice task, matching task とともに何ら有意な差は見られなかった。これはグルコース投与群とフルクトース投与群、グルコースによって低下した被験者群とそれ以外、T 濃度が低下した被験者群と上昇した被験者群、といった多様な比較をした場合でも同様であった。

3.3. T 濃度と時間割引

前述のように、T 濃度やその変化と時間割引については、被験者においてテスト・再テスト間で安定していた。しかし、線形の効用関数を使った場合に、相互に有意な関連はみられなかった。さらに、CRRA クラスの効用関数を仮定して、リスク回避度を割引率から差し引いた場合でも同様であった。

4. 議論

今回の実験では T 濃度よりも、その変化のほうがリスク選好にとって重要であることが示唆されたが、これは、これまでに予測、報告されてきた結論とは異なっている。例えば、van Honk et al. (2004)では、直接に女性の T 濃度を上げると、Iowa Gambling Task においてリスクをとりがちになるという。Apicell et al. (2008)では、投資ゲームにおける男性の T 濃度がリスク選好と正相関することを報告している。また Goudriaan et al. (2010)では、女性被験者に薬物を投与して T 濃度を上昇させると、BART テストにおいてリスク選好が高まった。しかし T 濃度の変化については、これまでほとんど注目されてこなかったため、単に関係が報告されてこなかっただけなのかもしれない。

また今回、matching task では有意な関係が見出された場合でも、choice task では有意性は十分ではなかった。これは結果の脆弱性を表しているという可能性も否定できないが、あるいはこれらの課題は異なった脳回路に依存している可能性もある。Goudriaan et al. では、T 濃度の上昇は、確率過程が分かっている risk ゲームには影響を与えないが、BART のように未知の uncertainty ゲームでのリスク選好を高めると報告されている。

matching task は被験者が回答する際に基準となる数値が与えられていないことから、確率過程の不明な uncertainty に類似しており、fMRI を使った研究からは、扁桃体などの大脳視床下部において処理されていると考えられる。これに対して choice task は二者択一であるため、むしろ risk として確率過程が理解されている状況に類似して、主に思考野である前頭葉において処理されているという可能性があるだろう。

関連して、時間割引の実験についてであるが、Frederick et al. では、matching task の短所として、「多くの場合、回答は時間割引によるというよりも、むしろ何らかの簡単なルールに当てはめによって支配されているようだ」と記している。ここで指摘されるように、被験者の使う簡単なルール自体が、思考よりも直感として与えられているのかもしれない。

次に、グルコースの投与によって T 濃度を低下させたとしても、リスク選好は変化しなかったが、この結果は T 濃度の変化が重要であるという結果と矛盾しているようにも思われる。とはいえ、経過時間が 20 分程度しかなかったため、T 濃度の変化が十分に作用するには短すぎたのかもしれない。T などのホルモン物質の与える行動への影響は、どの程度の時間が必要なかははっきりしていないため、今後も研究を続けたい。

最後に、意外なことに T 濃度と時間割引との間に何らの関係性も見られなかった。これは T は男性の時間割引を低下させる(より忍耐強くする)という Takahashi et al. (2006) の報告とは異なる。一見、T はリスクをとらせるとするなら、時間に対してもより忍耐が低下するようにも感じられるが、Takahashi et al. では、T が脳内において女性ホルモンである Estradiol に変化するため、忍耐強くなるのではないかと示唆している。また T はセロトニン作動系システムを介して時間選考に影響を与えられようと考えられるが、fMRI 実験ではセロトニン濃度 と時間選好の関係も報告されており (Tanaka et al. 2007)、今後さらなる作用機序の解明が期待される。

References

- Apicella, C.L., A. Dreber, B. Campbell, P.B. Gray, M. Hoffman and A.C. Little, 2008, Testosterone and financial risk preferences, *Evolution and Human Behavior*, 29, 384-390.
- Bickel, W.K. and L.A. Marsch, 2001, Toward a behavioral economic understanding of drug dependence: delay discounting processes, *Addiction*, 96, 73-86.
- Burnham, T.C., 2007, High-testosterone men reject low ultimatum game offers, 2007, *Proceedings of Biological Society*, 276(1623), 2327-2330. doi: [10.1098/rspb.2007.0546](https://doi.org/10.1098/rspb.2007.0546).
- 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, 6167-6172.
- Coates, J.M., M. Gurnell and A. Rustichini, 2009, Second-to-fourth digit ratio predicts success among high-frequency financial traders, *Proceedings of National Academy of Science*, 106, 2, 623-628.
- Frederick, S., G. Lowenstein, and T. O'Donoghue, 2002. Time discounting and time preference: A critical review, *Journal of Economic Literature*, 40, 351-401.
- Goudriaan, A.E., B. Lapauw, R. Johannes, F. Feyen, J. Kaufman, M. Brand, and G. Vingerhoets, 2010. The influence of high-normal testosterone levels on risk-taking in healthy males in a 1-week letrozole administration study. *Psychoneuroendocrinology*, doi: 10.1016/j.psyneuen.2010.04.005
- Hayes, Frances, 2009, Testosterone decreases after ingestion of sugar, The Endocrine Society, 91st. annual meeting,
- Hirsh, J.B. D. Morisano and J.B. Peterson, 2008, Delay discounting: Interactions between personality and cognitive ability, *Journal of Research in Personality*, 42, 1646-1650.
- Kirby, K. N., N. M. Petry and W. K. Bickel, Heroin addicts have higher discount rate for delayed reward than non-drug-using controls, *Journal of Experimental Psychology*, 128, 1, 78-87.
- Liening, S. H., S. J. Stanton, E. K. Saini, and O. C. Schultheiss, 2010. Salivary testosterone, cortisol, and progesterone: Two-week stability, interhormone correlations, and effects of time of day, menstrual cycle, and oral contraceptive use on steroid hormone levels. *Physiology & Behavior*, 99, 8-16.
- Takahashi, T., K. Sakaguchi, M. Oki and T. Hasegawa, 2006, Sex hormone modulation of hyperbolic discount factor in men, *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics*, 1,1, 7-16.
- Tanaka, S., S. Nicolas, S. Asahi, K. Shishida, Y. Okamoto, S. Yamawaki and K. Doya, 2007, Serotonin differentially regulates short- and long-term prediction of rewards in the ventral and dorsal striatum, *Plos ONE*, 2, 12, e1333, doi: [10.1371/journal.pone.0001333](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001333).
- van Honk, J., D.J. Shutter, E.J. Hermans, P. Putman, A. Tuiten and H. Koppeschaar, 2004, Testosterone shifts the balance between sensitivity for punishment and reward in healthy young women, *Psychoneuroendocrinology*, 29, 937-943.
- Zak, P. J., R. Kurzban, S. Ahmadi, R.S. Swerdloff, J. Park, L. Efremidze, K. Redwine, K. Morgan and W. Matzner, 2010, Testosterone administration decreases generosity in the ultimatum game, *PLoS ONE* 4, 12, e8330. doi: 10.1371/journal.pone.0008330