

# 【研究ノート】 経済的意思決定と体内化学物質についての覚え書

藏 研也 松葉 敬文 佐藤 淳

**Abstract** This note examines several major neurotransmitters on their relations on personality traits and economic decision makings. As is well-known in neuroeconomics, oxytocin infusion makes people more cooperative (agreeable) and generous. Our conjecture is that serotonin (5-HT) and testosterone which tend to make people more aggressive and anti-social may also make people less risk-averse and higher rate of time-discounting. This kind of knowledge will become the foundation of microeconomics in the future.

## 1. はじめに

経済学は意思決定、特に経済行動についての意思決定を説明してきたが、その方法は中枢神経系をブラック・ボックスとして扱い、入力と出力だけに注目して審美的に納得できる理論を構築するというものであった。しかし、1970年代からの実験経済学、さらに1990年代からの神経経済学の発達とともに、これとは異なった神経科学的なアプローチがなされている。

この覚書では、神経系の情報処理に関連する、もっともよく知られた化学物質とその作用機序を説明し、今後の経済行動研究とどのように関連するかを考えてみる。まず、代表的な神経伝達物質について簡単に触れた後、それに比べてゆっくりとしたホルモンの働きを考える。最後に、これまでの心理学で確立された人格分析の5大要素（Big Five）について、その経済学的なインスピレーションを念頭において検討する。

なお本稿では、網羅的であることをまったく意図していない。読者には、この小論がこれまでの著者たちの一般的な理解のいくつかを、将来的な実験を念頭において確認したものである点に留意してもらいたい。

## 2. 神経伝達物質（ニューロトランスマッター）

よく知られているように、中枢神経の電気信号の伝達は、あるニューロンの電位が、シナプスで接合するニューロンに伝わることを意味する。シナプス結合をした2つのニュー

ロンでは、信号を送るニューロン（前ニューロン）の末端にあるシナプスと呼ばれる部分から、特定の化学物質が放出され、それを受け取り側のニューロン（後ニューロン）にある受容体（レセプター）で受け取り、結果として後ニューロンの電位が変化する。これが、中枢神経系のニューロンの信号伝達の基本である。

だが考えてみれば、もっと直接的に神経細胞同士が末端部を電極として接合して、電線のように電流を流すほうが単純で確実にも思われる。しかし、この電気シナプス、あるいはギャップ結合と呼ばれる伝達方法は、高速な同期が必要とされる胎生期などには見られるものの、一般的には重要な役割を果たしていないと考えられている。おそらくこれは、次第に変化する神経回路を形成する際には、多様な正負のフィードバックが不可欠であるが、それらを作り出すには、アセチルコリンやドーパミン、セロトニンなどの物質を利用した方が、多様なヴァリエーションと、それらに伴う多様な運動、学習活動が可能になるからだろう（Connors *et. al.* 2004）。

### 興奮性・抑制性

シナプスのニューロトランスマッターには、後ニューロンの電位発生に対して、興奮性のものと抑制性のものがある。典型的には、神経筋肉伝達を行うアセチルコリンは興奮性であるが、ガンマアミノ酪酸（GABA）は抑制性物質である。この両者が存在することによって、多様で複雑な神経系の反応が可能になる。

### アミノ酸・アミン・ペプチド

ニューロトランスマッターはすでに50種類以上知られているが、それらは化学的に3つのカテゴリーに分類される。1) アミノ酸、2) アミン、3) ペプチドである。アミノ酸にはグルタミン酸、GABA、あるいはグリシンなどがある。アミンにはアセチルコリン、ドーパミン、エピネフリン（アドレナリン）、セロトニン（5-HT）などが含まれる。ペプチドは多数のアミノ酸が結合した高分子であり、ニューロペプチドYやエンケファリンをはじめ、多様なものが存在する。

あるニューロンが特定のニューロトランスマッターを利用するという原則は、「デールの法則」と呼ばれるが、いくつかのニューロンは特定のアミノ酸やアミンだけでなく、並行的にペプチドも利用しているので、これは厳密には守られていない。しかし、ほとんどのニューロンは一種類のみのトランスマッターを利用してるので、それらの神経系はコリン作動系、ドーパミン作動系、などと呼ばれる。

### ドーパミン

ドーパミンはノルエピネフリン、エピネフリンとともにカテコールアミンの典型的なニューロトランスマッターである。ドーパミンは視床下部で感じる快楽の神経系で作用しており、

新奇性の追求行動、外向性などに強く関係している。

よく知られていることだが、線条体におけるドーパミンが欠乏した場合には、パーキンソン病とが発生し、患者は絶え間ないふるえに悩まされる。これに対しては、L-ドーパというドーパミン前駆物質が投与される治療法が普及している。

ドーパミンを一段変化させたものが、ノルエピネフリンであり、さらに一段変化させたものがエピネフリンである。エピネフリンはアメリカ式の呼称であり、イギリス英語ではアドレナリンと呼ばれる。

### セロトニン

セロトニン（5-HT）は、ドーパミン・ノルエピネフリン・エピネフリンがそれぞれ非常に似通っているのに対して、大分構造が異なっている。血中のセロトニン濃度が高ければ、自信を持ち、他人にも協調的になる。低ければ、抑うつ的な感情を持ち、攻撃性が高まることが知られている。

セロトニンは社会的な成功を助けるかもしれないが、この点ははっきりしない。はっきりしているのはその逆で、ヒヒやベルベット・モンキーでは、社会的な成功はセロトニンのレベルを上昇させるのである（Raleigh and McGuire, 1994）。食事によってセロトニンレベルを低下させると、ヒヒは攻撃性を高める（Kaplan *et. al.* 1996）。おそらく、社会的地位の低下に伴うセロトニンレベルの低下と攻撃性の上昇は、既存の社会序列への反抗として進化したのだろう。社会的に地位の高い個体は、他個体への攻撃をする必要性が低いからである。

## 3. ホルモン

ホルモンとは体内を血液を通じて循環し、身体の器官の活動を変化させるタンパク質のことである。60を超える数が発見されているが、それらの多くは身体の複数の器官を協調的に変化させる作用をもつ。脳下垂体、副腎、甲状腺、性腺、胎盤、胸腺など、腺（gland）という概念はホルモンを分泌するものをさしているが、現在ではこれには当てはまらない、数多くの組織でホルモンが分泌されていることがわかっている。

ホルモン分泌の速度や量は、大脳からの神経系の影響を受けているが、それと並行して、たとえば甲状腺ホルモンは視床下部の神経作用に影響しているように、神経伝達とホルモン分泌の2つの情報伝達系は相互にフィードバック的に影響を与えあっている。

ニューロンを通じた非常に高速な信号の伝達はニューロトランスマッターが使われるが、低速でもかまわないのであれば、信号の伝達は、特殊な信号タンパクを血流を通じて流すことによって可能である。ホルモン分泌とはつまり、低い速度での体内信号の転送モー

ドであると考えられよう。

オキシトシンは次章で協調性に関連して説明することにして、ここではテストステロンについて説明する。

## テストステロン

テストステロンは男性ホルモンの典型であり、これまでに最もよく研究されてきたものの一つである。実際、男性として分化発生するためには、発生後4週目という最初期からの第一期、生後2歳からの第二期、さらに第二次性徴の発現の第三期に至るまでの長い間、テストステロンを高濃度に浴び続ける必要がある。

男性の生殖戦略を端的にまとめるなら、リスク爱好者であるということになる。生物種を問わず、配偶子の小さなオスは、ほとんど無限の子供を持つことができるが、メスは大きな配偶子を提供するために、あるいは子供の養育までも行うために、その子どもの数は限定されてしまう。オスという存在それ自体がリスクをとることを意味しており、ヒトにおいても状況は同じであると考えられる。

男女の行動の差異についての経済学的な説明は、これまでリカードの比較生産費の仮説を使った特化の利点を強調するものが多かったようである。こういった男女の差が遺伝的であるとすることが、「政治的に正しい（politically correct）」ものとは見られなかつたためであろう。社会科学から離れたところから出発した進化心理学が、これについてはっきりとした理論を提供している。

男は女に比べて、より社会的な達成要求が強く、独立的であり、同時に一般的には非協調的である。そういった人格が頻度依存型の行動戦略であったのだろう。男の場合、女に比べて、成功は大きな報酬を与えるが、失敗は繁殖機械をすべて失うことを意味している。モデルにもよるだろうが、基本的に、報酬の分散の大きさは、成功の価値と成功への努力をより大きなものにする。

テストステロンの多いオスは攻撃的であるために闘いについては有利だろうが、同時に免疫系を弱めてしまうため、感染症に罹患しやすい。また前立腺ガンの発症確率も高まるため、長生きする可能性は低くなる。おそらくこれらの副作用が、より多くの筋肉を発達させ、攻撃的であることの代償なのである。

さて、経済行動においては、テストステロンはリスク選好を高めるだろうと予測される。パチンコをはじめ、多くのギャンブル爱好者が男性であるのは、このことの社会学的な *prima facie* な証拠であろう。

テストステロンがもたらす攻撃性は、最後通告ゲームなどの信頼ゲームでの相手への不信を意味するとも考えられる。Zak *et. al.* (2005) では、ペナルティのある最後通告ゲームにおいて、最初のプレイヤーから低い信頼を表明されたプレイヤーのテストステロン濃度は、高い信頼を表明されたプレイヤーに比べて優位に高くなつた。この結果は、相手か

らの不信のシグナルは、攻撃性を高めるのだと解釈できるだろう。彼らの実験では、残念ながら、最初のプレイヤーのテストステロン濃度が、相手に対する信頼行動にどう影響するのかは報告されていない。テストステロンを単純に攻撃性ととらえるなら、おそらく相手への不信と相關するだろう。また Burnham (2007) によれば、最後通告ゲームで、40 ドル中 4 ドルという低いオファーを受けて拒絶した男性は、そのテストステロン値が通常よりも高かったという。この場合には、不平等を断固として拒否するという意味で攻撃性が発現していると考えられよう。なお、高いテストステロンはオファーの額自体も高めるようであるが、統計的には有意ではないという。テストステロンが、相手に敬意を払うような高いオファー額につながるのか、あるいは相手を見下すような低いオファー額につながるのかは社会的にも興味深い帰結を持ちそうである。

### コルチゾール

一般にステロイドと呼ばれる物質には、コレステロールから生成されるテストステロンや女性ホルモンであるエストラジオールがある。またこれらに似た物質としてコルチゾールがある。ストレスホルモンと呼ばれるコルチゾールは、身体的・精神的に不快な状態に置かれた場合に体内で増加する物質であり、大脳下垂体のシグナルに応じて主に副腎皮質から分泌される。

コルチゾールの働きでよく知られているのは、免疫系の活性の低下である。コルチゾールはインターロイキン 2 の活性を下げて、病原菌に対する免疫力を全般的に下げるのである。この理由としては、おそらく状況の悪さに対する原始的な反応として、免疫を弱めて体力の温存を図っているのだという説がある。これが本当であれば、コルチゾールの体内濃度が高まれば、状況の悪さに反応して、よりリスク回避的になると予想されるだろう。

コルチゾールは構造がテストステロンに似ているため、かりにテストステロンがリスク回避度を下げ、コルチゾールが上げるのであれば、大きな「常識を超えた」発見であるといえよう。

## 4. 心理学

心理学では、統計的な因子解析が可能になった1930年代から、性格についての言語分析がなされ始めた。その結果、性格への質問票も整備され、今日まで 5 大要素（ビッグ・ファイブ）と呼ばれる 5 つの性格因子がとりあげられてきた。

とはいって、これらの要因は必ずしも完全には直交因子ではなく、また、これらの特性の神経学的な基盤もほとんどが分かっていない。このため、単なる統計的な構築物であるとの批判もあるようであるが、物質的、ハードウェア的な基盤は次第に明らかになるだろう

とも考えられている。

頭文字をとってOCEANと呼ばれることがある、これら5大要素と、経済学的な意思決定との関連、ならびに知られているこれらの基盤的な生理について、以下に考えてみたい。

### 経験開放性 (openness to experience)

経験開放性は、日本語では単に知性と呼ばれることもあるが、いわゆるIQテストとは0.3程度の相関があるだけなので、むしろ新しい経験への興味であり、やはり異なった概念と考えるべきだろう。

経験開放的な個人は、新しい概念に興味を抱き、音楽や芸術に興味を示し、創造的である。経験開放性は、前頭葉背側部の活動と関連していることから、情報処理において高度な総合処理が重要なのであろう。

驚くことではないが、経験開放的な個人は政治的にリベラルな傾向をもっており、保守的ではない (MaCrae 1996)。とすれば、政治的な対立にも、人格的な因子、あるいは究極的には神経科学的な基盤があるということが示唆される (Jost 2006)。

経済的な行動への影響については、産業心理学に多い。新奇な考えが好きで、夢想的であるのは大学の研究者はふさわしいかもしれないが、警察官や販売係などの作業ではむしろ能率が悪くなるようである。おそらく、警察官の仕事は定型的で自明なことが多く、余計な事を考えている時間も必要性もないからだろう。

だが、開放性がIQと相関しており、IQが高い所得を生み出しているとすれば、おそらくは、知的に開放的な個人はより高学歴であり、そのために所得が高いだろう。

### 勤勉性 (conscientiousness)

勤勉な個人は、計画的・抑制的であり、根気強い。法に従い、突飛な行動を慎む傾向が強く、達成要求も強い。仕事でも信頼され、完璧主義的であり、ワーカホリックであることが多いという。現在のところ、このような性格の背後にどのような物質や神経系の作用機序があるのかは、はっきりしていない。

このような性格に顕著な、観察可能な経済行動としては、おそらく低い時間選好率があるだろう。時間選好が低ければ、自己抑制も達成されるだろうからである。同じようにより長期的には、同じ潜在的な知的能力を持っていても、より勤勉な個人はより出世している、あるいはより高所得であると考えられる。

### 外向性 (extroversion : extraversion)

外向性は、まず他人と一緒にいることに対する好みの指標である。人と話すが好きであるとか、あるいは人の注目を受けるのが好きであるとかを意味している。あるいは新奇性の追求とも関係している。

これらの刺激は大脳辺縁系のドーパミン作動系報酬に関連していることがわかっている。刺激に対して大きな快感を得ることは、条件反射的な反応の形成を容易にしているのだろうと考えられているのである。

外向性は主に対人関係における行動についての表現であるが、あるいはもっと一般的に報酬に対して大きく反応するということであれば、ギャンブルのような活動に対しても正の相関をもつかもしれない。この場合、外向的な個人はリスクの高い選択を好むと考えられるだろう。低い確率であれ、大きな報酬が与える刺激の方が、高い確率で得られる小さな報酬よりもセンセーショナルであるためである。

もっと基礎的な遺伝子研究によれば、第11染色体にあるD4DR遺伝子では、何度も同じ配列が繰り返されている（ミニサテライト）。このミニサテライトの繰り返し数が多ければ多いほど、ドーパミンの刺激を抑制するため、快感を得るために大きな刺激を必要とする（Hamer and Copeland 1998）。

日本人は繰り返し数が4回以下であることが多いが、アメリカ人は7回を超えることが多い。D4DRでは新奇性追求の変異の4%しか説明できないとはいえ、これだけでも常識的な国民性の一部を説明しているのは興味深い。日本人は刺激を好み内向的な国民であり、アメリカ人は外向的で積極的な国民性がある。そしてそれは、決して社会学的な「外在的」な文化などではないのである。

新奇性の好みが外向性とまったく同じというわけではないが、内向性がリスクを嫌う性向だとするなら、新奇性を追及しない個人はリスク回避的であると考えられる。これが事実であるかは今後の知見を待ちたいが、あるいは一般的な日本人の株式投資回避、あるいはリスク資産回避には遺伝的な基盤があるかもしれない。

### 協調性（agreeableness）

協調性は、他人に対して共感を持ち、他人の問題に対しても真剣に考えようとする。自分の利益のみならず他人のことも同時に考えるというものである。また、協調的な個人は、人々は一般的に誠実であり、信頼に値すると考える傾向がある。

この協調性という点を重視すると、地位の高いヒヒのオスではセロトニンレベルが高く、群れの他個体に対して協調的であるという事実からは、セロトニンのレベルが高い個体は、あるいは囚人のジレンマゲームや、ペナルティ付きの最後通告ゲームでも相手への信頼が高い可能性があるが、著者たちはこれについて確実な知識を持っていない。

次にオキシトシン（oxytocin）というホルモンの働きについてである。実際、協調性や他人への信頼の生化学の一部が、人間ではなく、ハタネズミから得られたというのは興味深い。Insel *et. al.* (1994) はアメリカの二種類の近縁種で、つがい行動が異なることに注目した。プレーリーハタネズミでは、オスとメスが協調的に子育てをするが、サンガクハタネズミではオスはまったく子育てに協力せず、子どもの養育期間も短い。彼は、協力的

な種では oxytocin と vasopressin のレセプターが発達しているのに対して、非協力的な種ではまったくレセプターが存在しないことを確かめた (Insel *et. al.* 1992)。もともと oxytocin と vasopressin は 2 つのアミノ酸が異なるだけの、よく似たタンパク質である。これらに似た物質が魚の体内にもあり、体内の塩分濃度をコントロールするホルモンであるが、これは今も陸生動物の塩分濃度を制御しているが、同時に転用されて出産時や性交時に産出されるホルモンとなった。おそらくは子供への愛着を高める作用を持っており、それがオスメス間のつがい行動に転用されている。

これを受けて、ヒトでも同じであろうと考えられた。実験によると、恋人や配偶者、自分の子どもの写真を見ると oxytocin が分泌される。これには D2 ドーパミン受容体が関係しているが、この受容体はまた、薬物依存にも関連している (Wang *et. al.* 1999)。つまり、恋人の顔は麻薬に近い快感を呼び起こすのだろう。

また神経経済学でもっとも有名なものである囚人のジレンマを使った実験では、oxytocin を経鼻投与された被験者は相手のことを、より信頼するようになった (Kosfeld *et. al.* 2005)。同じく、独裁的な分配ゲームでも、より多くを相手に与えるようになる (Zak *et. al.* 2007)。

Zak and Knach (2001) では、信頼が経済を反映させる社会的資本であるという考えを進め、1人当たり平均所得と他人への信頼の度合いの間には、大きな正の相関があることを報告している。たしかに人間の相互信頼はすべての組織の基礎であるため、社会的な要因によって他人への信頼の度合いが変化するとするなら、それは経済成長を促すことになるはずである。

### 情緒的安定性 (neuroticism)

情緒的に不安定な個人は、怒りや恐怖、抑うつ感や不安を感じがちであり、あるいは躁鬱的であって感情的な安定を欠いているといえる。感情的に不安定であれば、明晰な思考や意思決定、問題やストレスへの対処が困難になってしまう。

抑うつ感についての生理学は、情緒を安定させるのがセロトニン動作系の神経作用であることを示唆している。セロトニンは抑制作用を持つトランスマッターであり、他の外部情報から生じる不安や緊張を和らげてくれる。抗鬱剤としてもっとも多用されている SSRI も、シナプスで放出されたセロトニンの再取り込みによる急速な減少を阻害する原理に基づいている。これによって、シナプスでのセロトニン濃度を高めるのである。

この情緒的な安定がどのような経済行動と関係づけられるのかははっきりしない。少なくとも、あえて挙げるならば、効用関数などに直接的に関係しているというよりは、むしろ関数自体の一貫性、安定性を意味していると考えるべきなのかもしれない。

## 5. おわりに

伝統的なミクロ的な理論に基づけば、不確実性を含んだ経済行動を規定するのは、期待効用関数である。期待効用仮説は一連の望ましい行動の整合性を持つが、多くの実験結果はこの仮説を完全には支持していない。また効用関数理論で重要視される指標として、時間選好（割引率）やリスク回避度などがあるが、問題はこれらの指標が「人格心理学で得られた、あるいはその他の行動科学で得られた特性と、どのように関係しているのか」という点が、まったく明らかではないことがある。

この点たとえば、協調性、あるいは利他的な経済行動の指標として、ペナルティのある最後通告ゲームにおいての相手への信頼度数のようなものを考えるのもよいように思われる（ex. Fehr and Camerer 2007）。ともかく、どういった化学物質がどのような神経回路を経て、経済行動に影響を与えるのかについての解明は、ミクロ経済学の基礎付けとしても不可欠になってゆくだろう。

## 引 用 文 献

- Burnham, T. C., 2007, High-testosterone men reject low ultimatum game offers, *Proc. Biol. Sci.* 276. 2327-2330.
- Connors, B. W., and Long, M. A., 2006, Electrical Synapses in the Mammalian Brain, *Annual Review of Neuroscience*, 27. pp393-418.
- Fehr, E. and Camerer, C., 2007, Social neuroeconomics: the neural circuitry of social preferences. *Trends in Cognitive Sciences* 11, No.10, 419-428.
- Hamer, D. and Copeland, P., 1998, *Living with our genes*. Doubleday.
- Insel, T. R., and Shapiro, L. E., 1992., Oxytocin receptor distribution reflects social organization in monogamous and polygamous voles. *Proceedings of the national academy of science* 89. 5981-5.
- Jost, J. T., 2006, The end of the end of the ideology, *American Psychologist*, 61. 651-760

- Kaplan, J. R. Fontenot, M. B. Manuck, S. B., and Muldoon, M. F., 1996, Influence of dietary lipids on agonistic and affiliative behavior in *Macaca fascicularis*, *American Journal of Primatology* 38. 333-347.
- Kosfeld, M., Herichs, M., Zak, P. J., Fischbacher, U. and Fehr, E., 2005, Oxytocin increases trust in humans. *Nature* 435, 673-6
- MacCrae, R. R., 1996, Social consequences of experiential openness. *Psychological Bulletin*, 120. 323-337.
- Raleigh, M. J. and McGuire, M. T., 1994, Serotonin, aggression and violence in vervet monkeys. In Masters, R. D. and McGuire, M. T. eds. *The neurotransmitter revolution*, pp129-145. Southern Illinois University Press.
- Wang, Z., Yu, G., Cascio, C., Liu, Y., Gingrich, B. and Insel, T. R., 1999, Dopamin D2 receptor-mediated regulation of partner preference in female prairie voles (*Microtus ochrogaster*) : a mechanism for pair bonding? *Behavioral neuroscience* 113 : 602-11.
- Zak, P. J., and Knack, S., 2001, Trust and Growth, *Economic Journal* 111, 295-321.
- 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.
- Zak, P. J., Stanton, A. A. and Ahmadi, A., 2007, Oxytocin increases generosity in humans. *PloS ONE* 2, 11: e1128