



展 TENBO 望

PET による“優越の錯覚”の 脳の仕組み

山田 真希子

Yamada Makiko

((独)放射線医学総合研究所分子イメージング研究センター
分子神経イメージング研究プログラム、
科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業
さきがけ「脳情報の解読と制御」)



1 優越の錯覚とは

古くから社会心理学領域では、人には“自分は平均より優れている”という思い込み“優越の錯覚”があることが知られている。例えば、知能、技能、望ましい性格など、多くの人が自分は平均的な人より上と答える傾向があることが、多数の心理学研究によって示されてきた。しかし、統計学上集団の大多数が平均より上になることはできないことから、これは誰もが持つ心の錯覚と考えられている。他人より優れていると錯覚することで、人は自分の可能性を信じて未来への希望や目標に向かうことができる解釈されている。過度の優越の錯覚は無謀な行動につながる危険があるが、適度なレベルの錯覚を持つことは心の健康に重要であることが指摘されている。例えば、中等度の抑うつ傾向がある状態では、錯覚が消失し、自分自身を現実的に捉えてしまう特徴があり、これは抑うつ1)の現実主義と呼ばれている。さらに抑うつが重度になると、自分自身についてネガティブに捉えるバイアスが生じる。また、最近の計算モデルによって自分をポジティブに捉える錯覚は、不確実で競争的な社会で有利に働き、社会的成功に繋がること2)が示されている。優越の

錯覚という心の現象は、古くギリシア哲学ソクラテスの時代から現代に至るまで、哲学、心理学、人類学、医療分野など多くの学問領域がその存在に注目してきた。誰もが一般に持つ言語や記憶などの能力が特定の脳機能によって生じていることと同様に、“自分は平均より優れている”と思う心の錯覚も人間に特徴的な思考の1つであり、その背景には必ず脳内機序が存在するはずである。

様々な心の現象を脳科学で扱う場合、脳のどの領域が活動しているかを血流の変化を指標として調べる機能的脳画像 (functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI) を用いた研究が主流であり、言語や記憶など特定の認知現象に関わる脳機能がこれまで見いだされてきた。しかし、認知神経活動の背後にあるはずの分子メカニズムはほとんど明らかにされていない。本稿では、fMRI による安静時脳活動と PET (Positron Emission Tomography) を組み合わせることで、優越の錯覚の脳機能と分子機構の相互関係を明らかにした最近の我々の研究3)を紹介する。

2 優越の錯覚と前頭葉機能

fMRI 撮像中に自分自身について評価しても

らうことにより、自己意識がどのような脳機能により生じるかを調べた脳機能研究が存在する。それらの研究では、自分自身について考えるとき、前頭葉、特に内側前頭前皮質の活動が高まることが明らかにされている⁴⁾。さらに、自分自身を平均的な人と比べてもらった場合、内側前頭前皮質に位置する前部帯状回 (Anterior Cingulate Cortex, ACC) の活動が低い人ほど、優越の錯覚が大きいことが報告されている⁵⁾。ACC は認知制御やエラー検出などの機能を持つことから、ACC の活動が高いと優越の錯覚が抑制されるのだらうと考えられている。興味深いことにこの ACC 領域は、うつ病患者において過活動が認められることが多くの研究によって報告されている。このことは、認知制御が働き過ぎていることと優越の錯覚の低下に何らかの関連がある可能性が示唆されるのではないだらうか。

内側前頭前皮質は、線条体と神経回路を形成している⁶⁾。126 件の脳機能研究のメタ分析* によって、認知課題遂行中、線条体と ACC を含む内側前頭前皮質の活動は同期することが報告されている⁷⁾。最近では、課題を行わない安静時の脳活動データから内在的な脳機能ネットワーク (例えばデフォルトモードネットワークなど) を調べる解析手法が発展し、精神・神経疾患研究への応用が行われている。健常者では安静時に線条体と内側前頭前皮質の機能が同調しているが、うつ病患者では安静時の ACC、腹側内側前頭前野、被殻・淡蒼球、黒質・腹側被蓋野が過活動していることが報告されている⁸⁾。黒質・腹側被蓋野はドーパミン神経の起始核であることから、ドーパミン神経系が優越の錯覚に関わっている可能性が示唆されるだらう。

* メタ分析：複数の研究結果を比較・統合することにより、研究結果間の共通点や不一致の原因、その他新たな関連性などを明らかにする統計的手法。

3 ドーパミン

線条体は黒質・腹側被蓋野からのドーパミン作動性神経の主要な投射部位であり、ドーパミン D2 受容体が豊富に存在する。線条体ドーパミン D2 受容体量の個人差は、性格、気分、精神症状などと関連することが知られている。例えば、線条体ドーパミン D2 受容体結合能が低い人ほど、社会的に望ましい性格を自分は持っているという傾向が強いことが報告されている⁹⁾。線条体ドーパミン D2 受容体結合能とドーパミン生成能は逆相関することから¹⁰⁾、ポジティブに自己評価する人ほどドーパミン量が多いことが予測される。このことは、L-Dopa を用いた薬理負荷研究によって、ドーパミン量の増加により楽観的バイアスが增大することが報告されていることと合致する¹¹⁾。精神疾患研究においては、線条体ドーパミン D2 受容体結合能が高い場合、うつ病患者において運動や思考の抑制が増強されていることや¹²⁾、中毒患者においては線条体のドーパミン D2 受容体結合能が低下しており衝動性の制御が障害されていることなども報告されている¹³⁾。さらに、D2 作動薬が認知作業中の前頭葉の活動を抑制することや¹⁴⁾、D2 受容体の遺伝子型がデフォルトモードネットワークと線条体の機能的結合の強さを決定することが見出されている¹⁵⁾。これらの所見をまとめると、線条体のドーパミンの状態は安静時前頭葉-線条体機能ネットワークに影響を及ぼしている可能性が予測される。

4 ドーパミン、安静時脳機能、優越の錯覚との関連

前記の概観より、線条体-前頭葉脳機能、及び、線条体ドーパミンは、おそらく優越の錯覚に関わっている可能性がうかがえる。そこで我々は、同一被験者において、優越の錯覚の程度を認知心理課題で測定し、線条体ドーパミン受容体結合能を PET で、安静時脳活動を fMRI で計測し、これら 3 つの関係性を検討した。

パソコンの画面上に表示される様々な性格を表す言葉に対して、自分はどれくらい平均より優れているか劣っているかを visual analogue scale を用いて答えてもらい、優越の錯覚の程度を定量化した (図 1)。多くの人が、自分は平均より 2 割ほど優れたところに位置すると評価する傾向があり、その個人差は抑うつ傾向の指標 (バック絶望感尺度) と逆相関する (図 2)。すなわち、抑うつの程度が低い人ほど優越の錯



図 1 優越の錯覚の定量方法

性格を表す単語 (計 54 個) がパソコン画面上に提示される。被験者は visual analogue scale 上のカーソル (▽) を左右に動かして、自分は平均よりどれくらい上か下かを答える

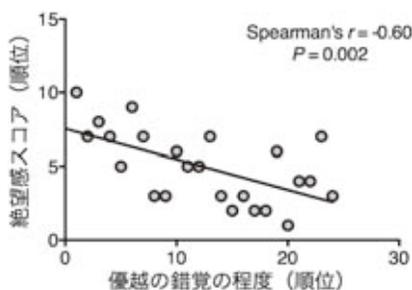


図 2 優越の錯覚と抑うつ傾向との相関

覚が高く、抑うつ程度が強い人ほど優越の錯覚が低いことを意味する。次に、 $[^{11}\text{C}]\text{raclopride}$ を用いて線条体ドーパミン受容体結合能を計測した (図 3)。さらに、同一被験者に安静時 fMRI を撮像し、線条体と機能的ネットワークを有する領域から、線条体ドーパミン D2 受容体結合能と相関する領域を抽出した。その結果と優越の錯覚の程度との関連を検討すると、線条体のドーパミン D2 受容体結合能は ACC と線条体の機能的結合の度合いと相関し、その機能的結合の度合いが優越の錯覚の程度と相関することが明らかとなった (図 4)。すなわち、行動や認知制御に関わる脳内制御機構である線条体と ACC の同調性が低い (機能的結合が弱い) と、制御する働きが弱いために優越の錯覚は抑制されにくい状態で、制御機構の同調性が高い



図 3 線条体におけるドーパミン D2 受容体の PET 画像

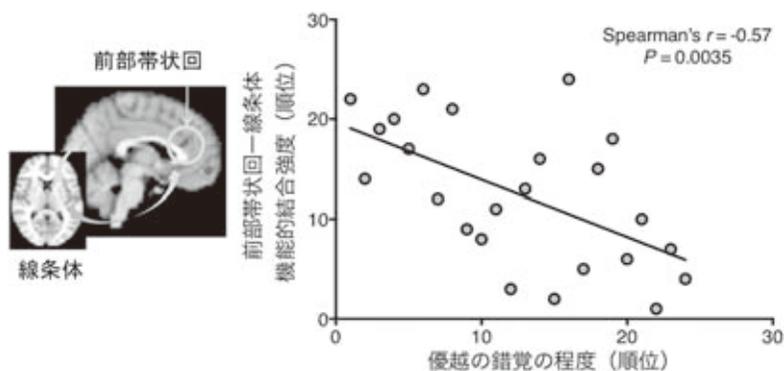


図 4 機能的結合強度と優越の錯覚との関係性

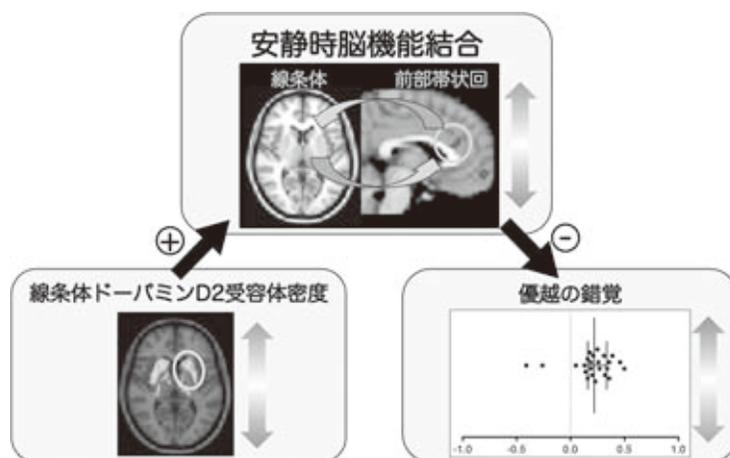


図5 優越の錯覚の脳内機序

(機能的結合が強い)と、制御する働きが強いため、優越の錯覚が抑制されやすい状態と解釈できる。さらに、ドーパミン D2 受容体結合能、機能的結合の度合い、優越の錯覚の程度の三者の関係の因果関係を媒介解析によって検討したところ、“線条体ドーパミン D2 受容体結合能”の程度は“ACC-線条体の機能的結合”の強度に影響を及ぼし、その結果、“優越の錯覚”の程度が決定されることが判明した(図5)。

このような fMRI と PET を融合させた新たなアプローチによって、健常者において抑うつ症状が強いほど優越の錯覚が低いことが明らかとなり、優越の錯覚が低い背景には、線条体ドーパミン D2 受容体密度増加(ドーパミン量低下)による線条体と前頭葉の機能的結合の強化が関わっていることが見いだされた。うつ状態は多様な要因により生じ、また、その症状も多様であるため、その診断や治療は一筋縄ではいかないのが現状である。そのため、抑うつの特定の症状を説明する認知現象の脳内メカニズムの解明は、新たな治療薬や診断技術を開発する上で求められている。ここで示したような脳機能と神経伝達物質との関連を見いだすことは、特定の症状のバイオマーカーの創出につながり、精神医療において症状を標的とした新たな診断や

治療戦略を打ち出すことが今後期待される。

参考文献

- 1) Strunk, D.R., Lopez, H., and DeRubeis, R.J., Depressive symptoms are associated with unrealistic negative predictions of future life events, *Behaviour Research and Therapy*, **44**, 861–882 (2006)
- 2) Johnson, D.D.P. and Fowler, J.H., The evolution of overconfidence, *Nature*, **477**, 317–320 (2011)
- 3) Yamada, M., et al., Superiority illusion arises from resting-state brain networks modulated by dopamine, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **110**, 4363–4367 (2013)
- 4) Moran, J.M., Macrae, C.N., Heatherton, T.F., Wyland, C.L., and Kelley, W.M., Neuroanatomical evidence for distinct cognitive and affective components of self, *Journal of Cognitive Neuroscience*, **18**, 1586–1594 (2006)
- 5) Beer, J.S. and Hughes, B.L., Neural systems of social comparison and the ‘above-average’ effect, *NeuroImage*, **49**, 2671–2679 (2010)
- 6) Tekin, S. and Cummings, J.L., Frontal-subcortical neuronal circuits and clinical neuropsychiatry: an update, *J Psychosom Res*, **53**, 647–654 (2002)
- 7) Postuma, R.B. and Dagher, A., Basal ganglia functional connectivity based on a meta-analysis of 126 positron emission tomography and functional magnetic resonance imaging publications, *Cereb. Cortex*, **16**, 1508–1521 (2006)

- 8) Alcaro, A., Panksepp, J., Witzak, J., Hayes, D.J., and Northoff, G., Is subcortical-cortical midline activity in depression mediated by glutamate and GABA? A cross-species translational approach, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, **34**, 592–605 (2010)
- 9) Egerton, A., *et al.*, Truth, lies or self-deception? Striatal D2/3 receptor availability predicts individual differences in social conformity, *NeuroImage*, **53**, 777–781 (2010)
- 10) Ito, H., *et al.*, Relation between presynaptic and postsynaptic dopaminergic functions measured by positron emission tomography: implication of dopaminergic tone, *Journal of Neuroscience*, **31**, 7886–7890 (2011)
- 11) Sharot, T., Shiner, T., Brown, A.C., Fan, J., and Dolan, R.J., Dopamine enhances expectation of pleasure in humans, *Curr. Biol.*, **19**, 2077–2080 (2009)
- 12) Volkow, N.D., Wang, G.-J., Fowler, J.S., and Telang, F., Overlapping neuronal circuits in addiction and obesity: evidence of systems pathology, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **363**, 3191–3200 (2008)
- 13) Frank, M.J., Seeberger, L.C., and O'Reilly, R.C., By carrot or by stick: cognitive reinforcement learning in parkinsonism, *Science*, **306**, 1940–1943 (2004)
- 14) Kimberg, D.Y., Aguirre, G.K., Lease, J. and D'Esposito, M., Cortical effects of bromocriptine, a D-2 dopamine receptor agonist, in human subjects, revealed by fMRI, *Hum. Brain Mapp.*, **12**, 246–257 (2001)
- 15) Sambataro, F., *et al.*, DRD2 Genotype-Based Variation of Default Mode Network Activity and of Its Relationship with Striatal DAT Binding, *Schizophrenia Bulletin* (2011)