

Brain development and IQ

脳の成長と IQ の意外な関係

Richard Passingham



ヒトの知能が遺伝子によってある程度決まるならば、脳の成長と IQ の間にはどんな関係があるのだろうか。この疑問に答えるべく、脳の外層である皮質のサイズ測定が行われ、思いがけない結果が得られた。

Nature Vol.440(619-620)/30 March 2006

Shaw たちは今回、知能と脳の物理的寸法との間に関連性があるかどうかを調べた¹。具体的にいうと、彼らが調べたのは脳の皮質の厚さである。脳が行う複雑な演算処理は、この皮質にある神経細胞の発火（電氣的に興奮して信号を送り出すこと）に依存している。Shaw たちが得た研究結果から、知能は成長期における皮質の変化のしかたと関連している可能性が示された。

Shaw たちは、脳構造の寸法を死体で測定するのではなく、生きている人間を対象に核磁気共鳴画像法 (MRI) を用いて調べた。こうすることで、画像と IQ の両方を調べ、それらの測定値を比較することができた。加えて、個人の知能と相関する解剖学的特徴を見つけ出すには、大勢の被験者を確保する必要がある。サンプル集団の規模が適正でないと、該当する効果が小さい場合などに、それらを見逃してしまう可能性があるからだ。死後に寸法を測るのではなく画像技術を用いることで、十分な数の人々からのデータ収集も可能になる。

Shaw たちは、307 人の子どもを対象に 6 歳から青年期までの追跡調査を行い、スキャン画像を撮り続けた。また、最も普通に用いられる IQ テストであるウェクスラー知能検査の下位テスト（積み木デザインなど）を用いて、それぞれの子どもの知能を算定した。これに代わる方法として、さまざまな年齢の児童や青年から 1 人につき 1 度だけスキャン画像を撮り、その代表的なサンプルを調べるといったやり方もあり得たが、Shaw たちが述べているように、そのような方法にはさまざまな反論の余地がある。たとえば、教育方法は時代とともに変化するかもしれず、それが各年代

の IQ の値に影響を及している可能性も否定できない。

今回の研究で児童期前半の子どもたちから得られたデータでは、皮質の厚さと知能の間に有意な相関はみられなかった。Shaw たちは、成人で知能と脳の全容量の間に 0.3 というゆるやかな相関がみられるとの報告をした McDanie の研究²を引き合いに出している。その研究で今回と異なる結果が出た理由は、関連要因が皮質の厚さではなく皮質の全領域だったことにあると考えられるかもしれない。しかし、おそらくそれが理由ではないことがはっきりした。というのも、子どもたちを追跡調査するにつれて、相関性の本質が変化したのである。皮質の厚さと知能の間の相関性は、児童期前半では負になる傾向があったが、10 歳前後の児童期後半では正となった。

この点について Shaw たちは、IQ テストの得点に基づいて知能が「特に高い」「高い」「平均」という 3 つのグループに被験者を分け、7～19 歳までの皮質の厚さの変化を連続曲線で表すことで明らかにしている。IQ の測定尺度はその年齢集団に対して標準化し、理論上は子どもの年齢によって変動しないようにしてある。図 1 は、各脳領域の皮質の厚さを表す曲線であるが、知能レベルごとに成長パターンが異なることが見て取れる。知能が特に高いグループに属する子どもたちはほかのグループに比べて、児童期前半にはこれらの脳領域の皮質が薄いのが、11 歳までに皮質の厚さが急速に増大し、その後は青年期を通じて減少していく。Shaw たちによると、知能が特に高いグループでは前頭前皮質の獲得にかかる期間が長く、変化の度合いも最も急激だという。

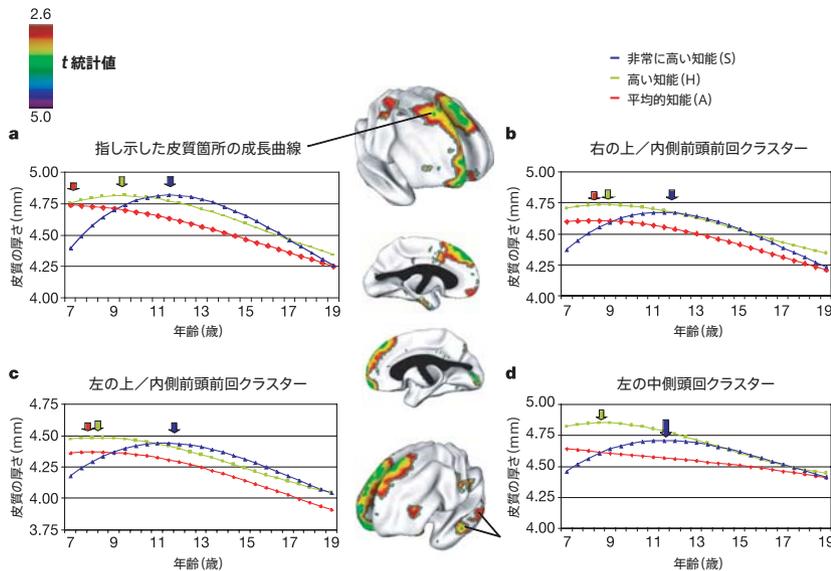


図1 皮質変動曲線。

中央の脳マップは、知能の非常に高いグループと平均的グループで、皮質の成長曲線に著しく違いのある箇所が特に集中しているクラスター部分を示す。aのグラフは、右の上前頭回で線の差異が最大の皮質箇所（上段の脳マップで指し示した箇所）における皮質成長曲線を示す。b～dは、その他のクラスター部分における全皮質箇所の厚さの平均の曲線を示す。dは、下段の脳マップで指し示した領域と関連する。矢印は、皮質の厚さがピークになる年齢を示す。

変化のこうした差は、すべての皮質領域で生じるわけではない。児童期後半にIQと最もはっきりした正の相関を示すのは、前頭前皮質である。この領域は情報処理の階層構造の頂点に位置し、五感のすべてから高度に処理された情報を受け取る³。また、知能が特に高いグループとほかのグループとの間で成長曲線の形が最も大きく違う脳領域は、外側および内側前頭回である。では、被験者たちがIQテストを受けている際に最も活発になるのは、これらの領域なのだろうか。これに関しては機能的MRIで判断できる。機能的MRIを使うと、細胞活動が増大している領域に向かう動脈血流量の増加を間接的に測定できるのだ。すでに、IQ測定用の非言語（つまり言葉を使用しない）テストを受けている最中に被験者の脳画像を調べた以前の研究から、外側および内側前頭前皮質で活動が増大することがわかっている^{4,5}。まさにShawたちの成長測定で浮かび上がってきた領域である。さらに、IQの個人差は、外側前頭前皮質における機能的MRI信号の振幅と相関することも示されている⁶。

一般的知能 (g) の個人差は、遺伝的差異に大きく依存することがわかっている⁷。そこで、もし g が強く遺伝し、しかも前頭前皮質の厚さの増大が g と関連しているとしたら、この脳構造の成長変化は個人の遺伝子によって決定されるものなのだろうかと推測したくなる。しかし、そうした結論を持ち出すことにはくれぐれも慎重でありたい。身体の成長は、環境との相互作用と密接に関連している。たとえば、古典的な実験でRosenzweigとBennettは、ラット成体の皮質の厚さは、その個体が幼少期にどれくらい豊かな活動環境にあったかによって影響を受けることを示した⁸。ヒト成人の場合でも、訓練の結果、皮質の灰白質に構造の

変化がみられることがある⁹。このことから、知能が特に高い人々もまた、社会的にも言語的にもより豊かな環境で暮らしており、そのおかげで児童期後半に彼らの前頭前皮質の厚さが急速に増大するのだという説明も可能かもしれない。一方でThompsonたちは以前、一卵性双生児と二卵性双生児の皮質の厚さを比較することで脳構造への遺伝的影響を探り、前頭皮質を含むいくつかの領域は、彼らのいうところの「厳重な遺伝的支配」下にあることを見だしている¹⁰。

Shawたちは、皮質の厚さの成長曲線にみられる形状の違いには、さまざまな要因が影響を及ぼしているのではないかと推測している。たとえば、胎児の発育後期に皮質直下のサブプレートという層に集まるニューロンの数や、ニューロンの繊維（軸索）を絶縁するミエリン鞘の発達、思春期に起こる不要な神経結合の選択的除去などが考えられる。これらの仮説の検証には、成長を細胞レベルで測定する動物実験が必要となる。動物研究では、遺伝的素因と経験の両方がからみ合って及ぼす複雑な影響を解きほぐせるという利点があるため、皮質の成長を支える諸要因が知的能力に対しいかに影響するのかが、より鮮明に描き出されるはずである。■

オックスフォード大学 (英)、Richard Passingham

- Shaw, P. et al. *Nature* **440**, 676–679 (2006).
- McDaniel, M. *Intelligence* **33**, 337–346 (2005).
- Passingham, R. E., Rowe, J. B. & Sakai, K. in *Attention in Action* (eds Humphreys, G. W. & Riddoch, M. J.) 263–286 (Psychology Press, Hove, 2005).
- Duncan, J. et al. *Science* **289**, 457–460 (2000).
- Christoff, K. et al. *NeuroImage* **14**, 1136–1149 (2001).
- Gray, J. R., Chabris, C. F. & Braver, T. S. *Nature Neurosci.* **6**, 316–322 (2003).
- Plomin, R. & Spinath, F. M. *Trends Cogn. Sci.* **6**, 169–176 (2002).
- Rosenzweig, M. R. & Bennett, E. L. *Behav. Brain Res.* **78**, 57–65 (1996).
- Draganski, B. et al. *Nature* **427**, 311–312 (2004).
- Thompson, P. M. et al. *Nature Neurosci.* **4**, 1253–1258 (2001).