HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	脳の高次機能と分析科学
Author(s)	小泉, 英明
Citation	電子科学研究, 3, 41-44
Issue Date	1996-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/24341
Type	departmental bulletin paper
File Information	3_P41-44.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

脳の高次機能と分析科学

並列分散処理分野　小　泉　英　明

脳の研究を橋渡しに，自然科学と人文科学の融合が始まろうとしている。自然科学の諸分野のみならず，心理学，言語学，そして哲学などの人文科学の諸分野をも含めたアプローチを，Trans−disciplinary Approach と呼ぼう。今，その原動力は生きた我々の脳の計測と解析の方法論，即ち，Analytical Science(分析科学あるいは解析科学)にある。脳を知り，その結果をまた我々の各種の知性，すなわち脳にフィードバックする過程は，より深く科学と人間を知ることに繋がるであろう。

人間の脳は，生物の永い進化の歴史が生んだ優れた情報処理システムである。処理速度の遅い神経素子を用いながら，現存のいかなるコンピュータよりも遥かに高速に複雑な処理結果をもたらすことも多い。その情報処理機構の重要なポイントの一つは，膨大な神経ネットワークによる並列分散処理にある。その研究は，脳の解明に向けて確かな出発点の一つとなる。

1．はじめに

21 世紀は「脳と心の時代」と言われ，科学技術も脳と精神の研究を中心に大きく展開されると考えられる。脳精神科学（Mind-Brain Science）の成果は，近未来的には脳・精神障害の診断と治療に，将来的には人工知能・情報・通信・ロボティクス，さらには育児・教育などへと広範な応用が期待される。

しかし，現在の脳精神科学の本質的な問題点は，健康な人間の「高次脳機能」（感覚処理，運動指示・調整，言語，学習，記憶など，精神活動を含む脳の機能）を計測する手段が極めて乏しいことである。例えば，脳波は頭皮上電位変化の周波数成分を，脳活動と現象論的に結び付けたものであって，脳内活性化部位を空間的に推定することは困難であった。ポジトロン CT（PET: Positron Emission Tomography）は，ほとんど唯一の侵襲性の低い高次脳機能計測法であったが，放射性物質を直接体内に導入するので，健康な人間に繰り返し適用することは不可能である。もし，健康な人間に適用できる脳機能計測法が新たに開発されるなら，それは脳精神科学の根幹に寄与することになる。

2．脳機能の分析

人間の高次脳機能は主として大脳表層の皮質によって司られる。人間の場合，大脳皮質は約 2.5 mm の厚さを持ち 6 層から構成される。大脳皮質は高密度の神経細胞と血管を含み灰白色を呈するため，灰白質とも呼ばれる。一方，大脳実質は主として信号線に相当する神経繊維から構成されるため白色を呈し，白質とも呼ばれる。大脳皮質はそれぞれの機能を司る領野，即ち，視覚野，聴覚野，体性感覚野，運動野，言語野などに分かれており，さらに高次の機能を処理する連合野が広く分布する。

大脳皮質の神経が活動すると，対応する約 2 mm 径の微小血液循環単位について，血流量が数 10%から場合によっては 50%以上にまで極めて顕著に増大する。機能的磁気共鳴描画（fMRI: Functional Magnetic Resonance Imaging)[1-3]，あるいは新しい無侵襲光トポグラフィ（Noninvasive Optical Topography)[4,5] が捉えているのは，神経活動に伴うこの生理学的変化である。原理的には分析の分野で開発されてきた核磁気共鳴法あるいは近赤外多波長測光法を用いて，脳機能を物理・化学的に計測している。

3．高次脳機能計測の実際

運動野は中心溝に沿った前頭葉側に位置し，体性感覚野は頭頂葉側に位置する。手指のように日常微妙な運動を司る部分に関しては，大脳皮質上の機能領野に比較的広い面積が割り当てられている。手の指の運動についてのfMRIによる完全無侵襲機脳描画は，第一次視覚野と同じく活性化信号の検出が比較的容易である。例えば，左手指の運動については，主として対側の大脳右半球の運動野が活性化されることなどがfMRIにて観察された[1,2]。また，手指の運動を想像しただけの「心」の活動によって，運動前野が活動することも計測された[6][3]。また，皮膚の表面を軽く擦るだけの自然刺激により，体性感覚野の活性化を独立して観測することも超高速fMRIを用いて可能であった(図1)[7]。これらの画像は約1秒間隔で取得できるので動画による観測も可能である。即ち，脳の感じている感触を，大脳皮質の代謝変化として，時間・空間的に物理計測していることになる。

最近，我々は東大医学部他と共同で人間の脳のカラーセンタを発見し，さらに，色の付いた残像を感じている間にも，そのカラーセンタが色の処理を行っていることを見いだした(図2)[8]。この結果は幾つかの意味をもつ。一つは，猿の脳に電極を刺すことによって見出されていた視覚第4野相当の機能領野が人間にも存在することが，mmオーダの空間分解能をもって確認されたこと，一つは，残像のような数10秒以内の主観的現象が，外部から物理計測されたことである。本質的に重要なのは，人間の主観的現象を高い時間・空間分解能をもった精密科学の手法で，複数の被験者について繰り返し反復計測し，また，いつでも再計測可能である点である。

現在，fMRIによる高次脳機能計測は先端的な脳精神科学者の大きな期待を集めており，海外では「記憶」「言語」「意味」「喜怒哀楽」にまで立ち入った予備的な計測が発表されつつある[9,10]。さらに計測と解析の対象は大脳皮質のみならず，大脳辺縁系，小脳，脳幹に至りつつある。

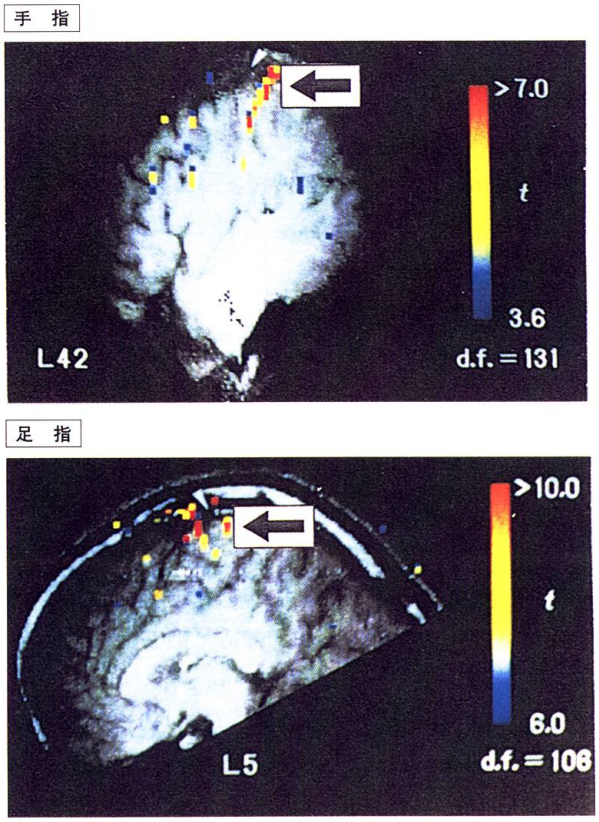

図1　自然刺激(擦り)による大脳皮質体性感覚野活性化
・形態画像に機能画像を重畳させ表示（頭部正中線からLmmはなれた厚さ5mmの矢状断面像）
・超高速fMRIによる実測

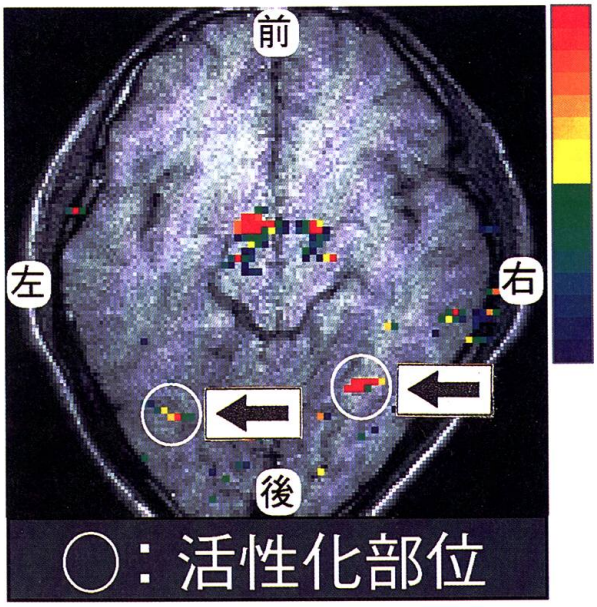

図2　残像という主観的な現象（Illusion：幻影）時にも、大脳カラーセンタの活性化が客観的に物理計測された。
矢印は色刺激により活性化した大脳カラーセンタ
・形態画像に機能画像を重畳させ表示（厚さ5mmの頭部横断面像）
・超高速fMRIによる実測

一方で，脳内液性系の分析も重要である。上記の無侵襲計測法に比較し遥かに未開拓の段階にあるが，現在，低侵襲の液性系分析法を開発中である[11,12]。最近では，音速ガス流により，電場なしに生体分子が高効率でイオン化する新しい現象を発見し[13]，これを質量分析計に導入することによる脳神経伝達物質の高感度分析法を開発した[14]。脳の本質は，「三次元構造の化学コンピュータ」として捉えられるので，液性系の分析は将来極めて重要となる。

4．分析科学の役割

fMRIによる高次脳機能計測は，脳内対象空間中に存在するヘモグロビンの分析である。分析の言葉で言えば，非均質系についての，in vivo，in situ，リアルタイムの非破壊状態分析である。「分析化学」の範疇のみに位置付けるには無理があるが，「分析科学」(Analytical Science) の範疇に無理なく入る概念である[15-18]。元々，自然科学の精密（実証）科学たる所以は，事象の一般的な「反復証明可能性」にあり，事象の客観的な計測と解析にある。これを現実に可能にするのが「分析科学」であり，その責任と重要性は科学の根源に直結するものがあろう。人間の脳の計測が可能になると，先に一例を述べたように，精神活動の計測の一部も精密科学の一分野である分析科学の範疇に入ってくる。元来，「形而上」とは「思考でのみ知ることのできるもの」を指し，「形而下」とは「時間・空間の中に形を備えているもの」を指してきた。しかし，我々は既に脳の言語活動の一端をも捉え始めており，将来は「意味」の物理計測へと進展する可能性が高い。かつては人文科学の範疇にあった「心理学」や「言語学」分野からの共同研究打診があいついでおり真剣に検討を進めている。

5．「Trans-disciplinary」

「自然科学」,「社会科学」,「人文科学」の融合にあたって，一つの中心となるコンセプトは「Trans-disciplinary」という考え方ではないかと思う。この概念は「Inter-disciplinary」（学際的）とも，「Multi-disciplinary」（多学的）とも異なる。従来，「Inter-disciplinary」という言葉は，個別分野を越えたという意味の他に，ほぼ確立された複数の学問領域の狭間に残された未開発の境界領域という意味合いを含んでいた。しかし，今後，本質的に重要となると目される「脳精神科学」「環境科学」などの総合科学は，未開発の領域ではあるが決してニッチではない。むしろ，個別分野の上位に設定さるべき領域である。一方，「Multi-disciplinary」（多学的）という用語が生まれつつある。しかし，個別領域の一部が数多く併合されただけでは，新しい包括的（Comprehensive）な領域として確立されるには不十分である。個別領域の根底にある概念が抽出され，それらが或る目的の下に有機的に組み合わされてこそ，新たな統合的な分野が形成されると考えられる。そこで，「Trans-disciplinary」という用語を提案したい[19]。「Trans-」とは，貫く，超える，という意味を持った接頭辞である。disciplinaryにこのTransを冠して，「Trans-disciplinary」としたものが，「自然科学」，「社会科学」，「人文科学」の融合の趣旨を反映できるのではないか。今，強く必要とされるのは，地球史の中で極めて急速な進展を遂げた人間そのものの本質的理解と，将来へ渡っての生存の確保と戦略であろう。前者は「脳精神科学」に，後者はこれから枠組みの構築が必要な広義の「環境科学」に深く関係する。さらに，それら複雑多様系への堅実なアポローチの一つが，統合的な分析の概念・方法論である「分析科学」と考えたい。

6．終わりに

近代科学は，デカルトによって明瞭に提示された「分析的方法論」によって急速な発展を遂げた。デカルトはその方法序説において，「真実を知る方法」として4項目を挙げており，その中の一項目が「分析」である。しかし，「分析」のみについて述べているのではない。さらに，「分析」の次に「総合」の過程があり，「総合」によってさらに大きな真実が得られるとしている。「分析」と「総合」には順序があり，当然ながら分析をまず最初に行って初めて「全体の統合」が可能になる。近代科学は，「分析」の手法によって飛躍的に進展したが，「分析」の宿命とも言える専門化・細分化が生じた。しかし，今，「分析科学」を架け橋に「自然科学」と「人文科学」の接近が始まりつつある。近代が終わり，今，「総合」への大きな変革期を迎えつつあるのかもしれない。

【文　献】

[1] S. Ogawa, D. W. Tank, R. Menon, J. M. Ellermann, S. G. Kim, H. Merkle and K. Ugurbil: "Intrinsic Signal Changes Accompanying Sensory Stimulation: Functional Brain Mapping with Magnetic Resonance Imaging", Proc. Natl. Acad.Sci. USA, *89*, 5951 (1992).

[2] 小泉英明，山本悦治，「fMRIによる無侵襲高次脳機能解析」，記憶・学習と高次脳機能—新手法と新概念（実験医学増刊），羊土社，（実験医学，*12*，2600 (1994)）.

[3] 小泉英明，山本悦治，高橋哲彦，"Functional MRI — 精神活動の可視化——"，ブレインサイエンス，*6*，29(1995).

[4] Y. Yamashita, A. Maki, Y. Ito, E. Watanabe, Y. Mayanagi and H. Koizumi: "Noninvasive Near-infrared Topography of Human Brain Activity Using Intensity Modulation Spectroscopy", Opt. Eng., in press.

[5] A. Maki, Y. Yamashita, Y. Ito, E. Watanabe, Y. Mayanagi and H. Koizumi: "Spatial and Temporal Analysis of Human Motor Activity Using Noninvasive NIR Topography", Med.Phys., *22*, 1997 (1995).

[6] T. Takahashi, E. Yamamoto, K. Takiguchi, Y. Onodera, H. Itagaki and H. Koizumi: "Real Time Imaging of Brain Activation during Imagination of Finger Tasks", 12th SMRM, 1415 (1993).

[7] K. Sakai, E. Watanabe, Y. Onodera, H. Itagaki, E. Yamamoto, H. Koizumi and Y. Miyashita: "Functional Mapping of Human Somatosensory Cortex with Echo Planar MRI", Magn. Reson. Med., *33*, 736 (1995).

[8] K. Sakai, E. Watanabe, Y. Onodeara, I. Uchida, H. Kato, E. Yamamoto, H. Koizumi and Y. Miyashita: "Functional Mapping of the Human Colour Centre with Echo Planar Magnetic Resonance Imaging", Proc. R. Soc. Lond., *B*, *261*, 89 (1995).

[9] Abstracts, Society of Magnetic Resonance '94, San Francisco (1994).

[10] Abstracts, Society of Magnetic Resonance '95, Nice (1995).

[11] Y. Takada, M. Yoshida, M. Sakairi and H.Koizumi: "Determination of γ-Aminobutyric Acid in a Living Rat Brain Using in vivo Microdialysis-Capillary Electrophoresis/Mass Spectrometry (MD-CE/MS)", Rapid Commun. Mass Spectrom., 9, 895 (1995).

[12] Y. Takada, M. Sakairi and H. Koizumi: "Atmospheric Pressure Chemical Ionization Interface for Capillary Electrophoresis/Mass Spectrometry", Anal. Chem., *67*, 1474 (1995).

[13] A. Hirabayashi, M. Sakairi and H. Koizumi: "Sonic Spray Ionization Method for Atmospheric Pressure Ionization Mass Spectrometry", Anal. Chem., *66*, 4557 (1994).

[14] A. Hirabayashi, M. Sakairi and H. Koizumi: "Sonic Spray Mass Spectrometry", Anal. Chem., *67*, 2878 (1995).

[15] 小泉英明，「分析化学の未来像」，日本分析化学会関東支部創立30周年記念誌，64 (1985).

[16] H. Koizumi: "From Zeeman Atomic Absorption to Magnetic Resonance Imaging - An Approach toward Analytical Science", Anal. Sci., *7S*, 565 (1991).

[17] H. Koizumi: "Analytical Science as a New Paradigm of Analytical Methodology", Seizon and Life Sciences, *5*, 393 (1994).

[18] Encychlopedia of Analytical Science, Academic Press (1995).

[19] H. Koizumi and K. Sekihara, Ed.: The Proceedings of the Trans-disciplinary Symposium on the Frontier of Mind-Brain Science and Its Practical Applications, Tokyo (1995).