

Understanding, Protecting, and Developing Global Brain Resources (仮訳)

脳の理解、疾病からの保護、国際的な脳関連リソースの開発

ヒトの脳は最も貴重な文明の資産である。それゆえ、脳科学への投資は社会の未来への投資であり、各国は協調して脳を理解し、疾病から守り、その最適な発達を支援しなければならない。国際的な脳に関連したリソースの開発を目的として、Gサイエンス学術会議は、神経科学に対する戦略的な支援が社会貢献につながる、並行して目指すべき4つの目標を提案する。(1) 国際協力の下での基礎研究の推進、(2) 脳疾患の診断、予防、治療に向けた国際プログラム、(3) 脳の理論モデルと脳を基盤とした人工知能(AI)の開発、(4) 社会科学と行動科学を神経科学と統合することによる、脳に対する意識の高い社会の要素としての教育の向上、生活マネジメントの改善。

脳を理解すること、また、脳の様々な機能がいかに行動に表われるかを理解することは、宇宙の起源を探索することに匹敵するほど複雑な科学的試みである。脳疾患の治療、脳を基盤としたAIの開発及び脳に対する意識の高い社会の促進に向けて、脳の構造と機能に関する基礎研究という困難な課題を避けて通ることはできない。基礎脳科学は、遺伝子と分子を特定するゲノミクスとタンパク質化学、神経回路を観察し操作するための光学的及び遺伝子改変手法、さらにヒトの認識を研究するための様々な様式の脳機能イメージングなどの発展を下に、近年めざましい進歩を遂げてきた。しかしながら、動物モデルとヒトのいずれにおいても、複雑な神経回路網の理解を可能にするのに十分な解像度で脳を研究する技術が欠如している事が未だに進歩の妨げとなっている。そのような技術があれば、コンピューター技術と組み合わせることで、脳機能をより明瞭に把握でき、認識についてのより深い理解と、脳疾患の根本的メカニズムの解明を可能にするであろう。この目標を達成するには、系統的取組が必要であり、それにより、個々の研究機関における研究を補完し進展させることができる。大規模な脳科学プロジェクトが、多くの国で、生物医学的な研究への様々な取組(次世代シーケンシング、精密医学、バイオバンキング等)と同時に開始されている。このプロジェクトにより、脳ネットワークのマッピングとレコーディングを遂行し、ニューロインフォマティクスのプラットフォームを構築する新技術が開発される [1]。しかしながら、科学的進歩の効率化と加速には、これらのプロジェクトは技術、人材、データに関して広範囲な国際的協調を進める必要がある。世界規模の多国間研究機構の成功例としては、日本のイニシアティブにより設立された「ヒューマン・フロンティア・サイエンス・プログラム(HFSP)」が挙げられる。

脳疾患は、個人の安寧、経済の生産性及び知的財産に対する世界規模の脅威である [2]。しかしながら、脳疾患に社会的な烙印(スティグマ)を押す傾向は根強く、それにデータ不足も伴って、脳疾患がもたらす不利な影響が明らかにならないことが多い。脳疾患は5つの

グループに分類できる。すなわち、(A) 神経発達障害（精神遅滞、てんかん、自閉スペクトラム症等）、(B) 青年期及び成人期における精神障害（うつ病、双極性障害、統合失調症等）、(C) 変性疾患（アルツハイマー病、パーキンソン病等）、(D) 脳損傷（脳卒中、外傷性脳損傷、脳感染症、脳腫瘍等）、(E) 慢性疾患（ストレス、中毒、栄養不良、頭痛、睡眠障害等）。毎年8百万人が、脳疾患が原因で死亡している [3]。過去 20 年で、脳疾患の発生率が 41% 増加しており、10 年のうち1年は健康を喪失していることになる [4]。脳疾患は高所得国における障害調整生命年 (DALY) の 36% を占め、低中所得国では 29% となっている [4]。特に、認知症（アルツハイマー病を含む）とうつ病は、多大な経済的及び社会的コストを伴う緊急の公衆衛生課題である。効果的な治療法を生み出すには、予測的妥当性を備えた細胞及び動物モデルの使用、及び政府・アカデミア・産業間の三者協力を含む、医薬品開発に対する新しい経済的取組が必要である。脳疾患は社会に過度の負担をかける：低中所得国においては、インフラ、リソース、資金へのアクセスが不十分であり、一方高所得国では研究や臨床関連の利害関係者の協調を欠く場合が多い。この問題に対処するには、世界的に蔓延する脳疾患と戦うための医学研究、診断、治療、リハビリ、介護を強固に統合した国際的なプログラムとセンターが必要となる。

脳は既知の世界において最も複雑な生物システムである。例えば、ヒトの中樞神経系は、最小限の学習をした後で複雑な意思決定を容易に下すことができ、この能力は最も効率の良いコンピューターをも凌駕する。脳機能の計算原理を理解するために、また定量的数理モデルを作り上げるために、理論的研究が不可欠である。脳回路とその行動中の機能の基本的理解には、理論、実験及び計算を方法論として等しく取り入れた取組が必要である。成功の可否は、生物学と共に、数学、統計学、情報科学、コンピューター科学を含む学際的かつ定量的アプローチにかかっている。重要な要素の一つは、大規模なデータセットの取得と解析である。データセットをできる限り広く共有し解析するためにはオープンデータの原則を認識すべきであり、特に公的資金による研究はその対象となる。脳に関する基本的な理論は、脳型コンピューティング、AI そして情報通信技術 (ICT) への応用を展開する上でも不可欠である。AI は当初コンピューター科学から生まれたが、ディープラーニングにおける最近の進歩は脳の理論 [5] に基づいており、将来の AI は更なる脳研究に基づくアルゴリズムの恩恵を受けるであろう。このアルゴリズムはまたブレイン・マシン・インターフェースや脳活動のデコーディング機器の設計にも役立つ。ただし、他の急速に進歩する技術と同様、AI もそれに伴う懸念が生まれつつあり、問題解決には神経科学と社会という文脈において、その社会的・倫理的・哲学的意味に関する国際連携に基づいた調査を実施することが必要である。

人間の文化は、多様な脳の機能によって生みだされ更新されていく動的な概念である。したがって、未来に向けて社会が発展する上で神経科学が果たす役割は、脳機能の物理的・生物学的・計算論的基盤の研究だけでなく、経験的社会科学との間に幅広の研究交流の間口を

持つことができるかにも依存する。これらの相互交流により全体として神経科学はグローバルな社会と経済に対してより大きな影響を持つように方向付けられるであろう。神経生物学、行動科学及び社会科学の統合はまた、脳由来の情報を日常のヒトを対象とした用途に利用するための道筋を生み出す。このような学際的な収束が可能な、鍵となる例としては、学習の科学が挙げられる。脳がどのようにして生物学的・認知的・計算的アプローチにより新しい情報を獲得するかについての知識が得られ始めたことで、子供や大人のためのエビデンスに基づく教育プログラムの設計が大きく改善される可能性がある [6]。またそのような知識によって、教育プログラムへのアプローチや、更に疑似科学的主張に基づくアプローチをコントロールするための科学的基盤が得られるかもしれない。同様に脳科学と行動及び社会科学とを統合することで、ヒトの行動に関するより適切な予測モデルを構築することが可能になる。このようなモデルは、経済的意思決定、リスク評価や社会的相互作用といった極めて幅広い分野で個人の役に立つことになる。全体として、脳機能についてのエビデンスに基づく理解は、個人の生活のマネジメントにおける理論と実践、組織における脳に関する知識に基づく政策、の両者を変革するであろう。これらの変革は持続可能かつ先進的なグローバル社会の発展に広く益するものとなる。脳科学、行動科学そして社会科学を統合することにより、世界規模での脳という資産を科学に基づいて開発していくための指針が得られる。

統一見解に基づき、Gサイエンス学術会議は4つの目標を提言する。

1. 脳の原理に関する基礎研究と技術を支援する

- 脳の細胞の分子及びゲノムレベルでの全体像から神経回路形成、機能マッピングから脳ネットワークと行動に至る基礎的脳研究を支援する。
- 脳の構造と機能を対象とした、高解像で大規模な解析のための、脳のレコーディング及びイメージングの新技术の開発、特にヒトにおける開発を優先させる。
- 大規模な脳及び医学生物学のプロジェクトに関する国際協働を、技術開発、データ管理、研究者の育成と流動性、そして資金提供の調整の面で促進する。

2. 次世代の統合的プログラムにより脳疾患に対処する

- 脳疾患は地球規模の健康危機であることを認識し、その原因、予防、診断そしてリハビリを含めた治療に関する基礎及び応用研究を支援する。
- 動物を含む有効な生物学的モデルを利用した、治療法開発のための新たな経済的・科学的プラットフォームを構築し、アカデミアと産業界との協働を促進する。
- 高所得国と中低所得国との間での協力関係を支援し、脳疾患の調査と対応のための研究面及び臨床面での基盤強化を図ると共に公衆の教育を強化する。

3. 脳を基盤とした新しいアプリケーション創出に向けた理論的神経科学を推進する

- 理論科学、計算科学、統計科学、データ科学及び数学を駆使した学際的研究を支援し、統一的な脳理論を確立するための基本原理を明らかにする。
- 神経科学のデータ共有に向けての国際協力を促進し、脳型人工知能とニューロテクノロジーの研究開発を加速させる。
- 科学、政策、規制、管理の分野を網羅する形での、神経倫理学に関する国際的対話を開始し、脳を基盤とした技術とその応用の安全性と有効性の問題に取り組む。

4. 教育と生活のマネジメントに向けて脳科学、行動科学そして社会科学を統合する

- 脳科学、経験的社会科学それぞれにおける原理・技術・方法・理論を統合する基礎及び橋渡し研究を支援する。
- 子供のための教育、また生涯学習のための科学プログラムとツールの開発に向けた、ヒトの学習における生物学的及び認知的基盤に関する学際的研究を促進する。
- 個人及び組織を対象として、脳を基盤とした生活のマネジメントと社会的機能に関するプログラム・指針を開発するための研究及び国際協力を開始する。

引用文献

- [1] Huang Z.J., Luo L (2015) *Science* 350(6256):42-4. It Takes the World to Understand the Brain.
- [2] Patel V. et. al. (2015) *Lancet* S0140-6736 (15)00390-6. Addressing the Burden of Mental, Neurological, and Substance Use Disorders: Key Messages from Disease Control Priorities.
- [3] Walker E.R. et. al. (2015) *JAMA Psychiatry* 72(4): 334-41. Mortality in Mental Disorders and Global Disease Burden Implications: a Systemic Review and Meta-analysis.
- [4] Silberberg D. et. al. (2015) *Nature* 527: S151-S154. Brain and Other Nervous System Disorders Across the Lifespan: Global Challenges and Opportunities.
- [5] LeCun Y. et. al. (2015) *Nature* 521:436-44. Deep Learning.
- [6] Meltzoff A.N. et. al. (2009) *Science* 325: 284-8. Foundations for a New Science of Learning.