

## ニューロエンジニアリング（神経工学）

高橋宏知（東京大学大学院情報理工学系研究科）

ニューロエンジニアリング（神経工学）とは、神経科学（脳や神経系に関わる研究分野）と工学の学際的な研究分野の総称。そのルーツは古いですが、2000年頃から神経工学（Neural Engineering; Neuroengineering）に特化した国際会議の開催や専門誌の発刊が相次いだ。たとえば、IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering（米国電気電子学会/医用生体医工学部会 神経工学に関する会議）は2003年に第一回大会が開催された。神経工学の専門誌として、IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering（米国電気電子学会）と Journal of Neural Engineering（IOP science（英国物理学会の出版部門））は、それぞれ、2001年と2004年に発刊されている。なお、これらの学会や専門誌が設立される前は、電気電子工学や医用生体工学（たとえば、IEEE Engineering in Medicine and Biology Society（IEEE EMBS））の一分野として発展してきた。

国内では、日本医用生体工学会ニューロ・インフォマティクス研究会、電気学会電子・情報・システム部門医用・生体工学技術委員会、電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究会（MBE）、計測自動制御学会ライフエンジニアリング部門（LE）などで積極的に推進されてきた。また、脳の数理的なモデルに関する研究は、神経回路学会や物理学会でも古くから扱われている。最近では、AIの発展に伴い、脳とAIを対比する研究が盛んになり、人工知能学会やロボット学会でも、神経工学の裾野は広がっている。

### 神経工学で扱う研究テーマ

神経工学に含まれる研究領域は広範囲に渡り、明確な定義があるわけではない。神経工学の代表的な専門誌である Journal of Neural Engineering は、科学者・臨床医・エンジニアを対象とし、神経系を理解（understand）、置換（replace）、修復（repair）、強化（enhance）する研究を扱うとしている。その具体例として、下記のような研究テーマが挙げられている。

- ・ 革新的ニューロテクノロジー（Innovative neurotechnology）
- ・ ブレイン-マシン・インターフェース（Brain-machine (computer) interface）
- ・ 神経インターフェース（Neural interfacing）
- ・ 生体電子工学（Bioelectronic medicines）
- ・ ニューロ・モデュレーション（Neuromodulation）
- ・ 神経デバイス（Neural prostheses）
- ・ 神経制御（Neural control）
- ・ ニューロ・リハビリテーション（Neuro-rehabilitation）
- ・ ニューロ・ロボティクス（Neurorobotics）
- ・ 光学的神経工学（Optical neural engineering）
- ・ 神経回路（Neural circuits: artificial & biological）

- ・ ニューロ・モーフィック工学 (Neuromorphic engineering)
- ・ 神経組織再生 (Neural tissue regeneration)
- ・ 神経信号処理 (Neural signal processing)
- ・ 理論・計算論的神経科学 (Theoretical and computational neuroscience)
- ・ システム神経科学 (Systems neuroscience)
- ・ トランスレーショナル神経科学 (Translational neuroscience)
- ・ 神経イメージング (Neuroimaging)

### 神経工学のルーツ

歴史を顧みると、物理学や化学の進歩に伴い、革新的な技術が開発され、神経科学を支えてきたことは言うまでもない。古くは18世紀末、ルイージ・ガルバーニが神経を電氣的に刺激し、筋肉を収縮できることを発見し、生体内の電気現象の研究が始まった。その後、検流計 (1820年)、陰極線オシロスコープ (1920年頃)、単線検流計による脳波計 (1929年)、活動電位計測のためのガラス微小電極 (1949年) や金属微小電極 (1958年) など、電氣的な神経信号を計測する手法が開発され、電気生理学・神経生理学の発展を支えた。神経解剖学の発展も、19世紀の光学顕微鏡や染色技術の確立、さらには電子顕微鏡の発明 (1931年) に支えられていることは言うまでもない。これらの技術革新に支えられた先駆的かつ学際的な神経科学が、神経工学のルーツである。

20世紀の半ばになると、神経科学の知見に基づき、数理的な研究分野も確立され発展した。たとえば、1943年、ウォーレン・マカロックとウォルター・ピッツが、神経細胞の数理モデルを提唱し、人工ニューラルネットワークの礎を築いた。1948年、ノバート・ウィーナが、制御工学と通信工学により、生物と機械を統一的に論じる「サイバネティクス」という研究分野を提唱した。1952年、アラン・ホジキンとアンドリュー・ハクスレーは、実験データに基づき、活動電位の発生メカニズムを微分方程式で説明した (1963年ノーベル生理学・医学賞)。1956年、ダートマス会議で「人工知能 (AI)」と呼ばれる研究分野が創立された。人工知能のなかでも特に人工ニューラルネットワークの研究は、実験的な神経科学と互いに影響を及ぼしあいながら発展した。これらの研究をルーツとして、脳の動作原理を理解するために発展した数理的な研究は、現在の神経工学の主要テーマとなっている。

さらに1950年代には、人工心臓の術中利用 (1952年)、人工内耳 (1957年)、体内埋め込み型心臓ペースメーカ (1958年) などの初症例が報告されており、生体医工学分野の研究が目覚ましく発展した。国内でも、1962年に日本エム・イー学会 (現在の日本生体医工学学会) や人工臓器学会が設立され、医工連携の重要性が認識された。

1960年代から1970年代にかけて、超音波検査装置、コンピュータ断層映像 (CT)、ポジトロン断層法 (PET)、核磁気共鳴画像法 (MRI)、脳磁図 (MEG) など、さまざまな診断装置の開発が相次いだ。このような生体医工学分野の発展に伴い、専門分化も進み、脳や神経系の活動の計測・刺激方法や神経信号の解析方法の開発も盛んに進められた。脳の解明を

目指す神経科学も盛んになり、1969年には北米神経科学会（Society for Neuroscience; SfN）、1974年には日本神経科学会が設立されている。

1980年代から1990年代にかけて、経頭蓋磁気刺激法（TMS）、機能的MRI、近赤外線分光法（NIRS）など、非侵襲的に脳を刺激・計測する技術が確立され、臨床的な検査だけでなく、脳機能の解明にも積極的に利用されるようになった。さらに情報機器や計算機の発達に伴い、時空間的な脳活動を多点同時計測・解析し、脳の計算原理の解明を目指す基礎研究も盛んになった。

米国では1990年から1999年まで「脳の10年」という標語の下、神経科学分野への集中的な研究投資が始まった。その後、欧州や日本でも、神経科学の大型プロジェクトが国策として推進された。そのような中、神経インターフェース、神経信号処理・解析、ブレイン・マシン・インターフェース、感覚・運動機能のリハビリテーションなどの研究では、工学と神経科学の連携の機運が高まった。これらの研究は、さまざまな学会で「神経工学」として扱われるようになり、現在に至っている<sup>1</sup>。

---

<sup>1</sup> <http://www.ne.t.u-tokyo.ac.jp/archive/neng20200528.pdf>