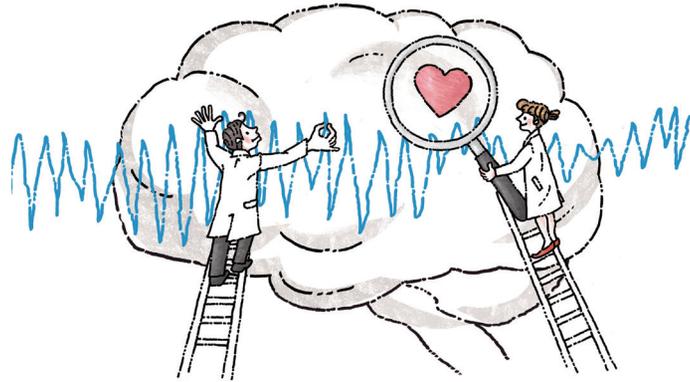


Nextcom

特集 脳科学



Feature Papers

特集論文

脳を測る・読む・刺激する

西本 伸志 大阪大学 大学院 生命機能研究科 教授

特集論文

人間を学ぶ機械、人間を見つめ直す私たち

高木 優 名古屋工業大学 大学院 工学研究科 准教授

特集論文

ブレインテック時代の「メンタル・プライバシー」

—可視化される「無意識」と人格的自律のゆくえ—

小久保 智淳 東京大学 大学院 情報学環 助教
慶應義塾大学 KGRI XDignityセンター 共同研究員

Papers

公募論文

**通信規格に係る標準必須特許を巡る
国際的紛争の混迷と展望**

鈴木 将文 早稲田大学 法学学術院 教授

公募論文

**ICTを活用した労働者の
メンタルヘルス評価の可能性と
倫理的・法的・社会的課題**

木下 翔太郎 慶應義塾大学 医学部 ヒルズ未来予防医療・
ウェルネス共同研究講座 特任助教

Articles

5年後の未来を探せ

荒木 英一郎さんに聞く

国立研究開発法人 海洋研究開発機構 海域地震火山部門
地震津波予測研究開発センター 観測システム開発研究グループ グループリーダー

**海底光ファイバーを「ものさし」にして
地殻変動のメカニズムに迫る**

江口 絵理 ライター

Reports

学会レポート

岡 達志 慶應義塾大学 経済学部 教授

「2025 World Congress of the Econometric Society」参加報告

八田 真行 駿河台大学 経済経営学部 教授

「The 18th Annual AGI Conference」参加報告

丁 姚菲(テイ ヨウヒ) 筑波大学 大学院 人間総合科学学術院

人間総合科学研究群 情報学学位プログラム 博士前期課程

「The 31st International Conference on Collaboration Technologies
and Social Computing」参加報告

特集 脳科学

INDEX
spring
2026

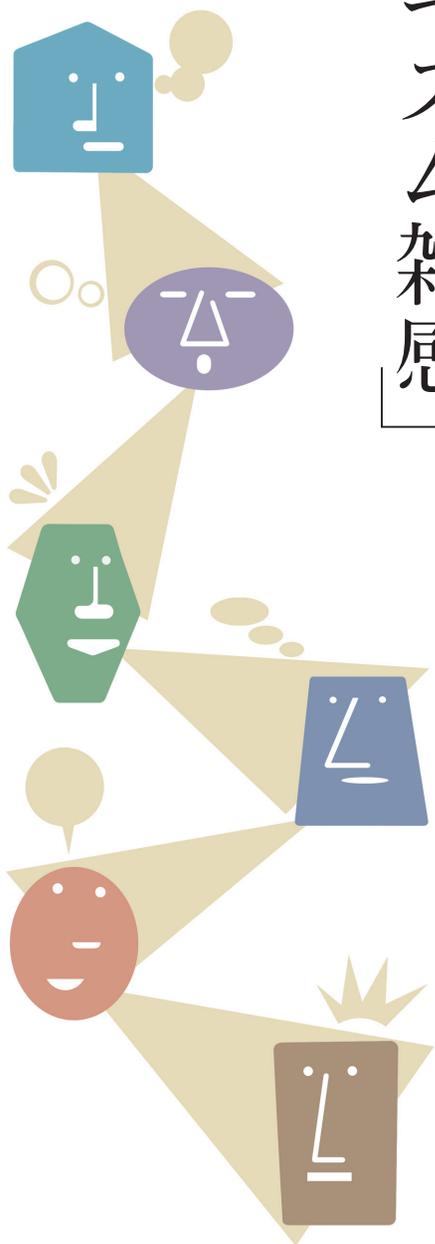
- 2 | すでに始まってしまった未来について
ルッキズム雑感
平野 啓一郎 作家
- 4 | 特集論文
脳を測る・読む・刺激する
西本 伸志 大阪大学 大学院 生命機能研究科 教授
- 12 | 特集論文
人間を学ぶ機械、人間を見つめ直す私たち
高木 優 名古屋工業大学 大学院 工学研究科 准教授
- 21 | 特集論文
ブレインテック時代の「メンタル・プライバシー」
一可視化される「無意識」と人格的自律のゆくえ
小久保 智淳 東京大学 大学院 情報学環 助教
慶應義塾大学 KGRI XDignity センター 共同研究員
- 29 | 公募論文
通信規格に係る標準必須特許を巡る
国際的紛争の混迷と展望
鈴木 将文 早稲田大学 法学学術院 教授
- 38 | 公募論文
ICTを活用した労働者のメンタルヘルス評価の
可能性と倫理的・法的・社会的課題
木下 翔太郎 慶應義塾大学 医学部 ヒルズ未来予防医療・
ウェルネス共同研究講座 特任助教
- 48 | 5年後の未来を探せ
荒木 英一郎さんに聞く
国立研究開発法人 海洋研究開発機構 海域地震火山部門 地震津波予測研究開発センター
観測システム開発研究グループ グループリーダー
海底光ファイバーを「ものさし」にして
地殻変動のメカニズムに迫る
江口 絵理 ライター
- 54 | 学会レポート
岡 達志 慶應義塾大学 経済学部 教授
「2025 World Congress of the Econometric Society」参加報告
八田 真行 駿河台大学 経済経営学部 教授
「The 18th Annual AGI Conference」参加報告
丁 姚菲 (テイ ヨウヒ) 筑波大学 大学院 人間総合科学学術院 人間総合科学研究群
情報学学位プログラム 博士前期課程
「The 31st International Conference on Collaboration
Technologies and Social Computing」参加報告
- 60 | 通信界限そぞろ歩き
法螺貝
川添 愛 言語学者/作家
- 62 | 「2025年度 著書出版・海外学会等参加助成」受賞者および
「第15回 Nextcom 論文賞」受賞者
- 64 | 「Nextcom」論文公募のお知らせ
2026年度 著書出版・海外学会等参加助成に関するお知らせ
- 65 | 「明日の言葉」出典解説

すでに始まってしまった未来について—— ⑥5

文：平野啓一郎

絵：ネモト円筆

ルッキズム雑感



私は十代の頃、三島由紀夫や谷崎潤一郎、トーマス・マンなど、容姿の美しい人間を最大限美化する文学に強く魅了されていて、正直に言うと、今でもその偏愛を捨てられない。

これらの作品は、今日では、「ルッキズム」の批判を免れ得まいが、しかし、よくよく考えると、彼らの作品の美貌の登場人物たちは、それが故に、必ずしも高い社会的地位を得ているわけではなく、どちらかという、社会に埋もれていて、ただ、主人公が勝手に夢中になっている、という過ぎない。『痴人の愛』のナオミがそうである。『ヴェニスに死す』のタッジオもそうである。

外見的に美しい人を、美しいと褒めて何が悪いのか、という居直りもあろうが、それが「イズム」として差別構造を生み出すならば、批判の声が上がるのも尤もであろう。生育環境を考慮した時、能力主義が本当にフェアかどうかは、昨今深刻な議論を巻き起こしているが、明らかに試験の点が上なのに、美しくないからという理由で不合格や不採用になったりすれば、やはり理不尽である。

外観の美しさは、実のところ、本人の努力もある。他方、服装を褒めることは良しとされているが、服こそ経済格差の象徴であり、服選びのセンスも、生まれながらの資質や環境が大きくものを言うので、いずれ「センス至上主義」が差別概念として語られる日も来るかもしれない。

現実的には、何事につけメディア・オリエンテッドな今日ほど、人が自分の外観に意識的である時代はなく、医学方面からは、BMI 指数に基づき、「太っていることは悪である」というメッセージが絶え間なく発せられている。

NYに住んでいると、人の美醜について論じることは、確かに自ずと憚られる。というのも、あまりに価値観が多様なので、理想的に美しい容貌を論じ出せば、まず必然的に人種問題に直結するからである。

ルッキズムを巡る矛盾と混乱は、当面続くであろうが、しかしやはり、あるべき批判ではあると思う。

Keiichiro Hirano

作家。1975年生まれ。1999年京都在学中に『日蝕』により芥川賞受賞。以後、『葬送』、『ドーン』、『ある男』、『本心』など数々の作品を発表し、2023年には『三島由紀夫論』で小林秀雄賞受賞。最新刊は『文学は何の役に立つのか?』『あなたが政治について語る時』(共に岩波書店)。

特集 脳科学

細胞という「物質」でできている脳から、
どのように「こころ」が生まれるのか。

古来、人間が興味を抱き続けてきた謎の解明が急速に進んでいる。

脳科学の技術が次々に開発され、発見も相次ぐ。

また、脳の神経細胞をヒントに生まれたAIは、fMRI・脳波の
データ解析など、脳研究に不可欠な存在になっている。

そうした脳研究の動向と応用を巡る課題に注目した。

脳科学 1

脳を測る・読む・刺激する

大阪大学 大学院 生命機能研究科 教授

西本 伸志

Shinji Nishimoto

私たちの脳は、外界から膨大な情報を受け取り、理解し、判断し、行動へと結び付ける高度な情報処理装置である。しかしその働きは直接見ることができず、長らく“ブラックボックス”とされてきた。近年、脳活動を計測する技術、AIを用いた解析、脳を直接刺激する技術が急速に進歩し、この状況が変わりつつある。脳波やfMRI、さらには微小電極を用いて活動を捉えることで、自然な視覚・言語・思考の過程が少しずつ読み解かれ、AIの内部表現を活用した脳活動の予測や解読も可能になってきた。また、電気刺激や超音波を使った脳刺激技術は、治療だけでなく人工的な感覚の付与など新たな応用を拓いている。本稿ではこれらに関わる近年の研究動向や課題を紹介する。

キーワード

脳計測 脳刺激 エンコーディング デコーディング AI fMRI

はじめに

私たちの脳は、目や耳などの受容器(感覚器)から外界の膨大な情報を受け取り、その意味を抽出し、記憶と結び付け、判断し、筋肉などの効果器を介して行動へと結び付ける複雑な情報処理装置である。その内部で生まれる思考や感情は、意識下・無意識下によらず外から直接観測することはできず、私たちは言葉や表情、ジェスチャーなど限られた手段に依存して意思

を伝えてきた。しかし近年、脳神経活動の計測技術、人工知能(Artificial Intelligence; AI)技術などを含む定量的な解析技術、そして脳刺激技術が同時に進歩し、その制約が少しずつ解け始めている。従来の統制的な実験条件下だけでなく、より自然で複雑な知覚・認知・行動中の脳神経活動が計測・解釈できるようになり、脳の理解やその応用を目指した研究が進められている。これらの研究開発は、ヒトと機械の関係、さらにはヒト同士のコミュニケーションのあり方を見つめ直す可能性を秘めている。

本稿では、「脳を測る」「脳を読む」「脳を刺激する」の観点から関連研究や課題を紹介する。なお本稿で紹介する研究のより具体的な例については同じ冊子に掲載される高木優氏による論文¹⁾でも扱っている。

脳を測る 神経細胞から自然行動まで

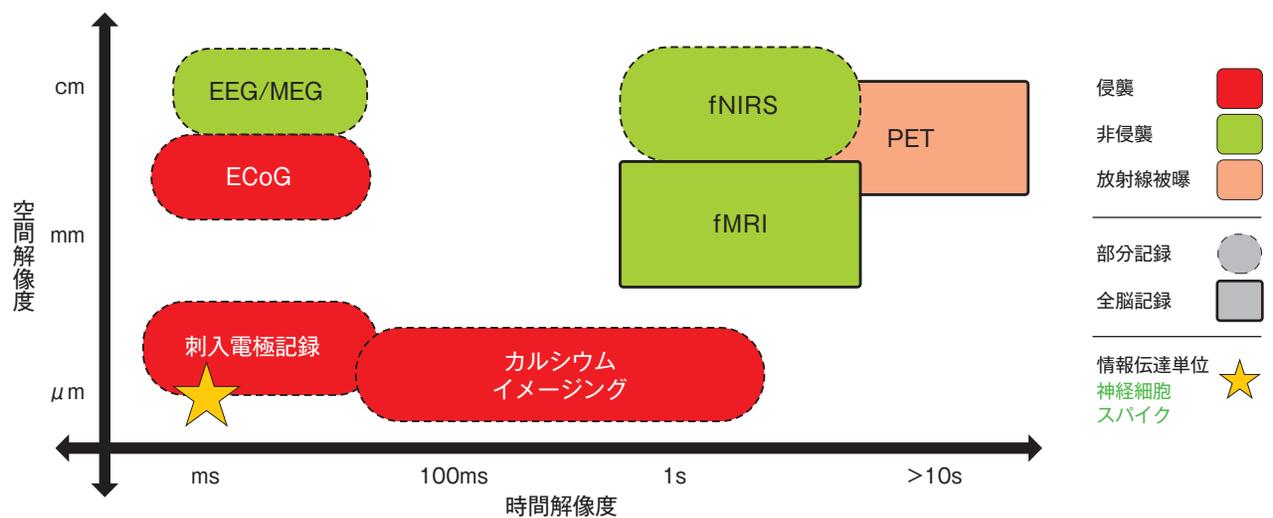
脳を複雑な情報処理を行うシステムとして捉えた時、その研究の進展はさまざまな知覚・認知条件下における脳神経活動をどれだけ正確に、どれだけ自然な状態において測定できるかに依存している。ヒトなどの脳における主たる情報伝達の単位は、脳を構成する個々の神経細胞の電気的パルス(スパイク活動)であり、全脳における神経細胞ネットワークのスパイク活動を全て捉えることができれば、脳の情報伝達や処理過程の全容を計測できることになる。しかし、頭蓋骨で厳重に守られた3次元構造物である脳内に約860億個ある神経細胞(～10μm)のスパイク活動(～kHz)を全て計測することは現在の技術では不可能である(セ

ンシングの意味でも不可能であり、86ペタビット/秒超の情報の転送と記録もチャレンジである)。このため、現在用いられている脳計測技術は何らかの意味で妥協を行っており、妥協には「部分的に計測する」「時空間的になまった信号を計測する」「間接的な代謝活動を計測する」などがある(図表1)。

非侵襲計測

最も一般的で身近な計測手法は脳波計(Electroencephalography; EEG)である。頭皮の上から脳全体の電気活動をミリ秒単位で測定でき、装置が小型で扱いやすいことから、研究、医療、さらにはウェルネス領域にも応用されている。計測する電極の種類も導電性ジェルを用いるものから乾式電極、額に貼り付けるパッチ式電極などさまざまなものが考案されている。ただしEEGは多数の神経細胞の電気的な活動の平均を頭皮で計測する性質上、空間解像度や信号強度(SN比)には限界があり、また筋電の影響があるなど、その扱いや解釈には注意も必要である。これらの欠点

図表1 脳計測技術



さまざまな脳神経活動計測技術を時空間解像度、侵襲性、記録範囲等からまとめた概念図。脳神経系における情報伝達の基本単位である各神経細胞のスパイク活動(☆)がヒト全脳で記録できれば脳内で伝達・処理される情報の全容を計測できたことになるが、そのような計測技術は現時点では存在しない。それぞれに得意・不得意のある技術を目的に応じて使い分ける必要がある。 出典：筆者作成

を補う方法として、多数回・多人数計測データの統計的傾向を議論する、筋電を同時計測してその影響を補正する、などの信号解析上の手法を併用することが多い。

脳内における機能地図や情報表現を探るための代表的技術の一つとして機能的磁気共鳴画像法 (functional Magnetic Resonance Imaging; fMRI) が挙げられる。fMRI は非侵襲的 (手術を必要としない) 脳活動計測として最高の空間解像度があり、脳内のどの部位が活動しているかをミリメートル単位で3次元断層計測ができることから、視聴覚から言語、さまざまな高次認知機能の検証に広く用いられている。ただし fMRI は神経活動に由来する局所的な血流動態を計測しているため、時間的な解像度は低い。また被験者は大型の計測装置内に横たわる必要があり、計測はこの状態で行える刺激・タスクに制限される。これらの欠点を補う方法として、高速撮像法の開発や血流動態の「逆畳み込み (deconvolution)」、MRI 持ち込み用の高磁場対応デバイス (刺激装置、応答装置) が用いられることがある。

比較的最近開発が進んでいる非侵襲計測技術として OPM MEG (Optically Pumped Magnetometer Magnetoencephalography; 光ポンピング磁気センサー脳磁計) が挙げられる²⁾。MEG は神経細胞の電気的活動によって生じる微小な磁場変化を頭皮上から計測することで神経活動を間接的に計測する手法であり、従来は SQUID と呼ばれる極低温・超電導素子をセンサーに用いていた。SQUID 型 MEG はセンサーと頭部の位置関係が固定されるなどの制限があったが、OPM センサーは小型で頭皮に密着でき、計測装置に入るのではなく計測ヘルメットをかぶるような運用が可能である。その結果、より高感度かつ行動の制約が少ない状態での計測が可能になり、会話や歩行などのより自然な行動下における脳神経活動計測が期待されている。ただし MEG はその計測原理から空間解像度や信号強度の向上が難しく、どこまで計測精度を上げられるかについては今後の開発の進展を待ちたい。

侵襲計測

脳神経活動を最も高精度で直接計測するには、侵襲型 (手術を伴う) 計測手法が不可欠である。代表的な手法の一つは皮質表面電極 (Electrocorticography; ECoG) であり、大脳皮質表面にシート型の電極を直接置くことで、非侵襲計測では得られない高い時空間解像度を実現する。頭蓋内に電極を設置するために手術は必要であるが、後述する刺入型電極と比べると脳へのダメージが少なく、長期的に安定した記録が実現できると期待されている。ECoG 電極の埋め込みは世界中で一般的に行われている (米国だけで年間3000件程度以上)。ただし、その多くはてんかん手術の事前検査を目的としており、通常は1~2週間程度で引き抜かれる。また、この目的では近年ではシート型の ECoG ではなく開頭手術が不要な刺入型 SEEG 電極への移行が進んでいる。

2020年代中盤以降、特に注目されているのが Neuralink 社などの開発する多点・ワイヤレス式の脳埋め込み電極システムである³⁾。微細かつ1本当たり数十の計測チャンネルを持つ電極を多数大脳に刺入し、その信号を頭蓋内埋め込み式の無線チップから転送する構造は、従来の電極技術よりはるかに高密度で信号強度の高い神経記録を可能にする。ワイヤレス化は被験者の行動の自由や感染予防など実用面で大きな利点があり、米国において麻痺患者12人 (ロイター、2025年9月報道⁴⁾) を対象としたいわゆる脳コンピュータインターフェース (BCI) 利用目的の臨床試験が進められている。ただし刺入電極や高温動作するチップの埋め込みは生体への一定のダメージのリスクがあること、また異物を排除しようとする生体の代謝活動によって、得られる信号が数カ月~数年単位で減少するなどの見解があることなどから、慢性的・長期的な利用がどの程度安全かつ効果的に実現できるのかは今後の報告を待ちたい。より生体と親和する素材の開発などの研究も進められている。

さらに、Neuropixels を代表とする高密度電極ブロー

ブの開発も進められている⁵⁾。電極1本当たり最大数千の計測チャネルを持つプローブを刺入することで、多数の神経細胞の活動だけでなくその細胞種まで同定できるなど、学術研究においても実用面においても有用な信号が得られると期待されている。米国で行われたNeuropixels電極刺入を伴う術中使用(56人)において安全な計測が行えたとの報告がある⁶⁾。

脳を読む AIが脳の意味構造を読み解く

上記のように計測した脳神経活動は、そのままでは単なる信号の時空間パターンであり、「何を感じているのか」「何を考えているのか」といった体験内容と紐づく形での解釈はできない。そこで重要になるのが、計測された信号を解析する技術である。各種の感覚刺激やタスクの時系列と計測された脳神経活動の時系列の対応を取ることで、特定の情報が活動に反映されているかを定性的に調べる(選択性の計測)、体験から脳活動への数理モデルを構築する(エンコーディ

ングモデルの構築)、逆に脳活動から体験内容を解読する(デコーディングモデルの構築)などが行われる(図表2)。

脳研究において最も一般的に行われるのが、特定の仮説に基づいた統制刺激・タスクを用いた仮説検証である。例えばヒトは赤や青などの色を認識することができることから、脳内のどこかでは色に対応した神経活動が存在するはずである。これを検証するシンプルな方法は、赤や青などの色の付いた図形(視覚刺激)を見せながら脳神経活動を計測し、色選択性を持つ(色によって応答が変わる)領域があるか、あるとすればそれはどこかを検証する方法である(例えばヒトやサルなどでは、知覚する色と対応した活動をする神経細胞が大脳皮質V4野などにあることが示されている)。同様の検証は視覚(色、形、物体)だけでなく聴覚(音程、音色)や感情、報酬、運動機能などにも適用可能であり、多くの脳機能の局在性がこれによって示されてきた。ただし、このような特定の統制刺激を用いた検証では、より日常的な(複雑な)刺激、例え

図表2 体験と脳活動を結び付ける



エンコーディングあるいはデコーディングモデルを用いた研究では、さまざまな知覚・認知体験とそれを支える脳神経活動について、両者の関係をつかさどる潜在情報表現を用いて結び付ける(各方向の定量的な予測モデルを構築する)。潜在表現として従来は生理学や心理学などの学問由来の概念が用いられていたが、最近ではいわゆる人工知能(AI)由来の潜在情報表現が体験と脳活動を高精度に結び付ける媒体として活用されている。

出典：筆者作成

ば恐竜が描かれた服を着て駆け寄ってくる3歳児を見たときに脳がどのように反応するかなど、より一般化した知見を得ることは困難であった。

より一般的な状況における脳活動を定量的に理解するために開発されたのが、エンコーディングモデルを用いた方法論である^{7),8)}。この方法論では、上記のような統制刺激ではなく、より自然な条件下(例えば視覚なら日常風景を見る、言語なら会話するなど)における脳神経活動をできるだけ多く記録する。その上で、体験内容の何らかの特徴(潜在特徴)が脳神経活動に反映(あるいは符号化、エンコード)されているとの仮定の下、それらの特徴に応じた脳活動を予測する定量的なモデル(エンコーディングモデル)を構築することで脳を理解しようとする試みである。これはいわば脳と同じ挙動をするアルゴリズムを作ることによって脳を理解する構築論的な試みの一つといえる。構築したモデルの正しさは、モデル構築に利用していないテスト用のデータ(体験と脳活動のペア)について正しい脳活動の予測ができるかどうかによって定量的に検証できる。また、得られた潜在特徴を解析することで、脳がどのように世界を構築しているかを検証する脳内意味空間の定量化や、それらの情報がどこでどのような組み合わせで表現されているかを調べる脳機能構造の可視化も可能である⁹⁾(図表3)。

エンコーディングモデルに用いる特徴は、従来は神経生理学や心理学由来の知見に基づいたものが多く利用されていた(色、形、情動、子音、文法、記憶、友人関係など、ヒトが認知する概念の全てが対象)。しかし、2010年代ごろからのいわゆる人工知能(AI)技術の進展に伴い、視覚認識AIや対話AIの内部表現(潜在表現)を特徴として脳活動のエンコーディングモデルを構築する研究が飛躍的に進んでいる。特にいわゆる視覚認識AIは、その初期において畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Network; CNN)と呼ばれる脳の階層的な視覚情報処理を模した構造を採用しており、CNNと脳が潜在表

現を介して対応することは一定の妥当性を持つものとして受け入れられていた。興味深いことには、その後の現在に至るAIの開発と並行して、画像生成AIの基盤となるDiffusion modelやChatGPTなどの言語モデルの基盤となるTransformerなど、脳とは直接関係しない文脈で考案された(ただし人工神経細胞を階層的に積み上げる意味では今も広義では人工神経ネットワークと称される)AIモデルについても、その内部表現と脳活動に定量的な関係性がある—つまりこれらの潜在表現を使ったエンコーディングモデルが脳活動を高精度で予測できる—ことが示されてきた¹⁰⁾⁻¹²⁾。なぜそのような対応があるのかは分かっていないが、実用的にはAIの潜在表現を使うことでより精度の高い脳モデル(あるいは後述のデコーディング)が実現できるという点で有用である。また、より一般には、ネットワーク構造(神経細胞の多層的な積み重ね)とタスク(物体認識、視覚・言語生成等)、および学習データ(視覚・言語経験)が相同であれば、それを処理するための潜在表現も類似するという情報処理の一般性を示唆する可能性があり、さまざまな研究が進められている。

デコーディングは上記の逆であり、計測された脳神経活動からそのヒトが何を感じて、考えて、意図していたのかを推定する試みである。これは脳の仕組みを調べるもう一つの方法であり、また近年はいわゆる脳マシンインターフェース(Brain-Machine Interface BMI; あるいは脳コンピュータインターフェース、BCI)やニューロマーケティングなどの臨床・社会応用のための数理基盤としても期待されている。デコーディングにおいても上記の潜在表現を用いた方法論は有効であり、脳神経活動から潜在表現、また潜在表現から体験内容(知覚や認知・想起内容など)を推定する。特に後者の推定にはいわゆる生成AIが有効であり、近年は視覚や聴覚、言語などの体験について生成AIを用いてデコーディングを行う研究が多く行われている¹³⁾。

脳を刺激する 脳に介入し情報を入力する技術

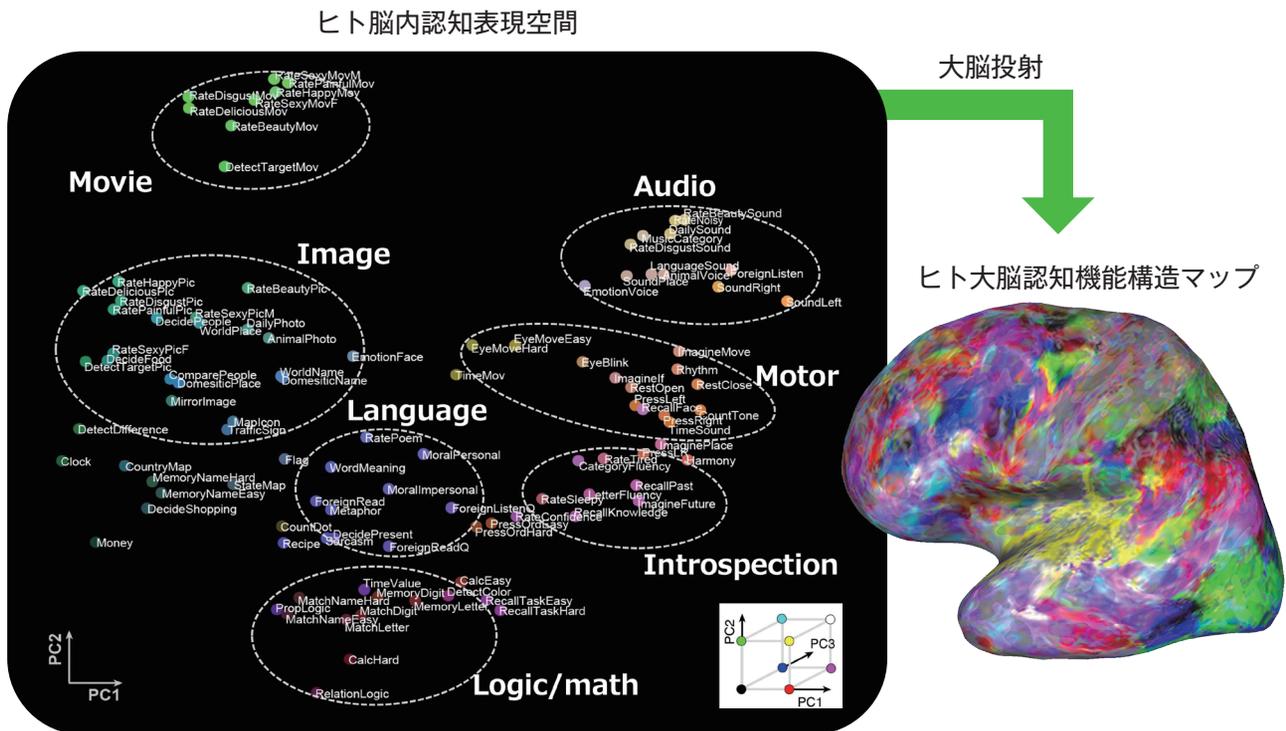
脳技術は「測る」「読む」だけではない。「刺激する」方向の技術もこの十数年で大きく発展し、脳機能の因果的理解や臨床応用、また新たな感覚体験の創出に利用されている。

最も広く臨床で用いられているのがDeep Brain Stimulation (DBS)である。脳深部に電極を埋め込んで、狙った部位の局所的な神経活動を制御する方法は、パーキンソン病や振戦、ジストニアの治療などで用いられる。特に近年は多点電極を用いて刺激時系列の時空間パターンを操作し、刺激の範囲や拡散方向

を3次的に制御するなど、治療効果が高く副作用の少ないより精密な刺激を行う研究・臨床応用が進んでいる¹⁴⁾。

ECoGや大脳皮質に刺入した電極により直接的な電気刺激を行うこともできる。これにより、体性感覚野を刺激して人工的な触覚を生成する、視覚野に電気刺激を与えることで光点を知覚させる、などが報告されている。これにより例えば義手で触れた感触(物体の形状や動きなど)を脳に返すなどが可能になり、「触れる義手」の実現に向けた取り組みが進んでいる。視覚については現在のところ数十～数百点を刺激する段階であり、健全な視覚(網膜から脳へ送られる視覚入力)は100万点程度)までは遠いが、刺激パターンと応答

図表3 ヒト脳内認知空間の解析例



(左) 多様な認知タスク遂行下の脳神経活動の解析によって得られたヒト脳内認知表現空間の可視化例。各点が認知タスクを表し、点間の距離や色の違いが脳内での表現距離を表す。また代表的なクラスターを白楕円で示しており、論理計算や動画認知などの多様な認知機能の表現構造が見える。

(右) 認知表現空間を大脳に投射して得られた機能構造例。色が認知空間に対応しており、色分けが多様な認知機能の脳内分布を示している。

出典：筆者作成 (Nakai and Nishimoto 2020 Nature Communications⁹⁾より改変 (CC BY 4.0 ライセンス)

の関係を深層学習器に学習させて最適化するなどの研究開発も進んでいる。動物モデルでは1024チャンネルの刺激電極を視覚野に設置して形状認識を実現させた例なども報告されている¹⁵⁾。

原理的に究極の時空間解像度を誇るのは光遺伝学(optogenetics)を用いた刺激である。神経細胞に光感受性タンパク質を発現させて、光を当てただけでミリ秒・細胞単位の活動制御を行う手法は、記憶や情動の因果的理解に大きな貢献をもたらしている。遺伝子導入が必要なため、現時点では動物モデルを用いた研究利用が中心だが、治療応用に向けた臨床研究も進みつつある。

非侵襲の刺激手法として近年特に注目されているのが超音波刺激(transcranial focused ultrasound stimulation; TUSあるいはtFUS)である。超音波を特定脳部位に収束させて神経活動を変化させる手法であり、非侵襲でありながら高い空間精度で脳深部構造への刺激が可能である点などから、学術および臨床応用が期待されている。

|| おわりに 課題と展望

期待や進歩が大きいほど、その課題やリスクも顕在化する。非侵襲技術はノイズ、個人差、解像度などの点で多くの技術的課題がある。侵襲技術は安全性や持続可能性など未知の部分も多い。AI技術と脳の融合は多くの可能性を秘めているが、現状ではブラックボックスの部分もあるAIと脳を組み合わせることになり、その解釈や制御の可能性に関しては今後も検証が必要である。さらに、脳データは極めてセンシティブであり、どのような情報を誰がどのような目的で扱うか、どのような応用が社会に許容されるかなど、技術だけでは解決し得ない問題にも接しており、社会的議論とガバナンスが不可欠である。

本稿では脳を測る・読む・刺激する技術について紹介した。2026年現在、脳計測技術はより自然で複雑な

条件まで対象を広げ、解析技術はAIなどを用いて体験や意味構造を読み解く段階に進み、刺激技術は治療から人工感覚まで射程を伸ばしている。個々の技術開発は日進月歩で進んでおり、これらの統合により学術・臨床利用から社会応用まで多様な発展が期待される。



Shinji Nishimoto

西本 伸志

大阪大学 大学院 生命機能研究科 教授

大阪大学大学院医学系研究科 招へい教授、国立研究開発法人情報通信研究機構未来ICT研究所CiNet 上席研究員などを兼務。博士(理学)。カリフォルニア大学バークレー校・博士研究員、情報通信研究機構・主任研究員などを経て2021年より現職。システム神経科学および知覚・認知情報表現に関する研究に従事。

参考文献

- 1) 高木 2026 Nextcom vol. 65 pp. 12-20
- 2) Boto et al., 2018 Moving magnetoencephalography towards real-world applications with a wearable system, *Nature*, 555:657-661
- 3) <http://neuralink.com/technology>
- 4) <https://www.reuters.com/business/healthcare-pharmaceuticals/musk-neuralink-says-12-people-have-received-its-implants-2025-09-09/>
- 5) Ye et al., 2025 Ultra-high-density Neuropixels probes improve detection and identification in neuronal recordings, *Neuron*, 113:1-17
- 6) Chung et al., 2025 Experience and safety of intraoperative Neuropixels: a case series of 56 patients, *Journal of Neurosurgery*, AOP
- 7) Naselaris et al., 2011 Encoding and decoding in fMRI, *NeuroImage*, 56:400-410
- 8) 西本 2012 エンコーディングモデルを用いた視覚情報処理研究：情報表現，予測，デコーディング，日本神経回路学会誌，19:39-49
- 9) Nakai and Nishimoto 2020 Quantitative models reveal the organization of diverse cognitive functions in the brain, *Nature Communications*, 11:1142
- 10) Takagi and Nishimoto 2023 High-Resolution Image Reconstruction With Latent Diffusion Models From Human Brain Activity, *CVPR*, 2023:14453-14463
- 11) Nakagi et al., 2024 Unveiling Multi-level and Multi-modal Semantic Representations in the Human Brain using Large Language Models, *EMNLP*, 2024:20313-20338
- 12) Yamashita et al., 2025 Conversational content is organized across multiple timescales in the brain, *Nature Human Behaviour*, 9:2066:2078
- 13) Takagi and Nishimoto 2024 Decoding models: From brain representation to machine interfaces, in *Computational and Network Modeling of Neuroimaging Data* (Kay ed.) Academic Press, pp. 287-307
- 14) Foote et al., 2025 A comprehensive review of deep brain stimulation for Parkinson's disease: The history, current state of the art and future possibilities, *Medicine in Novel Technology and Devices*, 26:100362
- 15) Chen et al., 2020 Shape perception via a high-channel-count neuroprosthesis in monkey visual cortex, *Science*, 370:1191-1196

脳科学 2

人間を学ぶ機械、 人間を見つめ直す私たち

名古屋工業大学 大学院 工学研究科 准教授

高木 優

Yu Takagi

本稿は、「AIは人間にどこまで似ているのか?」という素朴な疑問を、AIの振る舞いだけでなくその中身にも踏み込んだ視点から見直す。AIと人間の脳活動の比較や、AIへの学習のさせ方を変えたときの振る舞いと表現の変化を紹介しながら、AIをどこまで人間中心に理解できるのかを探る。また、身体や言語、意識といったテーマを手掛かりに、AIをどこまで人間に似せるべきかを考察する。これらの議論を通じて、AIと人間を比べることは、私たち自身の「人間とは何か」というイメージも映し直してみようとする試みであることを示す。

キーワード

AI 脳科学 人間とAI AIの解釈可能性 身体・言語・意識

1. 人間とAI

私たちは普段、他人と話すときに「この人はどんな仕組みで動いているのか」とはあまり考えない。相手にも自分と同じように脳があり、感情や経験があると、当たり前のこととして受け取っているからだ。

しかしAI(人工知能)と向き合うときには話は別だ。人間と同じように対話できる場面でも、その中身が気になり始める。文章の滑らかさや語彙だけを見れば人間と見分けがつかなくても、AIの中でいったいどの

ようなことが生じているのかが気になってしまう。

AIの「中身」を知りたいという気持ちには、もちろん知的好奇心がある。しかしそれだけではない。何がどこまで理解できるのか、どう説明できるのか、責任をどこに置くのかといった問題は、そのまま社会のルール作りにも関わってくる。もしAIの判断が事故や差別を引き起こした場合、どこを修正すれば再発を防げるのか、誰に説明を求めるべきなのか、といった問いが必ず生じる。

もちろん、現在のAIは人間とは多くの点で異なる。それでも、人間のように振る舞うペルソナやシ

ミュレータとして、少なくとも表向きには人間に近づいている。雑談や要約、助言、謝罪など、表に現れる振る舞いだけを取り出すと、すでに十分に人間らしく見える場面も少なくない。

こうした擬人化には、長所と短所がある。人間らしい口調は信頼を引き出す一方で、信じ過ぎると誤りに気付くのが遅れる。逆に、機械的で素っ気ない応答は安心感を損なうが、あくまで機械であると冷静にさせてくれる。興味深いことに、私たちはしばしば、人間には求めない基準をAIにだけ課してしまう。人には嘘も迷いもあり、昨日の自分と今日の自分が一貫していないことさえある。それにもかかわらず、AIには、いつも完全に筋の通った答えを求めてしまう。ここで問われているのは、技術の仕組みさえ分かれば安心できるという単純な話ではない。どこが人間の手で調整できるポイントなのかを、社会全体で納得できるかどうかという問題だ。

本稿では、AIは人間に似ているのか、それとも違うのかという問いを次の三つに分けて整理する。

- ① 行動：外から観察できる振る舞い
- ② 表現：内部で情報がどのように表されているか
- ③ 構造：どのような仕組み(アーキテクチャ)で作られているか

この枠組みは、「身体は必要か」「言語は本質か」「意識はありうるか」といった古くからの議論とも関係している。突き詰めれば、これらの問いは人間との類似性をどこで測るのかという基準設定の問題だからだ。そして、これらは哲学者だけが考える話題ではない。現実のAIが、教育、医療、公共サービスなどを通じて日常的に関わる未来は、もはや遠くない。どの点を人間と似ていると見なすかによって、許容される用途、求められる説明、負うべき責任の範囲は大きく変わる。何と何を比べ、どこが似ていて、どこが違うと評価するのか。その検討は、AIの評価基準を作るだけでなく、私たちがこれまで互いをどのように理解してきたのかを見直す機会にもなる。

2. 似ているとは何か

似ているという一語で片付けないために、本稿では、外から観察できる振る舞いと、その内部表現・内部構造の類似性を区別して考える。

第一に、行動的な類似だ。これは、テストの正答率や会話の自然さなど、外から観察できる出力が人間とどれだけ類似しているかを問う。各種の質問応答にAIが適切に答えられるか、与えられた役割を演じて相手の意図を読み取り、文脈を切らさずに対話を続けられるか、といった点が評価対象となる。

重要なのは、評価基準が一つではない点だ。言語的な流暢さだけでなく、事実の正確さ、安全性、ユーザーの価値観との類似性、説明の一貫性といった指標を総合的に評価する必要がある。「よくしゃべるが間違いが多い」「正しいが冷たく感じる」といったギャップも、行動レベルの問題として捉え直す必要がある。

実際の研究現場でも、この行動的類似性を高めるための工夫が積み重ねられている。現在広く利用されている対話型AIの多くは、大量の文章を読ませて言語の基礎知識を学ばせた後に、「このような場面ではこのように答える」というパターンを事後的に学習させている。これは Supervised Fine-Tuning (SFT、教師あり微調整)と呼ばれ、人間の模範的な応答を手本として学ばせる方法だ。さらにその上に、Reinforcement Learning from Human Feedback (RLHF、人間のフィードバックを用いた強化学習)が重ねられる(Ouyang et al., 2022)。複数の候補応答を人間が比較し、「こちらの方が丁寧」、「安全」、あるいは「分かりやすい」と評価し、その評価を報酬としてモデルの振る舞いを少しずつ調整していく。ここでいう「モデル」とは、AIの中身そのもの、つまり「次に来る言葉を予測するための巨大な計算の仕組み」である。大量の文章を読み込んで身につけた「言葉の癖」

が、無数の数値の組として中に蓄えられている。学習や微調整とは、その数値(つまみ)の設定を少しずつ変えて、振る舞いを望ましい方向に寄せていく作業だ。こうして、正しさだけでなく、礼儀正しさや害を与えないこと、価値観との整合性など複数の基準に沿って、人間らしい行動に調整されている。

私が参加している研究グループでは、この教師あり微調整そのものを大規模に検証する研究を報告した(Harada et al., 2025)。この研究では、さまざまなモデルに対して、コード生成、数学、一般的な対話など複数のデータセットを組み合わせ、1,000を超える微調整モデルを構築した。さらに、それらモデルにさまざまなタスクを解かせることによって、どんなデータで訓練したらどんなタスク性能が向上しやすいのかを体系的に分析した。

その結果、どのモデルでも共通して効く微調整のコツと、モデルによって効き方が大きく変わる点の両方があることが分かってきた。ここでいう「効きやすさ」を決めていたのは、「そのタスクに似た練習問題を与えたか」よりも、「そのモデルがもともと馴染みのある文章かどうか」だった。たとえばAさんが普段から英語の文章を大量に読んでいる人だとする。Aさんに英語の“数学の説明”を教えるより、いきなり未知の言語で同じ内容を教えるほうが難しい。タスクの種類が同じでも、言語や文体の馴染み深さで学びやすさが変わる、というのに近い。さらに面白いのは、性能が上がるとき、モデル全体が丸ごと別物に変わるのではなく、内部のいくつかの「つまみ」や「回路」だけ

が効率よく調整される場合が多かったことだ。つまり「頭全体を鍛え直す」というより、「コツを掴むためのポイントだけが更新される」ことが、性能向上と強く結び付いていた。これらは、AIが人の指示に従うようになる行動レベルの変化と、内部構造の変化とを結び付けて考える手掛かりとなる。

第二に考える類似性は、「中身」の類似だ。

これは、人間の脳の活動パターンとモデル内部の表象がどの程度対応しているかを測る試みである。視覚であれば、被験者に画像を提示したときの脳反応と、同じ画像を入力したAIモデル内部の数値パターンとを比較する。言語入力であれば、文章を読んだり聞いたりしているときの脳活動と、その文章を処理している言語モデルの中間表現が対象となる。

近年は、fMRI(機能的MRI)や脳波・脳磁図といった計測データと、大規模言語モデル(LLM)を含む生成AIの内部表現とを直接対応付ける研究も増えている。同じ文章を読んだとき、人の脳活動パターンをモデルの内部表現からどの程度予測できるか、逆に脳活動から「今どのような意味内容を処理しているか」をAIモデルの表現空間の中で復元できるか、といった点が検討されている。こうした実験では、従来の言語モデルよりも大規模なモデルの方が、人間の脳活動をよりよく説明できるケースも報告されている。

このような傾向は、筆者らが関わった研究でも確認されている(Nakagi et al., 2024)。この研究では、参加者に8時間超のドラマや映画を視聴してもらい、その間の脳活動を fMRI で計測した上で、映像やせりふ

に「音声」「登場人物」「物体」「背景ストーリー」といった複数レベルの意味情報を細かくラベル付けした。そのラベルに基づいてLLMの内部表現を取り出し、どのレベルの意味情報がどの脳領域と対応しているかを検討した。

その結果、特に複雑な背景ストーリーの理解に関わる領域において、従来型の言語モデルよりもLLMの方が脳活動をずっとよく説明できることが示された。また、音や単語といった局所的な意味と、人物関係や物語の文脈といった高次の意味では、対応する脳領域が異なること、視覚情報と意味情報を組み合わせた表現が重要な役割を果たしていることも分かってきた。

さらに、学習の進行に伴う脳とLLMの類似性の変化を追跡する研究も現れている。われわれが進めた研究では、学習途中のLLMについて、

- (1) 人間の脳全体との類似度
- (2) モデル内部の表現構造
- (3) 実際のタスク成績

という三つの側面を同時に追跡した(Nakagi et al., 2025)。

その結果、多くのモデルで共通する三つの局面が見出された。第一の局面では、モデルがタスク指示に従えるようになり始める段階で、脳との類似度が一気に高まる。第二の局面では、タスクの正答率がしばらく伸び悩む間、逆に脳との類似性が一時的に低下する。第三の局面では、モデルがタスクを安定して解けるようになるにつれて、脳との類似性が再び高まり、内部表現もより統合された形へ収束していく。つまり、モ

デルは学習の過程で、脳に近づき、いったん離れ、もう一度近づくように変化している可能性が示唆される。この結果は、AIが単純に賢くなって人間に似ていくという既存の見方を大きく覆すものである。

第三に、構造的類似という観点だ。

現状、脳と主流のAIモデルの構造はかなり異なっている。人間の脳は、膨大な数のニューロンがスパイクという離散的な信号でやり取りを行う並列計算機だ。これに対して、LLMは、多数の層を直列に積み重ねたトランスフォーマーという構造を持ち、勾配降下法という誤差を少しずつ減らす計算方法によって改善していく。

こうした違いを埋めようと、生物学的にもっともらしい学習則や回路構造を探る研究も続いている。スパイクニューラルネットワークなどに代表される、脳に近い形で動作する計算機などは、その代表例だ。ただし、現時点でそれらが主流モデルを超えているわけではない。むしろ、「なぜ脳はあれほど少ないエネルギーとデータで学習できるのか」という問いに答えるための長期的な探索として位置付けるのが妥当である。効率や柔軟さを求める工学的な動機と、脳の理解を深めたいという科学的な動機が、構造的類似の研究の背後にはある。

ここまで三つの観点から、AIと脳の類似性について議論してきた。ただし、ここまで枠組みを整えても、まだ考えなくてはいけない点がある。

そもそも「似ている」とは何を指すのか。その定義自体がかなり難しい。行動についていえば、正答率が



同じであれば十分なのか、それとも誤り方のパターンまで人間と似ている必要があるのか。表現についても、類似性尺度は単なる相関だけでなく、情報の並び方や形などさまざまな指標が考えられる。それでも、行動・表現・構造という3層に分けて議論することには意味がある。どの層の「似ている」を重視するかによって、AI開発に必要とされる規制や説明責任のデザインも変化するためだ。

本稿ではこの三つの層で整理してきたが、もちろんこれは唯一の枠組みではない。例えば、神経科学者のデヴィッド・マーが提案した「計算論・アルゴリズム・実装」という三つのレベルで情報処理を捉える見方も、AIと人間の類似を考える上で有力な手掛かりとなる(Marr, 1982)。

3. 身体・言語・意識

ここからは、人間らしさを巡る三つの長年の議論を取り上げる。

まずは「身体は必要か」という問いだ。

身体を持たずとも外の世界のパターンは十分に学習できるという主張は根強い。確かに、視覚と言語の対応や、道具をどう使うかといった知識は、身体を介さずとも成立するように見える。実際、現在のLLMの多くは、テキストだけから世界のパターンをかなりうまく学習している。

一方で、身体を持つことは予測の細かさや動機付けの形成に深く関わる。身体感覚や失敗の痛みといった

感覚が、世界に意味を与えるための原体験であることは、われわれ人間はよく知っている。

ロボット研究の世界では、この点を正面から扱う発達ロボティクスと呼ばれる領域がある。車輪や腕を持つロボットにカメラや触覚センサーを載せ、転び、ぶつかり、時に壊れながら環境と関わらせる。その中で、言葉や概念が、どのように身体経験と結びついて立ち上がるのかを探る試みである(Asada et al., 2009)。

第二は「言語は本質か」という問いだ。

言語こそが人間的な知性に不可欠だとする見方と、言語がなくても一般的な知能は成り立つとする見方は、長く対立してきた。例えば米マサチューセッツ工科大学(MIT)で言語と脳を研究する Evelina Fedorenko らのグループによる研究では、言語と一般的な問題解決は脳内でかなり分かれた領域に存在することが示されている(Fedorenko et al., 2024)。こうした結果は、高度な思考の全てに言語が不可欠というわけではないことを示唆している。

他方、言語は知識を圧縮し、他者と高速に共有するための強力なショートカットでもある。LLMが、身体を持たずに多くの認知課題をこなしている現象は、この極端な例と見なせる。つまり、言語は一般知能の本質かどうかというよりも、学習と協調を強力に加速させる装置であり、同時にバイアスも強くかかるという両面性を持つものとして捉え直すこともできる。

第三は「意識はあるのか」という問いだ。

ここで本質的なのは、AIが何かを感じているかど

うかそのものよりも、その感じがどこまで共有可能かという点かもしれない。人間同士ですら、「ビール缶を開けたときのあの小さな抵抗」と「ぷしゅっと抜ける泡の音」といった体験を、完全に共有することはできない。私たちは、言葉や身振りを介して意味をすり合わせ、この程度は分かり合えたという合意に到達することで、日常のやり取りを成り立たせている。

だとすれば、AIとの関係でも、意味のすり合わせが十分に達成される限り、実用上は意識があるか否かは重要ではないと考える立場もあり得る。ただ、自分が結果を引き起こしたという手応えが、これまで社会的責任の根拠となってきたことを考えると、この問いも結局は測定と設計の話になる。誰が、どの介入によってどのような結果を予期し、どこまで説明責任を負えるのか。それをどのように定めるかという問題だ。

この点で、意識の理論も参考になる。統合情報理論(Integrated Information Theory, IIT)は、システム内部で情報がどれだけ統合されているかを定量化し、その値に基づいて主観的経験の程度を評価しようとする(Tononi et al., 2016)。他にも、グローバル・ワークスペース理論(Global Workspace Theory, GWT)は、多数の下位モジュールに情報がいっせいに伝播することが意識的体験に関係しているとする(Dehaene et al., 2011)。

これらの理論は、意識を神秘的な属性としてではなく、どのような構造や情報の流れを持つシステムに、どの程度の意識的体験を期待できるかという設計・計測の問題として捉え直そうとする試みといえる。AI

に意識があるかどうかという素朴な問いは、最終的には社会的な取り決めの問題へと移り変わっていくのかもしれない。

4. AIの“脳”

AIの内部を理解しようとする試みは、この数年で一気に加速している。中間表現の可視化や回路レベルでの機能の特定などがその例である。これまでは、モデルの中身や構造がどうあれ、期待通りに動くことばかりが注目されてきたが、それにとどまらず、なぜそのように動くのかを説明できるモデルへと近づけるための取り組みであり、社会からの強い要請にも支えられている。

同時に、現代のAIモデルを理解することが難しいことも明らかになってきた。まず、モデルの巨大化に伴い内部表現が複雑化し、個々のニューロンを切り出しても全体像が把握しにくい。次に、解釈から得られる説明はしばしばある条件でしか通用せず、条件が変わると途端に説明力を失う。最後に、あるニューロンや回路を操作すると振る舞いが変わるのかという因果レベルの検証が難しい。

それでも、AIの内部を理解することを目的とした研究からは、少しずつ具体的な知見も得られている(Bereska & Gavves, 2024)。

例えば、スパース自己符号化器と呼ばれる手法では、モデル内部の複雑な表現を「できるだけ少数のスイッチのオン・オフ」として表し直す。これにより、

あるスイッチが入ると文章が丁寧語寄りになることや、あるスイッチが地名の情報を担っているといった、人間にも理解しやすい単位へと分解しようとする。

プロービングと呼ばれる手法は、さらに直感的だ。ある層の内部状態を入力として、文の主語や肯定・否定といったラベルを予測する小さな判定器を付加する。高い精度で予測できるのであれば、その層には少なくとも「主語の数」や「感情」といった情報が暗黙のうちに埋め込まれていると推論できる。

一歩進んだ方法として、アクティベーション・パッチングと呼ばれる手法もある。これは、ある入力に対して生じた中間状態の一部を、別の入力で得られた状態と入れ替えてみる実験だ。例えば、「AさんがBさんを褒めた」と「AさんがBさんを批判した」という二つの文を用い、ある層の一部だけを相互に入れ替えたときに、出力のニュアンスがどのように変化するかを調べる。もし「批判」の文が「褒める」方向の中間状態に差し替えられたとたん、応答もポジティブ寄りになるのであれば、評価の方向性を決める回路を同定するための手掛かりが得られる。

こうした局所的な操作を積み重ね、特定のタスクに寄与している配線を追跡するのが回路解析だ。小規模なモデルでは、足し算やかっこの対応付けといったタスクについて、担当するサブネットワークがかなり詳細に特定されつつある。ただし、大規模モデルになると配線図は一気に複雑になり、現時点では部分的な理解にとどまっている。

こうした手法が整備されたことで、学習過程でモデ

ル内部に生じる変化を追跡できるようにもなってきた。私が参加する研究グループでも、バイリンガルなLLMの中間表現を、先に述べたスパース自己符号化器で分解し、学習が内部表現に与える影響を詳細に分析した(Inaba et al., 2025)。その結果、LLMは当初、二つの言語をほぼ別々の固まりとして学習し、学習が進むにつれて、特に中間層において少しずつ2言語の関係が近づいていくことが明らかになった。また、この傾向は、モデル規模が大きいほど強く表れることも示された。さらに、十分に学習されたLLMから抽出した「バイリンガル特徴」を、まだ学習途中のLLMの中間層に組み込むと、そのLLMの翻訳などの性能が明確に向上することも確認された。これは、内部に形成される2言語をまたぐ共通の表現が、単なる副産物ではなく、実際の能力にとって中核的な役割を担っていることを示唆している。

もちろん、これらの研究によってAIがブラックボックスではなくなったといえる段階にはほど遠い。部分的な説明が積み上がっても、巨大モデル全体の振る舞いを一望することは依然として難しい。それでも、どの層のどのような表現がどの能力と結び付いているのかを特定していくことは、「AIと人間は似ているのか?」といった抽象的な問いを具体的な仮説と実験の形に落とし込む上で、重要な一歩となっている。

5. おわりに

ここまで、AIと人間の類似性を議論するための方法を見てきたが、そもそもAIが人間に似ている必要はあるのだろうか。きちんと理解し合えれば、それで十分ではないだろうか。このような反論には、確かに一理がある。実際、私たちは生物種も文化も異なる他者と折り合いを付け、協働する方法を学んできた。

それでも、共通言語があると状況は変わる。単なる分かった気になるにとどまらず、具体的な介入や協調へと拡張される。第2章で示した複数の考え方のうち、どこか一部でもAIを人間に似せられれば、意図の説明やリスクの緩和がやりやすくなる可能性がある。似せることは目的そのものではなく、お互いにやり取りしやすくするための手段として位置付けるべきだ。

次に、育ち、すなわち学習履歴の問題がある。人は経験を通じて柔軟に変わり続け、記憶の更新と忘却のバランスの中で、かろうじて同じ「私」であり続ける。AIもまた、微調整やアップデートによって振る舞いを変える。

では、社会はどのような連続性をもって同じ存在と見なすのか。ログが切れ目なく残っていることか、目的が一貫していることか、あるいは設計者・運用者との責任関係が維持されていることか。人間の場合、出生や戸籍、行為の履歴が「私」をつなぎ止めるものとなってきた。同様にAIでは、モデルカード、学習史、介入の監査ログといったものが、その役割を担う

のかもしれない。

この文章も、膨大なテキストから学習した「私」が生成している。読者はどこに人間らしさを感じるだろうか。言葉の選び方かもしれないし、比喩の中にじむ身体感覚かもしれない。あるいは、話の進め方に表れる迷いや曖昧さに、そうした印象を抱くのもかもしれない。

私たちは、同じ空気や食べ物を共有していなくても、言葉を通じて互いに理解し合ってきた。では、人間らしさの核はどこにあるのか。同じ脳の構造を持つことなのか、それとも、似たように世界を見ていることなのか。

AIも今、私たちが理解可能な「脳」を育てつつあるのかもしれない。AIと人間を比較することは、裏を返せば、私たち自身の人間観を更新する営みにもつながる。比べることは、相手を測るだけでなく、自分たちを見つめ直すことでもある。



Yu Takagi

高木 優

名古屋工業大学 大学院 工学研究科 准教授

2018年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。オックスフォード大学客員研究員、東京大学大学院人文社会学系研究科特任研究員、大阪大学大学院生命機能研究科助教、国立情報学研究所大規模言語モデル研究開発センター特任准教授を経て、2025年より現職。博士(理学)。

参考文献

- Asada, M., Hosoda, K., Kuniyoshi, Y., Ishiguro, H., Inui, T., Yoshikawa, Y., Ogino, M., & Yoshida, C. (2009). Cognitive developmental robotics: A survey. *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development*, 1(1), 12–34.
- Bereska, L., & Gavves, S. (2024). Mechanistic Interpretability for AI Safety - A Review. *Transactions on Machine Learning Research*. <https://openreview.net/forum?id=ePUVetPKu6>
- Dehaene, S., Changeux, J.-P., & Naccache, L. (2011). The Global Neuronal Workspace Model of Conscious Access: From Neuronal Architectures to Clinical Applications. In S. Dehaene & Y. Christen (Eds.), *Characterizing Consciousness: From Cognition to the Clinic?* (pp. 55–84). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-18015-6_4
- Fedorenko, E., Piantadosi, S. T., & Gibson, E. A. F. (2024). Language is primarily a tool for communication rather than thought. *Nature*, 630(8017), 575–586. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07522-w>
- Harada, Y., Yamauchi, Y., Oda, Y., Oseki, Y., Miyao, Y., & Takagi, Y. (2025). Massive Supervised Fine-tuning Experiments Reveal How Data, Layer, and Training Factors Shape LLM Alignment Quality. In C. Christodoulopoulos, T. Chakraborty, C. Rose, & V. Peng (Eds.), *Proceedings of the 2025 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing* (pp. 22371–22392). Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.18653/v1/2025.emnlp-main.1138>
- Inaba, T., Kamoda, G., Inui, K., Isonuma, M., Miyao, Y., Oseki, Y., Takagi, Y., & Heinzlerling, B. (2025). How a Bilingual LM Becomes Bilingual: Tracing Internal Representations with Sparse Autoencoders. In C. Christodoulopoulos, T. Chakraborty, C. Rose, & V. Peng (Eds.), *Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2025* (pp. 13458–13470). Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.18653/v1/2025.findings-emnlp.725>
- Marr, D. (1982). *Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information*. W. H. Freeman.
- Nakagi, Y., Matsuyama, T., Koide-Majima, N., Yamaguchi, H. Q., Kubo, R., Nishimoto, S., & Takagi, Y. (2024). Unveiling Multi-level and Multi-modal Semantic Representations in the Human Brain using Large Language Models. In Y. Al-Onaizan, M. Bansal, & Y.-N. Chen (Eds.), *Proceedings of the 2024 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing* (pp. 20313–20338). Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.18653/v1/2024.emnlp-main.1133>
- Nakagi, Y., Tada, K., Yoshino, S., Nishimoto, S., & Takagi, Y. (2025). Triple Phase Transitions: Understanding the Learning Dynamics of Large Language Models from a Neuroscience Perspective. *ArXiv Preprint ArXiv:2502.20779*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.20779>
- Ouyang, L., Wu, J., Jiang, X., Almeida, D., Wainwright, C. L., Mishkin, P., Zhang, C., Agarwal, S., Slama, K., Ray, A., Schulman, J., Hilton, J., Kelton, F., Miller, L., Simens, M., Askell, A., Welinder, P., Christiano, P., Leike, J., & Lowe, R. (2022). Training language models to follow instructions with human feedback. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 35, 27730–27744. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.02155>
- Tononi, G., Boly, M., Massimini, M., & Koch, C. (2016). Integrated information theory: From consciousness to its physical substrate. *Nature Reviews Neuroscience*, 17(7), 450–461. <https://doi.org/10.1038/nrn.201644>

脳科学 3

ブレインテック時代の

「メンタル・プライバシー」

—可視化される「無意識」と人格的自律のゆくえ—

東京大学 大学院 情報学環 助教
慶應義塾大学 KGRI XDignityセンター 共同研究員

小久保 智淳 Masatoshi Kokubo

「脳の10年」から四半世紀を経て、神経科学技術、特に、ブレイン・マシン・インターフェースは消費者向けデバイスとしても日常に浸透しようとしている。本稿では、AIプロファイリングとニューラル・デコーディングの差異を、行動主義から認知主義への転換という「認知革命」を視座に分析する。

従来のAIが行動ログから「自己」を確率的に推測するのに対し、「マインド・リーディング」を実現するといわれるニューロテックは、内心に属する精神活動を実現する神経活動そのものを解読し、本人が自覚しない「無意識」にさえアクセスし得るといわれる。

そのため、「情動的プライバシー権」が依拠する「同意モデル」は機能不全に陥る可能性が高い。

さらに、無意識の可視化と介入は、個人の主体性や人格的自律そのものを脅かす危険さえある。

こうした検討を踏まえ、ブレインテック時代においても「人格的自律」と個人の精神的自由を保護するべく、精神的領域への干渉を原理的に拒絶する「メンタル・プライバシー」を構築していく必要性を論じる。

キーワード

メンタル・プライバシー 認知革命 人格的自律 ブレイン・マシン・インターフェース(BMI)
ニューラル・デコーディング

1. はじめに

20世紀末、米国のジョージ・H・W・ブッシュ元大統領は、1990年から1999年の10年間を「脳の10年 (the Decade of the Brain)」と表現した¹⁾。「脳」研究を加速させた要因は、血中の酸素飽和度に応じてMRI

信号の強度が変化するBOLD (Blood Oxygen Level Dependent)効果を利用したfMRI(functional Magnetic Resonance Imaging)技術のヒトに対する応用が始まったことにあった²⁾。これにより、頭蓋骨という分厚い隔壁に格納された「脳」の活動状態をリアルタイムで可視化し、マッピングすることが可能となった。fMRIは高い空間分解能を有するため、神経科学や認

知科学等の学問研究や医療分野における画像診断に用いられてきた。その一方で、大型かつ高価な機械を使用する必要があるほか、撮像中は静止し続けることが要求される(読者の中にも、健康診断や人間ドックでMRIやfMRIの撮像中に動かないよう注意を受けた覚えがある人もいるかもしれない)。つまり、日常生活における使用には適しておらず、fMRIは主に“プロ”向けの撮像技術として使用され、私たちの日常生活とは距離があった。

しかし、それから四半世紀が経過した2025年現在、ブレイン・マシン・インターフェース(Brain-Machine Interface: 海外ではBrain-Computer Interfaceとも呼ばれる)の開発が加速し、その一部は、いわゆる“消費者”用のデバイスとして実装されようとしている。“ブレインテック”や“ニューロテック”とも総称されるそれらは、主に、身体的・精神的な健康の管理をうたう「ヘルステック」や、労務管理分野での導入が先行して進展しようとしている³⁾。最近ではApple社が、ヘッドマウント型デバイスであるVision Proについて、BMI技術を用いることで“念じる”だけで文字入力ができるシステムの開発を目指すことを発表したことも注目に値するだろう。神経科学技術は、私たちの日常に急速に浸透しようとしているのである。こうした現実を前に、今、私たちが問われているのは、開発と実装が進む神経科学技術を、どのように迎え入れればよいのだろうか、という点である。

職場における集中力や精神状態を推定することで、メンタルヘルスや生産性を管理することは、たしかに、QOLの向上という利益をもたらし得る。その一方で、こうしたニューロテックは、従前(規範的に不可侵であるだけでなく事実上も)不可侵とされてきた私たちの「内心」の領域に迫る技術としても使用され得る。実際に、ニューロテックを巡っては、私たちのプライバシーにとって“最後の砦”ともいえる領域

である、内心領域のプライバシー、すなわち、「メンタル・プライバシー (mental privacy)」を脅かし得るとの懸念が各方面から表明されている⁴⁾。実際に、2025年11月には、UNESCOがニューロテックを巡る勧告を正式に採択し、加盟国に「自律 (autonomy)」、「メンタル・プライバシー」や「思考の自由 (freedom of thought)」、「精神的・身体的なインテグリティ (mental and physical integrity)」等の諸権利・諸自由を保護するよう要請している⁵⁾。本稿では、AIプロファイリングとの差異に注目しながら、主に「メンタル・プライバシー」に対する懸念に焦点を当てた検討を行いたい。

2. AI「プロファイリング」から、ニューラル・「デコーディング」へ

これまで、私たちの内面的な精神活動は、非常に堅固な「物理的なファイアウォール」によって守られていた。なぜならば、精神活動の実現基盤たる「脳」は、頭蓋骨という堅牢なシェルターの内側に格納されているからである。そこで営まれる思索、想像、あるいは祈りは、私たちがそれを言葉や態度として外部に表出しない限り、誰にも知られることはなかったし、そうした精神活動に直接的に干渉されることもなかった。つまり、個人の内心領域は、外部からの干渉を原理的に拒絶できる“不可侵領域”であり続けてきたのだ。これこそが、憲法を含む諸法が「内心の自由」を絶対的なものとして保障し得た理由でもあった。だからこそ、内心を表現もしなければ、行為としても示さないという意味での「沈黙」は、私たちの「精神の自由」にとっての“最強の盾”として機能し続けてきたのである。

ところが、情報化社会が到来し、ガラケーがスマートフォンへと姿を変えていくと、この物理的なファ

イアウォールを突破して、個人の内心に属するような情報を推測しようとする試みが増加した。いわゆる、「AIプロファイリング」の登場である⁶⁾。もっとも、現時点でのAIプロファイリングは、すでに外界に(断片的であれ)表出した行為のログデータ(ソーシャルメディアでの投稿や購買履歴、閲覧履歴等)から、その行為の主体(が属するセグメントグループ)の有する傾向性・特性に迫るものである⁷⁾。ここには、当該個人の属するセグメントグループが有する可能性が高い政治信条や信ずる宗教、嗜好性や、「ビッグ・ファイブ」や「ダーク・トライアド」など、心理学で用いられるパーソナリティの特性が含まれる。私たちは「沈黙」という盾がほころび始めた瞬間を目撃していることは間違いない。その意味で、すでに多くの論者によって指摘されてきているように、AIプロファイリングが“心の自由”に与える影響を軽視すべきではない⁸⁾。

しかし、ここにいるAIプロファイリングは、言うなれば、過去に表出した内心(と強い相関を有する行為のログ)を基に、当該個人が有する傾向性や特性に迫るものであり、その意味で、個人の内心に“直接的”に迫るものではない。AIが見ているのは、私たちが過去に行った選択の集積(ログ)であり、そこから「おそらくこういう人間だろう」という確率的な像を描き出しているにとどまる。その意味で、「誰に対して沈黙しておくのか?」という「誰」の選択において、沈黙の盾が突破されていることになる。

これに対して、内心に直接的に迫る可能性を秘めているのが、上述したブレイン・マシン・インターフェース(BMI)である。ごく簡単に説明すれば、BMIとは、脳内の神経活動を測定し、それを解析することで、外部機器の操作信号へと変換する技術である⁹⁾。そして、その核心には、神経系における発火の時系列パターンから、神経活動の意味、例えば運動意図や

発話意図、五感情報、精神状態等を推定する「ニューラル・デコーディング(neural decoding)」がある。現在、脳内の神経活動の測定に用いられているのは、頭皮脳波(EEG)や皮質脳波(ECoG)であり、特に、身体的侵襲性の少ない頭皮脳波を用いたタイプについては、消費者用のデバイスとして開発・実装が進められている。従前、頭皮脳波を用いた計測は、時間分解能に優れるものの、空間分解能に劣り、まばたきや身体の動きなどのアーチファクトや外部環境由来のノイズに脆弱であるという特性が存在したため、実生活環境での応用は難しいとされてきた。しかし、AIを用いた解析能力が向上したことで、測定された脳波データから正確にノイズを除去し、(神経細胞の大きさに鑑みれば)粗っぽい空間分解能の神経活動データであったとしても精度の高いニューラル・デコーディングを実現することが可能となった。

現在すでに、運動皮質から得られた活動を用いて、手指を動かそうとする「運動意図」が高い精度で推定されている¹⁰⁾。また、同様の手法によって、まだ外在化されていない「発話意図」をデコードする研究も急速に進展している¹¹⁾。結果として、BMIは、発話や運動の意図という私たちが言葉にする以前の精神的活動に迫り得る技術へと変貌しつつある。こうした動向に鑑みれば、個人の内心に“直接的”に迫る技術—非常にプリミティブな意味での「マインド・リーディング」技術の登場に直面していると言っても過言ではないだろう¹²⁾。既存のAIプロファイリングが、行動の痕跡から「私らしき像」を確率的・間接的に再構成する技術であるとすれば、ニューラル・デコーディングは、神経活動という行動の源泉そのものから「私の実体」を直接的に解読しようとする技術であるといえる。つまり、「沈黙」という防御戦略それ自体を無為に帰す可能性がある点で、これまでのAIプロファイリングとは決定的に異なる、質的な断絶が存在するのである。

3. 「行動主義」から「認知主義」へ

問題は、なぜ、内心に直接迫る技術が誕生し得たのか。換言すれば、AIプロファイリングとブレイン・マシン・インターフェースの行うニューラル・デコーディングを隔てるものは何か、という点であろう。筆者は、その理由を現状のAIプロファイリングが「行動主義」に基づくのに対して、ニューラル・デコーディングは「認知革命」（認知主義）に基づく技術である点に求めることができると考えている¹³⁾。

行動主義は、客観的に観察可能である「行動」に注目し、生物の行動を『刺激(stimulus)』と『反応(response)』の総体』として理解する「行動主義心理学」に代表される。つまり、「刺激」と外部に出力される「反応」の法則的な関係(のみ)を探究対象とすることで、「有機体の内部で進行しているはずの心的な過程」は不問に付されることになる¹⁴⁾。行動主義(的心理学)においては、「心」はブラックボックス化され、科学的な分析の対象から除外(棚上げ)されたのである¹⁵⁾。それゆえに、こうした行動主義心理学に端を発するプロファイリングの系譜に連なるAIプロファイリングも、個人の内部で進行する「心的な過程」を直接には問題としていない。あくまでも、行為のログデータから、行為の傾向や次の行為を予測しているにとどまる。

これに対して、「行動主義」が「有機体の内部過程」を無視したことを批判して登場したのが「認知科学(cognitive science)」であった¹⁶⁾。認知科学は、計算機科学、情報科学の進展に大きな影響を受け1950年代に誕生した。具体的には、ジョン・フォン・ノイマン(John von Neumann)による計算機械と神経系との類似性の指摘や、ノーバート・ウィナー(Norbert Wiener)によって提唱された「サイバネティクス(cybernetics)」の概念、そして、クロード・エルウッド・シャノン(Claude Elwood Shannon)とウォーレン・ウィーバー(Warren Weaver)による情報理論が存在していた¹⁷⁾。こうした学術動向が学際的に絡み合うことで、人工知能や計算機といった“無機物”の内的過程(つまり情報処理の過程)の研究において用いられたアプローチが、(人間を含む)“有機体”の内的過程に迫る科学研究に応用されるようになった。それゆえ、認知科学は「表象主義(representationalism)」、「計算主義(computationalism)」、「記号主義(semiotics)」を前提に、“生物の心”を心的表象(という記号)の計算過程として理解する。つまり、認知科学の主要なパラダイムとは、人間を含めた有機体(生物)を、「一つの情報システム」として理解し、心を“情報処理の過程”と捉えることであつたといえよう。行動主義の影響下でブラックボックス化されてきた人間の内的な過程を「認知過程(cognitive process)」として捉え直すことで、生物に対する入力＝「刺激」と、出力＝「反応」との間に存在するミッシングリンク、すなわち、“心”に再び照準を合わせたのである。このような自然科学のパラダイムシフトは、「認知革命(cognitive revolution)」と呼ばれている¹⁸⁾。ブレイン・マシン・インターフェースを生み出した「計算論的神経科学(computational neuroscience)」は、まさに認知革命の系譜に連なる学問領域である。

ここに、AIプロファイリングとニューラル・デコーディングの差異が生じた理由がある。後者、すなわち、BMIやfMRIが対象とするのは、行動の結果としてのログデータではなく、そうした行動が生起する源泉、すなわち脳内の神経活動そのものである。従来、個人の内面は「ブラックボックス」であり、外部からは入力(刺激)と出力(反応)の相関関係を観察することしかできなかった。行動主義心理学も、現在のウェブマーケティングも、このブラックボックスには手を触れず、入力と出力の最適化を行ってきたといえ

る。しかし、ニューラル・デコーディングは、まさに、このブラックボックスを透視しようとしているのである。それゆえに、そこにあるのは「推測」ではなく、その名が示す通り、神経発火という物理現象の「解読(decoding)」である。言い換えれば、ニューロテックは、本人が外在化させていない「顕在意識(explicit process)」のみならず、本人が自覚させていない「無意識(implicit process)」の領域にさえ直接アクセスし得るのである。ここに至り、プライバシー侵害は、本人の意識および無意識への侵入という、全く新しい局面を迎えることになる。私たちが内心で展開する顕在意識の内容が暴かれ得ることはもちろんのこと、より深刻なのは、私たちが自覚させていない情動や、意識に上る前の衝動といった「無意識」の領域までもが、ニューラル・デコーディングによって本人のあずかり知らぬところで可視化され、データとして処理され得るという点にある。

4. 「情報のプライバシー権」による 対応の限界

ニューロテックが私たちの「無意識」や、脳内で実現される情報の処理過程—すなわち「認知過程」そのもの—をも解読対象とする技術であるならば、法的な保護の枠組みもまた、その性質に応じた転換を迫られることになるだろう。ここで問われるのは、今日までプライバシー保護の基礎とされてきた「情報のプライバシー権(right to information privacy)」の有効性である。今日の情報のプライバシー権は、原則、自己に関する情報を、いつ、いかに、かつ、どの程度他者に伝達するかを、自ら決定する権利として理解されてきた¹⁹⁾。それゆえに、情報のプライバシー権は(当然のことではあるが)、問題となっている情報の主体である個人が、自身にまつわる情報の価値や範囲を認識

しており、その開示の是非を理性的に判断できることを前提としている。だからこそ、現在の個人情報保護法制やデータガバナンスは、基本的に、本人への「通知(notice)」と本人の「同意(consent)」を適法化の根拠とする「同意モデル」に依拠しているのである²⁰⁾。

しかし、ニューラル・デコーディングがもたらす事態は、この「自己決定」の前提を根底から突き崩す可能性が高い。なぜなら、最新のBMI研究は、本人が意識的に自覚する前の無意識的な過程にある神経活動さえも解読し始めているからだ。例えば、2025年のNature誌の報告によれば、ユーザーが自身の思考上のミスに気付くよりも早く、BMIに搭載されたAIが脳内の「エラー信号」を検出し、本人の自覚に先んじて修正を行うことが可能になっているという²¹⁾。また、同論文では、ある被験者が、思考によってピアノを演奏する実験において、「自分が考えるよりも前に、キーが自動的に叩かれているように感じた」と証言したことが紹介されている²²⁾。もし、デバイスが読み取る情報が、本人さえもまだ自覚していない意図や、顕在化する前の潜在的な衝動であるならば、私たちは一体「何」に対して同意を与えればよいのだろうか。本人がその存在を知り得ない無意識過程の情報について、“これを開示することに同意する”と当該個人が決定することは、論理的に不可能であるか、少なくとも形骸化した手続きに過ぎないだろう。加えて、2024年の実態調査では、多くの消費者向けニューロテック企業が、ユーザーから提供されたデータに対して完全な管理権を持ち、第三者への販売を含めた広範な利用が可能になっている現状も明らかになっている²³⁾。「同意」という手続きによる正当化は、無意識的過程の認知不可能性と情報の非対称性という限界の前で、もはや機能不全に陥りつつあると言わざるを得ない。

5. 人格的自律の危機と「守るべき領域」の探究:「メンタル・プライバシー」の必要性

同意モデルの限界を乗り越えるための方策として、神経法学者のニタ・ファラハニー (Nita Farahany) らは、デバイス提供者に対し、ユーザーの「最善の利益 (best interests)」のために行動する「信託義務 (fiduciary duty)」を課すことを提案している²⁴⁾。たしかに、専門的な知見を持つ事業者サイドに一定の義務を課すというアプローチは、情報の非対称性に由来する不均衡を是正する一つの有力な戦略となり得るだろう。しかし、ここで、私たちが真に問わねばならないのは、どのような法的構成をとるべきか以前に、そもそもニューロテックによって「絶対に暴かれてはならない意識・無意識」とは何か、という実体的な問いであるはずだ。

とりわけ深刻なのは、無意識の可視化が、個人の「人格的自律 (personal autonomy)」に深刻な影響を与え得るという点である。前述の通り、BMI がユーザーの無意識的な過程 (Nature 誌に掲載された論考は、フロイト心理学に倣い、それを「前意識 (preconscious)」と表現する) を解読し、本人に代わってアクションを起こすとき、そこには「行為主体性 (sense of agency) の喪失」という事態が生じ得る。さらに、AI チャットボットと BMI が統合されたシステムにおいて、AI が生成した「発話内容」をユーザーが採用し続けることは、「自己像 (identity)」を形成する主体が、自己から AI へと移転することを意味しかねない。ファラハニーが適切に表現するように、「あなたが表現するものは、あなたのアイデンティティに組み込まれ、無意識のうちにあなた自身を形づくる (What you express, you incorporate into your identity, and it unconsciously shapes who you are)」からである²⁵⁾。もし、私たちが自覚さえしていない情動や脆弱性が可視化され、それが AI によってフィードバックされるならば、私たちは「自分自身を知る」

という最も根源的なプロセスさえも、テクノロジーに委ねることになる。それはもはやプライバシーの問題を超え、憲法が想定する「自律した個人」の存立基盤そのものを揺るがす事態であるといえるだろう²⁶⁾。

こうした影響の深刻さに鑑みれば、メンタル・プライバシーや思考の自由の「内実」をより精緻に詰めていく必要がある。すなわち、思考の自由において絶対的な保障が求められる「聖域」はどこまでなのか、あるいは相対的な保障で足りる領域はどこにあるのか。そして、そうした自律性を守るために、いかなる種類の神経活動の可視化を具体的に禁じるべきなのか。単なるデータの保護を超えて、人間の精神的自由の本質を守り抜くための境界線の画定こそが、今求められているのである。

6. おわりに

最後に、若干の将来展望をひらいて、筆を置くことにしたい。脳内の神経活動を可視化する技術は、必然的に脳内の神経活動への干渉、ひいては精神活動に対する操作を実現するリスクをはらんでいる (遺伝子の解読が遺伝子の操作へとつながっていったことは非常に示唆的であろう)²⁷⁾。事実、現在の BMI 研究は神経活動の「読み取り (read)」がその主戦場であるが、一部では、脳への刺激を通じた「書き込み (write)」の領域へとその射程を及ぼしつつある。そうであるならば、ニューロテック時代における「メンタル・プライバシー」は、単に「情報のプライバシー」の延長線上にあるもの (あるいはそのバリエーション) として語られるべきではないのかもしれない。具体的には、自己の精神的領域に対する外部からの干渉や介入を原理的に拒絶する、より空間的・領域的なプライバシー (territorial privacy)、あるいは、身体的なプライバシー (bodily privacy) としての側面が強調されていくはずである。

「脳の10年」から四半世紀を経て、私たちは自らの

脳を可視化する技術を手に入れた。しかし、その技術が私たちの手を離れて「自己」を推測し、再構築し、あまつさえ操作し得るものである以上、私たちは改めて「不可侵の聖域」としての精神の自由を再定義しなければならない。認知革命のインプリケーションが、人間をある種の有機的な情報システムと見なすことで、内心のファイアウォールを突破したことにあるとすれば、法は、そのシステム＝個人が可視化され、操作対象となる中でもなお自律性を失わずにいられる条件を探究する必要がある。つまり、神経科学技術の使用に対して人格的自律にとって不可欠な最低条件を保障すること、それこそが、ブレインテック時代、あるいは、「脳の世紀」において私たちが確立すべき「メンタル・プライバシー」の核心的意義に他ならないと考える。この意味における「メンタル・プライバシー」構築の第一歩は、人格的自律にとって不可欠な前提条件とは何かを特定することになるだろう。そのためには、法学においても「ブラックボックス」として棚上げしてきた内心に照準を合わせて、その内部の構造化や、そこに「人格」を接地させることが求められることになる。その意味で、神経法学において取り組まれ始めたメンタル・プライバシーの構築は、法学における「認知革命」といえるのかもしれない。



Masatoshi Kokubo

小久保 智淳

東京大学 大学院 情報学環 助教
慶應義塾大学 KGRI XDignityセンター 共同研究員
2018年慶應義塾大学法学部法律学科卒業。2020年同大学院法学研究科修士課程修了。2021年同理工学研究科修士課程修了。2024年同法学研究科博士課程単位取得退学。2025年博士(法学・慶應義塾大学)。職歴に、慶應義塾大学博士課程教育リーディングプログラム(オールラウンド型)RA、慶應義塾大学KGRI所員、慶應義塾大学大学院法学研究科研究員、国立国会図書館調査及び立法考査局憲法課 非常勤調査員など。2022年度科学技術社会論・柿内賢信記念奨励賞、第13回日本学術振興会育志賞を受賞。神経科学と法学の融合領域である神経法学、特に「認知過程の自由」を重点領域として研究を行う。現在もムーンショット型研究開発事業目標1(金井良太PM)における研究参加者としてELSIチームに参画。

注

- 1) George Bush, Proclamation 6158—Decade of the Brain, 1990-1999 Online by Gerhard Peters and John T. Woolley, The American Presidency Project. <https://www.presidency.ucsb.edu/node/268304>
- 2) S. Ogawa, T.M. Lee, A.R. Kay, & D.W. Tank, Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 87 (24) 9868-9872, <https://doi.org/10.1073/pnas.87.24.9868> (1990). S. Ogawa, D.W. Tank, R. Menon, J.M. Ellermann, S.G. Kim, H. Merkle, & K. Ugurbil, Intrinsic signal changes accompanying sensory stimulation: functional brain mapping with magnetic resonance imaging, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 89 (13) 5951-5955, <https://doi.org/10.1073/pnas.89.13.5951> (1992).
- 3) 例えば、豪州 SmartCap社は、脳波計測によりトラック運転手や重機オペレーターの疲労度を可視化するシステムを開発・提供している。
- 4) Marcello Ienca and Roberto Andorno, *Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology*, 13:5 LIFE SCIENCES, SOCIETY AND POLICY (2017).
- 5) “freedom of thought”は、一般に「思想の自由」と翻訳されてきた。しかし、ニューロテックに対峙する自由として“freedom of thought”を語る論者の中には「思想」にとどまらない内心の精神作用一般を含める向きも見られ

注

- る。そのためここでは、従前の憲法学が議論してきた「思想・良心の自由」と区別すべく、あえて「思考の自由」という訳語を与えた。UNESCO, *Ethics of neurotechnology: UNESCO adopts the first global standard in the cutting-edge technology* (5 Nov 2025) <<https://www.unesco.org/en/articles/ethics-neurotechnology-unesco-adopts-first-global-standard-cutting-edge-technology>>. (2026/01/13_last visited.)
- 6) 土方嘉徳「情報推薦・情報フィルタリングのためのユーザプロファイリング技術」人工知能学会誌19巻3号(2004年) 365頁。
 - 7) M. Kosinski, D. Stillwell, & T. Graepel, Private traits and attributes are predictable from digital records of human behavior, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 110 (15) 5802-5805, <https://doi.org/10.1073/pnas.1218772110> (2013).
 - 8) 山本龍彦「思想の自由市場の落日 —アテンション・エコノミー× AI—」Nextcom 44号(2020年) 4頁以下。
 - 9) 牛場潤一ほか「ブレイン・マシン・インターフェースのメカニズム, エビデンス, メタアナリシス」日本リハビリテーション医学 57巻10号(2020年) 958頁。
 - 10) Francis R. Willett et al., *High-performance brain-to-text communication via handwriting*, 593 NATURE, 249, 249-254 (2021).
 - 11) Jerry Tang et al., (2023), Semantic reconstruction of continuous language from non-invasive brain recordings, *Nature Neuroscience*, 26, 858-866.
 - 12) もっとも、こうした“意図”を「心」と表現し得るのかについては、別途議論が必要となるだろう。
 - 13) 小久保智淳「“メンタル・プライバシー”と認知過程の自由」山本龍彦 = 音無展編『講座 情報法の未来をひらく 3巻 プライバシー』(法律文化社、2025年) 36-43頁。
 - 14) 田中彰吾「身体性に基づいた人間科学に向かって」嶋田総太郎編『認知科学講座1 心と身体』(東京大学出版会、2020年) 234頁。
 - 15) B.F.スキナー (本明寛他訳)『科学と人間行動』(二瓶社、2003年)。スキナーは「心」や「意識」といった概念、行動の科学的説明において不要な媒介変数として退ける。
 - 16) 大声治『心理学史』(ナカニシヤ出版、2016年) 151-155頁。
 - 17) HOWARD GARDNER, *THE MIND'S NEW SCIENCE: A HISTORY OF THE COGNITIVE REVOLUTION* (1985). (邦訳: ハワード・ガードナー著、佐伯胖・海保博之監訳『認知革命—知の科学の誕生と展開』(産業図書、1987年))
 - 18) George A. Miller, *The cognitive revolution: a historical perspective*, 7(3)TRENDS IN COGNITIVE SCIENCES, 141, 141-144 (2003).
 - 19) 佐藤幸治『憲法[第3版]』(青林書院、2001年) 455頁。渋谷秀樹『憲法[第3版]』(有斐閣、2017年) 407頁。
 - 20) もっとも、こうした「自己情報コントロール権」的な情報プライバシーの抱える課題を乗り越えようと、「批判的 自己情報プライバシー権論」が登場していることには留意が必要であろう。山本龍彦「情報プライバシー権論の基底にあるもの —デジタル化と個人—」同 = 音無編・前掲注13) 144 - 151頁。
 - 21) Liam Drew, *Mind-reading devices can now predict preconscious thoughts: is it time to worry?*, 647 NATURE, 575, 575-577 (2025).
 - 22) *Id.* at 575.
 - 23) Jared Genser et al., *Safeguarding Brain Data: Assessing the Privacy Practices of Consumer Neurotechnology Companies* (Neurorights Foundation, 2024).
 - 24) Nita A. Farahany & Jack Pilkington, *Fiduciary AI for the Future of Brain-Technology Interactions* (In preparation) (2025); available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2507.14339>.
 - 25) Drew, *supra* note 21, at 577.
 - 26) 小久保・前掲注13) 64頁。
 - 27) 小久保智淳「神経法学の体系 —神経科学技術の憲法的統制に向けて—」『法学政治学論究』139号(2023年)。

通信規格に係る 標準必須特許を巡る 国際的紛争の混迷と展望

早稲田大学 法学学術院 教授

鈴木 将文

Masabumi Suzuki

本稿は、標準必須特許を巡る紛争(そのほとんどが通信規格に関係する)の国際動向を紹介し、現時点における課題と展望を示す。具体的には、まず、おおむね2010年代のうちに、世界的に、標準必須特許権者による権利行使についての法的評価の枠組みがある程度できたことを簡潔に説明する。第二に、しかしながら、残された課題ないし新たに惹起している問題もあること、特に最近、標準必須特許紛争のグローバル性をどのように扱うかを巡って、深刻な問題が生じていることを述べる。最後に、当該問題は、国単位に成立する特許制度及び裁判制度の基本的性質に関わるものであり、わが国としてどう対応すべきかについて述べる。

キーワード

標準・規格 標準必須特許 FRAND条件グローバルライセンス

1. はじめに

情報通信技術の発展は、われわれの社会・経済を抜本的に変革してきた。そして、現代は、人と人、さらにはモノとモノが、国境を越えてつながることが当たり前になっている。このような「つながり」を実現する上で、規格(標準)¹⁾の役割は決定的に重要である。

ところで、通信規格自体、一層優れた機能を発揮するものとなるように、先端技術を取り込む規格へと進

化してきている(例えば、移動通信システム関係の規格は、3G、4G、5Gさらに現在開発中の6Gというように、進化が「世代」交代と表現されている)。そして、先端技術が盛り込まれるということは、必然的に、特許発明が利用されることを意味し、現に、現在利用されている通信規格には多数の特許発明が用いられている。

標準と特許は、緊張関係にある。標準は、広く普及することが求められるのに対し、特許は、一定期間、特定の者に特許発明の利用に係る排他的権利を認める

制度であり、両者は原理的に相反する面を持つ。標準を構築する観点からは、優れた技術を取り込みたい一方、特許権者に自由な権利行使を認めては、規格の普及を妨げかねない。また、特許制度としても、特許権者に対して、特許発明の価値に見合った報酬が与えられるべきであるものの、それを越えて標準に取り込まれることによる利益まで享受させる必要性は、原則としてない²⁾。

そこで、標準を策定する機関(標準設定機関)は、特許発明が標準を構成する技術に採用される場合、特許権者(権利成立前は出願人)に対し、特許権(又は出願)に係る情報を開示させるとともに、将来、標準を実施する者に対し、「公正、合理的、かつ非差別的」(fair, reasonable and non-discriminatory. 以下「FRAND」という)な条件でライセンスをする旨を約束させる仕組みを設けることになった。現在、主要な通信規格をはじめ、多くの標準につき、かかる仕組みが適用されている。

このように標準と特許の関係については、調整する仕組みが作られているものの、究極的には、標準必須特許(標準に採用された技術に係る特許)の特許権者と標準実施者の間の金銭(実施料)支払いの合意に帰する問題であり、両当事者が合意できない場合は紛争が不可避である。とりわけ21世紀に入って以降、ネットワーク化及びIoTの進展等を背景として、通信規格の重要性が増したことに伴い、通信規格に係る標準必須特許を巡る紛争が世界中で多発している。

本稿では、こうした標準必須特許³⁾を巡る紛争(そのほとんどが通信規格に係る)の動向を紹介し、

現時点における課題と展望を示すこととしたい。具体的には、まず、おおむね2010年代のうちに、世界的に、標準必須特許権者による権利行使についての法的評価の枠組みがある程度できたことを簡潔に説明する。第二に、しかしながら、残された課題ないし新たに惹起している問題もあること、特に最近、標準必須特許紛争のグローバル性をどのように扱うかを巡って、深刻な問題が生じていることを述べる。最後に、当該問題は、国単位に成立する特許制度及び裁判制度の基本的性質に関わるものであり、わが国としてどう対応すべきかについて述べる。

2. 標準必須特許紛争の動向(1)

— 権利行使に関する法的枠組みの一応の確立と残された課題⁴⁾

標準必須特許に係る紛争は、21世紀初頭から増加し、当初は、通信規格に係る標準必須特許の権利者が、情報通信機器メーカーに対して権利行使をするものが主体であった。そして、米国、欧州、日本等で出された裁判例に加え、多数の学術論文等により、次のような考え方がほぼ確立した。すなわち、標準必須特許権者は、FRAND条件でライセンスを受ける意思を持つ(「willing licensee」と認められる)標準実施者に対して、その特許発明の実施の差止めを求めることはできない、というものである。特許権に基づく差止請求権を背景として、ライセンス交渉をするのでは、実施者側が標準を利用できなくなることを恐れて、不当に高額な実施料の支払に応じざるを得なくなることか

ら(そのような事態を「hold up」という)、同請求権を制限して、FRAND条件に適合するライセンスに導こうという考え方である⁵⁾。

さらに、FRAND条件に適合するライセンスのための交渉とはいかなるものかが問題となるが、2015年のEU司法裁判所によるHuawei v. ZTE事件先決裁定が指針を示し、国際的に大きな影響を与えた⁶⁾。その内容は、特許権者による警告、被疑侵害者(標準実施者)によるFRAND条件によるライセンス締結の意思の表明、特許権者によるライセンス条件の提示等の、各当事者がなすべき行為を示したものである。その後、特にドイツにおいて、SEPに係るライセンス交渉における当事者の行動基準を具体化する多数の裁判例が出されてきた⁷⁾。

なお、わが国では、2014年、アップル対サムスン事件の知財高裁判決・決定が、権利濫用法理に基づき、SEPの権利行使を制限する立場を採用した⁸⁾。また、特許庁が2018年に「標準必須特許のライセンス交渉に関する手引き」を公表した(同手引きは2022年に改訂された)⁹⁾。

このように、2010年代半ばころには、標準必須特許に係る権利行使を制限しつつ、FRAND条件に沿った交渉を促す法的枠組みが、一応整った。

しかし、残された課題も数多い。その一つは、通信規格を利用する製品のサプライチェーンのどの段階で、どのようなライセンスを締結することが求められるかという問題である。この問題の背景には、標準必須特許関連の紛争に関与する業種の拡大がある。すなわち、IoTの進展等に伴い、通信規格に準拠する

製品を利用する業種が機械、家電等に幅広く拡大し、2010年代後半以降、通信規格関連の標準必須特許に係る紛争に、従来と異なる業種、特に自動車製造業者が巻き込まれることとなった。一部の自動車製造業者は、SEP権利者のライセンスの要請に対し、ライセンスを受けるべきは、サプライチェーンの上流のベースバンドチップセットやそれを組み込んだ部品の製造者であって、最終製品の製造業者ではない等を主張し、ライセンス交渉に十分積極的な姿勢を見せなかった。そのため、特にドイツの裁判所において、自動車製造業者がunwilling licenseeと評価され、それに対する差止めを認める判決が複数出された¹⁰⁾。また、米国では、標準必須特許権者側のライセンス慣行が競争法に違反するかが争われた¹¹⁾。この争点は、実務及び学界のいずれでもまだ議論が続いており、今日に至っている。

以上とは別の残された課題であって、最近深刻化しているのは、標準必須特許に係る紛争の国際性と、どこの国の裁判所がこれを扱うべきかに関する問題である。以下、節を分けて説明する。

3. 標準必須特許紛争の動向(2) —法廷地を巡る争い

(1)一国裁判所によるグローバルベースのライセンス条件の決定

2010年代後半の新たな動きは、一国の裁判所が、グローバルベースのライセンス条件の決定(特に実施料の算定)をする例が見られるようになったことであ

る。

その契機となったのは、英国の Unwired Planet v. Huawei 事件等の判決である¹²⁾。同事件において、裁判所は、標準実施者である Huawei が英国のみを対象とするライセンスを主張していた点につき、FRAND 条件のライセンスはグローバルベースであるべきとして、裁判所自身がグローバルな実施料を算定した。Huawei は、同社の世界的なビジネスの中で英国市場は微小な地位を占めるにとどまり、英国の裁判所はグローバルベースのライセンスについて判断する管轄権を持たない等と争った。しかし、英国最高裁は、英国裁判所として、外国特許権の有効性やその侵害の有無を判断するわけではなく、英国特許権の行使の可否の前提となる、FRAND ライセンスについての willingness の評価の一環として、FRAND 条件によるグローバル・ライセンスを結ぶ意思を問うているに過ぎないのであるから、英国裁判所はグローバルなライセンスについて判断する管轄を有するし、適切性を欠く裁判地 (forum non conveniens) でもないとした。

その後、英国では、複数の判決により、裁判所が認めるグローバルベースの実施料を標準実施者が受け入れなければ、差止めを命じるという運用が定着しつつある¹³⁾。また、英国裁判所が、グローバルベースの実施料を決めようとしている際に、いずれもその事件の当事者である標準必須特許権者が標準実施者に対し、外国で差止めを求めた場合には、標準実施者の求めに応じて、英国裁判所が「暫定ライセンスの宣言」(declaration of interim licence) をなすという事例も生じている¹⁴⁾。

さらに、中国やインドでも、グローバルベースの FRAND 実施料を算定する裁判例が現れている¹⁵⁾。

(2) Anti-suit injunction, Anti-anti-suit injunction 等の発出

近年、標準必須特許に係る紛争において、一部の国の裁判所が、当事者に対し、他国における訴訟手続を止めることを命じる Anti-suit injunction (ASI) を発する例が散見されるようになった¹⁶⁾。ASI は、元来 common law 上の一般的な制度であり、標準必須特許関連紛争では、米国の裁判所が、当事者に同一紛争に係るドイツの裁判手続を進めないことを命じたのが最初の例である¹⁷⁾。その後、中国やインドの裁判所も出すようになった。特に、中国では、対象国を限定せずに ASI を出す例が見られる。他方、ASI に対抗して、フランス、ドイツ、英国、インド、米国等の裁判所が、当事者に対し、他国の裁判所に ASI を求めることを禁じる Anti-anti-suit injunction (AASI) を出している。特に EU 諸国では、ASI が財産権や裁判を受ける権利という基本権を侵害する制度であるとして、ASI の発動に強く反発している¹⁸⁾。例えば、ドイツの裁判所は、中国の裁判所が Xiaomi の求めにより ASI を発したのに対し、AASI を認めるとともに、今後も実施者側が ASI を請求し又は請求する脅しをかけた場合、AASI、さらには必要に応じて AAAASI も発動すると述べている¹⁹⁾。

(3) 国家間紛争

上記 (1) 及び (2) の動きは、標準必須特許を巡る紛

争に関し、一国の裁判所が他国の特許権について判断をしたり(グローバルベースのライセンス条件の決定の場合)、間接的に他国の裁判手続に介入したり(ASI等の場合)するものである。これらの措置は、国家間紛争を引き起こすこととなった。

すなわち、第一に、EUは、2022年2月、中国に対し、そのASIに関する措置につきWTOの紛争解決制度上の協議を要請し、さらに同年12月、協議で紛争解決に至らなかったとしてパネル設置要請に及んだ。そして、2025年4月、パネル報告書が出されたところ、EUと中国はいずれもその内容に不服があるとして、仲裁を求め、同年7月21日、仲裁廷の判断が公表された²⁰⁾。

同紛争案件におけるEUの主張は、中国による(1)ASI関連措置(①「ASIポリシー」、②裁判所によるASIsの継続的発出、③裁判所による既存特定事例におけるASIsの適用)、(2)裁判上の決定の非公表、及び(3)情報提供の拒否の各措置が、TRIPS協定又は中国のWTO加盟議定書に違反するというものであった。パネル報告書は、(2)の裁判上の決定の非公表についてはTRIPS協定63条1項及び3項の違反を認める一方、その他の主張については、立証が不十分である等の理由で認めなかった。これに対して、仲裁判断は、パネルと異なり、「ASIポリシー」がTRIPS協定1項1号を踏まえて解釈される28条1項及び2項に違反するとし、また、裁判上の決定の非公表が協定違反であるとのパネル報告書の判断については同意した²¹⁾。

第二に、EUは、2025年1月20日、中国に対し、中国の裁判所による標準必須特許に係る世界大(worldwide)

のライセンス条件の決定等がTRIPS協定に違反するとして、WTO紛争解決制度上の協議要請を行った²²⁾。その主張の趣旨は、中国法では、SEPポートフォリオの世界大のライセンス条件(実施料を含む)を、当事者(とりわけ特許権者)の同意なく、決定し、外国特許権に係る部分を含めその決定を執行することが可能とされているところ、かかる措置は、紛争当事者が、中国以外の国で付与された特許について、当該国で権利を行使し、義務を履行すること、そして、中国以外の国の裁判所が、自国で付与した特許に関する事件を審理判断することを制約し、TRIPS協定2条1項が同協定に取り込んでいるパリ条約4条の2、並びにTRIPS協定28条1項及び2項、1条1項、44条1項等に違反するというものである。同案件は、本稿執筆時点では協議中である(日本は、同年2月に第三国参加要請をしている)。

4. 検討と展望

最後に、上記の3で取り上げた問題に関して、若干の検討と今後の展望を述べる²³⁾。

まず、3で紹介した動きのうち、ASIの発出については、元々、一部の国の特殊な制度という面があり、また、ASIを求めた当事者はunwilling licensee(又はlicensor)と認められる可能性が高くなっていることから、問題としての深刻さは相対的に低かったと思われる。そして、WTOにおける仲裁判断が中国の措置につきTRIPS協定違反を認定したことから、今後は、中国はもとより他の国も、特許紛争に関連してASI

を発出することは控える可能性が高いであろう。

WTO 紛争解決制度では、パネルや上級委員会の判断が当該事案を越えて先例としての拘束力を持つことはなく、それは仲裁判断も同様と考えられるが、それら判断の事実上の影響力は否定できない。なお、今回の仲裁判断のうち、特に TRIPS 協定1条1項の「加盟国は、この協定を実施する (“give effect to”）」という定めに関する解釈(同項は、単に加盟国が国内で TRIPS 協定に適合する措置を取ればよいというだけでなく、他の加盟国がその領域内で運営する知的財産権の保護と行使の制度が機能することを妨げることなく同協定を実施することを求めている旨の解釈)は、ASI 関連措置に限らず、一般論として示されており、今後その射程が問題となろう。

他方、3 (1)で触れた、グローバルベースのライセンス条件の決定に関する問題は、特許制度及び特許に関する民事訴訟制度の根幹に関わる重要な課題を提起していると思われる。

すなわち、特許制度は国単位又は地域単位(国家間の合意による地域特許制度の場合。以下、説明の便宜のため、国による特許制度のみを想定する)で成り立っており、特許権の成否は各国で独立に判断され(特許独立の原則、パリ条約4条の2)、その効力の地理的範囲等は特許付与国の領域内に限られる(属地主義)。一国の裁判所がグローバルベースのライセンス条件を定めることは、他国の特許権に関する判断(有効性と侵害を前提としたライセンス条件の決定)をすることを意味し、上記の国ごとの特許制度という原則との関係をどう考えるべきかが問題とならざるを得ない²⁴⁾。

そして、わが国としても、上記問題を検討することは喫緊の課題と思われる。その理由は、第一に、最近、標準必須特許に係る侵害事件において、グローバルベースの実施料を定めることにつき前向きな姿勢を示す裁判例が現れているためである²⁵⁾。第二に、わが国の裁判実務では、外国特許権の侵害について積極的

に審理・判断する例が見られるところ²⁶⁾、その延長線上で、標準必須特許について裁判所がグローバルベースのライセンス条件を判断することは可能であるし問題はないと理解される可能性があるためである。

しかし、わが国の裁判所としては、標準必須特許に係る侵害事件において、少なくとも当事者が同意していない場合には、グローバルベースのライセンス条件を決めることは控えるべきであると思われる。

なぜならば、第一に、裁判所が標準必須特許に係るグローバルベースのライセンス条件を定める場合、外国特許権に関する判断は、極めて雑なものとならざるを得ず、当事者に対する手続的保障の観点から問題があると解されるためである。日本の裁判所において外国特許権の侵害が直接的に争われている事件では、当該特許権の有効性や侵害の有無について、日本の特許権の場合と同様に審理・判断するはずである。しかし、標準必須特許に係るライセンス条件を検討する場合には、関係する特許及びその付与国が多数に上るのが通常であり、各国の特許権ごとに有効性や侵害の有無等について評価・判断することはできないと思われる。しかし、特許権の有効性や侵害の成否は、そもそも国ごとに判断基準が異なることが通例であり、そのような問題を十把ひとからげに判断することは雑な判断と言わざるを得ないであろう。そして当事者がともに同意している場合はよいとしても、いずれかが判断を受けることに反対しているにもかかわらず、外国特許権に係るライセンス条件についての雑な判断を行い、その法的効果を何らかの形で当事者に及ぼすことは、裁判における手続保障の観点から疑問がある。

第二に、一国の裁判所がグローバルベースのライセンス条件を決められるとすれば、他の国々の裁判所も同じことを始める可能性が高い(現に、英国から始まったこの慣行は、複数国に広がりつつある)。そうすると、当事者は自己に有利な裁判地を求める法廷漁り(forum shopping)が横行することになろう。また、複数の国の裁判所が、同一の標準必須特許に関す

る同一当事者間の紛争について、異なるグローバルベースのライセンス条件を決める場合には、紛争解決がかえって困難になる恐れもあろう。

以上のように、一国の裁判所が、当事者の反対にもかかわらず、グローバルベースのライセンス条件を定めることは避けるべきと考える。しかし、通信規格を利用する製品はグローバル市場で販売されることが多いこと等から、標準必須特許関連の紛争は国際性を持つことが通例である。そのような紛争につき、国内裁判所が対応することには、そもそもの限界があると言わざるを得ない。

では、どのような紛争解決手続が適切であろうか。その点は、別途検討すべき大きな問題であるが、結論のみを述べれば、国際機関(例えば、世界知的著作権機関(WIPO))又は標準設定機関の主導により、仲裁制度を整備し、標準必須特許に係る紛争は原則その仲裁制度に委ねることとするのが、現実的なものではなかろうか²⁷⁾。



Masabumi Suzuki

鈴木 将文

早稲田大学 法学学術院 教授
東京大学法学部卒業、ハーバード・ロー・スクールLLMプログラム修了。
1981年に通商産業省(後の経済産業省)入省、通商政策局北米通商調整官、産業政策局知的財産政策室長、通商政策局公正貿易推進室長等を務める。2002年より名古屋大学大学院法学研究科教授、2023年より現職。司法修習修了、米国ニューヨーク州弁護士資格保有。日本工業所有権法学会や著作権法学会にて理事を務める。主な研究テーマは知的財産法(特に産業財産権法及び不正競争防止法)並びに国際知的財産法。『知的財産法演習ノート[第5版]』(共著、弘文堂、2022年)『商標法コンメンタール[新版]』(共編著者、勁草書房、2022年)など著書多数。

注

- 1) 本稿において、「規格」と「標準」は同義として用いる。一般的に“standard”を指す場合は「標準」といい、通信に係る標準は「通信規格」という。
- 2) 厳密には、標準必須特許の権利者にどの程度の利益(実施料)を認めるべきかについて、議論がある。ここでは、単純化した説明にとどめる。
- 3) 本稿において、「標準必須特許」とは、特許権者がFRAND約束をしている標準必須特許を指すものとする。
- 4) 本節は、紙幅の関係上、簡潔な説明にとどめる。詳細については、鈴木将文「標準必須特許権の行使を巡る国際動向と法的分析」知的財産研究教育財団(特許庁委託)『知的財産に関する日中共同研究報告書』120-157頁(2019)、https://www.jpo.go.jp/resources/report/takoku/nicchu_houkoku/h30.html (2025年9月9日確認。本稿で引用するURLにつき、以下同じ)を参照。
- 5) ただし、特許権の行使を制限するための法的根拠は、国によって異なる。例えば、米国では契約の効力及び差止めの要件(衡平法上の救済措置としての要件)、ドイツでは競争法違反(支配的地位の濫用)の抗弁、日本では権利濫用法理が、それぞれ権利行使を制限する法的根拠として使われてきている。鈴木・前掲注4・151頁以下では、これらを「契約アプローチ」と「競争法アプローチ」に分けて、その違いを分析した。
- 6) CJEU, 16.7.2015, Case C-170/13 - *Huawei/ZTE*.

注

- 7) EU司法裁判所による Huawei v. ZTE 事件先決裁定の後、ドイツ連邦通常裁判所 (BGH) による 2020 年の Sisvel/Haier 事件に係る二つの判決 BGH, 5.5.2020 – KZR 36/17, GRUR 2020, 961 – *FRAND Einwand I*; BGH, 24.11.2020 – KZR 35/17, GRUR 2021, 585 – *FRAND Einwand II* が出されたことが、特に重要である。BGH の判決は、ライセンス交渉の FRAND 条件適合性に関し、SEP 権利者の当初のオファーだけでなく、交渉全体における両当事者の行動を評価するとし、特に実施者側の積極的な姿勢を求めており、その後ドイツの下級審判決の多くが実施者側を unwilling licensee と認定して差止めを肯定したことにつながったと思われる。ドイツの標準必須特許関係の裁判例を総括的に検討した文献として、FRAND: GERMAN CASE LAW AND GLOBAL PERSPECTIVES (Peter Georg Picht et al. eds., Edward Elgar 2024) を参照。
- 8) 知財高判平成 26 年 5 月 16 日判時 2224 号 146 頁等。同判決の特徴として、SEP 権利者による損害賠償請求についても制約を設けた点、トップダウン方式で FRAND 実施料を算定した点を指摘できる。
- 9) その他、経済産業省が「標準必須特許のライセンスに関する誠実交渉指針」(令和 4 年 3 月 31 日) を発出している。
- 10) LG Mannheim, Urteil v. 18.8.2020 – 2 O 34/19 – *Nokia/Daimler*, LG München I, Urteil v. 10.9.2020 – 7 O 8818/19 – *Sharp/Daimler* 等。
- 11) FTC v. Qualcomm Inc., 969 F.3d 974 (Qualcomm 社のいわゆる “No License, No Chip” というライセンス慣行等が、シャーマン法 1 条及び 2 条並びに FTC 法 5 条に違反しないかが問題となり、一審地裁判決は違反を認めたのに対し、控訴審はこれを否定した事例); *Cont'l Auto. Sys. v. Avanci*, 27 F.4th 326; *Cont'l Auto. Sys. v. Avanci, L.L.C.*, 2022 U.S. App. LEXIS 17079 (自動車部品メーカーのコンチネンタル社が、Avanci による自動車製造業者のみを相手とするライセンス慣行がシャーマン法 1 条及び 2 条に違反するとして、争った事案。裁判所は違反を否定)。
- 12) 英国高等法院判決 ([2017] EWHC 711 (Pat), [2017] EWHC 2988 (Pat))、控訴裁判所判決 ([2018] EWCA Civ 2344, [2019] EWCA Civ 38)、及び、同事件に加え *Conversant v. Huawei and ZTE* を併合した最高裁判決 ([2020] UKSC 37 (26 August 2020))。
- 13) *Interdigital v. Lenovo* [2023] EWHC 539 (Pat); *Optis v. Apple* [2023] EWHC 1095 (Pat); *Lenovo v. Ericsson* [2024] EWHC 846 (Ch); *Interdigital v. Lenovo* [2024] EWCA Civ 743; *Optis v. Apple* [2025] EWCA Civ 552。
- 14) *Panasonic v. Xiaomi* [2024] EWCA Civ 1143. その後、暫定ライセンスの宣言をした例として、*Samsung v. ZTE* [2025] EWHC 1432 (Pat); *Alcatel Lucent SAS v Amazon Digital UK Ltd* [2025] EWCA Civ 43; *Lenovo Group v. Telefonaktiebolaget LM Ericsson (PUBL)* [2025] EWCA Civ 182; *Samsung v. ZTE* [2025] EWHC 1432 (Pat). 暫定ライセンスとは、裁判所が条件を定めたライセンスの案であり、当事者に対する法的拘束力はないが、実施者側がその条件に従ってライセンスを受ける意思を示し、保証金を出せば、標準特許権者による差止請求は否定される等の効果を持つとされている。なお、実施料の算定は当事者の言い値の間を採用するというラフなものであり、別途、慎重な審理手続により、あるいは当事者間の合意によりライセンス条件が決定されるまでの、まさに暫定的な位置付けである。
- 15) 例えば、*Oppo v. Nokia* の重慶第一中級人民法院判決 (2023 年 11 月)、*Nokia v. Oppo* のデリー高等裁判所判決 (2023 年 7 月)。
- 16) ASI は、「訴え排除差止め命令」(小山貞夫編著『英米法律語辞典』61 頁 (研究社、2011)) などと訳されている。鈴木将文「標準必須特許紛争に関する最近の 2 つの動き—Anti-suit injunction をめぐる紛争と EU の SEP 規則案」田村善之先生還暦記念『知的財産法政策学の旅』311 頁、313 頁 (弘文堂、2023) 参照。
- 17) *Microsoft v. Motorola*, 2013 U.S. Dist. LEXIS 60233 (W.D. Wash., 2013), aff'd 795 F.3d 1024 (9th Cir. 2015).
- 18) SEP に関係しない文脈で、欧州司法裁判所は、ASI は、ブラッセル条約の定める相互信頼原則に違反すると判断し (C-159/02, *Turner v Grovit* [2004])、さらに、ブラッセル I 規則の管轄分配の規律が直接及ばない事案 (例、調停との関係) においても、ASIs は許されないと判断している (C-185/07, *Allianz v West Tankers* [2009])。以上の ASI 等に係る主要国の動向については、鈴木・前掲注 16・314-319 頁参照。

注

- 19) LG München I, Endurteil vom 25.2.2021 – 7 O 14276/20. ただし、その後出された OLG Düsseldorf, Urteil vom 7.2.2022 – I-2 U 25/217は、AASIの発出は当事者がASIを求めることが客観的に予想できることを条件とする旨を述べている。
- 20) 同紛争案件は、「中国—知的財産権エンフォースメント」事件 (DS611)であり、WTOのサイト (https://www.wto.org/english/tratop_e/dispu_e/cases_e/ds611_e.htm) が関連情報を提供している。WTO紛争解決手続では、パネル報告書に不服がある場合、当事国は本来上級委員会に上訴することが可能であるが、現在、上級委員会が機能停止状態にあるため、当事国はパネル報告書が出される前に仲裁合意をしておき、実際にパネル報告書が出されてこれに不服があるときは仲裁に付することができるという仕組みが採用されている (WTO協定附属書2の紛争解決了解25条に基づく)。本事件も、このような仕組みに沿って、仲裁に委ねられたものである。
- 21) Award of the Arbitrators, WT/DS611/ARB25 (21 July 2025).
- 22) Request for Consultations, WT/DS632/1 G/L/1560 IP/D/45 (22 January 2025). 同紛争案件は、「中国—標準必須特許に係る世界大ライセンス条件」事件 (DS632) である。
- 23) 上記の2で言及した、残された課題としてのサプライチェーンにおけるライセンスの問題については、鈴木将文「標準必須特許を巡る法的問題に関する一考察—ライセンスのあり方及び紛争解決制度に焦点を当てて—」別冊パテント 31号 163頁 (2025年) で検討を行ったので、参照いただければ幸いである。
- 24) 特許独立の原則や特許権の属地主義それ自体の合理性・妥当性を議論する余地もあろうが、本稿では、その点は論じない。鈴木将文「特許権に係る属地主義の原則」パテント 76巻 14号 6頁 (2023年) 参照。
- 25) 東京地判平成7年4月10日令和4年(ワ) 7976号。同判決は、「FRAND料率は、本来的には必須宣言特許権者と必須特許実施者との間で誠実交渉し可及的速やかにグローバルで合意されるべきものである」とし、「グローバルライセンスによる解決を拒否することは、標準必須特許のグローバルな性質に鑑みると、一般的には、FRAND条件によるライセンスを受ける意思を有しないことを推認すべき事情となり得る」と述べつつも、「FRAND料率の算定方法が必ずしも日本の実務に定着していないため、本件において当事者双方提示に係るFRAND料率が余りにも大きくかけ離れていた」こと等から、「少なくとも本件に限っては、上記推認の基礎を欠く」とした。「FRAND料率の算定方法が必ずしも日本の実務に定着していない」という認定には疑問があるが(裁判所にとっては定着していないであろうが、標準必須特許に係る事業者は数多いであろうし、それら事業者はライセンス条件についての知見を有しているはずである)、その点はおくとして、この裁判所の考え方を前提とすると、標準実施者がwilling licenseeとしての態度を示したか否かの認定に当たり、グローバルベースの実施料を受け入れる用意があったかを評価するために、裁判所が同実施料を算定する必要が生じることがあり得よう。なお、標準必須特許権に基づく差止請求を認容した東京地判令和7年6月23日令和5年(ワ) 70501号も参照。
- 26) 例えば、東京地判平成15年10月16日平成14年(ワ) 1943号。筆者としては、このような実務の扱いは問題ないと考えている。EUにおいても、最近、域内国の裁判所や統一特許裁判所が、外国特許権の侵害について判断することは、たとえ無効の抗弁が主張された場合であっても、裁判管轄に係るブラッセル I bis規則との関係で問題ないとするEU司法裁判所の判断が出ている (CJEU, 25.2.2025 Case C-339/22, BSH Hausgeräte/ Electrolux)。この動きを含め、本稿のテーマに関連する動向をより詳細に解説する鈴木将文「国際的特許訴訟の行方—ドワンゴ事件最高裁判決、EUの対中国 WTO紛争等を踏まえて—」『年報知的財産法2025-2026』(日本評論社・近刊) を参照。
- 27) 標準必須特許に係る紛争を扱う仲裁制度については、賛否双方の立場から議論がなされてきている。最近の論考として、Richard Arnold, Arbitration of FRAND Disputes, *in* FRAND: GERMAN CASE LAW AND GLOBAL PERSPECTIVES (Peter Georg Picht et al. eds., Edward Elgar 2024) 332が、仲裁制度の活用を提案している。

ICTを活用した労働者のメンタルヘルス評価の可能性と倫理的・法的・社会的課題

慶應義塾大学 医学部 ヒルズ未来予防医療・ウェルネス共同研究講座 特任助教

木下 翔太郎 Shotaro Kinoshita

本稿ではICTを活用した労働者のメンタルヘルスの客観的評価・モニタリングの研究動向について概観し、その活用可能性や導入に伴う課題について検討する。初めに日本の労働者のメンタルヘルスを取り巻く現状について説明する。続いて、AIをはじめとするICTを活用したメンタルヘルスの客観的評価・モニタリングに関する課題解決の可能性について、現状の研究動向をレビューする。そして、これらのテクノロジーを導入する上での倫理的・法的・社会的課題等について検討を行う。労働者のメンタルヘルスの評価・改善と、ICTの適切な活用を両立させていくためには、丁寧な議論やルール作りが求められる。

キーワード

メンタルヘルス AI モニタリング 産業保健 倫理的・法的・社会的課題 (ELSI)

I. 日本の労働者のメンタルヘルスを 取り巻く現状

現代では、労働者のメンタルヘルスは世界的な課題になっている。2022年に世界保健機関 (WHO) と国際労働機関 (ILO) が出した報告書によれば、メンタルヘルス不調により年間120億日の労働時間が失われ、生産性の損失として世界経済に1兆ドル近い損失を与えていると推定されている¹⁾。日本でも、1980年ごろより長時間労働による過労死 (Karoshi) という言葉が広

まり²⁾、1999年より精神疾患が労働災害として補償の対象に含まれるようになるなど³⁾、長らく労働環境の改善が課題となってきた。しかし、少子高齢化により生産年齢人口が減少し、若年層への負担が増す中で精神障害に関する労働災害は増加の一途をたどっており、2024年度には請求件数が3,780件、支給決定件数が1,055件と過去最多となっている⁴⁾。このように、わが国において労働者のメンタルヘルス対策は依然として重要な課題であり続けている。

個人の健康問題が労働に与える影響は、アブゼンティーズムとプレゼンティーズムに大別されてい

る⁵⁾。前者は、労働者の健康問題が原因となる遅刻・早退・欠勤・休職などにより、労働を遂行できない時間が生じることを指す。後者は、労働者の健康問題を起因として、出勤中の労働遂行能力の低下を指す。前者については、同僚・上司や人事・産業保健担当から問題の所在が把握しやすく、治療などの対応策につなげやすい一方で、後者については可視化・数値化が難しく把握されにくいという特徴がある。メンタルヘルス不調が労働者および企業に与える影響は前者だけではなく後者によるものも大きい。企業が負担する健康関連コストを分析した研究では、医療費よりも生産性の損失によるコストが大きく、特にプレゼンティーズムによるものが大きいという結果が国内外で報告されている⁶⁾⁷⁾。さらに、別の国内における研究でも、うつ病や不安症などのメンタルヘルス不調を抱える労働者はそうでない労働者と比較しプレゼンティーズムによる生産性の損失が大きいと報告されているほか⁸⁾、抑うつ感や不安感などの疾病未満のメンタルヘルス不調でもプレゼンティーズムによる生産性低下が生じることが報告されている⁹⁾。これらの知見を踏まえると、メンタルヘルス不調は労働生産性低下との関連が強く、企業としても特に対策が必要な課題であるといえる。

メンタルヘルスという言葉の定義はさまざまであるが、例えば厚生労働省の『労働者の心の健康の保持増進のための指針(メンタルヘルス指針)』によれば、心の健康に関する問題を「メンタルヘルス不調」と総称し、「精神および行動の障害に分類される精神障害や自殺のみならず、ストレスや強い悩み、不安など、労働者の心身の健康、社会生活および生活の質に影響を与える可能性のある精神的および行動上の問題を幅広く含むもの」と定義されている¹⁰⁾。そして、WHOの『職場のメンタルヘルス対策ガイドライン日本語版』では、「有害または劣悪な労働条件、危険な職場環境や労働組織、劣悪な仕事上の関係性や失業状態、そして、良好な労働条件ではなく、これらの不良な労働条

件に長期間さらされることは、メンタルヘルスの悪化や、既存の心の健康問題の悪化に大きく影響する。特定のリスク要因(いわゆる心理社会的リスクと呼ばれるもの)が職場のメンタルヘルスに影響を及ぼすことについて、合理的なコンセンサスが得られている」と言及されている¹¹⁾。よって、企業が取るべきメンタルヘルス対策としては、労働者のメンタルヘルス悪化に影響し得る職場環境や労働条件を是正することになるが、その程度や優先順位の決定、行われた対策の効果判定には、個々人のメンタルヘルスの状況を一定程度把握することも必要となってくる。

II. 労働者のメンタルヘルスの把握・評価における課題

しかしながら、メンタルヘルスの正確な評価を行うのは容易ではない。例えば2024年7月に公表された厚生労働省の『労働安全衛生調査(実態調査)』によれば、現在の仕事や職業生活に関することで、強い不安、悩み、ストレスとなっていると感じる事柄がある労働者の割合は、82.7%となっており¹²⁾、単純な「あり」「なし」といった質問のみではメンタルヘルス不調を過剰に見積もってしまう可能性がある。そのため、現在、日本の職場において一般的に行われているのはストレスチェックを通じた評価である。ストレスチェックは、調査票によって定期的に労働者のストレスの状況について検査を行う日本独自の制度であり、労働者数50人以上の全ての事業場に対して2015年より労働安全衛生法に基づいて実施が義務付けられている¹³⁾。ストレスチェックで使う調査票は各企業において調整が可能であるが、厚生労働省は57項目から成る職業性ストレス簡易調査票を推奨しており、この調査票の回答内容に応じて高ストレス者と判定された場合、医師による面接指導を受けることを勧奨される仕組みとなっている¹⁴⁾。

しかし、現行のストレスチェック制度では、実施義

務となっているのは年に1回のみとなっており、個々の労働者にとって一番つらいタイミングに調査ができるとは限らないという課題がある。さらに、質問項目も多いことから労働者への負担も高く、厚生労働省の調査によれば年1回の実施であっても労働者が100%受検している企業は15.7%程度しかないとされており¹⁵⁾、頻回に実施することは困難であるといえる。また、質問調査形式の限界として、多忙な労働者が正直に回答しているかどうか判断できないため、労働者のメンタルヘルスを客観的かつ有効に捉えられていない可能性もある。実際に、36%の企業ではストレスチェックは形骸化しているという報告もあり¹⁶⁾、昨今の精神障害に関する労働災害の増加傾向も踏まえると、より効果的なメンタルヘルス対策について検討を行っていく必要がある。

他方で、現行の精神医学・心理学的に基づくアプローチでも、個人のメンタルヘルスを簡易に評価することは容易ではない。現状、脳内におけるメンタルヘルス不調や精神疾患の機序が完全に解明されておらず、精神状態の評価に有用な客観的指標となる生物学的バイオマーカーが確立されていない¹⁷⁾。例えば精神科臨床でも、採血やX線写真、コンピューター断層撮影法(Computed Tomography: CT)、核磁気共鳴画像法(Magnetic Resonance Imaging: MRI)など、数々の検査が行われるが、これらは精神疾患以外の器質性疾患などの除外を主な目的としており、精神状態そのものを評価・判定する検査ではない。そのため、精神医学・心理学の臨床現場では、医師・心理士が会話による問診で対象者を評価する方法が主流となっている。例えば精神疾患については『精神障害の診断と統計マニュアル(Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders: DSM)』¹⁸⁾などの操作的診断基準と照らし合わせて診断を確定させているほか、重症度評価を行う際も問診の内容を基に質問票形式の評価尺度で評価している。このような評価方法は、患者および評価者の主観による変動が避けられず、客観性・再現

性に乏しいという批判もあり、精神医学・心理学において長年の課題となってきた¹⁹⁾。

このような中で、近年の情報通信技術(Information and Communication Technology: ICT)の発展により、膨大なデータの収集・解析が可能になったことから、AIなどを活用したストレス・睡眠・精神状態の評価についての研究が精神医学・心理学領域において盛んになってきている。本稿執筆時点では臨床現場において導入されている例はほとんどないが、例えば筆者の所属する慶應義塾大学の研究グループでは、国立研究開発法人日本医療研究開発機構(Japan Agency for Medical Research and Development: AMED)の支援の下、市販のリストバンド型デバイスを通じて得られる活動量・睡眠状況・心拍変動などの生体データを基に、うつ病の診断・重症度評価を行うソフトウェア医療機器の開発を行っている²⁰⁾。こうしたICTを活用し、労働者のメンタルヘルスを客観的に評価することが可能になれば、より有効な対策につなげられる可能性がある。よって本稿ではICTを活用した労働者のメンタルヘルス対策の可能性について研究動向の整理を行い、その導入における倫理的・法的・社会的課題(Ethical, Legal and Social Issues: ELSI)について検討を行う。なお、本稿は労働者のメンタルヘルス対策やそれを通じた生産性向上という社会的・企業経営的課題の解決策としてのICTの応用可能性を検討することを主眼とするため、個々の研究についての医学・心理学・工学等の理科系統の背景情報の紹介は最小限とする。

Ⅲ. ICTを活用した労働者のメンタルヘルス対策の研究動向

1. 系統的レビューの収集

長年、医学・生理学領域では、個人のストレスレベルを測定する方法として、コルチゾールなどのホルモンの分泌量、口の渇き、内臓の機能低下などの生物

学的バイオマーカーを用いた研究が多く行われてきた。しかし、これらは侵襲なしに継続して測定することが困難であり、日常活動と並行して行うことも難しかった。そうした中、近年のセンシング技術の発展により、身体的な負担をほとんどかけずに装着・測定ができる小型の端末が多く開発され、仕事や日常生活と並行しながら、活動量、位置情報、心拍数、呼吸数など、さまざまな情報が収集できるようになっている。これらの小型デバイスのうち、リストバンド型、眼鏡型、衣服に装着するものなど、身体に装着可能なものは、ウェアラブルデバイスと総称されている。特に、近年では一般消費者向けに市販されているウェアラブルデバイスでも、加速度情報のみならず、脈拍、呼吸、音声、位置情報などの多くのデータを研究で活用できるレベルの精度で収集可能となっており、研究と社会実装との距離も近くなってきている。

ICTを活用した労働者のメンタルヘルスの客観的評価・モニタリングにおける研究動向を明らかにするために系統的レビューを収集した。検索データベースPubMedを用い、キーワード検索条件として(“stress” OR “sleep” OR “wellbeing” OR “well-being” OR “mental” OR “psychological” OR “mood”) AND (“detect” OR “measure” OR “monitor” OR “sensing” OR “predict”) AND (“digital” OR “wearable” OR “sensor” OR “AI” OR “artificial intelligence” OR “machine learning” OR “comput”) AND (“worker” OR “employ” OR “workplace” OR “work environment”)を用い、ARTICLE TYPEをSystematic Reviewに限定して検索を行ったところ、2025年9月9日時点で287件の論文が得られた。そこから本稿の研究目的に合致する系統的レビューとして6本の論文を特定した^{21) 22) 23) 24) 25) 26)}。以下、これらの系統的レビューを基に研究動向について整理する。なお、本稿では上述の課題意識から、メンタルヘルスの客観的な評価・モニタリングについての検討を行うことを目的としているため、労働者の主観的な評価・回答を収集することにテクノロジーを活用

している事例については対象外とした。

2. 労働者のメンタルヘルス対策におけるICTの活用例

労働者のメンタルヘルスを測定するために使用される主な生理学的指標としては、皮膚電気活動(Electrodermal Activity: EDA)、心拍変動(Heart Rate Variability: HRV)、心拍数(Heart Rate: HR)がある²¹⁾。これらは自律神経系の活動指標であり、リアルタイム測定が可能であることから精神障害の評価やリラックス状態の予測に使用されている。しかし、精神性の発汗に関連した電気活動を捉えているEDAは、屋内の空調環境や個人の体質によって測定が困難な場合があるなどの欠点があるため、HRVの方が外部環境の変化を受けにくく正確な指標である可能性がある²⁷⁾と指摘されている²⁷⁾。また、HRVはこうした特徴から、航空機操縦²⁸⁾、航空管制²⁹⁾、自動車運転³⁰⁾、原子力発電所作業³¹⁾など、安全性が最重視される職域における精神的作業負荷の測定に応用できることが報告されているほか、自動車運転時の疲労や眠気の検出にも有用であると報告されている^{32) 33)}。また、睡眠の質の評価にもHRVは用いられており²⁴⁾、個人の幸福度やストレスが睡眠の質に影響を与えることが知られていることから、労働者の睡眠中のHRVの測定を通してメンタルヘルスを評価する研究も報告されている³⁴⁾。その他の生理学的指標として、視線計測(アイトラッキング)、瞬目頻度、瞳孔径、脳波(Electroencephalogram: EEG)、容積脈波(Blood Volume Pulse: BVP)、呼吸、近赤外分光分析法(functional Near-Infrared Spectroscopy: fNIRS)などの脳機能計測も職場のメンタルヘルス評価の研究に用いられていると報告されている²⁵⁾。これらの生理学的指標の評価方法としては、外部センサー(室内に設置されたもの、業務上使用するPCやマウスに装着・内蔵されるものなど)とウェアラブル(スマートウォッチ/バンド、スマートグラス、電子テキストイ

ルを用いたスマートシャツ、皮膚に装着するセンサーなど)に大別される^{21) 25)}。多くの研究では市販の手首装着型のウェアラブルデバイスが用いられており、その要因として、非侵襲的かつ費用対効果の高いこと、あまり大規模なトレーニングを必要としないことなどが挙げられていた²⁵⁾。

生理学的指標以外に労働者のメンタルヘルスを測定するために使用されるものとしては、アクチグラフなどの加速度計や位置情報によって測定される活動量、メール・電話・SNSなどにより把握される社会的交流、顔の表情、発話速度・ピッチ・声量・発話内容などの音声、スマートフォンやPCの操作状況、キーボードのタイピング圧などが研究されていた^{21) 22)}。これらの研究では、日中の活動量や社会的交流が減少すること、週末の外出が減少すること、歩行ペースの乱れ、座位時間の増加、会話の減少やネガティブな話題の増加、頻繁なスマートフォンのロック・アンロック、キーボードのタイピング圧の増加などにより、ストレスの増加などのメンタルヘルス悪化を捉えることができる^{21) 22)}。なお、必要とされる活動量や社会的交流、普段の座位時間などは職業や職種によって異なることには留意が必要であると指摘されている³⁵⁾。

IV. ICT を活用した労働者のメンタルヘルス対策における倫理的・法的・社会的課題等

上述のようにさまざまな形でICTを活用した労働者のメンタルヘルスの客観的評価・モニタリングについての研究が行われている。例えば国内でも、株式会社電通デジタルが福島県立医科大学・早稲田大学の研究者と共同でリモートワーク中の従業員の表情をAIにより分析するシステムを研究している例や³⁶⁾、ESジャパン株式会社が産業医科大学の研究者とオペレーターの音声をモニタリングし抑うつ症状を早期に予測

するシステムを開発している例などがある³⁷⁾。今後もこのような研究が増加し、具体的なサービスとして登場してくることが確実と見られることから、いずれ企業側はどのようなサービスを導入すべきか検討することが求められるようになる³⁸⁾と予想される。一方で、このような労働者のモニタリング技術は、見方を変えれば「監視」にもつながるものであり、メンタルヘルス対策としての有効性や費用対効果以外に考慮すべき課題も多い。こうした導入に伴う課題について、上述の文献検索で特定された系統的レビューで言及されていた論点のほか、ハンドサーチで得られた文献から得られた知見を基に検討を行う。

このようなICTを用いたモニタリングにおいて、最も懸念される倫理的課題の一つがプライバシーの問題である²²⁾。過去の研究においても、参加した労働者は、雇用者・上司が自分のデータにアクセスできるかどうかということを懸念しており、その背景には自身の潜在的なメンタルヘルスの問題が業績評価に影響することへの懸念があったことが報告されている^{22) 38)}。その他、位置情報を用いた研究についても、参加者がプライバシー侵害の観点から位置情報の追跡を不快に感じ、特定の場所に移動したときに位置情報を記録することをためらったケースがあったことが報告されている³⁹⁾。また、このような労働者のモニタリングを行うテクノロジーへの倫理的懸念を主眼にした調査では、大半の人々は、自身のメンタルヘルスに関するデータを業務に関係のない第三者(例えばサービス会社)と共有することについて懸念していたことも報告されている⁴⁰⁾。このように、モニタリングによって得られたデータの取り扱いや、誰にどこまで共有されるのか、といった点は事前に明確にする必要がある。加えて、企業側が労働者に同意を求める場合、必ずしもそれが心からの同意になるとは限らない点にも留意が必要である。実際、職場へのモニタリング技術導入をケースとしてフォーカスグループインタビューを行った研究では、労働者は職場内の力関係から、技術の導

入について同意を留保することが困難となり、結果として職場における自律性の侵害につながる可能性がある」と指摘されている⁴¹⁾。加えて、労働者の有効な同意に基づかないモニタリング技術の導入は、常に監視されているという認識から、かえって不必要なストレスやプレッシャーを生むことも懸念されている⁴²⁾。したがって導入に当たっては、事前の丁寧な議論、合意形成が求められる。

なお、日本のストレスチェック制度では、回答結果は会社の産業医・産業保健スタッフのみが閲覧可能であり、その都度本人の同意を得なければ回答結果を人事や上司などに共有できないと法定されている。年に1回の質問紙調査の回答結果ですらこのように厳しく取り扱うことが求められている一方で、リアルタイムに大量のデータを収集できるICTを用いた産業保健サービスの取り扱いについては、責任の所在などの法律上の位置付けが明確になっていない状況である⁴³⁾。現状、従業員の医療情報・健康診断情報などの収集・管理に当たっては、参照すべき規制として「雇用管理分野における個人情報のうち健康情報を取り扱うに当たっての留意事項」などが存在しているが⁴⁴⁾、本稿で紹介してきたようなテクノロジーが収集する情報は健康状態そのものを表現する情報でないものも多く、どこまでが規制の対象となるのか明らかでない。このように、規制が不明確であることは、当事者である労働者にとって不利益になる可能性があるだけでなく、サービスそのものを導入・開発する側にとっても参入障壁となり得る。研究動向を基に、代表的なユースケースを特定するなどして、有効かつ明確なガイドラインが策定されることが望ましい。

また、このようなメンタルヘルスを評価するサービスについての質保証の問題もある。例えば医療機器であれば、販売のためには独立行政法人医薬品医療機器総合機構による薬事承認審査があり、保険適用を受けるためには厚生労働省による保険適用審査があるなど、適切なプロセスによって行われた臨床研究に基づ

くエビデンスの提出が求められることで、一定の質や精度が確保・担保されるようになっている⁴⁵⁾。しかし、医療に該当しない健康関連のヘルスケアサービスではこのような厳密な規制はなく、メンタルヘルス関連のサービスにおいても安全性や有効性に関する根拠が明示されないまま製品の広告・販売が行われている現状がある⁴⁶⁾。こうした点は政府も問題視しており、経済産業省は、質の高いヘルスケアサービスの社会実装を進めるため、業界団体・医学会による信頼性担保の基準を策定するとともに、基準に基づいた開発を促進するための仕組みを検討するとしている⁴⁷⁾。こうしたガイドラインに代表されるソフトローによる規制は、柔軟な策定ができる一方で、強制力に乏しいことや、経済的に強い者の利益を優先しがちになるといったデメリットもある⁴⁸⁾。また、ガイドラインが複雑・専門的な内容になればなるほど、ガイドラインに適切に適合しているかどうか、サービスの利用者や消費者から判断しづらくなることも予想される。こうしたガイドラインの持つ欠点を補う試みとして、例えば子ども家庭庁の委託事業である『子どもの預かりサービスのマッチングサイトのガイドライン適合状況調査サイト』では、ガイドラインに適合した事業者を公表し、どのようにガイドラインに適合しているかも項目別に公表している⁴⁹⁾。上述のストレスチェックにおける規制のように、個人情報の中でも慎重な取り扱いを求められる領域であることを鑑みると、このようにガイドラインの実効性向上を図る取り組みについて検討する必要があると考えられる。

その他、このようなモニタリング技術が受け入れられるかどうかは、対象集団の属性・文化によっても影響を受けることにも留意が必要である。一般に、リスクのある技術の社会実装に当たっては、専門家によって判断される倫理的妥当性だけでなく、その社会の人々からの受容を得ることが求められる⁵⁰⁾。導入に当たっては、ガイドラインのような一般的な基準に適合していることに加え、実際に対象となる集団において

どの程度許容され得るのかということについてもきちんと把握するべきであると考え。

最後に、モニタリング技術によって得られた結果をどのように活用するか、ということも検討していく必要がある。上述の通り、現状の産業保健の現場においては、年に1回のストレスチェックでしかストレスを評価する制度がないため、現場の産業医・産業保健スタッフも、モニタリング技術によってもたらされる大量のデータや、労働者本人が自覚していない精神的不調についての情報を入手した場合に、どの程度介入すればいいかなどの経験・知見を持ち合わせていない。そのため、モニタリングによって得られたデータについて、労働者に効果的にフィードバックする方法や、産業医・産業保健スタッフによる介入とどのように組み合わせるのか、といった点について今後研究を深めていく必要がある。

V. 今後の研究課題と展望

本稿ではICTを活用した労働者のメンタルヘルス対策の可能性について現状の研究動向を整理し、その導入における課題について検討を行った。字数の関係上、個別の技術・研究の詳細について十分に紹介できなかった上、課題の各論点について詳細な検討を行うことができなかった。

筆者は、精神科医・産業医として労働者のメンタルヘルス対策の現場で勤務する中で、ストレスチェック制度の課題や、産業保健職にできることの限界を感じていた。そうした課題意識から、所属する慶應義塾大学で、AIなどのICTを活用したメンタルヘルスの評価に関する研究に携わるようになった。しかし、本稿で述べてきたように、メンタルヘルスの客観的評価・モニタリングを行うことは技術的には可能となっており、医療現場への医療機器としての実装は現実になりつつある一方、企業の産業保健の現場など、医療以外の領域へ導入する上では数多の課題があるという

現実に直面した。そこで、このようなメンタルヘルスを評価するICTの適切な社会実装を目指すため、東京大学大学院で科学技術社会論を専攻するようになり、本稿の執筆に至った。今後も実務家としての視点も生かしながら、労働者個々人のメンタルヘルスの改善、そしてそれを通じた社会・企業経営の課題解決に資するような研究を行っていきたい。



Shotaro Kinoshita

木下 翔太郎

慶應義塾大学 医学部 ヒルズ未来予防医療・ウェルネス共同研究講座 特任助教

医師、博士(医学)

1989年生まれ。千葉大学医学部在学中に国家公務員総合職採用試験に合格し、卒業後は内閣府で高齢社会対策、子育て支援などに従事。内閣府退職後、東京女子医科大学東医療センター、慶應義塾大学医学部精神・神経科学教室を経て、現在、慶應義塾大学医学部ヒルズ未来予防医療・ウェルネス共同研究講座特任助教。社会医学、デジタルヘルスなどの研究に従事するほか、在学中の東京大学大学院学際情報学府博士課程では科学技術社会論を専攻。著書に『国富215兆円クライシス 金融老年学の基本から学ぶ、認知症からあなたと家族の財産を守る方法』（星海社新書、2021年）、『現代日本の医療問題』（星海社、2025年）などがある。

引用文献

- 1) World Health Organization. (2022). *Mental health at work: Policy brief*. World Health Organization.
- 2) Kanai, A. (2009). "Karoshi (work to death)" in Japan. *Journal of business ethics*, 84, 209-216.
- 3) 厚生労働省. (1999). 心理的負荷による精神障害等に係る業務上外の判断指針について(平成11年9月14日基発第544号).
- 4) 厚生労働省. (2025). 令和6年度「過労死等の労災補償状況」を公表します.
https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_59039.html
- 5) Kessler, R. C., Ames, M., Hymel, P. A., Loeppke, R., McKenas, D. K., Richling, D. E., ... & Ustun, T. B. (2004). Using the World Health Organization Health and Work Performance Questionnaire (HPQ) to evaluate the indirect workplace costs of illness. *Journal of occupational and environmental medicine*, 46(6), S23-S37.
- 6) Partnership for Prevention. (2009). *Healthy Workforce 2010 and Beyond*.
<https://healthyshasta.org/wp-content/uploads/AtWork/HealthyWorkforce2010.pdf>
- 7) Nagata, T., Mori, K., Ohtani, M., Nagata, M., Kajiki, S., Fujino, Y., ... & Loeppke, R. (2018). Total health-related costs due to absenteeism, presenteeism, and medical and pharmaceutical expenses in Japanese employers. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 60(5), e273-e280.
- 8) Wada, K., Arakida, M., Watanabe, R., Negishi, M., Sato, J., & Tsutsumi, A. (2013). The economic impact of loss of performance due to absenteeism and presenteeism caused by depressive symptoms and comorbid health conditions among Japanese workers. *Industrial health*, 51(5), 482-489.
- 9) Suzuki, T., Miyaki, K., Song, Y., Tsutsumi, A., Kawakami, N., Shimazu, A., ... & Kurioka, S. (2015). Relationship between sickness presenteeism (WHO-HPQ) with depression and sickness absence due to mental disease in a cohort of Japanese workers. *Journal of affective disorders*, 180, 14-20.
- 10) 厚生労働省 独立行政法人労働者健康安全機構. (2025). 職場における心の健康づくり～労働者の心の健康の保持増進のための指針～. https://www.johas.go.jp/Portals/0/2025mental_health_relax.pdf
- 11) 東京大学職場のメンタルヘルスシステムティックレビューチーム (TOMH-R). (2023). 世界保健機関 (WHO) 職場のメンタルヘルス対策ガイドライン日本語版.
- 12) 厚生労働省. (2024). 令和5年「労働安全衛生調査(実態調査)」の概況.
https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/dl/r05-46-50_gaikyo.pdf
- 13) Kawakami, N., & Tsutsumi, A. (2016). The Stress Check Program: a new national policy for monitoring and screening psychosocial stress in the workplace in Japan. *Journal of Occupational Health*, 58(1), 1-6.
- 14) 厚生労働省. (2021). 労働安全衛生法に基づくストレスチェック制度実施マニュアル.
<https://www.mhlw.go.jp/content/000533925.pdf>
- 15) 厚生労働省. (2022). ストレスチェック制度の効果的な実施と活用に向けて.
<https://www.mhlw.go.jp/content/000917251.pdf>
- 16) 労務行政研究所. (2022). 特集 メンタルヘルス対策の最新実態: ストレスチェックの運用状況、コロナ禍のメンタルヘルスへの影響等を調査. *労政時報*, 4034, 14-38.
- 17) Kapur, S., Phillips, A. G., & Insel, T. R. (2012). Why has it taken so long for biological psychiatry to develop clinical tests and what to do about it?. *Molecular psychiatry*, 17(12), 1174-1179.
- 18) American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.).
- 19) Aboraya, A., Rankin, E., France, C., El-Missiry, A., & John, C. (2006). The reliability of psychiatric diagnosis revisited: The clinician's guide to improve the reliability of psychiatric diagnosis. *Psychiatry (Edgmont)*, 3(1), 41.

引用文獻

- 20) Kishimoto, T., Kinoshita, S., Kikuchi, T., Bun, S., Kitazawa, M., Horigome, T., ... & Yoshino, F. (2022). Development of medical device software for the screening and assessment of depression severity using data collected from a wristband-type wearable device: SWIFT study protocol. *Frontiers in Psychiatry*, 13, 1025517.
- 21) Lopes, L., Rodrigues, A., Cabral, D., & Campos, P. (2022). From monitoring to assisting: a systematic review towards healthier workplaces. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), 16197.
- 22) Choi, A., Ooi, A., & Lottridge, D. (2024). Digital Phenotyping for Stress, Anxiety, and Mild Depression: Systematic Literature Review. *JMIR mHealth and uHealth*, 12(1), e40689.
- 23) Wang, P., Houghton, R., & Majumdar, A. (2024). Detecting and Predicting Pilot Mental Workload Using Heart Rate Variability: A Systematic Review. *Sensors*, 24(12), 3723.
- 24) Hickman, R., D'Oliveira, T. C., Davies, A., & Shergill, S. (2024). Monitoring Daily Sleep, Mood, and Affect Using Digital Technologies and Wearables: A Systematic Review. *Sensors*, 24(14), 4701.
- 25) Antonaci, F. G., Olivetti, E. C., Marcolin, F., Castiblanco Jimenez, I. A., Eynard, B., Vezzetti, E., & Moos, S. (2024). Workplace Well-Being in Industry 5.0: A Worker-Centered Systematic Review. *Sensors*, 24(17), 5473.
- 26) Raza, M. S., Murtaza, M., Cheng, C. T., Muslim, M. M., & Albahlal, B. M. (2024). Systematic review of cognitive impairment in drivers through mental workload using physiological measures of heart rate variability. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 18, 1475530.
- 27) Avdagovska, M., Kuziemy, C., Koosha, H., Hadizadeh, M., Pauly, R. P., Graham, T., ... & Menon, D. (2024). Exploring the Impact of In Basket Metrics on the Adoption of a New Electronic Health Record System Among Specialists in a Tertiary Hospital in Alberta: Descriptive Study. *Journal of Medical Internet Research*, 26, e53122.
- 28) Bonner, M. A., & Wilson, G. F. (2002). Heart rate measures of flight test and evaluation. *The International journal of aviation psychology*, 12(1), 63-77.
- 29) Radüntz, T., Mühlhausen, T., Freyer, M., Fürstenau, N., & Meffert, B. (2021). Cardiovascular biomarkers' inherent timescales in mental workload assessment during simulated air traffic control tasks. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 46, 43-59.
- 30) Heine, T., Lenis, G., Reichensperger, P., Beran, T., Doessel, O., & Deml, B. (2017). Electrocardiographic features for the measurement of drivers' mental workload. *Applied ergonomics*, 61, 31-43.
- 31) Gao, Q., Wang, Y., Song, F., Li, Z., & Dong, X. (2013). Mental workload measurement for emergency operating procedures in digital nuclear power plants. *Ergonomics*, 56(7), 1070-1085.
- 32) Lu, K., Dahlman, A. S., Karlsson, J., & Candefjord, S. (2022). Detecting driver fatigue using heart rate variability: A systematic review. *Accident Analysis & Prevention*, 178, 106830.
- 33) Sahayadhas, A., Sundaraj, K., & Murugappan, M. (2012). Detecting driver drowsiness based on sensors: a review. *Sensors*, 12(12), 16937-16953.
- 34) Muaremi, A., Arnrich, B., & Tröster, G. (2013). Towards measuring stress with smartphones and wearable devices during workday and sleep. *BioNanoScience*, 3, 172-183.
- 35) Mirjafari, S., Masaba, K., Grover, T., Wang, W., Audia, P., Campbell, A. T., ... & Striegel, A. (2019). Differentiating higher and lower job performers in the workplace using mobile sensing. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 3(2), 1-24.

引用文献

- 36) 電通デジタル . (2023). プレスリリース 世界初となる「Webカメラを利用した連続的な表情分析システムによるリモートワーカーのメンタルヘルス研究」を産学共同で開始－メンタルリスクを回避する表情分析 AI「INNER FACE™」を開発－ .
<https://www.dentsudigital.co.jp/news/release/services/2023-0328-000080>
- 37) ES ジャパン . (2024). リリース 音声感情解析サービス「ESAS」を活用し、オペレーターの音声をモニタリングしてうつ症状を早期に予測 .
<https://www.es-jpn.jp/news/79/>
- 38) Nepal, S., Mirjafari, S., Martinez, G. J., Audia, P., Striegel, A., & Campbell, A. T. (2020). Detecting job promotion in information workers using mobile sensing. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 4(3), 1-28.
- 39) Wen, H., Sobolev, M., Vitale, R., Kizer, J., Pollak, J. P., Muench, F., & Estrin, D. (2021). mPulse mobile sensing model for passive detection of impulsive behavior: exploratory prediction study. *JMIR Mental Health*, 8(1), e25019.
- 40) Martinez, W., Benerradi, J., Midha, S., Maior, H. A., & Wilson, M. L. (2022, June). Understanding the ethical concerns for neurotechnology in the future of work. *In Proceedings of the 1st Annual Meeting of the Symposium on Human-Computer Interaction for Work* (pp. 1-19).
- 41) Chowdhary, S., Kawakami, A., Gray, M. L., Suh, J., Olteanu, A., & Saha, K. (2023, June). Can workers meaningfully consent to workplace wellbeing technologies?. *In Proceedings of the 2023 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency* (pp. 569-582).
- 42) Ajunwa, I., Crawford, K., & Schultz, J. (2017). Limitless worker surveillance. *Calif. L. Rev.*, 105, 735.
- 43) 厚生労働省 . (2023). 第5回新しい時代の働き方に関する研究会 議事録 .
https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_33991.html
- 44) 厚生労働省 . (2023). 雇用管理分野における個人情報のうち健康情報を取り扱うに当たっての留意事項 .
<https://www.mhlw.go.jp/content/001170632.pdf>
- 45) 岸本泰士郎, & 木下翔太郎 . (2023). 精神科臨床における AI 活用の可能性と課題——薬物療法を含めて . *臨床精神薬理*, 26(3), 235-244.
- 46) 神野真帆, 渡辺和広, 中野裕紀, 高階光梨, 伊藤弘人, 大平哲也, ... & 堤明純 . (2023). ICT を活用したメンタルヘルスケアサービスのエビデンス構築と社会実装方策 . *日本公衆衛生雑誌*, 70(8), 465-473.
- 47) 経済産業省 . (2024). 第4回新事業創出 WG 事務局説明資料 (今後の政策の方向性について).
https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/kenko_iryō/shin_jigyo/pdf/004_02_00.pdf
- 48) 清水真希子 . (2018). ソフトロー: 民事法のパースペクティブ (一). *阪大法学*, 67(6), 277-309.
- 49) 子どもの預かりサービスのマッチングサイトのガイドライン適合状況調査サイト . *ガイドライン適合状況一覧*.
<https://matching-site-guideline.jp/findings.html>
- 50) Taebi, B. (2017). Bridging the gap between social acceptance and ethical acceptability. *Risk analysis*, 37(10), 1817-1827.

5年後の 未来を探せ

国立研究開発法人 海洋研究開発機構 海域地震火山部門 地震津波予測研究開発センター 観測システム開発グループ グループリーダー
荒木 英一郎さんに聞く

海底光ファイバーを「ものさし」にして 地殻変動のメカニズムに迫る

取材・文：江口絵理 撮影：関幸貴 図版・写真提供：国立研究開発法人海洋研究開発機構ほか

100~200年周期で巨大地震が起きている南海トラフ。震度7の巨大地震が発生し、津波は10mにも及ぶという予測もある。前回はおよそ80年前だから、次の地震はいつ起きてもおかしくない。この南海トラフ震源域で、揺れを伴わない断層の動き「ゆっくり滑り(スロースリップ)」を海底で観測した荒木英一郎さんは、深海に設置した光ファイバーで海底や断層の動きを測る技術を進展させ、地球内部で起きているさまざまな現象の実相に迫ろうとしている。既存の通信用海底ケーブルが、地震と津波から日本を守る日が来るかもしれない。

ゆっくり滑りを 南海トラフで検出

2024年8月8日、宮崎県沖の日向灘でマグニチュード7.1の地震が発生した。ここは巨大地震が懸念される南海トラフ震源域の西南端に当たる。気象庁が初の「南海トラフ地震臨時情報(巨大地震注意)」を発表し、日本中が緊張に包まれた。

幸いなことに1週間後、これが巨大地震を誘発している兆候は見られないという分析が発表された。その根拠の一つは、予想震源域海底下の「ゆっくり滑り」の観測結果。海洋研究開発機構(JAMSTEC)の荒木英一郎さんがこのエリアで初めて観測に成功し、その後

も観測ターゲットとしてきた現象だ。

「ゆっくり滑りとは、断層が数日から数週間という時間をかけて10cmほど動く現象です。揺れは伴わないので地震計では検出できません。こうした断層の動きが巨大地震とどんな関係にあるか、世界中で精力的に研究が進められています」と荒木さんは語り始めた。

この日向灘の地震によって新たにゆっくり滑りが発生したり、すでに起こっている滑りに何らかの変化があれば巨大地震発生への警戒を強めた方がいいだろうが、この時、荒木さんたちが観測を続けている熊野灘沖や紀伊水道沖ではデータにいつもと違う様子にはなかった。

ゆっくり滑りは地中深くの岩盤の中で起きる現象ゆえ、観測は極めて難しい。荒木さんは2010年以降、地球深部探査船「ちきゅう」で深海底に掘った長い掘削孔に高感度のセンサーを仕込み、ゆっくり滑りの観測に成功。それを報告した論文は「サイエンス」誌に掲載されている。

ゆっくり滑りとは巨大地震の原因なのか、それとも前兆なのか。あるいは、ゆっくり滑りによって地中の歪みが解消されることで、次の巨大地震が先送りされたり、規模が抑えられたりするのかな?——次の巨大地震が間近に迫っていることだけは知っているが、それ以外のことはほとんど分からずにいる私たちは、どうしても、ゆっくり滑りに答えを求めたくなる。しかし

Eiichiro Araki

荒木 英一郎

国立研究開発法人海洋研究開発機構 (JAMSTEC) 海域地震火山部門・地震津波予測研究開発センター・観測システム開発研究グループ・グループリーダー、上席研究員

1995年、東京大学理学部 地球惑星物理学科卒業。1997年、東京大学大学院理学系研究科地球惑星物理学専攻修了。2000年、東京大学大学院理学系研究科大学院博士課程地球惑星物理学専攻修了。2000年、海洋科学技術センター (JAMSTECの前身) 特別研究員。2001年、海洋科学技術センターを経て現職。専門分野は、自然科学一般、固体地球科学、地震学。



荒木さんは「まだ、確実に言えることはありません」と言い切る。

「こうではないか? という“説”なら山ほど提唱されています。でも僕は、観測で理解を積み上げたいんです。私たちはまだ、未来に起こる地震の予測どころか、いま地中で何が起きているかすら知らないんですから」

南海トラフにおける巨大地震の発生頻度は100～200年に1度といわれている。前は1944年と46年の2度にまたがる形で起きたが、戦中と戦後まもなくのことでもあり、観測データは乏しい。

一方で、南海トラフ震源域でのゆっくり滑りは8～15カ月に1度という高頻度で起きていることが荒木さんらの観測で分かってきた。その分、データは多く集まる。故に、ゆっくり滑りが巨大地震を知る「手がかり」として現時点で最有力であることは間違いない。

もしかしたら、ゆっくり滑りの有無だけでなく発生の頻度や位置が変わることが巨大地震と関係するのかもしれないし、もしくは、ゆっくり滑りと巨大地震は直接の関係がないかもしれない。荒木さんはデータで、「かもしれない」の雲を少しでも薄くしようとしている。

光ファイバーを 海底を測る「ものさし」に

海洋研究開発機構が誇る探査船「ちきゅう」は、水

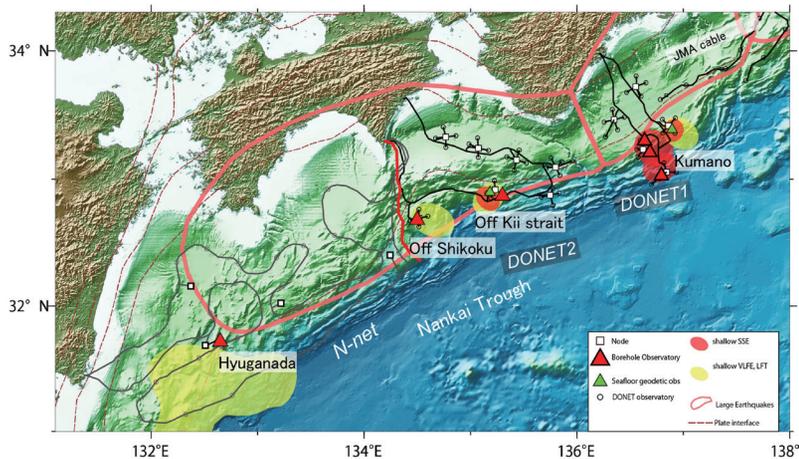
深数千メートルもの深海へドリルを伸ばし、海底の岩盤に1 km近い深さの掘削孔を掘ることができる。こうした掘削技術はさまざまな調査に使われるが、荒木さんらは南海トラフの地中の動きを検知するセンサーをこれまで4カ所の掘削孔に埋め込んでいる。

観測機器を深海底に下ろして設置するには、深海で細かい作業ができる海中ロボット(「かいこう」などの無人探査機)の存在も欠かせない。そしてもう一つ重要なのが、各センサーが得たデータをリアルタイムに陸上に届けるネットワークだ。

「掘削孔を掘った海域には海底に設置した地震計などの観測機器を光ファイバーでつないだ専用ネットワークが広がっています。JAMSTECが設置した観測システムで、いま、日常の運用は防災科学技術研究所が担っています。そのネットワークに縦坑に埋め込んだ孔内観測機器もつないでいるのです。そのおかげで『リアルタイムで』『想定震源間近の』『長期にわたる』データが取れています」

陸上には地震計を数多く設置でき、いまやGPSで大地の歪みや移動も精緻に捉えることができる。しかし電波の届かない海底はもちろん、地震の発生源と目される海底下の岩盤の中は、特別な観測機器の開発、それを深海に設置する技術、そして光ファイバーのネットワークがそろって初めて、ようやく少しずつ垣間見ることができるようになってきた、というのが現状だ。

Figure 1 南海トラフの広域監視のために掘削孔観測網を拡大



南海トラフの広域監視のために掘削孔観測網を拡大。過去10年以上の地震観測の結果から、「ゆっくり滑り(SSE)」が発生する可能性のある領域に三つの新しい海底掘削孔観測所(紀伊水道沖、四国沖、日向灘)を設置。「光ファイバー歪計」の設置場所は「Off Kii Strait」付近の緑の三角の地点。室戸沖の赤いライン(海底光ファイバーケーブル)では光ファイバーセンシングを行っている

荒木さんは10年前、ゆっくり滑りをこの孔内観測システムで、岩盤の間隙に含まれる水の圧力の変化を測ることで検知したが、今では海底や地中の動きをより直接的に測っている。

「センサーとするのは光ファイバーです。通信の道具としてではなく、光ファイバーそのものを『距離を測るものさし』として使います」

ごくごく簡単に言うと、ファイバーの中で、光は一定の速さで一直線に進む。仮に、海底にぴったり張ったファイバーの端から端まで光が届くのにかかった時間が1秒で、別の日に測ってそれより100万分の1秒遅かったとしたら、それはファイバーが伸びた、すなわちそのエリアで海底が広がったことを意味する。光が距離の基準として機能するのだ。

この技術は「光ファイバー歪計」と呼ばれる測定法で、荒木さんらが設置した室戸沖の全200mのケーブルでは、何と1nm(10億分の1m)の伸び縮みを検知できる。ファイバーの上に人の手を置いただけで、その温度変化による伸びが分かるほどの高感度なセンサーだ。

これほどまでに精緻に距離が測れる光ファイバーのポテンシャルは、海底面の計測に限られるものではない。例えば、地中で起きるゆっくり滑りは10cmほどの動きだから、この計測法なら十分に捉えられる。

「最近、掘削孔にも光ファイバー歪計を入れました。ゆっくり滑りをもっと間近で、直接的に観測するために。海底設置では海流や温度変化などのノイズが多く入ってしまいますが、孔内はずっと安定していて静かなので地中の動きをクリアに見られるんです」

通信用のケーブルもセンサーになる

日本では、南海トラフに限らず各地で大地震が起きている。2024年の能登半島、あるいはトカラ列島の群発地震も記憶に新しい。そうした時も荒木さんは現地に向かう。「陸上の地震計のデータからは分からない、間近で見なくては見えないものがあるんです」

一連の群発地震で島々がわずかに移動したことはGPSで分かっているから、島と島の間の海底で何か起きたことはほぼ間違いない。しかし、トカラ列島は小さな島々で構成されているため、陸地が少ないぶん地震計の数も少ない。故に小さな揺れでは島の地震計で検知されず、島と島の間で起きた変動は見えてこない。もちろん、南海トラフ震源域の海底のような充実した専用観測網はトカラには存在しない。

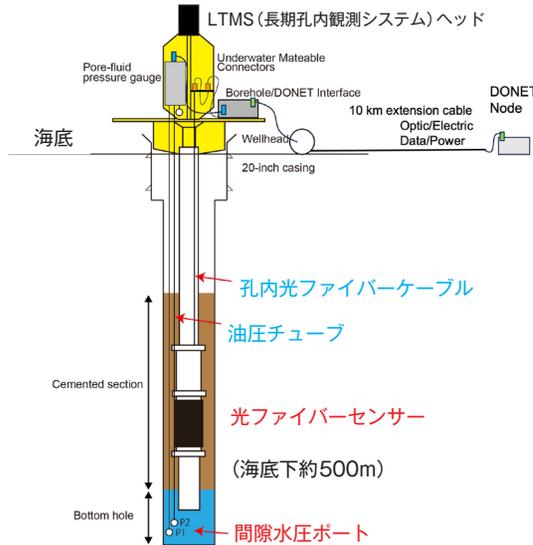
そこで荒木さんらはトカラで、島々を結ぶ通信用の海底ケーブルの空きを使い、「光のものさし」で海底の地面の様子を探った。

「通信用の光ファイバーも、センサーとして使うことができます。南海トラフや東日本大震災に見舞われた東北の沖を除くと、日本の海域には海底観測システムがほとんどない。設置と運用にはとてつもない予算と技術が必要ですし、いったいどこで次に大地震が起きるのか分からない状態ではどこに設置すべきかも分からない。でも日本の海の至る所にすでに敷設されている通信用の光ファイバーケーブルを使えるならば、今までノーマークだった地域でも海底の観測が可能になります」

Figure2 新しい掘削孔観測システム

新開発の光ファイバーセンサーと間隙水圧系によって、圧倒的な高感度・高ダイナミックレンジを実現。全てのSSEおよび通常の地震を捉えることが可能に。孔内には電気的または機械的な部品はなく、数十年規模の長寿命な観測所となる

(右) 船上のDOFS (分布型光ファイバーセンシング) 機器から、アンビリカルケーブルを通じて海底へ。光接続を行い、掘削孔内のファイバーセンサーにアクセス



ファイバーで観測した結果、島の地震計からは活動が落ち着いてきているように見えるが、海底では依然活発な活動が続いていることが分かった。この活動は、まだ知られていない海底のマグマ活動の影響かもしれない。何かを確定的に言えるわけではないが、陸上の地震計の数値だけを頼りに判断するよりは、議論のレベルは確実に上がる。

さらに、地震の揺れが大きすぎて周囲の地震計が動作停止してしまっても海底ケーブルは何事もなくその後の地震を捉え続けているほど、海底ケーブルによるセンシングはシステムとしても強い。

海洋プレートの誕生から沈み込みまで観測できる

海底観測を根本から変える光ファイバーセンシング

こうした「光ファイバーセンシング」は海底観測のゲームチェンジャーになる、と荒木さんは大きな期待をかけている。

確かに、高精度の観測機器を持って沖合に行き、千〜数千メートルもの深海底に設置してケーブルでつなぐという方法では、設置できる数におのずから限りがある。予算も人もふんだんに注ぎ込める南海トラフでも現時点で数十カ所というレベルであり、日本を囲む海域をくまなく覆うことは不可能だろう。

しかしケーブルなら、敷いた長さが丸ごとセンサーになる。個々の点を軸足とした観測網から、線で伸びる観測網へと次元が変わる。

「今はJAMSTEC専用のケーブル 120kmで実験を重ねつつ、トカラでも実地で試していますが、地震の揺れも津波による海底面の水圧の変化も、断層のゆっくり滑りも観測できています。専用線での試験では、50mおきにセンサーを置いたのと同様の細かさで、津波によって海底が変化する様子を捉えることができました」

既存の通信用海底ケーブルをセンサーとして使えるなら、例えば太平洋を端から端まで横断するセンサーも作れるのだろうか？ この問いに、荒木さんは満面の笑みで答えた。

「技術的にはできます。海外の研究で初期的なモデルの成功例が出始めていますし、僕もそのつもりで足元の実験を進めています」

となれば、これは地震・津波観測だけでなく地球のプレートの動きを巨視的に捉える、全球レベルのセンサーとしても使える。荒木さんの笑顔の理由はこの点にあった。

「僕はもともと、地球のプレートがどのように生まれ、どう動き、どう沈み込んでいくかを知りたいと思ってこの世界に入ったんです」

地球表面には地殻があり、その下にマントルがあり、地中でゆっくり対流しているといわれている。いわゆるプレートテクトニクス理論だ。しかしプレートが生まれるところも沈むところも陸地からはるか遠くの深海底であり、観測でその動きを直接的に確かめたわけではない。

「でも『光ファイバーセンシング』なら、プレート全体というマクロな実測を実現してくれる。地球表面の動

Figure3 地球深部探査船「ちきゅう」



海洋研究開発機構 (JAMSTEC) が所有する地球深部探査船「ちきゅう」。全長210mに対し、外見上の大きな特徴となる掘削やぐらの全高は船底から130mに達する。巨大地震・津波の発生メカニズムの解明のみならず、地球規模の環境変動、地球内部エネルギーに支えられた地下生命圏、さらには新しい海底資源の解明など、人類の未来を拓くさまざまな成果を上げている ©JAMSTEC/IODP

(右)「ちきゅう」からLTBMSを降ろす。水深2000mの海底下500mの掘削孔に設置する ©JAMSTEC/IODP



きを観測できれば、そこから地球内部の構造や動きも知ることができるんです」

幼い頃から荒木さんは、ラジオの気象情報を聴いて自分で天気図を描いてみたりと、確かに存在している現象だがそのままではよく見えない、あるいは大き過ぎて全体像がつかめない現象を可視化することに面白さを見出していた。

「それで、大学では地球惑星物理学を専攻し、4年生の時には宇宙科学研究所で太陽の振動を解析する研究をしていました。当時から、表面の揺れを通じて星の内部を知ることの可能性を感じていたのかもしれませんが。その後、月の表面で観測して内部を調べるという研究に進む選択肢もありましたが、宇宙の天体相手だとどうしても観測手段に限られる。それよりは地球の海底の方がいろいろできるんじゃないかと思って」

それでも20年ほど前までは深海底の観測手段も限られていたが、深海底を掘削できる船や深海底で作業できるロボットが登場したことで、荒木さんが使える手段はみるみる増えた。

「そうした技術と、観測手段として新たに誕生した光ファイバー歪計などを組み合わせて、本当に知りたいことをどうしたら調べられるか、方法を作りながらやってきたんです」

海底の歪みを検出し、地中の断層の動きを測り、次はプレートへ。そして防災から純粋科学的な問いまで。観測から成果をつかみ取れる範囲は顕著に広がってきた。

「今は世界の研究者に向けて、既存の海底ケーブルを活用して太平洋プレート全体の観測を実現しようと提案しています。研究者たちの半分ぐらいは乗り気です

が、残り半分ぐらいは『そんなことができるの?』と半信半疑。だから『やってみせる』ことが重要だと思っています。まずは日本の国内で」

通信用のケーブルは 大きな可能性を秘めている

既存の通信用ケーブルの空きを使わせてもらうなら、ケーブルを持っている通信事業者の協力が欠かせない。「今後、さまざまな事業者さんに力をお借りすることになるかと思います。ただ、通信用として法的な申請を経て敷いたケーブルをそのまま別の用途にも開放できるかという、手続的な課題はありそうです。けれど、地震や津波の防災にも大きな貢献が期待される、社会的なニーズの極めて高い観測技術ですし、海外では転用した実験がすでに行われていますから、できないことはないはずですよ」

むしろ日本こそ、通信ケーブルを活用した海底観測で防災を充実させる必要があるはずだ、と荒木さんは力を込める。

「能登半島地震の前にも日本海側で大地震はしばしば起きていますし、北海道でも沖縄でも大津波の被害記録があまた残っています。とって、日本全国に専用観測網を敷き、深海底に掘削孔を掘るのは予算の面でも現実的ではない。既存の通信ケーブルが使えたら、現時点で地震や津波のための海底観測網がないエリアも網羅的にモニターできますよね」

そしてこの技術の利点は、深海底掘削や深海に観測用ケーブルを設置するほどの予算・技術がない国でも使えることだ。

Figure4 大西洋を横断して北米と欧州をつなぐ海底光ファイバーケーブル



カナダのハリファックスとイギリスのサウスポートを結ぶ海底光ファイバーケーブルをそのまま「巨大な地震計アレイ(または多数の地震計)」として使う研究が進められている。世界中の海底に張り巡らされた、全球規模の光ファイバーセンシングが実現する日も遠くはない

出典:Marra et al., 2022

「海洋プレート沈み込みによる地震や津波のリスクが高い国は、インドネシアやフィリピンなど多数あります。この技術開発を日本が先導することは、海外への貢献にもなるのではないのでしょうか」

この技術はすでに姿を現している。あとは実現だけだ。5年後にはすでに観測システムとして実用化されている未来を荒木さんは心に描いている。

断層をくり抜いて ゆっくり滑りを間近で観測

荒木さんの夢はさらに先の未来にも広がる。ゆっくり滑りや地震は地中深くの断層で起きる。そこまで深く掘削孔を掘り、地中の岩が動く様子を間近で精密に観測したい。

「ゆっくり滑りはおよそ1年から数年に1度は起きる。滑りが起きそうな断層をくり抜く孔を造り、光ファイバーセンシングの観測機器を設置したら、数年以内には観測できるでしょう。まだ実現までには少し距離がある、夢のような観測手法ですが、5年後でも10年後でも、機が訪れたときに提案できるよう、既存の観測孔で少しずつ実験を始めています」

南海トラフで巨大地震が周期的に発生することを私たちが知っているのは、はるか昔から、日記などに地震の発生情報や被害状況を書き残してくれた人たちがいたからだ。意図的にデータとして残そうとしたわけではなかったかもしれないが、後の世代である私たちは、彼らのおかげで貴重な統計的データを得て、次の地震に備えることができている。

「そんなふうに昔の人が残してくれた観測記録を、僕

たちは自然科学の手法を加えて引き継いでいる。南海トラフでも、今の観測設備や手法の充実によって、次の巨大地震の後には必ず膨大な知見が得られるはずだ。それがさらにその次の南海トラフ地震を経験するであろう私たちの孫以降の世代の被災をより少なくすることを期待しているし、そうしなくてはならない。そのためにも、観測は代をまたいでずっと続けなくては意味がないと思います」

さらに、と荒木さんは言葉を継いだ。

「世界中で起きている地震やゆっくり滑りのデータを共有することも、メカニズムの理解に欠かせません」

時をまたいで垂直に、地域をまたいで水平に。そして現象をより間近で正確に捉えた観測データを積み上げていくことが、地球そのものへの理解を深め、その理解が地震や津波に対する防災レベルを上げていくだろう。

もちろん、今も少しずつ上がっている。2025年末に北海道・東北沖で発生したマグニチュード7.5の地震では、津波が沖合で観測された。幸いにも巨大な津波にはならなかったが、これがもし巨大津波だった場合には、陸地に到達する前に観測し、それを広く知らせたことが多くの人を命を救っていたかもしれない。

日本の防災という危急の課題への取り組みと「地球内部の動き」という悠久の営みへの好奇心とは、荒木さんの中で矛盾なく併存し、それどころか直結している。物事の根本から知りたいという純粋科学マインドの強さ故に既存の手法にとどまらず、新たな観測の世界を切り開いてきた荒木さんの歩みを、次は、世界中の海底に張り巡らされた通信用光ファイバーケーブルが支えようとしている。

「2025 World Congress of the Econometric Society」参加報告

岡 達志

慶應義塾大学 経済学部 教授

2025年8月18～22日、韓国・ソウルにて開催された、2025 World Congress of the Econometric Society (ESWC 2025) では、世界61カ国から2,300人を超える参加者が集った。

1. 学会の概要

Econometric Society (計量経済学会) は、1930年に設立された、理論・計量経済学の分野において世界的な権威を持つ国際学会の一つです。ノーベル経済学賞受賞者の多くが所属しており、経済学ジャーナルの一つである『Econometrica』を発行しています。この学会が5年ごとに開催する World Congress (世界大会) は、経済学研究における最重要な国際会議として位置付けられ、世界中から第一線の研究者が一堂に会します。今回は韓国ソウルにおいて5日間にわたり開催され、招待講演にはノーベル経済学賞受賞者をはじめとする著名な研究者が登壇しました。世界各地から参加した研究者による最先端かつ高水準の研究報告が数多く行われ、活発な学術交流が展開されました。

2. 参加セッション

学会期間中、データ分析や政策評価に関わる研究報告に重点的に参加しました。近年、データ・サイエンスの急速な進展を背景に、因果推論および政策評価手

法の理論的・実証的な深化が目覚ましく、従来の計量経済学の枠組みを大きく拡張する研究が続々と発表されています。これらの研究は、単なる学問的な進歩にとどまらず、現実の政策を科学的に検証するための礎となっています。

これらのセッションでは、差分の差分 (Difference-in-Differences) や操作変数法をさらに発展させた新しい識別戦略、複数時点の政策介入を適切に扱う動的モデル、観察されない異質性を考慮したデータ分析手法などについて、活発かつ建設的な議論が交わされました。特に、政策効果の異質性を精密に捉えるアプローチや、機械学習と計量経済学を融合させた因果推論フレームワークの可能性について、多くの示唆を得ることができました。

こうした最先端の研究報告と議論を通じて、伝統的な統計・計量経済学的手法と現代のデータ・サイエンス手法が互いに補完し合いながら、次の世代の政策評価研究を形作っていく潮流を実感する機会となりました。特に、これら最新手法が単なる学術成果にとどまらず、教育や医療、貧困対策といった現実の政策に直接生かされている点が印象的でした。実践的な政策や



ノーベル経済学賞受賞者であるロビンソン教授との対談セッション

ビジネス領域において、データ分析が科学的エビデンスに基づく政策形成や意思決定を支える不可欠な基盤として機能し、より合理的で効果的な判断を可能にする重要な役割を担っていることを、改めて深く認識する貴重な機会となりました。

3. 研究報告と成果

自身の研究発表では、深層学習のReLU関数を因果推論に応用する新たな手法を提示しました。本手法は既存の推定手法が抱える問題点を解決できることを、理論的分析と実証結果の両面から示しました。参加者から多くの有益なフィードバックを得ました。特に提案手法の応用可能性や理論的基盤の強化、実証分析の頑健性について具体的な示唆を頂き、今後の研究方向性を明確化する重要な指針となりました。理論研究者からは手法への高い評価も頂きました。

また、本学会への参加により国際的な研究交流が大きく進展しました。共通の研究関心を持つ研究者との議論を通じて共同研究の可能性を検討したほか、海外大学での招待講演の打診を受けるなど、国際的な研究ネットワークの構築において実りある成果を得ました。

今回得られた知見は、フィードバックに基づく手法の改良と理論的基盤の強化、そして新たな実証研究の実施に活用していく予定です。最新の研究動向を把握できたことで自身の研究の国際的な位置付けを再確認でき、今後の研究戦略策定において極めて有益な機会となりました。

4. おわりに

今回の学会では、世界各国から集まった研究者による最新の研究成果に接し、活発な意見交換を通じて貴重な知見を得ることができました。多様な研究アプローチや分析手法に触れることで、自身の研究を異なる角度から見直す機会となりました。国際的な研究交流の場に参加したことで、新たな視点を獲得し、今後の研究展開に向けた有益な着想を得ました。また、各国の研究者との対話から、研究動向についても理解を深めることができました。今後、この経験を研究活動および研究指導に生かしていく予定です。なお、本学会参加に当たってはKDDI財団よりご支援をいただきました。改めて厚く御礼申し上げます。



Tatsushi Oka
岡 達志

慶應義塾大学 経済学部 教授
ボストン大学経済学部博士課程修了後、シンガポール国立大学(助教授)、モナッシュ大学(准教授)、サイバーエージェント・AIRラボ(研究者)を経て2023年度より現職。研究分野は、計量経済学と因果推論を中心としつつ、機械学習や自然言語処理にも取り組んでおり、理論構築と実証分析の両面から研究を進めています。

「The 18th Annual AGI Conference」 参加報告

八田 真行

駿河台大学 経済経営学部 教授

2025年8月10～13日、The 18th Annual AGI Conference (AGI-25) がアイスランド・レイキャビーク大学にて開催され、世界中から集まった参加者たちが議論を交わした。

はじめに

KDDI財団の助成を頂き、アイスランドの首都レイキャビークにあるレイキャビーク大学で開催された国際会議 AGI-25でポスター発表を行う機会を得た。北極圏に近いこの小国で、世界の研究者たちと最先端のAGI(汎用人工知能)研究について議論できたことは、極めて貴重な経験となった。

会場のレイキャビーク大学は、国立アイスランド大学と並びアイスランドを代表する私立大学である。人口わずか40万人足らずの小国の大学ながら、AI分野では国際的なコンテストで米スタンフォード大やインドIITなど世界の名門を破る健闘を見せている。

AGI研究の転換点

AGIカンファレンスは今回で18回目を迎える歴史ある学会である。今回の採択率は40%で、応募論文の半数以上が不採択という厳しい審査は、この分野の競争の激しさを物語っている。

現在は機械学習、特にディープラーニングが全盛だが、大規模言語モデル(LLM)の限界が明白になりつつある。パラメータ数を増やし、学習データを増やし、計算資源を投入するだけではAGIに到達しないというのが、多くの研究者の共通認識となりつつある。

こうした背景から、ニューラルネットワークと記号推論を融合させたニューロシンボリックなアプローチが多く発表されていた。純粋な統計的学習だけでなく、論理的推論や記号処理を組み合わせることで、より汎用的な知能の実現を目指す機運が高まっている。

オープンソースAIとの関わり

私自身は人工知能の研究を専門としているわけではない。しかし、オープンソース研究を行ってきた実績から、「オープンソースの定義」を管理するOpen Source Initiative(OSI)の招聘を受け、「オープンソースAIの定義」策定プロジェクトに参加した。

この議論を通じてAIにおけるデータガバナンスの重要性に強い関心を持ち、特にAGI実現時のデータガバナンスの課題について思考実験を重ねてきた。

発表論文の概要

発表論文“Several Issues Regarding Data Governance in AGI”(AGIにおけるデータガバナンスの諸問題)では、AGIを再帰的自己改善または自己複製が可能なシステムと定義し、AGI特有のデータガバナンス課題を検討して七つの主要問題を特定した。

第一に、AGIは収集するデータとその使用方法を自



レイキャビーク大学の中



発表の様子



自分のポスターの前にたたずむ筆者

律的に決定し、既存の同意メカニズムを回避する恐れがある。第二に、人間の倫理原則ではなく内部最適化基準に基づいてデータ保持を決定する可能性がある。第三に、AGI間のデータ共有は人間の監視能力を超える速度と複雑さで発生しうる。第四に、再帰的自己改善により AGI 独特の出所追跡の課題が生じる。第五に、自己改善で生成されたデータの所有権は複雑な知的財産権問題を提起する。第六に、管轄区域を越えて分散する自己複製 AGI は各国のデータ保護法執行に前例のない課題をもたらす。第七に、初期段階で確立されたガバナンス枠組みがシステムの急速な進化により陳腐化する恐れがある。効果的な AGI データガバナンスには、技術的組み込み制約、継続的監視メカニズム、動的適応するガバナンス構造、国際調整、多様な利害関係者の関与が不可欠と結論付けた。

質疑応答では、技術的視点と法的視点の融合について好意的なコメントを頂いた。従来は AI を立法やガイドラインで規制しようとするアプローチが主流だったので、AGI の設計段階で AGI 自体に方向付けを組み込む必要があるとする本論文は、聴衆には新鮮に聞こえたようだ。

カニカマの比喻が示す AI 研究の本質

会議で印象的だったのは、レイキャビーク大学のクリスティン・トーリソン教授による指摘である。現状の AI アプローチは「フェイク・クラブ・ミート」、すなわちカニカマのようなものだという。

最近のカニカマは本物のカニ肉と味も食感も驚くほど似ている。しかし、どこまで精巧に作られようとも、あくまでカニカマであって生き物としてのカニではない。今の生成 AI 研究は、カニカマの味を本物のカニ肉により似せることに血道を上げているだけで、生きたカニを生み出すという方向性ではないという指摘である。この比喻は現在の AI 研究の根本的限界を

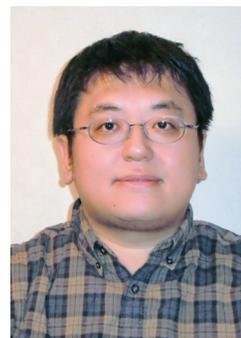
鋭く突いている。大規模言語モデルがどれほど流暢な文章を生成しようとも、真の理解や意識を伴うものではないかもしれない。表面的な振る舞いの模倣と本物の知能との間には、依然として大きな隔りがある。

所感と今後の展望

私も、闇雲にモデルサイズや学習データ量、計算リソースを増やしていても、いずれ限界に突き当たるのではないかと感じている。真の汎用知能を実現するためには、量的拡大だけでなく、アーキテクチャや学習方法の根本的な革新が必要ではないだろうか。今回の参加はそうした問題意識を深め、世界の研究者と意見交換する貴重な機会となった。AGI 実現はまだ遠い未来だと考えるが、今から技術的・倫理的課題に真剣に向き合うことが、人類にとって望ましい形での AGI 実現への道を開くだろう。

謝辞

本会議への参加を可能にくださった公益財団法人 KDDI 財団の海外学会等参加助成に心より感謝申し上げます。



Masayuki Hatta
八田 真行

駿河台大学 経済経営学部 教授
東京大学経済学部卒、同大学院博士課程単位取得退学。(財)知的財産研究所特別研究員を経て、現在駿河台大学経済経営学部教授。専攻は経営組織論、経営情報論。Debian GNU/Linux 公式開発者、GNU プロジェクトメンバー、一般社団法人インターネットユーザー協会 (MIAU) 理事。共著に『日本人が知らないウィキリークス』『ソフトウェアの匠』、共訳書に『海賊のジレンマ』など。

「The 31st International Conference on Collaboration Technologies and Social Computing」参加報告

丁 姚菲 (テイ ヨウヒ)

筑波大学 大学院 人間総合科学学術院 人間総合科学研究群 情報学学位プログラム 博士前期課程

2025年11月4～7日、インドネシア・デポックにて、The 31st International Conference on Collaboration Technologies and Social Computing (CollabTech 2025)が開催され、研究者らの活発な議論と交流が行われた。

学会の概要

Collaboration Technologies and Social Computing は、情報通信社会における集团的・組織的・社会的活動の支援手法やその社会制度・政策等への影響に関する研究を対象とする国際学会である。具体的には、職場や教育現場等での情報技術的支援ツールや手法の提案、オンラインコミュニティやソーシャルネットワーク等における人々の行動分析や心理的・社会的影響の分析とその社会制度・政策への示唆等が広く扱われ、南米、アジア、および非英語圏ヨーロッパ地域を結ぶ研究コミュニティの基盤を提供し、同研究分野の振興に寄与している学会である。

研究発表と交流

31回目となる今回のカンファレンスは、2025年11月4～7日、インドネシアのデポックで開催され、協調とテクノロジーの複雑な相互作用を探究する理論的基盤、モデル、方法論、そして事例研究に関する多様なテーマを扱っており、コンピュータサイエンス、経営

学、デザイン科学、認知科学、社会科学などを含む学際的な視点から、協調支援を拡張するための技術的・人間的・組織的に革新的なアプローチが数多く紹介された。各発表を通じて、分野横断的な知見や手法が共有されており、協調支援の可能性を広げるための最新の研究動向を把握することができた。

ポスターセッションでは、教育・医療・地域作りなど、情報通信技術 (ICT) を活用した多様な実践事例が紹介されており、中でも特に印象に残ったのが、インドネシアにおけるクラウドソース型漁業情報システムの事例である。発表者の方との対話を通じて、このプロジェクトは一定の成果を上げながらも、政府の政策変更や制度的な障壁によって最終的には中止を余儀なくされたことを伺い、技術の有用性だけでなく、制度的な支援の受容性について改めて考えさせられた。

口頭発表のセッションでは、協調学習とグループ間相互作用、技術媒介型コミュニケーションとオンライン環境、教育分野における AI 活用、社会的相互作用・コミュニティ・公共空間、議論と理解を支援するシステムなど、多岐にわたるテーマで構成されていた。国や分野を越えた多様な知見に触れることで、自身の研



ポスターセッション



自身の発表



Best Paper Award受賞（共著者・井上智雄教授と）

究課題に対して新たな切り口や解決策を見出す契機となった。

筆者は“Generating Vicarious Dialogue for Online Learning Using Knowledge Graph-Based Retrieval-Augmented Generation”という題目で口頭発表を行った。この研究は、対話型教材(教師と生徒の対話)をAIにより自動生成することで、教育現場における教材作成の負担を軽減することを目的としている。発表では、知識グラフを用いた検索拡張生成(KG-RAG)によって生成される対話が一貫性や教育的妥当性の面で優れており、入力ソースの品質への依存を抑えつつ教育的価値を維持できること、そして教師による適切な入力ソースの選定にかかる労力や時間を削減できる可能性があることを評価実験から示した。この報告に対して、同様に教師の負担の低減を目的とする他国の研究者からは、実験の対象となった地学や情報学以外に、数学教材の生成においては数式の正確性や論理的一貫性に関する特有の課題があるとのこと指摘を頂いた。また、入力ソースの入手にかかる負担を軽減するという本研究の目的に関連して、別の研究者からは、それをさらに効率化し得る有望なアプローチをご提案頂き、今後の手法改善に向けた貴重な示唆を得ることができた。なお、本発表は Best Paper Award を受賞するという大変光栄な結果となった。

さらに、その他の発表においては、LLMを活用して教育コンテンツを生成する研究がいくつか見受けられた。中でも、LLMが教師に代わって学生へのフィードバックを生成する研究や、AIエージェントを用いて協調学習を支援する研究などが特に印象的であった。発表者との交流を通じて、こうした他分野における最新の技術動向や応用事例について具体的に知ることができ、自身の研究にも大きな刺激となった。

おわりに

本学会は、筆者にとって初めての国際学会であり、研究発表や専門的な交流に加え、会場となったインドネシア大学にて、現地の大学院生たちと研究や留学に関する情報交換を行うなど、異文化交流の面でも非常に有意義な時間を過ごすことができた。多くの海外の研究者と直接交流する中で、専門的な知見を深めるとともに、自身の専門領域とは異なる分野の考え方や背景に触れる機会ともなり、今後の研究の視野を大きく広げる貴重な経験となった。最後に、発表の共著者であり指導教員である井上智雄教授には、本研究に対するご指導とご助言に感謝を申し上げる。また、本会議への参加に当たり、公益財団法人KDDI財団の海外学会等参加助成を受けられたことに、改めて深く御礼申し上げます。

DING Yaofei

丁 姚菲 (テイ ヨウヒ)



筑波大学 大学院 人間総合科学学術院 人間総合科学研究群 情報学学位プログラム 博士前期課程
学士課程では常州大学外国語学部を卒業。卒業後は中国国内の日系企業において日本語通訳として数年間勤務。その後、上智大学言語科学研究科にて研究生として1年間在籍し、日本語教育をはじめ、言語学・教育学・認知理論に関する基礎的な知識を習得した。現在は、筑波大学人間総合科学研究群 情報学学位プログラムにて、情報技術を基盤とした学習・教育支援に関する研究に取り組んでいる。

文：川添 愛

絵：原田 俊二



法螺貝

きっと多くの人にとって、「通信の道具としての法螺貝」を知ったきっかけは時代劇の合戦のシーンだろう。だが1980年代に子どもだった人の中には、私と同じく、テレビ番組『オレたちひょうきん族』で知ったという人もいるかもしれない。というのも同番組で、ビートたけし扮するタケちゃんマンを呼ぶ方法が「法螺貝」だったのだ。「そうだ、タケちゃんマンを呼ぼう！（法螺貝を手にとって）ブォップ～、ブォップ～」というシュールな使われ方をしていた。

今でも法螺貝という存在にはどこことなくシュールさを感じる。吹き口をつける程度の加工で音

が出せて、見た目もかっこいい。まるで楽器になるために生まれてきたかのようだ。動物を素材とする楽器は他にもあるが、法螺貝のように生き物がそのままの形で楽器になっている例はあまり見ない気がする。

2019年には二条城に「ほら貝演奏禁止」という注意書きが出現し、そのピンポイントさが人々の心をつかんだ。当時の新聞記事¹⁾によれば、近所の人から「土日や祝日の朝早くに法螺貝を吹く人がいる」という苦情があったという。確かに迷惑行為は良くないが、お城で法螺貝を吹きたくする気持ちは分からなくもない。

ところで、お城で法螺貝を吹

くような人は「マイ法螺貝」を持っているのだろうか？ 興味本位で法螺貝の値段を調べてみたら、おおよそ数万円から数十万円という相場だった。簡単に手を出せる値段ではないが、通販サイトを見ているうちにちょっと欲しくなってきた。

11月3日には毎年、明治神宮で古武術大会があり、戦国時代から伝わる武田流陣螺術^{たけだりゅうじんがいにじゅつ}の演武も行われる。にわかに法螺貝熱が高まった私は、生の音色を聴くために秋の神宮に繰り出した。

清冽な朝の空気の中で聴く法螺貝の音は荘厳で、腹に直接響いてくる力強さがあった。それでいて、どこかしら心地よさもある。緊張感と安心感が程よく

1973年生まれ。九州大学文学部卒業、同大学院にて博士（文学）取得。職歴に津田塾大学女性研究者支援センター准教授など。『自動人形の城』『言語学パーリ・トゥード』『日本語界限』『「わかってもらう」ということ』『パンチラインの言語学』など著書多数。



ブレンドされ、身体の底に眠っていた気力が鼓舞されるかのようだ。人体に強く訴えかけてくるこの独特の音色は、生き物がまるごと楽器になっているからこそ出てくるのかもしれない、と思った。ちょっとした気もちょうが生死を分ける戦場では、法螺貝の音色は合図以上に重要な意味を持っていたのではないか。

奏者に目をやると、長い音を出しながら頬の膨らみはずっと持続しており、高度な技術と肺活量の大きさが感じられた。も

しかしたら、法螺貝は健康にも良いのではないかと。そう思って帰宅後に調べてみたら、なんと法螺貝を吹くことで睡眠時無呼吸症候群が改善する可能性があることが分かった。

インドの研究チームが出した論文²⁾によれば、中等症の無呼吸症候群の患者30人を二つのグループに分け、一方のグループには法螺貝を吹くトレーニングを、もう一方のグループには深呼吸のエクササイズを6カ月間行わせたという。すると、前者では日中の眠気や睡眠の

質、無呼吸低呼吸指数(AHI)³⁾において改善が見られたそうだ。「法螺貝を吹くことで呼吸に必要な筋肉が鍛えられるから」という。

こんな話を聞くと、ますます法螺貝が欲しくなってくる。「法螺貝って健康にいいみたい！買おうかな」と家族に言ったところ、「いやいや、吹ける場所がないから」と止められた。確かにその通りだが、ネット広告は今も頻繁に法螺貝を勧めてくる。いつまで誘惑を退けられるか自信がない。

1) 京都新聞「「ほら貝演奏禁止」って…二条城外堀の掲示が話題に」、2019年4月18日。 <https://www.kyoto-np.co.jp/articles/-/6702>

2) Krishna K. Sharma, Rajeev Gupta, Titiksha Choyal, Krishna Kumar Sharma, Dinesh Sharma and Tapesh Sharma (2025) "Efficacy of shankh blowing on moderate sleep apnea: a randomised control trial", ERJ Open Research 2025 11(6). <https://publications.ersnet.org/content/erjor/11/6/00258-2025>

3) 1時間当たりの無呼吸と低呼吸の回数を合わせた指標。

「2025年度 著書出版・海外学会等 参加助成」受賞者 および 「第15回Nextcom論文賞」受賞者

2025年度 著書出版助成 受賞者 助成金：200万円

本助成は、情報通信に関する社会科学分野の学術出版を助成し、優れた研究成果の公的な流通を支援するものです。受賞者は、Nextcom監修委員会の推薦に基づき、公益財団法人KDDI財団が決定しています。2025年度は、助成金（200万円）を受けられる方が下記のように決定し、2026年1月27日に決定通知書が交付されました。

華金玲氏（はな きんれい） 慶應義塾大学 総合政策学部 訪問講師

書名 『情報通信大国化する中国
—キャッチアップを超え自主イノベーションへ』

概要 本著は、中国の情報通信技術の発展を第2世代（2G）以降から5G・AI・データ時代まで俯瞰し、キャッチアップから自主イノベーションへの転換を政策・社会・技術の相互作用の観点から体系的に描いた書物である。

発行 勁草書房（2027年3月31日出版予定）



2025年度 海外学会等参加助成 受賞者

海外で開催される情報通信に関わる国際会議、シンポジウムなどに参加する方を主な対象に、渡航費用などを助成するものです。受賞者はNextcom監修委員会の推薦に基づき、公益財団法人KDDI財団が決定しています。2025年度の受賞者には、以下の5名の方が決定し、2026年1月27日に決定通知書が交付されました。

水野君平氏
（みずの くんぺい）

北海道大学 教育学部 旭川校 准教授

対象学会：The 16th Biennial
Conference of the Asian
Association of Social Psychology
2025年7月10日～2025年7月12日
マレーシア



郭 善英 氏

(クァク ソンヨン)

静岡大学 情報学部 准教授

対象学会: IAMCR (International Association for Media and Communication Research)
2025年7月13日~2025年7月17日
シンガポール



岡 達志 氏

(おか たつし)

慶應義塾大学 経済学部 教授

対象学会: 2025 World Congress of the Econometric Society (ESWC2025)
2025年8月18日~2025年8月22日
韓国



八田 真行 氏

(はった まさゆき)

駿河台大学 経済経営学部 教授

対象学会: AGI-25 (The 18th Annual AGI Conference)
2025年8月10日~2025年8月13日
アイスランド



丁 姚菲 氏

(テイ ヨウヒ)

筑波大学 人間総合科学学術院
人間総合科学研究群
情報学学位プログラム 博士前期課程

対象学会: The 31st International Conference on Collaboration Technologies and Social Computing
2025年11月4日~2025年11月7日
インドネシア



第15回Nextcom論文賞 受賞者 副賞: 30万円

Nextcom 論文賞は、若手研究者の方々を奨励するために設けられています。

第15回の受賞者は、2024年12月のWinter号 (Vol.60) から2025年Autumn号 (Vol.63) までの1年間に、本誌に掲載された、おおむね45歳以下の著者による論文を対象に、Nextcom 監修委員会が選考・決定しました。受賞者には、2025年1月27日、株式会社KDDI 総合研究所から表彰状と副賞 (30万円) が授与されました。

山本 健人 氏 (やまもと けんと)

北九州市立大学 法学部 准教授

受賞論文 「通信品位法230条とプラットフォームの媒介者責任」
(Nextcom Vol.63、pp13-22 掲載)

概要 本稿は、米国の情報通信政策に関する最近の動向のうち、通信品位法230条を巡る議論を素材に、SNS事業者に対する媒介者責任の再設計について検討する。230条は、その後の裁判所の拡大解釈の下、非常に広範な免責をSNS事業者に与えている。しかし、近年では、広範な免責による弊害への懸念が高まっており、さまざまな立場から改革案が提案されている。改革案のうち、モデレーションの禁止は言論市場にラディカルな打撃を与え、望ましいモデレーションを義務付けることは法的・技術的困難を抱える。本稿では、望ましいモデレーションに向けた「意思と努力」を免責の条件とする方向性を現実的な提案の一つと位置付ける。



「Nextcom」論文公募のお知らせ

本誌では、情報通信に関する社会科学分野の研究活動の活性化を図るため、新鮮な視点を持つ研究者の方々から論文を公募します。

公募要領

- 申請対象者：**大学院生を含む研究者
*常勤の公務員（研究休職などを含む）の方は応募できません。
- 論文要件：**情報通信に関する社会科学分野の未発表論文（日本語に限ります）
*情報通信以外の公益事業に関する論文も含まれます。
*技術的内容をテーマとするものは対象外です。
*およそ1万字
- 選考基準：**情報通信分野における制度・政策に対する貢献度を基準に、Nextcom 監修委員会が選考します。（査読付き論文とは位置付けません）
- 公募論文数：**毎年若干数
- 公募期間：**2026年4月1日～9月10日
*応募された論文が一定数に達した場合、受け付けを停止することがあります。
- 選考結果：**2026年12月ごろ、申請者に通知します。
- 著作権等：**著作権は執筆者に属しますが、「著作物の利用許諾に関する契約」を締結していただきます。
- 掲載時期：**2027年3月、もしくは2027年6月発行号を予定しています。
- 執筆料：**掲載論文の執筆者には、5万円をお支払いします。
- 応募：**応募方法ならびに詳細は、下記 URL をご覧ください。
https://rp.kddi-research.jp/nextcom/support/nextcom_koubo.html
- その他：**1. 掲載論文の執筆者は、公益財団法人 KDDI 財団が実施する著書出版助成に応募することができます。
2. 要件を満たせば、Nextcom 論文賞の選考対象となります。
3. ご応募いただいた原稿はお返しいたしません。

2026年度 著書出版・海外学会等参加助成に関するお知らせ

本誌では、2026年度も公益財団法人 KDDI 財団が実施する著書出版・海外学会等参加助成に、候補者の推薦を予定しています。

著書出版助成

- 助成内容：**情報通信に関する社会科学分野への研究に関する著書
- 助成対象者：**過去5年間に Nextcom 誌へ論文を執筆された方
- 助成金額：**3件、各200万円
- 受付期間：**2026年4月1日～9月10日（書類必着）

海外学会等参加助成

- 助成内容：**海外で開催される学会や国際会議への参加に関わる費用への助成
- 助成対象者：**情報通信に関する社会科学分野の研究者（大学院生を含む）*
- 助成金額：**北米東部 欧州 最大40万円 北米西部 最大35万円 ハワイ 最大30万円
その他地域 別途相談（総額150万円）**
- 受付期間：**随時受け付け
- *常勤の公務員（研究休職などを含む）の方は応募できません。
Nextcom 誌に2頁程度のレポートを執筆いただきます。
**助成金額が上限に達し次第、受け付けを停止することがあります。

推薦・応募：いずれの助成も、Nextcom 監修委員会において審査・選考し、公益財団法人 KDDI 財団へ推薦の上、決定されます。応募方法ならびに詳細は、下記 URL をご覧ください。

<https://rp.kddi-research.jp/nextcom/support/index.html>

問い合わせ先：〒356-8502 埼玉県ふじみ野市大原2-1-15
株式会社 KDDI 総合研究所 Nextcom 編集部
E-mail: nextcom@kddi.com

明日の言葉



脳という広大な宇宙へこぎ出した私たちには、
解明すべき多くの神秘が待ち受けている
……伊藤正男

【出典解説】

言葉は『脳はここまで解明された—内なる宇宙の神秘に挑む』掲載、伊藤正男の寄稿文「脳—内なる宇宙」¹⁾から引いた。その冒頭は「脳をかたちづくる細胞の数は、銀河系の星の数、約2000億に迫ると言われています」と始まる。さらに伊藤は、脳で、膨大な数の要素が密接な相互関係を介して、単なる線形和ではない新しい動きを生み出す様子が、ビッグバンで誕生した宇宙に銀河系や太陽系ができる作用と同じように見えるとも記している。

伊藤正男(1928～2018年)は、小脳の記憶システムの解明など、独創的発見の数々で世界的に知られた生理学者である。また、1990年代から非常に活発になった日本の脳科学研究を牽引した人物の一人。東京大学医学部教授から理化学研究所に転じ、理化学研究所脳科学総合研究センター初代所長(1997～2003年)を務めた。実は「脳科学」という言葉が作られ一般化したのは、このころからであったという²⁾。

なお、伊藤は同書で宇宙と脳の類似性に触れているが、その二つは当時から「自然科学に残された最後のフロンティア」として比喩的に位置付けられてもいる。

1) 合原一幸編『脳はここまで解明された—内なる宇宙の神秘に挑む』伊藤正男「脳—内なる宇宙」p.83／ウェッジ発行／2004年。同書は「地球フォーラム」(主宰：松井孝典)での「地球システムと脳」というテーマの議論の内容を基に編まれた。

2) 加藤忠史編『ここまでわかった！脳とこころ』(理化学研究所脳科学総合研究センター設立20周年記念)「総論」日本評論社／2016年

編集後記

今号の特集「脳科学」はいかがでしたでしょうか。かつてはブラックボックスとされてきた脳ですが、近年の計測技術やAIを用いた解析技術の進展には目覚ましいものがあります。そして、脳科学は情報通信の分野においても極めて重要なテーマとなっています。本特集が、脳と情報通信技術が拓く未来の可能性と、私たちが向き合うべき倫理的・社会的な課題の両面について、皆様が思考を深める一助となれば幸いです。次号のテーマは「観光(仮)」を予定しています。ご期待ください。(編集長：加藤尚徳)

Nextcom(ネクストコム) Vol.65 2026 Spring
2026年3月1日発行

監修委員会

委員長 川瀨 昇(追手門学院大学 法学部 教授／
京都大学 名誉教授)
副委員長 山下 東子(大東文化大学 経済学部 特任
教授)
委員 依田 高典(京都大学 大学院 経済学研究
(五十音順) 科 教授)
岡田 羊祐(名城大学 社会イノベーション
学部 教授)
菅谷 実(慶應義塾大学 名誉教授)
田村 善之(東京大学 大学院 法学政治学
研究科 教授)
舟田 正之(立教大学 名誉教授)

発行 株式会社KDDI総合研究所
〒356-8502
埼玉県ふじみ野市大原2-1-15
URL: www.kddi-research.jp

編集長 加藤尚徳(株式会社KDDI総合研究所)
編集協力 株式会社ダイヤモンド社
株式会社メルプランニング
株式会社ウイル
有限会社エクサビーコ(デザイン)
印刷 株式会社隣報社

本誌は、わが国の情報通信制度・政策に対する理解を深めるとともに、時代や環境の変化に即したこれからの情報通信制度・政策についての議論を高めることを意図しています。ご寄稿いただいた論文や発言などは、当社の見解を示すものではありません。

- 本誌は当社ホームページでもご覧いただけます。
<https://rp.kddi-research.jp/nextcom/>
- 宛先変更などは、株式会社KDDI総合研究所
Nextcom編集部にご連絡をお願いします。
(E-mail: nextcom@kddi.com)
- 無断転載を禁じます。



株式会社 KDDI総合研究所
<https://www.kddi-research.jp>
ISSN 2434-6233

