

2 人間の脳機能に倣った新たな情報通信技術の開発プロジェクト (CiNet Brain)

2 *Project of Developing Novel Information and Communications Technology Inspired by Human Brain Functions (CiNet Brain)*

大岩 和弘 田口 隆久

OIWA Kazuhiro and TAGUCHI Takahisa

人間の脳機能研究の知見を情報通信技術の革新的応用につなげることを目的として、平成 23 年にスタートした脳情報通信融合研究センター (CiNet) は、令和 3 年に 10 周年を迎えた。同年 4 月から始まった NICT の第 5 期中長期計画では、Society 5.0 で謳われているヒューマンセントリックな ICT 社会の実現に向けて、人間の脳機能の研究、特に、認知・情動・知覚・意思決定・運動・社会性・言語などの高次脳機能について、多様な知覚・認知条件下における脳活動データを収集・分析して、脳内情報処理全体を包含するモデル『CiNet Brain』の構築につなげる研究を進めている。これは、脳に倣う人工知能への応用として高い評価を得ており、一部の成果は実社会での応用が進んでいる。ここでは、視聴覚刺激に対する脳活動から得たモデルを使って、製品やサービスに対してユーザが抱く印象・感覚の客観的評価を行うサービスを実施している。

The Center for Information and Neural Network (CiNet), which was established in 2011 with the aim of leading the research on human brain functions to innovative applications of ICT, celebrated its 10th anniversary in 2021. NICT's Fifth Medium- and Long-Term Plan aims to realize a human-centric ICT society, as stated in Society 5.0, by conducting research on higher brain functions such as cognition, emotion, perception, decision making, physical movement, sociality, and language. To realize a human-centric ICT society, we are building "CiNet Brain", a model system that encompasses the entire information processing in the brain by collecting and analyzing human brain activity data under various perceptual and cognitive conditions. This model has been highly evaluated as an application for artificial intelligence that mimics the brain, and parts of results are being applied to the objective evaluation of users' impressions and sensations of products and services using brain information read from brain activity in response to audiovisual stimuli.

1 はじめに

人間の知能の本質を理解しようとする脳神経科学や認知科学と、より高度な人工知能を設計しようとする試みは、相互の関連をますます深めている。人間の脳機能研究の知見を情報通信技術の革新的応用につなげることを目的として約 10 年前に設立された脳情報通信融合研究センター (CiNet) は、この潮流の先端にいる研究センターであり、5 つの原則から成る基本理念を謳っている。我が国及び世界のトップクラスの英知の結集を図り、産学官連携・協力を一層強化することによって最大限の成果を実現し、科学技術の発展、国民生活の向上及び経済社会の発展に寄与し、人類の福

社の向上に貢献する『貢献原則』、グローバルかつ他分野の知見の融合による開かれた先端的融合研究の実現とその成果の公開と享受されることを目指す『オープン原則』、脳情報通信分野に関わる政府指針を認識し、他研究機関との適切な役割分担、効果的な連携の下に主体的な役割を果たす『統一原則』、生命の尊厳の重要性を常に認識する『尊厳原則』、研究実施を通して人材育成へ貢献する『育成原則』である。この理念の下、CiNet では脳神経科学をはじめとする生命科学や認知科学、心理学の研究者と、情報科学や人工知能の研究者が共通のプラットフォームでアイデアを交換し、脳内情報処理全体を包含するモデル『CiNet Brain』の構築を進めている (図 1)。

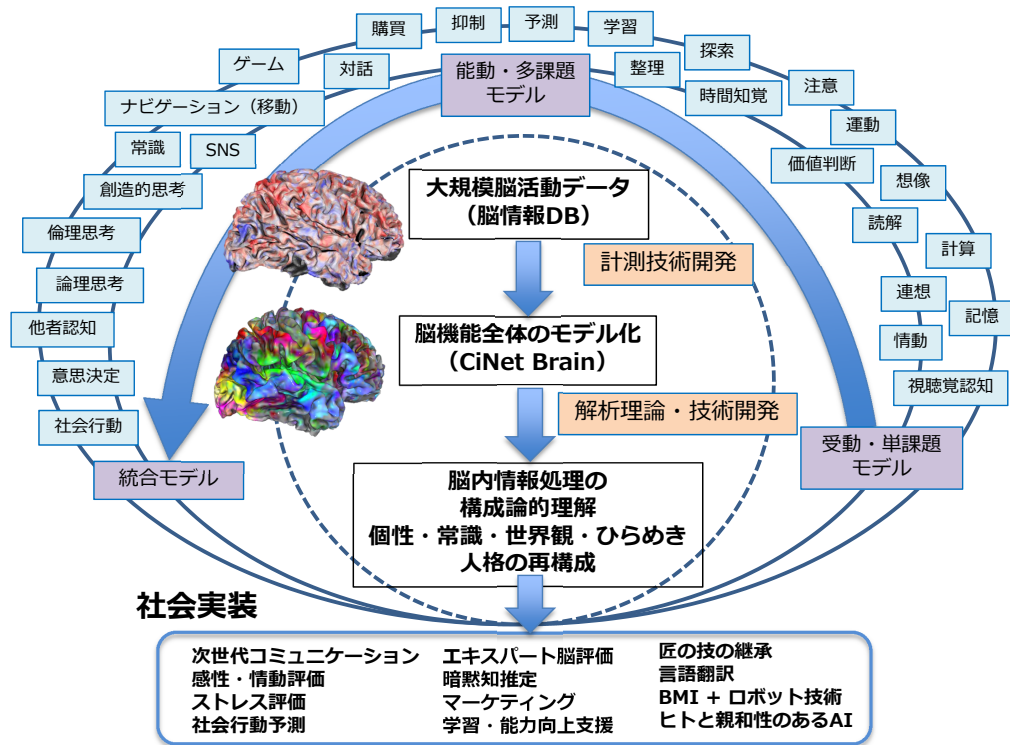


図1 CiNet Brainの概念図。単課題に対する脳活動解析で得たデータからモデルを構築し、更に多課題に対する脳活動解析を通してモデルの高次化を進めていく。得られたモデルの実用化を見通すことができることから順次社会への応用展開を進める。

CiNet Brainでは、人間の認知、情動、知覚、意思決定、運動、社会性、言語などの高次脳機能について、多様な知覚・認知条件下における脳活動データを収集・分析することで、脳内情報処理の全体を包含するモデルを構築することを目指している。このモデル構築のために、従来の計測方法にとどまらず、脳の機能や構造を高精度で測定する新たな計測手法の開発や、脳活動測定から脳内の情報処理メカニズムを明らかにするためのデータ駆動型の研究開発を並行して進めている。また、明らかになってきた脳の仕組みの一部をアルゴリズムとして活用したネットワーク制御技術などの研究開発も推進しており、これもまたCiNet Brainの研究開発の一部である。令和3年4月から始まったNICTの第5期中長期計画では、これまでに培った技術や知見を基にして、Society 5.0で謳われているヒューマンセントリックなICT社会の実現に向けて、CiNet Brainを旗艦として人間の脳機能研究の更なる加速を図っている。本特集号ではCiNet Brain研究に係る成果を紹介するとともに、その将来の応用可能性を扱い、本稿ではその概要を述べる。

2 脳情報研究はヒューマンセントリックな情報通信技術の要

ヒューマンセントリックな情報通信という観点で、「情報」という概念について考えてみたい。シャノン-

ウィーバーの情報モデルを基に飛躍的な発展を遂げている情報通信技術であるが、通信される情報は符号列として通信路を通過している。仮に、この符号列を人間に見せたとしても、そのままでは本来送ったはずの“情報”を読み出すことはできないであろう。通信路を通過しているこの“情報”は、意味を捨象した、意味作用を持たないデータだからである。通信路を通る符号の伝送、受け渡しを高速・高精度に行う機器間の通信においては、意味を捨象したデータ通信は極めて有効に機能する。しかし、特に人間が関わる情報通信を議論する場合には、意味の捨象は正確な情報伝達を保証しない[1]。人間には情報の意味解釈を多様に行う自由度があることもこれを助長する。簡単な例で考えてみると、「ネッカーキューブ」、「ルビンの壺」などの多義図形や、「ペンローズの階段」のような現実にはあり得ない物体、錯視などがあり、意味内容の正確な伝達が行われないことを意識することができる。視覚刺激として与えられているデータは全く同じであるが、受け手にとっての意味作用は一定しない(図2)。一方で、錯視を起こす視覚刺激を使うことで、人間にとって意味のある情報を与えて、その行動をシステムが望む方向に誘導する技術も示されている[2]。これらは、人間にとって意味作用を持つものを“情報”と捉えることが、人間を中心としたICT開発においては必要であることを示唆している。

データを知覚した人間が、いかに、そこに意味を見

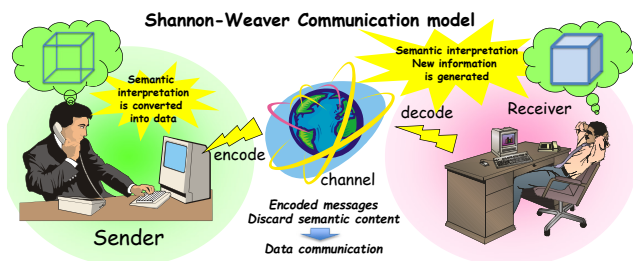


図2 シャノン-ウィーバーの通信モデルによる情報通信

社会的コミュニケーション理論では、理想的には情報の担う意味内容が送り手と受け手の間で共有されることが仮定されているが、意味内容を捨象したデータの通信が行われるために、送り手の意図した多義的情報は、必ずしも受け手に同じ情報として通信されない。送り手の意識にある意味内容を、言葉などの記号で表現して受け手にそっくり伝達するためには、記号表現と記号内容との対応を与える正確なコードが不可欠であるが、一般的状況ではそのようなコードの存在は期待できない。一方で、多義図形のいずれの情報も送り手や受けての意識に上っているかは、脳活動計測から読み取ることができる。

いですが、その情報処理の方法を知ることが必要である。心理学がこれまで精力的に取り組んできた大きな課題であるが、CiNet では、この「気づき」や「わかり」についても心理物理学的方法や先端的脳計測技術を用いた研究を進めている [3][4]。さらに、従前の心理物理学的方法に加えて、脳機能の直接計測を絡めて、かつ人間活動を扱うビッグデータ（ソーシャルメディアやネットワーク画像の数々）を扱うデータ駆動型サイエンスと組み合わせることで、情報処理としての脳機能のモデル化を進めることが可能であろう。この試みが CiNet Brain である。CiNet Brain の研究開発の中で最も進んでいる研究は、視覚情報処理のエンコード・デコードモデルの構築である。外界からの視覚情報は、目を通して網膜に映し出され、その視細胞の活動信号として脳内ネットワークに入っていく。赤いリングが落ちるシーンを見た場合、一次視覚野に入った信号は分離変換されて、色や形の情報は腹側視覚経路を通り側頭連合野に入り、他方、位置や動き、大きさの情報は背側視覚経路を通り頭頂連合野に伝わる。その結果、脳に内在するネットワークと相互作用し情報統合されて、「赤いリングが落ちていく」と認知される [5]。視覚情報は扁桃体や海馬にも送られるので、記憶や情動にもつながり、その認知に対する行動としても出力されることにもなる。このような脳内での感覚入力の内容の変換過程を定量化することができれば、脳情報処理の理解が進むことが期待できる。

従来の神経生理学の研究においても、神経細胞を刺激し、その神経細胞の応答や、その活動を受けて新たに活動する神経細胞群を計測することで、入力刺激と神経活動との対応付けが行われてきた。しかし、人間の脳の研究をする場合には、侵襲的な実験は特別な例外を除いて行われることはない。その代わりに、非侵

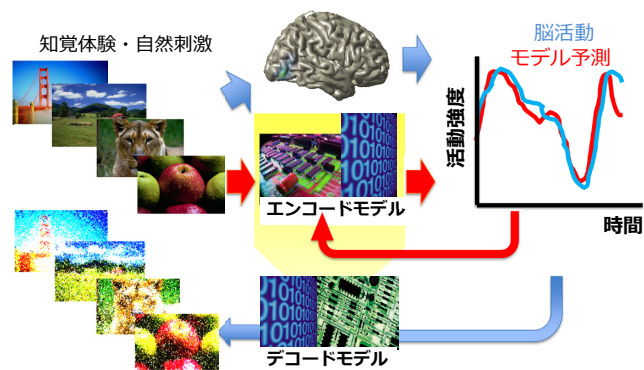


図3 自然刺激による視覚情報処理のエンコードモデルの構築とデコードモデルによる入力情報の再構築の概念図

襲計測法を用いることで脳活動を間接的ではあるが記録することが行われている。特に、人間の脳の研究をする場合には視覚情報処理は研究対象として優れている。視覚情報処理に係る脳の領域は、脳全体で大きな面積を占めていて、その活動を詳細に測ることが可能だからである。一次視覚野に入った情報が、符号化されていく様子を脳活動として間接的に観測することができるのである。つまり、視覚刺激に対する全脳の活動という対応関係を知ることで、脳情報処理に対する理解が得られるのである。西本と西田のグループは日常的な感覚入力に近い自然刺激の脳情報処理において、この対応関係をエンコード・デコードモデルという数理モデル化フレームワークで解決してきた。視覚情報の入力が入力全脳の活動へ変換される過程をエンコードモデル、脳活動が認知内容へ変換される過程をデコードモデルでエミュレートするのである (図3)。詳細は西田の稿に譲るが、このエンコード・デコードモデルを脳情報処理の定量化モデルとみなすことができ、非線形性が強い感覚入力-脳活動-認知内容の対応関係を、適切な特徴空間を導入することで線形化し、線形回帰などの単純な機械学習の問題として解決できる [6]-[12]。このシステムの強みは、特徴空間の選択が任意であり、利用する特徴空間に依存して脳情報処理の異なる側面をモデル化できる拡張性にある。つまり、特徴空間を使い分けることで、原理的には脳内情報処理のあらゆる側面を定量化することが可能となるのである。

さて、ヒューマンセントリックな情報通信では、簡素な言葉で話す、身振り手振り、あるいは頭の中で想像するだけで、何をしたい・どのようにありたいかというユーザの意思が容易に情報機器に伝わるのが求められる。この技術の実現には、情報通信システムが自ら必要な知識や情報を得て、考え、ユーザを支援する能力まさに「文脈を理解する能力」を持つことが求められる。人間には自然に備わっているこの能力は、

どこから生まれてくるのであろうか？このような意識に係る主観的感覚と神経活動を結びつける科学的理論は確立していないので、還元論的手法でこの問題にアプローチするのは難しいことが予想される。文脈理解の能力の起源や原理を理解するために、情報の送り手であり受け手である人間の脳で行われる入力と出力（脳活動）との相関を捉えるのが一つの方法となるであろう。上述のように、視覚情報を中心に、脳情報のエンコーディング・デコーディング技術を開発してきたが、今後、聴覚や嗅覚、味覚の情報処理へと拡張していく。特に、視床を経由しないで大脳皮質・海馬・扁桃体へ情報を送り込む嗅覚の信号は、情動や記憶への働きかけがあると考えられ、研究開発の大きなポテンシャルがある。そして、これらのチャレンジから生まれる成果は、人々にとって、究極のコミュニケーションの実現や潜在能力の発揮を促す ICT の実現へとつながり、人々が真の幸せや満足感を実感できる社会の創出につながると考えている。

CiNet Brain 構築の研究基盤となるのは、認知・感覚・運動に関する脳活動や脳構造を高度かつ多角的に計測・解析する大型精密計測機器による脳機能計測である。これまでの fMRI 計測法 (BOLD) の高精度化に加えて、BOLD とは異なるバイオマーカーを活用して、神経活動をより直接反映した脳血液量変化などの計測技術も開発対象になってきた。観測がむずかしい脳深部にある嗅覚機能などの評価技術の確立にも取り組み、嗅覚情報処理の解明への挑戦を始めている。また、生活空間の中での脳活動を計測するポータブルな計測装置を開発し、研究成果をいち早く社会へ還元する試みは社会への脳情報応用の実装につながりつつある。得られた解析データは、脳活動データ利活用のためのデータベースとして整備を進めており、これらは CiNet における脳機能研究の重要な基盤となっている。黄田、大塚の稿を参照されたい。

また、人間、コンピュータ、モノをビッグデータで結び、人間のあらゆるコミュニケーションと活動のための社会的・サイバー的・物理的空間を提供する技術が現れる可能性がある。脳情報関連ビッグデータと行動関連ビッグデータを社会・サイバー・フィジカル空間で統合し、調和的な共生を実現するもので、脳情報通信融合研究は、このような試みを実現するためのキーとなる研究成果を提供できる。社会・サイバー・フィジカル空間における脳研究と応用を情報学的に実現し、脳情報ビッグデータ・サイクルを形成するが、このサイクルでは、機能的磁気共鳴画像法 (fMRI)、脳磁図 (MEG)、脳波 (EEG)、装着型マイクロ・ナノデバイスなどの高度な神経活動、イメージングによって得られる「脳ビッグデータ」を処理、解釈、統合していく。

脳情報ビッグデータは、人間の思考、学習、意思決定、感情、記憶、社会行動に関する科学者の理解を深めるだけでなく、病気の治療、ヘルスケアと福祉にも役立ち、脳からヒントを得た知的技術の更なる開発を促進するものと期待できる [13]。

3 脳情報を用いた情報処理モデルの社会展開

西田の稿で詳細に紹介されているが、任意の映像入力から脳活動応答を予測する脳活動応答予測モデル及び自己回帰モデルと、予測脳活動応答から映像に紐付いた認知・行動ラベルを推定する解読モデルから構成される脳情報処理シミュレータが CiNet Brain として構築されている。映像を入力した際のディープニューラルネットワーク (DNN) の中間層活性化パターンと、同映像に対する脳活動応答の間の線形関係を統計的に学習することによって脳活動応答予測モデルを構築する。また自己回帰モデルは、脳活動応答の時間的相関関係を考慮して、時間的に先行する脳活動応答から現在の脳活動応答を予測する。このモデルも計測脳活動から統計的に学習し、脳活動応答予測モデルによって算出された予測脳活動の更新を行う。この自己回帰モデルの導入により、脳活動応答予測の精度が向上する。そして、一度これら 2 つのモデルが構築できれば、実験協力者による追加の脳機能計測なしに、任意の映像入力からの脳活動応答を予測することが可能になる。次に、映像入力に対する予測脳活動応答を用いて、同じ映像に対応した認知・行動のラベルを推定する解読モデルを構築する。映像に対して予測した脳活動応答と、同じ映像に付与されたラベルの間の線形関係を統計的に学習することによって解読モデルは構築される。このモデルの利点は、訓練時及び訓練後のいずれにおいても実験協力者による脳活動計測を必要しないことである。訓練が完了した脳活動応答予測モデルと自己回帰モデル、さらに解読モデルを連結することにより、映像入力から脳情報を介して人間の認知や行動を推定する脳情報処理シミュレータが構築できる。このシミュレータは CiNet Brain としてコマーシャルフィルムの感性評価に商用利用されている [12]。

4 脳情報解析に基づいた人間のパフォーマンス向上

超高齢化社会の日本では、健康寿命に影響する手足・身体の運動機能維持が喫緊の課題である。各個人の運動機能の評価・改善のために、個人の医用画像や生体信号に基づいてデジタル的に再構築するエミュレータ (デジタルツイン) の構築と、それを用いた行動

変容支援システムの開発を進めてきた。自転車の乗り方などの運動記憶は、手続記憶と呼ばれており、言語化が難しい脳情報である。運動記憶に介入して、高齢者や障害を持つ人の能力回復や、健常者の能力向上、ジュニアアスリートの育成などの支援を行う場合、言語型トレーニングを行うのが通常であろう。しかし、そもそも言語化が困難である情報を言葉で説明されてもうまく伝わらないことが多い。これに対して、CiNetでは「誤差を減らす方向に必ず修正を行う」というロバストな脳機能を活用して、無意識のうちに、確実に、動作を修正できるコーチングシステムを開発している。実応用ポテンシャルの大きい研究であり、興味ある読者は本誌の池上の稿やその参考論文を参照されたい [13]。

また、ここまで脳活動の活性化に着目してきたが、fMRI 計測においては比較対照群の脳活動に比べて活性が下がる部位があることが知られている。中枢神経系では、局所的な神経の抑制が機能的分離において重要な役割を果たすと考えられている。CiNetでは、感覚・運動課題実行中の脳の fMRI 機能画像を広い年齢層の多人数から取得することで、脳の大規模ネットワークで起こる抑制機構の発達及び劣化を明らかにしてきた。人間の脳領域間における抑制機構が発達とともに成熟し、加齢に伴い劣化する。高齢者では運動野半球間抑制機能が低下しており、この抑制機能の低下は手指の巧緻性の低下と関連している。この抑制機能は左右の手で異なる運動を行う両手運動トレーニングで改善でき、この抑制機能の改善は手指の巧緻性の向上に関係していることを示している [15]-[17]。脳神経系における抑制という重要な視点を提供する成果であり科学的意義は大きい。また、脳の抑制システムの作動原理と加齢の影響を解明できれば、超高齢化社会において重要となる身体機能の機能維持や回復などの課題に対して、抑制機能の促進技術を応用できる可能性がある。

5 社会の中の人間を形作る社会脳

アリストテレスやダーウィンの観察が示したように、人間は社会性を持つ種であり、人間と他の動物を分ける決定的要因は、自ら作り上げた巨大な社会とそこに生きる人間の社会性である。この「社会」という文脈から人間の様々な行動特性や多くの諸問題が生まれる。他者の行為への注目という社会行動が発達の最も早期に現れること [18] や、他者との相互作用が日常生活の多くの行動や精神疾患と関連していること [19] を考えると、個人の脳機能に関する研究に続く研究課題は、他者との関係における脳活動であろう。人間の経済活

動を人間の脳の仕組みから理解しようとする神経経済学をはじめ、心理学、言語学、哲学など様々な分野でも脳機能研究を通して人間を理解しようとしている現在、従来の脳研究の視点にはなかった「他者との関係における脳活動」、「社会的行動と脳活動」に着目した「社会脳」の研究が進んできている。

CiNetにおける社会脳研究では、MRI データやオンライン計測で収集する大量の行動データや性格・属性データに加えて、実世界の人間の社会行動である SNS データを加えたビッグデータを収集している。脳活動データとこれらの行動ビッグデータを合わせて解析することによって、現実の社会行動を反映し、信頼性の高い知見が得られることが期待されるからである。数理的に解析する実世界社会脳科学を提唱して、革新的な成果を挙げつつある。実社会における情動・意思決定機構を数理的に同定し、日常化してきたサイバー空間でのメンタルヘルスと意思決定を向上させることで、心的ストレスの改善、生きていることの充実感、個人間のコミュニケーション向上、潜在能力の発揮といった人間にとって高い価値を持った ICT 技術の開発につながる研究である。今日、仮想空間でのアバターの活用などが社会的に浸透してきている。この仮想空間においては、複数の人格を持つアバターを一人の人間が担うことが可能であり、一人の人間にとって多重世界ができあがることになる。この多重世界を、人間の脳はいかに処理するのであろうか。また、多重世界に入り込むことで、脳がどのように変化していくのであろうか。これらの問いに答えることも、今後の社会脳研究に課せられた重要な課題である。詳しくは、春野の稿を参照されたい。

6 実生活で脳情報通信を活かす

人と人のコミュニケーションは、言語を用いて主に行われる。しかし、情動や意識に上がってこない無意識の知覚などの脳活動、自転車の乗り方などの運動記憶は手続記憶であり、言語化が困難な脳情報である。CiNet では、これらの言語化が困難な情報の伝達を実現する方法を脳情報通信技術が提供できると考え、非言語コミュニケーションや人間の潜在能力発揮を実現する新しい ICT の創出を目指して、BMI (ブレインマシンインタフェース) 技術の高度化に取り組んできた。長期間の脳内での使用に耐える生体適合性神経電極の作製技術とその多点高密度化や、脳活動マルチモーダル計測技術、体内外無線通信技術、脳活動から運動意図を解読する技術等の基盤技術の高度化により、身体機能の再建・補綴・拡張の支援等につながる研究開発を進めている。詳しくは、4-1 海住の稿を参照された

い。

加えて、アンプを搭載したアクティブ電極の開発によって、伝導ジェルなしで、接触インピーダンスが従来よりも一桁高いレベルでも脳波が計測できるポータブルな脳波実験系を開発してきた[20][21]。このポータブル脳波計測装置を用いて、実生活下に近い環境での観る・聴く・遊ぶ・学ぶ・働くなどの活動に関わる脳波及び行動データを多人数から取得し、脳機能の分析を行い、他の生体情報や主観情報などと関連付けることで、興味・関心・気分の変化・モチベーション・ワーキングメモリなどの心的状態や潜在能力、個人間の相互関係といった高付加価値の情報を提供するモデルを構築している。具体的には、ニューロフィードバックを用いた外国語リスニング学習[22]や、脳波による外国語のリスニング能力の推定法の開発[23]などである。詳しくは、成瀬の稿を参照されたい。

7 まとめ

本特集では、CiNet Brain 研究に関わる研究成果の概要を示した。詳細は本特集号の各章を参考にされたい。人間に関わる情報通信では、人間は情報の意味解釈を多様に行う自由度を持つ。人々にとって、共創的コミュニケーションや潜在能力の発揮を促す ICT の実現は、究極のコミュニケーションであろう。「ペンをお持ちですか?」という問いかけに対する論理的な答えは「はい、持っています。」や「いいえ、持っていません。」である。しかし、文脈を考えると「はい、どうぞ」とペンを差し出すことが、思いやりや優しさのある人間らしい答えである。人々が真の幸せや満足感を実感できる社会の創出に寄与することが期待されるのが CiNet Brain である(図4)。他方、このような脳情報通信技術が次世代 ICT として健全に社会に浸透し活用されるためには、開発段階から社会的に受容されるための研究を進めなければならない。社会受容を高めるための研究・環境整備は、現在の先端研究開発には欠

くことができないものである。一般に ELSI 研究 (Ethical, Legal, Social Issues の頭文字をとったもの) と呼ばれている研究である。CiNet では独自の ELSI 研究グループを研究センター内に設置し、同時に大阪大学社会技術共創研究センター (ELSI センター) と協力してこの課題に取り組み始めている。

今後、CiNet 設立の理念である、英知の結集と産学官連携・協力の一層の強化によって、科学技術、国民生活の向上、経済社会の発展に貢献する『貢献原則』と、開かれた先端的融合研究の実現とその成果の公開による『オープン原則』に基づき、多方面の研究者・企業等と連携して行う共同研究や研究員の受入等による知的・人材交流を活発化し、人材の育成や企業への技術移転に努めていく所存である。科学技術・社会的受容性を成熟させながら、成果を社会に普及するための研究開発拠点となり、人々が安心して豊かな暮らしを享受できる ICT 社会の構築に貢献できる脳情報通信技術を育てていくという CiNet の気概を本特集号に見いだせていただければ幸いである。

【参考文献】

- 1 西垣 通, “基礎情報学 生命から社会へ,” NTT 出版, 2004.
- 2 友枝 明保, “サブ部に潜む目の錯覚と『渋滞』,” Civil Engineering Consultant, vol.268, pp.024-027, 2015.
- 3 T. Murata, T. Hamada, T. Shimokawa, M. Tanifuji, and T. Yanagida, “Stochastic process underlying emergent recognition of visual objects hidden in degraded images,” PLoS One, e115658. doi: 10.1371/journal.pone.0115658, 2014.
- 4 Y. Morito and T. Murata, “Accumulation System: Distributed neural substrates of perceptual decision making revealed by fMRI deconvolution,” J. Neurosci., vol.42, pp.4891-4912, 2022.
- 5 E. R. Kandel, J. H. Schwartz, T. M. Jessell, S. A. Siegelbaum, and A. J. Hudspeth, Principles of Neural Science, 5th edition, McGraw Hill Medical, 2012.
- 6 T. Naselaris, K. N. Kay, S. Nishimoto, and J. L. Gallant, “Encoding and decoding in fMRI,” Neuroimage, vol.56, no.2, pp.400-410, 2011.
- 7 S. Nishimoto, A. T. Vu, T. Naselaris, Y. Benjamini, B. Yu, and J. L. Gallant, “Reconstructing visual experiences from brain activity evoked by natural movies,” Curr. Biol., vol.21, no.19, pp.1641-1646, Oct. 2011.
- 8 西田 知史, 西本 伸志, “意味認知と脳内情報表現,” 人工知能, vol.32, no.6, pp.857-862, 2017.
- 9 S. Nishida and S. Nishimoto, “Decoding naturalistic experiences from human brain activity via distributed representations of words,” Neuroimage, vol.180, no.A, pp.232-242, 2018.
- 10 S. Nishida, Y. Nakano, A. Blanc, N. Maeda, M. Kado, and S. Nishimoto, “Brain-Mediated Transfer Learning of Convolutional Neural Networks,” AAAI, vol.34, no.04, pp.5281-5288, 2020.
- 11 S. Nishida, A. Blanc, N. Maeda, M. Kado, and S. Nishimoto, “Behavioral correlates of cortical semantic representations modeled by word vectors,” PLoS Comput. Biol., vol.17, no.6, pp.e1009138-e1009138, 2021.
- 12 <https://www.nict.go.jp/press/2015/08/06-1.html>
- 13 N. Zhong, S. S. Yau, J. Ma, S. Shimojo, M. Just, B. Hu, G. Wang, K. Oiwa, and Y. Anzai, “Brain informatics-based big data and the wisdom web of things,” IEEE Intelligent Systems 30 5 2-7, 2015.
- 14 T. Ikegami, G. Ganesh, T. L. Gibo, T. Yoshioka, R. Osu, and M. Kawato, “Hierarchical motor adaptations negotiate failures during force field learning,” PLoS Comput. Biol., vol.17, no.4, p. e1008481, 2021.
- 15 T. Morita, M. Asada, and E. Naito, “Examination of the development and aging of brain deactivation using a unimanual motor task,” Advanced Robotics, vol.35, no.13-14, pp.842-857, 2021. DOI:



図4 CiNet Brain が目指すヒューマンセントリックな ICT。話し手の意図を文脈から推定して答える能力を持つ ICT は、協創的社會や優しさにあふれる社會に必須。人間の脳機能計測から文脈理解の能力の起源を見出してモデル化することで実現させる。

- 10.1080/01691864.2021.1886168.
- 16 E. Naito, T. Morita, S. Hirose, N. Kimura, H. Okamoto, C. Kamimukai and M. Asada, "Bimanual digit training improves right-hand dexterity in older adults by reactivating declined ipsilateral motor-cortical inhibition," Scientific Reports, vol.11, Article number: 22696, 2021. DOI: 10.1038/s41598-021-02173-7.
 - 17 E. Naito, T. Morita, and M. Asada, "Importance of the primary motor cortex in development of human hand/finger dexterity," Cerebral cortex communications, vol.1, no.1, tga085, 2020. DOI: 10.1093/texcom/tgaa085.
 - 18 D. Ilyka, M. H. Johnson, and S. Lloyd-Fox, "Infant social interactions and brain development: A systematic review," Neuroscience & Biobehavioral Reviews, vol.130, pp.448–469, 2021. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2021.09.001.
 - 19 D. P. Kennedy, and R. Adolphs, "The social brain in psychiatric and neurological disorders," Trends Cogn Sci. vol.16, pp.559–572. 2012.
 - 20 成瀬 康, 横田 悠右, "ウェアラブル脳波計によるポータブルな脳波実験系の構築," 日本神経回路学会誌, 23 巻 3 号, pp. 104-111, 2016.
 - 21 Y. Higashi, Y. Yokota, and Y. Naruse, "Signal correlation between wet and original dry electrodes in electroencephalogram according to the contact impedance of dry electrodes," Conference Proceedings of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp.1062–1065, 2017.
 - 22 M. Chang, H. Iizuka, H. Kashioka, Y. Naruse, M. Furukawa, H. Ando, and T. Maeda, "Unconscious improvement in foreign language learning using mismatch negativity neurofeedback: A preliminary study," PLoS ONE, vol.12(6), e0178694, 2017.
 - 23 A.S. Ihara, A. Matsumoto, S. Ojima, J. Katayama, K. Nakamura, Y. Yokota, H. Watanabe, and Y. Naruse, "Prediction of second language proficiency based on electroencephalographic signals measured while listening to natural speech," Frontiers in Human Neuroscience, vol.15, 665809, 2021.

大岩 和弘 (おおいわ かずひろ)

未来 ICT 研究所
 脳情報通信融合研究センター
 副研究センター長／
 NICT フェロー
 理学博士
 生物物理学
 【受賞歴】
 2020 年 令和 2 年度 文部科学大臣表彰
 科学技術賞
 2009 年 科学研究費補助金優秀審査員表彰
 2005 年 第 23 回大阪科学賞

田口 隆久 (たぐち たかひさ)

未来 ICT 研究所
 脳情報通信融合研究センター
 副研究センター長
 工学博士
 神経科学・生物物理学