

学際領域研究の拠点形成に向けて — 脳コミュニケーション研究センターの2020年度の活動 —

門田 宏^{1,2,*} 岩田 誠^{1,2} 繁栂 博昭² 竹田 昂典¹ 竹田 真己¹
松崎 公紀² 吉田 真一² 渡邊 言也¹ 王 瑞敏¹ 中原 潔^{1,2}

(受領日: 2021年5月31日)

¹ 高知工科大学総合研究所脳コミュニケーション研究センター
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

² 高知工科大学情報学群
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

* E-mail: BrainCom-Info@kochi-tech.ac.jp

要約: 脳コミュニケーション研究センター (BrainCom) は、脳科学と情報通信技術を核にして様々な学術領域の知見を高度に融合することによって、新しいコミュニケーション関連技術を創生するための学際的研究拠点として、2012年4月に本学総合研究所に創設された。本研究センターはまた、同時期に共同研究設備として導入された磁気共鳴断層撮影 (magnetic resonance imaging: MRI) 装置の運用業務も担っており、徐々に本学における研究活動の活性化に貢献しつつある。本稿では、学際領域研究の拠点形成に向けて活動してきた2020年度の成果の概要を報告すると同時に、今後の学際的研究活動の指針を述べる。

1. はじめに

脳コミュニケーション研究センター (BrainCom) は、脳科学と情報通信技術を核として様々な学術領域の知見を高度に融合することによって、新しいコミュニケーション関連技術を創生するための学際的研究拠点として、本学総合研究所に創設された。本研究センターはまた、共同研究設備として導入された磁気共鳴断層撮影 (magnetic resonance imaging: MRI) システムの運用業務も担っており、2012年4月の発足以来、本学の研究活動の一翼を担う存在へと成長している。近年は研究成果のプレスリリースや、高知県を代表する学術研究センターの一つとして報道機関の取材を受ける機会も多い¹⁾。

BrainComでは、応用脳科学 (Applied neuroscience) グループ、基礎脳科学 (Basic neuroscience) グループ、脳計算論 (Computational neuroscience) グループの3つの研究グループを組織し、相互の緊密な連携

体制の下で研究・開発を推進している (図1)。

応用脳科学グループは、脳の情報処理機構に立脚した医工学技術の開発を目指している。例えば、脳内機序に基づいたリハビリテーション法の開発や、脳の療育の研究・開発を進めている。基礎脳科学グループは、脳科学の知見に基づいてヒトをより深く理解するために、知覚や認知、記憶、運動など、ヒトの様々な機能における脳内の神経表象を明らかにすることを目指している。脳計算論グループは、機能的MRI (functional MRI: fMRI) や脳波などの脳活動計測から得られる多次元の膨大なデータを処理する手法の開発や、脳の情報処理のモデリングを行っている。また、本学に設置された高性能クラスタ計算機を活用した高速処理を実現するために、並列化アルゴリズムの実装・開発も行っている。

以下本稿では、学際領域研究の拠点形成に向けて2020年度に実施した活動について、BrainComの組

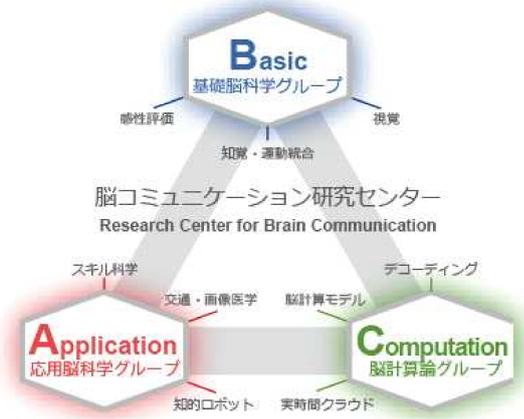


図 1. BrainCom の研究体制

織、研究活動、教育活動、MRI 装置運用実績に関して報告する。さらに、2020 年度の活動を総括した上で、次年度の研究活動の方針を述べる。

2. 組織

2020 年度は BrainCom 専任教員 7 名に加えて、連携教員 3 名ならびに客員教員 5 名の方々にも本センターの運営に関して積極的なご支援やご助言を頂く体制で様々な活動を開始した。

専任教員…岩田誠教授、中原潔教授、竹田真己特任教授、門田宏准教授、渡邊言也助教、王瑞敏助教、竹田昂典助手

連携教員…繁榊博昭教授、松崎公紀教授、吉田真一教授（以上情報学群）

客員教員…上羽哲也・高知大学教授、神谷之康・京都大学教授、木村岳裕・金沢大学准教授、地村弘二・慶應義塾大学准教授、Ruedeerat Keerativittayayut・HRH Princess Chulabhorn College of Medical Science（タイ王国）講師

3. 研究活動

2012 年の発足以来、脳コミュニケーション研究センターでは、上記の教員を含めた情報学群およびシステム工学群の教員が、高知大学、高知高専、東京大学、新潟大学、静岡大学、岡山大学等、大学および企業・研究所・病院等と共同して MRI 装置を用いた研究を推進している。また、毎週水曜日 18:30 から 2 時間程度の研究セミナーを開催している。この BrainCom セミナーは、本センター研究者に加えて学外の共同研究者が参加し、脳科学・医学・情報科学等様々な分野の研究者が持ち回りで最新の研究トピックスを提供して、相互に意見交換を図るものである。

本センターの研究者は競争的研究資金を積極的に獲得することに努めている。科学研究費助成については、2020 年度は継続を含め、基盤（A）2^{2,3}、挑戦的研究（開拓）1⁴、基盤（C）3^{5,6,7}が実施されている。またその他大型の外部研究資金として、武田科学振興財団、及び前田建設工業との共同研究費がある。このように本センターでは競争的研究資金が継続的に獲得されてきており、本センターの活動が本学における研究活性化の一翼を担いつつあるものと言える。

2020 年度は本研究センターの設置更新年度にあたり、初代センター長である岩田誠教授のあとを受け、中原潔教授がセンター長に就任し、新しい 5 年間のスタートを切った。しかしながら、今年度は新型コロナウイルスのパンデミックという未曾有の事態に直面する幕開けとなったことは改めて述べるまでもない。

殊に本センターにおけるほぼ全ての実験は、被験者として本学学生の参加を要することから、4 月よりヒト被験者を対象とする全ての実験を停止するとともに、センター員の在宅勤務を交代制で実施した。その上で、fMRI や脳波実験は、実際にはいわゆる三密にはなりにくいとの認識のもとに、新型コロナウイルス等感染拡大防止を考慮した実験プロトコルの策定を進め、早期の実験再開を目指した。

その結果、6 月下旬より部分的な実験再開、夏休み明けより全面的な実験再開を実現することができた。ここに至るまでの間、学長をはじめとする大学当局関係者の方々のご理解とご協力を頂いたことに、改めて深く感謝を申し上げたい。

2020 年度は、主に 2019 年度までに得られた研究成果として、原著論文 9 報、国際学会 3 件、国内発表 7 件が、本研究センター関連の研究成果として公表された。以下、各研究グループにおける主要な研究成果を述べる。

3.1 ヒトの感覚運動統合における情報処理（門田・竹田（昂））

我々は環境から種々の感覚情報を適切に処理・統合し、それらの情報に基づいて目的の運動を行うことにより日常生活を営んでいる。この感覚機能、運動機能について fMRI や経頭蓋磁気刺激（TMS）、経頭蓋直流電気刺激（tDCS）等の脳計測装置を用いてそれらの神経メカニズムを解明すべく研究を行っている。

特に、ヒトの運動学習能力には個人差があり、初めて学ぶ運動でもすぐ上手くなる人とならない人

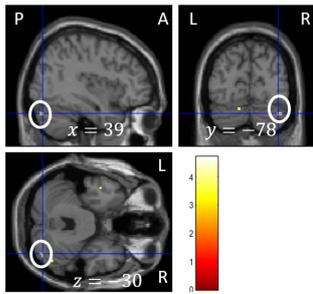


図2. ジャグリングの学習成績（総キャッチ数）と相関のあった脳部位（小脳）

がいる。そのような運動学習能力の個人差について、学習を行う前に予測することが可能かどうか研究を進めている。MRI実験では、最初に安静時の脳活動や脳構造をMRIを用いて計測しておき、これらの脳の状態とジャグリングの学習成績（総キャッチ数）との関係について解析を行った結果、安静時の一次運動野や小脳の脳活動とジャグリング成績に相関がみられた（図2）⁸⁾。上武大学の関口浩文教授らとはTMSを用いて筋の脳機能マップを記録し、脳機能マップの観点からジャグリングの学習成績との関係について検討を進めている⁹⁾。また、運動学習は個人差があるだけでなく、個人内においても学習がよく進むときとなかなか進まない時がある。そのような個人内の変動について、運動を行ったときに生じた誤差に対する修正量の観点から研究を進めている。

また、竹田（昂）は知覚を生み出す脳のメカニズムにも関心があり、現在関連する研究プロジェクトを進めている。具体的には、近年明らかにされたIntrinsic neural timescaleと呼ばれる局所脳領域の特性と意識的な視知覚の関連について東京大学工学部の天野薫教授と連絡を取り、脳磁図データを用いた予備的な検証を行っている。さらに、中原教授の指導の下脳波・fMRI同時計測技術を用いた視知覚の研究計画の考案を進めている。

その他、自己による運動と他者による運動の判断に関する脳機能については、本センターの繁樹教授とともに、東京大学の今水寛教授らと研究を進めており、それらの機能を担うと考えられる脳部位を同定した成果が論文誌に掲載された¹⁰⁾。さらにATRの浅井研究員らとはその脳部位の活動をTMSやtDCSで外部から変調させ、その刺激の影響を検討している。またtDCSが脳にどのような影響を与えているか調べるために、MRI内でtDCSの他に経頭蓋交流電気刺激（tACS）等の様々な種類の刺激を脳に与えながら安静時の脳活動を計測し、脳領域間

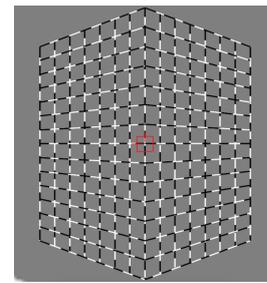


図3. 線遠近法の手がかりによる凸面刺激の例

の結合の変化について解析を進めている。

3.2 3次元知覚、多感覚統合に関する研究（繁樹）

我々が実世界を見るときには、両眼網膜像差、運動視差、絵画の手がかりなど、多くの3次元の奥行き知覚の情報が得られる。これらの奥行き情報はある程度独立に処理され、最終的に統合されて一つの3次元世界が知覚されると考えられる。本研究では、こうした3次元の情報の統合課程を検討するため、両眼網膜像差と線遠近法の手がかりによって定義された凸面または凹面の刺激を呈示し（図3）、視覚皮質の各領野の処理が奥行き手がかり間で異なるのか、共通するののかについて、多ボクセルパターン解析法により検討した。奥行き手がかり間での3次元情報の処理が共通している場合は、各手がかり呈示時のMRI画像で機械学習した凸面/凹面の判別器で別の手がかりによるMRI画像の凹凸の判別が可能となるはずである。実験の結果、頭頂間溝（IPS）の領野において判別精度が高く、奥行き手がかりの情報によらない一般的な3次元の表象がIPS野において処理されていることが示唆された。本研究の成果は2021年に論文誌に掲載予定である¹¹⁾。

物体に対する把持行動などの身体運動出力に対応した物体の3次元的な方位が視覚皮質のどの領野で処理されているかについても、多ボクセルパターン解析の手法を用いて検討している。これまでの実験の結果から、身体運動出力に関連した明確な脳活動を視覚皮質に生じさせるためには現実に把持可能な物体を呈示する必要があることが分かり、現在、実物の棒状の物体を用いて実験を実施している。また、眼球運動を測定して両眼視野闘争時における輻輳角の特性について検討した研究成果の論文が2020年に掲載された¹²⁾。

他研究機関との共同研究も複数進めている。岡山大学の楊家家らとの共同研究では、本センターの中原教授、門田准教授と共に、クロスモーダルな

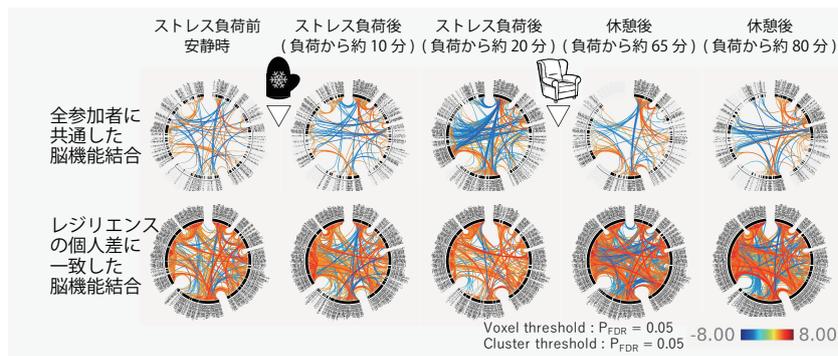


図4. ストレス負荷前から負荷後約90分間の脳機能結合の変化。円の枠は426か所に分類された脳領域、中の線の色は相関の強さを意味する。全参加者に共通した脳機能結合変化（上段）として、ストレス負荷後約20分後に負の相関の増加が観察された（3個目の円）。レジリエンスの個人差に一致した脳機能結合変化（下段）では負荷から60分以降後に正負両方の相関の増加が見られた（4,5個目の円）。

処理に関わると考えられる左半球の lateral posterior parietal 皮質の特性について視覚と触覚の知覚をマッチングする課題を用いて検討し、その研究成果が論文として掲載された¹³⁾。産業技術総合研究所の金山範明研究員との共同研究では、ヘッドマウントディスプレイ（HMD）で脳波を計測できるようにデバイスをカスタマイズし、今後このHMDを用いて3次元空間知覚と触覚の相互作用について検討を行う予定である。本学客員教授の朴啓彰 高知検診クリニック脳ドックセンター長との共同研究では、高齢者がHMDを装着してドライビングシミュレータ上で運転を行う実験を実施し、運転行動と各脳部位の容積との相関について分析を行った。本研究の運転行動特性の研究成果については、技術誌の「車載テクノロジー」において紹介した¹⁴⁾。

他にも複数の紹介記事等が掲載された。「基礎心理学研究」誌では、脳コミュニケーション研究センターを含む高知工科大学における研究環境について紹介した¹⁵⁾。日本心理学会による一般向けの機関誌「心理学ワールド」では、バーチャルリアリティによる知覚研究について紹介した¹⁶⁾。朝日新聞四国版では「知覚認知脳情報研究室」が紹介された¹⁷⁾。また、3次元知覚の特性やメカニズムについての章を執筆した書籍が2021年に刊行予定である¹⁸⁾。

3.3 システム神経科学研究（竹田・渡邊）

2020年度はコロナウイルス感染症拡大に伴った在宅勤務や実験の禁止などにより、研究全体の進捗に遅れが見られた。しかし、そういった状況の中でも可能な研究を行うことで、いくつかの研究テーマでは進捗が得られた。それらの進捗の一部は、3

報の国際誌への掲載^{19, 20, 21)}、シンポジウム・研究会での発表^{22, 23)}、特許出願²⁴⁾などにより対外的に発表している。2020年度は、(1) 視覚情報のデコーディング研究、(2) ストレスレジリエンスに関する研究、(3) 睡眠慣性研究、(4) コロナウイルス感染症に関するアンケート研究、などを行ったが、うち大きな進捗が見られた(2)と(4)について以下報告する。この2プロジェクトは渡邊が中心となって推進した。

「ストレスレジリエンスに関する研究」

コロナウイルスの感染拡大は人々に大きなストレスとなって人々のメンタルヘルスを深刻化させている。ストレス要因に対する個人の回復能力はレジリエンスと呼ばれるが、レジリエンスに関与する神経回路は未だに解明されていない。そこで、ストレス回復過程の生理ダイナミクスの評価を行った。

機能的磁気共鳴画像法（fMRI）・脳波（EEG）・複数生理指標（心拍・呼吸・瞳孔・唾液採取）の同時計測実験を計104名の参加者に対して実施した。これらの機器の同時計測環境の構築は高知工科大学からの支援により実現できたものである。2020年度は計測データのうちfMRIデータを中心に解析を行った。実験では、参加者に軽度のストレスを負荷し、その前後の約2時間に渡り安静時脳内変化を観察した。解析を終えた約70名分のデータを検討したところ、ストレス負荷後20分程度にはストレス経験によって誘発された腹内側前頭前野や背側被殻、島皮質などをハブとする機能的結合性の上昇が見られた。さらにストレス負荷後60分以降において、レジリエンスの個人差に依存して、前帯状皮質、前頭極、腹側線条体などをハブとした機能的結

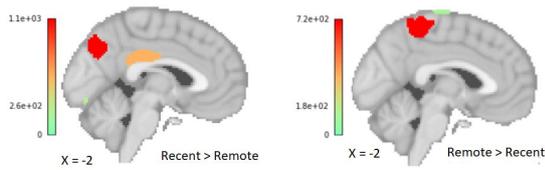


図5. 単変量 GLM 解析の結果。遠隔記憶想起試行と近時記憶想起試行との間の脳活動を比較した ($P < 0.05$, FEW-TFCE corrected cluster-size)

合の上昇が見られた (図4)。今後は複数の生理データや EEG データとこれらのハブ領域の関係性を明らかにしていく予定である。これらの結果は筑波大学でのシンポジウムにて口頭発表した²²⁾。

「新型コロナウイルス感染症に関するアンケート研究」レジリエンスが安定した性格特性であるかを検証するために、一年以上に渡って同一参加者に対してストレスとレジリエンスに関するアンケートを複数回実施した。コロナウイルス感染拡大前に1回目を実施した後、感染拡大後の2020年5月、9月、12月の計4回に渡って調査を行なった。結果、延べ人数994名のデータが得られた。解析の結果、「慢性ストレス」は1年間で徐々に上昇し、「鬱傾向」は特に緊急事態宣言下で一時的な上昇がみられた。一方で、「レジリエンス」尺度は常に安定しており、他の尺度と比較して変動性が低いという結果が得られた。加えて、コロナ禍の実生活とレジリエンスの関係を検証したところ、レジリエンスが高い人ほど、実践しているストレス解消法の数が多いという実生活との関連性も明らかとなった。

3.4 認知神経科学研究 (中原・王・Keerativittayayut)

中原・王・Keerativittayayut は、地村弘二客員准教授 (慶應義塾大学理工学部准教授) との共同研究で、遠隔記憶の脳内固定化の研究を進めている。

ヒトにおいて、記憶された後およそ数年から10年以上を経過した記憶を遠隔記憶、それよりも新しく記憶された記憶を近時記憶とよぶ。主に患者 HM の症例研究等に基づいて、近時記憶と遠隔記憶の脳内固定化に関するモデルが提唱されている。

HM はてんかん治療の目的で両側海馬と周辺の内側側頭葉皮質の切除手術を受けた。その結果てんかんの症状は緩和されたものの、記憶機能に予期せぬ重篤な障害が生じた。それは新規の記憶を全く記憶できなくなったこと、および手術前10年程度の記

憶が失われたことであった。しかし10年以上前の古い記憶は比較的保たれていた。

このような HM に生じた記憶障害が示唆するものとして、近時記憶は当初海馬と周辺の内側側頭皮質に貯蔵され、その後大脳連合野へと転送され遠隔記憶として固定化されるというモデルが提唱された。これは記憶固定化の標準モデルとよばれている。これに対して遠隔記憶は大脳連合野に転送されるが、海馬の関与は継続するとした multiple trace theory が新たに提出されている。したがって現在、近時記憶と遠隔記憶の脳内表象、殊に海馬の関与の有無については、記憶の認知神経科学研究における重要な問いの一つとなっている。

私たちはこの問題に取り組むため、任天堂が長年にわたるシリーズとして発売しているポケモンのゲームに着目し、ポケモンの顔と名前の face-name association memory 課題を考案した。被験者がこの課題を行う間の脳活動を fMRI によって計測し、遠隔記憶のヒト脳内表象を探索している。

実験の被験者は本学学生であり、そして最近の大学生の多くは幼少時よりポケモンゲームのシリーズを継続的にプレイしてきている。そこで2006年にリリースされたポケモンゲームを、リリース当時にリアルタイムにプレイしたことのある学生を被験者として集めた。これらの被験者は今からおよそ15年前の2006年にプレイしたポケモンの顔と名前を遠隔記憶として記憶しているはずである。

また被験者には fMRI 実験の前日に、2019年にリリースされたポケモンゲームをプレイさせた。これによって被験者は2019年のポケモンゲームの主要キャラクターの顔と名前を連合学習し、近時記憶として記憶することが期待された。

こうして2006年及び2019年リリースのポケモンゲームの主要キャラクターそれぞれ3種類の face-name association 課題を行う間の被験者の脳活動を fMRI で計測した。

全脳探索的な単変量解析において、近時記憶想起試行と遠隔記憶想起試行との間で脳活動を比較した。その結果、近時記憶の想起において、両側の後部楔前部、両側の側頭後頭接合部、両側の帯状回、左舌状回においてより強い賦活が見られた。遠隔記憶の想起においては、両側の前部楔前部により強い賦活が見られた (図5)。これらの結果は、楔前部の前後部で機能分離があり、それぞれ遠隔記憶、近時記憶の想起に関与することを示唆している。現在、本研究の中心となる問いである遠隔記憶の脳内表象を明らかにするために multi-voxel pattern analysis

(MVPA)を進めている。

また2020年度には地村弘二客員准教授との共同研究による研究論文2報がJournal of Neuroscience誌に掲載された他^{19,20}、計4報の論文発表を行った^{13,19,20,25}。

3.5 深層学習・強化学習を用いたfMRI解析に向けて(松崎)

画像認識を含むさまざまなタスクにおいて、深層学習が優れた成果を挙げている。また、AlphaGo Zeroのように、教師データの知識を用いないエージェントによる強化学習も近年活発に積極的に研究されている。松崎はこれまで、深層学習技術を利用したMRI構造画像の超解像処理について研究を行ってきた。今後は、MRI機能画像(fMRI)に対して深層学習や強化学習を応用することで、より優れたfMRI解析手法を実現することを目指している。

2020年度は、その基礎研究として、従来の将棋や囲碁とは異なる性質をもつゲームである「2048」を対象として深層学習・強化学習を適用し、さまざまな実験を行った。ゲーム「2048」は、ランダム性を含むことと、手の候補数が少ないが手数が非常に多いことが特徴的なゲームである。その実験より、広く用いられているデータ拡張などが役立たないことがあることなどが分かった²⁷。

また、深層学習・強化学習を用いたfMRI解析に向けて、既存研究に関するサーベイを行い、勉強会において発表した。その中で、2018年ごろより、Resting State fMRIデータを入力としADHDであるかを判別する問題についていくつかの研究がなされていることが分かった。今後は、本研究センターで行われているfMRI実験と協同して、より優れた解析手法の提案を目指して研究を進めていきたい。

3.6 機械学習・深層学習による脳MRI構造画像復元と解析(吉田)

MRI画像に対する機械学習・深層学習の適用は、機能画像から被験者がfMRI画像を撮像されていた条件を推定する脳情報デコーディング²⁸や、大規模な構造画像データセットを使った疾病検出²⁹の試み、その他、超解像化やセグメンテーション等の画像処理的な手法として使うなど、様々な場面で応用されている。本研究では、MRI画像の超解像化と、脳画像の違いの判別モデルに関する研究を機械学習・深層学習を使って取り組んでいる。

超解像化については、2015年度に採択された総務省戦略的情報通信研究開発推進事業(SCOPE)

の継続研究として進めているMRI画像の超解像化について、畳み込みニューラルネットワーク(CNN:Convolutional Neural Network)と敵対的生成ネットワーク(GAN:Generative Adversarial Network)を使った超解像化に取り組んだ。MRI画像は3次元の画像であり、3次元畳み込みニューラルネットワークを適用することが自然な方法であるが、2次元のものと比較して応用場面が少ないため、学習のための画像データセットは2次元に比較して少ない。また、近年は、転移学習と呼ばれる適用対象ではない画像データセットの認識のために訓練されたCNNモデルを、適用対象の問題ドメインにて追加学習させる研究の有効性が認識され、データが少ない適用対象でも効率的な学習が行える。特に医用画像の分野では、画像数の少なさを補える手法であり、よく用いられる。しかし、3次元画像の場合は、一般画像データで学習させたものをそのまま用いることができないため、転移学習が使えなかった。そこで、本研究では、3次元画像を2次元スライス(部分空間)に分解し、この2次元スライスに対して他のドメインで学習済みのモデルを適用することを考え、2次元のスライス単位での超解像を行い、最終的に3次元画像を構成する手法を提案した^{30,31}。

次に、MRI構造画像の認識・分類に機械学習を用いる研究については、MRI画像も画像の一種であることから、深層学習の中でも画像認識を中心に最も広く使われているCNNを使うものが多く、高い判別精度を報告しているものも多い。CNNのMRI画像認識への一般的な有効性については、まだ議論の最中であることには注意が必要であるが³²、画像中の何らかの要因で高い判別精度が得られることがあるのは事実であると考えられる。高知検診クリニック脳ドックセンターとの共同研究で、同センターにあるMRI T1-weighted脳構造画像を使い、脳構造画像と様々な健康指標、認知能力、運動能力等との関係を機械学習により見出す研究を進めている。そのための基礎研究として、脳構造画像から男女の性別を推定する研究を進めている。2020年までの研究で、T1-weighted画像から、頭部全体を入力する場合で識別精度0.97、灰白質のみで0.8程度の精度となっていたが、T2-weighted画像、Diffusion-weighted画像についても男女性別の精度を調べた。この結果、同様に0.8以上の精度で識別できた³³。現在は、識別ができた理由、脳や頭部のどのような部分が使われているのかの解析を行っている。

4. 教育活動

本センターは教育活動も重視し、MRI装置を活用した卒業研究・修士論文研究を積極的に推進している。2020年度は学部学生17名が学位論文を執筆し、それぞれ学士の学位を取得した。さらに修士課程の学生5名（情報学コース）が修士の学位を取得した。次年度以降はさらに多くの研究指導に活用されることを期待したい。なお次年度10月に博士後期課程特待生（SSP）1名が本センターに加わる予定である。

また主に情報学群の入学者の中には、脳科学を学ぶことを志望動機とする学生も毎年一定数いるようである。

5. 共同研究設備運用実績

2017年4月から運用を開始した、本センターにおける二代目の磁気共鳴断層撮影装置（Prisma）は、現在のところ大きなトラブルも無く、共用機器として順調に稼働している。各月別の利用率の状況を図6に示す。本年度前半は新型コロナウイルス感染拡大防止の観点からfMRI実験を全面的に停止したが、夏休み明けの実験全面再開後は、概ね例年と同レベルの稼働率を維持している。

ご利用予定の先生方におかれては、このような利用状況をご配慮頂いて、ご予約願いたい。平日日中は授業の関係で被験者が集まりにくいいため実験を行い難い場合もあり、土日祝日の使用を可とする要望も多い。今後話し合いを重ねて、安全に実験ができる範囲内で柔軟な利用が可能ないように改善していきたい。

MRI装置を利用する際には、ヒトを対象とする研究倫理審査委員会において承認された研究課題を記載した利用申請書¹を本センターへ提出し、その後、Webサイト上で予約状況を確認してから利用希望時間を電子メールで申請することとしている。現状では、MRI装置の利用申請は本学教員に限定している。学外の研究者に関しては、本学教員と共同研究を実施する場合に限って、本学教員が利用申請を提出すれば利用を承認するという暫定的運用を行っている。

また、今年度も例年と同じく、MRI装置を学内外の研究者に広く活用して頂けるように、以下の活動を実施した。

(a) シーメンス社によるMRI講習会：MRI装置の

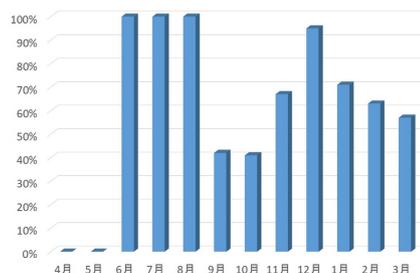


図6. MRI装置の利用率の月別推移（2020年度）
4月～5月は新型コロナウイルス感染拡大防止の観点から停止

使用については、ヒトを対象とする研究が主になること、使用方法を誤ると重大事故につながる可能性があるため、使用する教員はシーメンス社の技術研修（MRI利用安全講習会）の受講を必須と定めている。また、安全教育の観点から、責任者の教員に限定せず、共同研究者及び学生の受講も推奨した（参加者35名）。

- (b) 機器操作説明講習会：MRI装置のリプレイスとともに周辺機器についても拡充が図られており、より精密で高度な研究ができる環境となった。新しく導入された音声・聴覚刺激装置、生体信号モニタ、高速プロジェクタおよび生体信号計測器の導入および使用説明会を計4回行った。
- (c) 被験者プールの増強：研究課題毎に毎回個別に被験者を募集すると非効率である。このため、本センターで予め被験者を募集して登録しておき、MRI装置による実験日時や被験者の条件（視力矯正の有無や利き腕など）を登録者全員に電子メールで連絡する体制を整えて、MRI利用研究者の利便性を向上した。本年度末時点で、被験者プールへの登録者が約980名に達し、効率良く被験者を募集できるようになった。しかし、本学学生に限定している為授業や試験、長期休暇のタイミングで被験者が集まりにくく実験が行えない状況も発生しており、沢山の被験者を要する大規模実験で被験者が集まらず実験が行えない事例もおきている。また実験日の遅刻や当日キャンセルも頻発しており苦慮している。掲示板での告知の他に、授業の告知やサークル、ホームページを通じて募集を行っているが、今後もより多くの学生に周知される為の活動を模索し沢山の学生に参加していただきたいと考えている。

¹<http://www.souken.kochi-tech.ac.jp/BrainCom/internal/> 参照

6. その他

大学広報の一環としても貢献するために、来客時やオープンキャンパス等の際には、可能な限りMR装置の見学にも応じている。2020年度は残念ながらオープンキャンパスは中止となったが、早期に再開されることを期待している。MR装置の見学については、教員が実験を実施している場合は実験の特性上見学できない場合もあるので、見学を希望される方は可能な限り事前にお知らせ頂きたい。

一方、MRI装置は大型精密機器の為、研究者側で細心の注意を払っていても障害や軽微な故障を避けることが困難である。そのため装置停止時に事前登録済の携帯電話へ自動的に発呼する装置、ならびに、その際に停止状況を遠隔確認するWebカメラを設置している。今後関係者全てが出張などで復旧に駆けつけられない事態も想定して、より広い範囲でご協力を仰げるよう話し合いを重ねていきたい。また、安定して信号雑音比の高いデータを取得するためにはシーメンスとの年間保守契約による定期点検が必要不可欠である。年間保守契約は定額で定期点検等のサポートが保障されるものであり、今後もこれに係る大学からの継続的な支援を切に願う次第である。

7. おわりに

脳コミュニケーション研究センターが開設されて10年が経過し、徐々に学際的な研究の拠点として成果が実りつつある。本報告では、これらの活動の成果の概要を述べた。当センター設立以来、MRI装置運用に関する様々な準備やノウハウの蓄積、広報活動を通して共同研究の可能性を模索してきた。大学からの多大なるご支援を受け、最新型のMRI装置であるシーメンス社 Prisma を擁する、国内最高レベルの脳イメージング研究環境が実現されている。2020年度はこれまでの成果が精力的に発表されただけでなく、Prismaにおける実験環境の構築が進められ、新たな研究テーマへの取り組みが行われた。さらにMRIだけでなくTMSやtDCSなど脳刺激法を組み合わせることでより因果関係に迫る研究や、脳波と組み合わせることで、より詳細な時空間情報に基づく研究が進められている。

2021年度に入り、我が国においてもようやく新型コロナウイルスに対するワクチン接種が開始されたものの遅々として進まず、感染拡大終息がいつになるのか見通しすら立っていない。したがって2021年度も本研究センターの研究活動は様々な予期せぬ

困難に直面するであろう。幸い高知県における感染者数は低いレベルが続いており、大学当局のご理解も頂きながら、本学の研究者による研究や、県内他機関との共同研究は特に問題なく進められている。しかし感染拡大防止実験プロトコルの実施においては、これまで以上の慎重さや細心の注意が求められている。また主に首都圏や関西圏では依然として大規模な感染拡大が続いており、これら感染拡大地域の研究者との共同研究は2020年度以降、頻繁に中断を余儀なくされている。

2021年度も引き続き「ウィズ・コロナ」の世界における最大限の研究パフォーマンスを得ることを目指して、センター員が一丸となって努力したい。

謝辞

脳コミュニケーション研究センターに多大なるご尽力とご指導を頂いている磯部雅彦学長にこの場を借りて深謝申し上げます。また本センター運営に関して多大なるご支援を頂いている研究支援部武内章浩部長を始め同部の皆様に感謝申し上げます。最後に、日頃よりMRI装置を活用した実験に必須となるスケジュール管理や被験者着衣、消耗品類の補充等、細やかな配慮でご支援頂いている山中麻央子氏に感謝申し上げます。

文献

- 1) 脳の謎に迫れ. 高知新聞. 2020年10月9日.
- 2) JSPS KAKENHI Grant Number 20H00521
- 3) JSPS KAKENHI Grant Number 17H00891
- 4) JSPS KAKENHI Grant Number 17H06268
- 5) JSPS KAKENHI Grant Number 20K11493
- 6) JSPS KAKENHI Grant Number 20K03500
- 7) JSPS KAKENHI Grant Number 17K00312
- 8) 横田文, 門田宏, 安静時脳活動とジャグリング課題の成績との関連性の検討, 四国体育・スポーツ学会 兼 日本体育学会四国地域, 3月, 2021. リモート開催
- 9) 関口浩文, 佐々木睦, 二橋元紀, 門田宏, 左右脳機能マップと両手協調運動によるスキル学習との関連性, 日本臨床神経生理学学会, 京都, 11月, 2020.
- 10) R. Ohata, T. Asai, H. Kadota, H. Shigemasu, K. Ogawa and H. Imamizu, Sense of agency beyond sensorimotor process: Decoding self-other action attribution in the human brain. *Cerebral Cortex*, Vol. 30, No. 7, 4076–4091, bhaa028, doi: 10.1093/cercor/bhaa028, 2020.
- 11) Z. Li, and H. Shigemasu, Unique neural activity pat-

- terns among lower-order cortices and shared patterns among higher-order cortices during processing of similar shapes with different stimulus types i-Perception, in press, 2021.
- 12) S. He, C. Dai and H. Shigemasa, Temporal dynamics for visual recognition involving vergence eye movements and hierarchy of perceptual rivalry *Optic Express*, Vol. 28, No. 5, 6594–6608, 2020.
 - 13) J. Yang, Y. Yu, H. Shigemasa, H. Kadota, K. Nakahara, T. Kochiyama, Y. Ejima and J. Wu, Functional heterogeneity in the left lateral posterior parietal cortex during visual and haptic crossmodal dot-surface matching *Brain and Behaviour*, Vol. 11, No. 3, e02033, 2021.
 - 14) 繁樹 博昭, 車載テクノロジー最前線 自動/手動運転切り替え時の運転行動特性, 車載テクノロジー = Automotive technology, Vol. 7, No. 10, 63–66, 2020.
 - 15) 繁樹 博昭, 高知工科大学における心理学の教育・研究の紹介 基礎心理学研究, Vol. 39, No. 1, 138–139, 2020.
 - 16) 繁樹 博昭, バーチャルリアリティによる知覚研究 (特集 バーチャルリアリティの広がり) 心理学ワールド, Vol. 88, 9–12, 2020.
 - 17) 「キャンパス探訪」, 「高知工科大・知覚認知脳情報研究室, 脳の見る「現実」VRで探る」. 朝日新聞 (四国版). 2021年1月18日.
 - 18) 繁樹 博昭 (分担執筆), VR/AR/MRにおける3次元知覚特性とメカニズム, 「VR/AR技術における感覚の提示, 拡張技術と最新応用事例」技術情報協会 (2021 刊行予定)
 - 19) K. Tsumura, R. Aoki, M. Takeda, K. Nakahara, and K. Jimura, Cross-hemispheric complementary prefrontal mechanisms during task switching under perceptual uncertainty, *The Journal of Neuroscience*, Vol. 41, No. 10, 2197–2213, 2021.
 - 20) D. Tanaka, R. Aoki, S. Suzuki, M. Takeda, K. Nakahara, K. Jimura, Self-controlled choice arises from dynamic prefrontal signals that enable future anticipation, *The Journal of Neuroscience*, Vol. 40, No. 50, 9736–9750, 2020.
 - 21) R. Setsuie, K. Tamura, K. Miyamoto, T. Watanabe, M. Takeda, Y. Miyashita, Off-Peak 594-nm Light Surpasses On-Peak 532-nm Light in Silencing Distant ArchT-Expressing Neurons In Vivo, *iScience*, Vol. 23, No. 7, 101276–101276, 2020.
 - 22) 渡邊言也, Human brain dynamics to overcome pressure and stress. 筑波大学大学院 ニューロサイエンス学位プログラム発足記念シンポジウム招待講演 2021年3月24日
 - 23) 竹田真己, ヒト長期記憶メカニズムの解明に向けた革新的技術の開発, 高知発達神経科学研究会 2020年9月14日
 - 24) 竹田真己, 脳刺激装置 (特願 2020–219454)
 - 25) R. Kasedo, A. Iijima, K. Nakahara, Y. Adachi, I. Hasegawa, Development of a self-paced sequential letterstring reading task to capture the temporal dynamics of reading a natural language. *Advanced Biomedical Engineering*, Vol. 10, 26–31, 2021.
 - 26) K. Nakahara, Dynamic reconfiguration of large-scale brain networks during memory encoding: Involvement of default-mode submodules. 第43回日本神経科学大会・エルゼビア/NSR シンポジウム ”The default mode network: the mastermind behind the scenes” 2020.7.29. リモート開催
 - 27) K. Matsuzaki, Developing Value Networks for Game 2048 with Reinforcement Learning. *Journal of Information Processing*, Vol. 29, pp. 336–346, 2021.
 - 28) K. Smith, Brain decoding: Reading minds. *Nature News*, Vol. 502, 428, 2013.
 - 29) J. Venugopalan, L. Tong, H. R. Hassanzadeh, M. D. Wang, Multimodal deep learning models for early detection of Alzheimer’s disease stage. *Scientific Reports*, Vol. 11, 3254, 2021.
 - 30) Z. Hongtao, Y. Shinomiya, S. Yoshida, 3D Brain MRI Reconstruction based on 2D Super-Resolution Technology. in 2020 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC) 18–23, 2020. doi:10.1109/SMC42975.2020.9283444.
 - 31) H. Zhang, Y. Shinomiya, S. Yoshida, 3D MRI Reconstruction Based on 2D Generative Adversarial Network Super-Resolution. *Sensors*, Vol. 21, 2978, 2021.
 - 32) M.-A. Schulz, et al. Different scaling of linear models and deep learning in UKBiobank brain images versus machine-learning datasets. *Nature Communications*, Vol. 11, 4238, 2020.
 - 33) Y. Nitta, Y. Shinomiya, K. Park, S. Yoshida, A 3D-CNN Classifier for Gender Discrimination from Diffusion Tensor Imaging of Human Brain. in 2020 Joint 11th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 21st International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS-ISIS) 1–4, 2020.

Toward Center for Interdisciplinary Research

— Activities on Research Center for Brain Communication in 2020 —

Hiroshi Kadota^{1,2,*} **Makoto Iwata**^{1,2} **Hiroaki Shigemasu**²
Akinori Takeda¹ **Masaki Takeda**¹ **Kiminori Matsuzaki**²
Shinichi Yoshida² **Noriya Watanabe**¹ **Ruimin Wang**¹
Kiyoshi Nakahara^{1,2}

(Received: May 31st, 2021)

¹ Research Center for Brain Communication, Research Institute, Kochi University of Technology
185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami City, Kochi 782–8502, JAPAN

² School of Information, Kochi University of Technology
185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami City, Kochi 782–8502, JAPAN

* E-mail: BrainCom-Info@kochi-tech.ac.jp

Abstract: The Research Center for Brain Communication (BrainCom) was established in the Research Institute of KUT in April 2012 as an interdisciplinary research hub of novel communication related to technology and science. Although BrainCom was mainly initiated by researchers in neuroscience and information communication technology, we intend to integrate essential knowledge from various academic fields as well as to operate and maintain the magnetic resonance imaging (MRI) system as shared research equipment.

This report summarizes the advanced activities of BrainCom in 2020 and discusses the research plans for 2021.