

平成30年度 助成金交付について

当財団の助成事業を、今年も実施いたします。当財団では、助成総件数638件に達し、助成総金額は5億3,145万円となりました。学術、ひいては社会の発展のためにお役立てくだされば幸いです。ご応募を心よりお待ちしております。

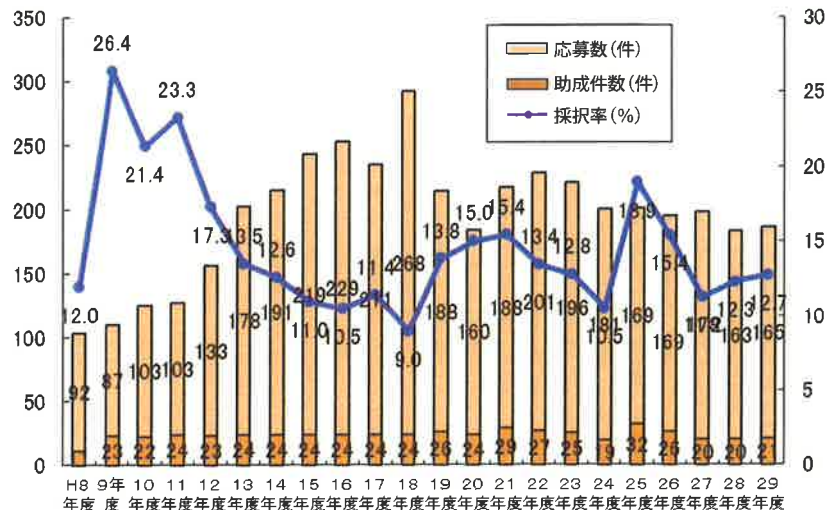
詳細は財団のホームページをご覧ください。

【申請書受付期間:平成30年6月1日(金)～8月31日(金)】

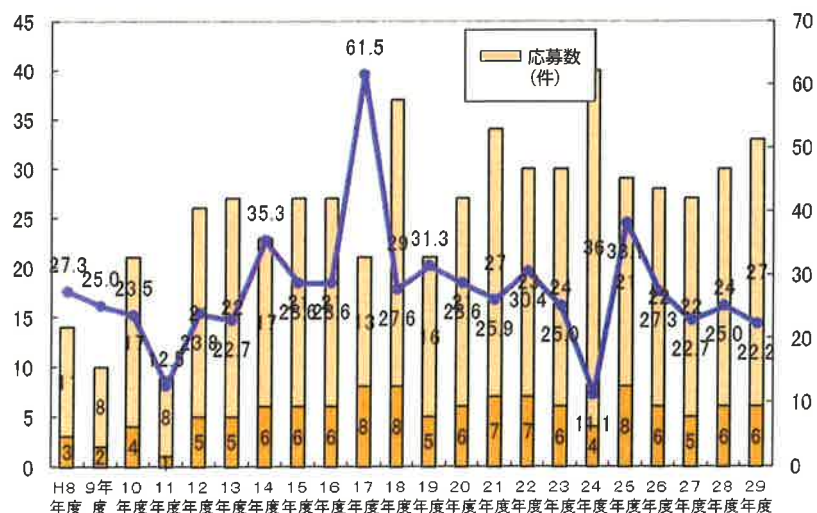
応募手続き

- ◆財団所定の書式(当財団のHPに掲載)を用いて、必要事項を記入して財団事務局あてにEメールで提出してください(郵送も可)。
- ◆申請書の受付完了報告をEメールにてお知らせいたします。
- ◆申請書受付期間外に到着した申請書につきましては受付できませんのでご注意ください。また、電話などで申請書到着遅延、期間外の受付などのお問い合わせはお断りいたします。

■研究助成の推移



■フォーラム・シンポジウム等開催助成の推移



応募要領

〈1〉 研究助成

◆ 応募の資格

助成の対象となる研究を、計画に従って遂行する能力のある方(研究グループを含む)。

◆ テーマ・内容

◎ 情報科学に関する調査、研究および開発で、学術的發展に寄与するものであること。

◎ 研究の計画および方法が、当該研究の目的を達成するために適切であり、かつ十分な成果が期待できるものであること。

◆ 助成金の額

助成総額2000万円までを原則とし、選考結果に基づき助成額を決定します。

◆ 選考結果通知

2018年11月中旬の予定。全員にお知らせします。

◆ 対象となる経費

機械器具装置の購入費および賃貸料、旅費、消耗品費、謝金等。

◆ 研究完了日

助成金の交付決定後2年以内。

◆ 研究成果の帰属

助成研究によって取得された知的財産権は、研究実施者に帰属することとします。ただし、助成研究成果を特許、実用新案または意匠登録として出願し、その後、特許権、実用新案権または意匠権を取得したときは、速やかにその旨を当財団に届け出てください。また、当財団では、「特許庁長官指定学術団体」として指定されていますので、当財団が主催または共催する研究集会で文書でもって発表した場合、発表後6ヶ月以内に特許、実用新案の出願をされたときは、その発明または考案は新規性の喪失の例外とされています。その場合、当財団の証明書が必要となりますのでお申し出ください。

◆ その他、留意していただく事項

① 研究の成功・不成功にかかわらず助成金の返還は求めませんが、当該研究が実施されなかったり、研究実施者が当財団の規程等に違反した場合には、助成金の一部または全額を返還していただくことがあります。

② 助成研究完了の日から起算して30日以内に、完了報告書の提出をお願いします。

③ 研究の成果を当財団の機関誌等に記載したり、講演会等で発表していただくことがあります。

④ 助成研究の成果を学会等で発表したり論文にまとめたりする場合は、財団の助成を受けて遂行されたことを明示してください。

⑤ 応募者の機会均等化を期するため、採択された方は、原則としてその年度後3年間は、選考の対象とされません。

〈2〉 フォーラム・シンポジウム等開催助成

◆ 応募の条件

情報科学に関する学術的發展に寄与するフォーラム・シンポジウム等で、2018年12月1日から2020年3月末日までに開催されること

◆ 助成金の額

年度内助成総額200万円までを原則とし、選考結果に基づき、助成額を決定します。

◆ 選考結果通知

2018年11月上旬の予定。

◆ 対象となる経費

謝金、旅費、会場費、人件費、消耗品費、印刷製本費、通信運搬費等。

◆ その他、留意していただく事項

① フォーラム・シンポジウム等の終了後3ヶ月以内に報告書を提出してください。

② フォーラム・シンポジウム等開催の資料は、申請時に添付のほか、印刷物を発行する場合は送付してください。

③ 応募者の機会均等化を期するため、採択された団体等は、原則としてその年度後3年間は、選考の対象とされません。

ロボットシンポジウム2017名古屋 人と共生するAIとロボットの今とこれから

開催日 平成29年11月15日(水) 10:20~16:00

場所 吹上ホール(名古屋市中小企業振興会館)



開催趣旨

ヒューマンロボットコンソーシアム 会長
ロボットシンポジウム2017名古屋実行委員会 委員長 稲垣 康善

AI技術の進化で、いよいよ人とロボットが共生する日常が目前に迫ってきたように思われます。AI・ロボット技術は、第4次産業革命実現のための基盤技術の要と目され、人口減少や少子高齢化などによって地域経済社会が抱える課題の解決、産業の国際競争力の強化、そして次世代産業創生のキーテクノロジーとして、業種・業態を超えて多くの企業において、研究開発、実用化が進められています。また政府も、成長戦略の柱として、産業や社会生活への利活用促進、さらには産業化のための研究開発を、省庁連携、産学連携などにより積極的に推進しています。

こうした中で、人工知能・ロボット関連の研究

者、技術者が最先端・最新技術情報について情報交換や技術交流を行うのと併せて、人工知能により進化しているロボットの実演展示等を行うことにより、人に寄り添い、人に優しく、人と共生する次世代の人工知能・ロボットの研究開発の振興と産業における利活用の促進を図ることを目的として、昨年引き続き本年もロボットシンポジウムを開催いたします。

本シンポジウムの開催にあたり、格別のご支援、ご協力を賜りました関係者の方々に厚く御礼申し上げますとともに、シンポジウムにご参加の皆様にとりまして有意義で実り多きシンポジウムとなりますことを祈念いたします。

「第17回 Kフォーラム」 発表大要および討議 ざっくばらんフォーラム 「今のこれからのロボット・人工知能・脳科学」

日時 平成29年8月17日(木)～19日(土)

場所 ホテルアソシア高山リゾート

数理脳科学と人工知能

甘利 俊一(理化学研究所脳科学総合研究センター 特別顧問)

脳は何億年にもわたる生命の進化の結果として出来上がった、素晴らしい情報処理の器官である。これがうまく働くのは、並列情報処理のダイナミクスの基本原理を進化の過程で獲得したからに他ならない。しかし進化はランダムサーチであるから、一度獲得したものをすべてご破算にしてもっと良いものに作り替えることはできない。いまあるものの上に新しいものをつぎ足し、古いものと調和させて使いこなす。このため、ごたごたの設計にならざるを得ない。さらに、材料も蛋白に限られていた。

数理脳科学は、脳の情報処理の基本原理を、単純な基本回路網を用いて数理的に探索する。進化の結果として出来上がった現実の脳の不要な複雑さをはぎ取る。その結果、並列情報処理ダイナミクスで実現可能なうまい原理が見つかるならば、今度はこれが脳の中でどのような形で実現されているかを研究すればよい。これは計算論的神経科学の役割である。一方、この原理を現代技術で実現すれば、それが人工知能になる。深層学習も多層の回路の情報変換と学習の可能性を追求して出来上がったものといえよう。

数理脳科学としては、統計神経力学、神経場の興奮力学、連想記憶、学習力学、自己組織化力学などが研究され、その原理的な可能性が議論されている。さらに、システム内の情報の統合の度合いを量的に調べる情報統合理論が意識研究の基礎として提案され、ここに情報幾何が使われている。

人は脳の素早い情報処理で事態を把握し、将来を予測して行動を決定して実行している。しかし、意識のレベルの過程が介入して、この決定をチェックし、合理化し、ときに再考することができる。これは広く情報を統合し、遅い時間スケールで働くプロセスで、言語系が介在し、論理を用いることができる。前者が予測処理(prediction)ならば後者は後付け処理(postdiction)といえよう。

人工知能は、後者をいきなり求めて研究してきたが、結局前者に基礎を置くパーセプトロン型の深層学習が局面を開くことに成功し、今日のAIブームを巻き起こした。しかし、人は両方のプロセスを協調して使っている。これから、脳の科学も人工知能もともにこの二つが交錯するところの基本原理を求めて、研究を発展させていくであろう。

ここに、人の記憶方式の原理の解明が有力な手掛かりを与えられる。

〔討議〕

人の脳の働きは誠に精妙であるが、脳そのものは、またこれ誠に複雑である。脳は、進化の過程のランダムサーチの結果であり、使える材料にはタンパク質という制約がある。一度獲得したものを破算にはできないという歴史的制約もある。では、脳の情報処理を理解するのにどうするか。単純な基本モデルを基に数理モデルを作り、脳の情報処理の基本原理を探索する。これが、脳がいかように基本原理を実現しているかを理解する数理脳科学の方法論であり、AIは現代技術による原理の実現であるとの考えであるという。今話題の深層学習も多層の回路の情報変換と学習の可能性を追求してできあがったものの実現といえるということであろう。サイバネティクスの思考方法と相通じるように思われた。

歴史観と大局観があり豊富な話題の中、AIと脳科学の核心に触れた思いのする発表であった。討論でもいくつかの課題について活発な議論が展開されたが、そのなかで2、3の話題について触れておきたい。一つには、「進化と学習の結果として生まれたある意味でごたごたの脳の情報処理に原理はあるのか」という数理脳科学のアプローチへの基本的立場に関する質問。これには、「原理とは元々人が対象を理解するとき人が作るもの」との答え。原理を作ることができなければ、観察事実の記述に終わると言うことか。もう一つは機械学習において常に問題になるローカルミニマムの問題であるが、深層学習のような超次元の最適値問題では、不思議なことに、どのローカルミニマムもほとんど最適値に近いという意味で、その問題は解消されるという。大数の法則のように証明されているわけではないが、経験的にそうなっているということである。また、自由意志に関するLibetの実験結果は、人には意思決定をする前に行動する無意識の行動があることを示しているという。これに関連して、「人の脳は、素早い情報処理で事態を把握し将来を予測して行動を決定している。しかし意識のレベルが介入してこの決定の



レベルをチェックし合理化し、時に再考することができる。これは広く情報を統合し、遅い時間スケールで働くプロセスで、言語系が介在し、論理を用いることができる。前者が予測処理 (prediction) なら、後者は後付け処理 (postdiction) といえよう。」

そして、「これから脳の科学も人工知能もともにこの2つが交錯するところの基本原理を求めて研究を発展させて行くであろう。」と指摘している。今後の研究への方向性の有意義な示唆であろう。

拘束条件付き自己組織化理論とその応用

津田 一郎 (中部大学創発学術院 教授)

最近、胎児や乳幼児の脳発達の研究が進み、脳が他者や環境からの影響を受けながら発達していくようすが分かってきた。脳の機能分化がこのような脳と環境が相互作用する中で起こり、ready-made ではなく order-made 的な側面があることが分かってきた。このような機能分化の神経機構は従来の自己組織化理論だけでは解明されない。私たちは拘束条件のもとでの自己組織化の問題を変分問題と捉えた。

従来の自己組織化理論 [1][2] では、ミクロな原子分子の相互作用によって、早いモードが遅いモードに隷属され遅いモードがマクロな秩序状態を作ることが示された。しかしながら、これを上のような生命の根幹である分化の問題に適用しようとするとさまざまな困難が現れることが分かってきた [3]。私たちはこれを克服するために、システム全体に拘束条件をかけたときにシステムに如何にして部品が出来上がってくるかという問題を考えることにした。数学的にはこれは変分問題として扱うことが可能で、工学的には最適化問題としてよく知られたものではあるが、実際に脳のような特徴的なネットワーク構造を持ったシステムの機能分化に適用されたことはかつてなかった。私たちは現在4種の脳神経系にそれぞれ異なる拘束条件を課すことで機能分化を観測した [4]。

当フォーラムでは、拘束条件付き自己組織化理論の大枠、ならびにその応用について解説し、議論した。扱った脳神経系は、1. エントロピーフロー最大化のもとでの神経振動子結合系の機能分化に関する数理モデル、2. 外部情報伝搬最大化のもとでの結合力学系の興奮系 (ニューロン) への機能分化に関する数理モデル、3. 非シナプス性結合における進行波解の同期モデル (可解モデル)、4. レビー小体型認知症患者が見る複合型視覚性幻覚の神経機構 [5] に関する数理モデル [6]、の4種類である。

参考文献

- [1] Nicolis, G. and Prigogine, I. Self-organization in Nonequilibrium Systems. Wiley: New York 1977.
- [2] Haken, H. Synergetics. Springer-Verlag: Berlin, 1977.
- [3] Haken, H. Advanced Synergetics. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1983.
- [4] Tsuda, I., Yamaguti, Y. and Watanabe, H., Self-Organization with Constraints — A Math-

ematical Model for Functional Differentiation. Entropy 2016, 18, 74:1-10.

- [5] Collerton, D., Taylor, J.-P., Tsuda, I., Fujii, H., Nara, S., Aihara, K. and Katori, Y. How Can We See Things That Are Not There? Current Insights into Complex Visual Hallucinations. Journal of Consciousness Studies, 23, No.7-8, 2016, 195-227.

- [6] Tsukada, H., Fujii, H., Aihara, K. and Tsuda, I. Computational model of visual hallucination in dementia with Lewy bodies. Neural Networks, 62, 73-82 (2015).

〔討議〕

ノーバート・ウィーナーが1961年出版の著書「サイバネティクス 第2版」の第10章で、脳波と自己組織系 (Self-organizing System) について論じているが、これまでに物理的、化学的、生物的等の自然現象のみならず社会的現象でも自己組織化現象が認められ多くの研究が積み上げられてきている。

脳の発達に伴って、例えば視覚野や聴覚野などが形成される等々、進化的時間であるかもしれないが自己組織的に脳の機能分化が生じているというのは誠に興味深い。

本発表では、脳が外部の環境から影響を受けながら発達し機能分化するメカニズムを、システム全体に拘束条件が課せられた下での自己組織化現象として捉え、数学的に変分問題として定式化して解析をして見せた。拘束条件がなければ、システムの自己組織化は無秩序から秩序への、言い方を変えれば、不安定から安定への変化であり、機能分化は生じない。拘束条件があってはじめて機能分化が生じるといふ。4つの脳数理モデルの紹介に大いに議論が盛り上がった。例えば、「入力情報を神経ネットワーク内に最大限伝搬させる」という拘束の下では「ネットワーク・ユニットとしてニューロンの力学系、つまり神経振動子結合系」が生成される。また、「トランスファー・エントロピーを最大にする、即ち、外部情報最大化」という拘束のもとで、「結合力学系 (つまりニューロン) の興奮系 (機能モジュール) への機能分化の生成」等である。少し一般的に考えてみると、拘束条件をかけられているシステムでは自己組織化をとおして機能分化し役割分担が生じ全体最適が実現する、と言うことであろうか。



意識の境界問題に対する情報理論的アプローチ

大泉 匡史(株式会社アラヤ・R&Dグループ マネージャー)

我々の脳の中には左脳と右脳があり、脳梁を介して相互作用をし、情報のやりとりをしている。この結果、我々の脳には全体として一つの統合された意識が生じており、左脳と右脳に独立な意識はない。一方、二人の人が会話をしている時も、二人の脳の間には相互作用があり、情報のやりとりがある。しかしながら、二つの脳が全体として一つの統合された意識を持つことはない。あくまで、二つの脳に独立した意識が一つずつあるだけである。つまり、二人の人が会話をしている時は、我々の脳の中と全く逆の現象が起こっている。二人の人が会話をしている時には二つの脳の間には「意識の境界」があり、左脳と右脳の間には「意識の境界」がない。こうした意識の境界は一体何によって決まるのか？私は本発表で、意識の統合情報理論と呼ばれる理論に基づき、意識の境界問題を根本的に理解するための数理的な方法論について議論した。

統合情報理論は意識の本質的な性質を「情報」と「情報の統合」にあると考え、システムの内部で情報が統合されていることが意識を成立するための必要条件であると考えている。さらに、情報を統合しているシステムが全て意識を持つわけではなく、「局所的に情報の統合の量(統合情報量)が最大になる部分系のみが意識を持つ」という仮説を提唱している。局所的に統合情報量が最大になる部分系は、ネットワークの中の「情報のコア」に相当すると考えられる。この仮説に従うと、二人の人の脳全体に意識が存在しない理由は、二人の人の脳全体の統合情報量が、個々の脳の中の統合情報量よりも小さいからである。またこれとは逆に、左脳と右脳のそれぞれに意識が存在しない理由は、左脳又は右脳の中の統合情報量が脳全体の統合情報量よりも小さくなっているためである。

常の脳では、左脳(または右脳)の統合情報量が脳全体の統合情報量が大きいと仮に脳梁の結合が弱くなり、脳全体の統合情報量が小さくなったとしたら、今度は逆に左脳と右脳に独立な意識が存在し、脳全体に統一された意識が生まれないということが起こると予測される。実際、てんかんの治療のために脳梁を離断した患者の中には、左脳と右脳に独立した意識があると思われる振る舞いをする場合がある。統合情報理論は、一体どれだけ脳梁の結合が弱くなると、「情報のコア」が二つに分離し、左脳と右脳に独立な意識が生まれるかを定量的に予測することができる。この統合情報理論の予測を実験的に検証することで、我々の意識に対する理解が大きく前進する可能性があるとは私は考えている。

〔討議〕

人のように人工知能が「意識」を持つようにできるのだろうか。大いなる課題である。そもそも「意識がある」というのはどういうことか。意識が現れるのは脳においてであることは疑いないだろう。しかし、解剖学的な脳研究あるいは神経科学を通してこのことが理解できるとは思われない。「意識する」とか「意識がある」とか言うことは人の思惟に基づく概念であり、いわば哲学の課題である。人が客観的に観察しないしは観測できる事象ではない。脳の神経科学的ないしは物理学的な分析的アプローチになじむとは思えない。しかし、我々は左右の目を通して得られた映像を統合して状況を認識し意識している。眼球、神経系、脳の中で生じている現象であると思わざるをえない。では、どのように考え研究を進めるか。

哲学的課題と実体的議論を結びつける方法として、哲学と神経科学を直接結びつけるのではなく、数学モデルを媒介にして両者を繋ぐ議論を考える。これが意識の統合情報理論と呼ばれるアプローチである。

本発表は、この統合情報理論に基づいた意識の境界問題への数理的方法論の紹介と議論であった。システムの要素が統合されているとき、そこに意識が生じると考え、その統合の程度を統合情報量で計る。統合情報量が大きくなるとそこに意識が生じると考えるのである。会話する二人の脳の状態は統合されていなくて二人には異なる意識が生じている。一方、左右の眼球からの情報が脳梁で繋がっている右脳と左脳の状態が統合され一つの意識が生じていると考える。二人の脳には意識の境界があるが、右脳と左脳には一つの意識が生じておりそれらの間には境界がない。二人の二つの脳というシステムの統合情報量は小さく、左脳・右脳のシステムのそれは大きくなっていると考えられる。一つの脳でも統合情報量が大きくなれば一つの統一された意識が生じていると、そして統合情報量が小さくなれば別々の意識が生じていると考える。

大変にチャレンジングな興味深いスピーチで大変に時間延長する熱の入った討論が展開されたが、そこで最も議論になったのは、やはり「意識が生じている」と言う状況は哲学から出発しているので、どこまで実体的議論ができるかということであった。それに対して実際にサルの脳梁を切断して意識レベルを観察する実験の紹介などもあったが、いずれにせよ今後の研究に期待が膨らむ。



人間の心は、多くの要素が絡み合い常に変化する複雑なシステムである。発生からの経緯を全て包容し、各要素も常に全体の影響のもとに変化していく。従来科学の要素還元論のみでは、このような対象を真に理解することはできない。システム全体としてどう振る舞い、どう変化していくのかを調べる必要があり、そのためには既知の要素からシステム全体を構成し、人間と同等の環境で動かし、発達させてみるのが有効と考える。

発達のごく初期、子宮内の胎児の発達であれば、こういったことを一定の科学的妥当性をもって実現でき、かつ、最も謎に満ちた知能発生の原初の過程の理解につながる可能性がある。もちろん、本物の赤ちゃんを人工的に作ることは不可能であり、倫理的にも許されない。そもそも、それでは心理学者や医学者が赤ちゃんを観察するのと変わらない。そこで、赤ちゃんが人間らしい心を獲得していく上で、最も本質的な原理や要素は何か。それを見極めて、システムを人工的に構築し、振る舞い、発達する様子を観測する。また、原理や要素を変化させるとどう変わるかを観測する。これによって、出発点の原理や要素が妥当か、どう絡み合っていくのか、が分かるのではないか。

赤ちゃんの心の発生の最も重要な基盤の一つとして「身体性」があると考えられる。身体性とは、身体と環境の構造や特性が身体運動とそれに伴う感覚をどのように関連付け構造化するかを意味する。この身体性が、運動発達や身体図式だけでなく、あらゆる認知発達の重要な基盤だと考えられる。赤ちゃんは環境を動き回り、物体をつかみ、しゃぶり、身体と運動を通して世界を学んでいくので、これは当然ともいえる。臨床的にも、発達初期の身体運動や身体図式の特徴と後の心の発達との関連を指摘する報告が多数ある。

我々は、ヒト胎児・新生児の筋骨格系、身体形状、感覚器、子宮内・外環境、脳神経系の一部、の統合モデルを構築し、様々な条件下での発達実験を行っている。これまでに、脊髄・延髄の神経振動子系と身体ダイナミクスの相互作用によりヒト類似の身体運動が発生する例、四肢運動発達や手―顔接触行動発達が体表触覚分布の違いに影響を受ける例を示し、また、大脳皮質の身体表象形成に関し、子宮内と外(ベッド上、早産条件)の発達で大きな差異が生じること、などの具体的なデータを得て来た。

早産児の発達障害リスクが高いとの複数の報告や、自閉症児の大脳皮質身体表象の特異性の報告と総合すると、上の実験結果は胎内経験の不足が自閉症に関係する可能性、さらに敷衍すれば、身体性から社会性への因果関係を示唆すると考えられる。

また、出生後の複雑な環境や社会的相互作用を扱うため、Nobyという乳児型ロボットを構築し、実験を行っている。

〔討議〕

人間の心の発達、とりわけ社会性の理解にアプローチする、極めて独創的な研究の発表であった。発達のごく初期である子宮内の胎児の発達を、心の発達と子宮内における身体運動や身体図式などの身体性から紐解こうと試みている。具体的には、ヒト胎児・新生児の筋骨格系、身体形状、感覚器、子宮内・外環境、脳神経系の一部の統合モデルを構築し、分解観察からではなく生成的・構成論的なアプローチで全体を見ようとしている。子宮内での相互作用行動シミュレーション結果において、まるで胎児が子宮内で運動している実映像をみているかのような、寝返りやハイハイなどのヒト類似の身体動作が発生している事例のビデオなどは、目を見張る驚きであった。用意された胎児のモデルは32週の赤ちゃんを模倣した、21部品、20関節、36自由度、390本の筋肉からなり、子宮とのインタラクションや自己受容の感覚などを実現しているとのことである。

ついで、大脳皮質の身体表象形成に関して、子宮内と子宮外(早産によるベッド上)の条件で大きな差異が生じることが、早産児の発達障害リスクとの関連性にもつながるとの説明があり、腑に落ちる実験結果が紹介された。また、子宮内のほうが身体部位間の反作用の独立性が保たれて、皮質上の分離した自己組織化発達が可能であるという実験に基づく考察もあった。さらに、感覚統合について、子宮内では同時性、子宮外では因果性の発達、離れた部位の因果性が仮定できるという考察も紹介された。実際、早産児のケアとして、シーツでくるんだりネステイングするという直感的なケアはされているとのこと。人工的な子宮環境をつくってロボットの振る舞いを調べることは興味深い実装が困難であるとの説明があった。

究極の目的は社会性の解明ということだが、ヒトの社会性は、現在の研究の方向性そのまま環境とのインタラクションだけから発達から獲得可能か？環境とは質的に異なる他者がいなくてもできるかという問いがあった。それに対する回答として、そんなに遠くない自然な拡張でできるのではないかという見通しをもっているという回答があった。他者をどうモデル化するかという点が鍵になるのではないかと感じた。また、鳥が成長すると卵のカラを自ら割って出てくるというのは、どう説明できるかという質問があった。鳥の脳とヒトの脳は違うが、シミュレーションによるモデルがスケールを越えて連続性を説明できるのか、ある時点で遺伝子が発現して行動が生じるように相転移が生じているのかは、興味深い課題である。

脳とヒトの発達の深淵で新たなフロンティアとなるテーマを垣間見ることができた。



ディープラーニングを用いたロボットの運動・言語学習

尾形 哲也(早稲田大学 基幹理工学部表現工学科 教授)

本講演では、深層学習のロボット技術への応用を大きなテーマとして、特に認識、動作、言語、そして認知ロボティクスに関する学習モデルについて我々が行ってきた研究事例を紹介した。

「認識」タスクとして、我々が取り組んだ深層学習によるリップリーディングの萌芽研究、さらにそれをリファードした Google の LipNet の研究を紹介し、クラウド上でのデータ処理に関する驚異的な技術発展を概観した。

「動作」タスクへの導入として、ロボットと人工知能研究の対比について議論したあと、我々が先駆的に取り組んできた、深層学習のみによるロボットによるマルチモーダル学習、また物体操作の学習を紹介した。特にロボット動作生成では、これまで大きな計算コストが必要となっていた柔軟物の折りたたみ動作学習を紹介した。深層学習により、カメラ取得イメージから直接、関節角度情報を End-to-End 学習を行うフレームワークにより、ロボットは次状態イメージ画像を予測しながら、柔軟物だけでなく、複数の未学習物体の操作が可能となることを示した。

「言語」タスクへの基礎実験として、再帰型神経回路モデル (Recurrent Neural Network: RNN) による言語学習をロボット動作学習に導入した事例についても紹介した。否定や AND, OR などの論理語を含む、多義的な文章の指示に対して、神経回路モデルが、現状の視野画像、ロボットの動作状態と統合する形で、現時点での "意味" を多様な状態空間に内在させ、ロボットの動作として対応が可能になることを示した。特に "OR" の処理については、感覚入力に付随するノイズが、神経回路モデルの複雑なダイナミクスとして表現され、利用されていることなども確認した。

また「認知ロボティクス研究」の統合の可能性について議論し、その一例として、我々が取り組んできた模倣学習の実験モデルを紹介した。具体的にはロボット自身の動作を学習した神経回路モデルが、一種の転移学習を利用することで、教示者である他者の位置と動作の種類を認識可能となることを示した。これらの基礎モデルが、深層学習により、より実際の幼児の模倣に近い実験系になる可能性がある。

最後に、今後の深層学習モデルの実世界の応用の方向性を議論した。またブラックボックスとなっている深層学習モデルの問題点を再認識するとともに、そこへのアプローチについても考察を行った。

〔討議〕

深層学習 (以下、DN) のロボット技術への応用について、ご自身が進められてきた認識、動作、言語および認知ロボティクスに関するこれまでの研究と今後の方向性・可能性について深い議論がされた。いずれもマルチモーダル処理になっている点が興味深い。

まず、認識に関しては Honda Research と進めたマルチモーダル音声認識 (リップリーディング) の研究紹介があった。DN により、容易に音声と画像特徴の統合ができることを示した。2016 年に LipNet (DeepMind) が出てきて、90% 以上の認識率を示し

て、あっという間に追い越されたという、最近の研究の流れの紹介があった。引用してもらい、先駆者としての面目は立ったが、「デジタル化されたデータで Google などと勝負してはいけない」という教訓 (?) が共有された。



つぎに、動作タスクに関して議論した。End-to-End の学習として、感覚-動作生成を直接 DN を学習させて実現する方法に挑戦している。ロボットに柔軟物体 (タオル) を折りたたむタスクの軌道生成を実現する DN を学習させた。カメラ映像と軌道データのマルチモーダルデータの学習によって、対象を見た時のネットワーク上の映像の連想をみると、意図の理解につながっているとも解釈できるのではないかという議論があった。

さらに言語と運動のマルチモーダル結合について研究報告があった。ロボットの旗上げゲームの事例で説明された。興味深いのは、色情報と目的語の内部状態をみるときれいに主成分が分布していることがわかる。直感的に距離が遠い状態も、寄与率の小さい成分ではきれいに配列していることが見えてきたという報告は、興味深いものである。

質疑応答の時間に移り、まず画像と言語の双方向性のある DL 学習はできるか? という質問があった。それに対する直接の答えはないが、運動と言語間でのスローなニューロンでの学習はやったことがあり、運動と言語の粒度の違いがあるので、難しかったとのことだった。もし可能であれば、言語をいれれば画像が生成でき、またその逆も可能になるという理論は成立するのだろうか。同時通訳の専門家でも双方向できるわけではない、という事実から難問であることが共有された。

さらに、いま DN は、テキストと運動の各シーケンス間の対応を学習しているに過ぎない。推移的推論とか、サブゴールの自動生成などはまだできない。という現状がまず共有された。サブゴールごとの学習はできるし、それらをつなぐと、動作が未来を予測しているかのようにそれらしく見えるが、ノイズに対応しているに過ぎない。とのことである。最近、ボストンダイナミクスの DOG が扉を開いて他のロボットの通路を確保するというようなデモが目ざされているが、これも同じものだろうか。人間から見ると、まるで推論をしているかのように見えるのは興味深い。DN による推論の自動生成は一つのグランドチャレンジになるのかもしれない。

最後に、DN の表現系の中に一見無駄なものが生じていることはないのかという質問があった。機能分化との関係から見るとシードポイントになりうるものが生成されているかどうか。答えとして、学習させていくと、ときに変なシーケンスが残ることがある。不安定だったり、変なクセとして構造に残るのは確かにできている、ということであった。これをポジティブにとらえるかネガティブにとらえるかがこれからの研究の進展が楽しみである。

自発活動する計算機

高橋 宏知(東京大学先端科学技術研究センター 講師)

脳は、外部刺激を全く受けなくとも、生きている限り、常に自律的に活動している。この自発活動は、刺激で誘発される活動よりも圧倒的に多い。自発活動の時空パターンは高い再現性を示すとともに、豊かな多様性(レパートリ)を示す。この多様性は、脳の記憶容量に関連するとも考えられている。このような脳の自律性や自発活動は、人工的な計算機とは決定的に異なる特徴の一つである。著者らは、微小電極アレイにより、神経細胞の初代分散培養系の神経活動やラットの聴覚野を調べてきた。これらの研究を紹介したうえで、自発活動や脳のダイナミクスが情報処理に及ぼす影響を考察し、自発活動する計算機の開発の意義を議論したい。

神経細胞の初代分散培養系では、ラットの胎児から神経細胞を取り出し、それをシャーレの上に播種し培養する。やがて培養された神経細胞は互いにコミュニケーションをとるようになり、自己組織的に神経回路を形成する。さらに、シャーレ上の神経回路は、自律的に活動を始め、回路の成熟とともに多様な活動パターンを発生するようになる。筆者らの実験では、時空パターンはランダムに出力されるわけではなく、似たパターンが連続して出力された。このことから、神経回路は「メタ状態」を自律的に遷移しており、メタ状態に依存して自発活動パターンを生成していると考えられる。このような自律的な状態遷移は、津田一郎先生らが提唱する「カオス的な遍歴」を示す脳の理論モデルに合致しており、膨大な記憶パターンとして作り出し、維持し、臨機応変に利用するメカニズムと考えられる。

この培養神経回路に移動ロボットを接続し「身体化」すると、ロボットは自発活動に応じて、自律的に動き回るようになる。さらに、培養神経回路の状態に応じてフィードバック刺激を与え、混沌とした自発活動から秩序ある状態を作り出す仕組みを実装した。このような多様性から秩序を生み出す仕組みにより、身体化された移動ロボットは、迷路課題を解決できた。ロボットは、しばしば寄り道をし、最短経路で迷路を解くわけではないが、その振る舞いは生物らしい知能を感じさせる。この実験から、生命的な知能の源泉は、「多様性を生み出す」能力と「多様性から秩序を生み出す」能力にあると考える。

聴覚を生み出す聴覚野でも、神経活動の多様性を調べた。特に、聴覚野の周波数マップと反応特性のばらつきに注目した。その結果、マップ上で広い面積を占める部位では、神経細胞は豊かな多様性を示し、逆に、機能マップ上の狭い部位では画一的な細胞が多いことがわかった。すなわち、重要な機能を担う脳内部位は、多種多様なニューロンを収容しなければならないために、広い面積を占めるようになったと考えられる。次に、定常的な刺激を提示したときに、各計測部位の神経反応の同期を調べた。その結果、特定帯域において、協和音や長三和音は同期を強め、不協和音や短三和音は同期を弱めた。この結果は、多様な神経反応から秩序ある安定した聴覚を生み出すために、聴覚野は同期を利用して、神経集団を選択していることを示唆する。これらの実験から、聴覚も、フィードフォワード結合により「多様性を生み出す」能力とリカレント結合により「多様性から秩序を生み出す」能力により

支えられていると考える。

このように、脳は、多様性を生み出し、多様性から秩序を生み出す。このようなダーウィン主義が、脳の計算の基本原理であると筆者は考えている。脳の自発活動が生み出す多様性により、生物学的な知能(≠人工知能)、意識的な知覚システム、脳の創造性などが支えられているとすれば、今後、自発活動する計算機の開発に大きな期待を寄せたい。
〔討議〕



氏は機械工学出身で微細加工が得意だったために、チップを作って脳に埋め込んで電気刺激をして反応を見るというような形で医学・脳科学に進んできたというユニークな経歴をお持ちである。「メカ屋のための脳科学入門」という著書がある。機械設計と同じように脳科学にアプローチできないか、というのが基本的モチベーションであるとのこと。最近のテーマとして、アクティブ・リザパー計算の理論についての説明があったが、入出力の能動的選択をどのようにタスク依存させるのか、内部のネットワークの良さと能動的選択の良さのどちらが寄与しているのか評価が難しいのではないかと、など難しい課題が多数掘り起こされたように思う。脳のネットワーク構造と発達をシミュレートする計算機のアーキテクチャの1つの候補なのであろうが、やはり、価値判断のようなものがどこかで発現しているように考えてしまう。いずれにしてもいまの深層ネットワークの学習が人間のそれとは乖離していることは間違いない。環境とのインタラクションの評価も含めたアーキテクチャの出現を心待ちにしている。

討論は、ラットの聴覚野についての研究について集中した。まず、長調(メジャー)と短調(マイナー)の違いで、短調は同期が落ちているということであったが、それはどういうことか?という質問があった。ヒトはメジャーもマイナーもそれぞれ楽しんでいるがそれは同期とは関係ないということであろうか。それに対して、いまは、定常的な音源刺激を提示しているので、音楽などメロディーが流れていくものとは、反応が異なると考えていると回答された。

また、行動としてネズミはメジャー・マイナーを聞き分けているかわかるのだろうかという興味が提示された。聞き分けまでいかないが、どんな音が好きか嫌いかなどを調べようとしているとのことであった。例えば、ネズミは静かなところが好きである。そこで、場所によって異なる音を聞かせる状況を作って行動を見ようとしている。現在の実験では、10khzは嫌い、40khzは好きっぽいという様子があるという(60Khzまで聞こえているようだ)。その好き嫌いはいったいどこからきているのだろうか。本能的な生殖行動などとかかわりがあるのだろうか。

最後に、声道の倍音構造、言語・音楽の倍音構造と、脳内ネットワークの倍音に対する共振ネットワークの関係について議論があった。脳が倍音構造を決めた、ということであったが、声道がその状況を作ったという解釈のほうが納得しやすい説明であった。日々声道を鍛えている参加者が多い中で、興味深い議論ができた。

神経ネットワークダイナミクスから探る精神疾患のメカニズム

高橋 哲也(福井大学 保健管理センター 准教授)

ヒトにおける情動や思考をはじめとする精神活動は、無数の神経細胞活動とそれらがシナプスを介して構成する神経ネットワークの活動によって発現される。この神経ネットワークは胎生期から思春期にかけて大きく発達することが知られている。一方、思春期は種々の精神疾患が好発する時期であることから、“神経ネットワークの発達障害”が精神疾患に共有される神経基盤の有力な候補として注目されている。近年様々な脳機能研究によってその存在が明らかとなりつつあるも、未だその多くは謎に包まれているのが現状である。

コンピューターサイエンスの進歩は複雑ネットワーク解析の発展をもたらし、神経ネットワーク活動の理解に大きく貢献している。中でも非線形複雑性解析や機能的結合解析とそれを応用したグラフ解析は、種々の精神疾患における発症機構や病態生理を理解する上で重要な役割を果たしている。一方、脳波・脳磁図は、その高い時間分解能や非侵襲性、また脳神経活動をダイレクトに捉える特性から、神経ネットワーク活動を探る上で極めて有用な脳機能画像法である。我々の脳波・脳磁図を用いた神経ネットワーク研究においても、統合失調症やアルツハイマー型認知症、うつ病、さらには自閉症における脳活動が健常とは異なる疾患特異的な複雑性特性およびネットワーク特性を有していることを明らかにしている。例えば小児自閉症では、低周波数帯域における低いスモールワールド性(情報伝達の効率性)と高周波数帯域における高いスモールワールド性がみられ、自閉症で提唱されている仮説“local over-connectivity but long distance disconnection”を支持する結果を報告している。

神経ネットワーク活動は無数の脳部位間における複雑な相互的制御の下で行われている。従って、各脳部位活動の同調性によって捉えられた機能的神経ネットワークは極めてダイナミカルな変動を有していると考えられる。しかし、既存の研究はそのアルゴリズムの限界から、神経ネットワーク活動を静的に捉えるに留まっている。我々は脳波・脳磁図によって同定された各脳部位活動の同調性が時空間的ダイナミクスを有することを明らかにし、さらにその定量化を可能にする新しいアルゴリズムを提唱した。本アルゴリズムは神経ネットワークダイナミクスの新たな一面を浮き彫りにすることが期待され、現在その臨床的有用性の検証を進めている。

[討議]

精神科医師である氏の最新の臨床研究をふんだんに交えた、時空間神経ネットワークダイナミクスからみた精神疾患のメカニズム解析についての研究報告であった。まず、バイオマーカーがないということが、精神疾患における大問題であり、今回は、群間比較中心のざっくりばらんな研究の報告をする

との位置づけであった。精神科医師の臨床における様々な精神疾患の症例と、それらの脳波信号(EEG, MEG)の様子が治療の経過とともに紹介された。基礎科学としての脳科学の立場からの研究報告と違い、臨床現場のコンテキストにおける苦労やエピソードとともに語られる内容は極めて専門的で、すべてを理解するのは困難であったが、大変興味深いものであった。

多くの報告の中で、いくつか興味を抱いた話題として以下を紹介する。素人の解釈が入るので誤解があったら容赦願いたい。まず、統語失調症において、投薬による効果をみると興味深い結果がある。前頭部は投薬によって症状の緩和が見られているが、異常があるとされている側頭葉は変化がないことが確認できる症例が紹介された。その説明として、表現系である前頭葉は治療によって改善しているようにみえるが、本質的な箇所は改善していないとのことである。これは、我々が風邪を引いて発熱があるときに、解熱剤を飲んで一時的に症状が緩和する状態で、菌やウイルスによるモノであれば抗生物質を服用して根源から治療をすることが必要であることを想起させる。氏によれば、つまり、統語失調症におけるこれらの治療と行っているモノは対症療法の域を出ず、根源的な治療法が見つからないということと理解した。脳が神経ネットワークのダイナミクスによる知の発現をしているとすれば、そのダイナミクスを変更するに十分な作用を与える必要があると考えるのが自然であり、特効薬的なものでない継続的な治療法が求められるのであろう。

また、鬱や自閉症における、電気けいれん療法(ECT)は、一定の効果があるという報告があった。まず、ECTについては、精神治療の歴史において、少々ネガティブな印象をもっていたが、現在も治療法の一つとして実用されていることに驚いた。氏によれば、これらの疾患においては、脳のネットワークの電気回路が何らかのきっかけでアクセルを踏み込み過ぎたり、ブレーキをかけすぎたりした状態として説明できるとのこと。ECTは、その暴走をリセットしたり、新しい循環の刺激をするようなものであり、そういう意味で効果がみられるのではないかとの解釈をされているとのことで、腑に落ちるものであった。

脳科学はMRIなどにより随分進展している印象があるが、精神疾患の現場ではまだまだ不明なことが多いことがよくわかった。事例が少なく、本人とのインタラクションによる認知・思考の状態の客観的観察も困難であることから、まだまだ道は遠いながら、神経回路のダイナミクスの複雑系モデリングによる脳の不思議の解明を期待したい。



盲視から探る意識の脳内メカニズム

吉田 正俊(生理学研究所システム脳科学研究領域認知行動発達部門 助教)

大脳皮質の後端部が脳梗塞などで損傷してしまうと視覚障害が起こる。このような患者の一部では、どういうわけかその見えていない視野にあるものの位置を正確に指で指し示すことが出来る(「盲視」)。講演者は動物モデルを用いた研究によって動物でも盲視が起こることを示した。つまりこの動物では、ディスプレイ上の視覚刺激が上下どこにあるかは正しく当たられるのに、視覚刺激が有るか無いかを答えることはできない。また、視覚シーン上の視線移動の解析から、盲視の動物は視覚サリエンス(顕著性)の情報、つまり周りと比較して目立つ場所の情報は保持していることが明らかになった。以上のことから講演者は「視覚の二重レイヤー仮説」を提唱した。この仮説によれば、我々の視覚には「視覚的意識経験」の層と「視覚サリエンス」の層がある。我々は「視覚的意識経験」のみを意識経験として持っているが、盲視では「視覚的意識経験」がないのに「視覚サリエンス」が保持されているため、「視覚サリエンス」を「なにかあるかんじ」として経験する。

視覚シーン上での視線移動における情報処理の過程を統一的な枠組みで説明する理論的枠組みとして、フリストンの「自由エネルギー原理(Free-energy principle, FEP)」について紹介した。FEPは三つのレベルからなる。1) レベル1では、主体は感覚入力から外部世界にある感覚入力の原因を推測する、つまり認識の過程を説明する。2) レベル2では、視線移動によって感覚入力を変えることによってより正確な推測を生み出す、つまり行動の過程を説明する。3) レベル3(反実仮想)では、レベル2の過程がまだ実現していない将来の感覚入力を推測するという、合目的な行動も説明可能であることを示している。

以上のFEPにおける視覚探索の説明は、以下の二つの視覚意識の理論とも整合的である。1) Sensorimotor contingency(SMC)理論においては、主体が環境への働きかけにおける感覚-運動的知識を所有することが知覚的意識を構成する、と提唱する。FEPはこの過程を生成モデルの獲得という形で計算論的に取り扱っている。2) 「ミニマルな表象主義」においては主体の生存にとって有用な仕方で世界を分節化する「本来的表象」の生成を意識の構成要因として捉える。FEPにおける感覚入力の原因の推測とはこのような意味での表象ととらえることが可能である。以上のようにして、FEPはSMC理論とミニマルな表象主義とを統合するような意識の理論となりうることを提唱したい。[討議]

「盲視から探る意識の脳内メカニズム」というテーマで、盲視の研究をもとに脳の理論について話題提供があった。

まず、盲視という非常に面白い症例の紹介があった。盲視は、視覚野V1が何らかの理由で欠損している人に現れる。例えば、右半分の視野がなくなっているにもかかわらず、そこに何かある感じを報告す

ることができる、というのである。厳密には、自発的な視覚情報処理はしているが、視覚的意識(つまり見えている、見ているという意識)が欠損している状態と



説明があった。神経回路的には、網膜から通常はV1を經由している回路が遮断されたのに、脳の上丘に直接神経回路が繋がっているという脳内モデルで説明できる。自信満々であてずっぽうをしているが、当たってしまう状態とか、何かある感じという状態である。我々が体験していないため、説明が難しい現象・症状であり、たとえば、意識経験の「内容 content」はないけれども、「存在感 presence」はある、というような、さまざまな仕方で説明があった。そして、実際に、サルでV1の回路を遮断して実験すると、最初はランダムだったのが、2ヶ月くらいでいい当てができる盲視が生じているという、極めて面白い現象を納得する実験の報告もあった。

つぎに、自発的な視覚情報処理の部分と、視覚的意識について2つのレイヤー構造での、その仕組みの説明がされ、自発的視覚情報処理は、顕著性(saliency)で説明できるのではないかと展開された。ちょうど、視線の分析、外界の変化に対する高齢者の注意力のモデル化において Saliency を使った説明を試みており、思わぬところで話につながった。

また、意識の表象主義との関係から、自由エネルギー原理(FEP)の「世界で一番わかりやすい解説」をしていただいた。式の展開だけでは一見困難であったが、簡単な事例で説明され、にわかになんか理解できたとはいえないが、わかったような気になった。ひきつづき、FEPは因果関係の推論をしているというが、まだ、相関を計算しているにすぎない。因果推論は現実と反実仮想の比較によって可能ではないかという、氏の理論に誘引され、次の意識の「介入」理論が展開された。『みずからの介入(視野・注視の移動)によって世界を操作して、因果推論を行うことで、世界と自己を結びつけ、まだ見えないものを含めて世界を推定する、ということが意識経験をもつことを可能にする。』、かくして、「介入によって世界はリアルになる」という実験者の欲望に忠実な理論であると結論された。

議論として、今回の説明では、自由エネルギー原理による世界の推定とは、もっともらしい仮説を「誰かが」作ってそれを検証している、という状況であった。実は、膨大な可能性のなかからその仮説に絞り込むところが、実装上はすごく難しいのではないかと議論があり、その説明はまだできていない。メタな推論モデルがもう一つ必要なのかもしれないと、議論が展開された。「意識」は困難な概念であるが、それを理解するモデルにおいて「反実仮想」が自分としては有力な説であると考えていたところ、それを説明する理論を聞くことができ、大変面白い講演となった。

工学は有益な人工物 (artifacts) を設計することを通じて人類の幸福に貢献する。しかし、われわれの幸福を左右する人工物は技術製品には限らない。概念は目に見えないが、幸福に大きく関係する人工物である。哲学は概念の設計を通じて人類の幸福に貢献する「概念工学」として捉えることができる。

一方、われわれの抱える問題の解決は、さまざまなレベルで考えることができる。もちろん、技術的解決がありうるし、それは望ましい。しかし、技術的解決は、制度的解決と概念的解決と結びついたときのみ、実効性をもつ。自動運転車に代表される自律的に行為する知的システムが事故を起こしたとき、誰が責任をとるべきかという議論がかまびすしい。しかし、よりラディカルな「解決」の方向性として、責任の概念を取り除いた倫理システムが可能かどうかを考えてみるべきである。というわけで、概念工学の一つの実践例として、「責任なき倫理」の可能性を探索してみたい。

[討議]

工学は人工物の設計を通じて人々の幸福に貢献する。哲学は概念・理念の設計・加工を通して人々の幸福に貢献する。このように見ると、哲学は、もう一つの工学として「概念工学」として捉えることができると考えて、本発表では、自動運転車に代表されるロボットに関する概念工学の試みが展開された。

自動運転車では、まずは、交通事故は減るであろうが零にはならない、そして、人間では起こさないであろう事故・出来事が起こりうる、さらには誰の責任も問えない事故・出来事が起りうる。このようなエージェントが人と協働する社会に対応すべき概念の設計を考えて、「無責任倫理」を対象として概念工学を試みる。即ち、「自動運転車が事故を起こしたら誰の責任か」という問いは、現在語られている倫理には責任概念が重要であると言うことを前提にしているが、むしろ責任概念抜き倫理システム、即ち無責任倫理システムの可能性を探ったらどうか、と言うのである。

そこで、まず責任概念の分析から始める。責任には、道徳的責任、役割責任、説明責任、・・・等々、いろいろあるが、ここで無くしたい責任概念は道徳的責任である。では、道徳的責任とは何か。「行為の道徳的善し悪し」から「行為者への賞賛/非難または報酬/罰」への移行を媒介し正当化すると考えられている行為者が有する“何か”であるとする。つまり道徳的責任があるときのみ罰に値すると考え、さらに如何なる時に道徳的責任があるかを問うてその答えとする。当該行為以外の行為の可能性があり、その選択に自己コントロールが発揮できる、即ち自由意思が重要で、自由意思が道徳責任の根拠であり、自由意思が無いと道徳的責任も無いと考える。もちろん道徳責任をなくしたとしても無責任倫理システムにおいて、道徳的善悪の区別をなくすわけではないと注意する。無くなるのは、しでかした行為のゆえに行為者に帰属され blameworthy, praiseworthy という性質、要するに「人のせいにする」という実践、即ち悪い行為をした人に責任を負わせて非難/罰を科すこと。

道徳的責任概念は、進化的に獲得した応報感情、報復感情に基づいており社会のコントロールの手段として使ってきた歴史があり、そして、それは価値システムの中核をなす概念であり、自由意思、反省能力、自己、非難/賞賛、刑罰/褒賞と言った概念の根こそぎの書き換えをしなければ捨てることは難しい、と指摘した上で、どうやって道徳的責任概念を消去するかと問う。



この問いに対して、1)道徳的責任を基礎づけようとする哲学的議論は間違いであることを示す、2)道徳的責任の概念を捨てた方が我々の社会は上手いくと示す、3)捨てることは可能であることを示す、と論を進めるのが良いとして、1)、2)について議論した上で、3)について、責任概念に代わる概念として「つぐない、補償(compensation)」の概念が考えられるとして、その概念のブラッシュアップを試みる。

そして、「つぐない」の公平な分配原理を提案する。即ち、出来事 X のもたらした被害 Y に対する補償について、エージェント x が分担する「つぐない」の割合(つぐないの分配係数)をどのようなパラメータで決めれば良いかを考えてみる。①エージェント x のつぐない能力、②出来事 X でエージェント x が得た利益、③被害 Y が生じたことへのエージェント x の行為が持つ因果的寄与度 (x がもしそれをしなかったら Y が生じなかつたであろうという仮説の蓋然性)・・・等々。

これを自動運転走行車の事故に適用すると、「つぐない」は、自動車会社、開発技術者、利用者、そして社会全体に対して、上記の①、②、③に応じて分配されるだろう。(1)自動車会社のつぐない係数は高くなるだろう。それは、つぐない能力が高いこと、即ち車の販売で利益を上げていたからであり、責任が一番重いからではない、また、(2)また搭乗者も、つぐない能力に応じて償う必要がある。事故を起こした責任があるからではなく、当人がその自動走行車で外出しなかつたら事故は起こらなかつたからであろうからである。等々である。

そうして最後に、道徳的責任概念のない倫理、即ち無責任倫理の社会実装の具体策としては、つぐない能力を確保する為に、今現在以上にシステムチックで広範囲の保険制度が必要になろうと言うところに到達した。これは、自動運転車をめぐる法学者の現実的見解に一致する。

自動運転車の様なロボットの起こす事故と関連して、「無責任倫理」の概念設計と社会実装の可能性について概念工学として議論の展開を興味深く聞いたが、ここで一つ疑問が残る。工学では設計し、作り出した物がちゃんと目的、目標通りの機能を実現しているかを実験、試験を通して確認、保証する。この過程は、概念工学ではどのようにするのだろうか。

多層ニューラルネットモデルによる色の階層的情報表現の獲得

臼井 支朗(豊橋技術科学大学 名誉教授)

これまで、網膜神経機構に関する細胞レベルの電気生理実験とその実体に基づく数理モデルを基に構成論的研究を進めてきた。本講演では、多層ニューラルネット(NN)の学習機能を用い、内部表現として獲得される色の情報表現を計算論的視点から考察した。

網膜のL,M,S(赤,緑,青)錐体視細胞で受容される可視光は、直下の外網状層における水平細胞を介したカスケード負帰還直交化神経回路で反対色信号に変換され、神経パルス信号として視神経を介して外側膝状体から第1次視覚野(V1)に送られ、V4野の色細胞表現に至る。こうした3錐体信号から反対色表現を経て色細胞表現に至る各段階を繋ぐ変換機構は3層 NN モデルによって学習的に構成できることを示した(臼井・中内:科学(岩波書店)65, 469-476, 1995)。ここで、外側膝状体は情報伝送の点から見ればボトルネックになる。したがって、網膜で受容された色情報は反対色表現という圧縮された色表現に対応している。カラーテレビの反対色信号も白黒テレビが普及していた当時、従来の輝度信号に加えて色信号を効率よく埋め込むために考え出されたものであった。自然が獲得した色覚機構が、こうした設計原理に従って構成されたものと類似していることは、色覚機構を理解する枠組としての最適原理に通ずるものがあり興味深い。次に、ヒトが色として知覚できる色票を、明るさ・色み・鮮やかさの空間で、似た色を近くにとという基準で配置されたマンセル色立体は脳の感覚出力であることから、色のクオリアの情報表現と考えることができる。こうした観点から、色として知覚できる数100のマンセル色票の分光反射率データを5層の砂時計型(中間層ユニット数が、入・出力層のユニット数より少ない)NNにランダムに与え恒等写像を学習させたところ、各色票のマンセル座標値が3つの中間層ユニットの活性化値として獲得されることを示した(Usui et al, JOSA-A, 9(4), 516-520, 1992)。すなわち、その空間は明度・彩度・色相からなる色の心理物理空間に対応し、分光反射率という物理量から感覚量への変換が比較的簡単な非線形変換であり、感覚量である明度、彩度、色相からなるマンセル色立体空間が獲得されることを示した。最近の深層学習はこうした NN を多段化(DeepNet)したものであり、色覚だけでなく脳・神経科学研究の新しい解析ツールとして、多方面での展開が期待される。

[討議]

網膜神経に関する細胞レベルの電気生理実験から導かれる数理モデルを基に視覚系の情報処理の

構成論的研究で自ら積み上げてきた蓄積の紹介があり、それを背景に、多層ニューラルネットの学習機能を用いて内部表現として獲得される色の情報表現を計算論的視点から考察した発表であった。



網膜で受容された可視光は網膜を構成するいくつかの層を介して神経パルス信号に変換され、視神経を通して第1次視覚野(V1)に送られる。そして色知覚と一致する活動をするというV4野の色細胞表現に至る。この過程で働く視細胞などそれぞれの細胞の電気生理実験を通してえられる観察事実から電気回路モデルないしは数理モデルを構成し、それらを合成することによって構成論的に、視覚系における情報処理過程を明らかにする。解剖学的生理実験にもとづく分析的考察だけでは到達できない視覚系の働きすなわち情報知覚過程の解明できる有効な方法である。

本発表の話題の中心は、V4野の細胞表現にいたる各段階を繋ぐ変換機構が3層のニューラルネットによって学習的に構成できたということ、即ち3層ニューラルネット中の特定の3つのニューロンの状態が構成する3次元空間がマンセルの色立体と同型になる3層ニューラルネットが得られたという。即ち、人が色を認識しているのと同じ色空間がニューラルネットによって実現できたと言う注目すべき結果である。もちろん脳の中にそのような特定のニューロンがあるということではないと思うのだが、数理モデルとしてそのような色情報構造がニューラルネットの中に実現できたことには間違いはない。

昨今、人工知能の中核技術ともてはやされている深層学習(Deep Learning)はニューラルネットを多段化(Deep Net 化)したものであり、色覚だけで無く脳・神経科学研究の新しい解析ツールとして役立つであろう。

深層学習(DL)は、高次元の万能雲形定規モデルのパラメータ推定であり、対象を理解する万能雲形定規によるシステム同定・解析法である。DLには大量のデータが必要であり、データはサンプルであり母集団の統計的性質を網羅している保証はない。一方、コンピュータのメモリ容量、計算パワーは凄まじい勢いで増大して遙かに人間の能力を超えているから、大いなる力を発揮するだろう。しかし、DLにできることは過去の延長で未来を予測することだけ、新しい価値は生み出さない。要は上手く利用すれば良いということ。この指摘は面白い。

会議開催報告

「第16回 理事会」開催

平成30年2月9日(金) 17:00より、キャッスルプラザにて、第16回理事会が開催されました。

今回の理事会は、

- ① 平成30年度事業計画書案及び収支予算書案、
資金調達及び設備投資の見込みの承認の件
- ② 研究助成規程改正の承認の件
- ③ 第16回議員会の日時及び場所並びに
目的である事項決定の件

が審議され、いずれの議案も原案通り承認可決されました。



会議の様子

「第16回 定時評議員会」開催

平成30年3月2日(金) 17:00より、キャッスルプラザにて、第16回評議員会が開催されました。

今回の評議員会は、

- ① 平成30年度事業計画書案及び収支予算書案、
資金調達及び設備投資の見込みの承認の件

が審議され、原案通り可決されました。

また、先立って行われました理事会の決議内容について
報告を行いました



会議の様子

フォーラム・シンポジウム等開催助成完了報告

(いずれも提出原文のまま、所属は提出時のもの)

■Real-TimeFunctionalImagingandNeurofeedback2017(rtFIN2017) リアルタイム機能的イメージングとニューロフィードバック2017 K28FSXXI第110号

開催責任者：川人 光男(国際電気通信基礎技術研究所脳情報通信総合研究所 所長)

開催期間：平成29年11月29日～平成29年12月1日

会場と所在地：奈良春日野国際フォーラム(〒630-8212 奈良市春日野町101)

参加人員：286名・参加総数 286名

- ・内 企業からの参加者数(ATR含む) 91名
- ・内 企業からの参加者数(ATR除く) 46名
- ・内 外国人参加者数 138名

<成果>

(目的)

同会議は、第1回が2012年にチューリッヒで開催され、リアルタイムfMRIのコミュニティ形成に貢献し、多くの論文を輩出した。第2回は2015年にフロリダにて開催され、その対象をEEG,fNIRS,MEGに広げ、さらにリアルタイムイメージングとニューロフィードバックの可能性を掘り下げること成功した。今回、第3回目は、先端的ニューロフィードバックに焦点をあて、臨床応用を視野に、ニューロフィードバックの標準化から国際的な研究協力体制の確立を目標とし、様々な議論の場を提供した。

(開催結果)

オープニングアドレスとして、川人大会長(ATR)より本会議の歴史、プログラム概要、開催目的、協賛企業の紹介、最後にビッグデータ駆動ニューロフィードバックの最新成果について報告がなされた。その後3

日間に渡り、6件のキーノート講演、5件のスペシャルセッション、4件のワークショップ、12件の口頭発表、141件のポスターセッション、8社の企業展示が展開された。参加者は全体で286名であった。

会期中、初日の11/29日の夜は発表者、参加者、展示者など全員を招待としたバンケットを開催、専門、業種等を超えたフラットな交流の場を設けた。まずはお互いに顔を知ること、翌日からの発表、展示、連携の円滑化に貢献した。

また、本研究・技術分野の裾野拡大を視野に24名のポスドク、大学院生にトラベルアワードを提供した。当日は、新聞社が3社来場し、記事化に向けて現在も取材を受けている。偶然興味を示された奈良県知事、またイスラエルの投資家ご一行が来場するなど、一般からの強い関心を実感した。

実際には、終了後に共同研究の話が議論されており、今後の連携の推移を見守りたい。

■第19回IEEE広島支部学生シンポジウム(HISS) K29FSXXII第116号

開催責任者：中西 功(鳥取大学 教授)

開催期間：平成29年12月2日～平成29年12月3日

会場と所在地：鳥根大学松江キャンパス(鳥根県松江市西川津町1060)

参加人員：239名(2日間の延べ人数)

<成果>

本シンポジウムでは、中国地方の大学生・大学院生の研究成果を発表する85件のテクニカルプレゼンテーションに加え、鳥根大学 高須佳奈氏による招待講演、中国地方の企業2社による企業展示、鳥根大学および鳥取大学からの研究室展示、および高校生による4件の研究成果発表が行われた。2日間にわたって述べ239名が参加し、両日ともに活発な議論が行われた。また、参加者間の交流を深めるため、初日夕刻には学生交流会を開催した。これらの企画により、発表

を行った学生自身の研究に関する理解を深め、情報通信技術をはじめとした本シンポジウムの対象分野における研究を一般の方にも広く知っていただく機会を提供した。また、本シンポジウムの運営は、中国5県の大学生および大学院生が主体となって企画および運営を行った。本シンポジウムの運営を通して、社会における大学の位置付けや、社会と大学とのつながり、さらには対象分野における研究開発の重要性を、学生自身に体感してもらい、将来の対象分野の技術発展を担う学生のモチベーション向上にも寄与した。

研究助成完了報告概要

(いずれも提出原文のまま、所属は提出時のもの)

■多色光非破壊再生法を用いたベクトルホログラフィックメモリーの研究

K26研XIX第431号

藤村 隆史(宇都宮大学 工学研究科 先端光工学専攻 准教授)

◎実施内容、成果および今後予想される効果の概要

本研究の最終目的は、近年申請者が考案したPolychromatic reconstruction (PCR)と呼ばれる新しいホログラム再生法をベースに、既存の光メモリーがもつ記録容量と転送レートを大きく凌駕するホログラフィックメモリーシステムを開発することにある。PCRは、体積ホログラムの再生に単色光ではなく広帯域なスペクトルをもった“多色光”を用いるホログラム再生法である。これまでわれわれは、本手法が、従来の単色光再生では不可能であった“大容量記録”、“非破壊再生”、“広い再生マージン”のすべてを可能にする有望なホログラム再生法であることを実証してきた。本研究では、本方式をさらに大容量化・高転送レート化するため、光のベクトル性を活かしたベクトルホログラフィックメモリーへと発展させる。これは従来のホログラフィックメモリーが撮像素子の各ピクセルに到達する回折光の有無で“0”と“1”の2値の信号を表していたところを、回折光の偏光状態に情報を持たせて多値化を行い、情報量を飛躍的に増加させようというものである。

回折光の偏光状態に情報を持たせるためには、入射された偏光状態を保存し、再生できる“偏光ホログラム”を用いる必要がある。本研究では、この偏光ホログラムを

用いたベクトルホログラフィックメモリーシステムの理論基盤の構築を行い、入力偏光状態と再生された偏光状態を結びつける伝達行列の導出をおこなった。導かれた理論によりPCRでは、常に信号光と回折光の間に偏光角のずれが生じることが明らかとなったが、この伝達行列の理論式をもちいて補正を行うことで回折光偏光角のエラーを大幅に減少させることが可能であることもわかった。

また導出した理論の正当性を検証するために偏光感受性材料であるPQ-PMMAを作製し、偏光ホログラムの記録再生実験を行って回折偏光角の測定を行った。理論から予想される偏光角と実験で得られた値は非常によい一致をみせ、今回導出した伝達行列の妥当性を検証することができた。

記録材料の開発を含め、偏光角の簡便な検出方法の探索などベクトルホログラフィックメモリーにはまだ課題が多いものの本研究で提案するメモリーシステムが実現されれば、角砂糖大の記録媒体に数テラバイトもの記録容量が見込めるほか、データの転送レートもハードディスクを大きく超える数Gbps相当が可能と考えられる。本研究で構築した偏光ホログラムの新しい理論は、今後のベクトルホログラフィックメモリーのシステム構築と開発に大いに役立つものであると考える。

■マルチエージェント環境における「感情」に基づく社会的エージェントの構築

K27研XX第458号

森山 甲一(名古屋工業大学大学院工学研究科ながれ領域 准教授)

本研究は、複数の自律エージェントが存在するマルチエージェント環境における、個々のエージェントの社会的行動の発現過程を議論するものである。

強化学習を行うエージェントを複数用意してゲームを行わせ、その利得から個々のうれしさを表す「効用」を生み出すメカニズムとして「感情」を想定し、それが進化計算によってどのように進化するかを数多くの計算機シミュレーションにより調査した。

そしてその結果を解析することにより、社会的行動をもたらす「感情」がどのように現れるかを明らかにすることを試みた。

平成28年は、実験モデル・実験プログラムの作成を主に行った。

ゲームとして「囚人のジレンマゲーム」を用い、エージェントには、獲得利得から効用を生み出して強化学習を行う「効用利用Q学習」を用いた。

効用を生み出す関数の係数の進化過程を調査するために、係数の取る空間を細かく分割し、各部分空間での短期的な進化方向を見る実験プログラムを作成した。

それを用いて実験を行い、係数の値が空間上でどのような振舞いをするかを調査した。

平成29年は、係数空間上における係数の進化過程についてさらなる検討を行った。

進化の結果として空間上に現れる直線状の構造について、なぜそのような構造が現れるのかを検討するために、もともとのゲームの利得表から、エージェントの嗜好を表す2つの式を考案し、それに基づいて進化過程の説明を試みた。

2つの式は各エージェントの持つ協調行動への好みと同一行動への好みを表す。

これらの大小関係で係数空間を4分割することができ、直線状の構造がそのうちの2つのエリアの境界線上に現れることを明らかにした。

また、これらの式を用いることで、各エリア内における進化の方向を大まかに説明することが出来た。

心理学の最近の研究では、人間の感情の役割の一部として、他者の感情や意図の推定が挙げられている。

つまり、人間の感情を真の意味で推定するためには、推定する側も感情を持つ必要がある。

従って、感情を持つエージェントを構築することは、本研究のテーマである社会性に基づくエージェントの制御に加えロボットなどのユーザインタフェースの研究にも有用になると期待される。

本研究は感情の発現過程を理解する上での初めの一歩である。

■学習者に共感しながら共に学ぶ教育支援ロボットの開発

K27研XX第459号

本研究では、学習の進捗状況に応じてロボットの表情変化と身体動作を実行することで、学習者の気持ちに共感するような感情を表出する共感表出法を提案した。そのために身体動作による共感表出法の開発と検証、表情変化と身体動作の組み合わせ法の開発と検証を行った。



図1 Tabot

本研究を遂行するために、まず、表情変化と身体動作を同時に行えるタブレット型教育支援ロボットTabotを開発した(図1)。タブレットには、デザイナーによるデザインを基に24種類の表情を表出するエージェントを実装した。胴体部分のスタンドは、胴体(自由度1)、腕(自由度3)、首(自由度3)が可動するものである。これにより、Tabotは多様な表情表出と身体動作が可能である。

身体動作による共感表出法を開発するために、心理学の参考文献を基にTabotに24種類の感情を表現できる身体動作を実装した。そして、被験者実験より、ロボットへ実装した身体動作は、意図した感情をユーザへ伝達できる可能性があることを示唆した。また、被験者実験を繰り返すことで、作成した身体動作とエージェントの表情変化が最適に感情を伝達可能な組み合わせ法を開発した。被験者実験を実施したところ、組み合わせ法による共感表出法は、身体動作による共感表出法に比べて高

吉川 大弘(名古屋大学大学院工学研究科 准教授)

い伝達度であることを示唆した(図2)。この成果により、国際会議1件の業績を上げた。

従来研究における共感表出法に、上記の表情変化と身体動作による組み合わせ法を加えることで、表情変化と身体動作による共感表出法(組み合わせ法による共感表出法)を提案した。ロボットの好印象度を測定するSD法を用い、ロボットと学習者と

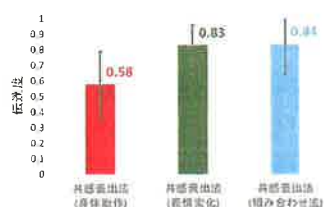


図2 各手法における平均伝達率



図3 各手法におけるSD法の平均評点

共に学ぶ学習実験を実施したところ、組み合わせ法による共感表出法を搭載したロボットとの共同学習は、表情変化もしくは身体動作による共感表出法に比べて、学習者に好印象を抱くことが示唆された。この成果は、学術論文としてまとめ、日本知能情報ファジィ学会誌へ投稿する予定である。

今回の研究では、大学生を対象として被験者実験を実施してきた。今後は、小学生から高齢者まで幅広い年齢を対象に被験者実験を実施し、年代に適した共感表出法を開発することで、教育支援ロボットの実用化を目指す。

■冗長多自由度を有する身体筋骨格系の動作生成のための人工知能

K27研XX第461号

ヒトがコップに手を伸ばす等のリーチング動作を行う際、選択しうる無数の運動軌道の中からある一つの軌道を選択し動作を生成している。しかし、ヒトの身体構造は手先の空間自由度より多くの関節自由度を有し、そのまわりに付着する筋の自由度はさらに多い冗長多自由度系である。ヒトはどのようにしてこの冗長自由度の問題を解き、自然な運動を自律的に獲得することができるのだろうか。このようなヒトの動作生成の問題は、従来、脳がある運動規定(評価関数)に基づいて運動軌道を計画し、逆動力学的計算に基づいてその運動軌道を実現する筋活動を生成することで行われていると考えられてきた。しかし、脳がこのような複雑な最適化問題・逆動力学問題を逐次解くことで運動生成を行っているとは考えにくい。そこで本研究では、生物が環境との相互作用によって知識を獲得するプロセスをモデル化した教師なし学習則である強化学習を用いて、自然な3次元リーチング動作を軌道計画なしに自律的に獲得しうる巡回型神経回路モデルを提案することを目的とした。

ヒト上肢筋骨格系は、3次元5節剛体リンクとしてモデル化し、筋系は計32の筋によってモデル化した。神経系は、あるエネルギー関数を減少させるように自律的に振る舞う巡回型神経回路によってモデル化を行った。具体的には、神経系は目標到達点と手先位置との差や運動指令の

荻原 直道(慶應義塾大学理工学部機械工学科 教授)

大きさ等をエネルギー関数として表現しており、それらエネルギー関数を減少させるように神経系が振る舞うことで、目標到達点に手先を移動させるための筋刺激信号を自律的に生成しうる巡回型神経回路網モデルを構築した。

神経系内に内在する計42のパラメータを、到達位置の誤差と関節トルクの変化量が最小となるよう強化学習を用いて探索的に獲得させ、リーチング動作の生成を試みた。その結果、本モデルにより生成された動作は、計測されるヒトのリーチング軌道とはほぼ一致し、ヒトがリーチング動作を行う際の特徴である直線的だがゆるやかに円弧状に曲がった軌道とベルカーブ状の手先速度を、教師信号なしに再現した。また筋活動も不自然に拮抗することなく滑らかに変化しており、ヒトの実際の筋活動変化の特徴と類似した。

以上より、本モデルが実運動と類似する動作を自律的に生成可能であることがわかった。複雑な最適化・逆動力学演算を伴わない本提案の動作生成神経回路モデルと運動獲得の学習則は、ヒトの動作原理として妥当であると考えられ、このような巡回型神経回路網がヒト神経系に内在する可能性が示唆された。本提案の神経回路モデルは、人体モデルの動作生成に基づく仮想空間内での製品の人間工学的評価など、様々な応用が考えられる。

■生体神経の効率性と柔軟性に学んだ機械学習チップの開発

K27研XX第463号

松原 崇(神戸大学大学院システム情報学研究科計算科学専攻 助教)

(1)実施内容、成果および今後予想される効果の概要
研究目的・実施内容

本研究は課題名『生体神経の効率性と柔軟性に学んだ機械学習チップの開発』において行われました。深層学習を始めとする生体神経系の信号処理に学んだ手法が、多くの機械学習分野で高い成果を上げていますが、計算コストが増大し、効率的な学習アルゴリズムと専用ハードウェアの設計・開発が模索されています。申請者や他の先行研究によれば、既存の人工ニューラルネットワークよりもパルス結合した生体神経系モデルのほうが実装効率(回路面積や消費電力)の点で優れており、機械学習システムとしての性能(物体識別率・モデル予測精度)も遜色が無いという結果が示されています。また生体神経系が持つゆらぎが、確率的・動的な対象を扱うのに有用であると考えられます。このような背景から、本研究では以下の目的を掲げました。

- A) 生体神経系の確率的なふるまいを利用した生成モデルを開発する。
- B) そのモデルを回路上で学習させる専用の機械学習アルゴリズムを開発する。
- C) 開発したモデル及びアルゴリズムを基に高集積度・低消費電力な機械学習チップを開発する。

研究成果

下記の通り5件の査読付き原著論文(うち、SCI採録論文誌3件)、6件の査読付き国際会議論文、そして5件の国内会議発表の成果を得ました。

- A) 結合強度におけるゆらぎが、神経系全体の活動を一定範囲内に保つ働きがある、つまり恒常性に寄与することを示すことができ、原著論文[5]・国際会議論文[6]にまとめた。また確率的な生成モデルに関する研究において、いくつかの応用が可能であると考えられたので、原著論文[2]・国際会議論文[1][2][3]にまとめた。
- B) 電気生理学的に尤もらしい、あるいは効率的な学習アルゴリズムについて研究を実施しました。そこでスパイク時刻依存可塑性による生体神経系の学習が生成モデルとして理解可能であること明らかにし、原著論文[3]・国際会議論文[4]にまとめた。また高性能な半教師あり学習手法を原著論文[4]にて提案しました。
- C) 人工知能ニューラルネットワークの効率的な実装法を開発し、実装コストを従来の1/5程度まで下げることに成功し、その成果を原著論文[1]・国際会議論文[5]にまとめた。実装時に、量子化解像度と素子の非線形性が実装コスト増大に繋がっていることが実験的に明らかになり、その点において新しい知見と解決法を提案できました。

今後予想される効果の概要

(C)において最大の目的であった高集積度かつ低消費電力な機械学習チップの開発に成功したと考えます。これはすぐにも工学的な実用が可能で、ただし当該

チップで実現可能なアルゴリズムは人工ニューラルネットワークの一種であり、完全な汎用性を持っているわけではありません。しかし(A)において人工ニューラルネットワークに基づく生成モデルの応用事例を複数示したり、(B)において一般的な半教師あり学習における生成モデルの有用性を示したりすることで、当該チップを含む生成モデルの有用性・必要性について明確に主張できるようになりました。今後、人工ニューラルネットワーク及び機械学習の研究指向が生成モデルに向けられていくことに貢献できます。また解析の副産物として、生体神経系の情報処理メカニズムについても幾つか興味深い現象が明らかになり、純粋なサイエンスの面においても、貢献できたと考えます。

(2)実施内容および成果の説明

A) 生成モデルの開発に先行し、まずは生体神経系の確率的振る舞いについてシミュレーション解析及び数理解析に注力しました。結果として、結合強度におけるゆらぎが、神経系全体の活動を一定範囲内に保つ働きがある、つまり恒常性に寄与することを示すことができ、原著論文[5]・国際会議論文[6]にまとめた。このような恒常性は、人工ニューラルネットワークにおいても学習の高速化に繋がることが示されており、生体神経系と人工ニューラルネットワークの溝を埋めることに、大きな貢献ができたと考えます。また確率的な生成モデルに関する研究において、いくつかの応用が可能であると考えられたので、原著論文[2]・国際会議論文[1][2][3]にまとめた。前述の通り、提案機械学習チップは人工ニューラルネットワークの一種を実装するものであり、完全な汎用性を持ってはいません。しかし人工ニューラルネットワークに基づく生成モデルの有効性を示したことで、今後、研究業界全体の視線を提案機械学習チップを含む生成モデルに向けるとの一助になり、提案機械学習チップの価値を高めることに繋がったと考えます。

B) 生体神経系は常に教師データを模倣するわけではなく、変化する環境に自ら適応する、つまり教師なし学習や半教師あり学習が可能です。電気生理学的に尤もらしい、あるいは効率的な学習アルゴリズムについて研究を実施しました。そこでスパイク時刻依存可塑性による生体神経系の学習が生成モデルとして理解可能であること明らかにし、原著論文[3]・国際会議論文[4]にまとめた。また人工ニューラルネットワークに基づく生成モデルを用いることで、高性能な半教師あり学習手法を開発し、原著論文[4]にて提案しました。この成果も、生成モデルの有用性を世に訴えることに繋がったと考えます。

C) 機械学習チップの開発に際し、ゆらぎを含む確率的挙動だけでなく、その非線形性が計算・実装コストの増大につながっていることを実験的に明らかにしまし

た。また効率的な実装を突き詰めると、量子化誤差が大きくなることも合わせて明らかになりました。しかし、生体神経系のゆらぎを用いることで、素子のもつ非線形性が高精度で表現できるのみならず、低ビット長への実装においてもなめらかな状態遷移が可能であることを示しました。この成果は電子情報通信学会非線形と応用ソサイエティに評価され、原著論文[1]・国際会議論文[5]にまとめられました。

本研究助成を用いて実施された研究成果の一覧

ただしこれらの研究成果は本研究助成に排他的に支援されたわけではなく、部分的に他の研究予算の支援も受けている。

査読付原著論文

1. Takashi Matsubara and Kuniaki Uehara, "Asynchronous Network of Cellular Automaton-based Neurons for Efficient Implementation of Boltzmann Machines," *Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, Vol. E9-N, No.1, 2018 (accepted)*.
 2. Takashi Matsubara, Ryo Akita, and Kuniaki Uehara, "Stock Price Prediction by Deep Neural Generative Model of News Articles," *IEICE Transactions on Information and Systems, 2018 (accepted)*.
 3. Takashi Matsubara, "Conduction Delay Learning Model for Unsupervised and Supervised Classification of Spatio-Temporal Spike Patterns," *Frontiers in Computational Neuroscience, 21 Nov. 2017*.
 4. Ryosuke Tachibana, Takashi Matsubara, and Kuniaki Uehara, "Auto-encoder with Adversarially Regularized Latent Variables for Semi-Supervised Learning," *IEE: Information Engineering Express, vol. 3, no. 3, pp. 11-20, 2017*.
 5. Takashi Matsubara and Kuniaki Uehara, "Homeostatic Plasticity Achieved by Incorporation of Random Fluctuations and Soft-Bounded Hebbian Plasticity in Excitatory Synapses." *Frontiers in Neural Circuits, vol. 10, no. 42, 2016*.
- 査読付国際会議論文
1. Tetsuo Tashiro, Takashi Matsubara, and Kuniaki Uehara, "Deep Neural Generative Model for fMRI Image Based Diagnosis of Mental Disorder," *Proc. of The 2017 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2017), Cancun, Dec. 2017, pp. 700-703, 5169*.
 2. Ryo Takahashi, Takashi Matsubara, and Kuniaki Uehara, "Multi-Stage Convolutional

Neural Networks for Robustness to Scale Transformation," *Proc. of The 2017 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2017), Cancun, Dec. 2017, pp. 692-695, 5056*.

3. Ryo Takahashi, Takashi Matsubara, and Kuniaki Uehara, "Scale-Invariant Recognition by Weight-Shared CNNs in Parallel," *Proc. of The 9th Asian Conference on Machine Learning (ACML 2017), Seoul, Nov. 2017*.
4. Takashi Matsubara, "Spike Timing-Dependent Conduction Delay Learning Model Classifying Spatio-Temporal Spike Patterns," *Proc. of The 2017 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN2017), Anchorage, May 2017, 164*.
5. Takashi Matsubara and Kuniaki Uehara, "Efficient Implementation of Boltzmann Machine using Asynchronous Network of Cellular Automaton-based Neurons," *Proc. of The 2016 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2016), Yugawara, Nov. 2016, pp. 634-637*.
6. Takashi Matsubara and Kuniaki Uehara, "A Novel Homeostatic Plasticity Model Realized by Random Fluctuations in Excitatory Synapses," *Proc. of The 2016 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN2016), Vancouver, Jul. 2016, N-16352*.

国内発表

1. 松原崇, "Feedback Alignmentに基づく自己符号化器のヘブ則様学習アルゴリズムの検討," in *電子情報通信学会技術研究報告 複雑コミュニケーションサイエンス研究会, vol. 117, no. 288, CCS2017-24, pp. 21-24, 大阪, 11月, 2017*.
2. 田代哲生, 松原崇, 上原邦昭, "脳機能画像解析のための深層生成モデル," *2017年度 第30回人工知能学会全国大会 (JSAI2017), 1K3-2, 名古屋, 5月, 2017*.
3. 高橋良, 松原崇, 上原邦昭, "幾何学的不変性獲得のための多段CNNの提案," *2017年度 第30回人工知能学会全国大会 (JSAI2017), 4M1-3, 名古屋, 5月, 2017*.
4. 松原崇, "スパイク時刻依存遅延学習モデルによるスパイク列の学習," in *電子情報通信学会総合大会講演論文集, N-1-6, 名古屋, 3月, 2017*.
5. 松原崇, "スパイク時刻依存遅延学習モデルによる教師なし学習," in *電子情報通信学会技術研究報告 複雑コミュニケーションサイエンス研究会, vol. 116, no. 285, CCS2016-32, pp. 13-16, 京都, 11月, 2016*.

■疑似乱数生成法を用いたダブル配列のコンパクト化に関する研究

K27研XX第466号

(1)実施内容、成果および今後予想される効果の概要
＜実施内容＞

キー検索技法の一つであるトライ構造の実装であるダブル配列について、疑似乱数生成技術を用いて高速性を維持したままコンパクト性を高める手法の研究を行った。トライ構造は、ラベル付きの枝を持つ木構造であり、登録されるキー数(データ量)に依存しない検索が可能である。このトライの実装技術としては、節の遷移を、遷移先の単純計算(加算)と確認のみの $O(1)$ で実現するダブル配列法が確立されている。ダブル配列には遷移先計算に必要な基準位置と、遷移先確認のための情報が保存されているが、本研究では疑似乱数生成法の一つであるXorshift法を用いて節の遷移先を計算することで、基準位置情報の削減によるコンパクト化を実現する手法を提案した。xorshiftは、ある値のシフト値との排他的論理和(xor)を算出するが、シフトの向き(左右)とシフト量(nビット)によって結果が変わるため、この組み合わせパターンによってはキー登録に影響が出る場合があった。そこで、キー登録実験を繰り返し、最適なパターンの調査を行った。また、遷移先の計算量が理論的に増えるため、検索速度にどの程度影響するのか、速度

森田 和宏(徳島大学大学院理工学研究部 准教授)

実験も併せて行った。

＜成果＞

提案手法によって、ダブル配列における基準位置情報の削減は成功した。しかし、登録キー数の増加に伴って、xorshiftによる遷移先計算では衝突が発生したため、衝突回数を保存する領域が別途必要となった。最適パターンは登録キー数によってまちまちであることがわかったため、キーの一括登録時に決定することとした。実験の結果、検索速度は低下したが、十分高速な検索速度を維持できることを確認し、約1/3程度のサイズまでコンパクト化に成功した。

＜今後予想される効果＞

キー検索は計算機上でデータを扱う最も基本的な技術の一つであり、あらゆる領域で利用されている。今後はスマートフォンの普及やIoT端末への期待などから、比較的性能の低い機器においても高度な検索要求が考えられる。提案手法のコンパクト化は同一容量での登録キー数増加を可能にし、また実用的な検索速度を維持できたため、これら低スペック機器への応用も期待できる。

■高速映像酔い情報抽出アルゴリズムの開発

K27研XX第468号

近年、スマートテレビが普及しはじめており、家庭における大画面テレビの利用方法が、地デジやBS デジタル等のデジタル放送のみならず、ネットTV 端末・表示装置、或いは、検索ブラウザの操作画面となりつつある。ここで大画面視聴時の映像酔い、光感受性発作、3D 映像などによる眼精疲労の3つ課題が大きくなってきている。これらは生体安全性に対する課題として検討され、画面の点滅等の影響は光感受性発作への対策として放送中にテロップ等で警告されている。しかし、映像酔いに対する防御技術が標準化を含めて、大きく対応が遅れている現状がある。また、光感受性発作の対策のように、放送局側での文字注意喚起での対応では限界があり、画像処理技術としての防御の仕組み作りが必要である。特に、子供にも影響がある映像酔いの問題は、解決しなければいけない急務の課題である。

そこで、映像酔いの人体への影響を軽減・防止する

児玉 明(広島大学大学院総合科学研究科 准教授)

ことを目的とし、映像酔い防止のための高速映像酔い情報抽出アルゴリズムを開発した。今回特に、画像フレームの時間的な動き量として、動きベクトルに着目した。一般的なブロックマッチング法による動きベクトル算出を行い、動きの方向に着目した動き方向ヒストグラムを算出し、その時間的な変化を解析することにより、映像酔いの原因となる画面揺れを抽出する方法を提案した。画面揺れない場合、本ヒストグラムの時間的な変動には相関があるが、画面揺れが発生した場合、ヒストグラムが急激に変動することで揺れ警告のシーンを抽出する方法である。ヒストグラムの判定法として、Bhattacharyya距離を用いた判定法と、画面の水平方向の各変動パラメタにより判定する方法を用いた。評価実験では、テスト画像を複数用意し、その画像に疑似的な画面揺れノイズを付加することで作成した疑似画面揺れテスト画像を用いて、提案法の有効性について評価した。その結果、非常

に高い精度で画面揺れを抽出可能であることを明らかにした。また、速度に対する評価実験では、従来法はリアルタイムに対して全く対処できなかったが、提案法ではフレームあたり1.846x10⁻⁶秒で処理できることを示し、リアルタイムで映像酔い情報抽出が可能であることを示した。本研究の課題として、画面揺れの強度が小さい場合への対処が挙げられる。更に、ヒストグラム関連の判定法として、動き方向に加え動き量の判定法、及び水平方向の揺れに対して、DFTによるスペクトラム解析を用いて揺

れ度を判定する方法を提案した。その結果、前述結果よりも低周波での揺れに対して、大きく精度を向上することができた。最後に、今回は、主観評価、客観評価の両方で評価したが、画面揺れによる映像酔いが評価者へも影響を与えるため、主観評価を用いない評価法の仕組みが必要であると考えている。また、本提案法に関する研究発表がIEVC2017年のExcellent Paper Awardを受賞した。

■状態遷移秘匿プロトコルの効率的な実装とその応用

K27研XX第471号

近年、インターネット上に分散した計算資源を用いてサービス向上を図るクラウドコンピューティングが注目されている。しかし外部の第三者に情報を預けることから、情報保護に関するセキュリティの課題が重要視されている。このような情報の利用と保護を両立させるためには匿名化技術や秘匿関数計算が注目されている。秘匿関数計算の中でも特に処理の種別を限定せず論理回路の実行を可能とする秘匿回路計算技術がある。しかし、これらの技術は一般に複数の計算主体間での協調動作に伴う膨大な通信が必要なことから、通常の処理と比べ処理時間がかかるためその軽減が課題となっている。

本研究では、状態遷移アルゴリズム(決定性有限オートマトン、チューリングマシンTM)について、その遷移関数と入力値となる文字列の双方を秘匿したまま受理判定や計算などの処理を行う、Oblivious Transfer(紛失通信、OT)という暗号プロトコルをサブプロトコルとして使用した状態遷移秘匿プロトコルの効率的な実装を検討した。この手法は従来と比べより汎用的で柔軟な処理が可能であるが、処理効率の課題は依然として残されていた。秘匿回路計算の実行を単独で行うことを可能とす

武田 正之(東京理科大学理工学部情報科学科 教授)

る完全準同型暗号が注目されており、状態遷移秘匿プロトコルの効率的な実装を目的として、完全準同型暗号を用いることも検討したが、鍵や暗号文のサイズが大きく、処理のためにメモリとリフレッシュなどの時間を要する理由でサーバ上での処理効率が良くないことが判明した。そこで、状態遷移の情報を秘匿する対象として決定性有限オートマトンに対するプロトコルOblivious State Transition Protocol(OSTP)において、状態自体を粒度の大きいモジュールにすることで、計算主体間での通信量の削減を図った。もうひとつの対象としてチューリングマシンに対するプロトコルOblivious Turing Machine Protocol(OTMP)においては、計算能力ではOTMPはOSTPを包含する。しかしプロトコル実行時におけるOTの回数を考えると、OSTPでは入力文字列の文字数分だけOTが行われるのに対し、OTMPではTMが停止するまでの入力回数分必要であり、状態数と入力データ量の増加に伴って増加する。従って、OSTPで処理可能な範囲の受理判定であれば、OSTPを使用することでOTMP使用時よりも少ないOTの実行回数で処理を遂行できる。

- (1) 実施内容、成果および今後予想される効果の概要
- 人間のジェスチャを認識する技術は、ライフログ、健康管理、スポーツ、入力インタフェース、ゲーム・エンタテインメントなどさまざまな応用が期待されている。現在では、赤外線を用いたジェスチャ認識用デバイスであるKinectやLeap motionが広く一般的に利用されているが、太陽光に赤外線が含まれるため屋外では正しく動作しない、据え置き型であり検出可能範囲がデバイスから数メートルであるため屋内でも使用場所が限定されるという欠点がある。これに対して、ウェアラブルセンサと呼ばれる小型で装着可能なセンサを用いて装着者のジェスチャを認識する技術が提案されている。現状のジェスチャ認識システムは「ジェスチャを行う前に静止する」、「ジェスチャ中はボタンを押す」などジェスチャと関係のない作業によってジェスチャの区間をシステムに明示的に与える必要がある。そのため、装着者がシステムの存在を常に意識しなければならず、明示的なジェスチャ区間の入力がなければ、連続で行われたジェスチャや無意味な動作に続けて行われるジェスチャのセンサデータを正しく抽出できずに認識精度が大幅に低下する。このため、現状ではウェアラブルセンサを用いたジェスチャ認識システムは実世界で利用可能なシステムとはいえない。

本研究ではジェスチャの波形を切り出す「セグメンテーションアルゴリズム」の開発および切り出した波形を認識する「認識アルゴリズム」の開発を行った。また、開発したアルゴリズムのライフログやスポーツ、インタフェースへ応用させた。具体的には加速度センサを用いてユーザの一回きりの動作であるジェスチャを連続で入力された場合でも高精度で認識する手法を開発した。また、競技かるた競技者の手首に加速度センサと角速度センサを装着して、札取得の動作から札取得者を判定するシステムを提案した。提案システムは競技中に得られる未知のセンサデータと、事前に競技者から採取した札取得動作のセンサデータおよび札を取得した瞬間の時刻からなる正解データを比較することで札取得時刻を推定し、札取得者を判定する。研究成果として、4件の学術論文誌に採択され、7件の国際会議、7件の国内研究会で発表した。現在、ジェスチャを含めた身体状態の認識に関する研究は転換期にあり、研究者が想定する環境・条件での性能改善や評価から実環境を想定した研究にシフトする必要がある。本研究の成果をきっかけとして研究室環境から実環境での研究へ流れを変えること

で、当該研究分野における研究開発が一層活発になると考える。

- (2) 実施内容および成果の説明

加速度センサを用いてユーザの一回きりの動作であるジェスチャを認識する研究が盛んである。既存のジェスチャ認識の研究では認識したいジェスチャの加速度が正確に切り出されることを前提としており、ジェスチャが間隔を空けずに連続して行われている場合や、ジェスチャの前後で関係のない動作が行われている場合は認識精度が低下してしまうという問題点がある。そこで本研究では、加速度データストリームから教師データとの類似度が高い区間である部分シーケンスを検出し、検出した部分シーケンスの中から尤度の高いものをジェスチャ認識の結果として出力することで、ジェスチャが間隔を空けずに連続して行われている場合や、ジェスチャの前後で関係のない動作が行われている場合でも高精度でジェスチャを認識する手法を提案する。5名の被験者から観測した加速度データに対して提案手法を適用し、右手で記号を描くジェスチャではF値の平均値が0.78、右手で数字を描くジェスチャではF値の平均値が0.79となった。

本研究の成果は以下の通りである。

- 渡邊 光, 村尾和哉, 望月祐洋, 西尾信彦: 加速度センサを用いたジェスチャ認識における連続動作の認識手法, 情報処理学会マルチメディア、分散、協調とモバイルシンポジウム(DICOMO 2016)論文集, Vol. 2016, No. 1, pp. 1685-1692, 三重 (8 July 2016).
- H. Watanabe, K. Murao, M. Mochizuki, N. Nishio: A Recognition Method for Continuous Gestures with an Accelerometer, in Proc. of the Fourth Workshop for Human Activity Sensing Corpus and its Application (HASCA 2016), pp. 813-822, Heidelberg, Germany (12 Sep. 2016).

「畳の上の格闘技」とも形容される競技かるたは、一人一首を用いた対人競技であり、近年、高校生を中心として競技人口が増加している。競技かるたは基本的に審判がつかず、判定は競技者間で行う。しかし、札取得の動作は高速で、目視での判定が困難な場合があり、口論になることも少なくない。一般的なスポーツの判定にはビデオ映像が用いられることが多いが、競技かるたではひとつの大広間の会場で複数の試合が同時に行われるため、物理的にも金銭的にも困難である。そこで本研究では、競技かるた競技者の手首に加速度センサと角速度センサを装着して、札取得の動作から札取得者

を判定するシステムを提案する。提案システムは競技中に得られる未知のセンサデータと、事前に競技者から採取した札取得動作のセンサデータおよび札を取得した瞬間の時刻からなる正解データを比較することで札取得時刻を推定し、札取得者を判定する。また、判定結果の確信度も同時に算出する。評価実験より、提案手法による札取得時刻の誤差は平均7.5ミリ秒であった。提案システムを競技かるたの試合に導入し、実践環境における評価実験を行った結果、システムによる判定の正解率は82.4%、確信度の高い時のみの正解率は93.3%となった。また、札取得の時間差が僅差の場合は、正解率は60%となった。

- 山田浩史, 村尾和哉, 寺田 努, 塚本昌彦: モーションセンサを用いたジェスチャ中の特定動作抽出手法,

ユビキタスウェアラブルワークショップ2016 論文集, p. 31, 兵庫 (24 Dec. 2016).

- H. Yamada, K. Murao, T. Terada, M. Tsukamoto: A System for Determining which Player Touches a Card first using a Wrist-worn Sensor in Competitive Karuta, in Proc. of International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2016), pp. 62-63, Heidelberg, Germany (14 Sep. 2016).
- H. Yamada, K. Murao, T. Terada, M. Tsukamoto: A Method for Determining the Moment of Touching a Card using Wrist-worn Sensor in Competitive Karuta, Journal of Information Processing, Vol. 26, No. 1, pp. 38-47 (Jan. 2018).

■ 顕著性マップと運転操作モデルに基づく走行映像からの操作変更に関する対象検出

K27研XX第473号

橋本 幸二郎(諏訪東京理科大学 経営情報学部経営情報学科 助教)

[実施内容]

交通事故の主な要因は認知ミスによるものであり、認知補助のための運転支援システムの開発が古くから取り組まれてきた。そして、運転走行中に存在する対象を高精度に検出し提示する技術が開発されている。しかし、検出した対象を常時提示した場合、過度な情報提示となりドライバーに苛立ちや迷いを与えてしまう。このとき、認知ミスを防止するためには認知すべき対象のみを提示すべきと考える。

本研究では、対象の出現に対して適切な操作が実行されなかったときに交通事故が発生する点に着目し、認知すべき対象を、操作を誘発する対象(以降、誘発対象と記述)と定義する。そして、走行映像と操作情報に基づき誘発対象を検出する技術を確立する。

本研究では、予め操作を誘発する対象のモデルを生成し、実時間によるモデルとのフィッティングにより誘発対象を検出する。このとき、誘発対象モデルを生成する方法論が課題となる。そこで本研究では、走行映像から誘発対象候補となる画像群抽出する方法及び、操作情報と候補対象の時系列変化から誘発対象を絞り込み、モデル化する方法を提案した。

[成果]

まず、走行映像から誘発対象候補となる画像群抽出する方法を提案した。この方法では、顕著性マップに基づく領域分割とクラスタリング処理、ロジスティック回帰モデルに基づく操作誘発性評価を経て走行映像から誘発対象候補が検出される。学内走行実験にて操作を誘発する歩行者領域や路上駐車両領域を検出できることを確認した。また、実験の結果より、検出された対象を絞り込むためには、操作を誘発するまでの対象の時系列変化を考慮する必要性を確認した。

上記の結果に基づき、候補対象の時系列変化から誘発対象を絞り込む方法を提案した。これは、予め、操作を実行するまでの対象と自車両との時系列変化をモデル化しておき、実時間処理にてモデルとのフィッティングにより誘発対象の絞り込みを行う。学内走行実験にて、その有効性を確認し、誘発対象を検出するための一連の方法論を確立した。

[今後予想される効果]

提案技術の特徴は走行映像と操作情報のみで、操作要因となる対象を検出できる点である。この技術を応用すれば、適切なタイミングで適切な内容を提示できる運転支援技術が確立できる。また、自動運転への応用も期待できる。

動き

☆事務局日誌より☆

平成29年

11.15

- 「ロボットシンポジウム2017名古屋」開催
吹上ホール

12.20

- K通信42号発送

平成30年

2.9

- 第16回理事会開催
キャッスルプラザ 3階「福の間」

3.2

- 第16回評議員会開催
キャッスルプラザ 3階「鶴の間」

3.8

- 内閣府へ平成30年度事業計画報告

CONTENTS

◇ 平成30年度 助成金交付について	1
◇ 応募要領	2
◇ ロボットシンポジウム2017名古屋	3
◇ ざっくばらんフォーラム「今のこれからのロボット・人工知能・脳科学」「発表大要」「討議」.....	4
◇ 第16回理事会開催	14
◇ 第16回評議員会開催	14
◇ フォーラム・シンポジウム等開催助成完了報告.....	15
◇ 研究助成完了報告概要	16