

「日本神経科学大会ランチョン大討論会」

2018 年 7 月 29 日（日）12:00-14:30

日本神経科学学会大会 最終日

神戸コンベンションセンター

主催：日本神経科学学会 研究体制・他学会連携委員会

後援：日本脳科学関連学会連合、JST 研究開発戦略センター（CRDS）

企画：宮川 剛、小清水 久嗣（藤田保健衛生大学）、柚崎通介（慶應義塾大学）

目次

事前討論	4
2000 年代に一体どういった本質的な問題への理解が進んだのか	4
ダイバーシティ	4
意識内容を科学研究の対象とするための概念的な枠組みを構築	6
脳科学の「将来戦略」	6
討論会・冒頭	10
趣旨説明（柚崎）	10
トップダウン研究費	11
研究者コミュニティー	12
まとめ	13
話題提供	15
「コネクトミクスの夜明け」 窪田芳之・生理学研究所	15
「脳状態の標準理論へ向けて」 坂田秀三（University of Strathclyde, UK）	19
「スパコンでヒトの脳を作る！？」 山崎 匡（電通大）・五十嵐 潤（理研）	22
「人間の心や行動を脳から考える」 杉浦元亮 東北大学 加齢医学研究所／災害科学国際研究所	26
「シンプルな神経系で、情報の流れを入口から出口まで全部見る！」 青木一郎 名古屋大学・理・ニューロサイエンス研究センター	28
「BRAIN Initiative の先を見据えて」 筧 慎治・東京都医学総合研究所	31
「Moonshot ― 分子から脳宇宙を目指す」 柚崎 通介 慶應義塾大学医学部・生理学	34
討論	37
JST CRDS	37
NISTEP	37
遺伝子レベル（宮川）	38
ヒトのイメージング研究（神谷）	39
細胞レベルの研究（坂内）	40
薬理的・システムの観点（池田）	40
階層	41
David Ma: ファンクション - アルゴリズム - インプリメンテーション	42
コネクトミクス	44
中間表現系	45

モデル・シミュレーション	46
データのオープン化、共有	48
ビッグサイエンス化	49
教育・プログラミング	50
キャリアパス	51
脳と末梢	51
むすび	52
ビッグデータ vs 分子生物学	52
最後に一言	53

事前討論

(web: <http://scienceinjapan.org/topics/2018jns.html>)

2000 年代に一体どういった本質的な問題への理解が進んだのか

わかつて

今後の数十年は今までの 20 年と地続きであると思います。私は今後の 20 年を伺うために、2000 年代に一体どういった本質的な問題への理解が進んだのか、多様な分野の先生方から見解を伺いたいです。

tsuyomiyakawa

自分が興味があるのは遺伝子と行動の関係なのですが、それについて私見を述べます。脳で「中間表現型」というものがあるということがわかり、様々な具体例が出てきたことが、この 20 年で「本質的な問題への理解が進んだ」ことのひとつだと自分としては思っています。ゲノムには莫大な多様性があるわけですが、個性・性格や脳の疾患には、明らかに類型があります。これらがどうやって生ずるのかが解くべき大きな問題としてあります。たくさんの遺伝子改変マウスの行動と脳の研究から、全く異なる遺伝子変異なのに、行動レベルで似たような異常のパターンを示すマウスが結構いることがわかってきました。さらに、それらの脳で共通して見られる現象が次々と出てきました。ある種の炎症（ミクログリアとかアストロサイトの活性化、特有の遺伝子発現変化などを伴う）とか、スパインダイナミクスのある種の変化（ターンオーバーの上昇など）、パルバルブミンの減少などはその代表例でしょうし、（手前味噌ですが）「未成熟歯状回」とか、脳 pH の低下・上昇もその例です。LTP・LTD の変化などもそういったものかもしれません。おそらく、こういう中間表現型が、脳の各種細胞種、部位・回路で、まだまだたくさんあって、そういうものの組み合わせとして、個性や疾患のタイプが決まってくるのではないかと考えています。その組み合わせは何なのか、とか、どのようにして異なる遺伝子変異が共通した脳内現象をもたらすか、これらをどのようにすれば制御できるのか、などは、まだほとんど全くといっていいほど未開拓ですが、このような本質的なコンセプトとその具体例が出てきたことによって、（このコンセプトの普及がもっと進めばですが）今後の研究が加速されると思っています。

ほぼ同様なクエスチョンが、この企画の検討会でも出されていました。そのような本質的理解において、この 20 年でどのように日本の脳科学が貢献したのかについても興味があります。他の分野の方々にも、このクエスチョンにご回答いただけるとありがたい、と自分も思います。

ダイバーシティ

Masahito Yamagata

先日指摘した「あらゆる意味での多様性」の大切さということにも関係していますが、このシンポジウムのスピーカーを見ていて気になったのですが、全員が男性ではないでしょうか。

今年の米国の神経科学学会 SFN の選挙結果では、新会長は男性でしたが、会員選挙で選ばれた事務局メンバーの偉い人 7 名の中で、5 名が女性ということになりました。今後 10-20 年の動向ということを考えればこの結果は極めて重要であると思います。

もう一つのランチョン討論会ではダイバーシティの問題を取り上げるようですが、こちらの方も是非そういうことを考慮していただきたいと思います。純粋な科学研究の構

想や議論でも大切なことだと思います。

tsuyomiyakawa

多様性、大事でしょうね。今回、プレゼンをされる方々は、そもそも「選抜」ということをしていません。すべてのシンポジウムのオーガナイザーに発表を呼びかけまして、手を挙げられたすべての方にご発表していただく、というプロセスになりました。つまり、発表をご希望された方がすべてたまたま男性であったということですね。本討論会のディスカッサントのほうは、多様性のことも考慮しまして、6名中2名を女性にお願いしました（お声がけしてもご辞退いただくなどなかなか苦労しましたが）。

日本での男女共同参画の問題は、（小手先のことも重要ですが）本質的な部分から改善していく必要があると自分としては思っています。それは、つまり性別を問わない、ワークライフバランスの改善です。日本の社会、特に研究業界では伝統的にレイバーインテンシブな働きを過剰に尊重する文化があるのではないのでしょうか。労働の質はともかく、雑用でもなんでも、単にたくさん働くのが立派、という文化です。自分も院生・ポスドクの頃は週100時間労働になった、とかいうことで喜んでいたことがあります（笑）。この文化であれば、まさに出産・育児を行う女性には極めて不利、ということになります。自分がNIHにいたときのボスは女性でしたが、朝7時にきて15:00頃帰宅されるのが日課でした。子育てもしつつ、論文もどんどん出したいへん生産的な先生でした。男性PIも早く帰宅する人も多いですね。欧米では分業が進んでいて、雑用が少ない、というのが大きな違いなのではないかと思います。大学を中心とした研究者コミュニティで分業化を進め、雑用をへらす努力をし、週休完全2日40時間労働で十分、という仕組みを構築するのが男女共同参画を始めとする多様性を確保する意味でも最も重要なことのひとつなのではないのでしょうか。これを実現するためには、分業化の推進、雑用削減とともに、ポストと研究費の安定性を確保することが重要、というのも（いつもの主張ですが）強調しておきたいと思います。

Hiroko Bannai

「世界の脳科学」を意識するのであれば、ダイバーシティの議論は欠かせないと思います。最近の若手研究者は、男性も女性も家事・育児を負担しており、どちらのキャリアも尊重しているように思います。実際、男性若手研究者から、夫婦でキャリアを積みながら育児するにはどうしたらいいかという相談をうけることが多いです。女性が出産・育児をしながら研究を続けられる環境は、男性研究者にとってもいい環境であるはずですが、長時間研究をしなければいい研究ができないのか？と思われるかもしれません。研究室にいる時間が8:00~17:00でもhigh profile journalに毎年論文を出すヨーロッパの研究者をみると、かならずしもそうではないことがわかります。彼らは、共同研究をうまく行い、効率よく質の高い実験データを得ています。また、実験を行う前にしっかりと論文執筆まで見据えた計画を練り、無駄な実験が少ないことも特徴だと思います。論文の書き方についても、日本よりもノウハウが蓄積されているように思います。

tsuyomiyakawa

「女性が出産・育児をしながら研究を続けられる環境は、男性研究者にとってもいい環境」というのは、まさにおっしゃる通りだと思います。コアラボなどの共同研究のあり方、研究費関連の申請・報告の仕組みなど、無駄を減らして効率化できるはずのことが日本の研究社会にはたくさんあります。それらを一つ一つ協力して解決していくことが、ダイバーシティの問題解決にもつながる本質的な作業なのではないかと思います。

意識内容を科学研究の対象とするための概念的な枠組みを構築

田中大介/ Daisuke TANAKA

先 10-20 年で「意識内容を科学研究の対象とするための概念的な枠組みを構築」できたら素晴らしいと思います。そのためには、異分野、特に「科学哲学や心の哲学の分野との融合」が重要なのではないかと思います。

tsuyomiyakawa

(意識研究に全く詳しくなく的外れかもしれませんが申し訳ないのですが) 土谷さんのこれ <https://bsd.neuroinf.jp/wik...> によると、意識の脳科学的研究の枠組みについては、コッホとかトノーニなどによって、ある程度、整理されていて、どんどん研究を進めるような段階にあるのでは? 哲学者がこれらの先端的脳科学の知見を見て、どう考えるかには興味がありますが、そういうレベルにある哲学者(脳科学の知見を学んで理解できるレベルにある哲学者)というのは日本にどれくらいいらっしゃるのでしょうか。

田中大介/ Daisuke TANAKA

ご紹介頂いた脳科学事典にも、意識以外の脳機能研究で通常適用されている「機能主義的な脳研究は、....意識の主観的な側面(意識の内容、クオリア)を研究対象に含まない」とあり、現状、「研究の前提となる科学の枠組みにすら重大な哲学的な問題が残る」と記載されていますので、やはり意識研究の中でも「意識の内容」は特別で、まだどのように科学で扱ったら良いのか分かっていない状況であると理解しております。また、ここで意見を述べておきながら大変申し訳ないのですが、具体的な哲学者の方は私も存じ上げませんので、もしこのサイトをご覧の方でご存知の方がおられましたら、是非ご紹介頂きたいです。

脳科学の「将来戦略」

tsuyomiyakawa

演者の方々のプレゼン資料の「戦略」部分(「どう目指すべき」かのところ)についてです。

ざっと拝見しますと、人材育成・リクルート、教育、に言及されている方が7名中5名いらっしゃいますので、人材に関するコメントです。

おそらく、この種の議論をこういう学会の場で行うときに、現在、最もニーズ、人気のあるトピックは、人材育成、キャリアパス問題なのではないかと思います。この討論会の場で、十分に議論できるトピックではありませんが、この問題を議論することを避けて通ることもできないように思います。

脳科学に限らず、博士課程に進学する学生さんが減ってきているのは間違いないところで、そこをくい止めないとまずいと思いますが、そのためには若手がイメージできて、ある程度安心して進むことのできるキャリアパスが構築される必要があるかと思います。この問題は、「学会マターではない」、「学会で議論しても出口がない」などの理由で避けられてきてますが、かといって他に議論できる場があるわけでもないの、やはりこういう場でも議論しないといけないのではないのでしょうか。

若い方々が博士課程に進学するかどうか迷ったときに、最も決めてになることの一つは、職としての安定性だと思います。そこが、他の業界に比べて相当ひどい状況にあるので、そこをなんとか改善する必要があるのだと思います。

これについての一案として、「安定性と競争性を担保する 日本版テニユアトラック制度の提案」 <http://scienceinJapan.org/t...> というのを提案してます。案としては各方面からか

なり評判の良い案なのですが、なかなか実現されません。こういうものをたたき台として議論して十分に揉まれた案が、脳科学連合とか、学術会議などでのさらなる議論を通じてさらに改良され、それが文科省、財務省、国会議員さんなどに届けられるということが大切なのではないのでしょうか。

あと、人材育成の内容的なこととして、3～4名の方々は、情報処理関連の人材育成を重要視されてますね。情報処理関連、特にプログラミングに関しては、中学・高校や、大学の教養課程で文系・理系を問わず必須にしてほしいと思っています。脳科学では、今後、各種ビッグデータが研究の対象・成果の中心的なものになってくるのは確実でしょう。そういうデータを自由自在に解析し、意味を抽出することができる能力は脳科学に必須だけでなく、途中から企業などに就職する、あるいは起業するような場合でも、大きな武器になると思われます。これは国としての教育の戦略にも関わってくることはですが、日本ではそのあたり後手後手に回ってしまっていないのでしょうか。

—
以上のようなことについても、ぜひ若い方々のご意見も伺ってみたいですね。

—
杉浦先生の脳科学の基礎教養化の戦略についてです。こういうことはまさに学会を中心に盛り上げるとよいように思います。（記憶が正しければ）以前、生理研にいらした吉田明先生が、客員教授の先生方を集めて、脳科学の教科書やカリキュラム的で模範的なものをつくろうという試みをされていたように思います。また、この学会で高校生の脳科学オリンピックともいえる Brain Bee をサポートしています（そのために、委員長の奥村先生と京大・医の方々を中心に SfN の Brain Facts を邦訳してダウンロードできるようにしています； <http://bsi.riken.jp/jp/yout...>）。こういう活動をもっと充実させて、教養課程の必須科目にどこも採用してもらえらるくらいのレベルまでもっていけるといいですね。

しかしながら、そういう活動をする上でも問題になるのは、みなさん、忙しく、なかなかそこまで時間がさけないということです。教育を充実させるという意味でも上のポストや研究費の安定がはかられて、雑用が減ることが重要なのではないのでしょうか。

Masahito Yamagata

「世界の脳科学」を意識するということは、それを承知した上で本質的なことに取り組むということです。私は、世界を知っているか、流行を知っているのか、というのが、独自なことに取り組む、流行をやらないということで非常に重要なことだと考えています。ところが、日本の科学者には、世界や流行を知ることなく、世界的には陳腐なことや遅れた流行をやってしまうという傾向が強いのです。意識、スパコン、モデル生物（マーモセット含めて）、ゲノム編集、疾患などにしても、世界では皆同じようなことを言っているように思います。

また、世界の脳科学のなかでは、科学政策的、予算的な配慮から、総説を書いたり、グラントを取ったり、シンポジウムに呼ばれたり、賞をもらったりして、祭り上げられているような内容や研究者も多い印象ですが、そこをどう見極めるか、という視点も大切だと思います。選択と重点化することで、周辺分野から人材を吸い上げるために、選択されなかった領域や人材を干して潰してしまうという風潮もますます強まっています。

個人的には、現在は、コネクトミクスの夜明けではなく、コネクトミクスの黄昏ではないか、と思っています。おそらく、Google などの巨大 IT 企業や中国など桁違いの投資や人材の投入をしているような企業や国の存在も考慮しないと「世界の脳科学」を意識したことにならないと思います。資金力、対外排他性（オープンサイエンスの意識が不十分）、特に IT 関係の層の薄さが日本の神経科学の大きなネックになっていきそうです。

ビッグサイエンスについては、物理学の加速器みたく、あまり個人などを意識することなく、科学そのものを推進するという意識が大切になるのではないかと思います。

もちろん、小さな個人を中心にした研究というのは、昔からありますし、こちらも大切です。個人的に感じているのは、あらゆる点で、「多様性」が大切でないか、ということです。最近もネットでは、若手、女性を含めて「おじさん」「じい」的な人たちの行動様式が議論されていましたが、こういう「おじさん、じい」的な要素の強い研究プロジェクトの運営をどうするのか、ヒラメ化して付度ばかりしている若手研究者の姿というのがもっと議論されるべきではないでしょうか。

tsuyomiyakawa

順番としては、脳科学で取り組むべき大きなクエスチョンを考えて（例えば、記憶とは何か、意識をつくることはできるのか、心の病とは何か、など）、それを解くには何が必要かをまっさらな状態で考えみることが大切ではないでしょうか。その次に、現状、先端的な場で得られている技術や情報も考慮に入れ、それを踏まえ、自分（たち）の置かれた状況でできることを考えて、現在、何をすべきかを考える、という、そんな流れが良いのではないのでしょうか。山形さんのご指摘のように、日本の脳科学というか、最近の日本の科学全般の傾向としては、シーズオリエンテッド、技術オリエンテッドになりがちである、というようことはあるかもしれないと感じています。大きなクエスチョンをじっくりと考えることをとばして、まず世界のどこか他のところから出てきた新規技術、目新しい流行の知見ありきで、それで何をしよう、という流れになりがち、ということですね。

これが事実かどうかはともかく、本来は、解くべき問題とその解決法をまっさらなところから考えてみるのが先にくべきだと思います。「トップダウンプロジェクト」をポジティブに考えると、そういう意味で捉えるのが良いのではないのでしょうか。

山形先生は、コネクトミクスを10年くらいまえから重要だとおっしゃっていたような気がします。現在、「コネクトミクスの黄昏」とおっしゃる意味は、どのあたりでしょうか？

自分としては（コネクトミクスのツールの一つである）3D電顕というのは、汎用的で強力なツールである、逆に言えばツールにすぎない、という認識なので、この技術を使うことによって開拓できる大きな世界が残っていると思います。窪田先生のプレゼンへのコメントのところでも述べましたが、心の病についてこのスケールでの病態は、全くと言っていいほど未開拓だからです。

「IT関係の層の薄さが日本の神経科学の大きなネックになっていきそう」という点は、全く同意です。この認識は日本でもたぶん広く関係者に共有されています。しかし、認識が共有されている場合であっても、有効な手が打てないのは（脳科学に限らず）日本の研究者コミュニティの弱点かと思います。そのあたりを、こういう議論をきっかけに改善していくことが必要なのではないでしょうか。

大きなプロジェクトを考えるときに、人材育成の観点からも大丈夫か否か、ということにはしっかり留意していただきたいところですね。ご指摘のように科学にとって不可欠な多様性を減らしてしまう方向にいつても可能性もありますので。そうならないためにも、若手・中堅の研究者には、現場からの意見を匿名でもよいので発信していただくことが大切なのではないでしょうか。人材育成やキャリアパス問題については、おそらく討論会本番でも中心的な問題の一つとして議論すると良いのでは、と思います。

Masahito Yamagata

個人的には、例えば記憶や意識とか、多くの先生方の研究が私が本当に知ってみたいところに、全く答えてくれないので、フラストレーションを感じています。

「コネクトミクスの黄昏」というのは、コネクトミクスというキャンペーン用語の終焉段階にあるという意味です。コネクトームというのが、キャンペーン用語であるという印象があったのですが、そういう意味での使用がなくなりつつある。昔は、ゲノミクスという言い方があったのですが、最近はあまり見かけなくなっていると思います。ゲノムが安価で読めるようになって、その方法論も大げさなものでなくなっているということなのだと思います。ただ、コネクトミクスに関しては、依然として、精密な科学的知見そのものより、いい加減でも「美」を競う、雑誌やニュースの表紙を飾るみたいなところがあって、そういうところにある種の黄昏を感じるわけですが。。

日本の場合、神経科学研究の大きな基盤が医学分野にあります。医学教育は最近カリキュラム的にもきつくなってきたので、医学者を育成するカリキュラムでは ICT 関係、特に本格的なプログラミングは扱えないのではないのでしょうか。教授世代ですと、学生時代に存在もしなかった領域、例えばディープラーニングなどを学生レベルから自分で勉強しているという先生は珍しいのではないのでしょうか。こういう状況では、ますます手が打てないということになりそうです。医学分野のみが主導する神経科学者のサポートではなく、違う分野からのアプローチがとても大切だと思います。

Masahito Yamagata

日本の脳科学ではなくて世界の脳科学をどうするのか、次の 10～20 年ではなくて今世紀に何をしたいか、という問いかけや視点が大切だと思います。

tsuyomiyakawa

おっしゃるような考え方は、たいへん重要ですね。さらに言えば、脳科学というものが最終的に何をを目指すのか、というようにところから考え始める、と。そこを見据えた上で、今、ここ 10～20 年で日本の研究者コミュニティが限られたリソースでどのようにしたら最も貢献できるのか、という議論をするのが良いのではないのでしょうか。

自分自身の場合ですと、脳科学の大きな最終目標の一つとして脳の疾患の克服があって、その中で今、自分が貢献できることは何なのか、をたまに考えてみます。今回の企画では、そういった具合で、脳の疾患の克服を考えたときに、ここ 10～20 年で日本の研究者コミュニティが何をどう目指すべきか、という 1 研究者の視点で発言してみたい、と思っています。

討論会・冒頭

○松田 皆さん、こんにちは。私、この大討論会の司会をさせていただきます玉川大学の松田と申します。どうぞよろしくお願いします。

今回の企画の目的なんですけれども、今後、ここ 10 年、20 年で脳科学研究がどう目指していくべきなのかということを中心に議論をさせていただきます。趣旨としては、いろいろな方向性があると思いますが、ここで議論したいのは、昨今、研究成果を非常に求められたりとか、研究費を獲得しないとまずいということになって、大体秋口になると皆さんもちょっとげっそりした顔になるということが多いわけなんですけれども、原点に立ち返って、そもそも私たちが何でこの脳科学研究を始めたのかということに戻って、今後、神経科学研究というのをどのように行っていけばその目標に近づいていけるんだろうかと、夢を持ってそこに進んでいきたいというような議論をしていきたいなというふうに思っております。

今日、台風でどうなるかと思ったんですけれども、ぜひ、ここに参加していただいて、あと 2 時間後には非常に晴れやかな気持ちで、あしたからまた研究を一生懸命頑張ろうなという気持ちになって、ぜひ、基礎に返っていただければありがたいなというふうに思っております。

今日たくさんの先生方がここに登壇していただいています。まず、話題提供者ということで登壇していただいている先生方がいらっしゃいます。

慶應大学の柚崎先生、生理学研究所の窪田先生、ストラスクライド大学の坂田先生、あと、理化学研究所の五十嵐先生、東北大学の杉浦先生、名古屋大学の青木先生、東京都医学総合研究所の寛先生は、今回のシンポジウムのオーガナイザーをなさっていただく先生方です。この大討論会に話題提供ということで、興味を示していただいた先生方に各分野の紹介と、今後どういう点を推進していくべきなのかみたいなことを 5 分程度で紹介していただくということを予定しております。

こちらに登壇していただいている先生方は、ディスカスタントということで、この分野についてさまざまなご意見を言っていただき、議論に参加していただくということで参加していただいている先生方です。

こちらから、CRDS の井上先生、NISTEP の重茂先生、東京都医学総合研究所の池田先生、理化学研究所の坂内先生、京都大学の神谷先生、あと、藤田保健衛生大学の宮川先生です。CRDS と NISTEP って、多分、何だこれだと思う方もいらっしゃるんじゃないかと思うんですけれども、後で簡単にお二方にどんなことをやっているのかということも自己紹介かたがた説明していただきたいと思いますと思っております。

趣旨説明（柚崎）

こんにちは。慶應大学の柚崎です。一応、神経科学学会の研究体制・他学会連携委員会の委員長ということで今回企画させていただきました。実は、2015 年にも 1 回やったんです。3 年ぶりですが、できれば毎年やっていきたいかなと思っています。

では、最初に企画の趣旨について簡単にご説明させていただきます。

皆さん、脳に関心があるということで、それを知り、守り、救うというところのどこかを皆さんが研究されていると思います。松田先生のほうからご紹介ありましたように、今後、100 年と言われるとさすがに想像つかないんですけれども、10 年、20 年、何をやっていったらいいんだろうかと、そのためには具体的にどうしていったらいいんだろうかというようなこと、明るい未来をディスカッションできたらなと思っています。みんなで考えてみようということです。

何を指すかについては、ここにありますようにさまざまなテーマがあります。今日もそれぞれミニプレゼンテーションでこのうちの幾つかが紹介されると思います。そして、現実的にはどう目指したらいいだろうか、そのときに何が障害となっていて、それをどうやって除いたらいいだろうか、そういうことをディスカッションしていきたいと考えております。後で「何を」ということと、「どう」ということ、その2つのポイントで議論が進むと思います。

今日の構成ですけれども、最初に私が15分ぐらいでオーバービューさせていただいて、その後でシンポジウムのオーガナイザーの先生方に5分ずつご自分の領域こそが面白く、この領域を今後20年やっていかなくちゃいけないんだということを熱く語っていただこうと思います。最初の話では点数をつけて、その点数が高かった人は来年もシンポジウムの時間を長くするとか、そんなアイデアもあったんですけれども、今年は第1回目ということで、とりあえず語っていただくということです。5分ですので、結構短いですね。

こんな感じて当該分野の説明していただきまして、それからビジョン、それを加速するためにどうしたらいいかということで、この下に書いていますような先生に話していただきます。実は、私自身はお話しするつもりじゃなかったんですが、分子神経科学の分野の代表として尾藤先生にお願いしたのですが、今日は都合がつかないということでしたので話させていただきます。その後でディスカッションです。何を指すか、どう目指すかというところで、松田先生に司会していただいて、できればフロアからもうまくディスカッションしていけたらと思っています。

単発の行事で終わっても仕方がないと思います。もう既に本討論会のウェブページがあり、今回のプレゼンの内容やパワポがアップロードされていますので、言い足りなかったこととか、ご自分の意見を是非言いたいという方は、継続してこのウェブページに書いてください。神経科学学会のホームページからジャンプできます。来年度、どんな企画をやりたいかと、やったらいいかということも、是非ご意見教えていただけたらと考えています。

現状の研究費の現状のオーバービューを誰かがやったほうがいいだろうということで、ちょっと難しいんですけれども、現在、日本で行われているトップダウンのグラントについてまとめてしゃべってくれと言われました。僕もそんなに全部知っているわけじゃないので、間違っていることとかがあればご指摘していただけたらと思います。

トップダウン研究費

御存じのように、脳プロというものが走っています。予算59億円ぐらいで、1事業当たりの研究費はいろいろです。5年から10年、それからCREST、これも一応トップダウン研究費になっております。1.5億から5億円、それから、さきがけ、これが予算で3年半から、5年かかるというのも一部ありますね。それから、そのほかに、少し意味合いは違うんですけれども、大規模学術フロンティア促進事業というものがあります。1件10億から100億で、5年から10年というものがあります。

問題は、こんなプログラムを、誰が、いつ、どうやって決めているのかということです。それを今日はわかりやすく解説してくださいというテーマだったんですけれども、私もわかりません。知っている範囲でお話しします。

例えば、脳プロでは、今、平成30年度は59億円ぐらいで3つのプログラムがあります。脳プロと言われている融合脳と意思決定、それから、革新脳と言われているマーマセットを中心とした脳機能ネットワーク全容解明プロジェクト、そして、最近スタートした戦略的国際脳科学研究推進プログラムというのが走っています。

キーワードは、社会に貢献する脳科学を実現すること、じゃ、そもそも、どうしてこういうプログラムが走りだしたのかといいますと、色々な研究費の決定過程があります。一応、ざっとこの脳科学委員会からの流れと学会会議からの流れを少しお話しします。

そもそも脳科学委員会というものは、余りご存知じゃないかもしれませんが、文科省のホームページを見ると全て議事録とかメンバーとか公開されていますので、情報は読みたければ幾らでも手に入る状況です。平成 19 年に当時の文科大臣が、長期的展望に立つ脳科学研究の基本的構想について諮問しました。その諮問を受けて科学技術学術審議会が脳科学委員会というのを平成 21 年に作りました。脳科学委員会の委員長と、それから文科省が決める「作業部会」というものがアドホックで実際の作業をします。その結果として平成 20 年にこの諮問に対して審議経過を報告し、中間取りまとめが平成 21 年に報告されました。

ここで出てきたキーワードが、「社会に貢献する脳科学」ということで、この三本柱が立ちました。

これを受けて、例えば、平成 27 年度の CREST・さがけでは「神経回路の形成・動作と制御機構解明」というようなプロジェクトが立ち上がった、あるいは、先ほど言いましたように、脳プロの課題 A、B、C というのが立ち上がったというような経緯があります。

この脳科学委員会のメンバーは文科省ライフサイエンス課が任命する。研究者コミュニティ側からはコントロールしようがない。作業部会のメンバーは、この脳科学委員会の主査、副主査、それから文科省の方で決めるということで、こちらも研究者側からどうもこうもしようがないことがあります。

革新脳のほうは少し違う経緯だったんですが、最初にアメリカでブレイン・イニシアティブ、それから、ヨーロッパでヒューマン・ブレイン・プロジェクトというのが立ち上がったので、日本でもこれをチャンスというのか、この契機に、ぜひ、同様のプログラムを立ち上げようという話が研究者サイドでありました。最終的にはこれも、脳科学委員会とその下の作業部会、私も作業部会に入っていましたけれども、で答申を出して始まりました。

その後、脳プロ事業などは AMED に移行して、多少意思決定の方法は変わってきています。でも基本的には作業部会、脳科学委員会で大きな方針を決めていく。それから、もう一つは、今もトップダウンですので、この内閣総理大臣を本部長とする健康・医療戦略推進本部の下で発した医療分野研究開発推進計画という、この中の 7 つの柱のうちの 하나가「脳とこころの健康大国実現プロジェクト」とかが入ります。一応それに沿って AMED で行うということで、今、現在、脳プロ、革新脳、国際脳の方は行われているというような状況だと理解しています。

研究者コミュニティ

脳科学関連学会連合（脳科連）

では、研究者コミュニティはどうやって意思や意見をプログラム決定に反映できるのかということですが、この作業部会と連携して、平成 24 年の 7 月に宮下先生が脳科学関連の学会を全部連合してつくろうということで、通称「脳科連」というものを結成しました。この中に将来構想委員会というのを作りました。これは研究者コミュニティが自らの意思でつくったもので、現在の代表は、6 月から広島大学の山脇先生です。将来構想委員会の方は、任期はもうすぐ切れますが、現在は、私が委員長をしてい

ます。このメンバーと、先ほどの脳科学委員会の作業部会のメンバーとの間でやりとりを通して、多少なりとも脳科学者研究者コミュニティの意見を集約して脳科学委員会に反映していこうというようなことを現在行っています。

脳科連の下には、もちろん日本神経学会のほかに、現在 28 学会の脳科学関係の学会が加盟しています。

JST CRDS

それから、後で多分ご説明があると思いますが、この JST の研究開発戦略センター（CRDS）のミッションとして科学全体を俯瞰していく、日本の科学の発展に重要なテーマ及び戦略を提案、検討するということがあります。今日来られている井上先生はそのフェローです。NISTEP の説明が抜けていますが、ちょっとミッションが違うのでまた後で説明していただきます。例えば、この CRDS のほうでは俯瞰ワークショップというものを行います。前は平成 22 年に行って、どんなことを今後やっていかなきゃいけないのかということを議論し提案しています。俯瞰ワークショップには研究者が参加する形になっています。

学術会議

もう一つの流れとしては、学術会議というものがあります。これは、アメリカとかどこの国にもありますけれども、科学者のコミュニティですね、一応選ばれないと入会できない形です。学術会議の委員会、部会あるいは分科会からも、専門者の意思として提言を行っています。提言の例としては、最近では、国際脳科学ステーションを創設しようというような提言を、理研 CBS の岡本仁先生が代表として取りまとめられました。あるいは、バイオイメージング科学を研究、推進しなくちゃいけないといった提言がなされたりしています。もう一つ、日本学術会議の大きな仕事として何をやっているかという、マスタープランというものを作ります。マスタープランのうちから選ばれたものだけがロードマップとして、文科省にて選ばれて、そのロードマップのうちで予算がつけば、大規模学術フロンティア促進事業というのに乗かって、それこそ 100 億円単位の研究所作ったりとか、そういうふうになります。

ただ、脳科学分野で出したマスタープランはここまで至ったのは今のところなくて、どちらかというと、例えば、加速器とか天文台とか物理系とか、そういうほかの分野のほうで全部実現しています。けれども、これも大きなお金の流れですので、例えば、うまくこういう仕組みを使っていけば、脳科学の方向でも新しい施設を作ったりとかも不可能じゃないと思います。

まとめ

ということで、まとめますと、日本学術会議から提言というものを出す。それから、マスタープランを出す。ここに対しても、現在では脳科連の将来構想委員会の研究者と、研究者コミュニティと意見をやりとりする形で調整するようになってきています。

そう見てくると、この脳科連の将来構想委員会、その下にある神経科学学会、こういうルートで、脳科学委員会においてコミュニティの意見を集約したり、あるいは、日本学術会議の分科会の方に意見を集約したりするというルートは一応あるというのが現状だと思います。将来構想委員会と、CRDS や NISTEP とも協調していければと思っています。

ここが一番重要なポイントですが、個々の会員からどうやってきちんと学会、そして脳科連に意見を吸い上げていくか、そして最終的に学術会議なり、脳科学委員会

なりに意見を反映していくかという、そういうことをこれからもっともっとやっていかなくちゃいけないと思います。僕自身もやっとおぼろげながら流れが見えてきただけで、若手の人にとって意見を言う機会がなかなかなかったんじゃないのかなと思います。こういう討論会を通してそういう聞く機会になったらいいなと思っています。

ということで、私の、イントロダクションを終わらして、ここから各先生方に5分ずつプレゼンお願いいたします。

話題提供

「コネクトミクスの夜明け」

窪田芳之・生理学研究所

分野名：大容量連続電子顕微鏡画像 3 次元再構築による神経回路の網羅的解析

シンポジウム名：コネクトミクス解析とその新展開

事前討論 (web)

tsuyomiyakawa

3D 電顕を用いた研究のニーズは、極めて高いものがあると感じています。生理研で、3D 電顕を用いた支援的共同研究がなされていた、うちの研究室でもお世話になっているわけですが、大人気でニーズが高すぎて、なかなか順番が回ってこない、数ヶ月待ち、のような状態になっていますよね。神経細胞や細胞小器官の微細な形態を 3D 構築できるわけで、汎用性が高くニーズが高いのは当然という感があります。

で、具体的にどのようなサンプルが主に解析されているか、ということは存じていないのですが、自分自身としてのニーズは各種疾患モデルマウスの表現型解析ですが、おそらく何らかの実験操作を行ったモデル動物の脳で、その操作の効果を見る、というタイプのものが多いのではないのでしょうか。

この分野で今後行われるべきプロジェクトの可能性の一つとして、そういった各種疾患のモデル動物（遺伝子改変や、ストレスをかけたり薬物を投与するなどの各種実験操作を行った動物）について、3D 電顕を使った表現型解析をシステムチックに行い、しっかりとしたデータを蓄積・公開していくことなのではないかと思います。

これまでの研究によって、様々な遺伝子改変や各種刺激などの様々な実験操作によって、脳内の特定の表現型のパターンに収束することがあることがわかりつつあります。そういう表現型（中間表現型）の新たなパターンを同定していくことが想定されます。脳の疾患は、そういう表現型の組み合わせであるという考え方も可能で、そこを動物モデルで着実に掘り起こしていくことが、実際の創薬研究からも期待されているところだと思っています。

こういったテイストのプロジェクトであれば、長期的には疾患の克服を目指しつつも、その中で研究者も自分の興味を追求する枠組みの中でプロジェクトに貢献することができますし、支援する側も膨大なデータの蓄積を活用し、自分の興味の視点に沿ってメタ解析を行うことができるなどのメリットがあります。

研究者コミュニティからのニーズも高く、支援する側にもメリットがあり、最終的に世界の研究者に役に立つまとまったデータを提供できるようなタイプのプロジェクト、つまり各方面に Win-Win になるようなそういった類のものにこそ重点的に資源を配分していただきたいかなと、思うわけです。

資源の意味は、設備と、それをオペレートできるエキスパート、そのデータの解析アプリ、得られたデータを蓄積するデータベースなどです（これは別に議論したほうが良さそうです）。

Yoshiyuki Kubota

窪田です。なかなか難しい議論、面白く読ませてもらいました。3D 電顕ですが、世界的には、もう随分たくさん出回っていますし、使いこなしておられます。日本円でいうと 1 億円くらいから 10 億円近くするものまであるのに、すごい勢いです。しかも 1 種類だけでなく、SBEM, FIB-SEM, ATUM, TEMCA など切磋琢磨しており、どれも生き

残っていきそうな勢いです。世界はすごいですよね！アメリカ、ドイツ、スイスがリードしてます！そこに最近では韓国も入ってきて、、、うーん、日本は、なんか置いてかれています！頑張らねば、、、。設備は決して潤沢ではないし、エキスパートも私の知っている限りでは10の研究室もあるかな、、、レベルですし、解析アプリは日本独自のものはまだ表には出てきてません。みなさん、FijiとかTrakEM2などを使っています。自動再構築アプリは、山形先生がおっしゃるようにGoogleとSebastian Seungの2つのグループが、かなり良いものを作って昨年あたりからはほぼ実用化しちゃってます！Google AIのチームリーダーはViren Jainという人で、Sebastianのところでは確か学位をとった人です。Sebastianは10年ほど前から自動再構築アプリを作るって言ってましたが、まあ、まだまだ問題ありそうですが、作っちゃいました！彼の弟子のVirenが中心となって、Google AIが作ったアプリはGithubにアップロードされています。5月の日本顕微鏡学会でGoogle AIで実際にそのアプリを使ってJanelia Research CampusのFlyEMチームのショウジョウバエの全脳のコネクトームプロジェクトのEMデータセットを3次元再構築しているMichal Januszewskiでシンポジウムでトークしてもらいましたが、、、なんだかもう完成しているみたいで、つい最近、Nature Methodsに論文が発表されました。もう夢ではないんですね！ただ、、、Googleは、NvidiaのP100 GPUが1000台のクラスターコンピュータでそのディープラーニングアプリを使っているそうです。0.65 TBのEM画像データセットの完全自動再構築におよそ7時間かかるんだそうです。めっちゃ早い！このクラスターPCがいくらか、、、、それは、私の発表でのお楽しみににします、、、。まあ、めっちゃ高いことはバラしておきますけども、、、。さすが金持ちGoogleです。楽天、GPUくらした一PCとこのアプリ開発に大金をはたいて投資してくれないかなあ、、、と思うこの頃です。ちなみに、毎年春に、HHMIとMPIが中心になり、Connectome meetingがJaneliaとBerlinで交互に開催されてまして、活発な情報交換が行われてます！昨年4月のBerlinの会議には参加してきました。来年4月にも参加する予定です。彼らは、そういうところで情報交換をしっかりとってるんですね！すごいと思いました。

ところで、Jeff Lichtmanのラボは、ヒトの脳（手術で摘出した脳の正常部位）をMSEMで撮影して、1-2 PBの画像セットを自動3次元再構築しつつあるらしい！私が朝のシンポジウムで一瞬だけお見せするMSEMの画像も随分綺麗になったものをお見せするんですが、、、それ以上にコントラストがくっきりしていて十分3次元再構築できる画像に仕上がっているようです。それがどういう科学的な解析のために進んでいるのかは、全く知りません。ただコネクトーム的に見ているだけでは無いだろうと想像できます。

とりとめのない報告になりましたが、、、やはり、ここまでできるのは、MiCRONやMPI, HHMI, Allenの桁違いの潤沢な研究費にも起因するのでしょうか！

tsuyomiyakawa

自動再構築アプリ、そんなに進んでいるのは存じませんでしたが、どの程度まで、信頼できるレベルなのでしょう。人がチェックしなければいけないということだと二度手間になってしまいそうですが、人が色塗りするのと同様までいっているのだとすればすごいです。以前、自分たちでやったものと比較してみたいです。また、自動でスパインとかPSD、ミトコンドリアその他の細胞内の小器官なども分類して同定し、その形態・サイズも定量してくれるとかだと画期的ですが、そのあたりはどんなものなのでしょう。あと、ヒトの死後脳はどうでしょうか？もしこれらが実用レベルまで達しているのであれば、病態も含めた各種中間表現型探索には絶好のツールとしては絶好で、「日々使い」の技術として真に有用で素晴らしい、ということになってくるかと思います。

コネクトミクス研究分野の紹介

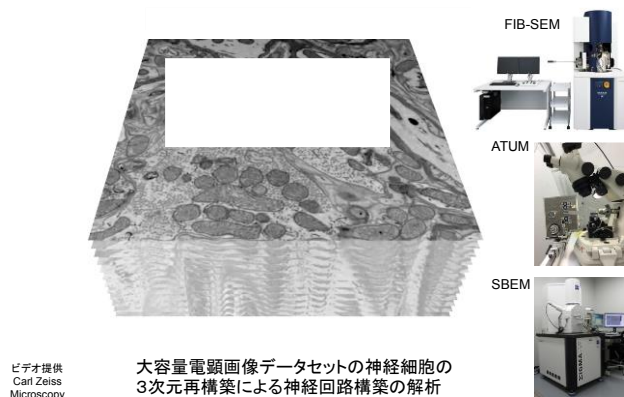
生理学研究所の窪田です。一番最初、「コネクトミクスの夜明け」というすごい、どうかなと思われたタイトルなんですけど、これで始めます。

まず、コネクトミクス研究というのは20年前は言葉すらなくて、10年前は、セバスチャン・スンみたいな超えらい人が、実際には何もできていないのに口だけでできるからということで、宣伝だけしてました。で、実は、この2年ぐらい前に、オートメート・セグメンテーション・ソフトウェアを完成させたという、そういう分野です。

これやるためには、基本的には電子顕微鏡、大きな画像のデータセットをとらなきゃいけないんですけども、それは、今、幾つかフォームがあるんですけど、ここに出したように、FIB-SEMとか、ATUMとか、SBEMとか、そういうふうに呼ばれているものがあります。でも、どの方法でも基本的に言えるのは、こういう電子顕微鏡の画像を連続で撮影して、例えば、50 nm ステップに撮影して、それをコンピューターに取り込んで、その取り込んだ連続画像から神経細胞の樹状突起などをピックアップしてセグメンテーションするという方法です。

そういうのを先駆的にやってきた先生、例えば、クレイ・リードとか、ウエイ・チュン・リーとかいるんですけども、つい最近、「Nature」に、また、2本目の仕事を出していました。これは、マウス・ビジュアル・コルテックスでカルシウムイメージングでオリエンテーション・セレクトビティを確認したマウスを灌流固定し、脳切片を作成します。その後、透過型電子顕微鏡で連続撮影して、それをもとに三次元細胞しています。その結果、こういうふうに結構たくさんの細胞、150 ミクロンぐらいの大きさの中でたくさんの細胞のコネクションを、シナプスを確認することで見ていて、実際に言ったことは、同じ方向選択性を共有する神経細胞同士は優先的なシナプス結合を持つという、多分そうだろうとみんなが思ったけれども、でも、実際にはわかっていなかったことを形態的にきれいに証明しました。

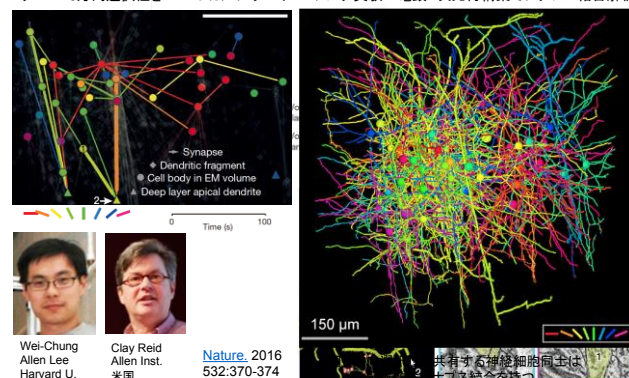
つい最近、モーリス・ヘルムステッド、彼、まだ40歳になったぐらいで非常に若



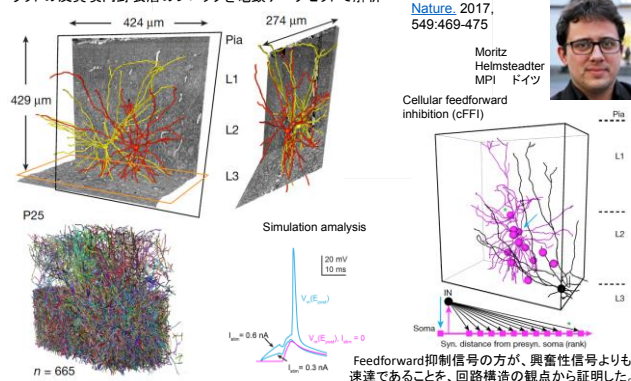
ビデオ提供
Carl Zeiss
Microscopy

大容量電顕画像データセットの神経細胞の3次元再構築による神経回路構築の解析

マウスV1で方向選択性をin vivo カルシウムイメージング実験→電顕3次元再構築でシナプス結合解析



ラットの皮質嗅内野表層のブロックを電顕データセットで解析



い人なんですけれども、もう「Nature」に何本か出している人なんです、マックス・プランクのディレクターで、こんな若いのにディレクターになったのすごいと思うんですけれども、彼がやった仕事は SBEM というダイヤモンドナイフで表面削って行って、順番に写真撮影して連続切片を見るという、そういう機械を使って、「Nature」に最近出したんですけど、簡単に言うと、大脳皮質の entorhinal cortex にある Feedforward のコネクションがありましたよと、形態的にきれいになりましたよということを証明しています。それだけじゃなくて、その情報をもとにシミュレーションをやって、実際にこの回路は Feedforward の回路で、そういう昔から言われていたことを、形態的に広め、新しい概念も出しているんですけれども、細かい話は論文を読んでください。

当該分野の今後 10-20 年のビジョン

それから、これで言いたいのは、今後の 10 年、20 年のビジョンということで、1986 年には、線虫の 302 個の接続地図が、これも電顕で解明されました。今、Janelia Research Campus の FlyEM チームによって、今開始されたところらしいんですけれども、ショウジョウバエの脳の神経回路の全脳の構造を FIB-SEM を使ってやろうとしています。

それ以外に、アメリカでは BRAIN Initiative、これは 2013 年 4 月 2 日にオバマ大統領が開設したんですけれども、MICrONS というプログラム、非常にお金をたくさん持ったプログラムですが、そういうものを使って、大容量のデータセットを、マウスの大脳皮質で解析しようという方法があります。将来的には 1 mm cube のブロックの解析に挑戦してやろうという、そういうふうになっています。

2018 年にはハーバード大学が、今年、ヒトの大脳皮質の組織サンプルをマルチ SEM で撮影して、1 PB、ちょっと桁がよくわかんないんですけれども、そういうファイルサイズのものを、ヒトの正常脳の構造を解析しようとしています。

それを加速するための戦略

それを加速するための戦略ですが、いろんな走査電子顕微鏡が要りますが、それは非常に高く、数億円かかると。自動セグメンテーションアプリケーション、これは昨日話もありましたが、Sebastian さんたちが得意なんです、それを実際に開発されました。

Google もこういうこと、実は非常に得意で、彼らがやっているアプリを使って走らせているクラスターコンピュータは、NVIDIA 社の P100 GPU、1,000 台と。これはすごいんですが、

1986年 線虫の神経細胞302個の接続地図解明

大容量電顕データセットでショウジョウバエ脳の神経回路の構造解明

→ Janelia Research Campus の FlyEMチームにより2017年開始

BRAIN Initiative (米国) 2013/4/2 オバマ大統領演説

→ 2016年 MICrONSプログラム 開始
The Machine Intelligence from Cortical Networks Program

→ 2017年、大容量電顕データセット解析法で、マウスの大脳皮質 100 micron cube ブロックの全神経構造の3次元再構築

→ 1mm cube ブロックの解析に挑戦中

→ 2018年、Harvard 大学がヒトの大脳皮質組織サンプルを MSEMで撮影 (~1 PB)

(注)写真の人物は本文とは無関係です！



大容量電子顕微鏡データセットを撮影する走査型電子顕微鏡技術の開発

ATUM + 複数の single beam SEM / Multi Beam SEM, FIB-SEM, SBEM, TEMCA
購入費用は、1億円 - 7億円

自動セグメンテーションアプリケーションの開発

高速並列型クラスターPC

Google AI How much?
NVIDIA P100 GPU 1000台の
クラスターPCで自動セグメン
テーションアプリを運転。



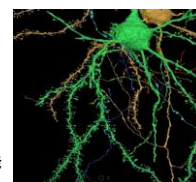
Sebastian Seung
Princeton U. 米国



0.65 TBの datasetの全構造のセグメンテーション
は7時間以下で完了する。正答率は9割程度

3次元再構築データの解析アプリケーションの開発

最も大事ななのは、**根性と研究資金！**



自動セグメンテーションで再構築され
た錐体細胞 (YouTubeより抜粋)

それを使えば、0.65TB のデータセットのセグメンテーションを7時間で完了するという、そういうことです。ただ、これもすごく高くて、幾らだと思いませんか。これ、実は35億もするそうです。こういったアプリケーションを開発することも大事だけれども、あとは、根性と、非常にお金がかかるので、研究資金が要りますよということです。

「脳状態の標準理論へ向けて」

坂田秀三 (University of Strathclyde, UK)

分野名：神経回路実験、計算論、ニューロテクノロジー

シンポジウム名：神経修飾物質による脳状態制御：先進的実験と計算論的アプローチを結ぶ

事前討論 (web)

tsuyomiyakawa

「脳状態」というと、まずは、短いタイムスケールの、電気的活動のパターン、みたいなものを思い浮かべられそうが、そういうものをイメージしていらっしゃるのでしょうか？自分は病態を研究しているので、「脳状態」という言葉からは、ゆっくりとしたタイムスケールでの各種細胞・脳部位での遺伝子・分子の発現パターンや局在、それらの形態・コネクションをイメージします。

図を拝見すると、空間的にミクロからマクロまで、時間的にミリ秒から年までのスケールを示されてますので、そのあたり、全部、ひっくるめて、ということでしょうかね。そういうものの標準理論を作ろう、ということになりますと、まさに、山形先生がおっしゃるところの、世界の脳科学で今世紀に何をすべきか、というレベルのものかもしれません。

その中で、何か特定のプロジェクトとして、この図のどこかにフォーカスして研究を進めるのか、広く薄く進めるのか、というようなことが議論としては有り得そうです。フォーカスするのであれば、

- 1) 時空間軸のどのようなものにするのか、
 - 2) 注意、意識、睡眠、麻酔、発達、加齢、脳疾患、などが脳状態の例として書かれているが、どれにフォーカスするのか、
- などというようなことを考える必要があるのかもしれない。

自分の興味で偏っていて恐縮なのですが、発達・加齢も含めたような脳の疾患の各種状態を、特徴、機能、メカニズムという各視点の中で切り口をきめて、明らかにしていく、というようなプロジェクトが良いのでは、という具合に自分は感じます。

戦略として、自動化技術を挙げてらっしゃいますが、自分もそのような技術の開発はぜひ進めていただきたいと思います。開発を進める技術は、汎用性が高く、多くの研究者が日々使いで使えるようなもの、あるいはここで議論している大規模プロジェクトで、ファクトリー的にどんどん実験・解析を進むようなもの（例えば窪田先生のプレゼンに出てくるコネクトミクスデータの自動解析アプリのようなもの）、を対象にしていきたいです。

shuzosakata

まず、「脳状態」の定義ですが、脳の活動状態、と狭義でとらえた方がとっつきやすいかもしれません。時間軸を長めにとれば加齢や脳疾患への変化も考えることになるでしょう。その場合は、同一個体でなく、異なる個体間の比較といったことがより現実的なアプローチになるかと思います。

回路や遺伝子発現などの情報は、脳の活動状態を詳細に記述するため、もしくはそのメカニズムを知るという視点で重要になるでしょうか。

それに加えて、遺伝子発現や回路などの詳細は違っても、同じことを実現する（同じ問題を起こす）ためのアルゴリズムを理解したり、それを数理的に記述する理論も必要なのだと思っています。生物は複雑過ぎ、掘り下げるとキリがないので、上のレベルの理解も目指して、良い指針作りができると良いのかなと思っています。とにかく、時空間軸を複数桁で扱わないと脳の活動状態を理解できそうにないので、その困難さを意識しながら問題にチャレンジしていきたい、ということです。

何にフォーカスするかは、問題そのものが大きいので、誰が・どこで・どれくらいの規模で研究するかにもよるでしょうか？日本でプロジェクトを立ち上げるなら、当然、日本の強みを活かすべきだろうと思います。

社会的には、加齢の問題は大きくなり続ける問題なので、先進国ならどこでも問題を共有でき、各自のリソースやツールを最大限活用して協調的に取り組み、良いテーマかもしれないかもしれません。問題は、加齢だけに時間がかかることでしょうか（それからデータのバラツキも大きそうなので、サンプルサイズの問題もあるでしょうか）。脳疾患も切実な問題なので候補テーマだと思います。その場合、最終目標はヒトが対象になってくるので、時空間＋種という別の軸も必要になりそうです。

技術に関して、私が大学院生として研究を始めた時と比べると、デジタル技術や新しい研究パラダイムが研究の世界・やり方を劇的に変えました。10年後、さらにどう変わるか楽しみにしていて、その一つの方向として「自動化」を挙げました。とにかく、今は「不可能」と言われることが実は10年後には普通にできていると良いと思っています。

tsuyomiyakawa

脳の電氣的な活動状態をメインで考えるということですかね。短いタイムスケールの活動状態については、刺激によって状態が速いタイムコースで大きく変わってしまうので、システムチックに解析して比較したりするのが、なかなか難しい部分もあり、そこで、安静状態で調べる **default mode network** の概念が出てきて、ブレイクしたと理解しています。加齢でも、疾患でも、また個性（パーソナリティ）を決めるようなものもそうかもしれませんが、やはり長いタイムスケールの中でゆっくりと変化する（**default mode network** を代表例とするような）状態があって、その状態を基盤として、短いスケールの各種状態の生じやすさのようなものが決まってくるようなイメージを持っています。また、遺伝子・分子発現の変化が、回路の変化をもたらして、そういうゆっくりとしたタイムスケールでの電氣的な活動状態の変化に帰着するということになるのでしょうか。疾患や個性のようなものに興味がある自分としては、状態を研究するのであれば、そういった部分にフォーカスすると面白いのではないかと思います。

技術については、大きなプロジェクトで開発するのであれば、個別の自分の研究だけに使えるようなものではなく、世界の多くの研究者が用いることを想定したような技術、別の言い方で言えば、まさに研究のやり方を変えるようなものを目指して開発していたきたいところです。

当該分野の紹介

イギリスにある Strathclyde 大の坂田です。よろしくお願いします。僕がオーガナイズしたシンポジウムは、「神経修飾物質による脳状態制御」で、キーワードは脳状態ということです。これは非常にブロードな言葉ですが、基本的には、例えば、今、皆さん、僕らの話を聞いているときは、すごく注意を向けていたりするわけですね。だけど、お弁当を食べた後だから、そのうち眠くなるかもしれない。僕らの状態というのはいろいろ

ろ変わっているわけですね、分だったり秒だったり。もっと長い時間をとると、ここにある発達とか加齢とか、もっと長い何カ月、何年とか、そういう全然違う時間軸に沿って脳状態はどんどん変わっていくと。そういうことも扱うと。あとは、脳疾患死ということも広くとれば、含むことになります。

具体的に、ざっくりどういうことをやっているかという、1つ目は、この特徴ですね。要は観察すると。だから、脳がどう活動しているかというのをいろんな方法で記述したり、その脳状態を定義しましょうということ。

それから、もう一つは機能ですよね。例えば、感覚、知覚とかを考えた場合、意識があると知覚として残るとか、そういうことですよね。

それから、メカニズム。実際、脳の中、その回路だったり細胞だったりシナプスだったり、今回の僕らのシンポジウムでは、神経修飾物質、アセチルコリンとか、そういう伝達物質とか、そういうキーになるようなものがあるので、ちゃんとメカニズムを明らかにしていこうと。

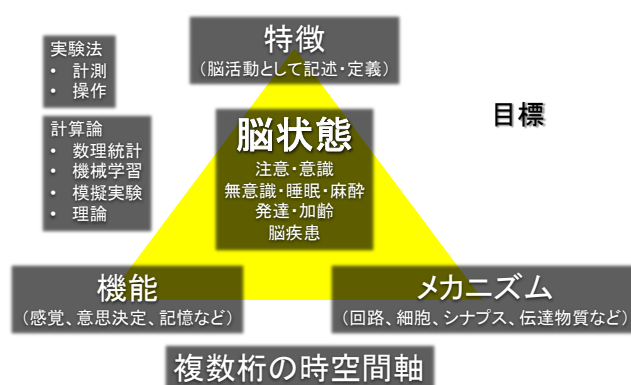
究極的に目指す目標としては、基礎科学として理解したいというのもありますし、将来的にはこれを応用して、例えば病気を治すとかですね。今回、プレミナリーレクチャーであったサイ先生の場合は、いわゆるガンマオシレーションというオシレーションを使って、いわゆる脳状態をある意味操作して、アルツハイマーを治しましょうということを始められている先生もいるわけですね、世の中には。

方法論としては、計測、電気生理だったりイメージングだったり、いろいろあると思います。あとは、操作、オプトジェネティクスとかもいろいろあると思います。あとは、膨大なデータを扱ったりしますので、数理計算だったり機械学習とか、あとは実際にシミュレーションをするという話もあります。あとは、理論的に、ここはまだあんまりというか、なくはないんですけども、全然進んでないと、理論的な理解は。

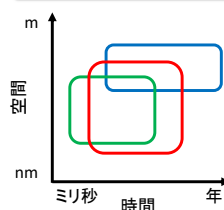
それで、何といっても一番問題になるのは、これは脳研究、何をやってもここに、大きな問題になると思うんですけども、時間と空間を複数桁扱わなきゃいけないと。例えば空間でいうと、分子から脳全体、体全体だったりするわけですよね。時間でいうと、さっきの例でいうと、ミリセカンドの話だったり、加齢とかいっても、何年とかいう、そういう物すごい桁の大きい、違う時間空間軸を扱わなきゃいけないというのが非常に難しいし、分野としても非常に大きい分野です。

当該分野の今後 10-20 年のビジョン

今後どういうふうに進めたらいいかというのは、これは単に僕の主観なので、いろんな方法があっていいと思うんです。現状分析すると、今言ったように、いろんな方法論とか知見が散在し混沌としています。同じようなことを研究していても、結

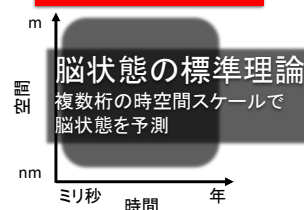


各方法論のメリット・デメリット
知見が散在・混沌



現在

守備範囲拡大・技術開発
分野間連携
知見を統合・理解 (AI, 理論)



近未来

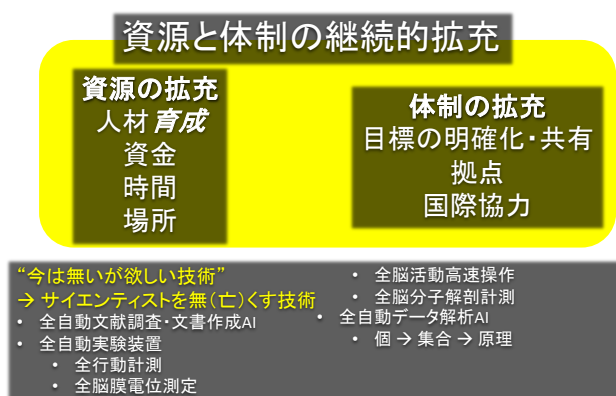
果がラボによって違ったりとか、そういうこともあります。方法論として議論すると、ミリ秒を扱っていたり、年を扱っていたり、空間を扱ったりしている。いろんな時空間軸を使っている。それをできるだけ皆さんで連携し合いながら、知見を統合なり、しっかりした理解として進めていくといいかなとは、何となく思っています。

究極的には、物理じゃないですけども、脳状態の標準理論みたいなをつくれれば、これはある意味夢なんですけど、そういう複数桁の時空間スケールで脳状態を予測できるといいかなというのが究極です。だから、これは10年、20年で終わらないと思いますけれども、そういうほうを目指していけるとおもしろいかなと思っています。

それを加速するための戦略

何が必要かという、これはどんな分野でも一緒だと思うんですけども、リソースですよね。人材育成だったりお金、時間、場所。あとは、皆さんでやっぱり協力しないといけないので、こういうリソースが要ると。

あと、このスライドをつくるときに、どんな技術が要りますかと言われたので、ちょっと脱線しますが、こういうのがあるといいかなと。僕らが仕事なくなる方向に進むような技術ができると、僕らはもっとクリエイティブなことができると思うので、こういう時間がかかっているところを自動で、例えば文献検索とか、めっちゃめっちゃ時間がかかりますね。グラントの申請書を書くとか。そういうのはAIが全部やってくれて、お金取ってくれる。あとは、細かい行動の計測とか電気生理とか解剖とかいろいろありますけれども、それをAIなりロボットが全部やってくれる。あと、データ解析もやってくれて、次の日、ラボに行ったら、もう論文ができている。そういう状態になると、物すごく加速的に進むんじゃないかなと、そういう夢のようなことを考えています。



「スパコンでヒトの脳を作る!？」

山崎 匡（電通大）・五十嵐 潤（理研）

分野名：計算神経科学、計算科学、高性能計算

シンポジウム名：スパコンは神経科学をいかに加速するか：エクサフロップス時代に向けて

事前討論（web）

tsuyomiyakawa

1 個のニューロンのことを数式で書けるようになるためには、まだまだ長い道のりがあると思います。また、1000 億個のニューロンだけでなく、膨大な数のグリアもあり、そして、それらが、様々な状態（ステート）に変化するので、脳活動をシミュレートすることは、容易なことではないように思います。そのあたりは、どうお考えでしょうか。

また、現在の知見で、線虫程度の神経系であっても、妥当性のあるシミュレートができるのかどうか興味がありますが、何か知見はありますかでしょうか。

それはともかく、これからの脳科学では、オミクス解析、イメージングなどで膨大な

データが出てきて蓄積されてくることになるはずですので、それらを解析するのに必要なコンピューターのリソース、それを使いし、モデル化できるような脳科学者の育成は、筧先生の戦略にもありましたが、どう考えても絶対に必須ですね。

たぶん、「脳科学者の育成」のため、というよりも、今後のすべての研究者は、ITについての素養を身につける必要があるかと思います。研究者コミュニティ全体で議論するべきでしょう。

YAMAZAKI Tadashi

ご存じの通りスパイク生成のメカニズムはホジキン・ハクスレー方程式、細胞内部を流れる電流はケーブル方程式、カルシウムの挙動は拡散反応方程式、、、と行った具合に式で書けますので、近似の度合いはあるにせよ書き下して数値的に解を求めることは技術的には可能です。細胞パラメータや結合重みを適切に決定するのは至難の業ですが。。。グリアについては私個人は研究対象としていないのでノーアイデアです。私は小脳を主な研究対象にしていますが、小脳単体であればかなりいい線のシミュレーションができていますと考えます。線虫のシミュレーションは Open Source Brain 方面の人達が OpenWorm プロジェクトというのをやっていますね。

神経科学者でも今は普通に Matlab は使うはずなので、加えて Python くらいなら使えるようになるのはそれほど難しくはないと思います。一方でスパコンをしゃぶりつくすようなコードを書くには、コンピュータサイエンス(CS)的なものの考え方(例えば数の数え方とか)を身につけている必要があり、それは知識の詰め込みではなかなか厳しいように思います。

我々のスライドにも書きましたが、「CS の人に Neuroscience を教える」と「Neuroscience の人に CS を教える」のはどちらが楽でしょうね。

ところで、この一連のコメント欄、本番当日までにヒートアップしてしまうとお客さんを置いてきぼりにしてしまう可能性が。。。

tsuyomiyakawa

そういった少数の方程式で極度に単純化しても、シミュレーションできるものもあるのでしょうか。エネルギー代謝の状態、膜状のチャネル・受容体の挙動、遺伝子・分子発現パターン、細胞内のリン酸化などの分子の各種修飾の状況、細胞の形態の変化、などなど、を考えると、たいへんそうに思えますが、まずは、単純化したもので、どれくらい現実に近くなるのかを調べるという戦略はありそうです。

「普通に Matlab は使うはずなので、加えて Python くらいなら使えるようになる」というのは、おそらく、大学にはいったすべての人くらいに基礎だけは学部の中に教えていただくのが良いのでは。一方、「スパコンをしゃぶりつくす」ようなコードが書けるくらいの CS の素養というのは極一部の適性がありそうな人だけできるようになるということでよさそうです。

Neuroscience についても、杉浦先生のおっしゃるように、基礎的な教養として大学に組み込んでもらうことができればベストかと思います（ホジキン・ハクスレーくらいのもも含めて）。

コメント欄については、幸か不幸か、閑散した涼しい感じでヒートアップまでは程遠いようですので、大丈夫ではないでしょうか w あと、個別のプレゼンについては、本番では議論する時間がほとんどとれないだろう、ということもあります。

当該分野の紹介

この発表はもともと山崎先生が発表される予定だったんですが、かわりに私、五十嵐が恐縮ながら発表させていただきます。

タイトルが「スパコンで人の脳を作る!？」ということで、わかりやすいタイトルなんですけれども、こういうことが10年、20年後にできるんだというのを、この神経科学会の皆さんにお伝えしたくて、参加させていただきました。分野が計算神経科学、計算科学、高性能計算というので、要するに脳のシミュレーションをスパコンでやるという分野です。

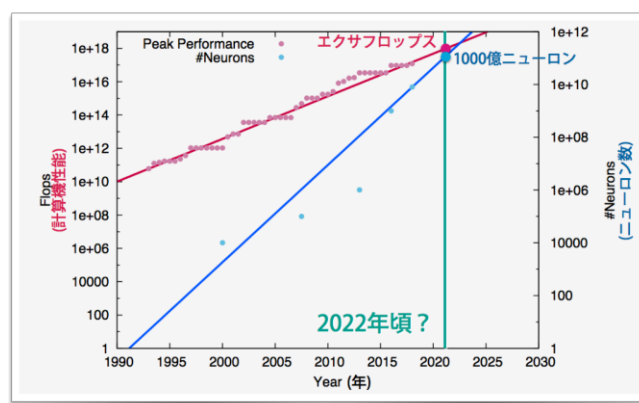
当該分野の紹介ですが、神経科学で今まで膨大な電気生理学の実験データの蓄積があるわけなんですけれども、それをもとにして、神経細胞の振る舞いというのを数式で記述することができます。それはいろいろな詳細度でのシミュレーションがあるわけですが、例えば発火頻度や発火のタイミングや、振動的な発火の活動というのを再現できる。それと、脳、神経細胞の種類とか密度だとか、あと神経細胞の結合なども、その実験データをもとにして、神経回路をつくることのできる。これをスパコンで計算すると、非常に大規模に計算することができて、今だと10億個の神経細胞、10兆個のシナプスなんかを計算できるようになっています。この再現度、まず振る舞いの再現度と規模を高めていくと、原理的には人の脳活動をシミュレーションできるんじゃないかということで、我々はこれに取り組んでおります。



当該分野の今後10-20年のビジョン

こちらの図が当該分野の今後の10年、20年のビジョンというのをあらわす図なんですけれども、このスパコンの性能が左の縦軸で、シミュレーションされた神経細胞の数が右の縦軸です。横軸が年なんですけれども、このようにまずスパコンの性能という、これは対数軸になっていまして、対数軸で直線上なので、きれいに指数関数的にスパコンの性能が上がっています。

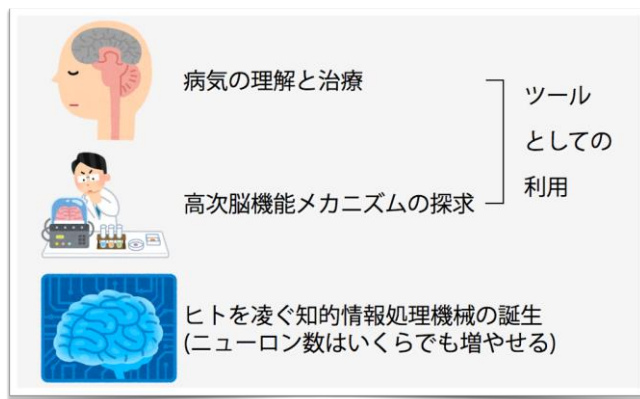
あわせて、神経回路、シミュレーションの神経細胞の数もおおむねこのように指数関数的に上がっていきまして、このプロットからフィットしてこれを予測すると、エクサフロップスという1秒間に 10^{18} 回の浮動小数点演算を計算できるスパコンができるころに、1,000億のニューロンがシミュレーションできるということになるので、多分、人間規模がこれぐらいでできると。2022年ごろにできるということになるので、それを目指しております。



全脳シミュレーションがもしできたら、
 どういうことに取り組めるかというのでさ
 まざまあるんですが、まず一つが病気で、
 脳の病気というのは、皆さんいろいろ御存
 じだと思っんですけれども、てんかんにし
 ても鬱にしてもパーキンソン病にしても、
 いろいろな脳部位が相互作用して起きるも
 のが多いので、そういうものは全脳的な理
 解が必要なわけなので、全脳シミュレーシ
 ョンが役に立つでしょう。

もう一つが、高次機能脳メカニズムの探
 求というので、高次機能ですね、脳の全部
 の要素が集まって最終的にできる機能とい
 うのは、やはり全脳規模での取り組みが必要
 なので、全脳シミュレーションが役立つ
 と。

最後に、人工知能として応用としての脳のシミュレーションで、脳のシミュレーションができて、汎用的に処理ができて、それをさらに高めるといこともその先には多
 分可能だと思うので、そうすると、人をしのぐ知的情報処理機械の誕生という、こうい
 うこともできるかも、取り組めるようになるかもしれないと考えております。

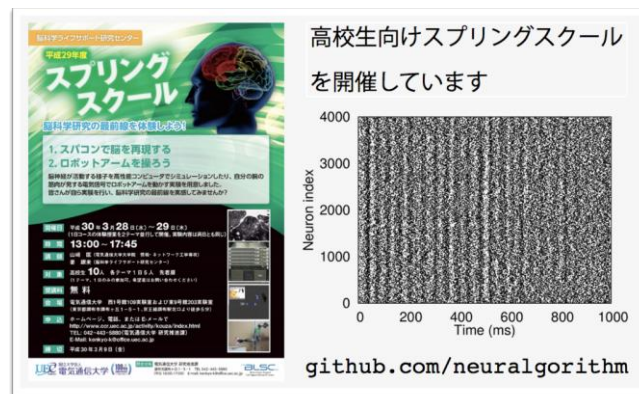
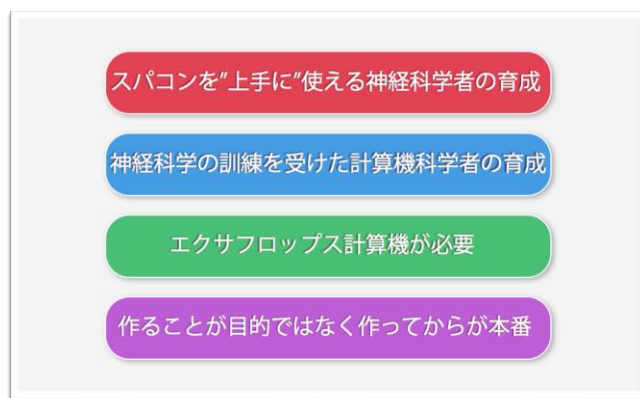


それを加速するための戦略

これを加速するための戦略として、これは基本的なことなんですが、人材の育成で、そのプラットフォームの開発で、それから、作ってから本番とか、そういうのはあるんですけれども、まず脳のシミュレーションをやろうとしたときには、スパコンを使える知識と神経科学に精通しているという、その二つが必須でありまして、今まではスパコンを上手に使える人が神経科学に来るか、神経科学の素養がある人がスパコンのことを学ぶかという、こういう流れで、これからこういう流れはあると思うんですけれども、これをやっていかないといけない。あと、これを両方向同時に並行して育成していくということも、これから必要になると思います。

当然、これ、そういう全脳シミュレーションで何かをやろうとしたら、そういう全脳シミュレーションができた瞬間というのは、本当に一握りの人しかできないので、そういうのを幅広く皆さんが使えるように、ハードウェア・ソフトウェアを敷居を下げるようなことをしないといけない。もちろ

それを加速するための戦略



ん、この全脳シミュレーションができた途端に人格が再現できるとかというものではないので、ブラッシュアップがその後必要になります。

最後に、山崎先生が電通大でスプリングスクールを開いていまして、そこで高校生に、これから10年、20年後の主役になる高校生たちに大規模シミュレーションを教えるということをされていまして、こういうことが、まだ規模は小さいですけども、一番重要だなと思っております。

「人間の心や行動を脳から考える」

杉浦元亮 東北大学 加齢医学研究所／災害科学国際研究所

分野名：認知神経科学

シンポジウム名：身体運動から社会認知へ：多様な過程の統合的理解を目指す

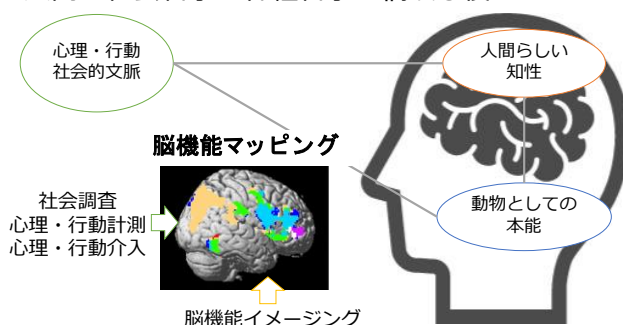
当該分野の紹介

2つの所属がありまして、加齢医学研究所と災害科学国際研究所という2つの研究所、どちらも本務という立場です。プレゼンは「人間の心や行動を脳から考える」という無難なタイトルにさせていただきました。いわゆる認知神経科学という分野になります。シンポジウムでは、「身体運動から社会認知へ」というテーマで、人間の体に関係する脳の処理と社会的な認知が、実は深い関係にあるということにを、さまざまな方法論で迫っている人たちを5人呼んできて、多様な過程の統合的理解を目指すということでやらせていただきました。

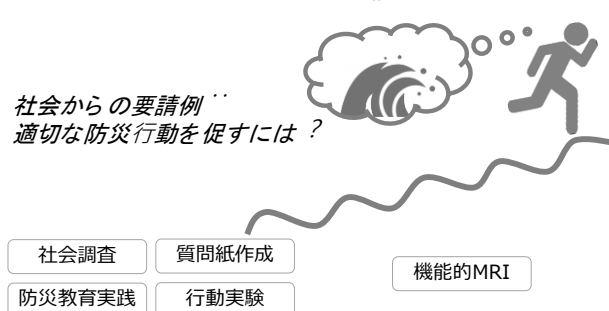
認知神経科学は、私の認識では、人間、それから社会科学、いわゆるかなり文系的な分野と神経科学、脳科学の橋渡し役です。使っているメソッドは、脳機能マッピング。なので、技術としては、これは80年代、90年代からほとんど変わってない技術を使っています。やはり人間の脳を見るということが、実際、人間の心理、行動が、社会的文脈の中でそれがどう変わるかということを知る上では、やはり絶対必要であろうと。当然、人間も動物なので、本能としていろんな重要な処理があります。そういったものと人間らしい知性とが、複雑に、時に変な形で絡み合って、人間のおかしな行動をつくっているんだと思っています。そういうことを研究しているんだと思っています。

先ほど、災害科学国際研究所にいたと言っていましたけれども、例えば僕がどんな無茶振りを受けるかといえ、適切な防災行動を促すにはどうしたらいいか、脳科学の立場から教えてくれと言われるわけですね。これ、何かタンパクとか遺伝子がわかって、これに答えられる問題だとは思えないかって。僕は、今のところ、仮にできたとしてマ

認知神経科学： 人間・社会科学と神経科学の橋渡し役



認知神経科学： 人間・社会科学と神経科学の橋渡し役



ッピングぐらいなんじゃないのかなと思ってやっています。特に重要なのは、マッピング自体はそれこそ、80年代、90年代の技術ですが、重要なのは、そこにどう社会調査とか質問紙調査を絡めるかとか、それをどう使って防災教育を実践するかとか、もうちょっと行動実験をでどうたたき込むとか、組み合わせるかとか、といったことです。そういったことをずっと工夫しながらやっているというのが現状です。

当該分野の今後 10-20 年のビジョン

10年後、20年後に何を指すかという、あんまり月に行くようなイメージじゃ全然なくて、もっと地上の話になります。で、つまり、人間の心や行動を考えると、今までって非常に感覚的な話をで心理学の人たちとかが、さらにもっと文系の人たちが議論しやっているわけです。けれども、今後そういったのときにもっと人間の心のことを語るんだったら、もうちょっと脳科学的なコンセプト、認知神経科学が常識的なバックグラウンドになって議論するという、そういう世の中になってこないかなということを考えています。

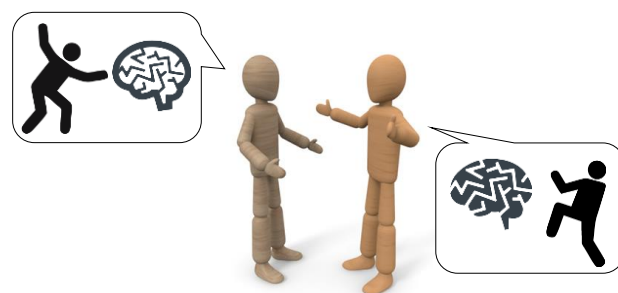
というわけでなので、認知神経科学に基づいた人間社会科学の再構築をやりたい。そのためには、やっぱり基礎的な脳科学知見の充実が必要でしょう。ただ、ここで考えているのは、申した脳機能マッピングレベルの、つまり脳のどこの場所でどんなことをやっているかというレベルのような話です。そういったことに基づいて、いろんな医療とか健康とか教育とか製品・サービス開発、そういったものところが変わってくると。一方で、これは人間として変えちゃいけないんだというものも、それぞれの哲学という面もあるだと思いますが、そういったことも脳科学をベースに主張していけたらいいなと思っています。

それを加速するための戦略

それを加速するためには、やはり教育インフラなんじゃないかと。基本的に考えているのは、文系の人たちですね。文系の人たちが脳科学、僕がイメージしているのはマッピングですけども、そういったものを使えるようになってきて、要は、文系のツールとしてマッピングが使えると、そういう状態を目指していきたいなと考えています。

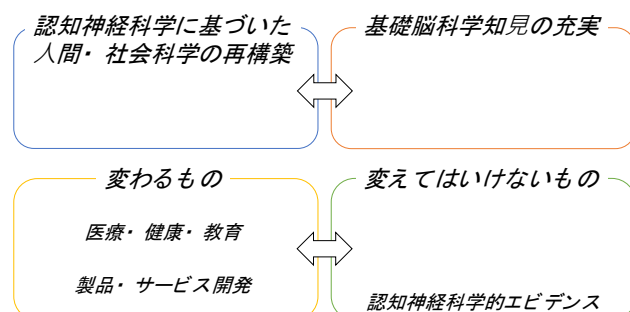
認知神経科学の基礎教養化^{・・}

人間の心や行動を考える時、認知神経科学が常識に



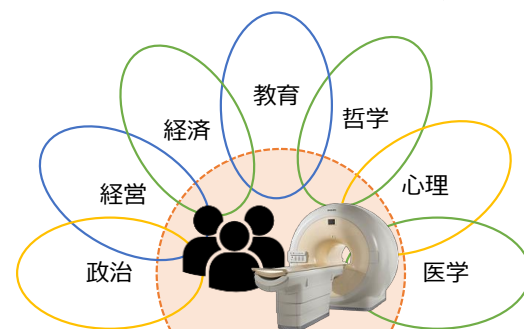
認知神経科学の基礎教養化^{・・}

人間の心や行動を考える時、認知神経科学が常識に



教育インフラの充実^{・・}

各大学の人間・社会科学で共通科目・教員・施設



「シンプルな神経系で、情報の流れを入口から出口まで全部見る！」

青木一郎 名古屋大学・理・ニューロサイエンス研究センター

分野名：線虫、神経系による情報処理、温度走性行動、イメージング

シンポジウム名：シンプルな神経回路から解き明かす情報処理の基本原則～複雑な脳への応用に
向けて

事前討論 (web)

tsuyomiyakawa

線虫というシンプルな系で、コネクトーム、イメージングなどによって、入力から出力まで情報処理を完全に把握することを目指す、ということですね。神経細胞の個数や繋がり方がほぼ完全に既知である、ということはたいへんな強みであろうことは想像できます。ポイントは、そこで得られた知見が、どの程度哺乳類の脳にも適用可能なのか、ということでしょうか。

疾患に興味を持つ自分の視点からですと、線虫の神経系で、脳の病態の何らかの側面がモデル化できるかどうか、という点に関心があります。

- 線虫の神経系にも炎症というのは起こるのでしょうか。
- 線虫にもグリアはあるということですが、ミクログリアとかアストロサイトに対応するものはあるのでしょうか？
- 神経細胞の機能的な性質が長期的に変化してしまう、というような知見はありますか？
- 他に以下のような点も興味があります。
- 「線虫ですら解析が困難（大量のデータから意味をどう抽出するか）」とありますが、神経細胞の活動のイメージングの結果から、機械学習のような手法で、線虫の状態や行動を推定する、ということができるのは間違いないように思うのですが、そのあたりの状況はどうなってますでしょうか。
- 得られた神経活動などの大量データは、「ドライ」の研究者にとって面白い研究対象になりうると思うのですが、データの公開のプラットフォーム的なものは整備されているのでしょうか。
- 坂田先生の「脳状態」というようなものについてですが、線虫にも神経系の異なる「状態」や「モード」的なものは知られていますでしょうか？

Ichiro Aoki

宮川先生、コメントありがとうございます。」

- 線虫の神経系にも炎症というのは起こるのでしょうか。
炎症の存在を示した報告はおそらくないと思います。一方で、感染に対する自然免疫のシグナル伝達機構はよく保存されているようです(Ewbank, J. J., WormBook, doi/10.1895/wormbook.1.83.1)。
- 線虫にもグリアはあるということですが、ミクログリアとかアストロサイトに対応するものはあるのでしょうか？
ミクログリアはおそらくないと思います。発生過程に生じる死細胞の貪食は、専門の貪食細胞ではなく、周囲の細胞が担っている、と聞いたことがあります。アストロサイトと完全に対応するかは不明ですが、グリアがニューロンの形態維持にはたらくとか、ニューロンと情報伝達することは報告されています。(Singhvi, Cell, 2016; Yin, Nature, 2017)
- 神経細胞の機能的な性質が長期的に変化してしまう、というような知見はありますか？

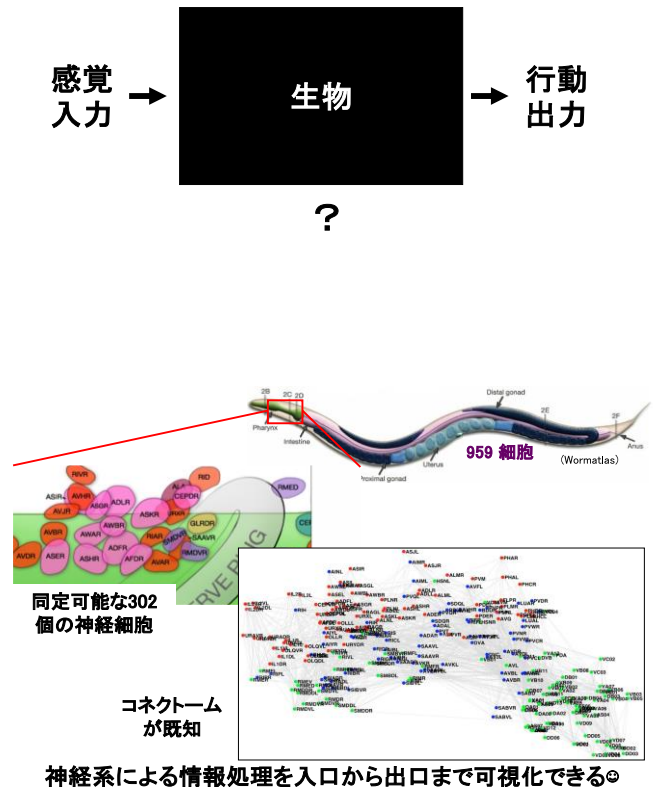
Spaced training によって条件付けが長時間持続することはいくつかの系で言われています(Amano, Lern. Mem., 2011; Beck, Lern. Mem., 1995; Kauffman, PLoS Biol., 2010)。ややずれるかもしれませんが、老化個体では行動が変化します。

- 「線虫ですら解析が困難（大量のデータから意味をどう抽出するか）」とありますが、神経細胞の活動のイメージングの結果から、機械学習のような手法で、線虫の状態や行動を推定する、ということができるのは間違いないように思うのですが、そのあたりの状況はどうなってますでしょうか。
全脳イメージングのデータからは、全身後退の切り替えや睡眠覚醒のような"大雑把な"変化はとらえられていますが(Kato, Cell, 2016; Nichols, Science, 2017)、走性のような“複雑な”過程を形作る活動がとらえられているわけではありません
- 得られた神経活動などの大量データは、「ドライ」の研究者にとって面白い研究対象になりうると思うのですが、データの公開のプラットフォーム的なものは整備されているのでしょうか。
1 つそれらしいサイトを見つけたのですが、残念ながらリンクが切れています。
<http://wormbehavior.mrc-lmb...>
- 坂田先生の「脳状態」というようなものについてですが、線虫にも神経系の異なる「状態」や「モード」的なものは知られていますでしょうか？
睡眠状態と覚醒状態はかなり異なっていて、睡眠状態では全体的に神経活動が silent になるようです(Nichols, Science, 2017)。

当該分野の紹介

今日は、線虫がまだまだ有用であるということとか、線虫ですら、結構実はわかっていないということをお伝えしたくて、来ました。シンポジウムでは、線虫やハエといったシンプルな脳を持っている生物から、何とか情報処理の基本原則を抽出できないかなというテーマでやらせていただきました。所属は、うちのボスの森郁恵が最近立ち上げた名大理学部内のニューロサイエンス研究センターというところにおります。

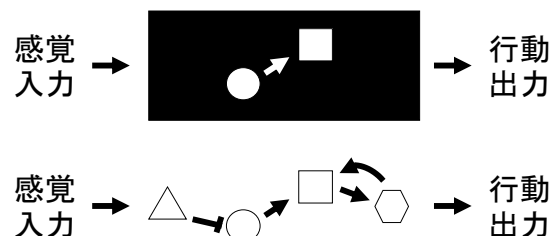
私の興味は、感覚入力がどういうふう
に神経系によって情報処理をされて行動が出力されるかということ、を、解き明かしたいということです。さまざまな研究から、遺伝子、ニューロン、回路、あるいは領野といった情報処理に関与する要素というものが、非常にたくさん抽出されていると思うんですけども、現状は随分たくさんブラックボックスがあって、とても全容が解明されたとは、少なくとも個人的には思っておりません。僕が目指したいのは、こういった個々の要素の理解ということだけではなくて、そこにとどまらずに、感覚入力がどのようにプロセスされて行動出力に変換されるかということ、入り口から出口まで全て可視化したい。ブラック



ボックスをなくしたいというのが目標です。

当該分野の今後 10-20 年のビジョン

そのためには、非常にシンプルな神経系を持っている線虫というのは、非常に有用だと思っています。線虫の神経系というのはわずか 302 個のニューロンからできていて、しかも、この 302 個のニューロンというのは個体間で完全に共通で、全部名前がついています。しかも、そのニューロン間の接続というのは全てわかっています、なので、この線虫は入り口から出口まで全部可視化できるという、恐らく現状では唯一のモデル系だと思っています。



必要性、十分ににとどまらず、感覚入力がどのようにプロセスされて、行動出力に変換されるかをすべて可視化する。ブラックボックスをなくす！

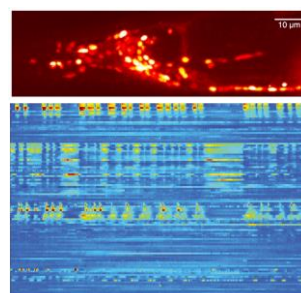
→行動中の個体から複数ニューロンの活動を記録する。

それを加速するための戦略

現在、行動中の線虫からの全脳イメージングというものが既に発表はされているんですけども、実はまだ結構、技術的なハードルが高くて、誰でも使えるという感じではありません。一番問題になっているのは、やはり顕微鏡のスピードだとか、あと個体を追跡するのが結構難しいとか、画像から、どの光がどの細胞由来かを同定するのが難しい、そういった問題があります。あと、とれてきたデータというのも、線虫の 302 個のニューロンですらかなり複雑で、解析はすごく大変です。なので、これらのボトルネックを解決するためには、技術革新も必要ですし、あとは、五十嵐先生の発表にもありましたように、生物と情報系というか、物理的な知識の両方に精通した人の参入だとか育成というのが、非常に必要になってくると思っています。

最後に、どうせ線虫でしょうとか、線虫と人間なんて全然違うじゃないのというご批判を時々いただくわけですけども、私としましては、線虫で情報処理を解明するというのは、まず今、どこまで理解すれば、理解できたと思えるのかというのが全然わかっていないと思うんですが、それを検証するための一つの壮大な実験なのかなと思っています。

あとは、少し細かいことですけども、解析の方法論なんかはほかの系にも応用できるんじゃないかなと思っています。



(Kato et al., Cell, 2015)

ボトルネック:
線虫ですら解析が困難(大量のデータから意味をどう抽出するか)

スループット(行動中の個体から複数ニューロンの活動を再現性良く記録できるか)

- ・ 情報処理の解明
- ・ コネクトーム(解剖)とイメージング(活動)を統合した解析

→他の動物の解析にも応用可?

「BRAIN Initiative の先を見据えて」

寛 慎治・東京都医学総合研究所

分野名：システム神経生理学（運動系）

シンポジウム名：ダイナミック小脳—見えて来た創発的情報処理のメカニズム

事前討論（web）

tsuyomiyakawa

「BRAIN Initiative が外した問題を見据え」とあります。Brain Initiative とかぶっても仕方がないという側面は間違いなくありますね。BRAIN Initiative は基本的には技術開発と正常な脳の理解を進めているように思いますが、「外した」とまで言えなくても中心的には取り組んでいない問題として、脳の病態の理解があるかと思います。病態を見ることによって、逆に正常な情報処理の原理が見えてくる、ということもあるに違いありませんでしょう。ですので、大量の病態観測データをシステムチックに蓄積していく、ということは一つの大きな目標となりうるかと。

膨大な蓄積データから原理を読み解くような「未来のケプラーを神経科学にリクルート」というのはまさに必要な戦略かと思います。未来のケプラー的な人材は、他の業界でもひっぱりだこな状態ですので、そういう人をリクルートするためのアイデアはありますでしょうか？今後の脳科学では多かれ少なかれビッグデータの解析が必要になってくるのは間違いのないところなので、むしろそういう人材を育成し社会に供給するという役目を担う、という戦略が良いのでは、と自分としては思います。IT 人材はどこでも必要とされていて、つぶしがきく、ということがあります。そのあたりも、「どうめざすのか」の部分でぜひ議論したいとことです。

Shinji Kakei

宮川先生、コメントありがとうございます。「外した」というのはやや誇張かもしれませんが、脳というブラックボックスの動作原理に迫る道筋が明確に描けない状態で、BRAIN Initiative は現実的で効率的なアプローチを取っていると思います。ただ、どれだけ今のやり方でデータをを集めれば脳がわかったといえるのか、どのように頂上が見えてくると予想されるのか、その道筋が明確になっていないことは明らかです。その意味で「病態」に着目する必要性は全く同感です。脳の正常データを積み重ねる正攻法だけでなく、病態から正常を見る逆のアプローチは不可欠だと思います。このとき、遺伝子改変等により実験動物で病態を再現する方法が現状では最も精度と再現性の高い有力な方法です。一方、実験動物では病態の表現型について、到達運動のような比較的単純な機能でも深く調べるのが難しいと思われます（動物に、あーしてほしい、こうしてほしいとあれこれ伝えられないという意味で）。患者さんではその問題はありますが、病態が複雑で個人差が著しいという問題があります。病態の攻め方について、広くアイデアを集める必要があるように感じています。

出てこい脳科学のケプラー！が、他の業界との激しい競争のもとにあるということは、お恥ずかしいことですが、考えておりませんでした。脳の原理の解明は宇宙の起源や生命の起源に並ぶ、人類の究極の問題の 1 つだと思いますが、ナイーブな好奇心だけを当てにするのはダメですね。研究者の今まで以上のアウトリーチが必須ですね（自明な答えで、アイデアになっていません）。

tsuyomiyakawa

実験動物では病態の表現型について、到達運動のような比較的単純な機能でも深く調べるのが難しいヒトの脳機能・病態については、動物でモデル化できるものと、そう

でないものにざっくり分けることができるのではないのでしょうか。当然といえば当然なのですが、動物でモデル化できそうな部分は動物で研究し、そうでない部分はわりとあっさり諦めて人やそこから得たサンプルを対象にするなどして行う、という方針が基本的にはよさそうな気がします。「動物でモデル化できそうな部分」だけでも、まだまだ全然研究が進んでおらず、膨大な未開拓の領域があります。また、予防・治療のターゲットは、薬物・栄養などをもし使うとすれば、最終的には分子レベルになるはずでしょう。人間スペシフィックな部分よりも、動物とも共通している部分がターゲットになるポテンシャルが大きいと直感的には感じます。例えば、言語のような人にしかない高次機能が影響を受ける疾患（知的障害とか）でも、多くのものは、遺伝子・分子レベルの問題が背景にあり、当該の遺伝子・分子の異常は、動物でも様々な神経レベル、回路レベル、行動レベルでの障害をもたらすと考えられます。そのレベルでの問題が解消できるような方法があれば、人でも同様に効果がある可能性も高いということになりそうです。

リクルートについてですが、脳科学のエキサイティングな側面を伝えるアウトリーチ活動ももちろん重要ですが、加えて、研究業界のネガティブ面をへらすということもやっていかないと若い人には参入していただけないような気がします。

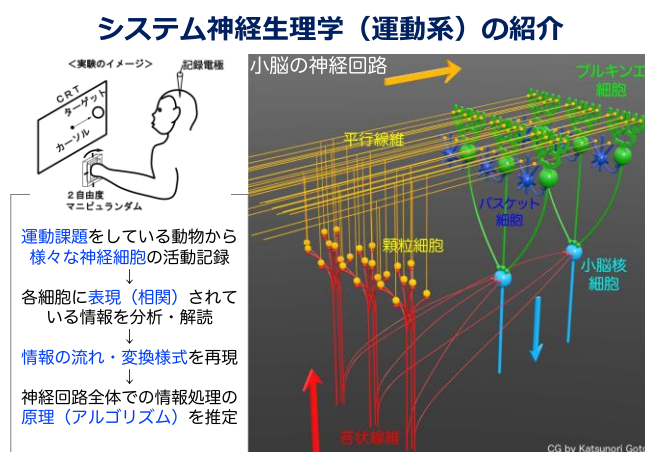
当該分野の紹介

私の研究分野は、システム神経生理学、非常に古典的な運動系の研究です。どんなことをやっているかといいますと、実験としては、おサルさんに運動課題をさせまして、具体的には手首で、このマニピュラタムという機械仕掛けを動かしているんですが、動かしているときに、単一細胞の活動を一個一個記録します。我々は特に小脳の脳機能を調べていますが、小脳のさまざまな細胞の活動を記録しまして、それぞれの活動がどういう情報を表現しているのか、何に相関しているかということ进行分析します。その情報の流れというものを再現して、小脳での情報処理のアルゴリズムというものを探っていく、そういう研究をしています。

しかし、実はこの研究のスタイルというのは、もう 50 年間ほとんど変わっていません。神経細胞の同時に記録出来る数というのが、例えば 1,000 とかそういうオーダーまで増えてはいますが、実験系の本質的な部分というのは全く変わっていません。その部分が遅々として進まずというのが、この分野の最大の特徴です。ですから、今日は自分の研究の問題というのではなくて、そこからもっと広く、皆さんに通用というか、つながるような問題を考えまして、それについてお話ししたいと思います。

当該分野の今後 10-20 年のビジョン

このシステム神経科学の将来というのを、BRAIN Initiative から外挿してみました。BRAIN Initiative とは何かというのをホームページで見えますと、こういうふうになっています。BRAIN Initiative は、part of an ambitious, public-private collaborative effort aimed at developing new experimental tools とある。ですから、BRAIN Initiative そのものがかなり技術的なところにフォーカスを当てている。データをたくさん集めて、脳の原理、つま



り、先ほどの青木先生のお話にありましたが、脳がわかったという、そこに行く一番おいしいというか、一番難しいところは、とりあえず先に送ろうという、そういう姿勢がこの中から読み取れると思います。そうしますと、結局、今、我々はいっぱいデータをとっているんですが、それはしょうがないんですけども、それはあたかもティコ・ブラーエが膨大な天体観測データを蓄積しながら、しかし自らは解釈できず、ヨハネス・ケプラーに委ねざるを得なかったという、そういう状況に似ている感じがするわけです。ですから、我々の責任としては、とにかくデータを集めていかなくちやいけない。それから、BRAIN Initiative がここであえて明示的に扱っていない問題を見据えて、将来の問題を予測する必要があると思います。さらには、人材育成という観点から、未来のケプラーをリクルートしてくる。そういう義務もあります。

それを加速するための戦略

加速する戦略ということなんですが、これもそれほど何かマジックがあるわけではなくて、つらつら考えてみるに、BRAIN Initiative というのは、今そこにある脳の精密な記述、だけではないとは思いますが、しかし、一番重要なところは多分ここだと思います。

じゃ、そこから我々はどういう方向に行けるのかということを考えてみると、私としては、この脳の歴史に目を向けるということが大事だと思います。それは、つまり脳の進化ですね。考えてみますと、我々の体の構造というのは進化によってどんどん複雑化してきました。計算論的にこの体の構造というのはよく不良設定性と言われるんですが、つまり、自由度が多過ぎると。その自由度が多いことがいけないんだというようなことが言われてしまうんですが、そうではないんですね。我々は進化の過程でどんどん体を複雑にすることによって、さらにそれによってこの今の人間というものが生まれてきたわけです。ですから、進化の過程で自由度を大きくしていくことが重要だったわけですね。さらにそれに伴って、脳の階層構造も高度化してきたわけです。我々はこのことをまだ何も理解できていないわけです。

さらに、脳のことを考えてみると、生物というのは、生息環境を多様化することによって、それに伴って脳が多様化してきました。そうしますと、先ほどの私が行っている実験のような、サルをモンキーチェアに拘束して手首だけ動かしている。あれはやっぱり脳の本来すべき仕事じゃないんです。そういう意味でも、実験系のより自然な行動課題といいますか、そういう実験系を模索していく必要があると。

理論的課題としましては、脳が多重ループであることは言うまでもないんですが、この多重ループをどうやってモデル化するか、多分、それも理論的には解明されていませんし、いろいろな階層があって、それが調和的に働く、その原理も全くわかっていない

システム神経科学の将来を BRAIN Initiative® から外挿する

WHAT IS THE BRAIN INITIATIVE® ?

The Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies (BRAIN) Initiative® **is** part of an ambitious, public-private collaborative effort aimed at **developing new experimental tools** that **will** revolutionize our understanding of the brain. <http://www.braininitiative.org/>

そのころ → 技術革新が目的で、脳の機能原理の革命は将来に委ねる。
現状の最適戦略ではあるが、ティコ・ブラーエが、膨大な天体観測データを蓄積しながら、自らはその解釈ができず、ヨハネス・ケプラーに法則化を委ねざるを得なかった状況に似る。

我々の責任：

- ・ BRAIN Initiative が外した問題を見据え、将来に備える
- ・ 未来のケプラーをシステム神経科学にリクルート

BRAIN Initiativeの視点

What & How：脳そのものの記述の精密化

- 例1：より大規模で精密なtractography
- 例2：より多くの神経活動を記録（単純な状況で）

post BRAIN Initiativeへの新たな視点

Why：脳を取り巻く環境と進化に目を向ける

- 例1：身体構造は進化により複雑化
→ より多い自由度が有利（不良設定生？）
- 例2：脳の階層構造も進化により高度化
→ Bernstein (1940's)の再評価：dexterity

→過度に単純な実験環境をより自然に複雑化

多くの技術的課題：運動の記録、多種細胞の同定と長期記録
理論的にも困難な課題：多重ループ情報処理、階層間の調和

と思います。こういう、本質的な未解明な問題をはっきりさせて、それを若い人たちにこれが課題なんだよということを提示してあげる、それが私のような年とった人間の責務だと思っています。

「Moonshot — 分子から脳宇宙を目指す」

柚崎 通介 慶應義塾大学医学部・生理学

分野名：分子神経科学

シンポジウム名：はじめにシナプスありき—精神神経病態を読み解く

事前討論 (web)

tsuyomiyakawa

疾患の克服に創薬からアプローチする場合その対象は何らかの分子ということに普通はなるはずということ、遺伝子改変がやはり今後も主要な方法であり続けるだろうということ、などを考えると、分子を起点に、回路、個体などの各階層の理解を進めていく、というのはたいへんリーズナブルなことであるように思います。柚崎先生のスライドにあるスキームを基にして、他の先生方のスライドの内容などを加味したスライドを討論会の本番のときに紹介させていただきたいと思います。

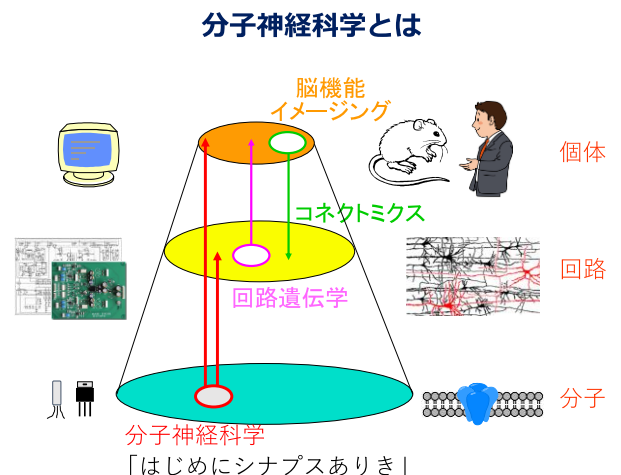
Hiroko Bannai

「分子を起点に、回路、個体などの各階層の理解を進めていく」ことについてです。分子・細胞・回路・個体という、それぞれの階層内での現象の理解を進めていくことに加え、階層を超えた連続的な現象を理解することが、今後10年間の課題ではないかと思います。そのためには、時空間的に階層を横断する解析法が必要だと考えます。具体的には（１）ある現象について分子から臓器までの空間的スケールをすべて網羅して捉えられる解析法 （２）同一個体で、現象の始まりから終わりまでを連続して追跡できる解析法です。

当該分野の紹介

脳の研究って、今もお話があったように、いろんな階層がありますね。個体レベルという話もあれば、回路レベルもあるし、それから、それを作っているのは最終的にはそれぞれの分子ということです。個体レベルには、先ほどもありましたように、イメージング、マッピング、そういうものを使います。あるいは、回路レベルを詰めるには、コネクトミクスを使わないとわからないということです。それから、今日はお話ししなかったですけども、現在ではこの回路遺伝学的な、例えばオプトジェネティクスを使って回路を動かして、個体の行動がどう変わるかって、そういう形でこの2つの階層をつなぐような研究がされています。

分子神経科学の目指すところは、これが私が今回、オーガナイズしたシンポジウムのテーマですけれども、「イン・ザ・ビギニング・ワズ・ザ・シナプス」と。これは聖書か



らとった言葉ですけれども、「初めに言葉ありき」というのを、「初めにシナプスあり」としました。何やかんや言っても、最初はシナプスでしょう。シナプスを作っている分子を理解しないことには、その上の階層も最終的には理解できないでしょうということです。

ほかの研究をディスるわけではないんですけれども、回路遺伝学とかコネクトミクスは重要ですし、特に今、サーキットジェネティクスの全盛期を迎えていますけれども、これで解けない問題がいっぱいあります。そもそも、コネクションがわかったり、あるいはどこがどう機能するかわかって、シナプスはプラスチック（可塑的）ですね。活動に応じて強度が変わってくるし、ひどい場合には、そのコネクション自体も新しくできたり無くなったりする。これをスーパーコンピュータでシミュレーションできますかという難しい問題も残ってくるんじゃないのかなと思っています。

それから、シナプスそのものが作られたり、壊れたりしてしまうことは病気とものすごく密接に関係しているので、やっぱりシミュレーションといっても、こういうところまでどうやってできるのかと思います。

それから、重要なことに神経伝達物質ってガス（気体）性のものがありますよね。線虫とかでもそうですけれども、広い範囲に伝達するようなものをシミュレーションしていくのは結構難しいと思います。これって今の回路遺伝学では解けてませんし、解きようがありません。コネクトミクスでもなかなかどこまでガスとか拡散性の神経伝達物質があるのかは分からない。

それから、忘れられているのがグリア。グリアも、何をしているのか、どこにいるのかって。これは窪田先生のように連続電顕から再構成していけば、グリアの関与もよくわかると思いますけれども、機能との関係という意味ではコネクトミクスで書き込まれてない部分なんです。

それから、もっと実は注目されているのは、末梢臓器とか免疫系と神経系の相互作用ってものすごく重要なんですけれども、これも回路遺伝学やコネクトミクスから抜けています。それから、老化も。いろいろ抜けています。

これは僕だけが言っているんじゃないくて、Sudhofが2013年にノーベル賞を受賞して、これは去年に書かれた総説ですが、「21世紀のモレキュラー・ニューロサイエンス（分子神経科学）」ということで、こういう研究の重要性を主張していますが、全くその通りだと思います。アメリカでも、モレキュラー・ニューロサイエンスというのは、実はそんなに、少しはやりから遅れてしまっていて、それで多分、焦燥感を抱いて、こういう総説を書かれたんだと思いますが、書かれていることは非常にその通りだと思います。

回路遺伝学・コネクトミクスの限界の例

- シナプスの機能的可塑性(LTP/LTD)
- 神経活動に応じたシナプス形成・維持・除去
- ペプチド・ガスなどの拡散性分子による制御
- グリア(ミクログリア・アストロサイト)の機能
- 末梢臓器・免疫系との交互作用
- 神経細胞の老化
- ...

分子神経科学
の対象



Neuron
Perspective

Molecular Neuroscience in the 21st Century:
A Personal Perspective

Tom Südhof, Nobel Prize 2013



当該分野の今後 10-20 年のビジョン

さて、10年～20年後に分子神経科学は何をしたらいいのかということです。最終的には、シナプスの分子のレベルから回路がどうなって個体がどうなるかというのを記述できたときに、僕は初めて脳を理解したことになるんじゃないのかなとは思っています。脳を理解する、あるいは線虫を理解するというのは、どこで理解したのかというと、そ

れこそファイマンさんが言われたように、「自分で作れるようになったときに初めて理解したということになる」ということだろうと思います。完全に記述して、自分で作れたらということですね。その先にあるのは、もちろん分子の病態に基づいた診断法と治療法が来ないといけないと思います。

それを加速するための戦略

加速戦略としては、地道な基礎研究がとっても大事だと思います。それはみんな分かっているんだけど、今の大きな流れとしては、出口に近いものばかり注目されていると思います。それに立ち行くためには、先ほどもありましたように、地道に、この中にも高校生が来ていると思いますけれども、中学生・高校生、そういうところから神経科学の面白さというのを語っていかないといけないと思っています。アウトリーチ活動。あるいは、政治家にもよく理解してもらわないといけないですね。

それから、もっと大事なものは、科学コミュニケーションの方に、もっともっと研究経験を持っている人が行かないと、新聞記事というのは本当に浅い新聞記事ばかりになると思います。新聞記者はこの中にいないと思いますけれども。

もう1個大事なものは、すみません、ちょっと時間がないんですけども、キャッチフレーズも大事だと思います。大きな研究プロジェクトが始まる時には、必ずキャッチフレーズがあります。それを考えないといけないということで、ちょっと大げさですけども、「分子からの宇宙を目指す」とか

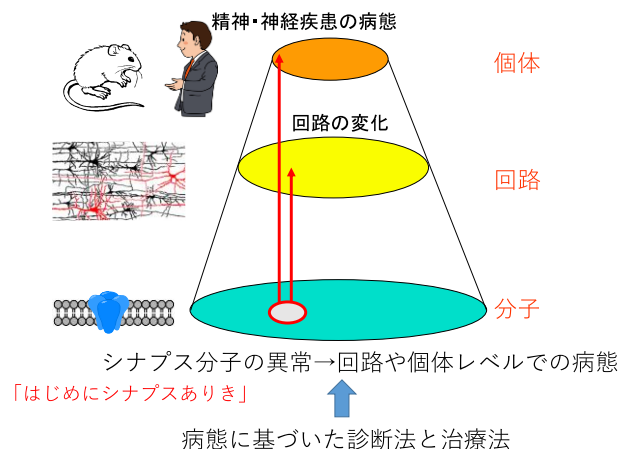
「Moonshot」とか、何かキャッチフレーズを考えて大きなお金を取って、明るい未来をつくっていきたいと考えています。

余りにも分野が広がってきているので、例えば窪田先生のああいふコネクトミクスのことをやったりというのは、全員ができるわけじゃないので、基盤技術は共有化して、みんなが使えるようなシステムをつくらないといけないと思います。

それから、精神疾患・神経疾患のモデル動物を用いた表現型解析にもっと自動化やAIが入ってこないといけないと思います。行動実験の再現性のなさというのは、世界中で本当に大きな問題になっています。できる限り自然な環境で動物を飼育し、自動的に行動表現型を解析できるようなシステムが要るだろうと思います。

それから、人材育成のところは先ほどから出てきていますので、あえて触れません。

10-20年後に分子神経科学は…



基礎研究分野への地道な研究支援

すぐに役立つものはすぐに役立たなくなる（小泉信三）

- 積極的かつ地道なアウトリーチ活動（中学・高校・政治家）
- 科学記者との双方向性人材交流（インターンシップ）

情報・研究技術・試料の共有化推進

- 基盤技術の共有化（リソース・ウイルスベクター・動物）支援
- 精神疾患の動物モデル（生活環境下での表現型自動解析）

人材育成

- 他分野研究者の参入促進策（数理・細胞生物・免疫・工学…）
- 若手への長期育成型グラント（さがけタイプ）の拡充

討論

ここからは、今の先生方から話題提供していただいたことをもとに、ディスカッションにいきたいと思います。

JST CRDS

では、まず、今日はディスカッション担当で来ていただいたこの CRDS、NISTEP という、横文字で何かわからないと。それで、先ほど CRDS に関しては柚崎先生のほうから紹介がありましたけれども、正確に言うと、JST の研究開発戦略センターというのがありまして、そちらに今ご所属をされていて、研究者でもある井上先生から、脳科学コミュニティの外側から見て、今、脳科学コミュニティというのはどういうふうに見えていて、逆にそこからどういうふうな期待されているのかということについて、ちょっと簡単にご説明いただけますでしょうか。

○井上 JST-CRDS の井上でございます。JST は、もちろん皆さん御存じのように、ファンディングエージェンシーでありまして、さきがけや ERATO を出していて、CRDS というのは実はそことちょっと離れて、客観的に日本の科学技術政策についての動向を調べましょうというシンクタンクなんです。公的なシンクタンクと思っていただいて結構です。そのまとめた内容で文科省は立案し、トップダウンで研究を決めているという。でも、それがメインストリームではなくて、そういった情報を提供するような、横にそれたシンクタンクという位置づけだと思います。その中に、ライフサイエンス・臨床ユニットという部署がありまして、と言うと格好いいんですけども、私含めて7人なんです。それでライフサイエンス・臨床を全部カバーするというすごいことをやっておりまして、私は本職は早稲田大学で神経科学を細胞レベルでやっていて、非常勤でちょっと週に数日コソコソと働いているだけも入れて、7人でございます。でも、実は、先ほど説明ありましたように、脳科学委員会が中心になってこの脳科学の分野はトップダウンのシステムがかなり整備されているので、CRDS としては脳科学はそんなに力を入れていなかったのですが、私が去年たまたま、CRDS に参加したことで、ちょっと脳科学を見てみようということになりました。ですから、実は、私はむしろ研究者の立場でちょっと CRDS に入ってこっそり見ているという立場ではあります。

実は、今、重点的課題検討に関しては、脳科学委員会、AMED という構造でかなり流れてきておりますし、CRDS はかなり脇にどいた立場であります。逆にそれでかなり自由に物事が言えるということもありますので、CRDS に私がいるのもそんなに長くはありませんが、その間にこういった機会を利用して、いろいろな情報をまとめて、メインストリームと違った方向から情報を何とか政策に反映させられればと考えております。

NISTEP

続きまして、NISTEP ですけれども、これは正確に言うと科学技術・学術政策研究所という、文科省内にある組織なんです。それで、重茂先生はそこでも科学技術予測センターというところで研究をなさっていまして、同じように、ちょっとコミュニティ外から脳科学についてどう見えているのかと、それにどういうふうに期待されているかということについて、簡単にご説明いただければ。

○重茂 ご紹介ありがとうございました NISTEP の重茂と申します。いきなりで申しわけないんですが、NISTEP の専門調査員になられている先生方、ここにいらっしゃいますか。もしいらっしゃるようでしたら。... 実を申しますと、私が所属する科学技術予測センターというところでは、日本全国で 2,000 人の専門家の先生を専門調査員として委嘱して、逐次、科学技術の動向に関して調査のご協力をいただいているといった組織になります。

先ほど井上先生からご紹介ありました JST の CRDS と比べますと、どちらかといいますと、研究者のコミュニティーの皆様との接点ということも見据えつつ、国の科学技術政策はどうあるべきかということで、エビデンス・ベースド・ポリシー・メーカーというような、医療でいうと EBM、その政策バージョンですね、そういったことをモットーに調査を進めさせていただいています。

それで、脳科学といいますか、基礎研究について少しご紹介させていただきたいんですが、冒頭、柚崎先生が、国のトップダウン研究ってどうやって決まるのかということで、いろいろ革新脳を含めてご紹介いただきましたが、実は私が所属する科学技術予測センターは、CREST の策定、いわゆる CREST でいいますと、戦略目標というのが国によって定められますが、その策定に関してコミットさせていただいております。それが先ほど申し上げた専門調査員の先生方の意見というものを吸い上げて、戦略目標の策定のプロセスの一つとして、文科省の本省のほうに提起しています。

ですので、先生方によっては、役人が勝手にいろいろ次の研究テーマを決めているんじゃないか、研究領域を好き放題決めているんじゃないか、財務省に対していい格好をしたいために、新しいものを勝手に決めているんじゃないかと思われがちですが、実は現場の研究者の皆様の、いわゆる地に足のついた研究現場の感覚でのご意見というのをかなり集約した形で、それを戦略目標にいかにつなげていくかといったことについて、日夜いろいろ検討している次第です。これを我々はステークホルダー・インボルブメントと呼んでおりまして、特に欧州等では、科学技術政策というのは、研究者コミュニティーとどう接点を持っていくかということが昔から検討されていまして、これは日本でもそういうモデルというのをつくっていきたいと考えている次第です。

遺伝子レベル（宮川）

それでは、今、先生方からいただいた話題提供を含めて、これからディスカッションに入っていきたいと思います。

最初のテーマとしては、今後 10 年、20 年で何を目指していくかということを考えていきたいと思います。それで、あらかじめお断りなんですけれども、今日登壇していただいた先生方は、さまざまな分野から登壇していただいていますけれども、あくまでもその分野の代表ではありませんので。後で例えば、この分野は、いや、そうじゃない、何でこんなことを言ってくれなかったんだって先生方に責められても、それは責任がとれませんので、あくまでもその分野の中での私見を発表していただいたということです。そういう観点でご了承いただければと思います。

今日先生方のご発表をお聞きしていると、究極を言うと、1 細胞単位でそれがどのようなにつながっていて、その一つ一つの細胞がどういうファンクションを持っているか、それに例えばたんぱく質も、例えば遺伝子がそうなんですけれども、そういうことが全てわかってしまえば、我々が期待している脳科学研究というのは、全てカバーできてしまうというふうに思うんですね。なので、それを目指すのがいいとは思いますが、ただし、それを目指しても、それを解明できるのは、少なくともここにいらっしゃる皆さんは生きてないと思うんですね。多分、その解明までに絶対に至らないだろうと。

そういったことを見たときに、じゃ実際、現実的に 20 年後、30 年後といったときに、何をその中でどういうレベルで目指すのかという、多分、議論が必要じゃないかと思うんですね。そういった点から、たまたまここにさまざまな分野、レベルの先生方がいらっしゃるの、ちょっとご意見をいただければと思います。まず、遺伝子レベルでちょっとやっている宮川先生、何かそれについて。

○宮川 今、皆さんのお話をお聞きしていて、脳を理解することって一体何な

のかなと思ったときに、いろいろ理解するための定義はあると思うんですが、一つのあり得る定義は、柚崎先生がおっしゃったように、自分で作れたらというのは、理解するという一つの大きな点だと思うんですが、それを別の言葉を使いますと、シミュレーションできる。完璧にシミュレーションできたら、それはやっぱり理解できたということになるのかなと思うわけですね。

そういう意味で最も本質に近いスライドは、五十嵐先生のスライドだったのかなと思うんですけども、その五十嵐先生のスライドは、本質的であると同時に危険なスライドなんじゃないかと思います。それは何が危険かというと、究極的には、本当にスパコンで人の脳をつくる、シミュレーションできてしまったら、脳科学、終わっちゃうと思うんですね。我々の仕事はなくなっちゃうということで、危険ということなんですけれども。それができるのは、割とあっさりと、もうできそうな感じという、1個の細胞がシミュレーションできるので、その1,000億個拡大したらできるというようなことをおっしゃったんですけども、それは100年後だったらいいかもしれないんですけども、少なくともしばらくは、10年、20年はとても無理だと思うんです。絶対無理だと思っている。どういうことかということ、1個のニューロンですらシミュレーションできないですね。1個のニューロンですら、非常に複雑、シナプスもそうかもしれないです。シナプスですらシミュレーション、多分、今、全然できないと思うんですよね。ほかにいろいろなファクターがあって、エネルギー代謝の状態とか、チャンネル受容体のこと、遺伝子発現、分子発現パターンと、細胞内のリン酸化の各分子のパターンとか、さまざまなことを考えると、1個の神経細胞をシミュレーションするだけで、もう気が遠くなる。神経細胞だけでもないですね、脳は。グリア細胞があるわけで、アストロサイトとかミクログリア、それもいろんなタイプが恐らくある。タイプもあるし状態もあるので、そう考えると気が遠くなるわけですが。

目標としては、どういうレベルに目標を定めるんだということは、ある程度、現実的なシミュレーションできそうなところでやっていくというのは、あるのかなと思うんです。現在の知見でできるものをやっていくと。それと同時に、将来的にシミュレーションに必要な1個の細胞から全体までデータを着実に今、蓄積していくというプロジェクトは、非常に重要なのかなと。

我々の分野でいくと、今日あんまりお話が出てなかった疾患とか病態とかそういったものに興味があるんです。自分としては疾患とか病態でどういうふうな状態になっているのかと。分子レベル、遺伝子発現、それが回路レベルでですね。電顕とかグローバルな回路からグローバルな回路までを地道にちゃんとデータとして蓄積して行って、公開して、ドライの研究者というんですかね、計算機科学の研究者も使えるような状態にしていくということが、重要なのかなと思いました。

ヒトのイメージング研究（神谷）

それでは、ヒトのイメージング研究という、そういう点から、もうちょっと広い観点から見ていらっしゃる神谷先生、お願いします。

○神谷 これはよく言われているんですけども、脳の神経細胞とか分子を全部シミュレーションできたとして、それで理解したことになるのかというのは、そこは全然自然明じゃないと思うんです。とりあえず何か同じように動きますだけで、それで理解できたかと言えるかどうか。同じ機能を持つ人工的なシステムをつくれるようになったら理解したとみなすというのも、それは一つの基準かもしれないですけども、例えば、ヒトの物体認識能力を超えるニューラルネットワークも、一部の機能に注目すればすでに存在するわけで、だからといってその機能を実現するメカニズムを理解したかと言うと

そうとも言い切れない。

何千万枚の画像データを使ってトレーニングしたニューラルネットワークがヒトを超える能力を持つようになってもそこで研究者は満足しない。一個一個の人工ニューロンが学習した情報を復元して、情報表現を細かく解析する研究をしていたりもするわけですね。インタープリタビリティとかいうんですけれども、我々が理解できる形にどう変換するかを考える新しい研究分野できたりしています。

複雑なシステムを、本当に我々のこの限られたワーキングメモリと処理能力で理解することが、できるのか。例えば、ヒトが言葉や数式で説明できなくても、AIに聞いたら答えてもらえるような質問を考えられる程度の能力で妥協してしまわざるを得ないような未来が訪れるかもしれないと、理解の定義自体が今後問われていくんじゃないかなと思います。

細胞レベルの研究（坂内）

坂内先生、いかがでしょうか。

○坂内 私自身、分子と細胞という階層の中心のフィールドでして、柚崎先生の立場に非常に近い研究をしています。最近思うのは、やはりこの分子を基点に回路や個体など、恐らく脳を理解していくことには、まだ技術的に非常にハードルがあると考えています。どういったところがハードルかというと、先ほど坂田先生がご指摘いただきましたような、マルチスケール、トランススケールという、さまざまな、例えばミリセカンドから秒、時間、年、また空間的にはナノメートルからメートルまで、そこまで全部を包括して理解することが今できてないのかなと思います。

例えば、アルツハイマー病の発症などを考えましても、そのステップステップは非常によく研究されているんですが、でも、実際に発症するものを最初から最後まで捉えられるかという、今その技術はありません。今後、10年、20年はそのような技術が必要になるんだと思います。もっと言えば、今、シミュレーションするのもニューロンが単位だ、またシナプスが素子だという前提で行っているわけですが、それって本当にそうなのかなというのは、実は疑問の余地があって、何もフラットな状態で見てみたら、実はもっと違う素子が出てくるかもしれないというのも考えております。

というわけで、まだケプラーが見切れてないものがあるんじゃないかなというのが、私が今、この議論していて考えたことでした。

薬理的・システムの観点（池田）

薬理的観点、システムの観点にも見てもらいます池田先生、お願いします。

○池田 医学総合研究所では精神行動医学研究分野というところに所属しております。今回の神経科学大会がうつ病学会と重なったこともあってか、精神科の先生方の参加が少なく、今回のシンポジウムなどでも精神医学的なテーマがちょっと少なかったかなと思いますので、その辺をつけ加えさせていただければと思っています。

神経精神薬理学の分野が専門なもので、日本神経精神薬理学会の理事長を務めているということと、それから、アジアの神経精神薬理学会の次の来年からの理事長になると、それから国際神経精神薬理学会の執行委員とかをやっているのも、いろいろ神経薬理の分野では世界的な情報が入りやすいところにあります。また、あと学術会議のほうで連携会員というのをやっていて、アディクション分科会というのを立ち上げておりますので、そういった方面の情報も集まっています。

あと、AMEDの融合脳というところで、柚崎先生とかフロアにいらっしゃっている加藤忠史先生とか、プログラムスーパーバイザーされているところで、その下でプログラ

ムオフィサーというのを務めておりますので、そういった情報も入ってきます。それからあと、脳の世紀の正会員をしていたり、脳関連の評議員もその当初から務めているというところもあるので、そういった自分の研究分野よりもほかの先生方の研究を聞く機会が多い状況なので、多分それでこのパネリストに選ばれたのだと思います。そういった立場からちょっと私なりに、今後の10年とか20年というのをお話しさせていただきたいと思います。

やはり脳の世紀推進会議というのがありましたけれども、今後もしそれを発展させるとしたら、心の世紀推進会議になるんじゃないのかなと思ったりしているんですね。精神医学じゃない分野の研究をされていらっしゃる方もいると思うので、その分野ももちろん発展しないといけないと思うんですけれども、やはり心の問題というのは究極の人類が答えを出していきたいテーマの一つだと思いますので、そういった発展の方向があると思います。でも、ただ、それはすごく漠然としているので、じゃどういうツールでそれが解明されていくのかということは、なかなか難しいかもしれないんですけれども、その一つのツールが薬じゃないかと思うんですね。薬によっていろんな心の病気が治ってしまう。でも、それは実は最初に薬が見つかったときには、何でそれが効くのかよくわからないけれども、とにかく何か知らないけれども効いちゃった。その後、その薬の作用のメカニズムを調べていくと、実は脳の働きでこういうふう疾患が治っていくんだということがわかって、病態の解明につながっていったりということがありますので、そういった歴史が精神医学の分野ではありますから、これがまた今後の10年、20年先でもそういうようなことが起こってくるのではないかと思います。今まで起こってきたんだから、これからも起こるのではないかなというふうに考えているところです。

もうちょっと卑近な例でいいますと、どういった分野が発展するかと考えていると、これも手前みそで恐縮なんですけれども、今いろんな法律が通ってきていて、アルコール健康障害対策基本法とかそれからIR法、カジノ法ですね、いわゆる。そういったところでアディクションの研究をするということは、国としても法的にもなってきていますので、そういった分野で研究が発展しないといけないのかなと思っています。

あとは、今、中国とか韓国がすごく伸びてきていますよね。経済的な発展の状況もそうですので、そこと日本が連携していくと、脳科学の発展の中心がもしかするとアジアに移ってくるという可能性もあるのかなと思っています。そういった動きも神経科学学会会長の伊佐先生も中心になって進められているところです。そういった形でアジアの神経科学が発展し、今、恐らくここにいらっしゃる先生方は、かなりSFNとかFENSとかいらっやっていますと思いますけれども、むしろ逆に欧米からアジアに来て最先端のことを知るという時代になってくれたらいいなとも思っているところです。

階層

今、先生方からいろいろな話を聞くと、少なくとも脳を自分でつくれて、あとはシミュレーションしてというのは、一つのキーワードになってきたと思うんですね。ただ、一つ重要なのは、この我々、脳を理解するときに、どんなインプットがあって、どんなアウトプットがあるのかって、その因果関係が多分重要で、それが脳のこの中に入り込んで、それがどのように処理されていくかということを多分見なければいけないということは、共通認識じゃないかなというふうにはちょっと思いました。特にレベルというところを考えたときに、例えば全脳を1細胞レベル、全ての動きをというふうにありますけれども、実際問題、本当にそこまで必要なかということもありますし、例えば杉浦先生のお話でもありましたけれども、テーマ的にマッピングがやっぱり限度だというふうなことがありましたので、そうなってくると、杉浦先生の分野では、少なくとも1

細胞当たりの、それがどういうつながりがあって、その細胞一つがどのような役割を持っているというようなことまでは、必要ないというようなことだったと思うんですけども、それについていかがでしょうか。

○杉浦 私のほうはまさにそういう立場で、実際、世の中の問題の解決に脳科学が役に立とうという話だと、細かいことがわかってどう貢献するのか。全部シミュレーションできても多分何も解決しないだろうなという、僕は相当確信があるので、その辺は、いや違うというお話だとかあれば、ぜひ伺いたいと思います。

○司会 シナプスレベルからというお話をされた柚崎先生、いかがでしょうか。

○柚崎 例えばどうして戦争はなくなるのかとか、どうして同種なのに殺し合ってしまうのかとか、どうして非常に残酷な犯罪をしてしまうのか、教育分野にどういふふうに脳科学を使うかというのは、本当に重要な分野で、そういう意味で先生のご発表には100%賛成です。あんまりそういう方向にWetな脳科学ってなかなかうまく活用されていないところがあるんですが、その分野側でも脳科学の参入を嫌がっているように僕は感じています。だけど、もすごく重要な分野であり、日本は今後もっと投資していかなくちゃいけないと思っています。

だけど、最終的に、じゃあ犯罪を犯す人はどういうものかということで、例えばイギリスやアメリカではfMRIとかでよくサイコパスの研究とかされています。やっぱり明らかに脳構造がおかしかったり、共感性と関係している脳領域の血流が少なかったりする。とすると、じゃあ共感性の回路の基盤は何なのか、より共感性を上げるにはどうしたらいいのか、ということになってくると、やっぱり動物モデルの研究が必要になると思うんですね。動物で共感性ないのかというと、少なくともラットレベルでは、やっぱり困っているラットは助けてやろうというような行動も一応あるみたいですし、そういう見殺しにする動物がもしいるとしたら、どういう回路や分子がおかしいのか？やっぱり僕はどこかでは最終的には分子やシナプスレベルでの理解ができないと、治療方法の開発には繋がっていかないと思うんですね。

先ほど池田先生が言われたように、確かに今、役に立っている薬はほとんどセレンディピティで見つけたものばかりです。でも、今まで見つかったからこれからもセレンディピティで見つかるのかというと、見つかるかもしれないけれども、最近のアメリカのNIMHの方針にもありますように、これからは回路とか分子経路の基盤に立った薬剤でないと認めないというような方針も出しているということがあるので、そうなると結局、回路や分子レベルで解明していかないといけないんじゃないのかなと、僕自身は思っています。

David Marr: ファンクション - アルゴリズム - インプリメンテーション

○ー 理解のことでちょっと議論になったので、一つ言っておくと、デビッド・マーというコンピューテーション・ニューロサイエンティストが言ったのは、3つレベルがあるだろうと。今皆さんお話ししていたのは、一番下のインプリメンテーションですよ。実際に分子やら回路がどういうふうにあるかと。デビッド・マーが言ったのは、そのさらに2つ理解のレベルが、ちょっと僕は専門じゃないので間違っているかもしれないんですけども、2つ目のレベル、アルゴリズムですよ。例えば何かの演算をするためのアルゴリズム。1番目はファンクション。だから、目的がある。何か、例えば線虫でもドロソフィラでもマウスでも、同じことをやるファンクション、あるわけですよ。それを位置づけするために、どういう演算処理、アルゴリズムを脳の中で走らせているか、そこの理解をして、あとは、線虫なり各種、ヒトも含めて、どういう分子、回路とかで理解するか。だから、その辺はやっぱり人によってあっていいと思うんです

よね。

ディープマインドの CEO の人が言ったのは、彼らはインプリメンテーションはどうでもいいと言っています。興味はないと言っています。むしろアルゴリズムとかファンクションをちゃんと AI として実現する方向を目指されていて、そういうやり方もあっていいと思うんですね。その辺は今の議論で抜けていたので、ちょっとつけ足させてください。

〇ー 今のそのインプリメンテーションは必要はないということ……

〇ー いやいや、そうは言ってないです。それが必要だけど、いろんなレベルがあると。

〇ー ディープマインドの CEO は、興味がないと。そこは目指してないということですよ。

〇ー そうですね。その人の興味によって、どこのレベルが重要なのかというのは、変わってくると思うんですけども。疾患に興味を持っている人は、やっぱりインプリメンテーションの部分が非常に重要というか、そこがないと、創薬とか予防・治療法の開発と結びつかないんですね。そこがかなり食い違って、薬物、創薬しようと思うと、やっぱり分子とかがターゲットになってくるので、そこは目的によって本質的な部分が違ってくるのかなということはあると思います。

〇ー それに関連して、例えばディインプリメンテーションはなぜ機能するかって、わかってないわけですよ。要は、多分、僕の考えでは、そういうのは割とちょっと上のレベルの回路の操作をやっているから、病態の状態が正常なレベルに戻っていると、表面的に。だから、そういう発想の病気の治療もあっていいんじゃないかなとは思ってますよね、実際に例があるので。もちろん、薬とかだと、分子とかに落とさないと絶対だめだと、僕もそれは思いますけれども、いろんなレベルの治療の方向があってもいいんじゃないかという、そういうことはありますね。

〇 寛 そのマーの3つのレベルの話なんですけれども、マーがああ3つのレベルということ言わざるを得なかった二大要因があるんだと思うんですね。それは、あの時代にはコンピューテーション・ニューロサイエンスというのは存在なくて、そういうコンピューテーション、ファンクションだけの独立した研究が可能なんだということを、彼はまず宣言する必要があったと思うんです。だけど、脳というものはそもそもインプリメンテーションからスタートしているわけで、ファンクションが最初にあったわけじゃない、だから、そのインプリメンテーションが進化しつつ、そこに適応進化とか、そういう中でファンクションが乗っかってきているという意味では、やっぱり脳の研究では、この3つを独立してやるというよりは、それぞれを関連させて、適宜その上に行ったり下に行ったりということを、アップダウンを繰り返しながらやるのが多分必要だろうと私は考えています。

〇ー 多分、それがこの5年、10年でできるようになったから、こういう議論が生じていると思うんですね。5年前、10年前は多分、そういう理論系の人と我々、インプリメンテーションしかできない人間の間は、議論が種がなかったけれども、これから多分、10年後、20年後というのは、まさにそう行ったり来たりということが、これからやっとなできる気がします。

〇ー 全く同感です。

〇 神谷 例えば、シナプス可塑性の分子原理が何かわかったとして、それをコンピューターに単純に実装して、何か知的なことをできるかということ、それは100%できないと思います。まともに動かないです。今 AI などでちゃんと機能しているのって、バックプロバゲーションとか、数理的な最適化のルールから導かれたものにとづいています。ただ、バックプロバゲーションというのは、脳でとてもああいうことをやっているとは

思えないんですね。脳のモデル化や AI に有用な神経可塑性のルールは限られていて、システムの目的関数から導かれたダイナミクスの数式の一部が、例えば、ヘップ学習のルールとして解釈できる、といったレベルなわけです。

だから、分子的なレベルで今まで見逃してきたような新しい可塑性の仕組み見つかったら、それはそれで素晴らしいですけども、すぐに AI などに役立つわけではない。だから、もうちょっと計算理論も含めて議論していくことで、分子メカニズムの本当の機能的意義についてトータルな理解が進んでいくんじゃないかなと思います。

コネクトミクス

○司会 実際にそういう方向性で研究を進めたときに、今どういうデータが必要かという話だと思うんですね。そのときに、例えば本当に電気活動をとれば、それでいいのかということもありますし、例えばイメージングで何かその形態をとればいいのかという話だと思うんですけども、実際そうやってきたときに、今後どのようなデータとかどういうものを取得していくということが必要なのかということについて、ちょっとご意見を。

○窪田 一言で言うのは難しいんですけども、コネクトミクスという言葉自身は、実は僕は好きじゃないんですけども。でも、わかりやすいのでその言葉を使うと、コネクトミクスって、単純に回路を見ているだけだという、ちょっとした誤解があるような気がするんです。でも、実際にはコネクトミクスをやっているアメリカとかヨーロッパの先生の人たちは非常によく考えていて、彼らはもともと可塑性とかそういうのに非常に興味を持って、でも、やっぱり回路がわからないと可塑性、メモリとかそういうのがわからないからということで入ってきて、とりあえず一生懸命、形態的に見ているんです。そのときに、彼らが全然忘れてないのは機能ということで、最近、コネクトミクスの分野でちょっと研究に取り入れられつつあることが、例えばクラスターシナプスというシナプスがクラスターしていることで、それぞれの個々のシナプスが実は可塑性を持っていて AMPA 受容体が挿入されてシナプスが大きくなっていると。それが樹状突起の中の立体的にどういうところがどうなっているのかということ、結構考えながらやっているなというのは、僕は印象として持っているんです。

そういうふうな 1 個の細胞が、私の最近の研究のデータだと錐体細胞は 2 万個ぐらいのニューロンがあるんですけども、ここら辺とここら辺とここら辺の、ここら辺にクラスターの、1 個のファイバーからのクラスター入力があって、可塑性が落ちると、このところの棘突起が大きくなって AMPA 受容体が挿入されて、実はそのときに、周りには棘突起が逆に小っちゃくシュリンクして、周りからのサプレッションでその入力だけを大きくするような、そんなことまで一応、今は大分わかってきているんですけども。そのような本当のコネクトミクスの基礎的なデータが供給されると、恐らくシミュレーションでも記憶とかが再現できるんじゃないかなというのはあるんですけども。

ただ、さっきの話でやっぱり一つ言っておいたほうがいいと思うものは、ハーバード大学の Jeff Lichtman が一番最初に MSEM を投入したんですけども、彼は今、人の脳の手術で取った正常部分の脳のコネクトミクスをやっている、1 ペタバイトの画像データセットを Google に預けて、Google が今、オートセグメンテーションで、全部ベースにセグメンテーションして、全構造を見ちゃおうという、そういうことをどんどんやっているみたいな例。ただ、公にはなっていないんですけども。

恐らく、それをやっているということは、将来的には正常の脳の回路を解析したものをベースにして、先生がおっしゃったみたいに、ちょっと異常な脳の部分の回路とどう違うのかというのは、比較したいんだろうなと。病気の脳であったりとか犯罪者の脳で

あったりとか、それはいろいろあるとは思うんですけれども、そういうふうな方向に多分コネクトムクスが進んでいて、10年後、20年後には意外とやっちゃうんじゃないかなと私は思ったりします。

○青木 コネクトムクスが線虫でわかってから30年以上たつんですけれども、ニューロンが302個しかないのに、結構わかってないというのが現状で、コネクトームは理解の十分条件ではまず絶対なくて、でも、コネクトームをもとにいろんな仮説を立てるということはできるのかなという気はしています。

○司会 それで、今、コネクトムクスという話もありましたけれども、ここで話を複雑化するのはちょっと申しわけないと思うんですけれども、精神疾患とか、どんどん病態理解というところに結びつけるときに非常に重要なのは、個体差だと思うんですね。例えばこれはコネクトムクス、例えば1人の脳のコネクトムクスが全てできましたというものがあつたとして、それをもとに、じゃあ病態の人と比べると、本当にそれがわかるかという、多分その中に個体差、個人差、個性というのがあると思うんですね。特に高次機能になってくると、要するに戦略が違いますから、そもそも脳の使い方も違うし。そうやってきたときに、例えば人間の全てのコネクトムクスがわかると、じゃ本当にそういう理解につながるのかという、そうでもないような気がするんですね。そうやってくると、さらに複雑になってくるんですけれども、じゃ何をする必要があるのかという話になっちゃうと思うんですけれども、どうでしょう。

中間表現系

○宮川 病態とか個性ということで、何を知らなきゃいけないのかということなんですけれども、僕は精神疾患に興味があるわけなんですけれども、精神疾患、例えば統合失調症でもそうだと思うんですけれども、さまざまな異なる遺伝子変異とか妊娠とか環境要因、経験とか、個人個人、全然違うものを持っているのに、なぜか同じような脳の状態になるということがあって、そのなぜか同じような脳の状態に陥るといえるか、陥りやすい状態というのが存在していて、その実態が最近、その具体例が少しずつわかってきているんですね。それから、これは精神疾患だけではなくて、神経変性疾患でも似たようなことも起こると。

そういう、手前みそになってしまいますけれども、ある種の未成熟な状態にいろんな原因でなってしまう。そういうのが多分いっぱいあるんですね。そういういっぱいある、我々は中間表現型と言っていますけれども、組み合わせによって恐らく疾患が定義されてくるのかなというふうなことが我々の分野では割とトピックになっていて、そういうものをちゃんとシステムチックにデータをとっていく。そのシステムチックにデータをとっていくのは、さまざまなレイヤーで、コネクトムクスのレイヤーもそうですし、それから遺伝子発現、分子発現とか、それから神経活動のパターンとか、そういうさまざまなエリアでデータをとっていったら、一体どういうふうな原因でどういう状態に陥りやすいのかというのは、しっかりそのレパートリーを整理していくということが重要なんじゃないかなと。そういうこと自体がまだわかってないので、それが次のステップとして非常に重要なこと。

○坂内 今の宮川先生のご意見に全く賛同します。シナプスレベルでとか分子レベルで見ていると、いろんなフェノタイプあるんですけれども、とにかく私が考えているのは、分子の異常とかシナプスの異常というのは中間表現型というのを生み出すための手段で、それは個体によっても、あと疾患のパターンによっても違いがあるので、この中間表現型というのを蓄積していく。より疾患に因果関係のある表現型をコネクトームでも分子生物学でもシミュレーションでもいいですけれども、いろんなレベルで実現して

いくのが今後大事なことだと考えます。

モデル・シミュレーション

あと、今ちょっとお話をお伺いしている中で、やっぱり理解につなげるとなると、要するにデータをとって、例えば発火活動のパターンであるとか、シナプスの例えば構造の変化とかを見ても、それだけでじゃあ本当に人間の脳の理解につながるかというと、そこに必要なのはやっぱり理論構築、要するに数理モデルみたいなものを使ってある程度説明ができるかということも、一つの出口になるんじゃないかと思うんですね。

あとは、一方でもう一つ重要なのが、情報処理の結局時間の流れですね。要するに、スタティックなものを我々見ている何も解決はされなくて、人間は変化の時間情報を時々刻々とそれを取り入れて、やっぱりアウトプットで出すということなので、要するに、情報の中にダイナミクスというものを含めて理解していくということも、多分必要なんじゃないかと思うんですが、例えばそういった観点、例えばデコーディングとか、そういう技術から見ている神谷先生から、ちょっとご意見をいただければと思うんですけども。

○神谷 難しいんですが、先ほどの単にシミュレーションできたらわかったかという話に関係しますが、そこではやはり理論的な背景は必要だと思うんですね。つまり、脳がどういう機序に基づいて働いているのかというところが。いろいろ脳のモデルはあるんですけども、これまでの理論というのは、何か既にある人工的なシステムを扱うための理論を脳に当てはめてみてででき上がった有名な理論もありますし、機械を理解するための理論のアナロジーで理解しようというような話が多いですよ。それで実験結果と比較するわけなんですけど、定性的な議論にしかならないことが多い。今の動きとしては、それじゃやっぱりちょっと不十分で、ちゃんと定量的な理解ができるようなモデルも必要なんじゃないか、というのがあるように思います。

そのモデルというときに、脳のメカニスティックなモデルでなくても、記述的な統計モデルでもいいので、ちゃんと定量的な予測できなアカンやろうというような動きはあって、僕はそういう方向性で研究しています。まずは、定量的な予測できるようになるのが重要なと思っています。

○司会 逆に、そういった観点で、線虫をやっている青木先生なんですけれども、要するにある非常に限られた数のニューロンで、そこから出てきた線虫の神経活動をベースにしてモデル化したという研究というのは、どこまで進むんでしょうか。

○青木 その辺のイメージが僕はなくて、神経活動を解析して何かパターンを抽出したみたいな研究が幾つか既にありまして、わかっているのは、でも、結構大ざっぱな構造の大きな変化ですね。前進から後退への切りかえだとか—そうなんです—睡眠と覚醒のときの脳活動の差みたいなのは見えているんですけども、じゃあ、ある目標に向かって精密にナビゲーションしていくときに、そのナビゲーションがどういうふうにできているかみたいなのが、全然見えてないんです。

○司会 それを聞くと、絶望的な……。要するに、あの限られたニューロンしかない動物でさえ、それしかシミュレーションできないとなると、人間の脳なんていうのは到底はるかにはるかの遠くになってしまうと思うんですけども、それはなぜできないのかという、それはどういうあれなんでしょうか。

○青木 全体を見ると、まず一番見えやすいものばかり見えてしまうというのが、一つだと思います。もう一つは、全脳イメージングと言いながら、活動をとっているのは細胞体からだけで、一部の重要なニューロンは、細胞体では活動が見えなくて、プロセスでしか活動は見えないとか、そういうのがありまして、恐らくその辺なのかなと思っ

ています。

〇ー トランスマッションするような伝達物質が多いですね。それから、電気シナプスとか多かったです。

〇ー そうですね。

〇五十嵐 今は絶望的だというお話ですが、僕は全然そう思わなくて、一つの一応完全な系をつくられて、イン・アウトプットを設定してやると、それに応答するようになるというのは、それはすごいことじゃないかと。線虫でそういうことできているんだと思うんですけども、哺乳類のシミュレーションとかでそういうのができているかという、全くできてなくて。だから、さっきの理解するという意味だと、複雑過ぎて理解に届かないかもしれないとかっていうので、理解できる程度のレベルの動物から始めて、人間が理解できるところでぎりぎり頑張るというのは別に全然いいことだと思うし、今できるんだったら、これからもっと全然まだ期待できます。線虫の全脳シミュレーションって、そんなにまだできてたってないわけですね。

〇青木 そうですね。まだ出始めですから、これからどんどん理解は進んでいくと思います。

〇五十嵐 ちょっとすみません、先ほどからシミュレーションのことを少し触れていただいて、絶対できないと。再現できても理解にならないとか、そういうご批判をいただいているのを、僕はすごくそれはそうだと思うんです。正しいと思っていて、ほかの観点で僕のほうからもうちょっと詳しい状況の説明というのはしたほうがいいかなと思うのは、まず、再現できても理解できないというのは、多分、僕もそうだと思うんですよ。ただし、ディープラーニングが今できていて、中身はわかんないけれども中の解析が始まっているように、もし全脳シミュレーションができて何か再現できたら、それが何で再現できるかわからないというのは、解析できるじゃないですか。シミュレーションは全部測定して、保存して、何回も繰り返したり、いろんなパラメータを試すことができるので、それを調べることができるという一歩を踏めるのは、大きなアドバンテージだと思うんですね。

あと、いろんなスケールでやったほうがいいと。マードとか、あとは実際にインプリメンテーションをやるレベルもいろいろあるということなんですけれども、まず、根本的に本当にやろうとしたら、原子レベルからやらないといけないわけです。そんなのは絶対無理なんですよ。じゃ、そういうのはできないわけなんですけれども、分子カスケードぐらいはやるとかっていう、もしくは、先ほど私が話した見積もりの話は、あれはかなり単純な理論モデルの話なので、もっと複雑な機能を入れようと思うと、例えば樹状突起があるようなモデルでやろうとすると、3桁ぐらい計算量がふえて、分子カスケードを入れようとするさらに3桁ぐらいふえてということで、20~30年もさらにかかるということになる。20~30年たつと、もうコンピューターが性能上昇の状況が変わってしまうかもしれないので厳しいんですけども。

そういう今難しさがあって、単純にシミュレーションできると言っても、できることできないことがいろいろあるんですね。やっぱりそうすると、線虫ですでできることを、私、哺乳類でやっているのになあなんですけれども、線虫をされるとかゼブラフィッシュをされるとかっていうのは、非常に有望なんじゃないかと思って、やるべきなんじゃないかと。でも、もちろんマウスとかマーマセツとか、人間は並行して技術を開発していく必要はあるので、やっておくことが必要だと思うんですね。

あと、すみません、もう一つだけ。シミュレーションができるかどうかという問題で、もし今できる限りの再現をして、得られる分子カスケードのデータとかのレベルだとして、そのシミュレーションが意識を持つのかどうかというのは、全くそれはわからない状態で、そういうことを求められるときもあるんですけども、僕はシミュレーシ

ョンでは意識ができないという気がしていて、だから、どんなに頑張っても、全脳シミュレーションで例えば人間の個性を再現できないということは全然あり得ると思います。でも、それができないときには、そのファクターだけではできないんだということがわかることが、発見になって、前進になると思います。

データのオープン化、共有

○ー 今、サイエンティフィックな議論がとても盛り上がっていて、あと3時間ぐらいちょっとこれ続けていたいなという気もするんですけども、企画の趣旨として、どう目指すかというのも半分、実はあるので、ちょっと最後、どう目指すかというのを。

○司会 実は今の議論の中にそれは含めたつもりだったんですけども。要するに、どう目指すかという話ですね。結局、今、話を聞いていますと、やはり実は出口というのは一つに絞ることができなくて、しかもレベルによってそれは全然変わってくるということだと思うんですね。しかも、何を目指したいか、何を明らかにしたいかによって、その必要なデータも変わってくる。

ただ、一つ重要なのは、いろんなデータを使って、いろいろな観点から人間を見つめるということが必要じゃないかというのは、多分、今までの議論の中に出てきたと思うんですね。例えば宮川先生もおっしゃっていましたが、さまざまなデータというものをやはりためて、それを共有化して、それを皆さんが使えるような感じにすること多分、必要じゃないかというふうに思うんですけども。

そういった意味で、例えばデータベースみたいなものをつくるときに、例えば脳のイメージングのデータであるとか遺伝子の情報であるとかっていうものを、ある程度組織立って、やっぱりこういう形でこういうフォーマットで公開しますというポリシーのもとにそれを例えばつくっておくと、それが皆さんがアクセスできて、それを使いやすくなるということも多分あると思うんですね。なので、ある意味、ちょっと私がお話を聞いていて思ったのは、やはりこういう学会を中心となって、いろいろな出口を想定しながら、そのためにどのような状態を皆さんでためていくかというのも、一つ必要なんじゃないかなと思うんですね。

そういう、しかも非常に重要なのは、そのデータがフレッシュであるということが必要で、例えば今までのデータベースというのは、10年ぐらい前のデータベースというのは、ほとんどおいしいところが全部吸い取られて、そこを見ても腐ったようなデータしかないというのが今までだったんですけども、最近だと、やっぱりデータベースのオープンポリシーというのが非常に明確になっていて、ある意味、もうトップジャーナルになりますと、データを公開しないとアクセプトしないよって。要するに、投稿時点でオープンにしないとアクセプトしないという雑誌も今、出てきていますので、そういった意味では、やっぱりデータを早目にオープンにして、みんな共有財産にしていくということも多分、重要なんじゃないかというふうに思うんですね。

そういったところからちょっと何かご意見があったら、いただければと思うんですけども。

○寛 ちょっと戻るんですけども、先ほどインプリメンテーションというのがいろいろあると。そこにも幾つもレベルがありますし、それから、それに付随して理論というものにも多分幾つもレベルがあって、そういう意味では、一つのレベルだけ考えてもしょうがないと思うんですね。

寛： もう一つ、先ほど宮川先生の疾患に関してなんですけれども、いわゆるフェノタイプのこともいろいろ言われるわけですけども、例えばパーキンソン病の患者さんとか、あるいは小脳疾患の患者さんのフェノタイプ、要するに症状というところ、これ、一

目見てわかるんですね。お医者さんたちはもちろん一目見ればわかるんですけども、じゃあ一目見て差がわかるのに、そのパーキンソン病の患者さんの症状というのは、一体どういう中身を持っているのかということに関しては、全く議論されてきていません。同じように小脳もそう、それから脳卒中もそうです。

そういういわゆる病気の表現型というものに関しては、要するに、今までは治療ができないから、診察してこれは何病だってわかれば、もうそこでおしまいだったわけですね。そういうことが結局、フェノタイプの分析の粗さといいますか、ある意味、僕はいいかげんだと言ってもいいと思うんですけども、でも、そういうところをもっときちっと分析するような手法を、特に人間で、発達させていかないと、本当の意味での病態の理解というところに進んでいかないような気がします。

ビッグサイエンス化

まさに非常に本質を突くようなご意見だったと思うんですね。例えば、今、人間理解ということもそうですし、特に疾患理解という意味で、例えば先ほどの宮川先生もおっしゃいましたけれども、やっぱりビッグデータが必要で、それをどう構築していったら、疾患と例えば健常の違いは何なのかとかというような感じで見ていかなきゃいけない。しかも、それが数百ぐらいのデータがあっても、ほとんど多分意味がないと最近言われていますので、それを数千、数万という単位で集めるとなると、やっぱり当然1人ではできないサイエンスになってきていると思うんですね。

何かご意見ありますか。

〇ー まさに1人ではできないサイエンスになってきているということは大きいですよ。我々の分野だと、何でもオミクス系のデータをとって、そこからそういうビッグデータを解析していくという形になりますので、1人ではできない。データをシステムチックにとっていくという活動を研究者コミュニティでやらないといけないんですが、そのシステムチックなデータをとっていくというときに、じゃあそれはどうやってとるのかという部分で、研究者コミュニティの実際の本場に現場で、スモールサイエンス、普通は皆さんスモールサイエンスでやっているわけですけども、そのスモールサイエンスをやっている現場の研究者が、一体どういうデータが欲しいのかと。どういうデータがあると自分の研究にもプラスになるのかということを、ちゃんと研究者コミュニティからの意見・要望を集約して、それでそういうものを決めていくというプロセスがないと、よろしくないんじゃないかなと思うんですね。

〇司会 まさにそれは非常に重要な観点だと思います。特に、先ほどゴール設定というのがあったと思うんですけども、何をみたいかによって必要な素材というのは変わってくると思うんですね。ですので、ある意味、コミュニティとしてどういうものを理解を目指していくのかという、そのテーマを幾つか出しながら、そのためには実際どういうデータが組織立ってあると解析に進むのかというようなことをやっぱり議論する機会というのは、非常に重要じゃないかなと思うんですね。

そういうものを、例えばスモールサイエンスをやっている先生方が、例えばフォーマットであるとか、こういうとり方であるとか、プローブを例えば何使うとか、そういうのを一致させておくと、それがみんな共通で使えるとか、そういうような議論をしておくと、非常に有効なデータとして使える可能性は生まれてくるんじゃないかなと思うんですね。そういう意味では、コミュニティという中で、みんなで協力してビッグサイエンス化していくというような活動というのは、非常に重要な観点じゃないかなと思うんです。

あと、もう一つ、非常に重要なのは、今、先ほども話がありましたけれども、単一

技術で脳機能解明を目指すのは非常に難しくなってきたと思うんですね。そういった意味では、いろいろな先生方の技術というものを結集して、やっぱり脳機能の解明に向かっていかなきゃいけない。そういった意味では、いろいろな技術というものを共有化したりとか、そういうようなことをしていかないと、やっぱりなかなかうまく進まないんじゃないかと思うんですね。そういった意味では、欧米なんかも非常にそこら辺は組織立ってうまくやっているというところもあると思うので、日本はそこを見習わなきゃいけないと思うんですけれども、その点について何か情報とか何かコメントがあればいただければと思うんですけれども、何かありますか。

〇ー 今のご質問とちょっと違うんですけれども。ここで柚崎先生が最初に紹介されていたところへちょっと戻りますが、ちょっと違うとおっしゃっていたのが、マスタープランでしたっけ、学術会議であれするやつで、脳科学はそれを一回もゲットしたことがないということをおっしゃっていたんですけれども。それをゲットしようというときに、ちゃんとコミュニティーで意見を集約して、何をを目指すのか、どう目指すのかというのをちゃんと意見を集約して、本質的なところで我々は一丸となってやっているんですということを見せていかないと、とれないのかなと思います。ちょっと最後ということじゃないんですけれども。

〇司会 まさにそこはやっぱり非常に重要なのは、数なんですよ。やはり1人が言ってもだめで、何人それを望んでいるのかという数が非常に重要ですので、そういった意味で、例えば学会でも今、延べ人数は8万人以上なんですね。9万人近いと思うんですけれども、今、28学会を合わせますと。だから、そういうようなコミュニティーとして総意として出していただけると、やっぱり非常にそこら辺は実現可能性が高くなってくるんじゃないかというふうに思います。

教育・プログラミング

今、技術の共有化とかそういう話をちょっとさせていただきましたけれども、そういった意味で、これからの脳科学を進める上で非常に重要なのは、やっぱりインターディシiplinaryな知識というのは非常に重要だと。例えば、電気生理をやっている人でモレキュラーがわからないと、今はもうできない時代ですし、例えば計算的な神経科学をやっている、やっぱり実験のことがわからないと、計算機にそれをただ落とし込んで、実際、使い物にならないという話になってしまうということもあるので、本当にさまざまな知識ということがやっぱり必要になってくると思うんですね。そういった意味で人材育成というのも非常に重要な観点だというふうに思うんですけれども、特に今、学会なんかだと教育講演というのが非常に充実していて、特に日本語でやっているの、若い人でも自分の専門外のところでもやっぱり知識として非常に聞けるような環境ができてくつあると思うんですけれども、その点について、実際、人材育成、どれが今後必要になるのかという点について、何かご意見があればいただければと思うんですけれども、いかがでしょうか。

どうぞ。

〇ー ちょっと身もふたもない話をしてしまうんですけれども、これは分野にもよると思うんですけれども、神経科学の人はMatLabに頼り過ぎという。やはり今の世界のオープンサイエンスでは、JavaなりPythonですよ、とかRとか使っていて、前に、僕も最近、脳科学若手の会でワークショップをしましたが、それをPythonでニューラルネットワークのリバース...とかをやったんですけれども、結構シニアな大学院生とかポスドクでもMATLABしか知らないということで、あの世界に閉じこもっていたら、世界のオープンサイエンスの潮流には乗りおくれちゃうなというのは。

○司会 これも非常に重要な観点で、特に神経科学をやっていたときに、やっぱりプログラミングとか、MATLAB みたいな、MATLAB、だめだという話じゃありませんけれども、そういう知識って非常に重要なんですね。でも、かといって、そういう知識を習える環境って、意外に実はないような気がするんです。特に医学部を卒業しても、そういう授業は多分ないですね。でも、実際に研究領域へ行くと実はそれって必須で、わからないとやっぱり先が開けないというのも、非常にあるんじゃないかというふうに思います。

○井上 これは早稲田大学の教員としてですけれども、早稲田大学も弱小ながら一応神経科学の研究者もある程度いて、情報科学が極めて強くて、それで、学内で神経科学の次世代を見据えたときに、私は教育はウェットの脳科学を担当していますけれども、その中にどう情報系を取り込むかというので、ほかの学科の科目を取り入れてオーガナイズしようということもやっております。

さっき出ましたように、実は、脳科学の実験系を支えているのは、医学部の出身者が多くて、医学部の場合にはそういう情報系のカリキュラムがかなり重要であることが予測されるので、これは早目にそういった教育も含めて検討したほうがよからうと思います。

○ー 恐らく情報系のプログラミング、Python でも R でも、そういう基本的なプログラミングの教育とかって、もう教養課程で基本に必須にさせていただくということが大切なんじゃないかと思っています。それで、全員できるようになる必要はないんですけれども、必ず一部の人に、適性がある人というか、ちょっと最初のところだけ教えたら、自分でバンバンできるようになっちゃう人がいて、大体そういう人はそれ以上あんまり教わる必要もなくて、自分で学んでいくんですね。なので、そういうことに触れさせるという機会を与えるという意味では、高校から本当に大学の教養課程で必須にさせていただくということを、こういう学会とかで言うとかいうことをやるといいと思うんです。そうすると、キャリアパスの問題でも、つぶしがきくようになって、就職できるようになるというメリットもあったほうが。

キャリアパス

○司会 キャリアパスについてちょっとお話をさせていただきたいと思うんですけれども、特に脳科学というのは非常にこれは難しい領域だと思うんですね、キャリアパスという意味で。なぜかという、脳科学部というのがないという、学部なんです。そうなってくると、大学の教員としての受けを考えたときに、例えば、そんなに例を出しちゃあれですけども、心理学部とかってなるとあちこちの大学にあるので、要するにキャリアパスが非常につくりやすい。なんですけれども、脳科学ってなると、脳科学部というのはないんですね。そうなってくると、やっぱり脳科学をやっている先生方も非常に実は幅が広くて、いろんなことをやっていると。そういった意味では、いろんな知識をつけてインターディシプナリーに見ていくと、要するに総合人間科学という立場から例えば人材育成をしていくと、いろいろな分野に実は我々って入り込むことがかなりできるんじゃないかと思うんですね。

なので、学会としても、そういうような人材育成というものを、我々、インターディシプナリーな観点で、さまざまな多方面に活躍できる人間というものをつくり上げていくということが、若手人材育成でも非常に重要じゃないかというふうに思います。

脳と末梢

○杉浦 もし今の立場をとるのであれば、僕が心配なのが、日本の神経科学会って脳

だけで人間がわかるというスタンスの人が大多数という印象を持っておりまして、僕は多分、脳というのは、それぞれ固有のやっぱり環境との相互作用があって、それぞれの個性が作り出されると思っています。寛先生がおっしゃったようなフェノタイプの話も、やっぱり脳だけで存在していると成立しない話のような気がします。そこに踏み込むために脳の外側に興味を持っている人たちが大切なわけですが、そういう人たちがどのぐらい取り込まれているかという、どちらかというともみんな出ていっちゃっている気がします。、そこは SfN といずれにしても大きな違いかなと、ちょっとそこを心配していました。

むすび

そろそろお時間が来たのでお開きにしたいと思うんですけども、今日は2時間という、非常に長いようで短い、時間が全然足らないような感じはしたと思うんですけども、先生方のいろいろご意見を聞きながら、今後10年、20年、何を目指していくかということで、特に一つテーマになりましたのは、やっぱり今、最近、ビッグサイエンスというのがテーマになってきていて、それでできるということもあります。その必要性というのも非常に重要じゃないかと思うんです。一方で、じゃビッグサイエンスじゃないサイエンスも非常に重要なんですけれども、学会として組織立って皆さんで何を考えるかとなると、やはりビッグサイエンスとしての出口というのもの、ある程度皆さんで考えながら出口を幾つか設定して、そのためにどのようなリソースをどのようにためていくのかということも、学会レベルで進んでいくことが重要じゃないかと思います。一方で、やっぱり個別個別の研究のレベルが上がらないと、そこは対処できませんので、そのこの部分の底上げというのもの、学会として考えていく必要があるんじゃないかと思いました。

あとは、人材育成についても、やっぱりインターディシプナリーな観点から人材育成をしていくということも重要だと思いますし、あとは、いろいろなさまざまな分野の方からも神経科学に興味を持っていただいて、特に学会なんかへも参加していただくというようなことも今後、重要な観点になるんじゃないかというふうに思いました。

ビッグデータ vs 分子生物学

○重茂 冒頭、私、自己紹介のときに、関係者の皆様との接点をいかにつくっていくかということで努力していると申し上げましたが、実は学協会の先生方とも連携した形でワークショップを開かせていただいております。これまでに応用物理学会、機械学会等、特に理系の学会を対象にして学協会共催のワークショップをさせていただいたんですが、ことし3月、実は脳関連の先生方と協賛で、「脳科学と計測」というタイトルでワークショップを開催させていただきました。その際に松田先生に司会進行をしていただいて、実際、そのときは、今日いらっしゃるような先生方、こんなに多くの先生をお招きすることはできなかったんですが、今日お話いただいた内容は、ほぼ話題に出ました。例えば宮川先生のお話で、網羅的にデータをとることは必要だといったことなどです。

特に私が感じたのは、直接脳と関係する以外のものでも、いわゆるライフログデータというのをいかにとってくるかというのが重要かということです。その際に、例えば、これはATRの川人先生とかがおっしゃっていたんですが、MRIですと、機器としての個性というんですかね、それが影響して、かなりデータのギャップとして出てくるということでした。先ほどお話があったように、例えばそれをデータベースに上げてくるときに、いわゆるデータのぶれですね、そこをいかにクレンジングするかというのは、非常

に大きい課題になってくるんだと思います。その点では、先生方がおっしゃられるように、やはり IT 関係の先生方とのコラボレーションというのは非常に必要かと思いますが、また、脳以外の、先ほど最後のほうでお話いただきましたが、脳以外に興味を持っていらっしゃる先生、たとえば疫学系の先生を入れることも必要だと思います。その際、疾患と脳関連データとどう関係があるか、網羅的にどのようなデータを、臨床データや実験データを含めてとってくるか、データのぶれを修正していくかということの議論は重要だと思います。

あともう一つ、最後ですが、やはり計測機となりますと、国だけではなくて、民間の力が絶対必要です。特にこの点では、陳腐化されていますが、改めて産学連携というワード、もう一度皆様方でお考えいただければと思います。

○柚崎 こういう形で討論会を締められてしまうとちょっと誤解されるので追加させてください。おっしゃっていることは全くその通りで、ビッグデータの重要性はあるんですけども、それだけではないということも強調させてください。例えば分子レベルの話ではビッグデータを幾ら集めても、何も見えてこないと思うんですね。人材の育成でインターディシプナリーないろんな人を集めてこなくちゃいけない。特に計算系の人もどんどん育てていかななくちゃいけないんですけども、そこで議論の対象に上がっているのは、あくまで fMRI のデータであつたり、ゲノムのデータであつたり、あるいは臨床データであるとか、そういうものはビッグデータですけども、それ以外のところをちょっと無視されてしまうと困ります。本当の大事なところって、もっと下のレベルにあると僕は思っています。分子神経科学の立場から敢えて発言しました。

○重茂 説明が足りず、申しわけございません。我々、トライアルとして、脳科学と先ほど申し上げた計測をテーマにワークショップを設けた次第ですので、そのテーマに沿った議論の内容をご紹介します次第です。

○柚崎 ええ、それはわかる。

○重茂 できれば、脳科学のワークショップを NISTEP がシリーズ化して、例えば分子生物学的なもの、電気生理学的なものも含めた上で、どういう研究の方向性があるかといった議論を進めていければと考えています。実は、脳科学ワークショップでも、電気生理の話は大分、話題に出ました。それと、例えば最新の AI 等による解析技術とをどのような形で結びつけていくかということについては、まだまだ議論は足りません。ということで、我々のほうでもそのような議論の機会を与えていただければと思いますので、今後ともいろいろご協力いただければ幸いです。

○司会 ありがとうございます。

ビッグサイエンスって、ビッグデータという言葉がありましたけれども、非常に重要なのは、やっぱりこの研究者のネットワークなんですね。結局、いろんなレベルで、要するにいろんな共同研究なりネットワークをつくってやっぱりやっていくということが、一番重要なテイクアメッセージというふうに私は思っています。その中で共有化してデータをつくったりとか、例えば技術を共有化して、いろんな人の例えば共同研究に結びつけたりとかって、そういうことじゃないかというふうに思うんですね。そういった意味で、今後また引き続きこういう機会をつくって、議論を進めていただければいいんじゃないかなというふうに思っております。

最後に一言

議論が足りないというお話、これは本当に何時間議論をしても飽きない感じでできちゃうと思うんですけども、こういう場で議論するのも大切ですが、インターネットを使うということも最近できるわけですので、これ、継続してガチ議論サイトと、ガチ

議論で検索していただければ出てきますが、そこに皆様、おっしゃりたいことが多分あったと思うんですけども、そういうことを書き込んでいただければ、継続して議論できますので、ぜひよろしくお願いいたします。