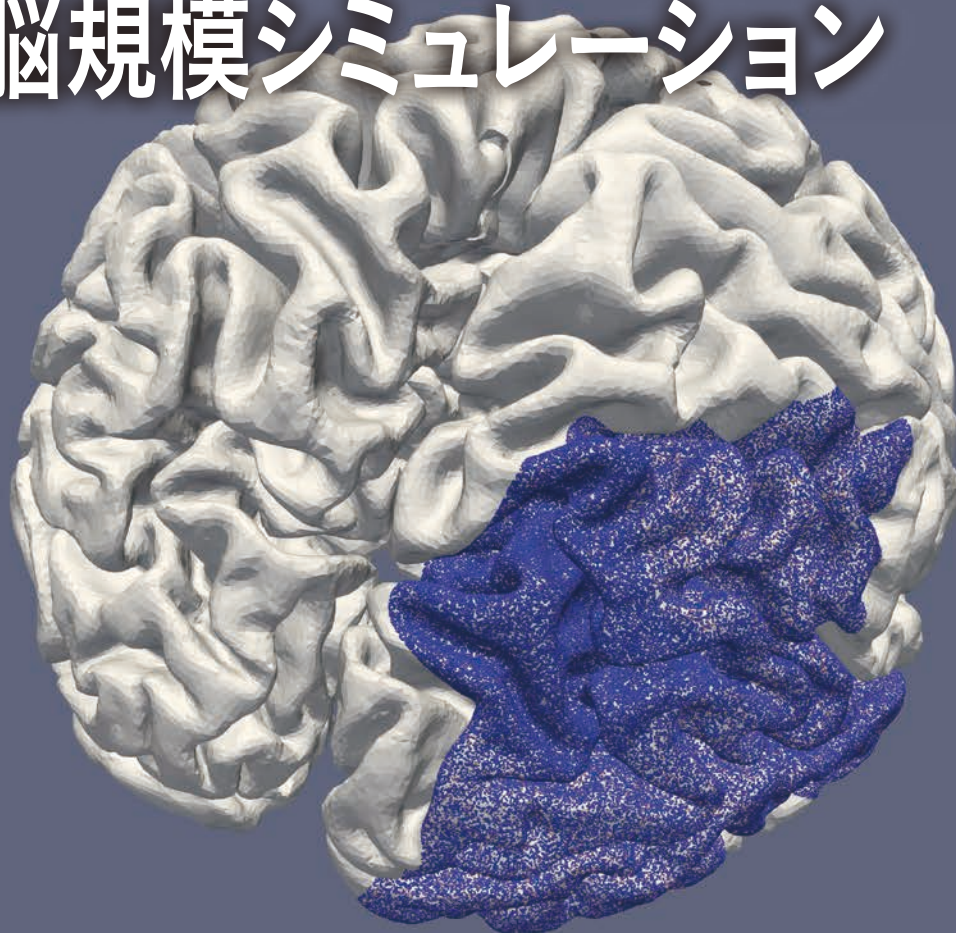


計算科学 の世界

K computer Newsletter NO. 17
November 2018

ヒト脳理解に向けてのスタートライン ポスト「京」で目指す 全脳規模シミュレーション

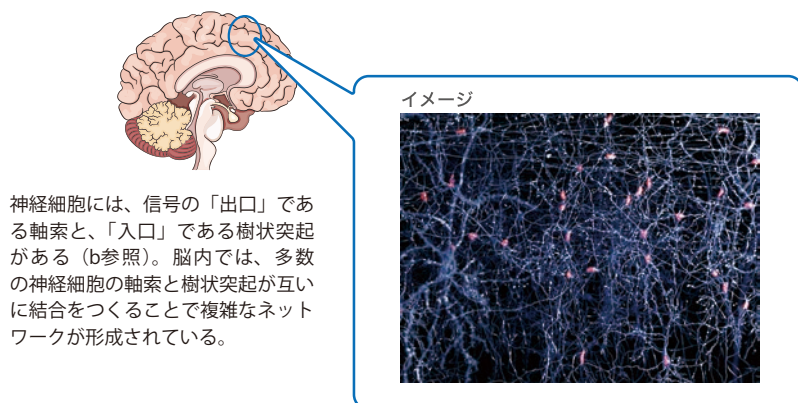


ヒト脳理解に向けてのスタートライン ポスト「京」で目指す全脳規模シミュレーション

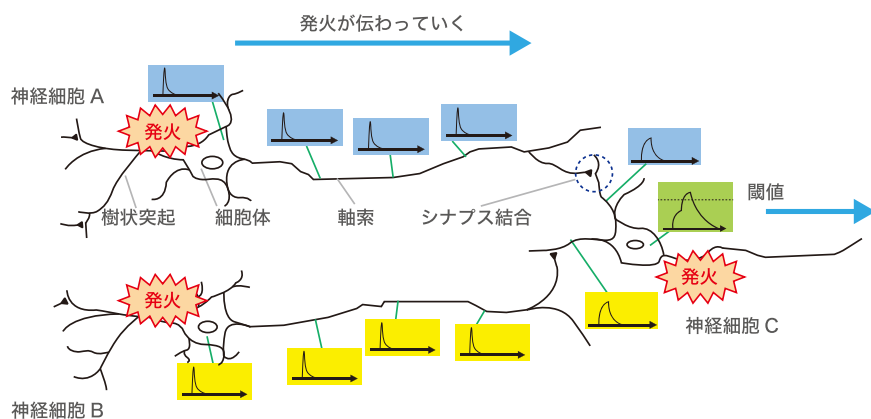
五十嵐 潤 Jun Igarashi

理化学研究所 情報システム本部 計算工学応用開発ユニット
上級研究員

a 脳の中では、神経細胞が複雑なネットワークをつくっている



b 1つ1つの神経細胞は、発火という電気的な現象を利用して信号を伝えている



神経細胞間の信号伝達のしくみは非常に複雑なため、ここでは概略を述べる。
神経細胞は刺激を受けると発火する。発火とは、細胞内に陽イオンが流れ込み、流れ込んだ部分の電位が一時的に高くなる現象である。発火は細胞体から軸索に伝わり、軸索の中を進み、軸索の末端にあるシナプス結合（軸索と次の細胞の樹状突起との間の結合）で神経伝達物質の放出が起き、次の細胞に信号が伝わる。神経細胞Aの発火とBの発火がCにやってくると、両方の発火の電位が足し合わされる。それがある値（閾値）を超えると、Cが発火し、それがCの軸索を伝わっていく。脳内では、このような信号伝達が、860億個の細胞の間で起こっている。

図1 神経細胞のネットワーク (a) と細胞間の信号伝達のしくみ (b)

私たちが運動したり、考えたり、話したりするとき、
脳の中では神経細胞が相互に信号をやりとりしながら活動しています。
その数はなんと860億個！ 五十嵐さんたちは、
ポスト「京」を用いて、このうちの99%の活動をシミュレーションしようという
壮大なプロジェクトを進めています。

シミュレーションは脳研究の切り札

「高校生のころ、ニューラルネットワークという、脳が行っている情報処理をコンピュータ上で再現する研究がさかんになり、そのときに読んだ本で『脳をまねる』ということに興味をもちました」という五十嵐さん。大学院時代から脳のシミュレーションに取り組んできました。「京」を用いて、「できるだけ多くの神経細胞の活動をシミュレーションする」課題と、「脳の信号が脳内のさまざまな部位を通して体を動かすまでを再現する」課題に参加して、大きな成果をあげ、2016年からは、ポスト「京」の萌芽的課題「思考を実現する神経回路機構の解明と人工知能への応用」のメンバーとして、全脳規模シミュレーションに向けた研究を進めています。

私たちの脳は、高度な認識・学習能力をもち、多様な問題に柔軟に応答し、創造性を発揮します。しかも、消費エネルギーはわずか約10Wと「超省エネ」です。しかし、このような能力がどのようなしくみで発揮されるのかは、未解明です。「その理由は、脳の構造が非常に複雑だからです」と、五十嵐さんはいいます。脳には情報を処理する神経細胞が約860億個もあります。その上、1個の神経細胞からの信号の「出口」である軸索の先はたくさんの枝に分かれており、他の細胞からの信号の「入口」である樹状突起もたくさんあります（図1a）。これらが相互に結合をつくっているため、結合の数は全部で100兆個以上もあると見積もられています。

「すべての神経細胞の活動や、結合を介しての信号のやりとりを、実験で把握することはまだ非常に難しい状況です。一方、



五十嵐 潤 理化学研究所 情報システム本部 上級研究員

撮影：古末拓也

シミュレーションではすべて記録することができ、脳の一部だけとか、ある病気になったときの脳というように、どんな状態でも、何度でも調べることができます。シミュレーションは、脳のしくみを研究するための非常に有力な方法なのです」

神経細胞を電気回路だと見なす

脳のシミュレーションはどのように行うのでしょうか。それを知るには、まず、神経細胞の活動について知っておく必要があります（図1b）。

脳の複雑なネットワークの中で、神経細胞は「発火」することによって、信号を互いに伝えあっています。発火とは、一時的に細胞内の電位が高くなる現象のことです。刺激を受けた神経細胞の細胞体で発火が起ると、その発火は波のように軸索を伝わっていき、シナプス結合を介して次の神経細胞に信号が伝わります。1つの神経細胞には多数の神経細胞から信号がやってきますが、その合計がある値（閾値）を超えたときにだけ発火し、次の神経細胞に向けて信号を送り出します。

「このような神経細胞の活動は、電気回路のモデルに置き換えることができます。脳のシミュレーションでは、たくさんの神経細胞モデルをスパコンのなかで結合し、発火による信号の伝達を行わせ、時間が経つにつれて個々の細胞の活動がどう変化し

ていくかを計算します」

しかし、話はそれほど単純ではありません。まず、発火の仕方は神経細胞の種類によって異なります。また、神経細胞どうしの結合の強さ（信号を伝える強さ）は神経細胞のペアごとに異なり、しかも、発火が何度もやってくると変化します（実は、これが私たちの「学習」のおおもののしくみなのです）。さらに、神経細胞の配置は脳の部位ごとに異なり、その配置が結合の数や強さに影響します。1つの神経細胞の活動の特性を決める値（パラメータ）は山ほどあるのです。

幸いなことに、2000年以降、脳の各部位の神経細胞の種類や、脳内の神経細胞どうしの結合を調べる技術が急速に発達し、このようなパラメータについて膨大なデータが加速度的に蓄積されています。その一方で、スパコンの性能も向上し、次第に大規模な脳のシミュレーションが行われるようになってきています。こうした中で、2013年、「京」の全体を用いて、17.3億個の神経細胞が10.4兆個の結合でつながっている場合の、当時としては世界最大規模のシミュレーションが成功しました。

五十嵐さんは、この研究のメンバーの一人でした。「この研究は、『京』でどれだけの神経細胞の計算が可能かという技術的限界を調べるのが主目的でした。17.3億個の計算ができたので、『京』の100倍の計算

性能をもつスパコンができれば、全脳のシミュレーションが可能だという見通しが立ちました」

パーキンソン病の腕の震えを再現

次に、五十嵐さんは、パーキンソン病のシミュレーションに取り組みました。この研究は、「京」を用いたHPCI戦略プログラムの課題の1つとして2011-16年に行われました。

パーキンソン病では、動作の困難、手足の震え、筋肉の硬直などの症状が現れます。脳内のドーパミンが枯渇することが原因ですが、このような症状が現れるしくみはよくわかっていません。

私たちが体を動かすとき、運動の命令は、大脳皮質の運動野（運動皮質）から脊髄を通して筋肉に伝わります（図2上）。そして、ドーパミンは、この命令の流れの途中にある大脳基底核に働きかけることがわかっています。そこで、五十嵐さんが当時所属していた沖縄科学技術大学院大学（OIST）、東京大学、大阪大学のグループは共同で大脳基底核－視床－運動皮質－脊髄－筋骨格の統合モデルをつくり、腕の震えの再現に取り組みました。このモデルは、部位による神経細胞の性質の違いを採り入れるなど、現実に近いもので、約300万個の神経細胞を用いて6秒分のシミュレーションを行いました。

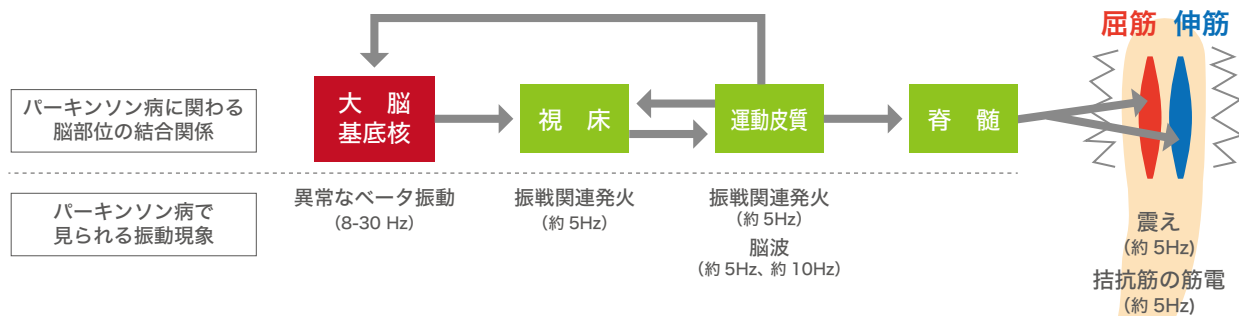
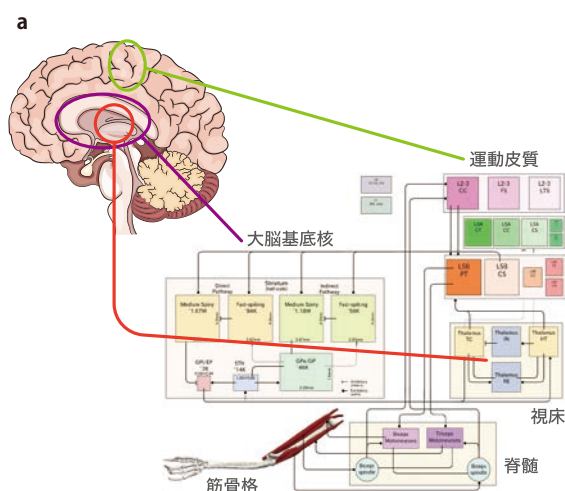
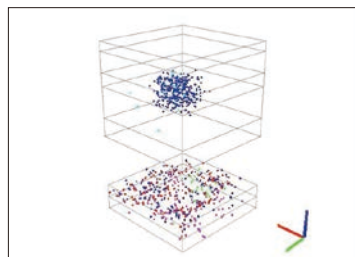


図2 脳とパーキンソン病の関係

大脳皮質の運動野（運動皮質）からの運動の指令は脊髄を通して筋肉に伝わる。その際、運動皮質は大脳基底核や視床との間で信号をやりとりする（上段）。パーキンソン病では、上段のメンバーのそれぞれに振動現象が見られる。なぜ振動が起こるのか、なぜ大脳基底核と他のメンバーの振動数が異なるのかは、不明だった。



b 運動皮質 - 視床



※動画をweb版でご覧いただけます。

上肢（二頭筋、三頭筋）



図3 脳から骨格までを統合したモデルによるシミュレーション

- a 大脳基底核－視床－運動皮質－脊髄－筋骨格をつないだ統合モデル
- b aのモデルで、ドーパミン枯渇状態を想定したシミュレーションを行ったところ、運動皮質と視床では6-7Hzの振動が起こり、腕の震えのような動きを引き起こした。健康人を想定した場合は、振動は起こらなかった。

「患者さんでは大脳基底核でベータ波（脳波の一種）の異常な振動（8-30Hz）が見られ、手足が約5Hzで震えることが知られています（図2下）。ドーパミン枯渇を想定したシミュレーション（図3）では、大脳基底核で約15Hzの異常なベータ振動が見られ、運動皮質から6-7Hzで腕の震えを起こすような信号が出ていましたが、健康者を想定した場合にはどちらも現れませんでした。つまり、このシミュレーションは、ドーパミン枯渇で大脳基底核に振動が生じ、さらに、それとは異なる振動数で腕が震えるしくみを知る手がかりを与えてくれたのです」

大きな目標に向けて 課題を1つずつ解決

そして今、五十嵐さんたちは、全脳規模のシミュレーションに向けて準備を進めています。脳の全神経細胞のうち99%は大脳と小脳に含まれているため、大脳と小脳を対象とする計画です。五十嵐さんは

大脳皮質を担当し、OISTの銅谷賢治教授が大脳基底核、電気通信大学の山崎匡准教授が小脳を担当します。

「京」での17億個を、ポスト「京」での860億個にするためには、神経回路シミュレータというソフトウェアの性能が重要です。脳のシミュレーションでは1つの計算ノード（スパコンは小さなコンピュータの集まりであり、その1つ1つを「計算ノード」と呼ぶ）に多数の神経細胞の計算を担当させる必要がありますが、神経回路シミュレータはその割り振りを自動的に行ってくれます。

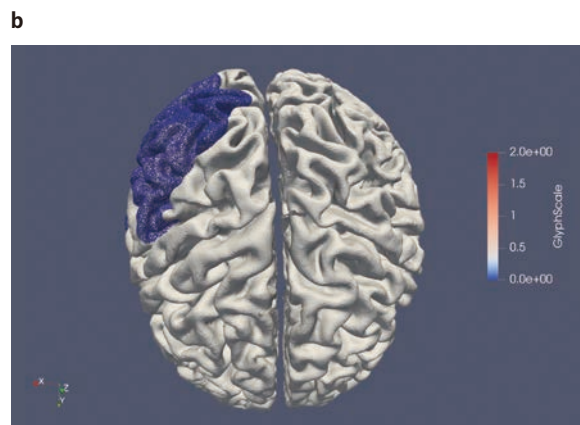
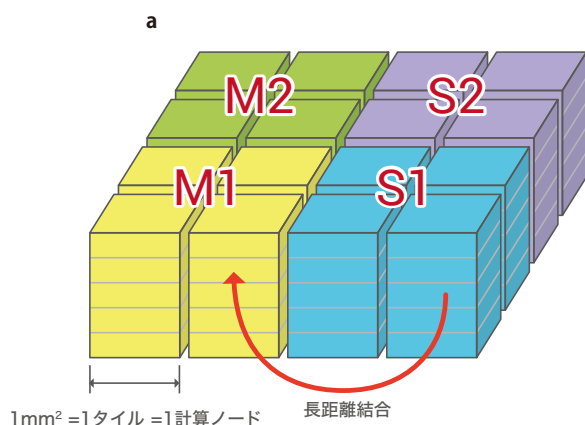
「京」での計算に用いたNESTシミュレータは、細胞の数が増えると通信量がどんどん増えてしまい、その分計算が遅くなるという問題がありました。そこで、NESTの開発元のドイツのグループがデータの構造と通信方式を改良し、日本側では「京」での試験を行った結果、通信量を抑えることに成功しました。

もう1つ重要なのは、脳の神経回路の構

造を採り入れることです。「大脳皮質と小脳は神経細胞が並んだシートが層状に重なったものです。そのため、1つの神経細胞は近くの細胞とは密な結合をもっていますが、遠くの細胞との結合は少ないのです」。これをポスト「京」で効率的に計算するため、五十嵐さんは新しい神経回路シミュレータを開発しました。このシミュレータでは、大脳皮質を面積が1mm²のタイルに区切り、1個のタイルを1個の計算ノードで計算します（図4a）。

すでに、「京」を用いて大脳皮質の10分の1にあたる16384 mm²の面積に含まれる数億個の神経細胞の活動を3秒間にわたって計算することに成功しています（図4b）。さらに、大脳皮質、視床、小脳からなる脳のモデル（約10億個の神経細胞）のシミュレーションにも成功し、活動の可視化（約1000万個の神経細胞）も達成しています。

着々と準備が進む全脳規模シミュレーション。実現すれば、脳のしくみがわかるのでしょうか。「このシミュレーションでわ



※動画をweb版でご覧いただけます。

図4 大脳皮質の構造を採り入れたシミュレーション

- a 大脳皮質は6層からなる層状構造を取っている。層の中の神経細胞は、近くの細胞とは密な結合をつくっているが、遠くの細胞との結合は少ない。このため、大脳皮質を 1mm^2 のタイル状に区切り、1つのタイルを1つの計算ノードで計算することができる。
- b aの方式で、大脳皮質のうち 16384mm^2 の神経細胞の活動を「京」でシミュレーションすることができた。計算は6層について行ったが、ここでは可視化の制約から第1層のみ（図の青の点群）を示す。

かることはたくさんあると思いますが、脳の高次機能を理解するには、大脳と小脳以外の部位も含めるなど、さらに現実に近いものにブラッシュアップしていくことが必要です。全脳規模のシミュレーションが成功しても、それはスタートラインに過ぎないのです。ただし、そのスタートライン

にはまだ誰も立ったことがないので、大きな変化が起こると期待しています」と五十嵐さんは答えてくれました。

脳のしくみが解明されれば、脳の病気の治療、学習の効率化、人工知能への応用といった効果が期待されるだけでなく、「人間とはなにか」という哲学的な問いへ

の答えが得られるかもしれません。そうした将来に向けて、五十嵐さんをはじめ、多くの研究者がこれからも挑戦を続けていくことでしょう。

（取材・執筆：サイテック・コミュニケーションズ 青山聖子）

まだまだ気になる Q&A

教えて五十嵐さん！



Q 将来は、コンピュータが感情をもつようになるのでしょうか？

A 感情というと、何か特別なものと考えがちですが、実は価値判断の1つに過ぎないと考えられます。例えば、不快なことをされて怒るという行動がありますが、進化の過程でそれが生存に有利だったから、そういう価値判断をする機能をもつ脳ができてきたと考えられます。実際に脳の中で感情を担う部位がわかっているの、その部分の脳のシミュレーションで活動が再現できれば、それは、「感情をもつコンピュータ」といえるかもしれません。ただし、感情と意識が密接に関係しているとなると、話は別です。意識が脳でどのように発生しているのかはまだわかっていないからです。全脳規模シミュレーションでも、意識は簡単には解明できないと思います。

Q ヒトよりも多くの神経細胞があれば、ヒトよりもっと高度なことができるようになりますか？

A ヒトの神経細胞の数は動物中で最多というわけではなく、クジラやゾウのほうが多いので、数が増えれば高度なことができるというほど単純な話ではないと思います。ただし、大脳皮質が視覚、聴覚、運動などを担当する領域が分かれているように、神経細胞の数が多くと部位ごとに異なる機能を果たすことができますから、より高度な機能をもつ、より大きい脳をシミュレーション上で“デザイン”することはできる可能性があります。

Q 脳のしくみがわかると、それを使って、現在とは違うタイプのコンピュータがつくれますか？

A 神経細胞の情報処理のしくみをまねた「ニューロモルフィック・チップ」の開発は、すでに世界中で活発に行われています。また、最近注目されているのが、神経回路による「確率的な情報処理」です。これは、「神経回路は、同じ刺激が入ってきても何通りかの結果を出し、それをもとに物事の確率を推定する」という考え方です。ニューロモルフィック・チップで確率的な情報処理を行えると、脳のように超省エネのチップを実現できると予想されています。すでに、ヨーロッパでは開発を行っているので、近い将来、使われるようになるかもしれません。

研究室へようこそ！

電気通信大学
大学院情報理工学研究科

山崎研究室

<http://numericalbrain.org/>



高校生の私たちが
取材しました！



怜香(れいか)



大地(だいち)



先生はどんな研究をしているのですか？

脳の研究はすごいスピードで進んでおり、脳の中の神経細胞のつながり方や、神経細胞が信号をやりとりするときの「ルール」は、かなりよくわかってきています。でも、たくさんの神経細胞が簡単な「ルール」で信号をやりとりするだけで、なぜ、私たちは、見たり、話したり、考えたりできるのでしょうか？ 不思議ですね。私は、脳の情報処理の原理を知りたいと考え、シミュレーションによる研究を行っています。



電気通信大学 大学院情報理工学研究科

山崎 匡 准教授

研究テーマ1

人工小脳の構築

目標の1つは、小脳の「リアルタイムシミュレーション」です。小脳にある約690億個の神経細胞全部が行う1秒間の情報処理を、同じ1秒以内に計算したいのです。2018年2月には、海洋研究開発機構に置かれていた「^{ぎょう}暁光」というスパコンを使い、約80億個の神経細胞からなる小脳のリアルタイムシミュレーションに成功しています。このシミュレーションでは、小脳が担当している眼球運動の学習を再現することができました。

研究テーマ2

全脳規模シミュレーション

もちろん、脳全体のシミュレーションは大きな目標です。「京」の後継機、ポスト「京」を使って、ほかの研究機関が構築した大脳皮質や大脳基底核と私が構築した小脳を接続して、シミュレーションを行う計画です。とても楽しみにしています。

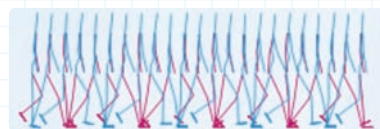
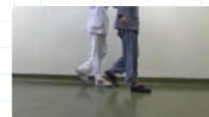


▲ポスト「京」に搭載予定のCPU(中央演算装置)と同じ構造のCPUを用いたコンピュータを作製済み。これでプログラムをテストする予定。

研究テーマ3

リハビリへの応用

脳梗塞などの病気で、うまく体を動かせなくなることがありますね。脳と骨や筋肉をつないだシミュレーションを行うと、この病状を再現でき、さまざまなリハビリ法の効果を事前に確かめることもできるはず。そこで、このような目的に合った脳-筋骨格系のモデルを開発しています。研究を通じて、患者さんの負担を少しでも減らすことができたらと考えています。



▲歩行困難者の歩行シミュレーション(下)と実際の患者さんの様子

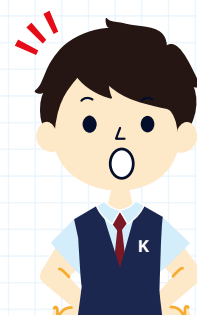
教えて！先輩！(Q&Aコーナー)

Q. なぜこの研究室を選んだのですか？

A. スパコンが使って、プログラミングもたくさんやれるからです。もともと、大規模な微分方程式の数値シミュレーションに興味があったのですが、それを脳の研究に使うところがおもしろそうだと思います。(学部4年 古庄 克さん)

Q. 高校生のときにやっておくべきことは？

A. 研究室は学部4年、修士1、2年の3年間を過ごす場所であり、就職するにせよ、研究者を目指すにせよ、その後の人生に大きな影響を与えます。大学を選ぶとき、大学全体のことしか調べない人が多いと思いますが、研究室についてよく調べることをお勧めします。ちなみに、電通大では、毎年7月と11月にオープンキャンパスが行われ、全研究室が研究紹介をします。興味のある人はぜひ来て下さい。(修士1年 吉村 英幸さん)



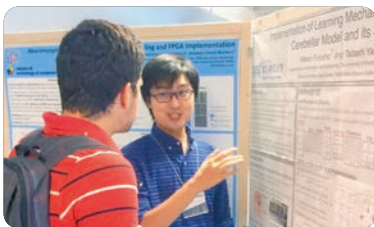
研究室プロフィール



電気通信大学の最寄り駅は、新宿から京王線特急で15分の調布駅。山崎研究室は、緑に囲まれた西1号館の1階にあり、モノトーンで統一されたインテリアがカッコイイ！メンバーは学生さん5名、ポスドク (Postdoctoral Researcher。博士研究員のこと)の方が2名、秘書さん1名。研究室では、プログラムを書いたり、ゼミや実験をしたりするんだって。みんなすごく仲良しで、楽しそう。先生が「忙しいときは全力でがんばり、そうでないときは全力で緩む」という方針だからかな。ちょっとびっくりだったのは、学生さんたちがみんなお給料をもらっていること。先生が進めているプロジェクトの研究員として、ちゃんと結果を出しているかららしい。学生さんが高性能のコンピュータを好きにだけ使えるというのも、すごいと思ったよ。



学会発表



怜香: イタリアの学会でポスター発表したんですってね。ステキ！

山崎: 修士になると当たり前のように海外の学会に行くのが、研究室のウリの1つです。

ゼミ



大地: 難しい言葉や式が飛び交ってる。みんな頭よすぎ！

山崎: でも、みんな研究室に配属されてから脳の勉強を始めるんですよ。

実験



怜香: 何をしてるんですか？

山崎: CPUをつくっています。コンピュータの仕組みを電子回路レベルで理解しておく、よいプログラムが書けます。

一日の過ごし方～研究室に入ったら～



修士2年
古庄 航 さん

人工小脳がリアルタイムで情報を処理できるように、プログラムを最適化する研究をしています。プログラムを考えて書き、それを使って計算し、性能を確かめるという毎日です。自分のアイデアで計算が速くなったときは、うれしいです。山崎先生は「きちんと結果を出せば、どこで研究してもいい」という方針なので、ふだんは自宅でも研究することもあります。でも、学会の前や論文提出の前は、土日も祝日も関係なく研究室に行き、朝から夕方まで先生の指導を受けながら準備をがんばります。

昼食はいつも
学食で食べてます！

学会発表の前は、原稿を先生に見てもらって修正します。原稿は英語だし、何度も修正するので、連日朝から夕方までかかります。

7:00 起床 9:00 通学 12:30 13:00 昼食 17:00 帰宅 19:00 夕食 20:00 自由時間 24:00 就寝

ふだんはこれよりゆっくり目に登校することも。自宅から研究室のコンピュータにアクセスできるので、早く登校しなくても研究はちゃんとできます。

プログラミングが好きなので、自由時間にも、研究とは関係のない「趣味のプログラミング」をしています。ゲームも好きです。



気象の精度向上へ

西澤さんの出身は滋賀県大津市。全寮制の中高一貫校で学生時代を過ごし、部活動においては、空手に打ち込んでいました。京都大学大学院で博士号を取得し、その後は京都大学や神戸大学、理研計算科学研究センターなど西日本を拠点に研究活動を行っています。主に気象について研究していて、シミュレーションを用いて集中豪雨・大気乱流・気候変動のメカニズム解明に努めているほか、研究で得られたたくさんのデータを幅広く公開、活用することで、将来的にALL JAPANで防災に取り組めるようにするためのプロジェクトにも参加して研究を進めています。このように、気候科学を軸に多方面で活躍する西澤さんにお話を伺いました。



複合系気候科学研究チーム 研究員

にしざわ せいや
西澤 誠也

私立明德義塾高等学校卒業後、1年間の浪人時代をはさんで京都大学に入学。博士課程を修了後、京大、神戸大を経て現在に至る。大学時代はよさこいに没頭した。最近、読書やハイキングを始める。

兵庫県立龍野高等学校 自然科学部PC班

Q コンピュータに興味をもったきっかけは?

A 小学生の頃は、パソコンが一家に一台あるという状況ではなかったです。友達の家にコンピュータがあったため、よく遊びに行っていました。当時はハードディスクなどがなく、カセットテープにデータを入れ、ロードしてゲームなどをしていました。高校時代は寮にコンピュターームがあり、詳しい人に教えてもらいながらプログラミングをしたのが始まりです。大学では授業でC言語やコンピュータグラフィックスについて学び、自分で書いたコードが動くことに面白さを感じていました。

Q 「京」のすごさを感じるのとはどんなときですか?

A 便利なものは、使いたずと慣れてしまうのであまり意識しません……。『京』が使えなくなると代わりになるものがないので途方に暮れます。たまたま『京』もトラブルで止まることがあります。学会発表の締め切りなど焦っているときにそうなると、普段の『京』のありがたみを感じ、『京』はやっぱりすごいよね、と思います。

Q 研究とはどんなものですか?

A 僕の考えですが、『これは面白い』というきっかけがあり、次に『なんでそうなるの?』『それを理解するために何が必要か?』と考えて準備する。そして『なるほど』と理解したらそれで終

わりではなく、次なる疑問が出てきて『これはどうなっているんだろう』とまた戻る。これを永遠に繰り返すのが研究だと思います。

Q ポスト「京」の開発について教えてください。

A ポスト「京」では、シミュレーションの結果が出る速度を最大で『京』の100倍にしようというのが目標です。『こんなコンピュータにしよう』ということは決まっています。現在の『京』がある場所に設置するので、いったん『京』を撤去してその後ポスト「京」を搬入することになります。正確な日程はまだ決まっていませんが、設置されるのは1年後か2年後くらいでしょうか。

Q 量子コンピュータの技術をポスト「京」に使用しますか?

A 量子コンピュータのような新しい技術が、もう設計や製造が始まっているポスト「京」に導入されることはありません。でも、これから先、さまざまな技術が進歩していき、その時代で最も効率が高い技術として成熟していけば、『ポストポスト京』といった将来のスパコンに導入される可能性は十分にあると思います。

Q よく使うプログラミング言語は?

A 現在ではC言語やPythonが一般的に使われていますが、計算科学では昔からFORTRANが用いられています。僕は研究において、FORTRAN

やRubyを用いてプログラミングをしています。FORTRANは実行速度が速いため、シミュレーションコードを書くために利用しています。コーディングに比較的時間がかかりますが、他人と共有することで何回も利用することができます。一方、Rubyはコードを書くのが簡単なため、試行錯誤が必要で一度限りのコードとなることが多いシミュレーションデータの解析用プログラムに利用しています。

Q 座右の銘は?

A 座右の銘……というよりも、この言葉は大切なというのは、『少年老い易く学成り難し』です。中学、高校と過ごした寮で夕礼（朝礼の夕方バージョン）があって、そのときにこのフレーズからからはじまる詩吟『偶成』を全員で歌っていたんですよ。今、この言葉は『ほんとだなあ』と実感しています。ぼーっと過ごしていると時間はあっという間に過ぎていくので、その都度その都度、節目で頑張っていくことが大切だと思います。

Q 趣味は何ですか?

A 読書や山登りです。今まで趣味のようなものがなかったので最近始めました。本屋さんで当たり次第に本を買ってきて読んでいます。本を読むことで新しい世界との出会いがあるので、読書は大きな楽しみになっています。山登りは健康のことを考えて始めたものです。来月には、友人と一緒に富士山にも登ってみようつもりです。

インタビュー
終えて

「京」に携わる研究者である西澤さんのお話をお聞きする貴重な体験をさせていただき、大変うれしく思っています。毎日確認する気象予報には、西澤さんのような研究者による予測が欠かせないということに改めて実感しました。高度な研究内容を僕たちにも分かるように丁寧にやさしく説明していただき、本当に勉強になりました。僕たちも、さまざまなことに触れ、趣味をもちたいと思いました。インタビュー後は、実際に「京」を見学させていただき、スケールの大きさを体感できました。最後に、西澤さんをはじめ、企画に関わってくださった多くの方に感謝申し上げます。ありがとうございました。

(取材・執筆 山本雅士、北岡大知、高橋亮介、山口有輝、柴原春輝)

