

## 〈若手女性研究者サイエンスフォーラム及び女子中高生理系進学推進セミナーの記録〉

### 〈開会式〉

司会（吉田朋子 エコトピア科学研究所准教授）：

皆様、こんにちは。

本日は大変お忙しい中、また、ご遠方からもたくさんお越しいただきまして誠にありがとうございます。

ただいまから、「名古屋大学若手女性研究者サイエンスフォーラム」と「女子中高生理系進学推進セミナー」を開催いたします。私は、本日の司会を務めます、名古屋大学の吉田朋子と申します。どうぞよろしく願いたします。

本日のフォーラムとセミナーは、名古屋大学が産官学連携フォーラム（愛知県、名古屋市、愛知県経営者協会、名古屋大学で構成）の共催を得まして開催しております。

では、主催者を代表いたしまして、名古屋大学の藤井良一より皆様に一言ごあいさつを申し上げます。

**藤井良一 名古屋大学理事：**

皆さん、こんにちは。ただいまご紹介にあずかりました、名古屋大学理事で、副総長の藤井でございます。

本日は土曜日にもかかわらず、たくさんの方々に来ていただきまして誠にありがとうございます。主催者を代表いたしまして、簡単にごあいさつをさせていただきます。

名古屋大学では、女性研究者、教員と女子学生の増加が今後の大学の将来を左右する非常に重要なことだと認識しておりまして、そのために今までいろいろな活動をやってきました。たとえば、学内では保育所を東のキャンパスと鶴舞の病院があるところに作りまし、昨年度は大学としては初めての試みですが、保育園の後の学童保育を学内に設置するということを行ってきました。

今、司会の方からご紹介がありましたけれども、学内だけではなく、学外では全国の人たちと共同するとともに、この近辺では愛知県、名古屋市、愛知県経営者協会、名古屋大学が一緒になってフォーラムを結成しております。そして、女性教員の方々や学生さんのキャリアアップの支援を行っているということです。

それから、本年度、皆さんにはあまりなじみがないか

もしれませんが、科学技術振興調整費の女性研究者養成と育成のためのプログラムにも採択されまして、今後ますます女性教員の増加をはかって、頑張っていきたいと考えています。

本年度も昨年同様、二つのフォーラムとセミナーを同時に行うことにしました。昨年非常に好評だったということもあるので、これは理系の大学生、大学院生をエンカレッジすると同時に、女子中高生の皆様に理系の楽しさやすばらしさ、大学の中でたくさんの女性の方々が活躍されておりますので、それを見ていただき、できれば名古屋大学に入学して、理系へ進学していただきたいと考えております。

私も「オーロラ」を研究している理系の研究者なので、いろいろな分野で、非常に面白いことや不思議でわくわくするようなことがたくさんあります。ぜひ理系に進んで勉強していただき、そういうものにチャレンジしていただきたいと思います。

本日の特別講演は、第一線で活躍されている女性研究者の方々に来ていただきました。東京大学の大島先生、本学の森先生と平林先生にサイエンス研究の魅力を存分にお話ししていただこうと思いますので、お楽しみいただきたいと思います。

続きましてはポスターセッションで、女性研究者の方々にご自身の研究を、専門家だけではなく、中高生の皆様にも分かるような形で発表していただきますので、ぜひご参加いただきたいと思います。その中で「総長賞」というのを授与するのですが、皆様方にも投票権がございますので、参加していただきたいと思

それから、本学の女子学生有志グループ「あかりんご隊」の自主的な活動が行われているのですが、それをご紹介いたしますので、ぜひ見ていただきたいと思

本日は非常に限られた時間ですが、身近にいらっしゃる非常に優れた女性研究者の方を見ていただいたり、若手の方々と親睦を深めていただくと同時に、繰り返しになりますが、女子中高生の皆さんにはぜひ理系の魅力を感じ取っていただきたいと思っております。名古屋大学では皆さんの入学をお待ちしたいと思

ております。

以上をもちまして、開会のあいさつとさせていただきます。

司会（吉田）：

どうもありがとうございました。

本日は、東京大学大学院情報学環及び生産技術研究所教授の大島まり先生にご講演をいただきます。講演に先立ちまして、大島先生のご略歴を簡単にご紹介させていただきます。

大島先生は、1992年に東京大学大学院原子力工学科で博士課程を修了され、工学博士を取得されました。1992年4月より東京大学生産技術研究所の助手、1998年に同大学講師、1999年に同大学の助教授になられました。2005年には同大学の教授に就任されまして、2006年より東京大学大学院情報学環の教授と生産技術研究所の教授を兼務されております。

大島先生は大変多くの受賞をされておまして、日本シミュレーション学会奨励賞、大学婦人協会守田科学研究奨励賞、日本機械学会教育賞、可視化情報学会設立20周年功労賞、そして、2010年には文部科学大臣表彰科学技術賞を受賞されております。そのご活躍ぶりは大変すばらしいものであります。

皆さんの中にも大島先生をご存じの方がいらっしゃると思いますけれども、本当にすてきな先生です。大変お忙しい中、本フォーラムのために貴重なお時間を割いていただきました。

本日のご講演題目は、「拡がるエンジニアリングと研究の魅力」です。私自身もご講演を大変楽しみにしております。

では、どうぞよろしくお願いたします。

演題『拡がるエンジニアリングと研究の魅力』

特別講演者：大島まり教授

（東京大学大学院情報学環／生産技術研究所）

大島：

ただいまご紹介にあずかりました、東京大学の大島です。本日は、このような貴重な機会に恵まれ、ご招待いただきましてありがとうございます。

実は、名古屋大学とは非常にゆかりが深く、私の夫が名大出身で、こちらで助教を務めていたのですが、遠距離結婚だったため、名古屋大学にはほぼ1週間に1回は通っていたという時期もありました。ただ、子どもが生まれてからは少し足が遠のいておりましたので、このような形で再び来ることができて、非常にうれしく思っております。

きょうは、「拡がるエンジニアリングと研究の魅力」

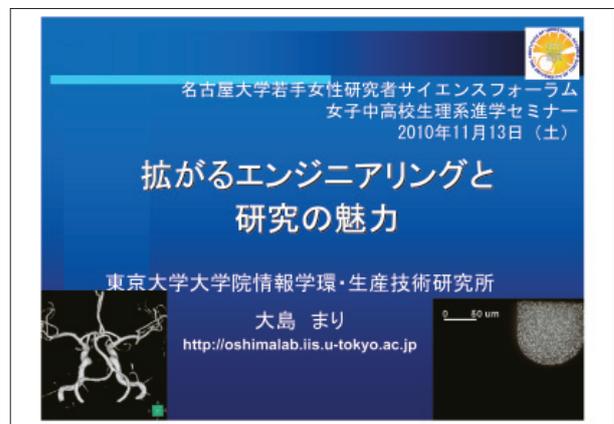
という題目でお話させていただきたいと思っております。

ご紹介にもありましたように、私のバックグラウンドは原子力工学科です。ずっとエネルギー関係の流体の研究をしていました。原子力出身の私ですが、今は血液の流れという医学系の研究を行っています。

原子力から医学系に移行していると思われるとちょっと違和感があるかもしれませんが、いわゆる流れ、流体力学という学問では一貫していますので、そういう学問を含めてエンジニアリングは広がっているということでお話をしたいと思っております。

私の専門は、バイオ・マイクロ流体工学ですが、最近、理科系の進学率が落ちてきているということで、中高生の皆さんの理科系に対する興味、関心がだんだんなくなっているという傾向がありますので、私たちの研究を通して理科系にぜひ興味を持っていただきたくて、科学技術教育にも関わっています。ご覧になったことがあるかもしれませんが、NHK教育テレビの『サイエンスZERO』に、コメンテーターとして、2カ月に1回ぐらい出演しています。非常にいい番組なので、ぜひ機会があったら見ていただきたいと思っております。

きょうはアウトラインとして、このような形でお話したいと思います。やはりバイオといいますと、医学系、生物系と思われがちですが、工学でバイオを研究すると



## アウトライン

- はじめに
- 工学でバイオを研究するとは？
  - 工学と医学のつながりは？
  - シミュレーションとは？
- 循環器系シミュレーションと可視化計測
  - Image-Based Modeling & Simulation  
(患者個別に対応できるモデリングとシミュレーション)
  - マイクロ流体デバイス内の流動計測
  - 今後の展望
- 研究を通しての科学技術教育
- さいごに

というのはどういうことか、言い換えれば、工学と医学のつながりというのはどういうことかということです。私は学生時代から一貫して、シミュレーションという、第3の科学と言われている新しい手法の研究をしています。コンピューターは今では、研究には欠かせない道具になっていますので、シミュレーションとはどういうものかということと、シミュレーションを使ってどういうことができるかということ、研究内容の紹介をしながらお話ししていきたいと思えます。

まず研究の紹介として、私がこういう研究をはじめた第一のきっかけは、ある脳外科の先生との出会いです。私は流体力学をずっと研究していたのですが、ある日、一人の脳外科の先生から、「脳動脈瘤という脳の血管にこぶができる病気がある。それには血液の流れが関連しているから、ぜひそれを一緒に研究してみないか」という提案を受けたのです。私自身は、血液の流れが病気と関連するということが最初はあまり分からなかったのですが、いろいろ調べていくうちに関連しているということが分かって、1990年代の中盤ぐらいから、方向転換をしてこの研究を始めました。

アメリカでも1990年代に、コンピューターを使った数値流体力学を血液に応用する研究が少しずつ始まり、ちょうど黎明期でした。そういうこともあり、非常に面白い分野だということで、研究を始め、今日に至っています。やはり流体力学だけではなくて、そこに生理学的な要素、つまり人間の体ですから物理だけではなくて化学や生物などいろいろな要素も入ってきていますので、それらを絡めながら研究をすると、非常に面白い分野だと思っています。

まず、その研究のバックグラウンドとしてどういうことが言えるかをまとめてみます。

日本人の三大死因として、「がん」は30%、「心疾患」・「脳血管障害」の二つを合わせると29%で、この二つは循環器系の疾患と言われていて、ほぼ「がん」に匹敵する死因になっています。

## 研究の紹介 - 血液の流れの研究

**日本人死因分類**

- ・がん(悪性生物) 30%
- ・心疾患 16%
- ・脳血管障害 13%

閉塞性: 脳梗塞(脳血栓・脳塞栓)  
 出血性: くも膜下出血・脳出血

→ 動脈硬化症が主要因  
 → 脳動脈瘤の破裂

循環器系疾患

血液の流れが重要な役割を果たしている

厚生労働省, 人口動態調査 (2004)

私は今、脳外科の先生方と一緒に研究することが多いので、扱う病気としては、首から上の病気が多いです。脳血管障害は閉塞性と出血性に大体分かれていますが、閉塞性としては「脳梗塞」があります。一方、出血性には日本人に非常に多く見られる「くも膜下出血」という病気があります。これは血管にこぶができて、それが破裂する病気です。脳梗塞にしても、くも膜下出血にしても、血管が病気になっていくのですが、たとえば脳梗塞では、一番の要因は動脈硬化症です。首の頸動脈が動脈硬化症になり、そこから血栓や塞栓が飛んで脳の血管を詰まらせたりすることで発症します。それから、くも膜下出血は、脳動脈瘤という脳の比較的太い血管にこぶができて、その血管が破裂して起こります。血管が何らかの要因で病気になるのですが、血液の流れと非常に密接な関係があると言われています。

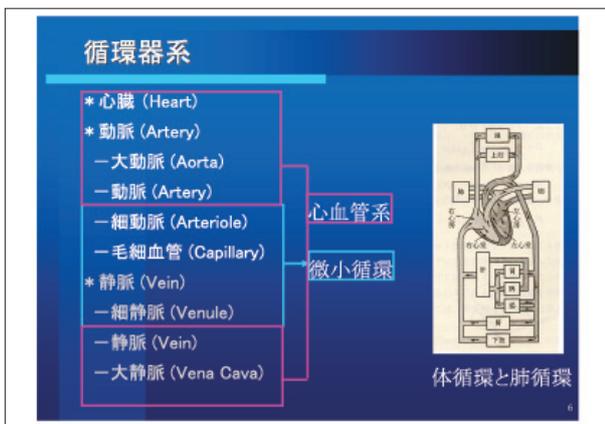
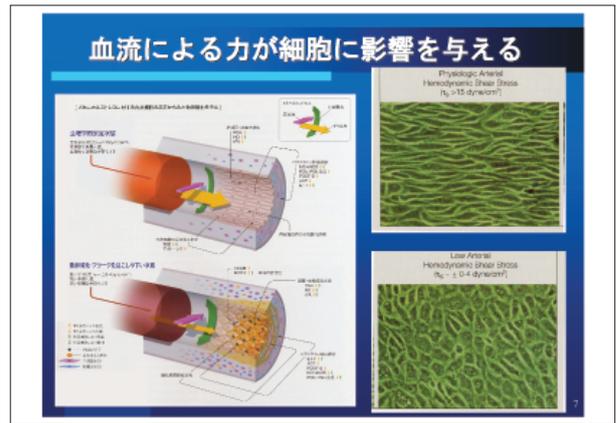
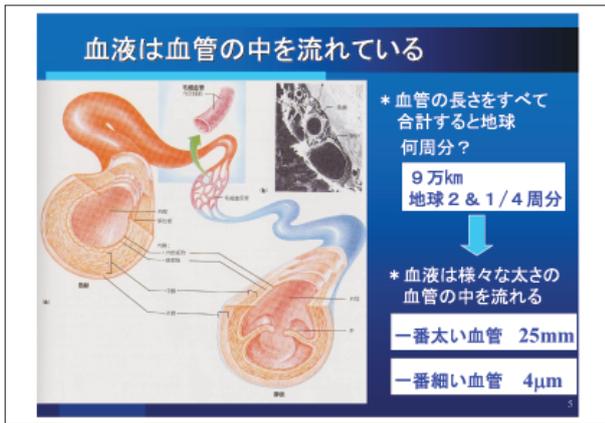
血液は実際に私たちの体を流れていますが、人間の体の中にある血管を全部取り出して、それを一列に並べると大体どれぐらいの長さがあるかというと、9万kmです。地球の2周と4分の1周分の血管が私たちの体の中に張り巡らされています。

ここに血管の断面図が描いてあります。大まかに、動脈系と静脈系に分かれています。また、血管はいろいろな大きさがあります。一番太い血管は、心臓からすぐに出る血管で大動脈と言われていて、大体25mmぐらいです。一番細い血管が、4~5μmと言われている毛細血管です。人間の髪の毛が大体80μmですからほとんど肉眼では見えませんが、その中にも血液が流れています。

やはり、太い血管の中の血液の流れと毛細血管の中の血液の流れは全然違います。そういう二つのスケール(太さ)による物理現象を、どういうふうに見ていくということが非常に大切な観点になってきます。

循環器系は、大まかに、比較的太い血管、動脈や静脈、心臓から出て心臓に戻って、肺で浄化されてまた肺に戻るというループになっています。

約100μm以上の、髪の毛ぐらいの太さの血管は心血



管系と言われていて、それよりも細い、 $100 \mu\text{m}$ 以下のものは微小循環系と言われます。これによって、血液の流れがどのように流れるか、大きく分かります。

基本的にどのように分かれるかという、血液というのは赤いですが、赤色は赤血球があるので赤色になります。血管のサイズが小さくなりますと、赤血球の大きさが大体  $8 \mu\text{m}$  なので、 $100 \mu\text{m}$  ぐらいの血管では赤血球のサイズの影響が出てきてしまいます。そのため、血液を普通の流体としてではなく、流体の中に粒が入っている流体、私たちは「混相流」と言いますが、マイクロの中での混相流として取り扱わなければならないのです。

それによって、どういうことが起こるかという物理現象も変わってきます。それが一つ、血液を考えると重要な観点です。

では、これが病気とどのように関係しているかということです。病気との関連は最近、いろいろなことが分かってきています。血液が血管の中を流れると壁をこする力がかかります。血管の壁には内皮細胞という細胞が敷き詰められていて、血液が流れることによって、内皮細胞に刺激を与えます。上の図が正常の場合で、下の図は低い場合の内皮細胞の細胞の形を表しています。見ていただくと分かるかと思いますが、全然形が違います。

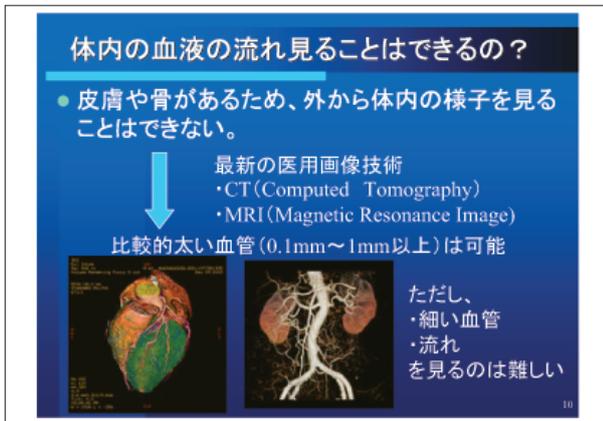
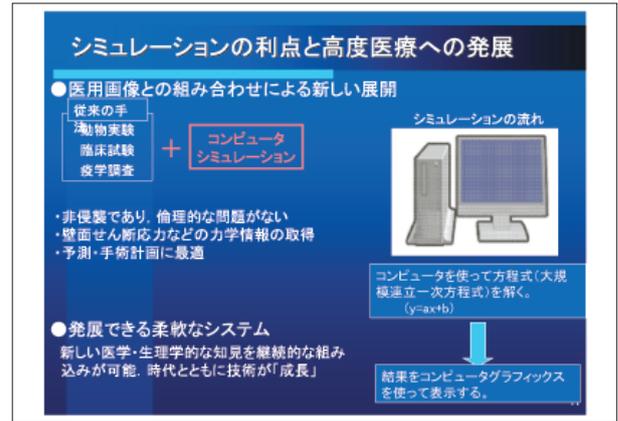
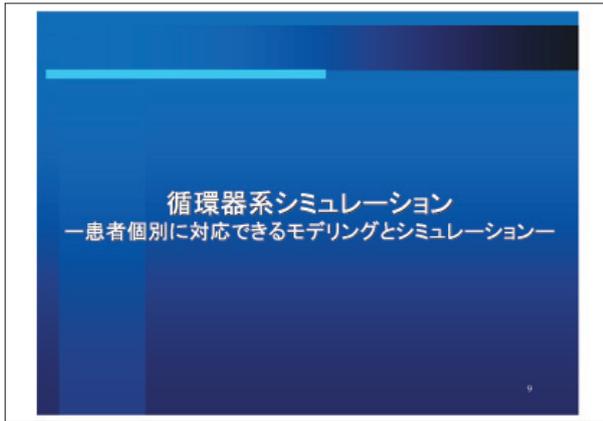
内皮細胞というのは流れに沿った配向性があり、このように敷石状に並びます。しかし、流れが非常に遅かったり滞ったりすると、その敷石状に並んでいる内皮細胞の細胞の形が崩れてきてしまうということが分かっています。

細胞の形態と細胞が持っている機能は非常に密接な関係があります。細胞がきちんとした形になっている場合には、たとえば悪玉コレステロールが血液の中から血管壁の中に浸透していくときに内皮細胞がある意味でフィルターの役割をし、正常に働いているのです。

ただ、それがこの下の図のように乱れてくるとフィルターの役割がうまく機能しなくなって、LDLと呼ばれる悪玉コレステロールが血管壁にたまってきてしまうのです。これがたまりはじめると、今度は酸化して、動脈硬化症が次第に進展していくということが分かっています。

このように血液が流れることによって起こる力、こする力を細胞に与えるということが大事であるということが分かってきて、それをどのようにとらえていくということが重要になってきています。

血管は外からはなかなか見ることができないので、血液の流れる力をどうやって把握していくかが重要であり、私の研究に結びつきます。研究としては、先ほど申



体内の血液の流れが病気と関連するという事は申し上げましたが、血液の流れをどうやって把握するかということが重要です。皮膚や骨がありますので、体の中を流れている血液を目で見ることはできません。ただ、最新の医療用画像技術、たとえばCTやMRI、皆さんも名前は聞いたことがあると思いますし、もしかしたら実際にこれで医療用画像を撮られたこともあるかもしれませんが、このような技術を使うと、体内の臓器などを見ることができます。

上げたようなシミュレーション、コンピューターを使って計算するという事と、シミュレーションをした結果がその現象をきちんと表しているということを証明しなければなりませんので、それを実験によって証明するという、この二つ（シミュレーションと実験）のアプローチからバイオマイクロの流れを解明しています。このような研究を通して、医学的な意義、工学的な意義の二つを追及しながら、この二つのアプローチを通してバイオマイクロの流れを解明するという研究を進めています。

ただ、比較的太い血管は見ることはできますが、細い血管や流れている物を見るのは難しいです。そこで医療用画像とコンピュータシミュレーションを組み合わせることによって、体内に起こっていることを再現しようというのが私の研究になります。

「in vitro」というのは「体外」という意味で、「体内」は「in vivo」といいます。「in vivo」はいろいろな個体差があり、何が影響し合っているかということを経験して実験するのはなかなか難しいです。一方、「in vitro」は、体外に体内と同じような状況を再現して、それをコントロールすることによって実験するという事です。

「非侵襲」というのは体を切り開かなくてもいいということです。従来の動物実験ではどうしても倫理的問題がありますので、コンピュータシミュレーションと組み合わせることによって動物実験の回数も減らすことができますと考えられています。

このことによって同じ実験条件とコンピューターでの解析ができますので、両方を比較してどういうことが起こっているかということを確認できるという利点があります。

それから、壁面剪断（せん断）応力などの力の情報を得るということは実験的にはなかなか難しいですが、コンピュータシミュレーションを使うと把握することができます。これからいろいろ結果をお見せしますが、コンピュータグラフィックスを使うことによって、どういうことが起こっているかということを目にもきちんと把握ができるということです。

では、研究の一端である循環器系のシミュレーションを紹介したいと思います。

また、もう一つの特徴は、予測や手術計画に最適だということです。シミュレーションで一番皆さんの身近にあるのは天気予報です。今は非常に技術が進んでいて、1週間の天気予報も出てきます。今ある状態から条件が変わってきたときに、どういうことが起こるかということがコンピュータシミュレーションを使って予測できるのです。

また、バイパス手術にはいくつかのやり方があり、どのバイパスが最適であるかは患者さんの状態によりま

す。たとえば、A、B、Cの三つのバイパス手術があった場合に、コンピュータシミュレーションをすることによって、術後どのような血液の流れが起こるかということを知ることができます。そのため、患者さんにとって最適な手術手法なども提案でき、予測や計画に非常に有効です。

実は、こういう技術は工学の分野で多く用いられている手法です。そういう手法を医学にも応用したいということです。

シミュレーションというのは、コンピュータを使って計算をするということです。たとえば中学校で「 $y = ax + b$ 」の連立一次方程式を習います。これは「 $x$ 」と「 $y$ 」の関係は一つしかないので手計算で解けますが、「 $x$ 」が何億個にもなると、それに対して $y$ がどのように変化するかは手計算では解けません。そこで、コンピュータを使って計算します。これがシミュレーションです。そこに至るまで、数学的あるいは物理的な方法により膨大な数の一次方程式を作ります。私たちはこれを「大規模連立一次方程式」と言っており、コンピュータシミュレーションで解くということを行っています。

実際に、患者さんのデータを使ってシミュレーションした結果をいくつかお見せしたいと思います。

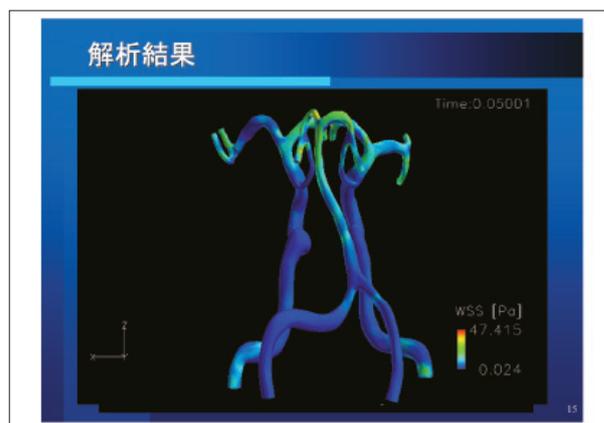
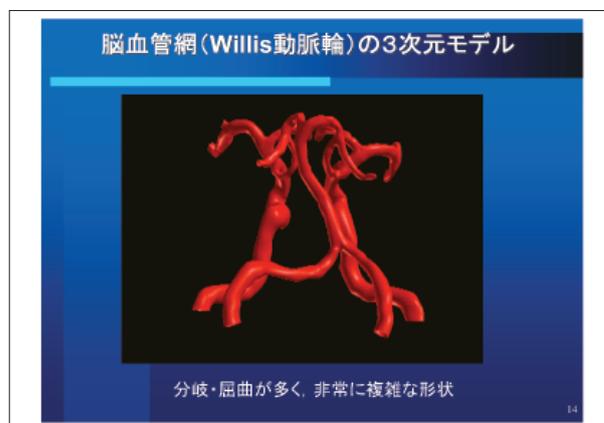
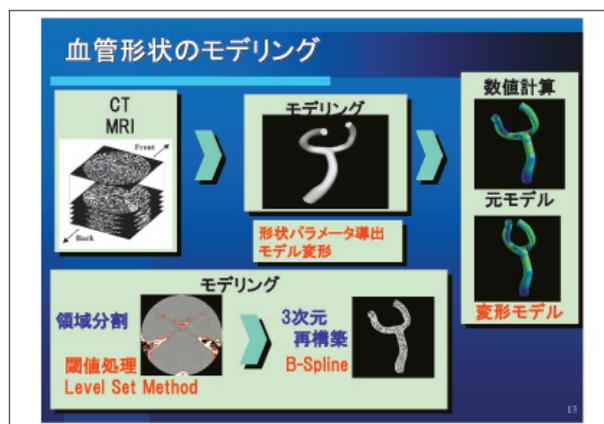
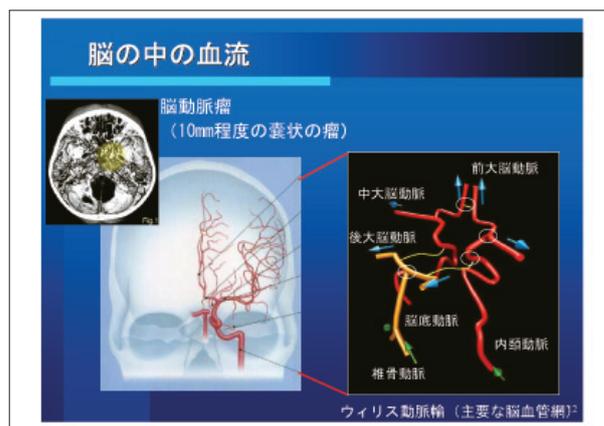
これは脳血管の図です。このように環状になっています。頸動脈、ちょうど首の左右から頭蓋内に前から入っていく血管と、その後ろの椎骨からこの図のように入ってくる血管が合流して、環状の動脈を形成しています。これはウィリス動脈輪といい、脳にとって非常に重要な血管網です。

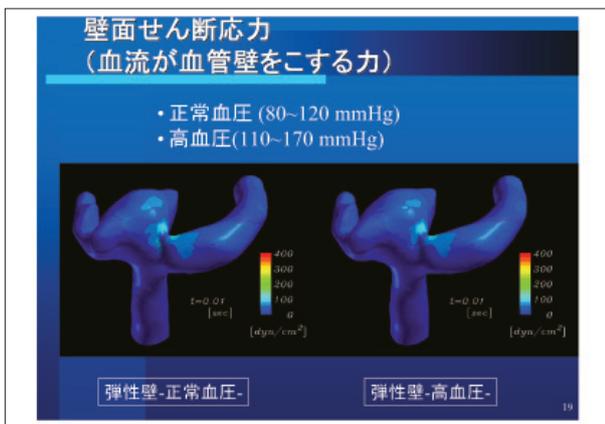
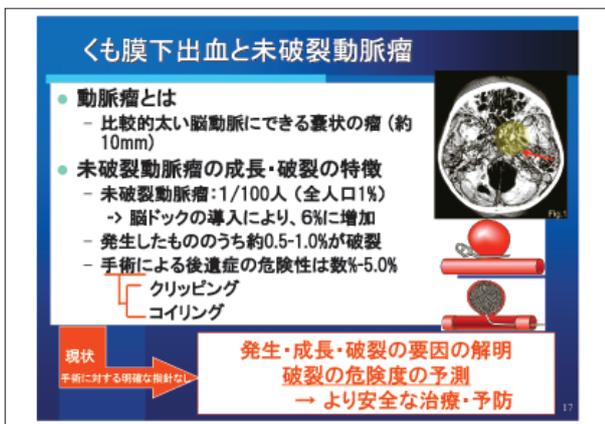
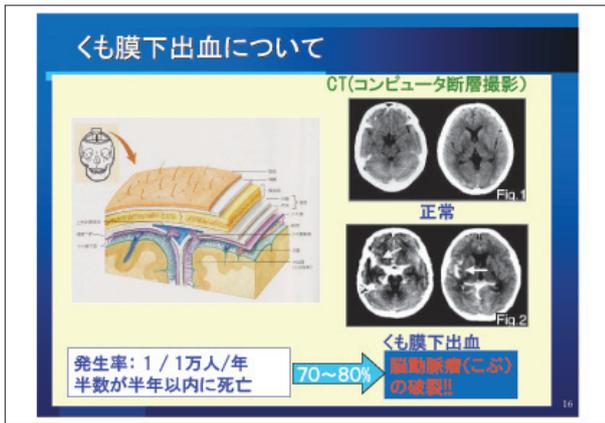
この血管網ではやはり病気も多く起こります。動脈硬化症を起こしたり、今ちょうど丸印(○)が出ていますが、これらの箇所には動脈瘤というこぶがでたりします。

これをコンピュータ上に再現するわけですが、CTやMRIというのは断層写真です。見て分かるかと思いますが、いろいろな情報が入っています。この情報から必要な部分を取り出すということを行います。今ちょうどピコピコ動いてますが、これは全部形状を関数で表現しています。たとえばこの角度を少し変えようといったときにも、数式で全部表されていますので、角度の変化が自由にできるということです。

そういう技術を使って再現したのが、この図に示されたウィリス動脈輪です。これは実際に患者さんのデータを使っています。

では、この患者さんに対して脳血管の中の流れがどうなっているかを示したのがこの図です。今、ちょうどパーティクルが動いてますが、このように非常に複雑な形状をしていますので、流れが渦を巻いたりしている様





子も見ることができます。残念ながら、MRIなどではここまで詳細に見ることはできません。

また、力は基本的には計測できませんが、たとえばこういう箇所では壁面剪断(せん断)応力が高くなっているというような様子も見ることができます。

次に、くも膜下出血の原因になっている動脈瘤に関連したシミュレーションの結果をお見せしたいと思います。

くも膜下出血は、脳にくも膜下腔というすき間があり、そこには血管が張り巡らされていて、その部分にある血管が破裂して起こります。正常な人がくも膜下出血を起こした場合には、このような出血が見られます。くも膜下出血は、実は世界的な統計では、日本人が一番多く見られます。次にフィンランドで、アメリカが3番目です。国人口に対する死亡率では、日本はアメリカの約4倍と報告されています。発生するのは1万人に1人ですが、半数が半年以内に亡くなり、25%の人は何らかの後遺症を持つという非常に重篤な病気です。

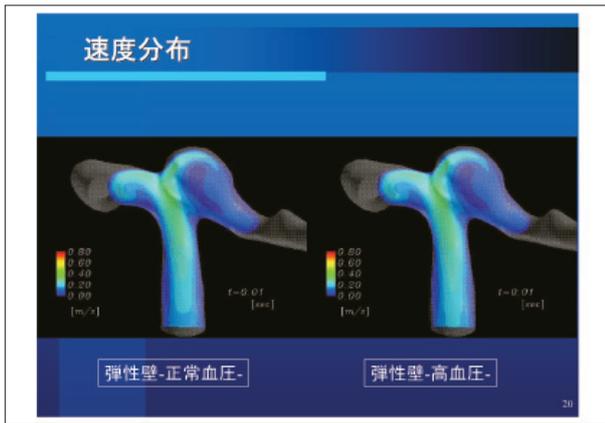
くも膜下出血の70~80%の要因が動脈瘤の破裂によるものであると言われています。大体1cmぐらいのこぶができます。こぶは100人に1人の割合で持っていると言われており、動脈瘤による死者数は、交通事故の死者数よりも多いです。皆さんはまだお若いですから大丈夫ですが、くも膜下出血は30代後半から50代の女性に多いと言われてるので、私も統計上は危ない年齢になっています。

発生したこぶのうち、どれぐらいが破裂するかというと、0.5~1%です。多くの瘤が破裂するというわけではありません。ただ、破裂すると非常に重篤になるので、危ないということです。

手術は、クリッピングといって、脳を開頭してクリップをかけるという手術をしたり、コイリングといって、非常に細かい白金や針金のようなものを詰めるという方法があります。これらの手術で亡くなったり、何らかの後遺症が残る危険性が数%あり、手術をするのにも危険が伴うということから、このような判断にコンピュータシミュレーションで得られたもので補完できないかということで、研究を進めています。

これは、59歳の女性の動脈瘤です。動脈瘤の破裂は高血圧の方に一番多くみられます。シミュレーションのいいところは、血行動態の予測ができることだと申しあげましたが、これは正常血圧の場合で、これは高血圧の場合ですが、動きも違いますし、力も全然違うということが分かります。

動脈瘤はこのようなどころから破裂するということが分かっています。高血圧の人と正常血圧の人を見ると、同じように低くなっています。ただ、今言われているの



は、勾配が非常に大きいところで破裂しやすいと言われていて、やはり高血圧の人は正常血圧の人に比べると、色のコントラストが非常に大きいことが分かります。ですから、こういう場合にはこの部分で破裂しやすいということが分かります。

この患者さんは実際にこの後、破裂してしまいましたが、大事には至らなかったと聞いています。

これは血流の状況です。力というのは、流れの状況とも密接に関連しています。この患者さんは動脈瘤がちょっと横に付いてますので、形の影響により、ここに流れが当たり、その部分を中心に非常に大きな渦ができます。実際に、シミュレーションをすることによって詳細な血行動態が分かります。

最後に、ご紹介させていただきたいのは、研究を通しての科学技術教育です。研究というのはなかなか分かりにくい側面があります。しかし、皆さんが中学や高校で習っている数学や理科の延長なのです。そして、実際に身近なものに利用されています。それがどのような形で利用されているかを実習などを通して理解していただくという試みを行っています。たとえば、CTの画像はどのように撮られていて、どのようにコンピューター上に表示されるのかということ、デジカメや野菜を使ってコンピューター上に再現するという出張授業を行っています。これは某女子校へ行ったときの出張授業の様子です。野菜を使います。ここでやっているのは、まだ準備段階で、これは医療用画像から必要な部分を抽出するときに、このようにコントラストを付けると非常に抽出しやすいということから、このような作業を行っています。

CTの場合はX線を使って体の断層写真を撮りますが、ここでは包丁を使って断層写真を作っています。CTやMRIの画像もデジタル画像なので、デジカメでデジタル画像を撮影します。これは本当に身近な、携帯にも付いているようなものです。それを使って断面を撮ります。そして、セグメンテーションと言われる臓器を取り出す



**科学技術と最先端研究**

科学技術の発達を支えているのは

**研究**

真理を探究と社会に役立つ技術の創造でも、研究って複雑で専門すぎてわかりにくい

しかし、実は

- 高校で勉強している数学や理科の延長
- 身近なものに利用されている

**アウトリーチ活動**

**身近にあるものを使って実験してみよう！**

デジカメと野菜を使ってコンピューター上に野菜を再現！

CT装置の仕組みや画像処理について学習

## 出張授業の様子



【手順】  
準備  
切って撮影  
必要な部分の取り出し  
写真の積み重ね  
結果を見る

文部科学省SFF DVD  
デジカメでわかるCTスキャンのしくみ

31

という作業が入り、これにより断層画像を3次元に積み重ねていき、コンピューター上に3次元状の物体を再現するということになります。

このため、いろいろな角度や切り口から、CTなどで見られるような画像を見ることができます。このように、実際に体験してもらおうということを出張授業を通して行っています。

私はずっと工学部におりました。大学では「エンジニアリング」という概念が出てきます。

エンジニアリングというのは、社会、そして、それを支えるものの仕組みを創造する学問で、ある意味でライフサイクルの創出にもつながる学問だと思っています。また、工学部だけに限らず、現在はいろいろな研究が多様化しています。私は機械工学科に所属していますが、医学部の先生とバイオの研究をしているというように、研究が学際的になっています。それから、文理融合ということで、文系の分野でも理系の素養が必要になってきています。

また、女性研究者として思うことは、研究者のメリットというのは国際的に活躍できる「オンリーワン」であるということです。論文や特許など、ある程度自分で成果が出せるという特徴があると思います。国際学会などに参加し、海外でも活躍できるということです。

男女関係なく、研究者に必要なことは、体力、プロデュースするマネジメント能力、これらが今後必要になってきます。知力は最低条件で必要ですが、実は体力も重要です。ですから、ぜひ体力をつけてください。

やはり与えられた仕事をやるだけではなくて、自分で作り出すという力も必要になってきます。それから、組織で研究するという機会が多いので、マネジメント能力も必要になります。

これは女性に特に言いたいのですが、昔は選択を迫られる場合が多かったようですが、今は継続ができます。ぜひ自分がやりたいことを継続していただきたいと思います。

## さいごに

32

## 大学そして大学に先にあるもの

- Engineering(工学)とは
  - 大学で初めて出てくる概念
  - 社会そしてそれを支える"モノ"の仕組みを創造する学問
  - ライフスタイルの創出
- 多様化する研究領域
  - 学際的
  - 文理融合



33

## 研究者そして女性研究者として思うこと

- 研究者のメリット: 国際的に活躍できるOnly One
  - 論文や特許などの自分の成果を出せる。
  - 学会などで海外で活躍できる→国際交流
- 研究者に必要なこと
  - 体力
  - プロデュース能力
  - マネジメント能力
- 「選択しないとイケない」から「継続」へ
- 助け、助けられる関係を築く
  - 共同体としての社会形成
  - 人(縁)のつながりが大切
- やれるときにやる！
  - 人生イロイロ(子育て、介護...)何が起きるかわからない

34

## ご清聴ありがとうございました。



35

あとは、やれるときにやる、ということです。人生はいろいろあります。子育てがあつたり介護があつたりしてなかなか思うようにはいかないものです。学生時代は一番勉強ができるときなので、ぜひ勉強していただきたいと思います。

この写真は、私の研究室のメンバーと夫と子どもです。

ご清聴ありがとうございます。

司会（吉田）：

大島先生、どうもありがとうございます。大島先生はこの後のポスターセッションにも残っていただけます。時間が少し押しておりますので、ご質問はそのときをお願いいたします。

では、特別講演の2件目に移らせていただきたいと思ひます。

次にお話しいただきますのは、名古屋大学大学院理学研究科の教授、森郁恵先生です。講演に先立ちまして、森先生のご略歴を簡単にご紹介させていただきます。

森先生は、お茶の水女子大学理学部において修士課程を修了された後、ワシントン大学において博士課程を修了され、Ph.D.を取得されております。名古屋大学におきましては、2004年から理学部教授として研究に当たっておられます。

森先生につきましても非常に多くの受賞がありまして、その中からいくつかご紹介いたしますと、1996年の日本遺伝学会奨励賞、2006年には猿橋賞と井上學術賞をダブル受賞されております。

大変エネルギッシュな先生ですけれども、お話ししていますととても気さくな先生であります。きょうも非常にエネルギッシュで面白いお話が聞けるのではないかと楽しみにしております。

では、よろしく願いいたします。

## 演題『1ミリの生物の研究から脳のしくみに迫る』

特別講演者：森郁恵教授

（名古屋大学大学院理学研究科）

森：

ご紹介ありがとうございます。

それから、中学生の皆様、高校生の皆様、こんにちは。名古屋大学の森郁恵でございます。たまに、高校の出前授業にもいっておりますので、そこでお会いした方もいらっしゃるかもしれません。

同じ話をいつもしているのですけれども、1ミリの生き物を使って、我々は脳のしくみを解き明かそうと研究をしております。

これは非常に分かりやすいかと思つていつも出す例で

すけれども、たとえばレストランに行ってメニューを見て何にしようかなあと皆さんも選ぶと思います。選んで注文する、そういう流れが書いてあるのですけれども、これは科学的に言うと、メニューを見るというのは目で見ます。視細胞といて、目の網膜のところにある光を感じる神経細胞ですが、それで見ています。それで見ていることによって、脳のところ過去に何を食べたという記憶が呼び起こされます。これはおいしかった、これはおいしくなかったとか口に合わなかったということと照合しています。照合していて、二つぐらい候補があり、迷ったりしながら、結局は友達の意見に流れてみたり、「私はこれだわ」と言つて決めたりして、「これにします」と言つて注文します。

そして、これに書いてあるように、「メニュー」を見るという光の刺激、この場合は網膜にある視細胞（感覚器官）なのですけれども、それでキャッチし、脳の中で過去の記憶なり何なりと照合して「これが好き」、「これは嫌い」ということを思い出してみたり、あるいは記憶とか学習には関係なく、本能的に「これはいや」という味もあります。

そして行動に移すということを我々は無意識のうちに、おそらく24時間、睡眠中でもやっていると思ひます。

人間の場合、脳の神経細胞の数は千億個あると言われております。それにプラスして、脳の神経細胞をサポートする役割をするグリア細胞というのがあり、それは脳の神経細胞のおそらく100倍あると言われております。それがこれからお話しする神経回路を作つて、コネクションをしていて、そこにいるいろいろなことを情報処理していきます。そういうことがあるので我々はこういうことができるということです。

日本で宣伝したいのが、この「線虫C. エレガンス (C. elegans)」という1ミリの生き物なのですけれども、「脳神経系の研究に適しているの?」と思われるのですが、これは大人ですけれども、男であり、女であると。卵子和精子を両方作り、自家受精をします。

ですから、これは基本的に雌雄同体なのです。1個体が300個体の子どもを3日で産みます。300が300を産み、また300が300を産むということで、ねずみ算式にすごく大きな数が増えていき、実験も進むし、いろいろなことも早く進むということです。

「体長1ミリ」と書いてありますが、線虫というのは線形動物で、カイチュウ（回虫）とかギョウチュウ（蛭虫）の遠い親戚です。しかしながら、37℃では生きず、死んでしまいます。和名がありませんけれども、我々が使っているC. elegansというのは、これはモデル動物として使われていて、土の中に住んでいます。近い将来、

名古屋大学のキャンパスの中から、線虫がいるかどうか調べてみたいと考えております。

体が透明で、1個の受精卵から細胞が2個になり、4個になり、8個になり…というのを全部見た人がいて、最終的には959個の細胞から体ができているということも分かっています。その959個のうちの302個が神経細胞です。神経細胞は英語で「neuron」と言われておりますので、私はたぶん「neuron」とつい言うってしまうかもしれません。

それから、ゲノムというのは皆さんも聞いたことがあると思うのですが、生き物の中で大腸菌とかそういうのではなく、多細胞生物の中で最初にゲノムが解読された、すべて決定されたのがこのC. elegansです。

それを見てみると、約1万8千、あるいは、2万個の遺伝子を持っているということが分かりました。これが1998年です。その後、線虫でゲノム解析を出したチームがヒトの遺伝子の解析に移りまして、6年間でヒトのゲノムを解析し、約2万から3万弱あると言われていま

す。この1万8千個の遺伝子とヒトが持っている2万個の遺伝子は、非常によく似ています。こんなに小さい、「これ、何なの」というものからヒトまで、非常に共通した原理があるというように考えざるを得ない。進化の過程でそのように我々は考えて、これをモデル動物として脳神経系の研究をしているということです。

これは宣伝なのですが、小さな生き物から大きな発見ということで、ノーベル賞受賞者がたくさん出ています。それは2000年に入ってからなのですが、2002年にまず、ノーベル医学生理学賞を線虫研究者の3人が受賞しました。それは先ほど申し上げたように、1細胞が2になって、各々が2になるので4個になり、8個になりというのを全部決めた人がいます。その人の関連で、細胞の中には死ぬために生まれてくるものがあるということを発見しました。これに対してノーベル賞を受賞したということです。

それから、2006年に2人受賞しております。名古屋大学に関係されている下村先生が受賞されたときは、GFP（緑色蛍光タンパク質）の発見と応用で受賞されたのですが、そのときにはほかに2人の方も受賞されています。そのうちの1人が線虫の研究者です。

これが最初の3人で、シドニー・ブレナーという人は、DNAの二重らせんで有名な「ジェームズ・ワトソンとフランシス・クリック」のクリックの親友でした。まだご存命ですけれども、80代です。この方がC. elegansを1960年代に選んで、「今後、発生、生物の形作り、神経系がどう動いて我々が生活できるかという問題に取り組むためにはこの動物を使うべきである」と言っ

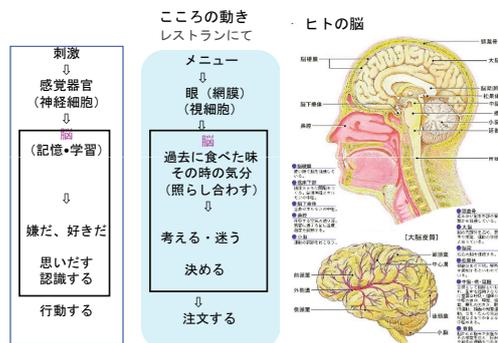
## 1ミリの生物の研究から 脳のしくみに迫る

森 郁恵

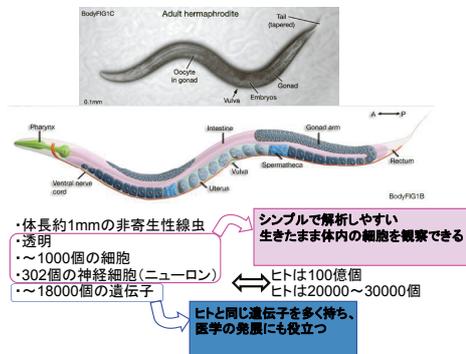
名古屋大学 大学院理学研究科  
生命理学専攻  
分子神経生物学グループ

November 13, 2010

### 脳は「こころのいとなみ」をつくりだす



### 線虫C. elegans: 脳神経系の研究に適している



### 小さな生物の研究から大きな発見

#### ノーベル生理学医学賞

- \* 2002年受賞者：線虫研究者3人  
「細胞の中には、死ぬために生まれてくるものもある」  
線虫からヒトまで同じ仕組み（生き物の形作りのからくり）
- \* 2006年受賞者：線虫研究者2人  
「RNA干渉の発見と応用」  
線虫からヒトまで同じ仕組み（遺伝子の調節のからくり）

#### ノーベル化学賞

- \* 2008年受賞者：線虫研究者1人  
「GFPの発見と応用」  
細胞やタンパク質の標識と医学への応用

て、この人が10年かかってC. elegansの遺伝学を確立しました。

ちなみに、雌雄同体だけだと、掛け合わせができないから遺伝学はできません。たまに雄が出て、雌雄同体の卵子と雄が作る精子と受精をするので、メンデルの遺伝学というのができます。

それからロバート・ホロビッツという方はマサチューセッツ工科大学 (MIT) の教授です。

そして1個の細胞が分裂する様子を8年間観察した人がジョン・サルストンというイギリス人です。2002年にジョン・サルストンはノーベル賞をもらったのですが、日本分子生物学会というのがありまして、1998年に我々は会員なのでそこへ行って、ジョンが来たというので記念写真を撮りました。ちょうど1998年というのは、私が名古屋大学に来て、研究室を助教授として持った年です。

ちなみに、私はアメリカで学位を取りました。アメリカの先生のボブはジョンの親友で、ゲノム解析をするに当たり、ボブはアメリカにいて、ジョンはイギリスにいて、毎日国際電話をしていました。やるべきか、やるのをやめようか、どうしようかと毎日のように電話をしていて、そのころに私は帰国しました。

2006年に受賞したのがRNAiという、RNAを入れることによって遺伝子をノックダウンするという技術を開発したアンドリュー・ファイアーとクレイグ・メローです。この世代は私と同じ世代なので、よく言うわけですが、「アンディがノーベル賞をもらうんだったら、私ももらえるよ」と思ってしまうぐらいの非常に親しい人で、クレイグのほうがちょっと年下で、弟みたいな感じの人です。アンディに「郁恵、日本に帰って何やるの?」と言われたので、「神経をやる」と言ったら、「僕、そんな複雑なことはできない」と言っていました。でも、ノーベル賞受賞して新聞の1面に出ているのを見たら、顔に貫録が出てきたという感じで、「アンディも偉くなったなあ」と思いました。

これがGFPですけれども、これは下村先生で、これがロジャー・チェンという光のことで有名な人です。これがマーチン・チャルフィーで、昔から線虫をやっていて、線虫において神経系を立ち上げた方です。

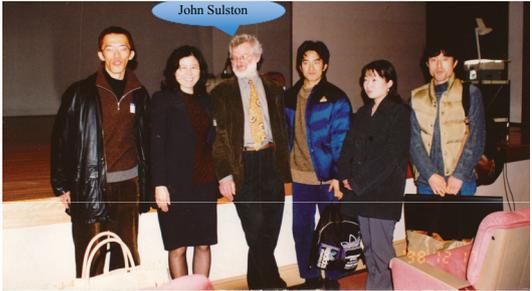
2009年3月にC. elegansの神経回路と行動についてのカンファレンスがあったのですが、マーチンは2008年の12月にノーベル賞を受賞しています。ですから、受賞後3か月後ですけれども、普通にカンファレンスに来て、普通にここにいました。アメリカでは「Next speaker is Martin Chalfie, please.」みたいな感じで、ノーベル賞を受賞したことは全然関係なく、普通の感じで淡々と進んでいきました。

 **The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2002**

"For their discoveries concerning "genetic regulation of organ development and programmed cell death"



<b>Sydney Brenner</b> 1/3 of the prize United Kingdom The Molecular Sciences Institute Berkeley, CA, USA b. 1927 (in Union of South Africa)	<b>H. Robert Horvitz</b> 1/3 of the prize USA Massachusetts Institute of Technology (MIT) Cambridge, MA, USA b. 1947	<b>John E. Sulston</b> 1/3 of the prize United Kingdom The Wellcome Trust Sanger Institute Cambridge, United Kingdom b. 1942
---	---	--



**John Sulston: 2002年 ノーベル生理学医学賞**  
ブレナーLabの博士研究員  
サンガーセンター元所長(イギリス)  
ヒトゲノム計画(with Robert Waterston)



1998年12月  
分子生物学会  
バンフィコ横浜

 **The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2006**

"For their discovery of RNA interference - gene silencing by double-stranded RNA"



<b>Andrew Z. Fire</b> 1/2 of the prize USA Stanford University School of Medicine Stanford, CA, USA b. 1959	<b>Craig C. Mello</b> 1/2 of the prize USA University of Massachusetts Medical Worcester, MA, USA b. 1960
---	--

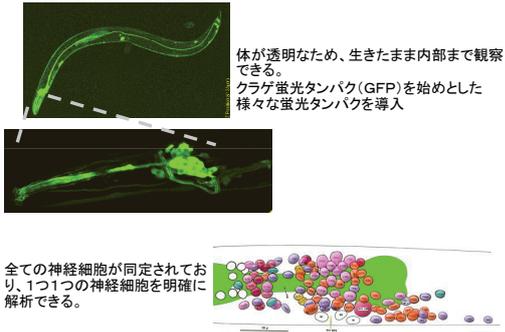
 **The Nobel Prize in Chemistry 2008**

"For the discovery and development of the green fluorescent protein, GFP"

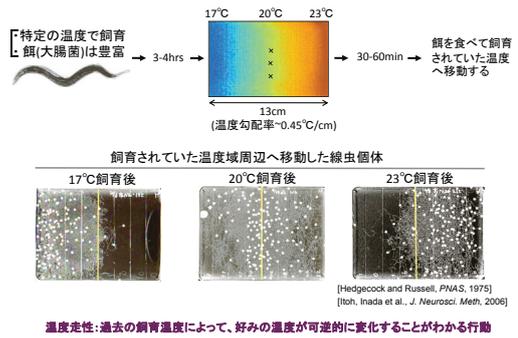


<b>Osamu Shimomura</b> 1/3 of the prize USA Marine Biological Laboratory (MBL) Woods Hole, MA, USA Boston University Medical School Boston, MA, USA b. 1928 (in Kyoto, Japan)	<b>Martin Chalfie</b> 1/3 of the prize USA Columbia University New York, NY, USA	<b>Roger Tsien</b> 1/3 of the prize USA University of California San Diego, CA, USA Howard Hughes Medical Institute b. 1952
---	--	---

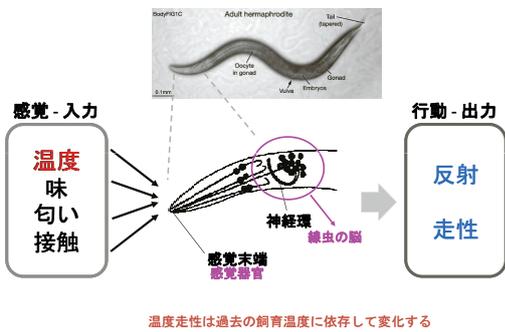
*C. elegans*の神経系



温度走性行動テスト (直線状温度勾配)



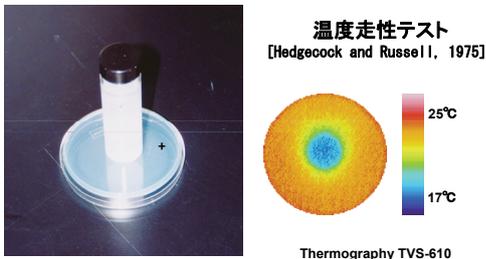
*C. elegans* は さまざまな刺激を受容して応答する



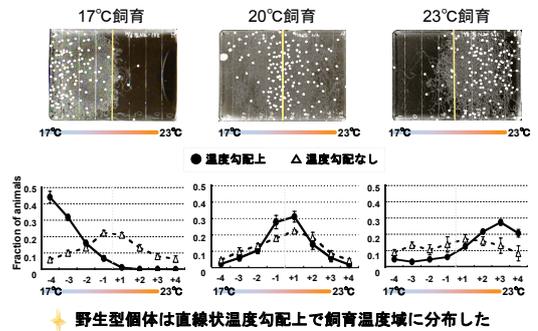
線虫の温度走性行動の研究

学習や記憶の原理をつきとめる研究に適するシステム

温度走性行動テスト (放射状温度勾配)

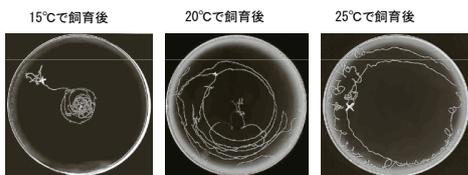


直線状温度勾配上における野生型個体の分布



線虫 *C. elegans* は過去の飼育温度を記憶できる

餌(大腸菌)を十分与えて飼育  
温度勾配のある寒天培地上に置き  
1時間程度、自由に行動させた時の線虫が移動した軌跡



温度勾配上で過去の飼育温度に移動する

温度走性に必要な遺伝子をつきとめる

線虫の温度走性行動の研究

学習や記憶の原理をつきとめる研究に適するシステム

マーチンに日本に来てほしかったのです。カンファレンスで、マーチンに「来てくれる？」と聞いたら、「行くよ。日本までは長いフライトになるので、飛行機はビジネスクラスにしてくれれば行く」と言ってくれました。「でも、今年はノーベル賞を取って、いろいろな行事がunpredictableに入ってきてしまうので、スケジュール表を見てくる」と言って宿泊施設に戻ったのですが、「だめだ」と言われました。11月18日に来てほしかったのですが、彼はニューヨークのコロンビア大学にいるので、2009年の11月17日に、「ニューヨークアカデミーが自分を表彰してくれて、その授賞式をしてくれるから、自分はその場に出ないわけにはいかない。物理的に行けない」と言われて、残念、ということで終わりました。

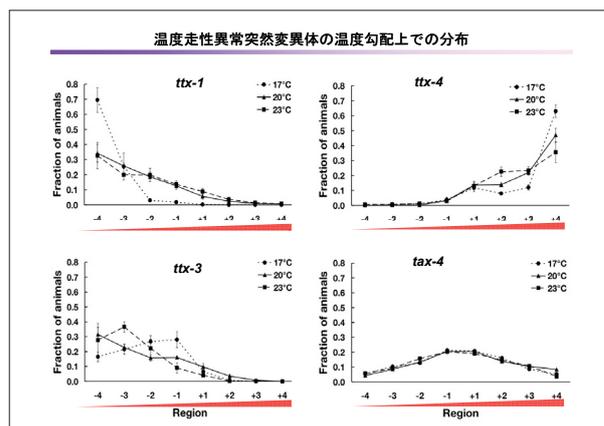
これは、GFPで光らせたC. elegansの神経系です。これは頭のほうなのですけれども、302個の神経細胞のうち150ぐらいはびっしりここにいます。ここにシナプス結合をたくさん作っていて、脳という構造はないですけれども、ここが線虫の脳とされているところです。そこでいろいろな神経細胞が情報を伝達し合っているということです。

いろいろな刺激に反応することができます。「味」、「におい」、「接触」、「刺激」、「温度」と書いてありますけれども、頭の先端のところに感覚器官がありまして、この辺がGFPで光っていたところです。ここで情報処理をさせて、たとえば好きなにおいに寄っていくとか嫌いなにおいを避けるということをやっています。これからお話しするのは温度に対する反応です。

これはエドワード・ヘッジコックとリチャード・ラッセルという人が、1975年にこんな面白い性質があるということを発見しました。ヘッジコックは天才的な人で、卒業研究で行った研究です。9cmのプラスチックシャーレに寒天を薄く入れて、そこに温度勾配を作ります。これは凍った酢酸が入っているびんで、これを真ん中に置いてサーモグラフィーで見ると、真ん中が17℃か18℃ぐらいで、へりが25℃になります。この部屋を25℃にするので、温度勾配ができます。

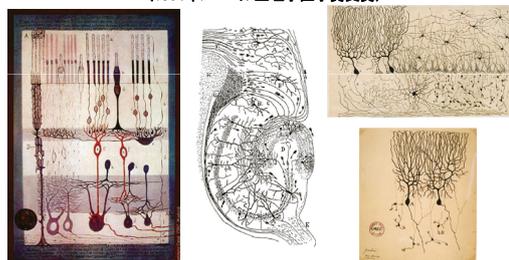
こういう温度勾配を作ったところで、線虫を置きます。線虫というのは、15℃から25℃の温度域で生きています。それ以下でも、それ以上でも生きることができません。えさとして研究室では大腸菌を与えているのですけれども、それを与えて15℃で3～4時間飼育した後、この辺に1個体置きますと、50分ぐらい経つとこの辺にいます。20℃で飼育するとこの辺にいて、20℃付近でグルグル回るような行動をします。25℃で飼育するとへりのほうへ行きます。

これは遺伝的に決まっているものではなくて、条件付

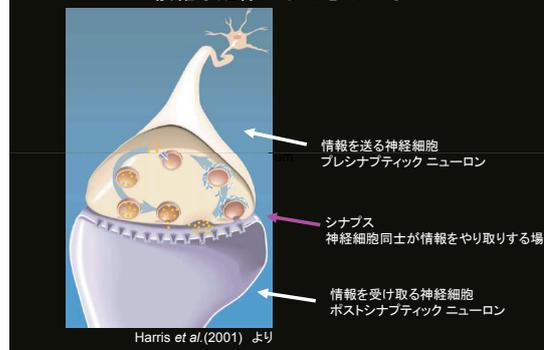


### こころのいとなみをつくりだす神経回路

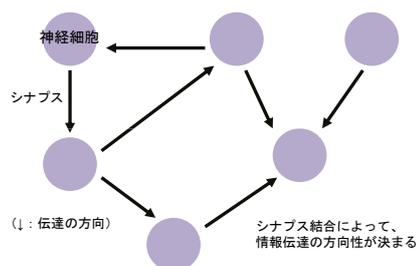
カハール(Santiago Ramon y Cajal: 1852-1934)  
 詳細な神経のスケッチから「ニューロン説」提唱  
 (1904年ノーベル生理学医学賞受賞)



### 神経系は、ニューロン(神経細胞)の複雑な配線からできている

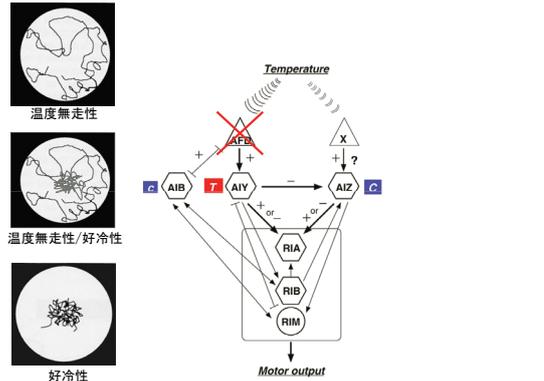
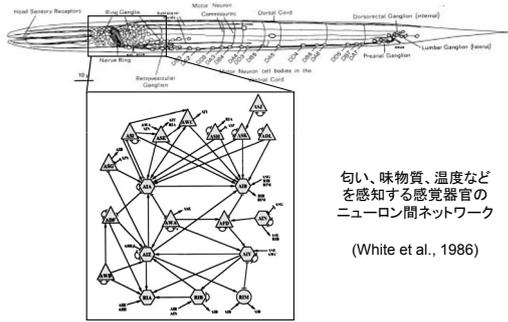


### 神経細胞同士がシナプスで結合することによって、情報をやり取りをしている

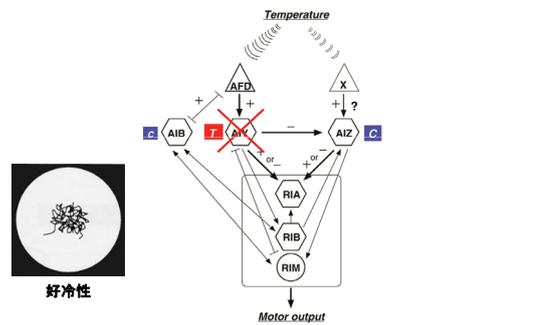
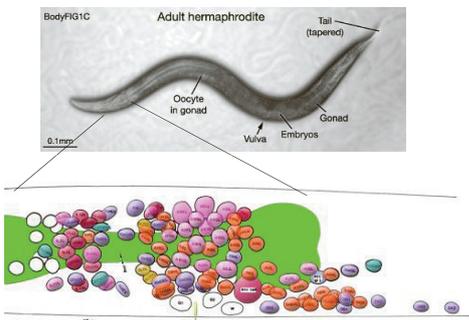


脳: 複雑な神経細胞(ニューロン)のネットワーク

線虫では全てのニューロン (302個) のシナプス結合が分かっている



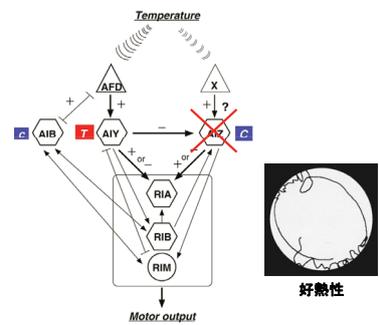
レーザー照射による細胞破壊実験



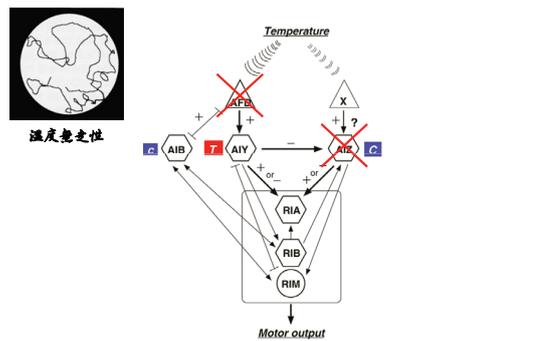
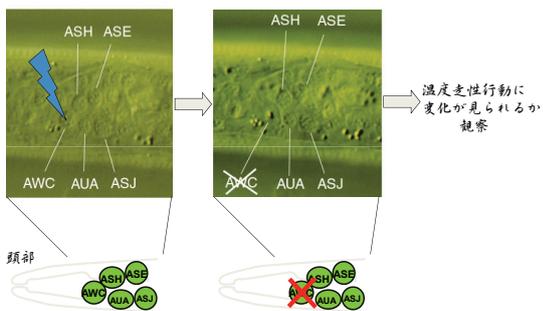
温度走性の神経回路を発見する

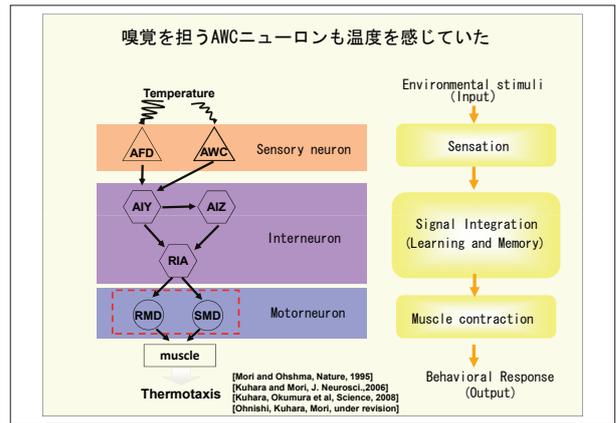
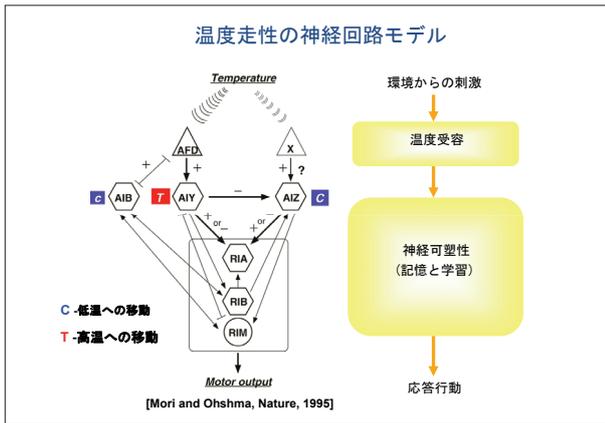
線虫の温度走性行動の研究

学習や記憶の原理をつきとめる研究に適するシステム



レーザー破壊後、温度走性行動に異常があるか？





けができるということです。要するに、温度勾配上で過去に飼育された温度に移動するという行動をしますが、たとえば15℃に行くようになってしまっている線虫にまた大腸菌を与えて、今度は3時間ぐらい25℃で飼育して同じようにテストをすると、こういう行動をとっていた線虫は、こういう行動に変わります。

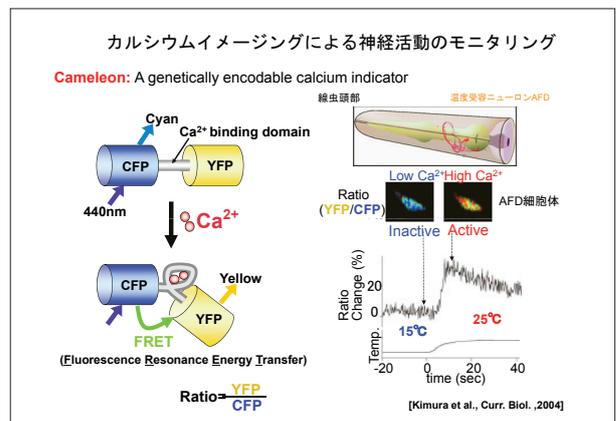
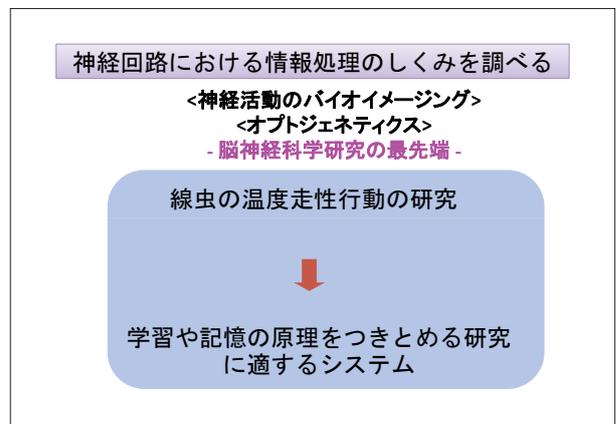
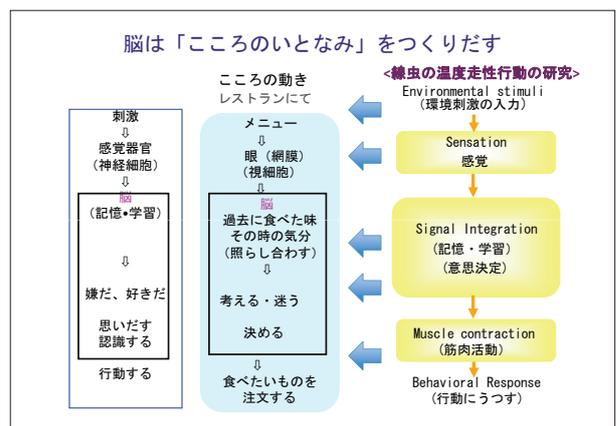
そういうことで、これは遺伝的にこういうことができるということを見ているのだと思いますが、行動の可塑性が非常にあります。行動の可塑性というのは、神経系の可塑性の反映であろうと我々は思っています。習い事をするとか勉強するということでは分らなかったこともだんだん理解できるようになって、知識も増えてくるといことも可塑性です。それに通じるものだとということで、我々はこの研究をしています。

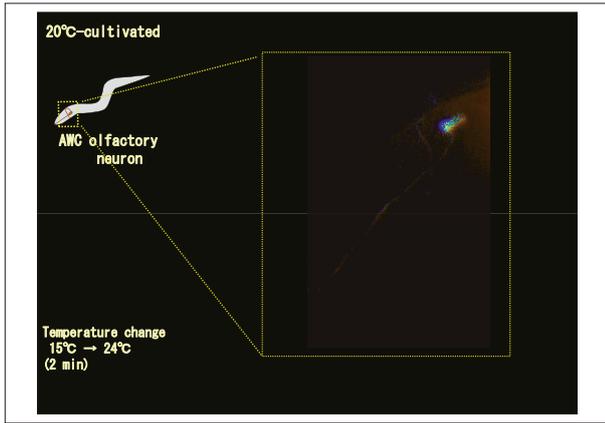
このように、100個体とか200個体で行動テストをしたこともあります。17℃で飼育した線虫は、えさがない寒天平板のところで、温度勾配が17℃から23℃にできているのですが、17℃で飼育したものを真ん中の20℃ぐらいのところに置いて、1時間ぐらい経つとこっちへ行きます。20℃だとこの辺、23℃だとこの辺へ行っています。これは可逆的に変化します。

神経回路が重要だと言った人がいます。それはサンティアゴ・ラモン・カハールというスペインの人で、いろいろな動物の神経をスケッチしています。この人は、1904年にノーベル賞をもらっています。彼は神経回路がとても重要だということを100年も前から提唱していましたが、ようやく10年ぐらい前から、それは正しいのではないかということになってきました。

シナプスというのは神経細胞と神経細胞で連絡をさせているので、神経細胞はシナプスを通してネットワークを作っています。

線虫の神経回路は全部分かっています。これは2万枚の電子顕微鏡の連続切片によって、イギリスのジョン・ホワイトたちが15年かかった仕事なのですけれども。体が透明なので神経細胞を同定することができます。これ





温度走性神経回路の情報処理はどのような運動を生み出すか？  
 <運動の数理モデリング>  
 <実験科学と理論科学の融合>

線虫の温度走性行動の研究

↓

学習や記憶の原理をつきとめる研究に適するシステム

神経活動を瞬間的に操作する技術: チャネルロドプシンとハロロドプシン

神経活動をミリ秒の時間単位で上昇や下降させる技術

(光感受性陽イオンチャネル) (光感受性Clイオンポンプ)

**チャネルロドプシン ChR2**

青色光 (peak 460nm)

脱分極

50 mV

70 mV

0.2 s

Xenopus oocyte

Na<sup>+</sup> Ca<sup>2+</sup> K<sup>+</sup>

ニューロン活性化 ↑

(Nagel et al., 2003)

**ハロロドプシン NpHR**

黄色光 (peak 580nm)

過分極

-57 mV

5 mV

100 ms

Xenopus oocyte

Cl<sup>-</sup>

ニューロン不活性化 ↓

(Zhang et al., 2007)

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Theoretical Biology

Journal homepage: www.elsevier.com/locate/yjtbi

Steepness of thermal gradient is essential to obtain a unified view of thermotaxis in *C. elegans*

Kenichi Nakazato<sup>a,\*</sup>, Atsushi Mochizuki<sup>a,b,c</sup>

<sup>a</sup> Theoretical Biology Laboratory, RIKEN Advanced Science Institute, Wako 351-0198, Japan  
<sup>b</sup> Division of Theoretical Biology, National Institute for Basic Biology, Okazaki 444-8797, Japan  
<sup>c</sup> PRESTO, JST, Kawaguchi 312-8622, Japan

Fig. 1. Two types of bias. The first is the bias in run duration time or distance in each direction against thermal gradient. (A) shows that worms crawling up the thermal gradient tend to maintain a preferred temperature longer than worms crawling down the gradient as an example of non-biased bias. The other bias is that the orientation angle,  $\theta$ , shows an example of orientational bias: worms prefer the thermotaxis direction when changing direction.

Fig. 2. Diagrammatic view of thermotaxis in *C. elegans*, where the horizontal axis reflects temperature. The environmental space of the worms is divided into three regions along the temperature axis according to thermotactic behavior and active patterns of the thermosensory neurons. We consider the effect of isothermal tracking in the parameter settings around the subcooled temperature  $T_c$ , i.e.  $T_c > T_0$ .

Dynamics of neural circuits generating behavior

Manipulation of neuronal activity in the thermotaxis circuit

- with controlled strength
- of neural activity of specific neuron
- at specific time

Genetically encoded genes

Channel Rhodopsin (Ch2) (Nagel et al., 2003)

Neuronal activity ↑

Blue light

Na<sup>+</sup> Ca<sup>2+</sup> K<sup>+</sup>

→ Depolarization

Halorhodopsin (HR) (Zhang et al., 2007)

Neuronal activity ↓

Yellow-green light

Cl<sup>-</sup>

→ Hyperpolarization

Introduction to the specific neuron in the circuit

Thermotaxis circuit

Thermosensory neurons: AFD, AWC

Interneurons: AIY, AIZ, RIA

Thermotaxis

Analysis

Excitation of HR in AFD by delivering YG light (expecting to decrease AFD activity)

Thermotaxis on a temperature gradient

→ Auto-tracking of moving animals

Sensing temperature changes

→ Calcium imaging (AFD and AIY simultaneously using ycg3.6)

今後の生命科学

「理学の結集」によって重要な問題を解説する時代

- 生物学者 (遺伝学者・分子生物学者)
- 情報科学者
- 数理生物学者 (物理学者)
- 数学者

HRを運動ニューロンで人工的に働かせた線虫は、黄色の光によって動きが止まる

Cholinergic motoneurons controlling bodywall muscles (Zhang et al., 2007)

Transgenic animal

Yellow light NpHR

Inactivation of neuron ↓

Control animal

00'00'00

Yellow On at 4sec → Yellow Off at 7sec

Acknowledgment

Nagoya University  
 Junior Associate Professor  
 Atsushi Kuhara (久原 篤)

Assistant Professor  
 Yuki Tsukada (塚田 祐基)

Postdoctoral fellow  
 Takuma Sugi (杉 拓磨)  
 Hiroyuki Sasakura (笹倉 寛之)

Graduate Student  
 Noriyuki Ohnishi (大西 遼幸)  
 Yukuo Nishida (西田 征夫)  
 Tomoyasu Shimowada (下和田 智博)  
 Kyogo Kobayashi (小林 暁吾)

RIKEN-ASI  
 Ken-ichi Nakazato (中里 研一)  
 Atsushi Mochizuki (望月 敏史)

Mathematical modeling  
 Johann Wolfgang Goethe University  
 Alexander Gottschalk

Technology Development  
 Olympus  
 Molecular Device  
 Tokai Hit  
 USHIO  
 Library

Members of Mori Lab (2010)

は1ミクロンぐらいなのですが、その的にレーザー照射をして殺すということが出来ます。これをやった後に、温度走性、温度に対する応答行動が変化するかどうかというのを見るという一連の実験をやりました。これは昔、九州大学にいたころにやった仕事なのですけれども、温度走性行動の神経回路のモデルはこうではないかということ提唱しました。

それから、最近、分かったことは、AWCはにおいを感知することが分かっていたのですが、温度を感知することも分かかってきて、温度を受容して温度を記憶します。ここで情報処理をやっている、首振り運動みたいなことをして、自分の行きたい温度に行くということができるようになっています。

そういうことで、最初にお見せしたこととこういう関係にあります。

線虫は迷うということもします。二つのいいものを与えると、どっちに行こうかと迷うこともあるので、意思決定とかそういうことの研究もできます。

これは神経研究の最先端なのですが、オプトジェネティクスとか神経活動のイメージングを最初に応用するのは大体線虫です。温度変化によって神経活動は上がったたり下がったりします。これは神経細胞ですが、活動性が低いときはブルーです。15℃から24℃に上げて2分で見ているのですが、すごく速くコマを送っているの、このように活動性があがって行って、温度が24℃になったときに赤くなるということです。

あとは、オプトジェネティクスという神経の最先端の研究をやろうとしている人がたくさんいて、みんなそれに取り組んでいるのですが、温度刺激やにおい刺激ではなくて、人工的にとある神経細胞の活動性を下げてやろうとか上げてやろうという、そういう操作ができます。それで、ある神経細胞で、そのときだけ特定の神経の活動を下げたり上げたりすることができるようになりました。やはりそれを最初に務めるのが線虫なのですけれども、ここの温度走性行動で重要だと1995年にやった仕事から提唱したことが現在も崩れてないので、これは重要だということで、私たちはここで神経の活動性を人工的にリモートコントロールしてやると、そのときにどういことが起きるのかということをやっています。

これはモーターニューロンとって、体を動かすニューロンです。これに神経活動を下げるポンプを、人工的にトランスジェニックを作って入れています。4秒のときにイエローの光を当てると、こちら側はこれを持っているので動きが止まります。4秒で光を当てるとパッと止まり、7秒で光がなくなるとまた動き出します。こちらは何とかヘルシーに動いています。

動かないようにローラーというミュートーションを入

れているので、それは両方とも入っているのですが、こういうこともできます。

これを我々は温度走性行動やっているのですが、AFDというのが温度を受容して、AIYというインターニューロンに信号を送っているわけです。これを同時にイメージングしています。そのときに、AFDの活動性を下げるハロロドプシン (HR) というものをAFDに入れるとどうなるかということを見ているのですが、こういう実験もできます。

たとえば、これは自動的に線虫の動きを追っています。線虫は10cm×10cmぐらいのフィールドを動いているのですが、いつも視野に入るようにコンピューターで重心を取っています。コンピューターに時間ごとに線虫がどこにいたかを全部記録して、それを再現することができます。最初線虫はたぶんこの辺にいて、このように動いて、こうなってこうなっています。これをたとえば時間軸にそって50分間見ているのですけれども、線虫がこっちに来た、そっちへ行ったというのをトレースすることができるということです。

結局、大島まり先生と同じような話になっていくのですけれども、数理モデリングをしたり、理論科学ということが絶対に必要になってきています。

これは線虫の画像を共同研究者の理論生物学者の人と共同で、コンピューター上で線虫の動きを再現してもらっています。これは温度勾配がないときで、あえて人工的であることをお示しするために色を付けていますけれども、こんな感じで動いています。

たとえば、飼育温度が20℃で、21℃のところを線虫を置いたときですが、何分かつとスーッと20℃のところへ来ます。これは非常に特徴的なのですけれども、高い温度から低い飼育温度に行くと、温度が下がる方向へスーッと行くというのが分かりました。

今度は逆に、20℃で飼育した線虫を19℃に置きます。飼育温度よりも低いほうに置いた場合は、ちょっと複雑です。モヤモヤしていて、気が付くと何となく20℃へ行っているということです。

これはアメリカの二つのグループと論争になりました。「森たちの言っていることは間違いだ」と論文に書かれたのです。2002年ぐらいからずっと競争状態で、競争するために研究者になったのではないので、いやだなあと思っています。

それで、私が言いたいことは、今後の生命科学の研究というのは生物は暗記物というのは間違いだということです。遺伝学者、分子生物学者、生化学者、それから情報科学の方、数理生物学者、数学者とも共同研究をして、理学の結集によって生命現象の重要な問題を解読していく時代にもう入っています。

ですから、今後、生命科学の研究者を目指す方たちは、生物が好きだからとか動物が好きだからというなんとなくの感覚だけではなく、数学もやり、物理もやり、いろいろなことを勉強していただくということが最終的には絶対強みになりますので、ぜひ皆さんもやっていただきたいと思います。

これはうちのメンバーで、偉そうにしているのが私です。共同研究者には、数理生物学者とかいろいろな方々がいらっしやいます。

以上です。

司会（吉田）：

どうもありがとうございます。

森先生も大島先生も大変すばらしいシミュレーションの研究で、司会の私が見入ってしまいました、質問の時間が取れなくなってしまいました。どうか不手際をお許しください。

森先生もポスターセッションに参加していただけますので、ぜひ皆様からご質問やお話をさせていただきたいと思います。

それでは、本日、最後の特別講演に移らせていただきます。

特別講演者は、本学の平林智子先生です。平林先生のご略歴を簡単にご紹介させていただきます。

平林先生は、2008年に東京大学大学院新領域創成科学研究科で博士課程を修了されまして、博士（科学）を取得されております。先生は博士課程に在学中から、日本学術振興会特別研究員（DC・PD）としてご活躍されておりまして、2009年6月から名古屋大学で助教をされております。

大変フレッシュな先生で、私たち女性研究者や皆様の身近な先生としてぜひお話をうかがいたいと思っております。本日のご講演題目は、「バイオメカニクスと私」です。

では、どうぞよろしくお願ひいたします。

## 演題『バイオメカニクスと私』

### 特別講演者：平林智子助教

（名古屋大学大学院工学研究科）

（以下の内容は講演内容をもとに加筆・修正を行ったものです）

平林：

こんにちは。平林です。「助教」という言葉は皆さん耳慣れないと思うので、まず「助教というのは何か」という話からしたいと思います。簡単に言うと、助教とは大学の先生の平社員です。大学の先生は、「部長、課長、係長、平社員」みたいなものではなくて、「教授、助教、講師、助手」というようになっていました。それが



数年前から、「教授、准教授、講師、助教」という名前になりました。

「バイオメカニクスと私」というタイトルについてもお話ししておきます。ちょっと変なタイトルですよ。このタイトルを決めるときにはとても悩みました。「とにかく理系の女子中高生を励まして」ということで依頼を受けたのですが、「理系」だとか、「理系女子」だとかが私にはそんなに特別にも思えなかったからです。悩んだ末、「女子」とは関係なく「理系の」ということで研究内容について話すか、「理系女子」の進路選択について話すかの二択になり、どちらの話もできるようにこのようなタイトルにしました。この、「困ったら可能な限りどちらもできるようにしておく」というのが今日のテーマになります。

このスライドは研究の話として用意したスライドです。本日、他の二人の先生は研究の話をされていたので、私も研究の話をすべきかと思うのですが、実はこのスライドでお話しようと思っていたことは他の先生方と同じになってしまいます。ですから、バイオメカニクスの話は手短にご紹介します。

先程のお話のとおり、心臓の研究には様々な分野が関わってきます。当然、医学や生物学にもかかわってきますし、心臓病の薬を研究する為には化学が関係します。また、心電図には電磁気学がかかわってきます。電気ショックによる治療も電磁気学に関係します。電磁気学という分野は中学・高校までは耳慣れないかもしれませんが、高校では物理の、中学では理科の一部として勉強している分野です。このように、バイオメカニクスなど、複数の分野にかかわってくる研究分野が増えてきています。人生は時間に限りがありますので、どれか一つぐらいしかしっかりと勉強できないのではないかなと思うのですが、どんな分野が必要になるかわからないのでできればひと通り全部の勉強をしておいたほうがいいと思います。私はもともと工学部で大学では力学を専門として勉強していましたが、高校生までは化学も生物もそれ

## 本日の内容

- ❖ バイオメカニクスの例
- ❖ 私がバイオメカニクス分野に足を踏み入れるまで
- ❖ 理系女子について

なりに勉強をしましたので、そのときの知識が役立っています。

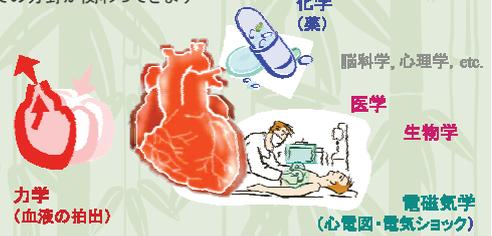
次のスライドも研究の話ですが、さっきより少し具体的にになります。数学も関係してシミュレーションの話になります。体の中で電気信号が伝わるとい話を聞いたことがあるでしょうか。脳からの命令は電気信号として神経を通して伝わります。心臓を構成している1個1個の細胞を拡大してみると膜があって、その表面には電気信号が来たら開く孔があります。中学生の方はまだ知らないかもしれませんが、イオンとよばれる小さいナトリウムやカリウムの粒のようなものが、この孔を通して、細胞の中と外を行き来します。1個1個のイオンは電荷を帯びていて、これが集まることで電位が変わります、最終的にはこれが心電図に出てきます。これが心臓と電気のかかわりです。カルシウムイオンが集まって、細胞の中の筋原線維に作用すると、筋肉が縮まり、中の血液が押し出され、筋肉が緩まると今度は血液が入ってきます。心臓はこの繰り返しで全身に血液を送っています。血液を送り出す部分では力学が、イオンの話で化学の話が関係してきます。これらを全部まとめて理解するのにシミュレーションが便利です。数式は物理でも化学でも生物でも共通の言語ですから、全部の現象を数式で表わしてまとめて計算することができます。この話も大島先生のお話と完全に同じですから、もう少し具体的な話をしていきます。

「心臓しんとう」というちょっと変わった現象があります。(中略：心臓震盪の説明が続く) 私はポスターセッションにも出ますので、もっと詳しく知りたければポスターセッションに来てください。これ以上話しますと私だけ特別扱いになりますので、このへんでやめておこうかなと思います。

ここからは「バイオメカニクスと私」の「私」の部分です。皆さんすごく理系に興味がある感じですが、私はそうでもなかったので参考にならないのではないかとちょっと心配しています。こんな人も理系にいるんだと

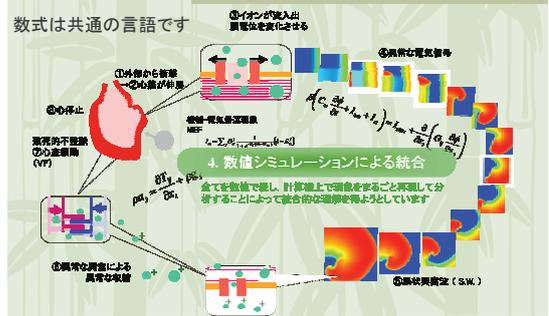
## 物理・化学・生物

心臓の研究をしようと思えば  
全ての分野が関わってきます



## 数値解析(シミュレーション)

数式は共通の言語です



いう例として聞いてください。

私は、小学校のときは文系も理系も意識していませんでしたし、どちらかというと文学が好きでした。中学生で女子校に入り、理系の女子は珍しいと全く気づかないまま高校2年生ぐらいで物理をとるか、日本史をとるか決めなければいけなくなり、ようやくどちらにするか真剣に考え始めます。ここで、「理系にしておけば文転できるよね」といううわさが流れまして、けっこうな数の友人が物理を選択し、私も同じく物理を選択しました。「バイオメカニクスと私」というタイトルを出したのと同じ感じで、「どちらにも行けるようにしておけばいいや」という発想です。この時の友人の中には医学部と経済学部の両方を受験して、最終的には経済学部へ行った人もいます。

次の進路決定は大学三年です。東京大学では大学3年になるときに学部を選べます。ここで理系から文学部へ行く友人もいましたが、私は「多くの人が行っているから」という感じで、工学部へ行きました。出産・育児を考えて「家でできる仕事がいいな」と思い、シミュレーションを専門にしようと思い始めたのがこの時期です。理系とはいっても生物は比較的女性が多いのですが、シミュレーションを専門にするとなると周りは男性ばかりになります。高校生の頃でしたらそこで迷っていたかも

## 進路の決定

- ❖小学生 → 特に文系も理系も意識しない
- ❖中学生 → 女子校に入る
- ❖高校生 → 物理や数学を選択
- ❖大学 → 理科一類入学
- ❖大学三年 → 工学部進学
- ❖大学院 → バイオメカニクス研究室へ
- ❖そのまま大学に残る

しませんが、大学三年生になるころにはもう男性ばかりの環境に慣れていましたし、男女比半々というのは小学校以来でしたから、そのほうが不安なくらいになっていました。

その次に進路を考えるのは大学院に入る時でした。最近では出身大学や学部とは全く違う大学院を受験する人も増えています。理学部の地球惑星物理学出身で、大学院から工学部でロボットを専門にし始めた人もいます。私も大学院がバイオメカニクスとの出会いです。

私はそのまま大学に残っていますが、多くの理系の学生は大学院を2年間で卒業し就職します。ここで理系の学生の間でよく使われる言葉が「文系就職」です。最近ではどうか知りませんが、当時は銀行では理系が重宝されて、引っぱりだこだっらしいです。私の周りでも何人も文系就職をしていきました。

このように、大学進学時に理系と文系がはっきり定まってしまうというものでもありません。就職後も転職や部署の変更はよくある話です。「どちらにも行けるようにしておく」という選択肢もあります。

最後に、最初の依頼のとおり「理系の女子中高生を励まし」ます。今までの話でちよくちよくでてきましたが、理系といってもさまざまです。そして「理系女子比率」も様々です。生物はかなり女性がおおいです。工学部も、この間建築科の人に聞いたら、「半分以上が女の子じゃないか」と言っていました。文系にも女性比率が少ない分野はあります。ですから、「理系女子」というのはそんなに特別なものではないと思います。

それから、研究の話で「物理・生物・化学全てが必要」といったような話を他の二人の先生方と同様にお話させていただきましたが、同じく理系と文系の壁も実はそんなになんということも強調したいです。本日お話ししたように、高校生から就職するまで進路を変更する機会は何度かあると思います。企業に理系で入ってからも、文系と同じような部署へ行く人もいます。また、法律や特許のような分野は理系の技術の知識と、法律の知

## 理系女子について

- ❖「理系」とはいつでも様々
- ❖分野の壁はなくなってきている
- ❖進路はわりと変更できる(「文系就職」)
- ❖理系女子って特別？

識の両方が必要なので文系と理系の間に位置していると言えます。

本日お話しするにあたって、「理系女子」ってそんなに特別なのかなあと考えてみましたが、そんなに特別ではないと、私は思います。進路については男女関係なくいろいろ悩むとは思いますが、「変更もできる」ということもわかれば気楽になれると思いますし、うまくいかなかった時の保険にもなります。場合によっては意外なところで意外な分野の知識が役立ちます。私は本日のタイトルを決めるにあたり、「変更もできる」ように、「バイオメカニクスと私」という名前にしておいて本当によかったと思っています。あやうく全く同じ研究の話をしたり、一人だけ研究ではなく思い出話を語ってしまうところでした。

それではこれで終わります。ご清聴ありがとうございました。

司会(吉田)：

平林先生、どうもありがとうございました。

これで3件の特別講演が終了いたしました。3人の先生方から、生命にかかわる最先端の研究や私たちへの温かい支援やメッセージをいただいたと思います。

最後に、3人の先生方に感謝の気持ちを込めて、もう一度拍手をお願いします。

この後、ポスターセッションに移ります。ポスター発表は14時40分から16時まで、この会場を出ました2階のラウンジで行います。

まず、発表者の方々、このままラウンジのほうにご移動をお願いいたします。それから、審査員の先生方も、同じようにラウンジのほうをお願いいたします。

そして、中学生、高校生の皆様、また、保護者の皆様、この後、簡単にポスター発表の見方についてご紹介したいと思いますので、この場所にお残りください。

また、16時からポスター発表の優秀者に授賞式を行いますので、16時にはこの会場にお戻りくださいますようお願いいたします。