

サイエンス & テクノロジー

京都産業大学

VOL.20

01 非線形現象に 光をあてた現代の数学

双安定反応拡散方程式の解を見よう
柳下 浩紀 教授

02 光の波としての性質を利用して 分解能を上げる干渉計

巨大ブラックホールとその周縁を見よう!
岸本 真准教授

03 明確な根拠に基づく チームビルディングを 目指して

“風林火山”でエンジニアの特性を測る
玉田 春昭 准教授

04 ナビゲーションシステムが 人の意図・好みを汲み取る

頑固なナビをスマートにするアイデア
中島 伸介 教授

05 脳の同期状態を近づける 意思疎通のメカニズム

コミュニケーションでは脳に何が起きているのか
奥田 次郎 教授

06 再生医療の地図を描く エピブラスト幹細胞

生物の発生を通して私たち自身の姿を知る
近藤 寿人 教授

07 植物の巧みな共生戦略

ゲノム解析によって根粒菌の生態を明らかにする
金子 貴一 教授

08 人獣共通感染症の 原因菌リケッチアを追い 生きた自然を相手に感染症の実態を調べる

染谷 梓 准教授

非線形現象に 光をあてた 現代の数学

双安定反応拡散方程式の
解を見よう



理学部
数理科学科

柳下 浩紀
教授

数理学博士
非線形拡散方程式の数理的研究

0011

一方が2倍になると、もう一方も2倍になるような関係を線形と言い、長らく数学の対象の主流となっていました。ところが、世の中には線形にはならない現象が多く見られます。相転移、化学反応、生態系における種の分布、三つ以上の天体の運動、感染症の広がり方など。これらは非線形現象と呼ばれ、身近にありながら、数学では捉えにくかったものです。

20世紀に入る頃、カオス理論や複雑系理論の幕が上がリ、20世紀半ばには、非線形現象が数学の対象の重要な一角を占めるようになりました。

非線形現象を扱う数学の一例として、私の専門とする「双安定反応拡散方程式」とその特別な解を紹介します。

光の波としての性質を 利用して分解能を 上げる干渉計

巨大ブラックホールと
その周縁を見よう!



理学部
物理科学科

岸本 真
准教授

博士(理学)
宇宙物理学、天文学

0022

50年前にその存在が発見された巨大ブラックホール。今では、すべての銀河の中心には、その質量にほぼ比例した巨大ブラックホールがあるとわかってきています。

ブラックホールは遠いうえに暗い天体で、望遠鏡で捉えるのは容易ではありません。現在の地上最大の望遠鏡をもってしても、くっきりと見ることができないのです。

望遠鏡の空間分解能を上げるための奥の手が、干渉計を使った観測です。光が干渉する性質をうまく使い、複数の望遠鏡で天体を捉えようという試みですが、可視光や赤外線ではまだまだはじまったばかり。その最前線の成果をお話しましょう。

明確な根拠に基づく チームビルディングを 目指して

“風林火山”で
エンジニアの特性を測る



コンピュータ理工学部
コンピュータサイエンス学科

玉田 春昭
准教授

博士(工学)
ソフトウェア・セキュリティ、
ソフトウェア工学

0033

ソフトウェア開発の現場では、チームを組んで作業にあたるのが一般的になっています。ところが、誰をチームに入れるのか、どのようなチーム編成にするのか、といった重要なことが、人間の勘と経験だけを頼りに決められています。

そこで、私たちが考えたのは、プログラム開発の履歴から、「風林火山分類」に基づいて、エンジニアの能力を測定する方法。開発履歴という事実をベースに測定するため、客観的であるだけでなく、自動的に算出されるという利点があります。

ナビゲーション システムが人の意図・ 好みを汲み取る

頑固なナビを
スマートにするアイデア



コンピュータ理工学部
ネットワークメディア学科

中島 伸介
教授

博士(情報学)
Webマイニング、情報推薦

0044

初めての場所でも迷わずに目的地まで案内してくれるナビゲーションシステム。いまでは携帯端末でも利用でき、とても便利になりました。ところが、ユーザがルートから外れて通りたい道を進むと、すぐに元のルートに戻そうとしてくる「お節介な」ツールになってしまいます。

そこで、ナビに、ユーザの意図や好みを汲み取らせる方法を開発しました。意図を汲み取るためルートに「仮想コスト」を与え、仮想コストの算出の際に重みづけを変化させることで好みを反映させます。今回はユーザの意図を汲み取るための方法について詳しく説明します。

脳の同期状態を 近づける意思疎通の メカニズム

コミュニケーションでは
脳に何が起きているのか



コンピュータ理工学部
インテリジェントシステム学科

奥田 次郎
教授

博士(障害学)
脳認知情報処理、
非侵襲脳機能イメージング

0055

私たちは普段、コミュニケーションを何気なく行っています。しかし、思いを伝え合う、ということは、実はお互いの脳に影響を与え合うことなのです。実際に、脳の中ではどのようなことが起きているのでしょうか?

意思伝達に使えるのは無意味な記号だけという状況で、相手の行動予定・計画を予測しながら同じ部屋に合流する、というゲームに取り組んでもらい、その際の脳の状態を調べました。お互いの脳の変化はとても興味深く、コミュニケーションと脳科学との新たな関係の可能性を示しています。

再生医療の 地図を描く エピブラスト幹細胞

生物の発生を通して
私たち自身の姿を知る



総合生命科学部
生命システム学科

近藤 寿人
教授

理学博士
発生生物学

0066

iPS細胞がつくり出されるなど、近年、発展著しい再生医療の分野ですが、いまだに肝心なところに謎が残っています。それは、幹細胞から、どのようなメカニズムで組織や器官に分化していくのか、という発生にかかわる謎です。

エピブラスト幹細胞という、直接、体の組織や器官に分化していく幹細胞を使った実験から、通説とは異なる発生地図が描き出されています。今は、まさに教科書が書きえられる歴史的転換点。再生医療の鍵を握る発生生物学の最前線をその目で確かめてください。

植物の巧みな 共生戦略

ゲノム解析によって
根粒菌の生態を明らかにする



総合生命科学部
生命資源環境学科

金子 貴一
教授

博士(理学)
ゲノム構造学

0077

異なる種が互いに利益を得ながら、ともに生活する“相利共生”。自然界ではよく見られる生態で、多くの生物が他の生物と共生しながら生きています。私は植物と微生物の共生の中でもっとも研究が進んでいるマメ科植物と根粒菌をターゲットにして、共生のメカニズムの解明に取り組んでいます。

マメ科植物はやせた土地でも育ちやすいことで知られています。それは、根粒菌が植物に窒素を提供することで、肥料の役割を果たしているからです。コンピュータを使った遺伝子解析などでさらに研究を重ねて、将来的には、この根粒菌の特性を他の作物などに持たせることをも視野に入れていきたいと考えています。

人獣共通感染症の 原因菌リケッチア を追え

生きた自然を相手に
感染症の実態を調べる



総合生命科学部
動物生命医科学科

染谷 梓
准教授

博士(獣医学)
獣医微生物学

0088

リケッチアという細菌が引き起こす感染症は、ダニやノミといった節足動物が媒介する人獣共通感染症です。代表的な病気には、日本紅斑熱が知られています。

リケッチアは、細菌でありながら、単独では増えることができず、ダニやノミの細胞に入り込んで増殖するウイルスのような一面を持っています。

自然環境中にリケッチアがどれくらい分布しているのか、どのような経路で伝播しているのかを、京都市内に生息するマダニや野生動物を対象にして調べています。フィールドに出た研究の醍醐味も併せて、お話しします。

線形と非線形

数学が扱う対象は、線形と非線形という二つに分けることができます。

線形とは、一方が2倍に変化すると、もう一方も、2倍に変化するような比例関係を持つ対象。そのような現象は数式で表すと、比較的、簡単に予測が行えます。たとえば、10℃の水を温めて、20℃、30℃としていくと、温度の変化に比例して連続的に分子の状態が変化していきます。一方、非線形とは、線形的な関係が成り立たない対象です。水の例で言えば、10℃の水を0℃、-10℃と冷やしていくと、ある温度で、突然氷になります。分子の状態は、先ほどのように連続的に変化しません。このように、ある点で連続性を失って変化することを「相転移」と呼び、非線形現象の典型例の一つです。

「非」線形という言い方から、特殊な例のような印象を受けますが、実は、世の中に、非線形現象はありふれています。先述した物質の相転移の他に、化学反応、生態系における競合する種の分布、三つ以上の天体の運動、感染症の広がり方、これらは全て非線形現象です。

20世紀に生まれた新しい数学

このように、非線形現象それ自体は、ずっと私たちの身の周りに存在していました。ただ、それを数学の対象として捉えられるようになったのは、つい最近のこと、おおよそ20世紀に入ってからのことです。

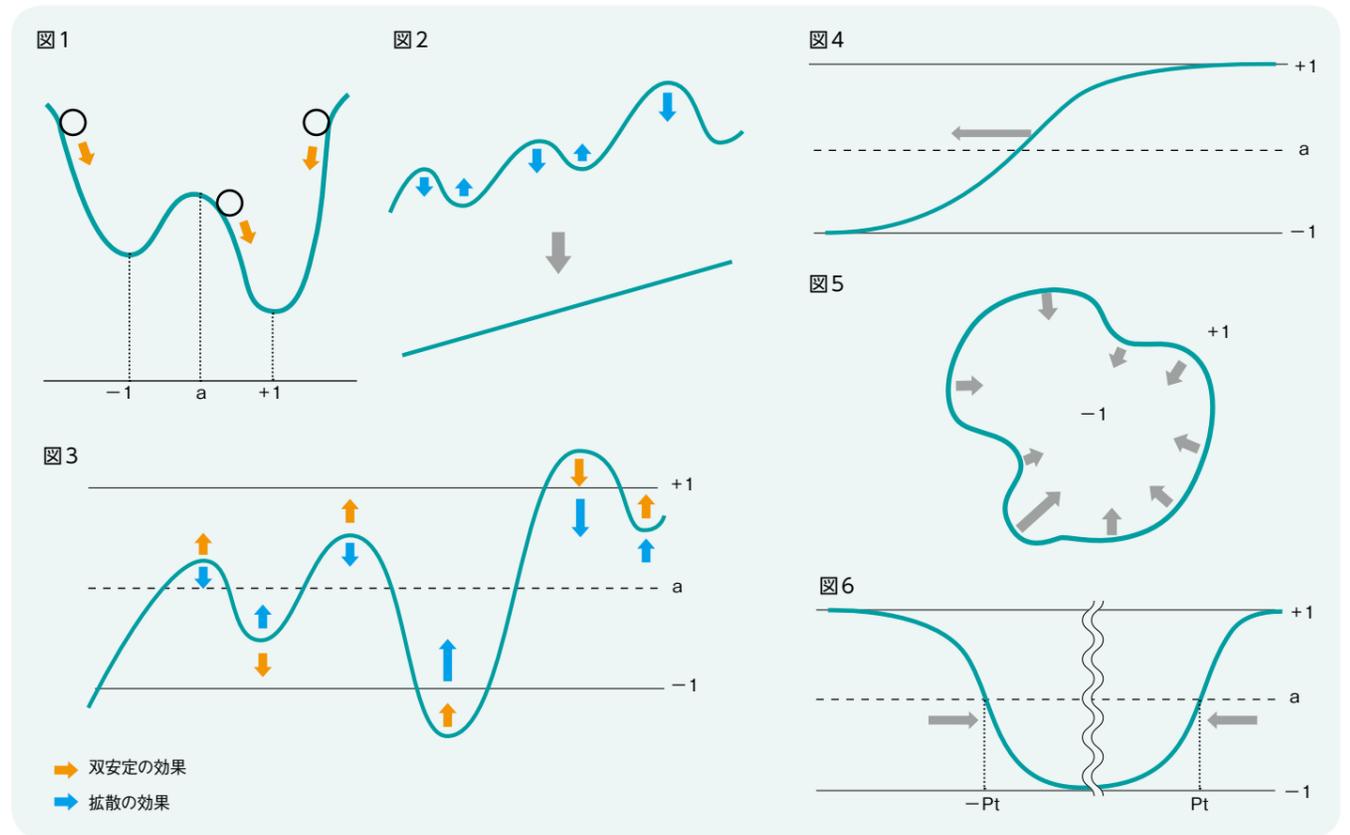
非線形現象を、数学の問題として最初に本格的に取り組んだのは、フランスの数学者アンリ・ポアンカレ (Jules-Henri Poincaré, 1854-1912)

です。ニュートンの万有引力の法則は、二つの天体間に働く重力についてはうまく予測ができたものの、天体が三つ以上になると、とたんに予測できなくなりました。ポアンカレは、天体が三つ以上になると、重力の作用が複雑になることを証明し、その後のカオス理論や複雑系理論への幕を上げたのです。

20世紀半ば頃になると、多くの数学者が非線形現象に関心を持つようになり、それまで数学の対象とは考えられていなかったような様々な現象を、数学の問題として扱えるようになりました。

双安定反応拡散方程式

それでは、非線形現象を扱う数学の具体的な例を見ていきましょう。私の専門から「双安定



非線形現象に光をあてた現代の数学

双安定反応拡散方程式の解を見よう

私たちの身の周りで見られる現象

たとえば、固体がとけて液体になることや競合関係にある生物種の分布……

それらの現象には数学的なある共通点があります。

それは非線形現象であるということ。

数学がそれらの現象を扱えるようになったのは20世紀に入ってからのことでした。

柳下浩紀先生のお話から、数学が描き出す非線形の世界に触れてみましょう。

反応拡散方程式」を紹介します。わかりやすくするために、主に一次元の空間で考えます。

難しくそんな名前をしていますが、単純に「双安定（反応）」と「拡散」の効果を足し合わせた方程式です。双安定とは、2点で安定するという意味です。たとえば図1のような坂道の上を転がるボールを考えてください。この坂道では、-1と1が安定する点で、ここに落ちて来たボールは動かなくなります。aのところ为上に凸の形をしているため、aを境にして、それより左から始めると-1に、右から始めると1に辿りついて安定します。

この坂道を表す方程式は4次関数ですから、転がるボールの動きは、それを微分した3次関数によって表すことができます。

次に、もう一つの拡散は、何らかの偏りのあるものが平衡状態になることを意味します。たとえば、水にインクを落とすと、最初はインクの濃

い部分と水しかない部分がありますが、やがて、インクが水全体に広がっていき、全体が同じ濃度になって平衡します。こちらは図2のように表すことができ、式としては2回微分、すなわち凹凸をならそうとするラプラシアンによって表されます。

この2つの式を合わせると、どんな動きを見せるのかを図3に示しました。双安定の効果により、aより大きいところでは1に、小さいところでは-1に動こうとします。一方、拡散の効果により、上に凸のところは下に、下に凸のところは上に動こうとします。

▶特別な解1

このような方程式を色々調べて行くと、特別な解が見つかります。その1つをご紹介します。+∞では1、-∞では-1となっていて、滑らかな境界を保ったまま、その位置だけが時間とともに

ずれていく、というものがあります (図4)。

-1にある点が時間と共に次々と+1に動いていく状態で、熱せられた金属が液体になっていく相転移の様子や、ある土地に進出した生物の分布が広がっていく様子、感染症が広がっていく様子などをよく表すことができます。

そのことは、2次元の場合で考えると、さらによく分かります。いびつな形をした領域が円に近づきながら、拡大(あるいは縮小)していく様子を、この特別な解を上手く近似解として利用することで調べることができます (図5)。

理学部 数理科学科 柳下 浩紀 教授

PROFILE

数理科学博士。専門は非線形拡散方程式の数理的研究。学部ころは大まかに解析学がしたいと考えていたが、大学院に進学する頃に、新たに現れつつあった非線形解析の分野に興味を持つ。伝統的な分野と違って、研究内容を限定されることなく、独自の対象を研究できそうなのが魅力だった。学生の指導に際しては、基本的なことをしっかり理解することが長い目でみると役立つと考え、重視している。神奈川県立秦野高等学校OB。

▶特別な解2

別の特別な解として、次のようなものもあります。

内側が-1の領域で外側は1の領域で、Ptと-Ptの周辺が滑らかな境界になっています。時間tを遡る、つまり、過去に遡ると、Ptと-Ptの間、つまり、-1の領域が広がっていくというものです (図6)。

なぜ時間を遡るかというと、拡散の効果から、最終的にはすべてが1になるため、そうなる手前の状態を調べることに意味があるからです。

具体的な現象で言えば、たとえば、全体が液体の中で一部に固体が残っているときの個体部分の無くなり方や、全体にある生物が分布している中で、ある場所にだけ進出していない部分が残っている場合のその場所の埋まり方を調べる、ということになります。

ご覧のように、非線形という観点を得たことで、20世紀以降の数学は様々な現象を表すための強力なツールとしても発展してきました。数学それ自体の美しさや面白さだけではなく、もとより数学が使われていた物理現象に加え、生態系や感染症、神経細胞の働き、動物の体の模様、大気や海の対流、社会現象などをモデル化し、予測する学問という新たな境地を得たのです。

巨大ブラックホールとその周縁を見よう！

ハッブル宇宙望遠鏡でも点にしか見えない
はるか遠くの巨大ブラックホールとそれを取り囲むガス。
しかし、複数の望遠鏡を組み合わせて使うことで、その正体に迫ることができます。
光が干渉する性質を利用して、複数の望遠鏡を組み合わせ、
より遠くの天体の詳細に迫る干渉計。
干渉計と巨大ブラックホール系について、岸本真先生にお話を伺いました。

光の波としての性質を利用して分解能を上げる干渉計



チリにあるヨーロッパ南天文台のパラナル観測所 画像提供: ESO

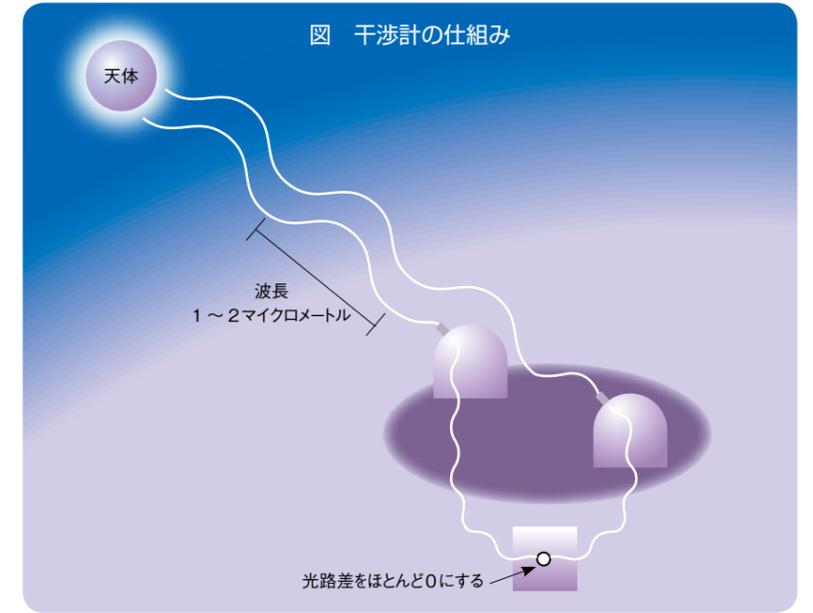


図 干渉計の仕組み

巨大ブラックホール系の発見から50年

50年前、太陽系と同じくらいの大きさの領域から、太陽の 10^{12} 倍くらいの光が出ていることがわかりました。巨大ブラックホール系の発見です。そしてここ10年程で、すべての銀河の中心には、その銀河の質量にほぼ比例した巨大ブラックホールがあることもわかってきました。

ところが、発見から50年を経ても、ブラックホール系の解明はまだ進んでいません。ブラックホールが巨大になるのは、ものが落ちていくからと考えられますが、実際に落ちる様子が観測されたわけではなく、細部は不明なのです。そばを通った星やガスが引きつけられて落ちていく場合、多くはブラックホール周辺を円盤状に回り、系内の摩擦でエネルギーを失いながら、中心に近づいていきます。この標準降着円盤モデルという現在の理論モデルでは、説明できないところもあり、さらなる観測が待たれています。

また、宇宙では、銀河同士の衝突が起きています。衝突した銀河中心のブラックホールは、最初は互いに互いの周りを回っています。そして、周囲の星と相互作用しながらエネルギーを失っていき、いずれはくっついてしまいます。この相互作用が速すぎて、周囲に早々と星がなくなってしまうと、エネルギーが保たれたまま、お互いの周りを回り続けると考えられています。このような二重ブラックホールはバイナリー・ブラックホールと呼ばれます。バイナ

リーと目されるブラックホールはいくつかありますが、まだはっきりと観測されたものはなく、発見が待望されます。

空間分解能を上げよう

巨大ブラックホール系の研究やバイナリー・ブラックホールの観測が進まない原因の一つは、空間分解能が足りないことです。ブラックホールにもものが落ちる過程は、1光年以下の領域で起きると予想されます。また、バイナリー・ブラックホールの互いの距離も、1光年程度と計算されています。これらの観測には、地球から月面の2人の人を区別できる分解能が必要なのです。現在の望遠鏡では、月面の100m程度のものさえ、一つの点にしか見えません。

空間分解能をさらに上げるためには、二つ

以上の望遠鏡に入ってくる光を干渉させ、その干渉縞を見る、干渉計という方法が必要。高校で習った『ヤングの二重スリット実験』の2つのスリットを2つの望遠鏡に置き換えた観測方法(右図)です。全く同じ方向の光源からの光であれば、互いに強め合って干渉縞がはっきりと出ます。ところが、光源が少しでもずれた位置にあると、きれいに干渉せずに、干渉縞がぼやけます。つまり、干渉縞がぼやけて観測されたら、2つの光源を区別できた(空間分解できた)ということになるのです。干渉縞の強弱や、スリットの間隔を変化させた結果から、逆算して2つの光源の間隔あるいは光源の大きさを知ることができます。さらに、望遠鏡の間隔を大きく広げると、小さなずれに敏感になり、空間分解能を上げることができます。

干渉計の観測では、天体から2つの望遠鏡

に入ってくる光の光路差を光の波長程度の精度で揃えて、干渉させる必要があります。電波ならば波長1cm程度のため、光路差を揃えることは比較的簡単です。そのためあつて電波望遠鏡では、干渉計が主流になっています。しかし、私たちが捉えたい赤外線や可視光線は、波長が髪の毛の太さの50分の1程度。その上、大気の揺れが光の波面を乱すため、たいへん難しい観測です。

干渉計での巨大ブラックホール系観測に成功

波長の短い光にこだわるのには理由があります。ブラックホールに落ちていくものは、熱エネルギーを持ち、その熱に応じた波長の光を出します。これが、巨大ブラックホール周縁の場合、ちょうど紫外線や可視光なのです。また、紫外線や可視光によって温められた周囲のガスや塵は赤外線を発します。いずれも波長の短い光です。ブラックホール系からは電波も出ていますが、磁場の周りを回転する電子が出すもので、落ちていくものとは直接関係がないのです。

干渉計による中心部の直接観測は、2003年に1つのブラックホールで成功した後、なかなか成功しませんでした。しかし、2009年5月に、私たちがハワイで一度に4個の巨大ブラックホール系を観測しました。この時、望遠鏡間の距離によって、干渉縞の強さが変わることを確認できました。天体の大きさを計ることができる証拠になります。同じ2009年にチリのパラナル観測所(左図)で、明るさによって、ブラックホール系の構造が異なることも示すことができました。たくさんのが同時に落ちているブラックホール系では、落ちるものの光によって、周りのものが吹き飛ばされて、構造が変わると考えています。

物理学の未来につながる粘りとアイデア

赤外線の干渉計によるブラックホール観測はまだまだ始まったばかりで、観測所のオペレータも本当に見えるのか半信半疑な場合があります。私たち研究者が直接観測所に行くと、装置を操作する人の後ろに立ち、諦めないでと説得することが効果的なもの、難しい観測の宿命です。私は観測の前に、この観測の成功が、観測装置の実質的な限界を伸ばせるということや、なぜ、その観測をしたいのかを一生懸命説明することにしています。

観測中は、干渉縞が出る最適な位置を探しながら装置を操作してもらいます。しかし、はるか彼方の巨大ブラックホール系は普通の星よりとても暗いので、1時間以上干渉縞が見えないこともあります。観測所を使えるのは、せいぜい一年に数晩。そんな中、なかなか干渉縞が出ないのはとても辛く、オペレータに対する肩身も狭くなってきます。しかし、絶対見ると信念を持ちつつ、なぜ今観測できていないかを冷静に考え、次の操作を指示する必要があります。そのためには、自分の観測の本質を理解し、様々なアイデアを常に持っておく必要があります。苦勞して干渉縞が見えたときの喜びは、格別のものでした。

現在、口径30メートルの望遠鏡が計画されていますが、コスト的にそれ以上の大口径望遠鏡は難しいでしょう。その後を考えると、空間分解能を上げるためには、赤外線・可視光線での干渉計は必須の観測技術となるはずです。観測技術が向上しなければ宇宙物理学全体を停滞させることにもなりかねません。今がまさに分岐点——その思いを持って研究に取り組んでいます。

理学部 物理科学科

岸本 真 准教授

PROFILE

博士(理学)。専門は宇宙物理学・天文学。宇宙探査衛星の打ち上げをニュースで見たことがきっかけで、新しいロケットを作りたいと宇宙工学に興味を持つ。同時にポケットコンピュータで毎日のようにプログラミングをするなど、コンピュータも好きだった。大学入学後に、プログラムを作って行う天体データの解析が一番楽しいと感じ、宇宙物理学へ進むことを決意。コンピュータ、ジャズ、スキー、スケートと趣味も多彩。私立麻布高等学校OB。



風林火山でITエンジニアを分類

ソフトウェア開発の現場では、チームを組むことが一般的になっています。しかし、多くの場合、勘や経験を頼りに、メンバ候補の中から選んでいるのが現状。そこで、ITエンジニアの能力を、客観的に測定できる指標で表し、メンバ編成（チームビルディング）により説得力を持たせられないか、と考えました。

ITエンジニアの能力にはいろいろな要素があります。そこで小野和俊氏（株式会社アプレッソ 代表取締役社長）が提案している「風林火山分類」を取り入れてみました。風林火山タイプの特性をITエンジニアに合うようアレンジして（図1）、その後、各タイプでの能力を数値化する、という方法です。

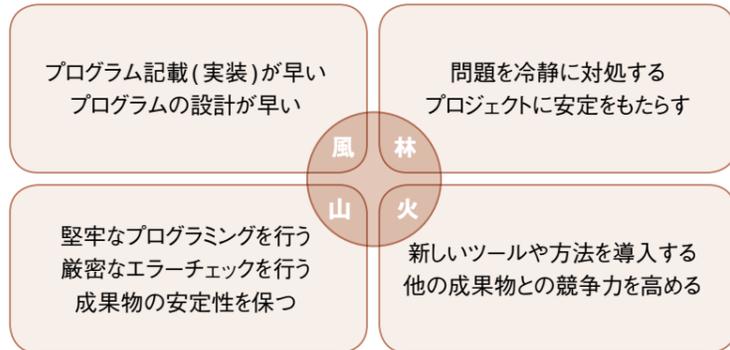
さらに私たちは、能力の測定をプログラム作成作業の履歴から自動的に行えるようにしました。こうすることでタイプ分けのための新たな労

力は不要になります。プログラムの開発は、ソースコード※2と呼ばれる命令文の列を普通の文章のように少しずつ書いていく作業ですが、この時、作成するソースコードを始めから書く人や、重要なパートから作り始める人、慎重に一行一行書き進める人、一気にたくさん書く人な

ど、いろいろな作業特徴があります。このような特徴から、その人の能力を「風林火山タイプ」で表現できると考えました。

※2 ソースコード：コンピュータへの命令を人間に分かりやすく書いたもの（ソースプログラムとも言う）。実行時には、コンピュータが直接実行できる形に翻訳される。

図1 ITエンジニアとしての「風林火山タイプ」



明確な根拠に基づく チームビルディングを目指して

“風林火山”でエンジニアの特性を測る

ソフトウェア開発は、ITエンジニアがチームを作って取り組むのが一般的になりました。そこで重要になるのがチーム編成。従来は、管理者の勘と経験が頼りでした。玉田春昭先生は、チーム編成に客観的な手法を取り入れようと、ITエンジニアの特性を「風林火山」※1の4タイプに別けて、能力値を自動的に判定する手法の開発に取り組んでいます。

※1 風林火山：「孫子」からの部分的な引用で、武田信玄の旗にも記された「疾如風、徐如林、侵掠如火、不動如山（疾きこと風の如く、徐かなること木の如し、侵掠すること火の如く、動かざること山の如し）」を略したものだ。

ADVICE

理系・文系のいずれに進むにしても、たくさんの本を読んで欲しいと思います。投げ出さずに一冊の本を読破する事は、一つのことを最後までやり遂げる、最小のトレーニングになります。読書に限らず、最初から最後までやり遂げる経験を積み重ねることで、その後のもっと大きな課題をやり遂げる力につながっていくのです。また、読書を通じて語彙や表現力を学び取ってください。それを積み重ねることで自分の考えを自分の言葉で適切に表現できるようになります。自分が持っているイメージを、うまくまとめて人に伝える能力は、将来どの分野に進もうとも必要とされるものです。高校生から大学生という、若い今のうちに、そういう力を伸ばしておくとういと思っています。



図2 メトリクスの風林火山分類

メトリクス	
風	プログラム記載(実装)行数/時間、個人の実装行数の割合、他
林	チケット対応の割合、個人の成長指数、他
火	スクラムマスターランク、他
山	レビュー回数、レビュー時間/回、バグ修正回数、バグ修正時間/回、他

図3 開発の履歴から、風林プログラム火山にタイプ分けする方法



プログラム開発手順と開発履歴

チームで行うプログラムの開発手順について説明しておきます。チームで行う場合、まず、作成しようとするプログラム全体をいくつかのパートに分けます。各パートには更に細かな単位で仕事が分けられています。この仕事をタスクと

呼びます。チームメンバはそれぞれ割り当てられたタスクに取り組みます。タスクは目的や進捗などの情報をチケットと呼ばれるまとまりで管理します。そして、開発者は、とあるタスクに対して「私が作成します」とチケット上で宣言してから作業を進めます。こうすると重複作業を防ぎ、また効率よく進められます。

一定量ソースコードが作成できると、バグ※3のチェックや修正、レビュー※4という作業によって、完成度を高めていきます。プログラムはこの過程を繰り返して作り上げられます。

これらの作業記録は、通常、開発履歴として残しておきます。大幅な仕様変更や簡単には取り除けない間違いが見つかった場合などに備えて、いつでも過去のある地点まで戻れるようにするためです。自動的なタイプ分類のために利用したのは、これらの開発履歴です。

※3 バグ：プログラムの誤りにより、コンピュータが予想とは違う動作をする事。

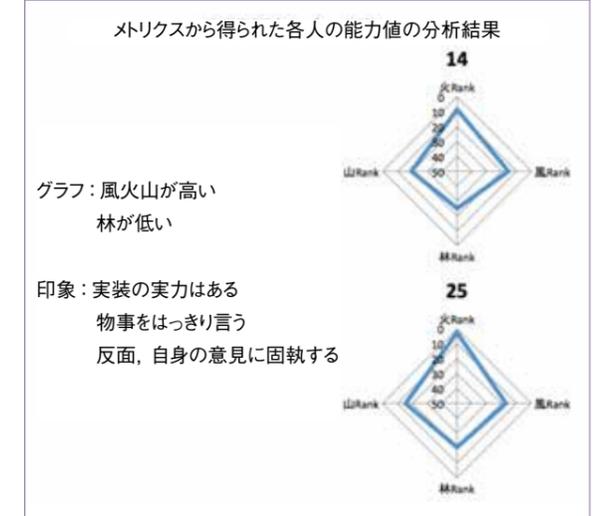
※4 レビュー：プログラム動作の評価。正しく仕様通りに動くよう、ソースの改善や確認することも意味する。

開発履歴からメトリクスを抽出

開発履歴を上手に解析すると、プログラム作成の行数や時間、チケットをどれだけこなしたかという、いわば各人の成績を測定できます。各成績を「メトリクス」と呼び、各メンバの開発者としての能力をこれらのメトリクスから求めます（図2）。具体的にはメトリクスのそれぞれを風林火山に割り当てることで、各メンバの風林火山の能力値が、開発履歴から決まります（図3）。

山タイプには「堅牢なプログラミングを行う」という特徴があると定義しています。そのため、バグ修正に関連するメトリクスを当てはめています。開発記録を解析した時、バグ修正回数やバグ修正時間が少なかった=それが該当するメトリクス数値が良い（高い）、として現れます。いくつものチケットの作業記録を解析して、それ

図4



ぞれでメトリクスを解析し、いずれにおいてもこのメトリクスの数値が高い人は、「山」の数値が高い、という手法です。

このようにして、各人の開発成績から4タイプの能力値が算出されます（図4）。

さらに、求めた各タイプの能力値をもとに、ゲーム理論※5を用いることで、最適なチーム編成が決定されます。納期が重視されるのか、品質が重視されるのか、といったプロジェクトの性質により、「風」を重視したり「山」を重視したりするなど、状況に応じたチーム編成が可能です。

※5 ゲーム理論：複数のゲーム参加者が全員合理的な選択を行った場合に、どのような結果に落ち着くかを求める理論。「風」と「山」が高いチームを編成したい場合、「風」を高くしようとすると「山」を高くしようとするとの間で、落ち着く解を探す、という手順をチーム人数分繰り返す。

更なる改善を目指す

私達は、この手法を評価するための実証実験として、プログラミングを学ぶ大学院生49人に対して風林火山タイプ分けを行いその結果をまとめてみました。それによると、風タイプと山タイプについては、実際の評価とこの手法の評価が一致する点も多く、この手法はチームビルディングにとって有効であるという考察が得られました。しかし、「林」と「火」については分析結果と実際があてはまらないケースも多く、特に、「林」には、一方が高いともう一方が低くなるという、お互い両立しないメトリクスが含まれていて、メトリクス同士による打ち消し合いが見られました。また、この手法は一度以上開発を行わないと、開発履歴が得られないため、事前に開発者の特性を測定できない、という欠点もあります。

今後は、事前にアンケートを取ってそこから風林火山タイプを推定するなど、いろいろな課題を克服してより良いチームビルディング手法を提案していきたいと考えています。

ナビゲーションシステム が人の意図・好みを汲み取る

現在のナビゲーションシステムの限界

近年、ナビゲーションシステム（以下、ナビ）が、携帯電話やiPadなどのタブレット型電子機器などにも搭載されるようになり、見知らぬ場所でも迷わずに行けるようになりました。

しかし、示されたルートと異なる道を行きたくなることも多いと思います。朝の時間帯ならあの踏切は待ち時間が長い、遠回りだけど車が少なく走りやすい、あの子の家の前を通る道がいいな、など理由は色々あります。でもナビは頑固に「時間か、距離か、有料道路優先か一般道優先か」などの基準で道を示し、利用者の意図を汲み取ることはありません。事前に経由地を登録すれば意図通りのルートを表示させることが可能ですが、細かく経由地を入力するのでは、ナビ本来の利便性が損なわれてしまいます。

そこで私は、この「利用者の意図」を推測してルート計算に取り入れて、利用者が本当に通りたいと思っている道を推測する方法を考えました。

仮想コストを使って意図の強弱を表す

現在のナビは、「いくつか候補ルートがある場合、最小数値を持つルートを提示する」とい

頑固なナビをスマートにするアイデア

地図と経路を表示して、目的地までの道のりを提示してくれるナビゲーションシステムは、今やなくてはならないツールとなりました。

でも、ナビが示すルートと違う道を通りたくて、提示ルートから外れると、ナビは元のルートに戻そうとします。

便利なツールが一転してお節介なツールになってしまうのです。情報推薦がご専門の中島伸介先生に、「利用者の意図や好み」を汲み取って、別のルートを提示する、そんな賢いナビゲーションシステムの開発について、お話を伺いました。

うルールに則っています。距離優先条件の場合は距離コストが最小のルート、時間優先条件の場合は時間コストが最小のルートを提示するわけです。そこで私たちは、利用者が通りたいルート＝最小コストとなるような「仮想コスト」というものを定義しました。仮想コストは、利用者の意図によって、実際のコストを増減させたものです。コストは、時間でも距離でも道路料金でも構いません。意図の強さは、ナビが提示したルートと利用者が選んだルートとの差異の大きさによって決まるようにしました。それによって、意図の強弱も推測することができます。

コンピュータ理工学部
ネットワークメディア学科
中島 伸介 教授

PROFILE

博士（情報学）。専門はWebマイニングおよび情報推薦。浪人や部活動（アメフト）に没頭しすぎたの留年、更に卒業論文提出直前に阪神大震災で実験装置が粉々になるなどの数々の挫折を味わいながらも博士課程まで進んだが中退。その後環境コンサルタント会社で働いていたが、やはり博士の学位を取りたいという思いから京都大学大学院の博士課程に進み、それまでの専門とは全く異なる情報学を学ぶ。この経験から「人生は失敗だらけ、ただし諦めないかぎり敗者ではない」を信条とする。大阪府立池田高等学校OB。

ADVICE

コンピュータ科学に限らず、どんな分野に進むにしても、自分の好きなこと、興味を持てることを見つけてください。興味のない分野で無理に自分を奮い立たせるのはたいへんですが、好きなことであれば楽しく努力できるからです。そして、好きなことに出会ったら、仕事の完成度に妥協せず、自分にしかできないことを作り出して欲しいと思います。それが、結果として、社会を構成する一員としての貢献につながっていきます。

仮想コスト——利用者の意図するルートのコストが、従来のナビが示すコストよりも小さくなれば、「候補ルートの中で最小数値を提示する」というルールに則ってナビは「仮想コスト数値最小ルート」を提示するようになる、という仕組みです。

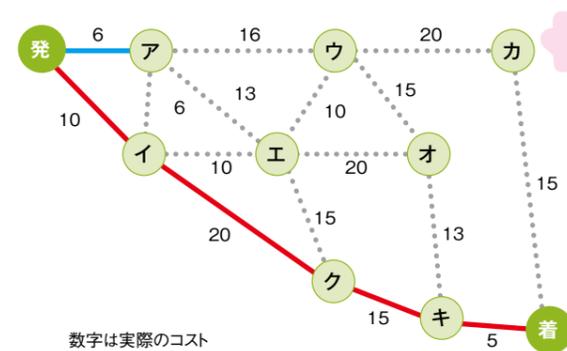
実際に使ってみよう

具体的にどのような計算が行われているのか、「花子さん」に登場してもらって詳細を見て行きましょう。図1は、花さんが通る道を示したルート図です（出発地＝発、到着地＝着）。

花さんは、到着地までナビを使って移動しようとしています。到着地までの実際のコストが最小値となるルートは、赤いルート（発→イ→ク→キ→着）です。ですから従来のナビでは、最短ルートとして距離コストが合計50となる赤いルートを示すでしょう。

ところが、花さんは、（発→イ）の道を通りたくありません。彼女は道に迷いやすいので、出来るだけ東西か南北に真っ直ぐ伸びる道を進みたいのです。そこで、花さんは、ナビに逆らって通りたい道（発→ア）へと進みました（図中の青いルート）。従来のナビはこの地点（ア）からの最短ルートを提示しますので、実際のコストで計算すれば、ナビは再び（イ→ク→キ→着）のルートに戻るよう提示するでしょう。

図1



数字は実際のコスト

Another face

私の研究室は、Web情報を対象としてユーザーが簡単に安心して使える情報検索システムや、情報推薦システムについて取り組んでいます。ユーザーが機械・システムに合わせるのではなく、機械・システムがユーザーに近づいてくる、そういう未来を作ることが、この研究の役割だと考えています。プログラマーの熟度を分析して信頼性の高い情報を見つけ出す手法や、将来的に世の中で広まるであろうトレンドの流行を予測できるシステム、ユーザーの気分に応じたレシビ推薦システム、なども同じポリシーで進めている研究です。

この際、アからイに戻るのが最短ルートだとナビに言われても、やっぱり花さんは、東西に真っ直ぐの道（ア→ウ）を進みたいと感じています。この彼女の意図をナビに汲み取らせるために、これ以降の道路の仮想コストを求めます。例として、（ア→ウ）の仮想コストの算出方法を示します（図2）。（ア→ウ）につながる青いルート「通りたい道（発→ア）」のコストと赤いルート「ナビが提示した道（発→イ）」を通った場合のあまでの道（発→イ→ア）」のコストの比を、実際の（ア→ウ）のコスト16にかけて、それを仮想コストとします。

（ア→ウ）の仮想コストは、次の式のようにになります。仮想コスト＝「通りたい道（ア→ウ）」×「（ア→ウ）以前に通りたい道（発→ア）」/「（ア→ウ）以前にナビ提示ルートを通った場合の道（発→イ→ア）」

$$6 = 16 \times \left(\frac{6}{16}\right)$$

実際のコスト16であった（ア→ウ）は、仮想コスト6となりました。

同様に、意図と違ったルートは、仮想コストが大きくなります。図2で花さんがナビに反してアに進んだ時、（イ→ク）を通るコストは、実際のコスト20に、仮想コスト計算式（（発→ア→イ）/（発→イ））をかけたもの、つまり $20 \times \frac{12}{10} = 24$ となり、実際のコストより大きく算出されます。

結果として、アから着への仮想コスト

図2

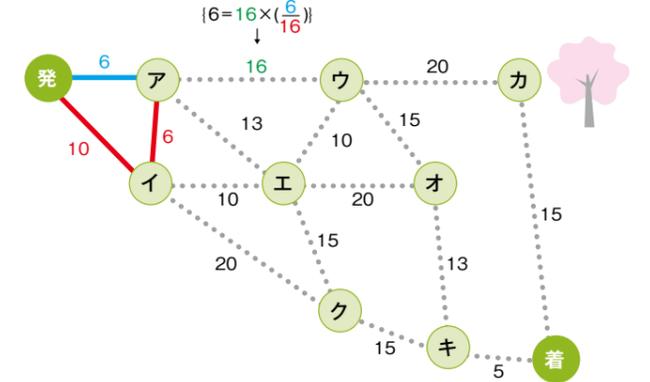
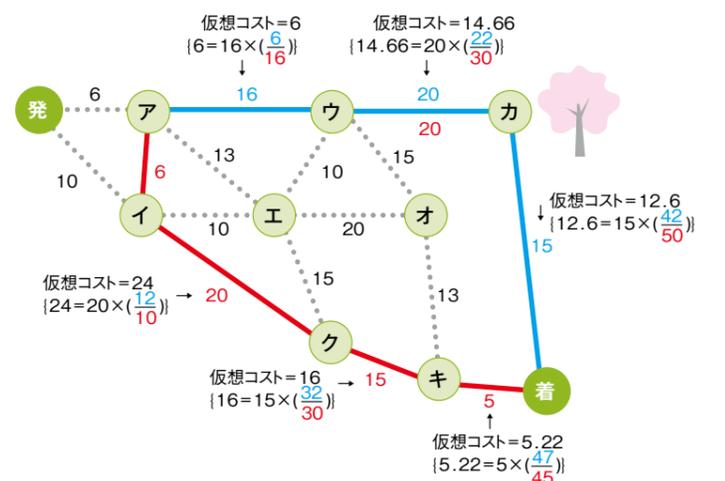


図3（アから着までの仮想コスト比較）



脳の同期状態を近づける 意思疎通のメカニズム

記憶=展望システムと
環境応答システム

脳がコミュニケーションを行う仕組みを見る前に、まず一人の人間が「行動予定の計画を立てて、それを遂行する」時、脳の中で起きていることを見てみましょう。一人の人間の脳から分かったことが、後述するコミュニケーションのメカニズム解明のベースとなります。

実験では、被験者に、風景などの写真を見せて、それに対して特定の行動を起こすという予定を計画し、記憶してもらいます。たとえば「公園の写真を見たら、手元のレバーを右に倒す」といった簡単なものです。このような行動予定をいくつも計画・記憶する課題の間、fMRI※1によって脳のどこがどのようなタイミングで活動しているのかを計測します。

その結果、行動予定を計画する際に、脳の前頭葉内側領域、海馬、感覚・運動皮質が強く活動した場合に、後でその予定を正しく思い出して実行できる確率が高いことが分かりました。前頭葉は一般に思考や行動の制御を司り、また記憶をどのように蓄え、いつ取り出すのかに関与します。海馬は、感覚情報を環境や心身状況と関係するタグや意味情報に結び付けて貯蔵する過程に役割を果たします。感覚・運動皮質は、実際に身体が受け取った物理的情報を処理して身体運動の指令を送り出すところです。さらに、これら三つの領域の活動の強さは、お互いに関連し合っていることも分かりました。脳のこの三つの領域が、同時に関連しながら働くことで、私たちは行動予定の強固な記憶を形成することができるのです。ここでは、この領域を「記憶=展望システム」と呼びます。

さらに別の実験で、現在の環境情報の処理（数字の大小判断や画面の点の左右判断など）を次々に行いながら、たまに出現するある特別な数学や点のパターンに対しては前もって

コミュニケーションでは脳に何が起きているのか

私たちは、親しい人や長く生活を共にした人であれば細部まで説明されなくても、ちょっとした言動から「いま何をしたいのか、何を考えているのかを理解することができます。こういったコミュニケーションを脳はどのようにして実現しているのでしょうか。神経情報学の分野から未来のコミュニケーション科学の可能性を探る奥田次郎先生にお話を伺いました。

計画しておいた予定行動を思い出して実行する課題を実施しました。その結果、現在の環境情報への応答速度が速いほど、予定行動の想起や実行は遅くなりました。またこのときに、記憶=展望システムの領域の活動が応答速度と連動して変動していました。さらに、記憶=展望システムの活動が高ければ、環境応答を司る別のシステムの活動が低いこともわかりました。環境応答システムと、記憶=展望システムとの間にトレードオフの関係が見られるのです。

※1 fMRI: functional Magnetic Resonance Imaging。生体組織内の磁気共鳴現象を利用して、脳の反応（血液状態）を視覚化する実験方法。

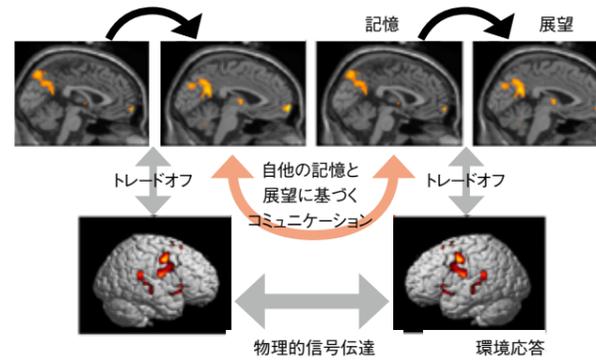
コミュニケーションのメカニズム

コミュニケーションは、一方が記号や音声を物

理的な信号として発し、もう一方がそれに応答することで成立しています。意味のあるコミュニケーションが成立するためには、発せられる信号は無意味なものではないでしょう。意味のある内容としては、記憶=展望システムが関わる過去の記憶やこれに基づく行動予定の計画も含まれます。もちろん、それを受け取り応答した方が、上辺だけの返事を返したのでは本当の意味でのコミュニケーションは成立しません。受け取った記号や音声が表示内容によって、自分の記憶=展望システムが適切に変化しているはずで（図1：展望的コミュニケーション仮説）

脳科学の観点で、コミュニケーションが成功するということは、一方の人間の記憶=展望システムの状態が、もう一方の人間の記憶=展望システムの状態と関連し合えるようになることだと考え

図1 展望的コミュニケーション仮説



二人の間で、声や身振りなどの物理的な信号のやりとりは環境応答システム（下段）によって行われるが、相手の経験や意図、計画などを考慮したコミュニケーションを行うためには、環境応答システムとトレードオフの階層をなす各人の記憶=展望システムどうしが何らかの方法で情報を交換・共有する必要がある。

られます。

しかしながら、先述の通り、記憶=展望システムは、人間の間での物理的な信号のやりとり自身を担う環境応答システムとトレードオフの関係にあります。そのため、両者は階層構造を形成して、主導権を適度に切り替えつつ、環境応答を繰り返しながら、自分と他人の記憶=展望システムが関連し合える状態に近づけていると考えられます。

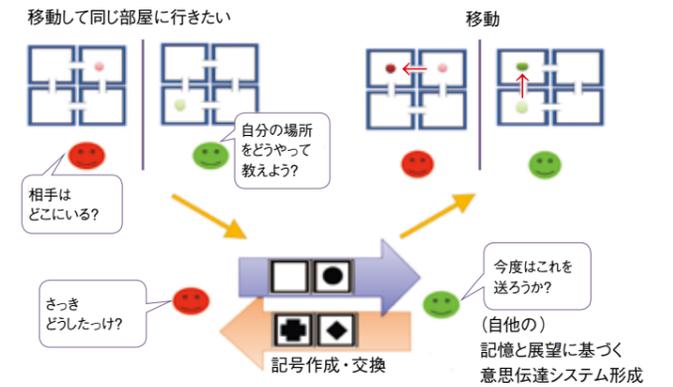
記号を手掛かりにした合流ゲーム実験

コミュニケーションによって記憶=展望システムが変化していくことを、私たちは実験によって確かめました（北陸先端科学技術大学院大学橋本研究室との共同研究）。

二人の被験者に、四つに分かれた部屋で互いに移動して同じ部屋に合流するゲームを解いてもらいます。この時、被験者は相手がどこにいてどこに移動しようとしているかを知ることができません。できることは「★△□」といった無意味な記号を組み合わせたメッセージをお互いに送り合うことだけです。（図2：合流ゲーム実験）

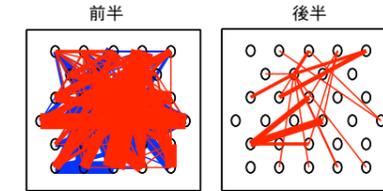
このゲームの参加者の行動を分析した結果、参加者の毎回の行動が二つの戦略のどちらかに分類できることが分かりました。一つは「自分が発信した情報（メッセージ）の記憶」を基に

図2 合流ゲーム実験



右：ゲーム実験での参加者の脳波測定の様子。実際の実験では、二人の参加者はそれぞれ隔離された別々の部屋で実験を受けており、お互いの様子を直接見たり聞いたりすることはできない状態でゲームを行った。

図3 周波数同期ネットワーク構造の変遷



移動先を決めるときの参加者の脳波位同期の強さを、脳波電極位置（図中の楕円）の間の線の太さで表した図。電極配置は、前を向いた参加者の頭を上から見下ろす見方で模式的に示した（図中上方が頭の前、右側が頭の右側を示す）。赤い線は二人の参加者の「相手」戦略時の位同期が共通して強かったネットワークを示し、青い線は「自分」戦略時の位同期が二人の間で共通していたネットワークを示している。図左側の実験前半では、「自分」ネットワークと「相手」ネットワークの両方が強く存在しているが、実験後半（図右側）では、「相手」ネットワークのみが残っている。

して行動計画を立てる「自分」戦略、もう一つは「相手から得た情報の記憶」を基にする「相手」戦略です。

この課題を前半24回、後半24回、繰り返し解いてもらい、その間の二人の脳波を測定しました。そして、脳波の周波数同期のネットワーク構造※2を調べました。

「自分」戦略のときのネットワーク構造と「相手」戦略のときのネットワーク構造が二人の間でどの程度似ているかを調べたところ、前半ではお互いの「相手」戦略ネットワークが似ている部分と「自分」戦略どろろが似ている部分とがはっきり分かれています。後半では二人に共通の「相手」戦略ネットワークが主に優勢になっていることが分かります。実際、後半24回の試行では、あまり悩まずに課題を成功させる被験者が多く、このゲームに関しては、互いの考え方が分かるようになっていました。（図3：周波数同期ネットワーク構造の変遷）

単純な記号を使ったコミュニケーションによって、もともとあった「自分」戦略ネットワークが、「相手」戦略ネットワークにシフトしてくるという現象が確かめられたのです。

※2 周波数同期のネットワーク構造：脳波は頭皮上の2点間の電位差の時間波形であり、位相（波の山と谷のどの部分であるかの情報）を持つ。位同期とはその位相がぴったりと重なること。脳波は、頭部表面のいくつかの場所で測定するため、位同期する場所と、しない場所が出てくる。位同期する場所を結んだネットワークの構造を二人の間で比べると、二人の脳の使い方の似ている度合いを量る方法の1つとなる。

コミュニケーション神経情報学を作ろう

脳と脳をつないだり、お互いがわかる日本語での会話を行った訳でもない二つの脳が、単純な課題とはいえ、ある程度似てくるという発見は、脳科学への理解を深めることが人と人のコミュニケーションの理解に役立つことを示しています。

長年連れ添った夫婦では、多くの言葉を労さずとも、何を考えているのか、次に何をしようとしているのか、理解できるということが経験的に知られています。このような現象も、人が持っている脳の同期ネットワークを互いに合わせてゆく仕組みによって説明できるかもしれません。

このような脳の働きについての理解をさらに深めることで、コミュニケーション神経情報学と呼べる新たな学問分野を拓くべく、全国の様々な分野の研究者と一緒に研究プロジェクトを進めています※3。

※3 <http://dynamic-brain.jp>「科学研究費助成事業 新学術領域研究 伝達創成機構」

コンピュータ理工学部 インテリジェントシステム学科 奥田 次郎 教授

PROFILE

博士（障害学）。専門は脳認知情報処理・非侵襲脳機能イメージング。高校時代は工学や自然現象に興味があり、学部では地球工学を専攻するが、小さな脳が、いかにして世界を作り出し、それに意味や色彩を与えているのかを考えるようになり、修士課程終了後、脳科学に転進。地球の内部を探索する地中センシングや、鉱物の化学組成から地殻の熱変動状況を推測する研究の経験が、計測されたデータから内部で起きていることを推測する、人の脳の研究にも活かされているという。兵庫県立神戸高等学校OB。

ADVICE

自分自身でやり方を編み出せる人に

地球工学から脳の研究へと転進した私自身の経験から、高校生のみなさんにも、自分が心の底から一番興味を持っていること、知りたいこと、実現したいことを目指してもらえたらと思います。多くの人は、本当に興味があることをとことんまで考えたり、挑戦したりすることに億病になっている場合が少なくないのではないでしょうか。私の研究室では、この考え方を指導方針としており、できる限り学生本人がやりたいことを自分で見つけてそれに打ち込めるように、アイデアやオリジナリティを追究することを勧めています。ただし、やりたいことに打ち込むからには、自分自身に対する責任も生じます。また、その過程で、正しい知識や方法論を自ら掘り取ってゆく経験が重要です。やり方が分からないからと言ってすぐに答を求めるのではなく、自分なりの研究方法を編み出せるまで、突き詰めることも必要になってくるでしょう。



予定を忘れにくい脳に鍛える

本文では、行動予定の計画の際に、脳の三つの領域が同時に活動した場合に、正しく思い出して実行できる確率が高いと述べました。私は、脳科学の知見を応用することで、この確率を上げるトレーニングも実現できるのではないかと考えています。fMRIなどによって測定した脳の状態を、トレーニングによって自分で努力して作り出せるようにするデコーディッド・ニューロフィードバックという方法が開発されてきています。この方法では、被験者の脳の状態を測定し、測定結果がある脳の状態にどの程度近いかを被験者にフィードバックして、その脳の状態に近くなるような方法を被験者自身に試行錯誤しながら見つけ出してもらいます。

仮に、ある人では体を動かすイメージを思い浮かべた時に、三つの脳領域が強く活動するという状態が再現できるのであれば、行動予定の計画の際に、その脳状態を自ら作り出す訓練を行うことで、想起・実行の成功率が上がるといった可能性があるのではないかと期待しています。

再生医療の地図を描く エピブラスト幹細胞

発生生物学は人間学

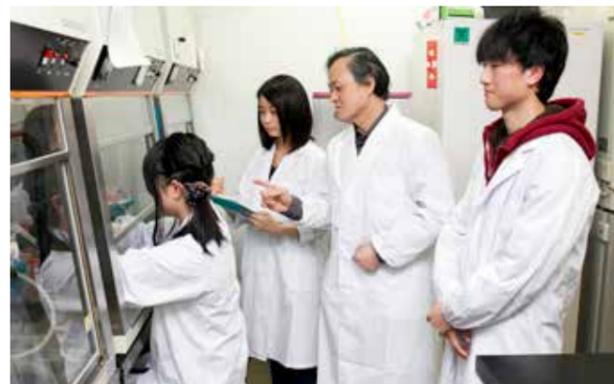
発生生物学は、生物の発生の研究を通して、人間のことを知る学問です。ただ、実験対象に人間の細胞は使えませんから、ニワトリやマウスを使用します。ニワトリは哺乳類に近縁ですが、子宮で発生が起きる哺乳類と違い、体の外で発生が起きるため、観察しやすいという利点があります。一方、ヒトに近いことを調べたい場合には、マウスを使います。発生生物学全体の中では、カエル、メダカ、ゼブラフィッシュ、ショウジョウバエなどさまざまな動物が研究に使われます。

人間の理解が目標なのに、実験でこのような動物を扱うことを不思議に思う人もいるかもしれませんが、発生を司る仕組みは、多くの動物で共通です。実際、ヒトの発生を調節する遺伝子の半分程度はショウジョウバエの研究を通して明らかになったのです。ハエの研究が私たち自身を知ることに大いに貢献しました。それに加えて、人間により近いマウスやニワトリの発生を調べることが、人間を知ることに役立つのです。

再生医療の地図を描く

近年、ES細胞やiPS細胞が大きな話題となっていますが、実は、それらは本当の意味で体の組織のもとになるものではありません。ES細胞やiPS細胞の大半は、胎盤や羊膜といった体以外の組織になり、神経や臓器といった体の組織への分化には、もう一つステップが必要だからです。

そのステップが「エピブラスト(胚盤葉上層)



学生も最先端の実験に参加する

生物の発生を通して私たち自身の姿を知る

高校までの生物学で、一度は学ぶ、生物の発生。

教科書には、発生のことはすっかり分ったように書かれています。

しかし、実は、単なる思い込みが長らく掲載されていたのです。

エピブラスト幹細胞の研究から、その思い込みの間違いが明らかになってきました。

世界で初めてエピブラスト幹細胞を研究に利用して、

発生学の常識を覆した近藤寿人先生に、

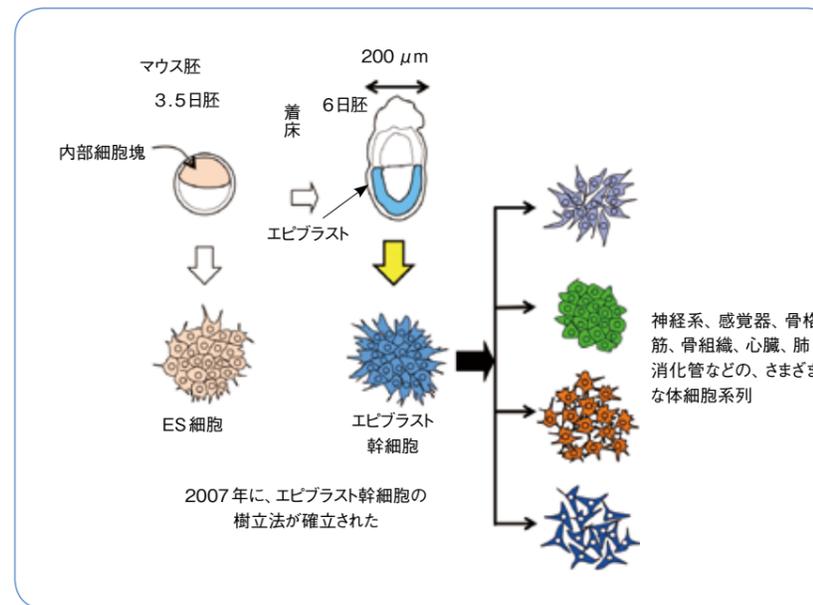
未来の再生医療の地図を描く発生生物学の最前線についてお聞きしました。

幹細胞」です。エピブラストとは、着床後の受精卵のごくわずかな部分(図1上**青い部分**)のことで、この小さな幹細胞の集まりが、神経となったり、臓器となったりする、発生の最も重要な部分です(図1)。エピブラストは、2007年に初めて培養皿の中で増えるエピブラスト幹細胞として取り扱えるようになりました。マウス胚の中のエピブラストは大きさがわずか0.2mmと小さいため、直接に実験することは

難しかったのです。しかし、培養できるようになったことを受けて、私たちの研究グループが、世界で初めて発生の研究に利用できることを示しました。今では、発生学に欠かせない実験手法として世界的に認められています。

現在、iPS細胞を始めとする、様々な幹細胞科学や再生医療科学が誕生しつつあります。う

図1 エピブラストからさまざまな体細胞系列が生まれる



まく応用できれば、医療技術は格段に進展するはずですが、ところが、胚の中で起きていることを十分に理解できていないと、いくらiPS細胞などを作成する技術があっても、目標とする体の組織を狙い通りに作るのとはとても難しいのです。

iPS細胞の登場によって、私たちはいわばハイスペックの素晴らしい車を手にしました。ところが、エピブラストからどのようにして体のそれぞれの組織に分化するのかという道路の地図が間違っていれば、どんなに車が素晴らしいとしても、再生医療という目的地にたどり着くことはできません。この地図を明らかにすることが、期待される再生医療の発展に不可欠なのです。

通説を覆す発見

私たちのエピブラストの研究から、再生医療のための地図が描けます。それを通してわかったことの一つを紹介しましょう。

多くの高校の教科書では、エピブラストは、まず内胚葉、中胚葉、外胚葉に分かれて、その次に外胚葉が脳や表皮になる、といった風に、まず三胚葉に分かれて、さらにそれぞれが分化し発生が進むという説明がなされています。しかし、三胚葉は単なる解剖学的な場所の名称にすぎず、この説明に当てはまらない実験データが「例外」では片づけられないほどたくさん得られています。

一例を挙げると、三胚葉説による神経細胞と筋肉細胞の分化は、中胚葉、外胚葉に分かれた後、神経は外胚葉から、筋肉は中胚葉から形成されると説明されています。しかし、私たちの実験では、数時間前まで神経でも筋肉でもない状態の細胞が、2つの対抗する転写因子*のうち、どちらが優勢かによって神経になるのか筋肉になるのかが決まることを明らかにしました(図2)。

従来、発生生物学の常識とされてきた、まず

指導のモットーは「試合を経験する」

私の研究室では、スポーツに例えるなら、練習にとどまらずに本番の試合を経験するということを大切にします。卒業研究では、本当の研究をしてもらいます。私たちは新たに切り拓かれた研究をしているので、基本的な細胞培養などを丁寧に行うだけでも、最先端の研究にかかわることができます。思い描いたような結果が出なかったとしても、自分で考え判断して何かをすることは面白く、試合に出場したのに似た興奮と手応えがあります。将来どの分野に進むとしても、単なる単位取得を超えた貴重な経験として人生の糧になるでしょう。

図2 私たちが明らかにした、神経板を発生させる機構と細胞系列

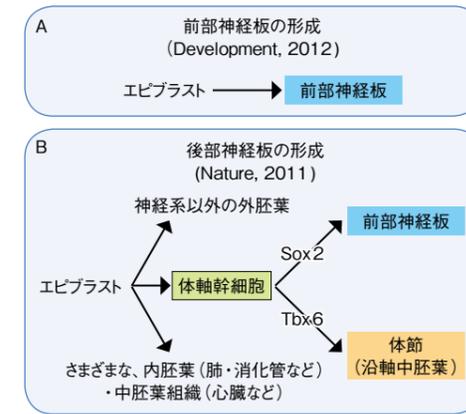
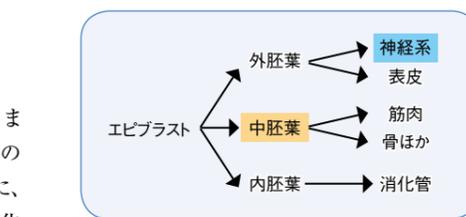


図3 これまで教科書などで示されてきた三胚葉モデル



三胚葉に分かれるというモデル(図3)は、再検討する必要があるのです。手応えとしては、エピブラストは、3つよりは多くの部分に分かれるとイメージしています。さらに、細かく分化していく過程で、一度別のものになった細胞が、最終的には同じ細胞になることもあります。たとえば、顔の筋肉と、体の筋肉はほぼ同じ性質の細胞ですが、顔の筋肉は神経堤という中間段階を通過して筋肉になるのに対して、体の筋肉は、体節を中間段階として筋肉になります。

*転写因子: DNAに結合して、DNAからRNAへの転写を制御するタンパク質。

最先端の研究に参加できる

エピブラストを実験室で培養できるようになり、どんな条件を与えたら臓器ができるのかなど、発生の地図を描くための理解が急速に進んでいます。遺伝子の発現を制御する因子といった現代的な視点から、発生で実際に起きていることが明らかにされつつあるのです。私の研究室では、実際にエピブラスト幹細胞を使った研究を、卒業研究の学生の皆さんにも取り組んでもらっています。研究自体は最先端のものですが、一つひとつの実験は基本的なことの応用です。きちんと学べば、学部生でも本格的な研究に参加することができます。

再生医療の発展に欠かせないエピブラストは、今後、さらに重要な研究対象になっていくでしょう。この京都産業大学で、再生医療の未来を拓く最先端の研究に取り組むことができます。



植物の巧みな共生戦略

ゲノム解析によって根粒菌の生態を明らかにする

私たち人間がビフィズス菌などの腸内細菌と共生していることは、みなさんもよく知っていると思います。この共生、自然界では珍しくない生態で、多くの生物で見られます。特に、植物は共生の宝庫。植物と微生物との共生では、植物が必要とする栄養素を作ったり、時には病気から植物を守ったりします。金子貴一先生は植物と微生物の共生の中でも、研究の進んでいるマメ科植物と根粒菌を対象に共生のメカニズムの解明に取り組んでいます。相互のやり取りの巧みに「なんてよくできているんだ!」と思わずにはいられない、そんな共生のメカニズムとその応用についてお聞きしました。

5億年前の植物上陸を助けた陰の功労者

植物が陸上に進出したのは、4～5億年ほど前と言われています。地球の誕生は46億年前、生物は40億年前です。5億年前の地球には、さまざまな生き物がいましたが、そのほとんどは海の中で暮らしていました。他の生物がほとんど存在しない陸上は、文字通り不毛の地でしたが、水中植物にとっては、大きな可能性を秘めた世界が目前に広がっているようなものだったのでしょう。ただし、水中に比べると乾燥していて、重力に抗って体を支える必要があり、水分や栄養分が不足がちなど、乗り越えるべき課題の多い環境でした。

この過酷な環境を克服して、植物が陸上に進出し、繁栄するのを助けたと考えられているのが、土の中で暮らしていた菌類や土壤微生物です。現在、ほとんどの陸上植物がなんらかの形で、これら菌類、土壤微生物と共生していることが分かっています。

マメ科植物と根粒菌のふしぎな関係——共生窒素固定

私が研究のターゲットにしているのは、マメ科植物と共生する根粒菌です(写真1)。マメ科植物の誕生が7000万年ほど前ですから、マメ科植物と根粒菌の共生は比較的新しい仕組みだと考えられています。ただその仕組みは、太古から植物と共生している菌根菌と似ていることが分かっています※1。

植物と土壤微生物との共生については、実はまだ分かっていないことの方が多いかもしれません。その中で根粒菌は、微生物学の発展とともにここ100年ほどで研究が進んでいます。

総合生命科学部
生命資源環境学科

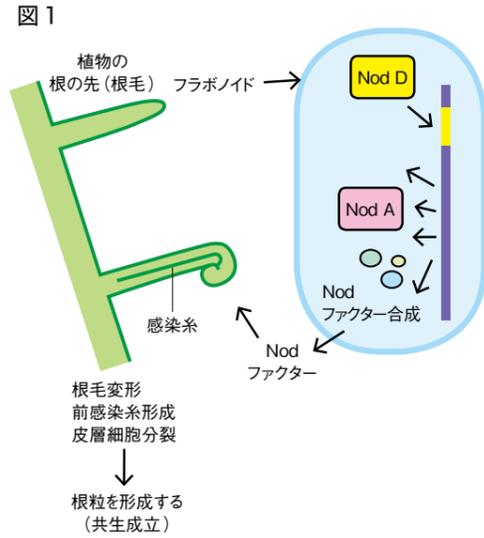
金子 貴一 教授

PROFILE

博士(理学)。専門はゲノム構造学。子どものころから生物好きで、ゲノム研究を選んだのは、大学院時代。当時はまだ難しかったゲノム解析に挑戦しようと思ったのがきっかけだったそう。最初にゲノム研究をした生物は葉緑体の起源生物ともいわれる藍藻(シアノバクテリア)。複雑な仕組みを持つ“共生”に興味を持ち、15年ほど前から共生の研究が進んでいる根粒菌をターゲットにしている。千葉県立菜園台高等学校OB。

研究室のモットー

研究室では、コンピュータで遺伝子解析をします。ただ、根粒形成したものとしていないものの成育を比べるなど、生物学の実験も大切にしています。生物学的センスを培った上で、コンピュータをうまく使って生物の仕組みを明らかにするというスタンスで研究・指導にあたっています。まだまだ分からないことも多い世界ですから、チャレンジする場はたくさんあります。



宿主である植物は根からフラボノイド(有機化合物の一種)を出す。根粒菌はフラボノイドに反応して、Nodファクターと呼ばれる糖類の一種を分泌する。ダイズにはダイズの、ミヤコグサにはミヤコグサの根粒菌といったように、ペアになる組み合わせが決まっています。それぞれに反応するフラボノイド、Nodファクターが異なる。このNodファクターに反応して、植物は根の先の根毛の先端をカールさせ、根粒菌を根の中に取り込む(感染糸から感染)。根粒菌は根粒内で分裂し、数を増やす。



研究で用いるのは、マメ科植物の中でも、扱いやすく栽培しやすいミヤコグサです。根粒菌は、ミヤコグサの根の根粒内で共生します。根粒菌は土の中で単体でも生存できますが、パートナーの植物の近くでは特に数を増やし、共生を成立させます。この共生成立のメカニズムが徐々に明らかになっています(図1)。

根粒菌に感染した植物は、根粒を作るようになります。根粒菌はその根粒の中で、植物の細胞の中まで入り込んで共生するのですが、まるでミトコンドリアや葉緑体などのオルガネラ(細胞小器官)のように、植物から排除されることなく、平然としています。

こうして共生した根粒菌は、窒素固定を行います。窒素原子はどのような生物でも生命維持に必須です。窒素分子(N₂)は大気中に豊富にありますが、安定な物質なのでそのままでは利用できません。そこで、大気中のN₂をアンモニア(NH₃)に還元する窒素固定が、植物にとって共生のメリットになります。

共生が成立すると植物から根粒菌にホモクエン酸が供給されて、根粒菌は窒素固定を行い、NH₃を植物に渡します。多くのバクテリアが窒素固定の能力を持っていますが、根粒菌はホモクエン酸を作るのに必要な遺伝子をなくして、単体で窒素固定できない原因のひとつになっています。植物からホモクエン酸の供給があって初めて、窒素固定を行うことができます。ただ、この遺伝子を残した根粒菌もあることから、マメ科植物との共生の過程で単体の窒素固定の仕組みをなくしたと考えられています。

根粒菌が窒素固定したNH₃を植物に供給

する一方で、根粒菌は、植物が光合成で作ったスクロース(糖)をリンゴ酸に変えたものとアミノ酸の一部をもらいます。根粒菌はこのリンゴ酸からエネルギーを作り出し※2、このエネルギーで窒素固定を行っているのです(図2)。

こうした共生窒素固定のメカニズムは明らかになってはいますが、たとえば肥料を与えて土の中に窒素がたくさんある状態だと植物は根粒を作らせない、ある程度根粒が増えるとそれ以上増えないようにしているなど、さらに不思議で巧妙な仕組みがあることも分かっています。

※1 約4億年前の陸上植物の化石の根には菌根菌の類縁の菌糸が見つかっている。菌根菌は根の組織内や根組織表面で菌類と植物が共生していて、前者は草に多く、後者は樹木に多い。マツタケやシメジもこの一種。菌根菌は主にリンを供給して植物と共生している。
※2 TCAサイクル(クエン酸回路)でATP(アデノシン三リン酸)をつくる。

コンピュータによる遺伝子解析で共生の謎に迫る

新たな発見が相次いでいる背景には、ここ20～30年のコンピュータ解析技術の向上があります。私は現在、主にミヤコグサとミヤコグサの根粒菌を対象に遺伝子やゲノムの研究をしていますから、コンピュータは欠かすことのできない存在です※3。

根粒菌は根粒ができることから、目で見て違いが分かりやすいこともあって、植物と微生物の共生ではもっとも研究が進んでいます。ほとんどの共生は微生物に光る遺伝子を組み込むなどのひとつと手間を加えない限り、目で見て分からないものなのです。根粒菌はゲノムも特殊で、もともと生物が他の生物のDNAを取り込んでいくつかの重要な遺伝子を獲得していることが

分かっています。前述の窒素固定や植物との共生成立時に分泌する化学物質(Nodファクター 図1参照)を作る遺伝子も、もともと持っていた遺伝子ではないのです。つまり、他から入り込んできた遺伝子によって植物と密接に関わり合う性質を獲得して、根粒菌になったと考えられるのです。

※3 金子先生は2000年にミヤコグサ根粒菌、2002年にダイズ根粒菌の全ゲノム塩基配列を解読した。

共生の仕組みを人類に役立てる

現在、図1とは別の形での共生成立について、共同研究を進めています。病原菌などの感染の仕組みに似た、微生物が宿主にたんぱく質を送り出す仕組みについての研究です。どのようなものが送られていて、送られてくることで植物と根粒菌はどのような状態になるのか。興味は尽きません。

ダイズは、イネやトウモロコシなど他の穀物に比べて、やせた土地でもよく育つことが知られています。これは根粒共生によって養分を効率よく取り込めるからです。現在、栽培植物に欠かせない窒素肥料の合成には、石油や天然ガスなどの莫大な量のエネルギーが必要です。植物が光合成をして得た炭素源をエネルギーにして窒素を植物に供給する根粒共生は、いわば「エコ肥料」です。マメ科植物と根粒菌の共生の仕組みを明らかにすることで、マメ科以外の植物の応用研究にもつなげて、ひいては食料危機などにも役立てられればと考えています。

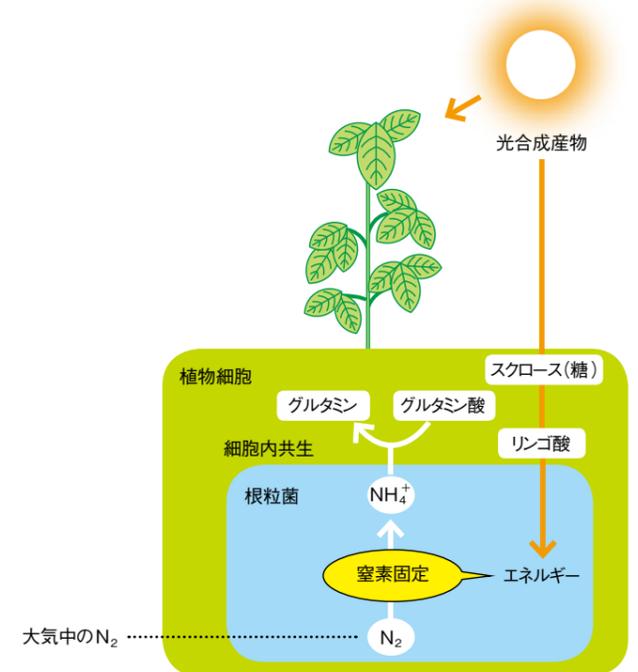


写真1: ミヤコグサの根粒。大きさは直径約1ミリメートル。中に根粒菌が共生している。



写真2: 根粒菌に感染したミヤコグサ(右)と感染していないミヤコグサ(左)。個体差はあるものの、成育後32日目でも違いは大きい。

図2 根粒菌の共生窒素固定



人獣共通感染症の原因菌リケッチアを追え

生きた自然を相手に感染症の実態を調べる

動物を介して、ヒトにも感染する人獣共通感染症。古くはネズミが媒介するペストが知られ、近年ではデング熱の脅威が報じられました。動物が運ぶのは、肉眼では見ることのできない細菌やウイルス。リケッチアという細菌を節足動物が媒介することで広がる感染症について、人獣共通感染症を研究する染谷梓先生にお話を伺いました。

細菌とウイルスの中間

私は、ダニやノミといった節足動物が媒介する感染症について研究を行っています。特に、リケッチアという細菌について調べています。リケッチアが引き起こす代表的な病気には、日本紅斑熱という感染症があり、国内では年間100例以上が報告されています。きちんと治療をほどこさなければ亡くなるケースもあり、研究の重要性が高い細菌の一つです。

一般的に、細菌は栄養を加えた人工培地で増えることができます。ところが、リケッチアは、エネルギーを合成する仕組みが不十分なため、人工培地で増えることができません。そのため、哺乳類やダニなどの節足動物を宿主として、その細胞に入り込み、宿主細胞のエネルギーを作る仕組みを利用して増殖します。約1マイクロメートル（ちなみにヒトの赤血球の直径は7～8マイクロメートルほどです）のリケッチアに感染した動物の血を吸ったマダニがほかの動物や人間の血を吸うと、リケッチアがその動物や人間の体内に移動し、病気の原因となるのです。

このような仕組みで、リケッチアはダニを媒介して動物や人間に入り込み、なんらかの症状をおこしたとき、感染症として現れてくるわけです。

リケッチアは細菌ですが、宿主の細胞がないと増殖できない生物といえばウイルスが代表例です。ウイルスはゲノムとそれを包む殻というシンプルな構造をしていて、体の部品を作ることすら宿主細胞に依存します。リケッチアの構造は細菌とほぼ同様ですが、増殖には宿主細胞が必要という、いわば細菌とウイルスの中間のような存在です。目に見えない微生物にも、さまざまな「暮らし方」があることを知ってほしいと思います。

自然の中で起きていることに目を向ける

リケッチアの感染ルートや自然環境中での分布状況を調べるために、野外でのフィールドワークを行っています。学生と共同で近郊の山にいるマダニをつかまえ、どのようなマダニが私たちの周りに生息しているのか、また、そのマダニがどのような病原微生物を保有しているのかを調査しています。病原体の存在を確認するには、病原体のDNA断片を増幅したり、病原体そのものを培養細胞で分離する方法があります。

これまでの調査から、京都市内のマダニからリケッチアのDNAが検出されています。その塩基配列を解析したところ、日本紅斑熱と近縁種だということがわかりました。また、これまで日本で報告のない微生物が見つかったりもしています。

自分たちで条件を整えることができる室内での実験に比べ、野外でのフィールドワークは天候など、コントロールしきれない事柄に左右されるのが厄介なところ。自然が相手です。

ADVICE

私が微生物学の研究室に所属したのは、学部生の頃です。当時は獣医を目指していたので、まさか将来大学の研究者になるとは思ってもいませんでした。現在の研究分野に興味を持ったのも、奨学金を出してくれた企業の研究がきっかけでした。完全に巡り合わせです。

将来に何が起きてどんな道に進むか、これはなかなか予想しにくいものです。高校生の皆さんには、一筋に何かを頑張ることも大事ですが、若いうちに広い視野をもって様々な経験を積むことも大切だ、と伝えたいと思います。他の人がやっていないことに面白がって取り組んでみたり、目の前に現れたチャンスに挑戦したり、といった体験が、後の長い人生のどこかで役に立つことがあるのです。



京都市近郊で採取されたマダニ。右は一円玉。



動物の血を吸ったマダニ。写真中・右のように体の何倍もの血を吸って膨張する。

総合生命科学部
動物生命医科学科
染谷 梓 准教授

PROFILE

博士（獣医学）。専門は獣医微生物学。研究テーマは人獣共通感染症の原因菌および食品衛生上問題となる細菌の病原性および薬剤耐性。学部時代に実習で、肉眼で見えないものが見えるようになっていく面白さを知ったのがきっかけで微生物学を専攻。動物の観察をしながら、人類の安全・健康に貢献できたら、と語る。京都府立宮津高等学校・島根県立松江北高等学校OG。



ら、なかなか思うようにはいきません。野外の温度や湿度、土地の状況など、フィールドごとに異なる様々な要素を総合的、多角的に考える力が求められます。その分、実際に自然の中で起こっていることを体感するのは楽しいことです。

この他に、調査地に複数の赤外線カメラを設置し、出没する野生動物の観測も行っています。マダニの分布状況との相関を調べるためです。シカやタヌキ、イノシシといった動物がよく見られます。身近なところに野生動物を観測するフィールドがあるというのは、自然に恵まれた京都産業大学ならではのようです。



フィールドワーク風景。茂みからリケッチアを媒介するマダニを採取。



センサー搭載のカメラを使い野生動物の分布も調査する。写真はカメラが捉えた野生のシカ。

正しい知識を持って
正しく恐れる

節足動物媒介性の感染症の他に、京都市衛生環境研究所と合同で食品衛生に関わる薬剤耐性菌の研究も行っています。薬剤耐性菌とは、細菌の増殖などを阻害する抗生物質などの抗菌薬への抵抗力を身につけた細菌のことです。抗生物質は家畜にも使われているため、家畜のまわりにも耐性菌は存在しています。そのため、耐性菌が付着した食肉が流通してしまう恐れがあります。耐性菌は耐性のしくみにかかわる遺伝子を他の細菌に伝達することがあり、病原細菌などにその耐性遺伝子が伝播すると、治療の際、抗菌薬の種類が制限される可能性があるため、適切なコントロールと監視が必要です。

去年はエボラやデング熱が大きな話題となりましたが、「怖い」ということが強調されて、きちんとした知識が十分に伝わっていない、という印象を受けました。感染症を怖がり過ぎず、適度に恐れるために、まずは私たち研究者が適切な情報を発信しなければと思います。また、病原菌と聞くと、単純に減らせればいいと考える人もいますが、微妙なバランスで成り立っている生態系の一面を人為的に崩すことは、必ずしもよいことではなく、場合によっては巡り巡って人類に害を成すこともあるかもしれません。

微生物は多細胞生物に比べてつくりはシンプルですが、まだまだわからないことは多くあります。また、種類も多く、多様な生態を持っており、まだ見つけられていない細菌も当然いるはず。こうしたことを考えれば、微生物学の果たすべき役割と進めていくべき研究はまだまだ尽きないと言えるでしょう。

先端領域に広がる自然科学系 3 学部の学びのフィールド。

理学部

大自然の真理を
明らかにする。

数理科学科

2つのコースにわかれて学び、
数学的思考力と発想力を習得。

〈基礎数理科学コース〉 〈応用数理科学コース〉

代数学 自然と社会の数理系
幾何学 プログラムの数理系
数学解析学
複素解析学

物理科学科

ミクロの世界から地球環境まで、
物理的現象にアプローチ。

環境科学
物性物理/理論
レーザー・電波物性
結晶・表面物性
素粒子

宇宙物理・気象学科*

宇宙や大気現象を理解し、
人類の難題に立ち向かう。

太陽系の起源 異常気象
太陽系外惑星 気候変動
ブラックホール 惑星探査
宇宙論 惑星気象

コンピュータ 理工学部

ITのフロンティアを
開拓する。

コンピュータサイエンス学科

基礎から段階的に学び、
コンピュータの先端領域を追究。

情報科学
コンピュータシステム
情報基盤技術

ネットワークメディア学科

ネットワークを自由に構築し、
利用できる実践力を養う。

インターネットの応用
Webアプリケーション

インテリジェントシステム学科

脳科学の領域にも踏み込んで
情報処理の世界を探究。

ユビキタス
知能情報処理
人間科学・脳科学

*2016年4月新設（設置申請予定：内容は予定であり、変更が生じる場合があります。）

総合生命科学部

生命科学関連の幅広い領域に
柔軟に対応する。

生命システム学科

総合システムとして生命を捉え、
最先端の研究・実験に取り組む。

細胞生物学
生命システム概論

生命資源環境学科

21世紀の注目分野、
食糧・環境問題の解決に向け、
マクロな視点から探究する。

生命資源環境学概論
生物統計学

動物生命医科学科

食の安全や福祉の分野を支える
国内有数の実験施設と
国際ネットワーク。

動物医科学概論
動物遺伝学

大学院

高度な専門領域を探究し、研究者・エンジニアに必須の力を養成。

理学研究科

数学専攻
物理学専攻

博士前期課程

博士後期課程

生命科学研究科

生命科学専攻

博士前期課程

博士後期課程*

先端情報学研究科

先端情報学専攻

博士前期課程

博士後期課程

*2016年4月設置（設置申請中：内容は予定であり、変更が生じる場合があります。）

お問い合わせ先

広報部 〒603-8555 京都市北区上賀茂本山
TEL 075-705-1411
<http://www.kyoto-su.ac.jp/>
E-mail: kouhou-bu@star.kyoto-su.ac.jp

■ 理学部事務室 TEL: 075-705-1463
■ コンピュータ理工学部事務室 TEL: 075-705-1989
■ 総合生命科学部事務室 TEL: 075-705-1466



Keep Innovating.
京都産業大学
2015年、創立50周年