サイエンス&テクノロジー

京都産業大学

理系学部からのメッセージ

VOL.17

01
2000年来の常識を覆した
非ユークリッド幾何学
真っ直ぐではない直線を考える
福井　和彦 教授

02
金星のスーパーローテーションの謎に迫る
地球の常識が通用しない宇宙の気象学
高木　征弘 准教授

03
従来の発想を覆した
アクルーアル故障検出法
世界10億人のサービスを支える故障検出システム
林原　尚浩 准教授

04
持っていてうれしくなる、使っていて楽しくなる
ものをつくろう
ものづくりはユーザエクスペリエンスの時代に
水口　充 教授

05
対話型ロボットが未来を変える
人の気持ちまで理解できるロボットを目指して
上田　博唯 教授

06
単細胞生物が見せる豊かな社会性
ナノバイオロジーの世界
嶋本　伸雄 教授

07
花粉を作らない
雄性不稔のメカニズム
核とミトコンドリアの不思議な共生
山岸　博 教授

08
琵琶湖とベトナムのフィールドから
インフルエンザウイルスの謎に迫る
種の壁を超えるメカニズムの解明
高桑　弘樹 准教授

C O N T E N T S

2000年来の常識を覆した非ユークリッド幾何学

真っ直ぐではない直線を考える

理学部
数理科学科
福井　和彦
教授
理学博士
微分位相幾何学

001

金星のスーパーローテーションの謎に迫る

地球の常識が通用しない宇宙の気象学

理学部
物理科学科
髙木　征弘
准教授
博士（理学）
惑星気象学

002

従来の発想を覆したアクルーアル故障検出法

世界10億人のサービスを支える故障検出システム

コンピュータ理工学部
コンピュータサイエンス学科
林原　尚浩
准教授
博士（情報科学）
分散アルゴリズム、
耐故障高信頼システム

003

持っていてうれしくなる、使っていて楽しくなるものをつくろう

ものづくりは
ユーザエクスペリエンスの時代に

コンピュータ理工学部
ネットワークメディア学科
水口　充
教授
博士（工学）
インタラクションデザイン

004

対話型ロボットが未来を変える

人の気持ちまで理解できる
ロボットを目指して

コンピュータ理工学部
インテリジェントシステム学科
上田　博唯
教授
博士（工学）
インテリジェントメディア

005

単細胞生物が見せる豊かな社会性

ナノバイオロジーの世界

総合生命科学部
生命システム学科
嶋本　伸雄
教授
理学博士
ナノバイオロジー

006

花粉を作らない雄性不稔のメカニズム

核とミトコンドリアの
不思議な共生

総合生命科学部
生命資源環境学科
山岸　博
教授
農学博士
植物育種学、
植物バイオテクノロジー

007

琵琶湖とベトナムのフィールドからインフルエンザウイルスの謎に迫る

種の壁を超えるメカニズムの解明

総合生命科学部
動物生命医科学科
髙桑　弘樹
准教授
博士（獣医学）
動物感染症学

008

私たちの常識にうまく合致し、2000年来幾何学を規定し続けてきたユークリッドの『原論』。しかし、その第五公準である「平行線公理」は「公準」としては複雑すぎるため、18世紀ごろから疑問が提起されてきました。

「平行線公理」を否定すると「直線外の一点を通りその直線に平行な直線が一本もない」あるいは「平行線が二本以上ある」そんな幾何学を認めることになります。真っ直ぐなだけが直線なのか、平らなのだけが平面なのか、現代数学へとつながる幾何学の一大転換点を見ていきましょう。

一見、地球とよく似ていながら、地球とは大きく異なる気象が見られる金星。特に「スーパーローテーション」と呼ばれる、全惑星規模の大気の流れは大きな特徴となっています。

長らく、そのメカニズムが謎とされてきた「スーパーローテーション」ですが、私が提唱した「熱潮汐波メカニズム」によって解明への糸口が切り拓かれました。

近い将来、日本の金星探査機「あかつき」によってさらに詳しいデータが手に入ることで、メカニズムの完全解明も夢ではありません。

「スーパーローテーション」の謎に迫ります。

ツイッター、フェイスブック、アマゾン……いずれもユーザからはシステムの中身が見えませんが、実際には巨大なクラウドコンピューティングによって分散してサービスを提供しています。

巨大な分散システムでは、各サーバの故障をいち早く検出することが重要です。従来の故障検出法では、一律の時間による検出という発想で、効率的な検出が困難でした。私の考案した「アクルーアル故障検出」は発想を転換し、信頼度を軸とすることでフレキシブルな検出を可能にしました。この故障検出技術は分散データベースCassandraなどに採用されています。

人間とコンピュータの関わり方が変化していく中で、コンピュータの新しい可能性を切り拓くヒューマンコンピュータインタラクションの研究をしています。重視しているのは、製品やサービスを利用する過程で《楽しく・おもしろく・心地よく》行えること、つまりユーザエクスペリエンスの考えです。研究室のスローガンは「『これええやん』と言ってもらえるものをつくろう」。気が利いていて、つい使ってみたくなるようなものをつくっています。

生活環境のあらゆる場所にコンピュータやデバイスが埋め込まれ、利用者がそれを意識せずにサービスを受けられる技術は、今後さらに加速するでしょう。そんな未来の世界で、人間のよきパートナーとして期待されているのが“対話型ロボット”です。

私は、頼りになる気の利いたロボットをつくりたいと、対話型ロボットを使ったさまざまな研究を行っています。いつかは人の気持ちまで理解してくれるロボットを実現したいと考えていて、最近は顔の表情を読むソフトや脳活動の計測などを使った研究も始めています。

従来、単純な生物と考えられてきた単細胞生物は、実は人間のような多細胞生物と変わらないくらいの複雑な行動様式を持っています。

我々が現在、研究対象にしている大腸菌もその一つ。彼らは、各個体が個別に単純な反応だけをして生きているわけではなく、群全体での生存が有利になるような社会性を持っています。

大腸菌の社会性は、周囲からエサがなくなった状況、つまり、群全体として危機に陥った場合に顕著になります。彼らがいったいどんな社会性を持っているのか、見てみましょう。

現在の地球人口を支えているのは、F_1と呼ばれる雑種の作物です。以前から、作物を雑種にすることで元気に育ち、収量が大きく増えるということは分かっていました。しかし、花粉が勝手にメシベに受粉してしまう作物もあり、効率良く収量を増やすのは簡単ではありませんでした。

そこで、植物が持っている花粉を作らない性質（雄性不稔）が雑種を生み出すキーとなっています。雄性不稔のメカニズムは長らく謎とされてきましたが、近年の遺伝学の進展によって、明らかになってきました。そのメカニズムを紹介します。

高病原性鳥インフルエンザとも呼ばれるH5N1亜型インフルエンザウイルスは、ニワトリに対する強い毒性を持つだけでなく、ヒトが感染して死亡したという例もあり、その蔓延が危惧されています。

本来、インフルエンザウイルスは種を超えて感染できない構造を持っています。もともとカモを宿主としていたインフルエンザウイルスが、どのようにしてニワトリへ感染するようになり、なぜヒトへの感染の危険性が心配されるのか、インフルエンザウイルスの特徴から説明します。

2000年来の常識を覆した
非ユークリッド幾何学

真っ直ぐではない直線を考える

みなさんも高校までに平面図形や立体図形を学んだと思います。
平行線がどんなものかもイメージできるでしょう。
平行線は、直線外の１点を通りこの直線に交わらない直線はただ１つある、
という文章によって定義づけられますが、
実はこの文章（公理）が幾何学の歴史を大きく変えるきっかけになったのです。
この公理に対する疑問から、それを否定しても成り立つ
非ユークリッド幾何学が発見され、現代数学へとつながっていきます。
この数学上の大きな変革について、福井　和彦先生にお話しいただきました。

2000年以上幾何学を支配した『原論』

幾何学の歴史は古代ギリシアまで遡ることができます。この時代に、幾何学に長らく大きな影響力を与えることになる『原論』が、ユークリッド（Euclid、紀元前３世紀? -）によって著されました。

『原論』は、その後2000年以上にわたって幾何学の在り方を決定づけました。それは私たちの直感と見事に合致したため、強力な常識となったのです。ユークリッド空間に描かれる図形はあまりにも私たちにとって馴染のあるもの、つまり、平面は平らで、直線は真っ直ぐで、平行線は交わらないといったものでした。

ユークリッド幾何学は、次の5つの公準（現代数学の公理にあたる）によって規定されます。

一、任意の点から任意の点に直線が引ける
二、任意の有限直線を延長することができる
三、任意の点を中心とし任意の半径の円が描ける
四、すべての直角は等しい
五、２直線に他の１直線が交わってできる同じ側の内角の和が２直角より小さいなら、この２直線を延長すると、２直角より小さい側で交わる。

表現は形式的ですが、意味するところは難しくないと思います。

ただ、一見して分かるように、第五公準だけが「公準」という割には文章が長く、本当に幾何学の土台となる公準なのか疑問の余地がありました。

そのため過去に多くの数学者が、第一公準から第四公準を使って、第五公準を導き出せないかと挑戦してきました。

第五公準は「直線外の１点を通りこの直線に平行な直線はただ１つある」と言い換えることができることから「平行線公理」、そしてこれらの公準をみたす幾何学をユークリッド幾何学と呼ばれますが、この「平行線公理」は批判の対象として残り続けてきました。

『原論』に挑んだ数学者たち

18世紀ごろになると、平行線公理に疑問を抱く数学者が現れてきます。

主なところでは、サッケーリ（Giovanni Girolamo Saccheri、1667 - 1733）が背理法を使って、第五公準を証明しようとしました。第五公準の否定は「直線外の１点を通りこの直線に平行な直線は２本以上ある」と「直線外の１点を通りこの直線に平行な直線は１本もない」の２つです。サッケーリは、第一公準から第四公準にこの２つをそれぞれ組み合わせて矛盾が生じるかどうかを調べました。そして、前者の場合、どうしても矛盾を導けないという結果に終わったのです。ただ、サッケーリはそれ以上踏み込むことはしませんでした。

次にガウス（Carolus Fridericus Gauss、1777-1855）が平行線公理を否定した幾何学が成立することを確信しました。ただ、ガウスは非常に慎重な人物だったらしく、証明はしても公表は控えていました。

ガウスが発表を控えている間に、ボーヤイ（Bolyai János、1802-1860）、ロバチェフスキー（Nikolai Ivanovich Lobachevsky、1793-1856）の２人が独立にそれぞれ平行線公理を否定した幾何学が可能であると発表したのです。

直線は真っ直ぐか

ガウス、ボーヤイ、ロバチェフスキーが発見した幾何学は非ユークリッド幾何学と呼ばれています。その特徴を見てみましょう。

直線とは「２点を最短距離で結ぶもの」と定義されます。直線がどんなものかは、ユークリッド空間では容易に想像ができるでしょう。真っ直ぐではない線では、点と点は余分な回り道をして結ばれることになります。

ではここで、地球上の２つの都市を結ぶ最短距離を考えてみましょう。東京とロサンゼルスとの最短距離は図１ではなく、図２のような大きく北側に湾曲した曲線になります。

実は球面上における直線は、球面上の２点と球の中心を通る平面でその球面自身を切った時に引かれる線になります（図３）。この直線の定義はユークリッド平面でも有効であり、球面という特殊事情に合わせて無理やり作り出したものではありません。

図１

図２

図３

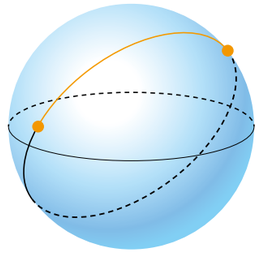
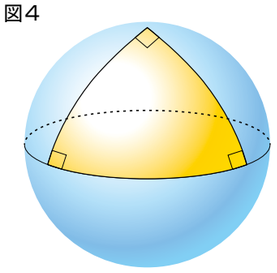


図４



さて、このようにして引かれる球面上の直線を考えると、どの直線にも平行線は１本もないことが分かります。つまり、球面上の幾何学では平行線公理は成り立たないのです。

非ユークリッド幾何学から位相幾何学へ

非ユークリッド幾何学では、他にもユークリッド幾何学の常識を覆す様相が現れます。

球面上に三角形を描くと内角の和が180度を超えます。たとえば、地球上では、経度０度線、経度90度線、赤道の３つの直線によって三角形を描くことができますが、この三角形はすべての角が直角になります。内角の和は270度です（図４）。

非ユークリッド幾何学の対象となるのは球面だけではありません。たとえば、$x^2+y^2-z^2=-1$ $(z>0)$ で定義される二葉双曲面上の幾何も主要なものです。この二葉双曲面上では、平行線を無数に引くことができます。また、三角形の内角の和は180度より小さくなり、三角形のかたちによっては内角の和を限りなく０度に近づけることもできます。

非ユークリッド幾何学は、平行線公理こそ成り立たないものの、幾何学として矛盾のない体系です。三角形の合同条件もあれば、正弦定理も成り立ちます。重心などの五心も条件付きながら存在します。

非ユークリッド幾何学の発見によって、幾何学は図形を扱う具象的な学問から、図形を不変にする変換群の観点からより抽象的な分野へと大きく発展しました。それが、私の専門である位相幾何学などの現代の幾何学へとつながっていくのです。

理学部　数理科学科
福井　和彦 教授

PROFILE
理学博士。専門は微分位相幾何学で、特に葉層構造論・微分同相群の研究をしている。大学院では専門の位相幾何学について指導する一方、学部生の講義ではひろく幾何学について担当していて、４年生向けの特別研究では位相幾何学入門の他に本文で紹介した非ユークリッド幾何学についても教えている。京都府立北桑田高等学校OB。

ADVICE

高校生のみなさんに伝えたいことは２つあります。１つは、自分で考えて自分で工夫する習慣をつけて欲しいということ。大学は自分で考えて勉強するところですから、言われた通りの勉強だけでは、新しいことに対応することができません。

もう１つは、何か１つの分野に浸る、熱中するという経験を大学4年間で持って欲しいということです。私たちの学生時代とは違って、最近の学生は多くの情報に囲まれ、１つのことに打ち込むのが難しい状況であるのは確かです。それは、今の学生にとって不幸なことであるとも言えます。

とはいえ、人間にはゆったりと時間が流れる時期があった方がいいと思っています。学生時代はそれができる貴重な期間です。この貴重な期間を大切に使ってください。

位相幾何学とは

私が専門に研究しているのは、位相幾何学という分野（正確には微分位相幾何学）です。

幾何学とは図形の形と量を扱う学問のことですが、「位相」は高校生には聞き慣れない言葉だと思います。数学ではある要素（これを元といいます）の集まりを集合と言うのですが、ただ集めただけでは、元どうしに関係性は何もありません。その元どうしを関係づけることを「位相づける」と言い、各元が位相づけられた集合を「位相空間」と呼びます。

たとえば、人間を元とした集合を考えると、血縁関係というのは元どうしの１つの関係性になります。この人とあの人は親子関係だとか叔父甥の関係だとかいうように。また集合が空間内にある場合、元どうしには必ず距離の関係が存在します。

図形を表面的な形に捉われずに、図形上の点と点の関係性が集まったものと捉えると、伸ばしたり縮めたり（同相写像）しても変わらない性質が現れてきます。このような視点で、図形の性質を研究するのが位相幾何学です。

位相幾何学では、同相写像によって変換できる図形どうしは同じだとみなします。たとえば、コーヒーカップとドーナツは同じですが、ドーナツとホットケーキは同じではありません。穴は同相写像によって増やしたり減らしたりできないからです。

金星のスーパーローテーションの謎に迫る

地球の常識が通用しない宇宙の気象学

気象学といえば、地球の大気を扱う学問です。
しかし、大気があるのは地球だけではありません。
あまり知られていませんが、実はほとんどの太陽系の惑星には大気が存在するのです。
こうした地球を含む惑星の大気運動を調べるのが惑星気象学という学問です。
最近は観測技術の発展とともに他の惑星大気の実態が分かりつつあります。
その結果、地球の気象学をそのまま当てはめても
分からないような現象が次々と見つかってきました。
中でも、金星には「スーパーローテーション」と呼ばれる非常に不思議な現象があります。
自転速度を遥かに超えるような風が、金星全体で吹いているのです。
一体なぜこのような現象が起こるのかは、まだはっきりとは分かっていません。
この謎の完全解明に挑む髙木征弘先生に、最新の研究成果を教えていただきました。

理学部　物理科学学科
髙木　征弘 准教授

PROFILE
博士（理学）。専門は惑星気象学。中学、高校の頃から星を見るのが好きで、友達とよくプラネタリウムに行っていた。大学に入った当初は数学にも興味があったが、物理のほうが合っていると感じ、地球惑星物理学科に進学。そこで金星の面白い気象と出会い、惑星気象学の分野に進む。群馬県立高崎高等学校OB。

自転周期マイナス243日

金星と地球は一見非常によく似ています。半径や組成、密度も似ていて、重力も大体同じです。公転周期も大きな違いがありません。そのため兄弟星とも呼ばれますが、よく見ると違うところもたくさんあります。たとえば、自転周期。金星は自転に－243日かかります（マイナスは自転の方向が地球と逆のため）。日の出から次の日の出まで（1太陽日）は約117日です。

また、太陽放射量（惑星軌道での太陽光強度）は、太陽に近い金星では、地球の2倍ほどの値になります。ところが、太陽光の反射率（アルベド）が、地球の約30%に対して、約78%もあるため、太陽から受け取る熱量は金星のほうが地球より小さくなるのです。

惑星全体をぐるぐる回る奇妙な風

最近まで金星の大気循環はよく分かっていませんでした。分厚い硫酸の雲にすっぽり覆われていて、可視光では何も見えないからです。1960~70年代にアメリカやソ連が金星探査機を送り込んで、ようやく中のことが分かってきました。

第一の発見は、非常に強力な温室効果です。地面付近は約460度もの超高温になります。金星のほうが地球よりも太陽から受け取る熱量が小さいのに、これだけ熱いのはなぜか。この謎は、発見から10年ほどで解決されました。

金星には、非常にたくさんの大気があります。地表面の気圧は92気圧で、地球の100倍近い大気をまとっていることを意味しています。大気の約98%が温室効果ガスの二酸化炭素です。これが強い温暖化を引き起こしているのです。

第二の発見は、大気循環です。予想されていた大気循環は図1のようなものでした。金星では1太陽日が非常に長いので、地面に対して太陽はほとんど動きません。昼では常に大気が暖められて上昇し、夜側では冷やされて下降します。そこで、昼側で上昇した大気が夜側に向かう、スイカの模様のような循環が予想されました。これは夜昼間対流と呼ばれます。

ところが、実際に観測したところ、予想と全く違う大気運動をしていることが分かりました。金星では全球的に非常に速い風「スーパーローテーション」が吹いていたのです。この風は自転の方向に、自転より速く吹いています。高度60kmでは風速は100m/s程、自転速度の60倍にも達します。発見から40年ほど経ちますがまだ完全な説明はなされていません。

有力な説は2つあります。1つは子午面循環と呼ばれる大気循環に着目したギーラッシュメカニズムと呼ばれるものです。そしてもう1つが、私が研究を行なっている熱潮汐波メカニズムです。

熱潮汐波メカニズム

金星には、高度45km～70kmあたりに硫酸の雲があり、星全体を覆っています。観測によれば、この雲層で太陽光が7割ほど吸収されています。太陽光は1割程度しか地面には届かず、主に上層の大気を加熱するのです。この特徴こそ謎を解くための鍵です。

図1

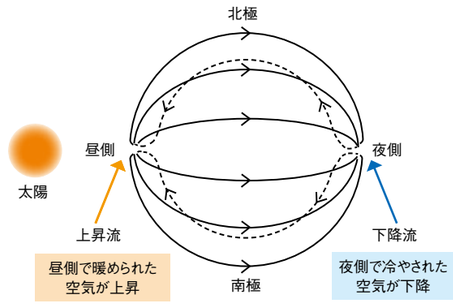


図2

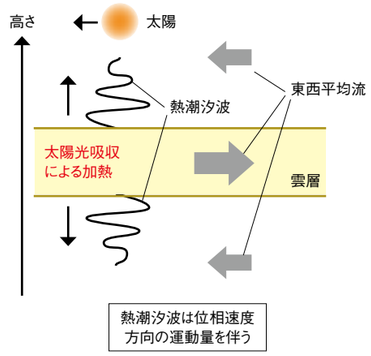
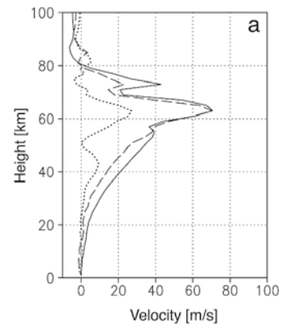


図3



基本的には大気は安定成層しています。重さの順に層を成しているわけです。このような大気で、中間あたりの空気の塊を少し持ち上げると、上に持ち上げた空気は自分の重さでまた沈んでしまいます。同様に、下にさげても浮き上がってしまう。安定成層している中の空気塊は元に戻ろうとする復元力が生じるのです。その結果、自分が元いた場所で振動することになります。この振動によってできる波を重力波といいます（図2）。熱潮汐波とは、太陽加熱が原因になって生じる重力波のことです。雲層で太陽光が吸収されて熱を持つと、雲層から上下に熱潮汐波が出て行くのです。

熱潮汐波は太陽により励起される波なので、地面から見ると太陽と同じ方向（自転と逆方向）に動いているように見えます。自転方向の運動量を正とすると、負の運動量を伴っているわけです。負の運動量が雲層から出ていくので、運動量保存則を考えると、全体の運動量を保存させるために、正の運動量が雲層に生まれます。すると、雲層は自転以上の速度で動くようになります。これが熱潮汐波によるスーパーローテーションの生成メカニズムです。

これまで、このメカニズムでは自転の60倍もの速さにはならないと言われてきました。そこで、私はその問題を解消する数値モデルを作りました。

ポイントは、雲層から下に出て行った熱潮汐波が地面まで届くかどうかです。大気中で負の運動量を持った波が摩擦や粘性によって潰れてしまうと、熱潮汐波メカニズムはうまく働きません。数値計算の結果、熱潮汐波のうち、半日潮と呼ばれる成分は地面まで届くことが分かりました。地面付近まで伝播した半日潮は、そこでスーパーローテーションと逆向きの大気の流れ（反流）を作ります。この反流と地面との間に摩擦が働くと、出来た流れが摩擦によって減衰し、反流の持っていた負の運動量がゼロになって、雲層の正の運動量だけが残ることになります。一見運動量保存則に反しているように思えますが、惑星と大気を2つあわせて考えるときちんと保存されています。惑星の固体部分から大気に正の運動量が汲み上げられているのです。

実際にこの仮説を元にモデルを作って数値計算行ったところ、スーパーローテーションが生まれました（図3）。

「あかつき」と今後の展望

熱潮汐波メカニズムには、いくつか問題点が残されています。もう一つの主要な仮説であるギーラッシュメカニズムと熱潮汐波メカニズムを同時に考えると、上手く説明ができなくなるのです。ところが最近、両者を入れて考えても、きちんとスーパーローテーションが成立するという計算結果が出てきました。メカニズムはほぼ分かりかけています。今後はこれを完全解明するのが目標です。

私が主に行なっているのは数値計算を用いた研究ですが、それが正しいかどうかは現実の金星を見て答え合わせをする必要があります。

今から10年以上前に、金星探査機の「あかつき」計画が日本で発足しました。これは金星に探査機を送り込んで大気運動を調べる野心的なプロジェクトです。私はこのプロジェクトにも関わっていて、探査機のカメラで撮影した雲の動きから風速分布を求めるという研究も行なっています。

「あかつき」は2010年に打ち上げられたのですが、金星周回軌道への投入時にメインエンジンが壊れてしまい、金星で止まれず通りすぎてしまいました。今は金星の公転軌道に近い軌道を辿っています。しかし、観測機器は全て健全で、2015年末から2016年初頭に金星に接近するタイミングがあります。そこで残った姿勢制御用エンジンを使って、金星に軌道投入される予定です。今から3年後のチャンスが楽しみです。

ADVICE

将来、私のような分野を学びたいのであれば、数学と物理をしっかり勉強してください。計算力を鍛えるには、問題をたくさん解くことも必要ですが、それと同時に、納得できるまでじっくり考えることが重要です。論理的な力を身につけてください。

数学や物理は、解答を見るとなるほどと思うでしょうが、そこで止まってはいけません。私も高校1年生の時に、どうしても関数というものが納得できず、かなり食い下がって先生に質問していました。分かったつもりになるのではなく、しつこく、自分が納得できるまで突き詰めてください。

惑星の不思議な大気現象

地球では考えられない大気現象は、金星だけではありません。火星では、数年に一回起こる大砂嵐という不思議な現象があります。地球でも砂漠で砂嵐が起こりますが、火星では惑星全体を覆うような規模で起こるのです。

木星の縞模様は東西風の流れが作り出しています。一つ一つの縞は、東に向かう流れと西に向かう流れに対応しているのです。縞ごとに風の吹く方向が交互になっています。土星の縞模様も同様です。木星の大赤斑は巨大な高気圧です。17世紀に発見され300年以上消えずにいます。

ボイジャーなどの探査によって海王星や天王星にも、数百m/sの非常に速い風が吹いていることが分かりました。太陽から遠く、外部から受け取るエネルギーが少ない惑星で、なぜそのような激しい大気現象があるのか、興味深い問題です。

世界10億人のサービスを支える故障検出システム

私達が日々接しているフェイスブックやツイッター、アマゾンなどのWebサービス。
そうした大規模なシステムが動くためには、いち早く故障を検出することが欠かせません。
より短時間に、より正確に、それでいて、誰でも手軽に、
特別な知識がなくても、最適な故障検出ができる。
そんな夢のような方法は、発想の転換によって実現されました。
多くのSNSやクラウドサービスに用いられている故障検出システムを
開発した林原 尚浩先生に、そのアイデアの概要を教えていただきました。

従来の発想を覆した アクルーアル故障検出法

従来の故障検出

私の専門は故障検出システムです。故障検出と聞いてもイメージしにくいかもしれません。しかし、私達が身近に利用している様々なサービスの裏では、必ず故障検出システムが動いています。ツイッターやフェイスブックといったSNSや、巨大なクラウドサービスまで、故障検出システムはその裏方としてサービスを支えています。

クラウドサービスとは、システムの中身が見えないサービス形態です。ユーザは中身が故障しても分かりません。ユーザ側にはそういったことを気にせずサービスを継続的に受けられるメリット、システムを構築する側にはシステム構成の変更や故障を隠せるというメリットがあります。このようなシステムが動くためには、自動的に故障を検出して、サービスを最適な形で継続することが必要です。

故障判定の基本アイデアは単純で、監視対象にメッセージを送って応答が返ってくるまでの時間（ラウンドトリップタイム）を見ます。

従来の故障検出方法は、時間の軸で考えていました。タイムアウトと呼ばれる一定の時間を予め設定して、ラウンドトリップタイムがタイムアウトよりも長くなれば、故障とみなすのです。しかしタイムアウトをどのように設定すれば最適になるかは、ネットワークのコンディションで変わります。たとえば、昼はネットワークが混んでいても、夜には空いていることはよくあります。そうすると、時間帯や環境によってタイムアウトの設定を変える必要性が出てきます。これまでもタイムアウトの設定を自動で変更するシステムはありましたが、多くは固定でした。そうすると、故障していないのに故障していると判定してしまう、あるいは故障しているのを早く発見できないという欠点が出てきます。

あまりにも早すぎるタイムアウトを設定してしまうと、そのタイムアウトでは低い精度でしか故障を判定できません。遅ければ遅いほど正確になっていきますが、故障の検出に時間がかかりすぎてしまいます。実はこのようなタイムアウトの設定は非常に難しい職人技で、最適な精度での設定にはネットワークを熟知する必要がありました。

そこで私は、時間の軸で見るのをやめて、信頼性の軸で考えることにしました。こうして生まれたのが、アクルーアル故障検出です。

故障の信頼度を固定する

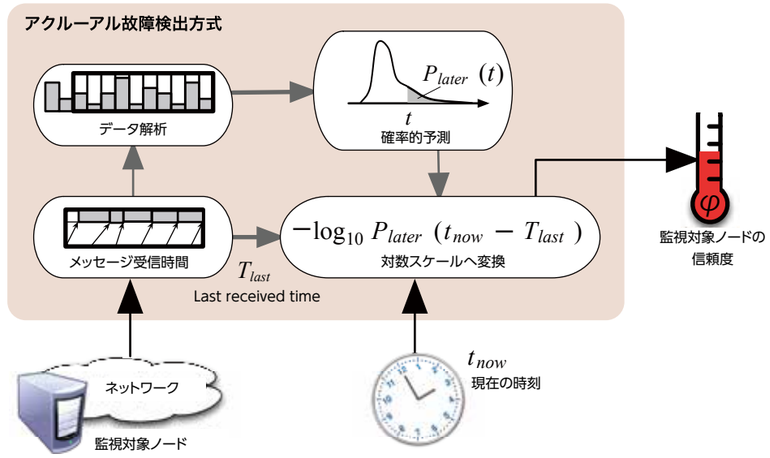
アクルーアル故障検出の根本にあるのは、時間ではなく信頼度を固定するという発想の転換です。例えば80%の可能性で故障が分かればいいとき「80%」という値を固定します。すると、タイムアウトのほうが、その信頼度で検出できるように変動します。つまり、ネットワークが混んでいるときは時間が長くなり、空いているときは短時間で故障を判定するようになります。信頼度を固定して時間を動かすことで、最適な時間で故障を発見できるのです。

これを実現するにあたり、私は故障検出システムを2つのプロセスに分けました。

従来の故障検出システムは「故障している／していない」の二値を返すだけでした。アクルーアル故障検出システムでは、システムをモニタリングする部分とモニタリング結果を解釈する部分に分離しています。モニタリング部分では、単にラウンドトリップタイムを測定するだけです。この値を元にして、解釈部分では時間の分布を描き出します。信頼度が90%に設定されていれば、「分布中の90%はその時間以内に応答が返ってきている」というような時間を求め、その時間以内に応答がなければ故障と判定することになります。このタイムアウトは分布図が変わる度、刻々と変化していきます（下図）。

1つのシステムにいくつも監視対象がある場合、それに応じた故障検出をしようとするとタイムアウトはその一つ一つに応じて設定しないといけません。システムが大きな規模になってくると管理が大変になってきます。しかし、モニタリング部分／値を解釈する部分を別にすれば、規模が大きくなっても問題ないシステムになります。結果的にアクルーアル故障検出はクラウドやSNSなどの大規模なサービスにマッチしやすいのです。

私が考案したこの故障検出方式は、ツイッターやフェイスブックで用いられているCassandraという分散データベースに実装されており、世界で10億人以上のユーザに提供されるサービスを支えています。



見えないところでシステムを支える

故障検出は、社会的にそれほどスポットライトが当たっていないニッチな分野です。日本でも分散システムの故障検出を研究しているのは数人でしょう。

一方でシステムの高速化や並列化は華々しく、クラウドコンピューティングなどはメディアなどでもよく取り上げられています。しかし、その背後では、故障がいつも起こっています。クラウドコンピューティングを始めとした最近のコンピュータシステムは、昔と違って大きな汎用機が1台あるのではなく、小さくて交換が容易なブレードサーバと呼ばれるコンピュータなどがたくさんネットワークにつながって構成されています。これは、多少壊れてもその部分だけ差し替えればいいという理念に基づいた設計です。1つの故障が大きなダメージにならない代わりに、入れ替えが必要になります。この入れ替えというのは故障検出とセットにすることで最大限に活かされるのです。

故障検出は地味ですが、決して欠かすことはできません。私達が身近に触れているシステムのバックエンドでは、そうしたシステムが動いているのです。人の目には触れないけれど重要な分野はどこだろうと考えたときに出会ったのが、分散システムの故障検出です。困ったときにあってよかったと思えるようなシステムを作りたいと考え、日々研究に取り組んでいます。

コンピュータ理工学部
コンピュータサイエンス学科
林原　尚浩 准教授

PROFILE
博士（情報科学）。専門は、分散アルゴリズム・耐故障高信頼システム。元々大学では経済学を専攻していたが、専門分野に進んだ頃から情報学に魅力を感じるようになり、そちらにのめり込んでいった。当時はWindows95が出て、ようやくWebが一般的に認知されてきた時期。大学院で入った情報科学研究科の研究室で分散システムの耐故障性に興味を持ち、現在では分散システムの故障検出の第一人者として活躍する。奈良県立香芝高等学校OB。

ADVICE

情報科学は数学を使った魔法

私は今、高校で数学をもっとやっておけばよかったと後悔しています。

情報科学は、数学を使った一種の魔法です。化学や物理をあるものを別の何かに変える錬金術のようなものだとすると、情報科学は「今までなかったものを作り出す」ことができる魔法です。コンピュータの中では自分が想像したものを自由につくることができますが、数学はそれを可能にする魅力的なツールです。

数学は身近なものでもあります。たとえば、プリクラの目が大きくなる処理やデジタルカメラのモニタに顔の領域が表示される処理は高校の微分積分の延長線上にあります。大学では高度な研究成果を生み出していますが、それを実現するためには高校数学で学んだ多くの技法が役に立ちます。

新しい技術に触れたりつくってみたいと思われる方は、ぜひ高校の数学に興味をもって勉強してください。きっと大学での研究は楽しくなると思います。

アクルーアル故障検出方式の誕生秘話

アクルーアル故障検出方式のアイデアが完成したのは博士課程の頃でした。故障検出に興味を持ったのは、博士課程のときに留学先のスイス連邦工科大学ローザンヌ校(EPFL)で、分散アルゴリズムの研究に携わったことがきっかけでした。その研究プロジェクトで理論的には様々な耐故障分散アルゴリズムが故障検出器を用いて耐故障性を実現している一方で、実際は高い精度で故障を検出する故障検出器を実装することが困難であることも学びました。

アクルーアル故障検出方式は、単に高い精度で故障を検出する方式であるだけでなく、従来行われてきた理論的な耐故障分散アルゴリズムで用いられている故障検出器と数学的に等価であることも証明されており、理論と実践を結ぶ架け橋である点でも注目されています。

海外での経験は研究以外にも多くのものを私にもたらしました。スイスでは(多くの海外の大学でもそうですが)博士課程の大学院生はAssistantという職で雇用されている立派な研究のプロです。彼らは皆、研究を職業として考えているため、年間の研究計画や論文執筆・投稿に関して非常にしっかりとした独自のビジョンをもっていました。このような環境が新たな故障検出方式の着想に寄与したことは言うまでもありませんし、研究者としての姿勢を教えてもらえたと思っています。

また、この留学先で後にアクルーアル故障検出方式をCassandraに導入した友人と知り合いました。彼と研究に関する交流を深めたことにより、彼はアクルーアル故障検出方式について最も理解しているエンジニアの一人となりました。実際Cassandraに実装されたアクルーアル故障検出方式はフェイスブックをはじめ、ツイッターやネット通信販売サイトのeBayなどのSNSや企業などにも使われています。彼はCassandraだけではなくリスボン大学で開発されている分散システムのためのフレームワーク「APPIA」にもアクルーアル故障検出方式を実装し、アクルーアル故障検出方式の普及に大きく貢献してくれています。

持っていて うれしくなる、使っていて 楽しくなる ものをつくろう

ものづくりはユーザエクスペリエンスの時代に

携帯電話や音楽プレーヤーを選ぶとき、何が決め手になりましたか。
メーカーでしょうか？　使い勝手でしょうか？
それとも見た目のよさでしょうか？
「デザインが洗練されているから持っているだけでうれしくなる」
「人と同じじゃないので、目立って楽しい」など、考えてみると、
機能や使いやすさだけではない総合的な観点から
“もの”を選んでいることに気がつくのではないでしょうか。
ものの価値観を含め、人とコンピュータとの関係について
幅広くご研究されている水口　充先生にお話しいただきました。

ヒューマンコンピュータインタラクション（HCI）研究とは

インタラクション(interaction)は、interとactionを合成した言葉で、相互作用、やりとりといった意味で使われています。私は主に、人とコンピュータとの関係について考えるヒューマンコンピュータインタラクション（HCI）について研究していて、最近はエンタテインメントコンピューティング（EC）にも関心を持っています。

ユーザインタフェースがコンピュータの操作をどのように分かりやすく効率的で便利にするかを研究する分野だとすれば、HCIはコンピュータの使い方そのものまでを含めて考えるところに特徴があります。たとえば携帯電話の電源ボタン。ユーザインタフェースの観点からすれば、ON OFFが一目でわかるようなスイッチがベストですが、そもそもめったに電源を切ることはないのだからスイッチは目立たない方がよい、むしろ電源を切る必要をなくせばよいのではないか、といったことまで考えるのがHCIの研究だといえます。

任天堂でゲームボーイなどの開発に携わった横井軍平さんは、ものづくりのイノベーションには「枯れた技術の水平思考が大切だ」と言っています。これは、安定した技術の使い方を変えて、新しいものをつくり出すという意味ですが、いまある技術の新しい組み合わせや新しい使い方を考え出すHCIの研究に大きく通じます。いまや多くの人がコンピュータを持ち歩き、コンピュータを介して人と人とがつながることもあります。人間とコンピュータの関わり方もどんどん変化していく中で、コンピュータの新しい可能性を切り拓いていくのがHCI研究者の使命だと考えています。

インタラクション研究の光と影

HCIの研究は、ここ10年で大きな盛り上がりを見せている一方で、何をやっているのかよくわかない、遊びの延長ではないかといった批判を受けることもあります。エンターテインメントコンピューティング（EC）やアートとの境がなくなりつつあるのも、その一因かもしれません。

エンターテインメントコンピューティングというのは、コンピュータによって新しいエンターテインメントを創り出そうという研究です。「おもしろさ」の評価法を考えるものや、リハビリや教育の場面に、ゲームなどのエンターテインメントを取り入れることで、場合によってはおもしろくないと感じる作業を楽しみながら進められるようにする応用研究も行われています。ただ、遊んでもらうため、楽しんでもらうために真剣に研究する分野ですから、端から見れば遊んでいるように見える側面もあって、HCI研究と同様に、研究の本質が理解されにくい面はいなめません。

HCI研究の成功例として顕著なものに、AR（Augmented Reality：拡張現実）技術※があります。いまではスマートフォンやタブレット端末のアプリとして商品化されていますが、先行研究は1968年にアイバン・サザランド（Ivan Edward Sutherland, 1938-）が開発したヘッドマウントディスプレイシステムにまで遡ります。その後、環境や技術が進歩し、いくつもの研究が積み重ねられて、現在の実用化に結びついたのです。実用化までに時間がかかることも多く、研究結果が社会にどのような波及効果を生んでいるのかが分かりにくいところも、HCI研究の評価を難しくさせているようです。

私自身は、コンピュータにチェスをさせることで探索アルゴリズムが進化した歴史などを見ても、「遊び」自体は動機としては大事だと考えています。自分も遊びたいと思うもの、楽しいと思うものを研究しないと「これを作りました。でも自分は使いません」では無責任ですから。

※　現実環境にコンピュータを用いて情報を付加提示する技術。

そして時代は、ユーザエクスペリエンス重視へ

ユーザインタフェースの研究では、ユーザビリティ、すなわち使いやすさや便利さが重視されてきました。ところが最近では、技術の進展で、使い勝手の面ではそれほど遜色ないものが作れるようになったこともあって、ユーザは使い勝手だけではものを選んでいないことが分かってきました。そこで注目されてきたのが、ユーザエクスペリエンス（User Experience:UX）です。これは人がものを体験する過程を重視した考えで、最近ではビジネスの世界でもよく使われている考え方です。機能や使いやすさとは別に、製品やサービスを利用する過程で「楽しく」「おもしろく」「心地よく」行えることをものの価値として考えていて、ユーザの満足度とも言い換えることが可能です。

iPodやiPhoneで有名なApple社がアプリ開発者向けに出しているガイドラインの名前も、数年前から『UXガイドライン』に変わっていて、「アイコンはきれいなものを使うこと」といったことが書かれているそうです。私自身も、ものを所有する理由として、やはりユーザの欲求を満たすことが大切だと考えています。目指すのは“ちょっとした発明家”。研究室では「『これええやん』と言ってもらえるものを作ろう」というスローガンで研究を進めています。難しそうと思われるよりも使ってみたいと思われるものを、必死になって誰も作れないようなものを作るよりも、気が利いていて使ってみたくなるようなものを創っていきたいと考えています。

研究室前には、学生が作った電光掲示板が。研究室メンバーがいまどこにいるかが一目でわかる優れもので、これもツイッターと連動している。たとえば、ツイッターに「学内にいます」とつぶやけば、学内マークが光る。移動後、しばらくは早い点滅、30分以上経つと遅い点滅、1時間経つと光ったままと、移動してからどのくらい経ったかがわかるようになっている。

新しい物を創り出すのが好きで、これまでいろいろなものを開発してきましたが、コンピュータを使ったタイポグラフィー、文字のアニメーションは、長年続けている研究です。最近では、携帯電話などの端末を使って、感情を文字のアニメーションで伝えるソフトを開発しました。使い方はいたって簡単。文章を入力した後、感情を込めて端末を振って、送信するだけです。たとえば待ち合わせに遅れている相手に「待ってるんだけど……」と送る場合、激しく振れば、相手のもとにはこちらの焦りや怒りが伝わるような激しく揺れる動きで文章が届きます。端末を下へ降ろしながらゆっくりと振って送ると、ゆっくりとした揺れを伴って、さらに文字が小さく消え入りそうになりながら文章が表示されて、さみしそうな雰囲気が伝わります。これは昨年“Yusabutter”と名づけて、ネパールで開催されたEC関係の研究会で発表しました。

①まず文字を打ち込んで…

②端末を振ります

③送信

④相手には文字のアニメーションで文章が届きます

もう一つは“Family Calendar”と呼んでいるもので、ツイッターで予定をつぶやくと、Agent Programを通じて、ウェブサイトのカレンダーに登録できます。写真なども登録することが可能で、「20日に京都産業大学で研究発表会を行います」とつぶやけば、それがカレンダーに反映されて、ツイッターを見ていない人でも、共有のカレンダーさえ確認すれば、その情報がすぐに分かるのです。

コンピュータ理工学部
ネットワークメディア学科
水口　充 教授

PROFILE
博士（工学）。専門はインタラクションデザイン。中学生の時にインベーダーゲームの存在を知り、「コンピュータはすごい」と衝撃を受ける。当時から「人とは違う新しいもの」をつくるのが好きで、プログラミングのできる電卓でゲームを創作し、投稿雑誌に掲載されたことも。大学では工業化学科へ進む。化学反応をコンピュータシミュレーションでモデル化する研究をしながら、趣味でもゲーム創作など、コンピュータを触っていた。修士課程修了後は、コンピュータに携わる仕事がやりたくてシャープ株式会社へ就職。コンピュータシミュレーションやCADの部署に所属していたが、隣の部署で始まったユーザインタフェースの研究へ異動したことが、現在の研究につながっている。東大寺学園高等学校OB。

ADVICE

失敗しないと成長しない

HCIやECなどでは、新しいものの見方や発想が求められるので、いろいろなこと、特に人と違うことを経験してほしいと思います。ゲームが好きで、ゲームクリエイターになりたいのなら、ゲームばかりしていてはだめ。他人と違うアウトプットを出そうと思ったら、他人とは違うインプットが必要だからです。

また、若いうちは失敗してもすぐに挽回できますから、失敗を恐れずに、何にでも手を出してみてほしい。できないからやらないではなくて、分からなくてもとりあえずやってみることが大切です。学生にはいつも「どんどん痛い目にあいなさい」と言っています。周りを見ていても、たくさんの失敗を経験している人の方が、後々のびているからです。失敗しないと成長しないと言っても過言ではありません。

人の気持ちまで理解できるロボットを目指して

10年、20年後の世界を想像してみましょう。
住宅や街中でのネットワーク化はさらに進んで、
外出先から自宅の家電を操作することも当たり前になっているかもしれませんし、
街中での道案内もコンピュータが担っているかもしれません。
そんな未来の世界で、コンピュータと人間をつなぐものとして
期待されているのが“対話型ロボット”です。
ロボットと人との全く新しい関係を切り拓いていこうと、
さまざまな実験とアプリケーションの開発を行う上田 博唯先生にお話を伺いました。

Phyno（フィノ）。対話をしながら、首や手、胴体を動かず仕草で愛くるしいコミュニケーションをとる。

対話型ロボットが未来を変える

ユビキタス社会でのパートナーは気の利くロボット

今後、生活環境のあらゆる場所にコンピュータやデバイスが埋め込まれ、利用者がそれを意識せずにサービスを受けるユビキタスコンピューティングの技術はますます進むでしょう。住宅であれば、床や天井に埋め込まれたセンサーが人の動きを察知して、電気の点灯・消灯から空調操作まで、あらゆることを自動で行うことが可能です。しかし、急に電気やテレビが点いたり消えたりすることには不気味さを感じる人もいるでしょう。そこで私たちのよきパートナーとして活躍してくれるのが“対話型ロボット”です。「暑いなあ」とロボットに話しかければ、ロボットがエアコンの温度を下げてくれたり、「おやすみ」と言えば、消灯して戸締まりを確認してくれたりと親身になって働いてくれますし、門前ロボットが留守中の訪問客と会話して、その様子を携帯端末に知らせてくれたりもします。つまり対話型ロボットは、コンピュータの“顔”として私たちの暮らしを支えてくれるのです。

研究室では、ロボットという知性が人間の知性と共生することをテーマに、私が以前に開発した花瓶ほどの大きさのかわいい対話ロボット「Phyno（フィノ）」（写真）を使っていろいろな研究をしています。

大学内の実験住宅「Ξ（くすぃー）ホーム」での実証実験

実験では、研究室をマンションのように改築した実験住宅「Ξホーム」をよく利用します。「Ξホーム」は一見すると普通の住宅のようですが、埋め込まれた多数のセンサーやコンピュータを使った研究ができるようになっていて、実際に住み込んで実験することもできます。たとえば、「Ξホーム」のキッチンで、Phynoによる「だし巻き卵の調理支援」の実験を行いました。

被験者はだし巻き卵を作ったことのない学生です。Phynoに向かって「終わったよ」と言うと次の手順を教えてくれます。また、でき栄えを見て「うまくできたね」とほめてくれたりもします。比較のために任天堂DSの「お料理ナビ」とPhynoによる調理支援を1人当たり3回ずつ行って、だし巻き卵の上達具合と感想を調べました。結果は、多くの被験者がPhynoのおかげで楽しく飽きずに調理ができ、また、上達度も高くなりました。

どうしたら人の気分をよくさせられるのかといったことも研究しています。ある学生は“愚痴を聞くロボット”を開発しました。先行研究のロボットがうなずくと話しやすくなるという結果を参考に、軽くうなずくか深くうなずくか、うなずきの度合いを変化させるという方法を編み出し、愚痴を聞き出す時間を約2倍に増やし、満足感を与えることに成功しました。

対話型ロボットの実験で社会性が身につく

上述の「だし巻き卵の調理支援」実験では「ロボットによる調理支援など私はいらない」というタイプの人もいました。こうした結果が出るのが私たちの研究のおもしろいところなのですが、一方で、Phynoという話し相手がいることでめきめきと料理の腕を上げる人がいます。このとき、被験者はPhynoに何らかの人格を認めて愛着を持ち、コミュニケーションを通じてやる気を持続させていると考えられます。Phynoは、単に料理のやり方を教えてくれる情報の伝達者ではなく、生活を共にする大切なパートナーのような存在になりつつあるのです。

実験住宅の中でロボットと生活しながらの研究も。

朝の洋服選びの悩みもロボットに相談すれば、たちどころに解決。ロボットによるアドバイスを受けることでファッションセンスが上がるかどうかを研究している学生もいます。

“愚痴を聞くロボット”は、学生が後輩の失敗のせいでアルバイト先の上司に叱られた経験から思いついたものなのですが、彼はアルバイト先へビデオカメラを持って行き「僕を叱ってください」と言って叱られたときの再現ビデオ映像を作ってきました。これを被験者に見せることで愚痴を言いやすい環境を作って、実験を行ったわけです。よく気がつく人間のパートナーになるロボットを研究するには、まず人間のことを知らなければいけません。実験には人間との関わりが欠かせませんし、日ごろ気がつかない人間の不思議や魅力に気がつくことも多々あります。そのため、私は「上田研究室で研究すると人間のことがよく分かる。同時に社会性も身につく」と言っています。

街角にロボットを置いて道案内する実験も。オープンキャンパスでも活躍しています。

人の気持ちまで理解できるロボット

私が目指しているのは、何でも相談できて頼りになる気の利いたロボットです。そのために今、重要視しているのは、人の気持ちを推し量ることです。そこで、顔の表情から喜怒哀楽を読む研究を、企業と共同して進めています。また、学内の脳科学の研究室と協力して、脳活動の計測から感情を読む試みも開始しました。

携帯電話が世に出始めた頃は、携帯電話など持ちたくない、自由が制限されるじゃないかといった意見を持つ人が大勢いました。ところが、いまやほとんどの人が肌身離さず持ち歩いています。脳計測も同じで、いまは計測機器も大きく（かなり軽量化したのですが）、計測中はじっとしていなければならないなどの制約がありますが、技術が進めばこれらの制約も少なくなるでしょうし、その計測によっていろいろなことが今よりも便利で快適になるということが理解されれば、脳計測がもっと身近になって一気に利用が進む可能性があるのです。そのためにいまから研究を積み重ねていこうと考えています。

ロボットと人間の関係というのは不思議なものです。最近流行りの“お掃除ロボット”相手でも、人は愛着を感じて名前をつけたり、ペットのように可愛がったりもするようです。これから、ロボットと人間の関係はますます親密なものになって、ロボットは人間のよいパートナーになっていくでしょう。ロボットがいることで生活が豊かになった、ロボットとの触れ合いを通じて喜びや充実を感じた……そんな声が聞きたくて私たちは日夜、研究に取り組んでいるのです。

コンピュータ理工学部
インテリジェントシステム学科
上田　博唯 教授

PROFILE

博士（工学）。専門は画像認識とヒューマンインタフェース。大きな研究テーマは「知的メディアシステム」。学生時代の専門は符号理論。就職活動中に日立製作所の中央研究所でロボットの開発研究の様子を見て「コンピュータにもこんな知的なことができるのか」と興味を持つ。30年前は工場の完全機械化を目指すものであったロボットが、いまや人間と対話し、共生する存在になっていると、ますますロボット研究に対して知的好奇心を燃やしている。情報通信研究機構での経験を生かしながら、現在は主に大学内の実験住宅「Ξホーム」でインテリジェントハウスのヒューマンインタフェースとして対話型ロボットの研究に取り組んでいる。社会科学や脳科学といった幅広い分野の研究者との学際的な共同研究も多い。大阪府立北野高校OB。

ADVICE

私の研究室では、文系理系を問わず、不思議を不思議と感じ、より深く知ろうとする好奇心旺盛な人ならば大歓迎です。機械やロボットに興味のある人はもちろん、人間についてもっと知りたいと思っている人、たとえば心理学や哲学に興味がある人でも、きっとおもしろい研究ができると思います。いろいろなバックボーンを持ち、自ら考え、活発に議論できる人がたくさん集まるからこそ、相互作用でよいアイデアが生まれてくるものです。

また、高校生の間に、自分はなぜ大学で学ぶのか、その目的と意義についてきちんと考えておいてほしいと思います。そして、その延長として大学を卒業した後の自分をイメージできるとさらにいいですね。

単細胞生物が見せる豊かな社会性

ナノバイオロジーの世界

考えるという能力を持った人間は、
大腸菌などの単細胞生物とは比べものにならない高等で出来の良い生物だと、
私たちは思いがちです。しかし、本当にそうでしょうか?
「生物学をやっていれば、人間より出来の良い生物なんて
いくらでも見つかりますよ」と話す嶋本　伸雄先生は、
大腸菌の社会的行動の遺伝学を中山　秀喜助教と共同研究されています。
詳しくお話を伺いました。

ナノバイオロジーとは

まずはナノとは何か?　ナノという言葉は本来10の－9乗（1/10の9乗）を意味するのですが、実際はナノメートルという単位の略として使われることが多いのです。「15センチの定規」のように、メートルを略すのと同じですね。それではナノメートルという長さがどうして生物学（バイオロジー）において重要なのかと言いますと、それは多くの生物を構成する分子の大きさが1～100ナノメートルくらいだからなのです。

これらの分子の振る舞いは、たとえば生きているか死んでいるか、動いているか止まっているか、といった外側から観察できる生物の現象に直結します。最も分かりやすい例を挙げますと、生物の遺伝情報をもつDNAは、バクテリア細胞内では1分子しかありません。そうした分子の動きから生命現象を研究するのがナノバイオロジーという学問です。

DNAが遺伝物質であるということは1970年までに決着がつき、以後はDNAが物質として扱われ「分子生物学は終わった」という言い方がされたこともあります。しかし、学問において問いがなくなるということはありません。その後、生物学は分子生物学を基礎的な土台として広がり、1990年代に物理学、化学との境界がなくなりました。生命活動が化学反応や物理現象として物理・化学の言葉をもちいて研究されるようになってきたからです。ナノバイオロジーは、究極の小さな対象を扱う分子生物学として、1994年に登場し、レーザー等の新しい光学技術、半導体工学で開発された手段を用いて発展してきました。

大腸菌も社会を作る

私が京都産業大学に来てから研究対象としているのは大腸菌の生存メカニズムです。中山助教の思いがけない発見から、単純なものとしてイメージされやすいバクテリアなど、単細胞生物も、実際は人間等の多細胞生物と変わらないくらい複雑な行動様式を持っているのではないかと確信するようになりました。中でも大腸菌については遺伝子と分子的な知識が随分集積していましたので、生死という大きな問題を考察するにはぴったりでした。

人間は進化の過程で、社会という群れを作って生きることを選んだ生物ですが、実は大腸菌も社会を作ります。大腸菌の集団は決して均一な集合体ではなく、お互いが複雑に関係しあっている社会であることが分かってきました。そうだとすれば、人間と同じように、大腸菌にも群れを作ることで集団として遺伝子を生き延びさせるメカニズムがきっとあるはずです。そう考えた我々は、大腸菌の生き延び方に注目しました。

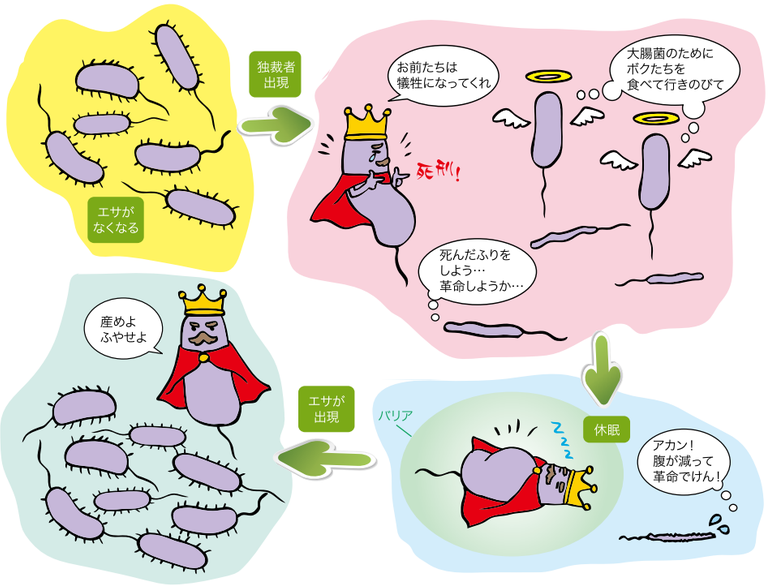
我々が仮説として立てたのは、大腸菌の集団は危機的状況に面すると、死ぬ個体と生きる個体に別れて、死ぬ方は自らを分解し、残った個体に栄養を提供するのではないかというアイデアです。このような栄養のやり取りは、動物でも同じような現象があり、例えば卵子は周りの細胞から栄養分を提供され成熟します。大腸菌の場合はそれが一個体の中でではなく、単細胞生物の集合体の中で同じような構造を持っているのではないかという仮説です。

大腸菌が死ぬときには、まず周囲にアミノ酸などのエサがなくなる段階があります。エサがなくなると、身体を造るタンパク質が作れなくなります。そういう飢餓状況に対処するためには、エサの欠如を感知するセンサー回路があるはずです。そこから辿っていけば、どういう風にシグナルが出されているのか見えてくるだろうと考えました。研究の結果、我々は2つの重要な回路を発見しました。アミノ酸がなくなったときに警告するセンサー回路とアミノ酸を分解する回路です。実はこれら2つの回路が、大腸菌が集団として生き延びるための鍵になっていたのです。

腹八分目でストップ

我々が着目したのは、遺伝子発現の最後を飾る翻訳というプロセスです。DNAの持つ情報は、まず転写というプロセスによってmRNAと呼ばれる分子に写されます。翻訳とは、このmRNAの情報を元に、アミノ酸を合成してタンパク質を造るプロセスのことです。

タンパク質の合成はリボソームという分子機械で行われます。タンパク質の材料となるアミノ酸はtRNAと呼ばれる分子によってリボソームに運ばれ、リボソームは1つずつアミノ酸をRNAに書かれた情報に従ってつないでいきます。アミノ酸の濃度が低くなると、この動作が中断され、tmRNAというセンサー分子がリボソームに結合します。このtmRNAは「もうきちんとタンパク質が合成できる状況ではないので、この作りかけのタンパク質は分解しなさい」という命令を与え、また次に栄養が豊富になったときにリボソームが働けるようにします。アミノ酸が足りずタンパク質の合成に失敗してしまったとき、そのまま作り続けても不良品のタンパク質ができてしまうので、tmRNAはそうならないための安全装置です。実は、これが生きるか死ぬかを決める安全装置にもなっていたのです。



更に、余分になったタンパク質を分解してアミノ酸を作って、生存に必要不可欠なタンパク質を作る分解酵素のことも少しずつ分かってきました。死ぬ運命にある個体を分解するための回路になっているようです。「お前はもう死んでいる!」という命令となっている物質も他の研究チームによって見つかってきています。これは大腸菌にとって危機的な状況においてのみ見られる現象で、全体の数を減らすことで集団を生き延びさせるための戦略と考えられます。ただ、誰がこの命令をどの大腸菌に出すのかは、今は全く謎です。

tmRNAのセンサー回路をなくすと、大腸菌はどんどん増えていき、その代わりに早く死ぬようになります。大腸菌には、エサが欠如して集団ごと倒れてしまうのを防ぐために「腹八分目でとめる」仕組みがあったのです。人間そっくりです。今は分解酵素とtmRNA、それぞれがどのように関与しているのか、また呼吸や体内の酸化、ストレスなどの因子の影響についても少しずつ明らかにしているところです。

最近、他のバクテリアで、死ぬことを命令するシグナルを出せる独裁者が現れるというセンセーショナルな発見が国外でなされました。また、独裁者をだまして、死んだふりをする偽装者も同時に見出されました。独裁者以外の大腸菌が全て死滅してしまいますと進化においては不利ですから、暴君には殺せない、いわば革命軍のような少数の大腸菌が必ず安全装置として用意されているのかも知れません。さらに、そのような革命軍が現れないようにする仕組みもありそうで、研究され始めました。

大腸菌は1個体からクローン社会を形成できます。基本的にはどのような大腸菌でも独裁者になる可能性を持っているのだと思います。この独裁者はどのようにして選ばれるのか?　革命軍との違いは?　確率的に選ばれているのか、それとも予め決まっているのか?　分かっていないことがいっぱい出てきました。学問は研究が進むと、新しい疑問が増えるものなのです。

ADVICE

生物学・物理学・化学の境界がなくなっているというのはいまや常識となりました。しかし、日本の高校教育はそれに追いついていません。高校の生物は、雑多な知識の記憶が主であり、物理や化学が苦手な人が選択する傾向にあります。しかし、いまや物理や化学を抜きにして、できる生物学はどこにもないのです。ですから、物理や化学が好きで、次は生物にチャレンジしたい、という人のほうが大学に入ってからは伸びるかもしれません。

受験生には、物理や化学しか勉強していなくても安心して生物学の道に進んでほしいし、生物を勉強している人は大学で一から生物学を学び直すという心意気で来てほしいと思います。総合生命科学部には幅広い生物学の分野を網羅する教員が揃っています。西日本の私立大学では最も幅広くて強力な教員陣です。そうしたやる気のある学生にとても適した環境です。

総合生命科学部
生命システム学科
嶋本　伸雄 教授

PROFILE

理学博士。専門はナノバイオロジー。京都で育ち、京都で学位を取得するなど京都に縁が深い。その後ニューヨークに渡り、当時最先端の分子生物学を身につける。帰国後、広島大学に、次の国立遺伝学研究所でナノバイオロジーを創設。分子から個体まで連続した概念で生物現象を理解することを目指している。自身のウェブサイトにナノバイオロジーの初学者向けミニ講義を掲載していて「いいスタートを切ってほしい」との思いを込める。著書に『ナノバイオ入門』(サイエンス社、2005年)など。趣味は気球。京都府立洛北高等学校OB。

RNAポリメラーゼのスライディング

DNAはUSBメモリのようなもので、それ自体ではなにも実行できない単なるメモリです。このDNAから情報を読み出す酵素をRNAポリメラーゼというのですが、情報の読み出しは簡単な作業ではありません。膨大な情報量を持つDNAから、読むべきときに、特定の場所から情報を読み始めなくてはならないからです。

この、RNAポリメラーゼはDNAの読み始めをどう見つけているのか、というのは私の以前の研究テーマでした。研究の結果、分かったのは、人間が最寄の駅から電車に乗り、線路を伝って目的地まで着くのと同じように、RNAポリメラーゼは細胞全体に広がるDNAから最寄のものを見つけて衝突し、そこからランダムにDNAに沿って滑り、読み始める場所を見つけるのだ、ということが分かりました。つまり、RNAポリメラーゼはDNAの上をスライディングしていたのです。

花粉を作らない雄性不稔のメカニズム

核とミトコンドリアの不思議な共生

私たちの食は雑種の作物に支えられています。
雑種の方がずっと元気に育つため収量が大きく違ってくるからです。
植物で雑種を作るのに欠かせないのが花粉を作らない雄性不稔という性質。
長らく謎とされていたそのメカニズムを山岸　博先生に詳しくお聞きしました。

総合生命科学部
生命資源環境学科
山岸　博 教授

PROFILE
農学博士。専門は植物育種学、植物バイオテクノロジー。自然豊かな伊那の地で育ち、田植えの時期に用水路や川を上ってくる魚を取るのが遊びという少年時代を過ごす。副学長、植物ゲノム科学研究センター兼務と多忙を極めるが、雄性不稔ダイコンの遺伝的起源を自身の手で解き明かす夢を持ち続ける。2008年3月、日本育種学会賞受賞。長野県立伊那北高等学校OB。

私たちの食を支える雑種

雑種は元気に育つ、という経験則をみなさんも聞いたことがあるかもしれません。このことは植物での例を見ると一目瞭然です。植物で雑種にあたるのは交配種（F_1）で、他家受粉によって生まれる株のことを指します。

たとえば、1950年代、同じ面積あたりのイネの収量を比較すると、日本は中国の2倍ありました。ところが、2000年代の収量を比較するとほぼ同じになっています。

面積あたりの収量ですから、日本の減反政策は関係ありません。何が中国での収量を大幅に増やしたのでしょうか?

実は、中国で交配種のイネが使われ出したからなのです。イネの花は、同じ花の中にオシベとメシベがあり、自家受粉しやすい植物です。そのため、そのままでは、交配種が生まれにくい状態にあります。

そこで、花粉を作らないイネを作り、その傍に受粉させるための花粉を作るイネを植えて、他家受粉させるのです。

交配種では収量が増えることが多くの作物で分かっています。イネだけでなくトウモロコシやトマト、タマネギ、キャベツ、ダイコンなど、みなさんの食卓に上がる野菜の多くは交配雑種なのです。

かつてはわざわざオシベを人の手で除去し、自家受粉しないようにする方法もありました。昔のトウモロコシ品種などがそうで、多くの人を雇って、オシベを取っていたのです。

しかし、人の手で取る方法は、コストもかかりますし、作業をする時期が限られるため、ちょっとでも遅れると自家受粉するリスクもあります。そこで、花粉を作らない性質（雄性不稔）を持った植物が作れないかと研究がなされてきました。

雄性不稔の発見とメカニズム

雄性不稔を持った植物が発見されたのは、偶然の結果でした。栽培植物の品種改良を色々と試しているうちに、野生植物との掛け合わせから雄性不稔となる子どもが生まれたのです。

最初に見つけられたのはタマネギで、1925年のことです。その後、日本でもイネやダイコンで雄性不稔が見つけられるなど、さまざまな栽培植物で発見されています。

ところで、雄性不稔、つまり花粉を作らないという、子孫を残すためには不利な性質が、なぜ絶滅することなく、受けつがれてきたのでしょうか?

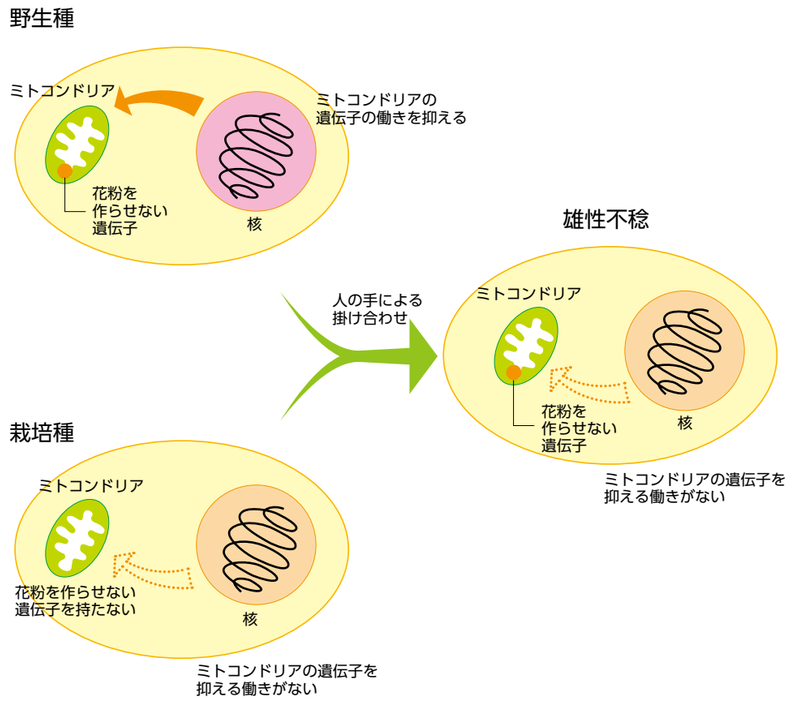
その謎は、近年になって、核やミトコンドリアの遺伝子の解明が進むことで、明らかになってきました。

花粉を作らない性質は、ミトコンドリアの遺伝子の一つが働いて表れます。ところが、そんな性質は植物にとって不都合ですから、細胞核の遺伝子が不都合なミトコンドリア遺伝子の働きを抑える性質を持つようになります。

つまり、植物にはミトコンドリアに花粉を作らせない遺伝子を持つものと持たないもの、核にその働きを抑える遺伝子を持つものと持たないものがあるわけです。このうち、野生植物では、ミトコンドリアが雄性不稔の性質を持ち核がそれを抑える組み合わせが進化し、栽培植物ではミトコンドリアに雄性不稔の性質がなく核に抑える遺伝子がない組み合わせが発達してきました。

そして、人間による野生種と栽培種の掛け合わせによって、ミトコンドリアは雄性不稔の性質を持つのに、核にはそれを抑える遺伝子がないという組み合わせが生まれたわけです。これが雄性不稔の生まれた仕組みです（下図）。

ミトコンドリアは呼吸やATPの合成に関連する細胞内小器官（オルガネラ）ですが、雄性不稔の遺伝子は呼吸やATP合成の遺伝子のすぐ近くにあることが多く、それらを阻害する働きを持っています。植物が成長する段階では、この遺伝子の影響は出ませんが、いざ花粉を作る段階となったときに、邪魔をするのです。花粉を作るには莫大なエネルギーが必要なので、呼吸やATPの合成の働きが抑えられると、うまく花粉を作ることができなくなるわけです。



ミトコンドリアが語る栽培ダイコンの起源

雄性不稔の研究から、日本の栽培ダイコンの起源についておもしろいことが分かりました。

日本の栽培ダイコンの多くには雄性不稔の性質がありません。ミトコンドリアが雄性不稔を起こす遺伝子を持っていないのです。これらは地中海周辺のダイコンを先祖に持ち、ユーラシア大陸を東に渡って、中国を経由して日本にもたらされた種類です。そのため、日本人はダイコンの栽培種を外国から取り入れたのだと長らく考えられてきました。

ところが、日本の栽培ダイコンの中でも舞鶴地方など、いくつかの地方の特産ダイコンは、ミトコンドリアに雄性不稔を起こす遺伝子を持っていました。その由来を探すと日本の海岸部に自生する野生のハマダイコンであることが分かりました。

このことから、日本人も野生のハマダイコンから栽培ダイコンを作りだしていたことが明らかになりました。このような私たちの研究から、現在では、栽培ダイコンは世界の一箇所から広まったのではなく、世界のあちこちで野生のダイコンから栽培ダイコンが生まれたのではないかと考えられています。

ダイコンの雄性不稔を発見したのは、日本の研究者です。ところが日本人がその性質に注目せず、利用しないでいたところ、フランス人の研究者がヨーロッパで品種改良に使おうとしました。

最初は同じアブラナ科のナタネと掛け合わせて雄性不稔のナタネを作ろうとしました。ところが、核の遺伝子はナタネ、母系でしか伝わらないミトコンドリアと葉緑体の遺伝子がダイコンであることから、気温が低下すると葉緑体がうまく発達せず、花粉はできないけれども緑に育たないものしかできませんでした。

それでも、彼らは諦めずに、この葉緑体が発達しないナタネを普通のナタネと細胞融合し、葉緑体もナタネの遺伝子を受け継ぎ、元気に育つ雄性不稔株を作りだしました。この雄性不稔は特許を取得、今では日本のキャベツにもブロッコリーにも使われています。

世界の食糧生産を増やす

先ほどの中国の例のように、私たち人類は、20世紀後半に、雄性不稔を利用した交配種などによって収量を飛躍的に増大させることができました。

ところが、それ以来、収量を飛躍的に増大させる品種改良の技術が現れず、ここ10年の世界人口の増加と比べると収量は停滞したままになっています。

もう一度、飛躍的に収量を増大させなければ、いずれ深刻な食糧問題に直面するかもしれません。

この問題の解決のためには、交配種はなぜ元気になるかというメカニズムの解明と、まだ交配種が作られていないマメ科などの植物の交配種化といった技術面での研究開発、そして、遺伝子組み換え技術とどのように向き合っていくかといった文化面・倫理面での議論が欠かせないでしょう。

これらの解決のための基盤として、雄性不稔についての研究は今後ますます重要性を増していくと考えられます。

ADVICE

目の前で生きて育っている生き物に興味を持って

私たちの学科の学生は、大学生になって初めて植物の本格的な栽培に関わることが多いようですが、彼らはその体験をとても喜びます。

高校生のみなさんには、今のうちから、身近な生き物を見て、触って、いま目の前で生きて育っている生物への興味を育んでもらいたいですね。身の回りの生物に興味を持って、疑問を感じる視点が、後々の研究生活に大きなプラスとなってかえってきます。

ミトコンドリアとの共生の長い歴史

ミトコンドリアが真核細胞と共生するようになったのは遥か10億年以上も前の出来事です。それ以来、もともと別の生き物だった、真核細胞とミトコンドリアは、真核細胞が核に大量の情報を持ち、ミトコンドリアが呼吸やエネルギー生産をするという役割分担をずっとうまく続けてきました。

雄性不稔という性質は、核とミトコンドリアとが相争っているようにも見えますが、植物の長い進化の歴史の中では花粉を作るようになったのは比較的新しい進化であり、雄性不稔はつい最近の出来事だと言えるでしょう。

このことは、そもそも植物にとって花粉とはどういう意味があるのか、といった生命の在り方そのものに対する根本的な問題を考えさせてくれます。

琵琶湖とベトナムのフィールドから インフルエンザウイルスの謎に迫る

種の壁を超えるメカニズムの解明

ニワトリに対する毒性が強く、ヒトへの感染での死亡例もあり、
蔓延が危惧されている高病原性鳥インフルエンザ。
日本では、今のところ広く蔓延する前に抑え込んでいますが、
野鳥が運んでくるウイルスだけに、いつどこで広まっても不思議はありません。
私たちにとって手強い相手であるウイルスですが、
彼らも自分たちの子孫を増やすために行動しているに過ぎません。
その生態やメカニズムを解き明かせば、おのずと対処法が見えてくるはず。
鳥インフルエンザウイルスの生態と病原性の解析が
ご専門の髙桑 弘樹先生にお話を伺いました。

総合生命科学部
動物生命医科学科
髙桑　弘樹 准教授

PROFILE
博士（獣医学）。専門は鳥インフルエンザを中心とした動物感染症学。複雑な生物の中でシンプルに見えるウイルスは、全て解明できるかもしれないとの思いからウイルス研究の分野へ進む。ニューキャッスル病ウイルス、ヘルペスウイルスと研究を重ね、問題の大きさという観点から鳥インフルエンザウイルスへたどり着く。北海道立函館中部高等学校OB。

高病原性鳥インフルエンザウイルス

H5N1亜型のインフルエンザウイルスは「高病原性鳥インフルエンザ」と呼ばれる強い毒性を持ったものが存在し、ニワトリに感染すると、死に至る例もあります。日本国内で感染が確認された場合、国内への蔓延を防止するため同じ鶏舎のニワトリをすべて殺処分するなど、養鶏業だけを見てもその影響は測り知れません。

さらに近年は、アジアや中近東でヒトが感染したという報告もあり、これまで全世界で600人が感染し300人が亡くなっています。いまのところ、ヒトからヒトへと感染した例は認められていませんが、いつヒト-ヒト感染をするように変異するのか、監視を怠ることができない存在となってきました。

種の壁を越えて強毒型に変異

H5N1亜型ウイルスも、もとはカモを宿主とするインフルエンザウイルスです。カモでは感染しても重症にはならず、うまく共生関係を築いていたのです。

少し考えると分かると思いますが、ウイルスにとっても宿主が重症になるのは喜ばしいことではありません。ウイルスは、宿主の中で子孫を増やしつつ、その増えた子孫を別の個体に移しながら増えていきます。ですから、発症しても宿主がそれなりに元気で、動き回ってくれないと困るわけです。宿主が重症で寝込んでしまったり、死んでしまったりしては、ウイルスはそれ以上増えることができず、ウイルスの存続にとって不利になるのです。

ではなぜ、強毒性のウイルスが発生し、猛威を振るうようになったのでしょうか?

もともとインフルエンザウイルスは種が変われば、感染することができません。それは種が異なれば、細胞のレセプターも異なっているからです。レセプターは細胞膜から延びている糖鎖で、外部の物質と結合したり、情報を受け取ったりするための独自の構造を持っています。インフルエンザウイルスは、宿主となる種のレセプターにうまくくっつくように適応していて、それ以外のレセプターにはうまく取り付くことができないのです。種による違いは非常にわずかで、アミノ酸1個や2個分といった小さな差が、付く付かないを左右しています。

ところが、インフルエンザウイルスは変異を起こしやすいウイルスで、変種が生まれやすいという特徴があります。彼らは、私たち動物と違い、遺伝子をRNAで保持していますが、RNAの複製時にミスを起こしやすく、塩基1000個～10000個に1個の割合で変異します。これは動物の1万～10万倍の変異の起こりやすさです。

10000個に1個というと少ないように聞こえるかもしれませんが、インフルエンザウイルスは、一度の感染で10^7倍に増えるので、ほぼ必ず変異体が出てくる計算になります。

インフルエンザウイルスがこのように変異しやすい理由としては、構造が単純なので、宿主側の免疫から逃れる手段が他になかったことが考えられます。変異しないままだと、宿主が作り出す抗体にすぐ滅ぼされていたでしょう。逆に考えると、変異しにくいウイルスは生き残らず、変異しやすいからこそ生き残ってこられたとも言えます。

ヒトのインフルエンザが毎冬のように流行を繰り返すのも、この変異しやすさがあるからです。もしウイルスが変異しにくいものであったなら、一度の流行で宿主の免疫機構もワクチンも準備が整ってしまい、次の年に流行することはないでしょう。

現在、分かっているのは、カモを宿主としていたH5N1亜型ウイルスが偶然ニワトリに入り込み、ニワトリの中で感染を繰り返すうちに、感染しやすいように変異したものが偶然強毒型の性質を持ってしまったということです。東南アジアなどでニワトリの感染が発見された当初に、殺処分をせずにワクチンで対処しようとしたため、ウイルスが生き延びて、強毒型へと変異する余地を作ってしまいました。

琵琶湖とベトナムでのフィールド研究

鳥インフルエンザの研究では、フィールドでの調査が欠かせません。私は琵琶湖とベトナムでのフィールドを中心に調査を行っています。

琵琶湖へは、冬になると北からカモやハクチョウなどの渡り鳥がやって来ます。それらの野鳥のほとんどは健康なのですが、そのうちの1、2%が弱毒型のインフルエンザウイルスを持っています。このウイルスをフンから分離して、それを実験的に新しい宿主（たとえばニワトリ）に感染させて、出てきたウイルスと比較します。新しい宿主にどのようにウイルスが適応していくのかを調べているわけです。

一方、ベトナムでは、H5N1亜型ウイルスが蔓延している状態です。ニワトリで蔓延しているH5N1亜型ウイルスが野鳥にも感染しているのか、どういう形でウイルスが存続しているのかを養鶏場の近くにいる野鳥を調べることで解明しようとしています。

近年流行っているH5N1亜型ウイルスは、もともと中国で発生しそれが東南アジアにも広がったものです。日本での発生の多くは、やはり中国がもととなり韓国を経由し、さらに日本へと入り込んで来ていました。いわば西からの感染ルートです。ところが、2010年と11年は北から日本にやって来ました。おそらく、中国から野鳥に乗って、一旦北方の営巣地に運ばれ、そこから日本に南下して来たのだと考えられます。

北方の営巣地にウイルスが運ばれたのだとすれば、冬に凍結する池や湖にウイルスが保存されてしまう可能性があります。そうなると、毎年ウイルスが日本にやって来るような事態が起こる恐れがあります。幸い、昨年および今年は国内でH5N1亜型ウイルスの発生が見られなかったのですが、中国から北へ野鳥によって運ばれる限り、いつまた北から日本に来るのか分かりません。

こういった危険な事態を少しでも早くに察知するためにも、地道なフィールド調査は欠かせないのです。

ADVICE

高校では広い興味を持って

高校では、ある一つの分野に特定するのではなく、広く色々なことに興味を持って、たくさん学ぶことがその後の幅を広げます。特に私立大学の入試では、受験科目が少なく設定されていますが、だからといって「自分に社会科は関係ない」などとは思わずに勉強に取り組むことが将来のみなさんの興味につながるのだと思います。

総合生命科学部を志望される場合も、生物だけではなく、物理や化学もしっかりとやって来てください。特に、実験では化学ができないと困ることになります。

学部に関係なく、絶対に必要となるのは国語です。どんな研究をするにしても、どんな職業を選ぶにしても、他の人に自分の考えを分かりやすく伝える力は必要ですから、理系志望だからといって手を抜かずに、国語の力をきちんと身につけてください。

私立大学では珍しいBSL３の実験室

京都産業大学には、私立大学としては希少なBSL３（Bio Safety Level 3）の実験室を設置している。

BSL３の実験室は、外部より陰圧の状態に保たれ、ウイルスなどが外部に漏れ出すことがないように設計されている。入室の際には必ず防護服を着用して、退室するときには脱いでから出るなどの規則を設けている。

高病原性鳥インフルエンザウイルスのようなヒトに感染し重篤な症状を呈する恐れがあるウイルスや国内に蔓延し畜産業に多大に被害を及ぼす恐れのある病原体を実験的に扱うために万全を期した設備となっている。

先端領域に広がる理系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〉
代数学
幾何学
数学解析学
複素解析学

〈応用数理科学コース〉
自然と社会の数理系
プログラムの数理系

物理科学科

ミクロの世界から宇宙まで、
物理的現象にアプローチ。

天体・宇宙物理
素粒子・原子核
地球科学と環境科学
物性物理/理論
レーザー・電波物性
結晶・表面物性

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

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	工学研究科	生命科学研究科※	先端情報学研究科
数学専攻 物理学専攻	生物工学専攻	生命科学専攻	先端情報学専攻
博士前期課程		修士課程	博士前期課程
博士後期課程	博士後期課程		博士後期課程

※2014年4月生命科学研究科生命科学専攻修士課程設置(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。

Keep Innovating.
京都産業大学
2015年、50周年を迎えます

お問い合わせ先
連携推進室　〒603-8555 京都市北区上賀茂本山
TEL075-705-2952
http://www.kyoto-su.ac.jp/
E-mail:renkei-suishin-jim@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
入学センター　TEL：075-705-1437