

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.12

存在を約束する言葉

トポロジー

不可能を可能にするドーナツの輪
牛瀧 文宏 教授

不思議な振舞いをする

重い電子をシミュレート

第一原理計算によってコンピュータ上で実験予測を可能に
山上 浩志 教授

プログラムの 部品同士のつなぎ方を考える

C言語のモジュールを活用する新しい概念
荻原 剛志 教授

信頼できる ブログを求めて

関連語からブロガーの熟知度を判定する
中島 伸介 准教授

あなたの好みを見抜くコンピュータ

感性モデリングで個人の感性を模倣する
荻野 晃大 講師

タンパク質合成装置リボソームで mRNAの翻訳を一時停止させる タンパク質を発見!

合成途上鎖の分子生物学
伊藤 維昭 教授

毒素の 攻撃の姿を捉えた

生命を理解するために
タンパク質の姿を明らかにする
津下 英明 教授

脳神経の 可塑的变化は なぜ起こるのか

てんかん発作を誘導する「成長ホルモン」
加藤 啓子 教授

存在を 約束する言葉 「トポロジー」

不可能を可能にする
ドーナツの輪



理学部
数理科学科

牛瀧 文宏

教授

理学博士
位相幾何学(変換群論・
単純ホモトピー理論・Whitehead群)

0011

ものの形に関する学問である位相幾何学(トポロジー)には、高校までに多い、計算をして具体的な解答を導き出すことが重視される数学とは大きく異なる一面があります。

数学では、ある条件を満たすような数学的対象が存在するかどうかを問題にすることが頻繁にあります。しかし高度な数学では、具体的に対象を直接構成することができないことが多く、そんなときこそ、「存在や非存在を証明する」トポロジー的手法の出番なのです。

このような学問であるトポロジーは何か抽象的な分野であるという印象があるかもしれませんが、実は私たちの身のまわり、身近なところでもその考え方を見出すことができるのです。

不思議な振舞いをする「重い電子」をシミュレート

第一原理計算によって
コンピュータ上で実験予測を可能に



理学部
物理科学科

山上 浩志

教授

学術博士
固体電子論 計算物理学

0022

固体の中で動き回る電子には、物質の種類によって見かけ上の質量が重いものが現れます。これは、電子にかかるクーロン力などのさまざまな影響によるものです。重い電子が現れやすいのは、*f*軌道と呼ばれる電子たちです。*f*軌道に電子を持つ元素には、希土類を含むランタノイド、放射性元素とも呼ばれるアクチノイドがあります。

原子番号が大きくなると、電子のバンド構造を予測する理論に大きな修正が必要となります。そこで、重い電子にも対応した理論とその大規模計算プログラムを開発し、ウラン化合物やプルトニウム化合物の電子のバンド構造を実験予測する独自の方法を確立しました。

プログラムの 部品同士の つなぎ方を考える

C言語のモジュールを
活用する新しい概念



コンピュータ理工学部
コンピュータサイエンス学科

荻原 剛志

教授

工学博士
情報学基礎 ソフトウェア工学

0033

多くのコンピュータが稼働する現代、ソフトウェアの数も非常に多くなってきています。ソフトウェアを効率良く生産するためには、すでにあるプログラムのモジュール(部品)を再利用して、モジュールを組み立ててソフトウェアを作るという方法が欠かせません。

ところが、組み込みソフトウェアで一般的に使われるC言語では、モジュール同士をつなぐためのプログラム(グルーコード)を書くことが必要となり、あまり効率的とは言えないのが現状です。

そこで、C言語において、少ないグルーコードでもモジュールを組み立てることができる仕組みを提案しました。

信頼できる ブログを求めて

関連語からブロガーの
熟知度を判定する



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

准教授

博士(情報学)
webマイニング 情報推薦

0044

インターネット上に溢れる情報から、信頼性の高いものを見つけ出すことは容易ではありません。かといって、信頼性を保障するために何らかのチェックを導入してしまうと誰でも参加できるという長所が失われて本末転倒になってしまいます。

そこで、あるジャンルにおける書き手の熟知度を自動的に判定して、ジャンルごとにランキングを作るシステムを構築しました。

このシステムは、自分のブログの分析にも応用することができます。さらに、特定の分野に詳しい人たちだけを対象にしたアンケートやネットショップの自動推薦システムなどにも、応用範囲は広がると考えられます。

あなたの好みを見抜くコンピュータ

感性モデリングで
個人の感性を模倣する



コンピュータ理工学部
インテリジェントシステム学科

荻野 晃大

講師

博士(工学)
感性情報学 メディア情報学

0055

いまだにコンピュータが苦手としているものに、人の感性に関する分野があります。「格好いい靴」や「かわいい服」をうまく理解してくれないのです。

コンピュータに人の感性を理解させるための仕組みに「感性モデリング」という技術があります。ある人に「興味がある」「興味がない」といった質問を重ね、興味がある物とない物との属性を比較することで、その人の感性モデルをコンピュータ上に再現しようというものです。

コンピュータが苦手としていた分野だけに、実用化されれば非常に広い応用が期待されます。具体的な手法として、ラフ集合に基づく感性モデリングについて紹介します。

タンパク質合成装置 リボソームでmRNAの 翻訳を一時停止させる タンパク質を発見!

合成途上鎖の分子生物学



総合生命科学部
生命システム学科

伊藤 維昭

教授

理学博士
分子生物学 生化学

0066

機械のように自動的にmRNAを翻訳(タンパク質合成)していると考えられていたリボソーム。ところが、モデル生物・大腸菌のリボソームで見つけたのは、自らの翻訳を一時停止させるタンパク質でした。しかも、このタンパク質(SecM)は、一時停止によって細胞のタンパク質分泌装置の働きを調整していたのです。

翻訳の途中でブレーキをかけたり、スピードを緩めたりする、これまでの常識を越えた働きをするタンパク質の研究によって、遺伝子から細胞ができていく過程の理解を深めたいと考えています。

毒素の攻撃の 姿を捉えた

生命を理解するために
タンパク質の姿を
明らかにする



総合生命科学部
生命資源環境学科

津下 英明

教授

理学博士
構造生物学 生物物理学
タンパク質科学

0077

発展途上国ではコレラ菌などがいまだに猛威を奮い、また新たなタイプのインフルエンザウィルスの出現がわれわれの脅威になっています。細菌やウィルスによって人が病気になる直接の原因は、それらの作り出すタンパク質にあり、この構造や機能を明らかにすることで、感染症を治療したり予防したりするための創薬が可能になります。

複雑なタンパク質をどうやって調べ解明していくのか。その方法と、これまでの研究成果および将来の可能性について解説します。それは同時に、生命現象の解明そのものであることも理解してもらえたいと思います。

脳神経の 可塑的变化は なぜ起こるのか

てんかん発作を誘導する
「成長ホルモン」



総合生命科学部
動物生命医科学科

加藤 啓子

教授

博士(医学)
神経解剖学 神経化学
糖質生化学

0088

てんかん発作と深い関わりを示すシアル酸転移酵素を発見した私たちは、このシアル酸転移酵素を合成する遺伝子を持たない遺伝子欠損マウス(KOマウス)をつくりました。

KOマウスとてんかんモデルマウスを対象に研究を進めたところ、「成長ホルモン」が亢進するとてんかん発症が誘導され、成長ホルモンを抑制すると行動量の減少(うつ様行動)や不安症の傾向を示すことがわかりました。今後、成長ホルモンがてんかんや情動障害とどのような関係にあるのかといったメカニズムを明らかにすることで、ヒトの難治性てんかんの解明や治療につなげることができればと考えています。

不可能を可能にするドーナツの輪

高度に抽象的な数学であるといわれ、遠い存在のように思える位相幾何学。しかし、実は私たちの身の回りにあふれている学問だったのです。どんなサンドウィッチでも公平に2分割することができるのか。電波が通じない場所で、最適な待ち合わせ場所とは。「存在」と「分類」を語る学問、トポロジー。その面白さと奥深さを、牛瀧文宏先生にお話いただきました。

存在を約束する言葉 トポロジー

存在を証明する学問

トポロジーとは、ものの形に関する学問です。取っ手付きのコーヒーカップとドーナツが「穴が1つ」という点で同じ形だという話は聞いたことがあるかもしれません。※1今回はトポロジーが持つ「存在の証明」「分類」「不可能性」といった側面に注目しましょう。

高校までの数学では、何らかの解を求めることがほとんどです。しかし、トポロジーの問題では具体的な解ではなく、解が存在するか、あるいは存在しないかを証明します。具体的な解を求められない問題や、そもそも解があるのかどうか分からない問題で本領を発揮します。

いくつか身近で面白い存在についての定理を見てみましょう。

二枚のパンでハムを挟んだサンドウィッチを、それぞれのパンとハムが全て同じ体積になるように一刀で二等分することは可能でしょうか。実は、どのような形のパンとハムでも必ず可能であると証明されており、ハム-サンドウィッチの定理として知られています。しかしながら、この定理からは具体的にどのように切れば良いかはわかりません。あくまで、全素材の体積を二等分する切り方が存在することだけを示しているのです。

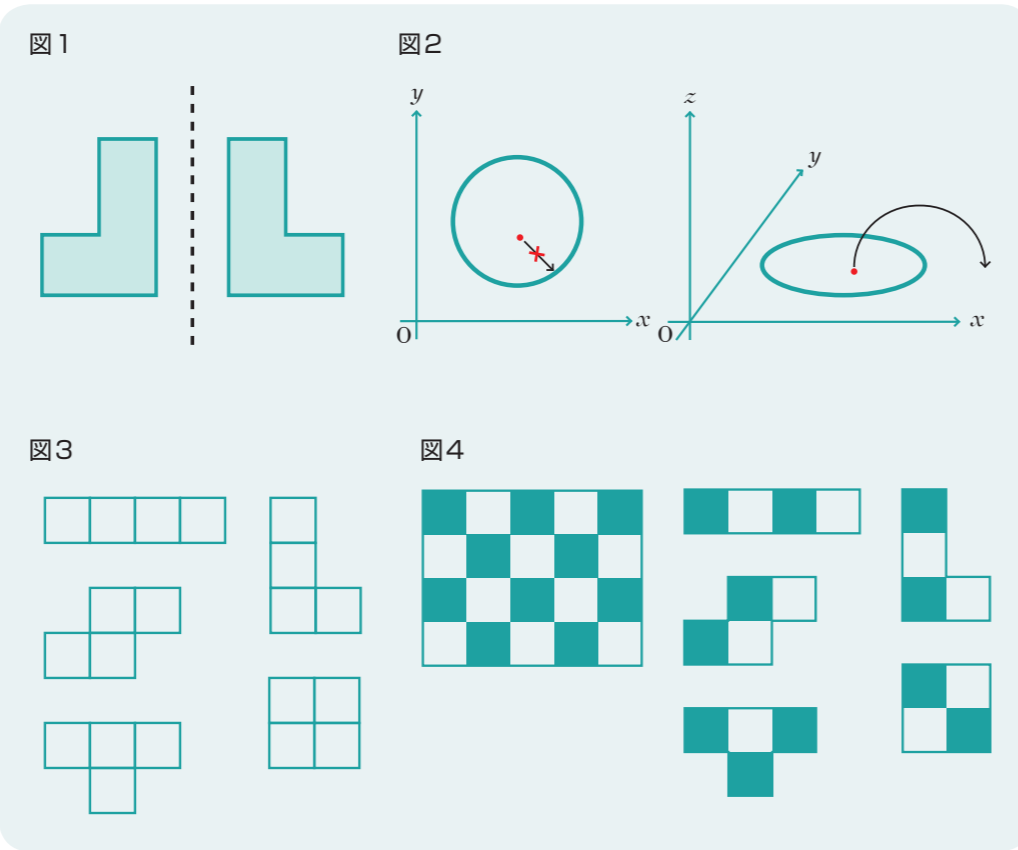
似たようなものに、Borsuk-Ulamの定理があります。球面から平面への写像に関係した定理で、この定理を用いると、地球上の対蹠点（中心を通過して対称な点）に気温と気圧が等しい点が必要に存在することがわかります。また、地球の表面上を吹く風を地球規模で観察すると、どこかに必ず渦が見つかることなども、トポロジーの定理から証明できます。トポロジーは、まさに存在を約束する言葉なのです。

次元が変わると世界が変わる

数学では、普段の生活からは想像もつかな

ような、3次元を超えるような世界も考える対象とします。そこには図形もあり、トポロジーではそういった図形の性質を調べたり、分類したりしています。もちろん、そういった図形を直接目で見ることができませんが、数学のいろいろな手法を使うことで、そういった図形が「わかる」ということは、トポロジーの一つの面白さだと思います。

また、次元が変わると図形の見方も変わります。たとえば、図1を見てください。Lの形をした図形と、それを鏡に映したような形の図形があります。これらの図形を平面上でいくら回転させても、重なることは絶対にありません。しかし、3次元上で回転させれば重なります。よってこの図形は合同であるといえます。このことを私たちが認識できるのは、図形を三次元的に捉えて裏返すという作業を頭の中で行えるからです。また、四次元の世界では、私たちの常識ではイメージすることが困難になってきます。



理学部 数理科学科 牛瀧 文宏 教授

PROFILE
理学博士。専門は位相幾何学(変換群論、単純ホモトピー理論、Whitehead群)。ピアノを趣味としており、本当は作曲家になるのが夢だったが、ピアノの練習は何時間も続けられない。一方数学は何時間でもできたので、一人で自分に立ち向かう数学の道を選ぶ。その中でも、発想が生かせる新しい分野として位相幾何学を専門に選んだ。現在は変換群論を主に研究している。私立六甲高校OB。

たとえば、四次元の世界では、推理小説に出てくるような密室殺人は全く謎になりません。わかりやすいように、二次元の円で考えましょう。円の中にある点は、二次元的にどう動いても外に出ることはできません。ところが、三次元的に動けば、点は円の外側に出ることができます。(図2) 三次元の球でも同様で、四次元の世界では球から抜け出すことができます。四次元で考えると、三次元の密室は密室でもなくなってしまうのです。

数学的な「不可能」

たとえば、「解が存在するか?」という問いは「この方程式が解けるか?」と言い換えられるように「存在」の問題は「可能・不可能」の問題と密接に関係します。そこで改めて、「不可能」という言葉の意味に注目してみましょう。私たちは日常生活で「不可能」という言葉をよく使います。たとえば「1.この宿題を明日までに終わるのは不可能」「2.高度な技術で『不可能』を『可能』にする」などです。これらは数学における「不可能」とは意味合いが全く違います。1は何人もの人に手伝ってもらえば可能ですし、2は数学ではありえません。数学では、どんな手段を用いても、未来永劫絶対にありえないものに対して「不可能」という言葉を使います。

数学的な「不可能」の意味を具体的な問題で見てみましょう。

5枚のテロミノ(正方形を4つ並べて作ったブロック)があります(図3)。これを並べて、4×5の長方形を作ることはできるでしょうか。一見頑張ればできそうな気もしますが、なかなか上手くいきません。この長方形を作ることは「不可能」なのです。「不可能」であることは、全ての可能性を調べあげても検証できますが、それはなかなか大変です。実は上手いやり方があります。

4×5の長方形の各マスを、隣り合うマスで色が異なるように白と黒に塗り分けます。5枚のテロミノも、同様にして白と黒に塗り分け(図4)。ここで、長方形の白と黒のマスの数を数えると、それぞれ10個。一方で5枚のテロミノを重ねると、白が9個、黒が11個、またはその逆で数が合わないのです。絶対に長方形を作ることはできないのです。

このブロックを並べる問題はトポロジーではありませんが、この解決手法はトポロジーの研究に通じる場合があります。それは問題を2値的な白と黒で捉え直した点です。同様にトポロジーの証明でも図形の性質を代数の問題に直して解決させることが多いのです。

身近なトポロジーの応用

携帯電話の電波が通じない地下ではぐれてしまった二人が合流しようするとき、もっとも効率のよい待ち合わせ場所はどこでしょうか。トポロジーの発想で考えると、壁際が正解だとわかります。二人とも壁際に立ち、一人が時計回り、もう一人が反時計回りに壁を伝っていけば、必ずどこかで二人は出会うことになるからです。これは、フロアを囲む壁には端がないという性質によるもので、フロアの形が四角形でも円形でも使えます。

このように、身近に見られるトポロジー的な発想の一つに「端と端をつなげる」というものがあります。

マグロは常に泳ぎ続けていなければ死んでしまうので、水族館で飼うには永久に細長く伸び



る水槽が必要になります。もちろんそんな水槽は作れないので、トポロジーの発想で端をなくすことを考えます。すなわちドーナツ形の水槽を導入すれば、マグロはいつまでも泳ぎ続けることができるようになります。

端をなくせば終わりがなくなるという発想はチェーンソーでも同様です。のこぎりには端があるから、一旦引いたら戻さないといけない。ところが、端をなくして歯を円形にすれば、いつまでも引き続けることができます。流しぞうめん機や回転寿司、空港の手荷物用ベルトコンベアなども同じ発想に基づいています。

身近にあるトポロジーのアイデアは、端をなくすだけではありません。私が若い頃、洗濯機の中でできる渦を解消するため、回転するドラムの中央に一本の棒を立てた商品が流行りました。ドラムに棒を立てるということは、水の塊に穴を空けることと同じです。水の塊がドーナツ状になることで、渦ができる場所がなくなるのです。

私たちが取り組んでいる最先端のトポロジー研究は極めて抽象的で、何の役に立つのかはわかりません。しかし、トポロジー的な発想の転換は新しいアイデアにつながる可能性を秘めているかもしれないのです。

※1 サイエンス&テクノロジー vol.1 想像力をかきたてる「不思議な幾何学」! 福井和彦教授 参照



ドラゴン桜式 数学カドリル(講談社)

牛瀧先生はご専門の研究のかたわら、高校生のための数学問題集の作成にも尽力されている。

監修した『ドラゴン桜式 数学カドリル』は「高校数学の基本スキルを身につける最短ルート」として必要な問題を厳選し、短期間で高校数学の復習ができるよう考えられている。

牛瀧先生によると「多くの参考書では、問題に入るまでの説明が長く、そこで挫折してしまう高校生も少なくないと思います。そこで、まず問題から入って、実感してから簡潔に説明する、という参考書を作りたいと考えました。大学に進むと、多くの分野で数学が必要になります。必要最低限の数学を身につけて、自分の専門分野で活用できるようにしてもらいたい。特に、数学が好きではないという高校生や、数学の点数がなかなか伸びないという高校生に手にとってもらいたい本です」とのこと。

電子にも「重い」ものと「軽い」ものがある？

あらゆる元素は原子核と電子からできています。物質の種類によって、固体の中では、電子が自由に動き回っていたり(遍歴)、原子核のクーロン力によって捕らえられていたり(局在)しています。

金属の電気伝導性が高いのは、遍歴する電子が電気を伝えているからです。絶縁体とは、簡単に考えれば、電子が局在しているため、多少の電圧をかけても電子が動けないことです。

電子はそれ自身がマイナスの電荷を持っているため、プラスの電荷を持つ原子核とクーロン力によって引き合うだけではなく、電子同士はクーロン力によって反発し合うという性質があります。固体の中で遍歴している電子が増えくると、電子同士の反発し合う力(斥力)が強くなります。電子に影響する斥力が強くなると、電子は動きにくくなり「重い」電子になるのです。

電子自体の重さが変わるわけではないのに、斥力によって重さが変わるというのはイメージしにくい現象かもしれません。たとえば、砂浜の上を走る場合を考えてみてください。いつもより遅い速度でしか走れないと思います。砂に足が沈むなど、砂によって速度が削がれているだけですが、足下を映さない映像を見ている人にとっては、重い荷物を持っているために走るのが遅くなっている人と同じように見えるかもしれません。走る人の体重が変わったわけではないのに、周囲からの影響(相互作用)によって見かけ上、重くなったのと同じように見えるということがイメージできると思います。

不思議な挙動を見せる「重い」電子

「重い」電子が現れやすいのは、*f*軌道と呼ばれる軌道に電子を持つ物質やその化合物です。電子軌道には、*s*軌道、*p*軌道、*d*軌道、*f*軌道といった軌道があり、それぞれに1、3、5、7個の異なる軌道を持っています。1つの軌道には2つまでの電子が許容されるので、*f*軌道には7つの異なる軌道があり、14個まで電子が存在し

ADVICE

寄り道が最終的に役に立つことも

物理に限らず、化学・生物・地学なんでもいいのですが、自分で興味を持って、掘り下げて考えることが大切だと思います。物理の理論式ひとつ取ってみても、単に暗記して終わりではなく、色々な見方・切り口から考え、理解して、自在に応用できるように身につけてください。この繰り返しによって物理的な世界の見方を鍛えることができます。受験勉強も大切ですが「なぜだろう?」「不思議だな」と思う習慣は決して忘れないでください。普通では気にとめないことでも、考えながら歩んだ人は、歩みは遅いけれども、その経験は必ず役に立つのです。勉強以外のことでも、そういう習慣を持ってさまざまな経験をした人の方が、長い目で見たら多くのものを得ているものです。

第一原理計算によってコンピュータ上で実験予測を可能に

高校で習う電子とバンド理論は、どちらも整然とし過ぎていて、固体の中の電子はすっかり説明されているという印象を受けたかもしれません。しかし、実際の固体の電子はもっと複雑で多様な振る舞いを見せてくれます。軌道によっては電子がその「重さ」を変えたり、原子核に引き寄せられた電子がクーロン力を「遮蔽」したり、と賑やかに活躍します。固体でも電子の相対論的効果が大きくなり、バンド構造が大きく変化することもあります。多様な電子物性研究の基礎となる「第一原理計算」というバンド構造シミュレーションがご専門の山上浩志先生に「重い」電子とそのシミュレーションについて伺いました。

不思議な振舞いをする 重い電子をシミュレート

得るということになります。

周期表には2種類の*f*軌道があり、4*f*軌道、5*f*軌道の電子を持つランタノイド(4*f*)とアクチノイド(5*f*)と呼ばれる元素群が見られます。周期表の6周期目と7周期目にあり、一般的な周期表では欄外に別表として掲載されています。ランタノイドは「希土類」と呼ばれ、強力な磁性を持っていたり、磁気によって伸び縮みしたり、光信号を増幅させたりと、電子機器などへの応用範囲が広く、今や産業に欠かせない鉱物資源となっています。一方、アクチノイドは放射性元素でウラン(U)やプルトニウム(Pu)といった原子力発電に関連する元素が含まれています。また、ウランより重い元素は自然状態で見つかることが少ない謎の多い物質です。

4*f*軌道や5*f*軌道で見られる「重い」電子は、自由電子の1000倍もの「重さ」になることがあり、自由電子をモデルにして考えた場合とは電子の振舞いが大きく異なってきます。遍歴するはずの電子が「重い」ためにほとんど動けず、

局在している状態に近い特有な物性を現すといったことが起こるのです。

電子の相対論的効果が無視できなくなる

原子番号が大きな重元素であるランタノイドやアクチノイドでは、電子のバンド構造を予測するときに相対論的効果が強く影響を及ぼすようになります。

ウラン(U)は原子番号92ですから、原子核

図1 アクチノイド系列の外殻電子のエネルギー準位

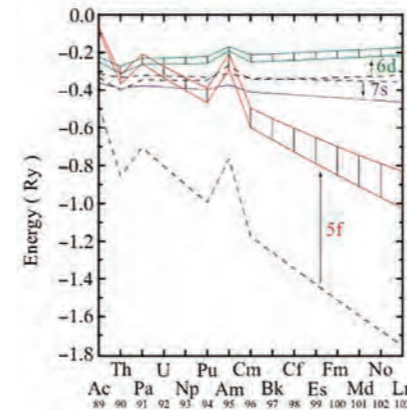


図2 ウラン原子の外殻電子の動経分布

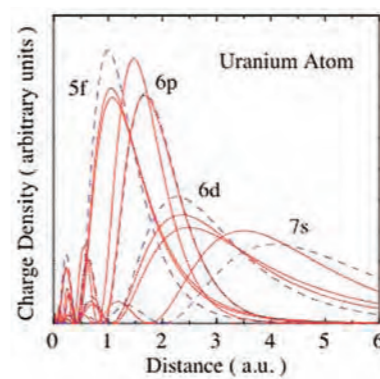
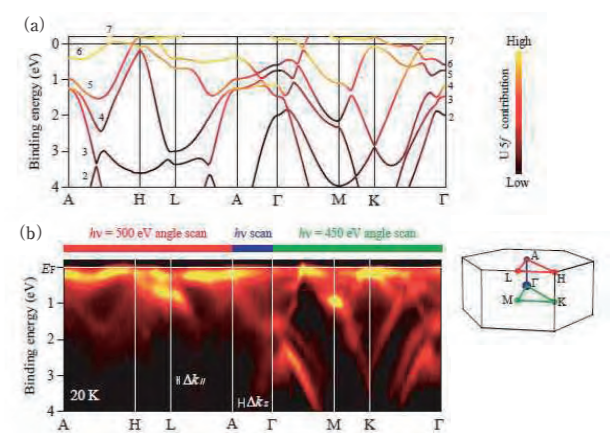


図3 UB₂のバンド構造の(a)計算結果と(b)軟X線実験



線が相対論を考慮しない場合、実線が考慮に入れた場合)。5*f*電子に対する相対論的効果の大きさが見て取れると思います。

シミュレーションの結果が実験結果とピタリ一致

実験結果に依らないで物理法則だけを使って行うシミュレーションのことを「第一原理計算」と言います。私は、相対論的効果を含めたバンド理論を提案し、第一原理計算を行えるプログラムを開発しました。これは、世界中どこにもないオリジナルの計算手法です。

ウラン化合物UB₂のバンド構造(電子の運動量とエネルギーの関係)をシミュレーションしたものが図3(a)です。これは、SPring-8に設置された日本原子力研究開発機構(JAEA)の専用ビームラインで軟X線角度分解光電子分光実験※コラム参照によって得られたUB₂のバンド構造のスペクトル(図3(b))ときれいに一致しました。5*f*軌道の電子は観測強度を大きくし、固体本来のバンド構造を観測するために、エネルギーの高い軟X線を用いなければなりません。SPring-8には世界最高クラスの高いエネルギーを出せるX線装置があるだけではなく、ウランのような放射

性物質の電子構造測定ができる世界唯一の実験施設を備えています。

安全な放射性元素実験の実現へ

ウランやプルトニウムといったアクチノイドやその化合物の研究は、これからのエネルギー問題を考える際に避けては通れないものです。太陽光パネルの性能が向上しているといっても、日本が必要とするエネルギーを作り出すには日本全土にパネルを敷き詰めてもまだ足りないからです。化石燃料に頼り続けられないことは明白ですから、原子力を危険だと言って忌避するのではなく、研究を重ねて、物質の特性を理解することが重要なのです。

放射性元素であるアクチノイドは、管理を厳密にする必要があり、実験も専用の設備で行います。そのために手軽に実験が行えません。シミュレーションの精度を高めることで、最終的には実物を使わずともコンピュータ上で実験ができる環境を作りたいと考えています。現実には実験困難な、超高温下や危険な状況下、あるいは架空の物質のシミュレーションなどもコンピュータ上でならば安全に実現されるのです。



理学部 物理科学科
山上 浩志 教授

PROFILE

2008年、SPring-8での軟X線角度分解光電子分光実験により、ウラン化合物の電子構造とフェルミ面の観測に成功した。独自に開発した相対論的効果を含めたバンド計算は、この実験結果を予測し精度の高さを証明。2005年より放射光先端物質電子構造研究グループのリーダーを務める。新潟県立新潟高校OB。

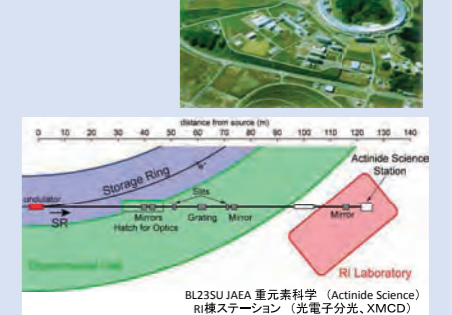
SPring-8での軟X線角度分解光電子分光

光電子分光法とは、物質内の電子のエネルギー分布を直接調べる実験方法です。調べたい物質に光を当てて、光電効果によって物質の中から飛び出してきた電子の個数とエネルギーを分析するという方法です。角度分解を行うことによって、光電子の角度の分布が計測され、固体内の電子の運動量が分かるため、物質のバンド構造やフェルミ面を観測することができます。

標的とする電子の軌道によって、電子が飛び出してくる光の波長は異なります。5*f*軌道の電子を調べる場合は軟X線が用いられます。また、物質の本来のバンド構造をより正確に調べるためには、エネルギーの高い電磁波を当てて、物質のより深くまで光を届ける必要があります。

兵庫県の播磨科学公園都市にあるSPring-8は、世界最高クラスの高いエネルギーの放射光を生み出すことができる実験施設です。放射光とは、電子を光の速度近くまで加速し、磁石によって進行方向を曲

げた時に発生する、細く強力な電磁波のことです。私たち、日本原子力研究開発機構の電子構造研究グループは、SPring-8の強力な軟X線により、ウラン化合物などの電子構造とフェルミ面の研究を推進しています。



SPring-8 軟X線実験装置

C言語のモジュールを活用する新しい概念

生活の中でコンピュータの必要性が高まるにつれて、そのコンピュータを動かすためのソフトウェアもたくさん必要になってきます。ソフトウェアを作るとき、モジュール(部品)とモジュールとをくっつける役目を担うのが「グルーコード」と呼ばれるプログラム。荻原剛志先生は、グルーコードを簡略化したり、不要にしたりすることで、ソフトウェア開発の効率をもっと高められると考えて、研究に取り組んでいます。その具体的な方法についてお話を伺いました。

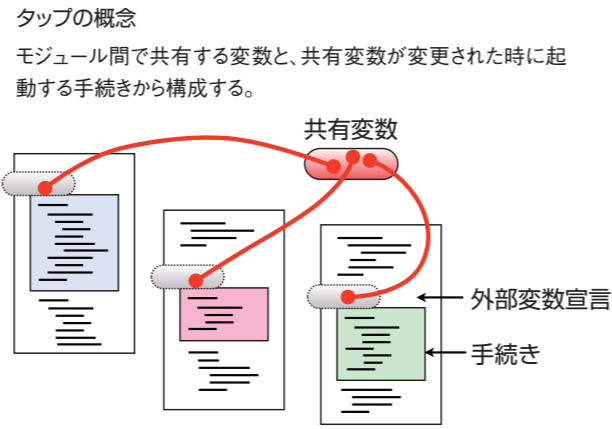


図1

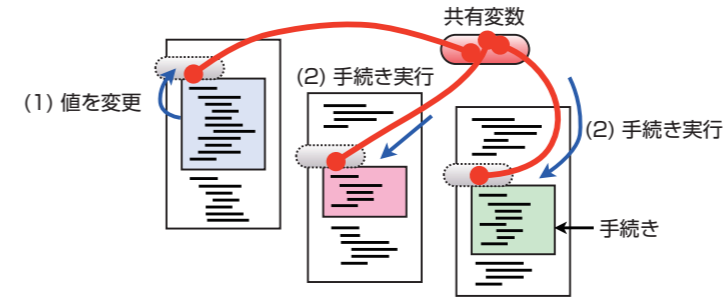
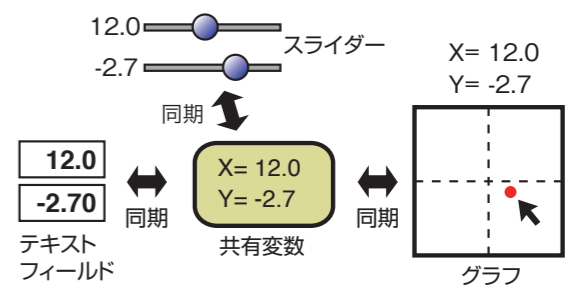


図2 ソフトウェアの部品をつなげる例



プログラムの部品同士のつなぎ方を考える

モジュール同士をくっつけるプログラム

今や、身の回りにたくさんのコンピュータが働いている時代になりました。「僕はパソコンも携帯電話も使わないよ」という人でも、炊飯器や冷蔵庫といった一般家電に組み込まれているコンピュータを知らず知らずのうちに利用しています。

これだけコンピュータが大量に動いているということは、それに応じた大量のソフトウェアが動いているということでもあるのです。ソフトウェアはコンピュータを作ったら自動的に付いてくるものではなく、システムエンジニアやプログラマーなど「人の手」によって生み出されています。

人の手による作業ですから、すべてを完璧に作り上げるのは容易なことではありません。プロジェクトによっては予算や時間をかけられないこともあります。作ったソフトウェアは正しく動作しなければ価値がありません。

現在のソフトウェアの開発現場では、すでに

出来上がった「モジュール」と呼ばれるソフトウェアの部品を組み合わせることで、すべてをイチから作り出すことなく、新しいソフトウェアを作ることが少なくありません。これらのモジュールは、他の会社の開発したものであったり、別の開発プロジェクトで作成したものの再利用であったりしますが、モジュール単体ですでにきちんと動くことが確認されているため、組み立てのミスさえなければ、より正確で効率的に新しいソフトウェアを作ることができます。

このとき、プログラマーが作るのはモジュール同士をつなぐための「グルーコード」と呼ばれるプログラムです。モジュールとモジュールとをくっつけるための糊(グルー)という意味でこう呼ばれています。

モジュールを使うためにはグルーコードというジレンマ

いかに単体のモジュールが間違いなく動くこ

コンピュータ理工学部
コンピュータサイエンス学科
荻原 剛志 教授



とが分かっている、現在のようにソフトウェアを作るためのプログラムが膨大な大きさになってくると、グルーコードを作ることも膨大な作業となり、そこにミスが起きる余地が出来てしまいます。

そこで、最近はグルーコードをあまり記述しなくても済むような機能を備えたソフトウェア開発手法が考えられるようになってきました。しかし、現在のソフトウェア開発でもっともよく使われているC言語というプログラム言語には、そのような手法が使えません。特に日本が得意とする組み込みソフトウェアにおいてはC言語で開発されるソフトウェアが多く、当然再利用するモジュールもC言語であり、プログラマーはC言語のグルーコードを作る必要があるのです。

過去のモジュールの問題だけでなく、プログラマーが新たに開発言語を覚えるのはたいへんな時間と労力がかかります。開発方法のために人間が苦勞するのではなく、人間が作業しやすいように開発方法を変えるほうが遙かに効率がよいのです。

グルーコードをなくすための工夫

C言語はそのまま使いたい、けれどもグルーコードは減らしたい、という相反する希望を叶えるため、私はC言語に「タップ」という概念を持たせることを提案しました。

タップは、モジュール間で共有する変数と、共

有変数が変更された時に起動する手続きから成っています。タップはそれぞれのモジュールの中に設置され、あるモジュールが値を変更すると、共有している他のモジュールに通知が送られます。通知を受け取ったモジュールはタップに記述されている手続きを実行します。(図1)

図2のソフトウェアは、スライダーやテキストフィールドに入力された数値をグラフに変換するものです。スライダーやテキストフィールドの入力によってグラフを動かせるだけではなく、グラフをマウスなどで変形させるとスライダーやテキストフィールドも変わります。

このようなソフトウェアを作るとき、従来の方法では、スライダーのモジュール、テキストフィールドのモジュール、グラフのモジュールをつなぐため、数値を管理するだけのグルーコードが必要でした。このグルーコードは、ただ数値を管理して3つのモジュールと数値をやりとりするだけで、自分自身が表示したり、グラフを描いたりすることはありません。

同じソフトウェアを作る場合にタップを導入すると、グルーコードをなくしてシンプルにすることができます。この程度の単純なソフトウェアであればグルーコードはまったく不要になります。

タップを用いて各モジュールが作られていれば、グルーコードによる間違いを大きく減らすことができるだけではなく、さらに新たなモジュールやデバイスをこのソフトウェアに付け加える場合

にも、グルーコードを作り直す必要がなく、ほとんどそのままくっつけばいいというメリットもあります。

このような新しい発想のことを「コンポーネント指向」と呼びます。プログラミングにおけるコンポーネントは、コンポーネントステレオの各ユニットのように、追加したユニットに配線をつなぐだけで使えるようになる、ということからこう呼ばれます。タップは、C言語でコンポーネント指向を実現するためのアイデアのひとつと言えます。

新しい仕組みがゴールではない

私は、C言語のグルーコードをなくすための研究で、本学の研究費に続き、文部科学省からの科学研究費の交付を受け、タップを使ったプログラミングの試作に取り組んでいます。現在はまだ完成品とは言えず、たとえば「プログラムが動いている最中にモジュールをくっつけたい」という状況でもちゃんと動く仕組みを実現するなど、もう少し複雑なことができるように改良を進めたいと考えています。

とはいえ、私たちの研究では「こんな仕組みを作りました」ということが最終的なゴールではありません。今まで難しかったことがどれほど簡単になり世の中に役に立っているかを示す必要があるのです。さらに、新しい仕組みを用いるプログラミングの考え方や、開発の方法論を提案することができればいいと思っています。

ADVICE

難解な微積分よりも数学パズルが好きな人

情報系の学部への進学について「数学ができない」といっていませんか?という質問がよく聞かれます。多くの受験生の予想と異なり、実際には情報系の分野で高度な数学が必要とされる場面はそれほど多くありません。ですから、高校で微積分が苦手だったからといって情報系への進学を諦めないでほしいと思います。ただ、数学的な考え方や発想力は重要です。数学パズルが好きな人やものごとを分析するのが得意な人、こういう仕組みを作っておけば後々楽になる、ということを普段から考える人に向いている分野だと思います。

暗号であることにすら気がつかない暗号

グルーコードの研究とは別に、深層暗号と呼ばれる暗号技術についても研究しています。深層暗号とは、現在のインターネットで使われている公開鍵方式の暗号とはまったく異なる暗号の仕組みです。盗聴している相手がいると想定した上で、見つかってもそれが暗号だと気づかれないという特徴を持っています。

コンピュータ上での深層暗号としては、画像などの圧縮技術を逆手に取って、画像に情報を潜り込ませる方法が考え出されています。

たとえば、長い文字の列を圧縮するとき、「ABCD」という部分をそのまま「ABCD」とするのか「R100」

(ここでは「100文字前に出現した文字列の繰り返し」を意味するものとする)と圧縮するのか、どちらを選んでも情報量は4文字で同じです。この「情報量の変わらない部分を圧縮するのかしないのか」によって0か1かという1ビットの情報を持たせることができます。さらに潜り込ませる情報自体を暗号にしておけば、たとえ深層暗号ではないかと怪しまれても、なかなか気づかれることがないのです。

深層暗号は、実は世界中で使われているけれども、方法が知られたいくため誰も特許を取らず学会発表もしないと言われていました。まるでスパイ映画に出てくるようなミステリアスな暗号なのです。

ブログ熟知度ランキング

昨今のブログブームで、現在巷には数多くのブログが溢れています。この中から信頼できる情報を探すにはどうしたらいいのでしょうか？

一つには、ブログのランキングを見るという手があります。しかし、次々と新しい記事が書かれていくブログにおいて、その情報の信頼度を適切に反映したランキングを作るのは困難です。

そこで私たちが考案した新しいブログランキングシステムが、ブログ熟知度ランキングです。このブログ熟知度ランキングは特定の分野に詳しいブログを高い精度で判定し、ランキング表示します。

その背後にある仕組みについて、お話ししましょう。

まず、ブログでよく言及されるトピックをまとめます。これらは熟知領域と呼ばれ、例えば「怒り」や「悲しい」といった感情や「音楽」、「健康」といった抽象的なもの、更にその下位ジャンルにあたる「オペラ」や「ダイエット」といった具体的なものが含まれています。これらのカテゴリは全部で60,000ほどありますが、その中から不適切なものを除いたりして、実際には12,000程度のカテゴリを使用しています。この熟知グループは次々とブログ上に登場する新たなトピックに対応するため、1週間間隔で更新されています。

更にこの熟知グループに対して、共起語辞書と呼ばれる、関連語をまとめた辞書を作ります。これは、熟知グループとの共起度（一緒に現れる度合い）が高い単語を集めた辞書です。ダイエットという熟知グループに対して共起語辞書をつくるには、ダイエットというキーワードが出てくる周辺の文章中で、どの単語がどれくらい出てくるのかを一つ一つ計算していきます。

しかし、この作業はそれほど単純ではありません。キーワードとしてダイエットをとったときにだけ共起度が高くなるような単語を拾っていかねばいけません。そのため、ダイエット以外の様々なキーワードに対しても共起度が高くなるような一般的な単語は、重みを低くします。こうして、ダイエットという熟知グループに対して固有の「健康」や「ジョギング」といった単語を集めた共起度辞書が作られます。さらにその中でも、共起度の高さに応じて重みをつけておきます。この辞書も、熟知グループ同様に一週間間隔で更新しています。

ここからようやく、あるキーワードに対するブロガーの熟知度を判定する段階に移ります。基本的な考え方としては、ある熟知グループを選んだとき、それに関連したトピックを含む記事が多いブログほど熟知度は高いと計算するのです。ここで、あるブログ記事が熟知グループにどれだけ関連しているのかを判断するの

に、共起度辞書が使われます。ある熟知グループの共起語全てを検索にかけて、ブログ記事内に存在した共起語の重みと共起度をかけたものを全て足していきます。こうして、一つ一つのエントリの関連度を判定したのちに、ブログ全体で総和をとれば、ブロガーの熟知度が判定できるというわけです。もちろんこのプロセスも、対象期間や共起語の網羅率などで更に細かく条件をつけ、精度を上げています。

ブログ熟知度ランキングは2008年9月から共同研究先の「株式会社さぎしカンパニー」の運営により一般公開して、既に相当なデータが溜まりました。これは成功した例だと思います。

blogram 熟知度判定技術に応用した自己ブログ診断

ブログ熟知度ランキングで用いられた熟知

度判定技術を基に、更に発展させたサービスがあります。それがblogramです。熟知度に基づくブログランキングにはないblogramの大きな特徴は、自分のブログを解析できるという点です。blogramに登録すると、あるキーワードで検索したときに自分のブログが何位なのかわかります。



信頼できる ブログを求めて

関連語からブロガーの熟知度を判定する

近年、web上の新しい情報源として注目されているブログですが、個人で手軽に作れるブログはまさに玉石混合。本当に信頼できるブログを見つけ出すのは、そう簡単なことではありません。そこで頼りになるのがブログランキングです。しかし、そのランキングも本当に信用できるのでしょうか？より精度が高いブログランキングを創出し、ブログの世界の発展を目指す中島伸介先生に、新たに生まれた様々なサービスとその仕組み、更に今後の展望についてお話を伺いました。

コンピュータ工学部
ネットワークメディア学科
中島 伸介 准教授

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（クラブ活動に没頭しすぎて）留年、更に卒業研究提出直前に阪神大震災で実験装置が木っ端微塵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、博士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「どんなに挫折してもチャンスは必ずくる」を信条とする。大阪府立池田高校OB。



それだけではなく、登録したブロガーが何を考えているのか、どんな思いを抱いているのかといった「自分自身」を解析してくれるのです。これを使えば、あなたと近い有名人などもわかります。「星野仙一ランキングではあなたは何位です」といった検索ができるのです。

さらに、自分が書いたエン트리と同じような話題を扱うブログを自動的に表示してくれます。通常、他のブログや広告などを表示する推薦システムは、事前に興味のある分野をチェックして登録しておくものですが、blogramではその必要はありません。自動的に興味関心を分析してくれるからです。

このblogramによって、ブログの業界が更に盛り上がりがいなと思っています。（このblogramも、「株式会社さぎしカンパニー」により運営されています。）

ブログ熟知度ランキング画面



ADVICE

もし私が今からフランスについてフランスパンの修業をし、パン屋を開きたいといっても、不可能ではないにせよ、年齢や家族のことを考えると現実的ではありません。しかし皆さんなら十分可能です。ほとんどあらゆる可能性を持っているのです。そんな今だからこそ、スポーツでも仕事でも、遊びではない何かに対してやりたいという強い思いを持ち、そのやりたいことをやってください。きっかけは、モテたいからでも何でも構いません。「どんな自分になりたいのか」を強くイメージすることが大切です。どんなに挫折してもチャンスは必ずくるので、諦めずに「自分がなりたい自分」を目指して頑張ってください。

社会に役立つ技術への応用

今、私たちが新しく考えているのは、ニッチなトレンドの検索システムです。例えば昆虫採集のプロたちの間で何が流行っているのかなどを知りたいとき、通常の検索システムではなかなか上手くいきません。

この大まかな仕組みは、熟知度判定と同じです。流行っているというのは良く書かれているということなので、特定のキーワードの出現回数に注目します。あるグループの中だけで頻出するキーワードを取り上げ、一般の人の記事にも書いてあるようなキーワードは重みを下げていく。こうして、あるグループの中でだけ流行っているものが何なのかわかるわけです。

この検索は様々な利用価値があります。たとえば、世間ではバナナダイエットが流行って

スパムブログの検出

ブログの検索において障害となるのは、スパムブログの存在です。スパムブログは、アフィリエイトによる広告収入や、アダルトサイトへの誘導などを目的とした有害なブログです。こういったブログは熟知度を調べるためには邪魔になるので検索の際に取り除いておかなければなりません。そこで、スパムブログかどうかを次の二つの方法で判定しています。

まず一つ目は、長時間に渡って大量のエントリーを投稿しているブログを抽出する方法です。このようなブログはスパムブログの可能性が高い。こうして抽出されたブログは最終的に人間が一つ一つチェックして、スパムブログかどうか判定しています。

二つ目は、投稿の間隔に時間的な規則性があるブログを抽出する方法です。スパムブログは自動でエントリーを投稿することが多く、そこで時間の規則性が生まれます。これも、抽出したブログを人間がチェックして最終判定を行ないます。

さらに、人間が判定したスパムブログを学習データにすることで、全自動のスパムフィルターも作られています。スパムブログと判定されたブログは、ランキングにはもちろん反映されません。こうして、安心度の高いランキングが作られるのです。

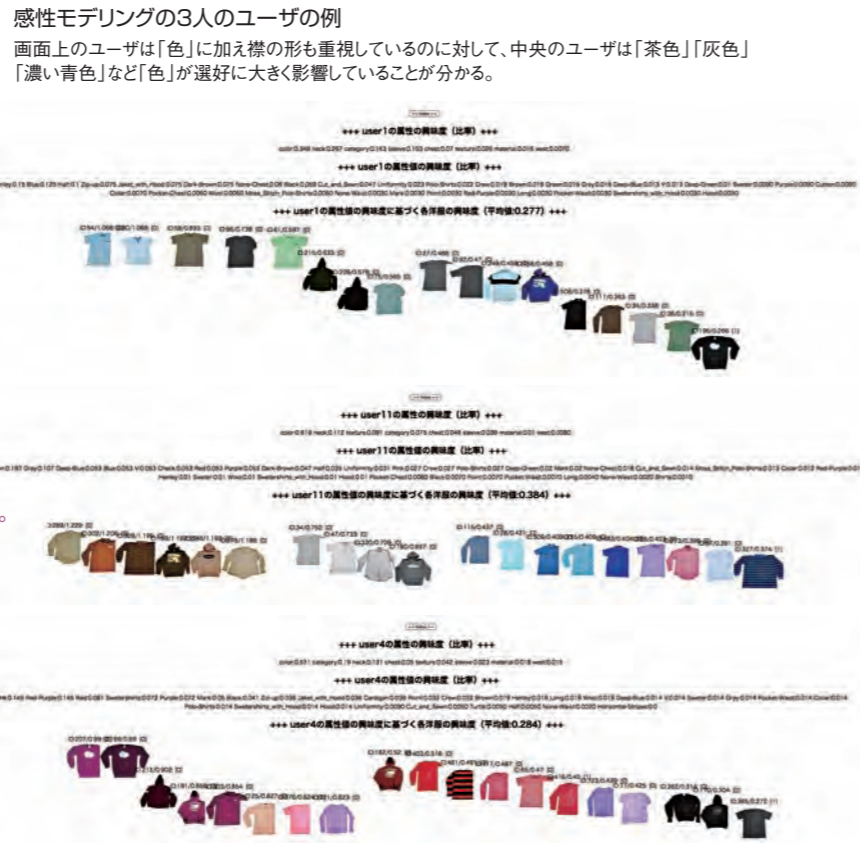
いるが次に何が流行るのか知りたいというときに、ダイエットグループ内でのトレンドを検索する。こうしてモロヘイヤダイエットが流行っているという結果が得られれば、次は世間でもモロヘイヤが流行るだろうという予測が立つわけです。

ここまでは検索を中心に上げてきましたが、熟知度判定技術の応用範囲は検索のみに留まりません。応用分野として考えられるのは、アンケートシステムです。現在、一般的に行われているアンケートでは、対象となる人の属性を性別や年齢、居住区などで分類しています。しかし、この熟知度判定を用いれば、あるキーワードに対する詳しくや好みなどを用いて分類することができます。熟知度判定で得られたデータは、自己申告よりは遥かに客観的で信頼できるので、マーケティングなどにも十分な利用価値があると思います。

また、自動応答チャットシステムを作ること、その会話の中で何に詳しいか、何に興味があるかを解析することも検討しています。これを作れば、ブログを書かない人でも、暇な時間に機械とチャットをするだけで自動推薦のサービスを利用できます。このサービスをネットショップに提供することで、新たな社会貢献ができるかもしれません。このようにさまざまな分野で新しいサービスを創り出せると期待を持って取り組んでいます。

感性モデリングで 個人の感性を模倣する

コンピュータはすっかり身近なものになってきました。生活のさまざまな面で利便性が高まっていますが、一方でコンピュータを使って一向に便利にならない分野が依然として残っています。感性に関する分野がその一つ。「格好いい靴」や「かわいい服」という言葉のニュアンスをコンピュータはうまく理解してくれません。計算速度も記憶容量もどんどん高まり、ソフトウェアの使い勝手も改良が重ねられているのに、人の感性に関してはまだほとんど手がつけられていない状況です。感性情報学がご専門の荻野晃大先生に、コンピュータに人の感性を理解させるための技術についてお話しいただきました。



ラフ集合に基づく 感性モデルの構築

感性をコンピュータに分からせようとする研究を感性工学といい、ユーザの感性をコンピュータに模倣させる仕組みのことを感性モデルといいます。ユーザの感性モデルがより正確に構築されることで、コンピュータはユーザの感性に基づいたレコメンドを行うことができるようになります。感性モデリングにはさまざまな方法が考えられていますが、ここでは私が実際に使っている「ラフ集合」という考え方に基づく方法を説明しましょう。たとえば、Tシャツの好みを調べるため、表1のサンプルが与えられたとします。

表1

	色	襟	素材	イメージ	ポケット
s1	無彩色	Vネック	綿	カジュアル	有り
s2	無彩色	丸襟	綿	アウトドア	無し
s3	有彩色	丸襟	合成繊維	モード	無し
s4	有彩色	Vネック	合成繊維	カジュアル	有り
s5	有彩色	丸襟	合成繊維	カジュアル	無し
s6	無彩色	丸襟	綿	アウトドア	有り

s1～s6はサンプルの名前、最上段の「色」「イメージ」などは属性、各サンプルの属性の値「Vネック」や「カジュアル」は属性値と呼びます。これは説明のために作った表であり、Tシャツを表す属性や属性値がこのとおりと言うわけではありません。実際には属性が100個や200個という場合もあり、サンプル数はユーザがシステムを利用するたびに増えていきます。実際には100個以上もの属性があるため、サンプルを区別するための最小限の属性だけを抽出する作業が必要となります。この手順は「縮約」と呼ばれます。1つずつ見ていくと、色だけでは明らかに6つのサンプルを区別することはできません。次に、色と襟ではどうでしょうか？ s2とs6が「無彩色」「丸襟」で、s3とs5が「有彩色」「丸襟」で同じになってしまいます。このようにして、計算をしていくと色、イメージ、ポケットの3属性か、素材、イメージ、ポケットの3属性によって6

つのサンプルは区別することができるため、これら3属性まで縮約することができます。一方、感性をコンピュータに学ばせる手順は次のようになっています。各サンプルをユーザに見てもらい、「興味がある」(1)、「興味がない」(2)という属性（選好）を加えます。説明のためポケット属性は省きました。また、各属性をA～D、属性値をA1、A2などに置き換えます。

表2

サンプル	A	B	C	D	選好
s1	A1	B1	C1	D1	1
s2	A1	B2	C1	D2	2
s3	A2	B2	C2	D3	2
s4	A2	B1	C2	D1	1
s5	A2	B2	C2	D1	2
s6	A1	B2	C1	D2	1

ここで「興味がある」とされたs1、s4と「興味がない」とされたs2、s3、s5とを対比させます（s6はs2と同じなので含みません）。すると表3が得られます。

表3

	s2	s3	s5
s1	B1,D1	A1,B1,C1,D1	A1,B1,C1
s4	A2,B1,C2,D1	B1,D1	B1

s1、s4とs2、s3、s5とを比べて異なる属性値が記されています。サンプルごとに見てどの属性値が「興味がある」に影響を与えたのかを調べているのです。そして「興味がある」と「興味がない」とのすべての違いを書き出し、それらの違いの共通部分を論理演算で求めます。s1の行では $(B1 \vee D1) \wedge (A1 \vee B1 \vee C1 \vee D1) \wedge (A1 \vee B1 \vee C1)$ $= (B1 \vee D1) \wedge (A1 \vee B1 \vee C1)$ $= A1 \wedge D1 \vee B1 \vee C1 \wedge D1$ 同様に、s4についても求めると $(A2 \vee B1 \vee C2 \vee D1) \wedge (B1 \vee D1) \wedge B1$ $= (A2 \vee B1 \vee C2 \vee D1) \wedge B1$ $= B1$ さらに、これらを1つの式に合わせると $(A1 \wedge D1 \vee B1 \vee C1 \wedge D1) \vee B1$ $= B1 \vee A1 \wedge D1 \vee C1 \wedge D1$

※V:和集合 ∧:積集合

このようにして求められた「違いの共通部分」が「決定ルール」とされます。すなわち「決定ルール」は「B1 (Vネック)」「A1∧D1 (無彩色かつカジュアル)」「C1∧D1 (綿かつカジュアル)」の3つです。これらの決定ルールは、すべて同じ重みを持つわけではなく、それぞれ「興味がある」を選ぶのに与えた影響が異なります。各決定ルールがどのぐらいもとのデータをカバーしているのかは「カバリングインデックス (C.I.)」で表されます。たとえば、ルール「B1」は元の「興味があ

ドラえもんはすごい!
感性についての研究を進めれば進めるほど「人間というのはすごい」ということを思い知らされます。人間のプロのデザイナーは、何百という属性値を持ったたくさんのサンプルから算出される人々の好みを、瞬時に見抜いたり、従来のサンプルからは算出されないような卓越したものを作り出したりすることができるのです。マンガ「ドラえもん」では、ドラえもんはのび太くんの直面した問題に対応して、時には適度に役に立つ道具を、またある時には少しずれた解決策となる道具を、柔軟に提案します。そして、のび太くんの人間的成長を考慮に入れて、100%助けるようなことはしません。賢く道具を使った場合に問題が解決されるよう配慮がなされているのです。将来の情報社会は、コンピュータが人間の感性までコントロールしてしまう社会ではなく、ドラえもんのように、私たちの選択権を尊重しつつ、さりげなく感性を豊かにする提案をするシステムが支えてくれる社会になればいいと考えています。

あなたの 好みを 見抜く コンピュータ

コンピュータは優秀な店員?
みなさんはネットショッピングをしたことはありますか？ ある商品を購入すると、さらに別の商品を勧められることがあります。このようなレコメンド（推薦）システムは、闇雲に推薦する商品を選んでくれるわけではなく、ユーザの購入履歴や閲覧履歴などを記録しておいて、それらのデータをもとに、ユーザが興味を持つ可能性が高そうな商品を選んで推薦しています。レコメンドにつられてついつい衝動買いをしたことのある人も少なくないのではないでしょうか？
しかしながら、現在のレコメンドシステムには

ある根本的な機能が備わっていません。それは「ユーザの好みを把握すること」です。そのため「Aという商品を買った人の多くがBという商品も買っている」という統計データから「Aを好きな人はBも好きだろう」と推測はできても「このユーザはAのような商品は好きだが、Bのような商品は好きではない」という個人の好みは無視されてしまうのです。
レコメンドシステムが個人の好みを理解するためには、コンピュータに「感性」を持たせなくてはなりません。しかしながら、感性をどうやってコンピュータに分からせるのかは大きな問題となっていて、現在、私が最大の研究テーマとして取り組んでいる問題でもあります。

コンピュータに分からせるためにまず自分が理解する
感性モデリングを実現するためには対象となる分野についての専門的な知識が必要になります。洋服の好みについて感性モデルを作るならば、そもそも洋服にはどんな属性があるのかを詳しく知らなければなりません。洋服には洋服の理論があり「服飾造形学」の理論に基づいて作られています。そのため、私は「服飾造形学」と「カラーコーディネート」の理論について勉強しました。コンピュータ以外のことを勉強してそれをコンピュータの研究に活かすことはとても面白く感じました。人間や社会とコンピュータをつなぐ感性工学は一度勉強するとやめられない奥深さがあるのです。

コンピュータ理工学部
インテリジェントシステム学科
荻野 晃大 講師



PROFILE
博士(工学)。専門は感性情報学・メディア情報学。高度情報社会が実現しつつあるにもかかわらず、洋服などの買い物では、手元に自分の持ち衣装の一覧画像がない、欲しい服を探してお店を何軒も回っても収獲が1着もない、というアナログな状況がまだに続いていることから、服選びでコンピュータが支援できることはないかという問題意識にたどり着く。「コンピュータが好きだけではなく、現状の技術に疑問がある人や持ち物にこだわりのある人に来てもらいたい」とのこと。岐阜県立多治見北高校OB。

合成途上鎖の分子生物学

リボソームは細胞内の他の酵素などに比べて巨大で、複雑な機能を持つまだまだ謎の多い細胞の装置です。リボソームの立体構造と機能を明らかにした3人の化学者に昨年、ノーベル化学賞が贈られました。そのリボソームの中で、これまでにない働きをするタンパク質を発見した伊藤維昭先生。世界的にもユニークな研究内容と今後の展望についてお話しいただきました。

リボソームも“なまもの”

細胞内に多数存在しているリボソームは、DNAから遺伝情報を転写したメッセンジャーRNA (mRNA) の遺伝暗号(コドン※1)をあたかもアミノ酸配列に翻訳するかのようにしてアミノ酸をつなぎ、タンパク質を合成しています。コドンに対応するアミノ酸はtRNA(転移RNA)が運んできます。それがリボソームの酵素作用によって次々とペプチド結合※2されて、タンパク質ができていくのです。

リボソーム自体は複数のRNA分子とタンパク質からなっていて、雪だるまのような形をしています。だるまの上部にあたる部分が小サブユニット、下部が大サブユニットと呼ばれます。

大サブユニットのお腹の中にはトンネルがあります。小サブユニットでmRNAが読み取られ、大サブユニットの内部でアミノ酸がひとつひとつペプチド転移反応によって結合されます。そしてトンネルを通過して順次リボソームの外に出てきて、普通はそのまま生まれ落ちます(図1、2)。

私たちはモデル生物である大腸菌のリボソームで、自らの翻訳(タンパク質合成)にブレーキをかけるタンパク質(正しくは完成したタンパク質になる前のできかけのタンパク質)を発見しました。これまで、リボソームの翻訳はどんなものでも自動的に行われているのだろうと考えられがちでしたが、リボソームも機械ではなく“なまもの”なのだということを改めて感じる発見でした。

※1 A(アデニン)U(ウラシル)C(シトシン)G(グアニン)の4種の塩基で構成されるmRNA。3つの塩基の組み合わせが1つのアミノ酸に対応することで、20種類のアミノ酸配列を決めている。この3つの塩基の組み合わせをコドンという。タンパク質の合成開始の信号となる「開始コドン」や合成を停止する「終止コドン」もある。

※2 アミノ酸同士が脱水縮合(水分子H₂Oが抜ける)して結合すること。

生まれかけで働くタンパク質 ——SecM(分泌モニタータンパク質)

私たちが見つけたのは、SecMという小さなタンパク質で、170のアミノ酸からできています。ところが、リボソームで翻訳を進めると166番目の辺りでリボソームと相互作用して、必ず止まってしまいます。リボソームを工場、タンパク質を工場で生産される製品だと考えると、製品が工場とやり取りして製造工程をストップさせて

図1 リボソーム大サブユニットにはトンネルがあり、新生ポリペプチドが通ってリボソームの外に出て行く

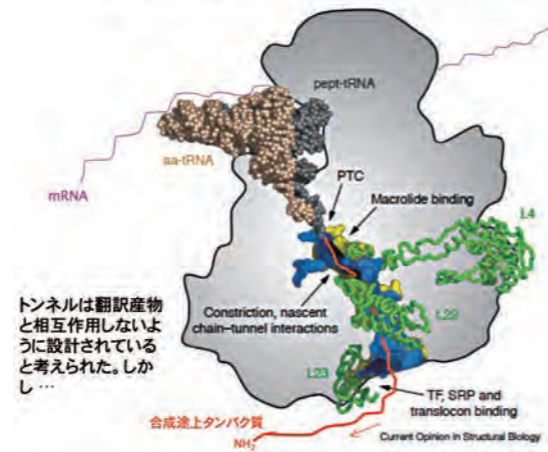


図2

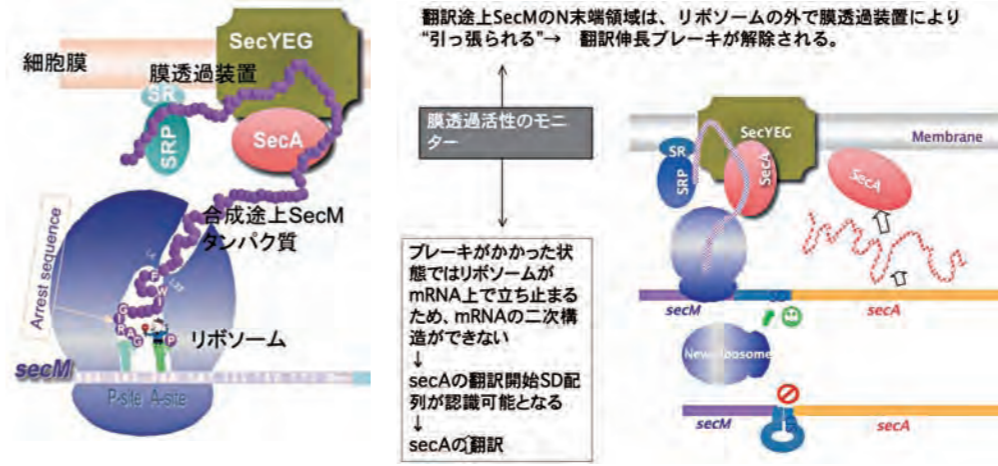
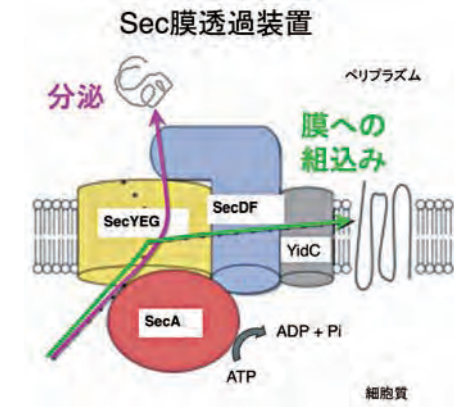


図3



タンパク質は、世界でもまだこの2つしか見つかっていません。

SecMとMifMは、アミノ酸配列も自然界での分布も異なりますから、それぞれの生物種が進化の過程で独自にこうした機能を獲得してきたと考えられます。リボソームは機械ではなく“なまもの”だと言いましたが、翻訳をストップさせるという一見不都合な行為で、他のタンパク質の分泌活性や膜組込異常を感知し、かつ他のタンパク質の発現を調整するという巧妙な働きをする生命の仕組みに、私はロマンチックなものを感じます。基礎研究は華々しい研究とはいえないかもしれませんが、しかし、大腸菌や酵母などで見つかった研究結果が人間につながることもありますので、生命の基礎原理に迫りたい人がもっと増えてくれたらいいなと日々思っています。

リボソームでは、自動的にタンパク質が合成されているのではないことがわかった今、私たちはリボソームの翻訳スピードは一樣ではないのではと考えています。つまり、ブレーキをかけたリ、スピードを緩めたりしながら生まれてくるタンパク質がもっと一般的に存在すると考えています。そのことによって、新たに生まれる「赤ちゃんタンパク質」が「大人タンパク質」になっていく過程が首尾よく進むという仮説です。このような、これまでの常識を越えた働きをするタンパク質を今後さらに探していきたいと考えています。

タンパク質合成装置リボソームでmRNAの翻訳を一時停止させるタンパク質を発見!

結合されて分泌タンパク質として完成した後はすぐに分解されてしまうことです。つまり大人になってからではなく、できかけの赤ちゃんの状態でも重要な働きをしているのです。

※3 各遺伝子の前にコドンがある。高等生物の場合はメカニズムが少し異なるが、キャップ構造が似た作用をする。

※4 二重鎖ヘアピン構造は水素結合という弱い結合でできているため、RNA helicase(二重鎖開裂酵素)活性を持つリボソームに接すると簡単に壊れる。この場合、リボソームがヘアピン構造付近で立ち往生するため、ヘアピンが壊れた状態のままになる。

リボソームの翻訳のスピードは一樣ではない?! 複雑でロマンチックな生命の基礎原理に迫りたい

タンパク質の合成途中でブレーキをかけるタンパク質としては他に、一緒に研究している千葉志信先生が枯草菌でタンパク質膜組込装置の監視と発現調整を行うMifMというタンパク質を見つけています。このような作用をするタン



総合生命科学部 生命システム学科

伊藤 維昭 教授

PROFILE

理学博士。専門は分子生物学、生化学。昔から、生物が「生きていく」こと自体に興味があった。野山など、普段自分が目にしない場所でも様々な生物が生きていることに謎めいたものを感じていたからかもしれない。京都大学の理学部化学科を卒業後、高校生の頃には聞いたこともないDNAやRNAといった新しいものを扱っているウイルス研究所へ。いま何がわかっていて何がわかっていないのかということが最新の知識でわかるという本物の学問に魅せられて、研究者の道へと進んだ。「高校までとは違って、大学、大学院からは正解のない世界に入ること意識してほしい」と伊藤先生。静岡県立磐田南高等学校OB。

細胞膜に分泌タンパク質輸送のための穴を開けるタンパク質「SecY」の発見

私たちの体のいたるところで様々な働きをしているタンパク質の中には、膜タンパク質になったり、細胞の外に出て分泌タンパク質になったりするものもいます。これら表層タンパク質は医学的にも重要で、表層タンパク質に関する遺伝子がゲノムの約3割を占めていることから、これらのタンパク質が重要な働きをしていることがわかります。

ところが、細胞膜はイオンですら簡単に通ることができません。イオンよりも大きなタンパク質はどうやって細胞膜を越えているのでしょうか。

25年程前、大腸菌のリボソームタンパク質の遺伝子の変異株(何か問題があって他と異なる作用をするもの)を採用して分泌機能が損なわれた変異株を探る実験をしていたところ、細胞膜に穴を開けるようにして表層タンパク質を外へ通すタンパク質(SecY)の遺伝子を見つけました。その後SecYに関する研究を続けたところ、モータータンパク質SecAがSecY複合体(SecYEGの3つのタンパク質)に押し込んだ分泌タンパク質をSecYEGが協同で動いて細胞膜外へ通すことがわかりました(図3)。このSecYはタンパク質が膜の内部に組み込まれる時にも活躍しています。また、人間を含む高等生物にもSec61という同様の働きをするものがあることもその後の研究で明らかになりました。

生命を理解するためにタンパク質の姿を明らかにする

感染症の構造生物学 [右解説コラム参照]

生命現象の設計図ともいわれるDNA。2003年、ヒトにおけるその配列がすべて解読されました。しかしそれだけでは《生命を理解した》ことにはなりません。それによって作られる機械ともいべきタンパク質の姿を明らかにし、時間軸の中でどのように機能しているかを知らなければならないのです。感染症を起こす細菌の分泌する毒素タンパク質などを結晶化し、X線で解析する(下コラム参照)ことで形を明らかにし、その働きを理解するとともに、創薬にも役立つ——そんな研究を通して、いつかは生命現象の源を解明したいという津下英明先生に、お話をお伺いしました。

世界で初めて、細菌ADPリボシル化毒素とヒトタンパク質アクチンの結合する姿を見た

2003年、われわれのグループは世界で初めて、コレラ毒素の仲間腸管感染症を引き起こすウェルシュ菌が分泌するイオタ毒素の形を明らかにしました。それ以前には、米国スクリップス(Scripps)研究所のグループにより、非常によく似たVIP2というタンパク質毒素の構造が明らかにされていました。その後は、同様の形をしたいくつもの毒素の構造が世界中の多くの研究グループによって明らかにされてきました(図②)。

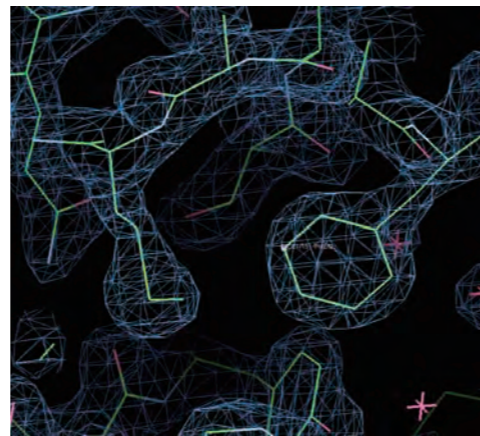
これらはみな、細菌ADPリボシル化毒素と呼ばれます。有名なコレラ毒素はADPリボシル基をヘテロメリックGタンパクに転移させ、下流の生体内シグナル伝達を狂わせます。イオタ毒素はアクチンに、ボツリヌス菌の分泌するC3毒素は低分子量GタンパクであるRhoAに、それぞれADPリボシル基を転移することで、重要な細

タンパク質の形をX線で見る

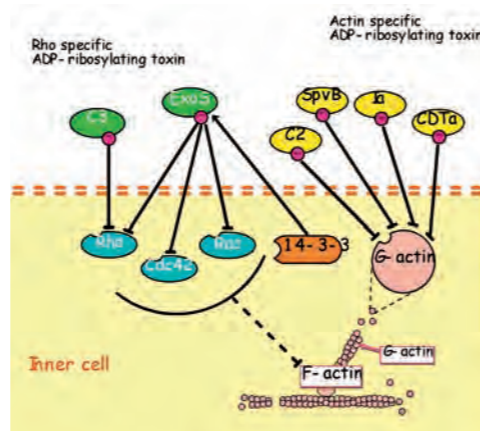
タンパク質は数百のアミノ酸が結合して巻き戻り、立体構造をとったものですが、目で見るとは小さく、通常の顕微鏡では見ることができません。そこで、これを見るのにX線結晶構造解析という手法を用います。

まず、狙ったタンパク質の遺伝子を大腸菌に組み込んで大量に発現させ、精製します。次にそれを結晶化します。この過程は最近でこそ、数ヶ月でできるようになりましたが、私が研究を始めた20年前には何年もかかる仕事でした。今でも1つのタンパク質の形を決めることは大変な作業であることに変わりありません。結晶ができると、それにX線を当てて強度データを取り、それを基に位相問題を解決するための計算を行い、得られた電子密度に従ってアミノ酸を置いていきます。こうすることで、目の前に誰も見たことのないタンパク質の立体構造が見えてきます(図①)。

毒素の攻撃の姿を捉えた



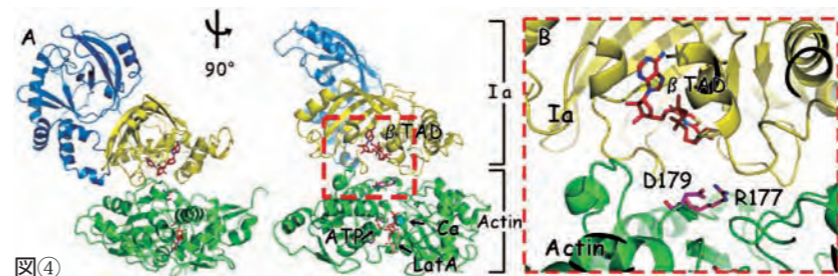
図①



図③



図②



図④

計の糸口も見えてきたのです。現在われわれは、さらにRhoAを修飾するC3との複合体の結晶構造の解析も進めています。

トリインフルエンザの強毒化に備える

研究のもう一つの柱はインフルエンザAウイルスRNAポリメラーゼの構造研究です。RNAポリメラーゼとは、ウイルス自身の遺伝子を転写複製して自分のために必要なタンパク質を作り上げる要の酵素です。トリインフルエンザから強毒性のヒトインフルエンザ(新型ウイルス)への変化には、その変異が関係していると考えられています。もしこの構造を解明し、その働きを抑制できればインフルエンザウイルスの増殖を止めることが可能です。

インフルエンザAウイルスRNAポリメラーゼが他の酵素と違うのは、単体ではなく、PB2、PB1、PAという3つのサブユニットの複合体からなっている点です。それぞれのDNAをプラ

ズミドベクター※1にのせて大腸菌へ入れて発現しようとしても可溶性タンパク質をたくさん得るのは難しく、未だに構造が解明されていません。ただし、世界中の研究者が真剣に取り組んでいて、近年は、つなぎ目など部分的には多くのことが解明されつつあります。

私たちは、PB2の627番目のアミノ酸が、鳥ではグルタミン酸なのに、人に感染する強毒株ではリジンになる(K627)ことに注目しました。そして、PB2の結晶構造解析の結果、強毒性の原因となる変異K627を含むPB2の後3分の1の構造を初めて明らかにしました。現在は、強毒性の原因をさらに探り、新たなインフルエンザ薬(RNAポリメラーゼ阻害剤)を作るために、PB2全体やPB2、PB1、PAの3つの複合体の構造解析が、われわれのグループも含めて世界中で進められています。

他には、胃癌の原因細菌として知られるヘリコバクターピロリを調べています。ヘリコバクターピロリはいくつかの外分泌毒素を持っています

魚の口の形を知ってこそ、よい釣り針ができる 感染症と構造生物学

感染症は、有史以前から近代までヒトの病気の大部分を占めてきましたから、医学の歴史は感染症との戦いの歴史ともいえます。フレミングが1929年にアオカビから発見した抗生物質ペニシリンが、第二次世界大戦中に多くの負傷兵や戦傷者を感染症から救った話はあまりにも有名です。しかし発展途上国では、今なおマラリア、エイズ、結核、腸管感染症などが大きな問題になっています。また先進国では新興感染症や再興感染症に加えて、昨今の多剤耐性菌の蔓延や、免疫抑制状態の患者や免疫力の弱い老人、子どもなどの間での日和見感染症も問題です。

感染症は細菌、真菌、ウイルス、寄生虫などにより惹き起こされますが、直接の病原因子は細菌が分泌する様々な毒素タンパクです。コレラはコレラ菌がヒトの腸管内で作出す毒素が腸管に作用し、下痢や脱水症状などの特有の症状を引き起こします。

「感染症の構造生物学」とは、このような感染症を起こす生物起源のタンパク質の形、構造を明らかにして、その生物を理解するとともに、それを新たな治療薬や予防薬の創薬に役立てようとする研究です。

「魚の口の形を知ってこそ、よい釣り針ができる」、これは製薬会社で行われているStructure Based Drug Designの考え方を例えたもので、阻害剤の設計には、まず相手のタンパク質の形を知ることが重要です。

が、最近見つかったTNF α 誘導タンパクは他に似たタンパクがなく、その構造情報は全く不明でした。われわれは、それが新規の2量体構造をとることと、毒性、すなわちTNF α を誘導するのに重要な働きをする構造とを明らかにしました。将来的には発癌を抑制できるのではないかと大いに期待しています。

※1プラスミドは環状の小さなDNA、ベクターは運び屋という意味。

新たなタンパク質のデザインへ

タンパク質は構造的には単純なアミノ酸が結合した重合体と呼ばれるものですが、 α ヘリックスや β シートのような特定の二次構造に折りたたまれ、さらに全体として折りたたまれた一定の三次構造をとります。これをフォールディングといいますが、それによって初めて、酵素などとしての特有の機能を発揮することができるようになります。

しかし、私たちは今もってアミノ酸配列から立体構造を予測することができません。ですから、われわれとしては、このことを頭に置きながら、新たなタンパク質のデザインをしていきたいと考えています。自然界がやってきたことを、少し意図的に作ってみようというのです。今やデザインして作ったものが現実にあるか否かを検証できる時代です。タンパク質を様々なデザインし、それをX線結晶構造解析で検証していけば新たな研究の地平が開けるにちがいないと確信しています。

総合生命科学部 生命資源環境学科
津下 英明 教授

PROFILE

子どものころから人間が作ったものではないものに興味があり、生命科学や天文学に惹かれました。大学の教養部時代(1、2年)にフトンとクリックによって発見された遺伝子DNAの姿がいかに見つかったかについて書かれた『二重らせん』(講談社文庫、1986年:ジェームス・D・ワトソン(著)、江上不二夫・中村桂子(訳))に出会い生命科学へ進むことを決めました。生命科学の大発見の様子を記したこの本は、まさにX線結晶構造解析のすばらしさも紹介するものでしたが、これが私の一生の仕事になったのです。東京都立新宿高校OB。

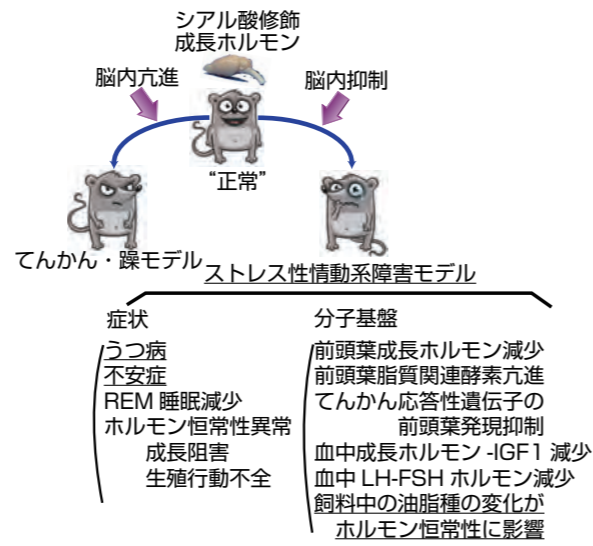
ADVICE

まずは生命への興味を持つこと、そして本をたくさん読むことです。今後は英語の勉強も必須です。英語は今や世界中の人と意思疎通を図るための道具であるだけでなく、新しいことを知るためには専門の文献をたくさん読まなければなりません、その多くが英語で書かれているからです。もちろん大学のゼミへ入ってから特訓しても遅くはありませんが、高校時代からしっかり学んでおくのにこしたことはありません。また高校から大学1、2年の間に、音楽や読書に親しみ、旅行をするなど幅広い経験を積み基礎力、人間力をつけておくことが大切です。

研究者としては、まず「やりたいと思う」こと、そして「実行する」ことが大切です。本文中で紹介したいくつかの成果も、この2つの力がなければ生まれることはなかったと思います。またコミュニケーション能力は研究者にとっても不可欠です。 β TADを合成して持っていたNIHのマルケス博士に手紙を書いてそれを分けていただいたことが、イオタ毒素とアクチンの複合体構造を明らかにできたきっかけにもなったのです。

てんかん発作を誘導する「成長ホルモン」

粘土はさまざまな形を維持することができます。また一度作ったものを潰して、新しい形に変えることもできます。このように力を加えると変化しやすく、加えた力を取り除いても変形がそのまま残る性質を「可塑性」といいます。私たちの「脳」も同じ性質を持っています。試験勉強のために暗記をしたり、覚えたことを忘れていたりする記憶も一種の可塑性です。異常な神経の可塑的变化である「てんかん」をモデルに、脳神経の可塑性の謎に迫ろうと研究を進めている加藤啓子先生にお話しいただきました。



脳神経の可塑的变化はなぜ起こるのか

てんかんの原因分子としてシアル酸に着目

脳内でなんらかの電氣的ショックが発生することで、意識を失ったり痙攣したりという発作症状を引き起こす「てんかん」。現在、多くは治療によって症状をコントロールできますが、慢性的に発作を起こす脳の病気として知られています※1。発症率は100人に1人といわれるほど高く、日本だけでも約100万人の患者がいるといわれていて、そのうち2割ほどの人は治療が難しい「難治性てんかん」に進むといえます。

てんかん発作は「神経の発火」といわれるように、痙攣の準備状態が続いた後、発火の閾値を超えた時点で症状を起こします。発作は繰り返すことが原則で、脳の中に異常な神経回路ができた状態、すなわち異常な神経の可塑的变化が起きている状態だと考えられています。しかしそのメカニズムはまだ明らかにはなっていません。

私たち研究チームは、まずてんかんの原因分子を見つけようと、シアル酸という酸性の糖に着目しました。シアル酸は、細胞膜上で機能し、糖たんぱくや糖脂質の末端に結合することなどがわかっていたのですが、何より私たちが注目したのは、脳でのシアル酸の発現量が他の器官に比べて5倍ほど多いことです。また、シアル酸は高度に進化したほ乳類の脳に特徴的な糖なのではないかと考えました。なぜなら、無脊椎動物の脳にはほとんど含まれないことや、脊椎動物では、シアル酸を保有するガングリオシド（糖脂質）の組成がヒトを含む哺乳類の脳で保存されている一方、鳥類や虫類などの脳ではその組成が異なっていることがわかっていたからです。

※1 世界保健機関（WHO）では「さまざまな原因によってもたらされる慢性的な脳疾患であって、大脳神経細胞の過剰な放電に由来する反復性の発作（てんかん発作）を主徴とし、多種多様な臨床および検査所見を伴う」と定義づけられる。

てんかん発作獲得と増えるシアル酸転移酵素

生成物である糖自身を脳内で観察することは難しいのですが、遺伝子発現※2の変化は脳内で捉えることができます。そこで、遺伝子発現によって生成されるたんぱく質酵素のシアル酸転移酵素（たんぱく質や脂質へのシアル酸付加を触媒する酵素）を対象に、てんかん発症によってそれらの遺伝子発現量が増えるかどうかを調べました。実験に使用したのは、扁桃体に弱い電気刺激を長期間少しずつ与えることでてんかん発作を起こすようになったマウスです※3。

20種類あるシアル酸転移酵素すべての遺伝子発現量の変化をハイブリダイゼーション（コラム参照）によって調べたところ、そのうちの1つであるST3Gal IVの発現量がてんかん発作獲得の進行と連動して増加し、てんかん獲得後にはST3Gal IVを発現する神経細胞数が10倍にも増えることがわかりました。これまで見つかった遺伝子発現の変化で、これほどまでに大きな変化を示す遺伝子産物はなかったため、この結果には私たち自身も大変驚かされました。

※2 DNAがmRNAに転写され、mRNAがリボソームによってタンパク質に翻訳される過程のこと。
※3 情動記憶の中核である扁桃体に非常に弱い電気刺激を1日1回加えることで、3〜4週間ほどでてんかん発作を起こすようになるマウスで、扁桃体キンドリングマウスといわれる。新薬開発などの最終評価でも使われるモデルマウスで、ヒトのてんかん獲得にもっとも近いモデルだと考えられている。

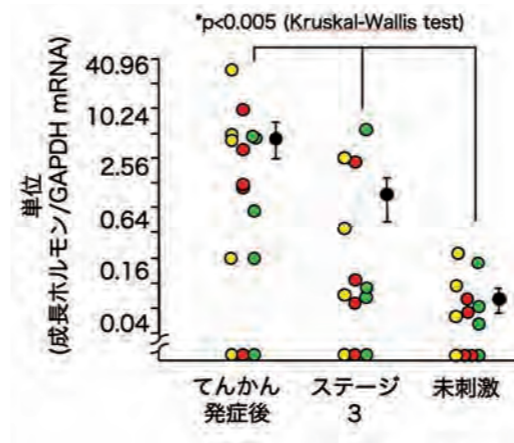
てんかんモデルマウスとKOマウスのRNAマイクロアレイ解析で「成長ホルモン」を発見

てんかん獲得と深く関わっていることが予想されるシアル酸転移酵素ST3Gal IVを見つけた私たちは、この酵素を合成する遺伝子を欠いたKOマウス（遺伝子欠損マウス）をつくりました。通常のマウスと同じように、KOマウスの扁桃体に刺激を与えましたが、KOマウスはてんかんになりませんでした。これは、ST3Gal IV

総合生命科学部
動物生命医科学科
加藤 啓子 教授

PROFILE
中学生の頃、『野生の王国』という動物たちを記録したドキュメンタリーテレビ番組に魅せられ、獣医学科へ。ところが、大学4回生の時に配属された研究室で研究の面白さに目覚めた。研究の一端であっても、教授は学生に《誰もやったことがないこと》をさせてくれる。データや結果が出た瞬間は、世界で自分しかその事実を知らない、しかも論文という形で自分のやったことが残る、その興奮は他に代え難い。大阪府立富田高等学校OB。

図1 リアルタイムRT-PCR



がてんかんの原因分子である可能性を支持する結果です。

次に、当時新しい技術として出てきたマイクロアレイ（コラム参照）を使って、てんかんモデルマウス（扁桃体キンドリングマウス）やKOマウスのmRNAを解析しました。その結果、てんかんモデルマウスの脳で成長ホルモンの発現が亢進していることがわかりました（図1）。一方、KOマウスの脳ではその発現量が通常のマウスよりもかなり低いことがわかりました。

成長ホルモンは成長に関わることで有名ですが、その発現は下垂体で生じることが知られていて、脳内の神経細胞で発現することを発見したのは私たちが世界で初めてです。その後の研究では、てんかん発作を誘導する際に成長ホルモンが神経発火の閾値を低下させ、てんかんの発作を起こりやすくすることを発見しました。脳内の成長ホルモンがてんかん発症を誘導しているのではないかとはいえかなり意外な結果だったため、論文を認めてもらうのも苦労しました。

てんかんをモデルに神経の可塑性という謎に迫る

KOマウスを対象にした研究では、KOマウスは睡眠周期に問題があって、レム睡眠がほとんどないことが明らかになりました。また、普通のマウスに比べて環境への慣れが遅いこと、恐怖の記憶が強く残りやすく、不安症の傾向があることもわかりました。

また、ふつうのマウスの脳内にある成長ホルモン受容体に蓋をして成長ホルモンを抑制しても、行動量の減少（うつ様行動）がみられました。つまり、脳内の成長ホルモンを抑制することで、うつ病などのストレス性情動障害が引き起こ

されているようなのです。

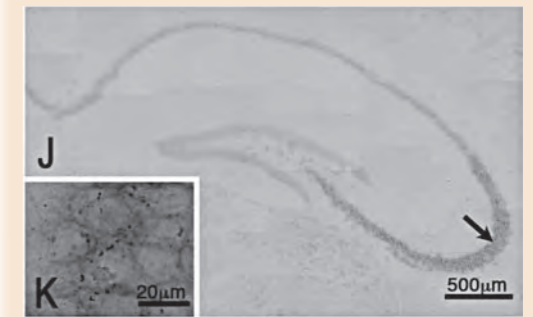
臨床の現場でも、てんかん患者の中には、自律神経失調症や躁うつ病を併発する割合が通常より多いことや、大人になってからてんかんを発症する人の中にはうつ病治療をしている人が多いことは知られています。現在、成長ホルモンを投与することで発現が変化する遺伝子を3つ見つけていますが、その3遺伝子と行動量の間には相関関係があることがわかっています。今後、KOマウスが環境への適応障害や不安症のモデルマウスとして応用されれば、新たな治療薬の開発に結びつくかもしれませんし、「成長ホルモン」を鍵に、てんかんとストレス性情動障害のつながりが解明できないかと期待しています。

私たちは、マウスの脳でシアル酸転移酵素や成長ホルモンの発現を見つけ、てんかん発症との関連性を研究してきました。まずはマウスを対象に、てんかんや情動障害と成長ホルモンの関係について分子背景を明らかにし、そのメカニズムに迫ることで、ヒトの難治性てんかんの解明や治療につながるのではないかと考えています。

ハイブリダイゼーションとマイクロアレイ解析

DNAは水素結合によって二本鎖になっています。水素結合は弱い結合なので、熱を加えるだけで簡単にほぐれます。ほぐれたDNAをゆっくり冷ますと再び相補の塩基が組み合わさって水素結合ができ、二本鎖に戻ります。この反応を「ハイブリダイゼーション」といいます。組織中の遺伝子発現を見るためには、ハイブリダイゼーションを応用した方法がよく用いられます。一本鎖にしたDNAやRNAの塩基配列を元に、ある一定の長さの相補性のある塩基配列（特定の物質や状態などを検出するためのプローブ）を調整し、そのプローブを色素等で標識しておくことで遺伝子発現を見るのです。

マイクロアレイ解析は、膨大な量のハイブリダイゼーションが一気にできる仕組みとも言い換えられます。マイクロ（geneチップ）アレイは、数万から数十万に区画されたスライドガラスなどの上にDNAの部分配列を配置して固定したチップ。ここに解析したい検体をハイブリダイゼーションさせると、相補的な塩基配列の部分のみ結合するため、各遺伝子の転写量が測定できます。成長ホルモンの発現を発見した時は、てんかんモデルマウスやKOマウスのcDNA（mRNAを逆転写酵素で相補的DNAに変換したもの）をハイブリダイゼーションさせて、てんかんモデルマウスやKOマウスで成長ホルモン量が増えたことを見つけました。



Jはマイクロアレイ解析をして「成長ホルモン」が確認された海馬。濃い灰色になっている部分に成長ホルモンが発現している。矢印の部分が増大したものがK。

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修得。

〈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・気象と環境科学
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。

コピキタス
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求する。

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

工学研究科

生物工学専攻

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

修士課程



お問い合わせ先

POWER UNIV.

京都産業大学 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