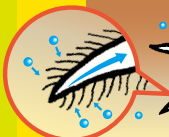
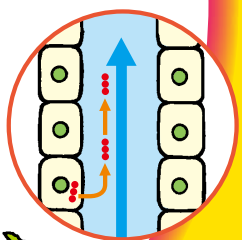
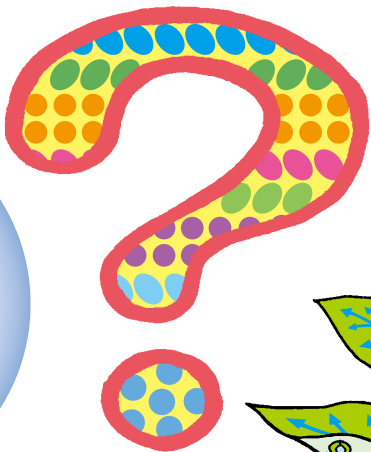
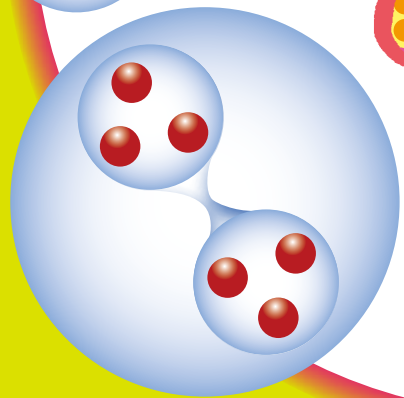
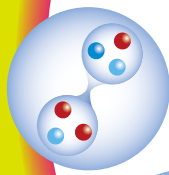
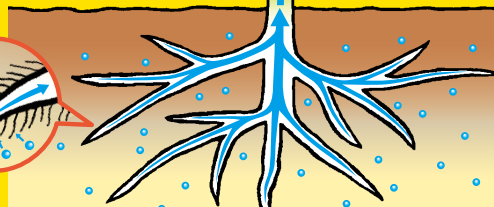


Vol.6

理研の博士に 聞いてみよう！



☆-△×○÷☆-○.....=0
□×○-○+△-☆.....=0
□÷☆×○+☆+□.....=0
□+○+△+☆-○.....=0
.....=0





理研の博士に聞いてみよう！

シビレイ発電機をつくらせています。

どうしてシビレイなの？

生きものすくの優れた機能を使って新しい装置そうちをつくりたいのです。

たなか よう
田中 陽 博士

生命機能科学研究センター 集積バイオデバイス研究チーム
チームリーダー

撮影：奥野竹男

● 発電する魚たち

魚の中には、強い電気を出すものがあります。小さな生きものが近づいてくると電気を出し、しびれて動けなくなったところをつかまえて食べるためです。敵てきから自分を守るために電気を出すこともあります。

いちばん強い電気を出す魚といわれるのが、テンキウナギです。電気を流す力の大きさを電圧といい、単位はボルト（V）です。みなさんがよく使う乾電池かんでんちは1.5V、一般的な家庭のコンセントは100Vです。テンキウナギの電圧は、なんと500V！ウマのような大きな動物も感電のショックたおで倒してしまうといわれています。

ここまで読んで、テンキウナギの研究をしている人かな？と思ったかもしれませんが、でも、そうではありません。私は、とても小さな装置や新しいしくみで動く装置をつくるための研究をしています。では、なぜテンキウナギの話をしたのかというと……。

● 生物の発電方法に注目！

私たちの生活に電気は欠かせません。これまで石炭や石油などの化石資源しげんを燃やして電気をつくってきましたが、化石資源を燃やしたときに排出する二酸化炭素などの温室効果ガスが地球温暖化を引き起こしています。また、地球にある化石資源には限りがあります。そこで、風力や太陽光、水力などを利用した発電が注目されています。発電するときに温室効果ガスを発生せず、風や太陽光や水はなくなることがないからです。しかし、発電できる場所が限られ、発電量は天気や時間に左右されてしまいます。環境に優しく、安定して供給きょうきゆうできて、安全な発電方法はないのでしょうか。

実は、私たちヒトをふくめ、多くの生物は体の中で弱い電気をつくっています。しかも、効率よく安定して発電し、環境に影響えいきょうを与える物質を出しません。そこで私は、生物が発電するしくみを使った新しい発電機をつくらせないだろうか、と考えたのです。

しかし、実験をしたくても、テンキウナギは遠い南アメリカにすんでいるため、日本ではなかなか手に入りません。テンキウナギも強い電気を出す魚として有名ですが、アフリカにすんでいるので、やはり入手むすかは難しそうです。

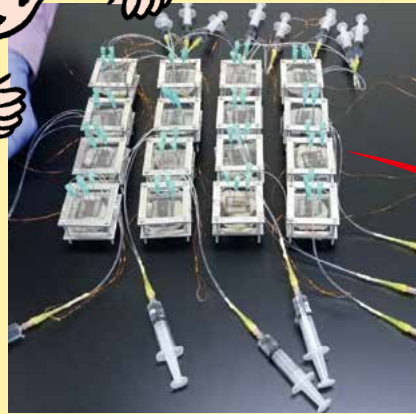
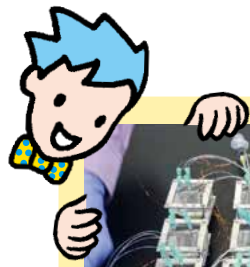
調べていくと、日本のまわりの海にすんでいるシビレイも強い電気を出す



シビレイ

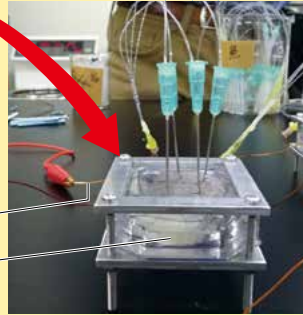
写真提供：新江ノ島水族館

日本の近くでは本州中部より南の浅い海の底に生息。全長は35cmぐらい。



世界初! シビレイ発電機

「発電せよ!」という命令を伝える成分が入った液体を流しこむ



電線

一辺3cmの正方形に切ったシビレイの発電器官

発電機です!

でも、シビレイ発電機は、まだ完成ではありません。発電できる電気が、生きたシビレイがつくる電気よりとても小さいのです。また、シビレイから取り出した発電器官を使っていますが、魚の切り身と同じですから時間がたつと腐ってしまいます。シビレイの発電細胞や発電器官と同じ働きをする装置を人工的につくる必要があります。

しくみがわかっているのだから、つくるのは簡単はずだ、と思うかもしれませんが。ところが、生きものの細胞や器官と同じことをやろうとすると、とても複雑になったり、大きくなったりしてしまい、実際には使えません。シビレイの発電細胞や発電器官をつくるには、いろいろな電化製品にも入っている半導体という材料や、それを精密に加工する技術なども必要になるでしょう。シビレイ発電機の完成をめざして、いろいろな分野の研究者と協力して挑戦しているところです。

●だれもやらない、そして、おもしろい研究を

シビレイ発電機を開発したことを発表すると、いろいろな新聞や雑誌で紹介されました。科学の研究というと、「難しくわからない」というイメージ

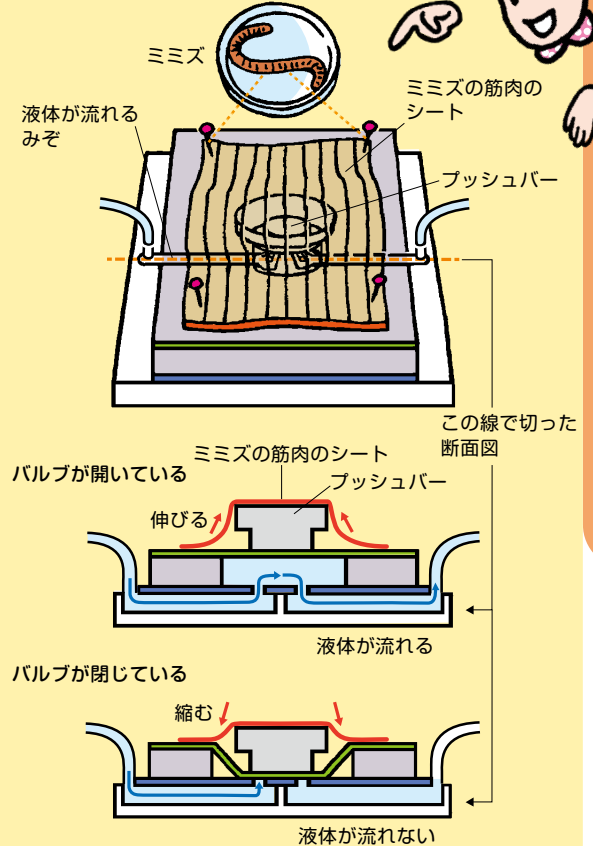
ジを持っている人もいるでしょう。でも、みなさんに「おもしろい!」と思ってもらえる研究も必要だと思うのです。シビレイ発電機について、たくさんの人におもしろいと思ってもらえたら、とってもうれしいです。

生きものは、たくさんの機能を持っています。生きものはなんてすばらしいのだろうと、見とれてしまいます。シビレイ発電機のように、生きものの機能を利用すると、今までだれもつくれたことがない装置が作れます。

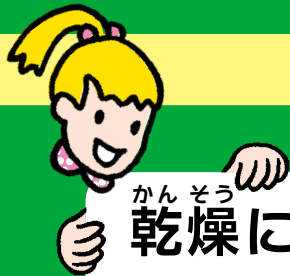
私はミミズの筋肉を使ったポンプやバルブ(弁)の開発もしています。ミミズは、体を伸ばしたり縮めたりしながら、土の中を進んでいきます。その強い力を生む筋肉を利用して、液体を送り出すポンプや、液体の流れを調節するバルブをつくろうというものです。筋肉はミミズの体内でつくられるエネルギーだけで伸び縮みします。そのしくみを使えば、栄養と酸素だけで動く、これまでにないポンプやバルブができるはずですよ。

シビレイ発電機もミミズバルブも、考えた人はいたかもしれませんが、実際につくってしまったのは、私だけです。これからも、だれもやっていないことを実現していきます。次は、ミミズの筋肉を利用したロボットをつくりたいなあ。

ミミズバルブのしくみ



理研の博士に聞いてみよう！



かんそう
**乾燥に強い植物を
つくっています。**

水が足りないと
植物は枯れてしまうのでは？

植物は、土が乾いてもしばらく生きることが
できます。そのしくみを調べて、利用します。

高橋史憲 博士

かんきょう しげん
環境資源科学研究中心 機能開発研究グループ 研究員

● 水が足りないと、植物はどうなる？

夏に日なたで遊んでいると、のどが渇きますね。そんなとき、みなさんはどうしますか？ 水飲み場に行ったり、家に帰ったり、水を飲める場所に移動するでしょう。

では、植物の場合は、どうでしょうか？ 私たちと同じで、植物も、水を取り入れないと生きていけません。でも、植物は地面に根を張っていて動けないので、水のある場所に行くことはできませんね。何日も雨が降っていないと、日なたの土は水分がなくなって、カラカラに乾いてしまいます。植物は、そのまま枯れてしまうのでしょうか？

いいえ、水が足りなくなると、植物はしおれて元気がなくなりますが、すぐには枯れません。植物は、水のある場所に移動できないかわりに、水が足りなくなったときのための、特別なしくみを持っているのです。そのしくみのおかげで、次に雨が降って、土が水でうるおうまで、植物は生きのびることができ

ます。

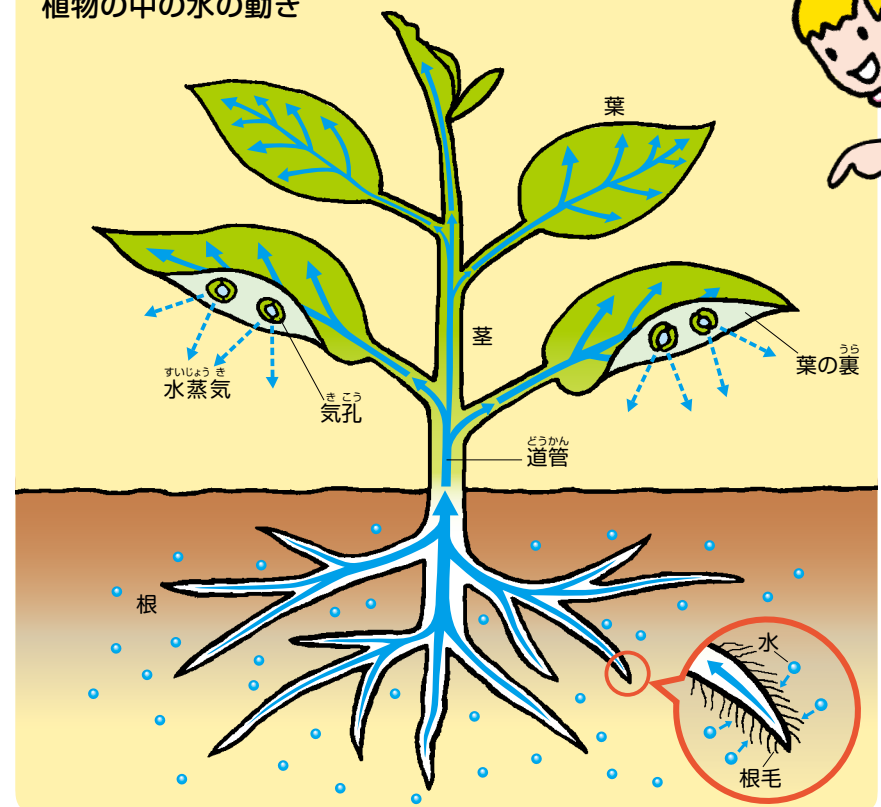
私は、植物が持っている水が足りなくなっても生きのびるための特別なしくみについて研究しています。

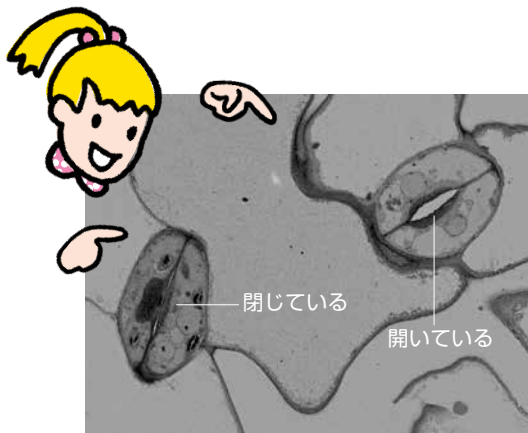
● 水は、根から茎を通して葉へ

植物の体の大部分は、水できています。水は、植物が体の働きを保ったり、栄養をつくり出したりするために、なくてはならないものです。

植物は、生きるために必要な水を、主に土から吸収します。そのために、根を土の中に、深く、広く張っています。また、根には細い毛のようなもの（根毛）がいっぱい生えていて、水をたくさん吸収できるようになっています。

植物の中の水の動き





気体が入り出る穴、気孔

気孔は、葉の裏にたくさんあって、開いたり、閉じたりする。水蒸気が出るほか、酸素と二酸化炭素が入り出る。

入る穴で、気孔といいます。水蒸気も、気孔から出ていきます。

根の表面から吸収された水は、根の中心部にある道管まで運ばれます。道管は水の通り道で、根から茎の中を通過して、枝の先や葉のすみずみまでつながっています。根から吸収された水は、道管を通過して、植物の体の中をめぐるのです。そして、一部の水は、葉の裏から水蒸気になって出ていきます。

葉の裏を顕微鏡で見ると、くちびるのような形をしたものが並んでいます。いろいろな気体が入り

● 水が足りない! どうする!?

水が足りなくなると、植物は、まず気孔を閉めます。大切な水が、気孔から外に出ていってしまわないようにするのです。

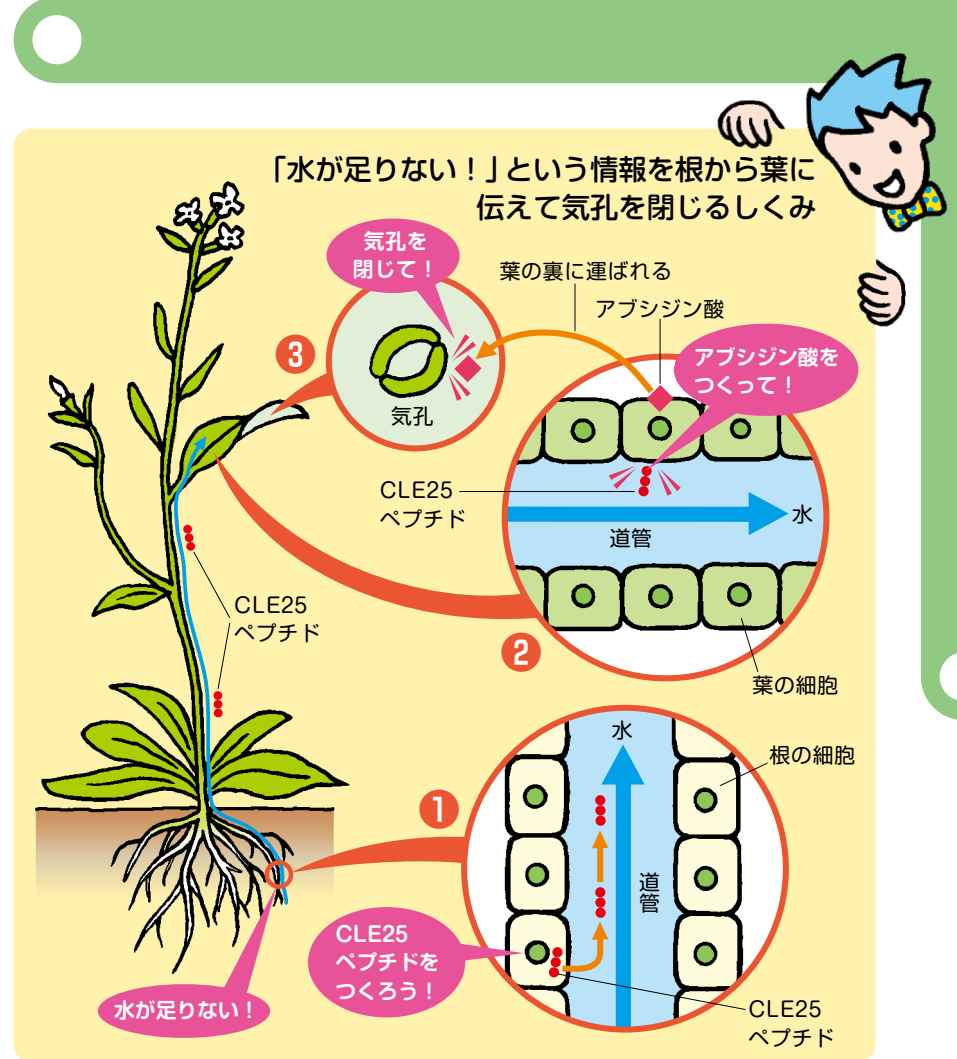
植物が気孔を閉じるとき、植物ホルモンの「アブシジン酸」が働いていることがわかっています。植物ホルモンとは、植物自身がつくり出す化学物質で、ほんの少しの量で、植物の成長を助けたり開花をうながしたりします。

アブシジン酸は、水が足りなくなると、道管近くの葉の細胞でつくられて、気孔の細胞まで運ばれます。そして、気孔を閉じるのです。

ここで、一つ疑問が生まれます。葉の細胞は、水が足りないことをどうやって知って、アブシジン酸をつくり始めるのでしょうか?

● 葉は、どうやって水が足りないことを知る?

水は、根が土から取りこむのでしたね。ということは、水が足りないことを最初に感じるのは、根だと考えられます。しかし、「水が足りない!」という情報が、根の細胞から離れたところにある葉の細胞へ、どのように伝えられるのか、これまでわかっていませんでした。



私たちは、土が乾燥して根が吸収する水が少なくなると、根の細胞でペプチドという小さなタンパク質がつけられることを、シロイヌナズナという植物を使って発見しました。私たちが「CLE25」と名づけたそのペプチドは、水と一緒に道管を通過して、葉の細胞まで運ばれます。すると、葉の細胞がアブシジン酸をつくり始めることもわかりました。

「水が足りない!」という情報を、ペプチドが根から葉に伝えていたのです。根からはるばる葉まで移動するペプチドがあるなんて、これまでだれも知りませんでした。

● 道管どうかんを通して、情報も運ばれていく

私たち動物は、目や鼻、耳、皮ふなどで、まわりのさまざまな環境かんきょうの変化をとらえています。たとえば、急に太陽の光が差してきたら、目が明るさの変化をとらえます。その情報が神経しゆじを通して脳のうに伝えられて処理され、脳からの指令が神経しゆじを通して筋肉きんくに伝えられます。その命令にしたがって、目を細めてまぶしさをやわらげたりすることで、私たちは環境の変化にじょうずに対応しているのです。

植物も、環境の変化をとらえて、じょうずに対応しなければ生きていけません。根は水が足りないことを感じているのに、葉では気孔きこうが開いたままになっていたら、大切な水分が気孔からどんどん出ていってしまいますよね。でも、植物には、神経も脳もありません。植物が、どのようにして全身をコントロールして、環境の変化に対応しているのか、とても不思議に思っていました。

私たちのCLE25ペプチドの発見によって、そのなぞが解けました。植物では、体のすみずみまで張りめぐらされている道管が、神経の役割やくわりをしているのです。道管を通して水とともにペプチドが運ばれることで、離れた場所へ情報を伝え、環境の変化に対応していることがわかりました。

● 乾燥した土地でも、たくさん米を実らせるイネをつくりたい

世界の人口は増え続けていて、将来、食料が足りなくなると心配されています。イネやコムギなど農作物をもっとたくさんつくる必要があります。しかし、

農地を増やそうとしても、これから切り開けそうな土地は栄養が少ないうえに乾燥したところが多く、作物がよく育ちません。そこで、乾燥した土地でも育つ作物が必要とされているのです。

私たちは、植物が



さばく 砂漠で生きる植物 植物の中には、乾燥にとっても強く、雨がほとんど降らない砂漠でも生きられるものもいる。

©iStock.com/Mieszko9

ふつうのイネ
米が少ししか実っていない

乾燥に強いイネ
米がたくさん実っている



乾燥に強いイネ

南アメリカ・コロンビアの試験場で栽培したようす。30日間、雨が降っていないため、土はカラカラに乾燥している。左は、ふつうのイネで、米が少ししか実っていない。右は、高橋博士たちがつくった乾燥に強いイネで、米がたくさん実っている。

もともと持っている、乾燥に負けず生きのびるしくみを強くすることで、乾燥した土地でも育つ作物をつくることができると考え、研究を進めてきました。これまでに、乾燥した土地でもたくさんの米を収穫できるイネをつくることに成功しています。

● 植物をじっくり観察してみよう

植物は、動物のように移動することはできません。脳もありません。でも、生きのびるために、いろいろなしくみを持っています。それらをじょうずに使って、厳しい環境のところでも、植物は生きています。

私たちが、植物のことももっと知れば、植物から生きるための戦略を学ぶことができます。地球の環境は、温暖化によって大きく変わろうとしています。植物から学んだことを、温暖化した地球で生きる私たちの生活に役立てたい。それが、私の目標です。

みなさんも、ぜひ植物を観察してみてください。葉や花や根を、じっくり観察すると、きっと、いろいろな発見や不思議に出会うでしょう。植物の体の中も不思議がいっぱい。水や情報の通り道である道管だけでなく、栄養の通り道もあるんですよ。植物のことももっと知りたい！と思ってくれたら、とてもうれしいです。

(文：鈴木志乃／フотンクリエイト)



理研の博士に聞いてみよう！

ダイオメガという新しい粒^{つぶ}ができることを予言しました。

予言ってどういうこと？

法則に基づいて計算をして、「あるにちがいない」と示すことだよ。



撮影：STUDIO CAC

権業慎也 博士

仁科加速器科学研究センター
量子ハドロン物理学研究室
基礎科学特別研究員

● “理論研究” とは？——法則を見つけて予言を行う

世界でいちばん有名な博士といたら、だれでしょうか。アインシュタインと答える人が多いかもしれませんね。100年ほど前の物理学者です。「物理」というのは、この世の中にあるすべての物の性質や、起きることの原因を考える科学です。科学の博士というと、実験をして新しいことを発見したり発明したりする人を思い浮かべるかもしれません。でも、アインシュタインは、実験をしたことはなかったそうです。ほかの人が行ったさまざまな実験や観察の結果をもとに、物の動き方や重力についての法則を見つけました。その法則を式にまとめたものは「^{そうたいせい}相対性理論」と呼ばれています。

さらに、アインシュタインは、その式を解くことで、いろいろな“予言”をしました。たとえば、星の光が地球に届く途中で太陽の近くを通ると、太陽の重力で星の光が曲げられる、と予言。重力で光が曲げられるなんて、それまでだれも考えもしませんでした。でも、実際に星を観測してみると、その予言が

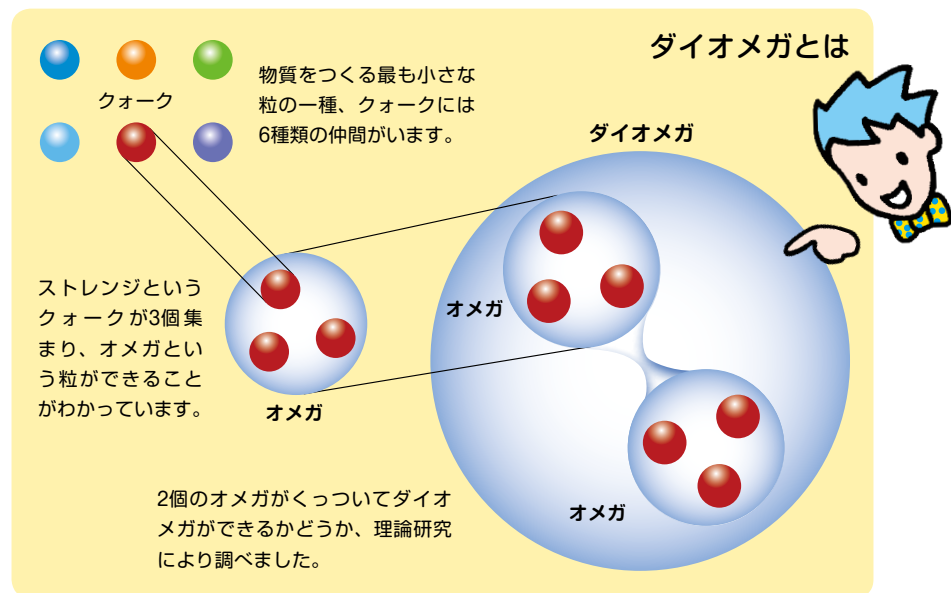
正しいとわかったのです。このように、法則を見つけたり、予言したりすることを、“理論研究”といいます。

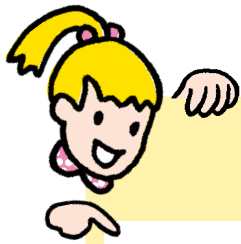
●物がどうやってできているのか、知りたい！

私も、理論研究をする物理学者です。目の前の景色^{けしき}を形づくっている一つ一つの物が、いったいどうやってできているのか、毎日考えています。人の体をふくめてこの世の中にあるあらゆる物は、小さな粒が集まってできているって知っていましたか？ 最も小さい粒の一種は「クォーク」と呼ばれています。

クォークは3個がくっついて1個の粒をつくる性質があります。そうしてできた粒^{りゅうし}どうしには、引き付け合う力と反発し合う力がうまく働いて粒が集まり、物はできているのです。

そういう力についての法則^{りょうし}（量子色力学）は、2008年にノーベル物理学賞を受賞した南部陽一郎博士たちが、約50年前にすでに見つけています。でも、法則がわかっても、粒^{りゅうし}どうしにどれくらいの強さの力が働くのか、すぐにはわかるわけではありません。量子色力学の式を解くことはとても難しいので、クォーク3個の粒^{りゅうし}どうしに働く力の強さを正確に計算することは、50年間、





ダイオメガを予言するための計算

$$\left\langle \frac{\delta \mathcal{L}}{\delta A} \right\rangle = 0$$

分解

クォークに働く力の法則（量子色力学）を示す式

$$\begin{aligned} \star - \Delta \times \square \div \star - \square & \dots \dots \dots = 0 \\ \square \times \square - \square + \Delta - \star & \dots \dots \dots = 0 \\ \square \div \star \times \square + \star + \square & \dots \dots \dots = 0 \\ \square + \square + \Delta + \star - \square & \dots \dots \dots = 0 \end{aligned}$$

足し算・引き算・かけ算・わり算だけの式だけど、ダイオメガを予言するには、約10億行の式にある○や□などのわかっていない数字を、すべて計算する必要がある！

約10億行の式

まったくできていませんでした。

クォークには6種類の仲間がいます。その一つには「ストレンジ」という名前がついています。ストレンジは「奇妙な」という意味です。その奇妙なクォークも3個がくっついて一つの粒をつくるのが実験で確かめられています。それを「オメガ」といいます。

次に、二つのオメガがくっつくかどうかを知りたいのですが、それは実験することが難しく、まだだれも確かめていません。そんななか、私たちは2018年にやっと、クォーク3個の粒が二つ集まったときに働く力の強さを正確に計算することに世界で初めて成功して、「ダイオメガ」ができることを予言したのです。「ダイ」は二つという意味で、オメガ二つがくっついた粒が「ダイオメガ」です。二つのオメガが近づくと引力が働きます。でもさらに近づくと、今度は不思議なことに反発力が働きます。その引力と反発力の強さを精密に計算して、くっつくかどうかを調べたのです。

● 難しい式を解いてダイオメガを予言！

たった二つのオメガがくっつくかどうか計算するのが、そんなに難しいのかなあ、とみなさんは疑問に思うことでしょう。

そのとき解いた式は、 $\left\langle \frac{\delta \mathcal{L}}{\delta A} \right\rangle = 0$ というものです。

ずいぶん短く感じるかもしれませんが、実は、この短い式には、左ページの黒板に書いたようなたくさんの式がふくまれています。一つ一つの式はとても単純で、使うのは、みなさんが算数で使うのと同じ足し算・引き算・かけ算・わり算だけ。そして、すべての式の答えが「0」になるという法則がわかっています。式の中の○・△・□などはわかっていない数字です。

ダイオメガができるかどうかを知る計算では、なんと、このような式が約10億行も並びます。そして、そこにある○・△・□などをすべて計算して明らかにしなければなりません。こんなに複雑な式を解くのはとてもとても難しく、たくさんの計算をしなければならないって、感じてもらえたでしょうか？

● ダイオメガは最初の一歩

私たちの研究室を率いる初田哲男博士たちは、この式を効率よく解く新しい計算方法を見つけました。私たちは、その計算方法を改良して計算量をさらに減らして、スーパーコンピュータ（スパコン）に計算させるプログラミングの方法を考え出しました。

スパコンが計算するスピードも、どんどん速くなっています。みなさん、スパコン「京」を知っていますよね？「京」は1秒間に1京（1兆の1万倍）回もの計算ができます。それがどんなにすごいかというと、たとえば、電卓で1秒間に1回解き続けて3億年もかかる計算を、「京」だと1秒でできるのです。

私たちは、新しい計算方法とプログラミング方法でスパコン「京」を使い、ついに二つのオメガがくっついてダイオメガができる、ということを予言しました。

クォーク3個の粒には、オメガ以外にも仲間がいます。実は、



ダイオメガの予言に使われたスーパーコンピュータ「京」ゲリラ豪雨がいつ来るか予測したり、いろいろなシミュレーションで大活躍し、2019年8月に引退しました。

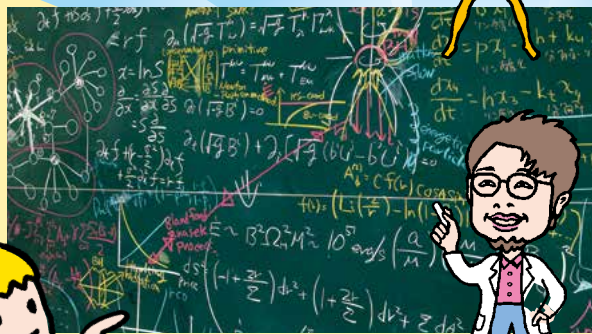
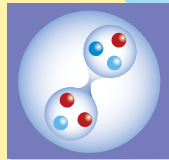
クォーク3個の粒が二つ集まったときの計算は、ダイオメガの計算が最も簡単なのです。ダイオメガの計算は、さまざまな種類の粒がどんなふう集まって、物ができているのかを知るための最初の一步です。

2021年ごろ、「京」よりも100倍ほど速い計算をめざしているスパコン「富岳」が登場する予定です。これからも計算方法とプログラミング方法をさらに改良して、クォーク3個の粒がくっついたさらに新しい粒があるはずだ、とどんどん予言していくつもりです。

あるかどうかわからない新しい粒を実験でつくるのは大変です。ダイオメガのように理論研究で「あるはずだ」と予言された粒ならば、実験でつくってみようと挑戦する研究者も増えて、私たちの予言を確かめてくれることでしよう。

実験や観察で今の理論では説明できない新しい謎を見つけてくれることにも期待しています。私たちは、新しい謎を解くことが大好きなんです！

さまざまな予言を行う理論研究



人間や生きものの体のしくみ、薬のつくり方、宇宙がどうやってできたか、経済や社会のことなど、理論研究はさまざまな現象の法則を見つけて、予言します。



● さまざまなルールや法則を見つけたい

理論研究で最もわくわくするのは、それまでの理論では説明できない謎を解いて新しい法則を見つけることです。最初に紹介したアインシュタインも、南部陽一郎博士も、きっとそうだったにちがいありません。

法則をゲームのルールにたとえて考えてみましょう。それは将棋のルールを知らない人が、将棋をさしている人たちを横で見ている、将棋のルールを見つけて出すことに似ているかもしれません。ルールや法則がわかれば、次にどの駒をどこに置くかを予測することができるようになりますよね。

みなさんのまわりにも、まだ見つかっていないルールや法則がたくさんあるはず。たとえば、スマートフォンやコンピュータの中では、クォークのように小さな「電子」という粒が動き回って、記憶したり計算したりする仕事をしています。この電子がもっとたくさんの仕事ができるように、新しいルールや法則が見つけれたら、想像もできないくらいすごいスマートフォンや、どんな計算もあつという間に解けるコンピュータができるかもしれません。

● 不思議を考え続けよう

アインシュタインは実験をしなかったけれども、頭の中では実験をしていたそうです。それは、ただ空想することとはちがいます。たとえば、もし光と同じ速度で走ったら、まわりの風景はどんなふうに見えるのか、少年のころからずっと考え続けていたそうです。そのような頭の中の実験が、相対性理論という大発見につながりました。

私も、わからないことがあると、「そうか、そういうことか！」とわかるまでずっと考え続けてしまう性格です。それができるのは、答えが必ずあると信じているからかもしれません。考えついたことや発見があつたら式で表して、みんなに伝えなければなりません。それには算数の勉強も必要ですし、話したり、書いたりする力も大切です。

ぜひみなさんも、自分の興味のあることの中から、不思議だなと思うことを見つけて、それをずっと考え続けてください。そして、納得できる答えが見つかったら、ぜひ、それをみんなにも教えてください。

理研の博士に 聞いてみよう！

Vol.6

● 発行

理化学研究所 広報室

〒351-0198 埼玉県和光市広沢2-1

電話：048-467-4094

Eメール：riken_news@riken.jp

● 取材協力

田中 陽

生命機能科学研究センター 集積バイオデバイス研究チーム
チームリーダー

高橋史憲

環境資源科学研究センター 機能開発研究グループ 研究員

権業慎也

仁科加速器科学研究センター 量子ハドロン物理学研究室
基礎科学特別研究員

● 制作協力：フォトンクリエイト

● イラスト・デザイン：岩崎邦好デザイン事務所

理化学研究所（理研）は、1917年に創設された100年を超える歴史をもつ日本で唯一の自然科学の総合研究所です。物理学、工学、化学、数理・情報科学、計算科学、生物学、医学など幅広い分野で基礎科学の研究を進め、社会や産業の発展に役立つ研究成果を生み出しています。研究を進め「新しい知識を得る」ことは、やがて「新しい技術」を生み、それは「文明」となって、われわれ人類が暮らす社会の、文化の礎となります。理研は、人類の知識と生活が豊かになるよう、独創的な研究活動を続けています。



理化学研究所

「理研の博士に聞いてみよう！」

<https://www.riken.jp/pr/publications/kids/>