こんにちは Kavli IPMU です。

私の名前は、東京大学国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構(Kavli IPMU)。2007年10月1日に千葉県柏市に設立されました。ここには世界中からたくさんの研究者が集まっていて、宇宙に関する5つの疑問に取り組んでいます。

宇宙はどのように始まったのか?
宇宙は何でできているのか?
宇宙はどんな運命を迎えるのか?
宇宙を支配する法則は何なのか?
私たちはなぜこの宇宙に存在するのか?

だれもが小さいときに一度は思うような素朴な疑問ですが、答えはまだわかっていません。

たとえば、宇宙のエネルギーのなかで、私たちが知っている物質(水素とか炭素とかです)はじつは5%にも満たないことがはっきりしています。残りの27%は得体の知れない「ダークマター」、さらに摩訶不思議な宇宙の68%を占めるのが「ダークエネルギー」。どちらも名前はついているものの、その正体はまったくわかっていません。いったい、宇宙は何でできているのでしょう。

これらの疑問にせまるために、Kavli IPMUには数学、物理、天文などの第一線の研究者が集まり、分野を超えて共同研究を行っています。毎日、午後3時になると全員参加のティータイムが始まります。異なる分野の研究者たちが顔を合わせて、おいしいお茶とパンを口にしながらおしゃべりに興じます。仲間と情報交換し、他分野の研究に触れ、思いがけない方向の議論が新しい研究のアイデアにつながります。

そして5つの疑問を解くためには、新しい物の見方を生み出していくことが大事です。頭が柔らかく、ひとつの分野にとらわれない若い力が必要です。このKavli IPMUものしり新聞を読んでくれたあなたが宇宙の超難問に挑戦し、私たちとにぎやかなティータイムを過ごす未来が私の夢です。

東京大学国際高等研究所
カブリ数物連携宇宙研究機構(Kavli IPMU)

〒277-8583 千葉県柏市柏の葉5-1-5
HP http://www.ipmu.jp/ja
Facebook https://www.facebook.com/KavliIpmu/
Twitter @KavliIPMU

【問い合わせ先】
TEL 04-7136-4940
FAX 04-7136-4941
MAIL inquiry@ipmu.jp

Q10 研究者へ10の質問!

数学者になるにはどうすればいい? — 運が必要です。

今の研究の役に立っている教科は何? — 英語。

研究者にならなかったら何になっていた? — 何か物作りをしていたと思います。

もっと勉強しておけば良かったなと思う教科は何? — そう思ったときに勉強します。

宇宙人っていますか? — いたほうが楽しいですね。

好きな数式は? — あまり数式は使わないので……。

好きな食べ物と嫌いな食べ物は何? — 和洋中、何でも好きです。

自分が研究者に向いていると思うのは、どんなところ? — 面倒くさがりなところ。

他分野の研究をどのくらい知っていますか? — 数学の他分野であれば、興味をもっていろいろな話を聞こうとしていますが、「知っている」といえるレベルなことはほとんどないですね。

研究者に向いていないと思うのは、どんなところ? — 頭の回転が悪いところ。

阿部知行

あべ・ともゆき●Kavli IPMU准教授。専門は数論幾何学。研究テーマはいくつかあるが、正標数体上のコホモロジーを主な研究対象としている。正標数体上にはℓ進コホモロジーとp進コホモロジーと呼ばれる全く別のコホモロジー論が存在するが、それらが深い場所でつながっているのは面白い。

Q10 研究者へ10の質問!

数学者になるにはどうすればいい? — 可能な限りたくさん読むことです。そこから、何が正しくて何が偽なのかを感じ取れる直観を養ってください。数学を楽しんでいれば、結果はついてきます。

研究者にならなかったら何になっていた? — 作家になりたかっただろうと思います。

もっと勉強しておけば良かったなと思う教科は何? — 学生時代は試験のことばかり考えていて、直観を養えていませんでした。もっと数学的直観を養える問題を解くことに浸っていればよかったと思います。

宇宙人っていますか? — はい。

好きな数式は? — エタール・コホモロジー論の固有射底変換定理の単純でエレガントなところが好きです。

好きな食べ物と嫌いな食べ物は何? — 嫌いな物はほとんどありません。ドーサなど、出身地の南インドの食べ物が好きです。他にもピザ、焼肉、ラーメン……、好きな物を挙げればきりがありません。

他分野の研究をどのくらい知っていますか? — 機械学習、金融、古生物学、時事、文学、プログラミングに関心があります。自分の研究の助けになると思い、時間を割いています。

自分が研究者に向いていると思うのは、どんなところ? — 忍耐力と情熱です。ただ、生まれつきもっていたわけではないので、養うのに多くの時間を使いました。

今の研究の役に立っている教科は何? — 数学、物理学、化学、情報科学です。ただ、数学は科学であると同時に、ある種の芸術ですから、その意味で、人間を理解することも有益だと思います。

研究者に向いていないと思うのは、どんなところ? — 思うように事が解決しなかったり、何か明快にわからないことがあると、イライラしてしまいます。

John Welliaveetil

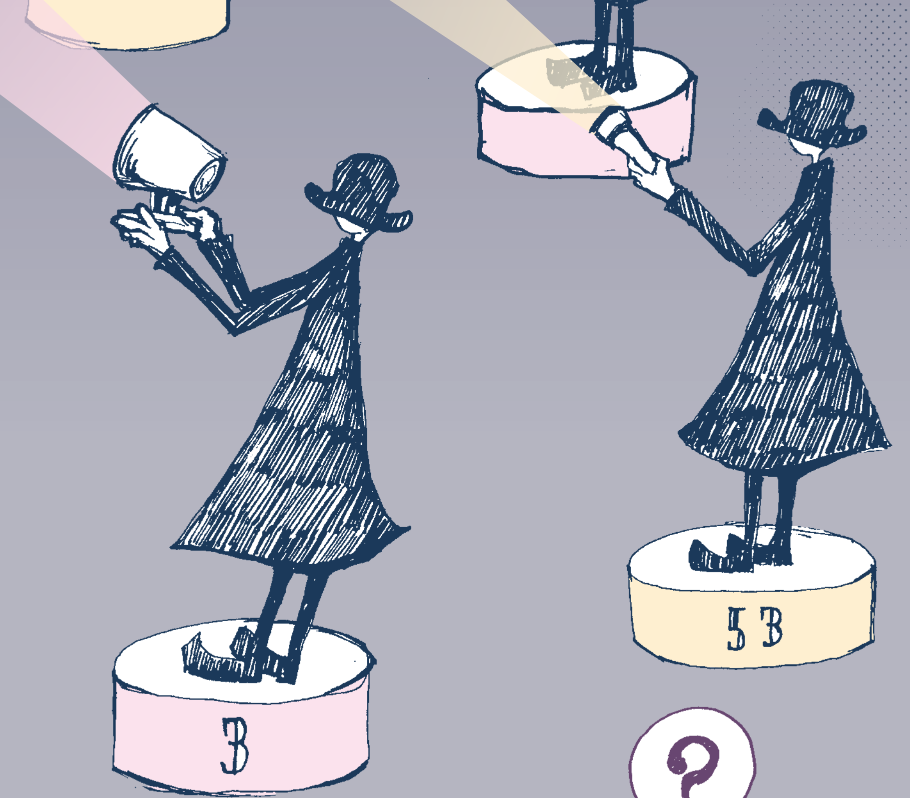
ジョン・ウェリアヴィーティル●Kavli IPMU特任研究員。専門は非アルキメデス幾何学。非アルキメデス空間におけるエタール・コホモロジーの問題に取り組んでいる(エタール・コホモロジーとは、ちょうど現実世界の対象が形、色、大きさで表現できるように、幾何学的対象が持っている基本的な属性を見出す手段です)。

Kavli IPMU ものしり新聞

第 8 号
January 2020

2020年1月10日発行
発行所　東京大学国際高等研究所
カブリ数物連携宇宙研究機構（Kavli IPMU）
〒277-8583
千葉県柏市柏の葉5-1-5
電話　04-7136-4940
FAX　04-7136-4941
http://www.ipmu.jp/ja

方程式の真の姿をとらえる



Kavli IPMUの数学者、阿部さんとウェリアヴィーティルさんは、数論幾何に関連する研究をしている。「数論幾何は、方程式の整数解の個数などといった数論的な問題を、幾何学的なテクニックを使って明らかにしようという分野です」とウェリアヴィーティルさん。「幾何学化することで感覚的にとらえられるようになり、問題にアプローチしやすくなる」と阿部さんはいう。

数論に幾何学を取り入れるアイデアは19世紀にはすでにあったが、具体的に数論幾何という分野が確立したのは今から数十年ほど前のことである。現在は、幾何学化できている数論の問題もあれば、やり方がわからないうえに幾何学化できるかどうかもわからないものもある状況だという（有名なフェルマーの最終定理［＊1］は、幾何学化することで証明できた。一方で、1000年以上も証明されていない双子素数の問題［＊2］はまだ幾何学化されていない）。

方程式を1つ固定してその性質を調べることを考えよう。同じ方程式でも、複素数、実数、有理数、整数と、舞台となる数の〝世界〟を変えると、方程式の解が描く図形や解の個数も変わってくる。数論幾何では、自然数の最小構成単位である素数を使って作る、それぞれが全く異なる数体系の世界――有限体やp進数体で考えることで、面白い手がかりが得られるという。例えば、3という素数で作られる世界からその方程式に光を当てると、実数の世界からの光で見たのとは違う形の影が浮かび上がる。次に5という素数の世界から光を当てると、また別の姿が映し出される。このようにして、いろいろな数の世界から光を当てていくことで、その方程式の真の姿（実数の世界だけではわからなかった姿）をとらえられるのではないかと、数学者は思っているそうである。

$$x^n+y^n=z^n$$

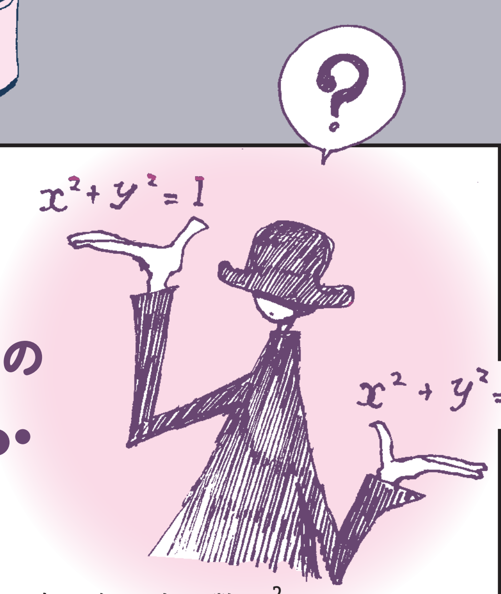
＊1 フェルマーの最終定理

nが3以上の自然数のとき、$x^n+y^n=z^n$となる自然数の組（x, y, z）は存在しないという定理。1994年にイギリスの数学者、アンドリュー・ワイルズによって証明された。

＊2 双子素数の問題

双子素数とは、3と5、5と7のように、差が2である素数のペアのこと。このような双子素数が無限に存在するかどうかという問題。

現代整数論の考え方



$x^2+y^2=1$という方程式は、無限個の有理数（$-\frac{2}{3}$など分数の形で書ける数）の解を持つ。一方で、$x^2+y^2=3$は有理数解を1つも持たない。この違いをどう説明したらよいだろうか。そこでpという素数を考え、$\mathbb{Q}_p$と呼ばれる「法pに関する合同」に似た世界を考えよう（「法pに関する合同」とは、時計の針で「12が0と同じ」であるように、「pが0と同じ」だったり、「$p+2$が2と同じ」だったりする世界のことであり、$\mathbb{Q}_p$はこの世界を下敷きに構成される数体系である）。すると、上の2つの方程式が「有理数解を持つか否か」という問いは、「実数（$-\pi$など我々の住む数体系）の解を持ち、かつ全てのpに対して$\mathbb{Q}_p$で解を持つか否か」という問いに置き換わる。つまり有理数解を考える問題において、実数や$\mathbb{Q}_p$という数体系の世界から方程式に光を当てるのである。

実数や$\mathbb{Q}_p$の世界は有理数の世界に比べるとずっと簡単で、解の有無を調べられる。実際、「法pに関する合同」の世界なら、xとyには0からp-1までの数しか入れる必要がないので、調べようと思えば簡単に調べられるのである。$\mathbb{Q}_p$の世界はこれよりは複雑だが、同じような具合で解の有無が決定できる。このように、方程式の整数論的な問題（つまり有理数に関係する問題）を調べる際に、実数や$\mathbb{Q}_p$という簡単な世界で考え、その情報をまとめることで問題の答えが出るという思想は一般に「ハッセの原理」と呼ばれ、現代の整数論の根幹に位置する考え方である。（阿部知行）

企画：Kavli IPMU広報　デザイン：河原デザイン事務所　文：岡本典明　イラスト：coca　写真：大野真人/Kavli IPMU広報　制作：株式会社学研プラス

Kavli IPMU（カブリ アイピーエムユー）は数学、物理学、天文学で宇宙の謎を研究している東京大学にある研究所です。