

高校生のための特別講義 × Shinichiro Seki

日本の若手研究者

次世代の情報機器の礎となる!

20世紀を物理学の世界から見れば、それは量子力学の世紀だったと言える。マックス・プランクの「量子仮説」、アインシュタインによる「光量子仮説」など、多くの発見が相次いだ。21世紀はこれら現代物理学の礎の上に、実際のイノベーション、つまり「世紀の発明」を実現していく世紀と言えるだろう。そのとき重要になる研究分野こそが「物理工学」だ。東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻および総合研究機構に研究室を構える関真一郎准教授は、スピントロニクス分野で世紀の発明を手掛ける。その最前線の研究に迫る。

東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻 准教授

Profile 関真一郎 先生

生年月日：1983年生(37歳)
専門分野：物理工学



略歴	受賞歴
2006年 東京大学工学部物理工学科 卒業	2012年 井上研究奨励賞
2008年 東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻修士課程 修了	2014年 科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞
2008年 日本学術振興会 特別研究員(DC1)	2014年 日本物理学会若手奨励賞
2010年 東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻博士課程 修了	2018年 IUPAP Young Scientist Prize in Magnetism
2010年 東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻量子相エレクトロニクス研究センター 特任助教	
2012年 東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻量子相エレクトロニクス研究センター 特任講師	
2012年 科学技術振興機構 さきがけ「新物質科学と元素戦略」研究者	
2012年 科学技術振興機構 さきがけ「トポロジカル材料科学と革新的機能創出」研究者	
2013年 理化学研究所創発物性科学研究センター ユニットリーダー	
2019年 東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻総合研究機構 准教授	

*フロンティアサロンについて

フロンティアサロンは、日本の未来を拓く若手研究者の先生方を支援するため、東進ハイスクール・東進衛星予備校を運営する株式会社ナガセが中心となり、2010年に設立されました。フロンティアサロン財団の選考委員から推薦のあった若手研究者に定期的にご講演いただき、毎年フロンティアサロン永瀬賞を選出し、「将来のノーベル賞候補」を発掘する取り組みを行っています。

私の専門は「スピントロニクス」と呼ばれる電子工学(エレクトロニクス)から派生した「物理工学」の研究分野です。素粒子の一つである電子は、流れることによって電流を生み出す(電荷)性質を持ち、私たちの暮らしには欠かせない粒子です。また、電子は「スピン(自転)」という性質も併せ持っており、スピンによって磁石としての性質が生まれます。

皆さんの家の冷蔵庫にも張りついていると思いますが、「永久磁石」というものをスピントロニクス的に言い換えると「電子スピンの平行に並んだ塊」ということになりま

「電子を制御せよスピントロニクス」

スピントロニクスを始めるにあたっては、先人が発見したさまざまな法則を使って、社会にとって有用なものをつくり出す研究分野です。私は先人が生み出した法則をつかって、自身にとって有用なものをつくらせるのが高校生の頃、それがテレビゲームでした。

例えば「スーパーマリオオブラザーズ」のような横スクロール型のアクションゲームで、マリオをジャンプさせると同時に「2万有引力の法則」による計算を導入することで、あたかも現実のような放物線を描くジャンプをさせることができるのです。

例えば「スーパーマリオオブラザーズ」のような横スクロール型のアクションゲームで、マリオをジャンプさせると同時に「2万有引力の法則」による計算を導入することで、あたかも現実のような放物線を描くジャンプをさせることができるのです。

「ゲームに始まった物理工学の道」

スピントロニクスをはじめとする物理工学は、先人が発見したさまざまな法則を使って、社会にとって有用なものをつくり出す研究分野です。私は先人が生み出した法則をつかって、自身にとって有用なものをつくらせるのが高校生の頃、それがテレビゲームでした。

実際の物理学の研究においても、物体の動きをコンピュータでシミュレーションする場合は、ゲームのプログラミングと同じです。こうして自分自身にとって有用なものをつくるうちに物理学に興味を持ち、身近で役立つものをつくることにもやりがいを感じることから、大学以降の進路では物理学を選択するようになったのです。

「魔法の新物質 マルチフェロイクス」

物理工学の中でもどんなテーマをやるべきかと考えていた学部時代に出会ったのが私の師匠である十倉好紀先生の研究でした。十倉先生が情熱を持って話してくれたのが電気を使って磁石を制御するための新しい物質「マルチフェロイクス」の研究でした。

「魔法の新物質 マルチフェロイクス」

物理工学の中でもどんなテーマをやるべきかと考えていた学部時代に出会ったのが私の師匠である十倉好紀先生の研究でした。十倉先生が情熱を持って話してくれたのが電気を使って磁石を制御するための新しい物質「マルチフェロイクス」の研究でした。

創発現象とスピントロニクス

創発現象

電子

相互作用する集団は全く新しい性質を示す

高温超伝導 量子ホール効果

スピントロニクス

電荷

電子

スピンの自由度を積極的に活用する電子技術

MRAM HDDの読出ヘッド

図1 量子力学や相対論が支配する、非常に小さな世界における相互作用によって生み出される、新しい効果・現象のことを「創発現象」という。電子のスピンにおける創発現象を工学的に応用していく分野こそが現代のスピントロニクスである。ハードディスクの「磁気読み出しヘッド(GMRヘッド)」はスピントロニクスの金字塔であるとして、1988年に発見された「巨大磁気抵抗効果(GMR)」によって実現されている。発見者であるアルベール・フェール博士(フランス)とペーター・グリュンベルク博士(ドイツ)には、ノーベル物理学賞(2007年)が贈られている。

「創発現象」というのは、電子などの粒子が相互作用し、大きな集団として振る舞うときに、個々の振る舞いからは想像できない新しい性質が引き出される現象を言います(図1)。例えば私たちがこのような生命現象もそうです。私の体内の細胞一つを取り出して顕微鏡で見ても、まさかそれが何十兆個集まると創発現象についておもしろに語り始める知性を持つことが想像できないのと同じことです。

「二つの顔を持つスキルミオン」

現在進めている研究は「創発エレクトロニクス・スピントロニクス」です。これは「トポロジック」や「対称性」と呼ばれる物質の幾何学的な性質に着目して面白い物質を探し、デバイスに加工して役に立つ機能を引き出すというアプローチです。

「二つの顔を持つスキルミオン」

現在進めている研究は「創発エレクトロニクス・スピントロニクス」です。これは「トポロジック」や「対称性」と呼ばれる物質の幾何学的な性質に着目して面白い物質を探し、デバイスに加工して役に立つ機能を引き出すというアプローチです。

「二つの顔を持つスキルミオン」

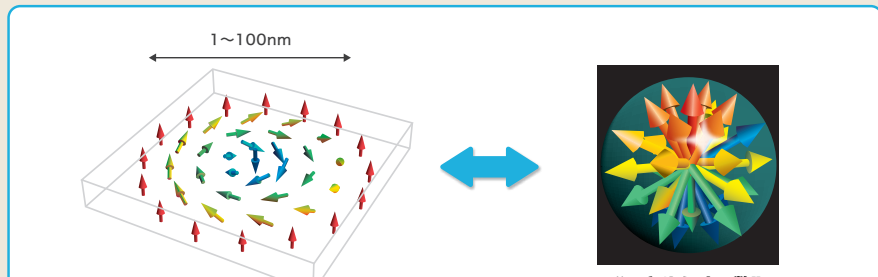
現在進めている研究は「創発エレクトロニクス・スピントロニクス」です。これは「トポロジック」や「対称性」と呼ばれる物質の幾何学的な性質に着目して面白い物質を探し、デバイスに加工して役に立つ機能を引き出すというアプローチです。

「二つの顔を持つスキルミオン」

現在進めている研究は「創発エレクトロニクス・スピントロニクス」です。これは「トポロジック」や「対称性」と呼ばれる物質の幾何学的な性質に着目して面白い物質を探し、デバイスに加工して役に立つ機能を引き出すというアプローチです。

磁気スキルミオンとは？

Rößler et al.,
Nature 442, 797(2006).



「粒子」としての性質を伴ったトポロジカルに安定なスピンの構造

“スキルミオン数”

$$S = \frac{1}{4\pi} \int \vec{n} \cdot \frac{\partial \vec{n}}{\partial x} \times \frac{\partial \vec{n}}{\partial y} d\vec{r} = -1$$

粒子としての性質 + ナノスケールのサイズ = 磁気記憶素子のための次世代の情報担体？

cf. レーストラックメモリ、パブルメモリ (Intel, IBM, SHARP etc...)

A.Fert, V.Cros, and J. Sampaio, Nature Nanotech. 8, 152(2013).

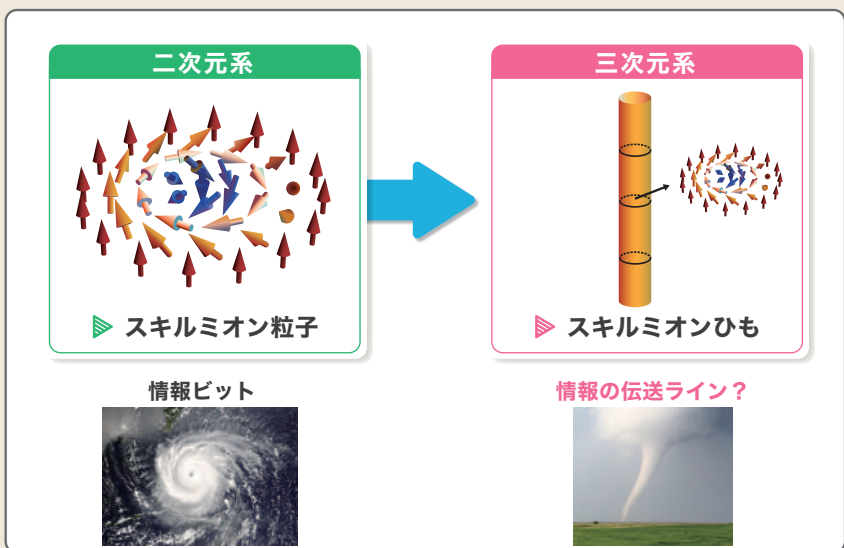
【図2】スキルミオンは1960年代、理論的に存在が明らかにされた。英国の物理学者トニー・スカームにちなんで名づけられたもの。また、もともと素粒子論で提唱された仮想粒子である。「バリオン」や「メソン」などに代表される、強い相互作用によって結合した複合粒子である「ハドロン」を適切に記述するために用いられる「Skyrmeモデル」によって、磁石の中のスピンの並び方も記述できることがわかり、これが「磁気スキルミオン」と呼ばれるようになった。

マルチフェロイクスやスキルミオンというものは、既存のテクノロジーを大きく変革する可能性を秘めています。それゆえに、世界中の研究者たちがしのぎを削っている分野でもあります。私たちのような規模の小さな研究室が大規模な研究機

平凡と平凡の間、非平凡を見つけよう

私たちは理論的に予測されていたスキルミオンひもの3つの「固有振動モード」を実験で観測し、応用可能性への道を拓きました。スキルミオンひもは書き換え可能でフレキシブルな強靱な情報伝送路になるうえ、シニール損失がほぼゼロの究極の省エネ設計も可能にします。これらの成果も論文誌「Nature Communications」に掲載されています。

スキルミオン粒子とスキルミオンひも



二次元系

三次元系

スキルミオン粒子

スキルミオンひも

情報ビット

情報の伝送ライン？

【図3】二つの顔を持つスキルミオンは、台風のような構造として捉えられる。台風は真上から見ると渦状の粒子のような系として把握できる。また、横から見ればそれは竜巻のような構造体であることがわかる。二次元型、三次元型のスキルミオンにもこれと似たような構造を見出すことができる。

FRONTIER SALON

世界が注目!! する

今月の講義

スピントロニクスで、世紀の発明をしよう

良を進め、室温でも動作可能なものにしたと考えています。この成果は論文誌「Nature Nanotechnology」に掲載されました。

また3次元型の「スキルミオンひも」は、情報伝送路としての応用が可能になれば、電子回路の概念を一変させます。従来の電化製品に用いられている電子回路は、固定された構造を持っていません。つまり一度つくってしまつと、書き換えることはできない。しかしスキルミオンひもで電子回路をつくるのができれば、それはスピンの並び替えによってできる情報伝送路であるため、つくった後でも書き換え可能なフレキシブルさを兼ね備えることができます。

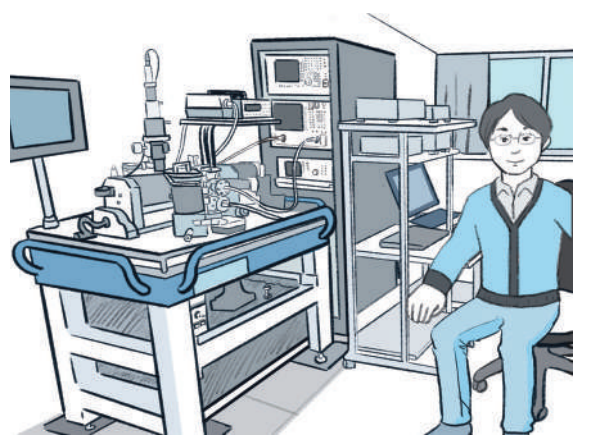
私たちは理論的に予測されていたスキルミオンひもの3つの「固有振動モード」を実験で観測し、応用可能性への道を拓きました。スキルミオンひもは書き換え可能でフレキシブルな強靱な情報伝送路になるうえ、シニール損失がほぼゼロの究極の省エネ設計も可能にします。これらの成果も論文誌「Nature Communications」に掲載されています。

「真に新しいことをゼロからつくるのは非常に難しい。でも、ありふれたことであっても、二つ組み合わせると新しいものになる。」

関とまともに張り合っても勝ち目はありません。ではどうすれば世界に對しインパクトのある成果を出すことができるのか。私が尊敬する川崎雅司先生（東京大学工学系研究科物理工学専攻・量子相エレクトロニクス研究センター）はある時こんなことを教えてくれました。

アプローチとは異なる設計指針を見つけたことによる成功でした。スキルミオンひもは、二次元から三次元に発想を転換することによって見出すことができました。

類まれな天才は、新しいことをゼロからつくるのかもしれない。でも研究は、サイエンスはそんな天才ばかりによってなされてきたわけではない。大切なことは、常にまわりを観察し、平凡なアイデアでも気になったらとにかく二つ三つつけてみる。



ハイ質問です

関先生へ質問



Q1. いつから研究者になろうと考えていたのですか？

A1. 「研究者になりたい」とまでは絞り込んでいませんでしたが、高校生の頃から研究者志向だったのだと思います。高校生の頃はプログラミングの他に「競技デバート」にもめり込んでいました。特定のテーマについて議論を戦わせる競技です。原子力発電についてよく議論し、長所短所を自分なりに分析しながら、世の中に有用なものをつくりたいと考えることが多かったです。

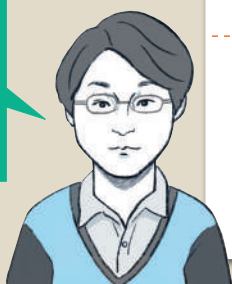
Q2. 研究分野を絞り込むときはどうやっていきましたか？

A2. 先生との出会いが大きかったです。理工工学に方向性は定めながらも分野の絞り込みは難しかったため、学部時代は片っ端から研究室を見て回りました。私の師匠の十倉先生は当時、つくばに研究施設を持っていました。アポをとって遊びに行くと、半日くらいかけて非常にフレンドリーに接してくださいました。この出会いがマルチフェロイクス、そしてスピントロニクスに絞り込みをしていくきっかけになりました。

Q3. 研究室にはどんな学生が入ってきますか？

A3. スキルミオンの現象そのもの、つまり基礎科学的なアプローチに興味がある学生と、デバイスの開発などの応用科学的なアプローチに関心がある学生が混在しています。これは物理学における工学を扱う研究室ならではの面白い特徴だと感じます。どちらの興味から入ってきて、結果的には両方の素養を備えていくことになるので、両者ともに自分の特性とは異なる成長が期待できます。

私の研究はエレクトロニクス産業に深く結びつく、応用分野です



Q4. スキルミオンの研究の現場はどんな様子ですか？

A4. 世界中のトップ大学・トップ企業の研究室が競合なので非常に熾烈です。面白いテーマを見つけ、抜かれないように日々目を光らせる必要があります。とはいえ、長く研究していると、次は何をやるべきかはだいたいわかってくる。そしてスピードと量の勝負では大きな研究グループに負けてしまうので、他のグループが思いつかないような切り口、アイデアで勝負しています。

Q5. どうすれば新しいアイデアやコンセプトが生まれ出せるのでしょうか？

A5. 私が知りたいです（笑）。大切なことはアイデアの不連続性にあると思っています。同じ分野で競争をしている同士は、だいたい同じ考え方を持っています。堅実な方法を模索するとだいたい同じようなアイデア・コンセプトになります。ここに少し意図的に、惰性では考え出されないような要素を入れていくことが、新しさに繋がるのだと思います。