

豊かな自然に恵まれ のびのび育った少年時代

——少年時代は？

生まれは宮城県大衡村（おおひらむら）です。仙台平野に位置している農村で宮城県では唯一の「村」です。いまはトヨタの工場ができて、となり町よりも財政は豊かで人口も多い。それなのに「村」なのです。

大衡村はちょっと変わっていて、面積の約半分は防衛省の所有地で、小学校の近くには自衛隊の演習場もあります。授業中に演習中の大砲の音や戦闘機のエンジン音がよく聞こえました。私の飛行機好きはこの頃の体験が影響しているのかも知れません。

小学生、中学1年まではもっぱら豊かな自然のなかで育ちましたの

で勉強なんてほとんどしませんでした。夏になると川をせき止めてプール代わりにして使用していました。秋にはトンボがたくさん飛んできます。田んぼや貯水池にはカエルがいっぱいて、つかまえて遊んでいました。じゃが芋掘りもよくやりましたね。

小学4年のときとなり町（大和町：たいわちょう）に移りました。

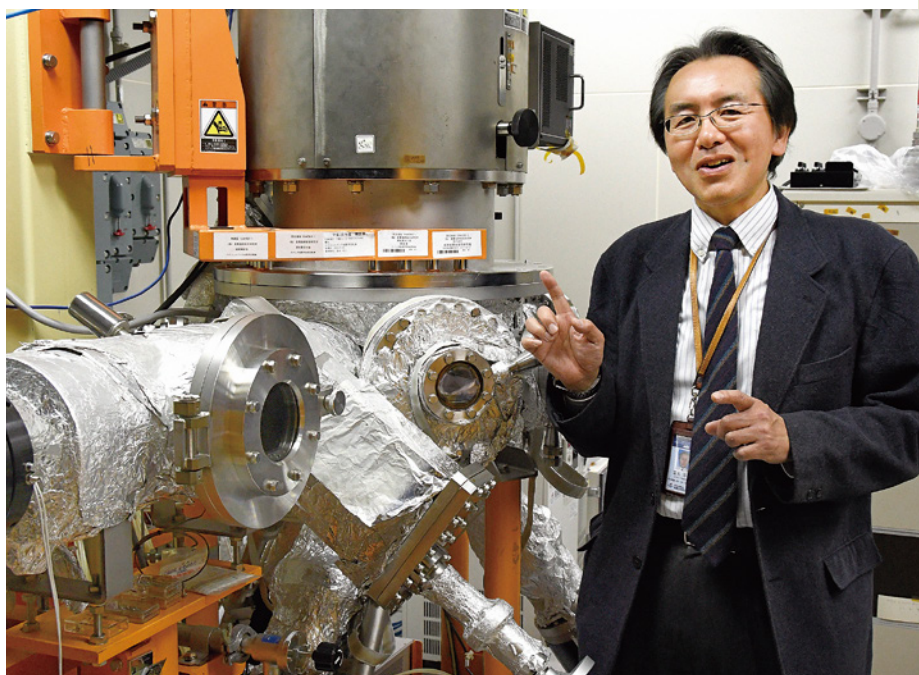
視点 NO. 44

富永 淳二（とみなが・じゅんじ）氏 のプロフィール

1985年千葉大学大学院工学研究科修了。同年TDK株式会社 開発研究所研究員。1987年から1990年まで企業留学生として、イギリス王立クランフィールド工科大学産業科学部博士課程に留学。1991年Ph.D.（博士）取得。帰国後から1997年まで書き換え型光ディスク（DVD-RW、DVD-RAM）の研究開発に従事。1997年工業技術院産業技術融合領域研究所の主任研究官へ転職。2001年産業技術総合研究所への改組とともに、次世代光工学研究ラボ長、2003年近接場光応用工学研究センター長、2011年からナノエレクトロニクス研究部門 首席研究員。

この間、通商産業大臣表彰（1999年）、日本IBM科学賞（2000年）、米国光学会フェロー（2006年）、S.R.Ovshinsky Award（2014年）、本多フロンティア賞（2016年）ほか、学会賞多数。東北大学客員教授、クランフィールド大学客員教授、東京電機大学連携大学院教授、東海大学連携大学院教授を併任。

現在は、不揮発性相変化メモリ、およびトポロジカル絶縁体を応用した新奇エレクトロニクスデバイスの研究において、企業、大学との共同研究を実施。



国立研究開発法人 産業技術総合研究所
エレクトロニクス・製造領域 ナノエレクトロニクス研究部門

首席研究員 Ph.D. 富永 淳二

到達点が新たな出発点の 相変化メモリ研究

——独自の視点で「やればできる」をモットーに取り組む研究ポリシー

1960年代に開発された「相変化メモリ」は、同一材料の結晶状態と非結晶（アモルファス）状態による差異変化を記憶させる技術である。この技術は1990年代まで光磁気（MO：Magnetic Optical）技術に押されていたが、青色レーザーの実用化により、メモリの超高密度化の要求が高まり「相変化」が俄然注目されるようになった。今回「視点」にご登場いただいた産業技術総合研究所・首席研究員の富永淳二氏は1990年頃から一貫して「相変化」研究に取り組み続けている。その成果も、相変化CD-RW、ブルーレイ対応超高密度DVD-RWのディスクメディア開発を経て、独自に考案した超格子型省エネルギー相変化固体メモリなど、次々に素晴らしい実績をあげられている。そればかりか現在、相変化メモリの新たな可能性を秘めた「トポロジカル絶縁体」の実用化にも取り組んでいる。富永氏の相変化メモリ研究とそれに伴うエピソードなどをお伺いした。

2016年公開の「殿、利息でござる（配給：松竹株式会社）」の舞台になったのがその町です。小学生の時は絵を描くのが好きでした。写生大会ではいつも入賞して、クレヨンとか絵の具が賞品でしたので買ったことはありませんでした。あとはプラモデルづくりです。

中学3年のときは受験勉強そっちのけで、親に内緒でアマチュア無線資格の勉強を最優先していました。学校の勉強はそんなにしませんでした。理数系は得意でした。歴史も好きでした。

高校に進学して数学、物理が面白いと感じるようになりました。物理愛好会をつくって活動していました。正式な部ではありませんから部費が出ないので、自分の小遣いをつぎ込んで物理実験などに費やしました。

そのときつくったのが太陽炉という太陽光集光炉です。アルミ板を買ってきて、パラボラアンテナのように、太陽光が一点に集中するように計算してつくりあげました。発表会では10分間で1リットルの水を沸騰させました。

イギリス留学を経て 光磁気が主流の中、 相変化研究に取り組む

——最初は民間企業に入社されたということですが……。

大学の修士を経て1985年にTDKの開発研究所に入社し、最初はハードディスクの研究をしていました。2年半（1987年）ほどして会社の留学制度でイギリスのクランフィールド工科大学に留学しました。ハードディスクの読み出しヘッド（フライングヘッド）が日本の梅雨時の湿気が原因でよく壊れるので、なぜ壊れるのかを解明するためにイギリス留学を命ぜられたのです。

留学当時のクランフィールド工科大学は地図を見てものっていません。なぜかという、大学には空軍施設も存在していたのです。ジェット旅客機も降りられる2,400メートルに及ぶ滑走路がありました。博士

号は留学先で取得しました。イギリス留学は私にとってたくさんの素晴らしい経験ができたところで、研究者としての原点がここにあるといっても過言ではありません。ですから私の研究室のスタッフには海外留学を積極的に勧めています。日本とは違う文化を知り、新たな人脈をつくることは将来の自分自身の財産になることですからね。とにかく「遊んでこい！」といって送り出しています。

イギリス留学を終える頃にプラザ合意で急激に円高が進み、その影響をうけて日本のハードディスク事業はほとんど縮小しました。TDKもフライングヘッドだけ残してハードディスク事業を撤退しましたので、会社からは光磁気ディスクを勧められましたが、手遅れだと判断して1990年に相変化に進むことにし、相変化CD-RWの研究からはじめました。

光磁気（MO）のグループは40人いましたが、相変化研究グループは私一人からスタートしました。MOグループからは「相変化なんて商品にならない」といわれました。やがてMOの全盛は短期間のうちに終焉となったのです。その大きな理由は1994年頃から画像を扱うためにギガバイト級の高密度メディアが求められるようになったからです。

ちょうどその頃、DVD-RAMを相変化でやるか、光磁気で作るのがが大議論になったことがありました。MOを推す企業と相変化を推す企業との大激論が交わされたのです。まさに「天王山」ともいえる会議でした。それで相変化が勝ったのです。

飛行場で偶然巡り会った 利根川進先生の一言

——専門の研究機関にお入りになったきっかけは……。

相変化ディスクの製品化を前に、会社からその研究発表と新製品の



恩師等と一緒に英クランフィールド工科大学留学中
(右から2人目が富永氏)

紹介を兼ねてアメリカ出張を命ぜられました。

ボストンで用事を済ませて、次の訪問地であるニューヨーク行きの飛行機を待っていたときでした。待合室で私の前の席に座られたのが利根川進先生でした。ノーベル賞を受賞されたばかりのあこがれの人でしたからサインをいただくことにしました。飛行機の出発まで1時間ほどの待ち時間があり、研究者の先輩である先生とお話することができました。

そのときに「君は企業の研究をやっているんだね。そろそろ上を目指したらどうかね」と先生がおっしゃいました。

帰国して学会誌に産業技術融合領域研究所（現・産総研）の研究員公募案内が目にとまりました。「相変化を極めてみよう」と思い応募しました。私の研究成果でもあった新製品もできたということもあり、次のことに挑戦する区切りのタイミングでした。1997年の入所以後22年間、産総研で新たなチャレンジをすることになったのは、ボストンの空港での利根川先生の一言でした。

GST三元合金を使っ ての 超高密度光記録ディスクを実現

——入所して次々に成果をあげられたとお聞きしていますが……。

応募で採用されたのは私を含めて2名でした。あとは旧・電総研からこられた方、それに秘書の4名で、できあがったばかりのこの研究棟を与えられました。6～7年でこの研



■スターリングエンジン模型の説明

下側の電極にあたる部分がお湯を入れるコップです。(コップ状の器に熱湯を注ぐ)電流が注入されたのと同じです。これによって相変化膜がスイッチします。ピストンの部分がGeの原子だと思ってください。いま上下していますね。この原子の動きは外に対して仕事をしているのです。つまりエントロピーを捨てているんです。これが相変化メモリのスイッチと同じ理屈です。論文の著者はただ単に熱を入れることしか考えていなかった。見逃していたのです。上部は室温、下の器との熱の違いで動きます。上部は放熱に利用できます。

究棟を設備と人で満杯にしました。

当時の研究テーマは、相変化による超高密度光記録の研究でした。光は波という性質もありますから一点に集光できないのです。それに波は回折限界というのがあって波長の3分の1か4分の1しか集光できない。そこを固体の膜にして、なおかつ光でなく熱にตอบสนองして光の窓をあける(開光)という超解像技術の研究に取り組みました。

アンチモン(Sb)、ゲルマニウム(Ge)・テルル(Te)の三元合金を使いました。それは1999年のことでした。その研究で通商産業(現:経済産業)大臣賞を受賞し、2000年にIBMからも賞をいただきました。

次に、2009年にその光超解像技術をつかってブルーレイによる4倍密度のDVDディスクを開発しました。そのデモを三菱電機の京都事業所で行いました。ハイビジョンテレ

ビ4台と我々が開発した超解像DVDディスクをセットして、それにブルーレイレーザー光源が1本、その1本に4つの画像を同時にテレビ4台にそれぞれ振り分けて映し出すことに成功しました。

400ナノの波長、解像度が60~80ナノ、いまのブルーレイは140ナノの解像度ですから、我々はそれよりも4倍高密度の映像を4チャンネルにして同時に映し出すことに成功しました。映し出した映像は京都の名所風景、花などでした。このときの60ナノは今でも世界の超解像技術のチャンピオンデータではないでしょうか。

ちなみに2014年のノーベル化学賞は超解像技術を利用したものでした。ドイツとアメリカの研究グループによってなされたものですが、彼らの解像度は90~100ナノです。我々のほうが解像度では勝っていたんですが、彼らは医療分野に利用しました。受賞のニュースを知ったとき、我々の研究スタッフと「おしかったね〜」と「生き物を相手にすればよかったのかもね」という言葉を交わし合ったこともありました。もし、このとき生きたものを見ていたらノーベル賞の可能性も……。 (笑)

高解像相変化ディスクから 超格子省エネ型 相変化固体メモリへ

——相変化メモリ研究は次々に新たなテーマが現われるようですが……。

次に手がけたのがカルコゲナイドというGSTの三元合金でなく、独自に考案した超格子をつかった省エネ型相変化メモリでした。そのきっかけとなったのは、私はそれまで光相変化ディスクをやってきたんですが、2006年に半導体関係の人がやってきて、電気を使った相変化メモリにも注力してほしいという要求をいただきました。私にとってじつにタイミングの良いことでした。というのは、各企業が光ディスクから手を引き始めていた頃で、2008年秋

のリーマンショック以降、国内から海外生産へ移行していきました。

まず電気スイッチ型の相変化メモリ関係の論文を読むことから始めました。ある論文の中にコンピューターシミュレーションによる熱解析ソフトを使って140万色に色分けされたとても綺麗なデバイスの温度分布図が掲載されていました。最高温度が650°C(熔融状態)と200°C(結晶状態)での結果が記載されているのですが、相転移の瞬間については何も記載されていませんでした。

「なぜ、なぜ」という疑問が湧いてきました。何か間違っている、と思ったんです。

相変化とは結晶状態とアモルファス状態を行き来して、熔融と冷却の繰り返しです。温度をあげて固定して、温度を下げた固定するという熱サイクルなのです。これは熱力学の問題です。熱力学には第一法則、第二法則、第三法則という基本法則*で理論づけられています。

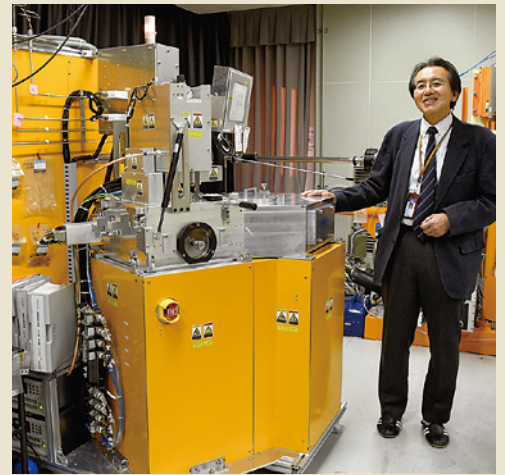
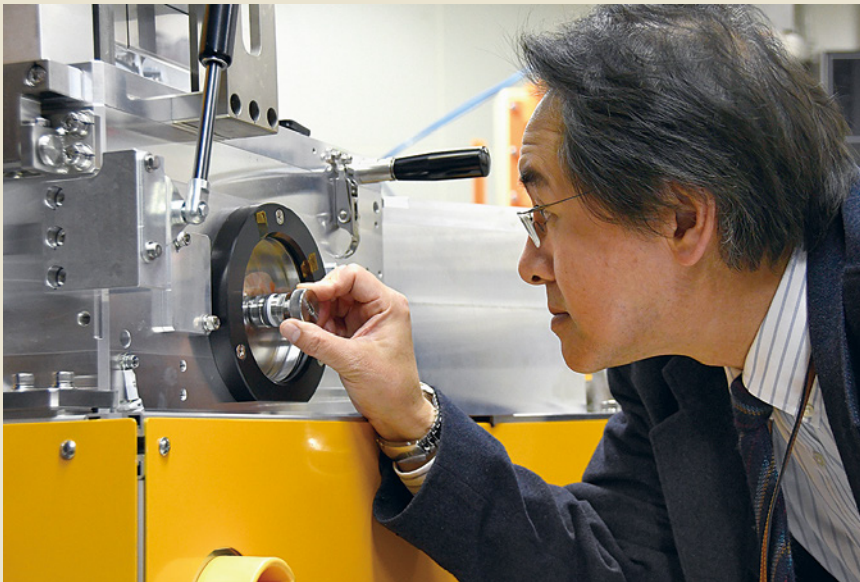
つまり、論文は第一法則だけで議論しています。これでは熱力学サイクルは動作しません。サイクル中でエントロピーがどれくらいとられているのかを考えていない、つまり第二法則を無視している。私は物理化学が専門だったので、ここを解決すれば改善結果が出ると確信しました。だれもやらないのなら自分でやれば良いと思ったのです。

このエントロピー問題はそれまでの光ディスクの時にも感じていました。実際に計算してみると95%がエントロピーで消える、それを消えないようにすれば良いということがわかりました。エントロピーはゼロにはできないが、この95%のエネルギーロスをなくすために行き着いたのが超格子型相変化メモリでした。

今取り組んでいるのが トポロジカル絶縁体

——相変化研究はこれで終わりではなかったのですね……。

実は、結晶状態のGeTeとSb₂Te₃



スパッタリング小型薄膜形成研究開発実験装置「QAM」と共に。現在の実験の大半はこの装置で評価を行っている

を積層した超格子で相変化メモリの省エネルギー化はできて、これで終わったと思いました。2011年3月11日に発生した東日本大震災の影響で、しばらく実験できなかったの、いろいろな論文を読むことにしました。そこで目に入ってきたのが「トポロジカル絶縁体」という聞いたこともないキーワードでした。しかしSb₂Te₃はトポロジカル絶縁体だという。私のやってきた超格子メモリも同じ材料を使っていましたから興味が湧きましたが、読んでも最初は全くわかりません。何か大きな可能性をもっているように感じました。「読書百遍何事かなる」ですね。

東工大にその研究をされている先生がいらっしゃいましたので、詳しく聞きに行くことにしました。そのとき宿題を出していただき、戻ってきてシミュレーションをしてみました。確かに先生のおっしゃった現象が確認できました。

磁石をつかって電子スピンの時間反転対称性を壊せば良い、ということでした。デバイスは低抵抗を示す「セット」と高抵抗を示す「リセット」を繰り返す、そのサイクルの途中で磁石を近づけてみると、抵抗値が突然増加し、高抵抗状態に張り付いて低抵抗状態に戻らなくなりました。「壊れたかな？」と思って磁石を離す

と今度は低抵抗状態に戻りました。この現象は電子のスピンの関係しているなと気が付きました。

現在スピン制御のプロジェクトをスタートさせ、「トポロジカル絶縁体」の研究に取り組んでいます。

「トポロジカル絶縁体」が実用化すれば、今後のAI、IoT社会を支える重要な技術として迎えられると確信しています。(詳しくは13ページ参照)

「やれば」できるという 上杉鷹山の言葉に同感

——研究活動をされる上でのポリシーは……。

私はポリシーが一つありまして。他人が「できない」と決めつけているものに対して、こだわりをもっていきます。山形・米沢藩の上杉鷹山の有名な言葉で「なせば成る なさねば成らぬ 何事も 成らぬは人の なさぬなりけり」という金言がありますが、その通りだと思います。「できない」のは自分自身が決めつけてできないのであって、「やってみれば(取り組めば)」できると解釈しています。私の研究活動もそういう似通ったところがあります。

ある研究分野に関する論文を読んでいると、誰も触れていない、あるいは見落としている個所が往々に

してあります。ここを解決しなければ、という視点で考えます。

たとえば、TDKから産総研に移ってきたとき、光を使った研究をやりはじめましたが、近接場光を用いた走査型トンネル顕微鏡(プローブ顕微鏡)をただ見るだけでなく、これをもつづくりの機構に活用できないかと考えました。

プローブ顕微鏡も光を使って原子を見るわけですから、原子の分解能もっています。その発想が出発点となって、2009年に私は光超解像薄膜技術を可能にしました。超格子型の相変化メモリも同じ技術を応用してできたものです。

結晶とアモルファスの状態を行き来する(セット、リセット)のが相変化メモリです。先ほども申し上げましたが、そこでは必ずエネルギーロスがあります。ここを根底からひっくり返したら面白いだろうということで、結晶/結晶間相転移型の超格子型の相変化メモリを開発しました。

そのとき多くの人からは「できっこない」といわれました。「できっこない」と誰が決めたのか、それは「やっていないだけのことだ」と考えました。皆が見逃しているところに着目して有益なものを創り出すことが研究者としての使命だと思います。

* 第一法則：系の内部エネルギーの増加量は、外から加えられた仕事量と熱量の和に等しい。熱量まで含めたエネルギー保存則。
第二法則：低温から高温へ熱を移し、他の何の変化も残さないようにしておくことはできない。エントロピー増大の原理。
第三法則：絶対ゼロ度ではいかなる物質のエントロピーもゼロになる。有限回数で課程によって絶対ゼロ度に到達することはできない。ネルンストの熱定理。

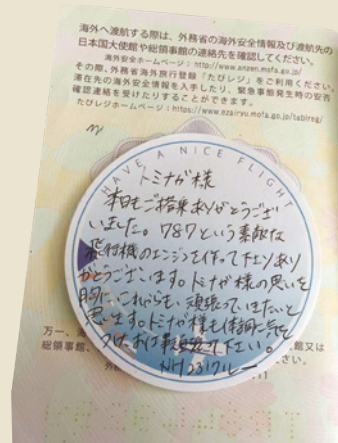
カラフル時代、装置も優しく明るい色に



スパッタリング小型薄膜形成
研究開発実験装置「QAM (キャム)」

装置については、
アルバック九州株式会社 WEBSITE：
<https://www.ulvac-kyushu.com/summary/qam/>

アルバックさんが良い装置をつくって
いただいてとても感謝しています。ただ
し、アルバックの装置は実験装置みたい
な作りなんです。納品した装置は特別
に色を塗っていただきました。いま柔道
着も白からカラフルになり、いろいろ
なのがカラフルになりました。工場色に
とられないでもっとカラフルに楽し
い色の装置があって良いのだと思
います。女性が見ても優しい感じに
なる。イギリスに行ったとき、装置
の色がオレンジ色だったのです。と
っても気に入りました。最初に装置
を入れたときにオレンジ色にして
いましたら、担当の方が「本当に
いいですか」と念押しされたほど
でした。



機長からのメッセージ

自然に逆らってはいけない、 騙せれば良い

——どんなときにひらめきますか。

アイデアは毎朝の歯磨きしながら
のトイレのときです。さきほど紹介
した超解像技術はお風呂の中でした。
娘をお風呂に入れていたときに
ひらめきました。ひらめきに至るま
でいろいろ考え続けていますので、
瞬間的なひらめきというよりも、こ
うすればいけるんじゃないか、と考
えながらのひらめきです。ひらめ
いたことは、いろんな書物とか理論と
照らし合わせていくんですが、自然
を騙せたらいける場合が多いです
ね。この「自然を騙す」という考え
方はイギリス留学で学びました。

留学先の先生は金属工学が専門
で航空機のジェットエンジンや機体
の金属疲労を研究している人です
た。その先生が「技術というのは自然
を騙せたら良いんだ。自然を克服
するようなものをつくったらしっ
ぺ返しを食う。だから自然を乗り越
えようとか、克服しようとかしては
いけない。自然を騙せれば自然は受
けてくれる」という。

私の超格子型メモリのエントロピ
ー問題もそれが当てはまります。そ
こには「マックスウェルの悪魔」が
住んでいて、熱エネルギーをつかう
ときは、悪魔に熱エネルギーの税金
を必ず支払わなければいけない。そ
れが自然の掟なのです。つまりエ
ントロピーを「ゼロ」にして熱機関をつ

ることはできません(永久機関禁止
の法則)。だから「マックスウェル
の悪魔」をうまく騙せば良いわけ
です。

飛行機のジェットエンジンの 音に魅せられて……

——どのような趣味をお持ちでし
ょうか……。

趣味はラジコンの飛行機を飛ば
すことです。週末はラジコン飛行機
を飛ばしています。飛行機の流体力
学にかなった流線形が好きですね。

私がイギリスの留学先の大学で
は、ロールスロイスのジェットエン
ジンのタービブレードの開発研究
グループに所属していました。ANA
の787はそのロールスロイスのジェ
ットエンジンを積んでいます。出張
の時はANAに乗るようにしていま
す。席にはノイズキャンセリングイ
ヤホンが用意されていますが、私
はジェットエンジンの音に興味があ
るのでいつも使用しません。

あるときキャビンアテンダントが
席にやってきて「これをつけていた
だくとノイズが消えて快適にお乗
りいただけます」という。私は「ター
ビブレードの研究をやっていたこと
があるのでジェットエンジン音に大
変興味があって、エンジンが正常に
動いているかどうか、その音を楽
んでいるんです」と答えました。そ
のアテンダントは機長にそのことを
伝えたのでしょう。飛行機から降
るときに機長からの伝言を渡され
ました。「こういうお客様が飛行機に

乗っていただく和我々も安心して
操縦できます」と感謝されました。

飛行機のエンジン音を楽しむ絶
好のポイントは、成田では南風の時、
成田の桜山がお勧めです。午後2時
半から3時半は帰国便が多いのでそ
の時間帯がいいですね。一番お勧め
なのが大阪・伊丹空港の近くにある
土手が最高です。頭の上、50メー
トルの所を飛んできます。でも乗
るのが一番です。うるさいと聞くの
ではなく、芸術として聞いてみて
ください。(笑)

相変化と磁気技術の融合で 日本企業は進むべき

——相変化メモリと他のメモリとの
棲み分けは可能なのでしょうか。

いまからやるべきことは相変化メ
モリとMRAMが組むことです。ト
ポロジカル絶縁体をつかって、通常
の磁性材料をつかわないで動かせる
ようになります。磁気材料を使わ
なくてもスピンを自由に制御でき
るようになります。相変化の中にト
ポロジカル絶縁体をつかってスピ
ンを制御する相変化メモリの部分
と、スピンを使うメモリの部分を
わけて、一つのデバイスの中に埋
め込めば良い。それが私の考える
将来です。片方の技術をつぶす必
要はない。一緒に共同の道を歩め
ば良い。そうすれば日本のメー
カーは成長するのではないかと
思います。もう昔のように光ディ
スクのときのような喧嘩はやめな
いと！

ビッグデータをベースとする IoT、AI 社会に大いなる可能性が期待される 「トポロジカル絶縁体」とは

富永先生の研究テーマである「相変化メモリ」はまさに到達点が次への新たな出発点ともいえるもので、現在も次世代相変化メモリとして「トポロジカル絶縁体」に取り組んでいる。この耳慣れない「トポロジー」とは何なのか、その理論を応用する「トポロジカル絶縁体」の可能性、利用分野を紹介する。

2016年のノーベル物理学賞はサウレス、ホールデン、コスタリッツの3名に授与された。この3名は、数学の幾何学理論の一つであるトポロジーの考え方を導入したもので、物質の基本的な性質にトポロジカルな状態が相転移することを発見した。まさに21世紀に誕生した現代科学のトップをゆく最先端材料の開発で、今、世界中の研究者たちが大いなる可能性を求めて様々な研究合戦が繰り広げられている。

その一つとして、内部では電気が流れないにもかかわらず、表面では電気が流れるという「トポロジカル絶縁体」の物質の研究が進められている。

富永: 2010年の秋、超格子型省エネルギー相変化メモリの論文を専門誌に投稿してそれが通ったのでほっとしていた矢先のことでした。2011年の「3.11大震災」で3~4カ月間実験ができなかったのも、もっぱら論

文を読んでいました。私の扱っている Sb_2Te_3 がトポロジカル絶縁体だと書いてあったのです。論文を読んでいるうちに時間反転対称性を壊すという表現が目にとまりました。

そこで磁場をかけてみることにしました。通常のGSTの三元合金に磁石を近づけても何も変化しません。ところが私が開発した超格子の積層膜に磁石を近づけると一気にしきい値電圧が0.8Vから2Vに上がりました。磁石を外すともとに戻る。0.1テスラぐらいの弱い磁石ですが、これを近づけるだけで抵抗値が2桁変わることがわかった。MRAMの変化量をもっと低い数値です。相変化はいままでの経験上、磁性は出ないと考えていました。この実験で、時間反転対称性を壊すと何か変化することがわかってきました。

トポロジカル絶縁体は、電子の状態(波動関数)が通常の絶縁体と異なり「ねじれている」という。このねじれによって物質の中身には電気が流れず、表面だけに電気が流れるという想像もつかない現象が確かめられた。

富永: $Ge_2Sb_2Te_5$ の三元合金はねじれていないので普通の絶縁体です。つまり合金の中に2つの顔があるということです。一部は普通の絶縁体、もう一つは違う。



超格子はどうか。普通のトポロジカル絶縁体は面でしか電気伝導をもたないのですが、 $(GeTe)_2$ は普通の絶縁体で、 Sb_2Te_3 はトポロジカル絶縁体です。この2つを繰り返し積層すると表面だけでなく界面に電気が流れるようになります。積層数を増やせばその分、界面数が増えるのでより二次元的な電流とスピン流を取り出せます。それも極低温でなく、室温の状態です。470Kでちゃんと動きます。紙面の都合上、詳しくはご紹介できませんが、私の研究成果を論文で発表したところ、2017年には論文引用が300件ほどありました。こういうものをつくる競争が世界中ではじまっています。

メモリにはいろいろあり、一番高速で動くのはCPU、SRAM、DRAMなどです。その下にNAND、光ディスク、ハードディスク(HD)などのストレージメモリがあります。DRAMとHDでは処理スピードは3桁ほど違います。ビッグデータを扱うようになると、この桁数の違いは大きな問題になります。これを解消するために新しいストレージクラスメモリが登場することになります。それが相変化メモリなのです。

トポロジカル絶縁体超格子が応用される相変化メモリの大きい可能性

- 次世代相変化メモリは超格子型で格段の省エネ化が達成できる
- 相変化はAIのチップに向いている
- DRAMを使わずにビッグデータを使って機械学習を行える
- ファンデルワールス結合型の超格子膜はスパッタリングでも作製可能
- GeTe/SbTe 超格子膜はトポロジカル絶縁体だ
- トポロジカル特性を上手く出現させれば将来はスピンメモリにも
- 相変化メモリの進展はメモリを超えた…分野の応用が期待できる