

産
総
研

LINK

04

2016 APRIL

No.6

技術を社会へつなげるコミュニケーション・マガジン

■ CROSS LINK シームレス地質図 P06

地球を知り、自然と共に
安全・安心な社会をつくる

Makoto Saito



■ TOP MESSAGE

理事長 中鉢良治 P02

産総研が担う
基盤研究「地質」と「計量標準」

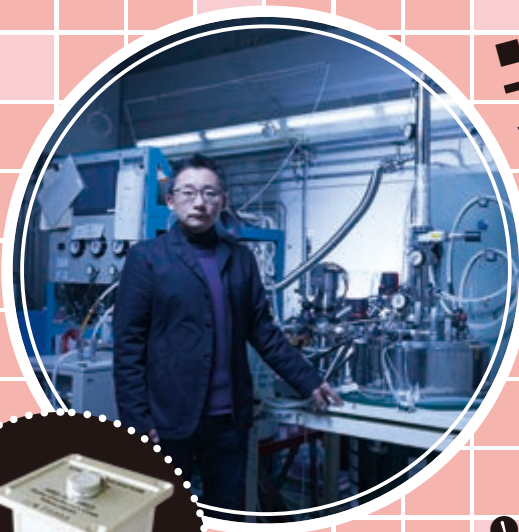


Ryoji
Chubachi

■ CROSS LINK 超小型標準抵抗器 P11

精度の高い計量標準を
ものづくりの現場で
もっと気軽に使いやすく

Nobu-Hisa Kaneko



① ここにもあった産総研

「火山噴火予知連絡会」で活動 P10

高温域の測定精度を飛躍的に高める P15

理事長

中鉢良治 *Ryoji Chubachi*

1947年生まれ。1977年東北大学大学院工学研究科博士課程修了、工学博士。同年、ソニー株式会社入社。社長・副会長を経て、2013年4月独立行政法人（現・国立研究開発法人）産業技術総合研究所理事長に就任。

産総研が担う 基盤研究「地質」と「計量標準」 ～人々の生活や産業を支え、日本の未来を築く～

2016年4月から、第4期中長期計画の2年目が始まった。

これまで「産総研LINK」では、産業界との連携を目指した、産総研の技術の橋渡し事例などを紹介してきたが、

今回は、「地質」「計量標準」という国立研究開発法人である産総研ならではの研究に焦点を当てる。

これら2つの知的基盤技術の重要性と、産総研が取り組む意義について、中鉢理事長に聞いた。

地質を知ること 人間の営みの基盤となる

一産総研では「地質」「計量標準」という、一般から見ると非常に基礎的な研究が行われています。産総研は、「橋渡し」と呼ばれている技術の実用化に熱心に取り組む一方で、このような社会の基盤を支える技術にも注力しています。今回は、このような知的基盤の整備に関する取り組みについて、産総研の考え方を伺いたいと思います。まずは地質についてお聞かせください。

中鉢 地質や地形に関する研究は、人間が周りの自然環境とどう向き合っていくかを考える上でとても重要です。人々は、さまざまな地質や地形の中から生存に適した土地を経験的に学び、そこに定住し、その土地ごとの異なる気候や植生などの中で、その場所に合った生活を営み、文化を育んできました。地質・地形の研究は、人間のすべての営みの源である“母なる大地”を知ることであり、人間にとって最もベーシックな基盤的な研究だと言えるでしょう。

一地質の研究は、過去を知り、そこから学ぶことなのでしょうか。

中鉢 地質の研究は過去を学ぶことだけではありません。故きを知り、未来を予測し、将来の生活を豊かにすることに貢献するものだとは私は考えています。

日本の国土は地質・地形的にとっても複雑で、地震や火山噴火、土砂崩れなどの自然災害が多く、活断層の動いた履歴や火山活動の動向など、土地の構造に関する調査と知見は防災の面からとても重要です。一方でさまざまな自然にも恵まれ、近年では地熱・地中熱利用による再生可能エネルギーの研究開発が注目されています。また、地質情報は環境保全、希少金属など地下資源の探索や確保、最適な農作物の栽培といった、多くの分野で生かすことができます。つまり、人間の営みの基盤にある研究だということです。

地球の歴史の長さに対して、人間の一生はとても短く、一人一人の知見は、とも

すると世代を超えて受け継がれないで終わってしまうことがあります。自分たちの暮らしの足元を把握する研究を継続し、知を積み上げていくことで、生活や産業を安定させる基盤を作り上げていくことができると思います。

自然と共生し、未来を築く

一自然環境との共生の方法を考えるという点では、産総研の2大テーマ「グリーン・テクノロジー」「ライフ・テクノロジー」とも密接につながっていますね。

中鉢 現代の科学技術にはエコロジー視点が必要です。土から植物が生え、私たちはそれを食べ、身体をつくり、また土に戻っていきます。人間も動植物も、そのようなエコシステムの中にある存在です。その自然を知り、理解し、畏敬の念をもって活用する。そのように自然と共生しながら、安心して暮らせる社会を築き上げていく、そのために、地質情報は不可

欠なものだと思います。

—地質の研究は民間では取り組みにくい分野だと言われます。地質の研究成果は、具体的にどのように社会で役立っているのでしょうか。

中鉢 地質のような基盤研究は短期的には売り上げや利益に結び付かず、民間企業が取り組むのは難しい面があります。しかし、研究成果である地質情報には、産業に応用できるものが多々あります。例えば、津波の被害に遭いにくい土地、土砂崩れの起こりにくい土地など、地質情報を生かして、安全に暮らせる環境を見極め、適切な工事や建設を行うことは、間違いなく重要でしょう。

地質に関する情報、技術、人材が日本で最も充実しているのは産総研の地質調査総合センターです。ぜひ産総研の知見を、産業界の方々にも活用していただきたいと思います。

科学技術の発展を支える 計量標準

—計量標準も産総研ならではの分野です。計量標準の重要性はどこにあるのでしょうか。

中鉢 科学の最大の特徴は、測定値を物理量で示せること、すなわち測定可能であり、検証可能であるということです。科学の発展は、そういった計量技術の向上や知見の蓄積に支えられてきました。計量標準は科学技術の基盤そのものであり、共通言語なのです。

科学の進歩に伴い、計量の精度も上



がっていきますが、それは人間の認知範囲が広がるということでもあります。それまで見えなかったものが、見えるようになるわけです。人間は計測し、認知し、それをもとに判断して行動します。計量の精度が上がれば、認知の精度も上がり、それを判断・行動に反映させることができるようになります。例えば、温度・圧力、位置・加速度などの変化をより高い精度で計測し、認識・判断することで、工場における生産工程の自動化や自動車の自動運転が可能になります。このような事例を考えると、あらゆる科学技術や産業の基盤に計量があるということがイメージしやすいのではないのでしょうか。

もう一つのポイントは、計量の蓄積性による効果です。どのような理論、技術も、突然現れるわけではありません。アインシュ

タインの相対性理論は、何年にもわたって積み重ねられてきた天体観測の測定値があったからこそ出てきました。ニュートンの物理学も、ケプラーによる天体観測がなければ登場しませんでした。新しい理論の背後には、計量を基盤とした知の蓄積と、後世の人による検証があります。

産総研は、このような基盤的な役割を担い、次の時代の科学技術の新しい共通言語となる精度の高い計量標準の研究を行っています。

—産総研は計量標準の精度の追求にも取り組んでいます。産業の現場とどう結びつくのでしょうか。

中鉢 産総研の計量標準総合センターは、日本の国家標準のトレーサビリティの頂点でもあります。トップレベルの計量標

準開発の中で、原子や電子、光子1個というレベルの究極的な精度を追求していくことが、各現場のユーザーの計測精度を上げることにもつながるのです。産総研が計量技術に日々磨きをかけることは、最先端のものづくりの現場に直接的に役立っている、技術の橋渡しができていと言えます。

グローバル競争を 勝ち抜くための標準化

―産業のグローバル化が進む中で、計量標準はどのような意味をもつのでしょうか。

中鉢 高度な技術に強みのある日本、ビジネスに巧みなアメリカ、そして標準化に強いヨーロッパ、と言われます。これまで、日本企業はその技術力を武器にグローバル市場で競争してきました。しかし、これからは、技術とビジネス、そして標準化を一体的に進めなくてはイノベーションを生み出し、市場で戦うことは難しくなってきます。日本企業も、技術開発と並行して、標準化を進めて行く必要があります。

産総研は、計量の国際標準化にも力を注いでいます。企業の方には、国際的に認知されている産総研の計量標準をもっと活用していただきたいと思います。そして日本が国際標準化のイニシアチブをとれるよう、産総研も協力していけたらと考えています。そうすることで日本発の技術が、グローバル市場でさらに競争力のあるものとなるでしょう。

人々の暮らしを守り 産業の発展を支え 社会を豊かにする

―東日本大震災以降、地質の研究の重要性、有用性が見直されています。

中鉢 地震、津波、火山など、自然災害が頻発していることもあり、災害予測や生活適地の確認に、過去の地形を読み解く地質学の知見が見直されるようになってきました。住宅地での土砂災害やマンションの杭打ち不正問題なども、地質情報が正しく活用されていればあるいは防げたかも知れません。地質の研究は、人々が自然と共生し、安全に暮らしていくために不可欠なものなのです。

―計量標準の技術は、今後、どのように発展していくのでしょうか。

中鉢 繰り返しになりますが、計量標準はあらゆる産業の基盤です。自然科学系の産業だけではなく、社会科学系においても測定・分析は重要な技術であり、特に今後、活用の可能性が広がるビッグデータを扱うためにも不可欠となります。高い精度で計量・計測されたあらゆるデータの蓄積は、新しい産業の発展を支え、これからの人間社会を豊かにしていくでしょう。

地質、計量標準は民間企業が手掛けていくのが難しい分野であると同時に、国の保全と産業の基盤に直接的に関係する研究です。これらの技術は国の礎であり、産業の礎なのです。産総研は、公的研究機関としてプライドをもち、継続して取り組

んでいきます。

企業の皆さまには、地質情報・技術や、計量標準・計量技術を産業の現場でぜひ活用していただくとともに、新たな技術と事業の創出に役立てていただければと願っています。



300万分の1地質図

地質調査所設立の7年後、1889年に出版された日本最古の日本列島の地質総図。



産総研が保管する
日本国キログラム原器

約30年ごとに、国際度量衡局が保管する国際キログラム原器と比較校正される。プラチナ90%、イリジウム10%の合金製。

CROSS
LINK

地球を知り、自然と共に 安全・安心な社会をつくる

「シームレス地質図」で広がる地質情報の活用

地質調査総合センター研究戦略部
イノベーションコーディネータ

齋藤 眞

Makoto Saito

地殻変動により押し曲げられた宮城県牡鹿半島の地層の
実物大レプリカ

日本で唯一の地学専門の総合博物館「地質標本館」にて展示。産総研の地質調査・研究における成果を、日本の地質、地下資源、海洋の地質、地球環境、火山と地熱、地震と活断層などのテーマで展示する常設展のほか、特別展示や緊急展示、講演会、ジオ・サロンも開催している。

近年、地下鉄の発達や地下街の開発により、地下利用は進んだものの、それは地球全体からすれば、ごくわずかな部分に過ぎず、それを支えているはずの地下は、人々の目に触れることも少なく、一般に関心をもたれることは多くなかった。しかし、東日本大震災や豪雨による土砂災害などを契機に、自分たちの生活している場所のその足下にある地球の性質を示す「地質」情報にあらためて注目が集まっている。

1882年、地質調査所として設立されて以来、130年以上日本の地質の研究を担っている産総研・地質調査総合センターで、継続的な調査・研究による成果を蓄積・整備することで得た地質情報と、社会や産業面での活用可能性について聞いた。

日本全土を一枚で表す デジタル地質図

等高線で標高を表し、地形や植生などを示した「地形図」は、高校などの地図帳をはじめとして広く知られた存在だ。しかし、地面の下の様子を示す「地質図」になると、見たこともない人が多いのではないだろうか。

地質図とは、地盤・地層の様子、すなわち、表土の下にいつの時代のどのような種類の岩石や地層があり、どのように分布しているかを体系的に示した地図のことだ。地層の重なり方や断層の位置、地層の断面図などが表示され、その地域内のボーリング調査の結果も記載されている。

「地質図は地球を理解するための学術情報であるとともに、災害の軽減、土木建設や資源探査などの産業にも活用できる、国土の基盤となる情報です」

広げられた地質図を前に、産総研・地質調査総合センターの斎藤眞は説明する。

1882年に、産総研の前身となる地質調査所が設立されて以来、地質調査総合センターでは、約130年にわたり、日本の地質図の編纂と、高精度化のための改訂を続けてきた。さまざまな縮尺の地質図がある中で、20万分の1の地質図幅^{*1}は、日本全土を約80cm×80cmの方眼で区切った、110枚を超える紙に分かれている。

この20万分の1の地質図幅は、60年近くの年月をかけて2009年に全国をカバーし、完成した。その後、110枚余りの地質図を、デジタル技術を活用してつないだデ

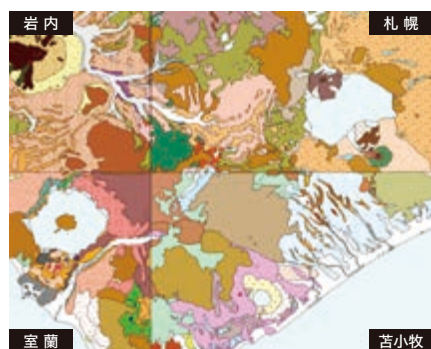
ジタル版「20万分の1日本シームレス地質図^{*2}」も作成された。これにより初めて日本全土をつなぎ目のない、連続した地質図として見るできるようになった。

「20万分の1日本シームレス地質図は、全国統一基準で示したものとしては、現在日本で最も詳細な地質図です。さまざまな地質情報の基盤となる地質図が整備されたことで、地震・火山情報、地すべり情報、衛星画像など、他のデータと重ねあわせて新たな知見を得やすくなりました。またパソコンやタブレット端末などを利用して、実際の地面を見ながら必要な範囲の地質図を確認できるのは、デジタル版地質図ならではの利便性です」

精度・凡例を統一化し 地質図の質をそろえる

「シームレス地質図」作成の難しさは、一枚一枚の紙の地質図をデジタル技術でつなぎ合わせただけでは「シームレス」にならない点にある。全体として統一された地質図とするためには、60年かけて別々に作られた110枚の地質図に表記された情報を、最新の地質データと照らし合わせながら再解釈しなければならなかった。

「地質調査はその時代の国策や経済政策にも関係します。例えば、国が資源探査に力を入れていた時代は資源のありそうな地域で、宅地開発が急がれた時代には宅地に適した地域で、重点的な調査が行われます。そのため、地質情報が充実する地域がある一方、長く未調査



シームレス化前後の比較

シームレス化前の4枚の地質図幅「札幌」「岩内」「室蘭」「苫小牧」をつなぎあわせたもの(左)と、ほぼ同じ地域を20万分の1日本シームレス地質図で表示したもの(右)。

のままの地域もありました」

地質図の作成には長く地道な調査研究が必要だ。地質図には、作成当時の地質学の知識や見解が反映されるが、調査時期には数十年の時間差が生じる場合もあり、異なる時期に作成された各地質図の質はまちまちだった。また地質図に使われている凡例は、地域の特徴ごとに決められ、全国的には全く統一されていなかった。

「地質図を隣り合わせると、地質境界線がずれていたりと、同じ種類の岩石を示す色や模様が一致しなかったりしていました。シームレス化にあたっては、約200の凡例を統一し、整合性をもたせる必要がありました」

地質調査総合センターでは、既存の100万分の1の地質図をもとに全国統一基準の凡例を作成し、これを基準にして、地質構造や地質時代を整理し直した。110枚を超える地質図すべてを、最新の地質学の知識に基づいて再解釈し、一枚一枚修正を加えていったのである。

地球を知り

自然と共生するための地質情報

このようにつくられる地質図は、これまで主に、防災や土木建設、資源探査などに利用されてきた。例えば、立山の砂防工事の基礎情報としての利用や石灰岩・採石・天然ガスの資源開発などがある。大規模な宅地開発や工場建設では地質情報の確認は必須となっており、間接的とはいえ工事費の削減や工期の短縮、安全の確保にも

貢献している。

「しかし、地質図の使われ方はまだ限定的です。今は、例えば建設などの計画決定後に設計条件を定めるために使われていますが、建設の構想段階で地質図を活用してあらかじめ地層などを把握すれば、より安全で工事を行いやすい場所を選定でき、ボーリング調査にかかる時間や費用を抑えた計画をたてられるようになると思っています」と斎藤は語る。

では、地質図は限られた専門家にしか必要ではないかという、決してそうではない。どこに住んだら比較的危险が少ないかは、地質図が教えてくれる、一般の人にも重要な基本的な知見だと言う。

「目の前の平野や河川も、富士山などの山も、すべて地質的な理由があってその姿をしています。地質はとても身近なものです。大事なのは、地質情報を用いて土地の性質を見極め、それをもとに軟弱地盤対策を施したり災害軽減策を講じたりなど、安全に暮らせるように対処することです。さまざまな事情で住むのに適した土地を選ぶのが難しい場合でも、限られた環境の中で生活範囲を広げることができるのです」

「地球を良く知り、地球と共生する」というのが、地質調査総合センターのキーコンセプトだ。地質を知ること、自然と共生する道を拓き、地震や火山、地すべりなどの防災や、環境保全、地下資源の発見などに重要な役割を果たしているのが、地質図をはじめとする地質情報なのである。

防災から農業まで 活用範囲はさまざま

私たちの安全な生活や産業と切り離せない地質情報。その基本をなす地質図がデジタル化されて使いやすくなったことで、活用範囲は大きく広がっている。

例えば、自治体のハザードマップづくりや、廃棄物処分場の建設地選定のための予備資料への活用、農業用水に利用する地下水や、温泉採掘の事前調査もある。新しい用途としては、耕作土に含まれるミネラル分を地質から把握し、適した農業を行って地域振興につなげる、といった例も出てきている。

斎藤は、地質情報の大切さを学問レベルの理解にとどめず、こういった実用化レベルで理解し、活用してほしいと強調する。

「大規模な地震などの発生サイクルは、人の一生より長いことが多く、災害に遭わずに生涯を終える世代もあるため、情報は後世にうまく伝わっていきません。しかし、人間が災害を忘れても、地質情報には過去の記録が残されています。だからこそ、産業界の方々にも、一般の方々にも、地質情報を活用していただきたいのです。地質情報の活用により得られた安全や効果を実感する機会は限定的で、どうしても縁遠い話と思われがちですので、自分が生活している足下に興味をもつ人たちを増やしていくことも、私たちの仕事だと考えています」

災害などの危険が起こる前に対策を施す。それが当たり前になれば、社会はより安全になるし、環境破壊などの社会的コストや後の世代への負担も低減できる。地質情



報を適切な形で継続的に活用する仕組みをつくっていくことが、現在、非常に重要なことなのだ。

地質調査総合センターは、20万分の1日本シームレス地質図をはじめ、火山や活断層、地下資源など目的別の地質図まで、さまざまな地質情報をデータベースで公開している。

「ぜひ生活、産業に地質情報を積極的に活用してください。活用にあたってのアドバイスや、地質図を読み解く専門家の紹介も行っていますので、ご連絡をお待ちしています」と斎藤は締めくくった。

※1-「幅」は、地図の数え方の単位。地質調査総合センターで出版している地質図のうち、5万分の1と20万分の1の地質図は、正式には「地質図幅」と言う。国土地理院で発行している地形図の区画と同様、緯度と経度で区切られた地質図を一幅、二幅と数えるので、図幅と言う。

※2-シームレス地質図は、産業技術総合研究所地質調査総合センターの登録商標。
<https://gbank.gsj.jp/seamless/>

お気軽に
お問い合わせ
ください！

地質調査総合センター研究戦略部研究企画室(国内連携グループ)

〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1 中央第7

☎: 029-861-3540

🌐: <https://www.gsj.jp>

✉: (地質調査総合センター総合案内) gweb@gsj.jp

✉: (地質相談窓口) soudan@gsj.jp

※間違いを防ぐため、メールでのお問い合わせをお勧めします。



ウェブサイト

1882年の地質調査所設立に始まり、前身となる工業技術院時代から今の産総研に至るまで、130年を超える歴史の中で、社会に送り出してきた研究成果を紹介します。

※文中で、工業技術院など前身の組織名を「産総研」と表記している場合があります。

「火山噴火予知連絡会」で活動

火山噴火後の記者会見などで目にする「火山噴火予知連絡会」は、大学や研究機関などを含む関係機関の火山に関する研究および業務の成果や情報の交換、火山現象についての総合的な判断を行う組織だ。1974年発足のこの連絡会には産総研の研究者も委員として参加、日本の火山の調査研究と噴火情報の知見の蓄積に貢献している。

御嶽山の噴火で

ただちに現地調査を開始

2014年9月27日午前11時52分頃、岐阜・長野県境にそびえる御嶽山で起きた噴火は、人々の記憶に新しいだろう。天候に恵まれた週末とあって山頂付近は登山客でにぎわい、その結果、多くの人が犠牲になった。

噴火後まもなく、産総研も緊急調査班を組織し、研究者を現地に派遣。大学やほかの研究機関と協力して現地調査を行い、解析結果を火山噴火予知連絡会に随時報告した。

まず、噴火翌日の28日には、報道ヘリに同乗し上空から噴火口付近の撮影を行うと同時に、噴煙の高さや色、今回の火口列がどのように形成されたかを確認した。火口列というのは複数の火口のこと、配列に規則性があることも多く、過去の噴火事例と比較して、今後の噴火推移を予測する手掛かりになるものだ。

さらに、採取した火山灰をその場で解析したところ、火山灰はほぼすべて変質岩片から成り、マグマ物質をほとんど含んでいないことがわかった。これにより、今回の噴火が「水蒸気爆発」であり、大規模な噴火に発展する可能性は低いと判断された。被害者の捜索・救出活動は一刻を争う。だからといって火山の状態がわからないまま入山はできない。噴火の状態の正確な把握は、二次災害を防ぎ、捜索活動の安全性も支えたのである。

火山灰の分析は、いまやその場で

現在火山灰の分析は、研究室にもち帰る前に採取後すぐに現地で行われている。スマートフォンで撮影し、水で洗い、持参した顕微鏡で観察・解析をする。噴火後、できるだけ早いタイミングで報告できるように用意された、このもち運び可能な顕微鏡セットは、既存の機器を組み合わせ、使用法を工夫して野外の現場で使えるよう産総研の研究者が改良したもので、2014年の御嶽山の噴火の調査で初めて使われた。もちろん、その後は試料を研究室にもち帰り、詳細な解析を行っている。

噴火の発生履歴を調べる

火山の調査研究といっても幅広いが、特定の火山について恒常的に火山活動を観測する役割は、大学や気象庁が担っている。産総研は、今回の御嶽山の噴火時の活動のように、採取試料を分析することで、調査対象がどのような火山であり、どのような噴火をしたのかを把握することに貢献している。

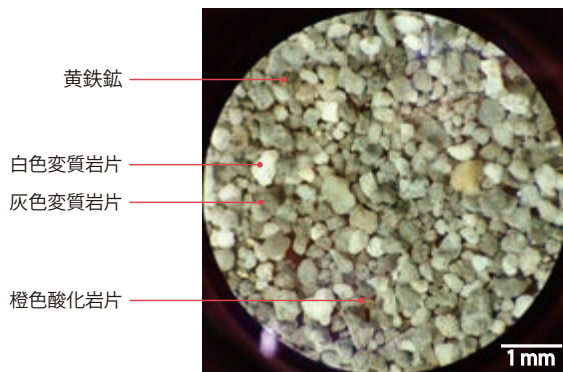
過去の噴火の発生履歴や、噴火の過程に関する情報は、噴火活動の将来的な推移を予測する上で重要な判断材料の一つになる。そのため産総研では、火山噴火時の緊急調査という機会にとどまらず、日本各地の活動の活発な火山を対象にした噴火履歴の調査を継続的に行っている。この積み重ねが、いざというときの的確な火山の状況把握につながるのである。



御嶽山に登る捜索隊
読売新聞社のヘリコプター
より撮影（2014年9月28日）



YouTube産総研チャンネルで西之島の動画映像を配信中



火山灰の実体顕微鏡写真
大部分を変質岩片が占めている

CROSS
LINK

精度の高い計量標準を ものづくりの現場で もっと気軽に使いやすく

周辺環境の影響を受けにくい超小型標準抵抗器

計量標準総合センター
物理計測標準研究部門
量子電気標準研究グループ
研究グループ長

金子 晋久

Nobu-Hisa Kaneko

量子ホール効果抵抗標準

電気抵抗の国家標準。国内で校正される抵抗関連の測定器・標準器の校正作業をたどると、産総研にあるこの国家標準に行き着く。このように校正される測定器により得られた結果は「国家標準にトレーサブル」とあると言う。

生活の中で、当たり前に使われている長さや重さ、電気などの単位。これらは人々の生活を支えるだけでなく、すべての研究活動に不可欠な基準であり、科学技術の発展や産業の基礎ともなっている。

企業や研究機関などで用いられている長さや重さ、電気量などを測定する機器は、法令などに基づいて校正（数値のずれの度合いの計測）が行われるが、校正機関を上流にたどっていくとその源流には産総研・計量標準総合センターがある。

産総研は、これら長さや重さ、電気などの単位である計量標準について、その設定と普及を行う国家機関であり、日本における総本山ともいえる存在だ。

一方で産総研は、より使いやすい標準や標準器の研究・開発にも取り組んでおり、2011年には、精度と使いやすさを大幅に向上させた電気抵抗の標準器（標準抵抗器）の開発に成功した。

日本の“はかる”を守り、育てる

日常生活の中で、私たちは“はかられた値”に疑問をもつことがない。スーパーの精肉売り場で200 g という表示を見れば200 g だと思い、100 m 走の記録が10 秒だと言われればそう信じる。計測値を当たり前を受け入れられるのは、計量法という法律に基づき、計量の基準（標準）のトレーサビリティが担保されているからだ。そして、その基準は国際的にも厳密に整合性が担保されている。

つまり、私たちの生活や産業は、計量標準なくしては成り立たなくなっており、計量標準は社会基盤そのものとも言えるのだ。

「そのように重要な基盤技術である計量標準について、日本では産総研の計量標準総合センターが、国家標準の開発やそれに基づく標準供給を行っています。また、精度を上げるとともに、より使いやすい標準をつくるのも私たちの研究課題です」

そう語る同センターの金子晋久は、2011年、精度と小型化・使い勝手を両立させた企業や研究所の現場で使用する標準抵抗器の開発に成功した。

産業機器などの開発・製造の過程では、測定器を用いて製品や部品の電気抵抗を計測していることも多いが、これらの測定器が示す値が正しいかどうかは、標準抵抗器を用いて定期的に確認されている。

この確認作業を「校正」といい、多くの企業は普段、測

定器を自社で保有している標準抵抗器で校正する。この標準抵抗器は多くの場合一年に一度、日本電気計器検定所（JEMIC）などの校正機関の標準抵抗器で校正され、さらに校正機関の標準抵抗器は最終的には産総研が保有する抵抗の国家標準に基づく校正を受けるという仕組みになっている。産総研が、校正機関の標準抵抗器を、日本に1台しかない抵抗の国家標準で校正することで、国内すべての測定器が、産総研がもつ国家標準につながり、抵抗値の確かさが確保されているのである。

手のひらサイズの標準器を目指して

標準抵抗器は、通常ニッケルやクロムなどを含む合金線を巻いて、一定の抵抗値をもつように作られている。これまでの標準抵抗器は、精度の高いものだと約30×20×20 cm（救急箱ほど）のサイズ、約5 kgとずっしりと重い。また周辺の温度の影響も受けやすいため、温度管理が難しく、決して扱いやすいとは言えなかった。

「これまでのほとんどの標準抵抗器は、温度変化の影響を避けるために、比熱の大きいオイル槽に浸して保管する必要があります。また、デリケートで振動に弱いため、移動させる場合は静かにもち運ばなくてはなりません。その上、別の場所から移動させた後は、安定した値を得るまでに半日～1日かかりますし、慣れていないと端子をつける位置を間違えて壊してしまう危険もあります。このため校

正作業には、熟練の技術や集中力が必要だったのです」

産総研に入所して計量標準の研究に携わるまで、金子は標準抵抗器がここまでアナログ的で扱いにくいものだとは知らなかったと言う。そして、もっと現場で扱いやすい標準抵抗器が必要と考え、「手のひらにのるサイズ」の標準抵抗器の開発に着手した。

2006年、小型で軽く、振動にも強く、従来品以上に精度の高い標準抵抗器の開発を目指し、精密抵抗器のトップメーカー、アルファ・エレクトロニクス株式会社との共同研究が始まった。

フィルム状の抵抗体を オイルに浮かせる

従来の標準抵抗器が周囲の環境や振動の影響を受けやすかった理由は、その構造にあった。合金の導線をコイル状に巻いて抵抗値を調整する標準抵抗器は、導線を土台に接着させるためにエポキシ系樹脂などの接着剤を用いている。しかし土台、合金の導線、接着剤はそれぞれ、温度や湿度、圧力など周囲の環境および経年に対する形状や特性などの変化量が異なる。つまりさまざまな条件下でそれぞれの物質の伸縮量にも差が出て、お互いに強いストレスが発生してしまうのだ。

そこで金子らは、コイルではなく厚さ50 μ mのフィルム状

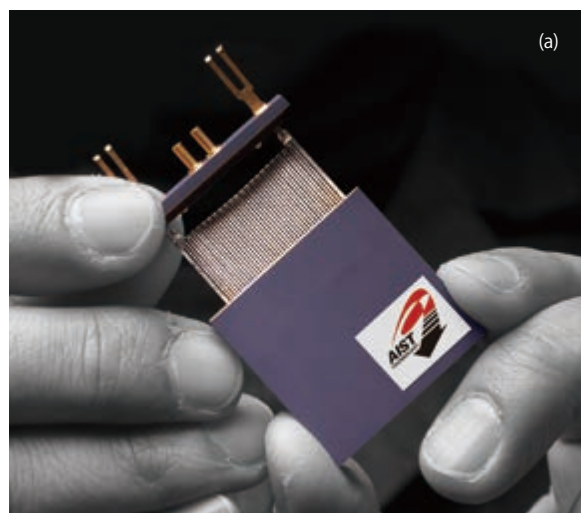
の抵抗体を採用。この抵抗体をセラミック基材の狭い空間に差し込み、隙間にはシリコンオイルを充填し密閉した。

「温度などの周囲環境変化で各部材が伸縮したり、経年で特性が変わったりしても、抵抗体はシリコンオイルの中に浮いているので、それらの影響を受けずにすむわけです。シリコンオイルには高い粘性があるため、振動からくる一時的なひずみが生じる危険性も回避できます」

抵抗体をオイルに浮かせるメリットはそれだけではない。適切な熱容量のあるオイルが抵抗体のまわりにあることで、環境の急激な温度変化が緩和され、標準抵抗器が穏やかに周囲の温度になじみやすい。その結果、移動後も時間を置かずに校正作業ができるようになった。

発想から満足のいく試作品ができるまで、わずか1年半ほど。開発から早い段階で、目標とする基本性能が出せたのは、産総研が国家標準をもっていること、すなわち最高精度の標準と照合して検証できる環境にあったことが、大きく関係している。1週間ほど測定すれば長期的な経年変化率を予測できるので、新しい材料や作製条件を試すときでも、測定した結果をすぐにフィードバックし、今度は別の材料・条件で試す——といったサイクルを、速く回すことができたのだ。

「経年変化による影響を極限まで抑えるために抵抗体の材料も開発したのですが、その過程で、抵抗体の表面を薬品処理や焼鈍^{しょうどん}して新たな抵抗体を作製しては、す



(a)

(a) 新たに開発した標準抵抗器（素子部分）からフィルム状の抵抗体を抜いた様子（4 cm角、厚さ7 mm、約25 g）

(b) 中に (a) を収めてコネクタを付けた抵抗標準器（製品）（5 cm角、高さ8 cm、約130 g）



(b)

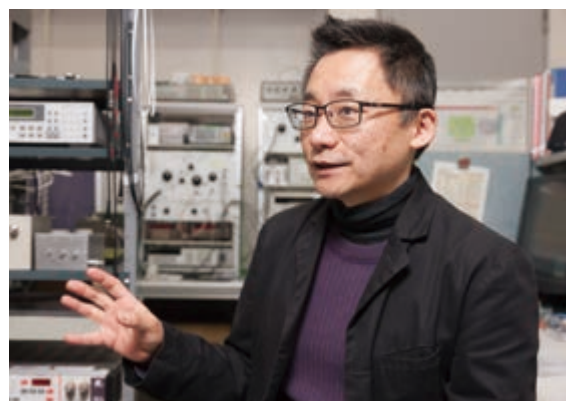
ぐに国家標準で検証しました。材料などを変更して再検証するのも容易だったため、短期間で最適な条件を探し出せました」

金子はこの標準抵抗器の実用化、さらには汎用性の高い抵抗部品としての実用化を目指していたため、その後も綿密な実証実験を行った。振動試験やさまざまな環境での試験、経年変化の継続的な測定に加え、海外の研究所の協力も得ながら、飛行機に手持ちで乗り込んで輸送した場合と、国際宅配便で送った場合とで、開発した標準抵抗器の数値にどの程度ずれが出るのかも検証した。

測定器の部品として組み込める 標準抵抗器

こうして完成したのが、4 cm角、厚みが7 mmの標準抵抗器だ。わずか25 gで、携帯電話の電池パック程度のサイズであるにもかかわらず、精度はこれまでの標準抵抗器から1桁上がった。コネクタを付けた製品形で5 cm角、高さが8 cmで、重さは約130 gしかない。さらにオイル槽での保管も不要で、簡便な輸送手段でも測定値に問題が出ないほど振動に強い。動かしたあとでも時間を置く必要がなく、すぐに必要な値を安定的に得ることができる。職人技が必要だったこれまでの標準抵抗器とは異なり、作業ミスをしにくい設計で、誰でも校正作業ができるようになった。

「これまでの標準抵抗器に比べて、約千分の1から数十分の1ほどのサイズで、しかも精度が高く、格段に使いやすいものができました。これなら外的な環境変化にも強く、真夏に外に出しても、温度が戻るまでに何時間も待た



ず安定した値を出せます。恒温室などの特殊な保管設備なしでどこでも管理でき、維持管理のための高いコストも不要になりました」

小型化されたことで、さらに「標準抵抗器を測定器の部品として用いる」という新しい標準器の使い方も生み出された。

「測定器を校正する標準抵抗器を、初めから測定器の一部の部品として組み込むことで、標準がより広い範囲で使われるようになって考えています。今までは、精度の高い標準抵抗器を自社で用意するのは難しかったり、用意はできても校正に手間を感じたりして、企業の中には標準の活用には積極的ではないところも多くありました。しかし、そのような企業が精度の高い標準を使えば、競争力のある製品の開発・製造につながる可能性が高まります。計量標準にとって大切なことは、高い精度と使いやすさです。それら両方を備えている新しい標準抵抗器を通じて、これから多くの企業により気軽に標準を使っていたきたいと思っています」

＊- 金属やガラスをある温度に加熱したのち、ゆっくりと冷却すること。金属やガラスの内部組織の均質化やひずみ除去のために行う熱処理操作の一つ。焼きなまし。

お気軽に
お問い合わせ
ください！

計量標準総合センター研究戦略部

〒305-8563 茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第3

☎: 029-861-4346

🌐: <https://www.nmij.jp/>

📧: (お問い合わせフォーム) <https://www.nmij.jp/inquiry/>



ウェブサイト

1882年の地質調査所設立に始まり、前身となる工業技術院時代から今の産総研に至るまで、130年を超える歴史の中で、社会に送り出してきた研究成果を紹介します。

※文中で、工業技術院など前身の組織名を「産総研」と表記している場合があります。

高温域の測定精度を飛躍的に高める

体温や気温など、普段の生活に欠かせない温度。しかしその正確な測定は、実は簡単ではない。特に高温域においては、銅の凝固点1084.62℃を超える温度の基準（温度定点）は存在していなかった。産総研は、この1100～3200℃の温度域における温度定点を新たに16個実現することで、温度測定の高精度化に大きく貢献した。

正確にはかれなかった高温域をはかる

温度の目盛は、複数の温度定点を開発し、それを基準として定められる。初期の温度目盛は、氷点0℃と水の沸点100℃の2点を定点とし、その間を等間隔に分割してつけられた。その後温度目盛の高精度化が進み、さまざまな温度で多くの温度定点が導入されている。

しかし、1000℃付近の温度定点はこの100年近くほとんど増えず、上限はわずか20℃上がっただけで、最高定点である銅の凝固点1084.62℃を超える高温域では、よりどころとなる基準が存在しないという状態が続いていた。温度の測定は、温度定点から離れるほど目盛の不確かさが著しく増す。これまで、1085℃を超えた高温域の温度目盛は、物理法則に基づいて黒体の放射輝度比から温度を求めていたが、これを高精度に測定（校正）する手段はなかった。

産総研は独自の技術で、1100℃以上の温度域における温度定点を新たに16個開発することに成功し、上限も3185℃と一気に拡大、高温域の温度測定の精度を飛躍的に高めたのである。

合金を使う画期的な技術

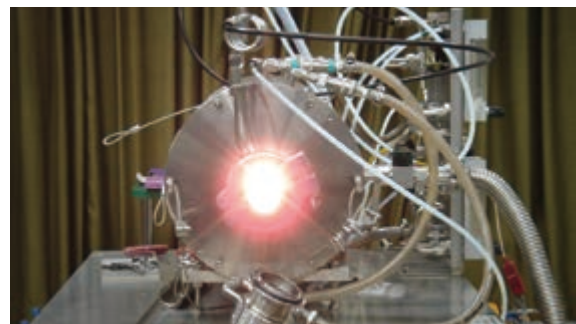
温度定点を得るために必要な定点物質には、純金属が使われていた。しかし、たとえば白金をグラファイトのるつぼで溶かすと、るつぼから溶け出した炭素が白金に混ざり凝固点が安定せず、再現性のよい温度定点は得られない。

産総研が行きついた発想は、定点物質として純金属ではなく、金属と炭素の合金を使うというものだった。白金と炭素の合金であれば、その一成分と同じグラファイトがるつぼから溶け出しても合金の組成は変わらないため、金属汚染を気にする必要がない。産総研は、この金属と炭素の共晶点*を温度定点として利用できることを発見し、1999年に世界に先駆けて提案した。

温度は、産業とも密接に関わる。特に鉄鋼業では、溶鉄の精錬・鋳造の温度や冷却速度で材料の質を大きく左右し、炭化ケイ素（SiC）や炭素繊維などの新素材は、2000～2500℃を超える温度域での品質管理が求められる。安定的で効率的な操業を可能にし、設備の寿命を延ばすのも、温度の管理次第である。再現性と安定性に優れた高温域の温度定点が多数できたことで、高温域の温度が十分な精度で計測され、信頼できる温度目盛を産業現場へ供給できるようになったのだ。

2006年までに産総研が提案した新たな温度定点16個のうち6個は、すでに日本の温度の国家標準として実用化されている。そしてまもなく、これらを国際的に合意された「温度値」とするための国際プロジェクトも完了する。産総研の技術で生まれた新たな温度標準が、国際標準になる日も遠くはなさそうだ。

*-複数の成分を含む液体から同時に結晶が析出する温度。さらに産総研は、金属炭化物と炭素の包晶点を用いて、より高い温度定点も実現した。



2800℃までの高温定点実現装置



ITS-90定義定点と、産総研が標準供給している高温域の温度定点

— サイエンスと技術をLINKする産総研
— 科学技術とビジネスをLINKする産総研
— 人々と科学技術をLINKする産総研

LINKの先にあるのは「技術を社会へ」
そんな思いをのせた
コミュニケーション・マガジン「産総研LINK」を
お届けします

産総研 LINK
技術を社会へつなげるコミュニケーション・マガジン

産総研LINK No.6 平成28年4月発行

編集・発行 国立研究開発法人 産業技術総合研究所
企画本部 広報サービス室 出版グループ
問い合わせ 〒305-8560 茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第1
TEL : 029-862-6217
FAX : 029-862-6212
E-mail : prpub-ml@aist.go.jp



仕事と介護の両立支援

