

テクノロジーで世界をつなぐ。リオンの技術情報誌

# Shake Hands

Vol.7  
2018/8

特集

## 探る

INNER VIEW

本山秀明 国立極地研究所 教授

人生はなんとかなる、  
掘削はなんとかする

～氷から探る地球の過去と未来

オーロラは歌っていた

～実証された「脈動オーロラ」の発生メカニズム

雲をつかむような話をしよう

～エアロゾルを測る

トンネル打音点検の効率化を目指して

わかった！計測器 クリーンルームの規格とモニタリング（第2回）

製品温故知新 可聴域自然電波観測装置

オフィスからこんにちは 「リオンホール」と「リオン広場」

サイエンスコラム サイズダウン

日本の風景 夏祭り

社員はV！ 洞窟探検

「スーパーカミオカンデ」にて

生物粒子計数器の実証実験がスタート





## 本山秀明

Hideaki Motoyama

1957年、新潟県生まれ。1987年、北海道大学低温科学研究所助手。ネパールヒマラヤ氷河の学術調査に参加。1989年、国立極地研究所助手。1997年、同助教授。2006年、同教授。南極観測は1989年の第31次を皮切りに2015年の第57次まで12回（うち越冬3回）参加し、主にドームふじ基地での氷床コア掘削を担当した。愛読書は畑正憲。



大学共同利用機関法人  
情報・システム研究機構 国立極地研究所  
東京都立川市緑町10-3  
<http://www.nipr.ac.jp/>



南極・北極科学館  
<http://www.nipr.ac.jp/science-museum/>

# 本山秀明

国立極地研究所研究教育系 教授

## 人生はなんとかなる、掘削はなんとかする ～氷から探る地球の過去と未来

文／岡崎道成 写真／吉竹めぐみ

南極を舞台にした近年の映画で、生瀬勝久さんが演じた役のモデルだ。実際の風貌や語り口はむしろ昔の高倉健だが、「不器用」どころか、氷を掘るプロフェッショナルだった。

### 氷に閉じ込められた過去の地球

映画「南極料理人」の登場人物「モトさん」が、南極滞在中に誕生日を迎え、子供が歌う「ハッピーバースデー」を電話口で聞くシーンがある。

「屋外で走り回るなんて絶対にしないと、映画のツッコミどころはいろいろあるんですが、一番違うのは、僕には子供はいません(笑)」

言わずもがなだが、南極は北極とは違いた大陸だ。すなわち地面がある。その上に雪が降り積もり、長い年月の間に自らの重みで固まった氷(氷床)で覆われた。それが現在の南極大陸の表面だ。だから地層と同じように、氷床を調べれば過去の地球環境がわかる。それを明らかにするために氷を掘る「氷床コア掘削」が本山の仕事だ。氷床コアを掘る場所は、沿岸近くのオングル島にある昭和基地から、さらに内陸に1000 km 行ったドームふじ基地。その名のとおり、標高は富士山並みの3810 m。標高が高ければ氷も厚く、古い時代まで遡ることができる。深さ3000 mでは70万年を超える氷になるという。1989年に本山が極地研にきた後、第1期となる本格的な深層掘削が始まった。

「日本では初めての挑戦だったので、外国

製ドリルを使うかどうか議論もありました。でもデンマークのドリルを参考にした4種類のテストドリルを国内で作って、初めて参加した第31次隊(1989年)のときに持ち込んで南極の氷河でテストしました」

氷床コア深層掘削計画は、第2期目に岩盤近くの3035 mまで掘り、2007年1月に完了した。得られた最深部の氷は72万年前のものという。現在は極地研究所の低温室にてマイナス50度で保管され、さまざまな分析が行われている。

「海底コアや地層と違って、氷には過去の空気が閉じ込められています。氷中の空気を分析すると二酸化炭素など温室効果ガスの濃度がわかるので、過去の気温変動との関連がよくわかります。そうすると、現在問題になっている地球温暖化との関連がはっきりするので、将来の気候予測ができるようになるのです」

### ドリルは技術の結晶

氷を掘る「氷床深層掘削ドリル」は、長いパイプ構造になっている。先端のカッターで氷をリング状に掘削し、パイプ内に円柱状の氷床コアを格納して地上に上げることを繰り返す。しかし途中には挫折もあった。「僕が第38次(1996年)で南極に向かって

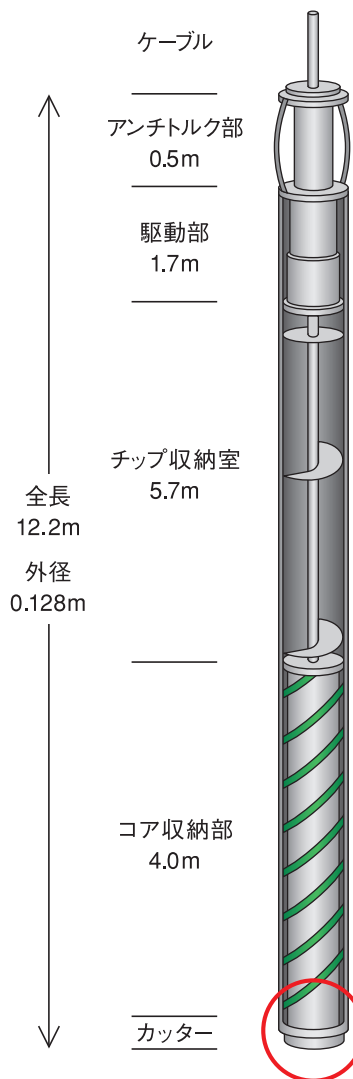
いたときは、深さは2500 mに達していましたが、ところが、岩盤まであと500 mというところで、ドリルが途中で引っかかって上がってこないというトラブルが発生したのです。何とかドリルを回収しようと、限界までワイヤで引っ張ったりして2、3年がんばったのですが、どうしても無理だということで断念しました」

それでも本山らは、技術があるうちにと再度の掘削を計画する。それが認められ、2001年から第2期深層掘削計画が実施された。それに合わせてドリルも開発し直した。

「新しいドリルは全長12.2 mで、1度の掘削で4 mの氷が掘れます。その際に出るチップ(氷の削りカス)はドリルのパイプの中に収納します。4 m掘ってドリルを地上に上げ、コアとチップを取り出し、全体をきれいにしてまた降ろす。二重になっているパイプの隙間をチップがうまく上がるように、内側のパイプにらせんを、外側のパイプに溝をつけています。さらに、さまざまな工夫をしてチップ収納室に100%チップを収納できるようにしました」

本山が胸を張るのは、他国製のドリルはチップ回収率がせいぜい6、7割だからだ。回収できない分は孔の中に残ってしまうので、別途チップを回収するための作業を行





南極・北極科学館に展示されているドリル  
©国立極地研究所



カッター部分  
©国立極地研究所

氷床深層掘削ドリルの概念図

## ヒマラヤで極地研に誘われる

本山は、新潟の「片田舎」で生まれ育った。裸足で歩き回りながら、蜂の巣を取って幼虫を食べたり、トンボやカエルを捕まえて遊んだ。

「自然が好きでしたね。昼間の金星とか、人があまり気にしないようなものを見ていました。放課後になると野鳥を見に行ったり、夜は星を見たり。はくちょう座に超新星が現れたときは、毎日屋根に上り、他の星の明るさと比べながら等級を決めてグラフにつけていました」

南極に興味があったわけではなく、「ムツゴロウ」こと畑正憲に憧れ、動物生態学をやりたくて北大に入った。当時の北大は「理類」で入学し、3年次に成績順で希望する学部に行けたが、生物系の人気が高かったため理学部地球物理学教室に、さらに大学院も第3希望だった低温科学研究所に入ることになった。その時点でまだ、南極に行くとは思っていなかったという。

「低温研では融雪部門でした。普通に雪が3、4m積もるところで育ったので、苦ではなかったです。積雪表面からの融け水が雪の中や地面を通して川に出てくる、それと気象との関係を研究していました」

その研究の関係でネパールヒマラヤ氷河の観測に誘われ、3度参加した。その遠征中に現地出会ったのが極地研の研究者だった。その人に「極地研に来い」と言われなければ、南極に行くこともなかっただろうと本山は笑う。

「あの頃はちょっとツッパっていたんです。マスターを終えたときに指導教官から助手の誘いを受けたのですが、研究以外のことが面倒で『学生のままだいい』と答えました。極地研に来る前にも『南極に行かないか』という話もありましたが、ネパールヒ

う必要がある。日本製はその必要がないので掘削効率がよく、1週あたり160mと、世界最速を記録した。だが開発時には、これほど長いパイプをどこで調達するかというのも課題だった。

「水道管に使うパイプは、数%曲がっていてもまったく問題ありません。でもこっちはその中で4mのパイプも回すし、全長が12mもあるので、少し歪んだだけで孔に引っかかってしまう。その精度でパイプを作ってほしいというと、大手の業者からはほとんど断られました。最後には引抜加工技術を持つ福島県のアルミパイプ業者が引き受けてくれましたが、そこでも10本作って使えるのは1、2本。でもそれで3000m掘れ

たので、感謝しています」

他にも、氷を削るカッターやドリルモータの製造には、中小企業の特殊で優秀な技術が活かしている。最終的なドリルの組み立てや実験は一社が窓口となってまとめてくれた。だからドリルは純国産である。

「国産ということに特にこだわりはないんですが、世界中を見ても市販しているものではないし、他国は国の研究所や大学などで独自に開発している。だから外国製となると細かい注文はできず、一式を輸入することになります。でも国内なら望む性能を出す技術がありますから。今はこのドリルでの実績ができたので、逆に外国隊がまるまる日本から買っているほどです」



マラヤで自分が行かないとできない観測もあったので、断りました」

低温科学研究所で博士号を取って2年間研究に従事した本山は、1989年に国立極地研究所に異動する。そこで南極観測隊に初参加してから約30年、氷一筋の人生を歩んできた。

## 現場感覚を大切にする

映画「南極料理人」を観ると、何だか楽しそうですらある南極生活だが、本山は危うく死にかけた経験もしている。

「南極では、生活用水は雪や氷を融かして作ります。無尽蔵ですから。それで地上は寒いので、雪洞を掘って水にするのですが、どうも幅広く掘りすぎたらしくて、僕が中に入っていたときに天井が落盤したのです。雪に埋まると方向がまったくわからない。僕を呼ぶ声があったので、ようやく『こっちか』とわかりました。雪洞の端にいたので助かりました」

観測隊の帰途、シドニーのビーチで泳いだときも、海の流力が強くて岸に戻れなくなった。



ドームふじ基地の氷床コア貯蔵庫  
©国立極地研究所



「そのとき、スピーカーがあったのかそれ耳なのかわからないけれど、『慌てるな』という声が聴こえた。それで落ち着いて、ゆっくり自分で岸まで泳いで帰ってきたんです」

危機に直面してもパニックにならない本山のモットーは「なるようになる」。服も衣替え不要で、夏も冬も同じ格好だ。


「寒くてもなんとかなる。人間は意外とタフだから、体のほうが馴染んでくるんじゃないかと。ここ(極地研)で取材されたときも、マイナス50度の低温室にTシャツ、裸足にサンダルで入って説明しました。4、5分であれば全然問題ないとわかっているので大丈夫」

極地研での研究は「フィールド系」が基本だ。自分で現場に行きデータを採り、研究をまとめる。

「インターネットで入手できる客観解析データや衛星観測データを使って研究を進めるという手法もありますが、基本となる素過程を知らないと間違った解釈をしやすい。だから研究者にはできれば現場を見てほし

い。そうすると、物事がそんなに単純ではないことがわかります」

たとえば「10 cmの積雪」と聞くと平らに積もっているように思えるが、南極では積もり方が不均一だ。そこで何が起きていて、どう測ればいいのかを十分に考えた上で観測し、その現象の本質を明らかにする必要がある。

「氷床コアからはさまざまな過去の情報が復元されますが、きちんとした時間軸を作ることが最も重要です。すなわち過去の正確な気候変動をうまく再現する気候モデルを使うことによって、将来の予測の信頼性が増します。100年後に2度上がるのか、8度上がるのか、そういう予測のばらつきも収束していくのです」

### 聞き手より

最後に、南極に着いてドリルが上がってこないときや知ったときの気持ちを聞くと「やる事がなくなって気が楽になった」。そのタフさを見倣いたい。

特集

# 探る

何かを知れば知るほど、  
もっと知りたくなる。  
そしてその先にあるものを、  
人は求め続けてきた。  
この世界を探る旅は、果てしない。

## 01 研究紹介

### オーロラは歌っていた ～実証された「脈動オーロラ」の発生メカニズム

短い周期で明滅する「脈動オーロラ」。東京大学の笠原慧 准教授らのグループがこの現象の観測に成功し、発生メカニズムを実証した。

(脈動オーロラとは) オーロラが数秒から数十秒の短い周期で明滅する現象。地球の磁気圏上で電子の振る舞いが間欠的に変化するためと考えられてきたが、これまで直接観測されていなかった。

#### 実証のキモは電子の観測

神秘的かつ幻想的な光の芸術、オーロラ。カーテンのようにゆらゆらと揺れる姿を思い浮かべる方も多いだろう。オーロラは、宇宙空間から降り注ぐ電子によって励起された大気が発光する電磁現象だ。しかし、オーロラが短い周期で明滅することはあまり知られていない。「脈動オーロラ」と呼ばれるこの現象は、大気に降り注ぐ電子の量が間欠的に変化するために起きる。これについては、大気から遠く離れた磁気圏の中で、電磁波動の一種であるコーラス波動<sup>※</sup>と、磁力線に沿って南北方向に往復運動する電子が共鳴するというメカニズム(図1)が提唱されていた。これを実証するキモとなるのは、南北方向に運動する電子の観測だ。笠原慧 准教授(東京大学理学部・地球惑星物理学科)はこう語る。「従来の観測器は電子の入射角の分解能が

低く、狙った方向の電子と他の電子を分離することができませんでした。そこで今回、自分たちで高い角度分解能を持つ観測器を作ることにしたのです」

つまり笠原氏は、宇宙科学的な研究だけでなく、測定器そのものを開発することで、脈動オーロラの発生要因を観測することに成功したのだ。

<sup>※</sup>コーラス波動  
地球の磁力線上の電磁波が1kHz～数kHzで強度変化する波動。この周波数は可聴域であるため、アンプを通すと小鳥のさえずりのように聞こえることからこう呼ばれる。(p.14に関連記事あり)

#### 角度分解能を上げるアイデア

学生時代、「オーロラ研究って面白そう」と地球惑星物理学を専攻した笠原氏。そこから研究を進めていくうちに、自分で作った観測器で採ったデータを解析することにロマンを感じるようになり、「オーロラ研究」と「観測器開発」を両輪に大学院へ進学。



笠原慧 准教授(東京大学 理学部)

大学院在籍時の2008年から今回の観測器の開発をスタートさせた。

だが、開発の過程で最も苦労したのは、スケジュール管理やメーカーとの交渉などの「マネジメント」だったという。「専門的な設計の楽しみは2割以下。プロジェクトが正式採用されてからは毎日のように問題が起り、日々トラブルの波乗りをしているような状況でした」と、笠原氏は当時を振り返る。

そうした中で、「角度分解能を上げる」という大命題は、どう実現したのか。それは、技術的な発明というよりも、実はアイデア勝

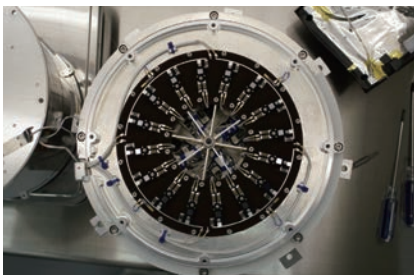


負によるものだった。概要はこうだ。従来の観測器は、飛んできた電子をキャッチするセンサが大きく、方向検出に精度を欠く。ならば小さなセンサを敷き詰められると理想的だが、コストや重量が増えてしまう。そこで笠原氏らは、小さなセンサを、隙間を空けて配置する手法を採用したのだ(図2)。「隙間があると電子をキャッチできない死角が生まれますが、センサを小さくすることで、キャッチできた電子の角度分解能は上げられる。つまり、捨てる部分が出てきたとしても、受け取れたものをより精密に測定しようと考えたんです」

### プロジェクトにかける思い

これだけの苦勞をして開発した観測器も、万が一衛星打ち上げに失敗すれば、10年近い歳月が一瞬にして水の泡となる。「だからこそ」と、笠原氏は続けた。「衛星打ち上げは、各分野の研究者やメーカーが、自身の職責、もっと言うと人生をかけて開発をする、絶対に失敗が許されないハイリスク・ハイリターンプロジェクト。だからこそ、その集大成としてデータが得られた時は非常に高揚しますし、今回論文を書くにあたって、お礼を言いたい人が本当にたくさん頭に浮かんだ。それがこのプロジェクトに参加できて一番嬉しかったことでした。そして、大学院生の時に“この研究をやろう”と決めて正解だったと思った瞬間でもありました」

取材・撮影  
布施雄一郎(音楽テクニカルライター)



観測器の実物《MEP-e:中間エネルギー電子分析器》  
(画像提供:笠原慧)

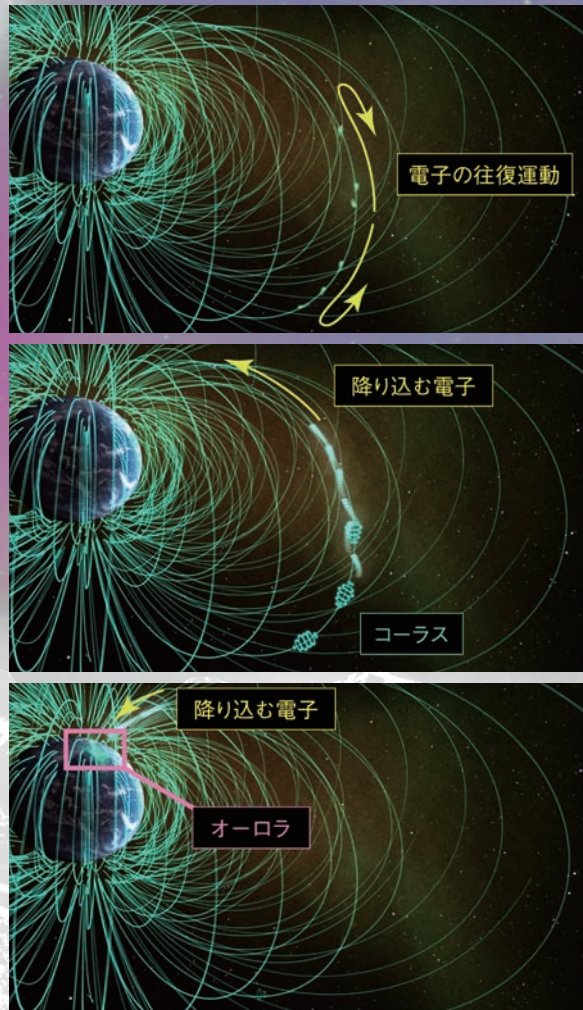


図1 脈動オーロラ発生のメカニズム  
© ERG science team



動画(テロップ、BGMあり)  
<http://vimeo.com/255272730>

- 1 地球の磁力線を電子が往復運動している
- 2 間欠的に発生するコーラス波動と共鳴しエネルギーを増した電子が南北極地に降り込む
- 3 間欠的に降り込む電子により脈動オーロラが発生する

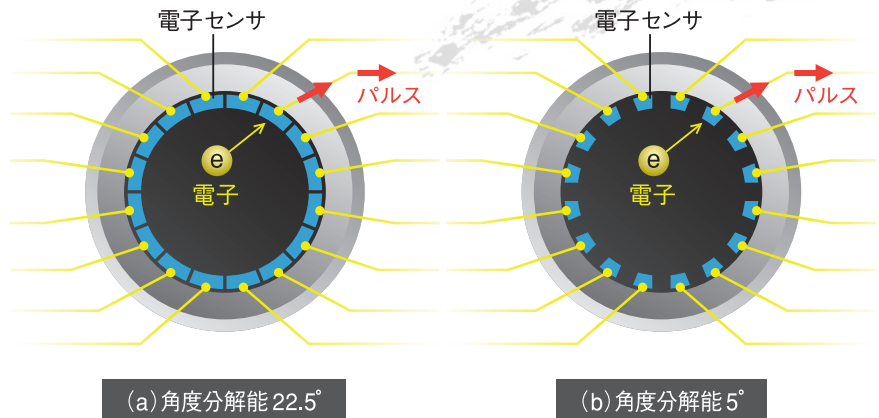


図2 電子センサのイメージ図

- (a) 従来のセンサ。16個のセンサを円周上に敷き詰めている
- (b) 改良したセンサ。角度分解能を上げるためセンサを小さくし、間隔を空けて配置している



# 雲をつかむような話をしよう ～エアロゾルを測る

地球温暖化、酸性雨、PM2.5。いずれも地球環境の大きなトピックだが、これらに大きく関係しているのが「エアロゾル」だ。南極でのエアロゾル観測について、国立極地研究所の塩原匡貴<sup>まさたか</sup>准教授にお話を伺った。

## エアロゾルは複雑怪奇

温暖化や寒冷化といった地球規模の気候変動には、いくつかの要因が考えられる。その一つが、微小な粒子が空気中を漂う「エアロゾル」であり、またそのエアロゾルの粒子を核として作られる雲だ。エアロゾルは、地球の気象や気候変動の仕組みを知るための重要な手掛かりとなる。

エアロゾルの微粒子は、光を散乱したり吸収したりする。散乱すると日射を跳ね返すので寒冷化に向かい、吸収すると空気を温めるので温暖化に向かう。また、雲はエアロゾルの微粒子を核として水蒸気が集まり凝縮したものだ。だからエアロゾルがないと雲はできないし、どのようなエアロゾルなのかで雲のでき方や性質も変わる。雲も太陽光を遮るので、地表気

温に影響する。光の散乱・吸収による地表気温への影響をエアロゾルの「直接効果」、雲による影響を「間接効果」と呼ぶ。このように地球の気候に直接・間接に影響を与えるエアロゾルだが、その粒子には工場排煙や排気ガスなど人為起源のもの、火山の噴煙、土壌、海洋の波など自然起源のものがある。これらの粒子は一般的には光を散乱するので、寒冷化の要因と考えられていた。しかしのちには、燃焼時に発生する黒色炭素(スス)が熱吸収性を持ち、逆に温暖化に作用することがわかった。一口にエアロゾルと言っても、気候への影響はこのように複雑だ(図1)。

現在科学者の間では、ここ100年で0.7度程度気温が上昇したと理解されている。温室効果ガスの増加分だけで計算するともっと気温が上がるはずだが、実際には

それより低く抑えられているのは、このエアロゾルの光散乱による寒冷効果のためではないかと、1995年のIPCC<sup>\*</sup>の報告書はすでに述べている。IPCCは米国のゴア元副大統領とともに、地球温暖化問題の提唱により2007年にノーベル平和賞を受けた。1990年以降約5年ごとに報告書を発行しており、今回は6度目となる。

<sup>\*</sup> IPCC  
気候変動に関する政府間パネル  
(Intergovernmental Panel on Climate Change)

## 南極でエアロゾルを測る

昭和基地では、リオンのパーティクルカウンタを使用し、大気中の微粒子の大きさや数を通年でモニタリングしている。これは地表付近のエアロゾルの計測だ。基地の人間活動の影響を受けないように、

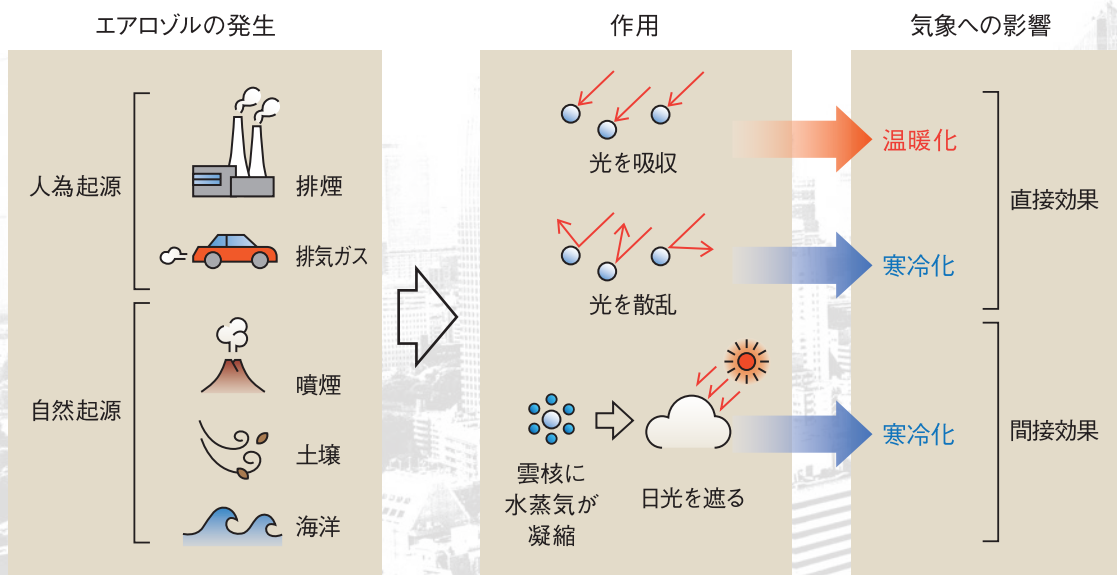


図1 エアロゾルと気候への影響



少し離れた清浄大気観測室(AOH)内にパーティクルカウンタを設置し、外から空気を引き込んで計測する(図2)。

通常パーティクルカウンタは、クリーンルームなどの清浄な空気をモニタする装置なので、日常空間の大気は測定範囲外だ。しかし南極の大気は非常にクリーンである。水分凝縮の核がないので、息を吐いても白くならない。微粒子の大きさと数だけでなく、種類の分析や、太陽光や空の明るさなど、いろいろな装置を使って南極のエアロゾルが観測されている。「元々南極には人が住んでいないので、基本的に人為起源のエアロゾルはありませんが、時々燃焼性のエアロゾルが観測されることがあります。だから、エアロゾルがどこからかどのように運ばれているかを調べることも一つの重要な研究目的です。全体的には、海洋起源

がほとんどだとわかってきました。」(塩原氏)

さらにパーティクルカウンタは、南極だけではなく、日本と昭和基地の間を航行する観測船「しらせ」にも搭載されている。太平洋、フィリピン沖、インドネシア沖、オーストラリア沖など、航行中にエアロゾルを計測してその違いを調べる。往復の道中も重要な観測期間なのだ。

### エアロゾルの最新トピック

現在は、どの粒子がどんな雲を作るのかという研究が盛んだ。人為起源と違い、自然起源のエアロゾルにはまだ不明なことが多い。中でも、花粉やバクテリアなどのバイオエアロゾルが、雲を作るのに重要な役割を果たしているということがわかってきて、注目を集めている。

「私たちは大気1cc中にどういふ粒子が何個あるかということのを定量的にきちんと測りたい。だから流量も重要だし、粒径が正確に測れることが重要です。リオンさんは校正をきちんとやってくれるので、信頼しています。(—南極では使用温度範囲を下回るのでは?)設置は屋内なので、マイナス何十度ということは基本、ありません(笑)」(塩原氏)

(取材協力)

国立極地研究所 気水圏研究グループ



塩原匡貴 准教授(国立極地研究所)  
撮影 吉竹めぐみ



図2 エアロゾルの観測を行っている昭和基地の清浄大気観測室(AOH)。左側のタワー上部から空気を室内に引き込む

© 国立極地研究所



AOH内に設置されたものと同型のパーティクルカウンタ(リオンKC-01E)

# より早く、正確に ～トンネル打音点検の効率化を目指して

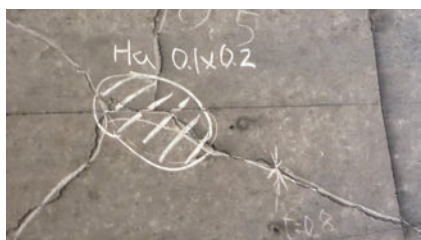
日本国内のトンネルの数は約1万本、総延長は4,000 km。

これらのトンネルを正確かつ効率的に点検するための新たな取り組み<sup>※</sup>について紹介します。

※ 西日本高速道路エンジニアリング九州株式会社、株式会社エルウイング、リオンの共同研究

## 現在の点検における課題

日本には1960年代の高度経済成長期以降に建設された橋梁やトンネルが数多く存在し、今から30年後には、トンネル全体の約60%が建設後50年以上となる見通しです。トンネルが老朽化すると、壁のはく落や天井板の落下などが発生します。点検技術者の不足も懸念される中、将来にわたってこれらインフラをどのよう



トンネル壁の異常部(割れ)の例

に正確かつ効率的にメンテナンスするかが重要な課題になっています。

現在のトンネル点検は、点検車のデッキに乗った作業員が、トンネル表面を側壁部から天端部までくまなく目視し、また適宜ハンマで打音して異常の有無を判断します(図1)。特に打音は、片側車線とはいえ車両が通行する中で、耳で音を聞いて確認します。このような点検方法は、技術者の経験と感覚による熟練度に大きく依存します。

そこで、判断の個人差の抑制、定量的な判定および記録を目的として、回転打音点検器具を用いた点検システムの構築実験を行いました。求められるのは、コンパクトで持ち運びがしやすい器具であること、効率的に点検できること、そし

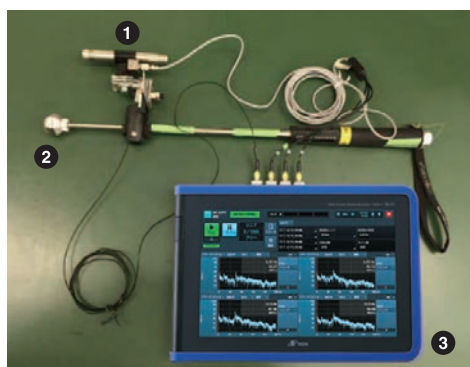
て車両が通過する騒音の中でも音で良否が判定できることです。



図1 点検車のデッキでトンネル壁面を検査する

## 打音点検の効率化

通常使用する点検ハンマは1回で1点の打撃となるため、広い範囲を点検するには多くの回数を打撃しなければならま



- ① マイクロホン(UC-59+NH-22)
- ② 回転打音点検器具
- ③ 記録用分析器(SA-A1)

図2 回転打音点検器具の測定システムの構成

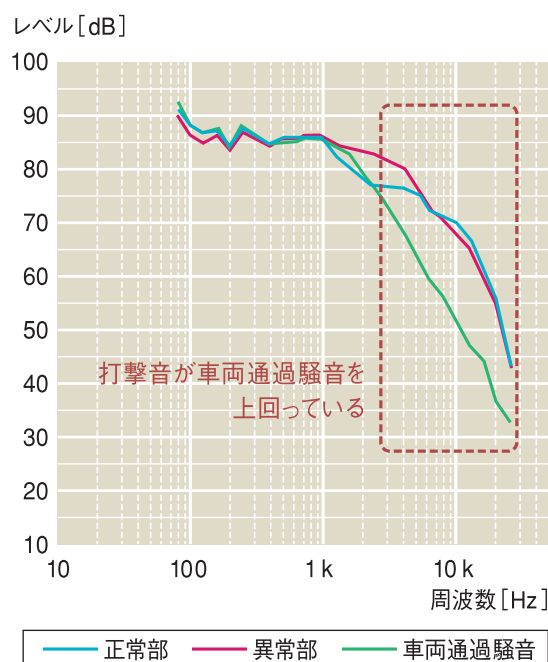


図3 1/3 オクターブバンドレベルの比較



せん。今回使用した回転打音点検器具は、回転部を壁に押し付けて転がすことで連続的に打撃音を発生するため、短時間で広範囲の点検を行うことができます。ただ構造上、通常の点検ハンマよりも打音が小さくなるため、車両騒音の影響が課題となります。

回転打音点検器具を用いた良否判定の可能性を探るため、マイクロホン(リオン UC-59+NH-22)を取り付け、回転打撃時の音を記録しました。また同時に、別のマイクロホンで車両通過騒音も測定しました。比較のために、正常部と異常部(剥離)をそれぞれ114データ、また車両通過騒音76データを分析器(リオンSA-A1)に記録しました。測定システムの構成を図2に示します。

## 回転打音で良否判定ができるのか

◎回転打音が車両通過騒音に埋もれないか  
分析した1/3オクターブバンドレベル(図3)を比較すると、1kHz以上の周波数域では打撃音のレベルが車両通過騒音を上回っており、打撃音が埋もれずに測定が可能であることがわかります。

◎異常部と正常部の音による区別が可能か  
周波数帯域ごとの異常部と正常部のレベル差(図4)からは、異常部は正常部より2.5kHz帯域で約6dB大きく、10kHz～20kHz帯域で約1～2dB小さいことがわかります。また周波数域ごとのレベルの度数分布では、正常部、異常部、車両通過騒音

音の分布に特徴が見られます。例として2.5kHz帯域での度数分布を図5に示します。

これらの結果から、車両通過騒音下においても、正常部と異常部を区別できる可能性があることがわかりました。今後も他のトンネルの測定を行い、データを収集・分析して新たな打音検査システムの実用化を目指します。

(参考文献)

- ・谷口(西日本高速道路エンジニアリング九州), 第26回トンネル工学研究発表会, 報告I-16, 2016.
- ・Yonemoto *et al.*, Noise - con 2017 Proc., NC17-434, 2017.
- ・中島・米元・桑野(エルウィング)・谷口, 日本音響学会2017年秋季講演集, pp.927-930, 2017



米元 雄一  
(音響振動計測器開発課)

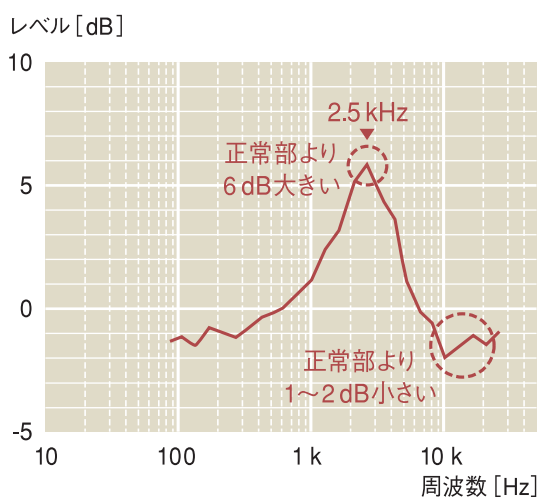


図4 1/3オクターブバンドのレベル差 (異常部－正常部)

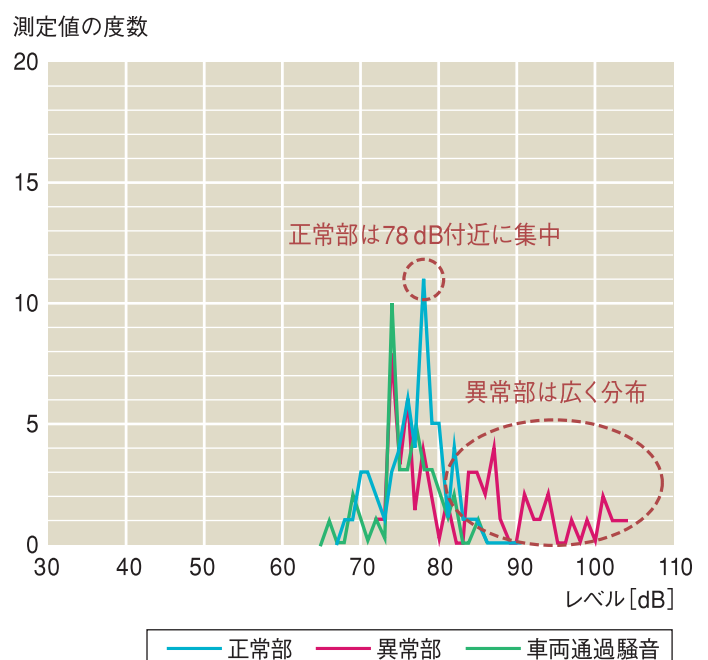


図5 2.5 kHz帯域での度数分布

# わかった！計測器

当社の計測器をタテ・ヨコ・ナナメから3回シリーズで解説します

## クリーンルームの規格とモニタリング（第2回） 「多点モニタリングの手法」

高度な清浄度が要求される医療用クリーンルームとそのモニタリングについて、2回目の今回は、複数のセンサを使用する多点モニタリングについて解説する。

### 多点モニタリングの必要性

医薬品の製造時には、GMP※<sup>1</sup>ガイドラインに則って日常的なモニタリングを行う必要があることを前回述べた。

医薬品製造工程で利用されるクリーンルームは、極めて高い清浄度であったり、工程によって異なるグレードのクリーンルームを使用していたりする。このような場合にも清浄度を適切に管理できる手法とし

て、多点モニタリングがある。多点モニタリングでは、管理環境のグレードごとに対象の粒径としきい値を設定することができる。これにより、粒子数がしきい値を超えた場合に警報を出したり、測定点に表示灯を設置して作業者に知らせたりする。清浄度の多点モニタリングシステムには、構成機器と測定方法の違いによって大きく分けるとチューブ多点とセンサ多点の2種類がある。チューブ多点は、清浄度を計測

するパーティクルカウンタに接続されたマニホールド（切替器）から複数の測定点にサンプリングチューブを設置し、測定点を順次切り替えながら計測する方法である。パーティクルカウンタが1台のため、比較的安価にシステムを構成できる。一方センサ多点は、複数のパーティクルカウンタを測定点の数だけ設置するため、測定点の自由度が高く、測定点ごとに独立したスケジュールで測定することも可能である。このよう

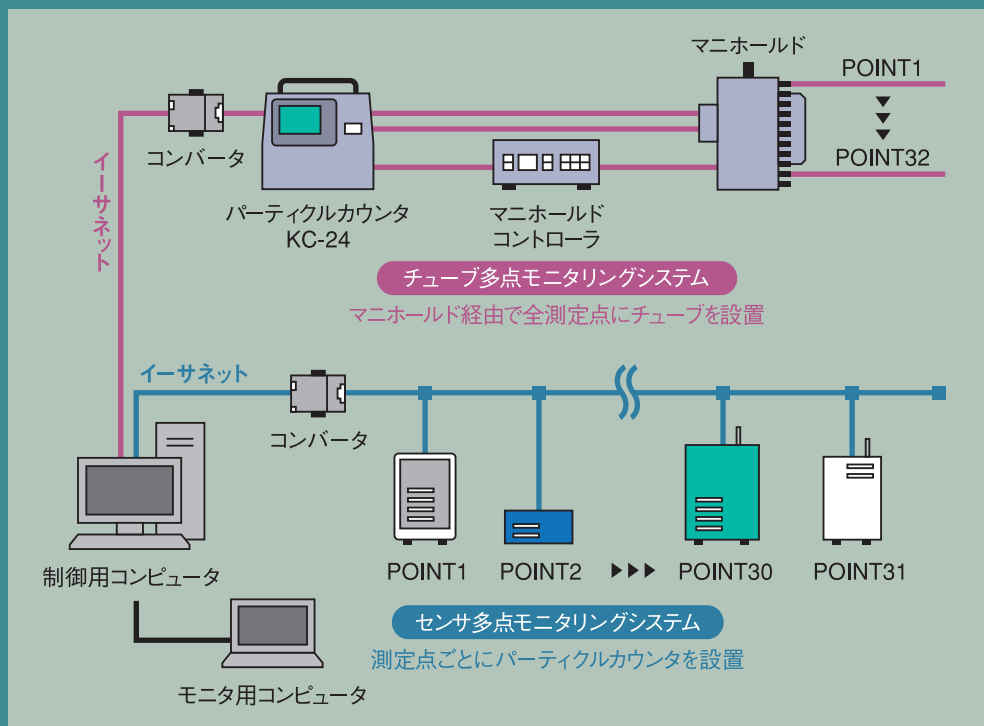


図1 多点モニタリングシステムの構成例



に、測定システムとしてはセンサ多点が優れている。多点モニタリングシステムの接続例を図1に示す。以下では主にセンサ多点モニタリングシステムについて述べる。

※1 GMP (Good Manufacturing Practice)  
医薬品及び医薬部外品の製造管理及び品質管理の基準に関する省令

## センサ多点 モニタリングシステム

センサ多点モニタリングシステムでは、各測定点を常時監視できることから、問題が発生した場合の発見が早く、状況確認や原因調査を効率的に行うことができる。

このシステムに使用されるパーティクルカウンタには、試料空気を吸引するポンプを内蔵するタイプと、内蔵しないタイプの2種類がある。

ポンプを内蔵しないタイプでは、別途外付けのポンプもしくは真空源を用意する必要があるが、1台のポンプで複数台のパーティクルカウンタの試料空気を吸引することができることから、条件によってはコストを抑えたシステムを構成することができる。

ポンプを内蔵するタイプでは、パーティクルカウンタを設置場所から取り外して持ち運びできるものもある。これらのパーティ

クルカウンタは任意の場所での一時的な測定にも使用でき、便利である。

## 正確な測定を妨げる要因

パーティクルカウンタは試料の前処理が不要で、試料導入後はリアルタイムに測定できることを特長としているが、正確な粒子数を測定するために、試料の吸引や搬送の過程で粒子の損失が発生しないよう注意が必要である。正確な測定を妨げる主な要因を挙げる。

### (1) 吸引速度の影響

測定対象環境の気流速度とパーティクルカウンタの吸引速度の関係は、粒子濃度に影響する。図2にサンプリング管での吸引イメージを示す。(a)のように吸引速度と気流速度が等しければ、計測した粒子濃度と管理環境の実粒子濃度が等しいと考えられる。しかし(b)のように吸引速度が気流速度より速い場合、粒子は慣性力によって気流の流れに追従できなくなり、サンプリング管に入らない可能性がある。逆に(c)のように吸引速度が気流速度より遅い場合は、外に逃げるはずの粒子がサンプリング管に入ってしまう可能性がある。このようなことを防ぐために、センサごとに

試料空気を等速吸引するためのプローブが用意されているので、それを装着した上で測定を行う。

### (2) サンプリング管の材質の影響

粒子が通過するサンプリング管の材質によっては、粒子が影響を受けることがある。テフロン系やシリコン系などの帯電しやすい素材の管では、粒子が吸着しやすく正確な測定の妨げとなるため、避けたほうがよい。

### (3) 吸引角度の影響

サンプリング管が気体の流れに対して角度を持つ場合、角度に応じて計数率が変化する。吸引口が傾いた場合の粒子挙動のイメージを図3に示す。角度 $\theta$ が大きいと、流線の曲がり追随できない粒子がサンプリング管に入らない可能性がある。この影響は粒径が大きいほど大きくなるが、 $\theta$ が $30^\circ$ 以内であれば、粒径 $10\ \mu\text{m}$ 程度までは正しい測定が可能と考えられている。

次号最終回では計測の正しさを保証するための「バリデーション」について述べる。



根津周平  
(微粒子計測器開発課)

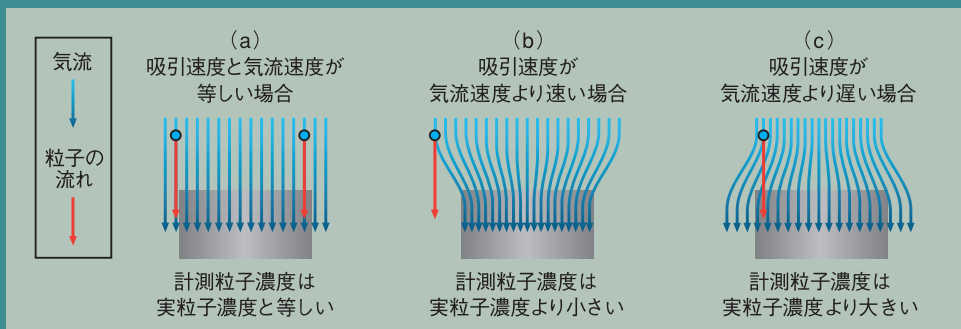


図2 吸引速度の影響

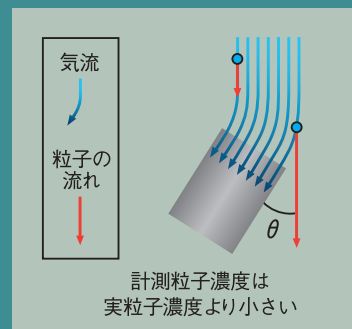
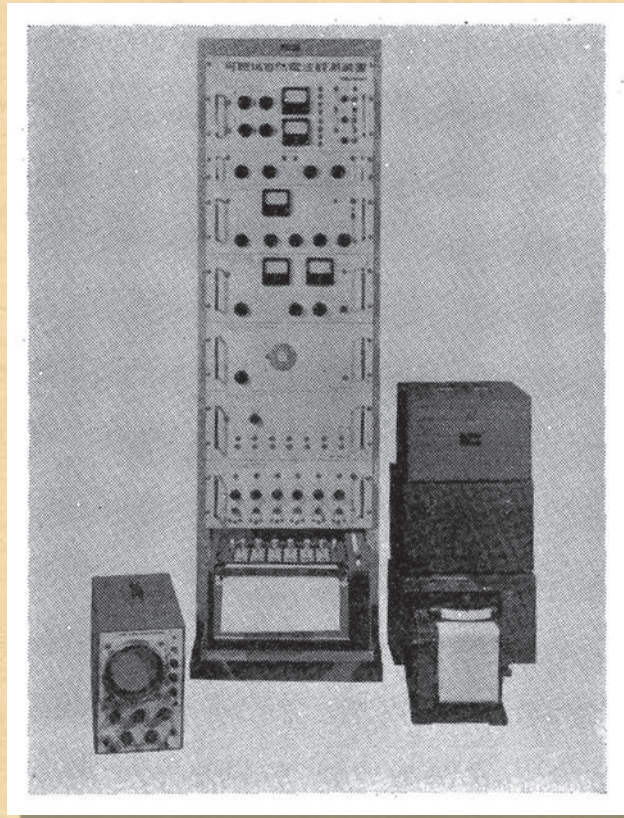


図3 吸引角度の影響



製 品 温 故 知 新

## 南極で活躍した特注品 可聴域自然電波観測装置



南極とリオンの関わりは意外と古く、オーロラの「音」を分析するために南極に持ち込まれた機器がありました。開発に関わった川崎茂則さん\*にお話を伺いました。

\*同製品開発時は技術部第1課

——「可聴域自然電波」とは耳慣れない名称ですが、何でしょうか。

地球の表面を覆う大気中で起きる電気的な雑音で、音として聴こえる範囲のもの。身近な例としては、雷とか、雲の間の放電のような「空電現象」。でも実際に観測の対象となるのは、これらから二次的に発生する、「ホイッスラー」(後述)と呼ばれる笛の音のような澄んだ音。

——なぜそれを南極で。

空電現象は南極のような極地ほど発生頻度が高くなるので、観測しやすくなるから。オーロラもその一つ。この装置は第七次南極観測隊(1965年)のとき、昭和基地で使用されたと聞いている。

——開発の経緯は。

南極で電離層などの観測を担当する東京大学地球物理学教室からの依頼で開発

された特注品。ベースとなったのはサウンドスペクトログラフ。音声分析に広く使用されていた。

——川崎さんが担当されたのはどの部分ですか。

真ん中に大きなダイヤルがついているフィルタモジュール。技術部に配属されてすぐに、上司から「こういう特性のフィルタを作れ」と言われて作った。処理する信号



のS/N比を上げるために使われる。ダイヤルで通過帯域の中心周波数を選択する。

—— 当時は当然、アナログのフィルタですね。

そう、コイルとコンデンサのフィルタ。分析対象の周波数が低いほど、インダクタンスを大きくするためにコイルをたくさん巻く必要がある。大きさは高周波用だと3 cmくらい。でも100 Hz 以下になると10 cm以上になるので、当時は50 Hz くらいが限界だった。大きいうえに、重さも10 kgくらいあったと思う。

—— コイルはどのくらい巻くのですか。

低周波領域では3000 ターンとか4000 ターン。ボビンにコイルを巻いていくのだが、きれいに巻かないと膨らんでしまって、フェライトコアに収まらなくなる。

—— 機械で巻くのではないのですか。

量産品ではないので手巻きだった。たくさん巻くにはコイルは細い方がいい。だが細いと直流抵抗が増えて挿入損失が大きくなってしまい、つまりフィルタを通した後の信号レベルが下がってしまう。だから回路としては太方がいい。その太さのバランスが課題だった。あと、細いと実際切れやすい。朝から一日中巻いていて、途中で

切れると相当ガッカリした。

—— かなり原始的ですね。

あと、素手で巻くと汗で線材の絶縁が腐食するので手袋をしていた。量産品だったら外注に出せるけど、これは特注品なので自分で巻いた。

—— オペアンプを使わなかったのはなぜですか。

構造が簡単になるし、中でノイズが発生するものがないのでS/N比が良い。すでにリオンの標準品として販売されていたフィルタも重宝されていた。定K型(コンスタントK型)というフィルタの設計式に則って作っていたものが多い。

—— 仕事は面白かったですか。

面白いときも、死にそうなほど苦労したときもあった。面白いといひ自分一人で楽



川崎茂則さん

しんでしまって、それを商売にしようというときに周りがついて来られない。ヒラのときはまだいいが、上の立場になったときは、人材を育てるという感覚がとても大事。

—— 人材を育てるにはどうすればいいのでしょうか。

自分で一生懸命やらせることも必要だが、放っておくのではなくて、如何にタイミングよく「こういう方法もある」と助け舟を出すか。悩んでいる担当者に、介入しすぎない程度に上司と一緒に悩む。そういう人と人とのやり取りがないと、なかなか人は育たない。自戒を込めてだが。

聞き手：関島範史

#### 【ホイッスラー】

地球表面で発生する空電現象のうち、電話などを通して笛のような音が聴こえる現象を一般にホイッスラー(笛音空電)と呼ぶ。ホイッスラーからは、地球上空の電離層、さらにその上にある磁気圏についても知ることができるため、1950年代以降、盛んに研究された。可聴域自然電波観測装置は、このホイッスラーを分析するための装置である。

なお、「脈動オーロラ」(p.6参照)の発生に関わる小鳥のさえずりのような「コーラス波動」も、このホイッスラーの一種である。



定K型を用いたフィルタ製品 SA-2704(1959年)



第七次南極観測隊を運んだ観測船「ふじ」 ©国立極地研究所



オフィスから  
こんにちは  
国分寺編



## 国分寺駅北口 cocobunji プラザ内にオープン 「リオンホール」と「リオン広場」

2018年4月、リオン最寄りの国分寺駅北口西街区ビル「cocobunji WEST」の5階に「cocobunji プラザ」がオープンしました。これは“国分寺市の魅力を発掘・発信するまちのぶんかターミナル”となる国分寺市の公共施設です。

当社は来年2019年6月には創立75周年を迎えます。この節目を前に、地元市民の皆様の豊かな生活を応援したいとの思いから、同施設のネーミングライツ（命名権）を取得しました。「リオンホール」および「リオン広場」です。

「リオンホール」は、主に市民の皆様の情報発信と交流を促進する開かれた空間で、最大椅子席が260席の多目的ホールです。また隣接する屋上スペース「リオン広場」は、様々な年齢層の皆様がくつろぎ、なごむことのできる緑ある屋外空間です。これらが市民の皆様に愛される集いの場、憩いの場となることを願っています。

cocobunji プラザのオープニングイベントでは、当社はネーミング記念イベントを開催。計測器部

門は「音と振動に触れてみよう!」というタイトルで、騒音計を使った「大声コンテスト」や地震計を使った「じだんだ君」など、9つの体験コーナーを実施しました。

### 「大声コンテスト」担当者

騒音レベルを身近なものの音でわかりやすく表した「音の大きさの目安」を使いました。「ヘリコプター」級(約110 dB)の音を出した女性や、高い声や低い声など様々な工夫をしてトライしてくれた男の子などもありました。

### 「じだんだ君」担当者

板の台を踏んでもらって「震度」を測ります。大人の人は遠慮がちなのですが、子供たちは飛び跳ねたりして真剣でした。地震計の最大値である震度7を出したお子さんもいましたが、本物の地震がそのくらい激しいと感じてもらえたと思います。



リオンホール。窓の外がリオン広場(国分寺市提供)



リオン広場で大声コンテストにトライする少年(数値はトライ前)

## リオンホール

国分寺市立 cocobunji プラザ (注:リオンではありません)  
所在地:東京都国分寺市本町3-1-1 cocobunji WEST 5階  
お問い合わせ:042-325-6330





## サイエンス コラム

### サイズダウン

昭和40年代のチョコレートの宣伝に「大きいことはいいことだ」というのがあった。当時の経済発展の雰囲気と勢いをうまく表している。しかし、巨大化は日本人本来の志向ではないと李御寧氏が著作『縮み』志向の日本人で書いている。日本人の知恵は拡大ではなく縮小に向けてこそうまく働く。神話で大国主神と国づくりをした小さな神様スクナビコナ以来、日本人は小さいものに神通力や魔力を見てきた。一寸法師に桃太郎、牛若丸。聖徳太子も幼少の頃から神通力を示されたという。

リオンは航空機騒音の自動監視装置を製造している。その最新機種NA-39Aは従来製品に比べてサイズが1/3になった。周波数分析などの機能拡充も考慮すると1/6以下になっている。30年前の製品と比較すれば1/12になる。自動監視装置には音の到来方向を検出する装置と配列マイクロホンが装備されるが、その配列間隔も2mから1m、50cm、25cmと短くなってきている。ダウンサイジングはわが国の工業製品の発展の基軸となってお

り、リオンの製品にもその精神、縮み志向がしっかりと働いているということだ。

サイズダウンがさらに進めば手のひらサイズの自動監視装置も夢ではないかもしれない。そう願っている。しかし問屋は簡単に卸さない。どんな技術も成熟し、やがて飽和する。これを突破するブレークスルーをいかに実現するか。スクナビコナに学び、頼むのも良いかもしれない。種まきや温泉開発、医療、知識の神様だから……。

山田一郎（顧問、空港環境整備協会非常勤理事）



イラスト：多田遼馬（音響振動計測器製造技術課）



長野県上田市の祇園祭にて（2017年7月）撮影：春原政浩（事業技術開発課）

神輿を担いで練り歩く祭りは、日本の夏の風物詩だ。掛け声「わっしょい」は「和を背負い」が語源ともいわれる。一体感、高揚感とともに、故郷の平和を願う声が響く。

# 社員はV!

仕事にプライベートに輝いている社員の姿をお届け

細野誠さん 生産販売推進課

## 新発見が魅力の洞窟探検

鍾乳洞などの洞窟を詳しく探検し地図を作る  
ケイビング(caving:洞窟探検)団体に所属。日本三大鍾乳洞の一つ、  
龍泉洞の新地底湖発見時にはリーダーを務めていた。



### —— 洞窟探検を始めたきっかけは。

小学3年でボーイスカウトを始め、大学生時代に奥多摩へケイビングに行ったことです。その後、先輩とケイビング団体を立ち上げました。本格的な活動を始めたのは社会人になってからです。

### —— どんなことをするのですか。

洞窟で、主に前人未踏の通路を探検・探査しています。時にはロープ一本でアンカーを打ちながらルート作業を行い、何十メートルも昇降して移動することもあります。

### —— 狭いところが好きなのですか。

そういうわけではないです(笑)。子供と同じで、身体全部を使って遊んでいる感じが好きなのです。

### —— 大きな発見もしたそうですね。

地底湖で有名な龍泉洞(岩手県岩泉町)の調査活動で、2007年に新しい地底湖を発見しました。個人名は出せませんが、「龍泉洞、新地底湖発見」は各メディアで報道されました。

### —— 地底探検の魅力とは。

その先に何があるのか、どういう状況になるのかわから

ないところです。新しい通路や空間を見つけたときは嬉しいですね。見つけたら測量して形に残します。資料に名前が載るので、将来誰かが「話を聞かせてくれ」と訪ねて来るかも楽しみです。

### —— 危険なこともありそうですね。

通常、ロープの末端を結んでコブにする処理をしておきますが、その処理を忘れたまま約30mの堅穴部を下降していたことがありました。途中で気付かなければ、下降器からロープが抜けて10m程落下するところでした。

### —— 落ちたら助けが来るのでしょうか。

二次災害を防ぐためにも、自分の安全が確保できなければ助けに行ってはいけないルールです。なので、チームワークは大事ですが、自己責任が大原則です。

### —— 興味を持った人にアドバイスを。

危ないのであまり勧めません(笑)。しかし、経験や技術をさほど要さない洞窟も多数ありますので、チャレンジしてみるのも良いかと思います。



狭洞の測量中



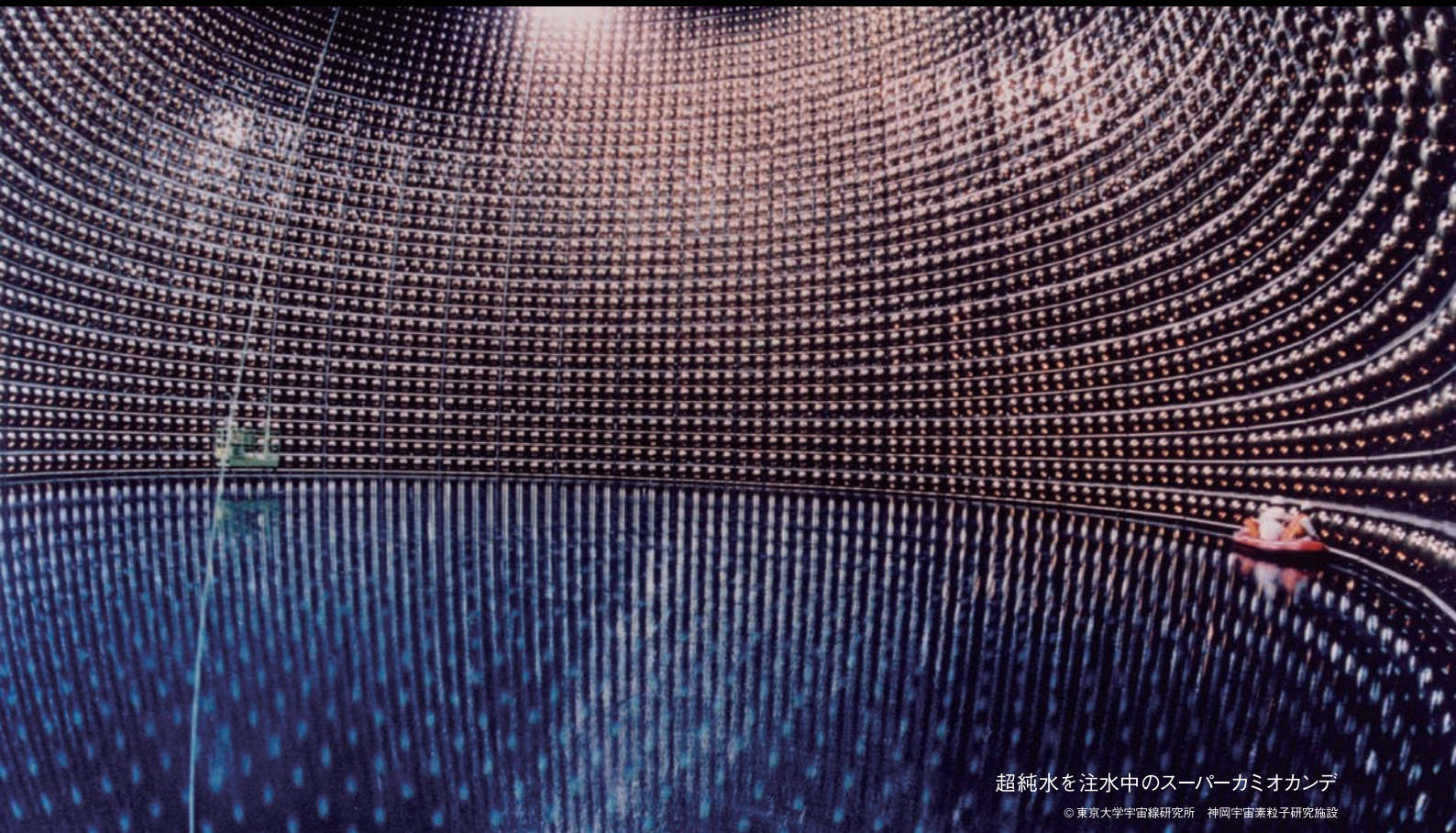
ロープを巧みに使って下降

### ◎聞き手より

なかなか珍しい趣味の持ち主です。「南極探検はどうですか?」と聞いたら「寒いから行きたくない」そうです。(富澤広忠)



# 世界最大の地下ニュートリノ観測装置 「スーパーカミオカンデ」にて 生物粒子計数器の実証実験がスタート



超純水を注水中のスーパーカミオカンデ

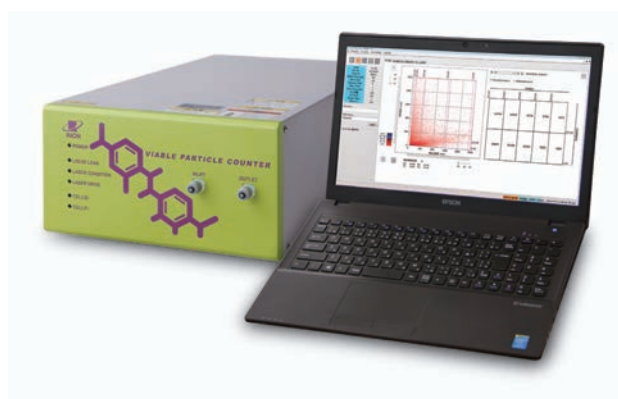
©東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設

## 大量の超純水を監視

「スーパーカミオカンデ」は、素粒子「ニュートリノ」を捉える世界最大の観測装置です。ニュートリノが水分子に衝突した結果発生する、極めて微弱な光を検出します。このため、「スーパーカミオカンデ」は5万トンの超純水で満たされています。

光の検出性能を保つため、タンク内の水は徹底的に不純物を取り去るように常に循環精製されています。この超純水のなかで、細菌が光の透過率に与える影響を調査する実証実験が2018年1月にスタートしました。この実験に使用されているのが、リオンの「生物粒子計数器」です。

生物粒子計数器は、あらゆる生物の細胞がもつ代謝活性物質「リボフラビン」(ビタミンB<sub>2</sub>の一種)の自家蛍光現象を検出することにより、生物粒子が否かを即座に判定し、その数や大きさを計数します。



生物粒子計数器

Shake Hands Vol.4では、スーパーカミオカンデがニュートリノを捉える仕組みについて解説しています。バックナンバーは巻末掲載のShake Hands専用ページから閲覧できます。





【音響振動計測器関連】

◎「環境と測定技術」Vol.45 No.3 2018

・騒音計と振動レベル計に関する基本事項の紹介/山下広大

◎日本音響学会 2018 年春季研究発表会 (3/13～15 日本工業大学)

・超低周波音源の位置推定に関する検討 —インパルス音源を用いたマイクロホン配置精度の向上— / 土肥哲也, 岩永景一郎, 小林知尋(小林理研), 中島康貴  
 ・環境騒音の音色類似度による音源同定/鈴木肇(小林理研), 中島康貴

◎「日本音響学会誌」74 巻 5 号(2018)

・風力発電施設から発生する騒音の測定システム/リオン

◎「騒音制御」Vol.43 No.3 2018.6

・道路交通振動の地盤伝搬特性の測定事例/馬屋原博光, 風間亮介, 山下広大, 尾崎徹哉, 岡本伸久, 蓮見敏之

【微粒子計測器関連】

◎「NMIJ 研究トピックス」No.6 (2018/01/09)

・マイクロメートル粒径域に対応した気中パーティクルカウンタの校正サービス / 飯田健次郎(産総研), 水上敬, 下野彰夫(汀線科学研究所), 伊藤文成(JAXA), 桜井博(産総研)

◎第4回インターフェックス大阪(2/21～23 インテックス大阪)

・生物粒子計数器新機能と不溶性微粒子試験向け新製品のご紹介/佐久間暢

◎「クリーンテクノロジー」Vol.28 No.5 2018.5

・細菌をリアルタイムに計数するシステム(生物粒子計数器)の開発/関本一真

◎第7回微生物シンポジウム(6/26 フクラシア東京ステーション)

・微生物迅速試験法 最新情報と適用事例 / 製薬用水

展示会

音響振動計測器関連 / 微粒子計測器関連

音響 日本音響学会 2018 年秋季研究発表会(9/12～14、大分大学)

音響 Automotive Testing Expo China 2018 (9/25～27、上海、中国)

音響 日本騒音制御工学会 2018 年秋季研究発表会(10/13～14、神奈川大学)

音響 計測展 2018 OSAKA(11/7～9、グランキューブ大阪)

微粒子 SEMICON Taiwan 2018(9/5～7、台北、台湾)

微粒子 再生医療 JAPAN 2018(10/10～12、パシフィコ横浜)

微粒子 SEMICON Japan 2018(12/12～14、東京ビッグサイト)

微粒子 SEMICON Korea 2019(1/23～25、ソウル、韓国)

セミナー

当社では、音響・振動に関するセミナーを全国各地で開催しています。Webサイト(<http://svmeas.rion.co.jp/event/all>)では開催日や会場、プログラムなど詳細が確認できます。

プレゼント

「Shake Hands」をお読みくださり、ありがとうございます。アンケートにお答えいただいた方の中から抽選でプレゼントを差し上げます。ふるってご応募ください。

◎プレゼント内容

QUOカード(1000円券)5名様

【応募方法】欄外記載の本誌専用ページよりご応募ください。

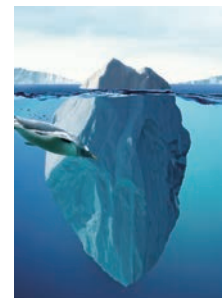
【応募締切】2018年8月31日(金)

【応募に関する注意事項】発送先は日本国内のみに限らせていただきます。発送をもって発表に代えさせていただきます。



表紙について

海に浮かぶ氷山。その大部分は海中にあり、海上にあらわれているものは全体のほんの一部という。自然相手の研究も、表面にあらわれているもの、データとして測定できるものから全体像を予測する。かなりの想像力を必要とする仕事だと思う。(小穴)



編集後記

世の中には様々な探求者たちがいる。宇宙、未開の地、空、海、形のないもの。探し求めたのが見つかった時の感動は計り知れないに違いない。人間に与えられたこの特権を楽しみながら私も生きていきたいと思う。ということで、まずは今日のランチ場所を探しに。(佐川)

南極といえば「タロとジロ」くらいしか知らなかった数ヶ月前、初めて国立極地研究所付属の南極・北極科学館を訪れました。オーロラ映像も展示もわくわくするほど面白く、今ではすっかり「南極は地球と宇宙が出会う場所」です。ぜひお子様を連れてどうぞ。(岡崎)

発行者  
清水健一

企画・制作  
Shake Hands 編集委員会  
編集長 岡崎道成

デザイナー  
小穴まゆみ(macmicron)

Special Thanks  
えくてびあん

発行日 / 2018年8月1日

Copyright © RION All Rights Reserved

本誌の一部あるいは全部を  
無断で転載・公開することを禁じます。

SH-00070 この印刷物は環境に配慮したUVインキと再生紙を使用しています

バックナンバーはこちらからご覧いただけます。

<http://svmeas.rion.co.jp/shakehands/>



リオン株式会社 環境機器事業部

〒185-8533 東京都国分寺市東元町3-20-41 <http://www.rion.co.jp/>

本誌へのお問い合わせ

環境機器事業部 企画課 TEL(042)359-7860 FAX(042)359-7458  
shakehands@rion.co.jp