

ふしぎな松代群発地震

～温泉の湧き出しと発光現象～



図1：発光現象をとらえた写真（画像提供：松代地震センター）

今から50年前の松代群発地震では、世界で始めて地震にともなう発光現象の写真が撮影されました。撮影者は松代町（現長野市）で歯科医を営んでいた故栗林亨氏です。非常に熱心に写真を撮影されていたようで、発光現象の色、明るさ、見えた方向など、詳細なデータを残しています。

1. はじめに

今から50年前、1965年8月3日に小さな地震が3つ発生しました。これが松代群発地震のはじまりです。地震の頻度は次第に増え、翌1966年には1日に585回もの有感地震が発生しました。群発地震は1967年末までつづきました。およそ2年もの間、松代は揺れ続け、人々はいつ終わるかわからない地震の中で不安に暮らしていました。いくつもの建物に被害が出ました(図1)が、幸いな被害はほとんどありませんでした。この地震の特徴として挙げられるのは、水の湧き出しによる被害と発光現象の撮影です。本稿では、これらの特徴について紹介します。また、松代群発地震が日本の地震研究の発展のきっかけになったともいわれています。最後に現在の地震学の成果である地震観測網についても触れさせていただきます。



図1
地震による被害の様子。長期間による揺れで多くの建物が被害を受けました。写真は更埴市(現千曲市)にあった農家作業場の様子。(画像提供: 松代地震センター)

2. 地震の概要

地震は大きく2種類に分けられます。本震-余震型と群発型です。私たちが通常イメージする地震は、本震-余震型です。大きな地震(本震)が起こった後、震度の小さな地震(余震)が引き続き起こります。松代群発地震はその名のとおり、群発地震です。どれが本震という区別はなく、ある期間に狭い地域で集中的に地震が発生しました。松代群発地震の有感地震回数の推移は図2のようになっています。松代群発地震はその活動の様子から、以下の5つの期間に分けられます。

- ① 1期 (1965年8月～1966年2月)
- ② 2期 (1966年3月～1966年7月)
- ③ 3期 (1966年8月～1966年12月)
- ④ 4期 (1967年1月～1967年5月)
- ⑤ 5期 (1967年6月～現在)

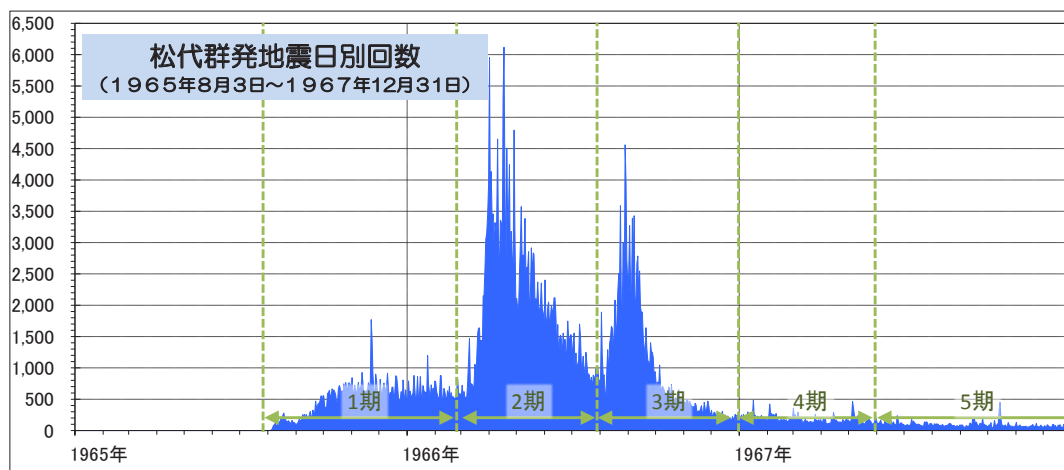


図2
地震の日別回数。(画像提供: 松代地震センター)

はじめの第1～3期の活動期は有感地震回数(図2)の3つの山に対応しています。第1期では、地震の震源地は皆神山を中心とした直径8kmの円内に限られていました(図3)。続く第2期は最も地震が激しい活動期でした。この頃には震源域が直径11kmにまで広がりました。そして、第3期、第4期と時間が経つにつれて震源域が北東-南西方向へと広がり、最終的には長径34km、短径18kmの楕円状にまで広がりました。第5期に入ると、地震の活動は衰え、現在では松代群発地震は終息したと考えられています。

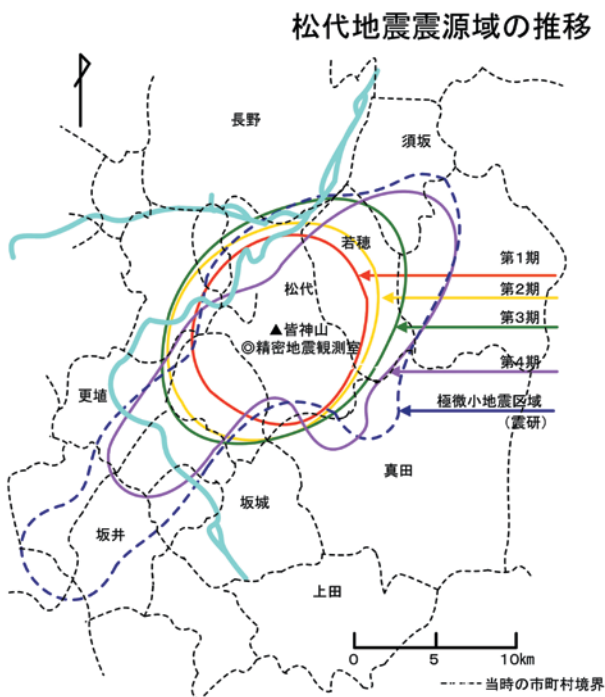


図3 震源域の推移。時間が経つにつれて震源域が広がっていききました。(画像提供：松代地震センター)



3. 温泉の湧き出し ～水の重要性～

松代群発地震の特徴の1つは温泉の湧き出しです。松代町のいたるところで大量の湧水が発生しました(図4)。この水には大量の塩素が含まれており、農作物は大きな被害を受けました。地震が激しさを増すとともに地表に出てくる水の量も増えてきました。それにともない松代町東条の加賀井温泉では、温泉の湧出量が増えていきました。これらのことから松代群発地震において、水が重要な役割を担っていることが示唆されました。松代の地下構造を明らかにするため、松代町内で深さ約2kmものボーリング調査が行われました。その際、温泉が湧き出しました(図5)。その際、湧き出した温泉は現在温泉施設で活用されています。



図5 ボーリング調査により温泉が噴き出しました。(画像提供：松代地震センター)

図4 湧水による被害。特に農家に大きな被害をもたらしました。(画像提供：松代地震センター)

4. 世界初！発光現象の撮影

地震の際の発光現象は以前にも目撃情報がありました。発光現象自体を撮影することができたのは、松代群発地震が世界初です(図6)。撮影したのは松代に住んでいた歯科医、故栗林亨氏です(図6)。彼の撮影データは気象庁地磁気観測所で整理され、以下のような特徴が述べられています。

- ① 発光現象は冬季に多く、時刻的には午前4時と午後8時前後に多い。
- ② 発光の継続時間は数十秒程度で、最初急に明るくなり、徐々に暗くなる。
- ③ 発光は個々の地震と対応しにくく、小さな地震が連続して発生しているときに多く見られる。
- ④ 発光現象にはおおむね空電(雷放電によって発生する電波)が伴っている。
- ⑤ 発光の色は、白、青白、赤、ピンク、だいたい、黄などで、緑色はない。かなり明るく、火事かと思ったり、昼のように明るかったり、目がおかしくなったのかと思うほどのものもあった。

地震による発光現象はいまだ不明な点が多く、今後の研究の進展が待たれるところです。



図6
発光現象をとらえた写真。夜であるにもかかわらず、空が明るくなっている。(画像提供：松代地震センター)

5. 松代群発地震のメカニズム ～噴火モデル～

上で述べたように松代群発地震は通常私たちが想像する地震とは違ったタイプの地震です。この松代群発地震はどのようにして起こったのかを紹介します。地震が起こった当時、そのメカニズムは不明でしたが、様々な調査により観測データが蓄積され、その理解が進みました。

現在広く受け入れられている説は水噴火モデルです(図7)。このモデルでは、地下に存在する高圧の水が地震の原因です。高圧の水が深さ数km～数10kmの岩盤の割れ目に浸入し、既存の割れ目を大きくしたり、新たな割れ目を作ったりしました。このような岩石の破壊は地震をとまらせます。地下の水は割れ目を通して地下から地表へ上昇しながら、水平方向にも広がっていき、最終的には地表に出てきます。このモデルでは、地震が複数回起こること、水がいたるところで湧き出すことなど、多くの観測結果を説明できます。

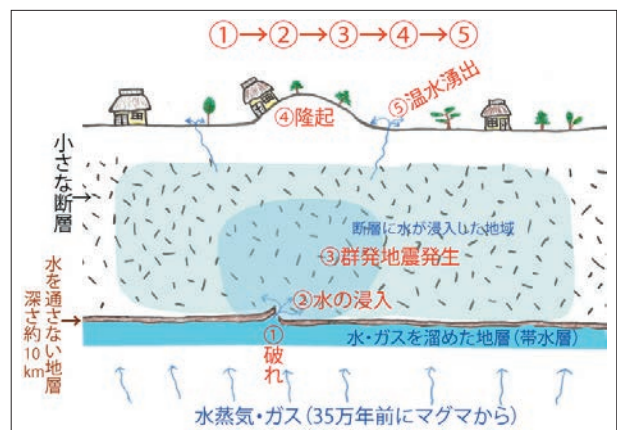


図7
水噴火モデルの模式図。地下の高圧の水が岩石を破壊し、割れ目を作りながら上昇拡散していく。これにより地震が何度も起こり、水が地表に湧き出てくる。(画像提供：塚原弘昭氏)

6. 松代群発地震から50年 ～緊急地震速報～

松代群発地震は日本の地震予知と防災の推進に大きく影響を及ぼしました。群発地震が起きる前の1962年、地震学会有志による「地震予知計画研究グループ」が取りまとめた提言「地震予知 現状とその推進計画」が公表され、1965年度から「地震予知研究計画」が国家的プロジェクトとして推進されることになりました。そして、ちょうどその年、群発地震が始まりました。さらに1968年には十勝沖地震が発生し、地震予知に関する国民の関心が高まりました。このような時代背景の中、1969年には地震予知連絡会が発足しました。この会は今も地震予知に関する情報交換の場として定期的に会合が開かれています。そして、これらの地震予知計画により、日本の地震研究は発展しました。その中の一つに、気象庁の全国地震観測網（図8）の充実があげられます。この地震観測網の発展が今の緊急地震速報を可能にしています（図9）。地震が起こると、P波とS波という2つの波が発生します。まず、P波が到達して、その後でS波がやってきます。この時間差を利用するのが緊急地震速報です。大きな被害をもたらすのはS波なので、P波が到達した瞬間に地震が起こったことを知らせることができれば、短い時間であれ地震に対する備えができます。

松代群発地震発生から50年経ちました。科学技術は随分と発達しましたが、いまだ完

全な地震予知はできていません。自然現象を予測するのは非常に難しいことですが、地道な基礎研究と継続的な観測を積み重ねていくしかありません。松代群発地震については、7月18日から始まる企画展「ふしぎな松代群発地震」でくわしくご紹介します。是非お越しください。

（学芸員 陶山徹）

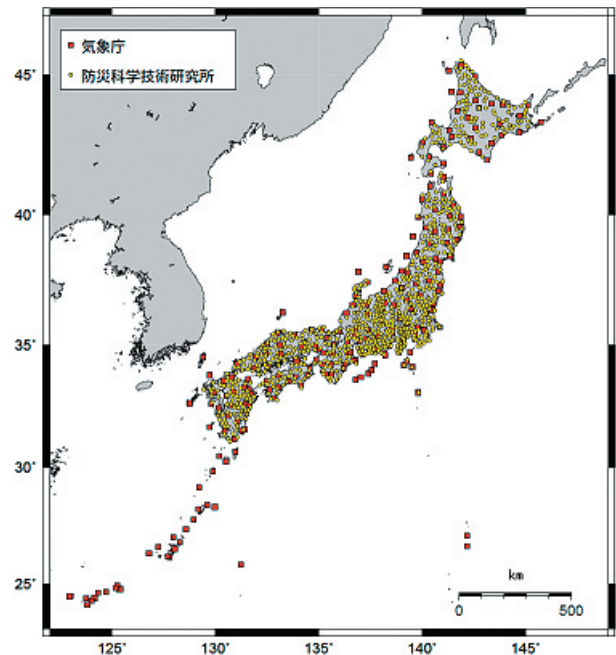


図8 日本全国の地震観測網。（気象庁ホームページより）

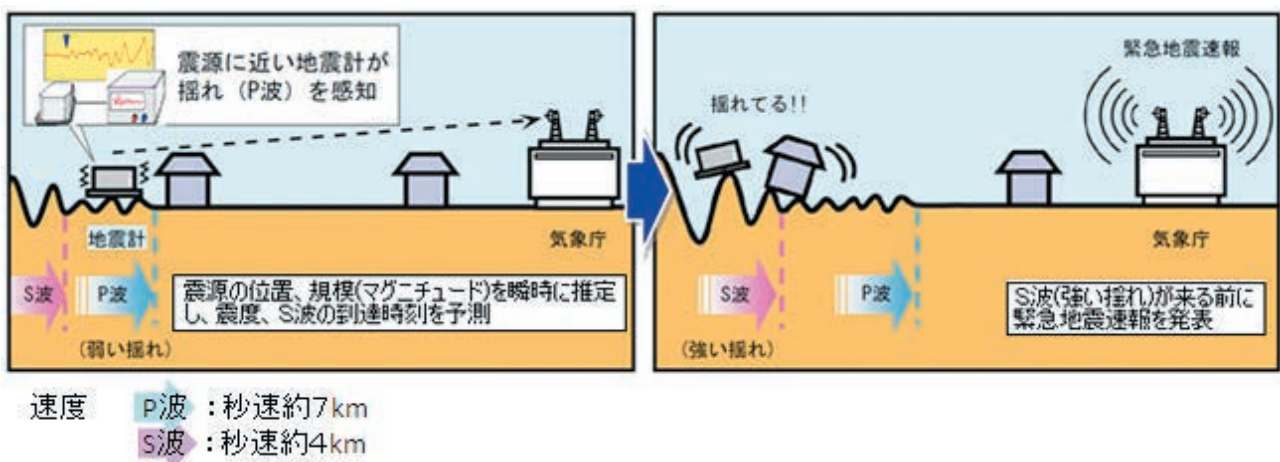


図9 緊急地震速報のしくみ。P波とS波の到達時間の差を利用して、地震の発生を知らせる。（気象庁ホームページより）

信州と科学技術のつながり —ShindaiSat を中心に—

7月18日（土）～8月30日（日）の間、企画展示「のりもの展～進化するのりものの形～」を開催します。この企画展示では、陸・海・空の乗り物について乗り物の形の変遷やそこで使われる科学技術に焦点をあててみました。例えば、新幹線の先頭車両を見比べてみたことはありますか？先頭車両の形状に求められるものは、高速走行時の空気抵抗を減らすこと、走行時の車両の揺れや騒音を減らすことなど多岐にわたります。新幹線0系からさまざまな開発の中で形作られ、変化を遂げてきた先頭車両の形をご覧ください。特に今年は、北陸新幹線開業の初年度で新幹線に注目が集まるはずです。また、予定通り行けば7月下旬には長野県出身の宇宙飛行士油井亀美也氏が宇宙へと旅立ちます。近年の科学技術の発達でより宇宙との関わりが身近になってきた今日、宇宙について学べる大学が増え、宇宙を地域の産業として地域活性化へつなげる動きが出てきました。地方から宇宙へ！を合言葉にさまざまな企業が参加した宇宙産業プロジェクトについてご紹介します。今回の展示が、信州とさまざまな科学のつながりについて、家族で考えるいいきっかけになればと思います。

○人工衛星ってなに？

人工衛星というと、台風の画像を撮る気象衛星ひまわり、BSやCS放送衛星、現在位置を教えてくれるGPS衛星、国際宇宙ステーションなどを思い浮かべるかもしれません。

そのようなことを知っている人は多いと思います。では、人工衛星とはそもそもどんなもので、どんな種類があって、その中身はどうなっているのでしょうか？簡単に言えば、地球の上空数100km～数万kmをぐるぐる回って、地球とデータのやりとりをしている

こうま座の中を移動する「ぎんれい」

モールス信号で発光（GINREIのINREが撮影された）

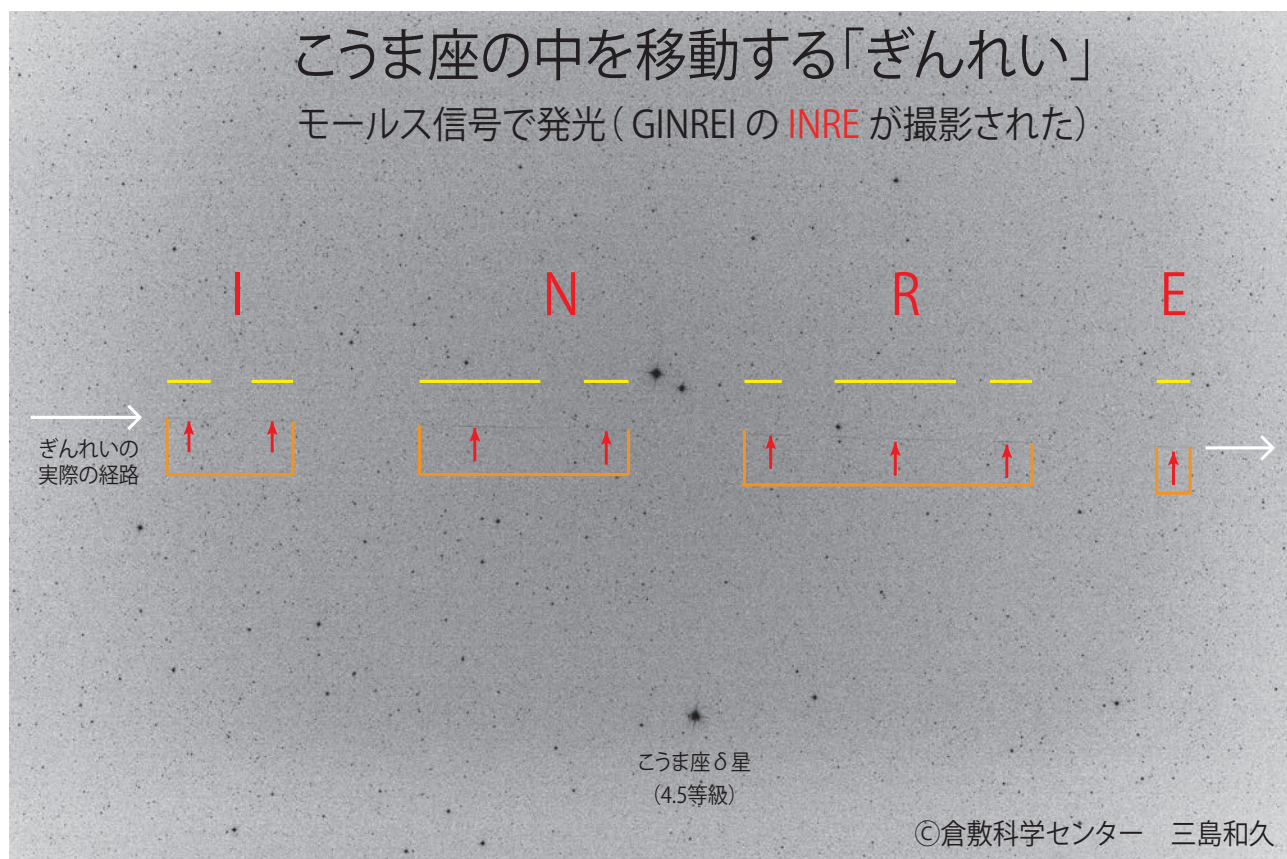


図1 2014年5月28日 午前1時50分撮影

機械のことです。人工衛星は、目的により形や乗せる装置、飛ぶ軌道が違います。これまでに、世界で 5000 機以上、日本でも 80 機以上の人工衛星が打ち上げられました。今やたくさんの人工衛星が宇宙を飛び交って生活の中で役立っています。

○信州初の小型人工衛星 ShindaiSat

信州大学と信州衛星研究会が連携して開発した信州初の超小型衛星「可視光通信実験衛星 ShindaiSat（愛称：ぎんれい）」は、平成 26（2014）年 2 月 28 日に NASA 主衛星の相乗り副衛星の一つとして種子島宇宙センターから H-2A ロケット 23 号機で打ち上げられました。11 月 24 日に大気圏に再突入するまでの約 9 ヶ月間、数十回にわたる発光ダイオード（LED）点灯実験を行いました。気象条件の関係で地上とのデータ通信の実証には至りませんでした。図 1 は、5 月 28 日午前 1 時 50 分に岡山県で撮影されたこうま座の中を移動するぎんれいの様子です。モールス信号で「GINREI」の“INRE”と発光したことが写真で確認できます。

○人工衛星と LED 可視光通信の特徴

みなさんは人工衛星をご覧になったことはありますか？人工衛星の多くは自ら光っているわけではなく、太陽の光が人工衛星に反射して見えています。当然、昼間も日本の上空を通過していますが、空が明るすぎて見えません。逆に深夜は太陽光が人工衛星に当たっていないので見えません。そのため、人工衛星を確認できるのは夕方と明け方の数時間だけです。しかし、ぎんれいは自ら LED で発光する衛星なので場合によっては深夜でも見ることができます。

信州大学と信州衛星研究会が連携して衛星を作る最初の動機は、信州に豊富にある森林を宇宙空間から調査・管理することでした。しかし、観測で得られる画像データの容量は膨大なものになります。得られたデータをすばやく地上に伝送するには既存の電波通信で

はなく、レーザー光のような線状で収束性に優れた新しい通信方式が必要になります。これまで、人工衛星が地上や他の人工衛星と通信する手段として主に用いられているのは電波です。しかし、最近では携帯電話やテレビ放送など電波の需要が多く電波帯域が混雑しています。また、電波を使うためには免許が必要で、申請に時間がかかることが人工衛星開発に時間がかかる要因の一つになっています。そこで、現状では法規制のない可視光通信に目をつけました。LED 可視光通信は、LED を高速で点滅させていろいろな情報を遠くに送ることができます。ぎんれいは世界で初めての LED 可視光通信を用いた実験に挑んだ人工衛星です。

○宇宙で姿勢を制御すること

人工衛星は、目的に合わせて決められた向きにする必要があります。このことを姿勢制御といいます。姿勢制御を行うためには、人工衛星の軌道上の位置と姿勢を正確に知る必要があります。ぎんれいが宇宙と地上で LED 可視光通信を行う際に、常に受光部を地球側に向けなければ通信はできません。そのため姿勢制御はプロジェクトの中で最も重要な要素です。姿勢制御のやり方はいろいろな方法がありますが、ぎんれいは主に 2 つの方法をとっています。一つ目は、コイルに電流を流すことによって磁場を発生させ、その磁場と地球の磁場との相互作用で方位磁石のように人工衛星の向きを変える方法です。これを磁気トルカといいます。軽量で故障しにくいという特徴を持っています。二つ目は、リアクションホイールという回転する円盤を使う方法です。コマのような物体の回転速度を変えることで衛星の姿勢を変化させ制御します。衛星は太陽風（太陽からの粒子の流れ）や地球大気の影響、重力の影響などを受け、次第に姿勢が不安定になります。例えば、ぎんれいがある方向へ少し傾いたとします。その時、傾きと同じ方向にリアクションホイールを回せば、その反作用でぎんれい自体は傾きと逆方向へ回り、ぎんれいの姿勢を元に戻すことができます。また、ぎんれいが今どの方向を向いているかを知るセンサーとしてジャイロ

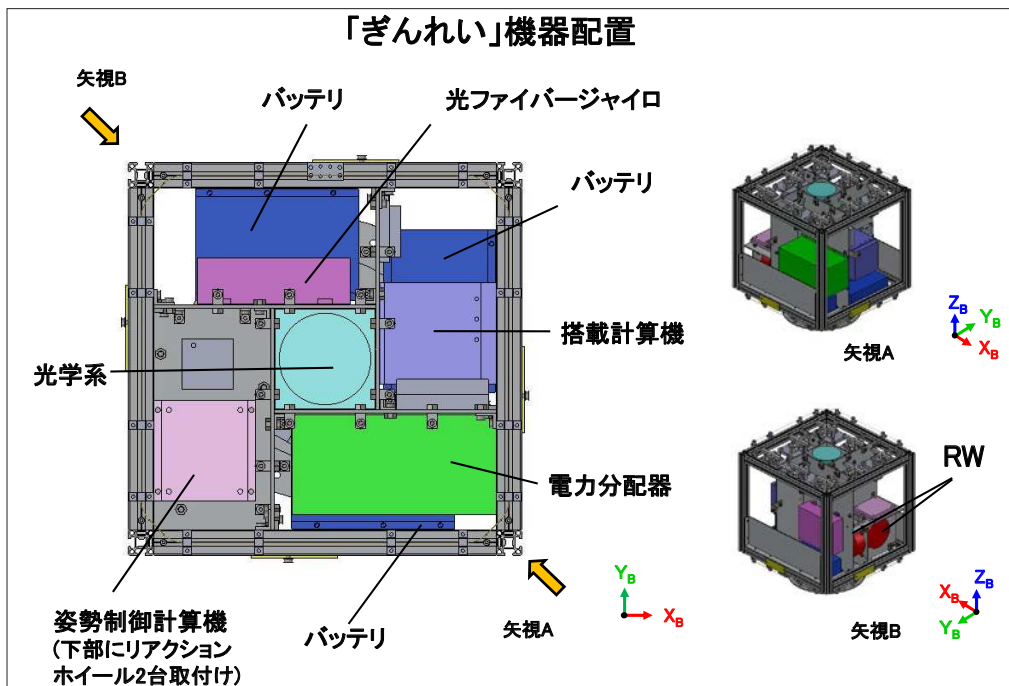


図2 ぎんれいの内部構造①

が搭載されています。ぎんれいの姿勢の角度を測ることで方向を決定します。ジャイロセンサーは、スマートフォンを傾けることによって遊ぶアプリケーションにも使われています。図2、図3はぎんれいの内部構造です。リアクションホイール (RW) は2つ搭載されています。これによりLED光を地上の任意の地域に向けることが可能になります。

平成27(2015)年現在までに信州衛星研究会に参加した企業は30社に及びます。県内を中心とした企業・団体が共同でぎんれいを開発しました。その中で今回は、ぎんれいの心臓部ともいべき姿勢制御を担当した多摩川精機の科学技術に注目しました。高い技術力でこれまでさまざまな人工衛星を宇宙へと送り出してきました。今年の夏に長野県南佐久郡川上村出身の宇宙飛行士油井亀美也氏が滞在する日本実験棟「きぼう」にも多摩川精機で作られた精密部品が使用されています。

夏の企画展示「のりもの展～進化するのりもの形～」では、ぎんれいの等身大模型はもちろん、多摩川精機からお借りするリアクションホイールやジャイロセンサーを展示します。一辺40cmの立方体の中に、信州の企業の技術が詰め込まれています。県内の宇宙産業をご紹介するいい機会になれば幸いです。

(専門員 齊藤秀樹)

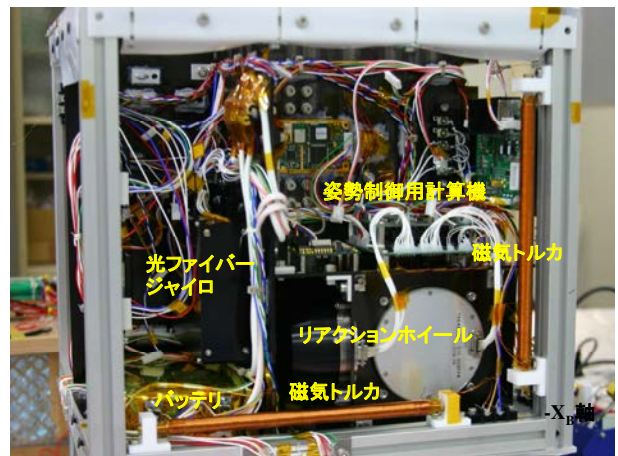


図3 ぎんれいの内部構造②

博物館だより 第94号

発行日2015年6月30日

長野市立博物館

〒381-2212 長野市小島田町1414

TEL:026(284)9011

<http://www.city.nagano.nagano.jp/museum>

戸隠地質化石博物館

〒381-4104 長野市戸隠栃原3400

TEL:026(252)2228

鬼無里ふるさと資料館

〒381-4301 長野市鬼無里1659

TEL:026(256)3270

信州新町美術館・有島生馬記念館・信州新町化石博物館

〒381-2404 長野市信州新町上条88-3

TEL:026(262)3500

ミュゼ蔵

〒381-2405 長野市信州新町37-1

TEL:026(262)2500