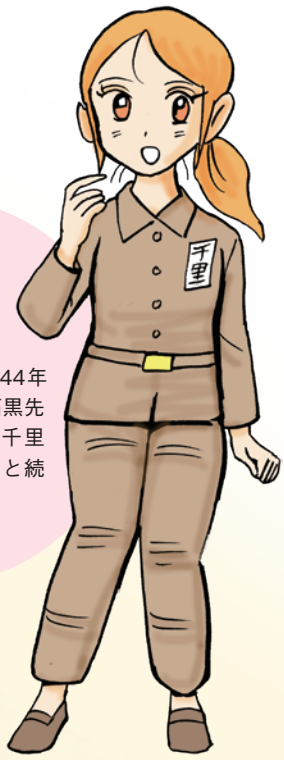
アルマーの冒険

第07回・外伝Ⅰ
「日本の電波天文学のはじまり ～戦時中の謎の大型パラボラアンテナを追って～」

連載05回、06回と2回にわたって「世界的な電波天文学の幕開け」と「日本の電波天文学の歴史」をまとめてきました。今回はさらにその番外編として、日本の電波天文学の源流に関係したかもしれない戦時中の大型パラボラアンテナの謎にせまってみることにしましょう。意外なことに、大型のパラボラアンテナは、第二次世界大戦中に電波を放射する兵器として建設されていたことがわかってきました。

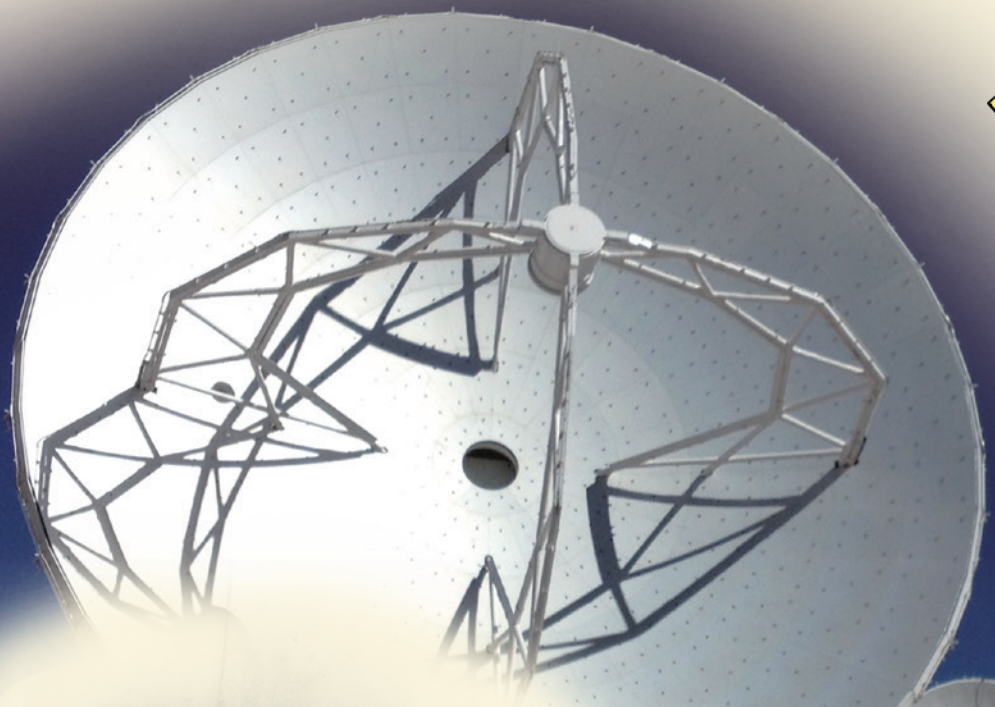


千里トラ
（せんり・とら）

第二次世界大戦中の1944年にタイムスリップした石黒先生を手助けする。実は千里奈央の曾祖母で、脈々と続く千里一族のひとり。

みかづき
（三日月）

千里トラと行動を共にし、人間の言葉を理解する謎のメスネコ。奈央の前に突然現れたアルマーやいざよいと何か関係があるのかも。



ナビゲーター
石黒正人
（国立天文台名誉教授）
東京・秋葉原の
万世橋の袂にて

第7-1章 2017年、秋葉原で見つけた謎の真空管

★静岡県志太群島田町（現在の静岡県島田市）

ぐろふふ球

ナビゲーター 石黒正人先生はスーパー真空管コレクター

▲01　石黒コレクションからその一部を公開。可愛い真空管たちをフキフキすると思わず口元もほころびます。大きさも形も素材もさまざまな銘品、珍品、高級品がずらり（玉石混淆とも）。なぜか、野辺山宇宙電波観測所の45ｍ電波望遠鏡用の真空管（もちろん、動かなくなって廃棄されたもの）もあります。

現在、大活躍中の電波望遠鏡「アルマ」の建設を成功に導いた国立天文台名誉教授・石黒正人先生（「アルマーの冒険」にも登場し、劇中ではブラックストーン博士と同一人物？）は、たいへんな電波好き少年だったといいます。子どものころは、趣味の雑誌にもさまざまな記事を投稿するほどアマチュア無線に熱中していました。また、長年かけて集めた真空管を現在でも数多く（衣装箱にいっぱい）コレクションしています。自分で購入した小型のものから、ラジオ局の大出力送信機用の廃棄品を譲り受けたものまで、多種多様なラインナップ！ 中には、自分でハンダ付けしてコネクタを取り替えるなど、改造までこなした逸品も…。石黒先生の真空管コレクションをご披露しましょう。

▲02　今でも東京秋葉原の電気店街に出向くことがあるという石黒先生。今では数えるほどしか残っていない真空管専門店をのぞいて物色中。「おお、これは珍しいね！」。

◀03　真空管アンプの店舗では、実際に音楽を再生してもらって、音色にしばし耳を傾けます。「ああ、いいねぇ」とご満悦のようす。ちなみにアジアの歌姫テレサ・テンの大ファンです。

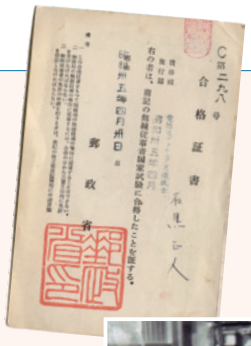
回想：BSハカセの電波事始め

戦争のため母子家庭となった私は、歯科医師であった祖父の家で育てられた。小学校時代から工作が好きだったので、歯の治療に使ういろいろな道具を工作に使わせてもらった。歯の治療中に必要な道具を私が使っていて怒られたことも何度かあった。その罪滅ぼしに、金冠用に金を溶かしてローラーで正確な厚みの板を作るような歯科技工の作業を手伝った。おかげで手先が器用になり、ラジオの製作などはお手の物となった。

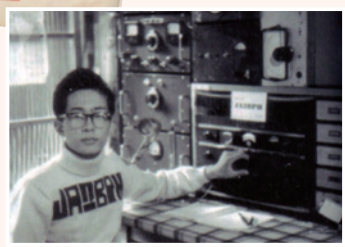
そのうち第3級というアマチュア無線技士の制度ができ、中学生でも無線従事者国家試験に合格すれば無線技士になれることが分かり、さっそく新制度での最初の国家試験を受けた。試験では、大変困ったことがあった。共振周波数を計算する必要がある問題が出たのだが、当時中学2年生であった私は平方根を計算する方法を知らなかった。そこで答案用紙の裏で二乗するとその数字になるものを試行錯誤で求めたのである。まさに窮すれば通ずという思いであった。そしてめでたく試験に合格、合格証書を受け取った時は飛び上がって喜んだ（図01）。

祖父も歯科医志望の一人息子（私の伯父）を戦争で亡くしていたので、私への期待が高く、無線の部品などを購入する費用の面倒をよく見てくれた（これが結果として私を歯科医から遠ざけて電波天文に向かわせる皮肉なことになったのだが）。そこで手作りやジャンク品を集めた無線局を開局し、外国と通信することを楽しみにしていた（図02）。

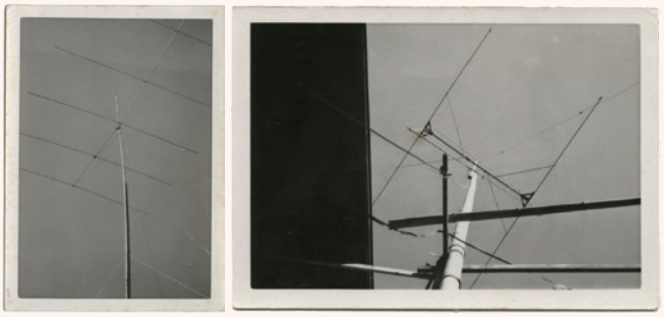
なるべく弱い電波を受信できるように、またなるべく遠方まで電波が届くように、性能のいいアンテナを作り続けた。アルミパイプや銅線、そして竹竿を何本もつなぎ合わせたもので、台風に弱く、何度も作り直すことがあった（図03）。10ｍ以上の長い竹竿を自転車にくくり付けて自宅まで運ぶ途中、車が走る道路の横断が難儀であった。工事や調整時には2階の屋根に上ることが多く、瓦を割って怒られたものである。高いところでの仕事にも慣れたので、後に野辺山やALMAで大型のパラボラアンテナに登ることも難なくできた。



01　無線従事者（アマチュア無線技士）国家試験合格証書（1960年4月）。

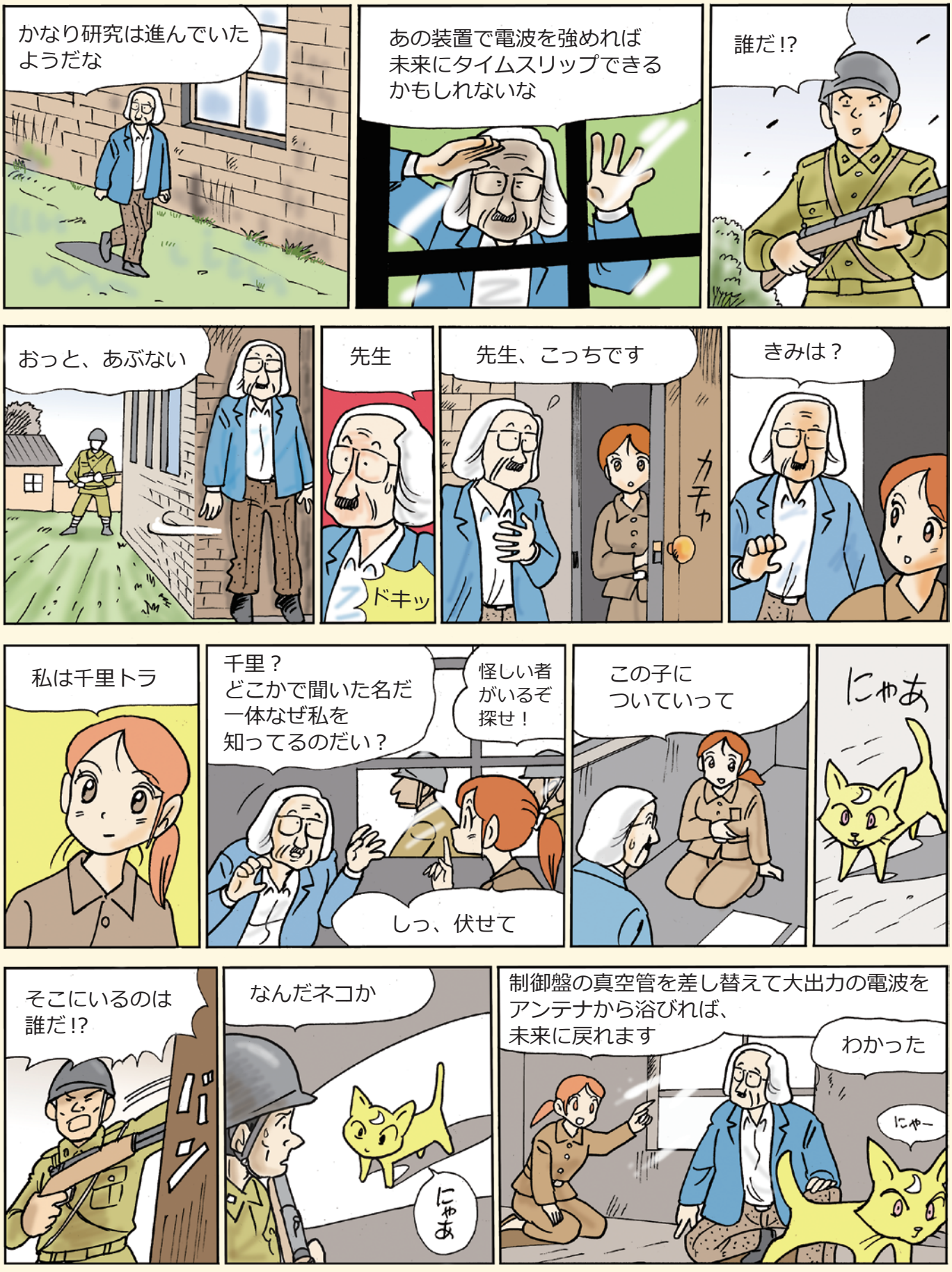


02　無線機と子どもの頃のBSハカセ。



03　左は波長15m用6素子八木・宇田アンテナ（1962年08月建設）。右は波長15ｍ用2素子ループアンテナ（1962年10月建設）。台風に襲われて、わずか2か月で新しいアンテナを製作。

第7-2章 1944年、静岡県海軍島田実験所の「Z研究」

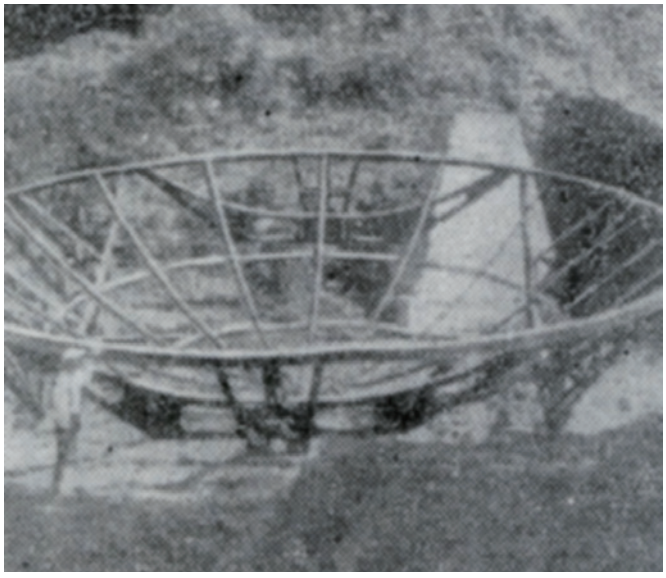


静岡県島田市にあった謎の大型パラボラアンテナ

現代の電波天文学に不可欠なパラボラアンテナ。日本では大型のパラボラアンテナは、いつ、どこで、どのような目的で作られたものだったのでしょうか。

●日本初？の大型パラボラ

石黒正人先生は現在、日本の「電波天文学事始め」について、精力的に調査をされています（10ページ参照）。その活動の中で、日本のパラボラアンテナのルーツについていろいろな資料で調べていたところ、旧日本海軍の研究所の記述に行き当たりました。そこは、現在の静岡県島田市にあった牛尾実験所と呼ばれる施設で、第二次世界大戦の末期になんと直径10mものパラボラアンテナがあったことが分かりました（画像01）。



01　牛尾実験所跡地に残されていた「10m反射鏡」とされる骨組み。左に立つ人物像からもおおよその大きさがわかります。（中日トピック 1950年1月号・殺人光線ルポルタージュ掲載のもの）★

とはいえ、このパラボラアンテナは電波望遠鏡としての受信機用ではなく、兵器としての実用性を検証する目的で作られたものという記録が残されています。その名も「Z研究」。第二次世界大戦の戦局がしだいに悪化していくなか、海軍は科学者や技術者を集め、アメリカ軍に対して起死回生の一撃を狙った極秘研究を行っていたのです。研究者のリストには、後に東京天文台長を務める萩原雄介先生やX線天体の観測装置としてすだれコリメーターを開発した小田稔先生、さらに後にノーベル物理学賞を受賞した湯川秀樹先生、朝永振一郎先生など、たくさんの科学者の名まえが記されています（画像02）。

02　島田研究所に集められた学者や学生たち。前列中央が萩原雄祐元天文台長、その右に湯川秀樹先生、朝永振一郎先生、後列左から3人目が小田稔先生。★

Z研究とは、マグネトロンという特殊な真空管で大出力のマイクロ波を発生させ（同じ仕組みが現在の電子レンジに利用されています）、敵に照射する兵器を作り出すことでした。飛行中の航空機にパラボラアンテナを向けて照射し、機体を溶かしたり、計器を狂わせたりして敵機を墜落させることを目的とした電波兵器だったのです。しかし、研究を始めてわずか数年、完成することなく終戦を迎えました。そのことからも幻の兵器とも呼ばれています。

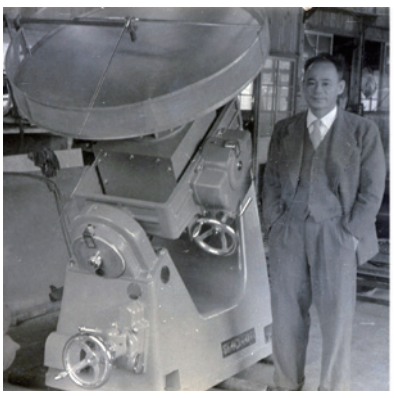
●Z研究の拠点は静岡県島田市

Z研究を行っていた牛尾実験所は、静岡県島田市にあり、近郊の大井川を見下ろす小高い牛尾山に設置されていました。施設は終戦とともに閉鎖され、その後長い間、遺構として残されていましたが、近年、その跡地が大井川の川幅を広げる河道拡幅工事のために削り取られ、ほとんど平地となりました（画像12）。

そこで、この歴史的遺構が失われる前に、本格的な調査が行なわれました。2013年から2014年にかけて、島田市教育委員会が実施した発掘調査です。草木に覆われた土地から建物の基礎と思われるいくつもの遺構が発見され、当時使われていたさまざまな遺物が出土しました。また、2015年夏には戦後70年の節目ということで、島田市博物館では「島田と太平洋戦争」という企画展も開催され、この中でも島田市周辺にあった海軍の関連施設も紹介されたそうです。

●島田と焼津と法月（のりづき）惣次郎さん

島田市といえば、前回（アルマーの冒険06）紹介した法月惣次郎さん（画像03）の生まれ育った静岡県焼津市のすぐ隣。法月さんは、第二次世界大戦直後から名古屋大学空電研究所や東京天文台（ともに後の国立天文台）などの研究機関、公開天文台などにたくさんの電波望遠鏡や光学天体望遠鏡を納めています。



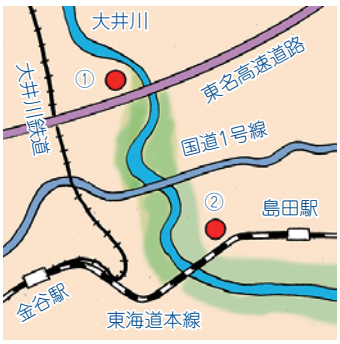
03（左）法月惣次郎さん（1957年、東京天文台に納めるパラボラと）。
04（右）田中春夫先生（1951年、日本初の赤道儀式パラボラ電波望遠鏡と）。

★01、02は「静岡県島田市埋蔵文化財報告第49集　第二海軍技術廠牛尾実験所跡遺跡ー大井川牛尾地区河道拡幅工事に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書ー」によるものです。

そのきっかけは、名古屋大学空電研究所の田中春夫先生（画像04）との出会いからでした。第二次世界大戦後の1948年（昭和23年）ごろから、法月さんは隣接する島田市にあった島田理化工業株式会社の仕事を受けるようになります。じつは、その島田理化工業こそが田中先生との運命の出会い場でした。ある日、島田理化工業を訪れた田中先生は、パラボラアンテナの電波望遠鏡の製作を依頼しましたが、予算が少ないために受注してもらえなかったそうです。その時、法月さんが話を聞いていて、「私がやってみましょう」と製作を買って出たことから、空電研究所との付き合いが始まったといいます。

ところで、島田理化工業の設立は終戦（1945年・昭和20年）からしばらくしての1946年（昭和21年）末（当初は島田理化工業所）のこと。現在、本社を東京に移し、通信機や工業用の高周波加熱装置などの製造を行っていますが、その前身は兵器開発の研究に関わっていた第二海軍技術廠島田実験所でした。終戦後、島田実験所の副所長であった水間正一郎氏ほか20名が、「研究を平和産業に役立てよう」と島田理化工業を興したと伝えられています。

調べていくと、空襲が激しくなってきたことから、島田実験所の疎開先として作られたのが牛尾実験所だったことがわかりました（画像05）。10mパラボラアンテナ、牛尾実験所、島田実験所、島田理化工業、そして法月さんが製作した数多くの電波望遠鏡とが、一本の線でつながるようにも思えます。もしも、それぞれに関係があるのなら、牛尾実験所の10mパラボラアンテナが日本の電波望遠鏡の歴史を語る上で大きな意味を持つことになるかもしれません。



05　牛尾実験所跡地①と島田実験所跡地②の位置を示した地図。

そこで、牛尾実験所の発掘や島田博物館の展示に関わった方に直接お話を伺うべく、現地へと向かいました。アルマーの冒険06に掲載した法月さんの記事をまとめるにあたって、法月さんが製作した口径80cm反射式望遠鏡を収めるディスカバリーパーク焼津天文科学館より、多くの資料提供を受けましたが、その窓口となっていただいたのが天文スタッフの松永歩さんです。松永さんは、法月さんに関わる展示を行ったり、石黒先生に講演を依頼されたことがあったというご縁からも、今回の取材に同行していただくことになりました。

島田実験所と牛尾実験所

実際に調査を進めて行くと、牛尾実験所にあったとされるにあったとされる10mアンテナだけでなく島田実験所にも10mパラボラアンテナが存在したことを示す記録が残されていたのです。

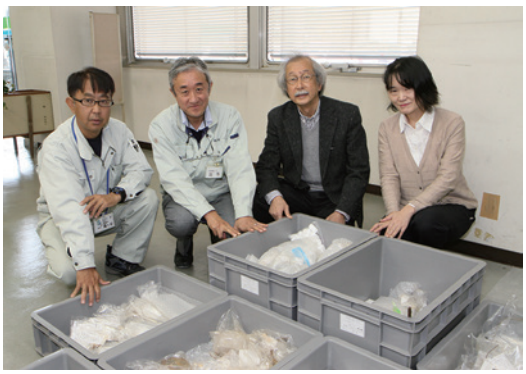
●複数あった大型アンテナ

現地では、まず島田市役所金谷庁舎に島田市教育委員会の坂巻隆一さん（教育部社会教育課係長）と篠ケ谷路人さん（文化課文化財係埋蔵文化財担当）をお訪ねしました（画像06・取材は2016年11月）。坂巻さんは、前年度まで島田市博物館に席を置き、2013年から2014年にかけて実施された牛尾実験所の発掘調査に参加しました。「**牛尾山付近には、たくさんの遺跡があります。静岡県ではこれまで戦時中のものは周知の遺跡としては認めていなくて、調査の対象外でしたが、戦史的にも重要なものであるということで、遺跡に認定してもらって発掘調査を行いました。当時は島田市博物館での担当でしたので、報告書をまとめて、出土したものを博物館で展示するまでを目標に発掘を進めました**」とのことで、2015年に発行された140ページにも及ぶ「静岡県島田市埋蔵文化財報告第49集 第二海軍技術廠牛尾実験所跡遺跡－大井川牛尾地区河道拡幅工事に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書－」の

06　島田市役所金谷庁舎（左）で坂巻隆一さんと篠ケ谷路人さんにお話をお聞きしました（右／画面中：坂巻隆一さん、画面右：篠ケ谷路人さん）。現場を知っている方ならではの貴重な情報を得られました。残念ながら、海軍のパラボラアンテナとその後の電波天文学について、関連付けるだけの確証は得られませんでした。

07a　金谷庁舎のエントランスには、牛尾実験所跡から発掘された特徴的な遺品のいくつかが展示されていました（2016年11月。現在は展示は休止中です）。電源室付近から見つかった陶器製碍子（ガイシ）は巨大なもので、研究にはかなりの大電力が使用されていたことを物語っています。

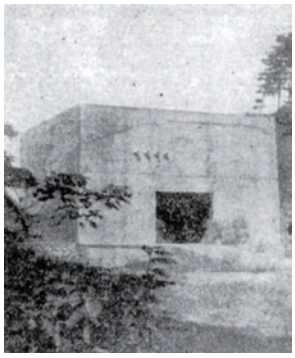
07b　「割れているけど、これはきれいな碍子ですね。よく残っていましたね」とガラス製の碍子を手に取って、しげしげと眺める石黒先生。



07d　たくさんの出土品がきちんと分類整理されています。「何に使われたものなのかわからないものもたくさんありますので、今後も調査を進めていければと思っています」と篠ケ谷さん。写真左から篠ケ谷さん、坂巻さん、石黒先生、松永さん。

一部執筆も手掛けています。

また、出土品が金谷庁舎に保管されていることから、埋蔵文化財を管理されている篠ケ谷さんにも同席いただきました。金谷庁舎には、ロビーにいくつかの出土品が常設で展示されていますが、それ以外にもたくさんの遺物を篠ケ谷さんに見せていただきました（画像07）。



07c　牛尾実験所にあった発振室とされる写真（09ページ参照）。★

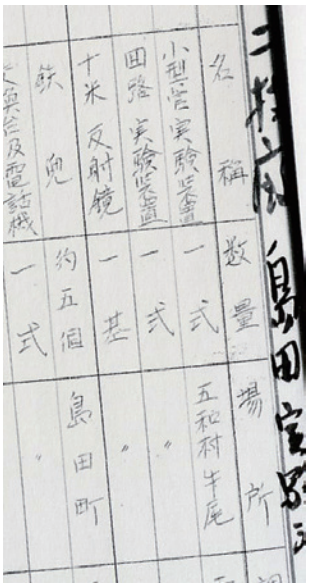
坂巻さんによれば、「ご存知のとおり、大井川の拡幅工事で牛尾実験所の跡地はすでに整地されてしまい、残されていた10ｍ反射鏡（パラボラアンテナ）の架台と思われるものや建物の基礎もなくなっています」とのこと。「記録によれば、パラボラアンテナから電波を照射して、ウサギを焼き殺したという実験をしたようですが……」と石黒先生。「それは、島田実験所でのことですね」と坂巻さん。なんと、牛尾実験所だけでなく、島田実験所にも10ｍのパラボラアンテナがあったのだといいます。

「終戦間近になると、島田のあたりも空襲が激しくなり、島田実験所は牛尾山と崎平というふたつの土地に疎開する準備を進めていました。牛尾山は島田実験所から北へ4kmほどの大井川沿いです。崎平は大井川発電所に抜けるトンネルの中を、そのまま実験所にする予定でした。牛尾実験所では、突貫工事で尾根を切り開いて建物や設備を作りましたが、実験には至らないまま昭和20年8月に終戦を迎えたと思われます。島田実験所にも10ｍの反射鏡（パラボラ）があったとされています。当時の副所長だった水間正一郎さんが、島田実験所のようすを回想してスケッチを残していますが、そこに反射鏡が描かれています。戦後に写された写真には、その架台と思われるものがありました。崎平にも、11ｍの反射鏡があったという話もあるのですが、この真偽は不明です。崎平については、戦車一台と反射鏡を持ち込んだようなのですが、資料が残されていなくて、戦後の撤収についてもまったくわかっていません」。

●アンテナの製作は沼津？

順番としては、島田実験所に最初の10ｍパラボラアンテナが設置され、次に牛尾実験所にも同様なパラボラアンテナが運び込まれたものの、未完成のまま終戦に至ったようです。牛尾実験所が疎開先ということなので、島田実験所のものが移設されたとも考えられますが、東京工業高等専門学校の河村豊教授の調査によると、パラボラアンテナは海軍大佐（終戦時）だった浅野卯一郎氏が、「沼津では10ｍの反射鏡を2基、さらに2ｍ反射鏡を7基作った」と後に回想していると報告されています。当時、沼津には海軍工作学校という施設がありました。

「反射鏡は、おそらく沼津で製作されて、島田まで運ばれたのではないでしょうか」と坂巻さんはいいます。「終戦後、GHQに接収されるときに作られた牛尾実験所の引渡目録に“10米反射鏡”の記録がありますので、存在したのは確かです（画像08）。その後、反射鏡は解体されて、骨組みのまま牛尾山の尾根の下に降ろされたところまでは目撃証言が得られています。地元の郷土史研究家の中には、天文台のアンテナに転用されたのではないかという方もいらっしゃいますが、その真偽は明らかではありません」。



08　終戦直後、アメリカ軍への引渡し目録に記された「十米反射鏡」の項目。★

水害で流されたのか、金属が貴重な時代でもあり、誰かが持ち去ったのか定かではありませんが、牛尾実験所の10mパラボラアンテナそのものは完全に失われてしまったようです。島田実験所にあったものも、引渡目録に“10米反射鏡”という記述がありますが、その後の行方はわかっていません。沼津で7基が作られたという2mパラボラアンテナもどこに納められ、戦後どうなったのかはまったく不明のままです。

★07c、08は「静岡県島田市埋蔵文化財報告第49集　第二海軍技術廠牛尾実験所跡遺跡－大井川牛尾地区河道拡幅工事に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書－」によるものです。

09　戦史にくわしい朝比奈さんに話を聞く石黒先生。地元の史跡研究の方たちと調査を進めてきたそうで、海軍の実験所のみならず、戦争当時の興味深いエピソードをたくさんご披露いただきました。

10　博物館前にて松永さん、朝比奈さん、石黒さん。かつての島田実験所は博物館のすぐ近くあって、現在は製紙会社の工場となっています。

●第二次世界大戦当時の島田市のようす

続いて、島田市博物館で2015年に「島田と太平洋戦争」という企画展を行った島田市博物館主任学芸員の朝比奈太郎さんにもお話を伺いました（画像09）。朝比奈さんは、企画展の図録の編纂にもあたっています。

「図録で私が執筆したのは、市内での戦争のようすや疎開児童のことについての部分です。牛尾山については坂巻係長が担当しました。」という朝比奈さん。

「島田実験所には、後に有名になった科学者がたくさんいたことは記録があります。行っていた研究については、戦後に資料を焼いてしまったようですし、装置類も破壊されたようですが、当時のようすはどのくらいわかっているでしょうか？」と、石黒先生。

「研究をしていたのは大学院生などの学生さんが多くて、みなさんは市内のお寺などに下宿していたようなのですが、昭和20年8月の終戦を迎えると、逃げるように帰って行ったそうです。その後、お寺へ、お世話になりましたというお礼状などはまったくなかったと聞いています。おそらく、研究に関わっていたことがわかって、GHQに捕まるのを恐れていたのではないかと思われます。資料もほとんどが燃やされてしまっていて、当時のようすは地元のお年寄りからの聞き取りだけで、研究内容の詳しいことはよくわかっていません」と、朝比奈さん。

「真偽はわかりませんが、島田にあった銭湯に研究者の人たちもやってきていて、湯船につかりながら俺たちのやっている研究は本当に実用になるのか、と話していたのを聞いたというお年寄りの証言もあります。まだ子どもだったので、よくわからなかったそうですが、ノーベル賞を受賞する湯川秀樹先生もいたことをあとで聞かされてびっくりしたということでした（★脚注）」。

島田市には、1945年7月にアメリカ軍によって大型のパンプキン爆弾が落とされ、多数の死傷者がでています。空襲で狙っていた富山の軍需工場が曇っていたため、残った爆弾を帰りがけに島田に落としたのではないかという説が有力です。アメリカ軍はテニアン島を占領したあと、大型のB29爆撃機が直接日本本土を狙えるようになりましたが、B29は大井川や天竜川を目印にして川沿いを内陸へと向かい、さらに各都市に向かっていたことがわかっています。したがって、目的地の天候が悪く、爆弾投下ができなかった場合、その帰り道に当たる島田や浜松の市街地が狙われたのです。

「島田への空襲は、島田実験所があったからという説もありました。しかし、実際には、軍事研究がされていたことをアメリカ軍は知らなかったようです。パンプキン爆弾は市街地から少し離れたところに落とされましたので、島田実験所は被害を免れました」と、朝比奈さんは説明してくださいました（画像10）。

●牛尾実験所の跡地に立つ

牛尾実験所の建てられていた牛尾山は、大井川の河川敷に半島のように飛び出していて、付近では最も川幅が狭くなっている場所でした。過去にも大雨による水害発生の原因とされる場所で、今後も水害が懸念されることから、2015年末からこの丘を削り取り、川幅を広げる工事が行われています。2016年現在、牛尾実験所のパラボラアンテナやその電源室などが設置されていた部分は削り取られてしまい、河川敷に続く平らな土地になっていました（画像11～16）。

牛尾山の尾根は比較的平坦で、現在は茶畑が広がっています。牛尾実験所があった場所までは、茶畑の中を通り抜けて進むことができますが、残された施設の跡を林の中に見つけることは容易ではありませんでした。

今回の島田調査を終えて

日本初の大型パラボラアンテナを求めて、島田市周辺の調査を行いましたが、戦後70年という時間の中でアンテナは失われ、設置されていたと思われる場所も開発で姿を消していました。たくさんの電波望遠鏡を製作した法月惣次郎さんと、島田で作られたパラボラアンテナとの直接的なつながりは確認できませんでした。機会を見つけて、今後も継続して調査を行っていきたいと思います。

★脚注：ただし記録によると、湯川秀樹先生は島田に会議で訪れた折に、たまたま記念撮影に収まった（画像02）可能性が高く、当時、島田に常駐していたのは朝永振一郎先生であったことから、証言者の伝聞による思い違いということも否定できません。

11　牛尾山の対岸から大井川の河道拡幅工事現場を望みます。河川敷に飛び出した部分は削り取られ、ほとんど平地にされてしまいました。

12　牛尾山の上から大井川の河川敷を見下ろすと、河道拡幅工事のためにかなりの土地が削られていました。

2013〜2014年に行われた牛尾実験所の発掘調査時のようす

13（上）　2013〜2014年の発掘調査時に撮影されたパラボラアンテナの架台です。島田実験所、牛尾実験所ともにパラボラアンテナの架台は、水平方向は固定され、仰角のみが可動式になっていたようです（p02のまんが参照）。現在は、取り壊されて、跡地は写真12のような更地となっています。★

14（右上）　牛尾実験所跡地の全景
発掘によって土台が現れました。左奥がパラボラアンテナの架台、その手前の正方形の土台は発振室があったと考えられる場所、そして手前の大きな長方形の土台が電源室があったと考えられる場所です。★

15（右下）　牛尾実験所跡復元ジオラマ
発掘調査の結果やさまざまな資料調査によって作られた「牛尾実験所跡復元ジオラマ」。カマボコ型の電源室の隣に頑丈な箱型コンクリート製の発振室があり、右端にパラボラアンテナが設置されていたと考えられます。この復元ジオラマは、静岡県立島田工業高等学校建築科卒業制作作品として製作されました。★

16　牛尾実験所のパラボラアンテナは、大井川の上流に向いて作られる予定だったと考えられています（写真は、現在の牛尾山の上から大井川の上流方向を撮影）。これは、アメリカ軍のB29が大井川を目印にやってきて、上流に向かって進んでから目的の都市に向かうというコースを取っていたので、これを狙おうとしていたのではないかともいわれています。パラボラアンテナから放射されるマイクロ波では、出力が小さすぎるため、直接飛行機を墜落させることができないと判断され、電波による起爆装置を仕掛けた弾丸を高射砲で打ち、パラボラアンテナから電波を送ることで飛行機近傍の空中で弾丸を爆破させるという研究も行われていたことが記録に残されています。

★13、14、15は、『静岡県島田市埋蔵文化財報告第49集　第二海軍技術廠牛尾実験所跡遺跡－大井川牛尾地区河道拡幅工事に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書－』によるものです。

日本で最初の電波天文観測

筆者：ブラックストーン（BS）博士★またの名は石黒正人（国立天文台名誉教授）

●日本の電波天文学はどのようにして始まったか？

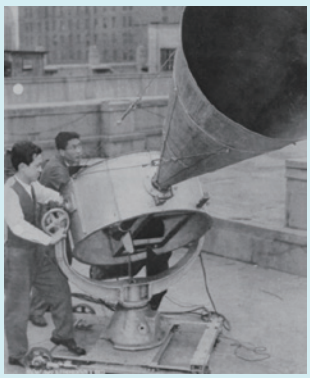
2009年からIAU（国際天文学連合）の電波天文学の古い歴史について研究する作業班の日本メンバーとなり、日本の電波天文学の歴史（1960年以前を中心）を改めて見直す機会をもらった。同作業班の元委員長Wayne Orchiston氏らの協力を得て、これまでに5編の論文を出版できた（文献1,8,11ほか）。その活動の中で、日本の電波天文観測の黎明期について、特に日本で最初の電波天文観測について調べ直してみることとなった。

いろいろな文献を掘り起こしていく過程で、つぎの3つの重要な文献に出会った。その一つは小田稔さん（故人）がISASニュースの「はるか物語」（文献2）に載せた日本の電波天文学が育ってきた土壌の古い話の中で、「当時東大の霜田光一さんが陸軍の古い聴音機の木製のパラボラに銅版を貼り付けて部分日食のときの太陽電波を観測しています。これが当時唯一の意味のある観測だったかもしれません。」と述べておられる。さらに、小田さんが「21世紀の学術と科学技術」というシンポジウムで発表した集録（文献3）には、「霜田さんが、もう何もないころでパラボラアンテナを作ることもできなかった時代ですが、陸軍の聴音機って言うんですかね、聴音機に銅版か何かを張ってパラボラを作り、実際に太陽の部分日食時の電波の変化を測られました。これが、日本の電波天文学の草分けといえるでしょう。」というくだりがある。

01　若き日の霜田光一さん。

ここに出てくる「霜田さん」とは、レーザーや量子エレクトロニクスの分野での研究で有名な霜田光一さんのことである（図01）。霜田さんについて調査を進めたところ、赤羽賢司さん（故人）から興味深い資料を入手できた。それは第13回岡崎コンファレンスのAfter dinner talkとして発表された「Two Reflectors made in 1930」という分子研レターズに載った英文報告（文献4）である。その報告では上記部分日食の観測データが載っており、また観測日が1948年5月9日であることが分かった。このことは赤羽賢司さんも学術月報記事（文献5）で紹介している。

●マイクロ波観測では霜田さんが小田さん、高倉さんより早かった！



02　1949年11月に小田稔さん、高倉達雄さんが行った3.3 GHzでの太陽電波受信実験（天文月報1985年6月号表紙）。

これまで日本の電波天文学（主に太陽電波）について英文で紹介された論文は、1984年に出版されたW. T. Sullivan編著の本で田中春夫さん（故人）が1960年以前の日本の太陽電波天文学についてまとめた論文（文献6）しかなかった。この論文では、1949年11月に小田さん、高倉達雄さん（故人）が行った3.3 GHzでの観測が日本で最初のマイクロ波での太陽電波観測であるとされている。これについては天文月報に高倉さんの記事（文献7）があり、その表紙写真（図02））には「日本における電波望遠鏡1号機」とある。ところが霜田さんの日食観測の方が小田さん・高倉さんの観測よりも1年以上も早かったのである。田中さんの論文や高倉さんの天文月報記事では霜田さんの観測についていっさい言及がないのは謎である。

その後、霜田さんがご健在であることを知り、2011年12月に霜田研究室出身の春日隆さん（法政大）に同行してもらい、吉祥寺のご自宅で直接話を伺った。当時の実験ノートを見せていただくことができたが、それには実験回路図や実験データが詳しくまとめられており、霜田さんの情報整理能力の高さに大変驚いた。当時はデータ記録用チャートレコーダもなく、観測結果はブラウン管に表示されたデータをトレーシングペーパーに手で写し取るというもので、大変苦労されたことが分かる。また、当時使用した鉱石検波器も実物を見せてもらうことができた（図03）。この歴史的な実験結果についての論文の出版がないことを知り、日本の電波天文学の歴史についての論文シリーズとして論文発表することを同意していただき、めでたく2013年に論文が出版された（文献8）。この論文に当時の観測の様子が詳しく述べられている。

03　霜田光一さんが1948年5月9日の日食電波観測に使用した鉱石検波器。

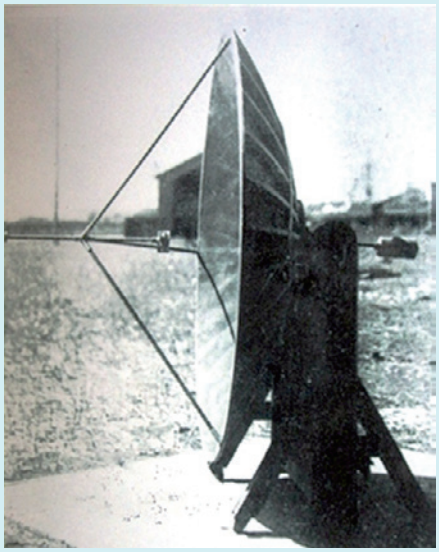
霜田さんは、その著書（文献9）の中で鉱石検波器についてつぎのような回想を述べておられる。「小学生のときにつくった鉱石ラジオの検波器がマイクロ波でも感度があるかどうかテストする実験を手始めに、方鉛鉱、黄鉄鉱、斑銅鉱などの鉱石や炭化ケイ素、シリコン（Si、ケイ素）などの検波感度を1943年12月までに調べた。…（中略）…そしてその鉱石検波器をミクサー（周波数変換器）にして、局部発信器にはマグネトロンを使ったマイクロ波のスーパーヘテロダイン受信機を、翌年の1944年3月につくり上げた。」

この頃霜田さんは大学院特別研究生として海軍技術研究所のレーダー研究に携わっていた（文献10）。この研究が日本で最初のマイクロ波日食観測につながっていったのである。

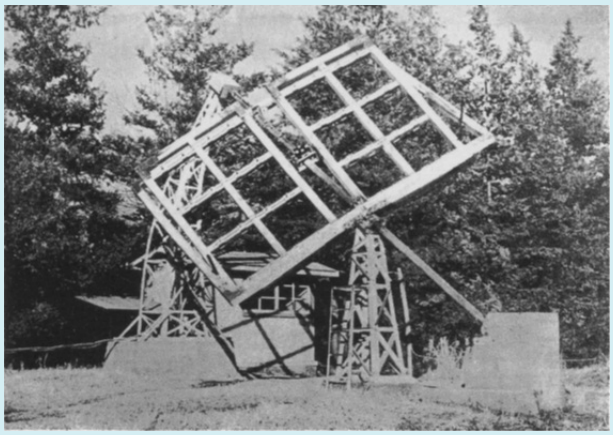
●東京天文台におけるメートル波太陽電波観測の開始

応用物理対談記事（文献10）で霜田さんは、「日本の電波天文学はこうして始まった」というタイトルの章で、1948年5月9日の部分日食観測についてこう述べている。「パラボラアンテナには、小幡重一先生が聴音器で音を集める実験で使っていた、木の枠に銅版を張った直径2ｍのもの（図04）を使いました。当時、三鷹の東京天文台では畑中武夫さんが2本の棒を十字に組んで針金を張ったアンテナを使い、太陽をメートル波で観測していました。波長10 cmではまだ誰も観測していないというので、やってみたのです。」

ということは、東京天文台（国立天文台の前身）では以下に述べる200 MHzの太陽電波望遠鏡の完成以前に太陽電波観測が行われていたことになるが、残念ながらこの観測に関連する資料を見つけることができていない。もしこのことが事実であれば、日本で最初の電波天文観測は畑中武夫さん（故人）らによるメートル波での太陽観測ということになる。東京天文台での最初の電波望遠鏡は、1949年に当時の電波物理研究所の協力を得て畑中さんらが中心となって建設した200 MHzの太陽電波望遠鏡（図05）で、同年9月から観測を開始したことになっている（東京大学百年史 部局史 三、43）。これも小田さん・高倉さんによる1949年11月の観測より前のことである。



04　霜田光一さんが1948年5月9日の日食電波観測に使用した口径2ｍパラボラアンテナ（もとは陸軍の聴音機）。



05　東京天文台（三鷹）に建設された200 MHz電波望遠鏡。1949年9月から太陽電波の連続観測を開始した。

いずれにしても、1948年～1949年は日本の電波天文学が始まる歴史的に大変重要な年であった。戦後間もない混乱期で部品の入手も満足にできない状況での実験には大変な苦労が伴ったものと想像される。霜田さんの使ったパラボラアンテナは、1951年に赤羽さんが譲り受け、三鷹構内でマイクロ波（3 GHz）での太陽観測に使用されることとなった（図06、文献11）。また同年4月には、愛知県の豊川市にあった名古屋大学空電研究所でも田中さんが日本で初めての赤道儀に搭載された口径2.5ｍのパラボラアンテナを建設し、3.75 GHzで太陽電波の定常観測を開始した。まさに日本の電波天文学が動き始めた時期である（文献1,6）。

●取り逃がした太陽電波発見の栄誉

最後に、太陽電波の発見が日本だったかもしれないということを紹介したい。1942年のJ. ヘイらによる太陽電波の発見より4年前の1938年8月1日のことである。国際電気通信株式会社の仲上稔さん（故人）と宮憲一さん（故人）は、14.63 MHzでデリンジャー現象の観測中に雑音が急激に1万倍から10万倍も増大し、その電波の到来方向（仰角）が70°以上の上空からであることを観測した（文献12）。

「電波工学研究の動向」（文献13）中にある田中春夫著「Ⅸ. 電波天文」では、「若輩の宮氏は、

06　赤羽賢司さんが1951年に東京天文台（三鷹）に建設した太陽電波望遠鏡（パラボラは霜田さんから譲り受けたもの）。

太陽からの雑音に違いないと主張したが、先輩の仲上氏は、太陽フレアーで異常を生じたE層から来たものと考え、宮氏の突飛な考えを退けた。せめて、太陽からの可能性もあると一言書き残されていたらと、大変残念に思われる。」と紹介されている。文献6でも英文で同様な説明があるので、このことは世界の研究者も知ることとなったと思われる。

受信信号が短時間で1万倍から10万倍も増大するのは電離層の異常現象としては考えにくく太陽フレアに伴う電波バーストであった可能性が極めて高い。この異常な電波について太陽起源の可能性があることが適切に発表されていたら、太陽電波発見の栄誉は日本人研究者に与えられることになったであろう。

●謝辞：60年以上前の研究についての文献を探すのは大変な仕事であったが、国立天文台図書室司書の小栗順子さんのご協力で実現できた。紙面を借りてお礼を申し上げたい。

【参考文献】

1) Ishiguro, M., Orchiston, W., Akabane, K., Kaifu, N., Hayashi, M., Nakamura, T., Stewart, R., and Yokoo, H. : 2012, Highlighting the history of Japanese radio astronomy. 1: An introduction, Journal of Astronomical History and Heritage, 15, 213-231.
2) 小田稔：1999、はるか物語、ISASニュース、No.221.
3) 小田稔：2001、リンクスの目・リンクスの耳「21世紀の学術と科学技術」（伏見康治、中井浩二、見角鋭二、菅沼純一編）、45-51.
4) 霜田光一：1982, Two Reflectors made in 1930, 分子研レターズ No.10.
5) 赤羽賢司：1990、電波望遠鏡、学術月報、43、545.
6) Tanaka, H.: 1984, Development of solar radio astronomy in Japan up until 1960, in Sullivan, W.T. III(ed.), The Early Years of Radio Astronomy: Reflections Fifty Years after Jansky. Cambridge, Cambridge University Press, 335-348.
7) 高倉達雄：1985、太陽電波とともに35年、天文月報、78、163-166.
8) Shimoda, K., Orchiston, W., Akabane, K., and Ishiguro, M. : 2013, Highlighting the history of Japanese radio astronomy. 2: Koichi Shimoda and the 1948 Solar Eclipse, Journal of Astronomical History and Heritage, 16, 98-106.
9) 霜田光一：歴史をかえた物理実験、パリティブックス（丸善出版）
10) 霜田光一：2007, メーザー、レーザーと物理教育、応用物理 76, 872-878.
11) Nakajima, H., Ishiguro, M., Orchiston, W., Akabane, K., Enome, S., Hayashi, M., Kaifu, N., Nakamura, T., and Tuchiya, A. : 2014, Highlighting the history of Japanese radio astronomy. 3: Early Solar Radio Research at the Tokyo Astronomical Observatory, Journal of Astronomical History and Heritage, 17, 2-28.
12) 仲上稔、官憲一：1939、Dellinger現象出現時に於ける短波長電波ならびに短波帯に発生する雑音の入射角に就いて、電気学会雑誌、59, 176.
13)「電波工学研究の動向」調査報告書No.2：文部科学研究費補助金特定研究（1）、学術研究動向の調査研究電波工学斑（1983）

ディスカバリーパーク焼津天文科学館を訪問！

法月惣次郎さんが最後に手掛けた天体望遠鏡が、ディスカバリーパーク焼津天文科学館に収められた口径80cm反射赤道儀望遠鏡です。ディスカバリーパーク焼津では、法月さんが使っていた工具などを展示したミニコーナーを設置しています。

01　焼津の市街地から海岸線を南に下りると、松林の中に見えてくる直径8mの銀色ドームがディスカバリーパーク焼津天文科学館の目印。海側にはもちろん町明かりはないので、星を見るにも好条件。

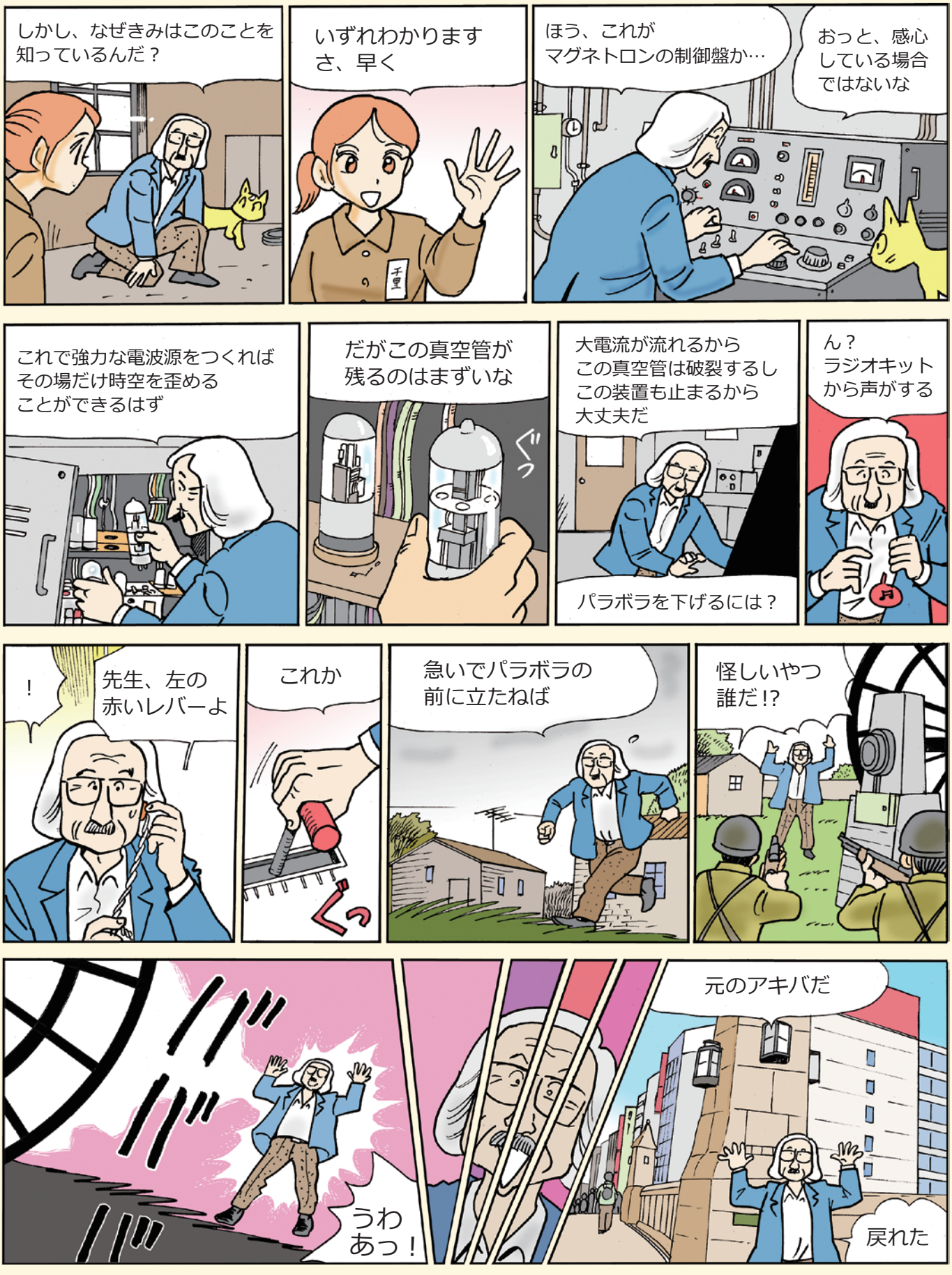
02　館の入り口付近で来館者を出迎えてくれるのは、法月惣次郎さんが製作した口径1.2mの電波望遠鏡です。1992年に新しい望遠鏡が野辺山に製作されたため、1997年のディスカバリーパーク焼津開館時に豊川から移設されました。

04　法月惣次郎さん作の口径80cmの反射赤道儀式望遠鏡を覗く石黒先生。ニュートン、カセグレン、ナスミスの3つの接眼部を持つ、めずらしい構造の鏡筒です。巨大なフォーク式赤道儀ですが、フリクションドライブという歯車を使わない独特な方式で天体を追いかけます。

03　館内には、法月さんが愛用していた工具類の一部が展示されています。自分で工夫して作ったと思われる工具もあって、アイディアマンだったことを窺わせます。望遠鏡自作マニア必見！

05（左・中）プラネタリウムには、光学式と全天周デジタル映像のハイブリッド投影機であるGEMINISTAR Ⅱ YAIZUが導入されていて、大迫力の宇宙映像が楽しめます。解説台に立つのは松永歩さん。今回の取材では、地元育ちの松永さんに道案内などで強力にサポートしていただきました。（右）島田市の調査を終え、ディスカバリーパーク焼津に寄らせていただきました。前列左から松永歩さん、平濱美紀子さん、後列左から漫画家の藤井龍二さん、石黒先生、館長の小長谷宏二さん、石神利訓さん。

第7-3章 危機一髪、そして2017年の秋葉原へ生還



実験その05 ゲルマニウムダイオードラジオを作って電波受信機の仕組みを学ぼう

マンガの中で、石黒先生が東京・秋葉原の電気街で購入したゲルマニウムダイオードラジオキットは電波受信のしくみを知るのにとても役立ちます。インターネット通販でも簡単に入手可能ですので、実際に組み立ててラジオ放送を聞いてみましょう。

今回の工作は、「アルマーの冒険」のまんがパートを担当する漫画家の藤井龍二さん。自前の伝家の宝刀「ハンダごて」をシャキーン！

ラジオで電波を受けて音が聞こえる仕組み

以前、電線に電流を流すと電波が発生することを実験しました（アルマーの冒険05回・実験その04「電波を作ってみよう!」参照）。このとき、電波が発生したことをAMラジオを使って確認しました。電波は目に見えないので、電波の発生をAMラジオで音に変換したのです。

そこで、今回は電波を受信するラジオ（受信機）について学ぶことにしましょう。ラジオにもいろいろありますが、構造が簡単なゲルマニウムダイオードラジオを実際に組み立てて原理を学んでいきましょう。最近はインターネット通販でさまざまなラジオの組み立てキットを購入することができます。

ところで、ラジオには、短波ラジオ、FMラジオ、AMラジオなど、電波の波長や音声を電波に変換する方式によって、いくつかの種類のものがあります。音声を電波に乗せて放送局のアンテナから送信するには、まず、音声信号を電気信号に変換しないといけません。これを変調といいます。放送の方式でもあるAMやFMは、この変調のことを指します。AMとはAmplitude Modulationの略で、日本語では振幅変調と呼んでいます。簡単に説明すると、音声の大きさを電波の波の強弱で伝えています。また、FMとはFrequency Modulationの略で、周波数変調と呼んでいます。こちらは、音声の大きさを電波の周波数を変えることで伝えるという方式です。

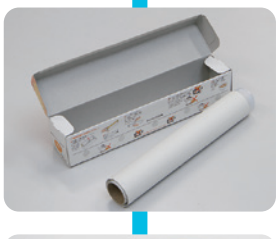
電池がなくてもラジオ放送が聞こえる

ゲルマニウムダイオードラジオは、AMラジオの一種です。構造は簡単で、主な部品は小さなゲルマニウムダイオードの他に、アンテナ、コイル、ポリバリコン（可変コンデンサ）、イヤホンだけです。電池など、電源は必要ありません。じつは、電波そのものが電源なのです。電波が金属のアンテナに当たると、電流が流れます。ゲルマニウムダイオードラジオは、その電流をそのまま音に変換しているのです。

構造は簡単とはいえ、その仕組みは4つに分

キット

インターネット通販で入手した安価なゲルマニウムラジオキット。コイルアンテナを作るためのポリウレタン銅線、ポリバリコン、ゲルマニウムダイオード、イヤホンが入っている



パイプ

直径4cm程度の紙のパイプに細い銅線を巻いてコイルアンテナを作る。パイプは食品ラップのものを使用。直径がやや細めだったので、ラップが残っている状態で、さらに紙を巻いてから銅線を巻き付けた。

工具

今回のラジオの製作に用いた工具は、カッターナイフ、はさみ、ハンダごて、さらに糸ハンダとハンダペーストを用意した。

銅線加工

まずは、コイル作り。ポリウレタン銅線の両端の被覆をカッターナイフでこすって、銅線をむき出しにする。銅線はよじれないように円筒形のものを通しておくとよい。銅線にはあらかじめハンダを盛っておく。

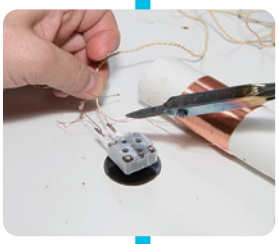
コイル作り

紙パイプに銅線を巻いていく。銅線が重なったり、よじれたりしないように注意。銅線の長さは、パイプの太さによって計算で求める必要がある。このキットでは、直径4cmほどの紙のパイプに12～13mのポリウレタン銅線を隙間なく巻きつける。

ツマミ付け

ポリバリコンに周波数選択用のツマミとその目盛りを取り付ける。

けて考えることができます。まずは、電波を受信するアンテナです。さらにコイルとポリバリコンが同調回路として機能します。ポリバリコンを回すことで、特定の放送局の電波の周波数に合わせて、その放送局の電波だけを選ぶことができます。ゲルマニウムダイオードは、電波から音声としての電気信号を取り出す役目をします。これを検波器と呼んでいます。AMでは、音声の信号をさらに周波数の高い電波の強弱に変換して送信されているので、電波の強弱の変化（低周波の信号）のみを電流として取り出すことで、音声の信号へと戻すことができるのです。最後は音を鳴らすイヤホンです。電波から作られる微弱な電流だけを使っているので、残念ながらスピーカーから大きな音を出すことはできません。イヤホンは、小さな電流でも音が出せるクリスタルイヤホンを使用します。



半田付け

コイルの銅線、ポリバリコン、ダイオード、イヤホンを回路図にしたがってハンダ付けしていく。

完成！

いよいよ完成。
「先生、何か聞こえますか？」

うーむ……。
アンテナを
つけないと…

そこで、これが

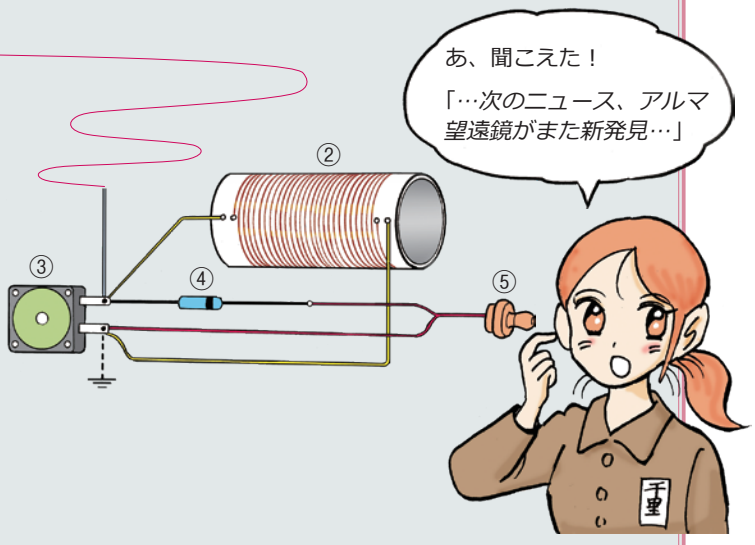
BSハカセが作ったゲルマニウムダイオードラジオ

石黒先生にも実際にキットのラジオを製作していただきました。石黒先生は、コイルを巻く素材として、外径46mmのプラスチックの筒を使用。じつはこれ、カラになった粉チーズの容器です。容器の底に穴を開けて、ラジオ局チューニング用のダイヤルノブが容器の外で回せるようにポリバリコンを取り付けています。アンテナとイヤホンは、ワニ口クリップを使ってつないでいるので簡単に着脱でき、ラジオを聞かないときは、アンテナやイヤホンを容器の中に収納できるようにもなっています。5mほどの銅線をアンテナにして、AMラジオの放送を聞くことができたそうです。

コイルはポリバリコンと一組で、アンテナから入ってきたさまざまな電波を特定の周波数に絞り込む機能（同調回路）を担います。最適なコイルの巻き数は、銅線の太さや長さ、筒の直径などによって決まります。

では、最後にゲルマニウムダイオードラジオの仕組みを図にまとめてみましょう

ゲルマニウムダイオードラジオは、アンテナ（①）、コイル（②）、ポリバリコン（③）、ゲルマニウムダイオード（④）、イヤホン（⑤）だけで構成できる最も単純な仕組みのラジオです。残念ながら大きな音を出すことはできませんが、アンテナの形を変えたり、ダイオードの種類を変えるなど、くふう次第で性能を上げることもできます。電波と受信機の原理を理解するためにとても適したラジオなので、それぞれの部品の仕組みや役割をもっとくわしく調べていくとよいでしょう。



ラジオも電波望遠鏡も似たものどうし

ラジオは地上の放送局からの電波、電波望遠鏡は天体からの電波をとらえる道具です。工作キットのゲルマニウムダイオードラジオと比べれば、電波望遠鏡ははるかに大がかりで複雑な装置ですが、p14で紹介した電波を受ける原理自体は変わりません。つまり、①アンテナで受信し、②同調回路で周波数を選び、③検波器で信号を取り出し、④出力装置で信号を音や画像として表す、という4つの仕組みです。簡単に比べてみると表のようになります。

	ゲルマニウムラジオの場合	電波望遠鏡（野辺山45 m）の場合
アンテナ	銅線	パラボラアンテナ
同調回路	コイルとポリバリコン	導波管や空洞共振器
検波器	ゲルマニウムダイオード	ミキサー＋検出器
出力装置	イヤホン（音声）	コンピュータ(グラフや画像)

現代のパラボラアンテナの電波望遠鏡では、アンテナで集めた電波を導波管や空洞共振器に通します。これらはラジオのコイルとポリバリコンのような同調回路と同じような機能を持ちます。さらに高周波の電波をミキサー（周波数混合器）を通して低周波数に変換してから検出器でとらえます。これらはゲルマニウムダイオードに相当するといえるでしょう。こうして電波は電気信号に変換されその強弱を計測したり、分光計をつないでスペクトルを取得したりします。宇宙電波が発見された当時は、アナログな電圧計のメーターを読んだり、ヘッドホンで音を聞くなどの方法がとられていましたが、現在では信号をすべてデジタル化してコンピューターによって処理、分析されることがほとんどです。

★みなさんの手作りラジオが、巨大な電波望遠鏡と同じ原理で動いていると思うと、電波天文学がとても身近に感じられてきますね。

●「アルマーの冒険」制作ユニット
絵／藤井龍二
写真・文・構成／川村 晶（星の手帖社）
監修／平松正顕（国立天文台チリ観測所）
編集／高田裕行
デザイン／久保麻紀
特別ゲスト／石黒正人（国立天文台名誉教授）
協力・特別ゲスト／松永 歩さん（ディスカバリーパーク焼津天文科学館）／ 坂巻隆一さん（島田市教育委員会教育部社会教育課）／篠ケ谷路人さん（島田市教育委員会文化課）／朝比奈太郎さん（島田市博物館主任学芸員）／平濱美紀子さん（ディスカバリーパーク焼津天文科学館）
取材協力／オーディオショップ：SOUND BASE（東京ラジオデパート3F）／真空管ショップ：キョードー真空管店（東京ラジオデパート2F）
参考文献／河村 豊著「島田実験所という研究プロジェクト：戦時科学動員は何をもたらしたのか」

「アルマーの冒険」07回
発行日／2017年6月1日
発行／国立天文台天文情報センター出版室
制作協力／チリ観測所・野辺山宇宙電波観測所

★「アルマーの冒険」バックナンバーは
http://www.nao.ac.jp/naoj-news/almar/ をご覧ください。

野辺山宇宙電波観測所45 m電波望遠鏡