

日経

サイエンス

2024年8月1日発行 毎月1回1日発行
第54巻第8号 通巻638号
1971年11月2日第三種郵便物認可

2024 08

SCIENTIFIC AMERICAN® 日本版

素数ゼミのダブル発生

美を科学する

山中俊治が語る
科学とデザインをつなぐ「共感」
組紐のトポロジー
国宝 天目茶碗 光彩の謎

羽毛の進化

自然が育む
鳥の機能美

初期の奇妙な銀河
自己愛の病理

From nature ダイジェスト

<https://www.nikkei-science.com/>

Scientific American trademarks used with permission of Scientific American, Inc.

特別定価 1686 円(税込)

宇宙線研究の黎明期を支えた 仁科型電離箱

中島林彦 (編集部)

協力: 渡部潤一 (国立天文台)

玉川徹 (理化学研究所)



理化学研究所 (理研) が本拠を置く埼玉県和光市のキャンパスには日本の現代物理学の黎明期の雰囲気を感じられる場所がある。現代物理学の父と呼ばれ、理研の中興の祖ともなった仁科芳雄の研究室を、実際に使われていた調度品を用いて再現した展示室だ。その一面に、無骨なボンベに大きな圧力メーターがついた古めかしい装置が置かれている。宇宙の彼方から到来する高エネルギー粒子、宇宙線を捉える「電離箱」の一種だ。日本で宇宙線研究が本格的に始まった昭和10年代、仁科の研究グループが設計し、理研で内製されたことから「仁科型 (理研型) 電離箱」と名付けられた。(文中敬称略)

昭和5年 (1930年)、理研の研究員だった仁科は東京帝国大学で開かれた日本学術協会の第6回大会で「宇宙線研究の現状」と題して講演。その冒頭で次のように語った。

「宇宙線とは天体のどこからか地球

仁科芳雄 理化学研究所の研究室でのスナップ写真。仁科の主導で設計された仁科型電離箱 (右ページ①は現役当時の写真) は5台あり、その1号機は戦時中のほとんどの間、東京本駒込の理研2号館②の地下室に置かれ、現在は東京大学宇宙線研究所乗鞍観測所に、2号機③は理研の仁科芳雄記念室④で展示されている。3~5号機はそれぞれ香港中文大学、高知大学、国立科学博物館が所蔵している。

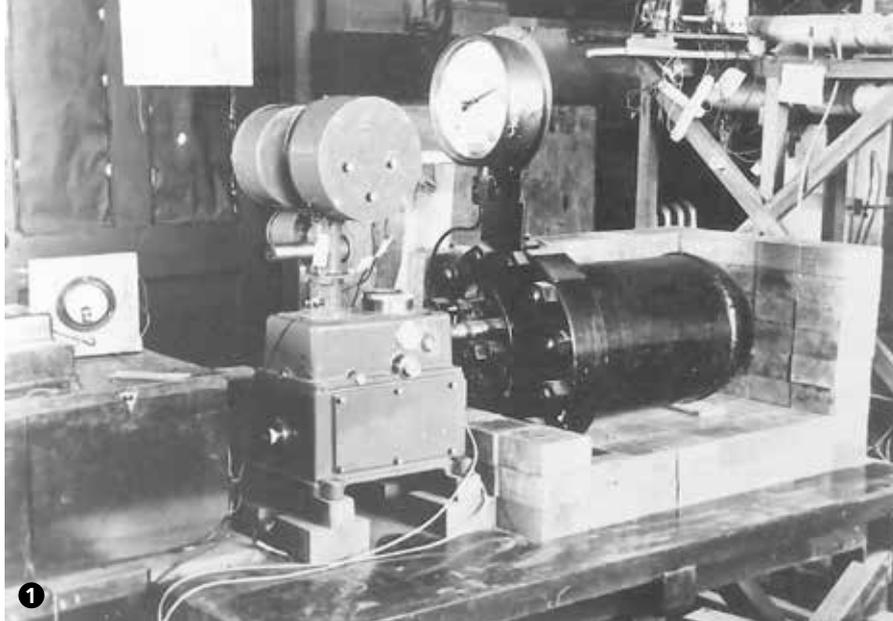
に間断なく降り注いでくる、非常に貫透力の強い一種の線 (ray) であって、レーゲナー (Erich Regener, ドイツの物理学者) の実験によれば、その最も強い成分は約230mの水の層を通過してなお吸収し尽くされぬという。こんなものに対しては全ての生物はもちろん、この講堂のような建築物も、普通の光に対するガラス同然である。こういうものが昼となく夜となく我々の頭上に降りかかっているということが、いろいろの人の約20年間の研究でわかってきた」(講演録より抜粋。途中、一部略。以下同じ)

当時、仁科は39歳、量子力学のパイオニア、ボーア (Niels Bohr) のもとなどでの約7年に及ぶ欧州滞在を終え、量子力学の理論と実験 (X線分光学) の両方に通じた気鋭として、理研

の長岡半太郎の研究室に配属されて約2年が過ぎた頃のことだった。長岡は土星型原子モデルで知られる現代物理学のパイオニアの1人だ。

仁科はこの講演を行った翌昭和6年、長岡のもとから独立して研究室を主宰。量子力学・素粒子物理学と深いつながりがあり、フロンティアとして注目され始めた原子核と宇宙線に関する研究を本格的に開始した。仁科の研究室は日本で最初 (世界で2番目) にサイクロトロンを建造し、原子核研究を主導したことでよく知られるが、日本で最初の宇宙線研究グループでもあった。

上述の講演録を読むと、仁科は研究室を立ち上げるかなり前から宇宙線に強い関心を持ち、その研究動向に注意を払っていたことがうかがえる。講演の最後で、当時の宇宙線研究の状況を



1



3



4



2

次のように総括している。

「宇宙線の本体、性質、起源などの問題はなお一部のものを除いては混沌たる状態にあって、将来の研究を待って闡明（解明）せらるべきものである。目下、この研究の方法が3種ある。電位計によりその電離作用を測るものと、その電離の足跡を見るものと、その電離作用を生じる直接の主体を明らかにして宇宙線の本体を捉えんとするものである。これによって上記の諸問題が解かるれば宇宙物理学にある種の大進歩を促すことであろう」

実際、仁科は講演で述べた3つの手法を駆使して宇宙線を研究した。1つめの「電位計によりその電離作用を測るもの」は電離箱のことだ。宇宙線がアルゴンなどの高圧ガス中を通ると、

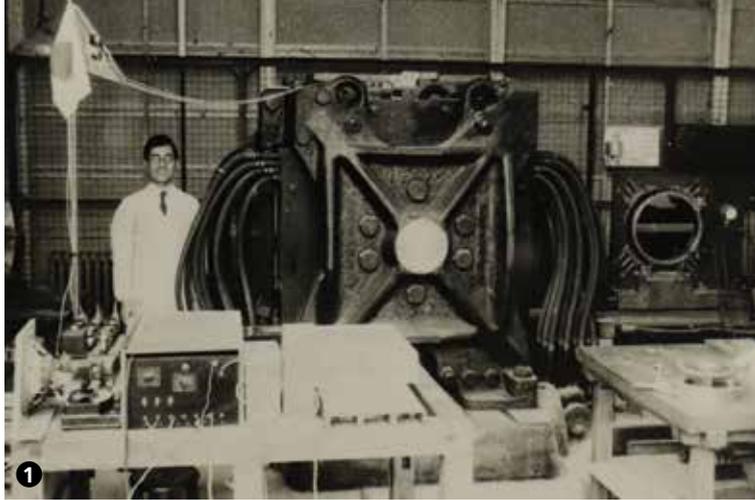
電離作用によって多数のイオンが生じるので、それによる電離電流を測定する（具体的には電流が流れることによる電極電位の変化を調べる）。2つめの「電離の足跡を見るもの」は理科の授業でも習う霧箱だ。宇宙線が過飽和状態の水蒸気中やアルコール蒸気中を通ると、電離作用で生じるイオンによってアルコール液滴が形成され、宇宙線の飛跡が飛行機雲のような形で視覚化される。磁場がかかっていると飛跡はカーブを描き、その曲がる向きと曲がり具合から宇宙線の粒子が持つ電荷の正負と質量がそれぞれわかる。

3つめの「宇宙線の本体を捉えんとするもの」とは当時新たに登場した計数管を用いた観測装置だ。計数管は宇宙線の粒子を個別にカウントするもの

で、正式にはガイガー・ミュラー計数管といい、私たちには放射線計測のガイガーカウンターとしてなじみがある。

当時、宇宙線の正体は陽子などの超高エネルギー荷電粒子なのか、ガンマ線を超える超高エネルギーの光子なのかわからず、両者を区別する手段として計数管を用いた観測装置が考案された〔その後の研究で地球に到来する宇宙線（一次宇宙線）の大半が陽子で、地球大気と反応すると多数の粒子が生じること（二次宇宙線）、それらうち地上まで到達するのは大半がミュー粒子（電子と同じ電荷を持つ電子より重い粒子）とその反粒子、電荷ゼロで質量が超微小のニュートリノであることが判明した。宇宙線の起源は今もよくわかっておらず、研究が続いている〕。

仁科らが研究を始めた当時、宇宙線は発見から約20年が過ぎ、その間、海外で様々な研究成果が出ていたので、まずは世界の流れに追いつく必要があった。量子電磁気学の理論研究（クライン=仁科の公式）で、若くして名を馳せた仁科だが、東京帝国大学の電気工学科を首席で卒業した後、前述の



仁科研究室の宇宙線観測装置 ①はミュー粒子の質量測定に用いた大型の電磁石と霧箱。人物は竹内証。②と③は清水トンネル内での計数管を用いた観測の様で、②の人物は左が仁科、右は藤岡由夫。③は中央正面の人物が仁科、その右隣が宮崎友喜雄、右端が藤岡。竹内と宮崎は仁科研究室の所属。藤岡は分光光学のパイオニアだった高嶺俊夫の研究室に所属していたが、仁科とも交流があった。

長岡との出会いもあって物理学に転じた経緯があり、装置作りや実験にも指導力を発揮した。

もちろん理論研究にも力を入れた。仁科は研究室を立ち上げる少し前、京都帝国大学で量子力学を集中講義し、聴講した若き朝永振一郎や湯川秀樹、後に二中間子論を提唱したことで知られる坂田昌一らに深い感銘を与えた。これが縁となって朝永、湯川、坂田は仁科研の理論部員となった。このほか素粒子物理学のパイオニアとなる数多くの若き俊英が迎えられた。

研究室創設から6年後の昭和12年には、当時世界最強レベルの磁場を加えられる自前の大型霧箱を使って、その存在が確認されたばかりのミュー粒子のほぼ正確な質量を世界に先駆けて求めるまでに至った（上段左の写真）。実験には大電力が必要なため、仁科は海軍に掛け合い、横須賀にあった潜水艦の蓄電池を充電する施設を借り受けた。ちなみに仁科らは同年、サイクロトロン1号機も完成させている。

一方、計数管が活躍したのは地下での観測だ。宇宙線が強い透過力を持つことは知られていたが、実際にどれほどの宇宙線が地下深部や深海に到来しているのか不明だった。計数管は指向性を持つため、環境中の自然放射線が地上よりはるかに強い地下でも、上方

から到来する宇宙線を識別できる。仁科らは大型で長期間安定に動作できるタイプを苦勞して開発した。そして鉄道省に掛け合い、昭和14年に上越線・清水トンネル内の地下480m地点で、翌昭和15年から21年までは同1230m地点で観測を実施した（上段右と下段の写真）。後者は水深約3000mに相当する環境で、当時としては宇宙線観測の世界最深記録だった。この記録は昭和26年まで破られなかった。

電離箱に関しては当初、海外からの資料をもとに作ったり、輸入したりした小型装置を箱根山や富士山頂に運んで、高度による宇宙線の強度の違いなどを調べていた。その実績を踏まえ、昭和11年、自前で設計製作した大型電離箱による観測を始めた。それが仁科型電離箱だ。全部で5台作られ、昭和17年までに順次稼働、平成初期までの半世紀にわたって各地で観測に用いられた。いずれも現存しており、前述の理研の展示室（仁科芳雄記念室）には2号機が置かれている。

仁科型電離箱は20リットルの耐圧容器に50気圧のアルゴンガスを封入した構造。電離箱としては大型で、その分、単位時間当たりには受ける宇宙線の数が多くなり、質の高いデータが得られる。また一般的な電離箱は、宇宙線によって生じたイオンに由来する電



離電流を測定するが、仁科型ではウランの放射性崩壊で生じる電子を常時、一定量供給することで、そうしたイオンの大部分を打ち消し、意図的に電離電流を小さくしている。それには理由がある。宇宙線は同じ場所で観測していると、その強度は長期的には一定だが、一時的に強くなったり弱くなったりすることがある。仁科型のような仕組みにすると、このベースラインからの強度変動を、電離電流値の変動として容易に読み取ることができる。

理研の大きな特徴は当時国内最高の技術を持つ工作部門を擁していたことだ。理研の創立に関わった長岡半太郎は実験装置の重要性を主張、技術習得

のため、米国のマイケルソン（Albert Michelson、干渉計による光速度の研究などでノーベル物理学賞）やブリッジマン（Percy Bridgman、高圧物理学で同賞受賞）のもとに職工を留学させ、現場には最先端の工作機械が揃っていた。仁科型電離箱も理研の工作部門が生み出した“作品”だ。

仁科型電離箱の1号機がデビューしたのは昭和11年6月、北海道知床の斜里岳での皆既日食観測で、日食の際に宇宙線の強度が変化しないことを検証するとともに、2号機以降の製造に向けてその性能が詳しく調べられた。観測が軌道に乗ると、気圧と気温の変化や磁気嵐など様々な原因で宇宙線の強度が変動する様子が見えてきた。

その当時の様子を仁科研究室にいた島村福太郎は次のように述懐している。「先にミリカン（Robert Millikan）やコンプトン（Arthur Compton）が示唆した気圧効果や気温効果や磁気嵐効果を順次確かめた。その都度、昼の会食席で親方（島村ら研究員は仁科のことをこう呼んでいた）の耳に入れた。『だんだん国際戦線への仲間入りだね』と満足そうだった」（仁科記念財団50周年冊子『仁科芳雄』収載の島村の寄稿記事による）。

実際、“国際戦線”で日本が一步、欧米をリードできそうな出来事もあった。終戦翌年の昭和21年、米国のフォーブッシュ（Scott Forbush）は米国が世界に展開していた宇宙線観測網の戦時中のデータを解析、太陽フレア（太陽表面の爆発現象）によって宇宙線の急増が起きることを発見した。実はその急増現象は戦時中、東京本駒込の理研と麻布飯倉の東京帝国大学天文学教室で稼働していた仁科型電離箱でも検知されていたが、当時は深く研究するには至らなかった。

その経緯について、終戦から3年後の昭和23年、仁科研究室に加わった西村純は天文月報（日本天文学会の月



理化学研究所・仁科記念財団

仁科研究室のメンバー 仁科研の最初の研究員、嵯峨根遼吉の海外出張歓送会の模様。嵯峨根は長岡半太郎の子息で、カリフォルニア大学のローレンス（Ernest Lawrence、サイクロトロンの開発でノーベル物理学賞）のもとで核物理学を習得した。後列右端から順に仁科、山崎文男、嵯峨根、小林稔、朝永振一郎（最上段）、富山小太郎、玉木英彦。前列右端から3人目が藤岡由夫、4人目が竹内証。富山と藤岡は高嶺俊夫研究室所属。昭和17年当時、理研の全33研究室の総室員数は804人で、うち仁科研が100人と最大規模だった。

刊誌）平成28年4月号のインタビュー記事で次のように述懐している。それはフォーブッシュの論文を読んだ西村らが仁科型電離箱のデータを解析していたときのことだった。

「宮崎さん（仁科研究室の宮崎友喜雄）が顔色変えて飛んできてね。『いや俺はね、（宇宙線が急増した）あのとき、その機械（仁科型電離箱）の係だった。この増加に気がついて理研の講演会で俺がしゃべった』って言うんだよ。そしたらね、仁科先生と長岡半太郎が目の前について、『お前ね、そんな雑な解析じゃダメだ。これは東京のどこかで停電でもあったときに出た電波でも拾ったんじゃないか。そういうこときっちりしないとダメじゃないか』って怒鳴られてさ（笑）。それでクシュンとなって終わりになってさ。惜しいことしたんだよね」

西村は戦後日本を代表する宇宙線研究者の1人だ。前述のインタビュー記事によると、昭和23年、東北大学を卒業した西村が仁科研究室を志望して仁科と2度目の面談をしたとき、仁科

の一声でこの道に進むことになった。

「僕はね、『先生のところで採ってくださったら、雑巾がけでもやります』って言ったんだ。ただね『熱力学だけはどうも性に合わないからご勘弁願いたい』って言ったら、先生ゲラゲラ笑ってたよ（笑）。そしたら『君、宇宙線やれよ』って言うからさ、『宇宙線って何ですか？』って聞いたら『まあ素粒子みたいなもんだよ』って言うんだよ。で、『朝永（振一郎）君に君の指導をするように言っといたから』と。それから『宮崎（友喜雄）君の宇宙線実験室に行って勉強するように』と」

当時は戦後の混乱期で、仁科は理研の立て直しのため研究現場を離れ、関係機関との交渉や資金調達に奔走していた。ところが昭和26年、病を得て60歳で急逝する。その後、仁科が道を開いた宇宙線研究は仁科の弟子たちによって飛躍的に発展した。令和5年、日本天文学会は仁科型電離箱が宇宙線研究に大きく貢献したとして、その誕生の地である理研が所蔵する2号機を日本天文遺産に認定した。 ■