

星のお知らせ

オンライン
「もういちど学ぶ天文学」時間: 14:00-15:30 **参加無料**

講師: 福井康雄(名古屋大学大学院名誉教授)

宇宙には、私たちに共通の謎と魅力が満ちています。もういちど天文学にふれてみませんか。オンラインの天文学教室を開催しています。もちろん、初めての方も大歓迎です。テキストは、「宇宙100の謎」福井康雄著(角川文庫)です。zoomを使用します。

第17回 2023年 5月27日(土)

第18回 2023年 7月29日(土)

第19回 2023年 9月30日(土)

新規参加は、下記のアドレスまで
事前にお申し込みください。
restudy@a.phys.nagoya-u.ac.jp

これまでの回に参加された方には継続して案内を
送付しておりますので、再度の申込は不要です。

NHK文化センター宇宙講座(オンライン)

NHK文化センター名古屋教室では毎年、福井康雄(名古屋大・名誉教授)が監修しております宇宙講座が開講されています。(受講料が必要です)

福井康雄 監修

「宇宙と物質の起源」(NHK文化センター)

時間: 18:30-20:00

2023年 4月 5日(水) ①はじめに

2023年 4月19日(水) ②ホログラフィーとは何か

2023年 5月17日(水) ③重力波天文学

2023年 5月31日(水) ④アルマで探る星間物質

2023年 6月 7日(水) ⑤宇宙線で探るピラミッドの謎

2023年 6月21日(水) ⑥星の終焉: 超新星残骸

2023年 7月 5日(水) ⑦最先端加速器で探る物質の起源

2023年 7月19日(水) ⑧星の形成

2023年 8月 2日(水) ⑨小惑星探査で探る太陽系の形成

2023年 9月 6日(水) ⑩宇宙大規模構造形成と観測的宇宙論

2023年 9月20日(水) ⑪宇宙線の起源

2023年 10月 4日(水) ⑫新しい発見

2023年 10月18日(水) ⑬まとめ

詳細はNHK文化センター名古屋教室にお問い合わせください。

<https://www.nhk-cul.co.jp/school/nagoya/>

TEL:052-952-7330

オンライン福井教室 時間: 14:00-16:00

第154回 2023年 4月29日(土)

第156回 2023年 8月26日(土)

※「もういちど学ぶ天文学」・福井教室は日程変更の可能性が
あります。福井康雄のホームページ
でご確認ください。

第155回 2023年 6月24日(土)

第157回 2023年 10月28日(土)

編集後記

オンラインでの講義や会議はすっかり当たり前となりました。Zoom画面でなら照れることなくメンバーの顔を見続ける事ができます。調子の悪い自分を見せたくなければカメラをオフにすればそれで済んでしまいます。画面共有で資料も見やすく、黒板の板書が見やすい席を確保する必要もありません。勇気を持った一歩を踏み出さなくとも事は進んでいくのです。今回のインタビューでnobukoさんが天体写真を一から始めたお話を伺い、好きなことを実現するための行動力に驚かされました。コロナも5月には5類に移行となります。動きが鈍くなっていた体や表情を早く元に戻し、自ら考え調べ動いていきたいものです。(編集委員 三浦 一佐衣)

表紙説明

銀河団「SMACS 0723-73」。JWST 最初のディープフィールド画像で、2022年7月にバイデン大統領の声明と共に公開された。ディープフィールドとは、空の特定の領域を長時間露光して、非常に暗い遠方の天体の光を捉える観測である。
画像提供: NASA, ESA, CSA, STScI



福井康雄のホームページ

ビデオメッセージバックナンバー、最新の研究内容などが紹介されています。

<https://yasuo-fukui.sakura.ne.jp/wp/>

名古屋大学星の会

(題字: 加藤延夫 愛知県芸術文化センター 元総長)

名古屋大学星の会 事務局
〒464-8602 名古屋市千種区不老町
名古屋大学理学部天体物理学研究室内
TEL 052-789-2837
電子メールアドレス hoshikai@a.phys.nagoya-u.ac.jp

「名古屋大学星の会」は、NANTEN2と、名古屋大学の宇宙研究を応援する一般市民の集まりです。

〈特集〉

- 02 銀河系に降る「水素の雨」
—銀河は今も成長している ◎福井 康雄 / 早川 貴敬
- 05 新宇宙望遠鏡JWST
- 06 半導体と超伝導で宇宙を観る ◎福井 康雄
- 09 オンラインで「福井教室」&「もう一度学ぶ天文学」
- 10 〈Kidsコーナー〉宇宙望遠鏡

銀河系に降る「水素の雨」

— 銀河は今も成長している

文=福井 康雄 Yasuo Fukui / 早川 貴敬 Takahiro Hayakawa

銀河は宇宙をつくる基本要素である。銀河がどのようにして生まれ、進化しているのか—天文学の大きな問題である。銀河系の誕生は100億年以上前にさかのぼるが、未だに銀河系は成長を続けている可能性がでてきた。ヒントは、銀河系をとりまく水素ガスにある。

水素ガスは波長21cmの電波で観測される。1950年代から水素ガスの観測は始まった。最初は天の川銀河系が観測の対象だったが、まもなく銀河面の外にも相当の水素ガスが存在することがわかってきた。1960年代、すでにヤン・オールト(本誌42号)は今なお水素ガスが銀河系に降り積もっているのではないかと指摘している。このようなガスは、ほとんどが青方偏移した速度

を持ち、銀河系に近づいていることが知られていた。これらは最大数100km/sの速度を持つが、以下では100km/s以上を「高速度雲」、それ以下を「中速度雲」と呼ぶことにしよう。

図1に質量の大きな中速度雲の全天にわたる分布を示した。中速度雲の大部分は天の川に集中しているが、そのほかに天の川から大きく離れた場所にも多くのガスが存在する。これらのガスが我々に近づく運動をしている。その速度は30km/sから100km/s以上にわたり、銀河の回転とは全く異なる速度を示す。

青方偏移を単純に考えれば、これらのガスは銀河系の外から飛来したものと思われる。しかし、これには異論

が出された。銀河には超新星爆発という強力なエネルギー源がある。超新星爆発は円盤内のガスを外に巻き上げる。巻き上げられたガスは100km/s以下のものがほとんどであり、膨張運動はやがて銀河面に落下する運動に転じる。特に20-30個の超新星爆発が一つの星団内で起こると、サイズが1000光年におよぶ大きなシェルがつくられる。これはスーパーシェルと呼ばれる(図2)。スーパーシェルで吹き上げられたガスが落下するとちょうど図1のような近づくガスとして見えるのではないかと、という考え方である。これを「銀河噴水モデル」と呼ぶ。ここでのポイントはガスの金属量(「金属」は、天文学的には水素、ヘリウム以外の炭素よりも重い元素の総称)である。もし、「銀河噴水モデル」が正しければ、ガスと銀河円盤はほぼ同じ金属量を持つはずである。金属量はガスがどの程度過去に星形成を経たかによって決まる。星形成が活発であれば、星の核反応によって金属元素が供給されるので金属量が増える。もし、ガスが星形成を経していない銀河系外起源であれば、金属量は低いと予想される。

通常、金属量は金属原子そのものの吸収線を測定して求められる。ここで問題になる中速度雲は温度が低く、絶対温度で100度くらいしかない。このためにガス自体は発光しない。かわりに明るい星の光を背景光として吸収を測る方法が使われる。ただし、金属原子は、そのかなりの部分がダスト表面に吸着されるので、実際の金属量よりも減少するなど、大きな不確かさがつきまとう。さらに、明るい星の数は全天でも100個たらずしかないので測定数自体は非常に少ない。このような測定は大型の光学望遠鏡が使用できるようになった1990年から2000年ごろにかけて行われ、その結果、多くの水素ガスの金属量は太陽系近傍とあまり変わらない、



図2 VLT望遠鏡で撮影された、大マゼラン雲のN44スーパーシェル。(画像提供: ESO/Manu Mejias)

と考えられるようになった。こうして一気に「銀河噴水モデル」が受け入れられるようになったのである。

この20年、この分野にあまり変化はなかった。しかし最近、我々はガスの金属量を推定する新しい手法を編み出した。ダストの量とガスの量を比べるのである。ダストは星間空間に漂う固体の粒であり、金属原子の大部分を含むと考えられる。その総質量は水素の1/100程度と推定され、太陽系の周りの空間ではこの割合はほぼ一定と見なせる。ダストは絶対温度で約20-30度であり、遠赤外線からサブミリ波の放射を放つ。全天のサブミリ波データを使ってダストと水素との比を求めることができる。その結果を図3に示した。

図3には4種類のガスが示されている。太陽系近傍では金属量が高く(a)、中速度雲はそれよりも有意に金属量が低い(b)、ばらつきも大きい。高速度雲は金属量が低く(c)、マゼラン雲の周りではさらに金属量が低いことがわかる(d)。このように広範な水素ガスの金属量

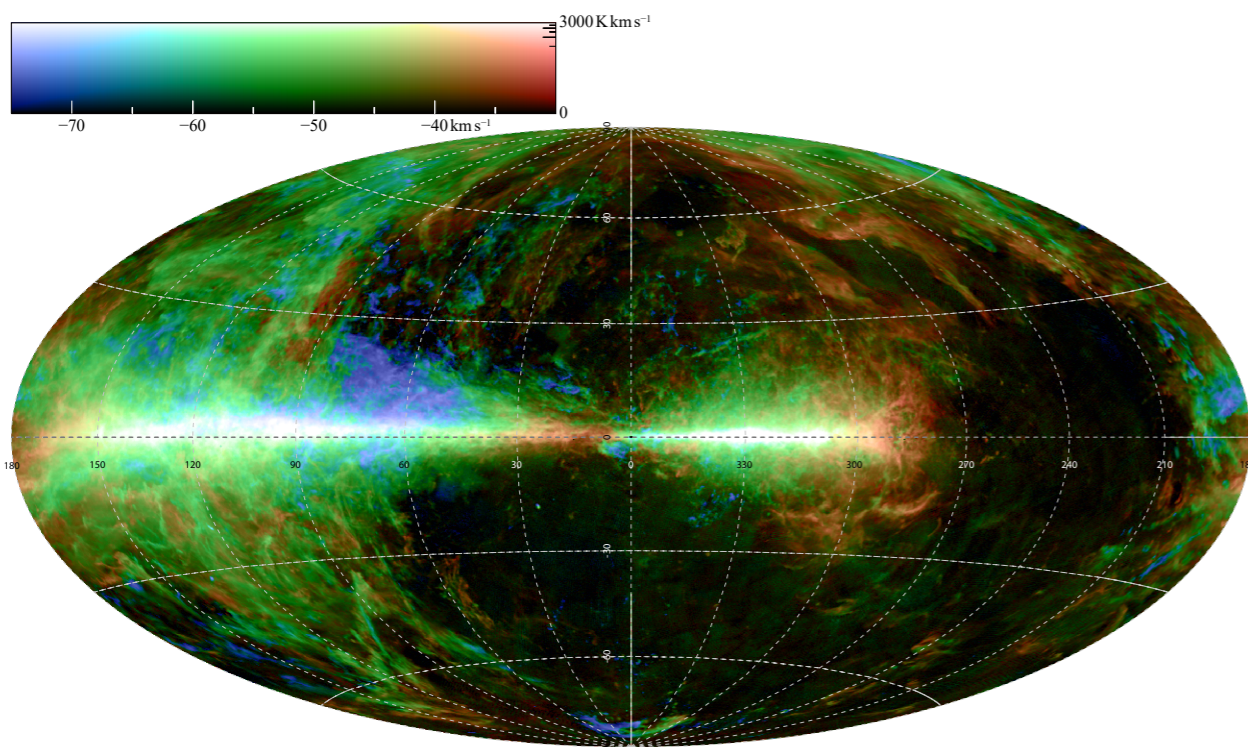


図1 中速度水素原子ガスの全天分布(視線速度-30 - -100km/s)。負速度は青方偏移を表し、この場合は銀河円盤への落下を示唆している。

が測定されたのは前例がなく、我々の研究の大きな成果である。これまでの数少ない測定例と比べると、値としては矛盾がないことがわかる。

図3の結果から我々は、中速度雲は高速度雲同様に外来起源である可能性が高いと考えている。まず、マゼラン雲、高速度雲の低い金属量は、直接外来を示唆しており、従来の説と一致する。問題の中速度雲は種々の金属量を含むが、これには考察が必要である。実は中速度雲は比較的銀河面に近い位置にある。3000光年内外である。一方、高速度雲はより遠くの1万光年以上

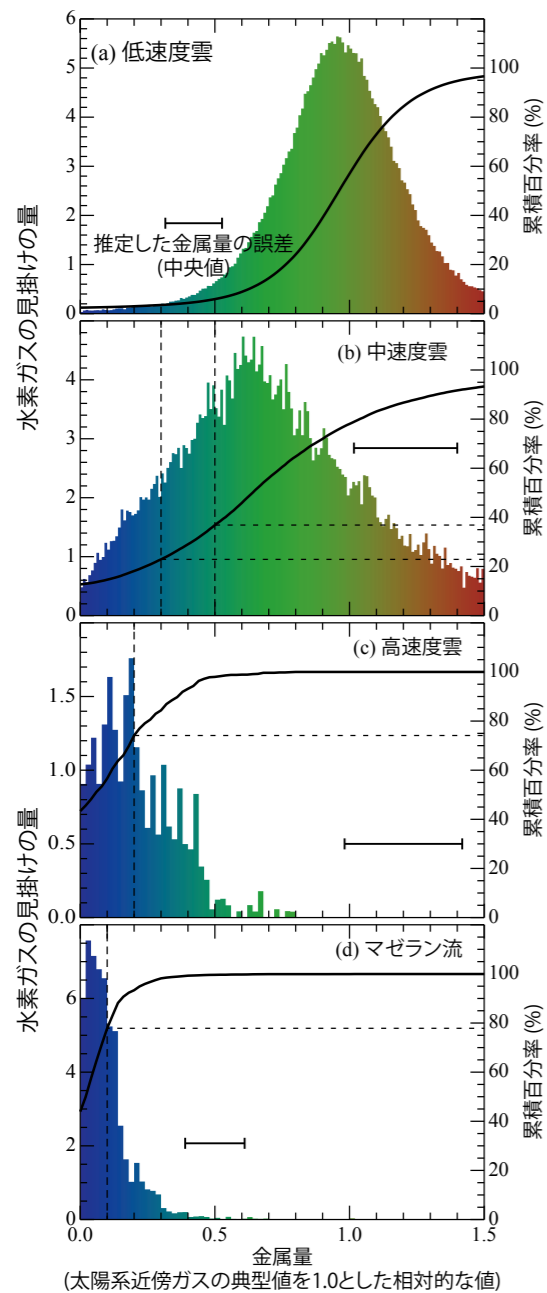


図3 (a) 太陽系近傍の低速度雲、(b) 100km/s以下の中速度雲、(c) 100km/s以上の高速度雲、(d) マゼラン流の金属量分布関数。金属量は、太陽系近傍ガスの典型値を1.0とした相対値で示している。誤差棒は金属量推定精度の中央値を示す。(Hayakawa & Fukui submitted to MNRASより改変)

の空間に存在すると見られる。銀河系の差し渡しは10万光年であり、3000光年の距離では円盤のガスがはみ出て存在し、それと中速度雲は衝突相互作用していることがわかる。

これが問題であり、衝突雲は銀河系円盤内の高金属量のガスを吸収して初めよりも金属量が高くなるのである。同時に、中速度雲の速度は減速されて遅くなる。このような中速度雲の変性を図4に示した。特に、赤線部は減速したガスの金属量が上昇していることをよく示しており、我々の説を裏付ける。以上の研究は、大量の水素ガスが銀河系の外から降り注いでいることを示唆する。計算してみると1年に太陽1個分の水素が銀河系に降り注いでいる。銀河系はいまも成長を続け、それが星の誕生を支えているのである。銀河系の進化は今も続いている。今後、他の銀河でもこのような銀河成長が見えてくることが期待される。

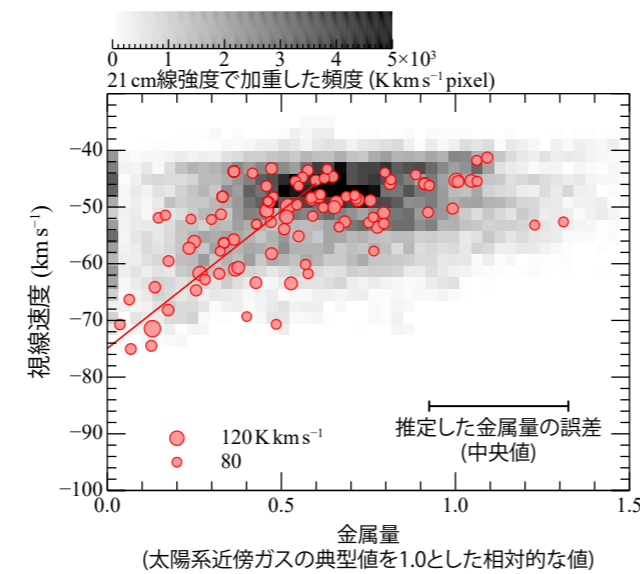


図4 金属量(横軸)と視線速度(縦軸)の相関関係。背景のグレースケールが二次元頻度分布を表している。丸印は水素21cm線強度が強い(すなわち柱密度が高い)箇所を抽出して示している。(Hayakawa & Fukui submitted to MNRASより改変)

新宇宙望遠鏡 JWST

2022年7月12日(アメリカでは11日)、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (James Webb Space Telescope、以下「JWST」) が撮影したカラー画像が初披露されました。バイデン大統領の声明や、銀河団SMACS0723の画像をニュースで見たという方も多いと思います。

JWSTの特徴は、赤外線観測に特化していることと、過去の赤外線観測衛星に比べて格段に感度が高いことです。ハッブル宇宙望遠鏡(HST)が持っていた可視光や近紫外線を観測する能力を切り捨ててしまったのは退化のようにも見えますが、遠方の宇宙(より遠方の宇宙ほど速く遠ざかり=ハッブルの法則、ドップラー効果により波長が長くなる)や、塵に深く埋もれた星・惑星形成の現場を観測するためには、赤外線を観測する高い能力が重要です。JWSTの特性は、最先端の天文学の要求に合わせて進化した結果だと言えます。JWSTでは、プロジェクトとして以下の4つの科学目標が設定されています。

- ・宇宙暗黒時代の終わり：135億年以上前の宇宙で最初の星や銀河が生まれる様子を捉えることができるかと期待されています。
- ・銀河の形成：初期の銀河と現在の銀河の比較から、銀河が何十億年もかけてどのように形成されてきたかを理解するのに役立ちます。
- ・星の誕生と原始惑星系：既に稼働しているALMAと並ぶ強力な武器になることは間違いありません。
- ・惑星系と生命の起源：太陽系/太陽系外惑星の大気について詳しく観測し、生命の構成要素を発見することが期待されます。(文/早川貴敬)

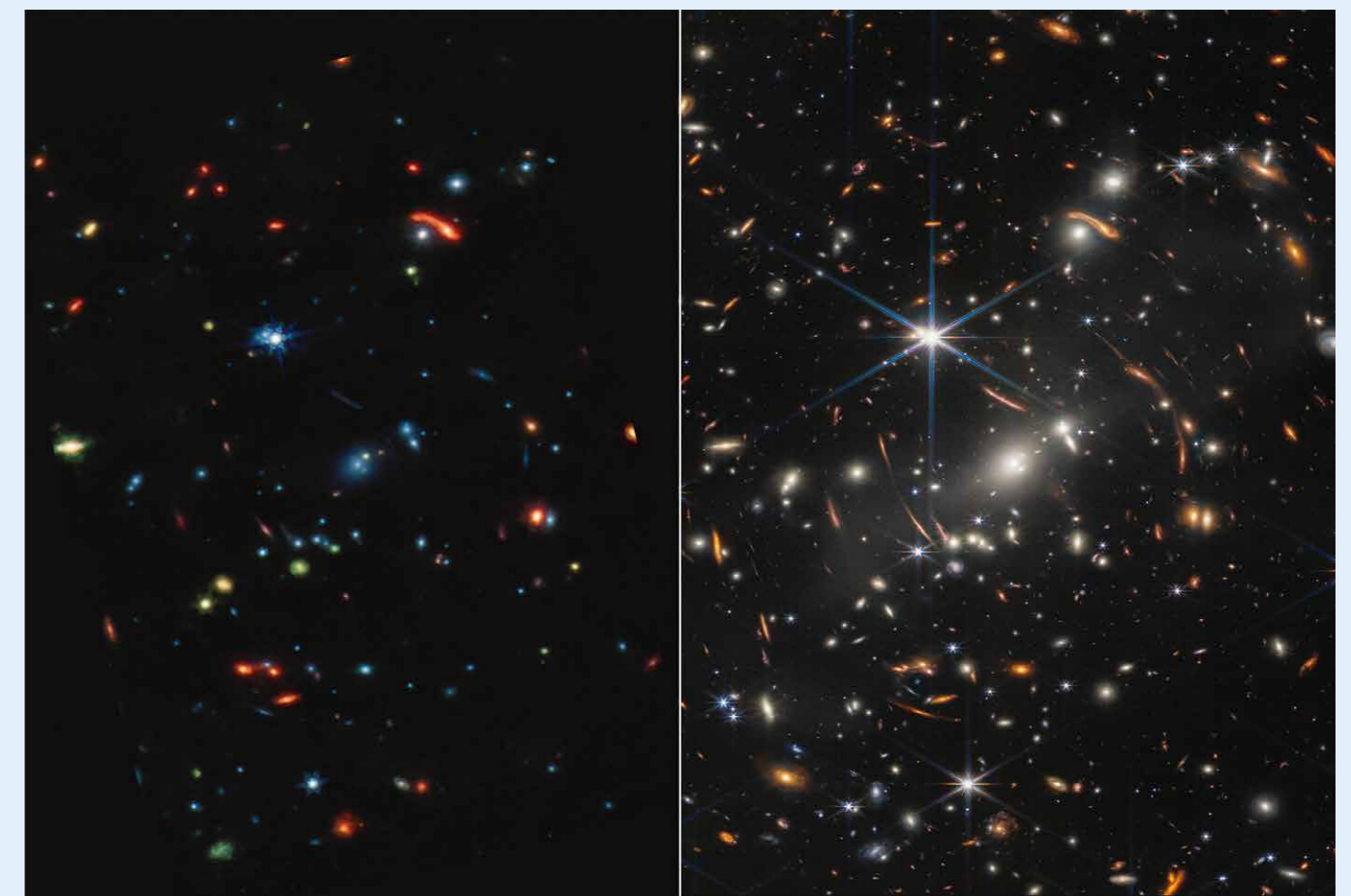


図1 JWSTには、近赤外線カメラの他、更に波長の長い中間赤外線を観測するカメラも搭載されており、HSTでは観測できなかった深く埋もれた星形成を捉えることも可能である。左は中間赤外線、右は近赤外線撮影された銀河団SMACS0723の画像である。(画像提供: NASA, ESA, CSA, STScI)

半導体と超伝導で 宇宙を観る

福井 康雄 Yasuo Fukui

天文学の研究は実社会とはかけ離れていると思われがちであるが、そうではない。

天文学者もまぎれのない社会の一部であり、社会と深くつながっている。このところ宇宙観測の手段はますます高度化・精密化している。ハイテク抜きに天文観測を語ることはできない。ハイテクの背景には、国の経済と技術水準が大きく控えている。

宇宙の観測装置は、よく見えること、つまり「感度」が命である。電波観測も例外ではない。私が名古屋大学に赴任してすぐに直面した課題は、性能の



よい受信機の開発であった。1980年当時、我が国の受信機の水準は世界の最先端から大きく水をあけられていた。なんとかよい受信機を早くつくりたい、という気持ちが日増しにたかまった。

世界の最先端を自分の目で確かめたいと考え、このころ私は海外の天文台への視察を重ねていた。アメリカの東西海岸、そしてロッキー山脈にそって先端の研究機関と天文台群が並んでいた。カルテク、キットピーク、米国立電波天文台などである。当時の世界のトップは半導体を用いた受信機であった。その要件を吸収し、およそ5年を費やして大学内に受信機開発のための設備を用意することができた。1986-87年ごろである。

受信機の役割は、宇宙から来る高周波の電波を周波数の低い電波に変換することである。たとえば、なんてん望遠鏡は、衛星放送の10-50倍という高い周波数の電波を観測している。この変換が効率よくできれば、放送の電波のように、容易に宇宙の信号を読み取れる。このとき最大の問題になるのは、「受信器自体の生む雑音」である。雑音が強いと、弱い宇宙の電波は雑音にうずもれてしまう。雑音のもとには電気抵抗であり、電気抵抗が小さいほど雑音も小さくなる。半導体受信器も絶対温度20K(マイナス摂氏マイナス250度)に冷却して熱雑音を減らしていた。さらにその先の極限「電気抵抗ゼロ」

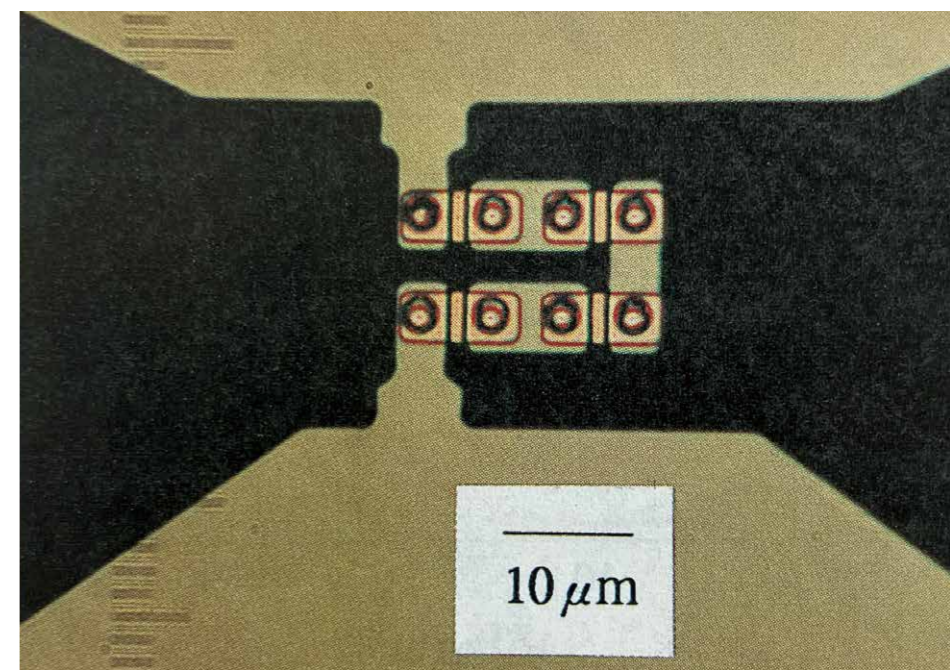


図1 超伝導素子の光学顕微鏡写真。「コ」の字型に8個の素子が直列に連結されている。

の世界が、超伝導である。1980年代後半の最先端は、早くも超伝導受信器に移っていた。海外での高性能受信器の開発を横目で見ながら、名古屋で「歯軋り」することしきりであった。

この頃、私の目に偶然とまったのが、富士通厚木研究所チームの成果であった。このチームはニオブという金属を微細蒸着してキレのよい超伝導素子を開発していたのである。素子の構造は「ニオブ/酸化膜/ニオブ」のサンドイッチ状であり、マイクロオーダーの精密なもの。ニオブは「高い」温度でも超伝導になり、扱いやすい。市販の4K冷却機によって冷せば超伝導にできる。ちなみに、富士通チームは電波天文学ではなく、超伝導素子を使ったコンピュータを開発しようと意気盛んであった。狙いは異なっていたが、素子に対する要求は共通していた。

同研究所に連絡をとると、先方も興味を持って相談にのってくれた。コンピューター用にはシリコン基板の上に素子をつくるのだが、シリコンは電波特性

が悪いので石英板に変える必要があった。石英にすると素子製作の条件が変わるので、何回かの試作が必要になる。ややあって、石英上に試作されたニオブの素子が手にはいった(図1)。実験室で測ってみると、この素子の特性は世界に引けを取らない素晴らしいもので、非常に期待できた。実際、大学の実験室で受信器に組みこんでみると、実に良い性能が出る(図2、3)。その後、いくつかの改良を加えて、これまでに聞いたことのない高性能が実現できた。1989年のことである。

受信器の雑音には、原理的な限界がある。これは、「量子限界」と呼ばれる。量子限界は受信する電波、つまり「光子」のエネルギーで決まり、これが雑音の強さを決める。どんなに他の雑音を減らしても、光子エネルギー以下には原理的に下げられない(これはハイゼンベルクの不確定性関係の現れである)。ついに私たちの受信器はこの雑音レベルを達成したのである。つまり、究極の受信器の開発に成功したことを意味する。1990年、早速論文を書き、

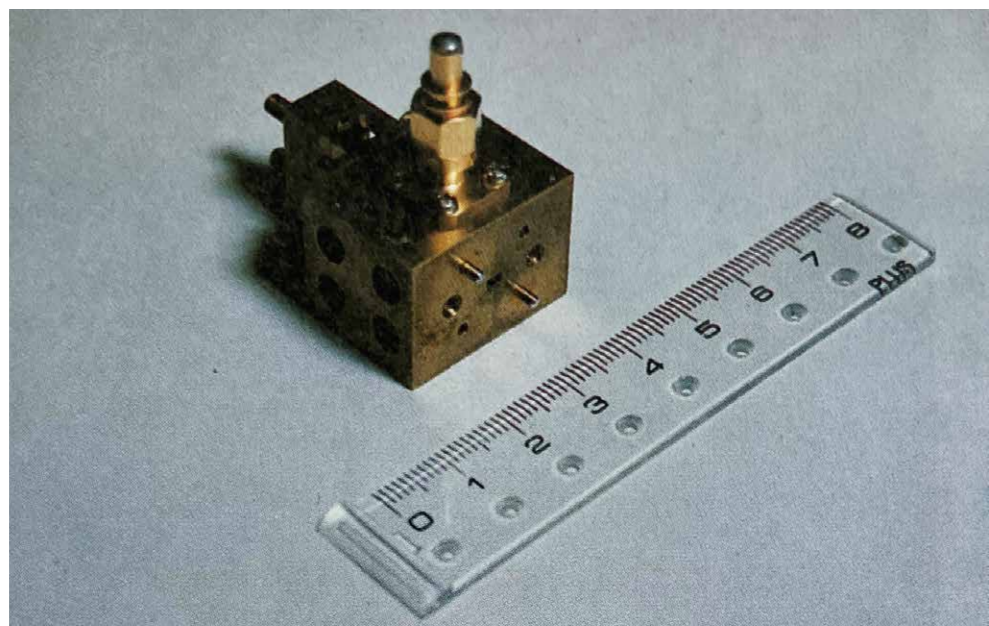


図2 組み上がった超伝導ミクサーの写真(写真中のスケールの単位はcm)。

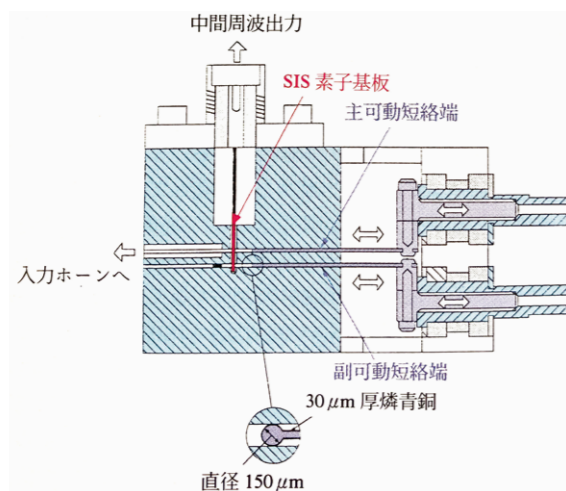


図3 超伝導ミクサー(図2)の断面図。図中で赤色になっているのが素子基板である。

発表した。さらに、この受信器は4メートル望遠鏡に搭載して観測に使い、素晴らしい高感度が実感できた。「星の卵の研究」に始まり、「なんてん」に続く研究成果はこうして現実のものになったのである。

2000年代にはいってALMA望遠鏡計画が持ち上がり、望遠鏡の仕様が検討された。この時点でも我々の受信器は世界最高の性能を保持していることがわかり、ALMA受信器の開発目標に設定された。この目標設定が今日のALMAの観測成果にもつながっている。

現在の我が国の半導体開発は、残念ながら世界に遅れをとり、多くの解決すべき課題が指摘されている。1990年頃の我が国の力量と勢いを振り返ると、惜まれてならない。激動の国際状況の中で複雑な政治バランスに翻弄され、いくつかのボタンのかけ違いがあったのかもしれない。単に技術開発にとどまらず、大局的な国の「経営」理念も含めた深い検討が求められているように思われる。

本記事の図1-3は、「極限的な高感度ミリ波検出と宇宙の観測」(福井康雄1993年、物理学会誌48巻12号958ページ)より複製した。©1993 The Physical Society of Japan

オンラインで 「福井教室」&「もう一度学ぶ天文学」

～参加者の声“nobuko”さんに聞く～

インタビュー日時 2022年10月8日(土) 14:30～(オンラインにて)
 インタビュアー 星の会会員：東悦子/三浦一佐衣/柚原克朗/間瀬圭子
 名古屋大学理学研究科：早川貴敬/福井康雄



コロナ禍中において、はや4年目となり、星の会の講演会や福井先生の講座は、オンラインに移行しています。おかげで参加しにくくなった、と思われる方は少なくない想像しますが、遠方の方には新たに参加するチャンスかもしれません。そのような中で、「いつも心に残る質問をする人がいる」と福井先生がおっしゃる“nobuko”さん(星の会会員)にお話を伺うことができました。

“nobuko”さんは子育てを終えたのを機に、ゼロから独学で本格的な天体写真撮影を始められたそうです。そこで頼りにされたのは、天文ショップでのサポートやSNSでの情報交換だったとのこと。今や、機材も含めてあらゆる手段もインターネットなどの通信技術(ICT)が当たり前になりました。

「写真を撮るようになってから、先生のお話が具体的に頭に入りました。今気になっているのは、干潟星雲におたまじゃくしのような黒い影がふにゃふにゃとあるんです。写真にしないと気が付かなかったんですが、それがなんだろう、って是非また福井教室で質問したいと思っていました。」

ご自身で撮影されたアンドロメダ星雲の画像を背景に、

とても生き活きと語っていただきました。その様子から、学びたいという気持ちの上では対面かオンラインかは関係ないのだと思いました。

オンライン講座になったおかげで、遠方の名古屋大学へ出向かずとも普段着のまま受講できる上に、時間に余裕ができたので先生のお話もしっかり聞けるようになった、とおっしゃいます。なるほど、オンライン教室には、例えば遠くチリにいても参加できるのです。

反対に、対面教室に通っていた時にはご友人との食事が楽しみだったそうですが、それが無くなったともおっしゃいました。確かに、講演会の後のライトパーティもできません。星の会としては、大きなものを失いつつあるのかもしれませんが、これは別の問題として考えねばならないことでしょう。

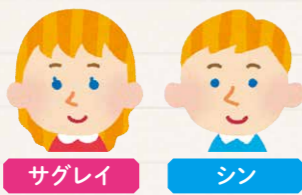
諸々緩和されつつある今、対面教室が再開される日は近いのでしょうか？

いずれにせよ、サイエンスをかじる私たちにとって、新しいものを取り入れて慣れていく姿勢は大切です。オンラインの教室に、遠くの方も近くの方も奮ってご参加ください！(文/間瀬圭子)

Kidsコーナー

太陽と月と
星と地球

宇宙望遠鏡



サグレイ

シン



サルヴィ先生

サルヴィ先生、こんにちは。

やあ、サグレイさん、シンくんもこんにちは。



今回はジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡(JWST)が特集されているけれど、
宇宙に上げた望遠鏡はどれくらいあるの？

たくさんあるよ。特にX線を観測するには、
地球の**大気の外**に行かなければならないんだ。



日本の『**ひので(X線観測)**』や『**ひさき(紫外線観測)**』が今も活躍中だよ。

そうだね。マイクロ波の観測では、
「**プランク**」や、もう運用を終えた「**WMAP**」を覚えておいてね。
「**プランク**」には、NANTEN2からも共同研究に参加しているよ



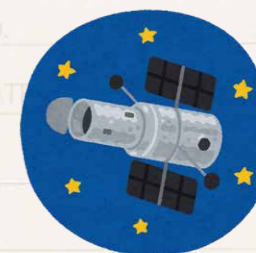
JWSTは『**ハッブル宇宙望遠鏡(HST)**』の後継機だって
聞いたんだけど、HSTについて、もっと知りたいです。



ハッブル宇宙望遠鏡(1997年撮影)(画像提供:NASA)



HSTは、口径2.4mもある可視光の望遠鏡で、
ほかにも高性能なカメラや分光器、赤外線カメラなども搭載しているので、
ここで紹介した他の観測機(人工衛星)の**100倍**も大きいよ。



宇宙空間から可視光の観測をするのはHSTだけなんだよね？

そうなんだ。宇宙の観測機はたいてい5年くらい、長くても10年くらいでその役目を
終えているけれど、HSTはもう**30年以上**も活躍しているよ。



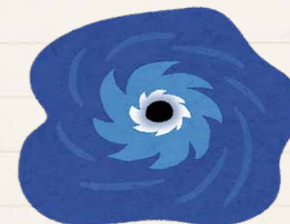
私たちが生まれるずっと前からなのね。まだ大丈夫なの？

これまでに何度も故障しているよ。スペースシャトルが運用されていたころに、
5回も人の手で宇宙空間で**修理やバージョンアップ**をしていたんだよ。



それで、HSTはこれまでにどんな観測をしたの？

人類が初めて見た画像をたくさん届けてくれたよ。はるか遠くの銀河たちや、
それまでは真黒な影にしか見えなかった星雲の詳細や、星が生まれる現場など、
宇宙は躍動していると改めて認識しなおしたよ。

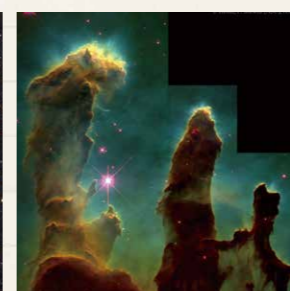


そこから、銀河の中心に**ブラックホール**があることや、
太陽系の惑星たちに起きている**気象現象**、太陽系外惑星の**大気の特徴**などもわかってきたよ。



30年も観測していると、その成果もたくさんあるんだろうね。

そうだよ。今では当たり前になっていることも、30年前は当たり前ではなかったことが
たくさんあるんだ。HSTは、**歴史上最も多くの成果を挙げている**ね。
さらにJWSTと協力しながら、まだまだ活躍するみたいだから、応援しよう！



左:ハッブルディープフィールド(1995年)。
画像提供 NASA。
右:へび座のM16わし星雲で撮影された、
「創造の柱」。1995年撮影。画像提供
NASA, ESA, Hubble Space Telescope,
J. Hester, P. Scowen (ASU)

※今回の登場人物は、望遠鏡観測の先駆者ガリ
レオ・ガリレイの著書に登場する「サルヴィアチ」
「サグレド」「シンプリツィオ」にちなみました。
本誌第40号以来のご登場です。

文/間瀬 圭子(星の会会員)

