



これまでも、
これからも。

三菱電機は、1960年代に宇宙事業に参画して以来、
宇宙インフラの発展に挑み、実現してきました。

技術を磨き、人々に豊かさを提供し続けることが私たちの責務です。

これからも宇宙事業を通して安心して豊かな暮らしを支え続け
挑戦と変革のマインドをもって よりよい未来を切り拓きます。

三菱電機の宇宙システム

初期宇宙を 解明する 将来の天文学



一家に1枚「宇宙図2024」ダウンロードフリー
<https://www.mext.go.jp/stw/series.html>



●宇宙図プロジェクト代表者5名が「一家に1枚宇宙図の制作とそれを用いた天文学の普及啓発」により、令和7年度の文部科学大臣表彰科学技術賞 理解増進部門を受賞しました。

CONTENTS

1章 p.04-05

インフレーションを観測的に検証できるか？

茅根裕司

2章 p.06-07

次世代電波望遠鏡SKAで宇宙の産声を聞く

高橋慶太郎

3章 p.08-09

ヘリウムは少なくて窒素や鉄は多い？

—最新観測で探る元素の起源—

大内正己

4章 p.10-11

アルマ望遠鏡で探るダークマターの小構造

井上開輝

5章 p.12-13

すばる望遠鏡で原始ブラックホールを探せ！

高田昌広

6章 p.14-15

ダークエネルギーの正体は何か？

—最近のDESIの結果が示唆すること—

寺田隆広

初期宇宙を解明する 将来の天文学

GUIDE 0001

<https://www.nao.ac.jp/naoj-news/explanation/0001.html>



アンケートフォームに本誌
のご感想やご要望をお寄せくださ
い。(回答期限：2025年12月31日)

<https://forms.office.com/r/u1BCvQM6EY>



宇宙の全歴史の図解。横軸は時間、縦軸は膨張する宇宙の大きさを示す。右側では現在の宇宙での成長した銀河が現れる。今回の特集では左側の幼い宇宙の時代に注目する。(クレジット：NASA)

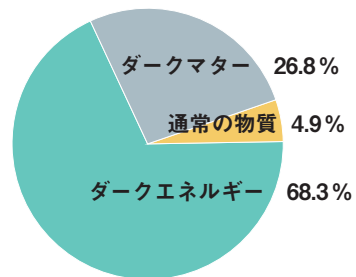
イントロダクション —宇宙のはじまりを観測で解明する—

宇宙はその誕生直後、わずか 10^{-38} 秒程度の間にインフレーションと呼ばれる急激な膨張を起こしました。そして、その後には作られたビッグバン火の玉が長い期間膨張することにより、現在の広大な宇宙になったと考えられています。インフレーション宇宙の膨張の速度は加速的に速くなるものだったのですが、ビッグバン宇宙火の玉は、速度がだんだん遅くなる減速膨張でした。現在の宇宙のエネルギーの総量に占める割合は、通常物質が約5%、見ることでできないダークマターが約27%、そして物質とすら呼ぶことのできないダークエネルギーが約68%となっています。今回、6人の専門家をお願いして、それらの起源の謎に挑む観測と理論について解説していただきます。

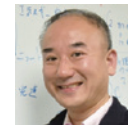
インフレーションを引き起こす張本人は未発見の素粒子の一種であるスカラー場で、総称としてインフラトン場と名付けられています。インフラトン場を持つ量子ゆらぎが、後の宇宙における、場所ごとの温度ゆらぎや密度ゆらぎに変換されると考えられています。そして、その密度ゆらぎを源として、物質が重力的に集まって作られた天体が銀河や銀河団なのです。そのため、量子ゆらぎは宇宙の大規模構造の種と呼ばれます。現在の宇宙の温度(約-270度、もしくは約3ケルビン)と、そのゆらぎを電波で測る観測が宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の観測です。その電波シグナルの偏光を捉えることによりインフラトン場の正体が明らかになると期待されます(1章)。

インフレーションは、同時に宇宙全体で重力波を作りました。こちらは原始背景重力波と呼ばれ、ブラックホールの衝突などで作られる天体起源の重力波とは区別されます。LIGO/Virgo/KAGRAの共同研究でも、100ヘルツ帯などで、その検出可能性が検討されています。しかし、その一方、最近、電波を用いたパルサータイミングの観測により、もっと低周波の原始背景重力波を捉えたというニュースが報告されました。こちらの方法でもインフレーションの検証につながる可能性が期待されています(2章)。

宇宙が始まってから数分の間に、ビッグバン火の玉の中でさまざまな軽い元素が誕生しました(水素、重水素、3重水素、ヘリウム3、ヘリウム4、リチウム7などの原子)。これはビッグバン元素合成と呼ばれます。さらに、その後の宇宙での銀河中の恒星の中では、軽元素を材料とする核融合が進み、炭素、窒素、酸素を経由してもっと重い元素が作られます。そして、恒星の死後、これらの元素は宇宙空間にまき散られ、惑星系などに入っていくことになります。最近、最新のヘリウム4の観測において、ビッグバン元素合成の標準理論との整合性に注目が集まっています。また、早期に作られた銀河の中での窒素と酸素の量に関して驚きの結果が報告されました(3章)。



ライゴ バーゴ カグラ



郡 和範
KOHRI, Kazunori
科学研究部

見えない物質ダークマターの正体は何なのでしょう。光を発しない、反射もしない物質であることから、通常物質(原子)と散乱することなく自己重力により球体のハローを作るという特筆すべき特徴があります。そのため、そのハローの重力により通常物質が集められて、はじめて円盤状の銀河が形成されるのです。これまでダークマターの候補として理論的に提案されてきたのは、例えば弱く相互作用する重い新粒子(ウィンプ)、光の親戚のような新粒子アクシオン、宇宙初期から存在するミニブラックホール(原始ブラックホール)、標準的な左巻きニュートリノではない、新粒子である右巻きニュートリノなどがあります。今回は、アルマ望遠鏡を用いて、その速度が速いか遅いか(言わば温かいのか冷たいか)という性質から判別する方法が紹介されます(4章)。また、すばる望遠鏡を用いた、原始ブラックホールがダークマターとなるシナリオの解明へのエキサイティングな挑戦が解説されます(5章)。

現在も宇宙は膨張し続けています。その膨張のスピードは加速膨張であることがわかってきました。つまり、現在の宇宙は言わば、2度目のインフレーション期に突入しているのです。この加速膨張を引き起こす張本人が、アインシュタインが提唱した宇宙定数、もしくは、今日ダークエネルギーと呼ばれるエネルギー状態なのです。最近の観測により、ダークエネルギーは定数ではなく、時間変化する兆候が捉えられたと報告されました。その正体に迫ります(6章)。

次号予告

次号(2025年夏号)は「大学VLBI連携観測事業 Japanese VLBI Network (JVN) 観測開始20年」を大特集。JVNは、2005年度に始まった東アジアを代表するVLBI観測網で、国立天文台と複数の大学が連携して電波望遠鏡や観測ネットワークを運用しています。オールジャパンで取り組む電波天文観測の歴史と今を紹介します。

NAOJ NEWS / 国立天文台ニュース

No.346 2025年春号
© 2025 NAOJ (本誌記事の無断転載・放送を禁じます)

発行日/2025年4月30日

発行/大学共同利用機関法人 自然科学研究機構
国立天文台ニュース編集委員会

〒181-8588 東京都三鷹市大沢2-21-1

TEL 0422-34-3958 (出版室)

FAX 0422-34-3952 (出版室)

国立天文台代表 TEL 0422-34-3600

質問電話 TEL 0422-34-3688

shuppan@ml.nao.ac.jp

<https://www.nao.ac.jp/about-naoj/reports/naoj-news/>



国立天文台ニュース編集委員会

●編集委員：小久保英一郎(委員長・天文シミュレーションプロジェクト)／渡部潤一(天文情報センター)／石井未来(TMTプロジェクト)／岩田悠平(水沢VLBI観測所)／勝川行雄(太陽観測科学プロジェクト)／平松正顕(天文情報センター)／伊藤哲也(アルマプロジェクト)／藤井友香(科学研究部)

●編集：天文情報センター出版室

紙版の発送停止や発送先変更のご依頼は
こちらのフォームから
<https://forms.office.com/r/97uZF7KH2Y>



インフレーションを 観測的に検証できるか？

「地上
から」

大口径望遠鏡
Simons Observatory

小口径望遠鏡

CLASS

Atacama Cosmology Telescope

POLARBEAR/Simons Array

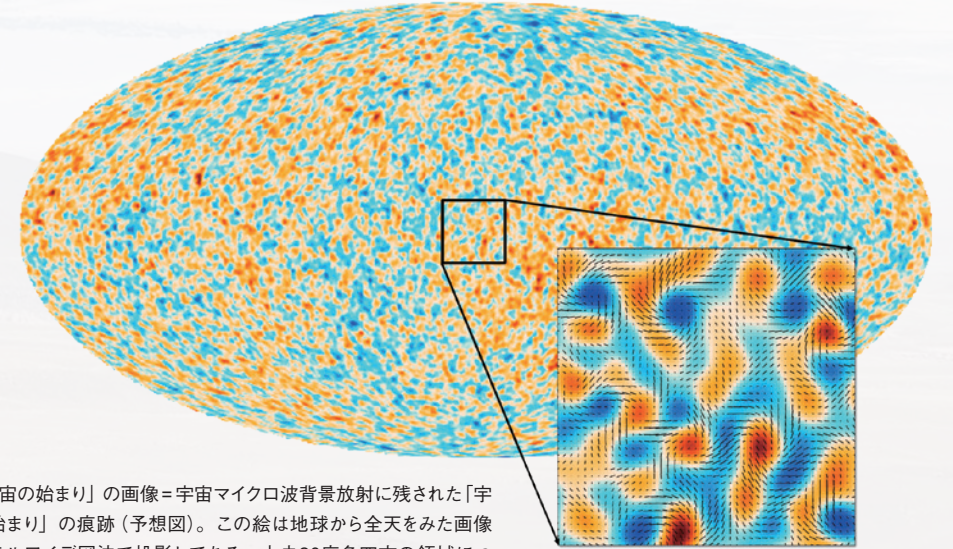
②観測が進むチリ・アタカマ砂漠、標高5,200 mに建設されたSimons Observatory。中央に大口径望遠鏡（左）と円形の構造物の中に小口径望遠鏡（右）が設置されている。右下にはこれまで観測を行っていたPOLARBEAR/Simons Array、右にAtacama Cosmology Telescopeが見える。チリ・アタカマ砂漠は「宇宙の始まり」を観測する最前線である。
（クレジット：The Simons Observatory Collaboration）

GUIDE 0002

<https://www.nao.ac.jp/naoj-news/explanation/0002.html>



「宇宙
から」



①「宇宙の始まり」の画像＝宇宙マイクロ波背景放射に残された「宇宙の始まり」の痕跡（予想図）。この絵は地球から全天をみた画像を、モルワイデ図法で投影してある。中央20度角四方の領域については、マイクロ波の「向き」（＝偏光）も描かれている。偏光が赤・青点の周囲に「渦巻き」状に分布していることがわかる。
（クレジット：茅根裕司）

③人工衛星「LiteBIRD」の想像図。JAXA/ISAS主導による日欧米を中心とした人工衛星計画。2030年代前半の打ち上げを目指している。
（クレジット：JAXA）

皆さんは「宇宙がどうやって始まったのか？」と不思議に思ったことはないでしょうか？ 私は子供の頃にこの疑問をもって以来、宇宙の始まりを「見る」ことを夢みてきました。文字通り夢のような話ですが、最新の観測により現実のものとなりつつあります。



「宇宙の始まりを見る」とはどういうことでしょうか？ 我々は通常ものを「光」で見ます。光はとても速いですが、実は速度は有限で秒速30万キロメートルです。地球上では無限大とも感じられる速度ですが、宇宙規模になると話は変わります。例えば地球と月の距離は約40万キロメートルなので、我々は約1秒昔の月を見えています。太陽はもっと遠く1億5千万キロメートルあるので、約8分昔の太陽を見ていることになります。このようにどんどん遠くまで観測できれば、宇宙の始まりを見ることができ（p.02 宇宙図参照）。

宇宙の始まりには何が起こったのでしょうか？ もちろんまだ観測されていないため確定的なことは言えませんが、これまでの研究から宇宙の始まりには「インフレーション」と呼ばれる指数関数的な加速膨張が起きたという説が有力です。そしてインフレーション中の「ゆらぎ」から、宇宙にある多様な構造の「種」が生成されたと考えられます。この「種」はつまり、銀河、星、惑星、そして我々人類の起源だと言えます。このような途方もない説を受け入れるためには、明確で圧倒的な説得力のある観測事実が必要です。

人間が目で見える光は可視光ですが、宇宙の始まりからやってくる光は波長が伸びてしまい「マイクロ波」となっています。実はこのマイクロ波、別名「宇宙マイクロ波背景放射（CMB）」は既に観測されていますが、この中に残るインフレーションの直接的な痕跡はとても微弱であるため、未だ観測されておりません①。私はこの痕跡を観測するために地上観測「Simons Observatory（サイモンズ天文台）」②と人工衛星「LiteBIRD」③を推進しています。

前者は地上に望遠鏡を設置することで最新の技術をいち早く導入できるメリットがある一方、全天を観測することができません。人工衛星は全天を観測できる一方、打ち上げまでに多くの準備期間と費用がかかります。どちらかを選ばずに地上と衛星で観測することは無駄のように思えるかもしれませんが、微弱な痕跡を明確で圧倒的な説得力で観測するためには、両者が必要不可欠であると考えています。

Simons Observatoryはまさに観測を始めたところ。LiteBIRDは2030年代前半の打ち上げを目指しています。遠くない未来、私の希望としては2030年代中には皆様に「宇宙の始まり」の画像をお見せできればと思います。



茅根裕司
CHINONE, Yuji

高エネルギー加速器研究機構

人類が宇宙の背景重力波を検出できるようになる時期が迫りつつあります。重力波とはアインシュタインの一般相対論で予言された重力の波であり、空間のゆがみが宇宙空間を波のように伝わってくる現象です。重力波はLIGO実験により2015年に世界で初めて検出されました。その重力波は太陽の何十倍もの質量を持った2つのブラックホールの連星から放出されたものでした。一方、背景重力波とは、特定の天体から放出される重力波ではなく宇宙全体で生成された重力波のことを言います。例えば宇宙の始まりと言われるビッグバンのさらに前の宇宙はインフレーションという急激な加速膨張をしていたと考えられています。もしこれが本当であれば原始重力波、すなわちインフレーションの時期に宇宙全体で生成された背景重力波が、現在の宇宙をも満たしていることになります。言わばこの宇宙の産声を検出することで、宇宙誕生の謎に迫ることができるのです。

ただし、宇宙の産声はとても小さいので、それを検出することはたいへん難しいです。そこで現在、パルサータイミングアレイという方法で背景重力波を検出する試みが進められています。パルサーとは電波など電磁波のパルスが周期的に観測される天体で、その周期が非常に正確なので「宇宙の時計」と呼ばれています。重力波が存在するとこの時計が少しずれるので、そのずれを利用して重力波を検出できると言われています。パルサータイミングアレイは現在、日本を含む世界でいくつかの国の研究グループがそれぞれの電波望遠鏡を用いて取り組んでおり、あと数年でこの方法により初めて重力波を検出できるのではないかと期待されています。しかし最初の検出は原始重力波ではなく、太陽の100万倍から10億倍もの質量を持つ超巨大ブラックホール連星からの重力波であろうと考えられています。宇宙の産声を聞くには現在の電波望遠鏡では性能が足りないのです。

現在、国際協力で建設が進められているSquare Kilometre Array (SKA) は低周波電波天文学の究極的な観測装置で、完成すれば既存の低周波電波望遠鏡の数倍から数十倍の観測能力をもちます。これを用いてパルサータイミングアレイを行えば、宇宙の産声を聞くことができるかもしれません。

GUIDE 0003

<https://www.nao.ac.jp/naoj-news/explanation/0003.html>



高橋慶太郎
TAKAHASHI, Keitaro
熊本大学



パルサーのイメージ図 (クレジット: NASA's Goddard Space Flight Center)

2 次世代電波望遠鏡SKAで宇宙の産声を聞く

宇宙の産声「背景重力波」
パルサータイミングアレイで
宇宙誕生の謎に迫る

私たちは星の子

宇宙は何でできているのでしょうか？エネルギーで比較すると、暗黒物質や暗黒エネルギーが全体の95%を占めます(①下)。「暗黒」が名前につく、人類が知らないもので宇宙は満たされています。人類はその正体に迫るため、暗黒エネルギーは20年、暗黒物質に至っては100年くらい調べ続けていますが、まだ何だかよくわかっていません。

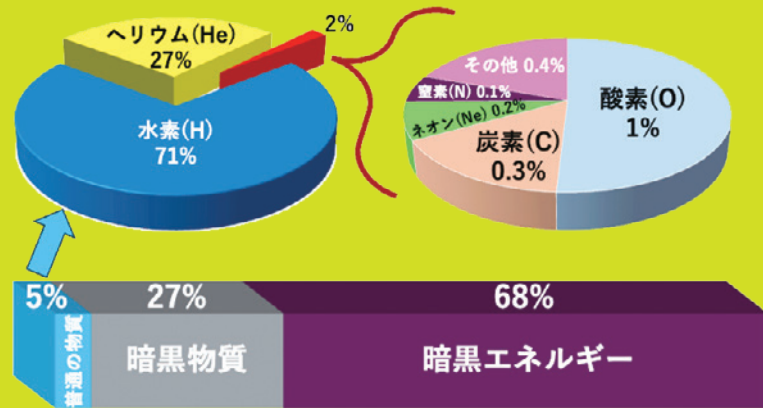
残りの5%が、私たちが知っている普通の物質で、そのほとんどが、「水兵リーベ、ぼくの船...」の語呂合わせでお馴染みの化学周期表に載る元素です。私たち人間の体も、質量が多い順に、酸素(O)、炭素(C)、水素(H)、窒素(N)...からできていますが、宇宙ではどうでしょうか？太陽系にある元素の質量比(組成比)は、水素とヘリウム(He)が圧倒的に多く、それぞれ全体の71%と27%です(①上)。残りの

約2%は多い順に、1%を占める酸素、それに続いて炭素、ネオン(Ne)、窒素があり、鉄(Fe)に至っては0.1%しかありません。では、これらの元素はどうやって作られたのでしょうか？主に2つのプロセスが知られています。

1つ目は、ビッグバン元素合成です。高温・高密度の状態から始まったビッグバンにより、陽子と中性子が作られ、これらが核融合を起こして、水素からヘリウム、リチウムといった軽元素(化学周期表の一番上側の元素)が作られました。ビッグバン理論では、宇宙における水素：ヘリウムの組成比として3:1を预言していますが、実際に観測された組成比も3:1になります。そ

のため、宇宙で圧倒的に多い水素やヘリウムの大半は、ビッグバンで作られたと考えられています。

2つ目は、恒星における元素合成です。恒星の内部も高温・高密度のため、核融合反応が起きます。ビッグバンで作られたヘリウムを元に炭素が作られ、それから窒素、酸素といった多様な元素が作られます。質量が大きい恒星では、強い重力で核融合反応が早く進み、やがて中心核が不安定になり、超新星爆発が起きて、多様な元素が宇宙空間にまき散られます。酸素や炭素、窒素など、私たち人間の体を作る元素の大半が恒星の内部で作られたため、「私たちは星の子」と言う人もいます。



①(上) 太陽系に存在する元素の組成比。左の円グラフが全体、右の円グラフがHとHe以外の内訳。(下) 宇宙を構成する要素の割合(エネルギー密度の割合)。

このように、元素の起源が理解されていたのですが、最新の観測研究から、そんなに単純な話ではないことがわかりました。

2022年にジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡(JWST)が科学運用を始め、高い感度で赤外線が観測できるようになると、初期宇宙(130億年以上前)にある銀河の元素組成が測れるようになりました。すると、妙に窒素が多い銀河が見つかってきました(②)。窒素-酸素比(N/O)が、太陽系に比べて3倍かそれ以上になる銀河です。窒素と酸



素と言えば、恒星での元素合成を経て超新星爆発で放出されたと考えられるものです。しかし、超新星爆発の理論モデルでは説明できないほどN/Oが大きいのです。可能性としては、人類が知っている最も重い恒星よりも質量が100倍以上にもなる、超大質量星が作ったガスだったり、超巨大ブラックホールに落ち込んだ恒星から引き剥がされたガスだったり、私たちが目にしたことのない宇宙の姿が、初期の宇宙にあったのかもしれません。さらに最近では、鉄-酸素比(Fe/O)が大きく、鉄が異常に多い銀河(②)も報告されており、「初期宇宙の元素は一体どうなっているのだ？」と天文学者の間で衝撃が走っています。

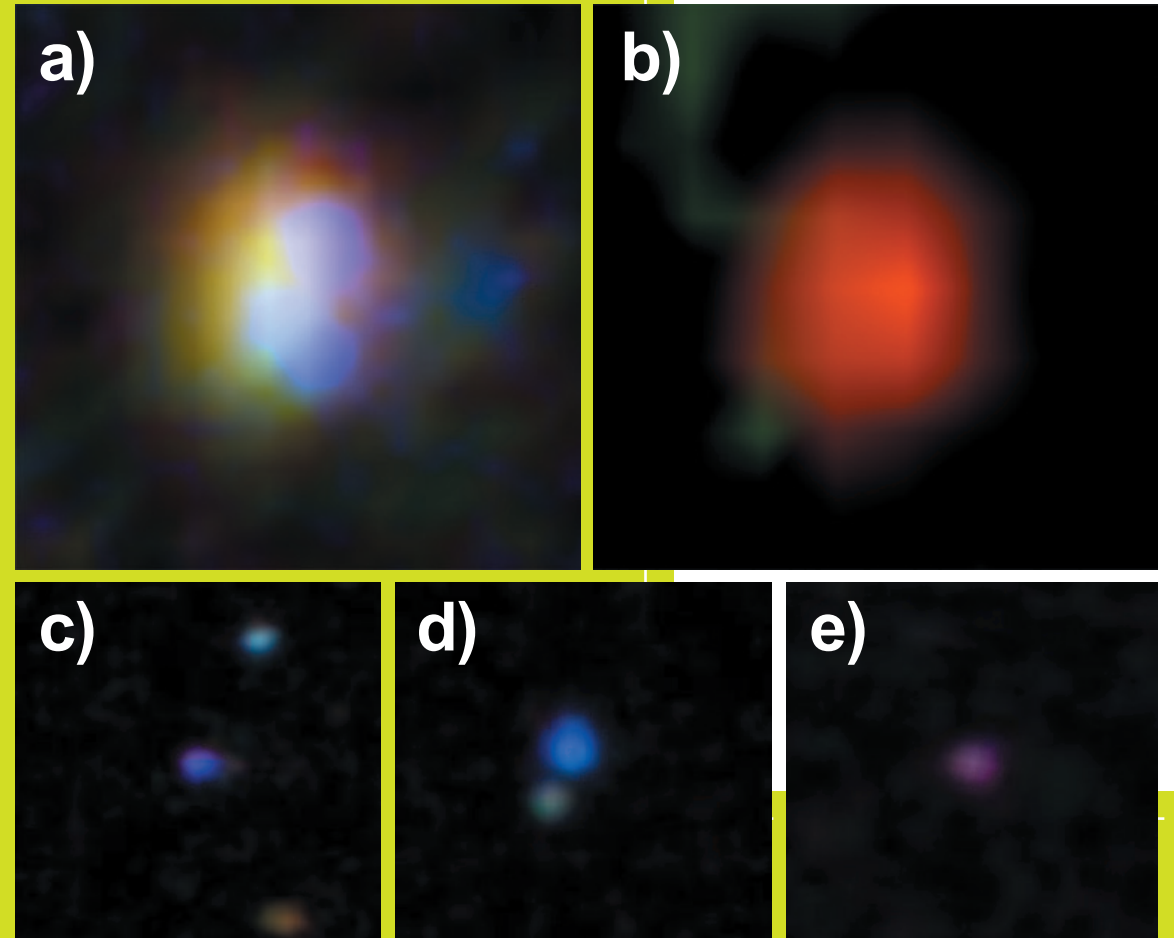
また近年、すばる望遠鏡による大規模な観測で、初期宇宙におけるヘリウム-水素比(He/H)の精密測定が行われています(②)。それから、He/Hの割合は23.7%という値が報告され、これまで知られているHe/Hの値よりも少ない可能性が出てきました。もし正しければ、ビッグバン元素合成でHe/Hの値を説明するのが難しくなり、ビッグバン宇宙論モデルに何かが足りていないのかもしれない。



ビッグバン宇宙論には何かが足りない!?

ヘリウムは少なくても窒素や鉄は多い?

—最新観測で探る元素の起源—



② a) 初期宇宙で見つかった窒素が多い(N/O比が大きい) 銀河 GLASS_150008。(クレジット: NASA, ESA, CSA, Isobe et al.)
b) 同じく鉄が多い(Fe/O比が大きい) 銀河 GN-z11。(クレジット: NASA, ESA, CSA, Isobe et al.)
c)–e) はすばる望遠鏡でヘリウムの精密測定が行われた天体。(クレジット: Sloan Digital Sky Survey, Yanagisawa et al.)

GUIDE 0004

<https://www.nao.ac.jp/naoj-news/explanation/0004.html>



JWSTとすばる望遠鏡の観測で明らかになってきたN/OとFe/OそしてHe/Hから、宇宙初期の恒星さらには宇宙誕生に私たちがまだ知らない何かがあることがわかり、謎が深まっています。暗黒物質や暗黒エネルギーだけでなく、人類が知っているはずの5%に対応する元素も、私たちはどれだけ理解できているのでしょうか？



大内正己
OUCHI, Masami
科学研究部

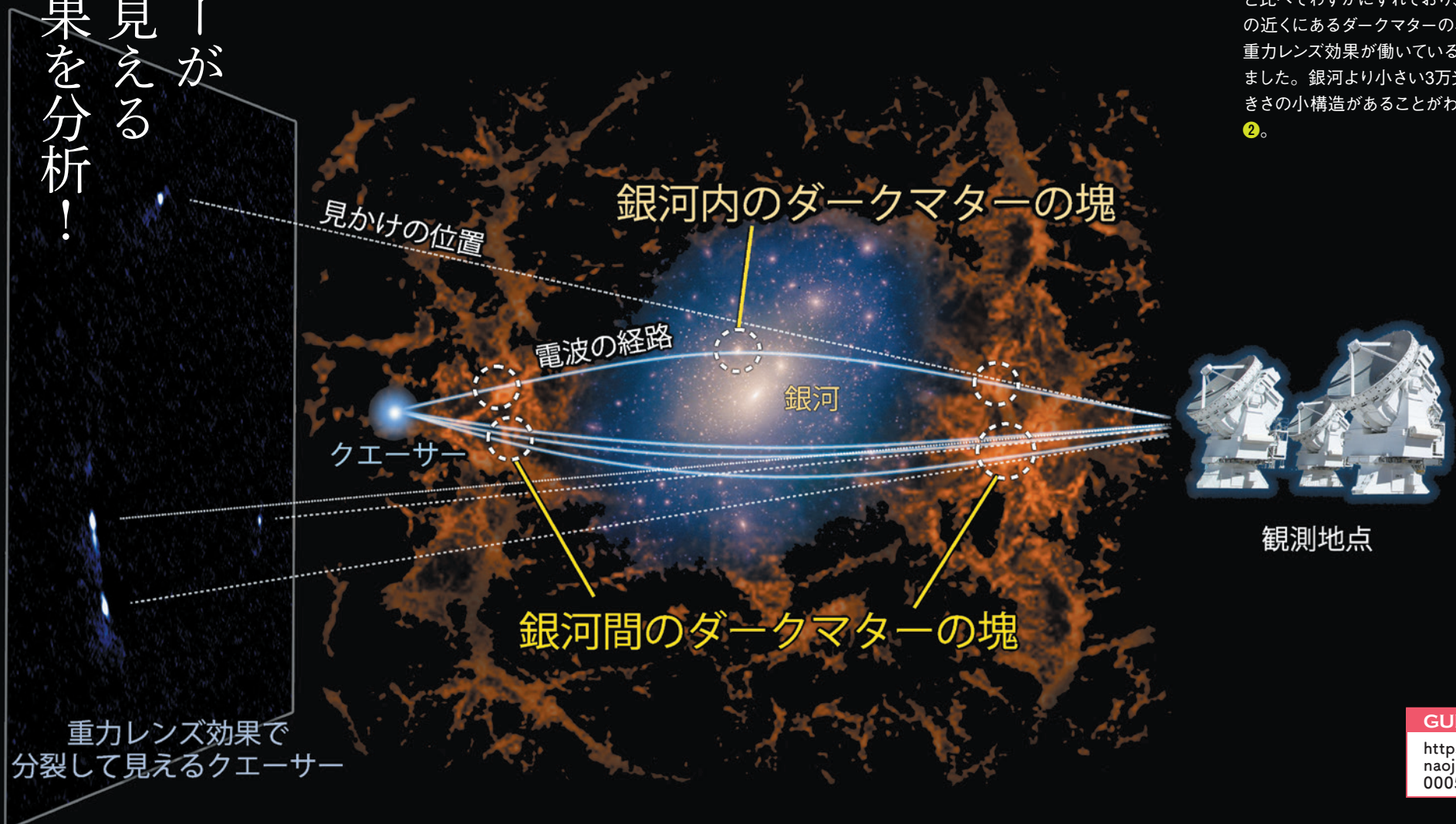
アルマ望遠鏡で探る ダークマターの小構造

1つのクエーサーが
4つに分裂して見える
重力レンズの効果
を分析！

ダークマターは「冷たい」か？

宇宙の大部分は光って見えない「ダークマター」と呼ばれる物質で占められていると考えられています。しかし、その正体は謎に包まれており、現在でも解明されていません。ダークマターの有力な候補として「冷たい」ダークマターと「温かい」ダークマターの2種類が考えられています。ここで「冷たい」、「温かい」とは温度のことを意味するわけではありません。宇宙初期にダークマターが生まれたとき、周りの物質に対

して遅く運動するダークマターを「冷たい」ダークマター、とても速く運動するダークマターを「温かい」ダークマターと呼んでいます。もし、ダークマターが「温かい」場合、ダークマターのランダムな運動によって、銀河より小さな構造は壊されてしまいますが、「冷たい」場合は壊されることはありません。したがって銀河より小さなダークマターの構造がみつければ、ダークマターは「冷たい」ことになります。

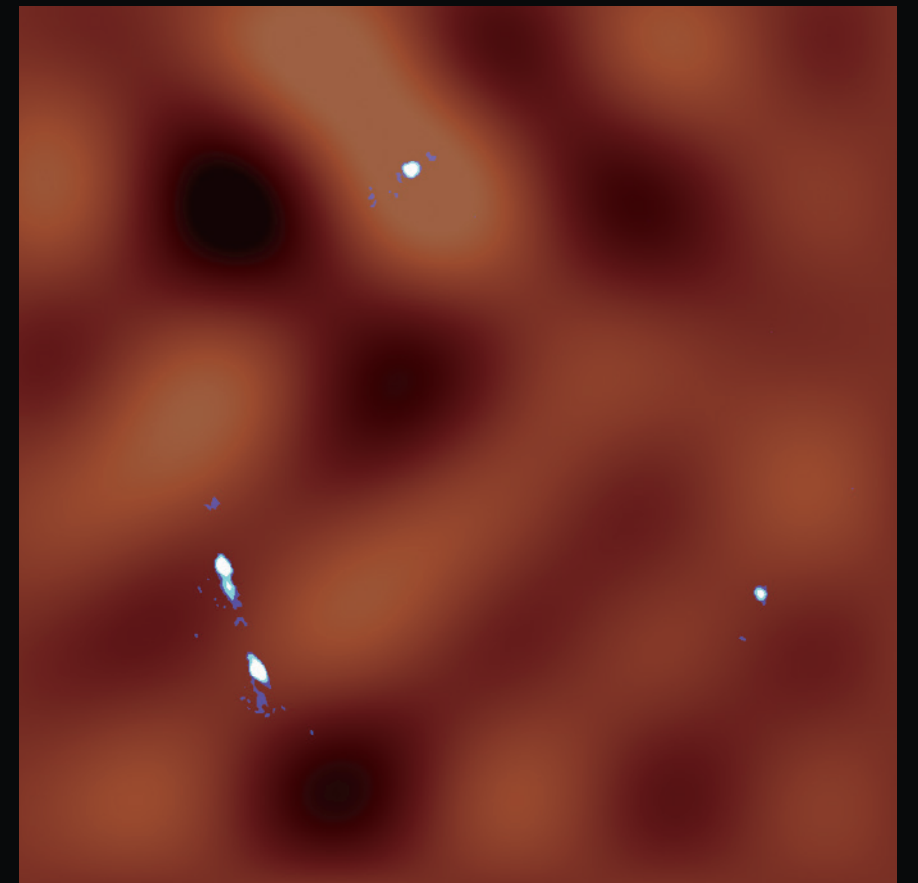


①重力レンズ効果の図。クエーサーから出た電波は手前の銀河の重力により曲げられて4重像に分かれ、さらに経路の近くのダークマターの塊によってわずかに曲がる。(クレジット：Inoue K.T. and NAOJ)

アルマ望遠鏡による重力レンズの観測

私たち研究グループは、銀河より小さなダークマターの構造を調べるため、世界最大級の電波望遠鏡であるアルマ望遠鏡を使って、地球から約110億光年の距離にあるクエーサー MGJ 0414+0534が放つ電波を観測しました。クエーサーとは、活動的な超巨大ブラックホールを持つ銀河を指し、MGJ 0414+0534は、重力レンズ効果によって4重に分裂して見えないへん珍しいクエーサーとして知られています。MG J0414+0534と地球との間にある銀河を包み込むダークマターとその中の星やガスによる重力が、クエーサーの電波の経路を曲げることで、本来は1つの像が見かけ上、4重に分裂して見えています①。そのような効果を重力レンズ効果と呼んでいます。

4重像の電波の強さと広がった像の形を、他の波長で観測されたデータと照らし合わせて調べた結果、4重像の位置や形は、MG J0414+0534と地球との間にある銀河の重力レンズ効果のみから計算されるものと比べてわずかにずれており、電波の経路の近くにあるダークマターの小構造による重力レンズ効果が働いていることがわかりました。銀河より小さい3万光年程度の大さきの小構造があることがわかったのです②。



②アルマ望遠鏡による観測でみつかったダークマターの小構造。明るいオレンジ色の部分ではダークマターの密度が高く、暗いオレンジ色の部分では小さい。青白い模様はアルマ望遠鏡によって観測された4重に分かれて見えるクエーサーの像を表す。(クレジット：Inoue K.T. and NAOJ)

今後の展望

ではこれでダークマターは「冷たい」と言えるのでしょうか。残念ながらそうではありません。実は最近の観測によると、地球に比較的近い銀河の中にあるダークマターの小さなかたまりの数は「冷たい」ダークマターモデルの予測する数よりも多すぎることがわかってきています。もし、その

結果が本当だとすれば、今回見つかったダークマターの小構造は重力レンズ効果を引き起こす銀河の中にあるのかもしれませんが。私たちはより多くの重力レンズをアルマ望遠鏡で観測する計画を進めており、この問題に対して答えるべく日夜研究を進めています。

GUIDE 0005

<https://www.nao.ac.jp/naoj-news/explanation/0005.html>



井上開輝
INOUE, Kaiki Taro
近畿大学

すばる望遠鏡で 原始ブラックホールを探せ！

PBH :
Primordial
Black Holes
(原始ブラックホール)

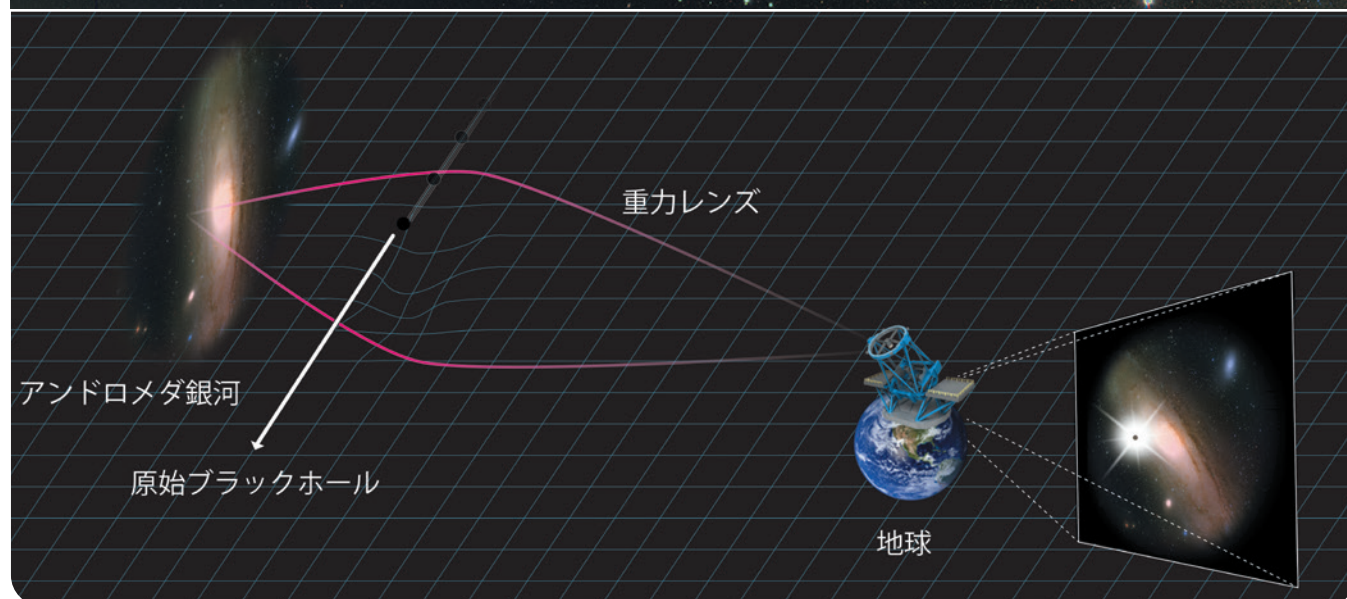
①重力マイクロレンズ効果の概念図です。上図の背景には、すばる望遠鏡のHyper Suprime-Cam (HSC) によるアンドロメダ銀河の画像が使われています。地球とアンドロメダ銀河の間に存在するかもしれない原始ブラックホール (PBH) が、視線方向でアンドロメダ銀河の星の前を横切ると、重力マイクロレンズ効果が引き起こされます (下の図はその説明図)。PBHが近づくと、背景のアンドロメダ銀河の星は明るく観測され、遠ざかると元の明るさに戻ります。これにより、その星は明るさが時間的に変動する天体として識別することができます。上図の明るくなっている星は、PBHによる重力マイクロレンズ効果を示した概念図です (Credit: Kavli IPMU)。

GUIDE 0006

<https://www.nao.ac.jp/naoj-news/explanation/0006.html>



これまでの宇宙観を覆す大発見!?
太陽より軽いブラックホールは存在するか？



スティーヴン・ホーキング博士がその存在を予言した原始ブラックホール (以下、PBH) は、初期宇宙の熱い火の玉状態で生成された可能性があり、ダークマターの有力な候補の一つとして注目されています。特に興味深い点は、PBHが巨視的な天体であるため、宇宙観測による探査が可能であることです。

PBH探査の有力な手法の一つが、重力マイクロレンズ効果です (①参照)。例えば、アンドロメダ銀河や銀河中心のバルジ領域にある星をモニター観測した場合、その視線をPBHが横切ると、重力レンズ効果によって星の明るさが一時的に増光し、PBHが通過すると再び元の明るさに戻る現象が観測されます。PBH

の運動速度とPBHの質量に応じて、重力マイクロレンズによる増光現象のタイムスケールが決まります。PBHが存在する場合、その質量にはさまざまな可能性が考えられます。観測的には、たった一つでも太陽質量より軽いブラックホールが発見されれば、それは天体物理学上の通常の形成過程では説明が不可能であり、PBH以外には考えられません。その発見は、我々の宇宙観を覆すような大発見となるでしょう。このような背景から、宇宙観測によるPBHの探査が注目を集めており、近年、活発に研究が進められています。

PBHの重力マイクロレンズ効果を探査するには、可能な限り多くの星をモニ

ターし、興味のあるタイムスケールでの増光現象を捉えられる頻度で繰り返し観測する必要があります。このため、大口径かつ広視野を有するすばる望遠鏡のHyper Suprime-Camは、PBHの重力マイクロレンズ探査において極めて強力な装置であり、現時点で世界一の性能を誇ります。いつの日か、すばる望遠鏡がブラックホールを発見するかもしれません。今後の成果にぜひご期待ください。



高田昌広

TAKADA, Masahiro

東京大学 カブリ数物連携
宇宙研究機構 (Kavli IPMU)

ダークエネルギーの正体は何か？

—最近の**DESI**の結果が示唆すること—

Dark Energy Spectroscopic Instrument

(ダークエネルギー分光装置)

宇宙膨張を加速する謎のエネルギー

1998年から1999年にかけて発見された「宇宙空間の加速的な膨張」は、2011年にノーベル物理学賞の対象となりました。この加速膨張を担う未知のエネルギーは、「ダークエネルギー（暗黒エネルギー）」と呼ばれています。

相対性理論（相対論）と並んで現代物理学の柱である量子論を用いると、宇宙に存在するダークエネルギーの量（より正確には宇宙定数の値）を大雑把に見積もることができます。しかし、量子論の予言は、宇宙の加速膨張の観測結果から導き出されるダークエネルギーの量に比べて、120桁以上も大きいのです。このように、ダークエネルギーについて肝心なところは理論的にほとんど解明されていないと言っても過言ではありません。ダークエネルギーの正体を解き明かすことは非常に重要な問題であり、理論的にも観測的にも活発な研究が進められています。

最新の宇宙観測結果がほのめかすダークエネルギーの正体

対称性とは？

ある変換のもとで物理法則が不変な場合、対称性があると言います。例えば、ビデオを逆再生するように時間を逆向きにしてみても物理法則が変わらなければ、時間反転に関する対称性があると言います。対称性は現代物理学で重要な概念です。

量子重力とは？

自然界に存在する基本的な力のうち重力以外は、ミクロなスケールの物理現象を記述するのに必要な量子論の枠組みで記述できています。一方、重力はマクロなスケールの物理現象をよく記述する相対論の範疇です。量子論と相対論は、より大きな枠組みに統合して記述できるはずだと考えられており、その未完成の理論のことを量子重力理論と呼びます。超弦理論（超ひも理論）は量子重力理論の有力候補です。

宇宙定数とは？

宇宙に遍く存在し、時間変化せず、空間が膨張しても薄まらない性質を持つエネルギーのこと。アインシュタインは宇宙定数を理論的に導入し、後に「人生最大の過ち」と後悔したエピソードで知られますが、現代物理学でも宇宙定数の大きさを正確に予言することは困難を極めます。正の宇宙定数は宇宙空間を加速的に膨張させる効果があり、ダークエネルギーの最も単純な候補です。しかし、ダークエネルギーが時間変化するのであれば、単純に「ダークエネルギー＝宇宙定数」と考えることはできなくなります。

2024年4月、Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI; ダークエネルギー分光装置) という宇宙観測により、「ダークエネルギーが時間変化（具体的には減少）しているかもしれない」という示唆が得られました。DESIは多数の銀河の3次元分布などを観測でき、ダークエネルギーによって宇宙が加速膨張していれば銀河分布にも影響が出るというわけです。ダークエネルギーがアインシュタインの提唱した宇宙定数なら、時間変化は説明できません。時間変化が本当であれば、それはダークエネルギーの正体を紐解く鍵となるのでしょうか？

また、観測データによるとダークエネルギーは数十億年という時間をかけてゆっくり変化しているようです。どうしてそんなにゆっくり変化しているのかも、新たな謎です。この問題は、ダークエネルギーを説明する理論が持つべき「対称性」という性質

と密接に関わっている可能性があり、理論的に非常に興味深い点です。

万物を支配する究極理論と言われ、量子重力理論の候補とされる超弦理論でも、「加速膨張を説明するようなダークエネルギーは時間の経過に伴って必ず減少するのではないか」という予想が近年活発に議論されています。DESIの観測結果はそのような予想をサポートしているとも言え、究極理論についても何らかのヒントを得ることができのかもしれません。今後のDESI観測の検証と宇宙論のさらなる発展が楽しみです。



寺田隆広

TERADA, Takahiro

名古屋大学
素粒子宇宙起源研究所

謎多きダークエネルギーの観測が
究極の宇宙論をあぶり出す！

GUIDE 0007

<https://www.nao.ac.jp/naoj-news/explanation/0007.html>



DESIは多数の銀河、クエーサー及びその吸収線を観測し、宇宙の物質密度分布を明らかにします。

宇宙マイクロ波背景放射や超新星爆発など DESI 以外の観測結果と組み合わせることにより、

ダークエネルギーの時間発展の兆候が DESI グループによって示されました。(クレジット：国立天文台)