

宇宙究極の謎

暗黒物質, 暗黒エネルギー, 暗黒時代

プログラムコーディネーター

立花 隆

- 10:00~10:05 機構長挨拶
自然科学研究機構長 志村 令郎
- 10:05~10:20 趣旨説明
ジャーナリスト 立花 隆
- 10:20~10:50 宇宙3つの暗黒問題
名古屋大学 杉山 直
- 10:50~11:20 宇宙暗黒時代の夜明け:一番星みい~つけた
国立天文台 家 正則
- 11:20~11:50 暗黒時代の終わりを告げる宇宙最初の星
東京大学 吉田 直紀
- 11:50~13:20 休憩
- 13:20~13:40 宇宙大規模構造の形成と銀河の形成(4D2U映像解説)
国立天文台 児玉 忠恭
- 13:40~14:10 重力レンズで探る暗黒宇宙
東北大学 二間瀬 敏史
- 14:10~14:40 天体の明るさで測る暗黒エネルギー
東京大学 土居 守
- 14:40~15:10 宇宙の超精密地図から探る暗黒エネルギー
京都大学 戸谷 友則
- 15:10~15:30 休憩
- 15:30~16:00 暗黒物質の正体は?
東京大学 中畑 雅行
- 16:00~16:30 暗黒宇宙の謎に迫るすばる望遠鏡
国立天文台 林 正彦
- 16:30~17:00 パネルディスカッション:「宇宙究極の謎」
立花 隆
国立天文台 観山 正見
東京大学 須藤 靖
- 17:00~17:05 閉会の挨拶 観山 正見

※各講演の終了後、5分間で立花隆先生と講演者との対談を予定しております。
※その他、パネル展示、4次元デジタル宇宙シアター上映(定員制)も行います。

※プログラムは一部変更となる可能性があります。

主催—大学共同利用機関法人
自然科学研究機構
後援—NHK/朝日新聞社
総合研究大学院大学



東京国際フォーラム ホールB5

東京都千代田区丸の内3-5-1

2008年9月23日[火・祝]

10:00→17:05

自然科学研究機構ホームページ

<http://www.nins.jp/>

NINS
National Institutes of Natural Sciences

機構長挨拶



しむら よしろう
志村 令郎

自然科学研究機構 機構長

1958年京都大学大学院理学研究科修士課程修了。63年米国ラトガース大学大学院博士課程修了。同年米国ジョンズホプキンス大学医学部研究員、67年大阪大学微生物病研究所研究員、69年京都大学理学部助教授、85年京都大学理学部教授、86年岡崎国立共同研究機構基礎生物学研究所教授（併任、～94年）、96年京都大学名誉教授、同年生物分子工学研究所所長、2001年独立行政法人日本学術振興会ストックホルム研究連絡センター長を経て、04年より現職。
専門は分子生物学・分子遺伝学。

趣旨説明



たちばな たかし
立花 隆

ジャーナリスト

1964年東京大学仏文科卒業。同年文藝春秋社に入社。66年文藝春秋社退社。同年東京大学哲学科に入学、フリーライターとして活動を開始する。95～98年先端科学技術センター客員教授。96～98年東京大学教養学部非常勤講師として、第一次立花ゼミ「調べて書く」ゼミを開講。2005年東大特任教授就任を機に、第二次立花ゼミを開講。07年より立教大学21世紀社会デザイン研究科特任教授に就任。ジャーナリスト・評論家として多くの著作をもつ。

宇宙 3つの暗黒問題

名古屋大学大学院理学研究科 すぎやま なおし
杉山 直

現在、天文学・宇宙論の研究者が最も頭を悩ませているのが、暗黒エネルギー、暗黒物質、暗黒時代という3つの暗黒問題です。現在、その解明のために、多くの観測、実験計画が進行しています。

暗黒エネルギーとは、宇宙の膨張を時々刻々と加速させている謎のエネルギーです。遠方の超新星を観測することで、暗黒エネルギーの存在は明らかになってきました。過去の宇宙の膨張速度が、現在よりも遅かった、つまり加速しながら膨張していることがわかったのです。加速させるためには、そのためのエネルギーが宇宙に供給されなければなりません。そこで暗黒エネルギーと呼ばれるようになりました。

暗黒物質は、銀河や銀河団といった巨大な天体の重力の測定から、その存在が明らかになってきました。渦巻銀河の回転は、その周囲に存在する暗黒物質によって支えられています。銀河団のメンバーである銀河の運動は、目に見えない物質によってコントロールされています。最近では、ハッブル宇宙望遠鏡やすばる望遠鏡の活躍により、銀河団のつくりだす重力によって、背景の星の像が曲げられる重力レンズ効果を測定することができるようになりました。その結果は、やはり大量の見えない物質が存在することを示すものでした。

暗黒時代は、現在の光に満ちた宇宙が誕生する以前の時代を指します。ビッグバンで誕生した宇宙は、38万年の時代まではビッグバンの光によって輝いていました。38万年の時代に、宇宙が晴れ上がり、膨張に伴って温度が下がっていくと、暗闇につつまれた宇宙になってしまいました。やがて宇宙で最初の星が輝き、再び光に満ちた宇宙になっていくのです。暗闇につつまれていて、天文観測を拒み続けている謎の時代こそ暗黒時代です。

私の講演では、暗黒問題とは何かを解説するとともに、ビッグバンの化石である宇宙マイクロ波背景放射の観測によって、暗黒問題について、何が明らかにされるのかについても触れます。

Keywords
重力レンズ効果：重力の働きによって空間が歪められ、レンズとして働くこと。
ビッグバン：高温、高密度の宇宙の始まり。あらゆるものが混じり合い、スープのようになった高温の火の玉の状態。宇宙の膨張に伴って温度は時々刻々低下していった。
宇宙の晴れ上がり：火の玉宇宙では、光と電子や陽子が絶えず衝突をしていた。そのため、光が直進できず、霧の中のように不透明であった。やがて、38万年が経過すると、電子と陽子が結びつき、水素原子となる。衝突する相手がなくなった光は、以後直進し、宇宙は透明になった。
宇宙マイクロ波背景放射：晴れ上がりのあと、137億年かけて私たちに到達した光。ビッグバンの名残である。膨張によって、低温になり、現在は絶対温度 2.725 K の電波として観測される。

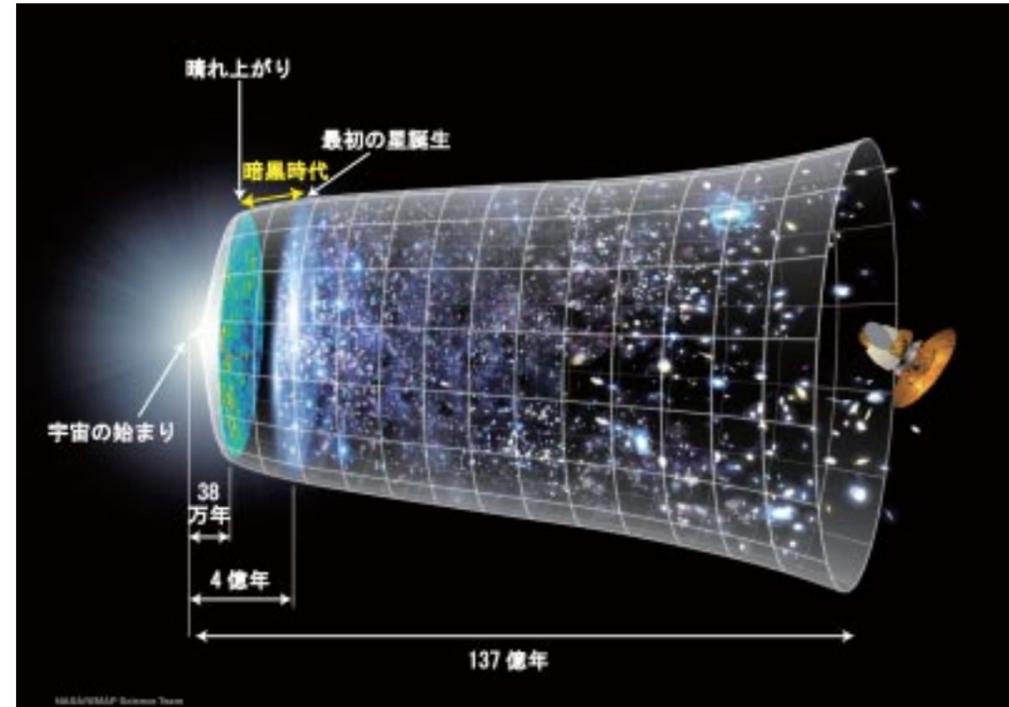


図1 膨張宇宙の歴史 宇宙誕生後38万年で晴れ上がり、4億年まで暗黒時代が続く。4億年の頃、星が全宇宙規模で誕生し、その後、現在の銀河、銀河団、さらには銀河のネットワークである宇宙大規模構造へと発展していった。NASA/WMAP サイエンスチーム提供（一部改変）

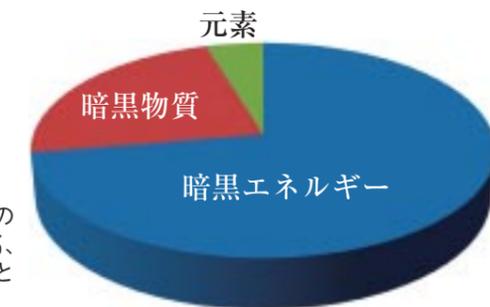


図2 宇宙の組成比 宇宙マイクロ波背景放射の詳細観測によって、暗黒エネルギーが72%、暗黒物質が23%、元素が4.6%であることが明らかになった



名古屋大学大学院理学研究科・教授。東京大学数物連携宇宙研究機構・主任研究員。理学博士。

1984年早稲田大学理工学部物理学卒業。89年広島大学大学院理学研究科修了。91年東京大学理学部助手、96年京都大学大学院理学研究科助教授、2000年国立天文台理論天文学研究系教授を経て、06年より現職。

専門は宇宙論、特に宇宙マイクロ波背景放射の研究。2001年西宮湯川記念賞受賞、06年日本学術振興会賞受賞。著書に『膨張宇宙とビッグバンの物理』（岩波書店、2001年）、『宇宙 その始まりから終わりへ』（朝日新聞社、2003年）などがある。

宇宙暗黒時代の夜明け： 一番星みい〜つけた

自然科学研究機構 国立天文台 **いえまさのり**
家 正則

宇宙の歴史を解き明かす観測的研究が、いまとても面白い。マイクロ波宇宙背景放射のゆらぎの測定から膨張宇宙の年齢や構成成分の割合が驚くべき精度で決まり始め、可視光や赤外線による探査観測で宇宙の夜明けの時代の銀河が見え始めたからだ。遠い昔の銀河を探し、宇宙史を紐解く研究では、日本のすばる望遠鏡が大活躍している。

ビッグバン後約38万年の時点で、宇宙は冷えて中性化し、暗黒時代が始まった。約3億年後に、密度の濃い部分で最初の星々を育む銀河が生まれたと考えられているが、そのような「一番星」をまだだれも見えていない。若い銀河は、高温星からの紫外線で星間ガスが暖められ、水素原子が波長121.6 nmのライマンα輝線を放つ。私たちは、すばる望遠鏡の広い視野を活かし、赤方偏移したライマンα輝線を放つ銀河をとらえる観測を行い、赤方偏移7.0の最遠銀河を発見した。これはビッグバン後約8億年の時代の銀河で、人類が見た一番昔の時代の銀河となる。ビッグバンから10億年後には、宇宙の再電離が完了したと考えられている。8億年の時代は宇宙の暗黒時代が終わる頃、いわば宇宙の夜明けに相当する時代だ。講演では、最初の銀河を探す国際競争の意義、工夫、エピソードなども紹介する。

世界中の天文学者が直径8 m級の望遠鏡を駆使して行っている観測は、限界に近づいており、日米欧では直径30 m級の次世代超大型望遠鏡を建設する構想の検討が進められている。次世代望遠鏡では特に、空気のゆらぎを高速測定して、光のゆらぎを打ち消してしまう補償光学技術の高度化が重要である。これらのハイテク技術についても紹介したい。

Keywords **宇宙再電離**：ビッグバン後、宇宙は急速に冷えた。38万年後には陽子と電子が結合して宇宙は一旦中性化した。それから約3億年後には、宇宙の密度ゆらぎが成長して、最初の星々が原始銀河の中で生まれたと考えられている。若い星からの紫外線で、銀河間ガスが再び電離し始める。これを宇宙の再電離と呼ぶ。ビッグバンから10億年後には宇宙はほぼ完全に再電離したと考えられているが、再電離がいつ始まりどれくらいの時間がかかったかは解明できていない。

ライマンα銀河：若い銀河の中では大質量星からの紫外線を受けた星間ガスが、水素原子のライマンα輝線という波長121.6 nmの紫外線を放つ。遠い銀河では宇宙膨張のため、その波長が赤方偏移する。ライマンα輝線スペクトルを示す銀河は、その赤方偏移を正確に測ることができる。より遠い銀河を探して、宇宙史を紐解く研究が進められている。

補償光学：大気のゆらぎのため地上望遠鏡の解像力は制限されているが、補償光学はゆらぎを時々刻々測定して、小型の形状可変鏡で連続的に補正するハイテク技術である。この技術を用いると空気のゆらぎの影響を打ち消して、望遠鏡本来の回折限界の解像力が実現し、真空中でみているようなシャープな画像を得ることができる。

次世代超大型望遠鏡：すばる望遠鏡など直径8～10 mの望遠鏡が現在世界中で10台あまり稼働中であり、次世代の光赤外線望遠鏡と直径30 m級の望遠鏡の建設が検討されている。補償光学を高度化した次世代の超大型望遠鏡の解像力と感度は桁違いのものとなると期待されている。

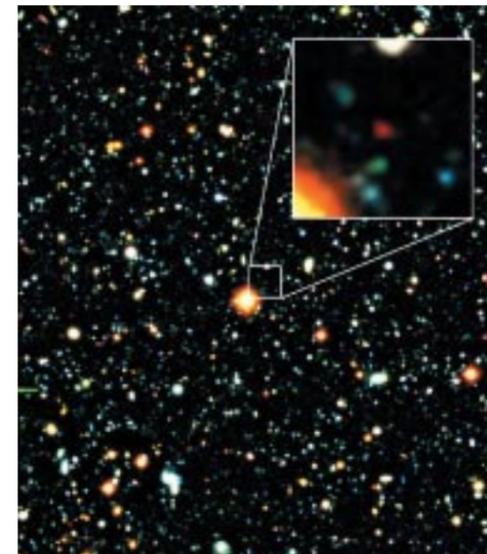


図1 すばる望遠鏡で2006年に見つけた129億年前（ビッグバンから8億年）の時代の銀河 IOK-1。宇宙膨張のため光速の93%の速さで遠ざかっていて赤方偏移は7.0に達する。遠い天体ほど昔の姿を見ていることになる。現在も世界記録となっている (<http://subaru Telescope.org/Pressrelease/2006/09/13/fig2.jpg>)



図2 すばる望遠鏡用に開発したレーザーガイド星生成装置の試験風景。補償光学を使うには大気のゆらぎを測るための明るいガイド星が必要である。観測したい銀河のそばに明るい星が無い場合でも、レーザービームを撃って高度90 kmの大気中のナトリウム原子を発光させて人工レーザー星をつくり、その光を測定して空気のゆらぎを補償することができる (<http://subaru Telescope.org/Pressrelease/2006/11/20/fig2l.jpg>)

表1 最遠銀河ベストテン この数年間のすばる望遠鏡による一連の観測により、最も遠い銀河のベストテンのうち、第8位を除く9つがすばる望遠鏡による発見となっている

Table 1: 赤方偏移が確定した最遠銀河ベストテン (2008年6月25日時点).

順位	銀河名	座標	赤方偏移	億年#	論文	出版日
1	IOK-1	J132359.8+272456	6.964	128.8	Iye et al.	Sep. 14, 2006
2	SDF ID1004	J132522.3+273520	6.597	128.2	Taniguchi et al.	Feb. 25, 2005
3	SDF ID1018	J132520.4+273459	6.596	128.2	Kashikawa et al.	Apr. 25, 2006
4	SDF ID1030	J132357.1+272448	6.589	128.2	Kashikawa et al.	Apr. 25, 2006
5	SDF ID1007	J132432.5+271647	6.580	128.2	Taniguchi et al.	Feb. 25, 2005
6	SDF ID1008	J132518.8+273043	6.578	128.2	Taniguchi et al.	Feb. 25, 2005
6	SDF ID1001	J132418.3+271455	6.578	128.2	Kodaira et al.	Apr. 25, 2003
8*	HCM-6A	J023954.7-013332	6.560	128.2	Hu et al.	Apr. 1, 2002
9	SDF ID1059	J132432.9+273124	6.557	128.2	Kashikawa et al.	Apr. 25, 2006
10	SDF ID1003	J132408.3+271543	6.554	128.2	Taniguchi et al.	Feb. 25, 2005



自然科学研究機構国立天文台赤外研究部・教授。理学博士。

1977年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。同年同大学理学部助手、86年同大学東京天文台助教授を経て、92年より現職。

専門は観測的宇宙論、望遠鏡・観測装置開発。

1999年第47回菊池寛賞、2006年日本光学会光設計特別賞受賞。

著書に『地球と宇宙の事典』（岩波書店、2000年）、『すばる望遠鏡』（岩波書店、2002年）、『宇宙の観測Ⅰ—光・赤外天文学』（日本評論社、2007年）などがある。

暗黒時代の終わりを告げる 宇宙最初の星

東京大学 数物連携宇宙研究機構 よしだ なおき
吉田 直紀

宇宙の年齢は現在 137 億歳であると考えられています。すばる望遠鏡やハッブル宇宙望遠鏡を用いることで、宇宙が生まれてから 8～10 億年ほど経った時期に存在した銀河からの光を観測し、当時の宇宙の様子をうかがい知ることができます。しかしそれよりも昔の宇宙の、距離にするとともに遠くにある天体はこれまでにどのような波長でも観測されていません。この、誕生してから数億年までの時期を宇宙の暗黒時代と呼びます。星や銀河などが生まれる前には、薄く広がるガスと暗黒物質、それにエネルギーの低い電磁波が漂うだけで、文字通り暗黒の宇宙だったのです。

暗黒宇宙に光を灯すのは最初に生まれる星—ファーストスター—です。ファーストスターの誕生により暗黒宇宙は終焉し、やがて光輝く銀河宇宙へと変貌をとげていきます。実は、宇宙最初にできる天体は何か、ということは天文学の長年の謎でした。最近の理論研究からは、最初の天体は自ら光を放つ星であろうと考えられています。それらは水素とヘリウムだけから成りますが、その典型的な質量や寿命、いつごろ生まれたかについて、まだ多くの謎が残っています。この謎にせまる有力な方法が、スーパーコンピューターを用いた宇宙の構造と天体の形成シミュレーションです。

ビッグバンの名残である、宇宙初期のほんのわずかな物質密度の揺らぎ（物質分布の“むら”）をコンピューター上に忠実に再現し、その状態から重力や気体力学、放射輸送などの作用によって宇宙で最初の星が形成される様子の理論計算を行うことができるようになりました。講演では最新のコンピューターシミュレーションを用いてファーストスター誕生の過程を解説します。宇宙最初期の星の痕跡は、すばる望遠鏡を用いた銀河系内最古の星の観測によって見つかることが期待されています。将来の観測計画についても紹介します。

Keywords **重元素**：水素やヘリウム、リチウムよりも重い元素のことを天文学では重元素とよぶ。
原始星：分子ガス雲の中で誕生したばかりの星のことで、可視光でも観測できる状態になる前の段階のことを指す。

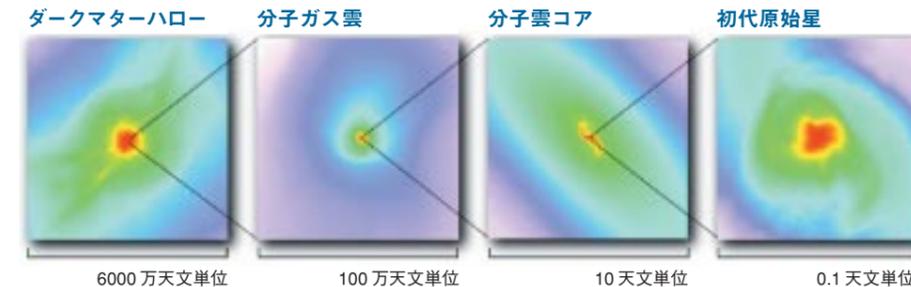
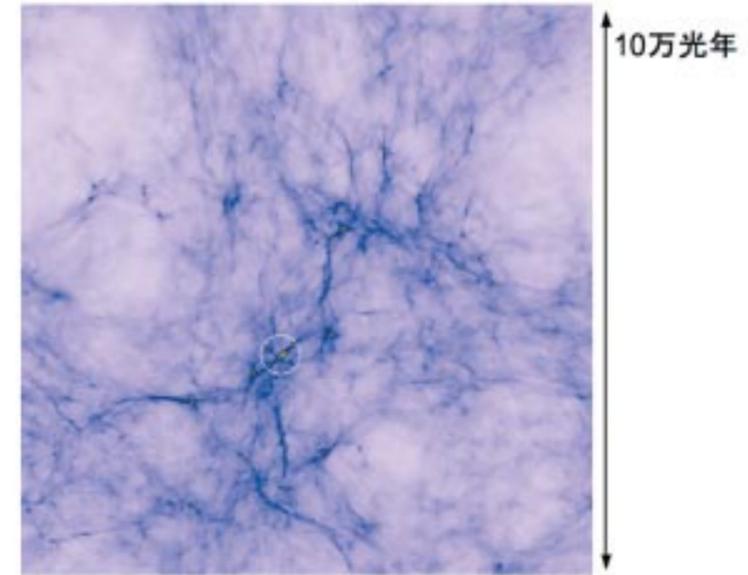


図 1 コンピューターシミュレーションで再現された宇宙年齢 3 億年の頃の物質分布（上）と、その中で最初に生まれた原始星周辺のガス分布（下）。下図では左から右に原始星にクローズアップしています。このシミュレーションは、差し渡し 10 万光年という大きな宇宙空間の中で、太陽半径程度の微細な構造までも解像しています。左下パネルの中央、赤い部分が生まれたばかりの原始星で、その質量はおよそ太陽の 100 分の 1 です。



東京大学数物連携宇宙研究機構・特任准教授。PhD。
1996 年東京大学工学部航空宇宙工学科卒業。2002 年ミュンヘン大学大学院天文学専攻博士課程修了。米国ハーバード大学博士研究員、国立天文台日本学術振興会特別研究員、名古屋大学大学院理学研究科助教を経て、08 年より現職。
専門は宇宙物理学、観測的宇宙論。大規模数値シミュレーションを用いた宇宙の構造形成の研究に従事。
2008 年国際純粋応用物理連合若手科学者賞受賞。

宇宙大規模構造の形成と銀河の形成 (4D2U 映像解説)

自然科学研究機構 国立天文台 **こ だま いた だ ゆ き**
児 玉 忠 恭

宇宙を構成する最小単位天体である銀河と、それらが集団化した銀河群や銀河団、そしてさらにそれらが連なって織りなす宇宙大規模構造は、いったいどのように形造られたのでしょうか？そこには目に見えないが質量の大半を占めている暗黒物質が大きな役割を担っています。

本講演では、国立天文台理論研究部でスーパーコンピュータによって計算され、4D2U グループによって可視化された美しい映像を上映しながら、宇宙大規模構造と銀河の形成の様子を概説します。

宇宙の初期には暗黒物質はほぼ一様に分布していましたが、ごくわずかな密度のゆらぎ（むら）も存在していました。これが将来の宇宙大規模構造の種となったのです。この密度が少し高い領域では、他より重力が強いため、周りから暗黒物質を集め、ますます密度が高くなります。このサイクルによって、ゆらぎは時間と共にどんどん成長します（図1）。やがてゆらぎから細かい網目状の構造が作られます。暗黒物質の密度の大きいところにはガスも引き寄せられ、それが冷えて収縮し星が生まれ、銀河が生まれます。銀河はこの網目構造に沿って運動し、網目の節に銀河団が形成されていきます。このようにして、銀河の集団がネットワーク状に連結した宇宙大規模構造が出来上がったと考えられています。

実際すばる望遠鏡などで、遠方の宇宙を観測すると、銀河団の周辺には、顕著なフィラメント構造がみられ、それらに沿って銀河の群れが配列している姿が見られます。これらの銀河群は銀河団の巨大な重力によって引き寄せられ、最終的に飲み込まれてしまうでしょう。

では今度は大規模構造の中をズームインして銀河の一つ一つがどのように生まれるのかを見てみましょう。上で見たのと同じように、銀河のスケールでも、わずかな密度の初期ゆらぎが成長し、暗黒物質の塊りが幾つも作られ集まっていきます。その重力に引かれて水素やヘリウムなどのガスの濃く集まった領域が形成され、そこで小さな星の集団が多数生まれます。星の集団は次々に集合・合体して、矮小銀河、そして銀河へと成長していきます（図2）。この計算では、初期のガス雲が回転しており、その回転の勢い（角運動量）が保存するために、ガスが収縮すると回転速度が大きくなり、円盤状に分布します。その中で星が生まれるため、円盤状の銀河となります。

また、銀河円盤の近くを矮小銀河が通る時に、その重力の影響で円盤部の星の分布が波立って、渦巻状の構造が生まれます。こうして出来上がったのが我々が住む銀河系のような渦巻き銀河です。実際の宇宙でも、遠方銀河（つまり昔の銀河）を観測すると、大きな銀河の数は減少し、多くの銀河がまだ銀河片に分裂しており、形成途上であることが確認されています。

（なお、本講演で紹介する映像は、4D2U の公式ウェブページ <http://4d2u.nao.ac.jp/t/var/download/index.php?id=movie> から取得できます。上記文章はこのページの解説文を参照しました）

Keywords フィラメント（ネットワーク）構造：宇宙初期のわずかな密度のゆらぎが徐々に重力的に成長し、蜘蛛の巣（網目）状の構造が発達する。現在の宇宙でも無数の銀河集団が、お互いにネットワーク状に連結されたフィラメント構造が見られる。

階層的構造形成：宇宙初期には小さな構造（銀河片）がたくさん生まれ、それらが互いに重力で引き合い、集合・合体し、矮小銀河→銀河→銀河群→銀河団といったより大きな構造へと発展してゆく。このように小さなものから大きなものへと階層的に構造が形成される。

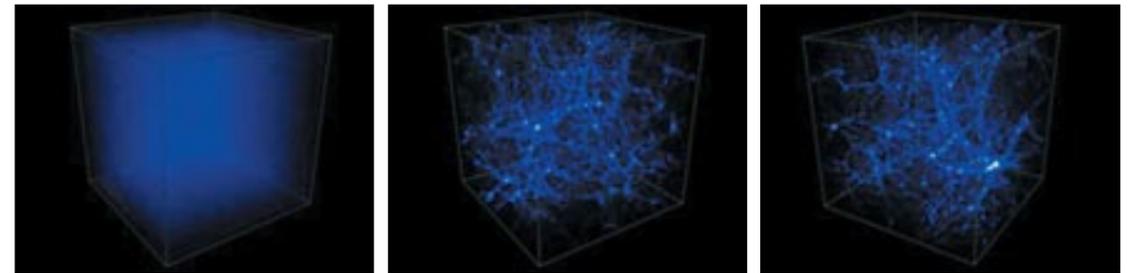


図1 宇宙の大規模構造形成のシミュレーション（矢作、長島らの計算） 左から右に進化する



図2 我々の住む銀河系のような渦巻銀河の形成シミュレーション（斎藤らの計算） 左から右に進化する



自然科学研究機構国立天文台光赤外研究部・准教授。理学博士。

1992年京都大学理学部卒業。97年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。英国ケンブリッジ大学、同ダーラム大学にて研究員、2001年東京大学大学院理学系研究科助手、02年国立天文台理論天文学研究系助手を経て、05年より現職。

専門は銀河天文学。特に光学赤外線領域での遠方銀河と銀河団の研究。宇宙大規模構造の形成や銀河の形成・進化に興味をもつ。

2002年日本天文学会研究奨励賞受賞。

重力レンズで探る暗黒宇宙

東北大学大学院理学研究科 ふた ま せ としふみ
二間瀬 敏史

宇宙のエネルギーの23%が暗黒物質、73%が暗黒エネルギーという電磁波を放出もしなければ吸収もしない正体不明のものが満たされていることが分かっています。一方、この暗黒物質、暗黒エネルギーは銀河、銀河団、超銀河団という宇宙の構造の形成に重要な役割を果たしていることも分かってきました。これら通常の方法では観測が難しい暗黒物質、暗黒エネルギーを重力レンズと呼ばれる現象を利用して観測して、それらの性質を調べることができます。重力レンズとは、遠方の天体からやってくる光が我々に届くまでに途中にある質量(=エネルギー)分布による重力のためその進路が曲げられる現象です。講演では、重力レンズの詳しい説明と、すばる望遠鏡を使った重力レンズの観測の例として銀河団の周りの暗黒物質分布について紹介し、また暗黒エネルギー観測についても話します。

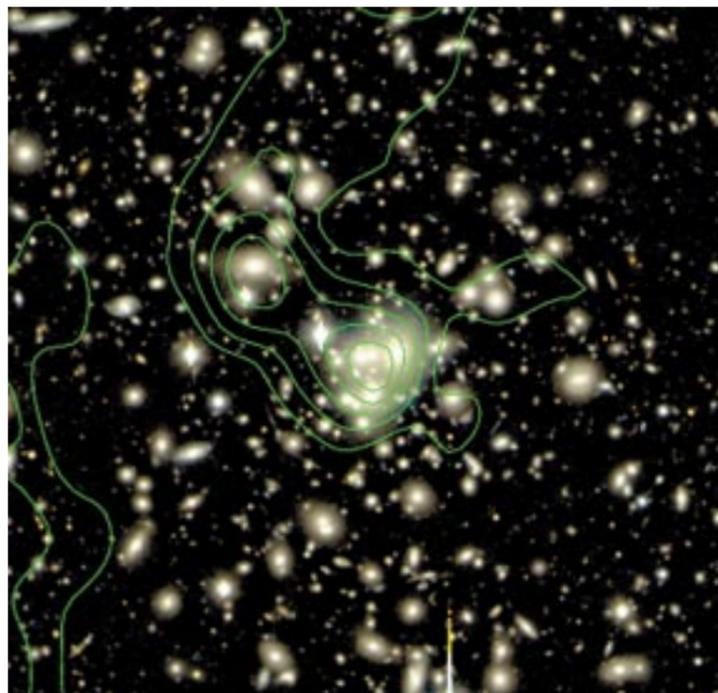


図1 重力レンズで観測した22億光年かなたの銀河団A1689における暗黒物質分布

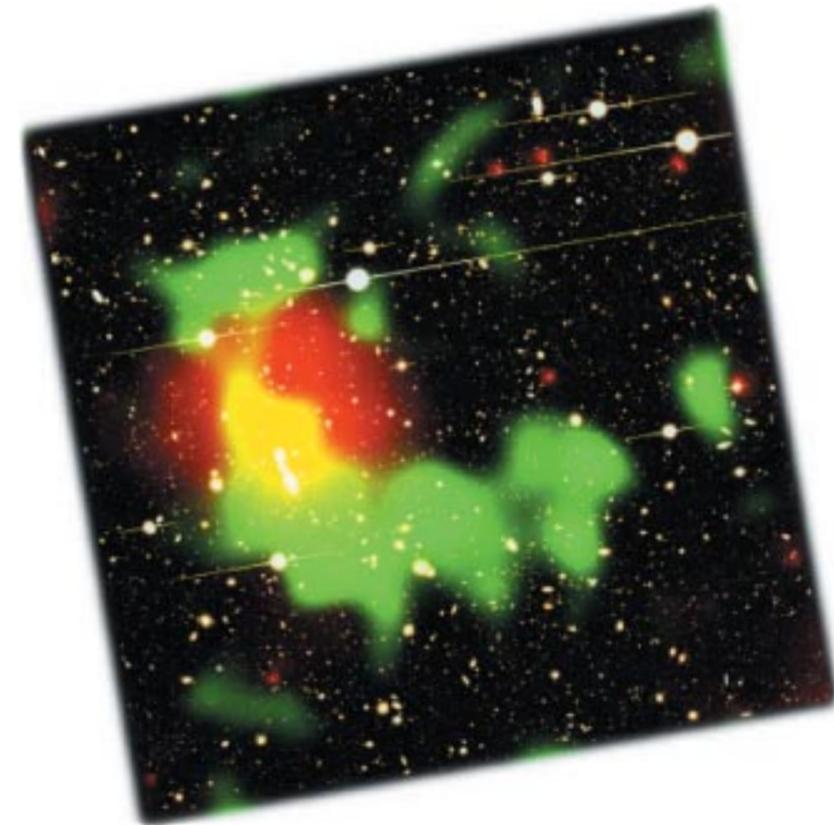


図2 10億光年かなたで起こっている銀河団同士の衝突。大きな銀河団に下の方から小さな銀河団が突入して一部が貫通している。緑が暗黒物質分布、赤はX線で明るく輝いている部分で熱いガスがある。黄色い部分には熱いガスと暗黒物質の両方が存在する



東北大学大学院理学研究科・教授。Ph.D。

1977年京都大学理学部卒業。81年University College, Cardiff (英) Ph.D取得。マックス・プランク天体物理学研究所、ワシントン大学(米) 研究員などを経て、88年弘前大学助教授、91年同教授、95年より現職。

専門は、一般相対性理論、および宇宙論。ここ10年は重力レンズを用いた観測的宇宙論に関心をもち研究をしている。

1998年ドイツ政府からジーボルト賞受賞。

著書に「なっとくする宇宙論」(講談社、1998年)、「ここまでわかった宇宙の謎」(講談社、1999年)などがある。

天体の明るさで測る暗黒エネルギー

東京大学大学院理学系研究科 **土居 守** どい まもる

現代天体物理学の大きな謎の1つに、宇宙膨張が加速して観測されている事実があります。解釈として未知のダークエネルギーの存在可能性が専門家間で活発に議論され、その正体を解明する手法がいろいろ提案されています。ダークエネルギーは一般相対性理論が完成した直後からアインシュタイン博士の宇宙項という形で存在可能性は議論されていましたが、天体観測が進んできた1990年代初頭、遠方の銀河の数が多く見えることや、天体の年齢が宇宙年齢を超えそうだという結果などで宇宙項として現代天文学においても本格的に議論され始めました。そして1998年に遠方の超新星の明るさを測られていよいよダークエネルギーが観測的に確からしくなってきました。

本講演ではこの超新星（特にIa型と呼ばれる特殊な超新星）と呼ばれる星の爆発現象の明るさを精密に測ることで宇宙の加速膨張が観測されている様子を、具体的な天体観測の手法とあわせてお話いたします。特に、天体の明るさを使った宇宙膨張測定方法として、超新星の明るさから時刻を、またスペクトルから宇宙膨張の割合を出し、両者をあわせることで宇宙膨張の時間変化を測る手法について解説をいたします。自然科学研究機構国立天文台のすばる望遠鏡によっても、遠方の超新星が多く見つかってきており、その成果についてもお話いたします。さらに超新星による宇宙膨張測定の長所と短所および将来計画についてもご紹介いたします。

Keywords **超新星**：星の終末の爆発現象。多くは重い星の終末で重力崩壊型だが、Ia型と呼ばれる連星中の超新星は比較的軽い星の終末で、明るさが比較的一定で、距離測定に有用。
ダークエネルギー：光がまっすぐ進み、また宇宙膨張が加速している観測結果を説明するために導入された仮想的なエネルギー。膨張しても密度がほぼ一定という不思議な性質を持ち、密度が完全に一定の場合には、アインシュタイン博士が提唱した宇宙項と同じになる。

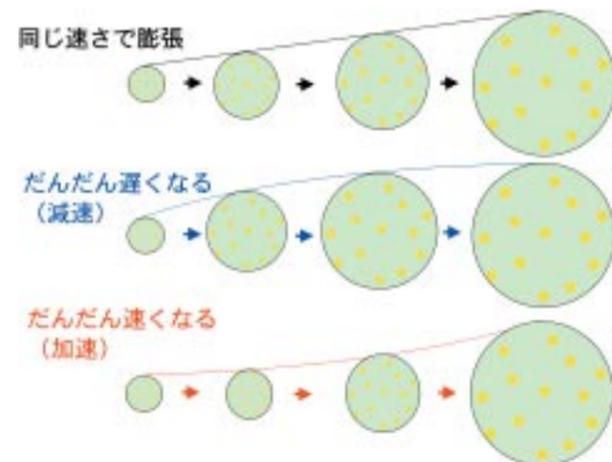


図1 宇宙膨張の可能性 時間に対して一定の割合で膨張(上)・減速膨張(中)・加速膨張(下)に分類できるが、現在は加速膨張していると考えられる

図2 Ia型超新星の明るさの時間変化の様子 上は補正をしない場合、下は時間変化の形から明るさの補正後(高梨直純による)

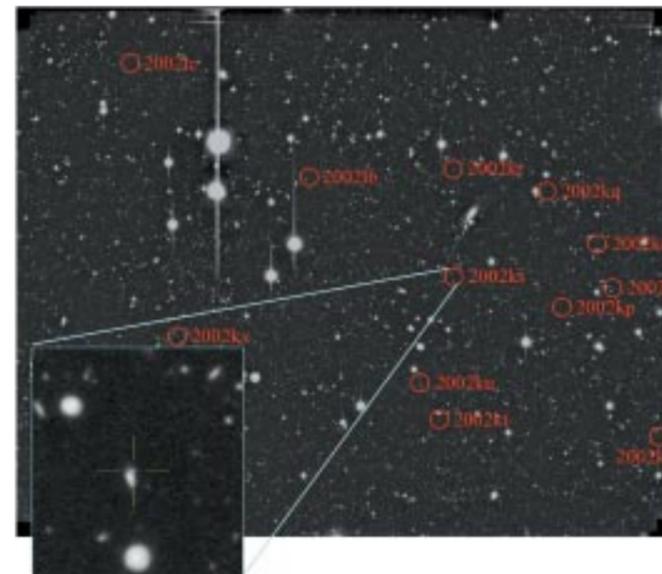
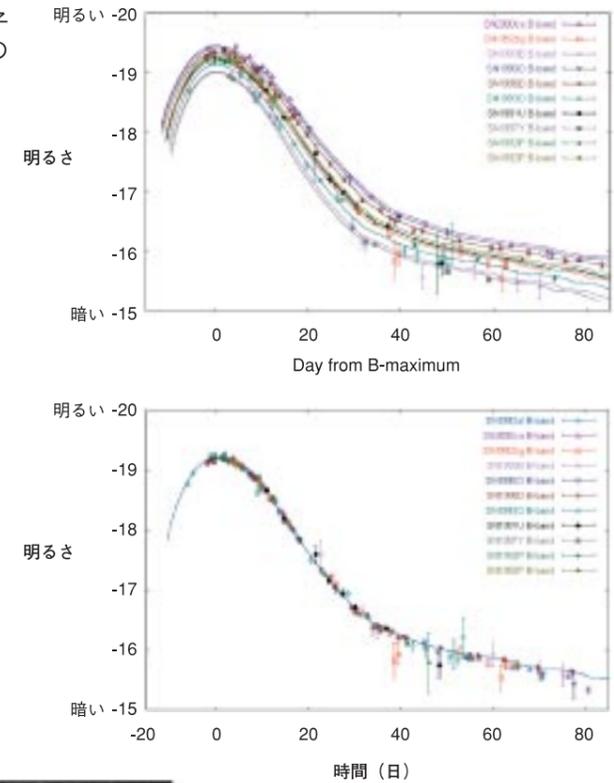


図3 すばる望遠鏡で発見した超新星の例 一度に12個を発見し、国際天文学連合に報告した(東京大学提供)



東京大学大学院理学系研究科附属天文学教育研究センター・教授。理学博士。
 1988年東京大学理学部天文学科卒業。91年同大学大学院博士課程中途退学。92年同大学理学部助手、2000年同大学理学系研究科助教授(准教授)を経て、07年より現職。専門は銀河天文学および観測的宇宙論。ほかに天体観測装置の開発も行い、現在は東京大学のアタカマ天文台建設の一翼を担う。著書に『宇宙を見る新しい目』(共著、日本評論社、2004年)、『銀河I—銀河と銀河団』(共著、日本評論社、2007年)などがある。

宇宙の超精密地図から探る 暗黒エネルギー

とたに ともりの
戸谷 友則
京都大学大学院理学研究科

ダークエネルギーは現代物理学・宇宙論における最大の謎とされている。このダークエネルギーの性質を観測的に解明するには、ビッグバン宇宙の膨張速度の変遷を精密測定しなければならない。そのための重要なアプローチの一つとして近年注目を浴びているのが、「バリオン振動」と呼ばれる現象に起因する特徴的な長さスケールを「ものさし」として、宇宙の幾何構造と膨張史を測定しようというものである。現在の宇宙における銀河や銀河団などの豊かな大規模構造は、宇宙初期のわずかな密度のゆらぎが重力によって成長してできたと考えられている。その重力の主役は暗黒物質だが、宇宙には我々の体を構成しているような原子核などの通常物質（バリオン）も存在する。そのバリオンは宇宙初期においては放射（光子）と強く結びついており、放射の圧力の反発で重力に対して密度揺らぎが振動する。この振動の波長は精度よく予言できるため、宇宙を測る「ものさし」として使うことができるという訳だ。

宇宙における数多くの銀河を観測して三次元的な地図を作製すると、銀河分布のゆらぎパターンにこの「バリオン振動」のパターンが現れる。実際の長さがよくわかっているのだから、見かけの（天球上の）パターンと比較すれば、宇宙の大きさが精密に測定することができる。これは他の方法に比べて誤差や不定性が非常に少ないダークエネルギー探索方法として有望視されている。日本では、京都大学が中心となって製作した、すばる望遠鏡の新観測装置「FMOS」を用いたプロジェクトが計画されている。この装置は、一度に400個もの銀河のスペクトルを取得し、それらの距離を決定できるという世界的にも非常にユニークで強力なものである。この装置とすばる望遠鏡の広視野・高感度を生かし、約100億光年先というはるか遠方における数十万もの銀河の空間分布を精密測定し、ダークエネルギーに迫る試みである。本講演では、バリオン振動によるダークエネルギー研究を解説した上でFMOSの計画を紹介する。

Keywords
ダークエネルギー：宇宙膨張を加速させている未知のエネルギー形態。近年の精密宇宙観測により、存在が明らかになった。アインシュタインがかつて静止宇宙を実現するために導入し、後に撤回した「宇宙定数」でよく記述される。宇宙定数は真空のエネルギーと解釈することもできる。ダークエネルギーが宇宙定数と厳密に同じものなのか、また、そもそもどうしてそのようなものが存在するのかは、全くわかっていない。
スペクトル：天体からの光を波長ごとに分けたもの。遠方の天体は遠ざかっているため、ドップラー効果により波長がのびる。特定の原子は特定の波長の光を発するため、観測された波長の地上実験室での値からのずれを見ることで、後退速度と天体までの距離が決定される。

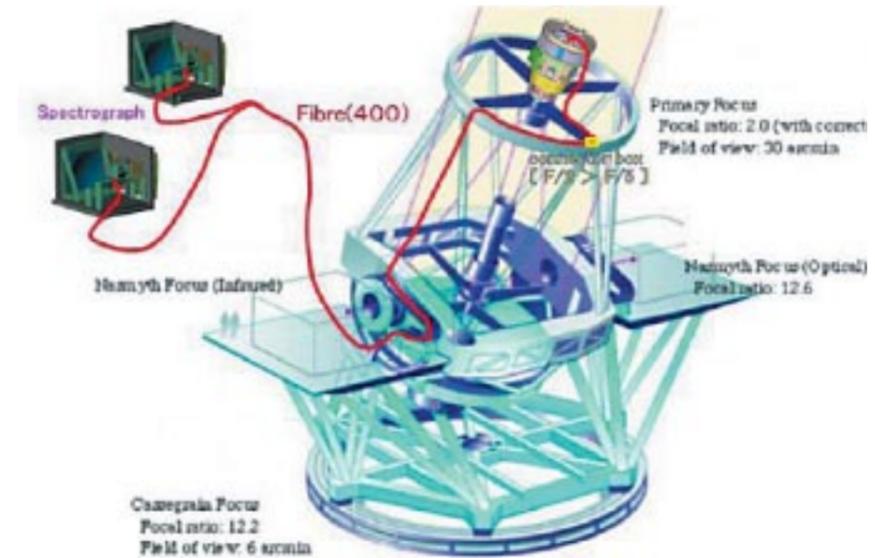


図1 すばる望遠鏡新観測装置 FMOS (Fiber Multi-Object Spectrograph、ファイバー多天体分光器) 主鏡で集められた天体からの光はまず、主焦点(望遠鏡のフレームの一番上の部分)に集まる。ここに取り付けられた主焦点ユニットで取得された天体からの光を400本のファイバー(赤い線)によって2台の分光器へ導き、そこでスペクトルが観測される

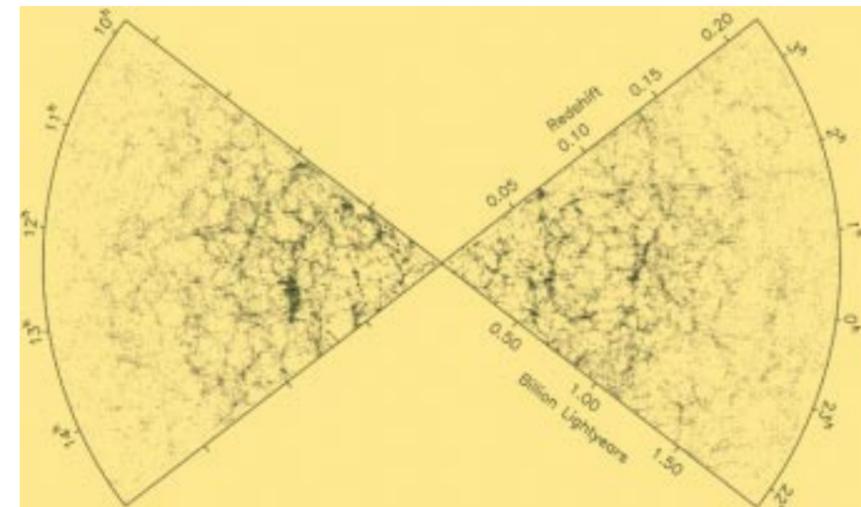


図2 2dF 銀河サーベイが描き出した銀河の大規模構造 すばる FMOS では、この地図よりはるか遠方(5倍程度)の宇宙の地図を作製する計画である



京都大学大学院理学研究科物理学宇宙物理学専攻・准教授。理学博士。

1994年東京大学理学部物理学科卒業。98年同大学大学院博士課程修了。99年国立天文台助手、2001年プリンストン大学客員研究員を経て、03年京都大学助教授。07年より准教授に名称変更して現在に至る。

専門は宇宙物理学。特に宇宙論と高エネルギー現象。現在はダークエネルギーや超新星、ガンマ線バーストなどに関心をもつ。

1999年井上科学振興財団井上奨励賞受賞。2006年日本天文学会研究奨励賞受賞。

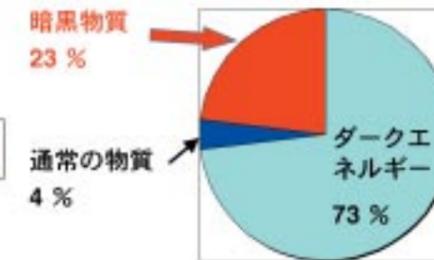
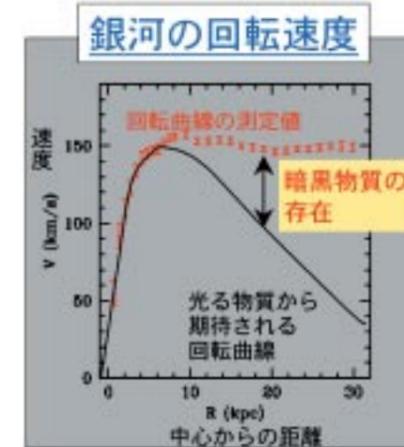
暗黒物質の正体は？

東京大学 宇宙線研究所 なかはた まさゆき
中畑 雅行

「暗黒物質」は宇宙に漂っている物質であり、重さは持ちますが光や電波では観測することができない物質です。その正体はまだ解明されていません。「暗黒物質が存在する」という観測事実はいくつもあります。ひとつの証拠は銀河の回転速度ですが、銀河の中心からの距離とその場所にある物質の回転速度との関係をニュートンの法則に当てはめてみますと、光っている物質よりもずっと多くの「重さ」を持った物が存在することが分かっています。最近では重力レンズ効果を使って「重さ」の分布を観測できるようになり、2006年にはBullet clusterという衝突する銀河団において、重さの分布とX線で観測された高温ガスの分布がまったく異なることから、「暗黒物質」の存在が更に確実なものとなりました。また、WMAPを始めとする宇宙初期揺らぎの精密観測から、宇宙のエネルギーの23%は暗黒物質が担っていることが示唆されています。

暗黒物質は、質量を持ち、物質となかなか相互作用をしない物質です。現在、暗黒物質の最も有力な候補として考えられているのは、超対称性理論から予言される「ニュートラリーノ」と呼ばれる素粒子です。この素粒子は陽子の数十倍以上の質量を持ち、物質と非常に弱い反応をする粒子だと考えられています。ニュートラリーノを「観測」によって捕えようとする試みが、日本の神岡や世界各地の地下実験施設で進められています。ニュートラリーノが反応する頻度は、100 kg ぐらいの標的となる物質を用意したとして、一月に数回程度以下と考えられています。これは環境に存在する放射性物質や宇宙線によるバックグラウンドに比べると桁違いに小さい頻度です。したがって、地下の実験施設において非常に注意深く選択された放射線的に「きれいな」物質を使って観測装置を作る必要があります。神岡の地下実験施設では液体キセノンを使った装置が現在建設中です。

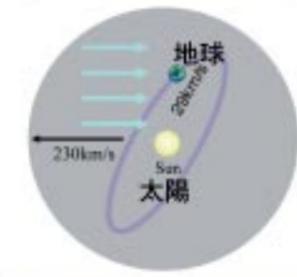
Keywords
暗黒物質：宇宙に漂っている重さは持つが物質となかなか反応しない粒子。反応性が弱いため光や電波で捉えることができず、「暗黒」という名前がついている。
超対称性理論：今までの加速器実験などによって発見された物質を構成する素粒子（クォークや電子の仲間）はスピン1/2を持つ。それに対して力を媒介する粒子（光子、グルーオン、W、Zボゾン）はスピン1を持つ。これらの粒子とスピンの関係を対称化させた理論。超対称性理論ではスピン0のクォークやスピン1/2の力を媒介する粒子が存在する。
ニュートラリーノ：超対称性理論では新たな粒子（超対称性粒子）の存在を予言するが、それらの中で最も軽く電氣的に中性の粒子。



宇宙初期の揺らぎから

図1 暗黒物質が存在するという証拠

我々の周りの暗黒物質



太陽系は銀河系内で230 km/秒の速度で運動している。

暗黒物質は銀河系内でランダムに約270 km/秒の速度で運動している。それに太陽系の運動による「風」が吹く。

暗黒物質の密度は、質量を陽子の100倍だとすると7 cm立方体に一観。

神岡で準備中の観測装置

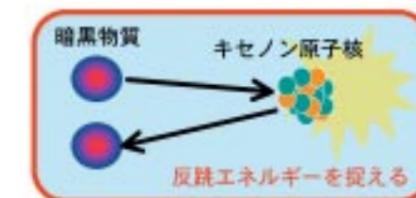
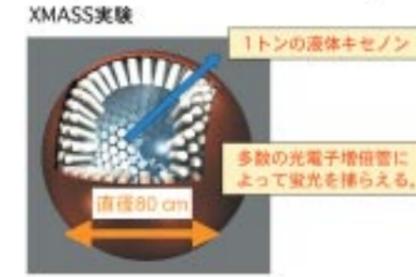


図2 暗黒物質を捉える



東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設・教授。理学博士。

1982年東京大学理学部物理学科卒業。88年同大学理学系研究科物理学専門課程修了。同年同大学宇宙線研究所助手、95年同研究所助教授を経て、2003年より現職。専門は宇宙素粒子物理学。特にニュートリノ天文学や暗黒物質探索実験。2001年仁科賞受賞。著書に『物理学の挑戦（第2章「ダークマターを探す」）』（日本評論社、2006年）などがある。

暗黒宇宙の謎に迫るすばる望遠鏡

自然科学研究機構 国立天文台 **はやし まさひこ**
林 正彦

「もっと遠くを見たい。」

多くの日本の天文学者がそう願って実現したすばる望遠鏡も、ファーストライトから早10年を迎えます。この10年で最もうれしかったことは、多くの人にすばる望遠鏡の成果を喜んでもらったことです。講演では、そんなすばる望遠鏡の特徴や成果をご紹介します。

すばる望遠鏡は、数ある大型望遠鏡の中で、他にはない優れた特徴を持っています。ひとつは、主焦点があること。もうひとつは、光学性能と駆動性能が高いことです。

望遠鏡の構造上、主焦点では焦点距離が短いのでF比が大きくなり、広角の撮影ができます。すばる望遠鏡は、そこに主焦点カメラ（Suprime-Cam）という8千万画素数のCCDカメラを取り付けて、月と同じ大きさの天域を一度に撮影することができます。宇宙最遠方の銀河や銀河団の発見、暗黒物質の三次元分布の解明、暗黒物質の濃いところで銀河が形成されること、多くの巨大電離ガス天体の検出。主焦点カメラのおかげで、他の望遠鏡ではできないような成果がたくさん出せました。

すばる望遠鏡は、日本の得意とするハイテクによって、他に抜きんできた性能を維持しています。たとえば、直径8mの主鏡の裏には、直径20cmで深さ15cmの穴が261個も開いています。主鏡ガラスの厚みは20cmですから、裏に穴がある場所ではガラスの厚みはわずか5cmしかありません。ここに、アクチュエータと呼ばれる精密制御ロボットの腕を差し込み、重さ23トンの主鏡の表面が常に理想的な反射面になるように保持しています。

- Keywords**
- 主焦点：主鏡で反射された光が、そのまま主鏡前方に収束して行ける焦点。
 - 光学性能：主鏡を初めとする光学系が、どのくらい理想に近いかを表す性能。
 - 駆動性能：天体を追尾するとき、対象をピタッと捉えてぶれたりしない性能。



図1 すばる望遠鏡本体の概念図（遠藤孝悦・画）と焦点位置



図2 すばる望遠鏡の主鏡ガラス全体像

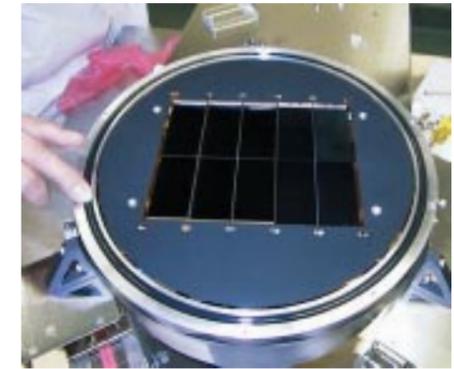


図3 すばる主焦点カメラのCCD受光部

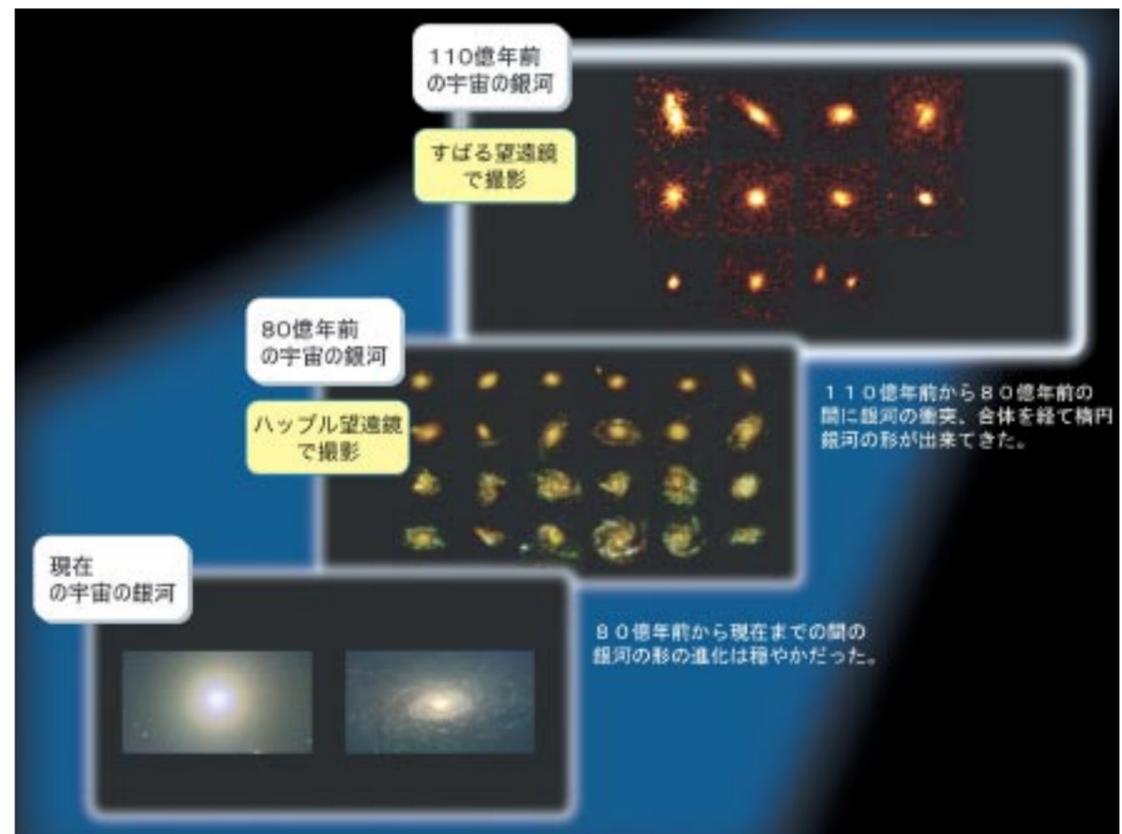


図4 110億年前の銀河の姿 大部分は、小型の渦巻銀河



自然科学研究機構国立天文台・教授。ハワイ観測所長。理学博士。

1981年東京大学理学部天文学科卒業。86年同大学大学院博士課程修了。94年国立天文台助教授を経て、98年より現職。2006年よりハワイ観測所長を併任。専門は、星・惑星系の形成過程の観測的研究。

パネルディスカッション 宇宙究極の謎

パネリスト： 立花 隆
観山 正見（国立天文台）
須藤 靖（東京大学）



みやま しょうけん
観山 正見

自然科学研究機構国立天文台・台長。理学博士。

1975年京都大学理学部卒業。81年同大学大学院博士後期課程修了。83年同大学理学部助手、89年国立天文台理論天文学研究系助教授、92年同教授を経て、2006年より現職。専門は理論天文学。特に星・惑星系形成論。著書に『太陽系外の惑星に生命を探せ』（光文社、2002年）などがある。



すどう やすし
須藤 靖

東京大学大学院理学系研究科物理学専攻・教授。

1981年東京大学理学部物理学専攻卒業。86年同大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了。カリフォルニア大学研究員、茨城大学助手、広島大学理論物理学研究所助教授、京都大学基礎物理学研究所助教授、東京大学助教授を経て、現職。専門は宇宙論・太陽系外惑星の理論的および観測的研究。1990年日本天文学会研究奨励賞、2005年日本天文学会林忠四郎賞を受賞。主な著書に『一般相対論入門』（日本評論社、2005年）、『ものの大きさ—自然の階層・宇宙の階層—』（東京大学出版会、2006年）、『宇宙は“地球”であふれている』（共著、技術評論社、2008年）、『宇宙生物学入門—惑星・生物・文明の起源—』（共訳、シュプリンガー・ジャパン、2008年）、『解析力学・量子論』（東京大学出版会、2008年）などがある。

閉会の挨拶

国立天文台 観山 正見