

## 第 6 回 NINS シンポジウム「宇宙究極の謎」

当日および事前取材中に登場した用語のまとめ

2009/02/14, 23:18 更新⑦

ご注意

これは完全な用語のリストではありません。

また、専門的な内容を多分に含みますが、正確さを第一に追求したものではないことをご了承ください。

### ■掲載用語一覧 (同義語・略称なども含め、見出しになっているものを列挙してあります)

暗黒エネルギー	2	パーセク	10	inflation	2
暗黒時代	2	ハッブル宇宙望遠鏡	10	Inflationary Cosmology	2
暗黒物質	2	ハッブルの法則	10	Kamioka Observatory	4
インフレーション宇宙論	2	バリオン音響振動	10	Laboratoire Europeen pour la Physique des Particules	3
宇宙の晴れ上がり	3	ハロー	11	Large Hadron Collider	4
宇宙の膨張	3	万有引力	6	LHC	4
宇宙マイクロ波背景放射	3	光	11	light	11
欧州原子核研究機構	3	ヒッグス粒子	11	MACHO	13
大型ハドロン衝突型加速器	4	ビッグバン	12	mass	6
		標準模型	12	Massive (Astrophysical) Compact Halo Object	13
		標準理論	12	Modified Newtonian Dynamics	6
		フェルミオン	12	MOND	6
		補償光学	12	neutralino	10
		ボソン	13	neutrino	10
		粒子加速器	13	nova	7
				nuclear fusion	4
		adaptic optics	12	parsec	10
		BAO	10	particle accerlator	13
		Baryon Acoustic Oscillation	10	pc	10
		BD	4	quasar	7
		Big Bang	12	redshift	8
		Black-body radiation	5	reionization	6
		boson	13	Relativitätstheorie	8
		brown dwarf	4	SDSS	7
				Sloan Digital Sky Survey	7
		CDM モデル	9	spin	7
		CERN	3	Standard Model	12
		CMB	3	Standard Theory	12
		COBE	13	Steady-State Theory	9
		Cold Dark Matter Model	9	Subaru Telescope	7
		computer simulation	5	supernova	7
		Cosmic Background Explorer	13	SUSY	9
				Theory of Relativity	8
		dark age	2	type Ia supernova	14
		dark energy	2	weakly interacting massive particles	14
		dark matter	2	Wilkinson Microwave Anisotropy Probe	14
				WIMPS	14
		elementary particle	8	WMAP	14
		equivalence principle	9	Ia 型超新星	14
		expansion of the universe	3	4 つの力	14
		fermion	12	4 fundamental interactions	14
		fixed star	5		
		galaxy	5		
		Grand Unified Theory	9		
		gravitational lens	7		
		gravity	6		
		GUT	9		
		halo	11		
		Higgs boson	11		
		HST	10		
		Hubble Space Telescope	10		
		Hubble's law	10		
ダークエネルギー	2				
ダークマター	2				
大統一理論	9				
超新星	7				
超対称性	9				
冷たい暗黒物質モデル	9				
定常宇宙論	9				
等価原理	9				
ニュートラリーノ	10				
ニュートリノ	10				

### ダークエネルギー, 暗黒エネルギー Dark Energy Y E

宇宙の膨張をうまく説明するために考案された存在。宇宙に重力（万有引力）だけが働くとする、「宇宙が膨張している」という観測結果と整合しないため、それを補う“斥力”を生み出すものとして仮定されている。ダークマターが何らかの素粒子で構成され、万有引力の法則に従うことが仮定されているのに対し、ダークエネルギーはそのような仮定がなされていない。名前はつけられているものの、“観測”等による確認はおろか、その方法すら知られていない。ダークエネルギーの存在を想定する代わりに、現在支持されている物理学の諸理論を改めることで解決を図るべきだとする立場もある。

### 暗黒時代 Dark Age Y K

宇宙の晴れ上がり後の冷えた宇宙には、もはや光を発するほど高温の物質はほぼ存在しなくなった。それから再び光を発するもの、すなわち宇宙初期の星々（「ファーストスター」ともいう）が現れるまでの時代を指す。定義からして、この時代に発された“光”はほとんど存在せず、通常的手段で観測することは難しい。

### ダークマター, 暗黒物質 Dark Matter Y E

物質 matter と同じように万有引力により相互作用をするが、現在のところ人類が観測できていない、何らかの粒子の集まり。ダークマターの実体とされるものにはニュートラリーノなど、複数の“候補”が挙げられている。

原子 atom だけからなる物質系を想定した場合に生じる理論と観測との不整合を埋めるための概念という点では、ダークマターもダークエネルギーも似通っており、両者は、実際に“確認”された場合の性質の違いなどをもとに区別されている。

### インフレーション宇宙論 Inflationary Cosmology K Y

“無”の空間から宇宙が生まれて、ビッグバンに至るまでのきわめて短い時間（ $10^{-34}$  秒）の間に、宇宙空間が数十桁も膨張したとする理論。現在ダークエネルギーの最有力候補である「真空のエネルギー」が、今に比べはるかに強く空間に作用して起こったとされる。

現時点で観測可能な宇宙が、その大きさと年齢の割にきわめて一様であることや、膨張と収縮の中間の非常にバランスの取れた状態にあることは、ビッグバン宇宙論だけでは説明できなかった。例えば、私たちが観測している 100 億光年先の銀河と、それに対して天球上でちょうど反対に位置する銀河の間では、最低でも 200 億年程度の時間がないと相互作用が起きないとされるが、現実には、それらの銀河は似た構造を持つことが観測されている。

## 宇宙の晴れ上がり

宇宙誕生後しばらくして、現在私たちのよく知る“物質”ができ始めた頃は、あまりにも宇宙の温度と密度が高かったために、**光**は物質と盛んに相互作用して、宇宙空間を直進することができなかつたとされる。その初期の高温・高圧状態が和らいで、光が直進できるようになった時を指して「宇宙の晴れ上がり」と呼び、この後に**暗黒時代**が続く。

## 宇宙の膨張 Expansion of the Universe

フリードマン Alexander Alexandrovich Friedman は、**一般相対性理論**から「膨張する宇宙」のモデルを導いた。後にハッブルは、スライファアー Vesto Melvin Slipher に続いて**銀河の赤方偏移**を観測し、赤方偏移と距離の関係を**定式化**した。これにより、フリードマンのモデルが確立されることとなった。

膨張の加速度は、一定期間継続的に輝く**超新星**の明るさを観測し、超新星が等速運動していると仮定して理論的に導いた明るさと比較することで推定する。すなわち、観測される明るさが予測よりも暗ければ、超新星が加速運動して地球との距離が広がり、その間を伝達する光が大きく減衰していると考え、反対に明るければ超新星は減速膨張していると考えられる。

宇宙の加速膨張の担い手は**ダークエネルギー**と呼ばれらわされている。また、現在の膨張速度は、宇宙最初期の**インフレーション**と比較すればかなり遅いとされる。

## 宇宙マイクロ波背景放射 CMB (Cosmic Microwave Background)

宇宙のどの方向からも均一に入射してくる宇宙線、およびその現象を宇宙背景放射 cosmic background という。宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) はその代表例で、観測される電磁波の波長が数百  $\mu\text{m}$ ～数 m (マイクロ波) のものを指す。その平均温度は 2.73 K であり、スペクトルは**黒体放射**のそれに非常に近いことが知られている。

CMB の存在は 1940 年代にガモフ George Gamow らによって予言され、1964 年、天文観測用の超高感度アンテナについて研究していたペンジアス Arno Allan Penzias とウィルソン Robert Woodrow Wilson によって実証された。この業績により、ペンジアスとウィルソンの 2 人はノーベル物理学賞を受賞した。

**宇宙の膨張**を仮定すれば、均一に観測された宇宙線は、初期の宇宙が膨張して現在の姿になる以前、**宇宙の晴れ上がり**時に初めて“直進できるようになった”**光**の名残と考えることができる。すなわち、この現象は「**ビッグバン**が起これ、その後現在に至るまで宇宙は膨張している」とする立場にとって有力な論拠であり、宇宙の原始的状態を知るためのよい手がかりになると考えられる。**COBE** やその後継機 **WMAP** での探査が行われてきた。

## 欧州原子核研究機構 Laboratoire Europeen pour la Physique des Particules, <sup>セルン</sup>CERN

スイスのジュネーヴ郊外に本部をおく、世界最大規模の**素粒子**物理学の研究所。ヨーロッパの 20 カ国が共同で運営しており、**LHC** などの実験施設を有する。CERN の略称はフランス語の Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (原子核研究の為の欧州委員会) の頭文字に由来する。これは研究所の設立準備委員会

の名称であるが、正式な組織発足後も引き続き使われている。

素粒子物理学の研究機関であるが、その研究の特性から、ごく初期からコンピュータやネットワークに関する技術開発を行っており、インターネットや WWW の基幹技術の一部 (HTTP や HTML など)、そして WWW そのものがここで発明された。

### 大型ハドロン衝突型加速器 LHC (Large Hadron Collider)

CERN によってスイスとフランスの両国にまたがって建設された、現在世界最大の粒子加速器。加速実験では、地下 100 m の深さにある総延長 27 km のシンクロトロンで、2つの陽子にそれぞれ 7 TeV ( $7.0 \times 10^{-12}$  電子ボルト) のエネルギーを与え、正面衝突させる。ヒッグス粒子や超対称性粒子の発見などの成果が期待されている。

2008 年 9 月 10 日に稼働を開始したが、同月 19 日、装置の冷却に使用するヘリウムがトンネル内へ大量に漏出する事故が発生し、実験計画に大幅な遅れが生じた。

### 核融合 Nuclear Fusion

複数の原子核が結合して、より原子番号 (陽子数) の大きな別の原子核になる現象の総称をいう。原子核同士が、陽子間に働く電気的反発力に打ち勝って、強い核力が働く距離まで接近して初めて生じる現象であり、非常に高温高圧の条件のもとでしか進行しない。恒星の内部では、主に水素  ${}^1_1\text{H}$  や重水素  ${}^2_1\text{D}$  の原子核が結合して、ヘリウム  ${}^4_2\text{He}$  の原子核になっている。核融合後のヘリウムのほうが、水素原子 4 つでいるよりも安定であり、核融合の際に放出されるエネルギーで恒星は輝き、連鎖的に核融合反応を継続させている。天然には存在しない超ウラン元素 (原子番号がウラン  ${}_{92}\text{U}$  より大きな元素) なども、加速器で原子核同士を衝突させ、核融合を起こすことで合成される。

### 褐色矮星 BD (Brown Dwarf)

核融合を起こすことができないほど軽く (太陽質量の 8% 以下)、主系列星 (太陽のような恒星) として輝くことができない天体。星の形成初期に  ${}^2\text{H}$  (重水素 D ともいう) の核融合反応の大部分が起きており、通常  ${}^1\text{H}$  しか含まれていない。MACHO の一つである。星の形成初期に重水素の核融合反応は起きているため、ガス惑星とは異なり、赤外線を放射している。表面温度は 800~2500 °C と、主系列星と比較して低いため、暗く、見つけるのが難しい。

### 神岡宇宙素粒子研究施設 Kamioka Observatory

東大宇宙線研究所 (ICRR) の附属施設。岐阜県神岡町にあり、宇宙線・素粒子の観測を行っている。「カミオカンデ」やその後継装置「スーパーカミオカンデ」を用いたニュートリノの観測に成功して注目されているほか、ダークマターをとらえる XMASS 実験や、重力波 gravitational wave を検出するプロジェクトなども進行中である。

## 銀河 Galaxy

恒星が重力の作用により集合した天体。その上位構造を銀河団という。1 千億個程度の恒星からなるものが典型的であり、中心には巨大なブラックホールがあると考えられている。太陽系も、「銀河系」あるいは「天の川銀河」と呼ばれる銀河に属する。

## 恒星 Fixed Star

他の天体の光を受けなくとも、自ら発した光で輝く星のこと。惑星と異なり、観測される位置がほとんど変わらないことから名づけられた。実際には、惑星と比較して極めて遠方に存在すると考えられる。人類が観察できる天体のほとんどは、恒星またはその集合体であり、最も身近な天体の太陽もその一つ。

現在知られている恒星系は、最も近いものでも地球から 4 光年程度の距離にある。そのエネルギー源は核融合反応であり、質量の大きな天体ほど“燃料”である軽い元素が速く核融合を起こして消費され、質量の小さな天体では逆に核融合反応がゆっくりと進むため、前者は明るく高温短命、後者は暗く低温長命である。

## 黒体放射, 黒体輻射 Black-body Radiation

空洞放射とも呼ばれる。私たちが物体を光によって「認識する」というとき、実際に観測している光は、

- ・ 外部光源から入射した光をそのまま物体が反射したもの
- ・ 物体そのものが発しているもの

の 2 種類に分けて考えることができる。黒体放射とは、入射したどんな電磁波をも反射せずに吸収するような理想的な物体「完全黒体」から電磁波が発せられる現象をいい、電磁波そのものや、発せられる電磁波に対応する温度をも指すことがある。なお、「黒体」の語は、色覚的な「黒」に必ずしも対応しない。

特定の温度下で黒体が発する電磁波の波長と黒体の「色」は理論的に決定でき、このとき、ある色に対応する黒体の温度をその色の「色温度」と呼ぶ。

## コンピュータシミュレーション Computer Simulation

コンピュータを用いた計算により、種々の現象を近似・模倣すること。実際には観測できない現象や、費用や安全性の面から行うことが難しい実験などについても一定の知見を得られる強力な道具であり、その適用範囲はきわめて広い。前者の代表例は気象予測などの未来の現象の予測や、銀河形成のシミュレーションなど、きわめて時間スケールの大きな現象であり、後者としては伝染病の流行や自動車の衝突事故などのシミュレーションがある。

コンピュータシミュレーションにはいくつかの限界が存在する。現実の対象をコンピュータによる計算で扱える形に置き換えることはコンピュータモデル化 computational modeling と呼ばれ、問題をわかりやすくしたり、計算を高速化したりするために行われるが、多くの場合、モデル化は理想化・単純化を伴う。シミュレーションはあくまで現実の近似であって、仮定を用いたことに伴う限界が存在する。また、コンピュータは有理数しか扱うことができず、計算過程も離散的であるから、連続的な事象もすべて離散的なものに近似され

ることになる、という機能的な限界も存在する。コンピュータシミュレーションは、このような限界を踏まえ、モデル化によってどの程度の誤差が生じるのかを評価した上で用いる必要がある。

### 再電離 Reionization

宇宙の晴れ上がりで一度中性化した原子が、恒星の誕生によって再び電離されること。

ビッグバン以降、宇宙は非常に高温で、原子は原子核と電子が別々に存在するプラズマ（電離状態）だったとされる。宇宙の温度が下がるにつれて電子は原子核に捉えられ、中性の原子となった。これが宇宙の晴れ上がりと呼ばれる状態に相当する。この後の暗黒時代を経て、輝く恒星が生まれ始める。恒星から放出される莫大な光エネルギーは中性原子に吸収され、再び原子核と電子に解離することになる。

### 質量 Mass

物質が持つ物理的な性質の一つ。厳密には、力を加えたときの物質の加速のされにくさを表す慣性質量 inertial mass（ヒッグス粒子が担っているとされる）と、重力を生み出す大きさを表す重力質量 gravitational mass という2種類の概念が存在するが、通常の物体についてこの2つは極めて高い精度で一致することが知られており、一般相対性理論では、これらが厳密に一致することが原理（「弱い等価原理（WEP）」）として採用されている。

### 修正ニュートン力学 MOND (Modified Newtonian Dynamics)

ダークマターを仮定せず、既存の物理法則を修正することで観測との不整合に対処しようとする立場があり、そのようにして修正を受けた物理法則の体系をこう呼ぶ。宇宙空間において、観測可能な天体の分布から予測される見かけの質量分布のもとでは、銀河の外縁部に位置する星は中心部に位置する星に比べてゆっくりと回転するはずであるが、実際にはその速度の減少が予測よりはるかに小さいことが観測されている。修正ニュートン力学は、ここでダークマターを導入するのではなく、「重力源からの距離が増すにつれて、重力は、現在の理論体系からの予測よりもゆっくり弱まっていく」と解釈することで問題の解決を図ろうとするものである。

### 重力, 万有引力 gravity

相互作用の一種。ニュートン力学的には、「質量を持つ物体どうしが及ぼしあう遠隔的な力」として理解される。一般相対性理論では、「質量やエネルギーの存在に対し、その周囲の空間が歪むことで物体や光の運動方向が曲げられる現象」とされており、重力の伝播に伴って重力波 gravitational wave が発生することが予想されているが、現在のところ、観測されていない。観測技術が確立すれば、天文学の有力な手法の一つになると期待されている。また素粒子の理論では、重力を媒介する素粒子として重力子 じゅうりょくし graviton が存在しているとされるが、これも未発見である。

### 重力レンズ Gravitational Lens

実際は一つの天体であるはずのものが、複数あるいは環状の光として観測される現象。観測者と光源の間に、大きな重力源が存在し、重力の影響で光の進路が歪められていると解釈できることから、その重力源を光学的なレンズに見立てて、重力レンズと称している。通常、歪められた“見える”像そのものは銀河であるが、明るさから見積もられる銀河の見かけの質量の他に“見えない”重力源を仮定しなければ観測結果を説明できず、このことがダークマターの存在を支持する現象となっている。

### 準星, クェーサー Quasar

「星に準ずるもの」という意味で名付けられた天体。通常の恒星に比べ、極めて遠方にあるために暗く見える。実際には非常に大きなエネルギーを放出しており、同程度の距離にある銀河に匹敵する明るさをもつ。

### 新星 Nova, 超新星 Supernova

短期間、非常に明るく輝く天体の一種。記録によれば、日中でも見えるほど明るいものもあったという。かつては新しく生まれた星の輝きであると考えられたためにこの名が付けられたが、現在では星が一生を終える際に放つ光であると考えられている。太陽の 8 倍以上の質量を持つ恒星は、その終末期に急激に収縮しながら超新星爆発を起こすと考えられている。

### すばる望遠鏡 Subaru Telescope

日本の国立天文台がハワイ島北部・マウナケア山頂付近に建設した大型の光学赤外線望遠鏡。一枚鏡としては世界最大の直径 8.2 m の主鏡をもち、その厚さは 20 cm、重量は 22.8 t。主鏡の自重による歪みを補正するため、261 本のアクチュエータが裏面から能動的に支持している。また、きわめて高性能の補償光学装置とレーザーで人工的なガイド天体を作る方法を組み合わせることで、理論限界に近い、高い空間解像度を誇る。

広い視野が特徴で、特に主焦点では月の視直径に匹敵する  $30'$  ( $=0.5^\circ$ ) 角の領域を一度に観測できるため、多数の天体を一度に観測し、その中から目的の天体を探し出すような場合に威力を発揮する。観測史上最遠の銀河の発見など、様々な観測成果を上げている。

### スピン Spin

粒子の性質を定める「量子数」の一つ。角運動量の次元をもち、粒子の磁気的な性質と関係が深い、未だ本質的な理解は得られていない。

### スローンデジタルスカイサーベイ SDSS (Sloan Digital Sky Survey)

可視光の範囲で天球のきわめて広い領域を網羅的に観測して天体のカタログを作成する大プロジェクトで、400 万画素の CCD を 30 個搭載した、非常に広視野角 ( $3^\circ$ ) の望遠鏡 (アメリカ合衆国ニューメキシコ州ア

パッチポイント天文台に設置) などにより、広い領域にわたって系統的・網羅的な探査を行う。名称は、プロジェクトに最大の資金提供を行ったスローン財団 Alfred P. Sloan Foundation に因む。

第 1 期 (SDSS-I) が 1998 年から 2005 年まで、第 2 期 (SDSS-II) が 2005 年から 2008 年までに実施されており、2008 年からは 6 年間の予定で SDSS-III が行われる。SDSS-I 及び SDSS-II では、

1. 全天の  $\frac{1}{4}$  に当たる領域の 1 億個以上の天体の位置と明るさを決定すること
2. 比較的近くにある 100 万個の銀河と地球との距離を測定し、3 次元的な分布を決定すること
3. 遠距離にある 10 万個のクエーサー quasar について、それぞれの地球との距離を決定すること

などを目標とした。SDSS-II の最終観測データは 2008 年 10 月に公開される予定である。

### 赤方偏移 Redshift

ある光源から発せられる電磁波の波長が、その光源の (観測者に対する) 後退運動や重力の作用によって、長波長 (赤色) 側に変化すること。これを観測することで、光源の後退速度を見積もることができる。

### 相対性理論 Theory of Relativity, <sup>[独]</sup> Relativitätstheorie

ドイツ (のちアメリカ) の物理学者アインシュタイン Albert Einstein によって構築された「特殊相対性理論」(1905 年) と「一般相対性理論」(1916 年) の 2 つをあわせてこう呼ぶ (単に「相対論」ともいう)。「相対性」とは、「絶対的な座標や時間は存在せず、どのような座標や時間も相対的である」こと、つまり「物理法則は、誰がどのような状態で観測しても変わらない」ことを意味する。

特殊相対性理論は、電磁気学の理論から導き出され、実験的にも検証されていた「どんな観測者にとっても光速は一定である」という事実と、ニュートン力学の体系との間の矛盾を解消するために提案された。加速運動をしていない場合にのみ適用できるため、“特殊”という言葉で冠している。ニュートン力学では、ある人物に対して秒速 15 万 km の等速で運動している懐中電灯から発された光の速度は、その人物から観測すると秒速 45 万 km に見えるはずである。

しかし現実にはそのようなことはなく、その人物からも光速は秒速 30 万 km に観測される。一般相対性理論は、特殊相対性理論では取り扱うことのできない“加速度のある場合”にも理論を拡張するために考案された。そして、等価原理を仮定した思考実験から、「重力場中では、静止状態も運動している状態と相似、すなわち重力源は空間を歪めている」という結論が導かれた。

アインシュタインが当初導いた一般相対性理論によれば、宇宙は膨張せず、いずれ重力によって一点に向かって収縮していくことが予言された。しかし、アインシュタイン自身は宇宙が定常的であると信じていたため、この収縮を打ち消す目的で、式に宇宙定数  $\Lambda$  を含む項 (宇宙項) を導入した。宇宙項の発表後、ハッブルの観測結果から宇宙の膨張が明らかになると、アインシュタインは「生涯最大の過ち」として宇宙項の導入を撤回したが、後にダークエネルギーの名で、 $\Lambda$  に相当するものが現実に存在すると考えられるようになった。

### 素粒子 Elementary Particle

現在のところ、それ以上の内部構造が見いだされていない粒子の総称。陽子 proton や中性子 neutron はクォーク quark から出来ているとされるが、素粒子に含めることがある。他の粒子によって構成された粒子

を複合粒子と呼ぶ。

### 大統一理論 <sup>ガット</sup>GUT (Grand Unified Theory)

**標準理論**では、3つの力（電磁力・強い力・弱い力）が（文字通りの意味で）単一の理論で記述されているわけではない。3つの力全てを統一的に記述できる単一の理論のことを大統一理論と呼ぶ。名称には、「電磁力と弱い力を統一的に記述できる『電弱統一理論 electroweak unification theory』よりも大きい統一理論」という含意がある。

候補となる理論は存在するものの、理論から予測される現象が観測事実と一致しないといった難点があり、「これぞ大統一理論」と呼べるものはまだない。

### 超対称性 <sup>スージー</sup>SUSY (Supersymmetry)

超対称性とは、**スピン**が½だけ異なる粒子同士に考えられる対応関係を意味する。自然界には**フェルミオン**と**ボソン**という2種の異質な粒子が存在することが知られているが、どの**素粒子**にも、それに対応した（ボソンならフェルミオンの、フェルミオンならボソンの）超対称性粒子が（物質に対する反物質のように）存在するとする理論を超対称性理論という。

また、超対称性粒子は、既知の粒子の“相手”であることから、超対称性パートナー superpartner ともいう。クォーク quark に対するスクォーク squark, **光子** photon に対するフォティーノ photino のように、フェルミオンの超対称性粒子は、既知の粒子名の先頭に s- を、ボソンの超対称性粒子は、既知の粒子名の最後に -ino を付して呼ぶことが多い。

超対称性理論は**標準理論**の“不自然な仮定”を取り除くために提唱されたが、超対称性粒子自体は未だ観測されておらず、今後、**LHC** での発見が期待されている。

### 冷たい暗黒物質モデル CDM (Cold Dark Matter) Model

**ダークマター**の性質に関するモデルの一つ。ダークマターの正体は、**質量**をエネルギーの主体とする何らかの **WIMP** であるとする。一方、粒子の持つエネルギーのうち運動エネルギー kinetic energy が主体であるものを、**熱いダークマター hot dark matter** と呼ぶ。熱いダークマターでは、「ダークマターが**銀河団**以下のスケールの領域に集まらない」ということが**シミュレーション**で示されており、CDM モデルが本命視されているが、CDM の条件を満たす粒子はまだ知られていない。

### 定常宇宙論 Steady-State Theory

宇宙は始まりも終わりもなく常に一定の状態である、とする理論。**ハッブルの観測結果**が示唆する**宇宙の膨張**に対し、「膨張した空間に少しずつ新たな物質が生まれて、隙間を埋めている」と解釈する。

### 等価原理 Equivalence Principle

**重力**が及ぼす加速度と座標系の加速度運動によって起きる加速度とは区別できない、という原理。**一般相対**

性理論を構築する際、アインシュタインが導入した。つまり、観測者にとってこの 2 つは等価であり、それぞれにもとづいて観測される物理法則も同一であることが要請される。また、これよりやや条件の弱い「2 つある質量概念は等価である」とする原理を「弱い等価原理」と呼ぶ。

### ニュートラリーノ Neutralino

まだ確認されてはいないが、理論的にその存在が予測されている素粒子の一つで、現在、アキシオン axion などとともにダークマターの候補となっている。超対称性理論の中で、電氣的に中性で、最も質量の小さい粒子として位置づけられ、これよりも重い粒子もいずれ崩壊し、最終的にはニュートラリーノとして見いだされると考えられている。

### ニュートリノ Neutrino

素粒子の一つ。「カミオカンデ」によって初めて質量をもつことが確認された。かつてはニュートリノがダークマターの候補といわれたこともあったが、性質（質量が比較的小さいことなど）を考慮すると、宇宙の質量分布・大規模構造を説明する際に不都合が生じることから、今では否定的に見られている。

### パーセク Parsec, pc

天文学でよく使われる距離の単位で、「年周視差が  $1''$  (parallax second)」の略。地球の公転軌道の直径を底辺として、頂角が  $2''$  になるような二等辺三角形の等しい 2 辺の長さ。およそ  $3.0 \times 10^{16}$  m で、3 光年（光が進むのに 3 年かかる距離）にほぼ等しい。

### ハッブル宇宙望遠鏡 HST (Hubble Space Telescope)

NASA が 1990 年代に打ち上げた光学赤外線望遠鏡。地球の大気圏外にあるため、地上の大気の状態や（天候など）にまったく左右されずに観測できる。主鏡の直径は 2.5 m。打ち上げ直後から数々のトラブルに見舞われたが、スペースシャトルからのサービスミッションにより改修・延命が行われてきた。2009 年 5 月頃に最後の改修が行われる見通しである。また、その後継としてジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 JWST (James Webb Space Telescope) の打ち上げが計画されている。

### ハッブルの法則 Hubble's Law

「天体が地球から遠ざかる速度は地球から天体までの距離に比例する」という経験則。アメリカの天文学者ハッブル Edwin Powell Hubble が 1920 年代に発見したため、この名がついている。また、その比例定数  $H$  をハッブル定数と呼ぶ。この観測結果により、宇宙空間が膨張していることが示唆された。

### バリオン音響振動 BAO (Baryon Acoustic Oscillation)

ビッグバンから宇宙の晴れ上がりまでの、宇宙が超高温高圧の状態（プラズマ）であった時代に、陽子

proton や中性子 neutron などのバリオン baryon (ダークマターではない、私たちのよく知る物質を構成する素粒子群) は、光と相互作用することで密度に周期的な変動が生じていたとされ、これをバリオン (音響) 振動という。後に、重力によって宇宙全体の物質密度が“振動”するようになり、現在の密度分布にもその痕跡が残っているとされる。

宇宙の物質やエネルギーの分布のきわめて微小な揺らぎは、もともとインフレーション時から存在していたが、重力によってさらに増幅したとされる。その過程では、通常の物質は熱運動によって拡散する一方で、ダークマターは重力以外の相互作用をほとんど行わず、一度集まり始めると、広がることはあまりない。通常の物質は、互いに働く引力に抗して広がろうとするものの、ダークマターに働く重力によって振動を起こす。バリオン振動そのものは宇宙の温度が下がるとおさまるが、物質やエネルギーの分布を変えるなど、現在の宇宙の大規模構造に影響を残している。

物質・ダークマターの密度が高いところでは銀河が形成され、観測が可能であるため、密度揺らぎのパターンが決定できる。この揺らぎは宇宙の晴れ上がりのときから成長する一方で、パターンを乱すものがないため、複数の時刻 (距離) について、宇宙の膨張によって生じた“ズレ”を観測できれば、そこから宇宙の膨張速度の変化や、任意の時間における宇宙のスケールが推定できる。また、これにより、宇宙膨張の要因たるダークエネルギーについての情報が得られると考えられている。

## ハロー Halo

銀河全体を包み込むように希薄なガスや球状星団などの物質が分布している球状の領域のことをいう。銀河本体に対して数倍程度の大きさの領域である。

この領域を更に包み込むようにダークマターが分布していると考えられており、その部分のことをダークマターハロー dark matter halo と呼ぶ。ダークマターまで考慮に入れると、銀河の質量の大部分はハローに存在するとされる。

## 光 Light

エネルギーが電磁的に空間を伝わる時に起こる現象、つまり電磁波の総称であるが、単に光といった場合には、人間の視覚で感知できる電磁波、すなわち可視光線を指すことが多い。光の速度は常に一定の値、秒速約 30 万 km であることが知られており、相対性理論ではこれを原理として採用している。その粒子的な性質を強調する場合、その粒子を光子 photon と呼び、標準理論では電磁力を媒介している粒子であるとされる。

## ヒッグス粒子 Higgs Boson

標準理論の枠組みの中で、「物質になぜ質量があるのか」を説明するために導入された粒子で、ボソンに分類される。名称は、提唱者であるイギリスの物理学者ヒッグス Peter Higgs に由来する。質量を持つ全ての粒子は、ヒッグス粒子と相互作用して、運動に対する抵抗のようなものを受け、それを私たちは慣性質量として観測する、という。ヒッグス粒子は、標準理論に登場する粒子のうち唯一未確認のままであり、LHC での観測が期待されている。

## ビッグバン Big Bang

宇宙がインフレーションの後に経験したとされる、きわめて狭い高温高圧の領域から起こった爆発的な膨張のこと。ハッブルの発見した赤方偏移から、「宇宙は膨張しており、過去の宇宙は現在よりも小さな領域であった」と推測される。これをどこまでも遡れば、「宇宙には何らかの始まりがあり、その時点では宇宙にある全てのものがごく狭い領域の内に存在していた」と結論することができる。

ビッグバンという名称は、定常宇宙論者ホイル Sir Fred Hoyle が揶揄して呼んだものが定着したとされる。1950～60年代には定常宇宙論とビッグバン宇宙論は拮抗していたが、1965年に、定常宇宙論では説明できない宇宙マイクロ波背景放射が観測されたことで「ビッグバン宇宙論が正しい」と広く考えられるようになった。

## 標準理論, 標準模型 Standard Theory, Standard Model

現在のところ最も広く認められている素粒子物理学の理論で、この世に存在する4つの力のうち、重力を除いた3つの力について記述する。「標準理論」と単一の理論のように呼ばれるが、実際には複数の理論の集合体である。

これまでのところ、この理論は観測事実と非常によく一致している。ただし、

- ・ニュートリノの質量をゼロと仮定している
- ・慣性質量を生むヒッグス粒子が観測されていない

などの難点が存在する。

## フェルミオン Fermion

スピンが半整数 ( $\frac{1}{2}, 1+\frac{1}{2}, 2+\frac{1}{2}, \dots$ ) である粒子。同じ状態を一つの粒子しか占めることができない。物質を形作っている素粒子 (電子 electron やクォーク quark など) がこれに属する。名称はイタリア (のちアメリカ) の物理学者フェルミ Enrico Fermi に由来する。

## 補償光学 Adaptive Optics

大気を通して観測を行う際、観測の精度を下げる要素である「大気の揺らぎ」をリアルタイムに補正して観測を行うための技術の総称で、

- ・像の揺らぎを捕らえるセンサー
- ・鏡面の形を変形できる可変形鏡
- ・センサーの測定結果から鏡面の変形の具合を計算するコンピュータ

からなる装置を用いる。像の揺らぎを計測するためには視野の中に基準となる明るい星がなければならない、という欠点があるが、これを克服するために、任意の場所に基準の光点を作る「レーザーガイド星生成技術」が開発された。

**ボソン Boson** 📖 📝

**スピン**が整数 (0, 1, 2, ...) である粒子。複数の粒子が同時に同じ状態をとることができる。力を媒介する粒子 (**光子** photon や **グルーオン** gluon など) がこれに属する。名称はインドの物理学者ボース Satyendra Nath Bose に由来する。

**粒子加速器 Particle Accerlator** 📖 📝

その名の通り、粒子を加速するための装置。基本的には、電気を帯びた粒子に高電圧をかけて加速を行う。形状から、線形加速器、円形加速器などに分類される。

直線的な構造によって大きな加速を得るためには、加速器を長大にしなくてはならない、という欠点があり、それを克服するために、筒の両端を繋いで全体で輪をつくり、磁石を用いて粒子の軌道を曲げつつ加速する円形加速器が考案された。

円形加速器には加速した粒子の進路を曲げる際に粒子のエネルギーの一部が電磁波の形で放出されてしまうという欠点があるが、この電磁波は極めて指向性が高いなどの特徴があり、物性の分析手段などとして利用されている。円形加速器はさらに次のように分類される。**LHC** はシンクロトロンである。

名称		特徴
サイクロトロン	cyclotron	磁場の大きさも電圧をかける周波数も変えない
シンクロサイクロトロン	synchrocyclotron	粒子の速度が上がるにつれて周波数を下げる
シンクロトロン	synchrotron	周波数を下げ、磁場を強くする
ベータトロン	betatron	磁場の変化のみで加速を行う

**COBE (Cosmic Background Explorer)** 📖 📝

NASA が 1989 年に打ち上げた、**CMB** を観測するための人工衛星。主要な成果は、

1. CMB が、**ビッグバン理論**から予測されるものときわめてよく一致すること
2. CMB の揺らぎが平均温度 (2.726K) に対して  $\frac{1}{10万}$  程度であること

を示したことであり、観測において中心的な役割を果たしたマザー John Cromwell Mather とスムート George Fitzgerald Smoot III は 2006 年にノーベル物理学賞を受賞している。

COBE は打ち上げ後 4 年で全ての観測を終了し、**WMAP** にその役目を引き継いだ。

**MACHO (Massive (Astrophysical) Compact Halo Object)** 📖 📝

一定の大きさ・**質量**をもつが、**光**を放出しないために観測が困難な天体 (**褐色矮星**や**ブラックホール**など)。**ダークマター**の候補の一つであった。英単語の“男らしい (*macho*)”と引っ掛けてある (**WIMPs** とセットの駄洒落)。

ウィンプス  
**WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles)**  

文字通り、4 種に分類される力のうち「弱い力」のみが働く、比較的“重い”粒子の総称。電磁気力を介した相互作用をしないため、電磁波を用いた手段で検出することはできない、とされる。超対称性理論に予言されるニュートラリーノがその例である。英単語の“弱虫 (*wimp*)”と引っ掛けてある。

ダブリューマップ  
**WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe)** 

CMB のエネルギーを全天的に観測するために NASA が打ち上げた探査機で、COBE の後継機にあたる。CMB の研究において先駆的な存在であった天文学者ウィルキンソン David Todd Wilkinson の名を冠している。

いち  
**Ia 型超新星 Type Ia Supernova**  

超新星のうち、極めて安定した絶対光度（同じ距離から観察したときの明るさ）をもつことが経験的に知られている種類のもの。全ての Ia 型超新星が同一のメカニズムで光っていると推測されている。非常に高い絶対光度を長期に渡って保つため、その見かけの明るさは、そのまま Ia 型超新星までの距離の指標として使われている。

**4 つの力 4 Fundamental Interactions**  

自然界に存在することが知られている 4 種類の相互作用 interaction (力 force) をまとめてこう呼ぶ。すなわち、重力 gravity・電磁力 electromagnetism・強い相互作用 (強い核力) strong interaction・弱い力 (弱い核力) weak interaction のことである。「強い力」「弱い力」の名称は、いずれも電磁力と比較した場合の相互作用の大小を表している。

標準理論によれば、この 4 つの力は、それぞれ重力子 graviton (未発見)、光子 photon, グルーオン (糊粒子) gluon, ウィークボソン weak boson が媒介している。もっとも、強い力や弱い力が届く距離が非常に小さく、原子核程度のスケールでしか働かないため、私たちが日常的に感じている様々な“力”はそのほとんどが重力・電磁力といえる。陽子・中性子間に働く力は「強い力」の、 $\beta$  崩壊は「弱い力」の、それぞれ代表例である。