

## 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（順不同）

2008/09/21, 20:30 更新④

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。

### ダークマター, 暗黒物質 Dark Matter

私たちがふだん感じることのできる“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リノなど、複数の“候補”が挙がっている。

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。

### ダークエネルギー, 暗黒エネルギー Dark Energy

宇宙の膨張をうまく説明するために考案された存在。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。

### 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が観測される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。

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「ビッグバンが起り、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いる。

### COBE (Cosmic Background Explorer) Y K

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の揺らぎを直接測定し、それが平均温度(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。

### WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) Y K

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。

(注) anisotropy:「異方性」

### WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles) Y K

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。英単語の“弱虫(wimp)”と引っ掛けてある。

### MACHO (Massive (Astrophysical) Compact Halo Object) Y K

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)。

### 暗黒時代 Dark Age Y K

宇宙の晴れ上がりの冷えた宇宙には、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、すなわち宇宙最初期の星々(「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。

### 神岡宇宙素粒子研究施設 Kamioka Observatory Y

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<sup>エクスマス</sup>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。

### ニュートラリーノ Neutralino Y

まだ確認されていないが、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、電気的に中性で、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ことが考えられている。

### ニュートリノ Neutrino Y

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。

### 重力レンズ Gravitational Lens Y K

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。通常レンズに“見える”のは銀河であるが、銀河の見かけの質量と、重力レンズ効果から計算される質量に大きな差があるため、**ダークマター**の存在を支持する現象となっている。

### 標準理論 Standard Theory K

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**（重力・電磁力・強い力・弱い力）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、

- ・ 現実には質量が観測されている**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。

### 大統一理論 GUT (Grand Unified Theory) K

**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。

### フェルミオン Fermion K Y

**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。

### ボソン Boson K Y

**スピン**が整数 ( $0, 1, 2, \dots$ ) 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。

## 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 mass 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、提唱者の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、それが私たちは慣性質量 inertial mass 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。

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

超対称性とは、スピンが  $\frac{1}{2}$  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、フォトン（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。

## 欧州原子核研究機構 Laboratoire Europeen pour la Physique des Particules, 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、現在世界最大の加速器。2008 年 9 月 10 日に稼動を開始した。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 synchrotron で、2 つの陽子にそれぞれ  $7 \text{ TeV}$  ( $7 \times 10^{-12}$  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。

## 宇宙の晴れ上がり Transparent to Radiation

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、光と物質は盛んに相互作用して、光は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（宇宙空間を）直進できるようになった時を指してこのように呼ぶ。

#### 4 つの力 4 Fundamental Interactions

自然界に存在することが知られている力 force をまとめてこう呼ぶ。すなわち、重力・電磁力・強い力（強い核力）・弱い力（弱い核力）の 4 種の力のこと。「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と電磁力といえる。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。

#### 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。

#### ハロー Halo

銀河全体を包み込むように物質が分布している球状の領域のこと。分布している物質は、希薄なガスや球状星団など。銀河本体の半径に対して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、（ダークマターは内側の領域にも存在する）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。

#### 褐色矮星 BD (Brown Dwarf)

通常の水素  $^1\text{H}$  しか含まないために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。

#### 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°) 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。

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

“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。

もともとは、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、宇宙が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を、ビッグバン理論だけでは説明できないために導入された理論である。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、現実には宇宙は一様であるように見える。

### 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、様々な観測成果をあげている。

### 補償光学 Adaptive Optics

大気を通して観測を行う際に観測の精度を下げる、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。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、そしてセンサーからのデータから鏡面をどれだけ変形させるかを計算するコンピュータからなる装置を用いる。ただし、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。この欠点を克服するために、任意の場所に基準の光点を作る「レーザーガイド星形成技術」が開発された。

### 定常宇宙論 Steady-State Theory

宇宙は始まりもなく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 Edwin Powell Hubble 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。

### ビッグバン Big Bang

宇宙がその最初期に経験した、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 redshift 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。

### 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。ただし、CDM の条件を満たす粒子はまだ知られていない。

### 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、自然現象を模倣すること。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。仮定を導入したシミュレーションはあくまで現実の近似であって、仮定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。