

## 第 6 回講演会報告

西村昌能（京都府立洛東高等学校）

2010年6月6日（日）13:30、もうすぐ梅雨に入ろうとするような暖かさのなか、新しく作られた京都大学理学研究科セミナーハウスで総会に先立ち、第6回講演会が開催されました。

まず、副理事長の柴田天文台長からプログラムについて、その中でも特にということで全国同時七夕講演会について紹介されました。続いて、黒河理事長からスライドを利用してNPO法人の活動紹介がなされました。私たちのNPO法人は花山天文台、飛騨天文台の施設を活用して、理科教育や市民のみなさんに星空を楽しんでいただくことを目的にしている会であるということ強調されました。

最初の講演は柴田先生の司会で京都大学大学院理学研究科宇宙物理学教室教授、太田耕司先生にお願いしました。

### 「銀河の誕生と宇宙の一番星」

太田耕司先生



柴田先生には過分な紹介をしていただきました。私は、若いほうですがそれでも今朝の地域の清掃活動で腕が痛くなり、ポインターをちゃんと向けられるか心配です。

さて、宇宙にはいろいろな銀河がありますが、渦巻き銀河のような渦を巻いたものもあります。この写真の銀河の赤いところには、電離したガスの星雲があり新しい星が生まれていることを示しています。星がどんどん生まれているわけですね。このように、銀河もいわば生きて進化しているのです。恒星や銀河のこのような変化を進化と呼んでいます。夜空に見える天の川は、我々の住む銀河を内部から横向きにみている姿で、横向きの渦巻き銀河と同じように見えます。これは、オーストラリアで撮影した天の川の写真ですが、天の川の膨らんだ部分がいて座にあり、これは我々の住む銀河の中



心方向です。我々の住む銀河を上から見た想像図では渦巻きをしています。ところが、中心部分には渦がありませんね。そのかわり中心には棒があります。よその銀河でも棒を持つものがあります。これを棒渦巻き銀河といいます。棒のような構造がどうやってできたのか、その原因ははっきりわかっていません。のっぺらぼうみたいな楕円銀河もあります。この銀河では星が今はあまり生まれていないようです。このように宇宙には、色々な銀河あるのです。

銀河の大きさは直径 10 万光年、星の数は 1000 億個だと言われています。10 万光年と言われても想像しにくいので、まずは太陽系の姿から見て行きましょう。

まず、太陽を 30cm くらいのすいか玉としましょう。すると水星は太陽から 12m のところにある大きさ 1mm の球になります。地球は 30m ほど離れたところにある 3mm ほどのエンドウ豆みたいなもの。最大の惑星である木星でも、距離 168m で 3cm くらいのピンポン玉、海王星は 1km 位先の 1cm の球という事になります。このスケールで一番太陽に近い恒星は地球の反対側の 9000km の距離になります。恒星どうしははかり、すかすかな状態なのわかります。

まだ、銀河の大きさに達しないので、今度は太陽を 0.1mm にしてみましよう。すると銀河の大きさは地球半径の 10 倍位になります。これも想像しにくいので、太陽系を 500 円玉サイズにしてみると、銀河の大きさは北海道から鹿児島位になります。

今後、いちいち日本列島を思い浮かべるのも大変なので、もっと小さいスケールにして、銀河をピザ (30cm) サイズに縮めてみます。すると隣の銀河は 6-7m 先のピザになります。つまり、この部屋の中にピザが何枚もあることになります。意外と混み合っていますね。だから銀河どうしはときどきぶつかることがあります。

実際、M31 (アンドロメダ銀河) は我々の住む銀河に近づいています。数十億年先にはぶつかるという話もあります。しかし、心配はご無用です。星と星の間隔はすかすかですので、星同士がぶつかる可能性は極めて小さく、もっとほかのことを心配した方がよいです。太陽系内天体の衝突の可能性の方がずっと高いです。

この写真のように銀河がたくさんむれて集まっているものを銀河団といいます。この画像は銀河がぶつかっているところです。この画像では、青いところで星が生まれています。水素ガスが衝突によって圧縮されて星になっているのです。銀河はこのようにして成長するようです。

さて、現在見つかっている一番遠い銀河は、100 km の先にあるピザです。宇宙の中にあるピザの数はあまりよくわかっていませんが、1000 億はある

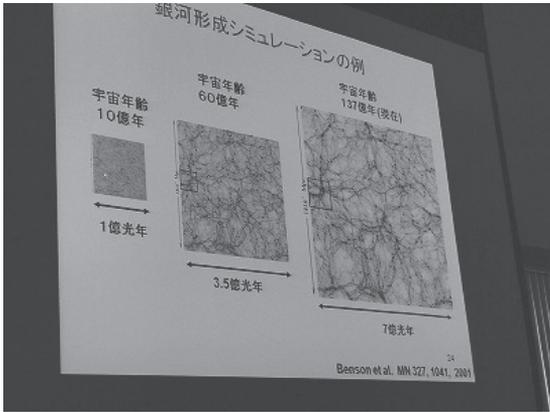
と考えられます。

### 銀河の誕生と成長のシナリオ

宇宙初期は、ガスのみでした。ガス分布はほとんど一様だったのですがわずかに密度揺らぎがありました。密度の高いところは重力的に引き合ってますます密度が上がります。そこで星が形成されていくわけです。(実際にはダークマターの密度ゆらぎがまず成長します。)

### 銀河の形成シミュレーション

ここに示すのは、計算機の中で、このような密度揺らぎの成長と銀河の



成長を計算したものです。宇宙年齢 10 億年の時はまだむらむらはあまりはっきりしません、既に銀河が誕生しているという結果になっています。これらがだんだん成長して、137 億年たつと銀河がいっぱいになるのがわかります。一部には銀河団もできています。

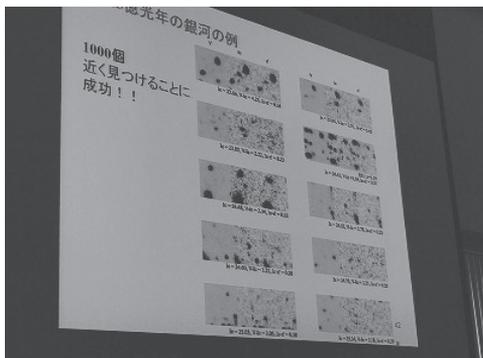
この計算では、宇宙の非常に広い範囲を計算しているので、個々の銀河の姿は

よくわかりません。もっとスケールの小さなシミュレーションの例をみてみましょう。宇宙誕生後 10 億年頃の姿を見ると、いくつかの銀河が衝突して育っていることが見てとれます。そしてこの場合はやがて楕円銀河に成長していくのがわかります。

私の研究はこういった生まれたての銀河を実際に探すことです。遠くの銀河を見ることは昔の宇宙を見ることです。遠くの銀河を見れば銀河の誕生と進化がわかります。しかし、そう簡単なことではありません。この空の非常に狭い範囲に 2000 個から 3000 個の銀河があります。これらの銀河までの距離を調べるにはスペクトルをとって赤方偏移を調べることです。しかし、銀河はたいへん暗いのでスペクトルをとっていると日が暮れる(おや、観測では夜があける)のです。とても時間がかかるので実際には別の方法を使って大昔のつまり遠方の銀河を探しています。

私は、すばる望遠鏡を使って、このような誕生間もない銀河を探して調べています。すばる望遠鏡のあるのはハワイ島です。しかし、これはハワ

イ諸島のオアフ島ではありません。みなさんはハワイという、いいなといわれますが、観測地はハワイ島です。そのハワイ島の中心地はヒロで、そこはハワイ第 2 の都市ですが、ホノルルの人口が 100 万人を越えるのを考えると大変さびしい町です。更に、すばる望遠鏡のサイトがあるマウナケア山は標高が 4200m で空気が薄く高山病で頭が痛くなります。マウナケアは天体観測条件としては大変いいのですが、観測者にとってはなかなか厳しい環境です。



昔は人間が望遠鏡に取り付いて寒い思いをして観測していましたが、現在の観測は、別室でぬくぬくとしかし薄い空気と戦いながら計算機の前で行うのです。人間が熱源となって観測のじゃまになるからです。

そのような観測の結果、こんなシミみたいな銀河がたくさん見つかりました。宇宙が始まって 10 億年の頃の宇宙にある銀河です。つまり 125 億光年彼方の銀河というわけです。

このシミみたいな銀河をハッブル望遠鏡で見るとしっぽが見えます。これは衝突しているところだろうと思われま

す。スピッツァー望遠鏡という宇宙望遠鏡を用いた観測から、この銀河達は、星の数では 60 億個位、つまり、我々の銀河の 1000 億に比べると 20 分の 1 位ということがわかりました。また、大きさは現在の銀河の 5 分の 1 とかその位。そして、すごい勢いで星を作っていることがわかってきました。人間でいうと、ちょうど赤ちゃんの体重、サイズで、急劇に成長している点も同じですね。こうやって生まれたての銀河はたくさん見つかったのですが、この若い銀河が今後どのような銀河に成長するのかは、まだまだあまりよくわかっていません。

### 今後の課題

10 億年前の時代の銀河の性質を明らかになりました。しかしその前はどのようなのでしょうか。それを調べるために世界中で望遠鏡の建設が始まっています。ALMA、30m 望遠鏡、スペース 6.5m、スペース 3.5m 遠赤外線望遠鏡などがそうです。このような装置によって今後、謎がとかれていくと期待されます。

## 宇宙の一番星を探せ

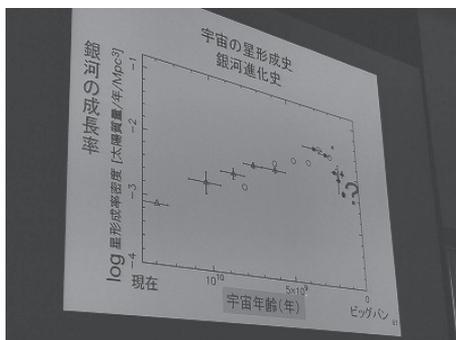
宇宙の本当の最初の星（一番星）は理論的には赤方偏移 60、宇宙誕生後 4000 万年のものだといわれています。そこまでいなくても、普通の初代の星は宇宙誕生後 2 億年位という話もあります。普通の初代の星という言い方は変ですが、生きていうちに、こういったもつとはるかに遠くの星を見つけることが可能かもしれません。それはガンマ線バースト(GRBs)です。GRBs は一種の超新星爆発です。超新星爆発の際に超高速ジェットを出すものがあり、そのジェットを正面から見ると大変明るいのです。ガンマ線だけでなく、X 線や可視光でも残光が見え、これもとても明るいのです。75 億光年の彼方の GRB の残光が肉眼で見ることができるようまでに明るくなったという例もあります。75 億光年の銀河から出た光が目で見えるということで、びっくりします。もうひとつの例として、128 億光年彼方の GRB 残光を、わずか 25cm の望遠鏡で撮像できたというのがあります。すばる望遠鏡による 125 億光年の銀河の話と比べてみてください。わずか 25cm の望遠鏡です。ただし、爆発して 3-10 分後位までに素早く見ないといけません。GRB 残光はどんどん暗くなっていきますので。

GRBs は、宇宙誕生後わずか 300 万年の宇宙にも出現したとしても、観測可能だと考えられています。ただ、銀河までの距離を出すためには、現在のところ可視や近赤外線の観測が必要なので、実際には赤方偏移 20 つまり宇宙誕生後 2 億年頃より最近の宇宙に発生しないと観測は困難です。現時点での最遠方天体である GRB は 131 億光年ですが、岡山天体物理観測所でも観測できました。

私は、今、岡山天体物理観測所で、50cm 望遠鏡による可視 3 色同時撮影装置と 91 cm 望遠鏡による超広視野赤外線撮像装置を作って、このような非常に遠方の GRB を探査するというプロジェクトにかかわっています。これによってすごく遠方の GRB が見つければ、すばる望遠鏡と連携して、より

詳細な情報を引き出せるような分光観測も実施しようとしています。さらに 3.8m 岡山新技術望遠鏡計画も推進しており、完成の暁には、日本で GRB を検出し、即時分光観測も可能になると期待しています。

最後の図です。横軸は時間、縦軸は銀河の成長率です。最初は成長率が上がっていきます。やがてピークを迎え、その後、だんだん



## ☆・第6回講演会報告・☆

下がってくるということがわかってきました。人の成長と似ています。

星の形成進化と銀河の形成進化は惑星と生命の誕生と密接に関連しています。というのは、銀河成長率と重元素の生成率は関連しているからです。生物の進化の話はこの後に講演がありますが、ひょっとすると、より進化の進んだ銀河（楯円銀河）には高等生物がいるのかもしれませんがね。



講演後、質問をされる次の講演者の大野先生

休憩後、作花理事の司会で次の講演が始まりました。

### 「地球以外にも知的生命は存在するか？—地球生命史からの考察—」

京都大学総合博物館館長 大野照文先生



ご紹介していただきました大野です。生命の誕生は宇宙の歴史とは切り離せないと最近の研究でわかってきています。さらに生命は宇宙で何度か誕生しているかもしれません。しかし、知的生命の進化する可能性は極めて小さいと私は思います。そのことを本日はお話ししようと思っています。

生命は 38 年億年前に発生しましたが、宇宙の進化と密接な関係がありました。また生命の進化も果たして現在のよな姿に進化する必然はあったのでしょうか？

### 広辞苑を調べると

知性とは「広義には知的な働きの総称。狭義には、感覚により得られた素材を整理・統一して認識に至る精神機能」とあります。

チンパンジーなら少しはありますが、未来のことは考えられるのでしょ

か。また、138 億年前に何が起こったのか考えられるのでしょうか。人類はそんなどうでもよいことを調べるために大学という組織を作り巨大な望遠鏡まで作って宇宙の果てまで調べているのです。

これが人類と他の生命と違うこところでしょう。では、知性への道のりを調べてみましょう。

### 知的生命の道のり

先ず生命を誕生させてあげなければいけません、これは未だわかっていません。地球では、生命の誕生に月の影響が大きかったと考えられています。地球の生命の歴史で一級の出来事は酸素の発生が重要です。光合成ですね。これは高いエネルギーを生み出せるからです。眼を手に入れた生命も重要です。生命に必要な条件は、適当な元素（複雑な分子の骨組みとなる強い結合を持った元素、触媒作用を助ける元素）と適当な溶媒としての液体の水が重要です。宇宙にある生命は全て水が必要でしょう。水は蒸気でもなく、氷でもない水です。それと位置です。太陽からの距離が重要で温度調節が今までゆっくり進化する時間が保証できる温度の変化のなさや場所が大事なのです。

地球に生命が誕生して 38 億年たちますが、その間、条件が一定でないで困るのです。たとえば、太陽（恒星）の明るさの変化や、隕石の衝突、大気の宇宙への散逸、自転軸の変化、近くで起こる超新星爆発などは生命にとって大きな出来事です。

### 生命が必要とする元素

さて、生命という者は抽象的なものではありません。実体のあるものです。つまり、元素なしに生命はできないのです。すべての生物に必要な元素は、H,C,N,O,K,Na,Ca,S,Mg,Cl,P です。酵素として利用するために V,Cr,Mn,Fe,Co,Ni,Cu,Zn,Mo,W,B,Si,F,I,As,Br,Sn を必要とする生物が存在します。フレッド・ホイールは、恒星の進化と元素合成の歴史を明らかにしました。ただし、彼はビッグ・バンには反対の立場でした。

### 元素の形成と宇宙の歴史

このような元素の形成は次のようなシナリオが書かれています。宇宙誕生から 3 分でプラズマから核と電子が誕生しました。138,000 年後、最初の原子（H と He）が生まれました。水素とヘリウムは宇宙の始まりの時にできたのです。その他の元素は星の中で合成されたのです。

10 億年後、最初の星（第一世代の星）ができ、太陽質量の 8 倍程度までの恒星内部でヘリウムから炭素までの元素の合成ができました。8 倍以上の

星の内部電核反応で Mg や Si、Fe 等が合成され、その後の超新星爆発で、鉄より重い元素の合成が行われたのです。太陽は第三世代の恒星で2回の超新星爆発を経験しています。このようにして太陽系の材料の隠し味ができたのです。

さて、中国の人たちは急に現れて明るく輝く超新星を「客星」と呼びました。藤原定家の「明月記」に1006年の客星の記事があります。観測をした人は定家ではなく、他の人です。これも超新星で、その残骸は京都大学の小山先生たちによって X 線衛星「すざく」で観測されました。スペクトルをみるとその中に鉄などの元素成分が見つかりますから実際の元素の合成の現場が見えているわけです。

材料を作る現場というのは、足を踏み入れるというのが大変危険な所です。超新星でも同様です。超新星が爆発するところでは有害な電磁波や粒子が飛んできます。そのような見方をしますと銀河の中心部分は星の密度が高く超新星爆発が多いところだと言えます。生命発生にとって、いくら材料が多くても、このような超新星爆発の多い銀河中心からいっくらか離れないといけません。つまり銀河中心は危険なのです。一方、銀河の外側は安全ですが、生命の材料がすくないのです。

この両極端の間を銀河生存圏 (GHZ) といいます。銀河系の10%程度の星しかこの範囲にありません。また、常に GHZ にとどまれる扁平率の小さな星は5%しかないので、ところで、46億年間太陽系は円軌道を保っています。たいへん安定な環境だといえます。

## 生命の誕生

生命の起源の考えにはたくさんあります。

地球外起源説には、パンスメルミア説、地球内起源説として、RNA ワールドやオパーリンなどの説が代表です。

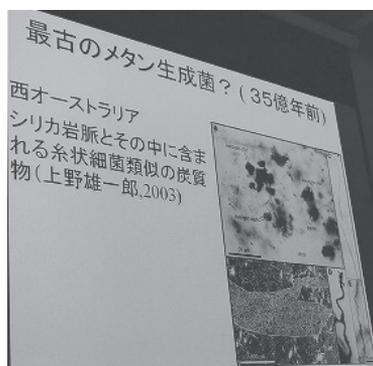
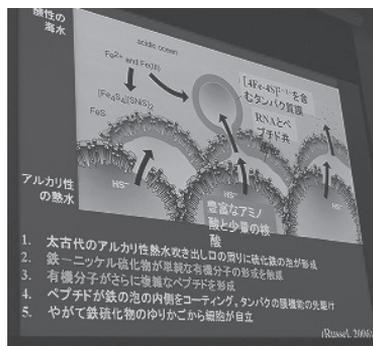
RNA が生命の始まりという考えを RNA ワールドといいます。RNA は遺伝情報も持つし、また最近酵素としての役割を果たすことが分かってきたので、「設計図にもとづいて、自分と同じモノをつくる能力」をもつ生命の始まりとして注目されています。ただし、RNA を構成する糖類は地球環境では作りにくいのです。肝心の DNA、RNA を作るのはたいへん難しいのです。

パンスメルミアとは、最初の生命が宇宙で作られて地球に持ち込まれたという考えですがその最初の生命はどこでどのように作られたか不明です。

生命の材料は比較的ありふれています。フラスコに地球にある物質をいれて紫外線や放電をさせるとたくさんのアミノ酸ができました。この人工的なアミノ酸のパターンは落ちてすぐ見つかって地球の生命物質に汚染さ

れていないと考えられるマーチソン隕石中のアミノ酸のパターンと非常によく似ていることがわかったのです。生命の材料となる分子や単純な重合対は原始地球で合成可能でしょう。

### 生命誕生のアルカリ温泉説



$H_2 + CO_2 \rightarrow [CH_2O]_{\text{生命}} + H_2O$

このような化学式で海洋底の中央海嶺での熱水吹き出し口で鉄-ニッケル硫化物とペプチドが共進化しました。実際、このような環境でグレイライトというは鉱物が見つかりますがこれは脱水素酵素の反応中心の構造ときわめてよく似た構造をもっています。ここまでは地球で必然的にできたと思われれます。

一番ふるい生命はオーストラリアで 35 億年前の層状チャートの下にシリカ岩脈（温泉の鉱脈）があり、最下部に枕状溶岩あつそのシリカ岩脈には、メタン生物がみつかりました。現在の温泉湧きだし口にも同様な生物が見られます。

30 億年前に生命が陸上へ進出したがそのときに紫外線よけの色素が酸素発生源型光合成につながったと考えられています。

### 月の役割

しかし、生物は臆病で陸には簡単にあがれません。そこで当時、月は地球に近く、干満の差が大きかったと考えられています。満潮時は NaCl 濃度が低下し電荷による反発で分離、いっぽう干潮時は水素結合が起こると考えられています。潮汐の記録は貝殻のしま模様に見つかります。ただし化石では 6 億年までのものしかわかりません。堆積物ではもっと古いことがわかります。堆積物のしま模様から復元した月の軌道半径の変遷は現在の月と地球の距離の変化量と少し違います。

## 酸素

23億年前に急劇に増加しました。酸素発生するシアノバクテリア、これは日本人も食べています。川海苔の一種で、水前寺ノリと呼ばれています。オーストラリアのハメルンプールにはストロマトライトがあります。これもシアノバクテリアですね。

## 酸素発生型光合成と真核生物の誕生

酸素呼吸するバクテリアなどが共進化して真核生物ができたと思われています。真核生物と多細胞生物の出現まで10億年間空白があります。この時代、宇宙から隕石などの影響を受けていない、つまり落ち着いていたと思われています。その後、スノーボールアースの時代になりました。地球が完全に氷で覆われてしまったのです。このような悪条件が生命の進化を促すのですね。



最初が多細胞生物？ヨルギア（約5億6千年前）

## 眼の進化

最初の動物は口も肛門もありませんでした。しかし、行動様式はありました。餌をとるために同じところを通りませんでした。それは、化石からわかります。しかし、密には通らない。今から5.6億年前に色のついた動物化石がでてきます。それは見てもらうためでしょうか。三葉虫には複眼がありました。何か見ていたのでしょね。



三葉虫の眼の化石（約4億年前）

## 人類の出現前夜

中生代の終わりは隕石落下で起こりましたが、ほ乳類の敵である大型走鳥類が減びるまで安泰ではありませんでした。

## アルデピテクス・ラミダス

この人類の先祖にはまだ、その足に母指対抗性があります。足が手のようにものをつかめたのです。つまり、木に登れたかもしれないのです。

その後の人類は樹上の食物が食べられなくなったのです。この時代までは温暖でしたがその後、寒冷化し、樹林が減少し、草原へ出現するようになりました。草原は敵が多く、それで知恵がついたのでしょうか。その後の時代の足跡化石からは 2 匹のオーストラロピテクスが手をつないでいった様子がわかります。

昨年、基礎研究所の建物の下から 2600 年前の縄文時代の材ができてきました。その時代には鋸はなかったので石器で楔を入れて木を割っています。その上では宇宙の研究を湯川さんや益川さん達が議論していました。

生命は地球で生まれ育ったという私の考え、あるいは知的生命は地球以外に存在しないとする私の考えはハヤブサの到着で終わるかもしれません。はやぶさの帰還がとても楽しみです。



講演者の皆さんと理事長、司会のみなさん