

# 平成 28 年度 西宮市生涯学習大学ラジオ講座 宇宙はここまで理解できた—宇宙物理学入門— お便り集

第 6～10 回放送分に寄せられた質問・感想を掲載いたしました。他の受講者の方のお便りを通じて新たな発見がございましたら幸いです。詳しくは最終ページ、「編集後記」をご覧ください。

## 6. トピック(2)ブラックホールと重力波（質問）

**重** 重力波の発生源はブラックホールと考えてもよろしいでしょうか？

————— 講師より —————

2016年に発表された2つの重力波イベントは、どちらもブラックホールの合体現象であると考えられています。その他にも、超新星爆発や中性子星の合体なども重力波の波源として有望です。

**銀** 河団で、天の川銀河とお隣りのアンドロメダ銀河とが近づく傾向があって 40～50 億年後には衝突するのではとの事ですが、近づく原因の一つとして、双方のブラックホールの成長による引力もあるのでしょうか。

————— 講師より —————

天の川銀河とアンドロメダ銀河の接近は、2つの銀河の総質量による万有引力の効果です。銀河の中心部（バルジ部分）では、ブラックホールの質量は全体の 1000 分の 1 にしか過ぎません。

**テ** キスト 52 ページの「星の最期」と、58 ページの図 6.4 を比べました。

太陽質量の 1.4 倍以上だと、チャンドラセカールの限界を超えているので、白色矮星にとどまらず、中性子星になるのはわかりました。52 ページには、ブラックホールになり得るのは太陽質量の 25 倍以上と記載されています。58 ページの図 6.4 では TOV 限界(トルマン・オッペンハイマー・ヴォルコフ限界)は太陽質量の 2.3 倍程度と読み取れます。

これは超新星になる前の質量が太陽の 25 倍以上だと、「超新星爆発後に残る核」が太陽質量の 2.3 倍を超え、中性子の縮退圧でも支え切れずブラックホールになるという解釈でよいのでしょうか？

————— 講師より —————

その通りです。超新星爆発のメカニズムはまだ完全に解明されておらず、ブラックホールになり得る星の最低質量が太陽の 25 倍程度とされるのは、まだ大まかな値です。今後、変わるかもしれません。

**重** 重力波の初観測につながったブラックホールの合体で生じたという膨大なエネルギーはどこへ行ったのでしょうか？

新しい星の誕生に費やされているということでしょうか？あるいはこれがダークエネルギーの一部であるということでしょうか？

————— 講師より —————

周囲に時空を歪めるエネルギーとして拡散しました。通過した一瞬は重力の効果が発生しますが、星の誕生やダークエネルギーの作用にまでは至らないでしょう。

**我** 々人間のように光の速度よりもずっと遅い速度でしか動けない生物を仮に「3次元君」と名付けます。3次元君は、この宇宙では3次元空間しか認識できません。3次元君を例えば銀行の金庫室の中に閉じ込めて、外側から施錠します。金庫の内側からは扉を開けることも壁を開けることも壁や天井・床を壊すこともできないとします。この場合、この金庫の中が3次元君にとって

の「密室」となります。一方、光の速度で動くことができる「4次元君」がいたとして、彼は同じ金庫室に閉じ込められたとしても、光の速度で動くことによって、縦・横・高さ以外のもう一つの方向（時間軸の方向）にぽっかり開いた穴（or 空間？）から脱出することができます。つまり3次元上の密室は4次元君にとっては密室にはならないのです。では、もし4次元君がブラックホールにつかまったらどうでしょうか。ブラックホールは光でさえも抜け出すことが出来ないわけですから、4次元君も脱出できないこととなります。つまりブラックホールは4次元君にとっての密室になるということです（ホワイトホールは考慮しません）。この考えは間違っているのでしょうか？

――講師より――

正しいです。我々の住む4次元以外に、他の次元があって、そこへ重力だけが移動できる、とする「膜宇宙論（ブレンワールド）」があります。重力が他の力に比べて極端に弱いのは、高次元方向へ逃げているのではないかと、とするパラダイムです。

**時**空の歪みという言葉がよく出てきますが、物理現象として、どのように理解すればよいのでしょうか？

――講師より――

ニュートンは、重力の正体を万有引力の存在を仮定して説明しました。どんな物体も互いに引き合うものと考えればよい、としたのです。

アインシュタインは、重力の正体を時空の歪み（トランポリンの歪み）と考えて、物体は空間の歪みにそって動くものと考えればよい、としました。

どちらも、物体の運動を説明するために考え出された理論です。地球上ではニュートンの考えで問題ありません。アインシュタインの考えでもニュートンの結果と一致します。しかし、大きな質量の及ぼす重力では時空の歪みの理論が正しいことがわかっているのです。

**レ**ーザー干渉計は今でも第一線で活躍とのことです。これで実際に観測できることは、重力波が波であること（アインシュタインの予言の実証）だけでしょうか？

――講師より――

重力波が観測されると、当然ながら波源となった天体の様子がわかることとなります。中性子星連星であれば、運動の様子や半径・質量がわかり、これまで原子核実験では得られなかったような、高密度物質の状態がどのようにになっているかの情報がわかることとなります。また、ブラックホール合体現象のデータの蓄積から、銀河中心のブラックホールの成長シナリオもわかると考えられます。重力波の観測は、核物理学や天文学でも活用され、さまざまな新しい事実を提供してくれるものと考えられます。

**宇**宙には暗黒星雲（ダーククラウド）、ブラックホールやダークマター、ダークエネルギーと言った、ダークやブラックなど暗黒と名の付くものが多いです。今回のテーマである空間に開いた穴「ブラックホール」は大質量の星が自重で潰されて出来る、また銀河の中心部に物質が集中して巨大なブラックホールができることがあると言っています。

ブラックホールは光でも電波でも見えない質量を持つなその物質＝ダークマターと似ていますが違いはなんのでしょうか？

――講師より――

ブラックホールは、光らないためにダークな天体ではありますが、その正体が理論からも観測からも確かめられています。一方、ダークマターは観測からはその存在が示唆されますが、正体が不明で、理論も定まっていません。

**重**力と重力波とは別なものなののでしょうか。電磁波(光)の場合は、波そのものが光であるとの認識ですが、重力の場合も重力波そのものが重力ということによろしいのでしょうか。

また、重力波は非常に弱いとのことですが、光のように、身近に重力を測定できる空間で重力波を

観測、検出はできないものなののでしょうか。よろしくお願いします。

講師より

重力の正体を時空の歪みと考える(トランポリンの歪み)とき、重力源が激しく動くと歪みが周囲に伝播します(トランポリンの揺れが周囲に伝わります)。この伝播する現象が重力波です。観測できるような強い重力波が発生するためには巨大な質量が高速で運動しないとはいけません。ですので天体現象にしか見られません。天体現象を考えると到達距離が長いため、微弱な重力波になってしまいます。そこで、LIGOやKAGRAのような巨大な干渉計が必要になるのです。

**重**力波も赤方偏位ということがあるのでしょうか。それによって距離測定が可能ですか。よろしくお願いします。

講師より

遠方の重力波は赤方偏移して、周波数が低くなります。そのことを考慮して、波源までの距離を決めています。

## 6. トピック(2)ブラックホールと重力波(感想)

**ア**インシュタイン方程式の特殊解である、シュヴァルツシルド解から想定されたブラックホールが、単なる数式上のものではなく、はくちょう座 X-1 などの状況証拠から実在が確かめられ、ついに重力波によりブラックホールの合体が検出された。銀河系の中心にも大質量のブラックホールが存在するという。思っていた以上にブラックホールは多く存在すると感じました。

人類は、可視光、赤外線、紫外線、マイクロ波(電波)、X線等で宇宙を観測してきました。つまり波長を変えて電磁波で宇宙を見てきたことになります。今回の重力波による観測は、全く異なる原理の観測方法を手に入れたと感じました。カミオカンデのようなニュートリノによる観測もそうですが、重力波による観測も、感度・分解能が上がると新しい発見があると期待しています。

**今**回は、まさにラジオ講座のメリットを最大限に活かした講義で、大変楽しく聴かせて頂きました。

LIGO 新長の記者会見での「We did it!」や重力波の波形を音で聴かせていただくなど先生のご説明にある「重力波天文学の幕明け」をラジオを通して実感させていただきました。

また、理論物理学で導き出された予想通りの結果が実験物理学を通じて実証された今回の結論は物理学の醍醐味ともいえ、大変興味深く聴かせていただきました。

一方、ブラックホールの解で有名なシュバルツシルトが戦場で解を導出され、戦死されたことは、初めて知りました。優秀な科学者を戦争で亡くしたことは残念でなりません。

次回の宇宙項や空間の曲率のお話も楽しみにしています。

## 7. トピック(3)膨張宇宙の発見とインフレーション宇宙(質問)

**宇**宙が膨張していることはアインシュタインの方程式で分かりました。さらにハッブルによる観測で遠くの銀河ほど我々から速く遠ざかっていくことが分かりました。

宇宙が膨張するとはどういうことなののでしょうか。なぜ宇宙は膨張しているのでしょうか。宇宙が膨張していればいずれは風船が膨らんで最後は破れるように宇宙も壊れるのでしょうか。宇宙の果てについてそもそも宇宙に果てはあるのでしょうか。

私たち人間の「宇宙」は新しい発見とともに広がっています。「人間の認識できる果てが宇宙の果てである」と聞いたことがあります。

講師より

時間と空間の容れ物が膨張している現象を宇宙膨張と表現しました。宇宙は膨張する場合も収縮する場合もあり、たまたま我々の宇宙は膨張を続け、生命の誕生に至ったと考えます。私たちの宇宙が将来どうなってしまうのかは、第8回の放送でお話します。「宇宙の果て」は私たちが観測できる限界と定義されてもよいですが、それはテキストに添付した「宇宙図」の中心部分の「しずく」に相当する部分になります。実際の宇宙は観測できないところを含めてもっと大きいはずですが、これも第8回の放送部分のテキストをご参照ください。

**真** 貝先生の講義・テキストでは、英語の略語や、その単語のスペルを併記していただいているため、語源が分かりとても理解・納得がしやすいです。

そのなかで、今回の講座で「火の玉」、「ビッグバン」、「インフレーション」についても英語表記が欲しかったです。ただ、「ビッグバン」の英語表記がないのは、論文とかの言葉ではなくもとはラジオ番組での発言であったからなのではないでしょうか。勝手に思っています。

————— 講師より —————

「火の玉」は fire ball、「ビッグバン」は big bang、「インフレーション」は inflationary universe です。併記忘れていました。申し訳ありません。

① テキスト 69 ページ図 7.2 で T1, T2, T3, T4 の値はいくらでしょうか。

- ② 音のドップラー効果は、空気という音伝達の媒体（絶対座標）に対し観測者が音波と同方向に動いている場合観測者にとって音速は観測者の空気に対する移動速度分だけ遅くなるので波長が長くなり低音側にずれるのだと思います。音波が動いている場合は逆に音源と音が反対方向に動いていると静止（空気に対して）観測者には低音にずれると思います。音の場合音伝達の媒体の空気を絶対座標と考えると捕らえ易いのですが、光の場合光速度一定の原理から、光源の座標系での光速度 = 観測者の座標系での光速度ということになるとと思いますが、その場合はドップラー効果というのがなくなってしまうように思えるのですが、どのように考えれば良いのでしょうか。
- ③ テキスト 72 ページ「火の玉宇宙モデル」における「高温」とはどのような状態のことでしょうか。通常温度というのは原子・分子の運動（並進）エネルギーだと思のですが、「火の玉宇宙モデル」ではそのような形態のエネルギーは小比率だと思われそうですが、他の形態のエネルギーとはどんなものでその各々の温度とはどんなものでしょうか。
- ④ テキスト 73 ページ、宇宙マイクロ波背景放射（5k~7k）の波長域はいかほどでしょうか、そのような低温の放射の観測のノイズ除去はどの様にするのでしょうか。
- ⑤ ドップラー効果に関連する質問ですが、運動光源からの光で光源の座標系から観て進行方向へ放射光と後向きの放射光の速度は同一の  $c$  として観測されるということでしょうか。また光源の外の観測者の座標系でも、観測者が光源と同一方向に動いている場合も反対方向に動いている場合も光源からの光は速度  $c$  の光として観測されるということによろしいでしょうか。

————— 講師より —————

- ① モデルによってさまざまです。かなり違いをつけて描いていますが、微妙な差でかなり変わります。現在の宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の観測からは、4のモデルで、 $T_4 = 138$  億年となります。
- ② 空間（距離）が伸び縮みすることで、本来の光の波長が引き伸ばされたり（赤方偏移）、縮められたり（青方偏移）します。
- ③ テキストの図 7.12 をご参照ください。宇宙初期では原子核の核子がつもつ熱エネルギーが支配的になります。
- ④ 波長 1.9mm, 振動数（周波数）160 GHz がピークです。この背景放射が宇宙のどこでも存在していますので、除去できません。
- ⑤ 光速は  $c$  のまま不変です。振動数と波長が変化します。

**重**力や加速度で時空がゆがむとのことですが、その場合光速度一定の条件を満たす様にゆがむと考えると良いのでしょうか。ブラックホールや他の強力な重力の近傍を通過して来た光（ゆがんだ時空を通過して来た光）が終点の観測者に到達してドップラー効果が観測される場合、そのドップラー効果に及ぼす光の経路における時空のゆがみの影響はないのでしょうか。ドップラー効果を考える場合、光源と終着点の観測者の相対運動だけを考慮すれば良いということでしょうか。

――講師より――

「時空のゆがみは光速度一定の条件を満たす様にゆがむ」とのお考えで正しいです。光は質量ゼロですので光自身は時空のゆがみを引き起こしません。光のドップラー効果は、光源と終着点の観測者の相対運動と、伝わる空間の膨張・収縮によって決まります。

**テ**キスト 75 ページ図 7.12 に示された、宇宙時間  $10^{-44}$  秒に第 1 の相移転、 $10^{-36}$  秒に第 2 の相移転、 $10^{-11}$  秒に第 3 の相移転が生じたということを佐藤先生はどのようにして解明されたのでしょうか。インフレーション宇宙モデルが多くの研究者に支持されているにもかかわらず、佐藤先生がノーベル物理学賞を受賞されていないのはこの理論が実証されていないからでしょうか。

――講師より――

佐藤先生は、超新星爆発を研究している過程で、素粒子の源について調査されていて、そこで素粒子論で登場しはじめた階層的な相転移現象というアイデアを聞き、それを宇宙に対して考えてみようとなされました。（ご本人談）

ノーベル財団は、理論を提案された方よりも、現象の解明をされた方を顕彰する方針のようです。理論提案者がノーベル賞を受賞される場合は、十分に実験や観測で事実が確認されてから、となっています。ですので、湯川も南部も理論提案からかなりの年数を経て授賞されました。

**西**宮市のラジオ講座事務局から「お便り集」が送られてきました。いくつか気になった点を質問させていただきましたが、ご回答下さりありがとうございました。その中でご教示いただきました先生の著書である「タイムマシンと時空の科学」を購入し、目を通しはじめています。今回の講義のテーマについてもテキストに加え関連するチャプターを参考にさせていただいています。当初質問させていただいたホワイトホールについて拝見したところ「おそらく実際には存在しない」「数学的な解に過ぎない」との記載がございました。ブラックホールの実在が確認されている一方でホワイトホールが実在しないとするとエネルギー保存則は成り立たないということになるのでしょうか？ご教示いただければ幸いです。

――講師より――

拙著のご購入ありがとうございます。

ブラックホールは、物質を飲み込んでそれを貯め込む天体ですので、質量エネルギーを持ちます。エネルギー保存則は保たれます。ホワイトホールがあってものを吹き出すのなら、はじめにホワイトホールが高エネルギーを持っていた、と考えればよいので、ここでもエネルギー保存則は成り立ちます。

## 7. トピック(3)膨張宇宙の発見とインフレーション宇宙（感想）

**ヘ**ンリアスとウィルソンの宇宙マイクロ波背景放射発見のエピソードは、自分の専門分野以外についても興味を持って関わりを持つ事の、重要性を感じました。

**ビ**ッグバンや膨張する宇宙は一般の方でも興味をお持ちの方が少なくありません。しかしながら、私には難しすぎて理解するところまで至っておりません。今回の講座を機会に少し勉強を深めてみたいと思います。

## 8. トピック(4)ダークマターとダークエネルギー（質問）

**宇**宙に中心があるのか否か判りませんが、79 ページの図をみると中心があるように思えます。あるとすればそれはどの辺りになるのでしょうか？

————— 講師より —————

宇宙に中心はありません。図 7.5 右の図をご参照ください。

**宇**宙物理学の現状を学びましたが中々理解することがむずかしいです。

図 8.1 の中央の涙のしずくの部分しかみえないということはいかなることでしょうか？

宇宙のはじまりは 138 億年前だがその大きさは現時点で半径 480 億年とは、宇宙の拡がり光よりも早いということでしょうか。そしてその計算はどこから来たのでしょうか？ よろしく願いします。

————— 講師より —————

光の速さには上限がありますので、遠くを見ることは過去を見ることになります。その意味で、現在の時刻で 10 億光年先にある星の姿が見えるは 10 億年後になります。図 8.1 では 10 億年たてば、上方向に器が広がり、私たちの過去に向かって伸びる領域（涙のしずく）も広がります。しかし、まだ光が届かない領域があるのは変わりません。

宇宙年齢はこの図の上下の距離で 138 億年、それに対して 480 億年とはこの図の現在の横の半径を示します。

**い**つも楽しく聴かせて頂いています。宇宙は広い！そしてよくわからない！という感想を持った回でした。ところで「オールトの雲」というのを聞いたことがありますが、これは実在していそうな天体(?)なののでしょうか。一説には彗星はここからやって来るとか……。またなぜこのようなものが存在するかもしれないという考えに至ったのでしょうか。

————— 講師より —————

「オールトの雲」は太陽系の外側に存在する氷の塊が多数存在する領域です。冷たい宇宙で、かろうじて太陽の重力によって引っ張られている天体です。太陽に近ければ合体して星を作ることになったはずで、いくつかは太陽に向かって引き寄せられ、彗星となります。

**宇**宙を表す図ですが、テキスト 78 ページの図（76 ページの図もそうですが）がまだよく呑み込めません。宇宙誕生を中心とした球面状に描かれると直感的にわかるのですが、ラッパ状の図が理解しにくいです。

あと、宇宙の大きさについても、半径 480 億光年とのことですが、79 ページの図の中心は、地球のように思えますが、宇宙の始まりとした方がわかりやすいのではないのでしょうか。よろしく願いします。

————— 講師より —————

76 ページの図 7.13 は時間軸を右方向に、78 ページの図 8.1 や付録の宇宙図は、時間軸を上方向にして宇宙膨張を表現しています。空間 3 次元と時間次元では絵が描けませんので、空間を 2 次元の円のようにして表していることをまずご理解ください。

79 ページの図 8.2 は観測者を中心として描いていますが、宇宙のどこで観測しても同じです（宇宙に中心はありません）ので、ご指摘のように宇宙の始まりとされても同じです。

**テ**キスト 78 ページの図 8.1（宇宙図のしずくの部分）と、105 ページ図 A.4（光円錐）を見比べました。どちらも観測可能な領域を示していると思いますが、宇宙図の方は下の部分がしずく状に閉じています。これは宇宙がビックバンで始まり空間が膨張しているためと考えてよいのでしょうか？（現在から逆向きに時間をたどると、空間が縮んでいるように見える）

————— 講師より —————

その通りです。

**宇** 宙図で宇宙像を図 8.1 で示しているが空間が横向きに時間を縦向きに規定していると云う事であるとすれば、空間と時間以外の要素は何と云う事ですか？他の要素の可能性があるとすればそれは何でしょうか？

——— 講師より ———

本来空間は 3 次元，時間次元を加えて 4 次元の図を描くことは無理ですので，空間を 2 次元の円として表したのが図 8.1 です。

- ① 79 ページの図 8.2 において、138 億年と 480 億年の関係式をご教授願えますか？膨張速度などどのように扱っているのか興味があります。参考文献でも結講です。
- ② 80 ページの銀河回転速度の問題、ダークマターをツビッキーは 400 倍と言ひ、ルービンは 6 倍とのことですが、差が多過ぎる様に思えますが、この差は妥当ですか？
- ③ 同じく図 8.4 右図において、中心からの距離とその回転速度をどのようにして計測するのでしょうか？
- ④ 85 ページ中間部において、ダーク部分が 95.1% とのことです。今後、計測技術の進展が期待できますが、50% を切るのはいつ頃と思えばよいのでしょうか？

——— 講師より ———

- ① 実際の数式はアインシュタインの一般相対性理論に、宇宙モデルを適用した複雑なものになります。参考文献の専門書をご参照ください。
- ② 天体の移動速度を観測するのは非常に難しいことですので、観測誤差とお考えください。  
(ハッブルの宇宙膨張の大きさも現在値とは大きく異なります)。現在では、見えている物質の約 5 倍がダークマター相当です。
- ③ 本来の星の色をスペクトルから特定し、ドップラー効果で赤方偏移や青色偏移を調べ、星の動きを推定します。
- ④ いつ頃になるのかは、わかりません。

**真** 空の膨張について、今でも真空のエネルギーとか真空の相転移などが登場してその都度説明いただきたいのですが「真空」ということが未だに理解できません。機会があれば今一度お話し下さい。よろしくお願ひします。

——— 講師より ———

日常生活での「真空」は、空気分子の無い空間です。素粒子物理学者の「真空」は、物質と反物質が対生成し、また対消滅しうるダイナミックな空間です。

**テ** キスト 85 ページ 7 行目以降の部分、“現在の宇宙の構成要素は 68.3% がダークエネルギー、26.8% がダークマター、4.9% が既知の物質”とありますが、これは質量に換算した比なののでしょうか。またどのようにそれぞれの値を見積もることができたのでしょうか。しかも少数点以下一桁の精度で？

——— 講師より ———

質量エネルギーでの換算値です。宇宙マイクロ波背景放射の観測からその温度・温度ゆらぎの大きさ・温度ゆらぎの角度分布がわかり、超新星爆発の観測から宇宙膨張の時間変化などがわかります。それらのデータを一般相対性理論にフリードマン宇宙モデルを適用し、ダークマターとダークエネルギーの存在を仮定した数式でパラメータ調整して得られた値です。

## 8. トピック(4)ダークマターとダークエネルギー（感想）

**宇**宙にはまだまださっぱり分かっていないものが有ることを、ダークエネルギーのお話で再確認しました。近い将来二十一世紀のアインシュタインが現れ、今までとは違う新しい宇宙観がでてくるのかもしれませんが、あり得ないことかもしれませんが、ちょっと期待してしまします。

## 9. トピック(5)第2の地球はあるのか（質問）

**テ**キスト 87 ページ図 9.3 にある説明で {液体の水の存在を示している} とあるが、水以外の液体によってこのような筋模様が出来る可能性は無いのか？あるとすればそれは何か（どのような物質）？

————— 講師より —————

NASA は成分を特定して水であると発表しています。

**い**つも楽しく聴いています。

NASA がすごい発表をしましたね。40 光年先に 7 つもの惑星があったとか。これはもう生命体発見も時間の問題・・・という気がしますが、そうは簡単にいきそうにないですね。さてもしそのような天体に行くことになればどのようなエンジンを載せたロケットが考えられるでしょうか。昔読んだ科学系の本によれば「光子ロケット」なるものがあったような気がします。

————— 講師より —————

地球外生命体（宇宙人とか）そのものの写真を撮ることはできなくても、生命体が存在する痕跡（水や酸素の存在）がわかる日も近いことと思います。楽しみです。

先日、4 光年先の星に向けて、1 cm 角程度の小さな人工衛星に地球からレーザー光線を照射して光圧で加速させて飛ばすという提案がされているのをニュースで見ました。人間が長距離宇宙を飛行するのは無理かもしれませんが、無人であれば何かの手段があるのかもしれませんが。

**K**epler 衛星等による何千にも及ぶ系外惑星の発見には目を見張ります。微細な変化や差異を観測する技術がどんどん進歩しているようですが、どうしてそのような小さな変化まで観測できるのか不思議です。

そんな中で、一番近い恒星でも系外惑星が見つかったとかのニュースを聞くと、すぐにでも行けそうな気がしてしまいます。しかし、約 4 光年の近さといっても、光の速さで約 4 年かかる距離なので、冷静に考えると、火星みたいにはおいそれとは手が届きそうにもないことが分かります。

————— 講師より —————

系外惑星の探査方法については、テキストの 88 ページをご参照ください。たいへん微小な量を測定する観測です。

上記で触れた計画では、4 光年先に、光速の 10 分の 1 のスピードの人工衛星を飛ばすことができれば、40 年後に到達。そこで撮った写真が 4 年後に地球に到着、となります。

**先**日、地球から 39 光年先の宇宙で、生命を育む可能性がある 7 個の惑星が見つかったとのニュースがありました。ここ数年そのような「ハビタブル惑星」が相次いで発見されるのはやはり宇宙に対する観測の精度が向上したためでしょうか。今後そのような惑星に液体の水が存在するか否か、あるいは大気成分の観測により、生命の存在する可能性のより高い惑星が見つかることを期待してやみません。

————— 講師より —————

近年、多くの系外惑星の発見が報告されるようになったのは、ご指摘のように、観測技術の向上の



ためです。また、系外惑星の特定には、長い年月がかかります。観測を始めた当初は、公転周期が数日から数ヶ月の星しかわかりませんでした。数年の観測データが蓄積すると、数年の公転周期をもつ惑星の存在が判明してくるようになりました。

## 9. トピック(5)第2の地球はあるのか(感想)

**八** ビタブルゾーンにある系外惑星の発見がいくつかなされていたのですね。生命検査と合わせ  
て夢のある話を聴くことができました。

**今** 回の講座(1~9)及びスクーリングを通じて、興味があった量子論をスタートとして宇宙  
物理学の夢(特に将来)を見られて非常によかった。

**系** 外惑星の発見数は半年の間でも増えているとのことですが、本日(2月23日)のトップニュ  
ースで、一つの恒星系で地球に似た惑星を7つ発見と報じられました。これからも新発見が  
ありそうで目が離せません。

この宇宙物理学入門の講義を受けて、人類は、微細な素粒子のスケールから、宇宙スケールまで広  
範な現象を説明する法則を求めて来たと感じました。先生がおっしゃられた、「宇宙はここまで理  
解できた」というより「ここから先は未解明」というフロンティア(最先端)を見せて頂き、あり  
がとうございました。

## 10. 受講者の質問に答えて(感想)

**か** つて、小学生の頃、天体望遠鏡を買ってもらい、寒空の下、月や土星の環、木星の縞模様や  
ガリレオ衛星などをワクワクしながら眺めていた日々、そして、高校生の頃、テスト前にも  
関わらず佐藤文隆先生や松田卓也先生のブルーボックスを読みふけていた日々、今回のラジオ講  
座は、まるでそんな日々タイムスリップしたかのような夢のような時間の連続でした。

最終回の講義では、昨今の基礎科学への風当たりについてのコメントがございましたが、以前に「科  
学の成果は役に立つかどうかは問題ではなく、役に立てる方法を知っているかどうかの問題であ  
る。」といった趣旨のお話をお聴きしたことがあります。

その鮮烈なパラダイムシフトにより膨大な注目を集めた相対論も当初は何に役立つのかイメー  
ジできる方は少なかったと思いますが、今回講義でGPSになくてはならないとのご説明がありまし  
た。純粋な数学的関心から研究された素因数分解問題や離散対数問題がインターネット時代になっ  
て暗号に応用された例をあげるまでもなく、多くの発見・発明が後世になって役立つ例は枚挙に暇  
がないと思います。

今回のラジオ講座のように科学者の方々の社会貢献活動によって、湯川先生が基礎物理学研究所を  
創設された頃のように基礎科学への理解が深まることを心より願っております。

まだまだ、寒い日が続きますが、先生に於かれましてはくれぐれもご自愛下さい。

最後になりましたが、ラジオ講座事務局の皆様には何かと親身になってご対応下さり改めて御礼申  
し上げます。

**毎** 回楽しく拝聴いたしました。どのテーマもおもしろくもっと回数があればと思います。放送  
時間もせめて1時間あればと感じました。1年間ほんとうにありがとうございました。

## 講座終了にあたってのご挨拶（真貝先生より）

10回の講座を通じまして、なるべく最先端のお話につながるように難しい話でも構わずご紹介してきました。昨年発見された重力波の話や、最近めざましい発見が続いている太陽系外惑星のお話も含めました。しかし、最先端の話を含めましても、すぐに古くなってしまふのが現実です。この講座の間にも、周期表の元素名が3つ新たに決まったり、重力波の検出例がひとつ追加されたり、太陽系外惑星の発見数が大幅に増えたりしました。このような研究の現状をも、お楽しみいただけたのではないかと存じます。

私たち研究者は、純粋にこれらの新しい事実が解明されることが単純に楽しく、日々研究を進めています。しかし、直接私たちの生活を大きく変えることのないような基礎科学の研究に対して、すぐに役立たないこと、役にたつかどうかわからないことを研究することに、随分と風当たりが強くなってきていることを感じます。

最近、サイエンスコミュニケーションという言葉がようやく流行りだし、科学者も、ロマンを語るだけではなく、研究の面白さや位置付けを多くの方に伝えるようになってきました。誰もが「知りたい」という思いをもつことこそ、私たちが進化し続けてきた源です。今後も、私はこのような科学の面白さを広く伝えていきたいと思ひます。

昨年度の宮水学園マスター講座でもそうでしたが、西宮市の生涯教育講座では、受講者の方からのフィードバックを実にたくさんいただけます。こうして話す講師にとっても、学ぶことの多い貴重な機会をいただきました。どうもありがとうございました。これからも、皆様がいろいろな分野に興味をお持ち続けていただけることをお願いいたします。

## 編集後記

後半分、第6～10回目までの放送についても、たくさんのお便りをお寄せいただきました。今回も真貝先生に、質問に対するご回答をいただくことができました。紙面スペースの都合上、残念ながらすべての質問・感想の掲載はいたしかねますことをご了承ください。

この1年間皆様にはラジオ講座を熱心にご受講いただき、多くの感想・質問をお送りいただきました。おかげをもちまして、このお便り集も大変充実したものにすることができました。今年度、お便りを7回以上提出いただいた方には、「修了証書」を同封しております。

この講座が皆様に新たな知識や発見をお届けでき、生涯学習の幅を広げていただくことができたのであれば、事務局としても幸いです。本当にありがとうございました。

さて、ラジオ講座は平成29年度にも、次の内容で実施を予定しております。

【テーマ】聴いて美味しい おさかな学—教科書では分からない海のこと・魚のこと—

【講師】山崎 清張 氏（水産庁任命・お魚かたりべ）

漁師家庭に生まれ漁協に勤め、現在では水産庁任命の「お魚かたりべ」として活躍中の魚のプロ・山崎先生ならではの、教科書やインターネットには載っていない海の話・魚の話を、写真や資料が満載のテキストとともにお楽しみいただけます。身近なようで意外と知らない海のこと、魚のこと、とことん学んでみませんか。チラシを同封しておりますので、ぜひご覧の上、受講をご検討ください。

今後とも、ラジオ講座をよろしくお願いいたします。