

近畿くすのき会第29回総会 講演会
大阪公立大学大学院理学研究科 常定芳基教授

「マルチメッセンジャー」でさぐる宇宙

2025 年 11 月 8 日

於 ホテル京阪京橋グランデ

平成 5 年度卒業の常定（つねさだ）と申します。本日はこういう場にお招きいただき、ありがとうございます。「多くの方から楽しみにしている」と言われて、うれしい限りです。私にとっても、一般の方向けに話をさせていただくことは、とても貴重です。研究者相手の発表というのはよくあることですが、私たちの存在意義として、研究の成果を社会に還元することが非常に大切です。

先ほど司会の方から紹介をしていただきましたが、私から少しだけ自己紹介して、これから3つの項目について、話をしたいと思います。

まずは、宇宙を観測するのは、どういうことなのかをお話しします。また、私が専門とする研究の話をしようと思ったのですが、こういう同窓会の場で話すとなると、専門の話ばかりでなく、西高出身の方がどういう分野に進出し、どういう風に成功しているのかが求められると思います。ですから、私自身は物理学研究者ですが、研究者っていうのは、いかなる種族であるのかという話を挟んでみたいと思います。最後に宇宙の話に戻ってきて、タイトルでもあるマルチメッセンジャーというところの話をしたいと思います。



■自己紹介、新居浜の思い出

私の名前・常定というのは非常に珍しい名前ですけど、父親は岡山の生まれで、岡山にはわずかながら、常定という苗字があるようです。父親は、岡山の工業高校を卒業して住重東予工場に入りました。母親はずっと新居浜の人で、2人は結婚しました。私は社宅に住んでいて、すぐ近くにある東予市立吉井小学校に入りました。全校生徒が200名という非常に小さい小学校でした。私自身は団塊ジュニアの世代です。1番児童が多かったのが、私の1つ上の世代でした。私が1年生の時には、私たちの学年とその上の2年生だけが2クラスで、3年生から6年生までは全部1クラスでした。クラスも少なく、1クラスは22人、男子11人、女子11人でした。それから新居浜に家を建てて、2年生の夏休みに引っ越して、中萩小学校の児童が2000人と知って、びっくりしました。その後、中萩中学校に行き、1993年に新居浜西高を卒業しました。家は本郷1丁目で、JRの北側、今はスーパーの本郷フジがあります。立ち退きになって、今は本郷2丁目に家を建て直し、今も両親が住んでいます。覚えている担任の先生をここに書いていますが、中萩中学校出身の方はいますか。

自己紹介

- 常定 芳基（つねさだ よしき）
- 愛媛時代
 - 1974年生まれ（住友病院）
 - 母親が新居浜、父は岡山→岡山の工業高校→住重東予工場
 - 東予市立吉井小学校（全校生徒200、2年1学期まで）→中萩小学校（2000）→中萩中学校
 - 1993年西高卒業
 - 実家は（当時はなかったが）本郷フジの近く→立ち退きで現在は県病院近く
 - 覚えている担任の先生
 - 小学校：辻先生、曾我部先生、高須賀先生、国田先生
 - 中学校：松本先生（英語）、加藤美和先生（国語）、神野先生（理科）
 - 西高：高橋先生（国語）、村上先生（日本史）、イッセー尾形に似た先生（地理）
- 研究歴
 - 1993-1997 東京工業大学 理学部物理学科
 - 1997-2002 東京工業大学 大学院理工学研究科 基礎物理学専攻
 - 2002-2005 国立天文台 研究員
 - 2005-2015 東京工業大学 大学院理工学研究科 基礎物理学専攻 助教
 - 2015-2022 大阪市立大学 大学院理学研究科 物理学専攻 准教授
 - 2022- 大阪公立大学 大学院理学研究科 物理学専攻 教授

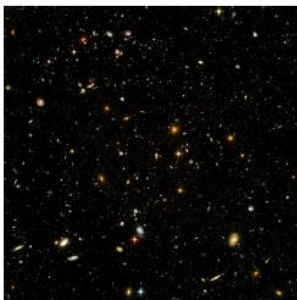
西高の先生で言えば、国語の高橋先生、日本史の村上先生、地理の先生の名前は覚えてなかったのですが、今日、武田先生だと教えていただきました。高橋先生は、まだ現役だろうと思います。私は理系クラスにいて、地理選択だったので、武田先生の授業を受け、日本史の村上先生の授業は受けたことがありません。高校を卒業して、東京の大学に入りましたが、初めから、研究しようとは思っていませんでした。私は大学に入って遊ぼう、バンドをやろうと思っていました。「大学院に入る」と言った時には、母親が絶句していました。大学は東京工業大学理学部物理学科に入りました。大学院は同じ大学大学院理工学研究科の基礎物理学専攻に入り、「大学を出たのにまだ基礎やるのか」という風に言われました。大学院

では、基礎物理学の「基礎」とはレベルを落とすという意味ではなく、物理の根本みたいなことをずっとやってました。そこで学位を得た後、国立天文台というところで博士号を持っている研究員として勤務をしました。3年勤務した後に、母校の研究室の助教になりました。助教は、昔は助手と呼ばれていましたが、研究者になる人が目指す終身雇用してもらえるポストです。その後、大阪市立大学に移りました。皆さん、お気付きかもしれませんが、私が所属するとその大学の名前が消えるんです。じゃあ、今後は東大に移って、東大の名前も消してやろうって（笑）。

■宇宙と聞いて何を連想するか

皆さんにお聞きしてみたいのですが、宇宙と言うと、どういうものを思い浮かべますか。皆さん、それぞれ、いろいろとイメージがあると思います。私は、子供の頃に宇宙飛行士になりたいと言っていたので、宇宙飛行士を思い浮かべます。皆さんは、宇宙と聞くと何が浮かびますか。宇宙ステーションですか。広大な銀河ですか。

「宇宙の研究」

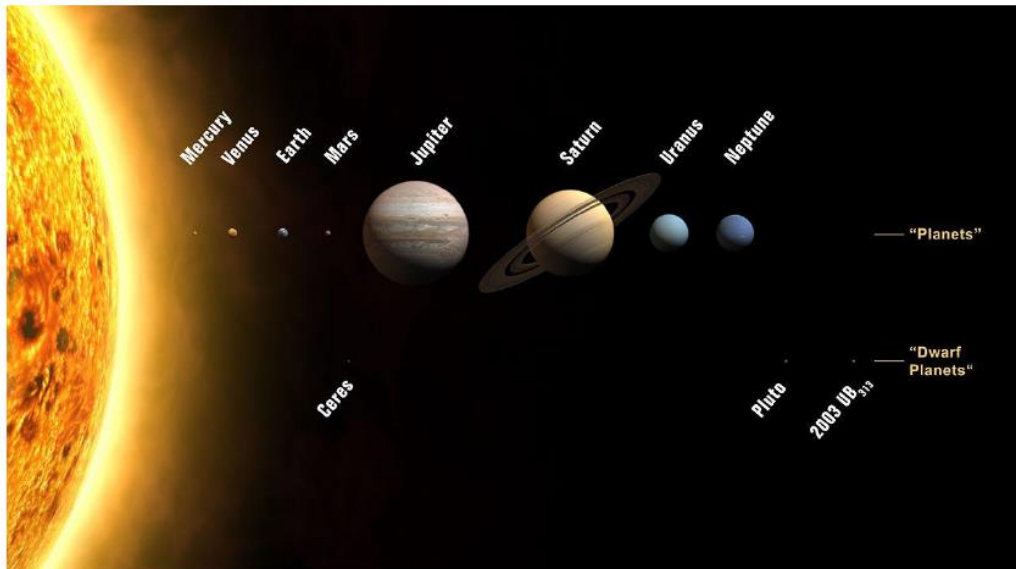


宇宙をどうやって研究するかというと、3つくらい考えられます。

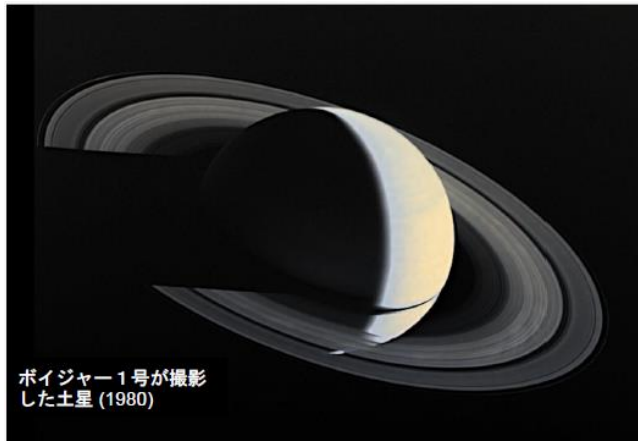
まず自ら宇宙に行くという方法があります。例えば、国際宇宙ステーションというのが飛んでいます。宇宙ステーションというのは、どのぐらいの高度を飛んでいるかというと、400キロの高度です。400キロがどれぐらいかというと、地球の半径が大体 6400 キロなので、ざっと言うと地球の半径の 1/10 ぐらいのところを宇宙ステーションが飛んでいることになります。なので、宇宙飛行士がスペースシャトルで宇宙に行ったと言ったって、地球の半径の 1/10 ぐらいなので、実はこの薄皮 1 枚ぐらいのところを飛んでいると言えますね。そこは、宇宙といえば宇宙なんですけど、そう考えてみると、宇宙は無茶苦茶広いですね。

月はどのくらいかと言うと、地球から 38 万キロ離れたところにあり、非常に遠いです。人間が行ったことのある宇宙という意味では、地球の周りを回っている国際宇宙ステーション、もしくは月まで行ったことがありますね。

宇宙の研究のしかた：探査機が行く



宇宙の研究の仕方には、人間は行かなくても、探査機が行く方法もあります。これは太陽系のイラストですが、以前は、冥王星・プルートも惑星に分類されてましたが、2006 年に惑星ではなく別の種類の天体であるという風に分類が分れました。惑星探査というのは、1960 年代 70 年代から研究がされています。これは非常に有名な写真でして、アメリカの NASA が打ち上げたボイジャー 1 号という人工衛星が撮影した写真です。ボイジャーは 1970 年代に打ち上げたのにまだ今でも飛んで、まだデータを送ってきています。これはボイジャーが撮影した土星の写真で、私は子供ながらにこれを見て驚愕しました。ボイジャーは土星の横側に回り込んで、その方向から写真を撮りました。これは、冥王星ですね。冥王星は今では惑星とは呼びませんが、アメリカが打ち上げたニューホライズンズという衛星が、近くまで行って写真を撮ったものです。表面がどうなってるのかというのは、よくわからないのですが、なんか山みみたいな地形があるっていうのはよく見えています。さすがに、技術の進化を感じることができます。



ボイジャー1号が撮影
した土星 (1980)



探査機ニューホライズンズの
撮った冥王星 (2015)

©NASA/JHUAPL/SwRI

人間が自ら行く。それから探査機を飛ばす。もう一つは、地球にいながらにしての研究もちろん可能です。それは観測するということですね。観測すると何ができるかっていうと、こういう風に見えるわけです。

■人間の五感、見えるとは

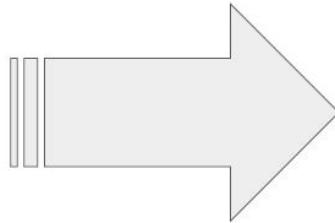
私は今見えるという言葉を使いましたが、「見える」って、そもそも何なのかということちょっと考えてみたいと思います。

人間には五感というものがあります。触覚（触る）、味覚（味わう）、臭覚（かぐ）、聴覚（聴く）、視覚（見る）の5つです。五感っていうのを、何となく2つと3つに分けてみました。対象物に直接触れるか、それとも遠くに離れたところにあるものを知覚するかというので、2種類に分けてみました。触覚と味覚は、対象物に直に触れるわけですね。触覚というのは肌で触れる。味覚というのは舌で触れます。いずれにしろ、近くの対象物に直に触れます。

人間の五感

触覚：さわる

味覚：あじわう

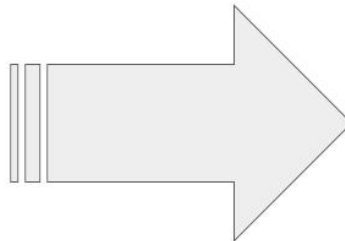


対象物に
直に触れる

嗅覚：かぐ

聴覚：きく

視覚：みる



離れたところ
にあるものを知覚

それに対して、聞く、嗅ぐ、見るというのは、離れたところにあるものを知覚します。この3つをちょっと考えてみたいと思います。

嗅ぐという動作を矢印で表すと、皆さん、どちら方向の矢印を書きましょう。それは、人によると思います。どちら向きと答えても、何の問題ありません。実際には、目には見えない微粒子が飛んできて、鼻に入って、センサーの鼻がそれを感じています。

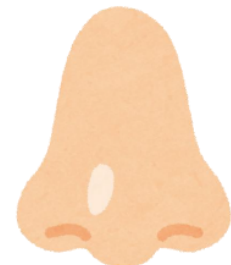
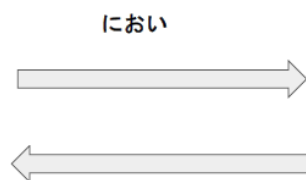
嗅覚：かぐ

- 「かぐ」という動作を矢印であらわすと？

対象物



器官



微粒子が鼻に入り、鼻がそれを感じる、検出する

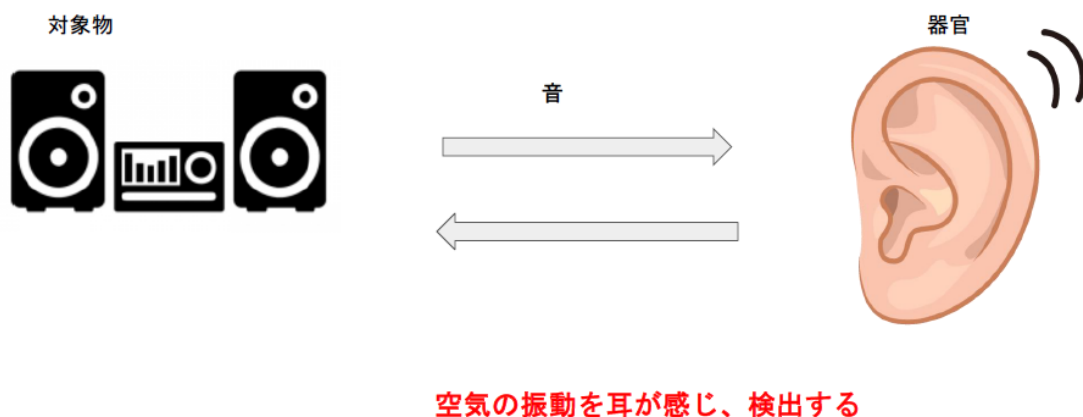
今度は、「聞く」はどうでしょう。おそらく、ほとんどの人が、こちら側に向かう矢印を引くでしょう。物が何か音を出していて、空気の振動を耳が感じて、検出します。

視覚はどちら側の矢印で表すでしょうか。見るって何だろう。人間の認識だと対象物に向

けての矢印だと思うんですね。物を見るって、何かあるなと思って、じっと見るわけですね。

聴覚：聞く、聴く

- 「きく」という動作を矢印であらわすと？



見るって何だろう？対象物に向かう矢印であるとなれば、「ビーム光線でも目から出しているんですか」と言わざるをえません。私たちは何となく、そういう風に考えています。日本語の動詞としての「見る」という動作は、そういう方向性で考えていると思います。ほとんどの言語が同じです。

視覚：みる

- 「みる」という動作を矢印であらわすと？



ところが、「見る」も「嗅ぐ」や「聞く」と同じ矢印なんですね。対象物が光を出して、光センサーである目が光を感じているわけです。すべて矢印は対象物からこちらに向いています。人間の認識はそうではないかもしれないけれども、対象物から何かが飛んできたも

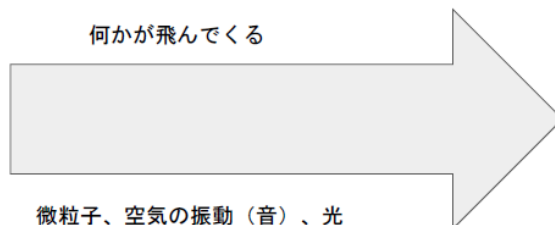
のを捕まえることでは、同じです。それが、微粒子であるのか、空気の振動であるのか、光なのか違いがありますが。というわけで、宇宙を観察する、星を見るということは、星、天体からの光を目に入れるということになります。

知覚する、検出する

対象物



何かが飛んでくる

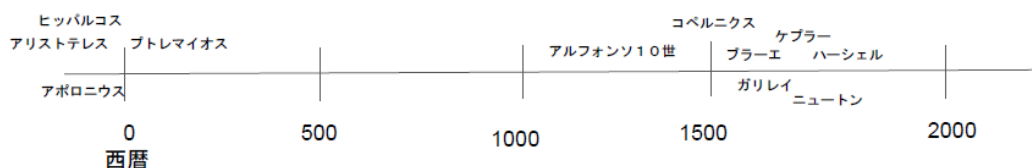


微粒子、空気の振動（音）、光

知覚器官



歴史上の天文学者と年表



- 望遠鏡の発展は1500年代後半-1600年あたりから
 - ティコブラーエ (1546-1601) 以降
 - 望遠鏡による最初の観測成果はガリレオ・ガリレイ (1564-1642)
- 望遠鏡発明後の新発見
 - 土星の輪
 - 天王星、海王星
 - 望遠鏡の発展は新しい発見を生み、新しい発見はさらなる発展を生む



■歴史上の天文学者と年表

星が輝いているというのは、昔からどの文明も、人を引きつけてやまなかったわけですね。だから、どの文明にもすべからく天文学がありました。エジプト文明も、中国文明も、マヤ文明も、どこに行っても、必ず天文学はあったんですね。そこ独自の暦があり、惑星の向こ

うは、こうなっているというのは、皆が認識できていました。これは年表ですが、天文学の歴史が、どこまで遡れるかっていうとよく分からない。もう訳が分からないぐらい、昔にも天文学があったはずです。名前が残っている天文学者というのは、この辺のギリシャ時代に、アリストテレスとか、プトレマイオスとか、そういう名前が残っています。この人たちは、哲学だけやっていたわけではなく、すべての学問をやっていました。どこの文明でも、何をもって観測していたかと言えば、人の目以外に手段はありませんでした。それに代わる、あるいは目を補助する道具として、望遠鏡が西暦 1500 年頃に発明されました。今から見ると 500 年ほど前ですが、科学の歴史として振り返ると、えらく時間がかかったなという感じを持ちます。

望遠鏡の発明後に、宇宙に関する私たちの興味がずっと継続していたわけです。私たちの認識と理解は格段に上がっていきしました。望遠鏡の発見後にいろいろな発見が相次ぎました。例えば、土星というのは人間が惑星のひとつとして土星があるというのは、どの文明でも認識されていましたが、輪があるというのは、望遠鏡が発明されて初めて認知されました。それから、土星よりもさらに遠くにある天王星や海王星は、惑星として認識されていなくて、望遠鏡の発明を待たなければならなかったのですね。望遠鏡の発展は新しい発見を生み、新しい発見はさらなる発展を生みました。この辺りから、科学がどんどん、どんどん進化していきしました。望遠鏡を発明したのは、ガリレオ・ガリレイです。ガリレオは、見るというのがどういうことか、私たちが思っている視点を既に脱却しているのが、すごい点です。望遠鏡というのは、光を集める物なんですね。光を集めて、それを目に入れることを補助する道具です。逆の認識からは、絶対に望遠鏡が生まれませんでした。それにいち早く気づきました。ガリレオはいろいろな功績がある偉大な科学者ですが、望遠鏡の発明一つを取っても偉大だと思います。

太古の昔から、宇宙は人類を魅了してきました。どの文明にも天文学があり、観測は、人間の目で行われました。観測とは、宇宙からの光を検出することでした。

■観測方法の発展

人類の観測方法の発展を見ていきましょう。まずは、肉眼だけで観測してきました。望遠鏡が発明されて、何が変わったかという、人間の目より大きい口径を持った望遠鏡で光を集め、肉眼で観測しました。さらに科学が進んでくると、人間の目を何とか改良しようとなります。なるべく暗い物を見ようと、目の代わりに光センサーを新しくする考え方が発展したわけですね。人間の目には見えない物でも捕まえられる感度のいいセンサーを作ろうとしてきました。人間の目自体は、あまり改良しようがありません。目の欠点はいくつかあります。1つ目は、残らないんですね。データとして残すことができない。昔の観測の結果は、人間の目を見たもの、もしくは望遠鏡を使って人間の目を見たものを、スケッチして書き残してきたわけです。それであれば、限界があります。データとして残したい。もしくは

画像として残したいというわけで、19 世紀に写真が発明されました。天文学者がそれを見て、これで天体の写真を撮ろうと考えました。望遠鏡の後ろに人間の目を置くのではなく、そこにカメラを置いて記録しました。こういう鮮やかな天体の写真が 19 世紀の終わり、もしくは 20 世紀の初めには残せるようになりました。

観測方法の発展：望遠鏡と光センサ、受信機

- 望遠鏡：光を集めるもの
 - 暗いもの → 光が少ない
 - 光をたくさん集める → レンズ、鏡で集める
 - レンズを組み合わせて作ったのが望遠鏡
 - 拡大して、見る



- 光センサ、受信機：目の代わり
 - 目よりも感度の高いものを作ることができる
 - 目に見えない光も検出できる
 - データとして記録できる



光センサ

観測 (observation): 観て、測る

「目」の進化と改良？

- 人間の目じたいはあまり改良のしようがない
- 目の欠点、足りないもの
 - 残らない：目で見て、スケッチしていた
 - データ、画像として残したい
- 目の代わりを作ろう！ 何か光を感じるもの
 - 19 世紀：写真フィルムの開発
 - 見て終わり、から記録として残せる時代へ
 - 20 世紀後半：CMOS, CCD 光センサの開発
 - フィルムによる銀塩写真からデジカメの時代へ



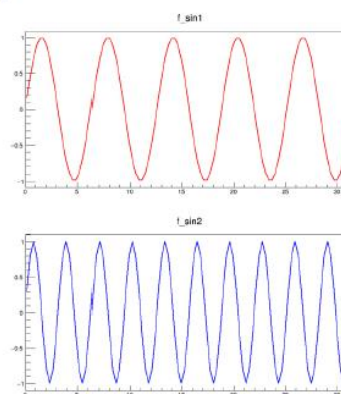
さらにここから進展します。カメラで撮れる、目に見えるというのは、光の中でもごく一部です。光というのは、波長により特長付けられています。音は、空気の振動の波です。音には、高い音や低い音があります。それは何が違うかというと、揺れている振動の速さ、もしくは波長が違うという言い方をします。若者だけに聞こえて、ある程度の年齢になると聞

こえなくなる音もあります。扇風機の音は、人間の耳に聞こえる音と聞こえない音があります。人間の耳に聞こえない音は、高い音として超音波があります。超音波でも検出できる音のセンサーが 20 世紀に開発されます。

光 - 電磁波

- 音：空気の振動の波
 - いろいろな速さで振動する音がある
 - 音の高さは空気の振動の速さで決まる
 - 高い音：速い振動（波長の短い振動）
 - 低い音：ゆっくりした振動（波長の長い振動）
 - 人間の耳に聞こえる音と聞こえない音がある
 - 人間の耳に聞こえる音 → 可聴域音
- 光・電磁波：空気がなくても空間を伝わる波
 - いろいろな速さで振動する電磁波がある
 - 光の色は振動の速さで決まる
 - 目に見える光と見えない光がある
 - 人間の目に見える光 → 可視光
 - 振動の速さ（波長）ごとに名前がついている
 - 電波
 - 赤外線
 - 可視光 ← 人間の目で検出できる光
 - 紫外線
 - X線
 - ガンマ線

例：蚊の音
例：扇風機の音



似たようなことが、音だけではなくて、光にも起こります。光というのは、電磁波と呼ばれる物理現象の一種です。例えば、照明の光とか、太陽に光など、人間の目で感じる事ができるのは、可視光と呼ばれる光です。人間の目に見える光と見えない光があるというのが、19 世紀終わりから 20 世紀初めぐらいに分かってきました。それは波長が長いとか短いとかという言葉で表されました。可視光というのは、電磁波といわれるものの真ん中に位置する光で、私たちは光を目で見ることができる視覚を持っています。波長が長いものが電波ですね。電波というのは、テレビや携帯電話で人工的に飛ばしているものです。実はそういう電波も宇宙からたくさん届いています。電波よりも少し波長の短いものは赤外線です。さらに波長の短いものは紫外線、X 線、ガンマ線と呼ばれるものです。今までは目に見えなかったもので、その存在は知らなかったけど、実はそういうものがあるというものが、20 世紀以降分かるようになりました。なので、夜空を見ると、いろいろなものが飛んできています。

19世紀後半以降に物理学が大きく進展

- 目に見えない光（電磁波）の存在が確認された
 - 本当はいろいろ飛んでいるのに、人間の五感（視覚）では知覚できなかった
 - 電波、赤外線、紫外線、X線、ガンマ線
 - 例えば太陽からも電波、赤外線、紫外線、X線がきている
- 人間の目の代わりになる電磁波センサー（検出器）の開発が進んだ
 - 例：電波の検出器 ... アンテナ



これらは人工の電波を検出するもの

■物理学の進展、観測の多様化

太陽からは光が飛んできています。私たちは可視光の部分だけ感じています。それ以外にも赤外線とか紫外線も出しています。私たちが知らなかっただけです。19世紀後半以降に物理学が大きく進展し、人間の目には見えない電磁波の存在が確認されました。人間の目の代わりになる電磁波センサーの開発が進みました。

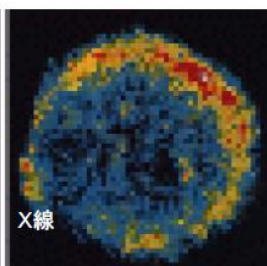
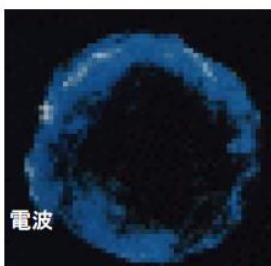
ガンマ線、赤外線、X線のセンサーを置けば、今まで気づかなかったけど、来てるなっていうのが分かるようになったわけですね。電波を捕まえる代表であるアンテナなどを使えば、捉えることができます。

電波、赤外線、可視光、X線で「見た」天体

異なる波長で「見る」と、同じものが違って見える！

ある銀河（星の大集団）

超新星残骸（星が一生の最後に起こした大爆発の残骸）



(上) <https://apod.nasa.gov/apod/ap051020.html>
Credit: K. Gordon (U. Arizona), JPL-Caltech, NASA

(下) <https://apod.nasa.gov/apod/ap190909.html> (trimmed and scale adjusted)
Image Credit & Copyright: Amir H. Abolfath (TWAN)

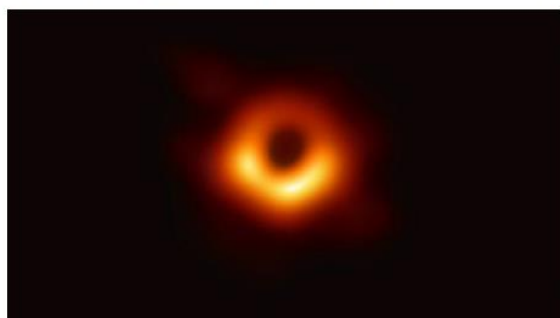
いろいろな波長の光で宇宙を観測できるようになった：「多波長天文学」「マルチ波長天文学」(multi-wavelength astronomy)

今までは、太陽とか星を人間の目で見ていました。それに対し、電波の検知器で捕まえること、電波を電波で見るといいう言い方をします。例えば、この写真は、星が爆発したところを写真で撮ったものです。星というのは、無限の過去から無限の未来までずっと存在するわけではありません。ある時生まれて、何億年と過ごした後、最後に爆破するものがあるんですね。その星が大爆発を起こしたものを、波長で検出しました。また、ある銀河を赤外線と可視光で見ると、こうして同じものが全く違って見えるんです。20 世紀に入って、科学が進んで、いろいろな波長の光で、宇宙を観測できるようになりました。いろいろな波長で捕まえることができるという意味で、「多波長天文学」「マルチ波長天文学」が花開きました。本日のタイトルに入れた「マルチメッセンジャー」の話は、ここでのマルチという意味で同じです。

宇宙を観測するっていうのは、どういうことか。電磁波を観測することによって宇宙観測が進展できたことをお話しました。電波、赤外線、X 線など宇宙から、いろいろなものが来ています。これらは人間の目には見えませんでしたが、人間が作ったアンテナや検出器を使えば、捕まえられるようになり、見えなかった物が、見えるようになるわけですね。もし、電波が見える人がいたら、夜でもたいして暗くないということです。

EHTによるブラックホールの撮影

- イベント・ホライズン・テレスコープ
 - 「イベントホライズン」はブラックホールのぎりぎりはしっこのこと
 - 電波観測
- ブラックホール自体は見えないが、そのまわりを漂う物質は光って見える
 - 目には見えないが、電波を出しており、「電波で光って見える」
- M87という銀河の中心にあるブラックホールの「撮影」に成功！（2019年）



■多波長の恩恵、ブラックホールの撮影

いろいろなものを観測できるようになって、どういうご利益があったかというところ。この写真は5、6年前に行われた「イベント・ホライズン・テレスコープ」という国際共同プロジェクトで、M87 という銀河の中心にあるブラックホールの撮影に成功しました。電波望遠鏡を使って、ブラックホールの写真を撮ったものです。ブラックホールというのは、何んでもかんでも吸い込む訳の分かんない天体なんですね。宇宙に穴が開いてるわけじゃなくて、元は天体です。非常に重力が強くて、何者も逃げ出すことができない。ブラックホール自体は

暗くて見えませんが、その周りに漂う物質は光って見えます。それらを撮影することで、ブラックホールを撮影することができた写真です。電波による観測の大きな成果です。

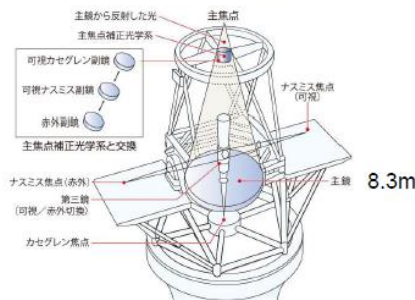
マルチな波長で観測するメリットは何か。

異なる波長の光が飛んでくるということは、異なる現象が発生しているわけです。可視光が天体から飛んでくるっていう時には、可視光が発生する何らかの現象が起こっています。X線が天体から発せられて、私たちのところまで届くというと、X線を発するだけの何か別の現象が起こってるはずですよ。X線を発するということは、そんなに簡単なことではありません。X線が飛んできた時に物理学を使って、何が起きているのかを推測することができます。天体で起きていることを、私たちは理解したい。宇宙膨張、星の誕生、成長、進化と死、銀河を漂うガスの存在など、いろいろなことが分かるようになってきました。物理学を使って理解するのが、現代の天文学、宇宙物理学というものです。

望遠鏡：可視光観測用



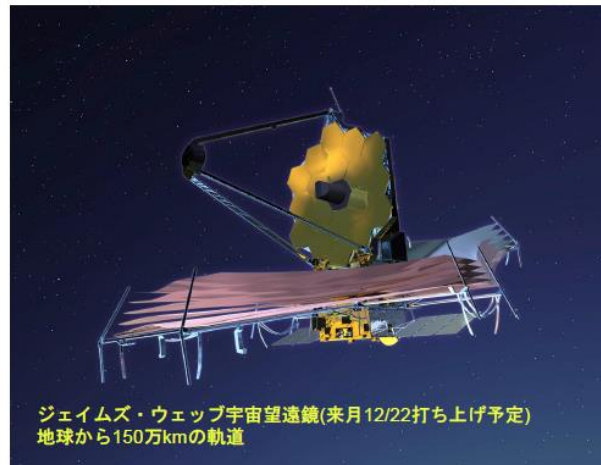
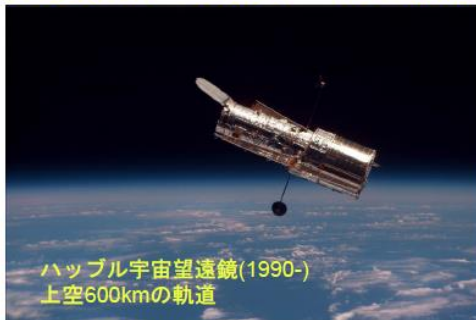
目の代わりにカメラ



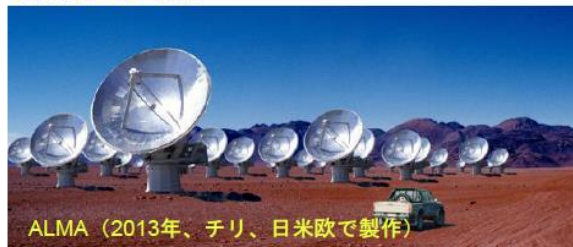
望遠鏡にもいろいろなタイプがあります。目で覗くタイプもあれば、目の代わりにカメラを付けたものもあります。ハワイには口径の大きい「すばる望遠鏡」もあります。大気の影響のない宇宙に上げた望遠鏡、ハッブル宇宙望遠鏡もあります。ハッブルの後継として一昨年に打ち上げられた「ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡」は、さらに性能が良くなって、今後20年ぐらひは大活躍すると思います。天体現象を捉えるためにすごく口径の大きいアンテナ・電波望遠鏡が世界各地に作られていて、南米チリ、中国、日本にも何カ所あります。

ここまでが第一部で、マルチ波長な宇宙観測のお話をしました。

望遠鏡：可視光・赤外線観測用の宇宙望遠鏡



電波望遠鏡



■物理学者とは何者か

ここで、ちょっと寄り道しようと思います。そもそも物理学者って、何なのかという話をしようと思います。「お仕事、何されているんですか」と聞かれると、私は何と云えばいいのか迷うんですね。「物理学者です」と言うと相手が困惑します。「宇宙線物理学研究者」と言うともっとわからない。「研究者」とか、「大学教授」とか、「大学教員」とか言い方がありますが、私は「大学教員です」と答えています。「大学教員と答える」と次の質問は、「何を教えているのですか」と聞かれます。「何を研究されてるんですか」と質問したとすると、その人は多分大学関係者です。

ちょっと寄り道：研究者、物理学者？

- 「お仕事なにされてるんですか？」
 - 物理学者です
 - 宇宙線物理学研究者です
 - 研究者です
 - 大学教授です（大学の助教です、准教授です）
 - 大学教員です
- 「大学教員です」と名乗る人間への次の質問は？
 - 何を教えてるんですか
 - 何を研究されてるんですか
- 大学教員の多くは、自己認識は「教員」というよりも「研究者」
 - 何かを教える人というよりは、何かの研究をしている人
 - 教える人になりたかったわけではなく、研究したかった人になる
 - 研究している人が授業もするところ
 - プロの研究者ではあるが、教える人としてはいつまでたってもド素人
 - （国公立大学の教員はかつては「教官」だったが、大学法人化後は「教員」）
 - （国公立大学の教員、職員はかつては国家公務員/地方公務員、現在は準公務員：給与は人事院勧告にしたがう、文科省共済に入る、etc.）

大学教員の多くは、自己認識は「教員」というよりも「研究者」です。教える人になりたかったわけではなく、研究したかった人になるものです。私たちは、プロの研究者ですが、教える人としては、いつまでもド素人だと思います。大学の先生って、何を言っているのかわからないことがあります。いかなる教育の訓練を受けているわけではありません。教員免許もありません。国立大学の教員はかつて「教官」でしたが、大学法人化以降は「教員」と呼ばれています。大学の教員は「公務員なんですか」と言われると、公務員ではありませんが、公務員に準ずるところはあると思います。給与は人事院勧告に従っています。

物理学者

- 在野でのプロの物理学者は存在しないと思われる
 - 収入の得ようがない
- 普通は大学や研究所に所属して給料をもらう
 - 大学の収入：学費、文科省や設立地方公共団体からの補助金
 - 研究所：文科省からの補助金、企業からの寄付
- 物理学の研究？
 - 素粒子物理学
 - 物性物理学
 - 半導体
 - 超伝導、超流動
 - 生物の物理
 - 地球の物理
 - その他ありとあらゆるものが物理の研究対象
 - 宇宙：物理学でしか扱いようがない
 - 宇宙から光が来る。光はなぜ発生して飛んできた？ → 物理学

物理学者とは何か。在野でプロの物理学者は、収入の得ようがないので存在しないと思わ

れます。普通は大学や研究所に所属して給料をもらっています。では、大学はどうやってお金を得ているのかというと、学生からの学費、もしくは文科省、地方公共団体からの補助金ですね。研究所は、文科省からの補助金や企業からの寄付などがあるかもしれません。

物理の研究と言うと、「素粒子物理学」は、その物をどんどん割って割って割って、究極的に何に行き着くのかというのを調べています。もう1つ大きな潮流として、「物性物理学」と呼ばれる物の性質を理解しようというものもあります。

例えば半導体、超伝導とか超流動とかを研究する人もいます。それから生物学的なことをやっている人もいます。地球の研究をしている人もいます。宇宙の研究はもちろん物理学です。どこの分類になるだろうという研究もあり、その他ありとあらゆるものが物理の研究対象になっています。

私自身は物理学科を選択し進学しました。幼稚園の時は、宇宙飛行士なりたかったのを覚えています。その後、小学校に入ると、皆と同じように「野球選手がサッカー選手になる」と変わり、中学校になると「宇宙の研究者になりたい」と言っていました。高校に入ると、ギタリストか宇宙の研究者になりたかったと思ったんですね。

高校当時は、漠然と「天文学科」を選ぶと思い込んでいました。「天文学科」は、日本には東大と東北大の2つの大学にしかありません。天文学、宇宙をやっている大学は、たくさんあります。愛媛大学にもあります。天文学科がないだけで、どこも物理学科の中にあるんですね。高校時代、物理はできましたけれども、面白いとも得意とも思っていませんでした。それでも、宇宙研究は物理学の一部ということで、物理学科を選択することになりました。

物理学科を選択

- なりたかったもの
 - 幼稚園：宇宙飛行士
 - 小学生：プロ野球選手、プロサッカー選手
 - 中学生：将棋の棋士、裁判官、宇宙の研究者
 - 高校生：ギタリスト（ヘヴィメタル）、宇宙の研究者
- 高1の秋ごろ、高橋先生との面談（文理選択）
 - 「医学部行かんの？」
 - 「は、なんででしょうか？」
 - 「何したいん？」
 - 「宇宙がやりたいです」
 - 「そしたら物理勉強せんとね」
 - 「は、なんででしょうか？」
- 当時は漠然と「天文学科」を選ぶのだと思い込んでいた
 - 日本に「天文学科」は2つの大学にしかない：東大、東北大
 - ただし天文学、宇宙をやっている大学はたくさんある：どれも物理学科/物理学専攻の中にある
 - 東大、東北大の天文学科も、多くの授業は物理学科とかぶっている
 - （高校物理はできたけど、面白いとも得意とも思っていなかった）
 - 宇宙研究は物理学の一部



■研究者、物理学者になる方法

物理学者になるのはどうしたらいいか。まずは博士号を取る必要があります。大学に4年

間行きます。理科系の大学というのは3年間、高校の延長のような勉強をします。4年生で研究室を選んで所属し、研究に参加します。大学の教員っていうのは皆、研究室を持っている。私自身も宇宙線物理学研究室というのを、大阪公立大学でやっています。大阪公立大学の物理学の中には20ぐらいあります。学生は4年生になると選択し、希望が殺到する研究室は成績順で入ることもありますね。因みに物理では、「素粒子物理学」と呼ばれる研究室が一番人気があります。いつも人気があって、成績がいい人しか入れない。

宇宙を志望してくれる学生は、多くいます。うちの研究室は、砂漠で観測しているので、3年生向けの研究室配属を前にした学生に対し、「うちに来ると砂漠送りだからね」と毎年毎年警告しています。それでもヘラヘラ笑って、2人か3人が必ず入ってきてくれます。ありがたい。その後、7割とか8割ぐらいの学生が、大学院修士課程に行って、2年間研究し学会発表をします。その後、ごく一部が博士課程に進み、3年間行って研究をします。博士論文を提出し、審査して合格ならば博士号が取得できます。最大5年間いることができ、4、5年かかることも珍しいことではありません。30歳の時には取りたいなというのが目標ですね。博士課程に行く学生は、3冠を目指します。3冠王って何かというと、30歳までに博士号を取る。それから30歳までに最初の就職をする。最後の難関が、30歳までに結婚するです。因みに、私は3冠を達成しました。

博士号を取ってからどうするか。今では、企業も博士号を取った人を結構高く評価してくれています。企業ではなくて、まだ研究を続けたいという人は、大学の教員のポストを取ろうという道が始まるわけです。だいたい、任期付きの研究員になります。そういうポストは、かなり多くあるんです。任期は2年か3年かで更新することになり、かなり不安定です。研究員として実績を上げながら、大学や研究所の常勤研究者、助教以上を目指します。

どれのこれも公募です。書類の段階で落とされたり、面接で落とされたり、就職活動みたいなことになってますが、なかなか難しいんですね。その中の1番にならないといけません。いろいろな分野がありますが、その分野で採用されるのは、たった1人なんです。だから、1番にならなきゃいけないっていうのが、なかなか大変です。私もこれまでで1番うれしかったのは、助教になった時でした。毎年毎年、1年更新で任期付きの研究者をやっているという時には、何となく精神的にきつかった気がします。

もちろん助教にも終身雇用と任期付きもあります。准教授になるのも、普通は公募です。助教から准教授になるという内部昇任は、研究重視の大学では、ほとんどありません。不可能ではないんですけど、普通は避けます。競争していない大学は評判を落とすからです。教授になるのにも、普通は公募で競争します。例えば、東京大学の准教授だった人が、公募して内部で勝ち上がることはありますが、公募もせず上がることは、今ではほとんどありません。

大学での物理学者

	月	火	水	木	金	土	日
1		研究グループのミーティング		研究グループのミーティング	研究室のミーティング		
2	大学院生と研究打ち合わせ		研究グループのミーティング				
3	学部生の実験の授業	物理学専攻の会議	研究室のミーティング	物理学専攻の会議			
4		大学院の授業					
5					学部の授業		

■大学教員のお仕事

大学で物理学者は何をしているかというと、表は、私の1週間を表したものです。1、2、3、4と書いてるのは、1.5 時間刻みのスケジュールです。講義が 1.5 時間です。大学院生と研究の打ち合わせをしたり、授業をしたりしています。また、入試問題を作ったりもしています。

大学教員のお仕事と言えば、講義をやり、研究をし、大学内の「なんやかんや」もあります。入試制度の改革を議論することもあります。カンニングした学生の処遇を話し合うこともあります。入試問題も作っています。たまに執筆の依頼もあります。講演することもあります。研究費獲得のための申請書類を書くこともあります。若い研究者はひたすら研究していますが、教授クラスは、文科省に資金を申請して取ってくる必要があります。

宇宙研究に何の意味があるのか。何の役に立つのか。「役に立つ」とは、病気が治る、作物がよくできる、生活が便利になる、お金になるということでしょうが、理学部・理学研究科でやっている研究は、基本的にはすぐには役に立ちません。だいぶ時間が経ってから実用化されて役に立つこともありますが、いくら時間を経ても、役に立たない研究もあります。ほとんどの物理学は、そうだと思います。ましてや宇宙なんというのは、大体そうです。では何でそんなことやっているのか。それはもうこれに尽きます。ただ知りたいからです。理解したい。我々の知の地平線を広げたいからです。では、お金はどこから出ているのかというと、大学も研究所も文科省から来てるわけで、原資は税金です。だから社会還元が非常に重要です。こういう場を持たせていただくというのは、非常に大事なことです。

大学教員のお仕事

- 講義
- 研究
 - 研究グループのミーティング
 - 研究室のミーティング
 - 研究成果をまとめる（論文を書く）
 - 学会で発表
- 大学内のなんやかんや
 - 入試制度の改善を議論する（女子枠つくろうとか）
 - カンニングした学生の処遇を話し合う
 - 保護者からのクレームに対応
 - うちの子の単位を落とすとはなにごとか、すみやかにそれを連絡してこなかったのなにごとか
- 入試問題をつくる
 - 採点する
- たまに執筆
- たまに講演
- 研究費獲得のための申請書類を書く

科学者がよく引用するアメリカのエピソードがあります。1960年代か 70年代か、当時、冷戦の時代の真っ只中のことです。国家の最重要事項は、「国防」でした。その中でも、人間の興味、こういうことを知りたいっていうのがありました。アメリカのある所に、素粒子物理学の実験をするためのものすごい設備を作りました。政府、ホワイトハウスの偉い人がそこに視察に来た時のことです。「この装置は、我が国を国防の役に立つのか」と問われ、プロジェクトの代表者が「この施設は、我が国を守るに足る国にします」と答えました。これは、私たち科学者だけの論理かもしれないけど、やっぱり人間っていうのは、知りたいと思うわけですね。

この前、大河ドラマ見てると、こういうセリフがありました。「人間は、正しく生きたいと思うより、楽しく生きたいんだ」。スポーツや将棋を観戦するとか。それに加えて、宇宙に対する興味を突き詰めたいという思いは、常にありました。太古の昔から天文学がありました。私のこういう話、もしくは研究が、皆さんにとって面白いと思っていただけるのであれば、私たちの存在意義は保たれたと思います。こういう場を持たせていただくことは重要です。

■マルチメッセンジャーとは

話をタイトルに戻したいと思います。最初にマルチな波長で、いろいろな波長で宇宙を観測しようという話をしましたが、これからは、マルチメッセンジャーについて話をします。

おさらいとして、宇宙からはいろいろものが飛んできています。昔は、可視光だけを目で観測していました。いろいろな電磁波が来てるということ分かるようになったので、マルチな波長による天文学が発展しました。

「マルチメッセンジャー」という言葉が生まれたのは、実はここ 10 年ぐらいだと思って

ます。メッセンジャーは、辞書的には「メッセージを運んでくる人」という意味です。宇宙からいろいろなものが飛んで来ていますが、ただ飛んできているだけではなく、何らかの宇宙の情報を運んできているはずです。という意味で、「メッセンジャー」という言葉を使っています。

宇宙から飛来するのは、光や電磁波だけではない。それ以外のものが飛来しているのがわかったのは、ここ最近のことです。具体的に何かというと、宇宙線とか、ニュートリノとか、重力波などです。電磁波ではないこういうものを、まとめてメッセンジャーと呼んでいます。

それが複数の種類があるので、宇宙線だけじゃなくて、ニュートリノだけじゃなくて、重力波だけじゃなくて、全て捕まえて宇宙を理解しようというのが、講演のタイトルになっているマルチメッセンジャー観測というものです。

■ニュートリノとは


ニュートリノの話をしましょう。素粒子の一つで、何でもスカスカと通り抜けます。宇宙から飛来していますが、地球に到達すると地球も貫通しています。ほとんど何もしないまま、私たちの体も貫通しています。でも、ごくごく稀に光を発することという現象があります。

なので、それを捕まえようというわけです。例えば、巨大な水タンクを用意します。水タンクの壁面に光センサーをいっぱい並べています。小さいとダメなので、バカでかいものを作って、ニュートリノが走った時に、たまに光を発することがあり、それをもれなく掴もうということです。

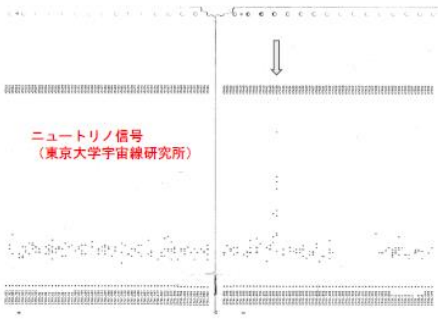
<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/whatsnew/2017/02/SN1987A.html>

超新星 1987A からのニュートリノ

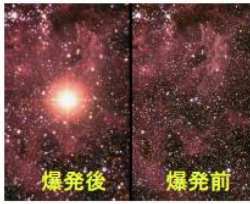
- 1987年、お隣の銀河である大マゼラン雲の中で星が爆発した
 - まず可視光で観測された。電波等も確認された。
 - 超新星爆発が起こると、ニュートリノも飛来すると予想されていた
 - 既に稼働していた神岡鉱山地下に作られたニュートリノ検出器（カミオカンデ、主目的は別にあった）でニュートリノが検出されているのでは？
 - ほんとにあった！



カミオカンデ内部
(東京大学宇宙線研究所)



ニュートリノ信号
(東京大学宇宙線研究所)



爆発後 爆発前
可視光観測

爆発の規模と距離から予想される、観測されるべきニュートリノの数は実際の観測と一致！

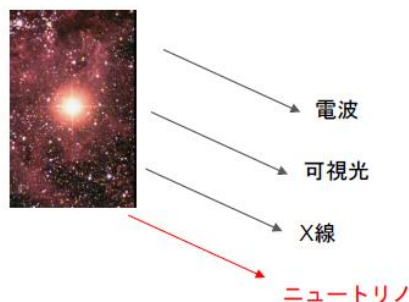
どうしてこういうことをするのかと言うと、ニュートリノが飛んでくるというのは、それなりの理由があるはずだからです。電磁波が発生するのは、電磁波が発生するだけの理由があり、ニュートリノが来るだけの理由があります。私たちの知っている現象が、宇宙でも起

こっているから、飛んできているということです。その新しい宇宙現象の観測に 1 番最初に成功したのは、日本でした。1987 年ですね。私は中学 1 年生でした。

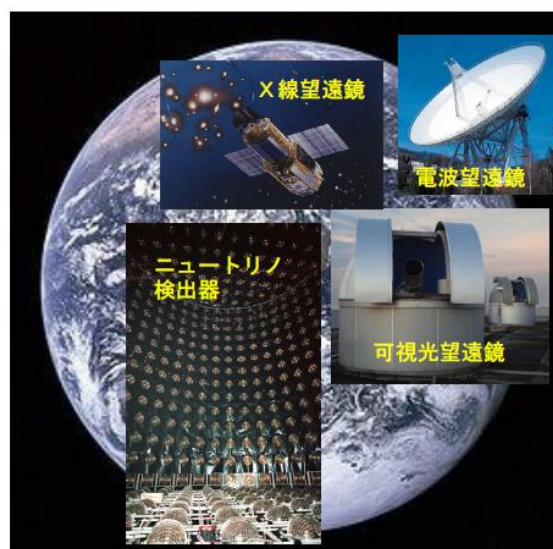
私たちは渦巻き型の銀河の中にいます。宇宙には銀河がたくさんあります。お隣の銀河・大マゼラン雲の中で、星が爆発しました。いわゆる超新星爆発が起これば、ニュートリノも飛来すると理論的に予想されていましたが、それを初めて検出することに成功したのが、日本でした。神岡鉱山地下に作られたニュートリノ検出器（カミオカンデ）です。

それは巨大な水槽です。すごく高さがあるタンクの中に水を張っておいて、壁面に光センサーが並んでいます。その中にニュートリノが走ると、ほとんどの場合は何も起こりませんが、ごくごく稀に光を発し、それが見えたんですね。人類が初めて天体から飛来するニュートリノの検出に成功したわけです。

超新星 1987A からのニュートリノ



- 超新星1987Aは人類初の「マルチメッセンジャー観測」
 - 太陽を除く
- カミオカンデ生みの親の小柴昌俊は2002年ノーベル賞受賞
- その後にスーパーカミオカンデへ発展
 - 別の研究でもう1つノーベル賞！（2015年梶田隆章）
- 現在はハイパーカミオカンデ建設中（2021年5月着工、2027年完成予定）



これでわかったことは、星の内部はどうなっているのか。ニュートリノは何でもかんでも通過しますから、これは、星の中心部から出てきたものだったんですね。その星の内部はどうなってるんだろう？っていうことに関して、理論的な進展がありました。その後、カミオカンデの生みの親の小柴昌俊さんが 2002 年にノーベル賞を受賞し、その後、カミオカンデをもっとすごくしようということで、スーパーカミオカンデへ発展し、現在も稼働しています。さらにその上のハイパーカミオカンデというのを建設中です。

カミオカンデは巨大な水のタンクを使って観測しましたが、別に氷でもいいじゃないかということで、氷がいっぱいある南極の地下に光センサーをたくさん埋設しました。南極に 100 メートル間隔で縦穴を掘って、そこに光センサーを 1 万個ほど埋めました。そこにニュートリノが通ると、大抵は何も起こらないのだけれど、同じように、ごくごく稀に光を出します。これがアイスキューブという実験です。2017 年 9 月 23 日早朝（日本時間）、アイスキューブが、ものすごいニュートリノを検出しました。既に電磁波観測で知られていた天体

と同じ天体と推定されました。X線、ガンマ線、ニュートリノなどマルチメッセンジャー観測が初めて2017年に実現しました。

カミオカンデの発展

	着工	開始	高さ	水量	光センサ数
カミオカンデ	1979	1983		3,000t	1,000
スーパーカミオカンデ	1991	1996	40m	50,000t	13,000
ハイパーカミオカンデ	2021	2027	71m	260,000t	40,000

写真提供 東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設

カミオカンデ

スーパーカミオカンデ

(C) 東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設

南極での宇宙ニュートリノ観測

- カミオカンデは巨大な水タンク、壁に光センサ
- 南極には氷がいっぱい -> 天然の「氷タンク」!
- アイスキューブ実験: 南極の氷中にたくさんの光センサを埋設

南極大陸

あすか基地 日本

昭和基地 日本

みずほ基地 日本

ドームふじ基地 日本

南極点

アムンゼン・スコット基地 アメリカ

IceCube

IceCube Laboratory Data is collected here and sent by satellite to the data warehouse at UW-Madison

IceTap

50 m

1450 m

2450 m

IceCube detector

Antarctic bedrock

86 strings of DOMs, set 125 meters apart

60 DOMs on each string

DOMs are 17 meters apart

Digital Optical Module (DOM) 5,160 DOMs deployed in the ice

Amundsen-Scott South Pole Station, Antarctica A National Science Foundation-managed research facility

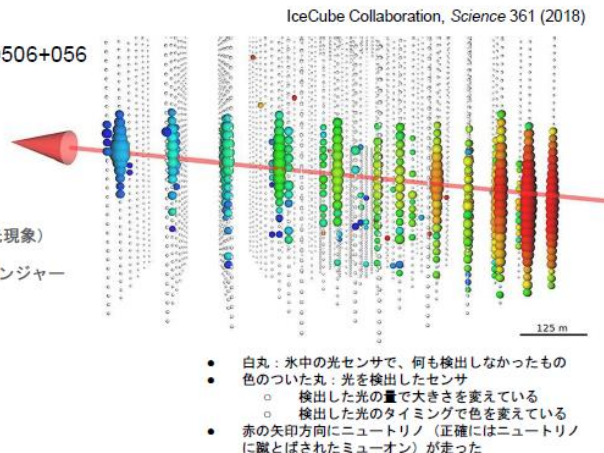
図提供: 千葉大学

2017年9月23日 日本時間早朝

● IceCube がものすごいニュートリノを検出

- IceCube-170922A と名付けられた
- 既に電磁波観測で知られていた天体 TXS0506+056 と同じ天体と推定された

- これと同じ方向からの電磁波観測では？
 - 電波、可視光線、X線、ガンマ線で「フレア」（増光現象）が観測された
 - 世界で2例目の電磁波-ニュートリノのマルチメッセンジャー事象

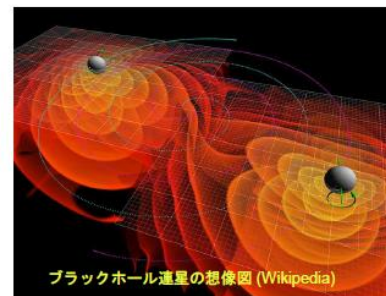
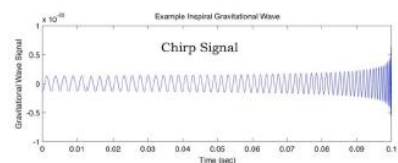


■ 重力波とは何か

重力波というのは、重力を帯びている天体が揺れると、揺れた影響が遠くにも、さざ波のように空間を伝播する現象です。アインシュタインが1915年に、重力波の現象を理論的に予言していました。重力波が到来すると、空間が歪み、物の長さが伸び縮みしますが、その量は極めて小さく検出は困難でした。2015年に検出器の発展により、初めて観測に成功しました。どういう時に重力波が放出されるのかといいますと、超新星爆発とか、連星の合体が起こった時です。

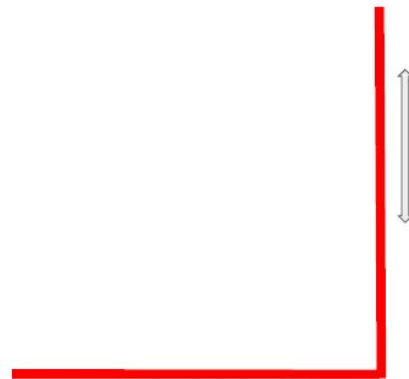
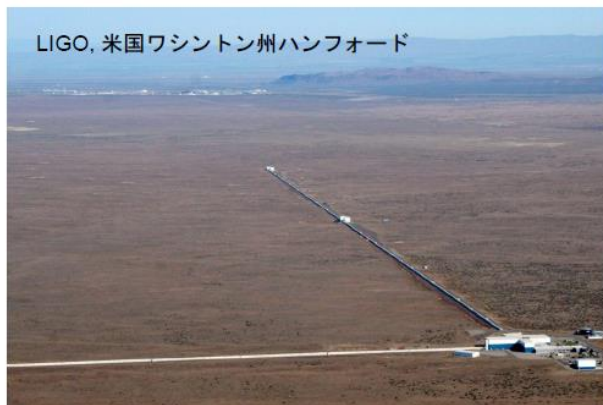
重力波

- アインシュタインの一般相対論が予言する「時空のさざなみ」
 - 重力は「空間の曲がり」
 - 重い天体が運動すると、「曲がった空間」が空間を伝播する → 重力波
- 重力波が到来すると、空間がゆがみ、ものの長さが伸び縮みする
 - しかしその量はきわめて小さく、検出は困難
 - 「レーザー干渉型重力波検出器」の発展により、2015年に初観測成功
 - アインシュタインの重力波存在の予言から100年目！
- 重力波が放出される原因
 - 超新星爆発
 - 連星の合体
 - 多くの星はペアをなし、互いの周りをまわっている（太陽はそうではない）
 - 星はそのうち死を迎え、中性子星どうし、ブラックホールどうし、またはミックスの連星になる
 - 少しづつ重力波を放出しながら、互いに近づき、お互いに落ち込もうとする → やがて衝突
 - 衝突直前では重力波が大きくなり、検出にかかる可能性がある



多くの星はペアをなし、互いの周りを回っていて、重力の影響が周りに広がっていきます。

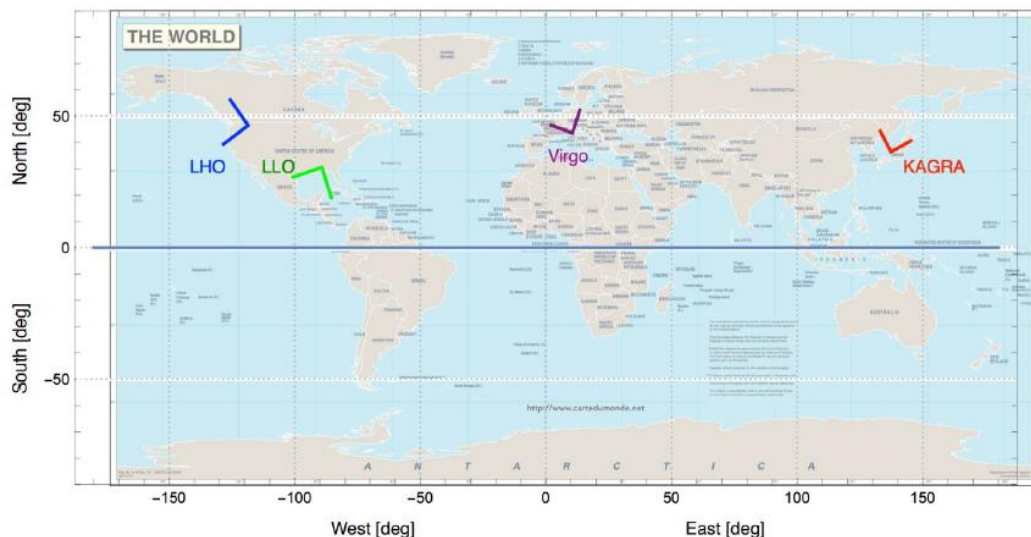
レーザー干渉型重力波検出器



レーザー光を往復させる
重力波が来ると、タテとヨコで
長さが変わる
→ 往復の時間が変わる

世界の重力波干渉計

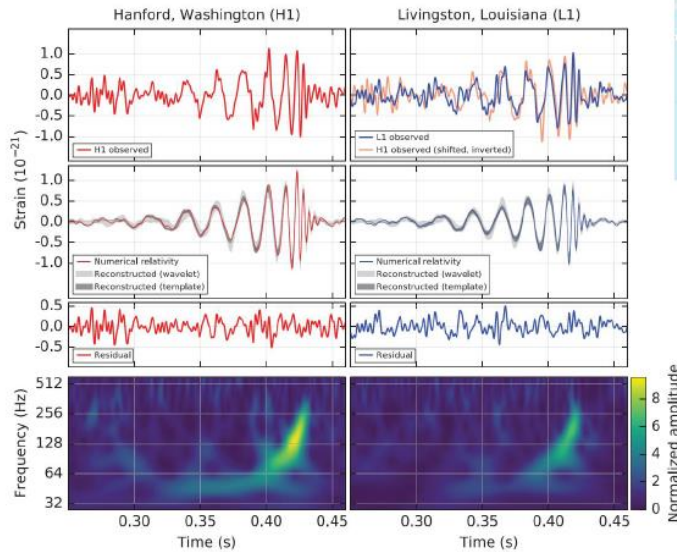
Brady, Losurdo, Shinkai, "LIGO, VIRGO, and KAGRA
as the international gravitational wave network", 2021



それが起こると何が起こるかと言えば、物の長さが変わって見えます。例えば、90 度違う方向にある同じ長さのものが、一方は伸びて、もう一方と長さが変わってしまう現象です。そういう現象を捉えようと、アメリカ合衆国に作られたレーザー干渉型重力波検出器です。長さ4キロ、4キロの L 字型での検出器で、レーザー光を往復させています。重力波が来ると、縦と横で長さが変わり、レーザーの往復時間が変わることになります。そういう原理で重力波を捕まえる装置は、世界に何カ所もあります。アメリカに 2 台、イタリアに 1 台にあり、日本にもカミオカンデすぐ近くの地下に、「KAGRA」という重力波干渉計を建設中で、来年くらいに動き始めます。アメリカ、イタリア、日本の 3 カ所での観測がスター

トします。

GW150914: 人類初の重力波検出



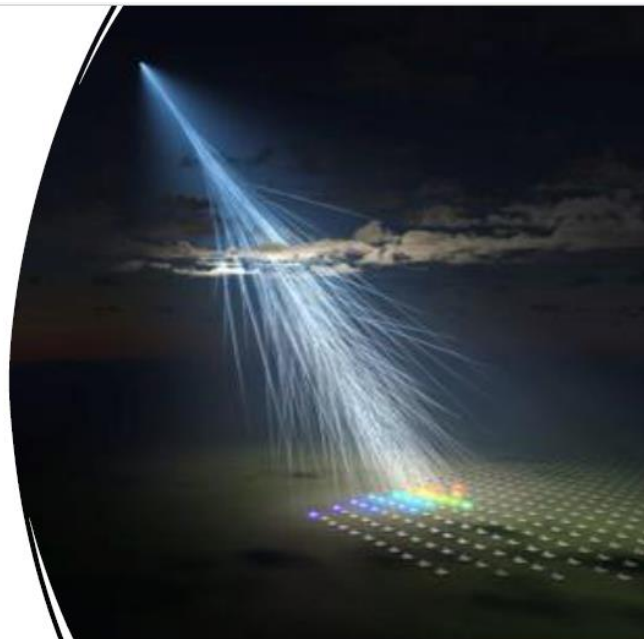
- アインシュタインによる予言からちょうど100年目
- 2か所で観測された波形が完全に一致！
- ブラックホール連星！
 - 35.4Ms + 29.8Ms
 - Ms: 太陽質量
 - より軽い中性子連星が先に見つかるだろうと思っていた

■ 宇宙線とは何か

最後に宇宙線を紹介します。私自身は、宇宙線の研究者です。宇宙線というのは、宇宙から飛来するエネルギーの高い放射線で、具体的には、陽子や原子核です。エネルギーが高いというのは、スピードが速いと思っていただいて結構です。宇宙線物理学は、物理学の一分野です。何でこんなにエネルギーが高いのか、全然わからない。人間が作ろうと思ってもとても作れない高エネルギーを持つに至った物理過程は何か、超高エネルギー現象を解明することが究極の目的です。

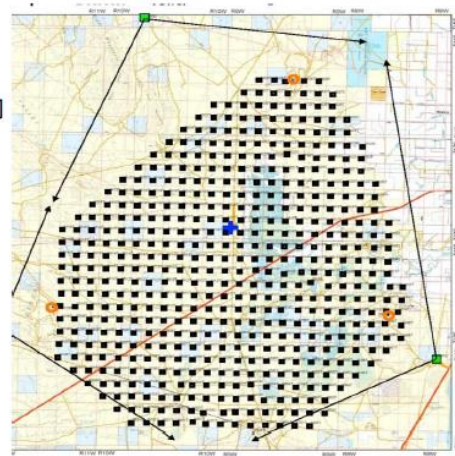
高エネルギー 宇宙線の観測

- 高エネルギーの宇宙線が大気に突入
- 大気中の原子核との相互作用により、粒子多重発生から空気シャワーが生じる
- 元は1個の宇宙線が、多数の粒子群となって地表に降り注ぐ
- 地表にたくさん検出器を並べておく
- 宇宙線が来れば、つまり空気シャワーが来れば、複数台の検出器にほぼ同時に粒子入射
- エネルギーが高ければ数kmにわたる



テレスコープアレイ実験

- 現在、超高エネルギー宇宙線観測は2大実験が稼働中
- アルゼンチン: Pierre Auger Observatory
- 米国: Telescope Array
 - 日本、米国、ロシア、韓国、ベルギーなどによる国際共同プロジェクト
 - 150名くらいの研究者と大学院生が参加
 - アメリカユタ州の砂漠地帯、700km² に検出器を展開
 - 琵琶湖と同じくらいの面積
 - シンガポールの国土くらい
- 現在は常定が研究代表者



どうやって観測するかというと、高エネルギーの宇宙線が大気に入ると、大気中の原子核とぶつかり、エネルギーが高いため、弾くだけではなく、新しい粒子生成が起こります。元は1個の宇宙線が、多数の粒子群となって地表に降り注ぎます。この現象を空気シャワーと呼びます。空気シャワーをたくさん捕まえるために、地表にたくさん検出器を並べておいて、観測しています。私自身は、アメリカのユタ州の砂漠の中に検出器を展開しています。琵琶湖と同じ面積700平方キロメートルの砂漠地帯に、500台くらいの検出器を1・2キロ間隔に置いて実験を行っています。日本、米国、ロシア、韓国など国際共同プロジェクトで、私が研究代表者を務め、150人くらいの研究者と大学院生が参加しています。大阪城を

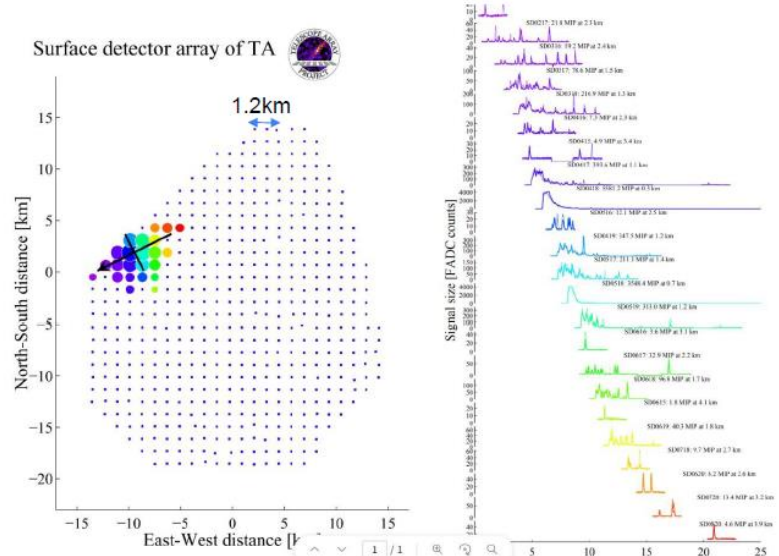
中心に展開したいとすれば、こういう感じになります。なぜ砂漠でやっているかって言うと、湿度が嫌だからです。日本では、こういう観測はちょっと難しいですね。検知器を設置する時は、写真のように、ヘリコプターを使いました。ヘリコプターを借りるのに 100 万円くらいかかり、1 週間ぐらいで設置しました。

- 3m^2 の検出器 500 台をユタの砂漠地帯 700km^2 に展開 (1.2km 間隔)
- 10^{15}eV 以上の宇宙線が来ると、半径数km の空気シャワーが降り注ぐ



宇宙線が降ってくると、大気と衝突し、空気シャワーが降ってきます。空気シャワーは、このグラフのように見えます。

空気シャワーはこう見える



最後に私の研究室メンバーを紹介します。私以外に教授、准教授が2人いて、博士研究員2人、大学院生、学部生の総勢18人です。新居浜西高出身の学生も1人います。

大阪公立大学宇宙線物理学研究室メンバー

- 教授+准教授 3 (1)
- 博士研究員 2
- 大学院生
 - 博士後期課程 2
 - 博士前期課程 8 (2)
- 学部4回生 3 (1)
- 総勢 18 (4)



最後にまとめます。人類はずっと宇宙に興味を持ち続けてきたわけですが、肉眼以外での観測をできるようになり、電磁波だけでなく、宇宙線、重力波、ニュートリノなどマルチメッセンジャーをいろいろな手段で捕まえて、宇宙を理解しようという試みが、ここ10年くらいで進んでいます。今後、続々とマルチメッセンジャーイベントが観測される期待があります。電磁波とニュートリノが同時に捕まり、また、電磁波と重力波が同時に見つかった例もあります。加えて宇宙線も同時に見つかったというイベントはまだありませんが、そう

いうものを目指したいですね。

長時間ご清聴ありがとうございました。



【常定 芳基（つねさだ よしき）氏のプロフィール】

1974 年、愛媛県新居浜市生まれ。中萩中学校、新居浜西高等学校を卒業後、東京工業大学理学部物理学科に進学し、同大学大学院理工学研究科基礎物理学専攻にて博士（理学）を取得。国立天文台研究員、東京工業大学助教、大阪市立大学准教授を経て、2022 年より大阪公立大学大学院理学研究科教授。

専門は宇宙線物理学で、超高エネルギー宇宙線の起源や伝播に関する研究に従事。アメリカ・ユタ州で行われているテレスコープアレイ実験や、国際宇宙ステーション搭載の CALET プロジェクトなど、国内外の観測プロジェクトに参加し、宇宙の謎に挑み続けている。

著書に『電磁気学基礎論—ベクトル解析で再構築する古典理論』（共立出版、2024 年）や『宇宙の観測 III』（日本評論社、2019）などがある。