

宇宙物理学入門

澤山晋太郎 博士(理学)

理論物理学者 哲学者

自己紹介

澤山晋太郎

1978年生まれ。

2001年慶応義塾大学理工学部物理学科卒

2007年東京工業大学理工学研究科基礎物理学専攻卒

博士(理学)、理論物理学者、哲学者

主な研究にブラックホールの消滅問題を解いたことがある

その問題は1975年にホーキングが提唱してから延々と世紀の大問題だったが、自分が2006年に解いている

現代物理学の四大領域

	基礎	物性
理論	基礎理論	物性理論
実験	基礎実験	物性実験

自分は一応、基礎理論にいて、その中の相対論をやっている。理論と実験は1:9くらいの比率であるし、基礎と実験も1:9くらいの比率である。実は基礎理論の学者の数は非常に少ない。後は博士の数が多いと言われるけれど、日本では理学博士は1800人程度である。アメリカだと9000人、フランスやドイツだと6000人いる。日本だと特に文系の博士が圧倒的に少ない。

基礎理論

- スtring理論
- 場の量子論
- 量子力学
- 相対論(これだけ時空を扱う。後の三つは粒子を扱う。自分はここにいる)

基礎実験

- スーパーカミオカンデ
- 加速器 (spring 8やCERNなど)
- 宇宙観測 (ハッブル宇宙望遠鏡など、日本だと電波望遠鏡が優れている)

物性理論

- これには大量の分野が入っている

例えばガラスはなぜ透明なのかを理論物理学を使って言うことができる。米沢先生とかがその大家だった。ガラスは太陽光を吸収しないから透明という説明で高校生はいいけれど、大学生には高度な説明が求められる。

後はレーザーの理論などが入っている

物性実験

- これにも大量の分野が入っている
例えば物質に電流を流すなど
後はレーザー実験など

二大基礎理論

- 量子力学
- 一般相対性理論

シュレディンガー方程式

$$-i\hbar\frac{\partial}{\partial t}|\psi\rangle = -\frac{1}{2m}\Delta|\psi\rangle + U|\psi\rangle$$

アインシュタイン方程式

$$R_{ab} - \frac{1}{2}g_{ab}R = T_{ab}$$

四つの力

宇宙に存在する力は四つしかない

電磁力、弱い力、強い力、重力

この中で初めの三つは量子力学で扱える

重力だけ相対論で扱う

弱い力と強い力は極小の世界でしか観測されないから

日常では分からない

電磁力と弱い力は統一されている

この四つの力を統一しようという動きがある

ただ、統一しようとは言われてきたけれど、

実は宇宙の理論は二つなのかもって思うようになった

量子力学

- 物質とは何だろうかと極限まで追求する学問
(その上にストリング理論などがある)

実は物質は波の性質と粒子の性質の二つを持っていて量子の二面性と呼ばれる

電子などは球というイメージがあるのだが、あれは間違いで波になっている。二乗すると確率分布になる波になっている。

相対論

- 時空とは何だろうかと極限まで考える学問

相対論には二個あって、特殊相対性理論と一般相対性理論の二つがあるのだが、学者が言う時には一般のことである。特殊は高校生でも理解できるほど簡単。

実は物理学の世界では時空そのものを扱っている

現代物理学は哲学

古典的な哲学的なテーマは理論物理学で答えることができる。

例えば、存在とは何だろうかという問いに対して、量子力学や相対論は数式で答えることができるようになっている。

後は時間とは何だろうか、とか、空間とは何だろうかという問いに対して、相対論は答えることができる

自分の研究分野

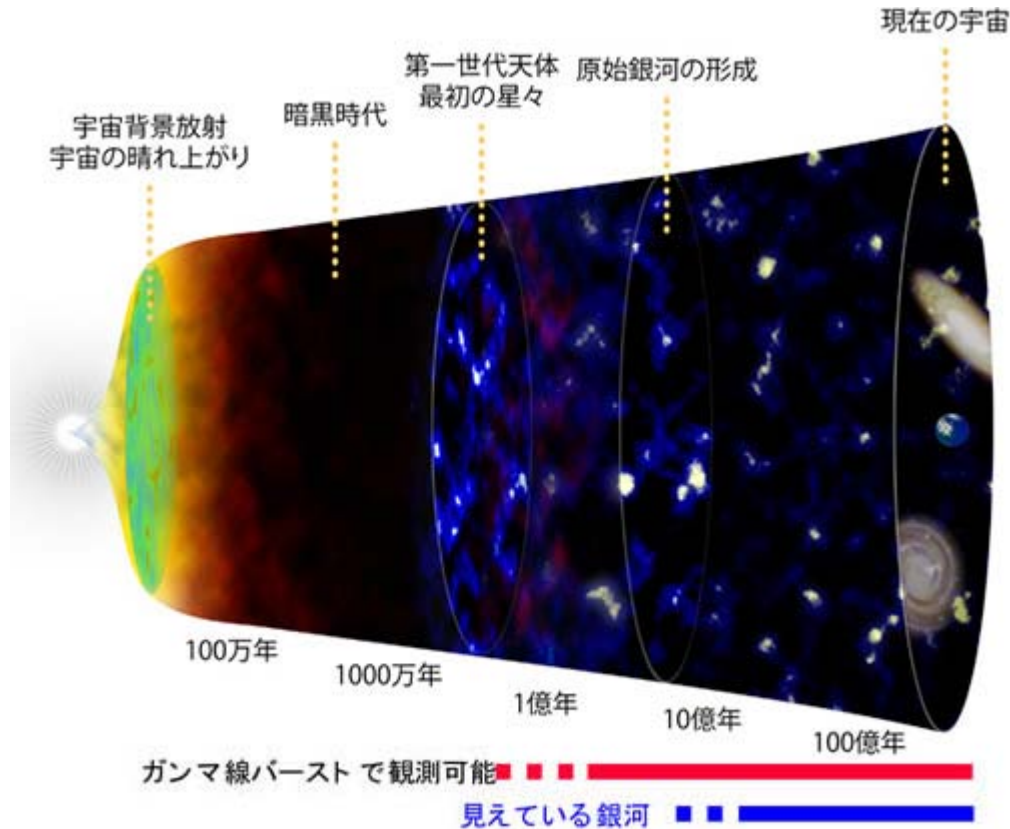
例えば、自分はブラックホールの消滅問題を解決して2006年に認められたのだが、この問題はホーキングが1975年にブラックホールは消滅するかも、と言ってから延々と世紀の大問題になっていた。しかし、自分が2006年に最終的に消滅すると証明している。それが認められて博士号などもらった。

後は宇宙がどうやってできたんだろうかという問いに答えるために量子重力という量子力学と相対論を組み合わせた学問の研究をやっていたりした。最近だとこの研究は日本では自分一人くらいしかいない。

相対論は宇宙の研究

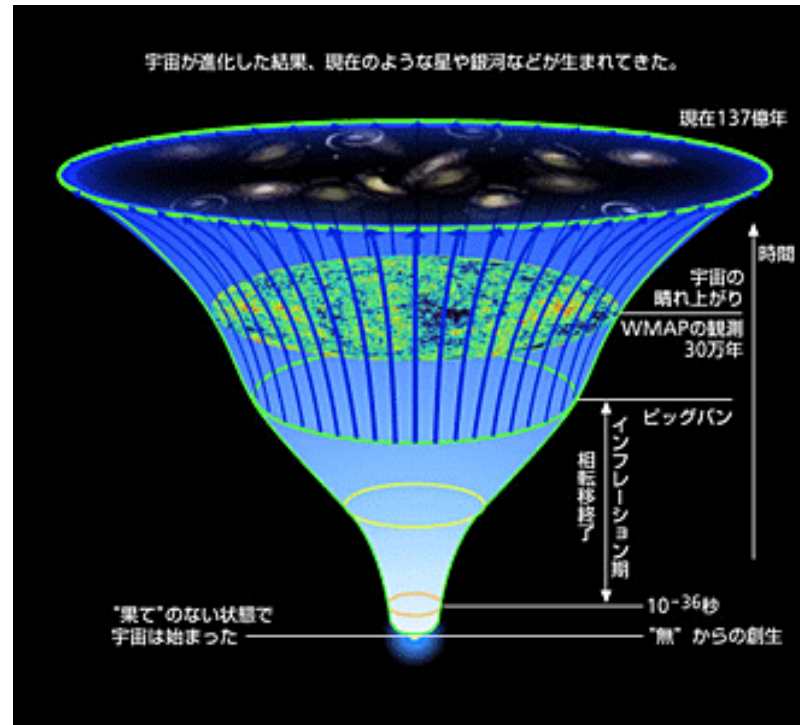
- 自分は相対論の研究者なので、その最先端の話題を話そうと思っている。後は宇宙物理に関しても話そうと思っている。
- 以後は宇宙論の話をする。(相対論は難しすぎる)

宇宙誕生から消滅まで



宇宙は無から生まれたと言われているけれど、真偽のほどはよく分かっていない。宇宙誕生から10のマイナス35秒後にインフレーションが起こり、10のマイナス33秒後にビッグバンが起こったとされている。今は宇宙誕生から130億年である。後50億年後には宇宙は消滅してしまう。

宇宙誕生



自分が研究しているのは無から宇宙ができたかどうかの辺り、その後でインフレーションが起こり、その次にビッグバンが起こった。ビッグバン研究では佐藤勝彦先生が有名というか創始者。なぜ、宇宙誕生から10のマイナス36乗秒後などと分かるのかというと次元解析をしているから。プランク定数、光速、重力定数からスケールを求めている。

宇宙消滅

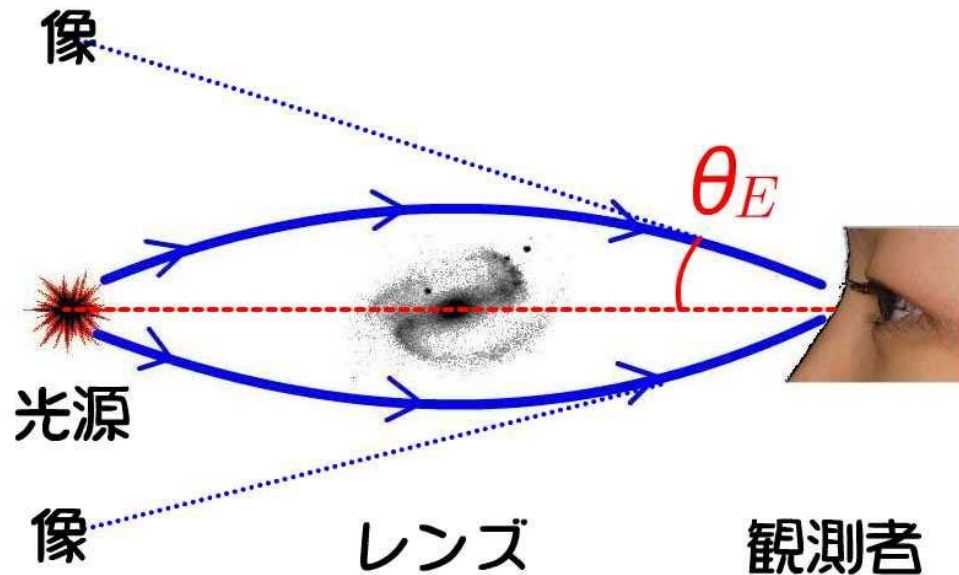


今から50億年後に宇宙はブラックホールだらけになって、やがて、そのブラックホールも消滅する。つまり50億年後に宇宙の寿命は尽きる。ちなみに、地球は後40億年後に太陽に飲み込まれてしまう。

相対論の世界

質量があると周りの時空が歪む。

重力レンズなどが有名。例えば本の後ろに何かあっても、その本が非常に重かったら、後ろに何かあるか分かる。



光とは何か

光も波であり粒子である

光速は $3 \times 10^8 \text{m/s}$ くらいで一秒間に地球を七周半する。

世界で最も速いスピードで、人類がどんなに努力しても光速は超えられない。後は光は質量が0の唯一の物質である。

例えば光速の二分の一の早さで光を見れば、光の速さは二分の一になると思ってしがいがちであるが、光の速さは変わらない。これを光速普遍の原理と言う。相対論だとそれが説明できる。

後は光にとってみると移動しているようで何も距離を動かないというのがある。

時空の最小単位

素粒子の研究などによると、物質には最小単位があることが分かっている。クォークなどがそれである。

では、時空にも最小単位があるかと聞かれれば、最近の研究ではあることが分かってきた。

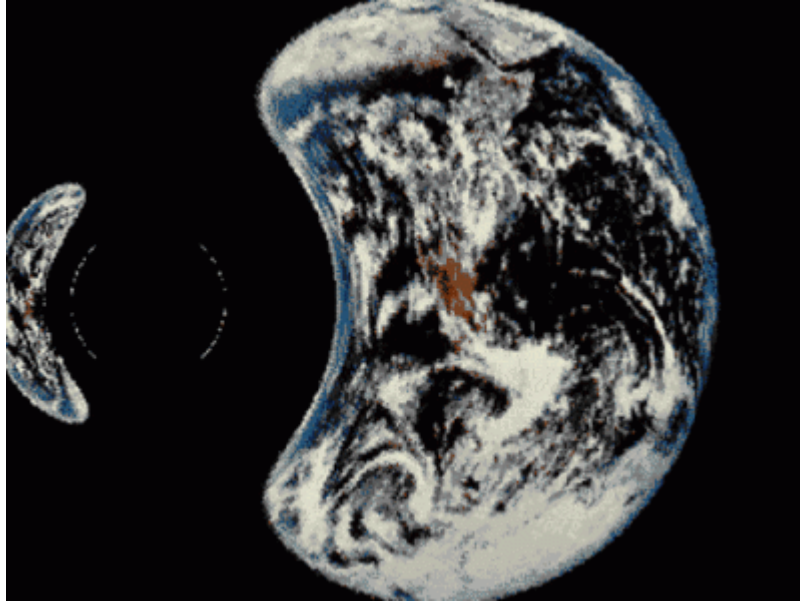
最小の面積や最小の体積があるという説もある。

この研究はループ量子重力という理論によって確かめられた。

ブラックホールとは何か

一応、自分などがその専門家なのだが、
何でも飲みこんで何も出さないようなもの
光さえ脱出できないことが定義になっている
理論上、太陽の1.5倍の質量をもつ恒星なら必ず最終的にブ
ラックホールになる。
太陽は後で膨張していった、最終的に燃え尽きて白色矮星とい
う小さな星になる。
後で宇宙のすべてはブラックホールに飲みこまれる。
たまに、朝日新聞などがブラックホールを観測したという記事を
書くのだが、そもそも見えないものなので、観測できたわけ
ではない。

ブラックホール



あくまでもイメージ画像。ただしシュミレーションはされている。左が重力レンズ。

哲学的な話題に答えるには

実は一般向けに説明するのには非常に難しい。

存在とは何かを理解したいと思ったら量子力学をやる必要がある。

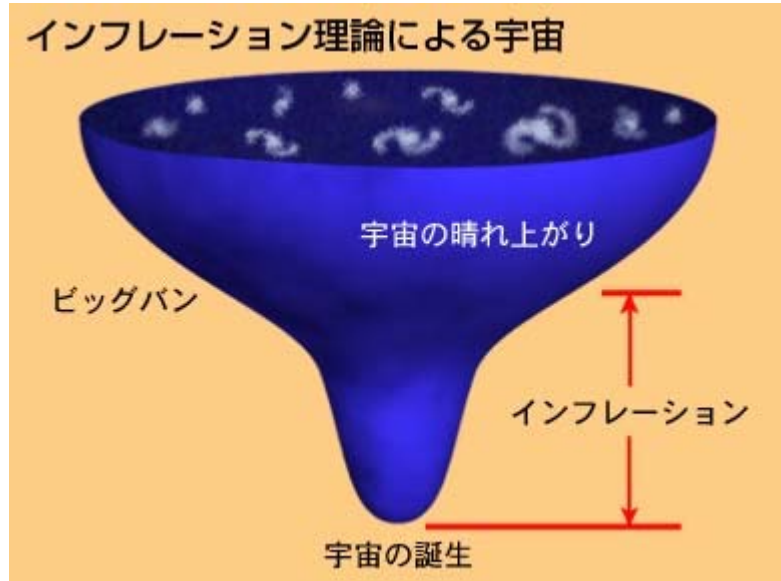
時空とは何かを理解したかったら相対論をやる必要がある。

今のところ簡単に説明する方法はない。

まず、観測とは何かを理解しないとならないようになっている。

こういうのは全て数式で言えるようになっている。

インフレーション



今の宇宙はどこから見ても、どちら側の向きを見てもほとんど同じように見える。そういうのを一様等方という、一様がどこからみてもという意味で、等方はどちらを見てもという意味。なぜそうなっているかを説明するために、宇宙が誕生してから一瞬にして急膨張したという説があって、インフレーション理論と呼ばれる。指数関数的な膨張があったと言われる。

ビッグバン

インフレーションが起こった次の瞬間に起こったとされている。簡単にいえば宇宙が大爆発した。この時に物質が生まれたのではないかって言われている。そもそもなぜこういう理論があるかというと、宇宙の温度が低かったら、宇宙の物質は鉄や鉛になってしまうのだが、実際の観測から水素やヘリウムの軽い元素が大量にあると分かった。そういう軽い元素が大量にあるためには、昔の宇宙が超高温であった必要があって、そういう理論が生まれた。佐藤勝彦さんなどが言い始めた。もう延々とニュートンの記事を書いていたりする。ちなみに、相対論の世界には佐藤さんがもう一人いて、佐藤文隆さんのほうが相対論の大御所だったりする。

ちなみに、宇宙が膨張すると物質が生まれるという理論がある。

それを曲がった時空のQFTというのだが、自分はその専門家でもある。

ガスの時代

ビッグバン以降は宇宙は延々とガスに包まれてしまう。その間のことはほとんど観測できないで、暗黒時代などと呼ばれる。

その時代を重力波を使って観測しようという試みがあるが、実験に非常にお金がかかるので、いつ実用化されるのか全く分からない。

宇宙空間に干渉計を作るという計画があった。

初期銀河の時代

ガスが貯まってくると、衝突を繰り返して微粒子になり、石になり、岩になり、段々と太陽のような恒星が作られていく。その周りに地球のような惑星が形成される。特に宇宙の初期のころに形成された銀河のことを初期銀河と呼ぶし、クエーサーという物体もある。クエーサーは小さなブラックホールという説もある。非常に宇宙初期のものであるし、初期銀河かもしれない。



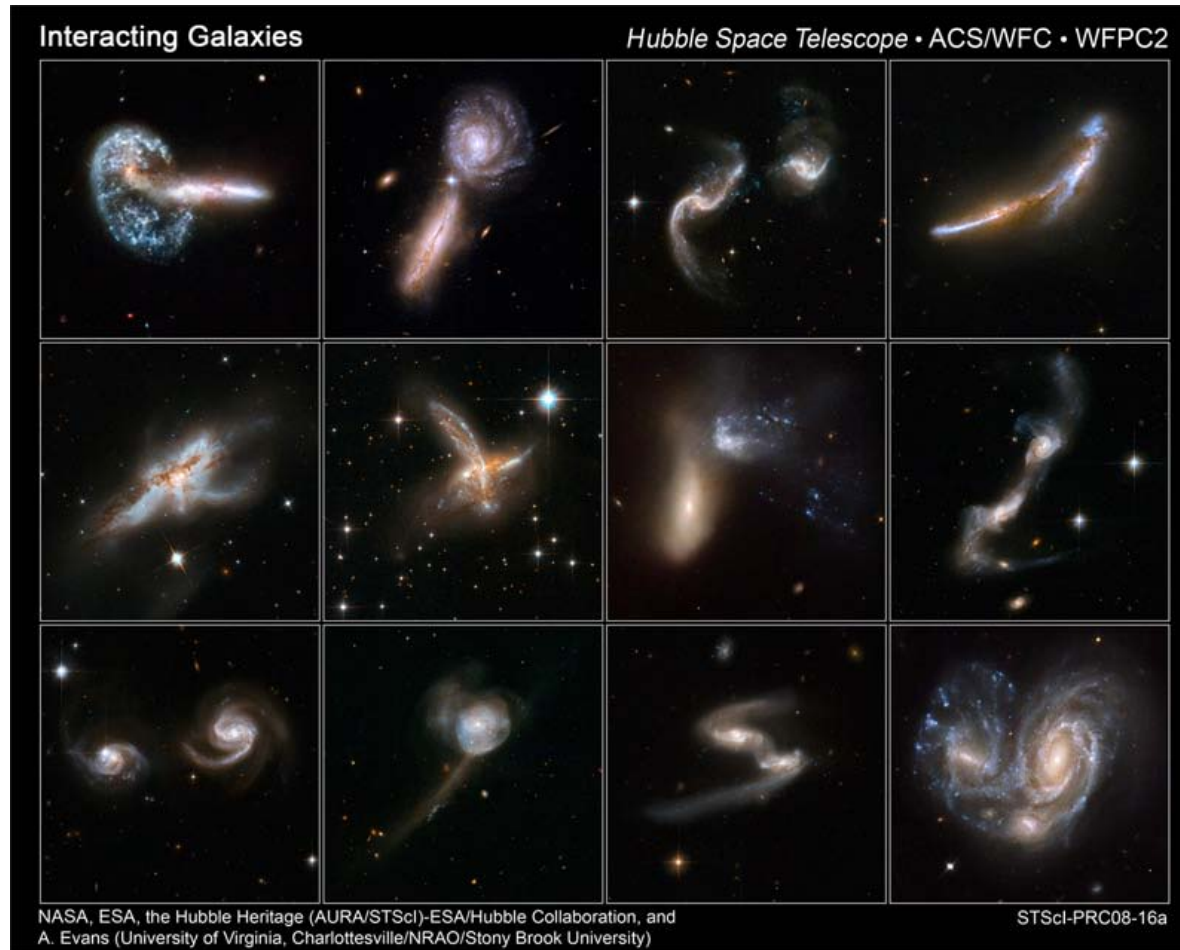
銀河形成

一応、初期銀河の形成と同じように、まずは今の銀河も形成されてくる。銀河中心にはブラックホールが存在すると言われているが定かではない。太陽のような恒星が大量に生まれると、銀河を形成するようになる。一つの銀河には3000億個の恒星がある。さらに銀河が1000個くらい集まって銀河団を形成している。その銀河団が10万個くらいある。



これが今住んでいる銀河。ミルキーウェイとか天の川銀河と呼ばれる。すぐ近くに、この四分の一くらいのマゼラン星雲がある。

色々な銀河



形がおかしいのは銀河二つがぶつかったからなどと言われる。
ちなみに、ミルキーウェイにほかの銀河がぶつかっても、スルーするだけで危険ではない。

馬頭星雲



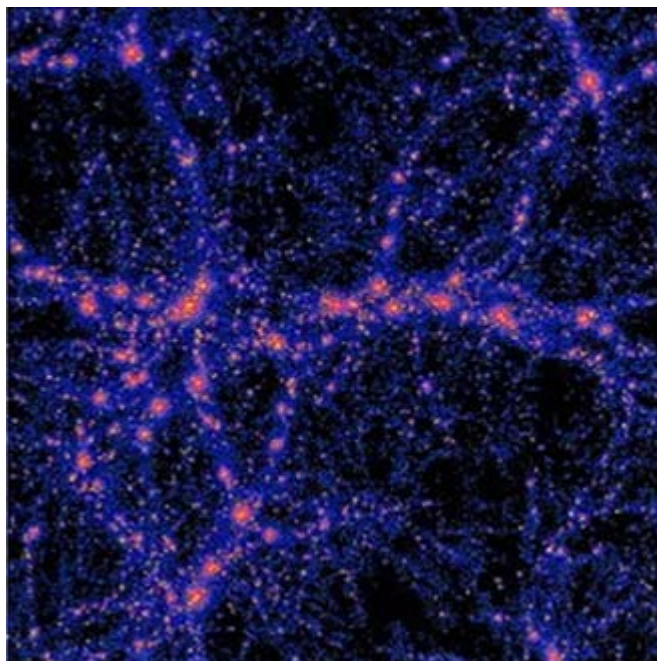
The Horsehead Nebula
(VLT KUEYEN + FORS 2)

ESO PR Photo 02a/02 (25 January 2002)

© European Southern Observatory



宇宙マップ



赤く光っているのが銀河団である。ニューロンみたくなっている。これは電波望遠鏡の観測で見えている。銀河団にはabelという名前がつくようになっている。アベルとカインという旧約聖書から来ている。

地球誕生



今から46億年前に地球が誕生した。できてすぐは
灼熱の地獄だった。
40億年前に生命が誕生する。
人類というか新人は12000年前からである。

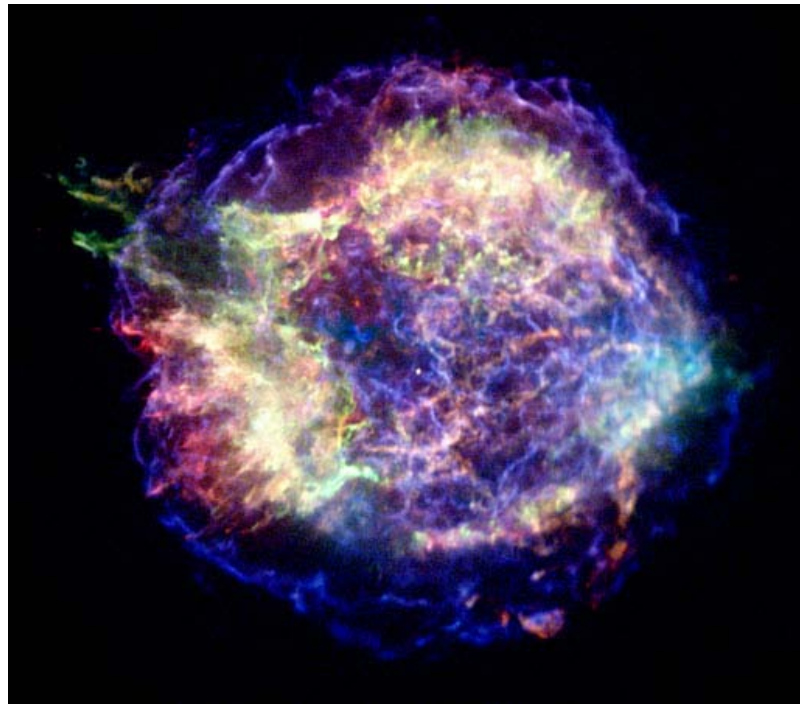


宇宙誕生から人類の歴史までを24時間の
時計に合わせると、人類の誕生は午後の
23時59分57秒くらいからである。

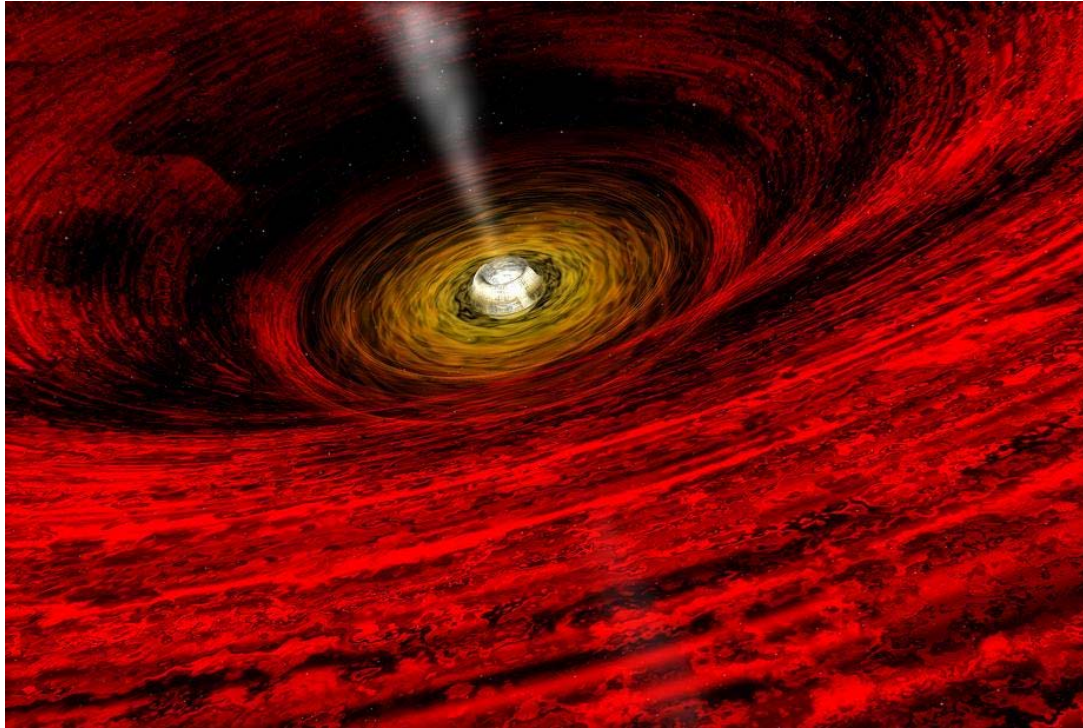
左は原始生物のイメージ画像

超新星爆発

よく分からない原理であるが、宇宙のどこかで爆発が起こって、新しい星が生まれる時がある。日本でも700年くらい前に観測された。夜が昼のようだったらしい。太陽のような恒星が爆発して起こるという説が有力である。

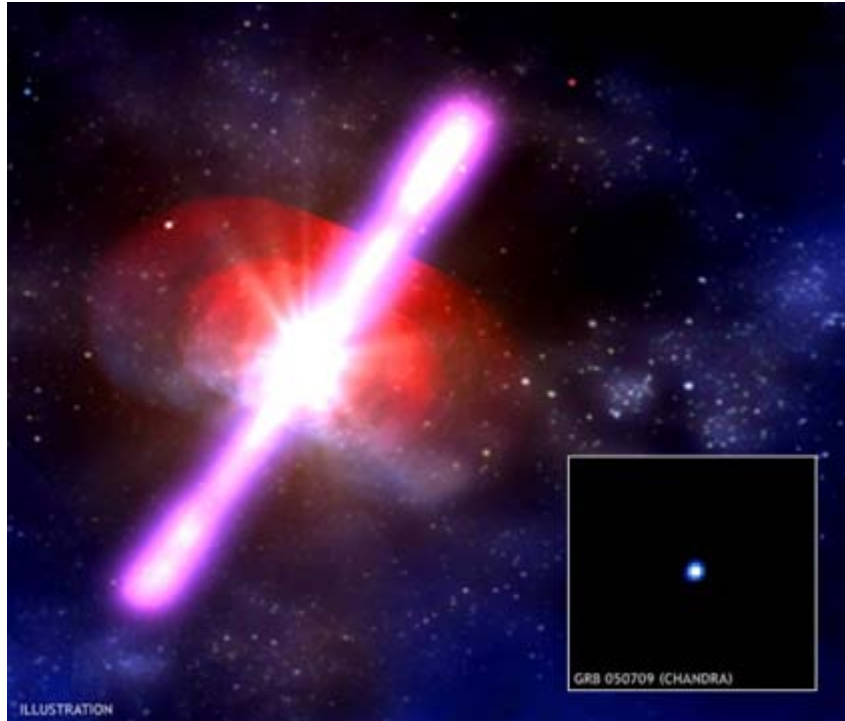


銀河中心



これは宇宙論の人に聞いたことだけれども、どうやら銀河中心にはブラックホールがあって、そこからジェットを出しているらしい。観測したという論文は数多くあるのだが、見えないので、本当にあるかどうかは観測できない。ただ、理論上はある。

ガンマ線バースト



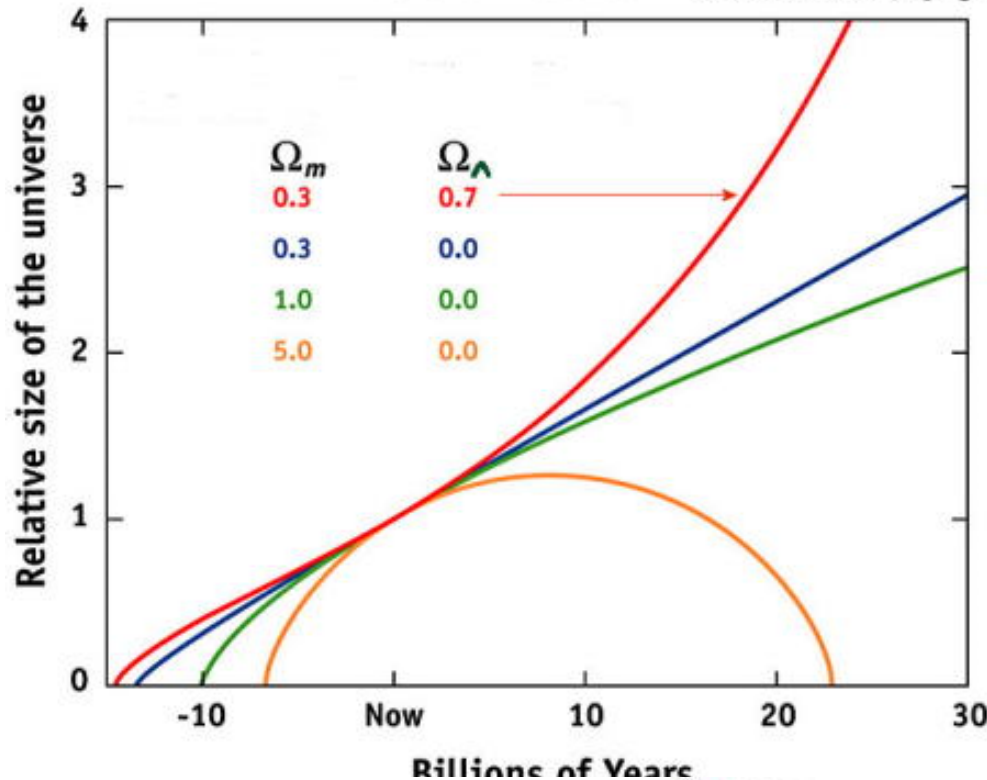
今話題のトピックだったりする。一日一回の頻度でどういう原理か分からないけれど、ガンマ線という宇宙の中で最高クラスのエネルギーを持った光を観測できる。夜に宇宙を眺めていれば、どこかが一瞬だけ光るのを肉眼でも観測できる。原理が全くの不明のために最近の宇宙論の研究テーマになっている。

左の画像はイメージ。右下の画像は本物。三日間くらい夜更かしして宇宙を見ていれば、肉眼で観測できるはず。一応、宇宙最高のエネルギー現象。

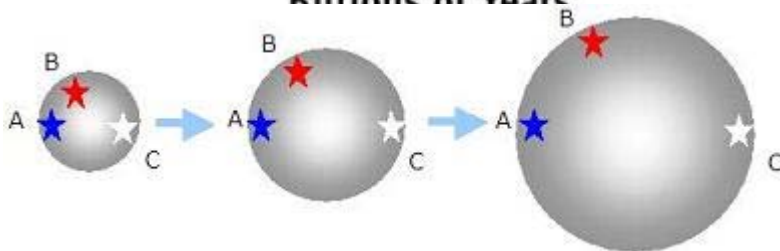
今の宇宙は延々と膨張していく

宇宙の膨張

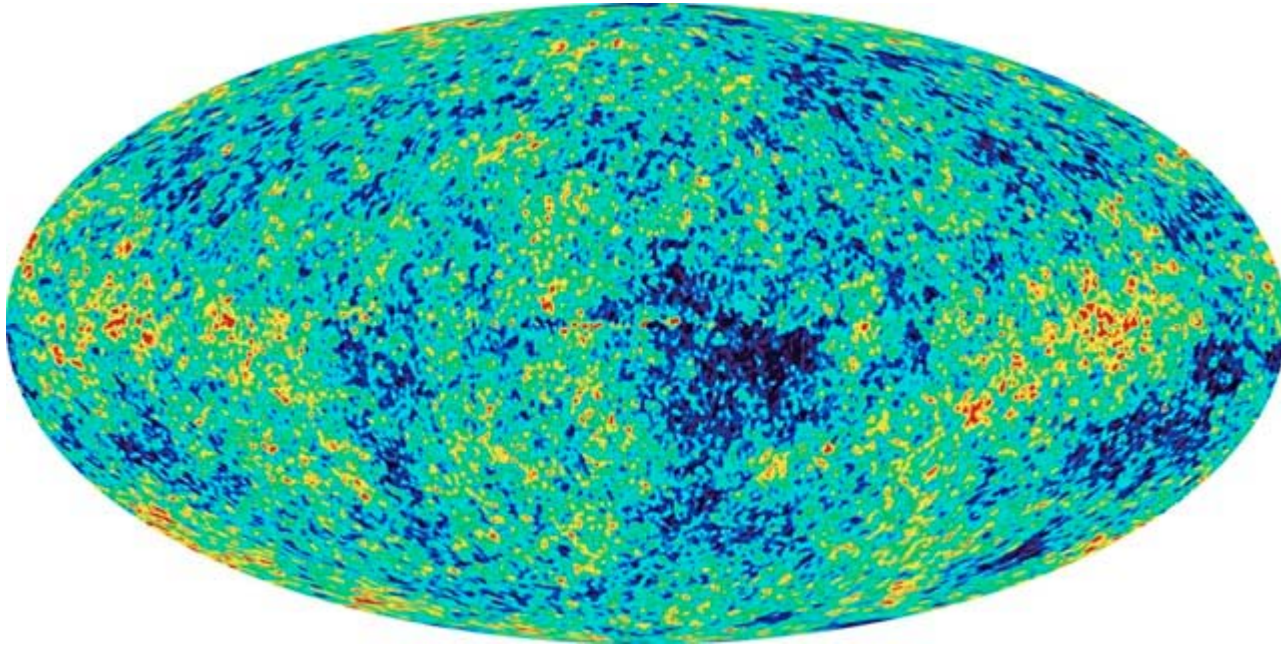
NASA WMAP Gによる



宇宙が膨張するかどうかを決めるのは宇宙項である。最近だとダークエネルギーなどと言われる。後は見えない物質としてダークマターが考えられていたけれど、ないと分かった。



CMB: 宇宙背景輻射



宇宙の温度は3k。つまりマイナス270度。どこでも同じ。宇宙の電波を観測したら、上のようなマップになって、一様等方だと分かった。どこから見ても、どちら側を見ても同じと分かって、インフレーション理論がうまれた。

ブラックホールの消滅問題

この辺りを自分が研究していた。博士論文になった。
ブラックホールが最終的に消滅するということを証明した。
ホーキングが1975年に提唱してから、長年世紀の大問題になっていたが、
自分が2006年に最終的に消滅すると証明した。
CERNというヨーロッパの加速器で超小型ブラックホールを作る研究をやっている。
ただ、地球を飲み込んだりしないので大丈夫である。
CERNのメンバーとも話し合ったし、世界のブラックホールの権威の
ヘイワードさんとも話し合った。
自分の論文はCERNが引用してくれている。
日本の自然科学の論文は1700本くらい引用されているらしいが、
自分の論文がその一本になっている。
ちなみに、世紀の大問題を解いたので、博士号を首席で取った。

哲学的な話題をちょっと簡単に説明する

観測とは何か：ミクロとマクロの相互作用

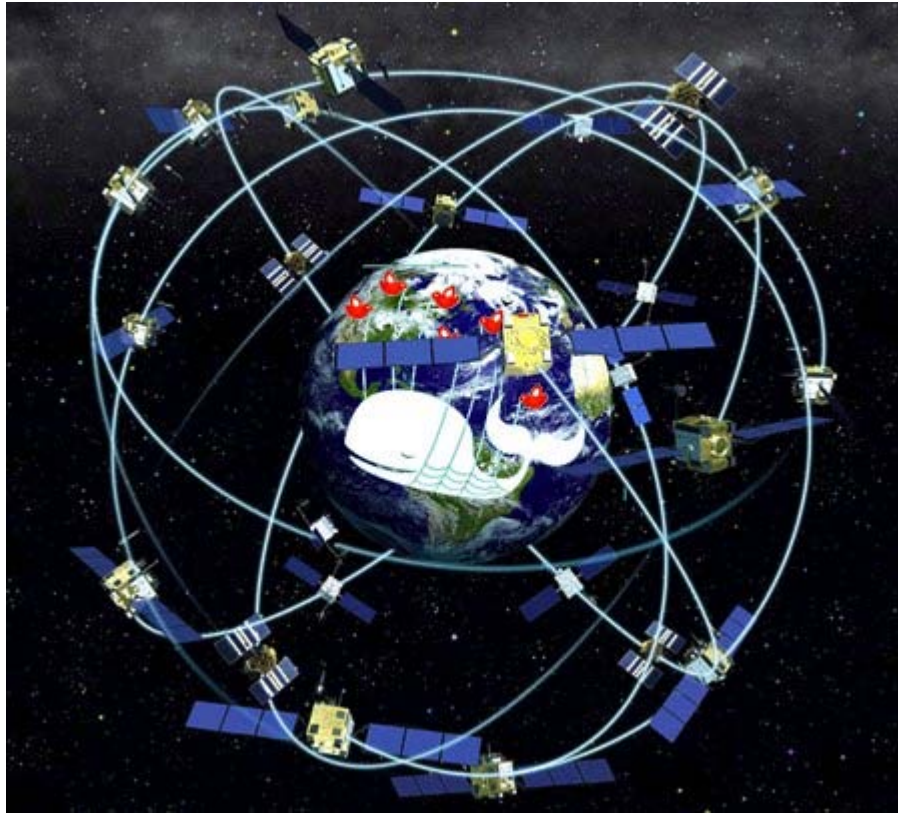
存在とは何か：観測されなければ存在しないのと同義。観測して初めて存在していると言えるのだが、観測してしまったら消えてなくなる。

時間とは何か：虚数の空間のようなもの

時空：時間と空間はほとんど同じもの

時空とは何か：専門用語で多様体って言う。局所的に座標を入れられる。後は位相空間と呼ばれるのだが、開集合が入った空間のことを言う。後は点と点が分離されている。そういうのを多様体という。

GPSで相対論が使われている



現実の世界で相対論が何に使われているかというと、GPSがある。

宇宙がどうやってできたか

実はそのところはまだ理論でも全然分かっていない。
なので研究対象になるし、実際に自分などが研究している。
無からできた説や、宇宙の前に宇宙があった説などあるが
全く分かっていない。
後100年分からなかったら、人類には分からないと思う。
最近になって自分は無を扱っていたのかなあって思うようになった。

ダークエネルギーとかダークマター

自分はその研究は胡散臭いと思っていたし、実際にダークマターは存在しなかったなどと言われている。

ダークエネルギーとは宇宙項を言い変えただけで何も新しい
しかし、ちょっと前までその研究が盛んだった。

最先端のトピックは論文が書けるという理由で、
ちょっと嘘でもやられる傾向にある。

ブラックホールを作れるかどうか？

前にCERNのメンバーが加速器でブラックホールを作れると言っていた。あれはストリング理論によると宇宙が高次元で、そのために低いエネルギーでもブラックホールを作ることができるって話だった。あれで、物理学者が真っ二つに割れた時があった。自分はできない派だったのだが、自分の助教授はできる派の日本のトップだった。それで結構もめていたのだが、実は二年前にできていないとおかしいから、やっぱり自分たちのできない派が正しかったんだと思っている。

この時はCERNのメンバーとも話し合ったし、ブラックホールの権威のHaywardさんとも議論した。今は上海師範大学にいる。

最近のトピック:ポアンカレ予想

それは数学の100万ドルの懸賞問題で、世紀の大問題だったが、ロシア人研究者が最近になって解いている。一時行方不明になったりして、騒がれた。

$$x^2 + y^2 = r^2 \quad \text{これは円}$$

$$x^2 + y^2 + z^2 = r^2 \quad \text{これは球面}$$

じゃあ、下の形はどうなんだ？という問題だった。

$$x^2 + y^2 + z^2 + w^2 = r^2$$

これが球面と変わらないような形をしているって確かめられた。

ドーナツなんかは穴があいているけれど、この形はドーナツとは違って、球面と同じだと分かった。これは簡単に思えて100年間は解けなかった。しかも、この数学者は100万ドルがいらないと言ってた。

最近のトピック：タイムトラベルなど

数年前にもしかしたらできるんじゃないかって論文を書いたのだが、同じような研究をしているロシア人研究者がやり始めた。そのロシア人の教授の弟子はブラジルにいるんだが、そのブラジル人研究者とは知り合いだったりする。

確かに太陽の中では10秒間に一個くらいの電子が1秒くらい、過去や未来に行っているのかもって定性的に分かっている。しかし、まだ完全な理論があるわけではない。ただ、量子重力を考えると、そういうのもありうる。

最近のトピック: ブレーン

ストリング理論から言うと宇宙は10次元か11次元である。

それで、今の宇宙は4次元なのだが、後の時空は丸まっているという説がある。

トロイダルコンパクト化という話である。

それで、今の宇宙をブレーン(膜)ということにして、物質だけがブレーンに存在することにして、光(重力)だけはブレーンの外に行けるという理論。

この理論からブラックホールがCERNの加速器で作れるということになった。

ブラックホールを作るのに必要なエネルギーがそれほど高くないという結論になったが、自分はその理論は間違いだと思っていた。

現に間違っていたらしい。

終わり

質問は何でも受け付けています。

気軽に質問してください。

今後の講演会の予定

・8月21日 日曜日 午後二時から

ロゼシアター 第一会議室で

物理学者による放射能講座

無料

・9月20日 火曜日 午後二時から

グランシップ908会議室で

哲学者が語る道徳と宗教

無料