



ニュートリノについて

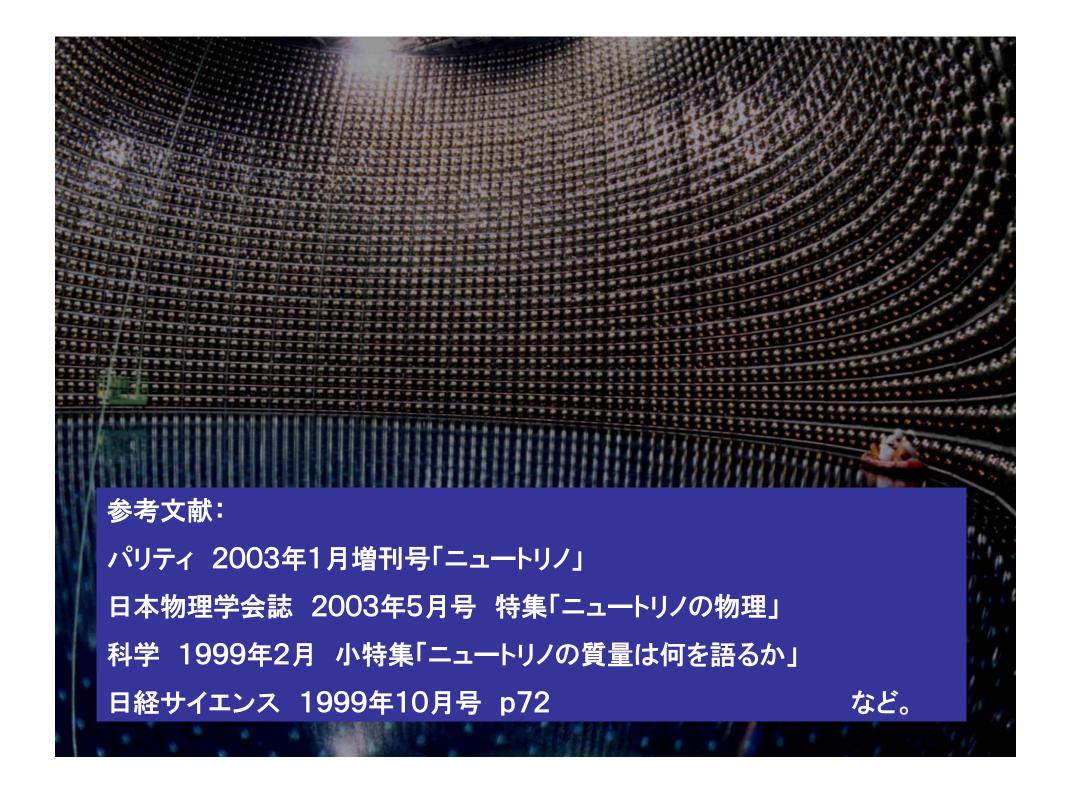
(先週の中畑先生の講義の復習)

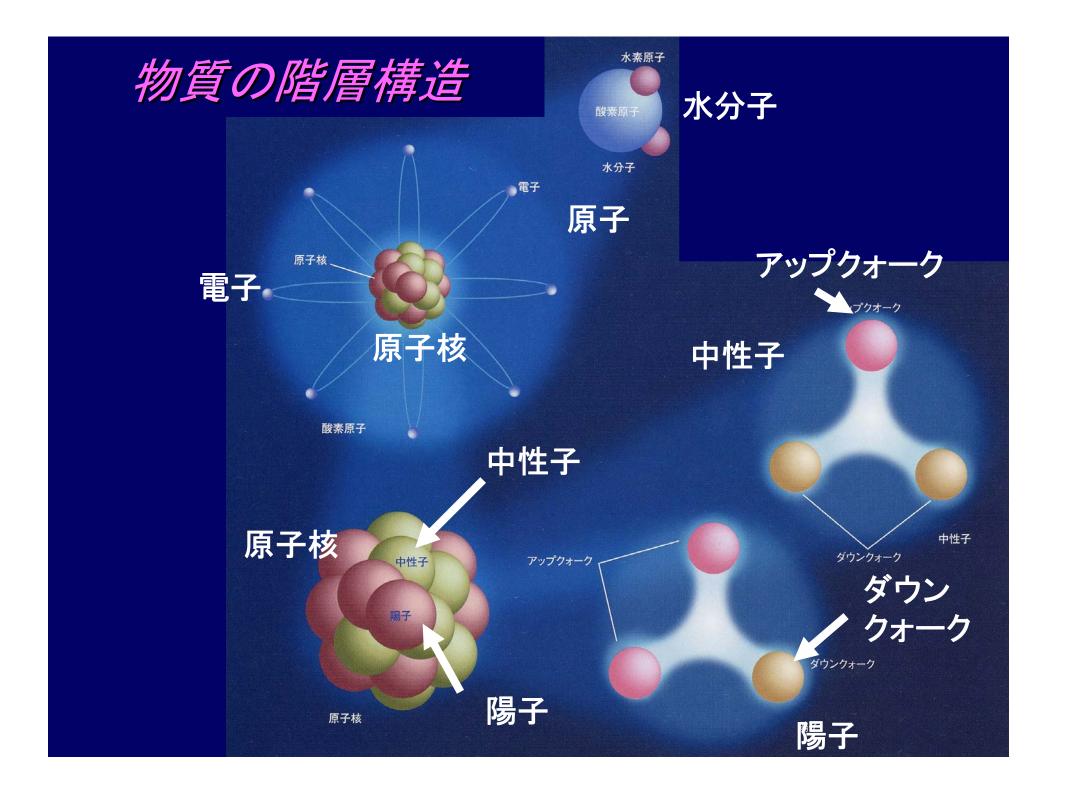
ニュートリノの質量

準備が進む新しいニュートリノ実験

宇宙の物質の起源を求めて

(必ずしも正確な話はしませんので、さらに興味のある方は他で もいろいろ勉強してください。)





# 素粒子の種類

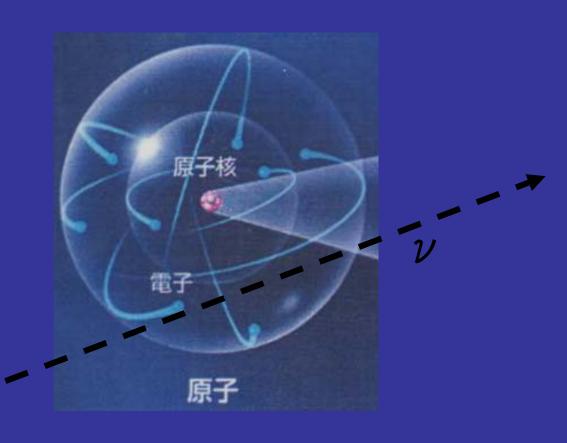


私たちの体をつ くる素粒子

#### ニュートリノって何?

だいたいの答え:電子から電荷を取り(電気を帯びてない)、また重さを(ほとんど)取ったもの。

→ なんでも突き抜けていく。

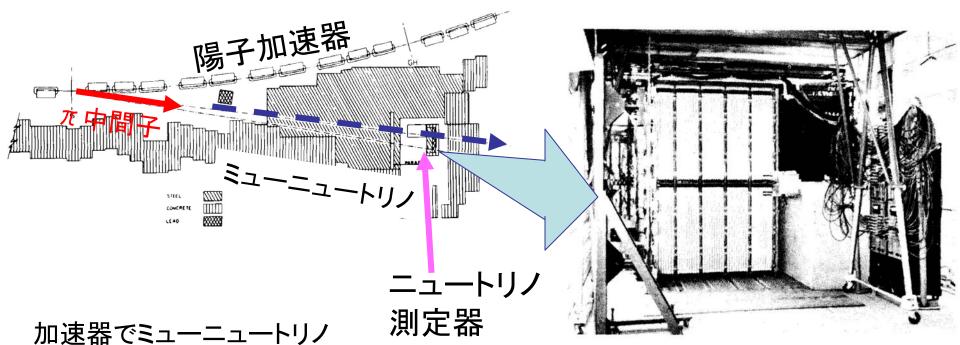


### ニュートリノって何?(続き)

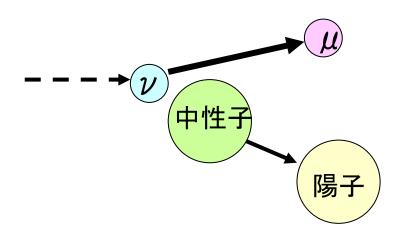


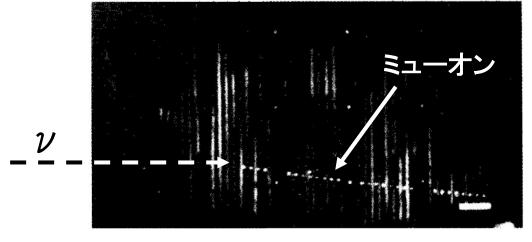
今日の梶田の話に関係するニュートリノを止めるには、地球10万個位必要。

#### ミューニュートリノの発見(1962年、アメリカ)

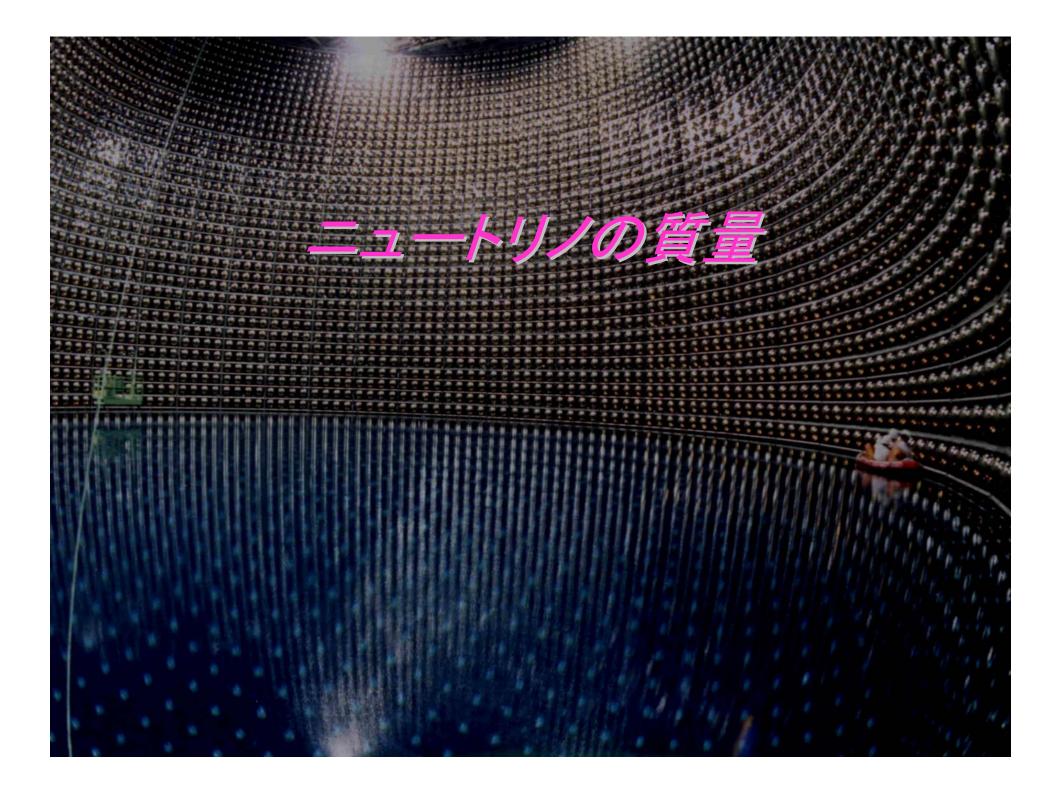


加速器でミューニュートリノ を大量に生成する。

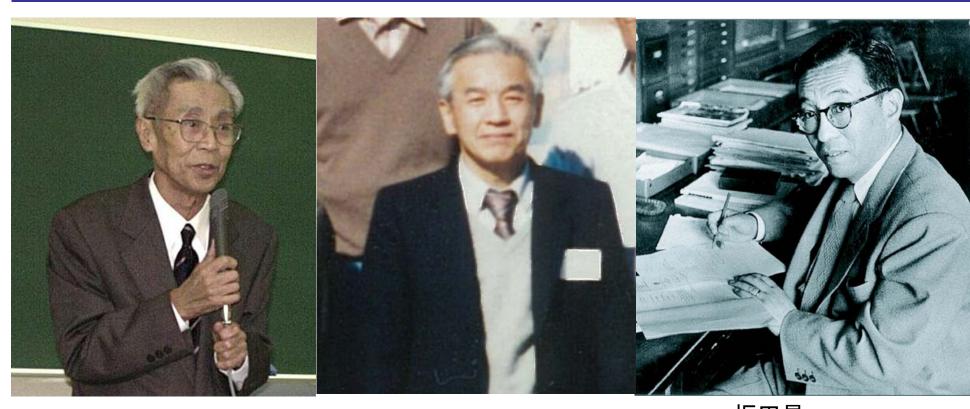




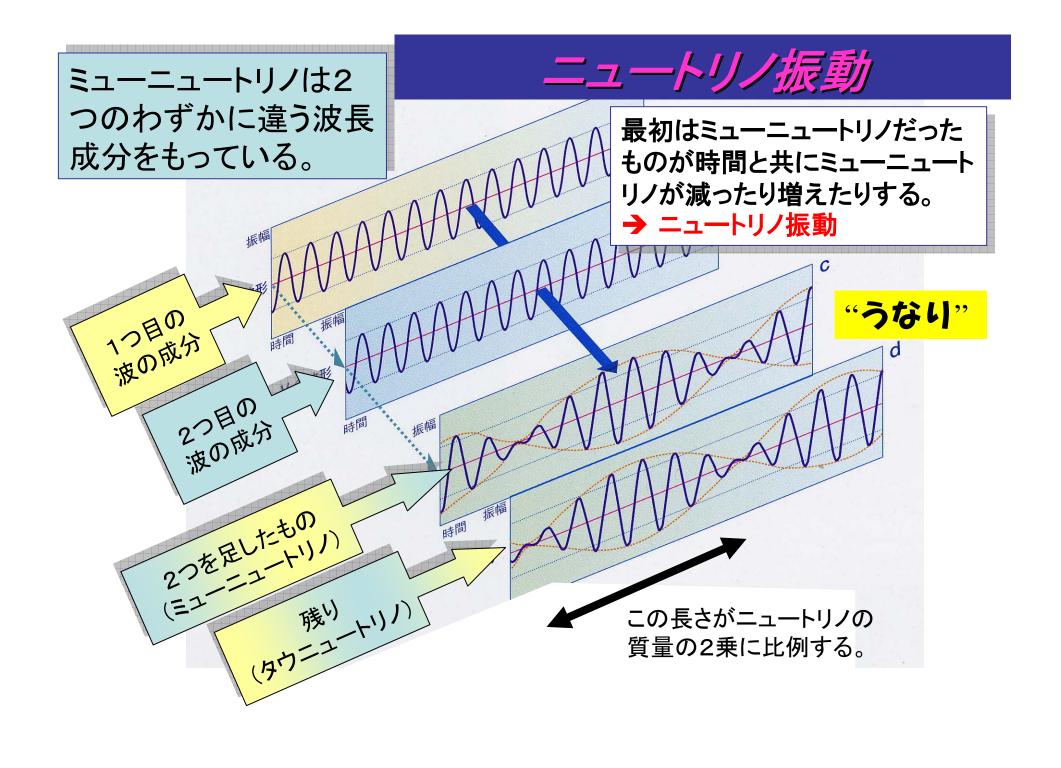
観測された事象の1例



# ニュートリノ質量とニュートリノ振動の予言 (1962年)

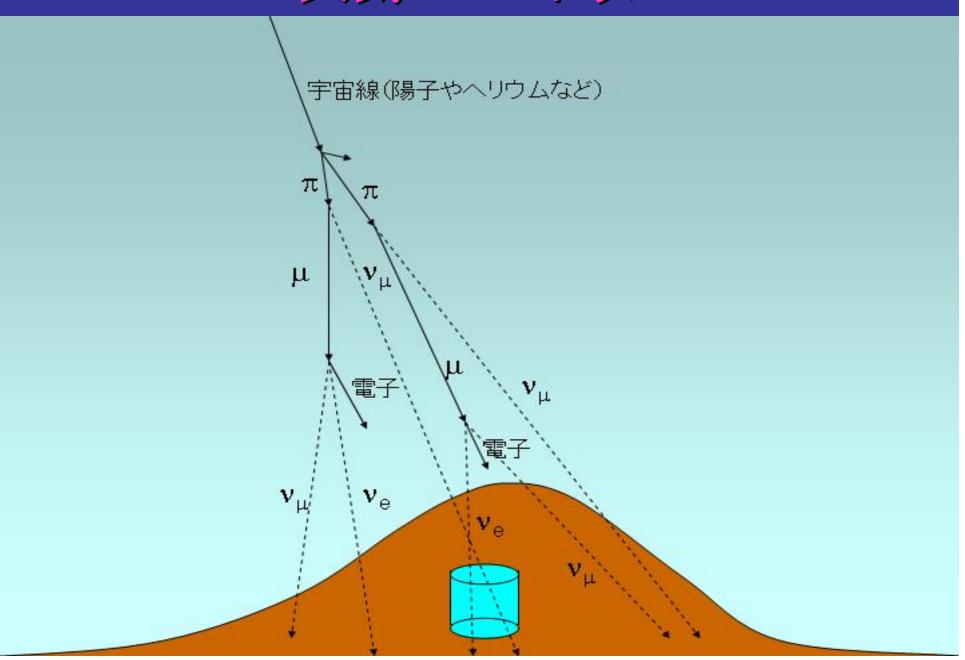


ニュートリノに重さがあると、飛んでいる間に別なニュートリノに 変化する。





# 大気ニュートリノ



# 大気ニュートリノの生成

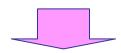
宇宙線(P or He等)が大気に入射する



• (P or He) + (酸素、窒素)原子核 → ππ••• + X (Xはその他いろいろ)

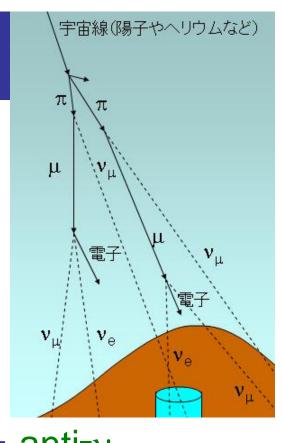
$$\square$$
  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu}$ ,  $\pi^- \rightarrow \mu^- + \text{anti-}\nu_{\mu}$ 





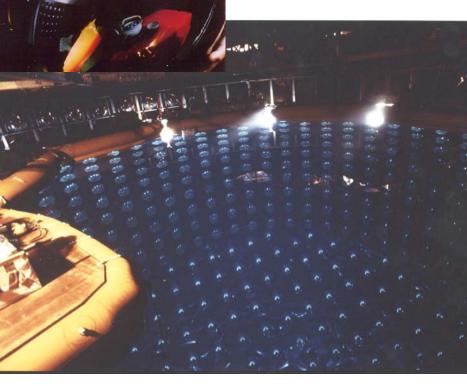
つまり、π中間子が1個生成されるたびにミューニュートリノが2個、電子ニュートリノが1個生成される。

→ ミューニュートリノと電子ニュートリノの数の比は正確。



# 最初のヒント (1988年)

小柴昌俊先生



カミオカンデ (3000トン 水チェレンコフ測定器.)

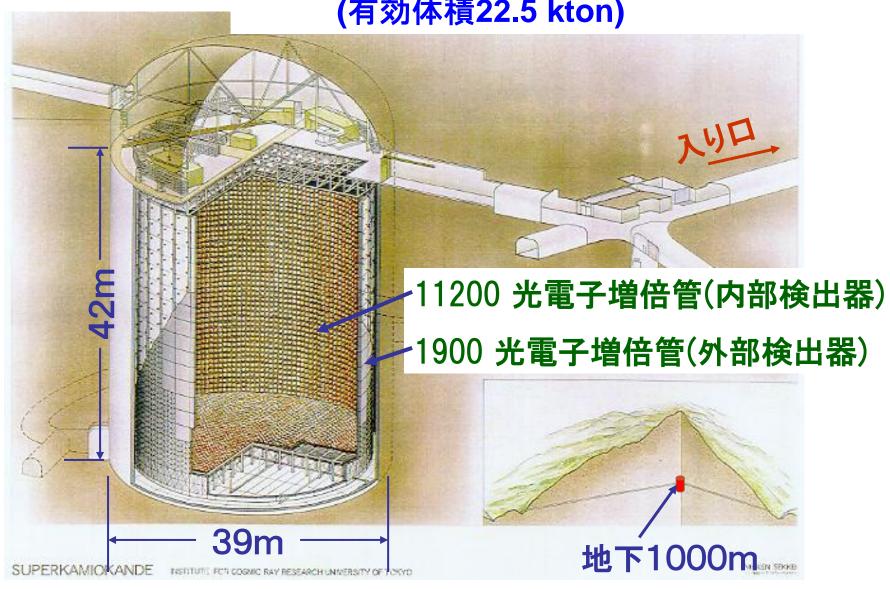
	データ	計算値
電子ニュー トリノ	93	88.5
ミューニュートリノ	85	144.0

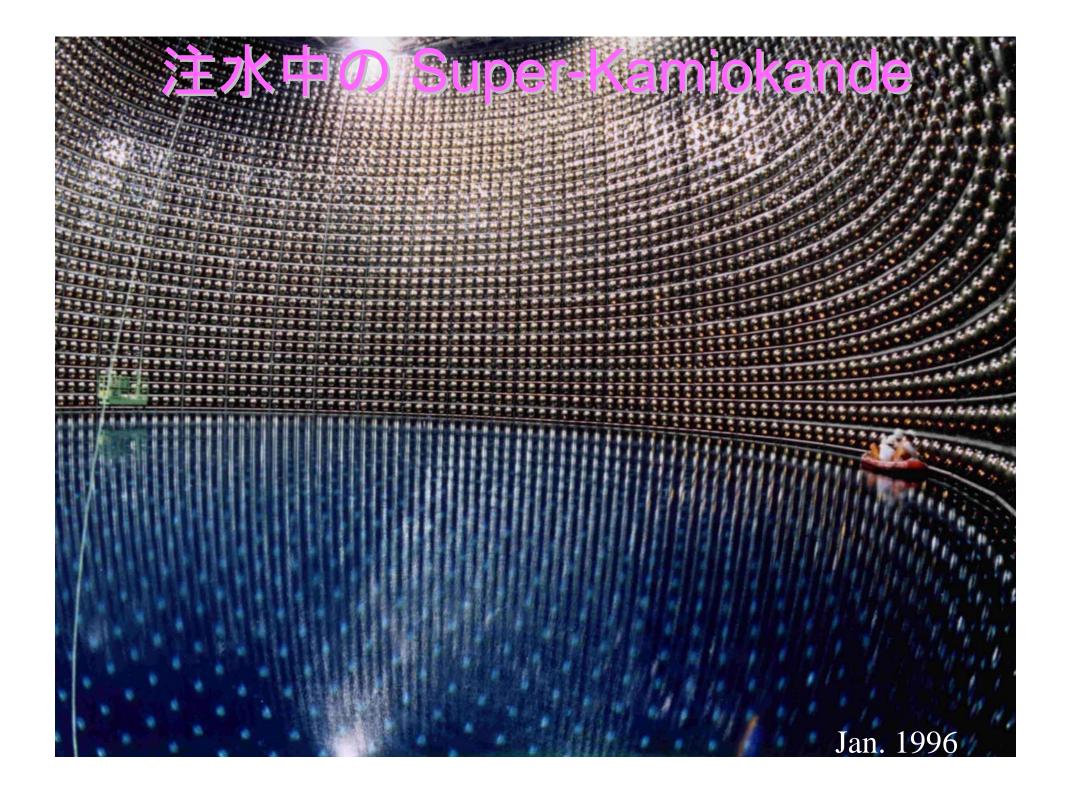
電子ニュートリノ反応の数はほぼ予想通り、しかし、ミューニュートリノ反応の数は明らかに少ない。ミューニュートリノがタウニュートリノにニュートリノ振動して減っているのか?

しかし、数が少なく決 定的なことが言えない。

### スーパーカミオカンデ

50,000 ton 水チェレンコフ測定器 (有効体積22.5 kton)





# カミオカンデやスーパーカミオカンデでのニュー トリノの検出方法

チェレンコフ光

素粒子 (電子やミューオンなど) 光電子数:粒子のエネル

ギー

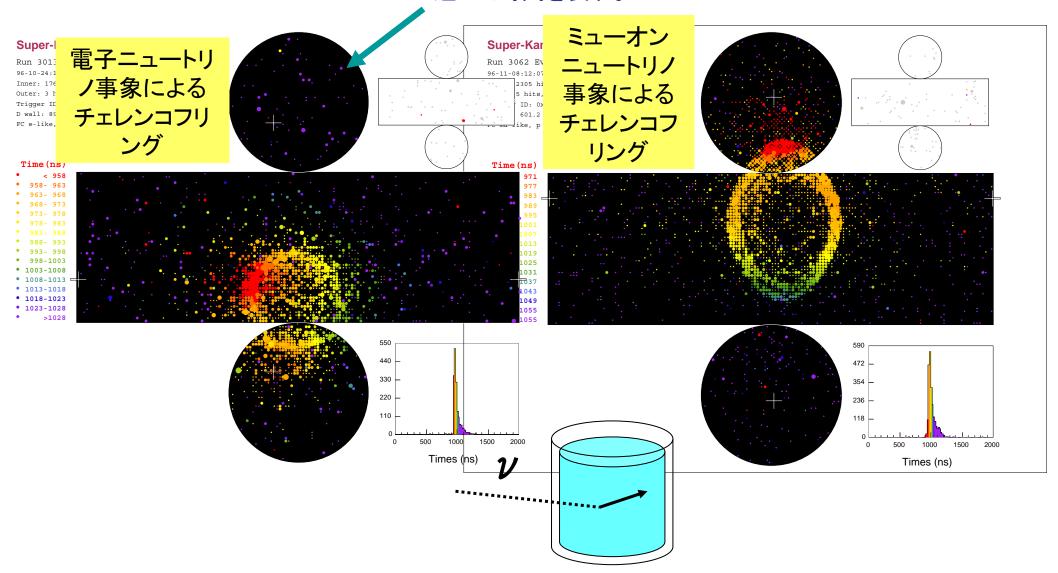
時間情報:粒子の発生点

光電子增倍管

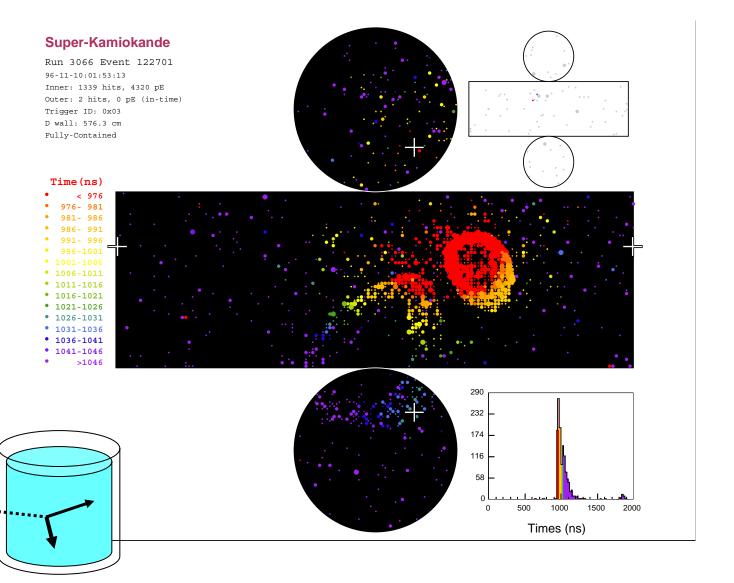


#### スーパーカミオカンデで観測されるニュートリノ(1)

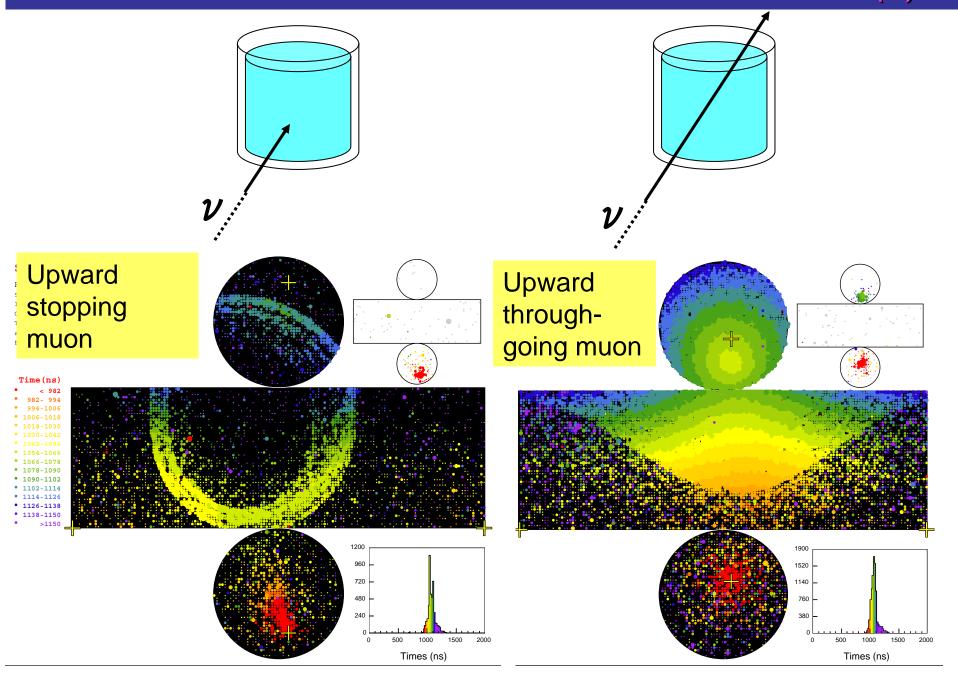
丸の大きさは光の強さ、色が光りの到達した時間を表す。



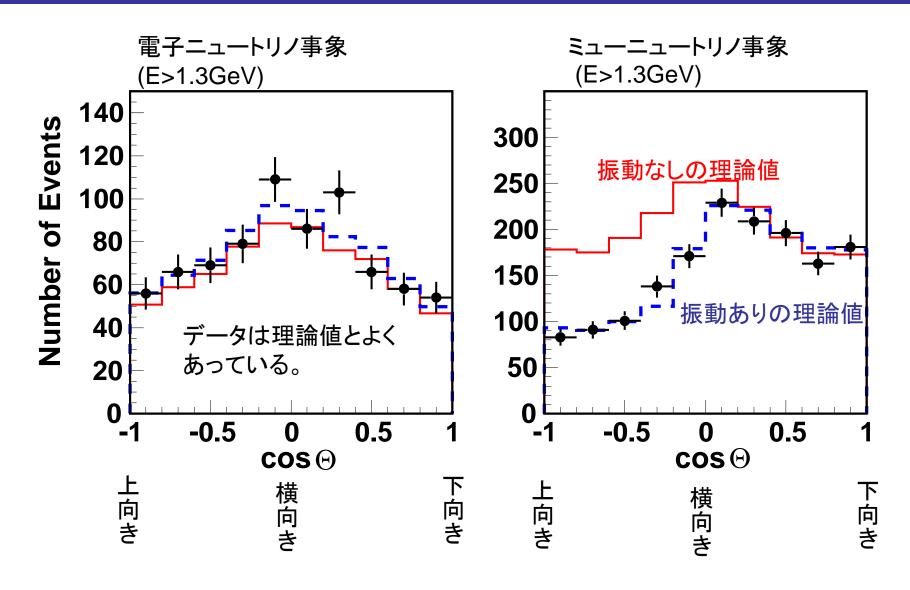
## スーパーカミオカンデで観測されるニュートリノ(2)



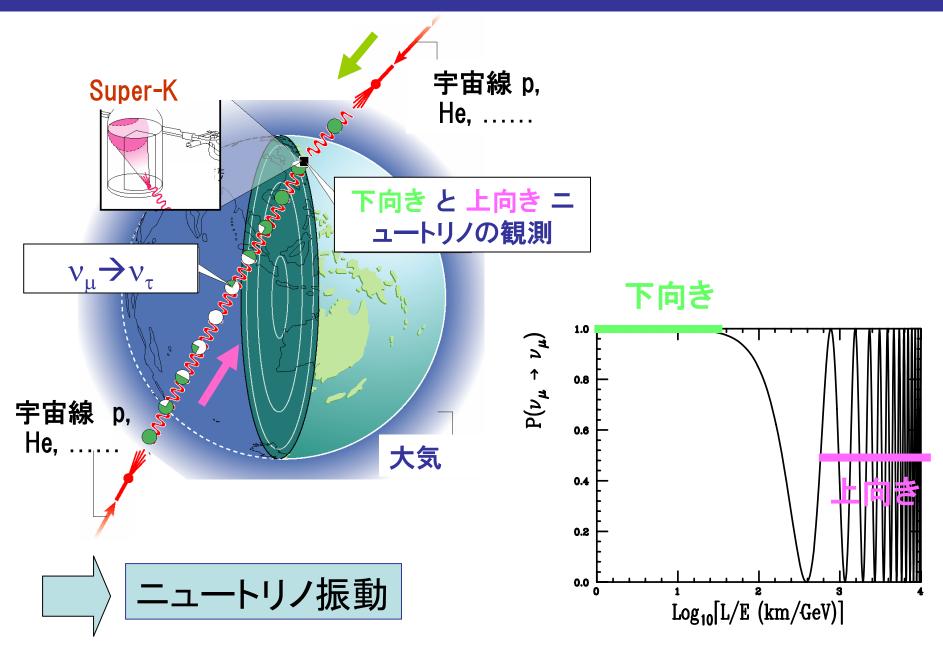
## スーパーカミオカンデで観測されるニュートリノ(3)



# スーパーカミオカンデのデータ



## データの解釈(ニュートリノ振動)





がヒッ

ルバム好調 芸能 12

会見 15



YOMIURI SHIMBUN UNG EDITION (田) 第43865号 THE EVENING

金曜日 1998年(平成10年)

発行所

読売新聞社 東京都千代田区大手町1-7-1

郵便番号100-8055 電話(03)3242-1111

◎ 読売新聞社 1998年



提としている現在の標準理論の書き換えなど、現代物理学の根幹を揺るがす成果といえそうだ。(解説2面) 終的な結論をまとめ、五日午前、岐阜県高山市で開催中のニュー 「リノ」について、 宇宙空間に充満する基本粒子でありながら、質量(重さ)の有無がわからなかったなぞの素粒子「ニュー 東大宇宙線研究所(戸塚洋二所長)の日米共同実験グループは、 鉱山の採掘跡を利用した地 トリノ国際会議で発表した。質量ゼロを前 「質量はある」との最

から、 岐阜県北部・神岡 実験グループは一昨年四

ニュートリノの質量を捕らえた観測装置 (東大宇宙線研究所提供)

スーパーカミオカンデ ドがに、高さ四十一・四が、 一がに、高さ四十一・四が、 直径三十九・三がの円筒を くり抜き、中に汚染物質の 極めて少ない五万がの純粋 な水を満たした、東大宇宙 線研究所のニュートリノ観 製装置。水中に飛び込んで きたニュートリノが原因と なって発生する特殊な光 資産流動化法など 革法と、土地など するための金融シ して販売できるよ

日本版ビッグ

民主

だったのに対し、 四月まで約二年間 究所助教授による 発表した梶田隆 トリノが一百

(貯水

観測を続けてきた。 注目したのは、

生する「大気ニュー中の「ミュー型」」

側から約一万三字

宇宙から

地球に降り注ぐ高エネルギ

版

LE 



#### June 5, 1998 アメリカ クリントン大統領

#### REMARKS BY THE PRESIDENT AT MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY 1998 COMMENCEMENT

THE WHITE HOUSE

Office of the Press Secretary (Lincoln, Massachusetts)

For Immediate Release 1998

June 5,

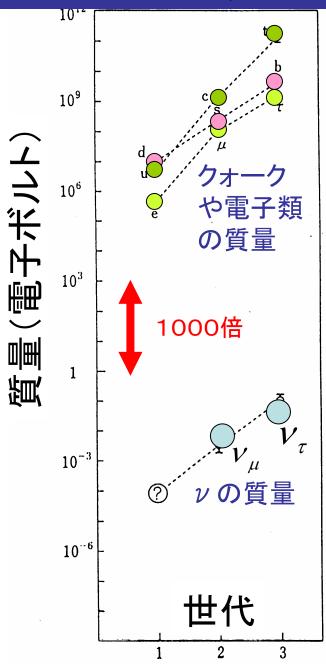
• • • • • • • •

First, we must help you to ensure that America

continues to lead the revolution in science and technology. Growth is a prerequisite for opportunity, and scientific research is a basic prerequisite for growth. Just yesterday in Japan, physicists announced a discovery that tiny neutrinos have mass. Now, that may not mean much to most Americans, but it may change our most fundamental theories -- from the nature of the smallest subatomic particles to how the universe itself works, and indeed how it expands.

This discovery was made, in Japan, yes, but it had the support of the investment of the U.S. Department of Energy. This discovery calls into question the decision made in

#### なぜ、みんなそんなに興奮したのか?



ニュートリノの質量

他の素粒子の質量

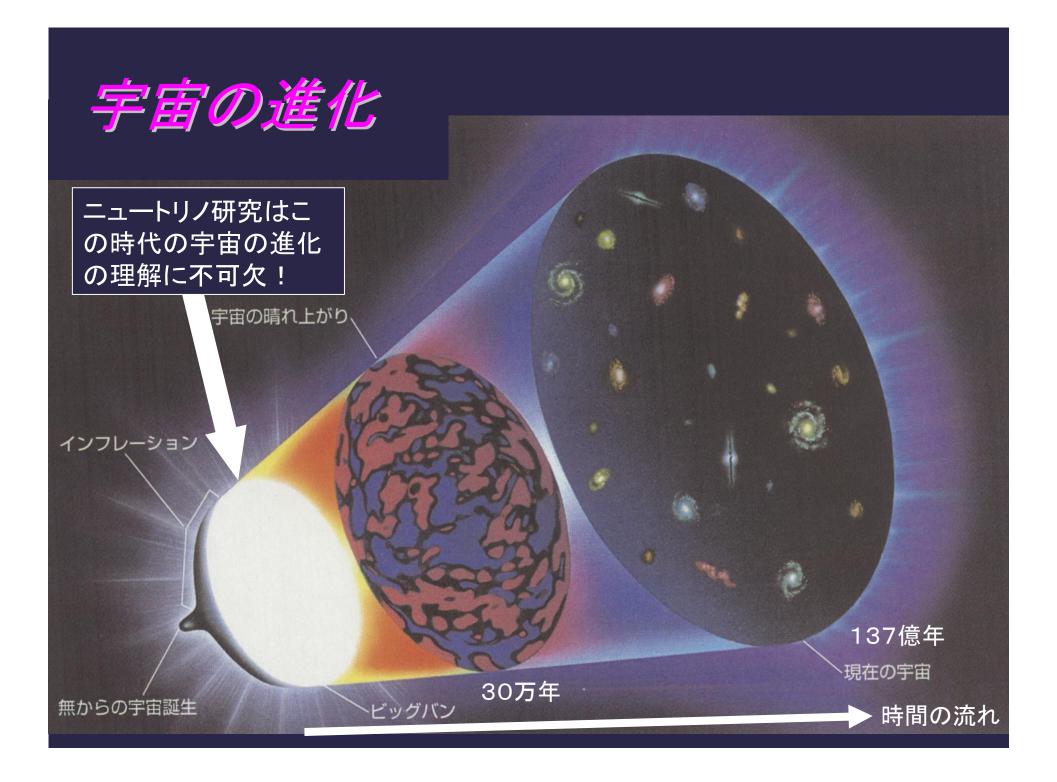
10,000,000,000



なぜこんなに小さいのだろう? 今まで知っている素粒子の世界より 10,000,000,000倍以上高いエネルギーの 自然法則に関係している。



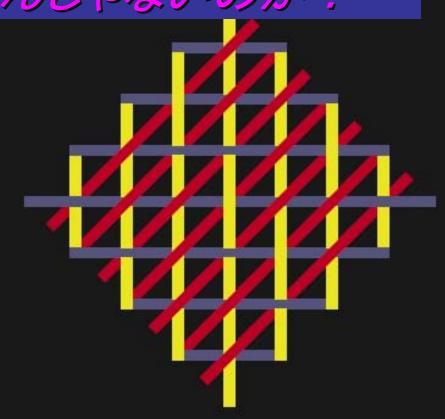
ニュートリノは自然界の力の大統一理論、 宇宙の始まりの頃の世界を調べる鍵



# もうニュートリノに質量があることがわかったから、それでいいんじゃないのか?

2004年アメリカ物理学会
「今後のニュートリノ研究」報告書の表紙

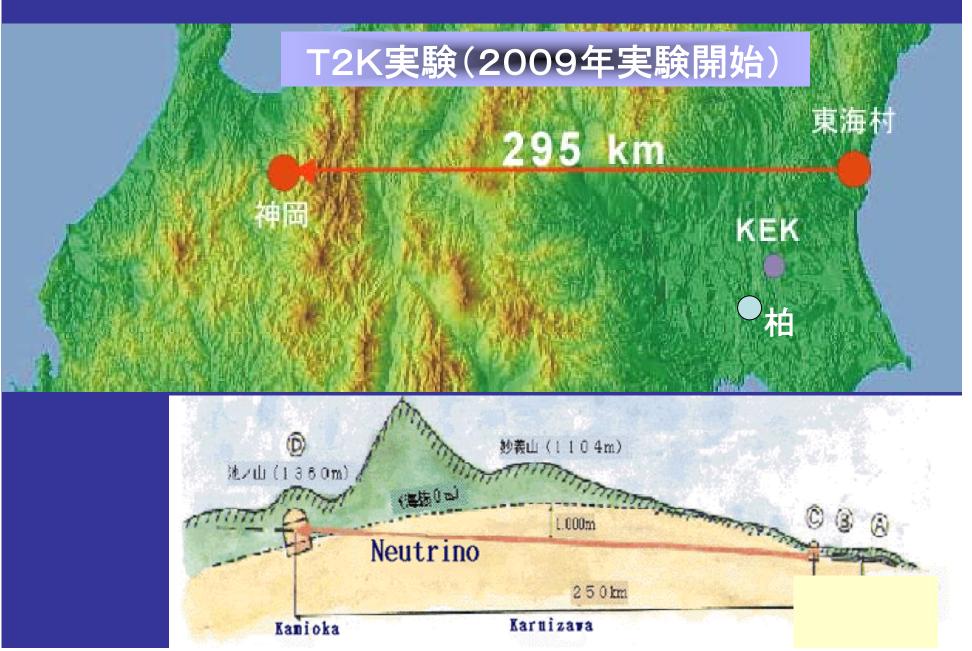
まとめ:ニュートリノに質量 があって、それが新しい物 理像にとってなくてはならな いのだから、アメリカは積極 的にニュートリノ研究を進め るべきだ。



#### The Neutrino Matrix

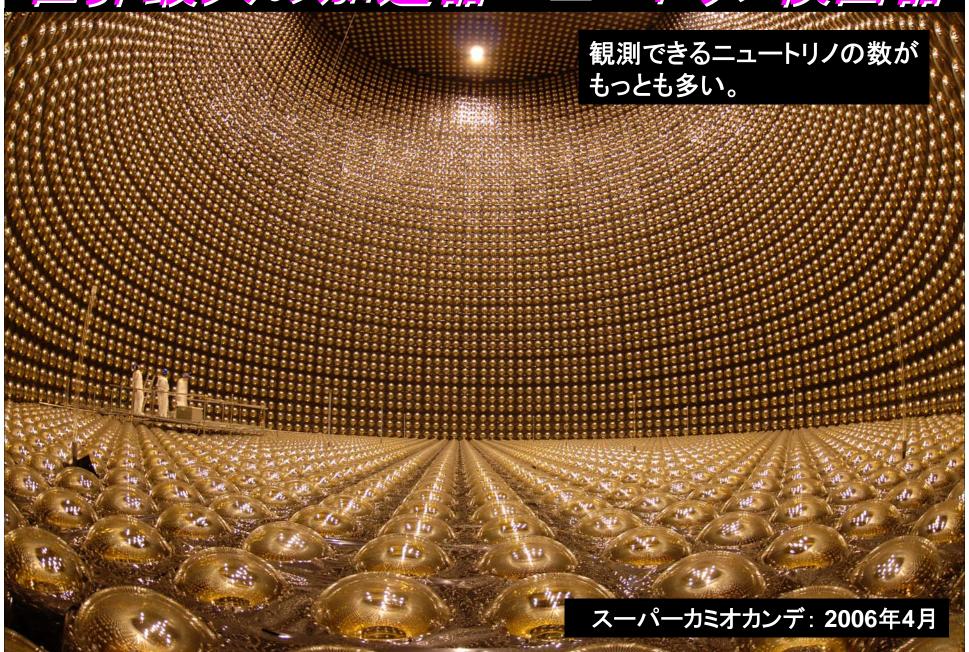
DNP / DOF / DAP / DPB JOINT STUDY ON THE FUTURE OF NEUTRINO PHYSICS

# これからの日本のニュートリノ研究は?





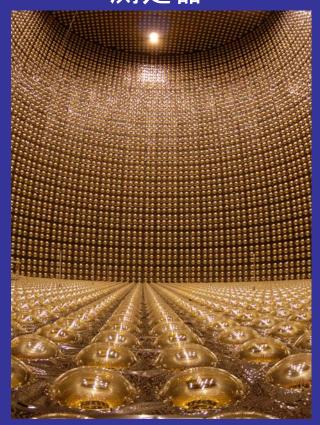
# 世界最大の加速器ニュートリノ検出器



#### 世界最高強度の 加速器

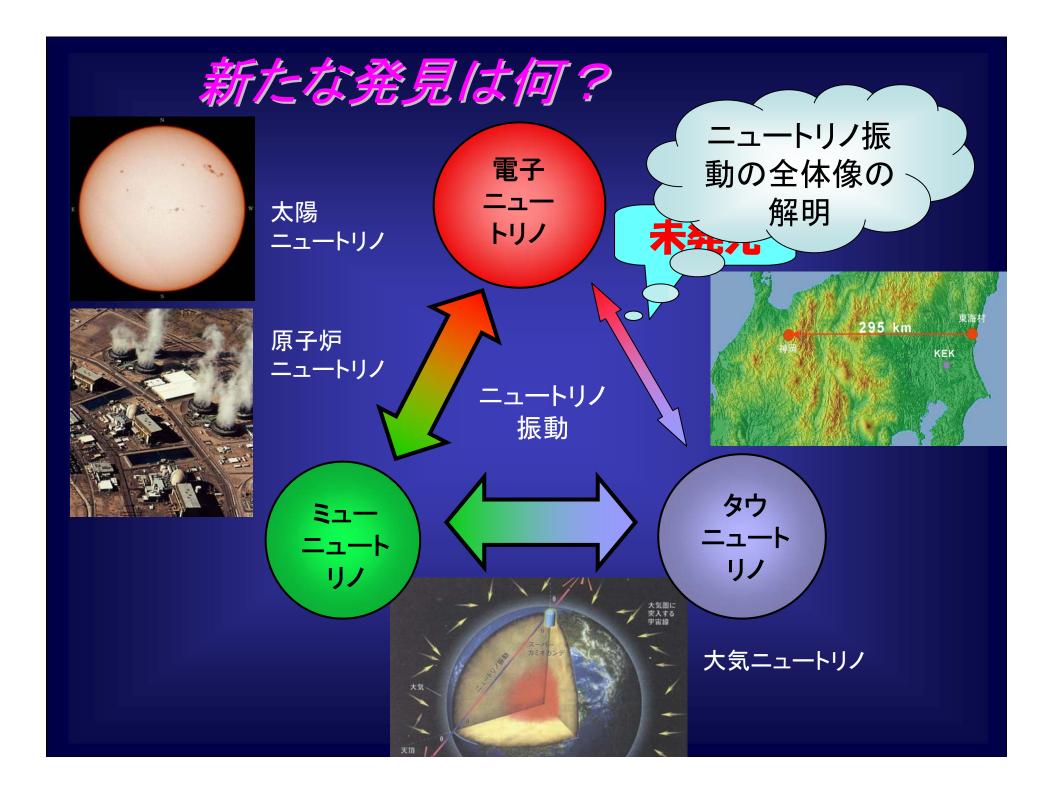


# 世界最大のニュートリノ測定器

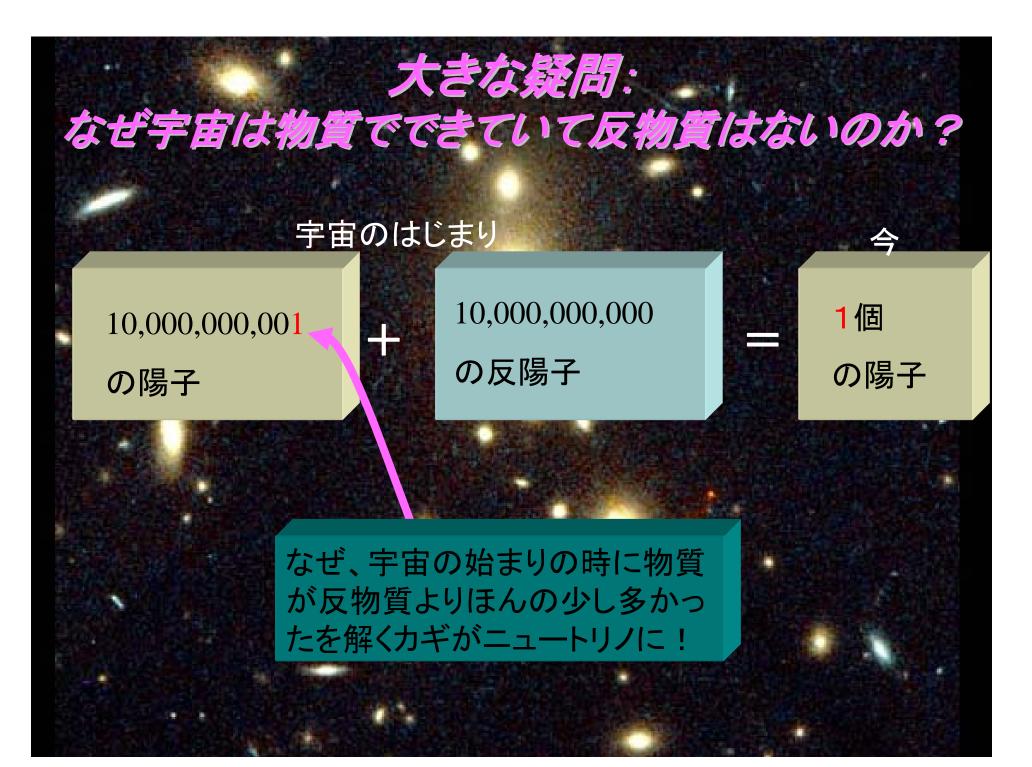


新たな発見!

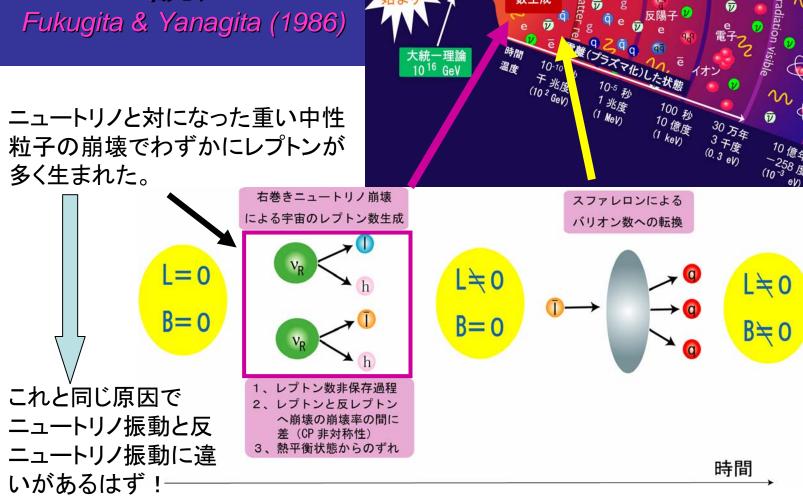
(2009年実験開始予定)



# もし未発見のニュートリノ振動を観測できたら、その先は?



# 宇宙の物質の起源(標準的な仮 説)



ビッグバンから始まる

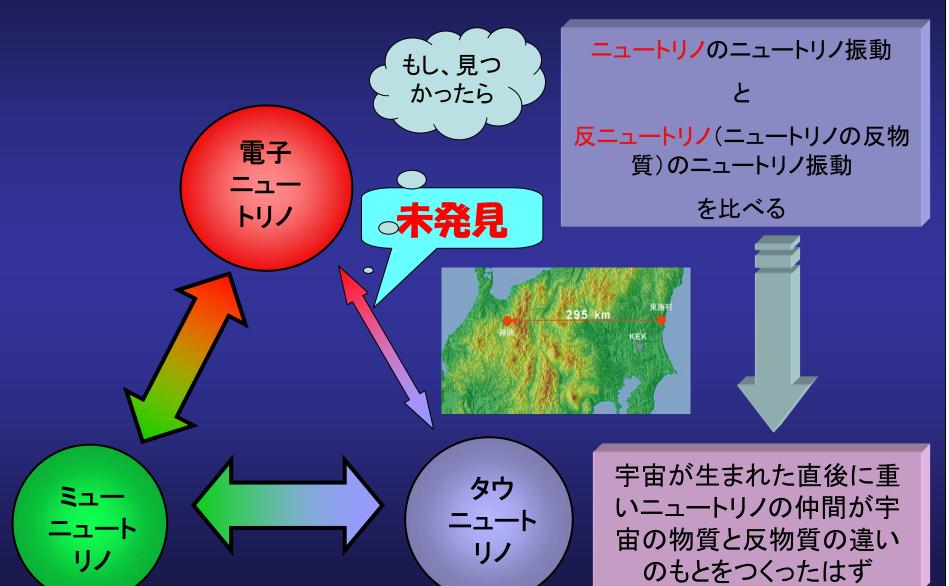
原子

ブラックホー

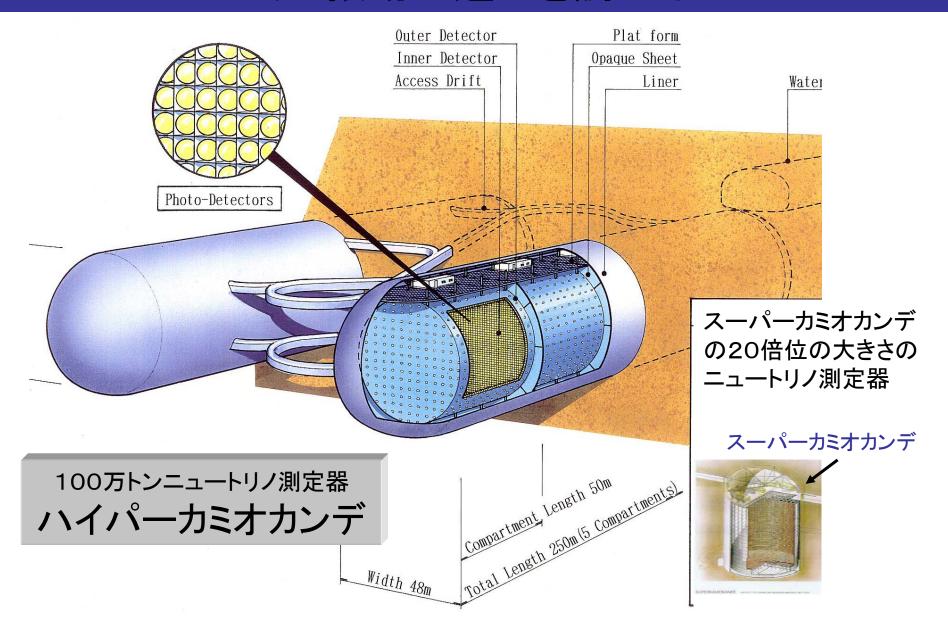
2

宇宙の歴史

# どのように調べる?



#### ニュートリノのニュートリノ振動と反ニュートリノの ニュートリノ振動の違いを調べるには?



# なぜ、実験をするのか? 理論がわかれ ばすべてわかるのでは?

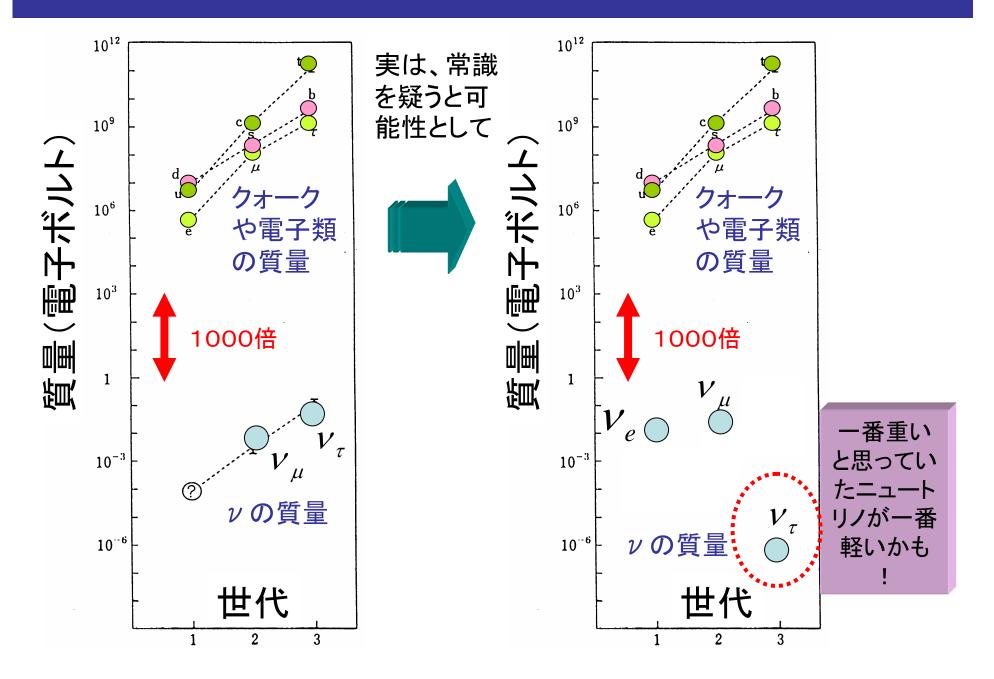
1990年頃の一般的な考え

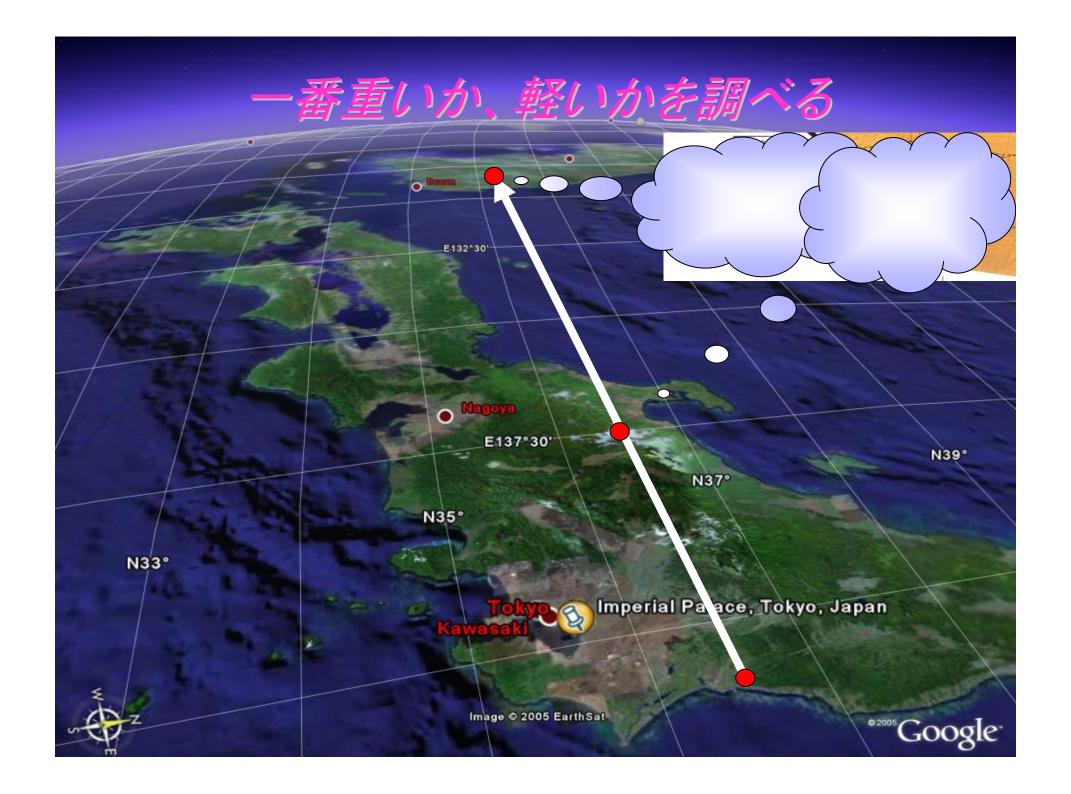
- → 大気ニュートリノ異常は実験のあ やまりのはず。(ニュートリノ振動でデータの説明できるかもしれないが、観 測されたデータを説明するには「大きい 混合角」が必要であり、考えられない)
- ★ 太陽ニュートリノ問題は、ニュートリノ振動かもしれないけど、「小さい混合角」でおこるニュートリノ振動であろう。
- → 宇宙のダークマター(暗黒物質)は ニュートリノかも。

#### 今知っていること

- → この考えははずれ。 実験があっていて、ニュートリノ振動だった。
- → ニュートリノ振動だったけど、「小さい混合角」のニュートリノ振動の予想ははずれ。
- → はずれ。ニュートリノ は質量を持っていたけ ど、軽すぎた。

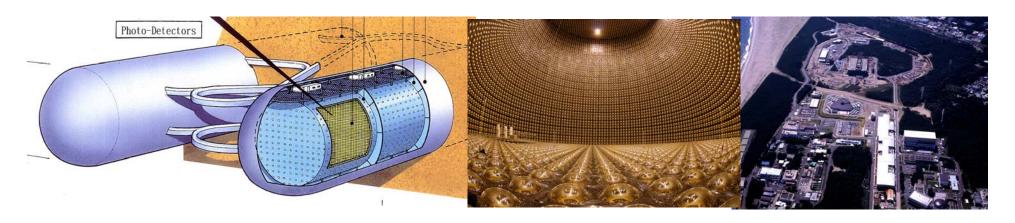
### ということで、常識をもう一度疑ってみると...





# まとめ

#### ニュートリノは宇宙と素粒子の世界の理解を 深める鍵!



若い人が、興味を持ってニュートリノ研究に参加するのを応援します。

何か後で疑問がわけば、

<u>kajita@icrr.u-tokyo.ac.jp</u>

まで