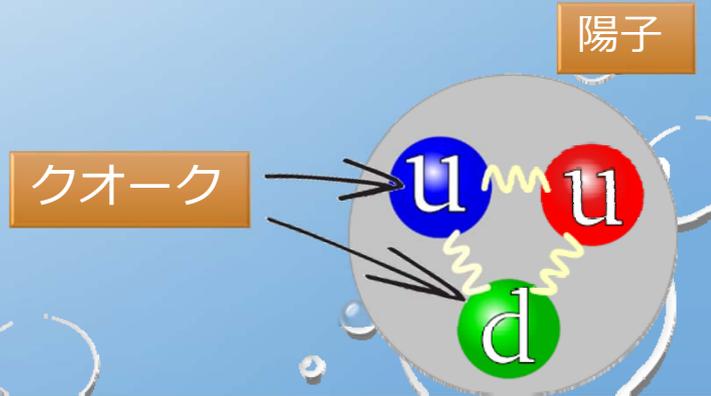
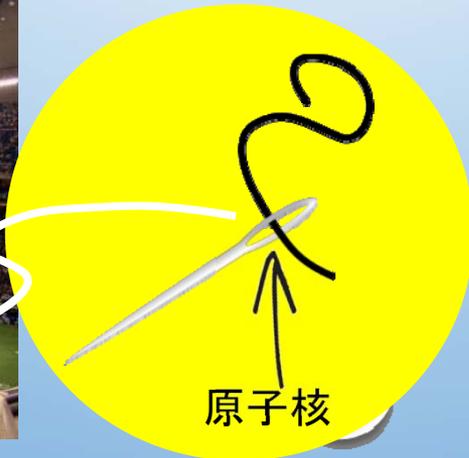
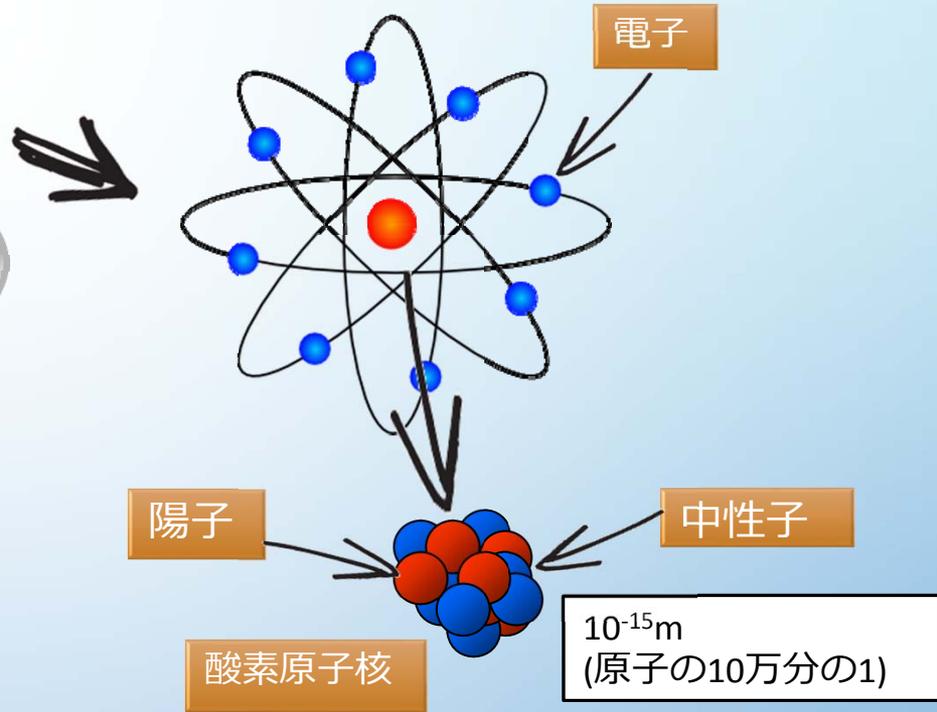
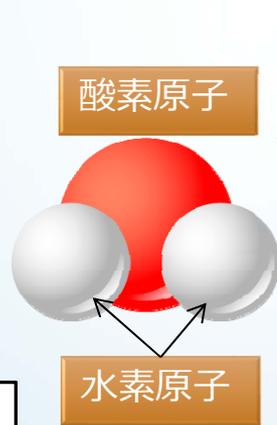
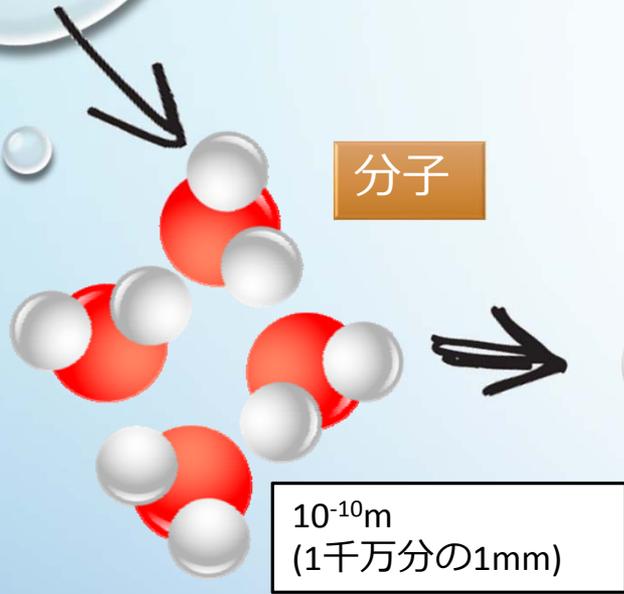


「梶田さんのノーベル賞って
何？
J-PARCとなんか関係あんの？」

市川温子 京都大学

物質をどんどん細かく見ていくと。。。。



素粒子？

これ以上分割することのできない、物質の構成要素
無限に小さい???

原子(東京ドーム)の中の陽子(針の孔)に比べて少なくともさらにその
1000分の1以下。

電子やクォークは素粒子と考えられている。

クォーク (集まって陽子や中性子になる)	アップ	チャーム	トップ
	ダウン	ストレンジ	ボトム
レプトン (電子の仲間)	電子	ミュー	タウ
	電子ニュートリノ	ミューニュートリノ	タウニュートリノ

それぞれ重さが違う



軽い



重い

アップ	チャーム	トップ
ダウン	ストレンジ	ボトム
電子	ミュー	タウ
電子ニュートリノ	ミューニュートリノ	タウニュートリノ

電気を持っている。
各行で運ぶ電
気の量(電荷)
が違う



電気を持ってない。重さも(ほとんど)ない。

どうやって区別するの？

コインの表と裏

電子、ミュー粒子、タウ粒子は物質に当たって「弱い力」でひっくり返ると

電子

ミュー

タウ

- 電子は、物質中で弱い力を受けて**電子ニュートリノ**になる
- ミュー粒子は、**ミューニュートリノ**になる。
- タウ粒子は、**タウニュートリノ**になる。

コインの表と裏

ニュートリノは、物質に当たって「弱い力」でひっくり返ると



- **電子ニュートリノ**は、物質中で弱い力を受けて**電子**になる
- **ミューニュートリノ**は、**ミュー粒子**になる。
- **タウニュートリノ**は、**タウ粒子**になる。

表

電子

ミュー

タウ

裏

電子
ニュー
トリノ

ミュー
ニュー
トリノ

タウ
ニュー
トリノ

電子、ミュー粒子、タウ粒子それぞれに対応したニュートリノがある。

電子の裏側を電子ニュートリノ

ミュー粒子の裏側をミューニュートリノ

タウ粒子の裏側をタウ粒子

と名付けた。(1960年代)

電子ニュートリノを裏返したら電子しか出てこない。ミュー粒子やタウ粒子には決してならない(と1990年ころまで)思われていた

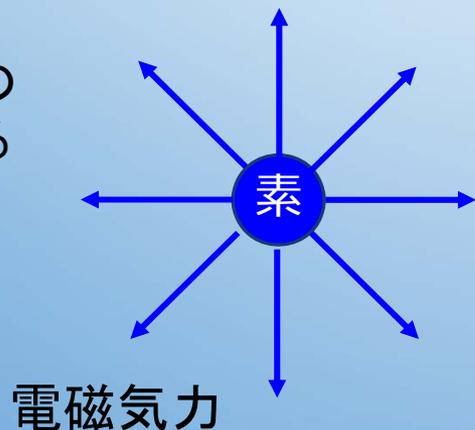
力

○素粒子と素粒子をくっ付けているのが力

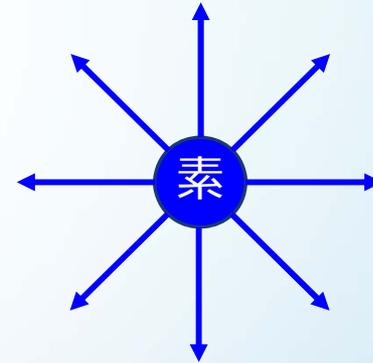
- 電磁気力
- 強い力
- 弱い力
- 重力

の4種類があることがわかっている。

素粒子から力の線が伸びているイメージ図

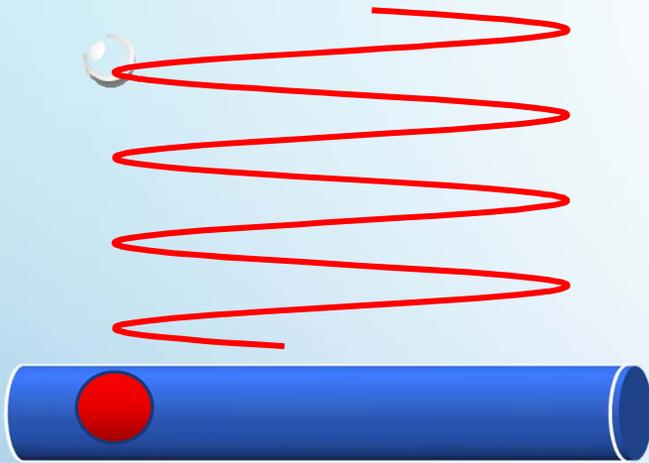


電波



電磁気力

電子をゆすると、電波が出てくる。



アンテナ



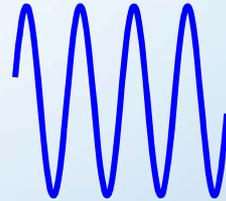
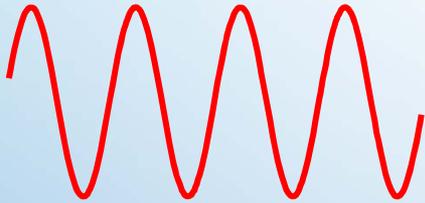
電波

波

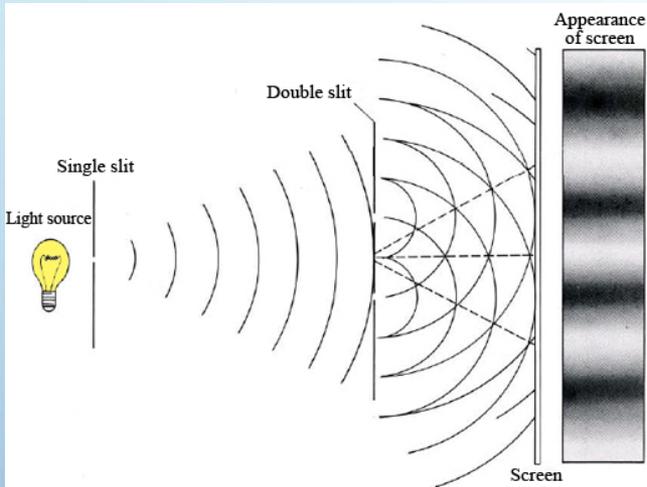
音叉でうなりを聞いてみよう。

光

- 波の性質を持っている。
- 光は、とても周波数の高い電磁波
- 色の違いは、周波数の違い。



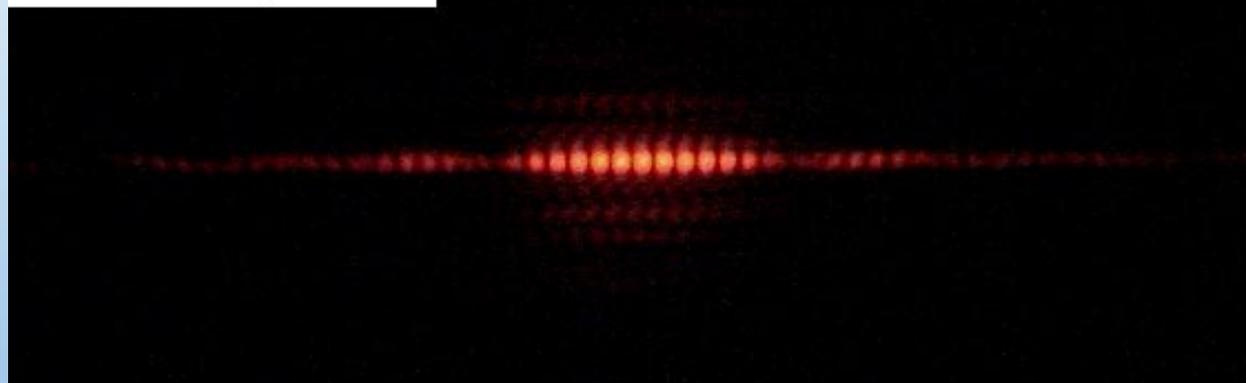
二重スリットによる光の干渉



Single-slit pattern



Double-slit pattern



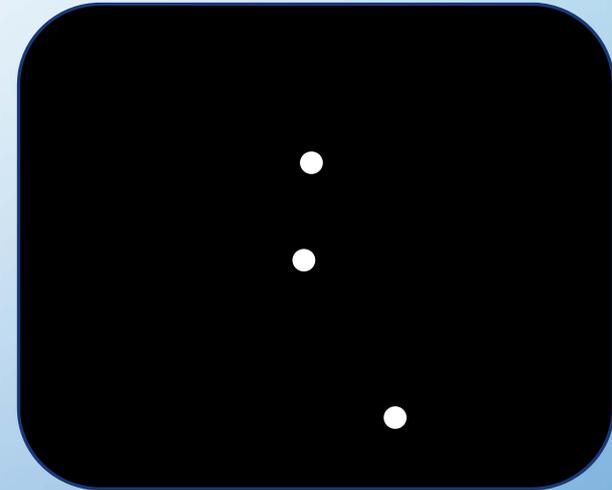
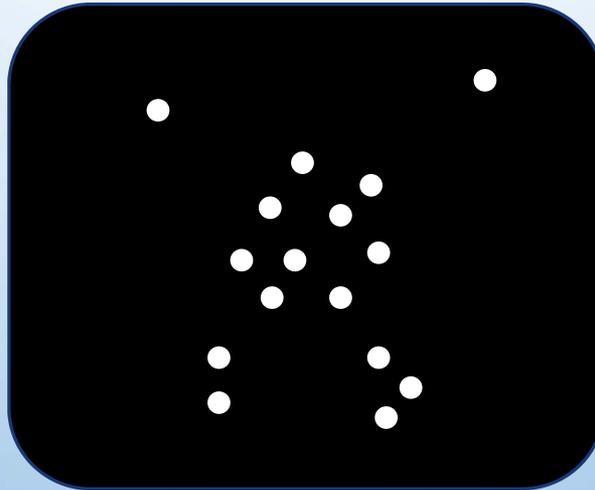
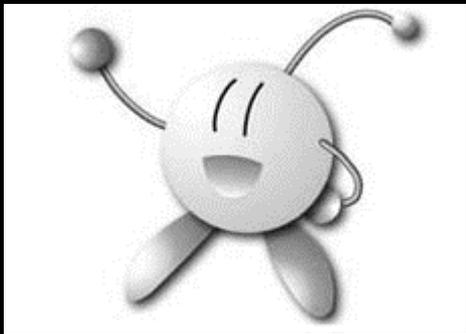
光の不思議な性質

ものすごく感度の高いカメラを用意する。

(光電子増倍管とか)

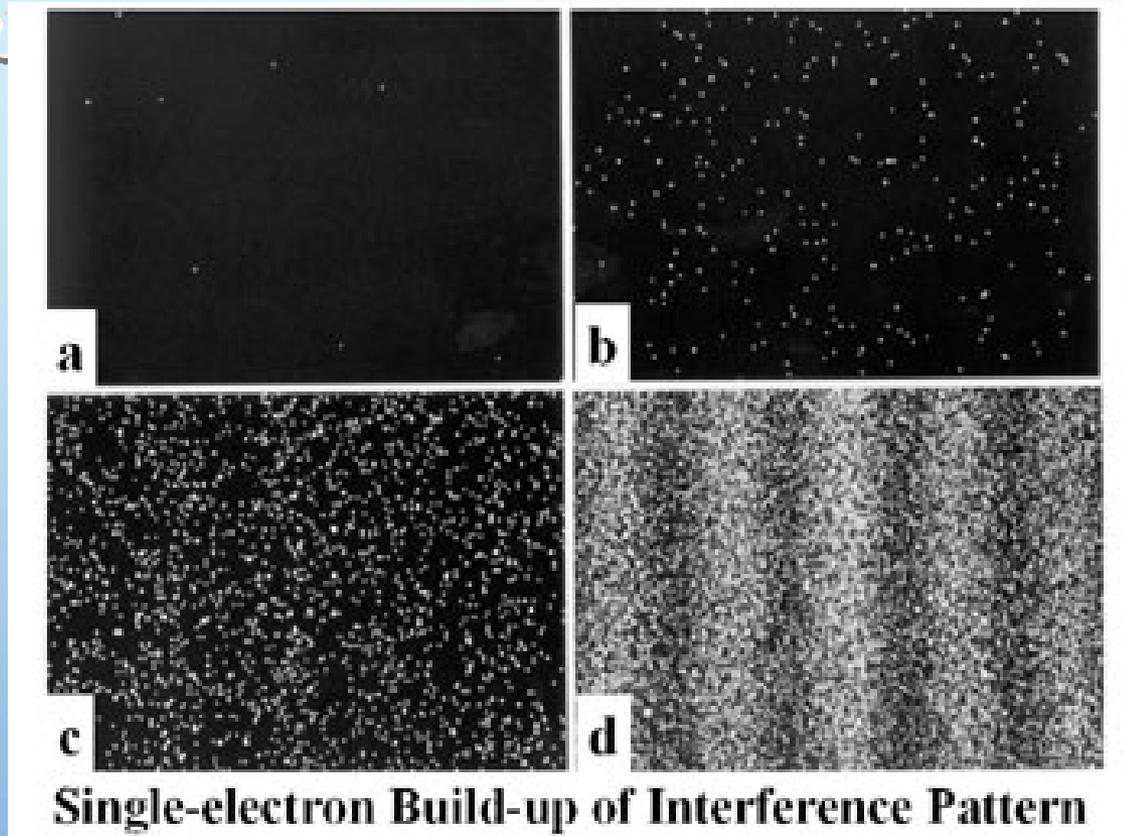
だんだんと照明を暗くする。

よーく見ると。。。だんだん薄くなるのではなく、ぽつぽつになっていき、そのぽつぽつが減っていく。



光は、波なのに、粒子としての性質も持つ
(1905年、アインシュタインの光量子仮説)

電子のもっと不思議な性質



電子顕微鏡の画像
二重スリットを通してている。

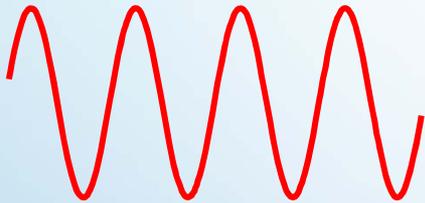
(電子だけではなく)素粒子は、波としての性質を持つことがわかった！

(1924年、ド・ブロイ)

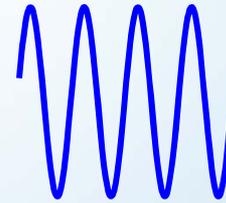
A. Tonomura, J. Endo, T. Matsuda, T. Kawasaki and H. Ezawa, "Demonstration of single-electron buildup of an interference pattern," Am. J. Phys. 57 (1989), 117-120.

素粒子と周波数

周波数が低い(波長が長い)

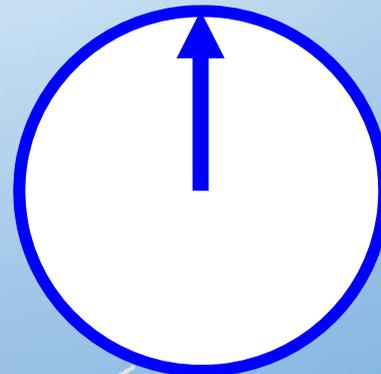


周波数が高い(波長が短い)



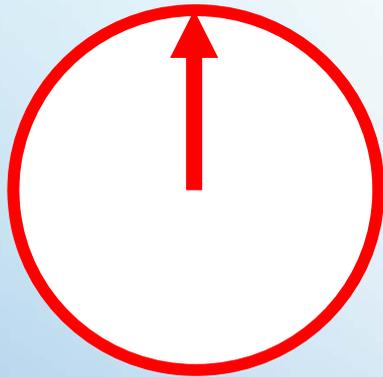
エネルギー 大きいほど周波数が高い
同じエネルギーでも、重い粒子は周波数が高い

周波数が違う、ということは、粒子がそれぞれ進み方の違う時計を持っているようなもの



電子のもっとも不思議な性質

- 粒子の持っている時計は、逆回転することがある！



逆回転する粒子は、反対符号の電気を運んでいるように見える。
電子：マイナスの電気を運ぶ。
逆回転している電子：プラスの電気を運ぶ ← 反電子（陽電子）

反粒子

- 1931年 ディラックが反粒子を予言
- 1932年 電子の反粒子:陽電子が発見される
- 1955年 加速器で反陽子を作ること成功

物質を構成する素粒子

電荷 $+\frac{2}{3}e$ のクォーク	u	c	t
電荷 $-\frac{1}{3}e$ のクォーク	d	s	b
電荷0のレプトン (ニュートリノ)	ν_e	ν_μ	ν_τ
電荷 $-e$ のレプトン	e	μ	τ

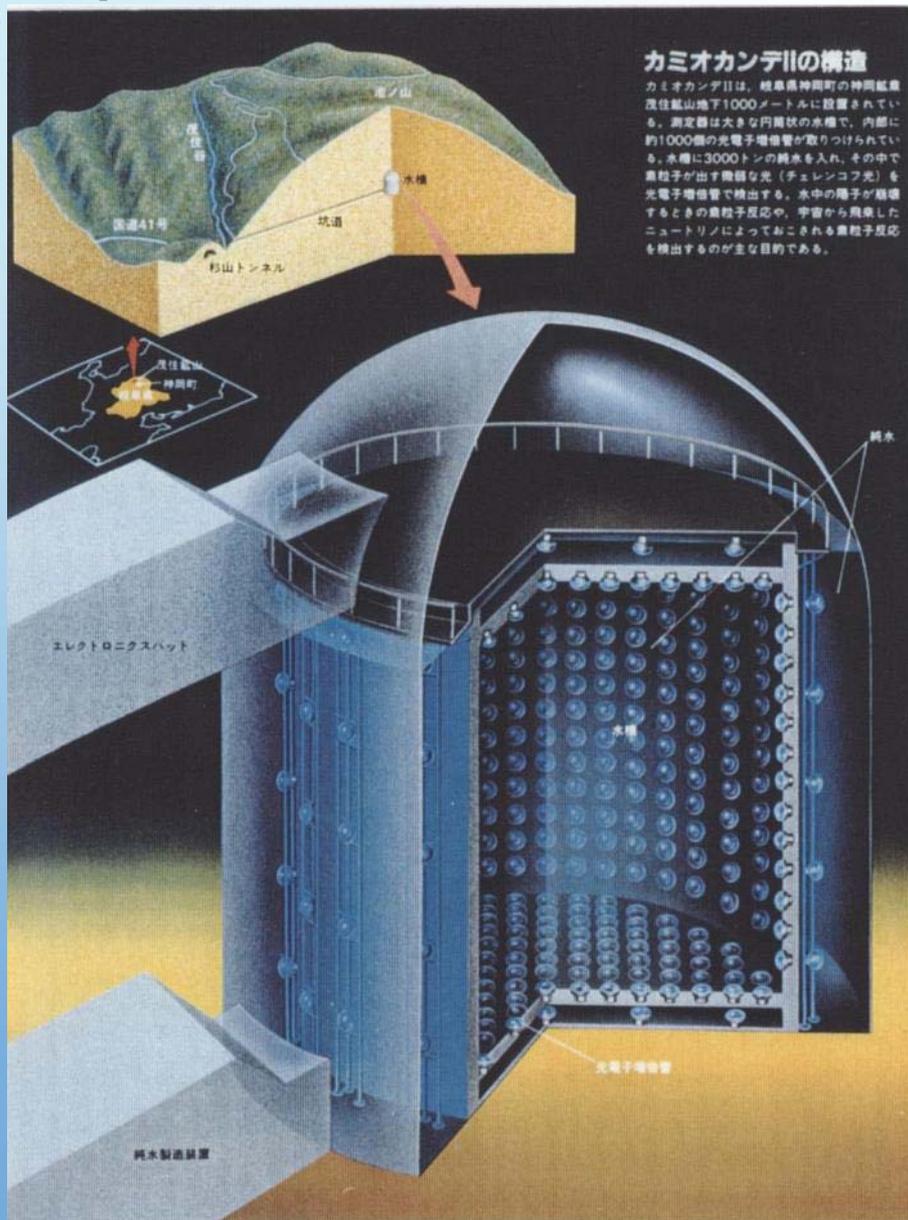
反素粒子

上に $\bar{\quad}$ をつける。

電荷 $-\frac{2}{3}e$ のクォーク	\bar{u}	\bar{c}	\bar{t}
電荷 $+\frac{1}{3}e$ のクォーク	\bar{d}	\bar{s}	\bar{b}
電荷0のレプトン (ニュートリノ)	$\bar{\nu}_e$	$\bar{\nu}_\mu$	$\bar{\nu}_\tau$
電荷 $+e$ のレプトン	\bar{e}	$\bar{\mu}$	$\bar{\tau}$

ニュートリノを捕まえる

カミオカンデ実験 (1983-1996年)



岐阜県神岡町神岡鉱山
地下1000メートルの場所に
3000トン水タンクを建設

1000本の20インチ光電子
増倍管



スーパーカミオカンデ検出器

- 地下1000メートル
- 50,000トンの水タンク
- 11,146 20 inch(~50cm) 光電子増倍管

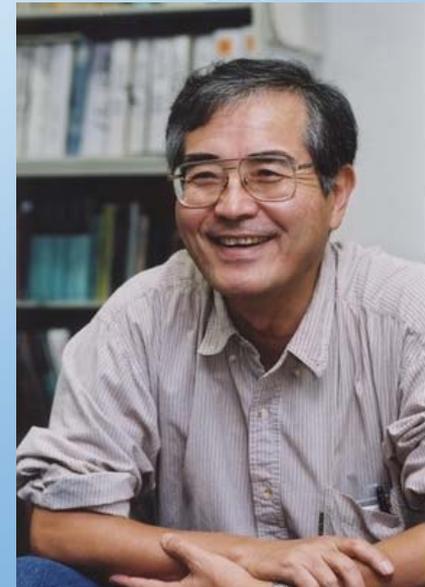
電子

42m

39m

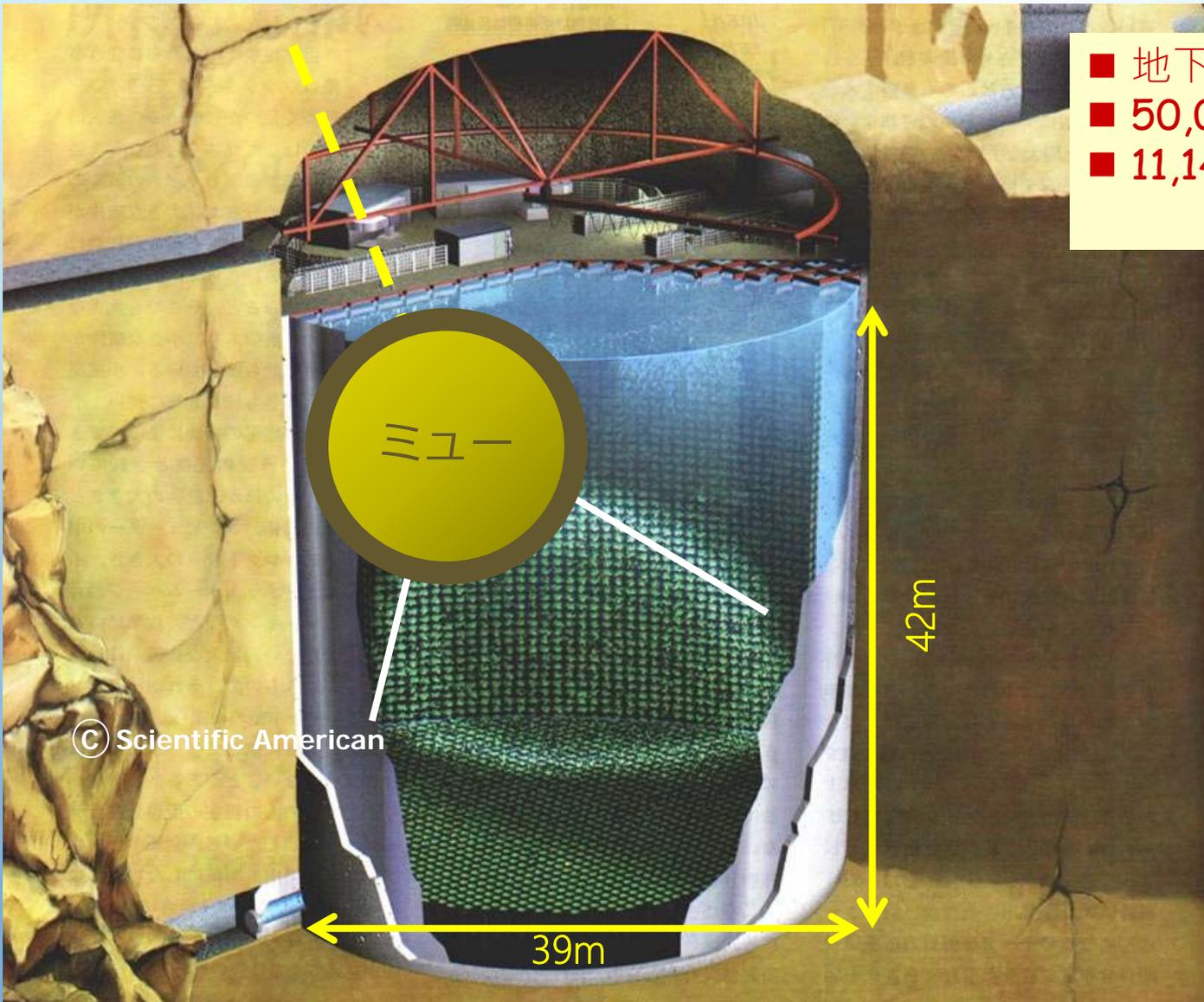
© Scientific American

戸塚洋二

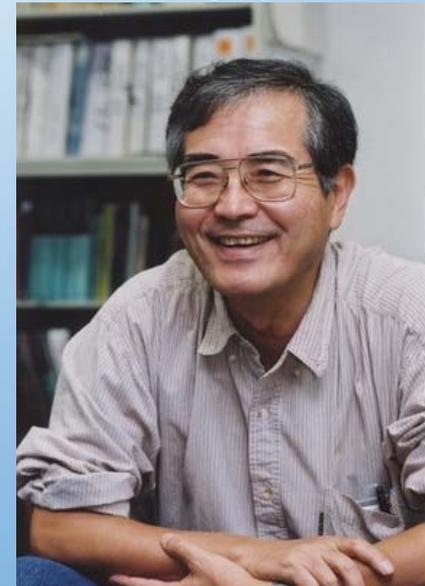


スーパーカミオカンデ検出器

- 地下1000メートル
- 50,000トンの水タンク
- 11,146 20 inch(~50cm) 光電子増倍管

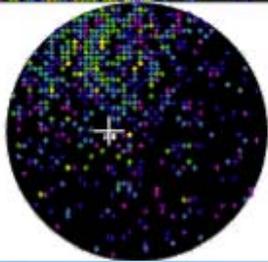
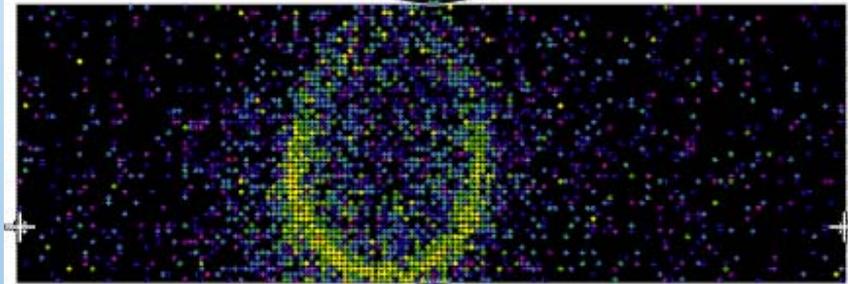
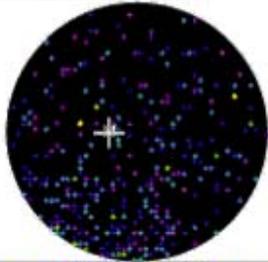


戸塚洋二

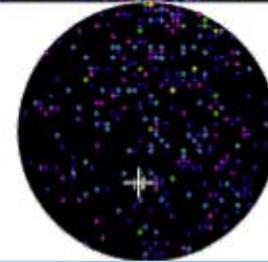
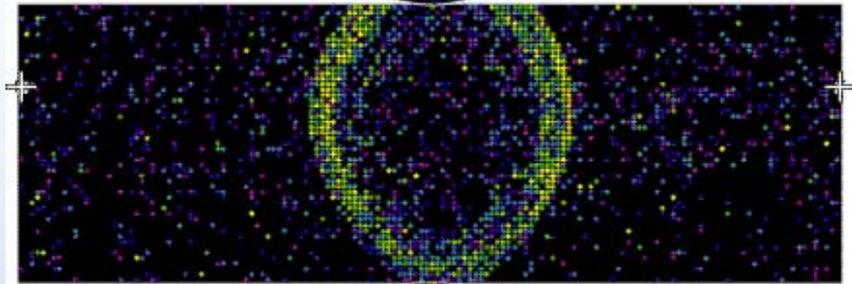
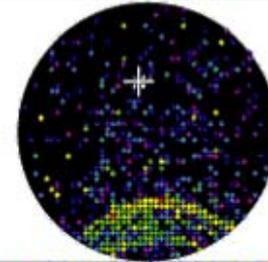


スーパーカミオカンデは 電子とミュー粒子を区別できる

電子

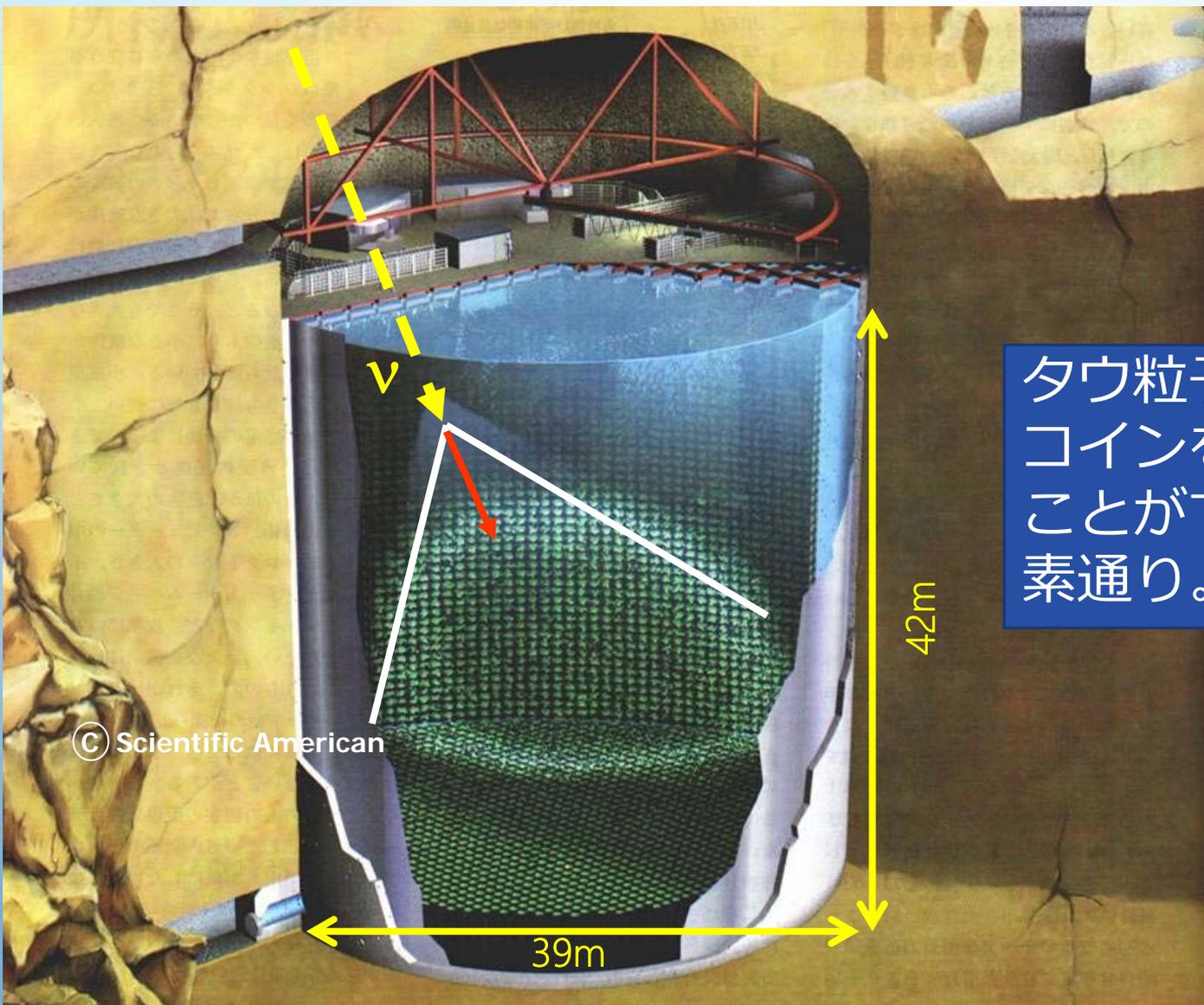


ミュー



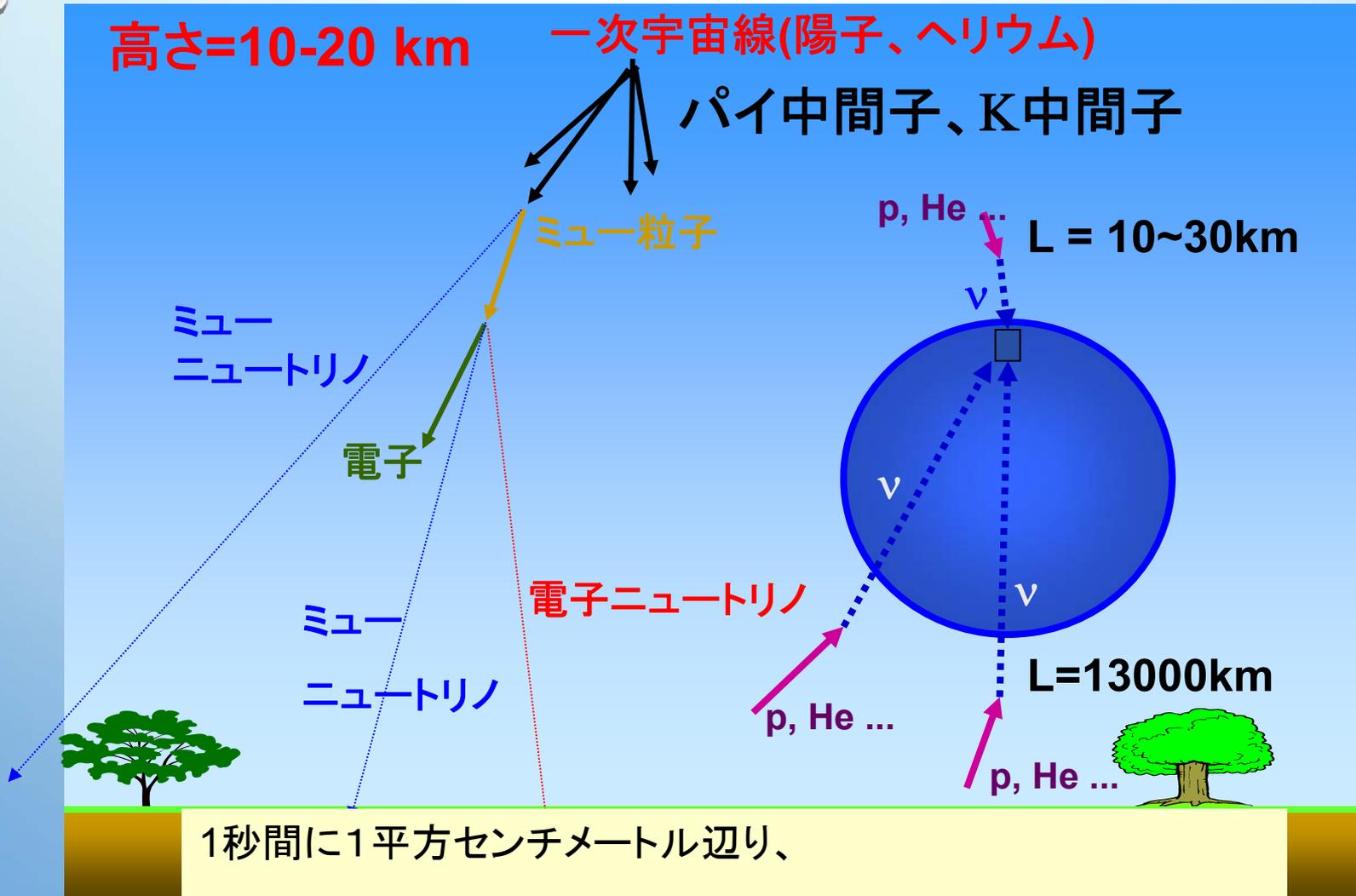
ということで、電子ニュートリノが来たのか、ミューニュートリノが来たのかを区別できる。

タウニュートリノが来ると。。。。



タウ粒子は重いので、
コインをひっくり返す
ことができない。。。
素通り。

梶田さんのノーベル賞受賞は
大気でできたニュートリノが地球の裏側か
らくる間に減ってしまっているというもの。



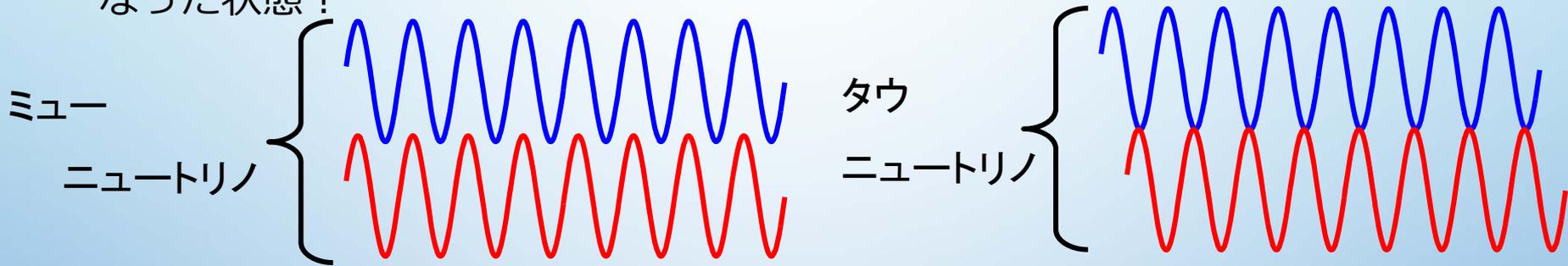
1秒間に1平方センチメートル辺り、
1個のニュートリノが空から降ってきている

ニュートリノに（ごくわずかの） 重さがあったら？

重さによる種類分けと、コインの裏表で決める種類が同じとは限らない。

違っていたら？

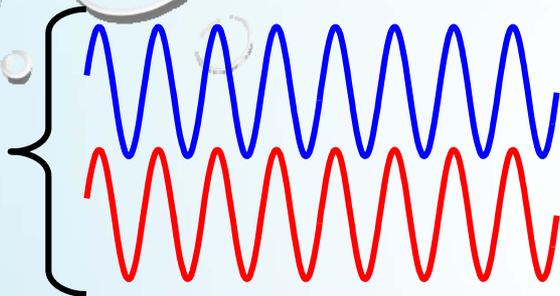
電子ニュートリノとと思っているものは、何種類かの異なる質量をもった波の重なった状態！



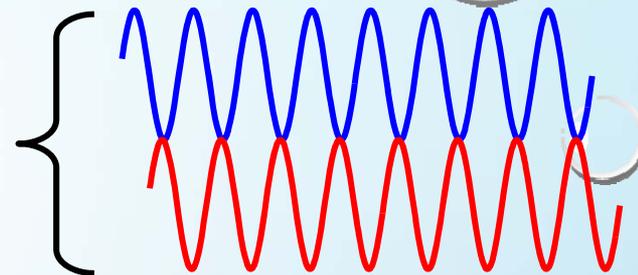
電子ニュートリノ、ミューニュートリノ、タウニュートリノのそれぞれのニュートリノが何種類かの進み方の異なる時計を持っていることになる！



ミュー
ニュートリノ

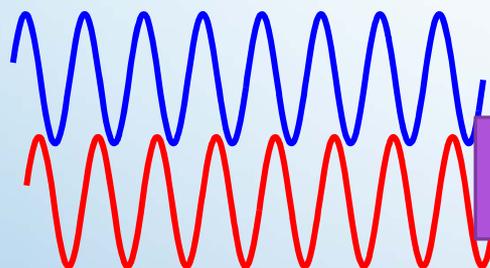


タウ
ニュートリノ

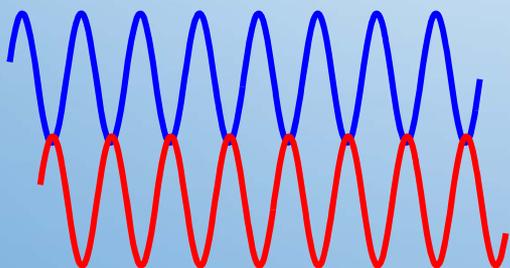
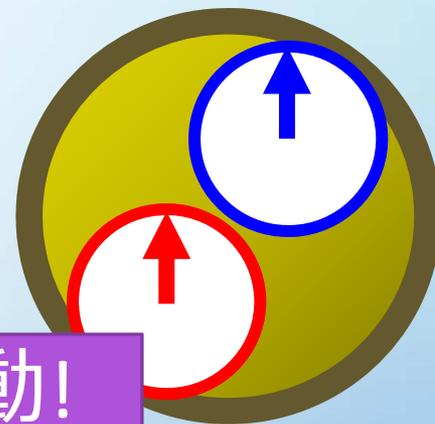


Aの波とBの波は異なる速さで進む

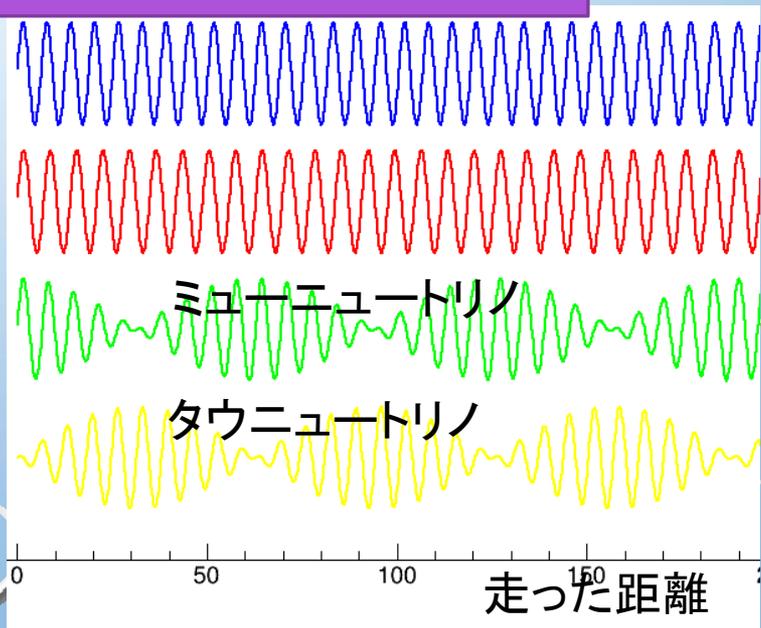
数百キロメートル
進むうちに



ニュートリノ振動!

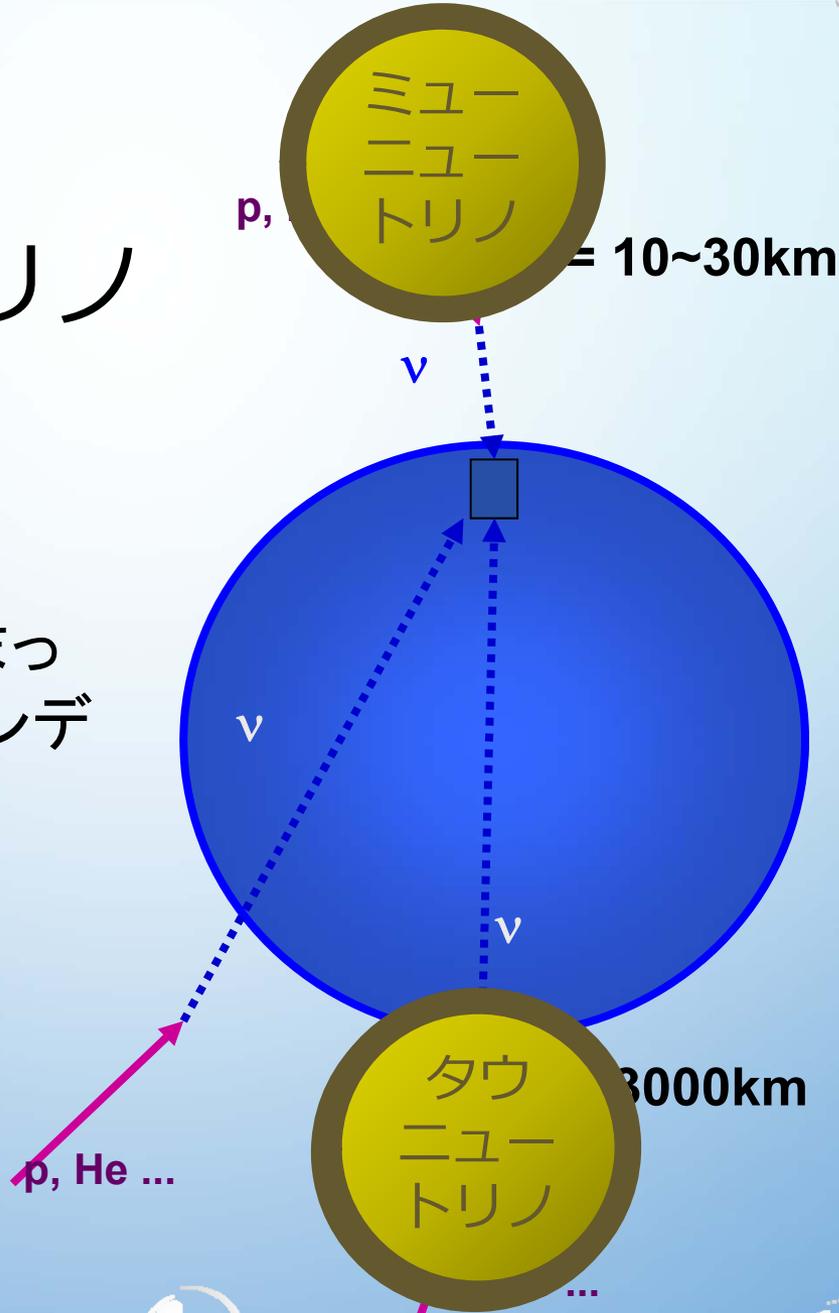


タウニュートリノ!

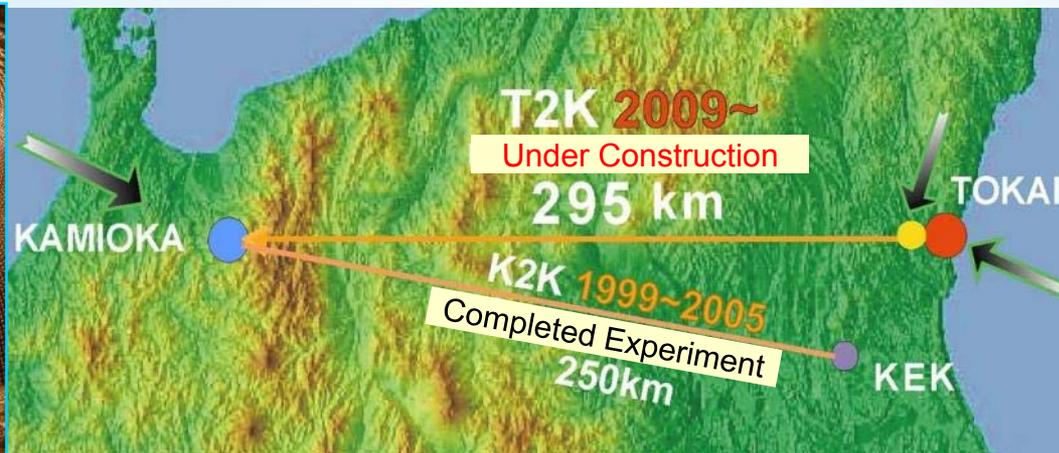
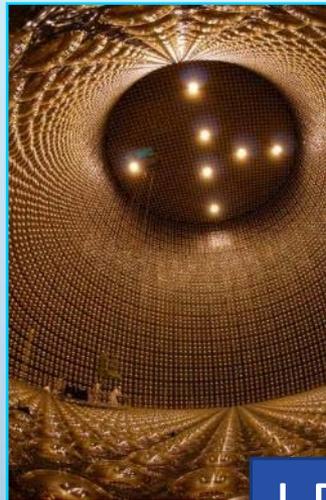


大気ニュートリノ問題

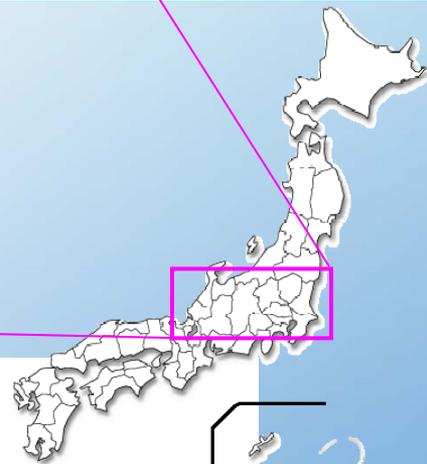
ミューニュートリノがタウニュートリノに変わってしまったため、スーパーカミオカンデを素通りしてしまう。
1998年に確立!



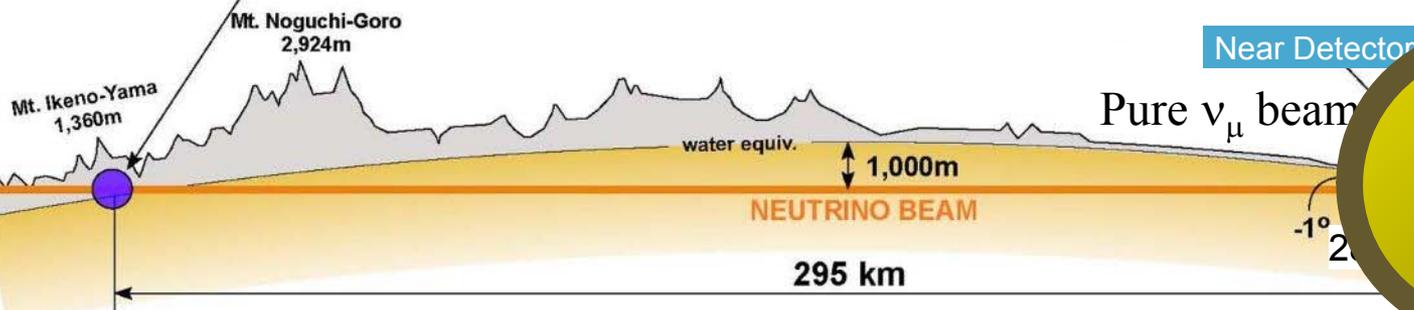
T2K (TOKAI TO KAMIOKA) 長基線ニュートリノ振動実験



J-PARCで作ったミューニュートリノの大部分がタウニュートリノになって、スーパーカミオカンデを素通りする。

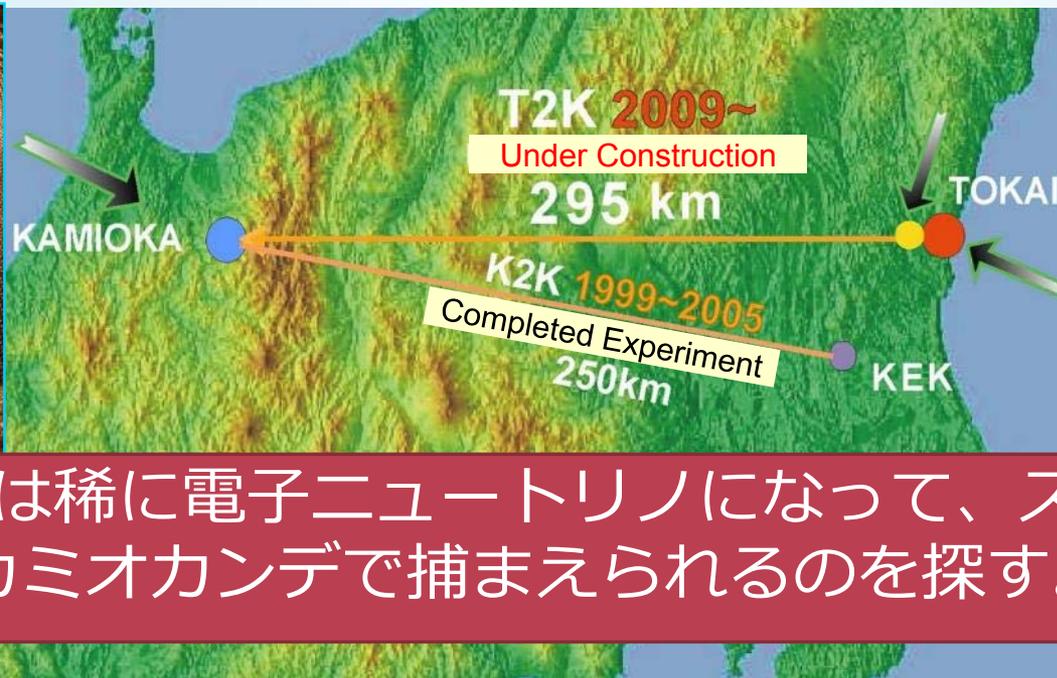
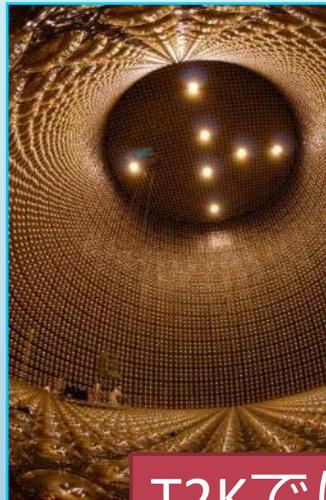


Super-KAMIOKANDE

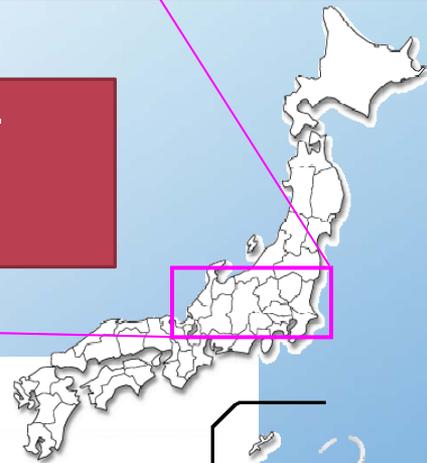


タウ
ニュートリノ

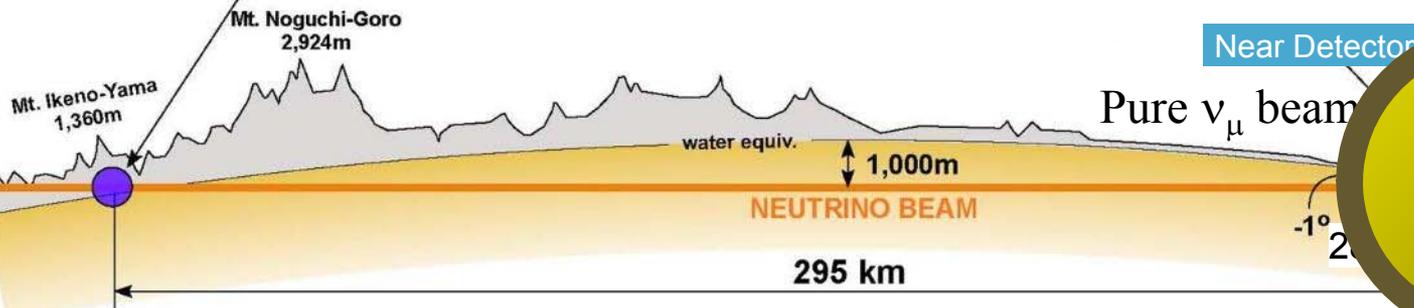
T2K (TOKAI TO KAMIOKA) 長基線ニュートリノ振動実験



T2Kでは稀に電子ニュートリノになって、スーパーカミオカンデで捕まえられるのを探す。

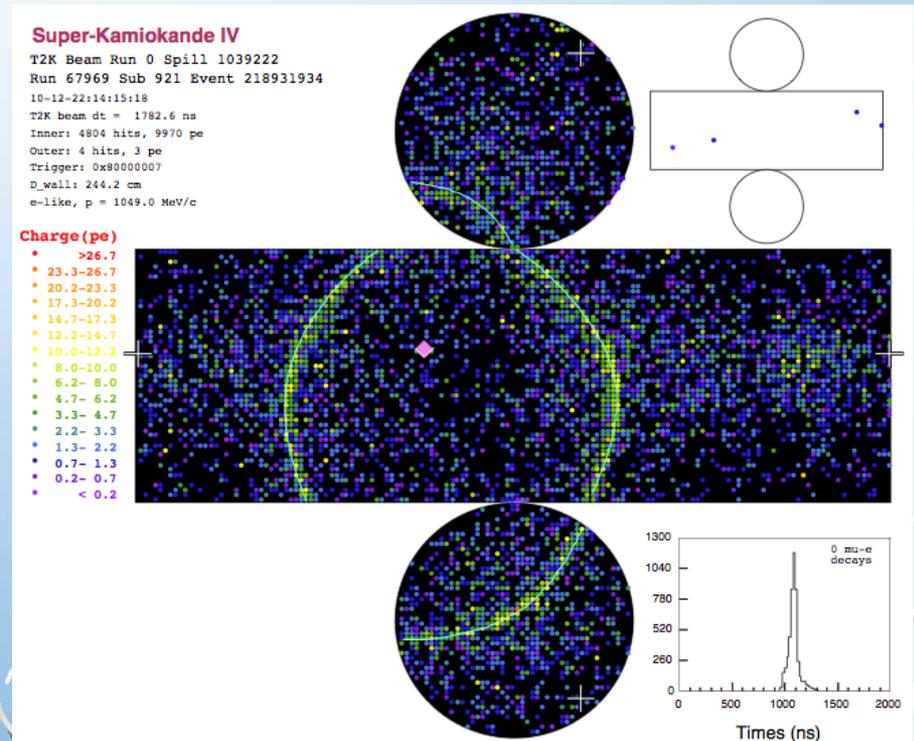
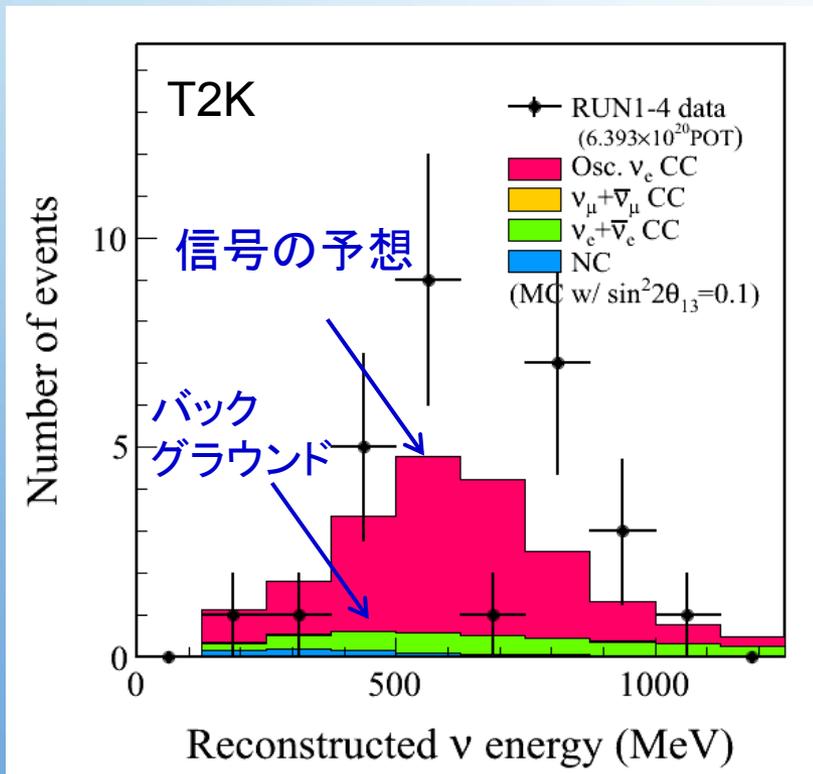


Super-KAMIOKANDE



28個 見つかった！ 2013年7月

最大約5%が変化 (20回に1回電子ニュートリノに変わる)



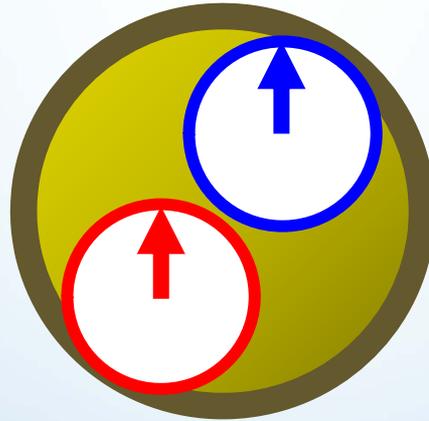
終わり？

世界中から500人以上も寄ってたかってやってきて、
加速器、施設、事務、業者の人を巻き込んで、

それだけ？

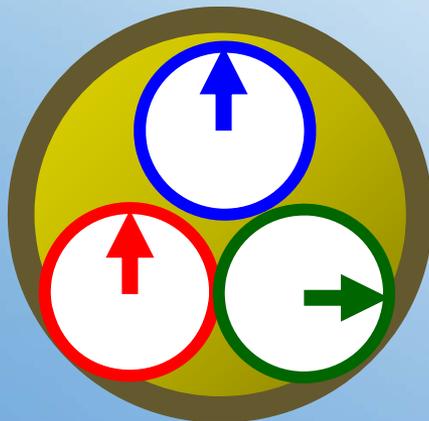
違います！

ニュートリノは3種類あるので重さも3種類(=時計が3つ)



時計が二つの場合は、
二つの針をどこから
始めても、結果は同じ。

ニュートリノ



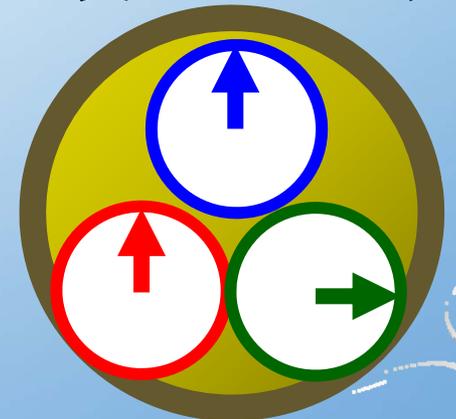
時計が三つの場合は、三つ目の針
の場所によって、結果が違ってしま
う。

粒子と反粒子が異なる振る舞い方
をしてしまう！

**物質・反物質対称性(CP)の破れ！
(小林・益川の理論)**

CPの破れはクォークでは見つかっ
ているが、ニュートリノではまだ見
つかっていない。

反ニュートリノ



宇宙には、なぜ反物質がない???

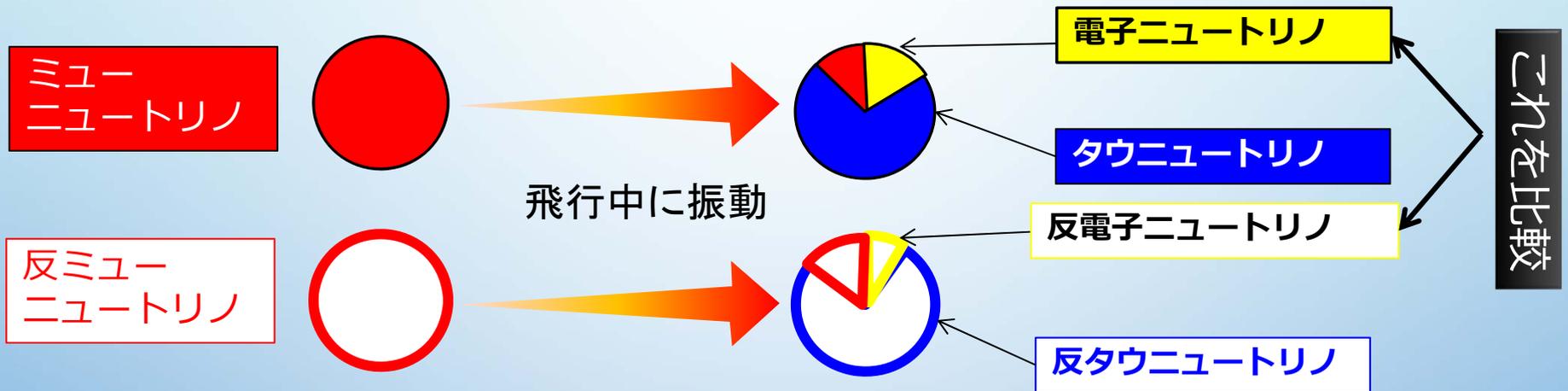
宇宙の始まりには、クォークもレプトンもなかった。宇宙創成の時のエネルギーから、クォーク・反クォーク、レプトン・反レプトンが生成。

では、宇宙には、同じ数だけの物質と反物質が存在するはず。
身の回りには、物質しか見当たらない。

現代科学で未解決の大きな大きな謎

謎を解くパズルのピースを埋めるため、ニュートリノでCP対称性の破れを見つけたい！

ニュートリノでCP対称性の破れを測るには



CP対称性の破れの発見を目指して、T2K実験はさらにデータを集めています。

(最近、反ニュートリノビームをスーパーカミオカンデに打ち込んでいます)

おしまい