



# スーパーカミオカンデ実験 でわかったこと

ウェンデル・ロジャー  
京都大学  
2018年8月19日  
日本科学未来館

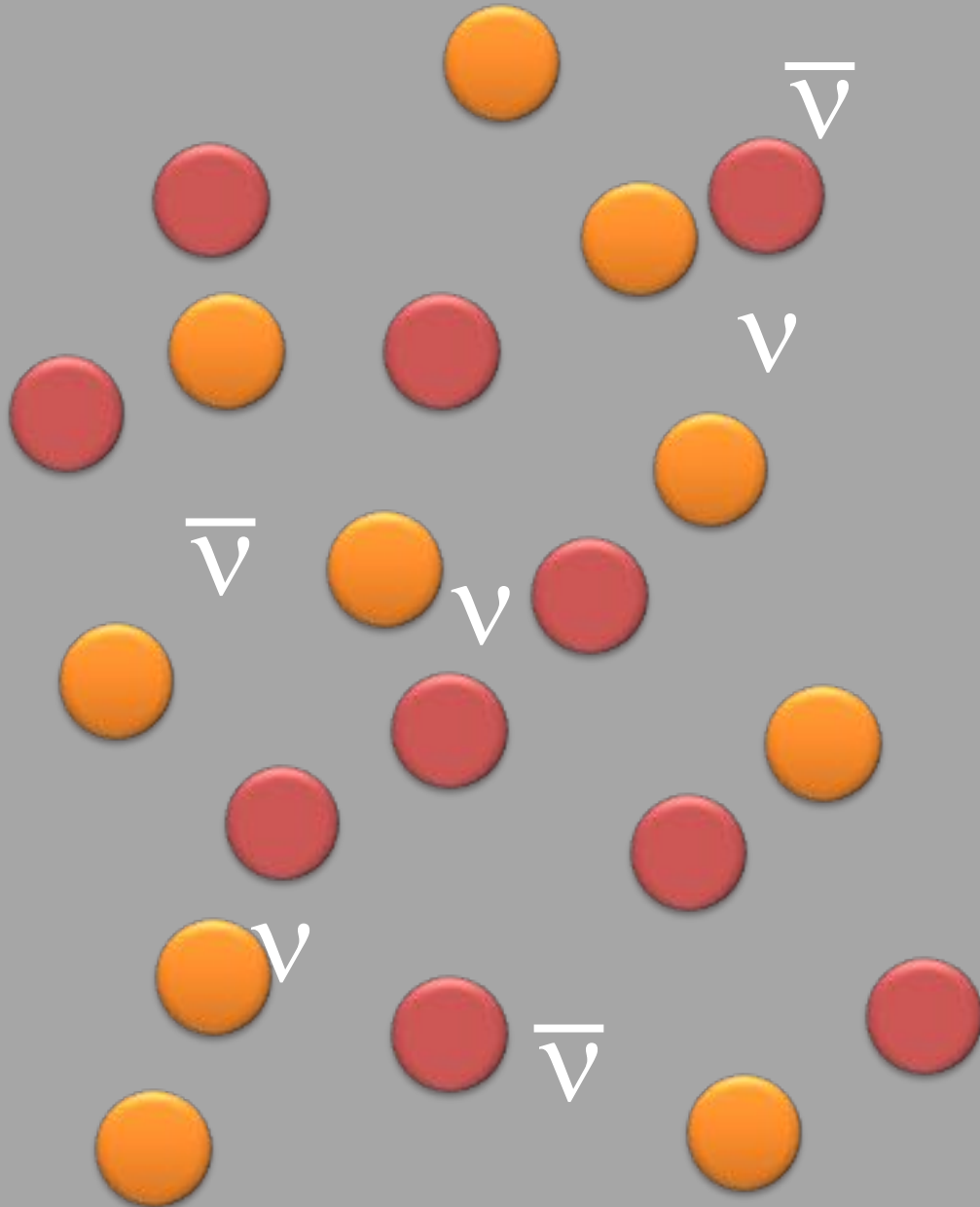
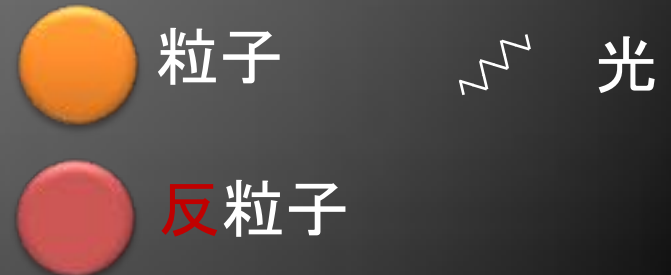
どこみても、地球と同じような物質しかないみたい



# 宇宙の始まり

宇宙誕生直後は粒子と反粒子は同数に存在

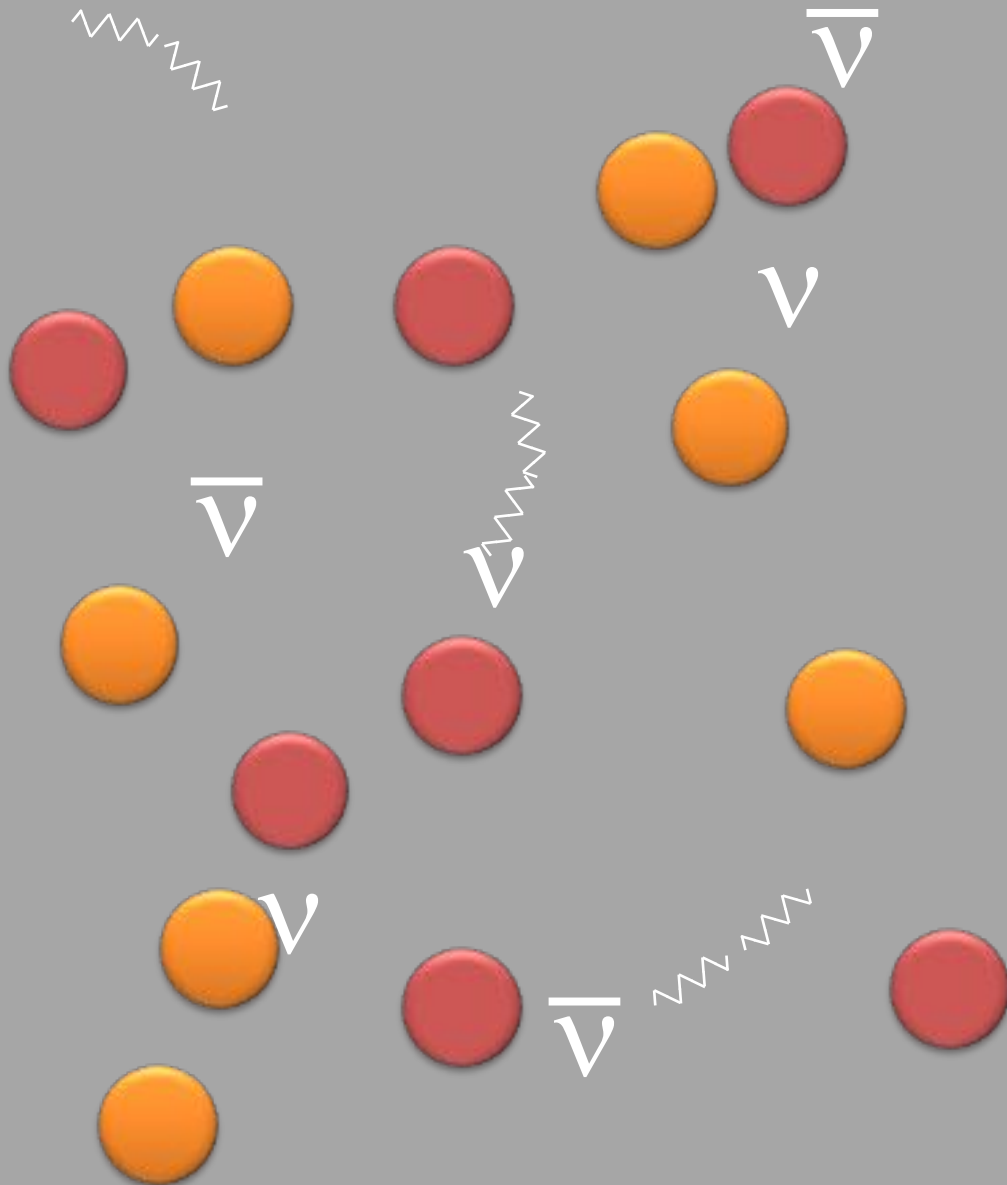
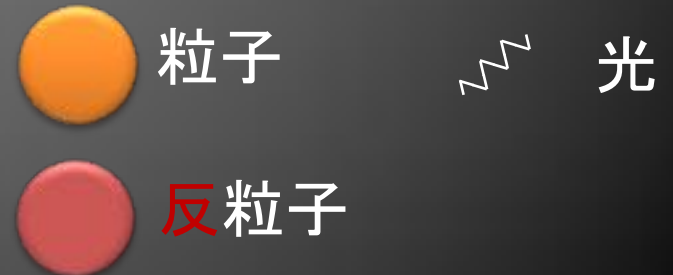
ただし、粒子と反粒子はぶつかると、エネルギー（光）となる



# 宇宙の始まり

宇宙誕生直後は粒子と反粒子は同数に存在

ただし、粒子と反粒子はぶつかると、エネルギー（光）となる

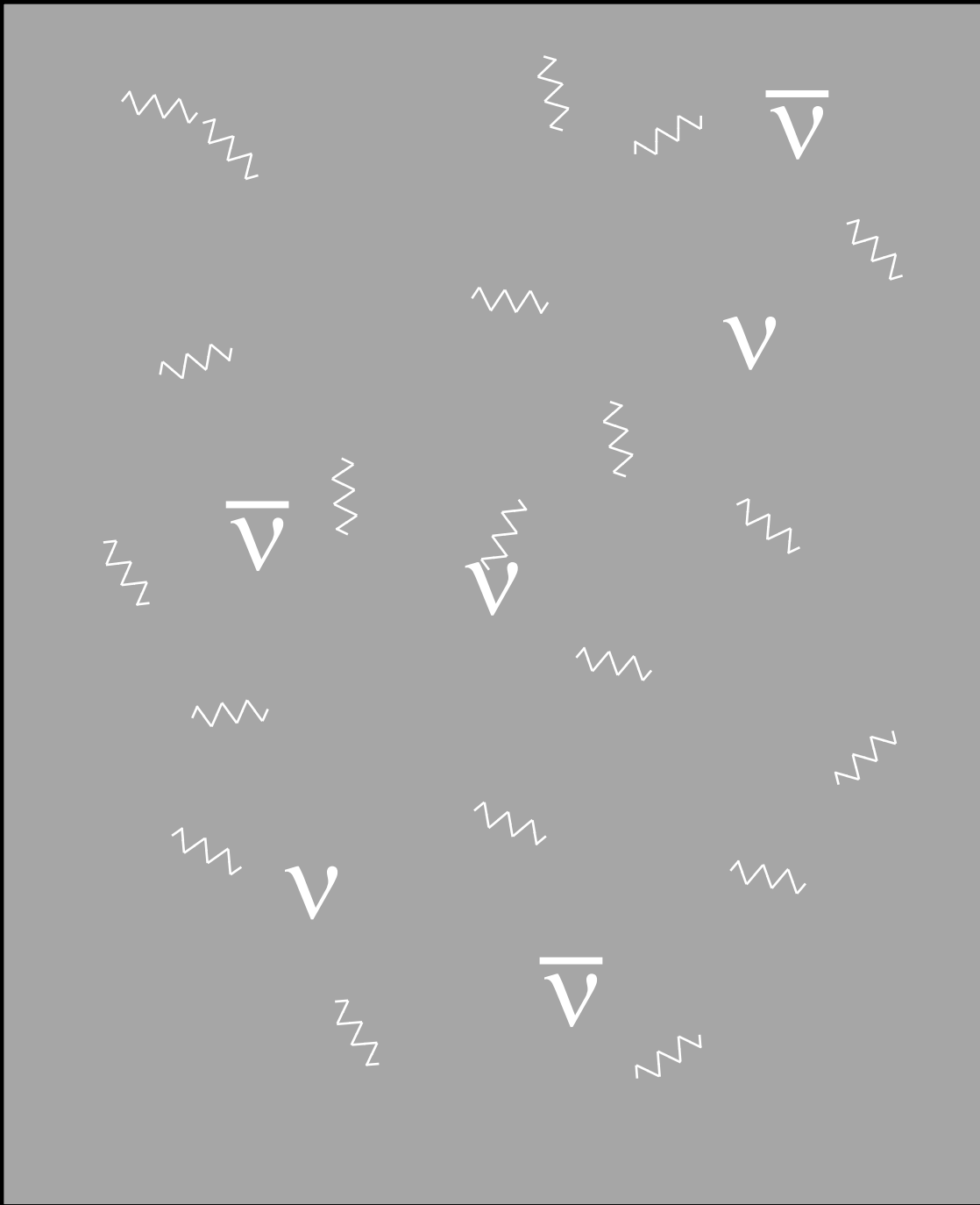


今

物質は存在しない！

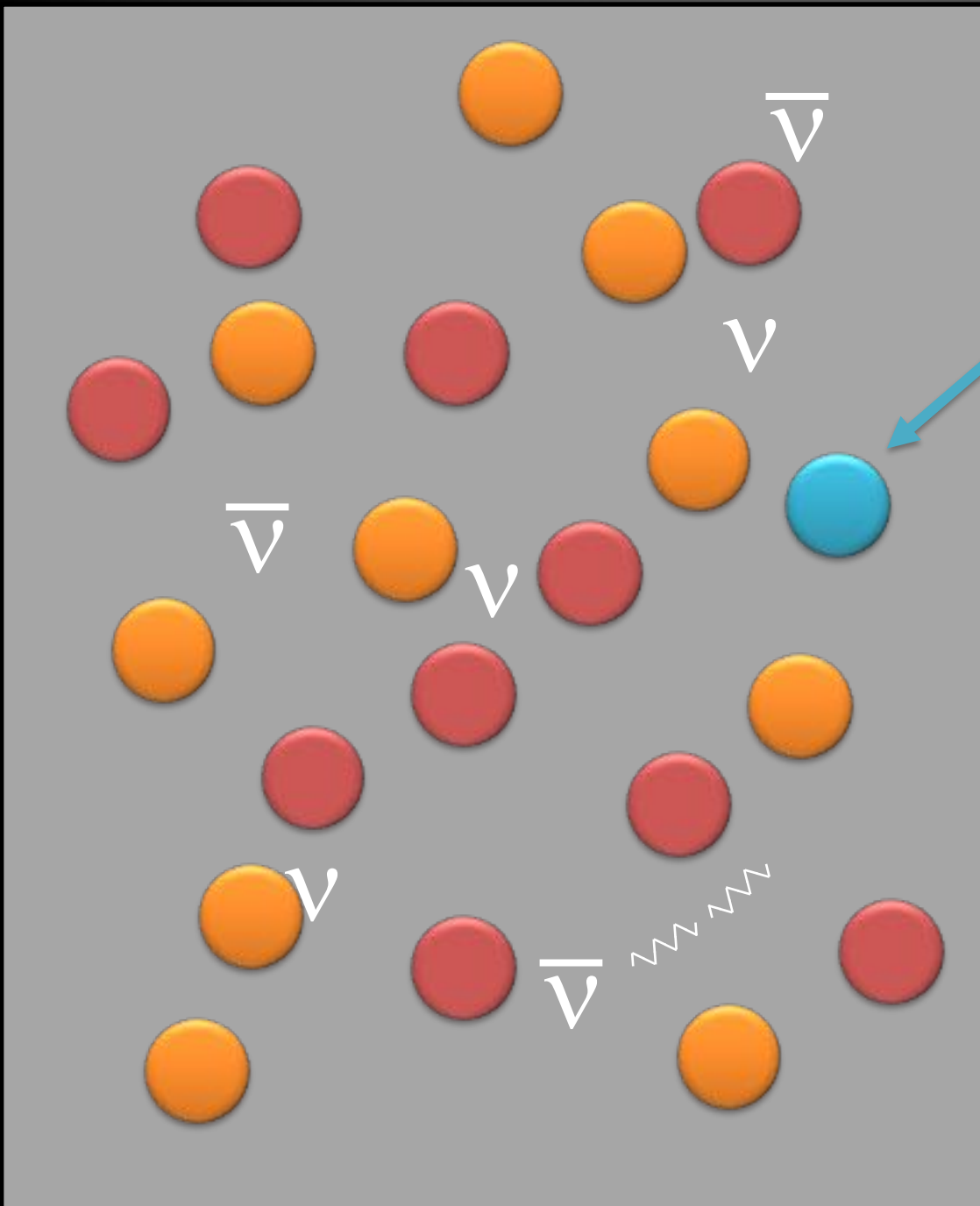
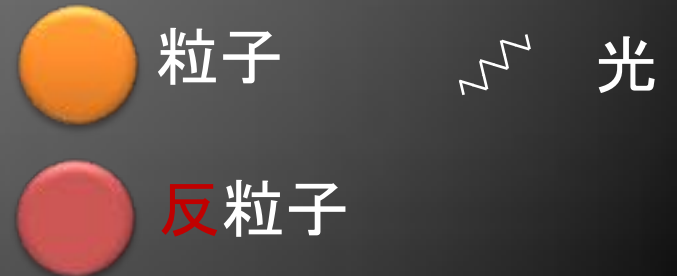
我々は生まれない

光



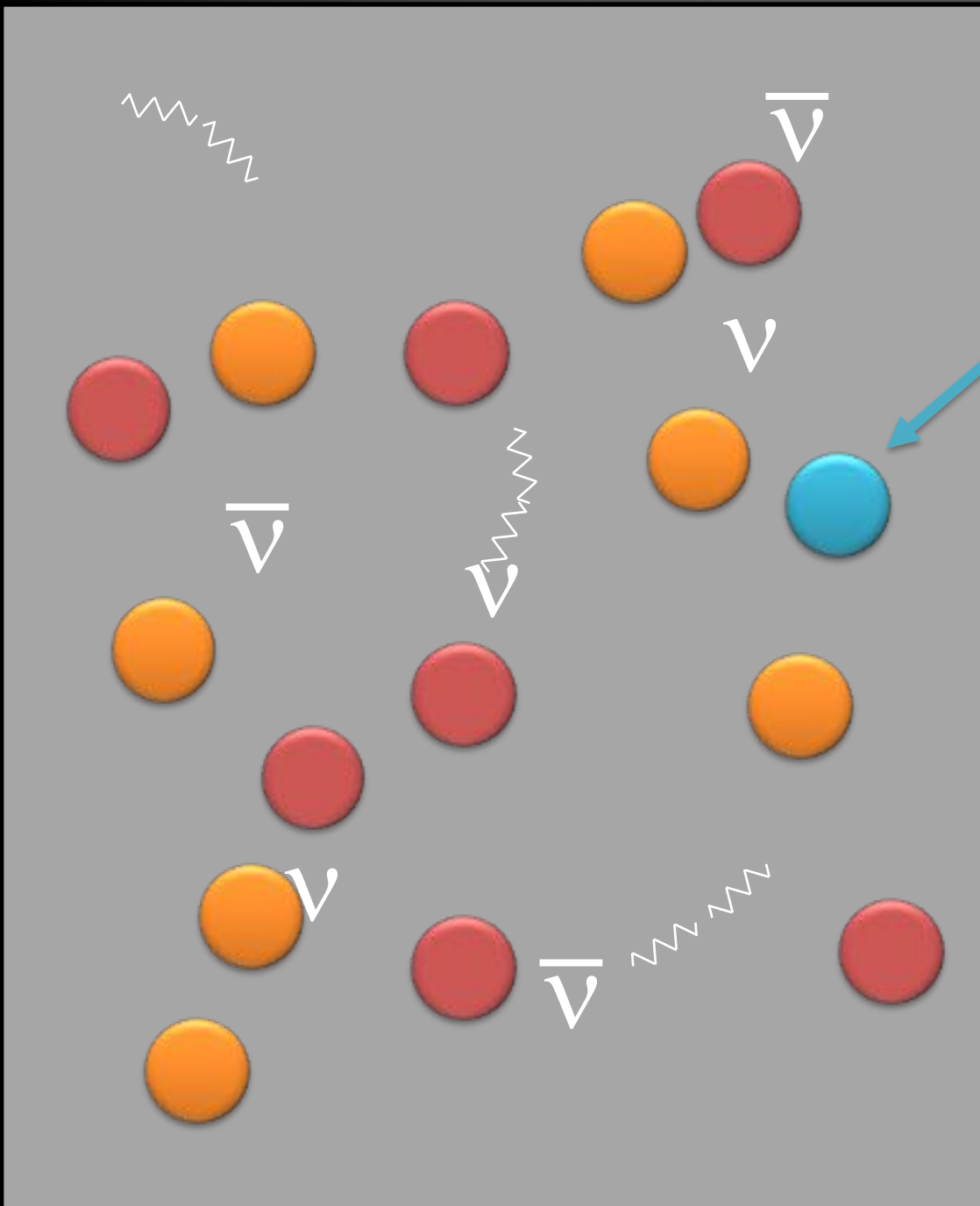
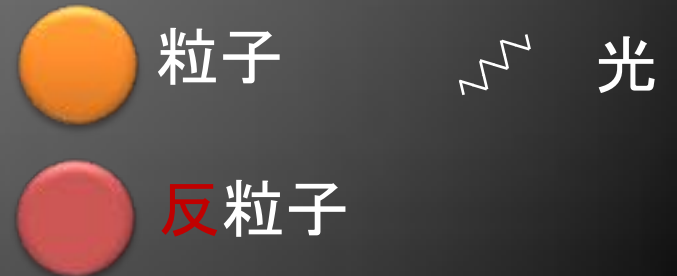
# 宇宙の始まり

ニュートリノが物質を  
わずかに増やしたか  
もしれない



# 宇宙の始まり

ニュートリノが物質を  
わずかに増やしたか  
もしれない



今

残った物質は現在の  
宇宙(星、銀河、人  
間)となった



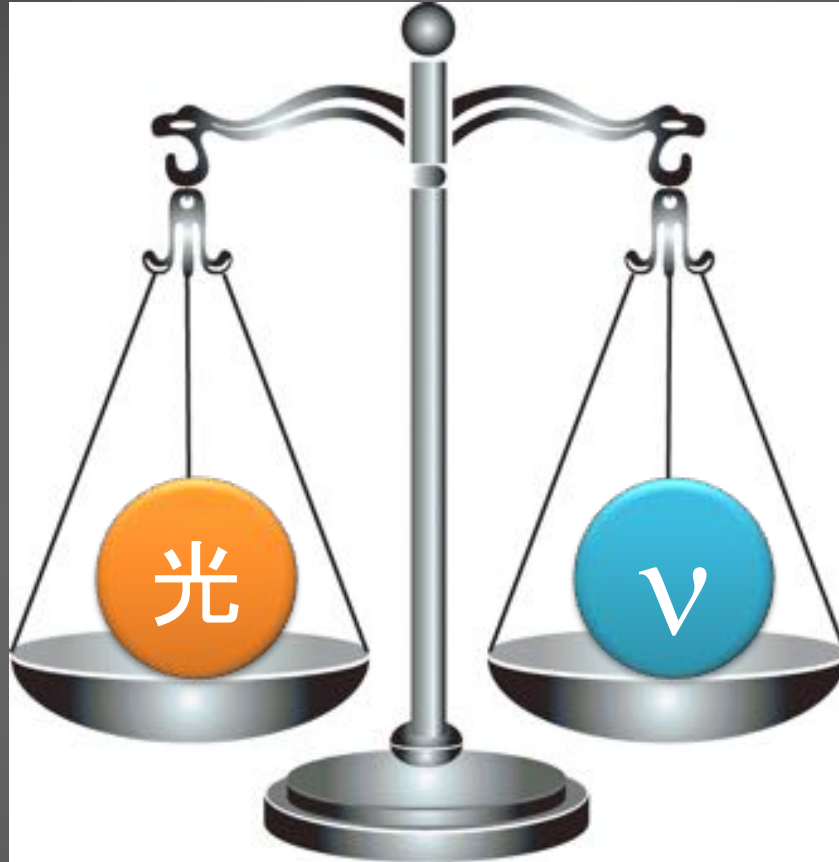


# スーパーカミオカンデ実験が始まる前



ニュートリノの重さがないと考えられていた

# スーパーカミオカンデが始まる前



ニュートリノの重さがないと考えられていた  
....光と同じ



[https://en.wikipedia.org/wiki/Gifu\\_Prefecture](https://en.wikipedia.org/wiki/Gifu_Prefecture)

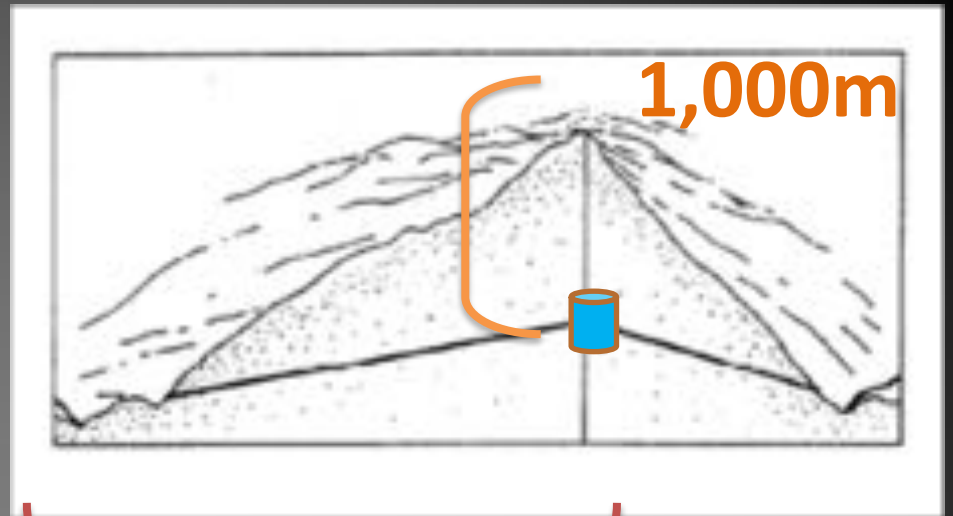
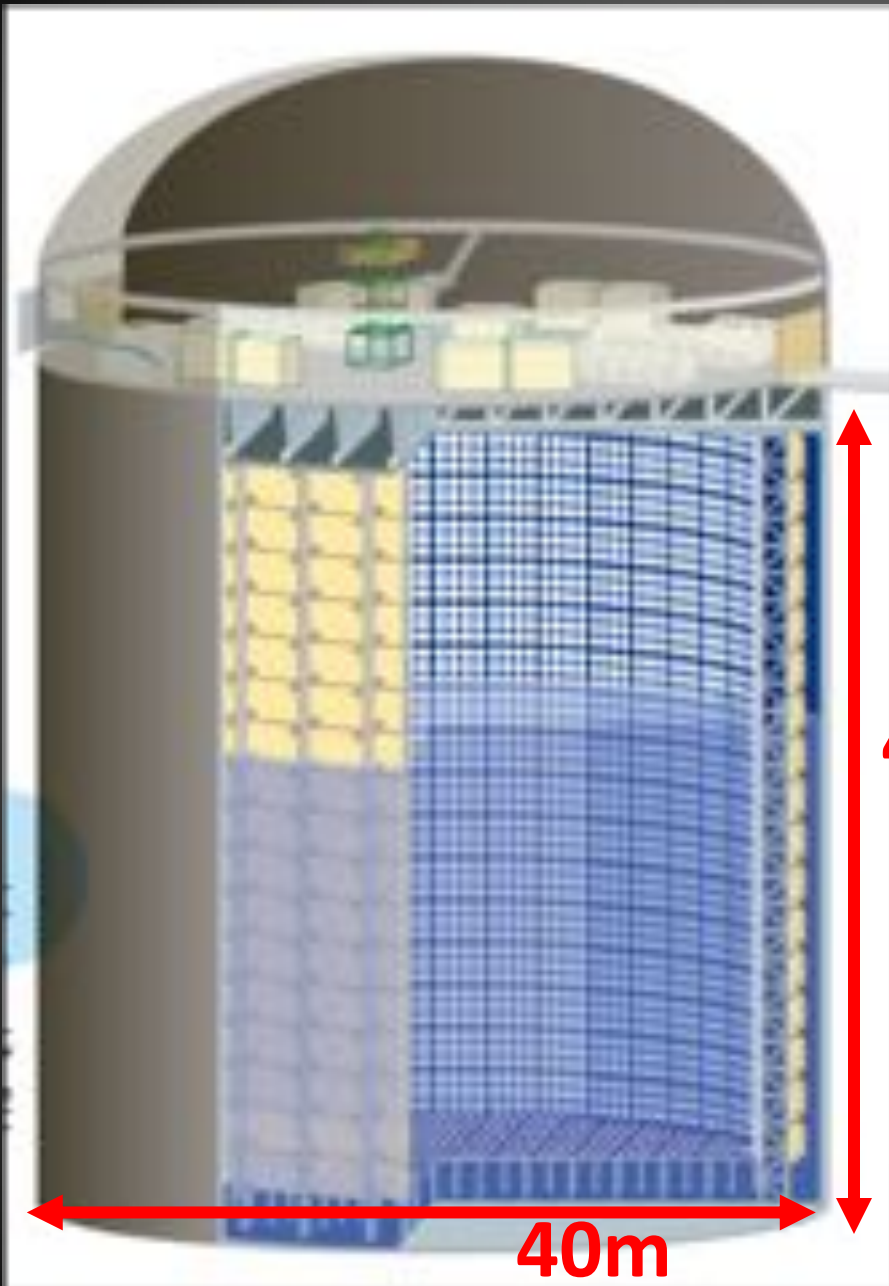
スーパーカミオカンデ実験は岐阜県神岡町にある

# 池の山

1000m



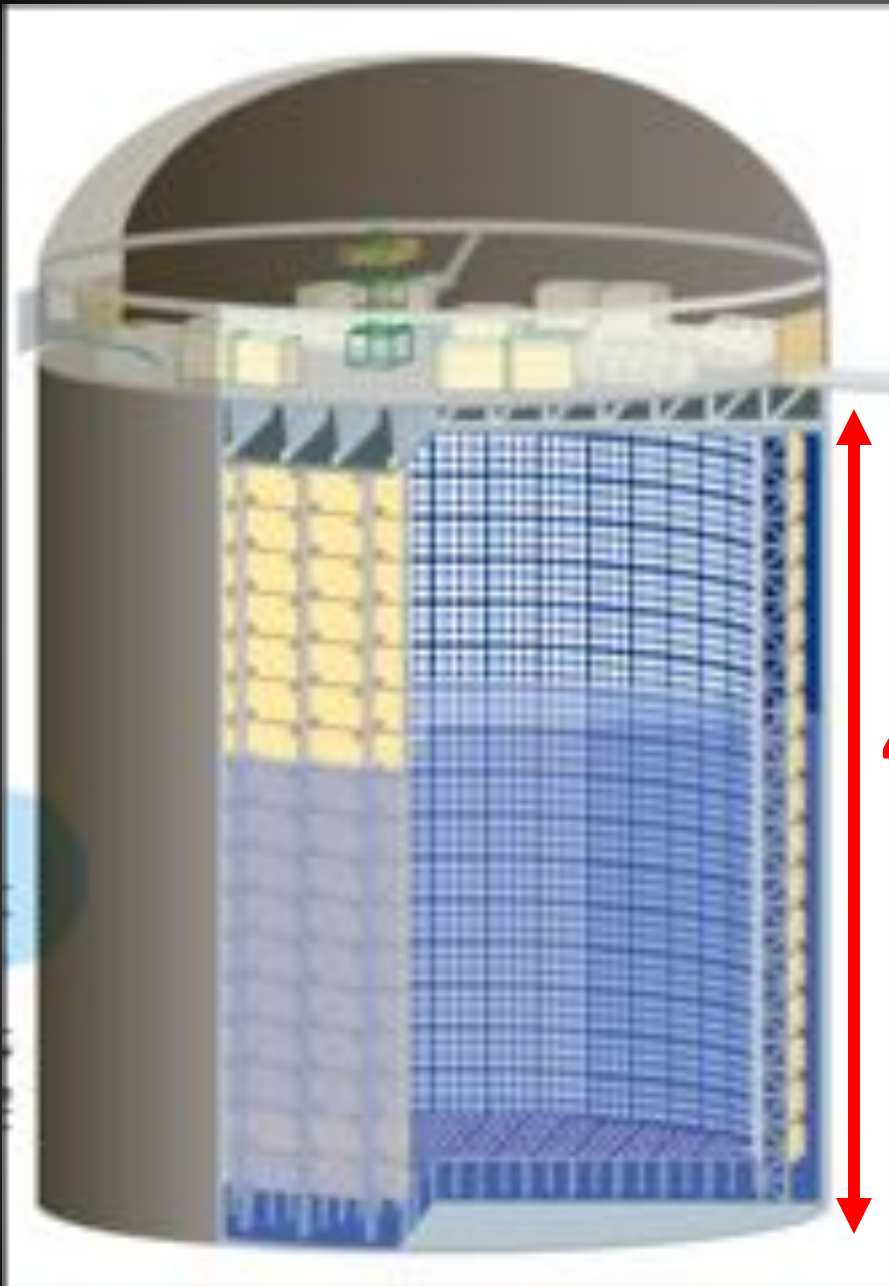
スーパーカミオカンデ実験



2,000 m

40m

1996年に観測開始



ガンダムより倍くらい高い

40m



19.7 m



宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設

50 cm

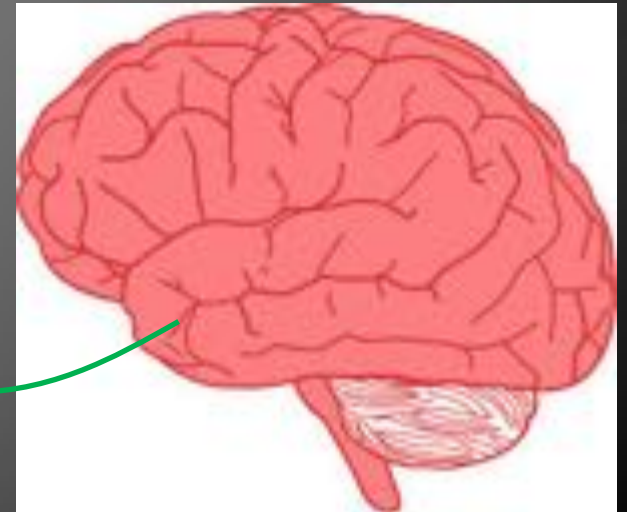


70 cm

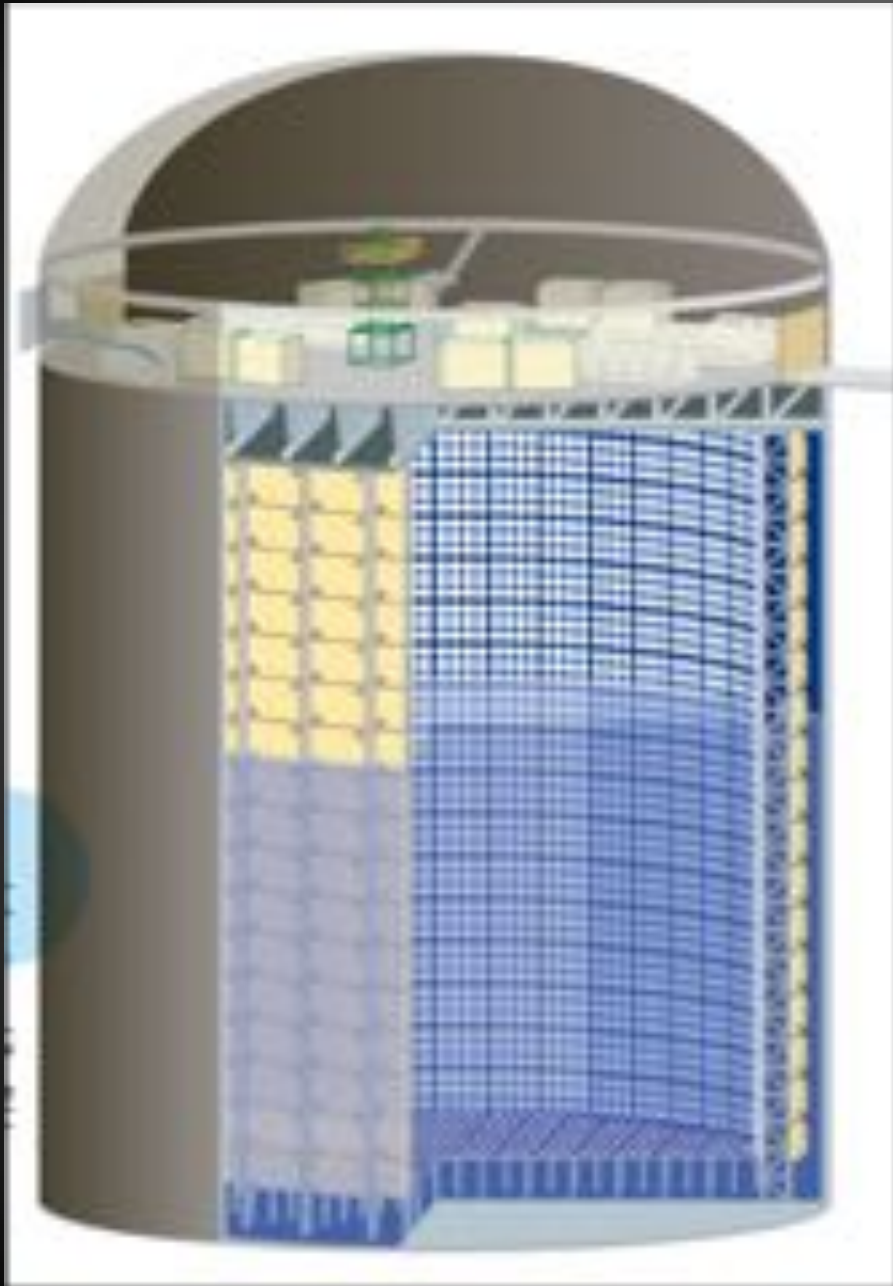
(c) 東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設

光センサー  
全部で1万2千本！

# 光センサーはスーパーカミオカンデの「目」







## 5万トンの超純水

水泳プール約100個分  
(東京23区の区民プールを全部)



水道水より千倍以上純粋な水

スーパーカミオカンデの中

研究者

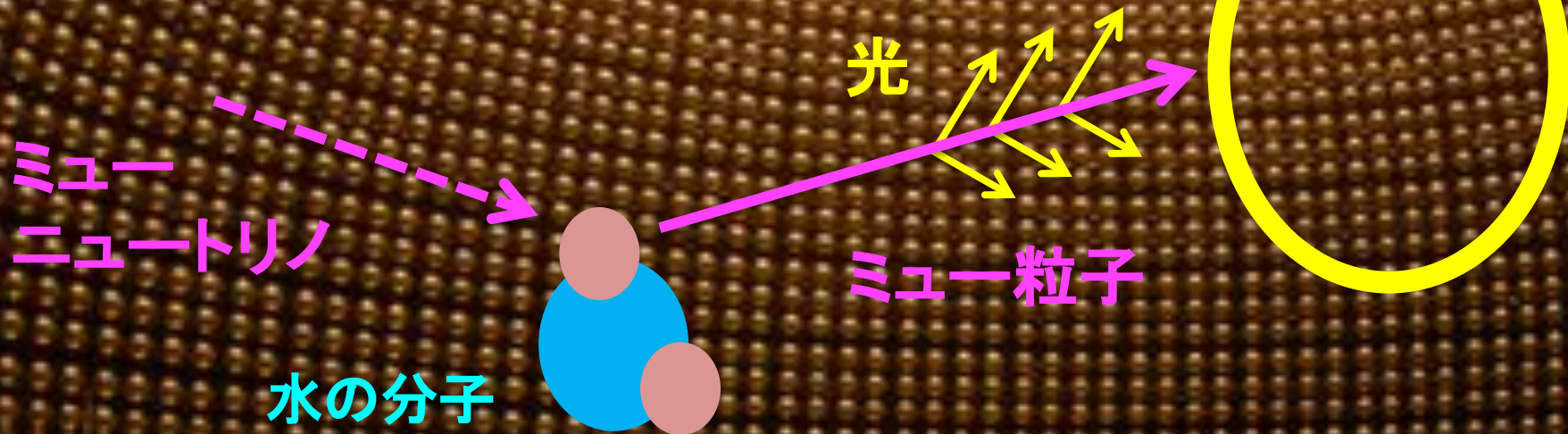
SKタンクに水をひいた様子



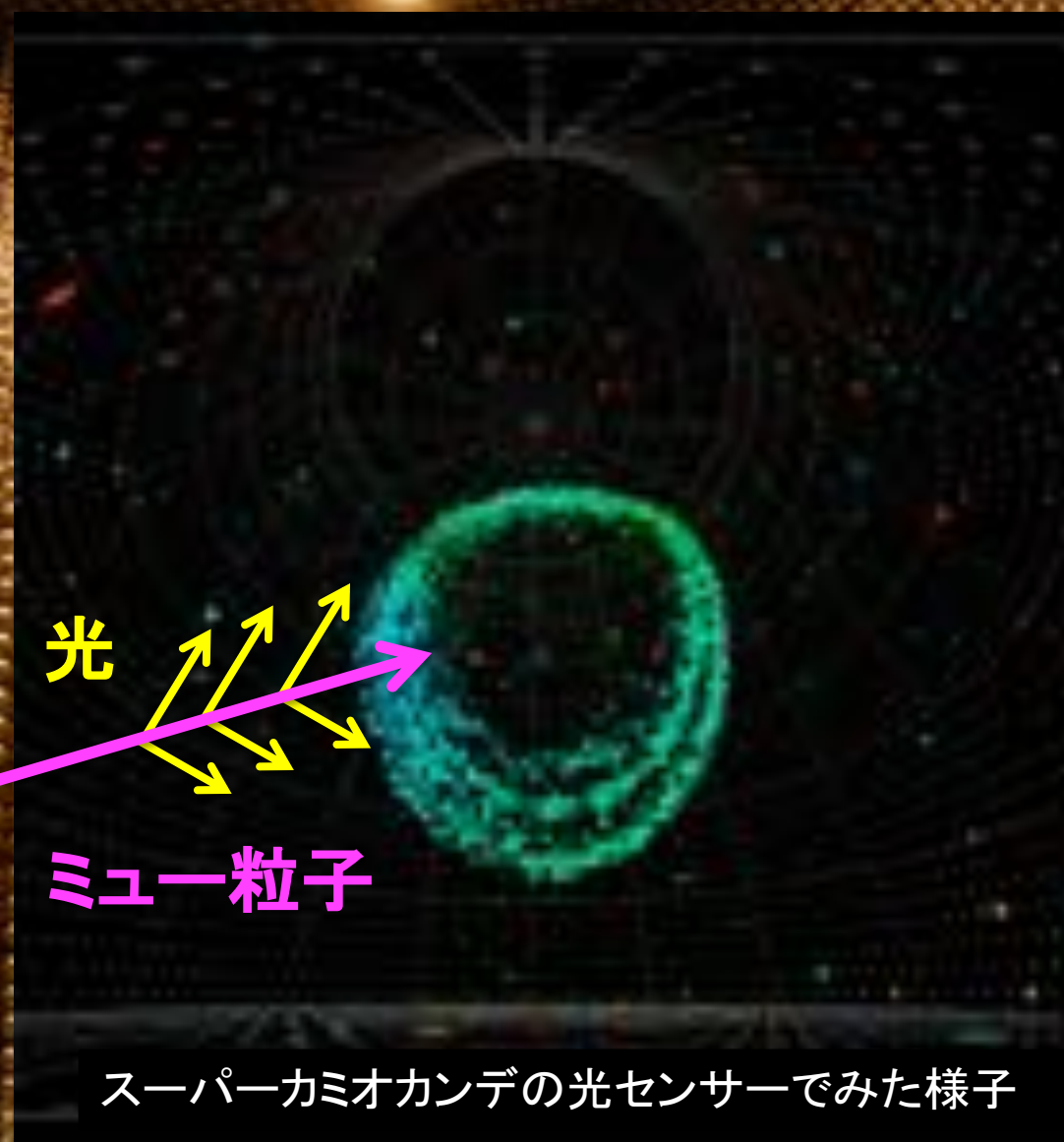
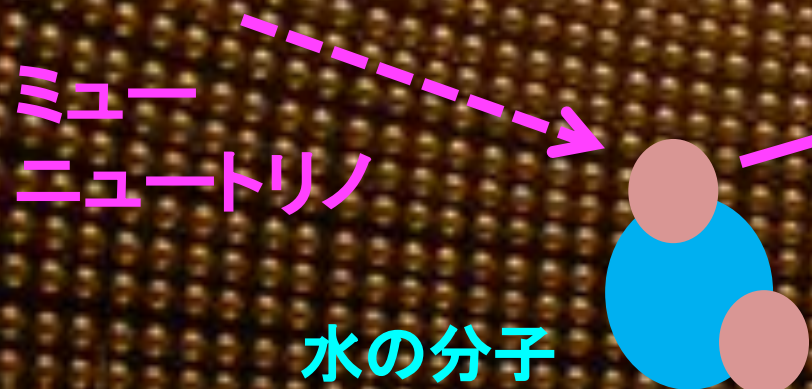
# ニュートリノの反応

粒子が作るわずかな光を捉えるにはたくさんの「目」が必要

この光を測ることで、ニュートリノの速度・種類・到来方向がわかる



# ニュートリノの反応



スーパーカミオカンデの光センサーでみた様子

# ニュートリノ:幽霊粒子

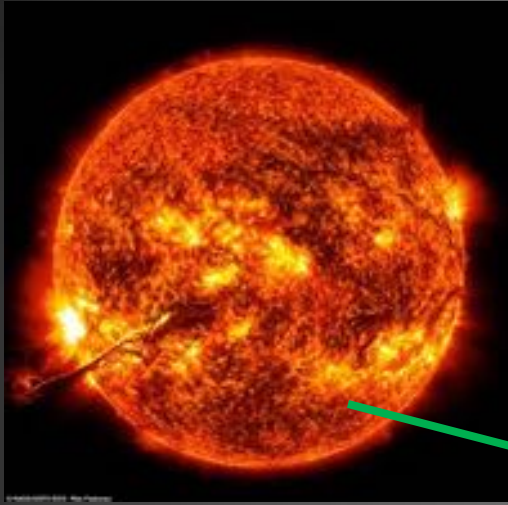
地球を100万個分をすり抜ける



ニュートリノ研究は、  
デカイ検出器と  
大量のニュートリノが必須

# ニュートリノは幽霊粒子

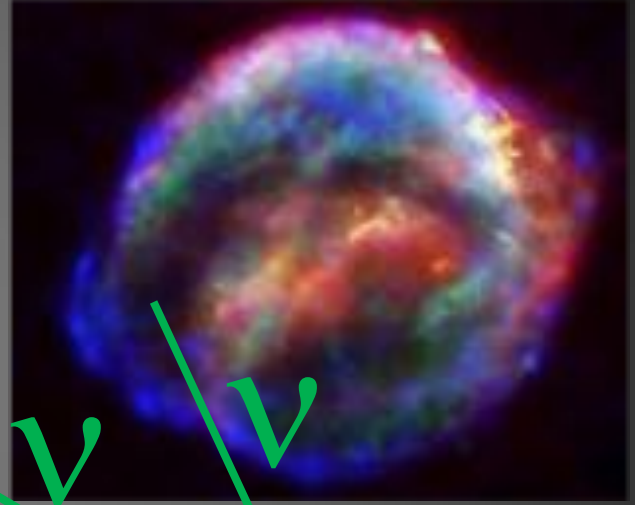
太陽



大気

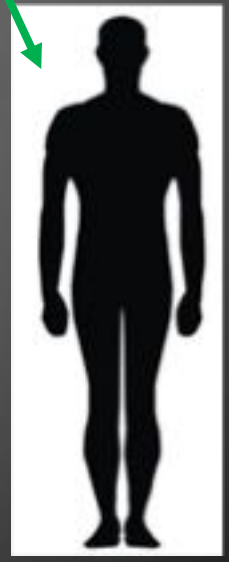


超新星



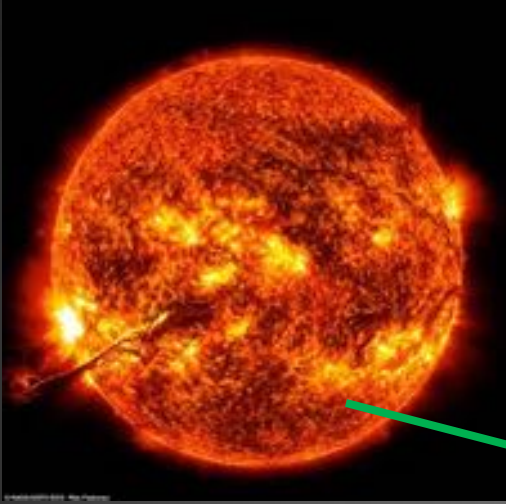
宇宙はニュートリノで満ちている

毎秒： **一兆個**のニュートリノが体を通る



# ニュートリノは幽霊粒子

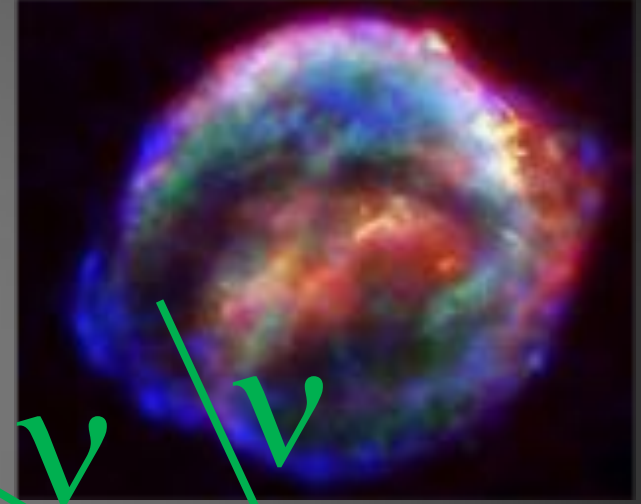
太陽



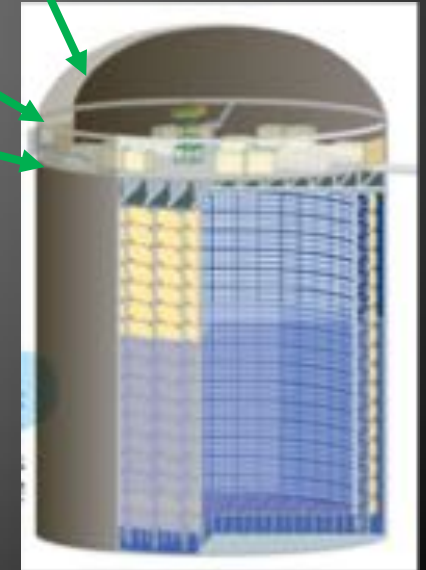
大気



超新星

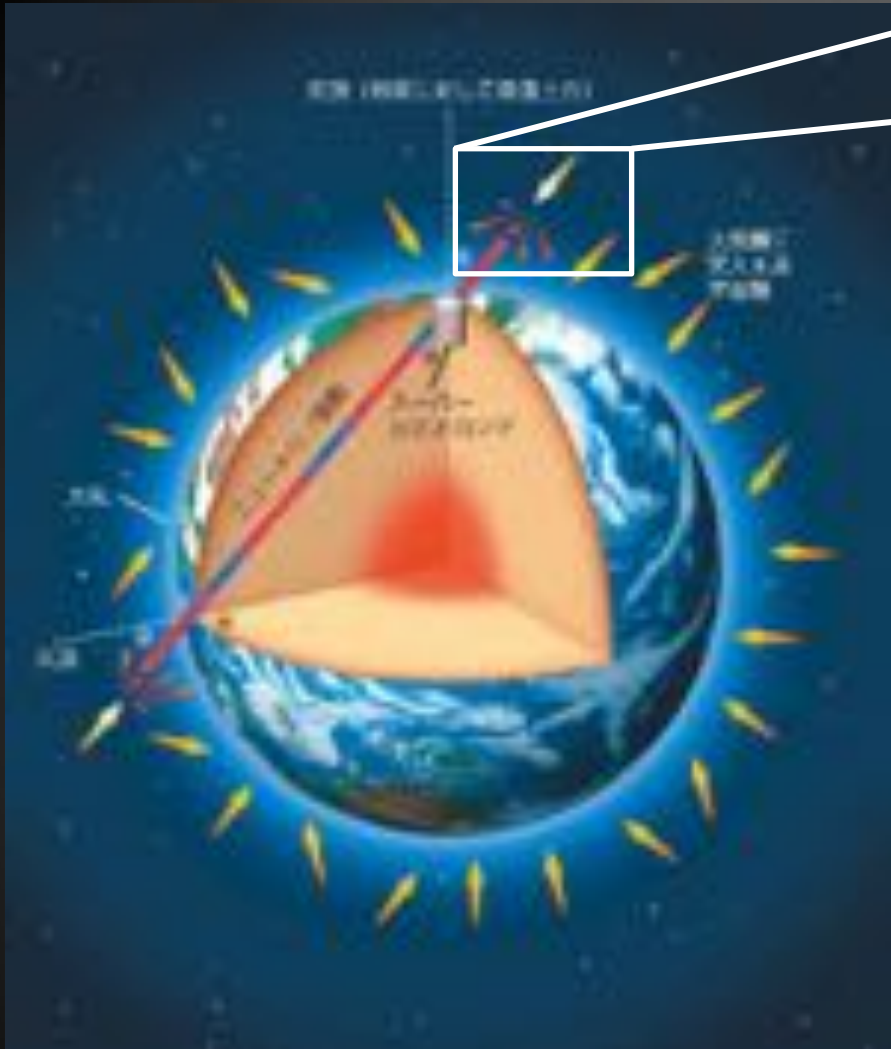


巨大のスーパーカミオカンデでも  
1日におよそ**20個**しか観測しない





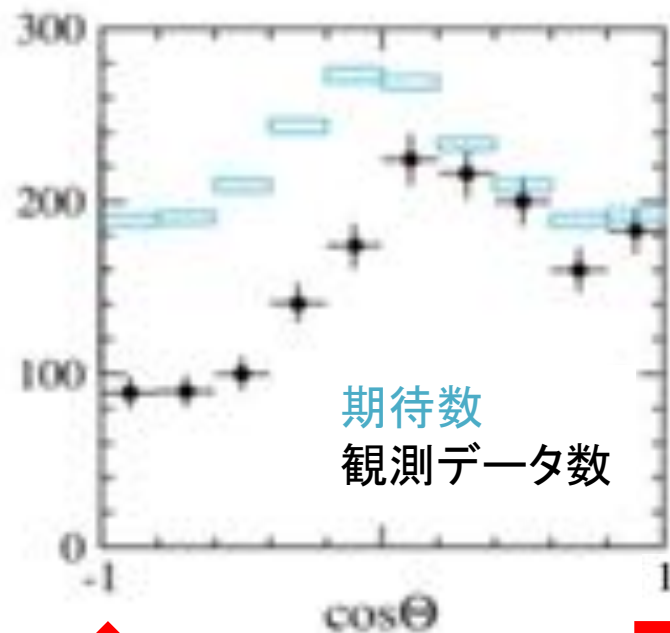
# 大気ニュートリノ



電子  
ニュートリノ

ミュー  
ニュートリノ

ミュー型ニュートリノ  
の  
実データ



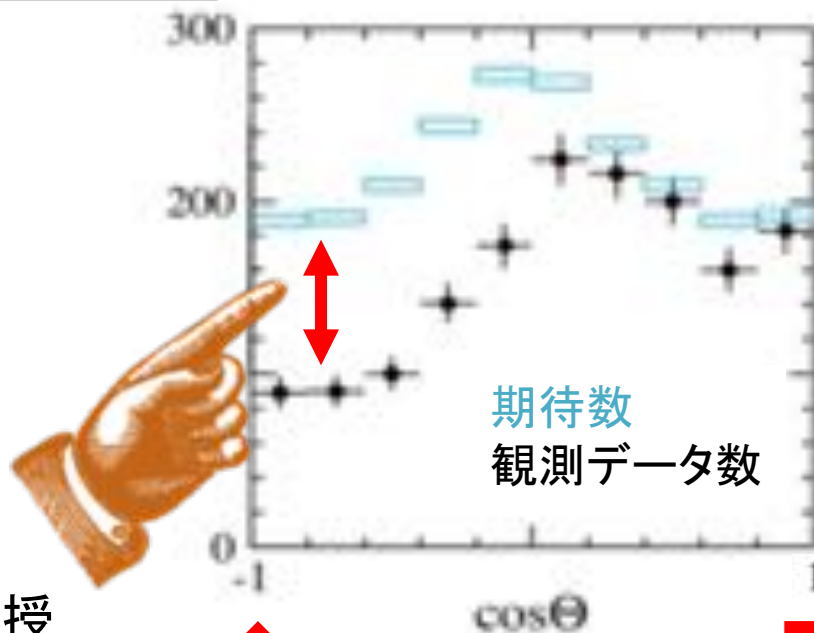
↑  
地球の裏側  
から来たもの

↓  
真上から来た  
もの

数が足りないぞ。ニュートリノ  
が振動しているみたい！



梶田隆章宇宙線研究所教授



そしたら ニュートリノ振動は。。。



そしたら ニュートリノ振動は。。。



ミュー型 ニュートリノ	●
タウ型 ニュートリノ	●

ニュートリノ振動はニュートリノの種類入れ替え

このボールの色は？



ミュー型

ニュートリノ



タウ型

ニュートリノ



ピンク

青



ミュー型

ニュートリノ



タウ型

ニュートリノ



このボールの色は？



ミュー型

ニュートリノ



タウ型

ニュートリノ



ピンク

青





このボールの色は？



ミュー型

ニュートリノ



タウ型

ニュートリノ



ピンク

青



# ニュートリノ振動:

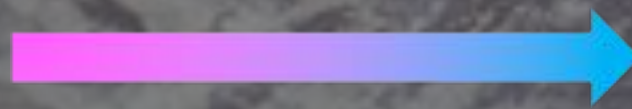


作られた時

飛行中

反応した時

ミュー型  
ニュートリノ



タウ型  
ニュートリノ

スーパー  
カミオカンデ

50 km

ミュー型  
ニュートリノ

タウ型  
ニュートリノ

1万2千km

ミュー型  
ニュートリノ

ミュー型  
ニュートリノ



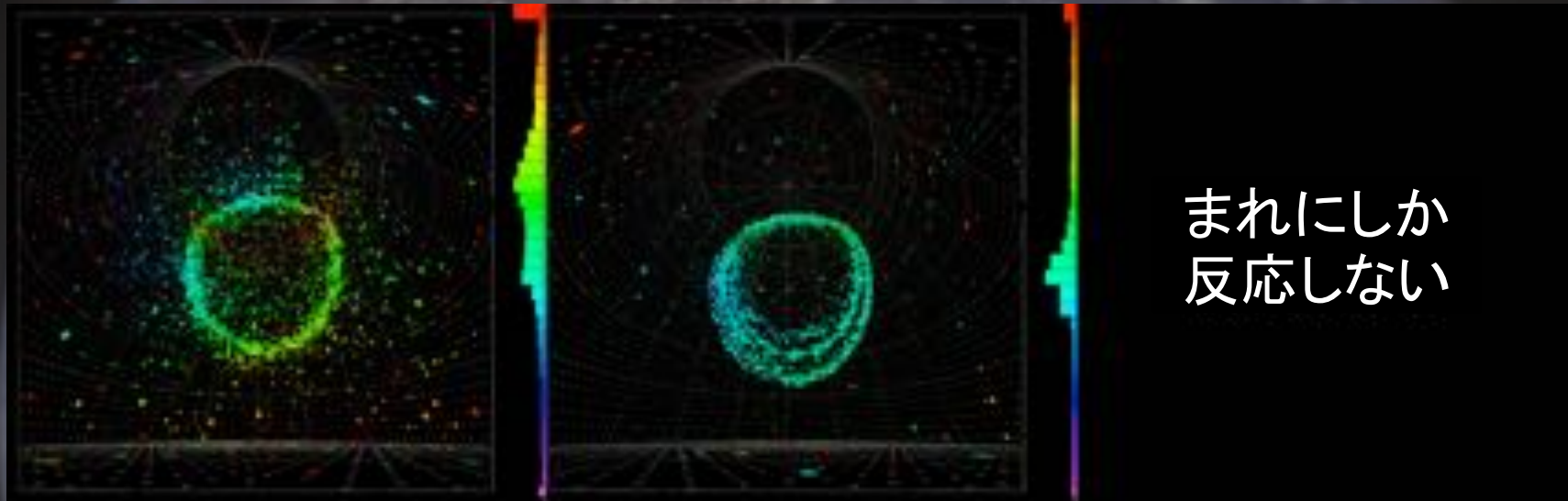
タウ型  
ニュートリノ



電子型  
ニュートリノ

ミュー型  
ニュートリノ

タウ型  
ニュートリノ



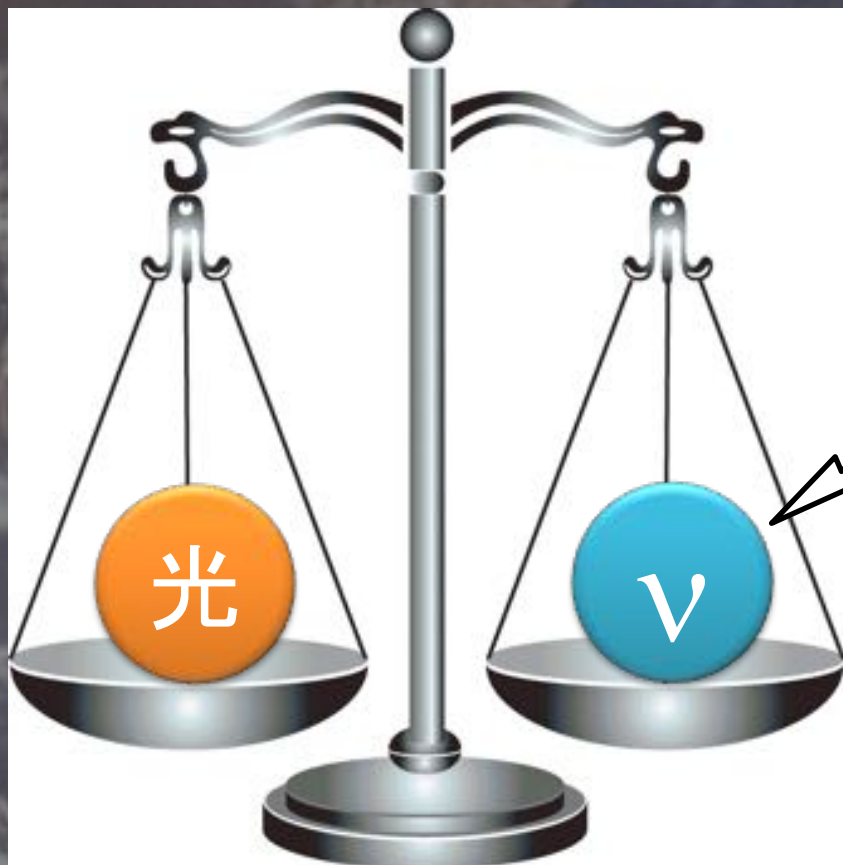
まれにしか  
反応しない

期待数とよく一致

期待数の半分！

ミュー型は、ほとんど反応しないタウ型に  
振動してしまったため、数が減って見えた

ただし、ニュートリノは重さがないと振動は不可能

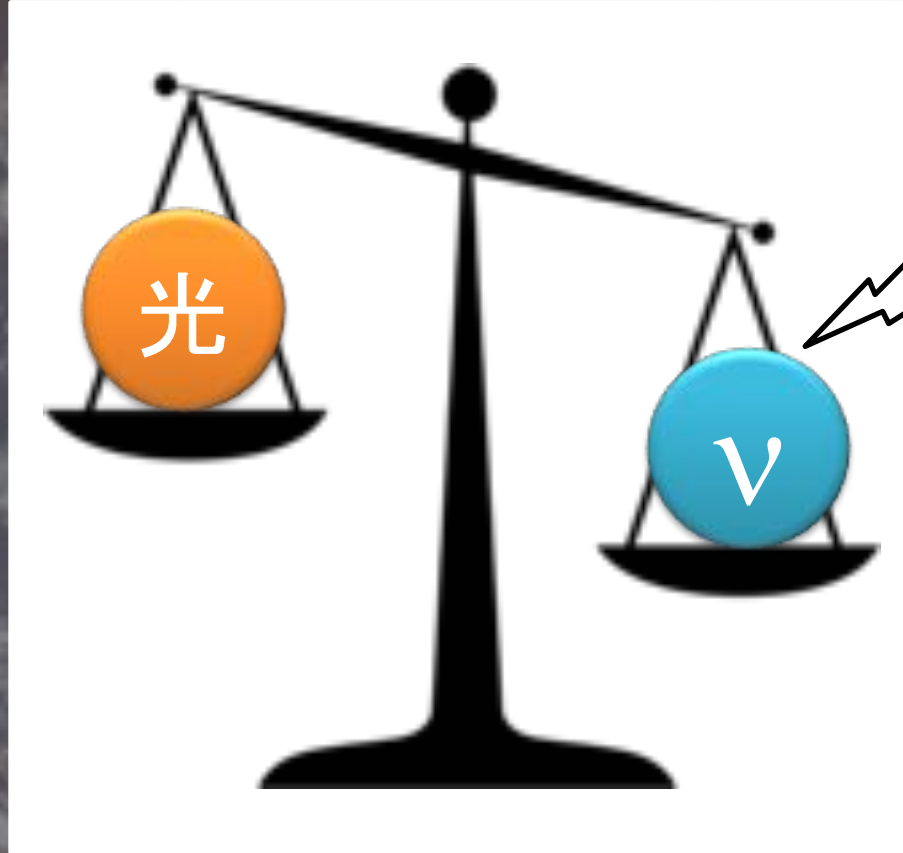


振動できない

ただし、ニュートリノは重さがないと振動は不可能



動できない



振動できる！

つまり、ニュートリノは**重さがある**！

# 2015年ノーベル物理学賞

梶田隆章宇宙線研究所教授



Copyright © Nobel Media AB 2015



Copyright © Nobel Media AB 2015

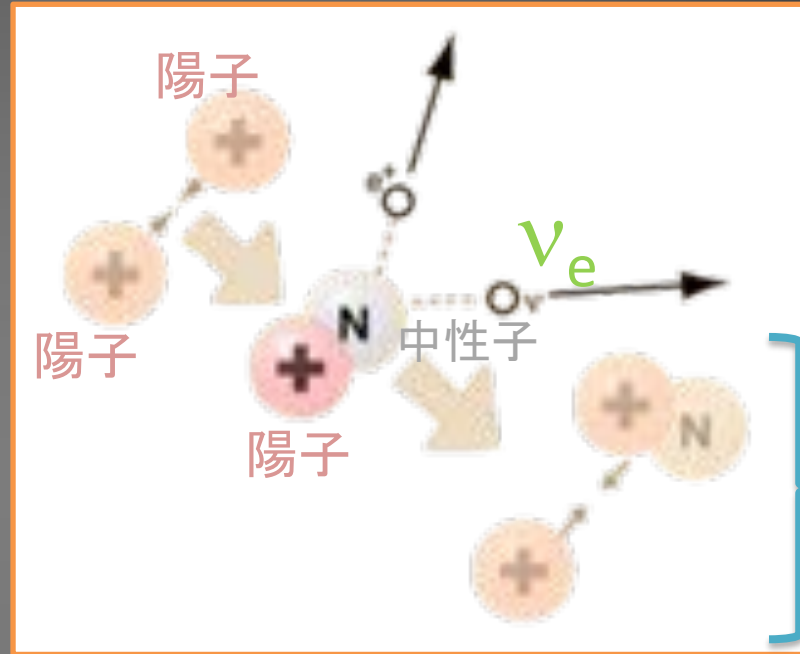
受賞理由：「ニュートリノが質量を持つことを示す、  
ニュートリノ振動の発見」



# 太陽のニュートリノ



## 核融合



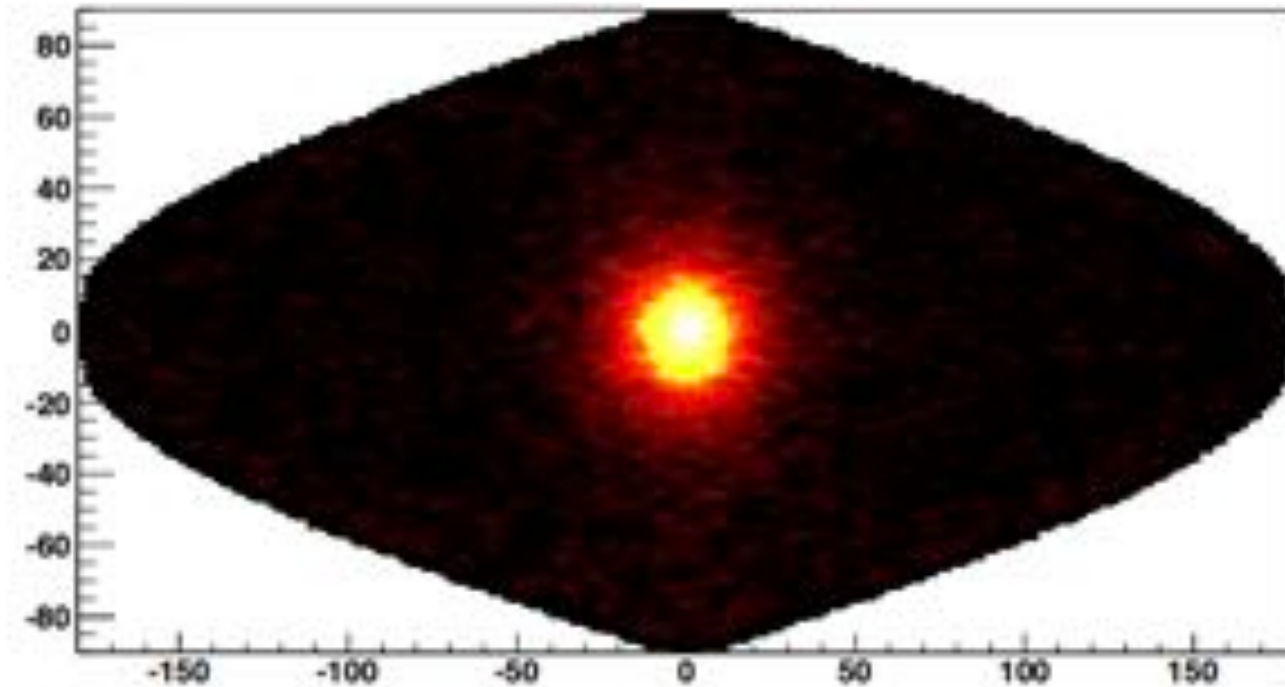
ヘリウム  
原子核

太陽内の核融合により、光もニュートリノも作られる

地球までの飛行距離は 1.5億km

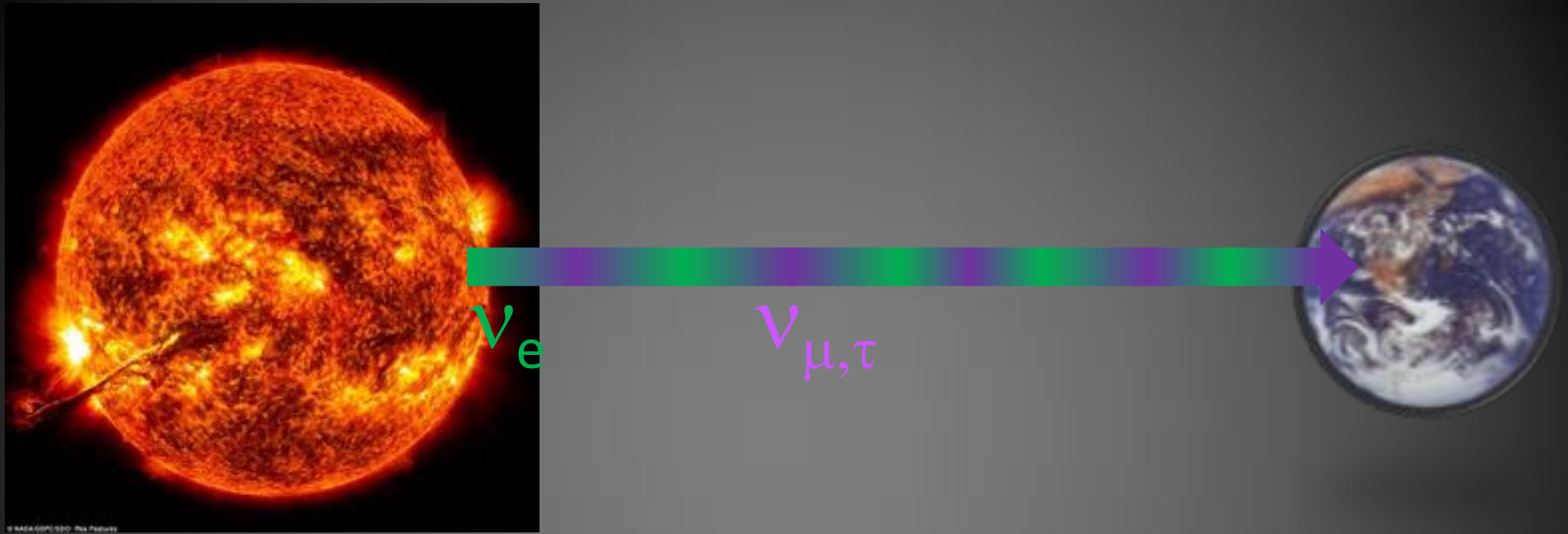
# ニュートリノで撮った太陽の「写真」

スーパーカミオカンデの実データ



ただし、観測数は期待数の**1/3**しかない！

# 太陽ニュートリノも振動！



太陽と地球間を飛んでいるニュートリノが途中でスーパーカミオカンデで見えない種類に振動していることがわかった

# T2K 実験



Super-Kamiokande  
(ICRR, Univ. Tokyo)



東京

J-PARC Main Ring  
(KEK-JAEA, Tokai)



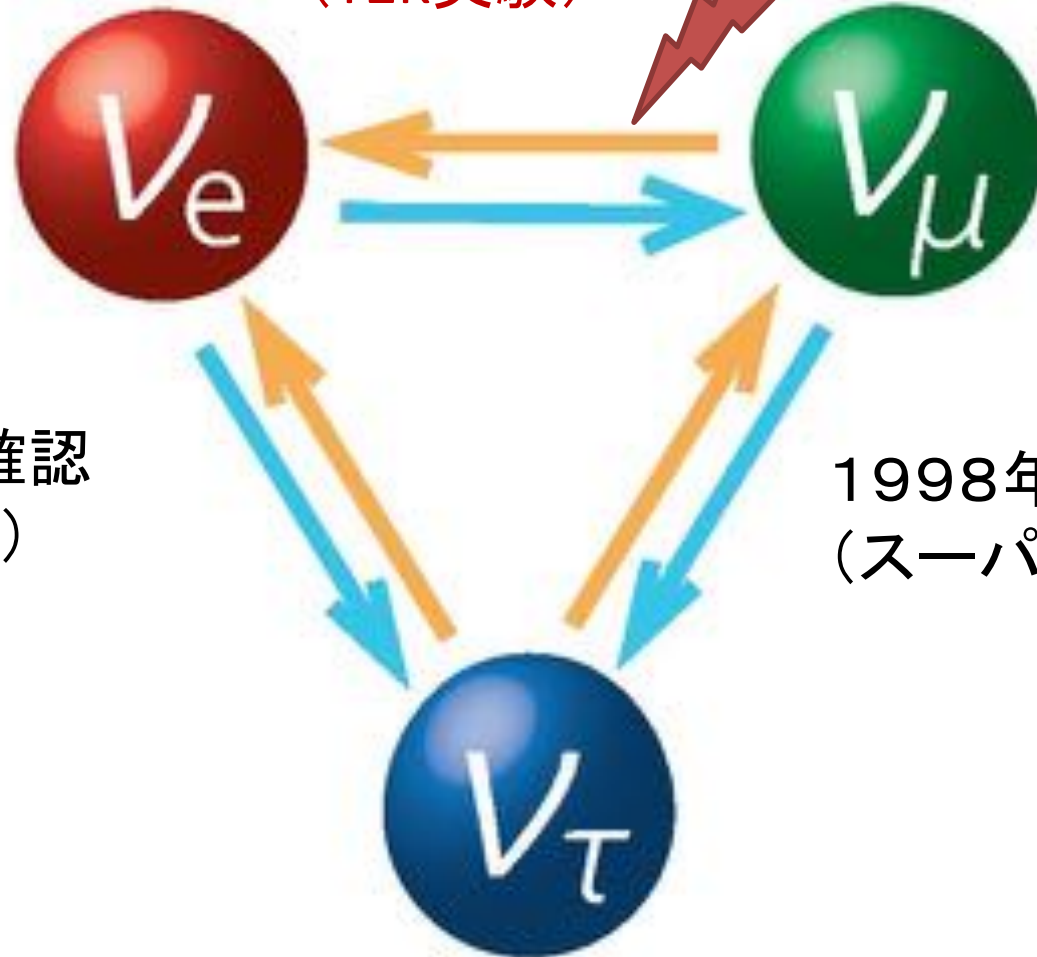
J-295PARC (東海村)でニュートリノを作る  
295km 離れているスーパーカミオカンデへ飛ばす

人工的に作られたニュートリノの振動も確認！

# 3モードのニュートリノ振動が確認

2013年確認  
(T2K実験)

このモードは宇宙初期とに深くつながっている



2001年確認  
(SNO実験)



1998年確認  
(スーパーカミオカンデ実験)



ニュートリノは初期宇宙を説明する鍵となっているかも

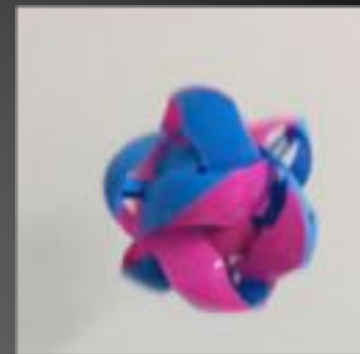
ただし、現在の実験データは足りなくて、スーパーカミオカンデよりデカイ実験が必要

10倍大き：  
ハイパーカミオカンデ実験計画を推進中



# まとめ: スーパーカミオカンデ実験でわかったこと

ニュートリノは振動する  
大気ニュートリノも太陽ニュートリノも



ニュートリノは重さがある  
大発見で、2015年のノーベル賞



宇宙の誕生と進化におけるニュートリノの役割を理解するには、よりデカイ実験が必要  
ハイパーカミオカンデ

ご静聴ありがとうございます