



首都大が取り組む
加速器と原子炉を用いた
ニュートリノ振動実験①：
加速器を用いた T2K 実験

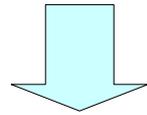
2015/10/15

高エネルギー実験研究室
角野秀一

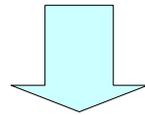
加速器を用いたニュートリノ振動実験 とは？

梶田先生のノーベル賞

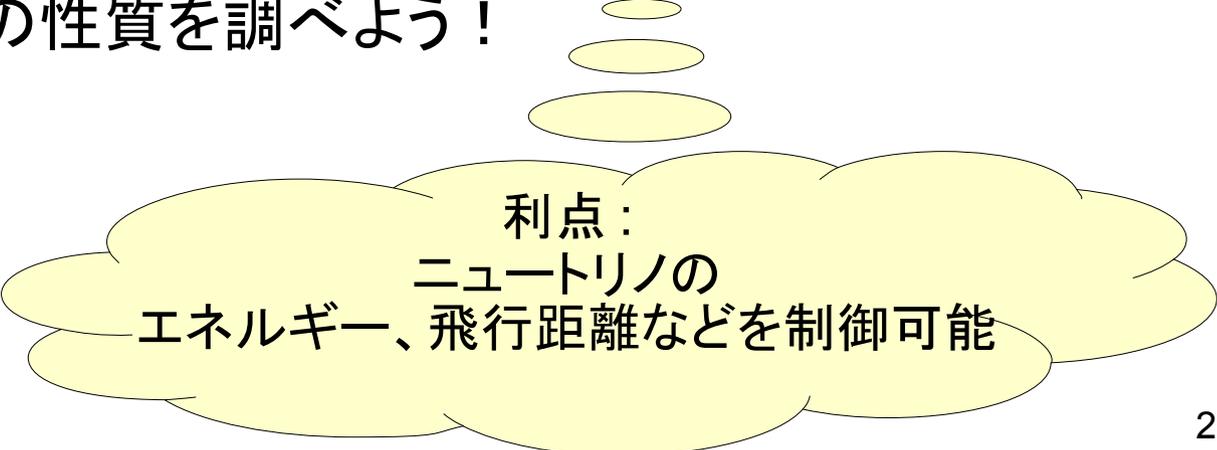
大気ニュートリノを用いたニュートリノ振動の発見



より詳細にニュートリノ振動の性質を調べたい！



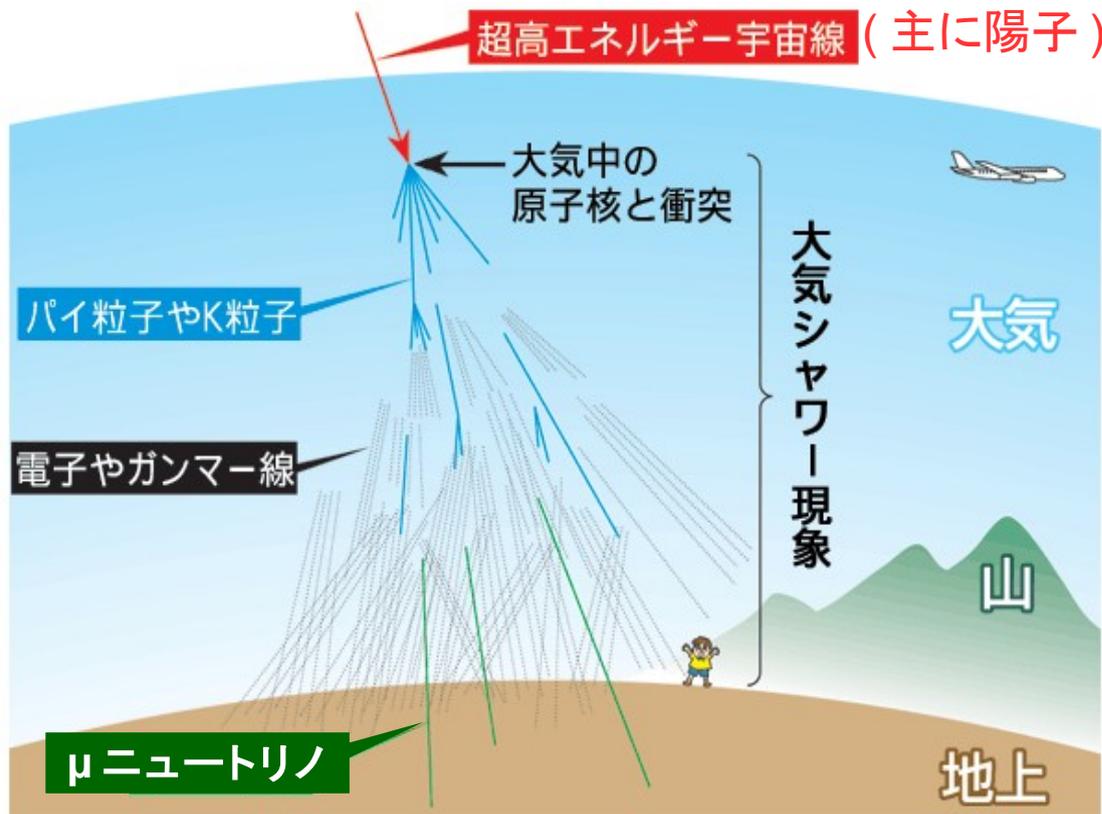
「大気ニュートリノ」と同じニュートリノを人工的に作って
その性質を調べよう！



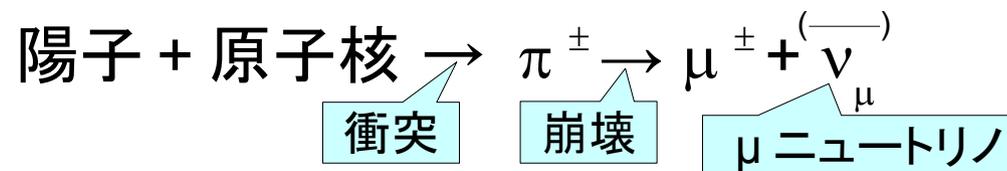
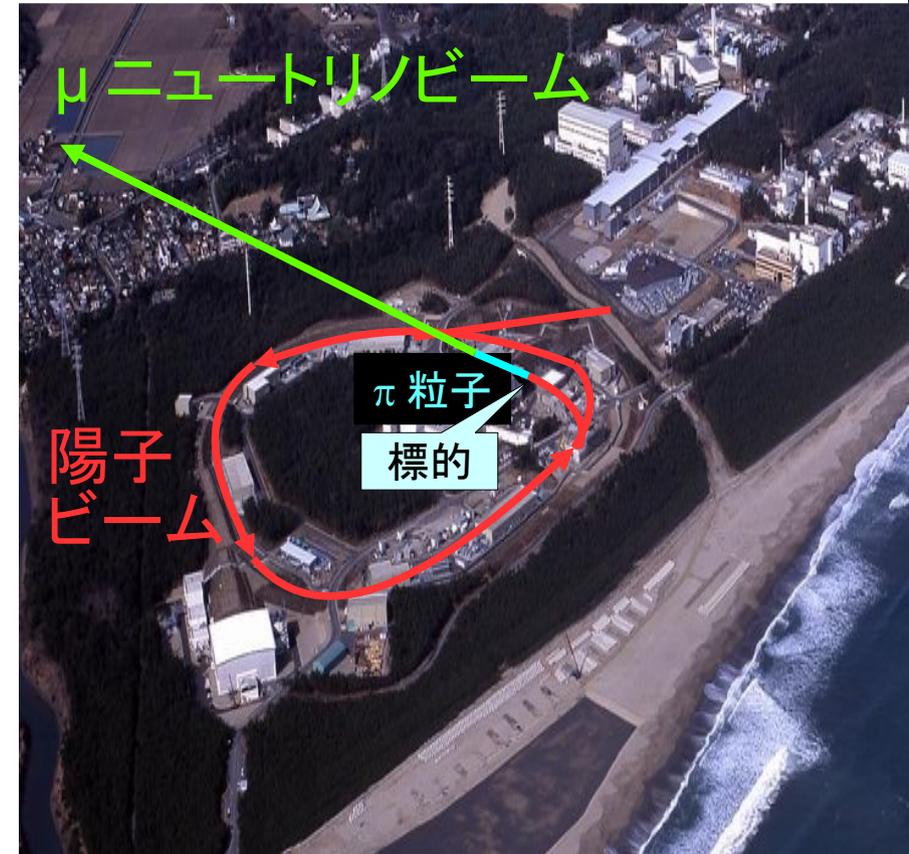
利点：
ニュートリノの
エネルギー、飛行距離などを制御可能

大気ニュートリノ VS 加速器ニュートリノ

大気ニュートリノの生成



加速器ニュートリノの生成



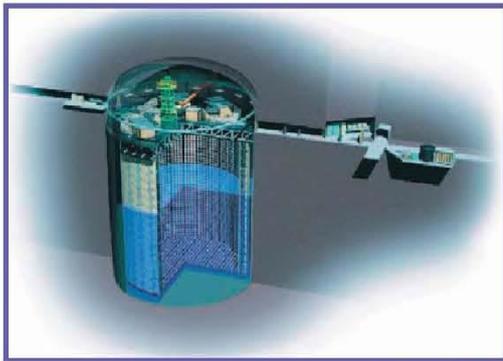
基本原理は同じ

T2K 東海-神岡ニュートリノ実験

大気ニュートリノのような自然のものより、
実験に適したニュートリノを人工的に作ってしまおう！

茨城県東海村の加速器でニュートリノを大量に生成して
295km 離れた富山のスーパーカミオカンデに向けて飛ばす実験

加速器：大量の荷電粒子（ここでは陽子）を高いエネルギーに加速する装置
東海村の J-PARC 加速器では数百 kW もの強度がある。



Super-Kamiokande
(ICRR, Univ. Tokyo)

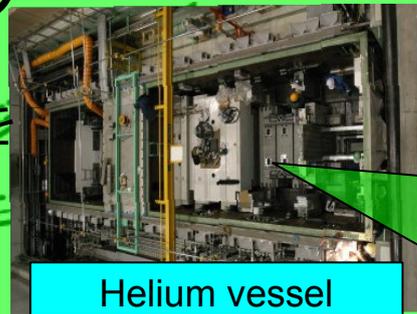


J-PARC Main Ring
(KEK-JAEA, Tokai)



J-PARC : ニュートリノビームの生成

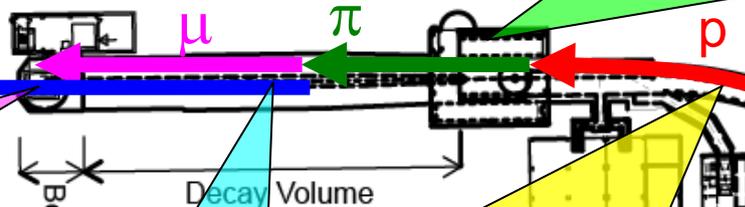
ターゲットステーション
 グラファイトターゲットで
 生成した π^+ をまたは π^- を
 3つの電磁ホーンで収束



Near Detector
 (ND280)



ν



スーパーカミオカンデへ

ビームダンプとミュオンモニター

Muon Monitor



Beam Dump



ディケイ
 ボリューム
 - 全長 110m
 - $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$



一次
 ビームライン



Super-conducting
 combined function magnets

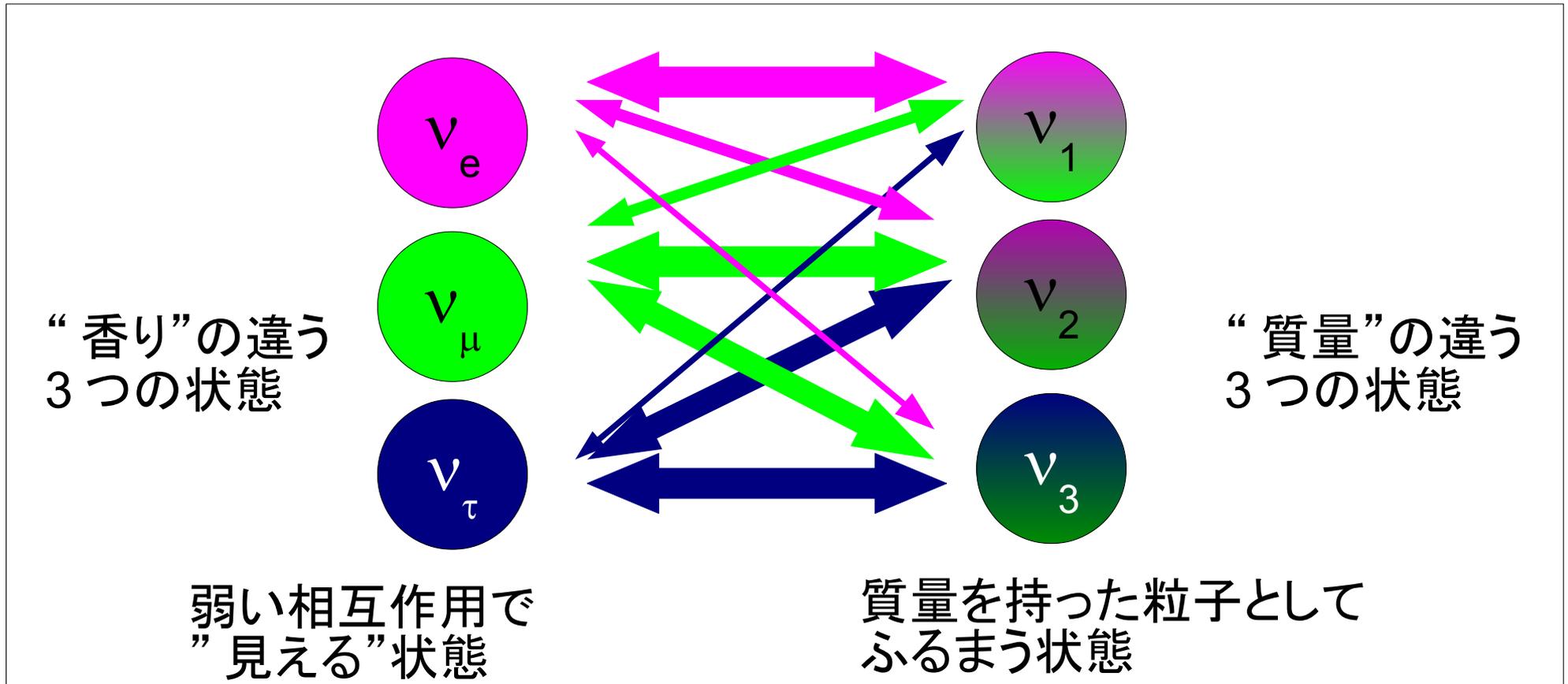


- 超電導電磁石で神岡方向に 80 度曲げ、
- モニターを用いてビームの方向 / 拡がりをターゲット直前で精密に調整。

スパール毎にミュオン (= ニュートリノビーム) の方向 / 強度をモニター

先程のおさらい: 混合

弱い相互作用で”見える”状態と、粒子として振る舞う状態は異なる



- もし3世代で混合すると、クォークと同様に CP 対称性を破り得る

ニュートリノ振動

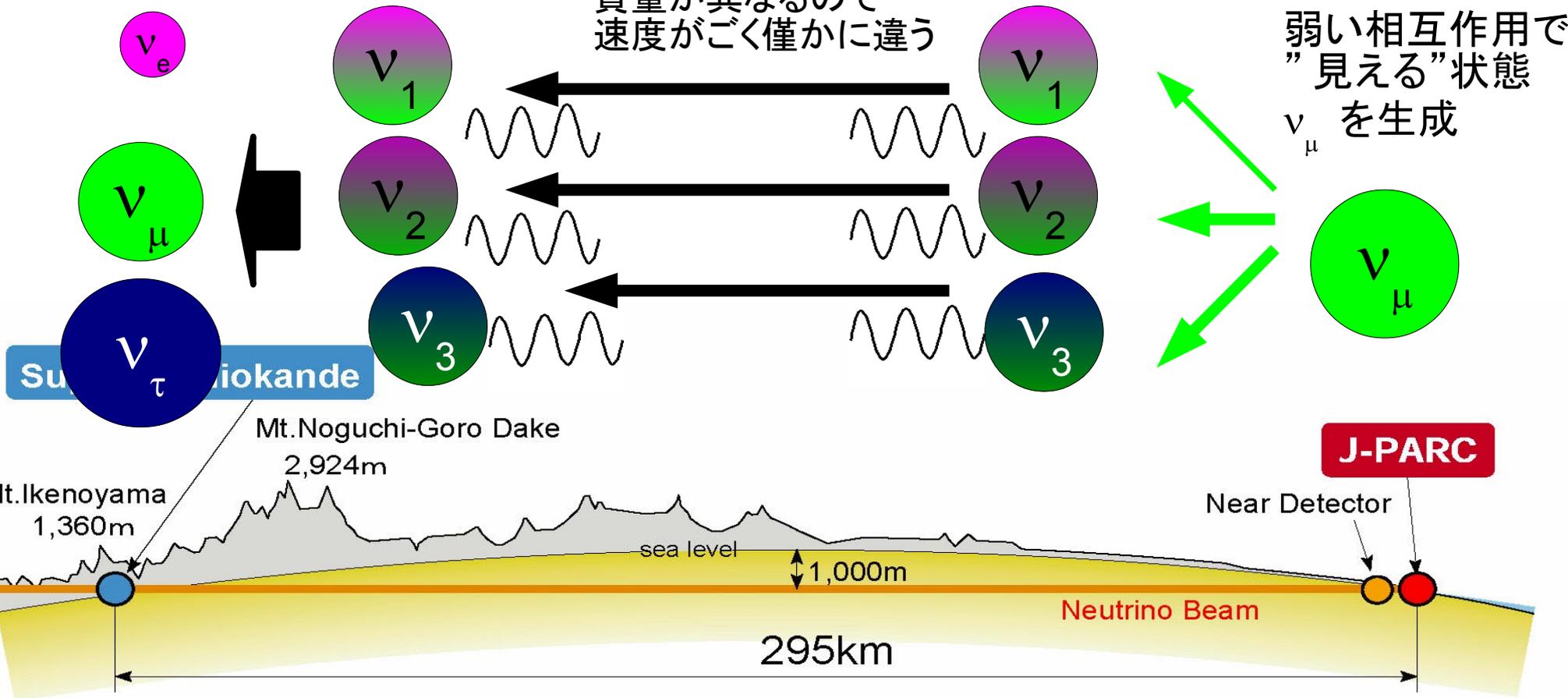
ずれたものを
重ねあわせ、
”見える”状態に
戻すと、純粋な
 ν_μ には戻らない

飛行先では質量の
異なる3つの状態が
ごくわずかにずれる

ν_μ は質量の異なる3つの
状態の重ねあわせ

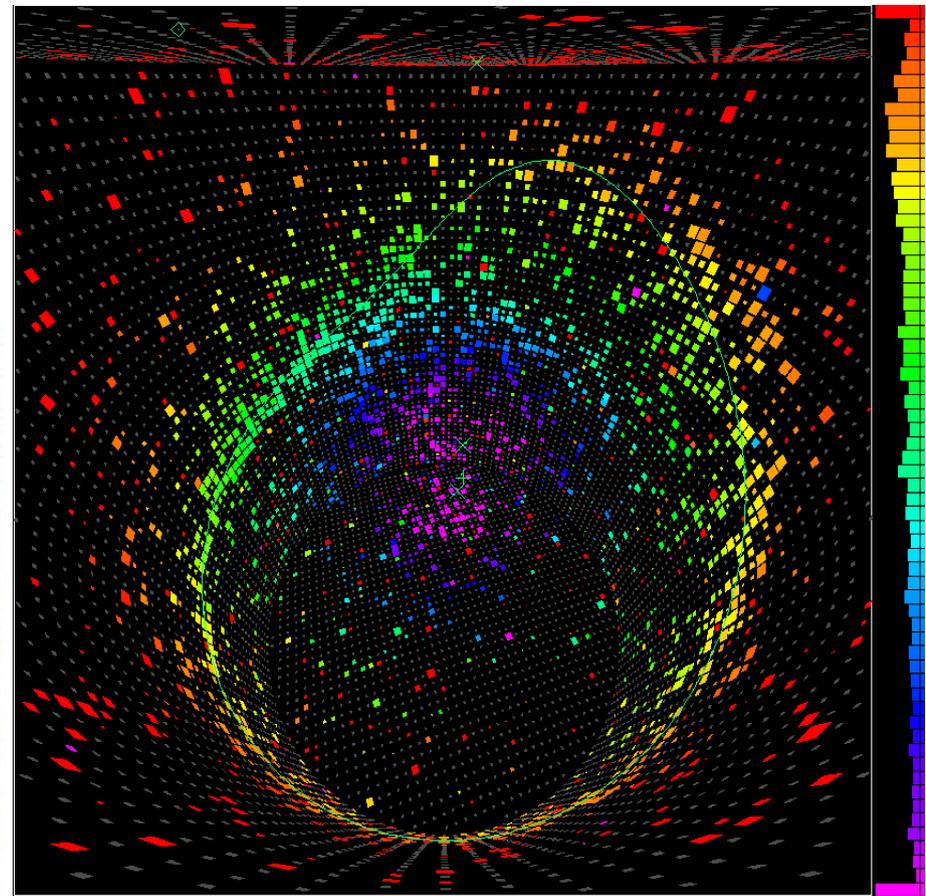
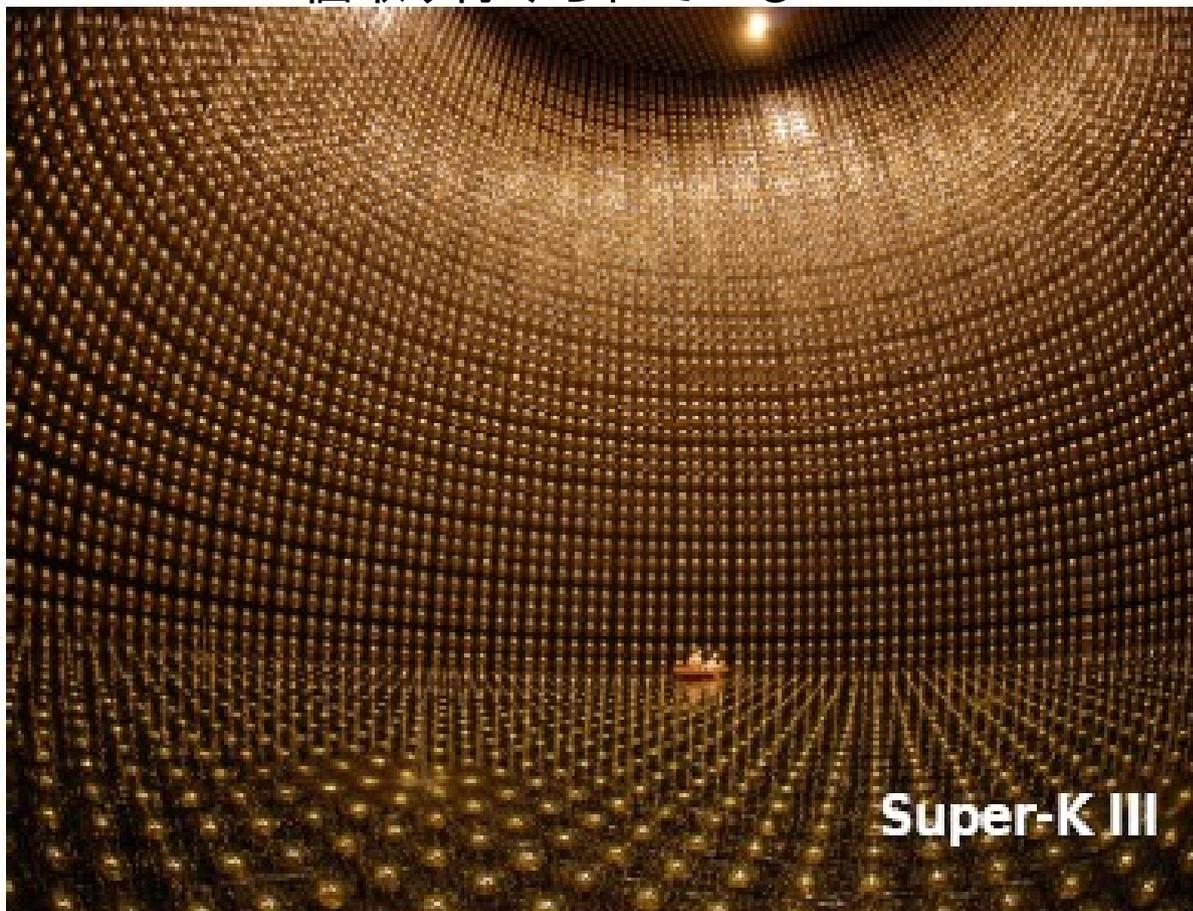
質量が異なるので
速度がごく僅かに違う

弱い相互作用で
”見える”状態
 ν_μ を生成



ニュートリノの検出: スーパーカミオカンデ

- 岐阜県神岡鉱山にある実験装置
(元々は陽子崩壊を探索するための実験装置)
- 5万トン(直径39.3m×高さ41.4m)
のタンクに純水が貯められている。
- 壁に光を検出するセンサが
11000個取り付けられている

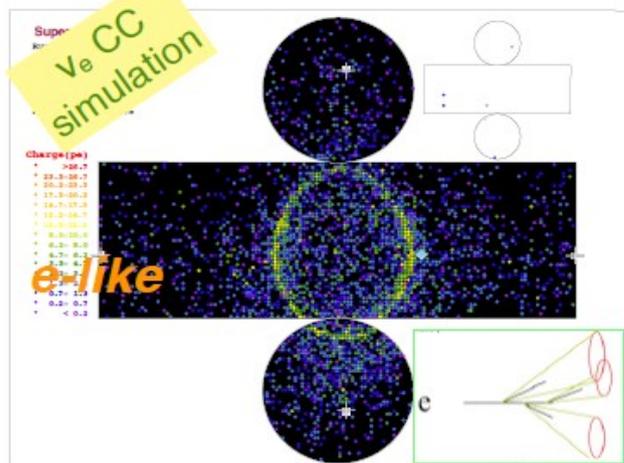


ニュートリノから変化した荷電粒子が
リング状にチェレンコフ光を出す。

電子の速度が水中の光速
を超えた時に出る衝撃波

スーパーカミオカンデでの ニュートリノ種類の同定

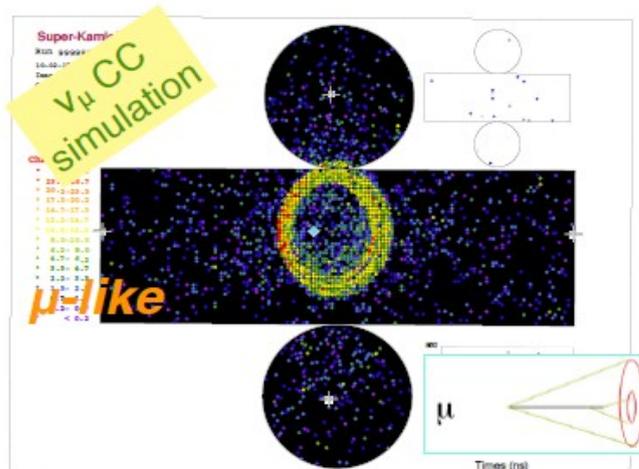
ν_e



$$\nu_e + n \rightarrow e^- + p$$

電子は、電磁シャワーを起こす。
→ 縁のぼやけたリング

ν_μ



$$\nu_\mu + n \rightarrow \mu^- + p$$

ミュオンは、電磁シャワーを
起こさず、真っ直ぐ飛ぶ
→ 縁のシャープなリング

ν_τ

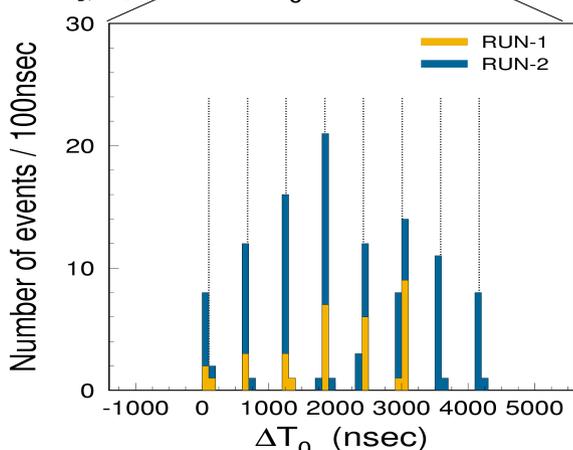
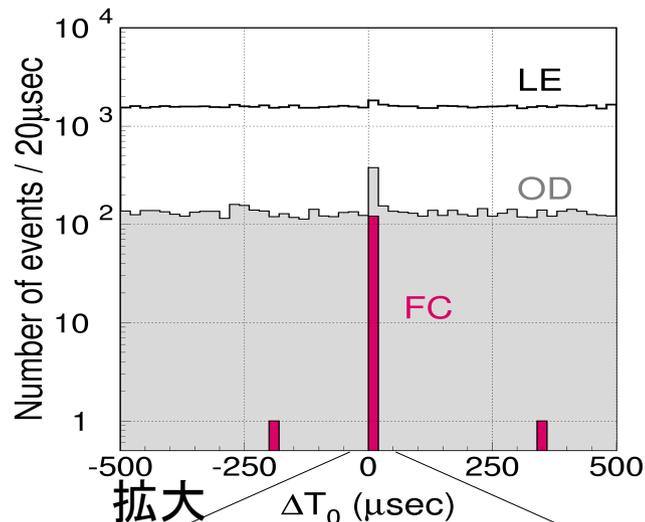
~~$$\nu_\tau + n \rightarrow \tau^- + p$$~~

タウ粒子は重く (1.8GeV/c²)、
E=1GeV 程度のニュートリノでは
生成できない (= 見えない)
→ ニュートリノ欠損

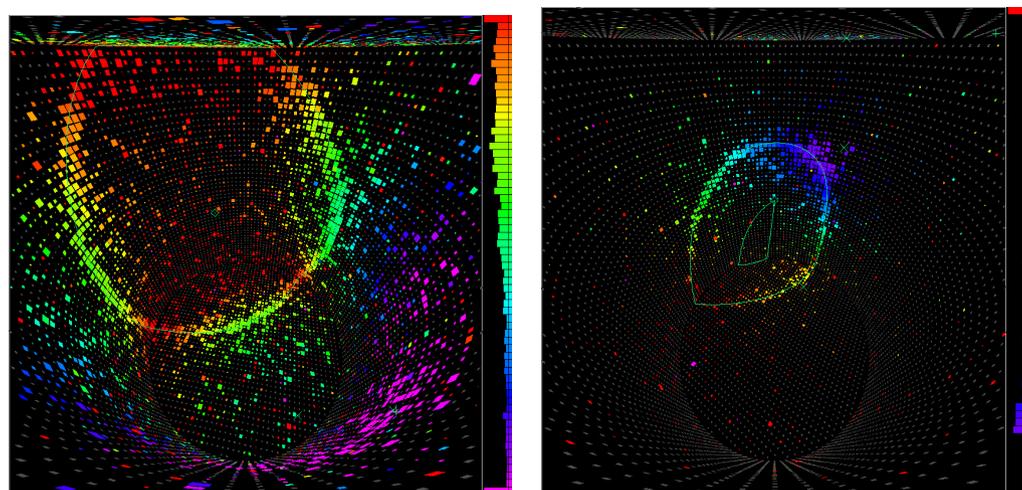
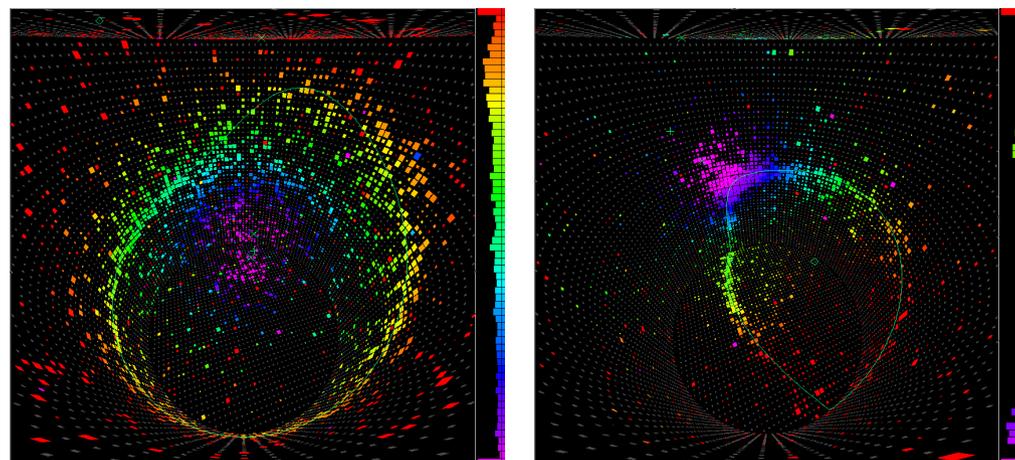
本当にJ-PARCから来たニュートリノ?

※SK: スーパーカミオカンデ検出器

SKの事象とJ-PARCのビームとの時間相関
(互いに300km離れているが、GPSで同期)



ビームバンチ構造が見えている

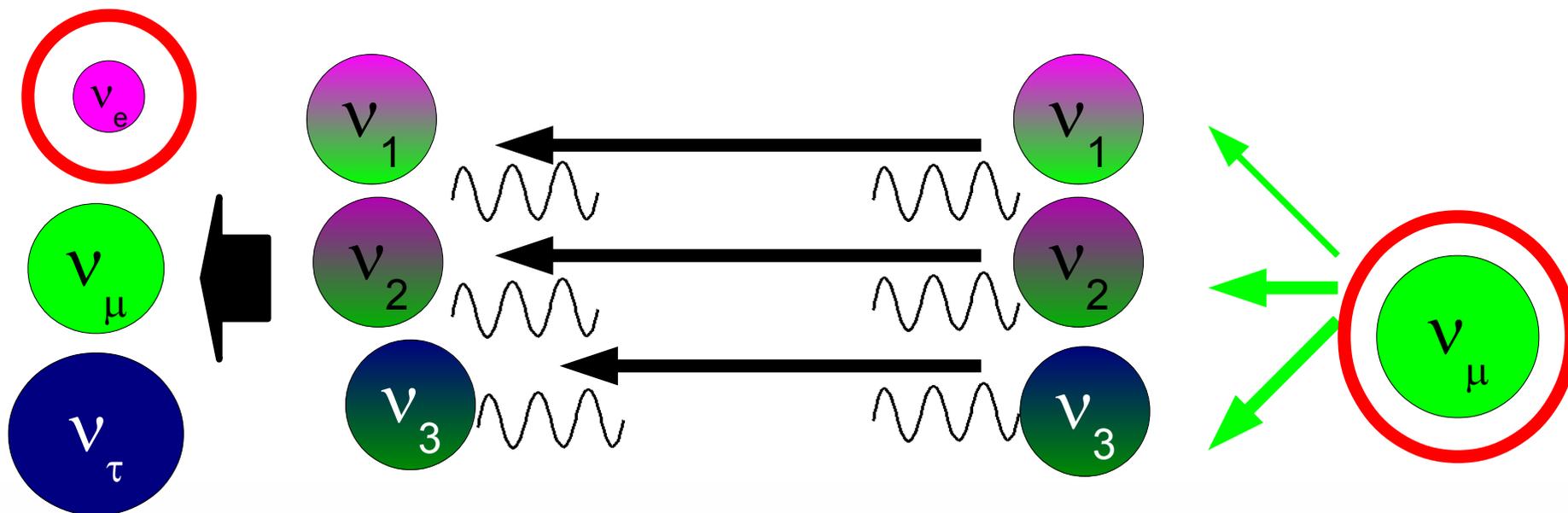


J-PARCからの電子ニュートリノをSKで検出

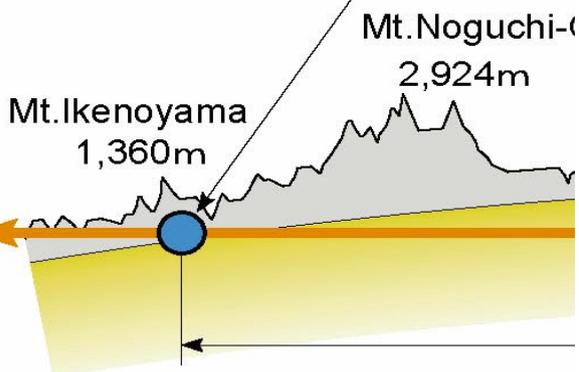
電子ニュートリノ事象はビームを打ち出したタイミングに同期

T2K 実験の結果

J-PARC で生成した ν_μ が神岡では ν_e になる稀な現象を観測
 → ニュートリノもクォークと同様に 3 世代で混合していることを証明

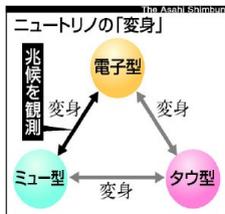


Super-Kamiokande



現在位置: asahi.com ニュース サイエンス 記事

見えた！ニュートリノの変身新パターン 高エネ機構



ニュートリノ変身の三つのパターン

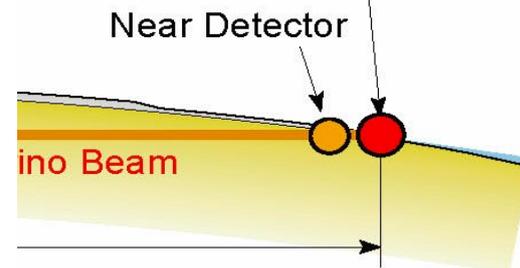
この記事は

高エネルギー加速器研究機構（茨城県つくば市）を中心とする国際研究グループは15日、素粒子ニュートリノが変身する新しいパターンの兆候を世界で初めて観測したと発表した。変身は「ニュートリノ振動」と呼ばれる現象で、これが解明されると、宇宙誕生の秘密に迫れると期待される。

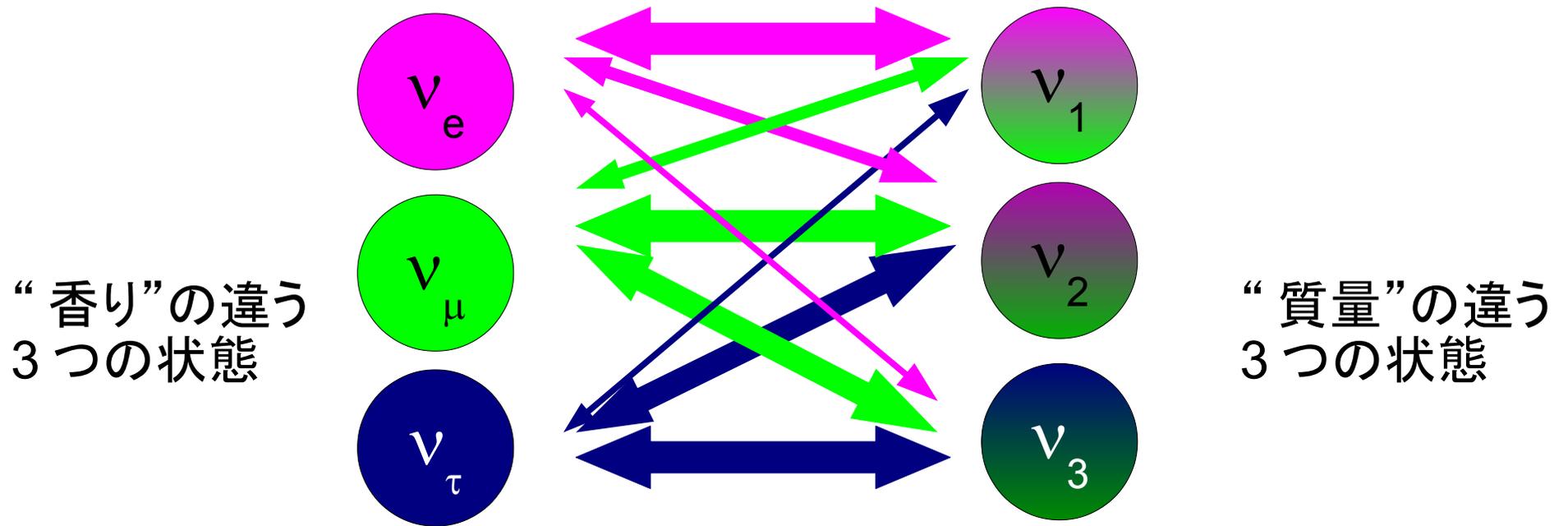
素粒子ニュートリノは地球も突き抜ける謎の粒子。電子型とミュー型、タウ型の3種類あり、一つの型から別の型へ「変身」が起こる。これまでミュー型とタウ型、タウ型と電子型の間の変身は捉えられていたが、ミュー型から電子型への変身は捉えられていなかった。

グループは2010年1月から、茨城県東海村のJ-PARC（大強度陽子加速器施設）から約300キロ離れた岐阜県・神岡鉱山の大型観測装置「スーパーカミオカンデ」に向けてミュー型ニュートリノを打ち出し、振動を調べた。データを解析したところ、電子型へ変身したらしい事象を6例検出したという。

J-PARC

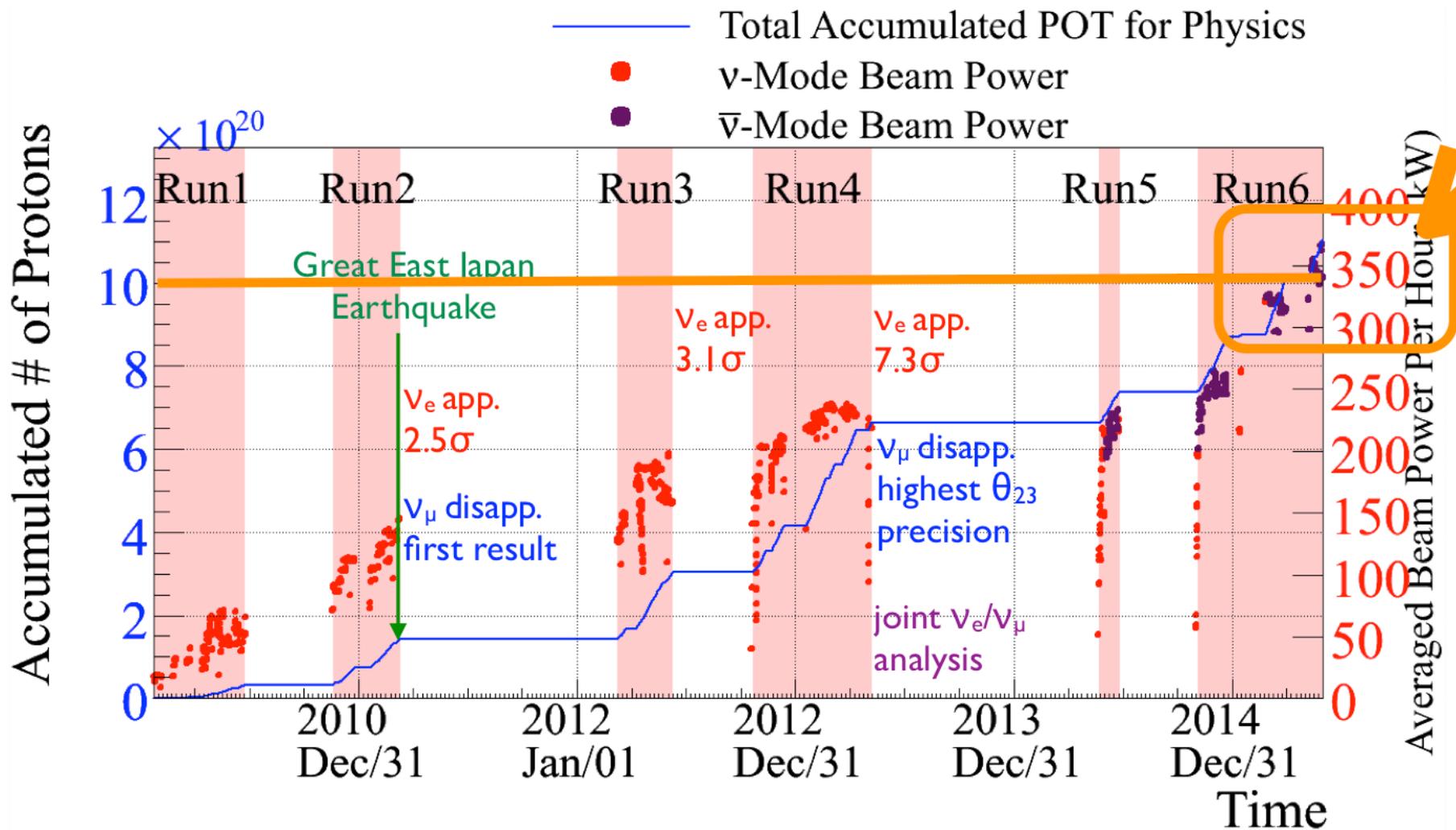


ニュートリノでもクォークと同様に3世代の混合が起きていることが分かった



ニュートリノでも
CP対称性が破れているのか？

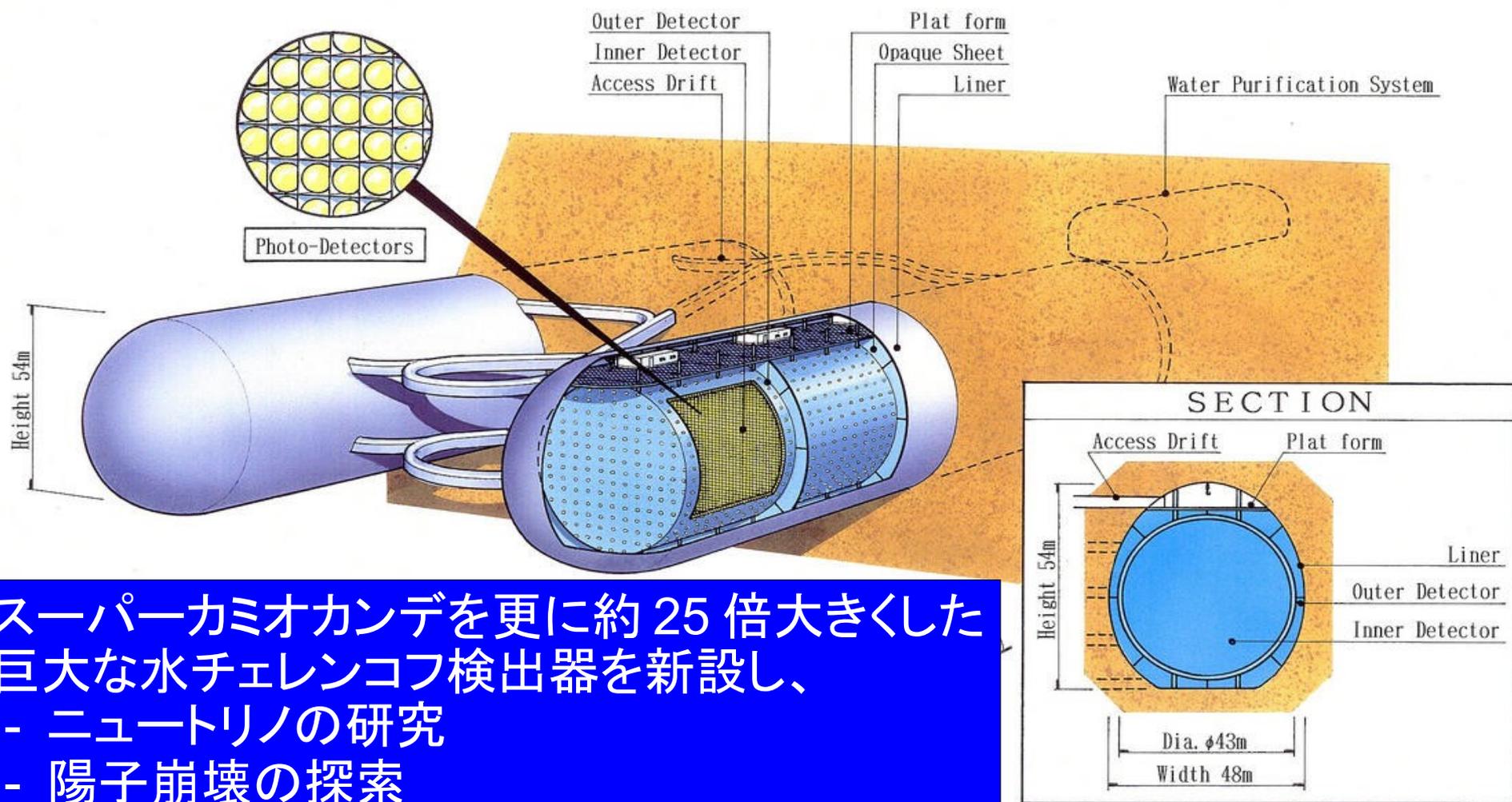
反ニュートリノビームを用いた実験



T2K 実験では、反ニュートリノ ($\bar{\nu}$) のデータを収集中

将来計画：ハイパーカミオカンデを用いたCP非対称性の研究

ニュートリノと反ニュートリノの違いをみる。



スーパーカミオカンデを更に約 25 倍大きくした
巨大な水チェレンコフ検出器を新設し、

- ニュートリノの研究
- 陽子崩壊の探索