

実験名：

スーパーカミオカンデ、ハイパーカミオカンデ、T2K

研究テーマ：

大気・加速器ニュートリノ実験と陽子崩壊探索

塩澤 真人

神岡宇宙素粒子研究施設（神岡地区）

- 中畑雅行, 塩澤真人, 森山茂栄, 早戸良成, 関谷洋之, 中山祥英

ニュートリノ観測情報融合センター（柏キャンパス）

- 梶田隆章, 奥村公宏

# スーパーカミオカンデ

→ガドリニウムを導入したスーパーカミオカンデ (2020年~)

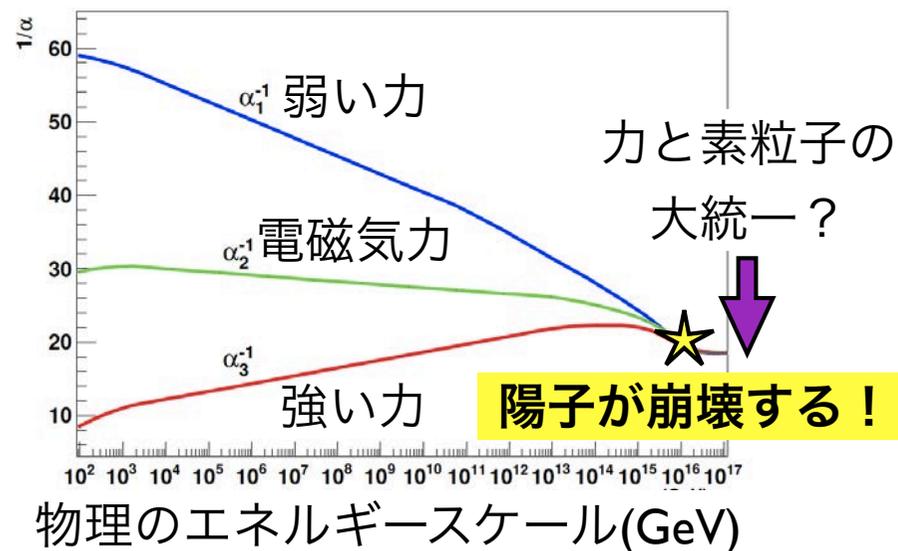
→ハイパーカミオカンデ (2020年~建設、2027年観測開始予定)



# 陽子（核子）崩壊の探索

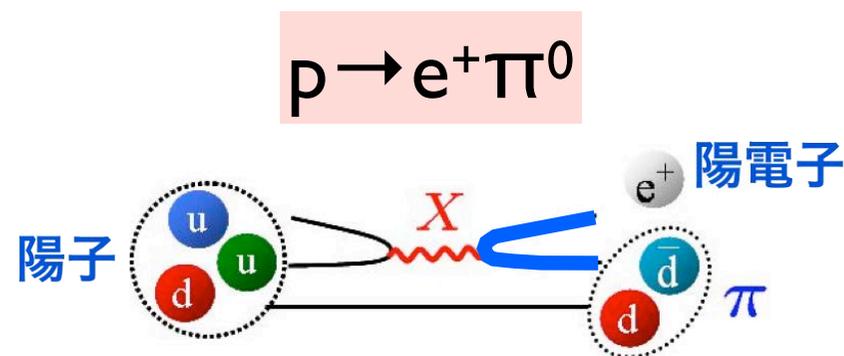
## ● 大統一理論（仮説）

- 3つの力の統一&物質素粒子（レプトン・クォーク）の統一
- 間接的証拠：結合定数が $\sim 10^{16}\text{GeV}$ で一点に集まる、中性水素元素、軽いニュートリノ質量を自然に説明できる



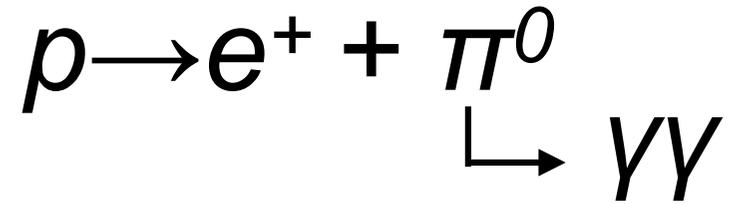
## ● 陽子崩壊の発見→測定へ

- レプトン・クォーク間の直接遷移を見る→大統一の直接証拠
- SKは $10^{34}$ 年の感度に到達、いつ発見されてもおかしくない。HK $\sim 10^{35}$ 年。



$$\Gamma(p \rightarrow e^+ \pi^0) \sim \frac{g^4 m_p^5}{M_X^4}$$

陽子 陽電子 中性π中間子



スーパーカミオ  
カンデ：

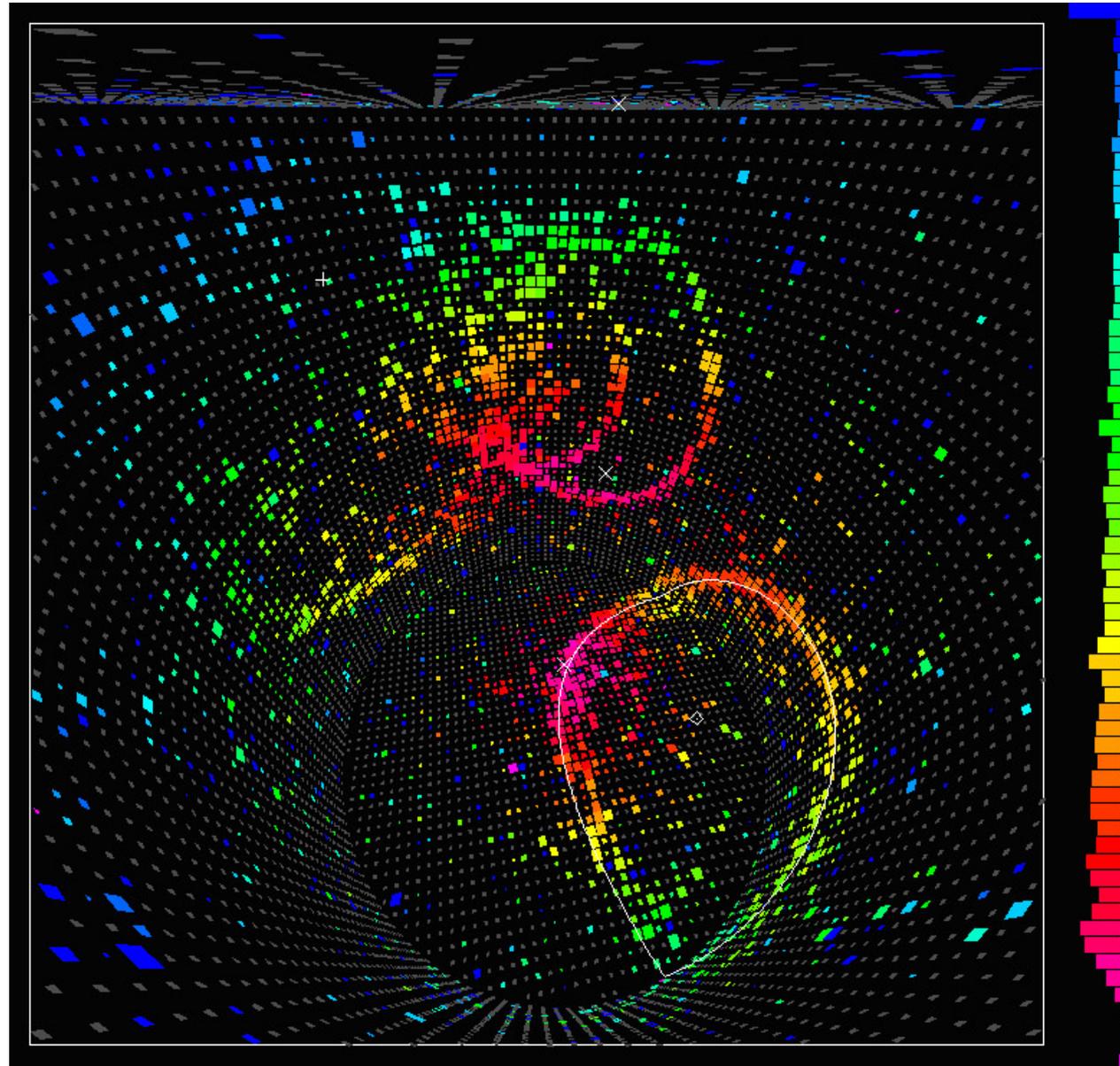
2.2万トンの水～

**10<sup>34</sup>個の陽子**の

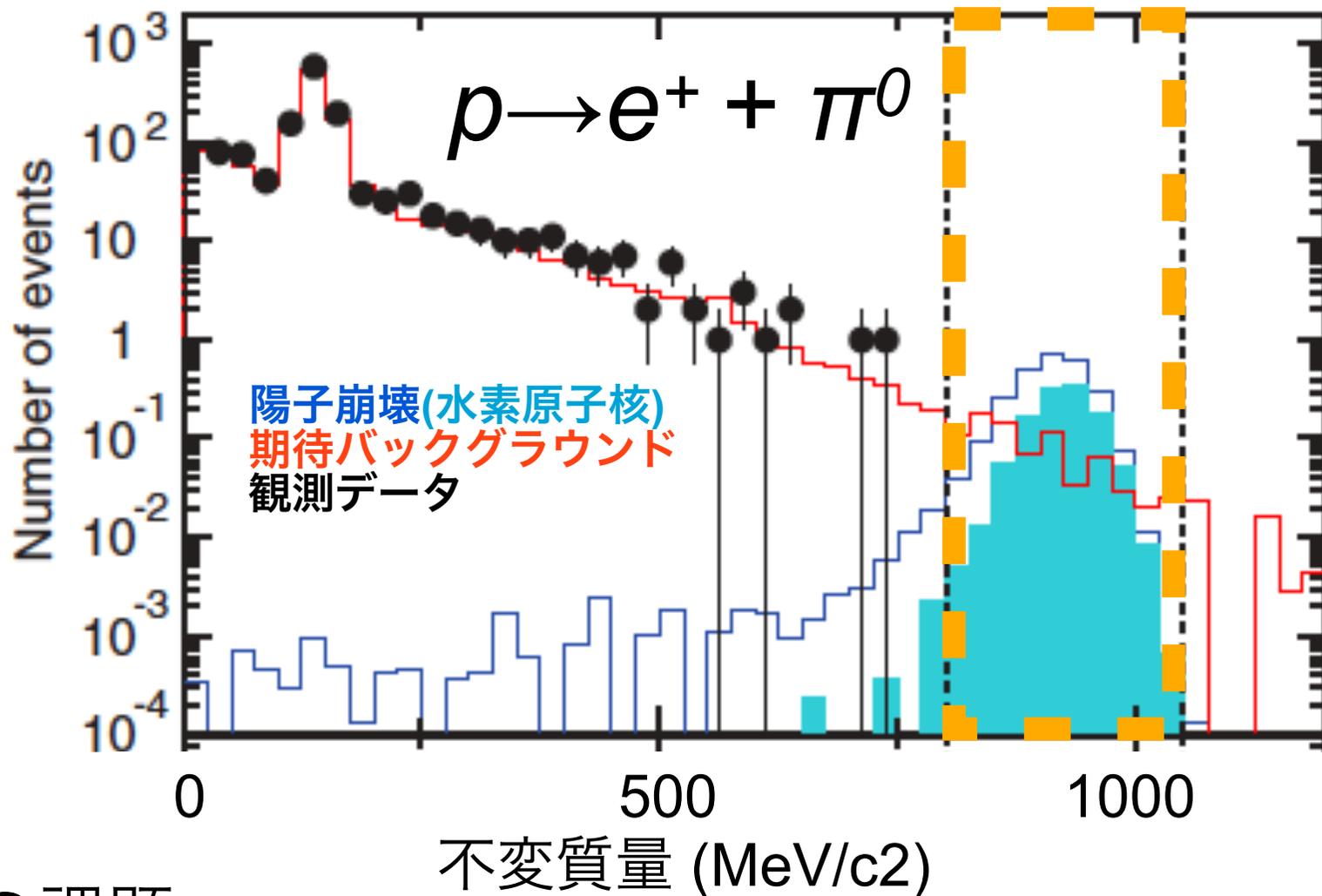
うちの 하나가崩

壊しても検出で

きる.



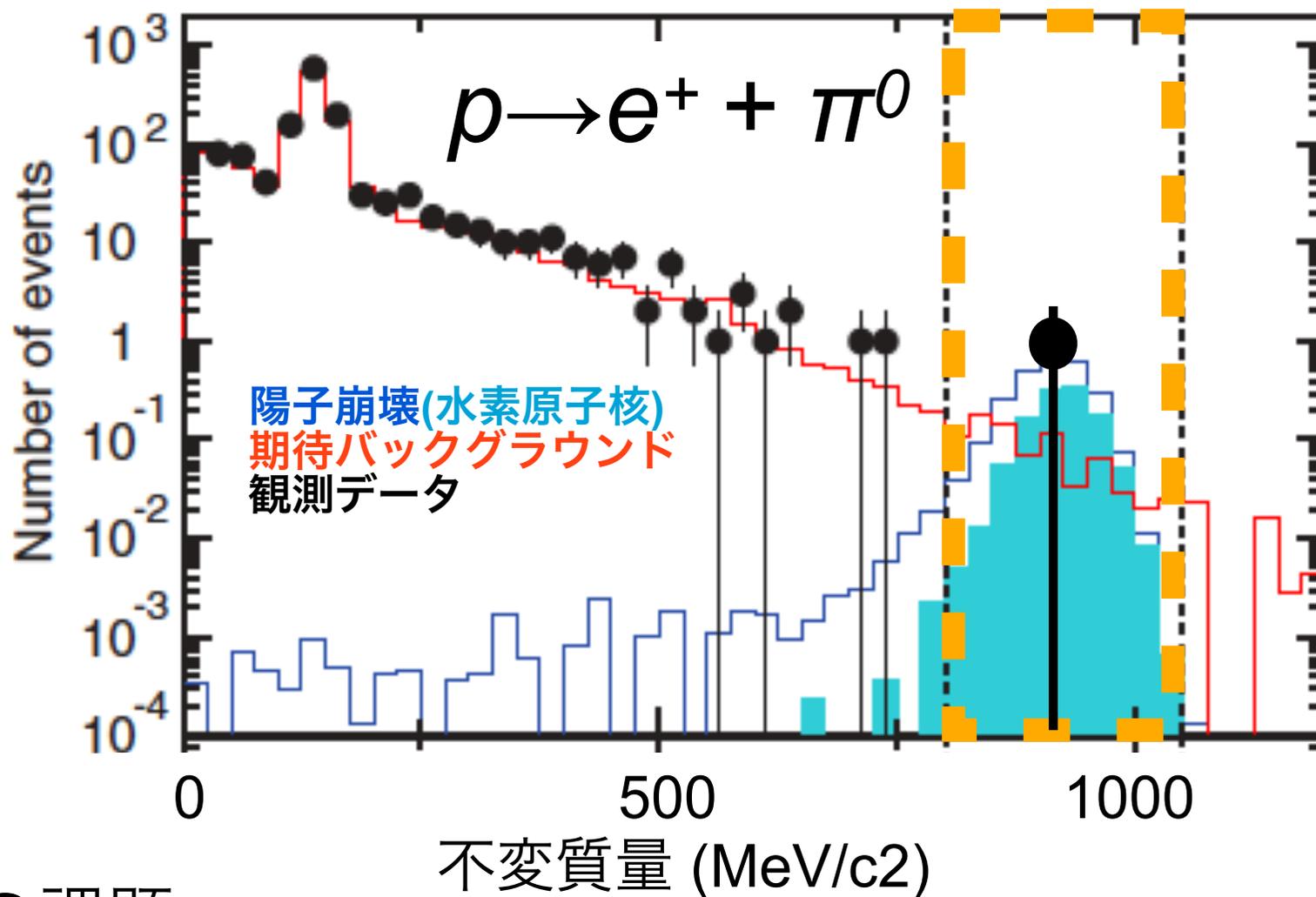
# スーパーカミオカンデ結果



## 今後の課題

- 2020年からガドリニウム導入→中性子によるバックグラウンド低減
- まだ解析していない崩壊モードなど

# 近い将来？



## 今後の課題

- 2020年からガドリニウム導入→中性子によるバックグラウンド低減
- まだ解析していない崩壊モードなど

# ニュートリノ振動の研究

- 標準理論を超える物理の証拠
  - 極端に軽い質量 → 標準模型ヒッグス以外の未知の質量生成機構
  - 大きな世代間混合 → 未知の対称性。

- 今後の研究課題

- 宇宙の物質起源に果たした役割？

← CP対称性の破れの測定

- 世代の起源？大統一理論との関係？

← 質量の順番の決定を含む精密測定

SK(-Gd), T2K(-Gd), HKの研究課題

# T2K (Tokai-to-Kamioka)

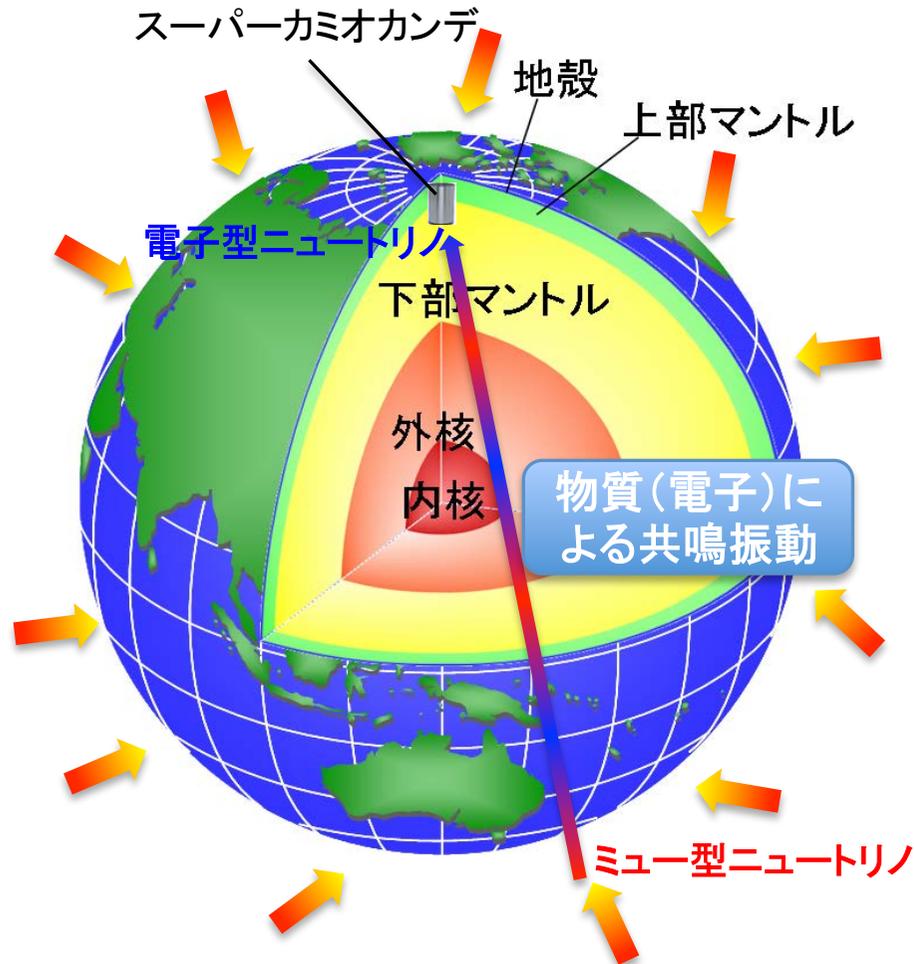


- 高精度ニュートリノ振動実験
  - エネルギー(0.65GeV), 飛行距離(295km), ミュー型ニュートリノビーム、反ニュートリノビームも
- ビームパワー増強プラン (300kW→500kW→1MW超へ)

# 大気ニュートリノ

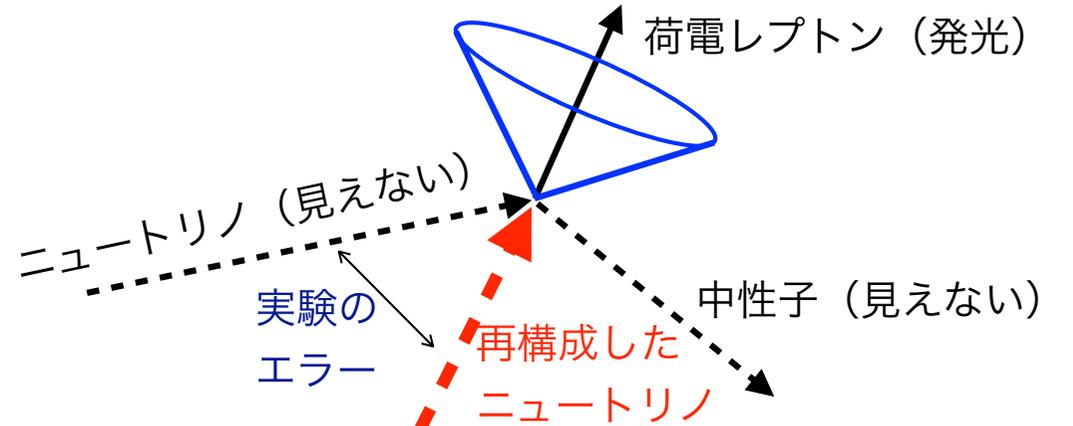
- 質量の順番を決定する

- 地球の高密度物質によるニュートリノ振動の変調を調べる
- ガドリニウム（中性子タグ）を活用、観測量を増やすことが鍵

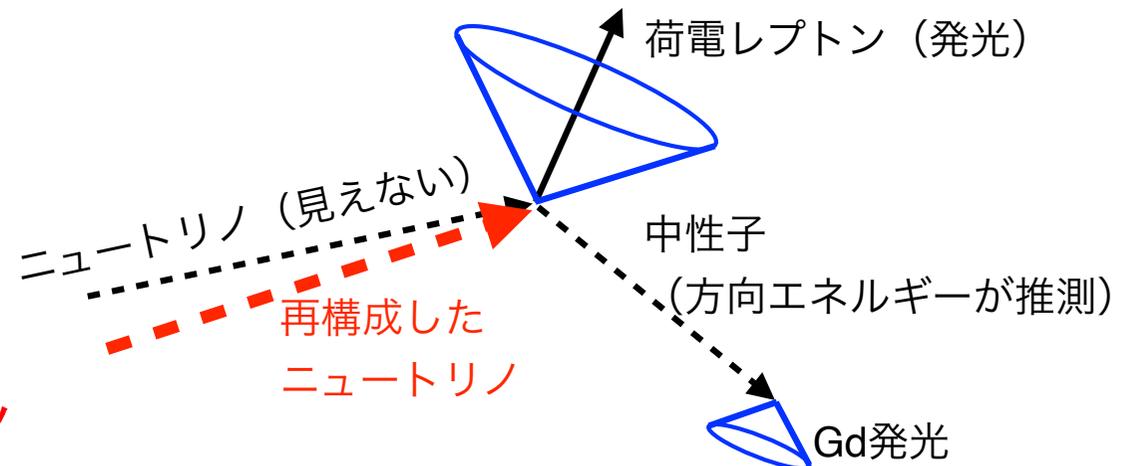


- ニュートリノ振動の精密測定

- ガドリニウム（中性子タグ）を活用



## 新しいニュートリノ振動実験

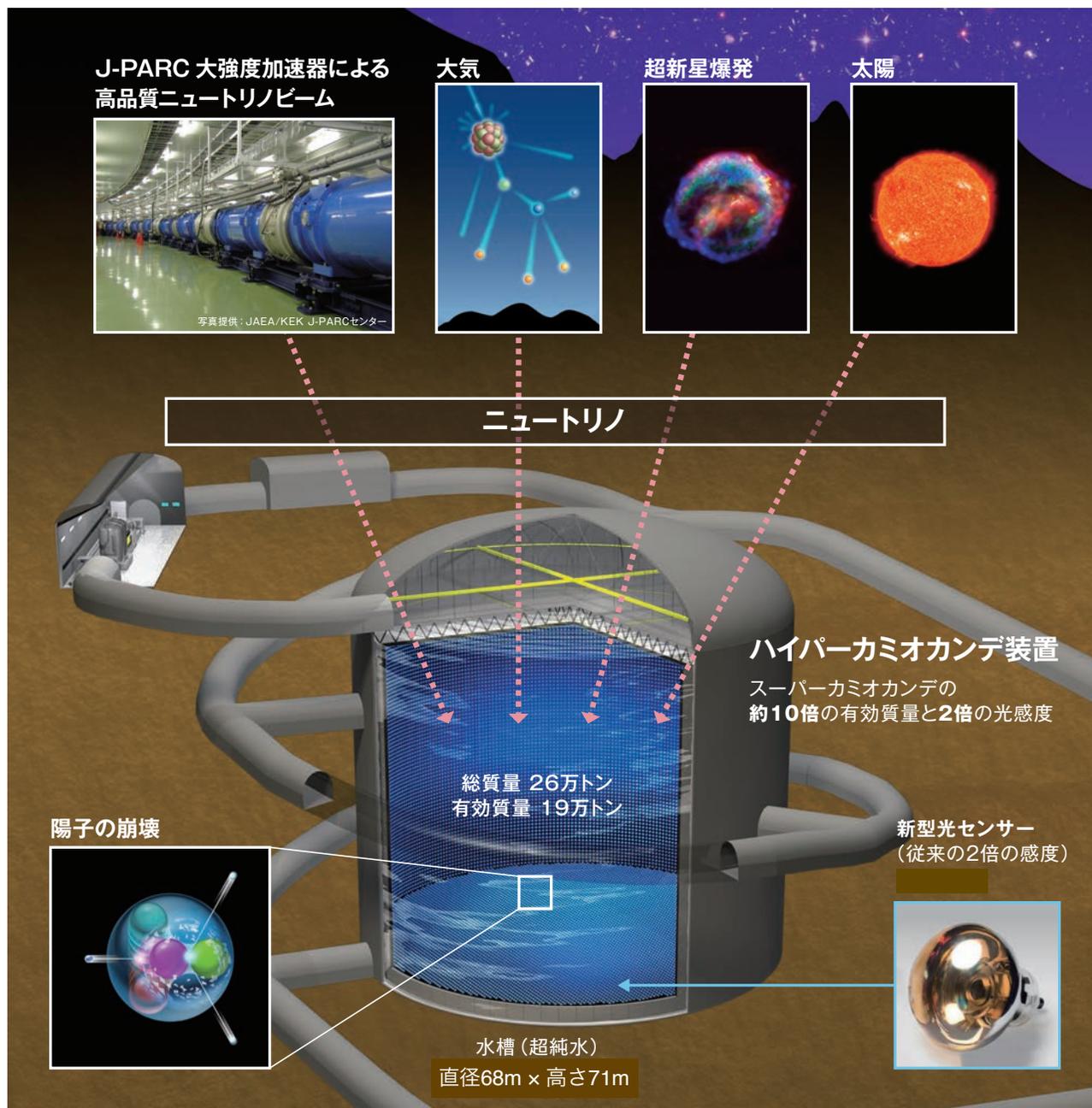


# 次期計画：ハイパーカミオカンデ

有効質量19万トン  
(SKの8.4倍)

新型PMT: 光感度2  
倍、時間精度も2倍

J-PARC ニュートリ  
ノビームも約3倍に  
強度化



# 2020年着工



アクセストンネル入口予定地

建設用ヤード

# Hyper-K DAQ – 多くの新要素開発



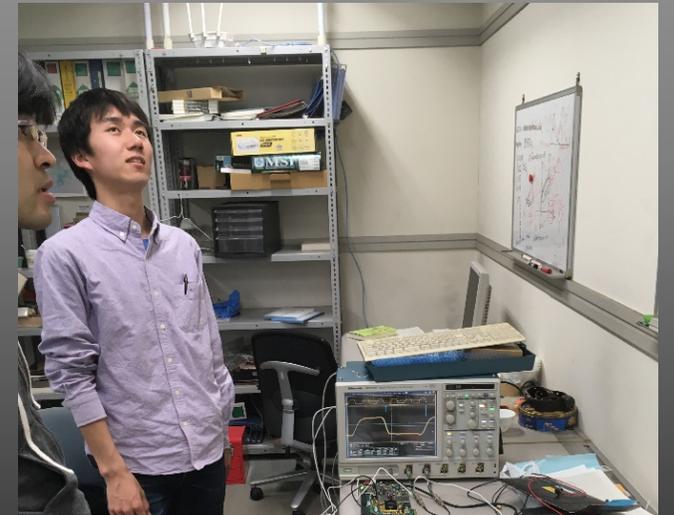
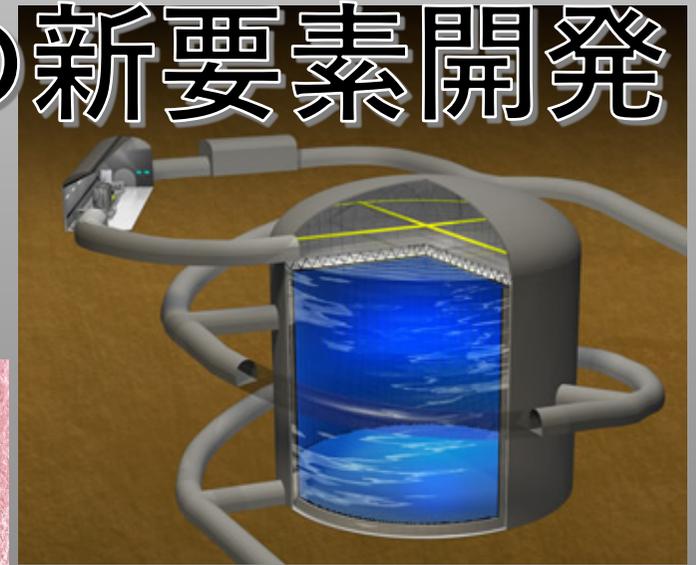
2万～4万本の超高感度, 高速  
光電子増倍管 (PMT)

1ナノ秒の時間分解能  
超高性能PMTを活かす

水中近接 電荷時間 観測回路  
PMTを駆動する2千V電圧生成回路



水中電子回路を保護する  
高耐圧水密ハウジングや  
ケーブルフィードスルー開発



学生, 教員, 大学, 国を超えた開発  
システムデザイン議論,  
デジタルロジック開発, 測定, 評価など

(例)

10ピコ秒の高精度で  
100mの範囲に分散する  
千以上の回路を同期する  
クロック回路の開発, 評価の様子



# 今後~5年で目指す研究課題

- スーパーカミオカンデ (Gd) 、 T2Kビーム強度化により
  - ニュートリノのCPの破れの発見
  - 質量階層構造の決定
  - 陽子崩壊現象の発見
  - 他
- ハイパーカミオカンデの開発、建設