

ニュートリノ実験で拓く 素粒子の統一理論と宇宙の進化

塩澤 真人

東京大学 宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設

東京大学 国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構

2016年5月28日

物理学専攻入試ガイダンス



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



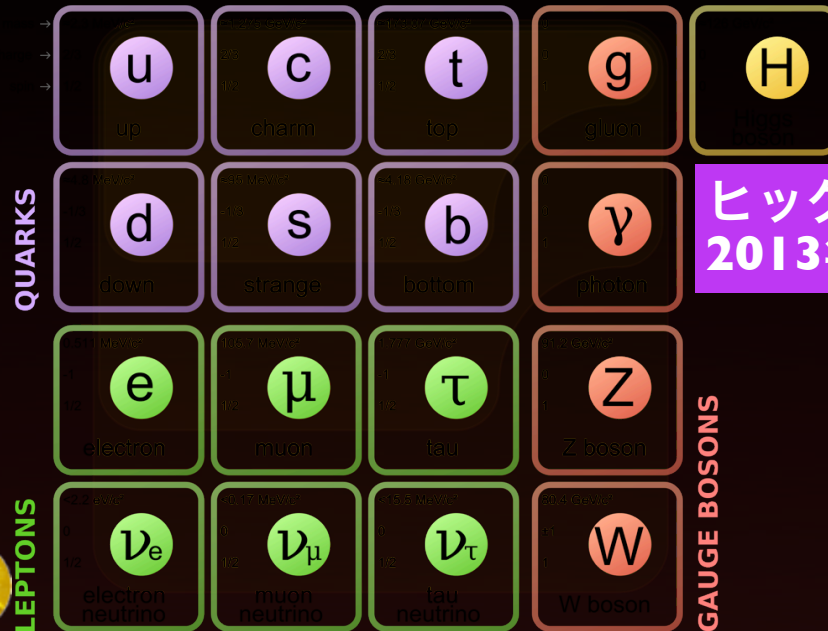
Copyright © Nobel Media AB 2015



Copyright © Nobel Media AB 2015

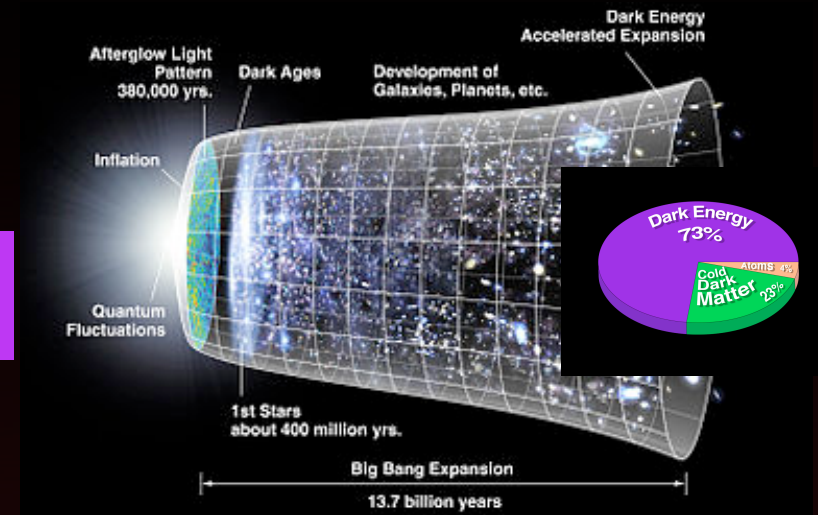
- KAMIOKAでの研究成果。小柴昌俊に次ぐ2つ目。
- Prize motivation: "for the discovery of **neutrino** oscillations, which shows that neutrinos have mass"
- 「**ニュートリノ**が質量を持つことを示す、ニュートリノ振動の発見」

素粒子と宇宙はいまだ謎の宝庫！



ヒッグス粒子
2013年

ν 振動
2015年



宇宙の膨張加速
→暗黒エネルギー、暗黒物質
1978, 2006, 2011年

- ニュートリノの性質
- ヒッグス粒子他の性質
- 未知の素粒子（超対称性粒子など）
- 素粒子の統一描像（クォークとレプトン統一、力の統一、3世代構造の理解など）
- 暗黒エネルギー、暗黒物質の正体、インフレーションの原因

ニュートリノ (ν) ・ 核子崩壊
実験は多くの謎に挑戦する

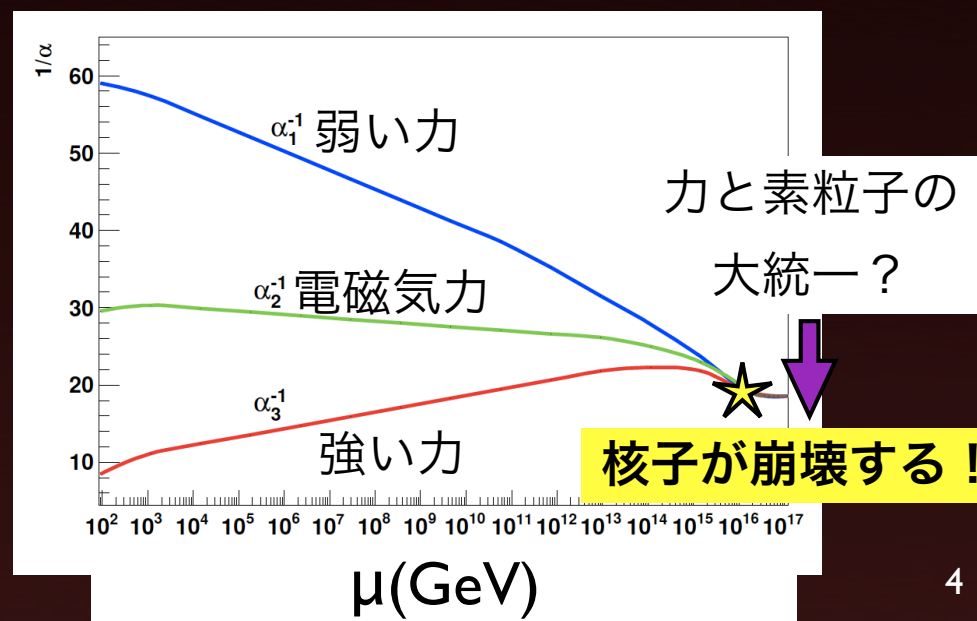
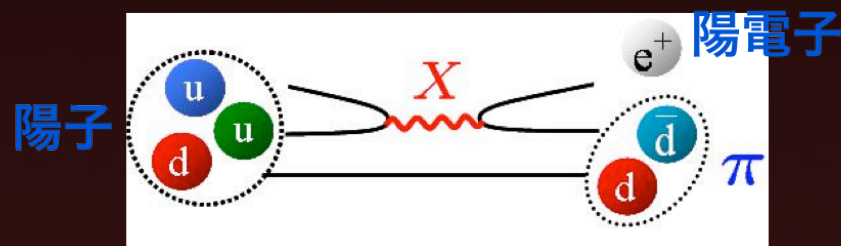
ν実験は統一理論を探るプローブ

- 極端に軽い質量は超重粒子 ($\sim 10^{14} \text{GeV}$) の存在を示唆 (柳田・福来)



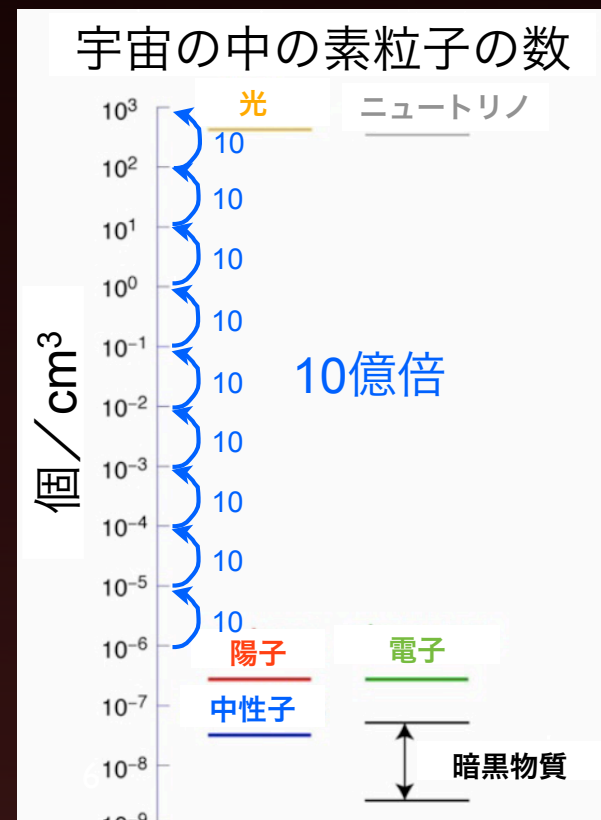
- レプトン (ν) の大きな世代間混合とクォークの小混合 → 統一的な枠組み (大統一理論) での理解

- 大質量ν実験 → 陽子崩壊探索 (大統一の直接的検証) 可能

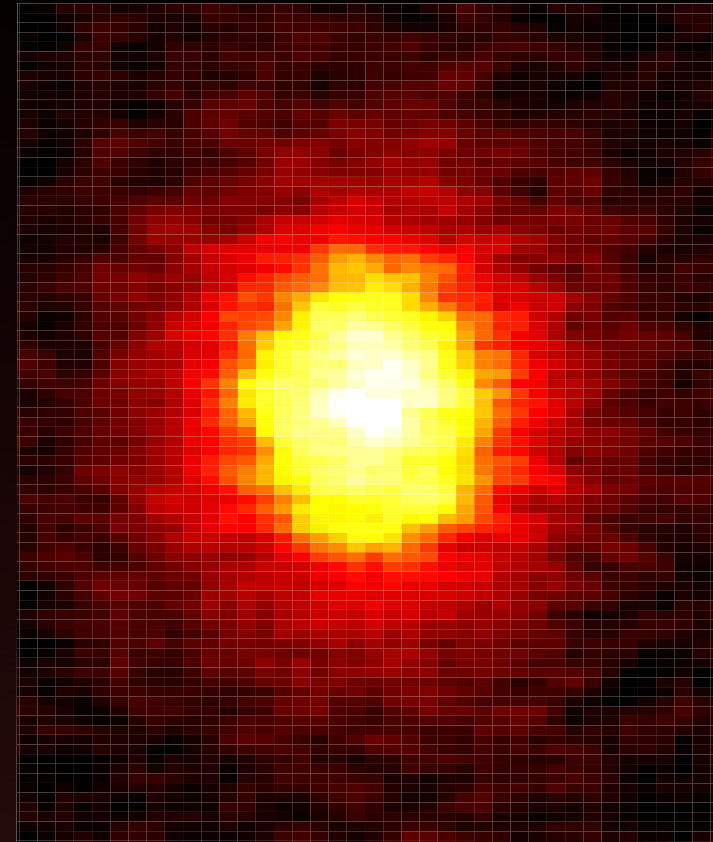


ν は物質優勢宇宙を理解する鍵

- 物質優勢宇宙にはCPを破る素過程の存在が必要（サハロフの条件）
- 唯一知られているCP非保存はクォーク（小林益川理論）→物質優勢宇宙を説明するには足りない
- レプトン（ニュートリノ）は宇宙に大量に存在し、物質優勢を説明する最有力候補
- レプトン（ニュートリノ）のCPの破れの測定が緊急課題

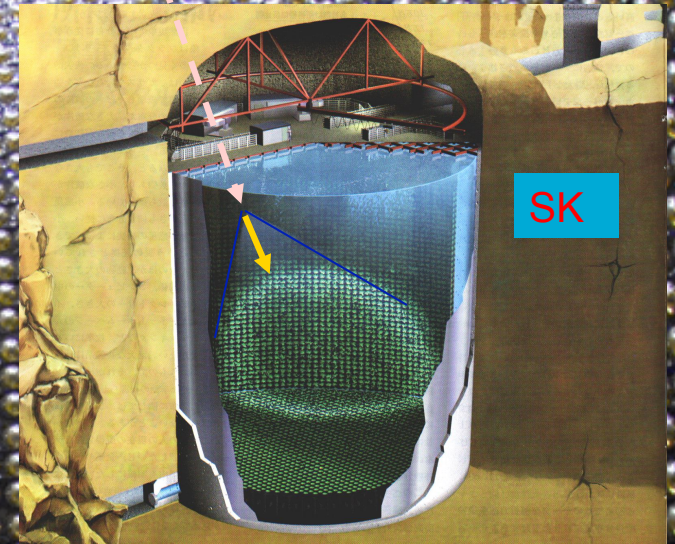


ν は天体内部を見る”光”



X線（レントゲン）：体の内部の様子を見る

ニュートリノ：太陽中心部の核融合、超新星爆発内部
やブラックホール誕生の瞬間



スーパーカミオカンデ

5万トンの水槽を地下1000メートルに建設。

ニュートリノが水と反応した際に出る光をセンサー1万個で捉える。

(c) 東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設

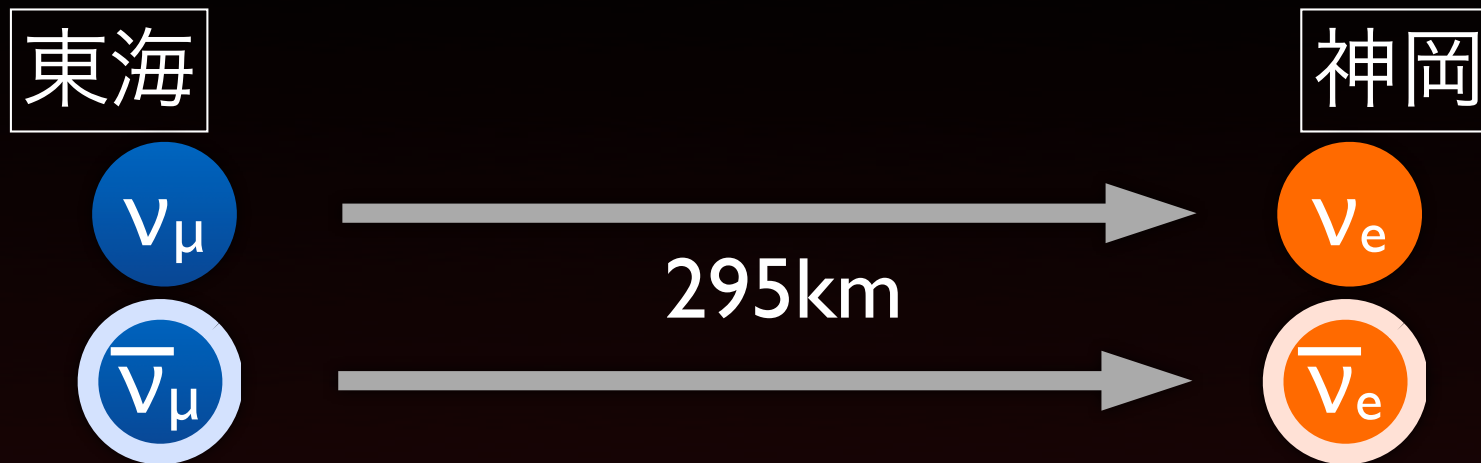
大強度陽子加速器 J-PARC

大強度ニュートリノビーム生成施設



ニュートリノ・核子崩壊実験 の今後の研究課題

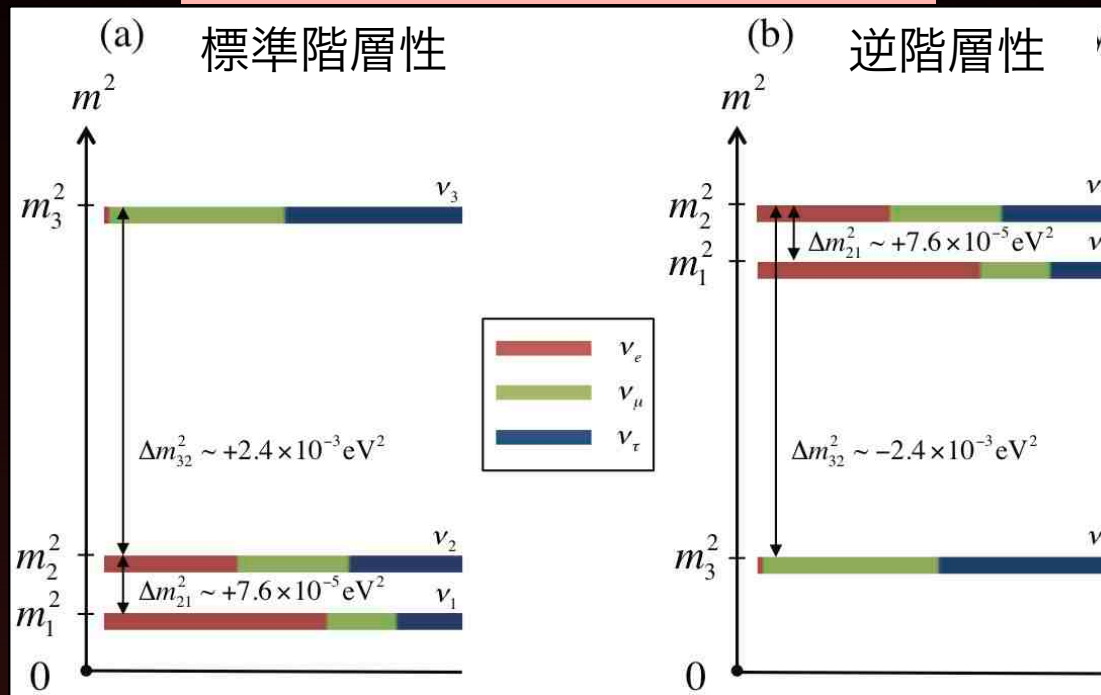
J-PARCVによるCPの破れの研究



- T2K実験は電子ニュートリノ出現を世界で最初に確立した.
- 反電子ニュートリノによる振動研究を開始.
 - ニュートリノと反ニュートリノの違いによるCP対称性の破れ発見への世界のトップランナー
- 2018年頃までに、400kWから~750kWへビーム増強
- 1300kWへの増強＋ハイパーカミオカンデ建設により、CPの破れ発見と測定を行う.

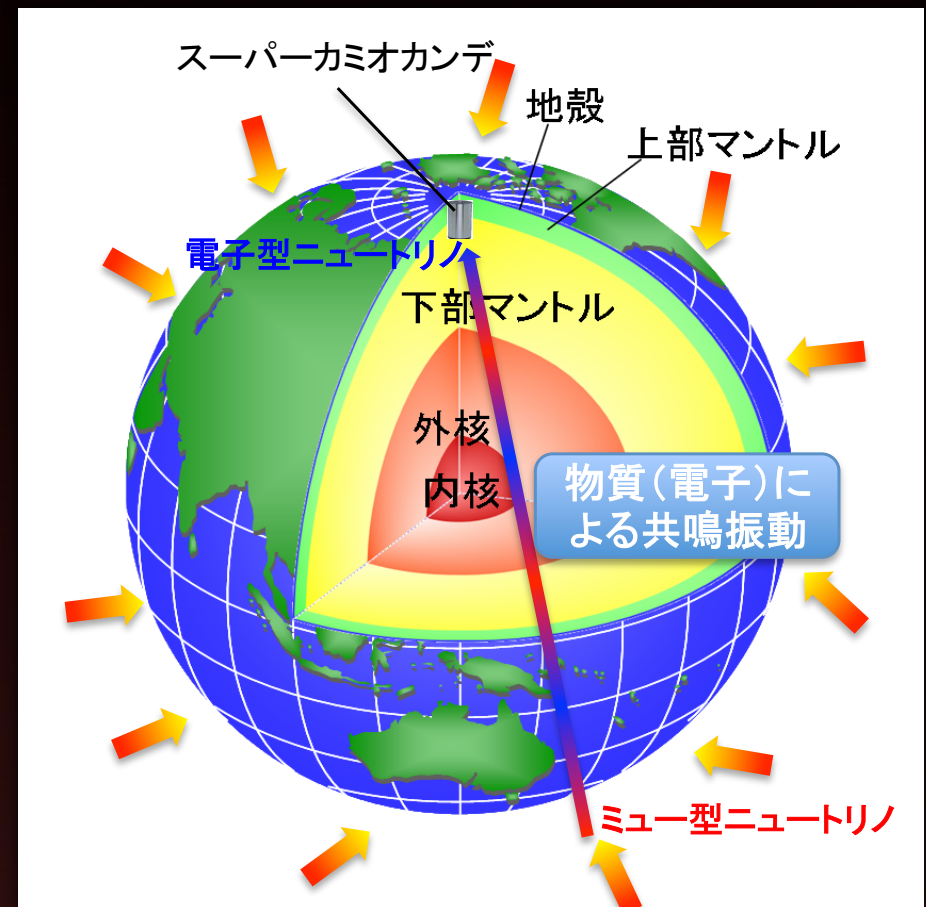
大気νによる質量階層性の検証

質量階層性（ m_3 が一番重いか、一番軽い）は未解明の問題。



地球の物質効果（MSW効果）の共鳴による ν_e 出現現象.

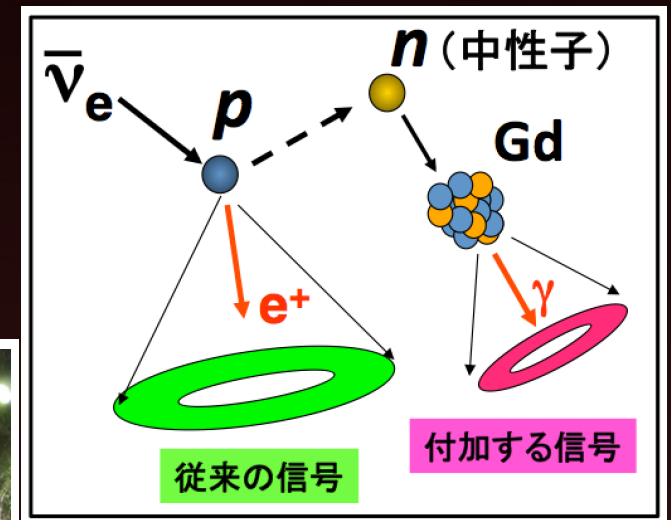
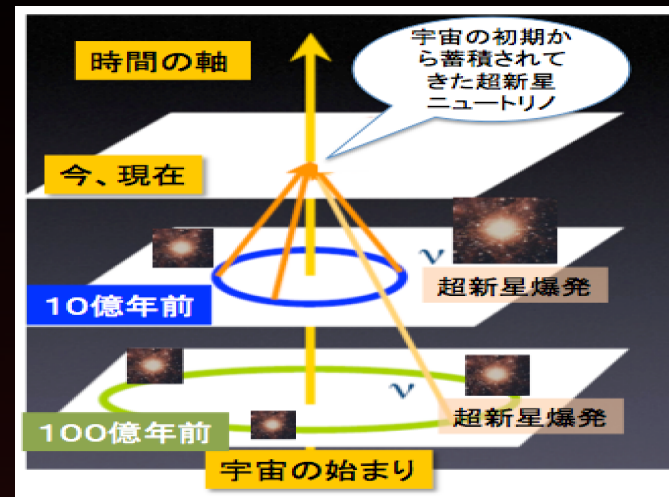
- 質量標準階層構造の場合電子ν出現
- 逆階層構造の場合反電子ν出現



観測精度の向上、期待値計算の向上（他の振動実験の知見）を行い、階層性決定を目指す。

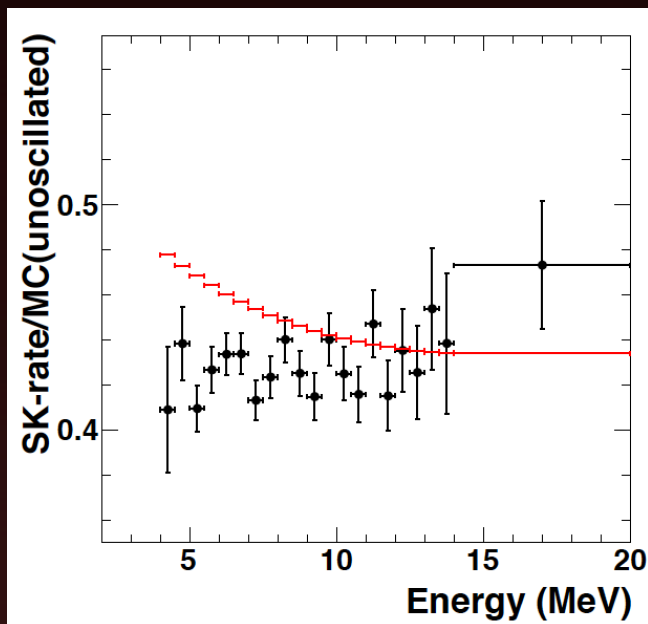
過去の超新星爆発ν

- 宇宙の最初の星以来蓄積されてきた超新星爆発からのニュートリノを捉える.
- 新たにガドリニウムを水中に導入し、超新星爆発ニュートリノ信号とバックグラウンドを識別する.
- 2018年頃、水槽の補修、その後ガドリニウム導入へ



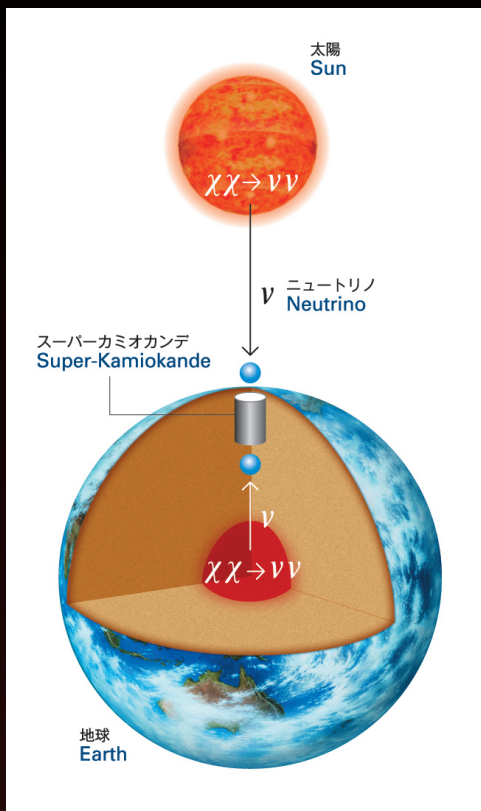
太陽ニュートリノの精密測定

- 昼夜の差の精密測定
 - 地球物質のニュートリノ振動への効果の確立
- ニュートリノスペクトラムの精密測定
 - 新種のニュートリノの発見の可能性



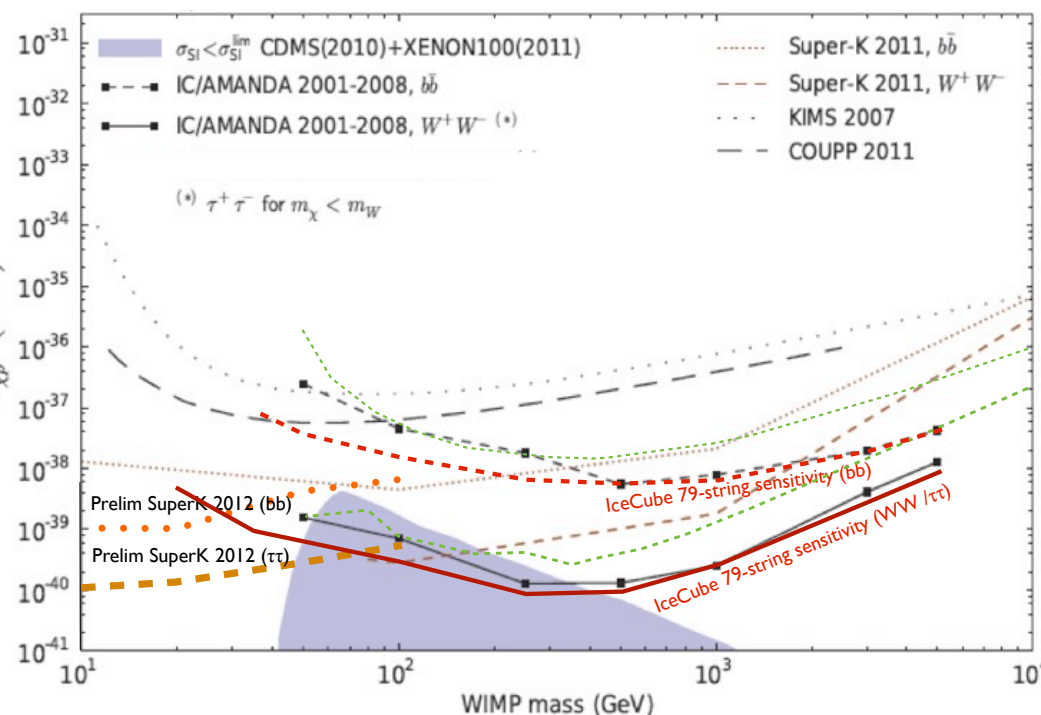
スペクトラムのアップターンを期待。
違う場合、新種ニュートリノの可能性。

暗黒物質の探索



暗黒物質と陽子の衝突断面積 (cm^2)

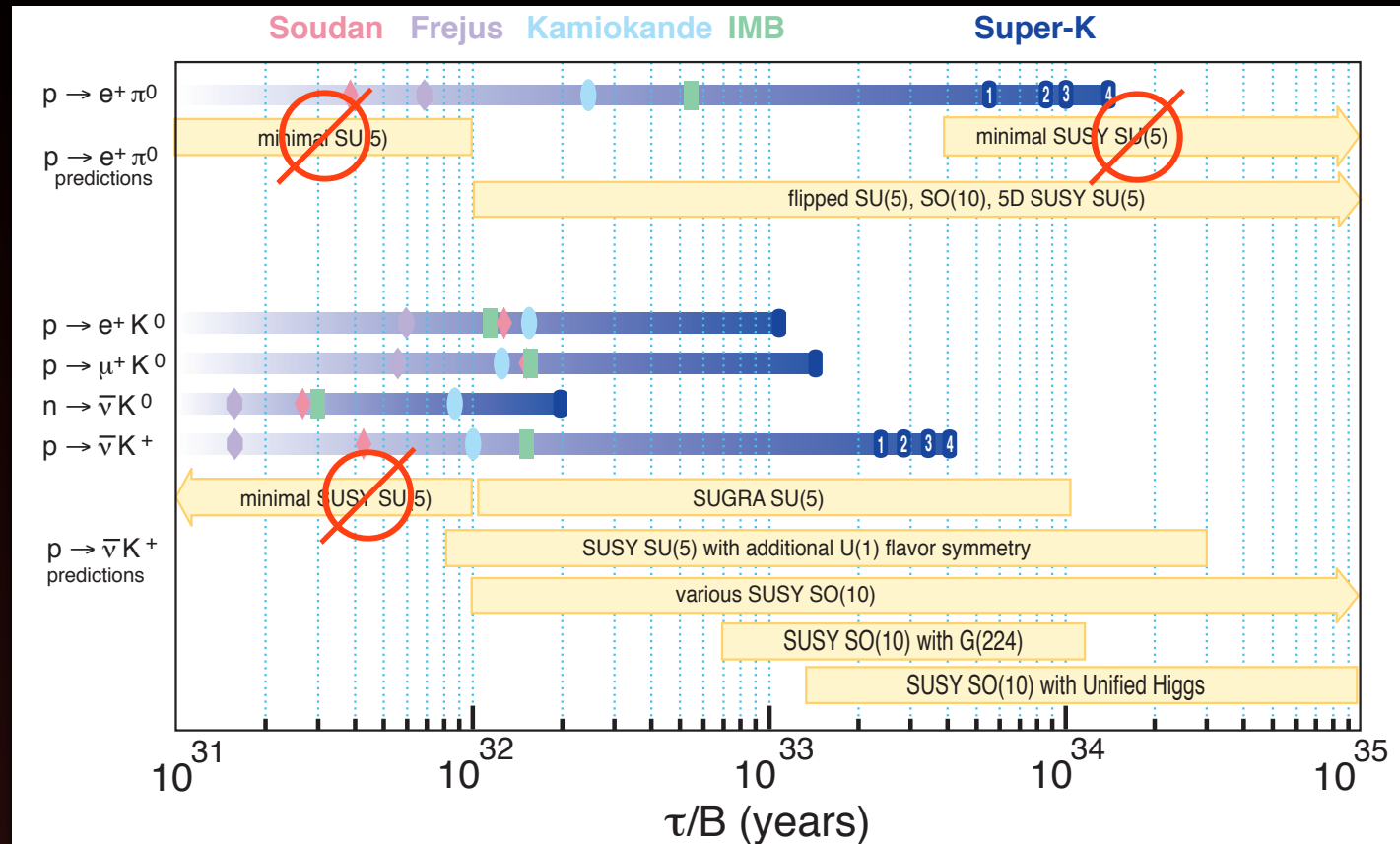
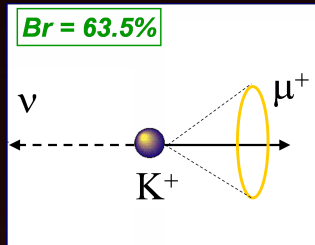
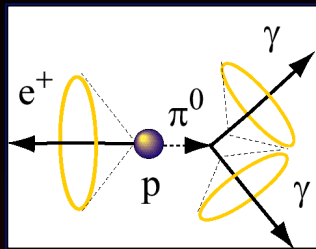
太陽WIMP探索結果＋期待感度



暗黒物質の質量 (GeV)

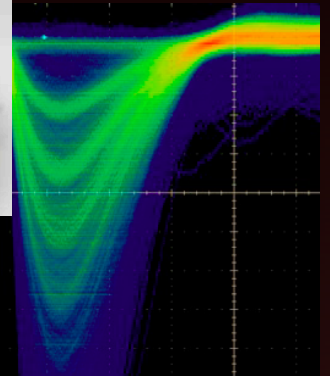
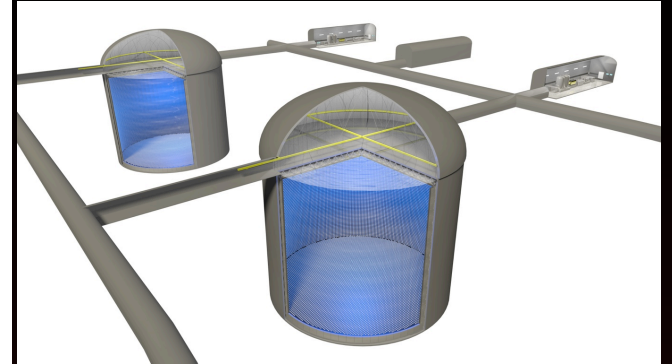
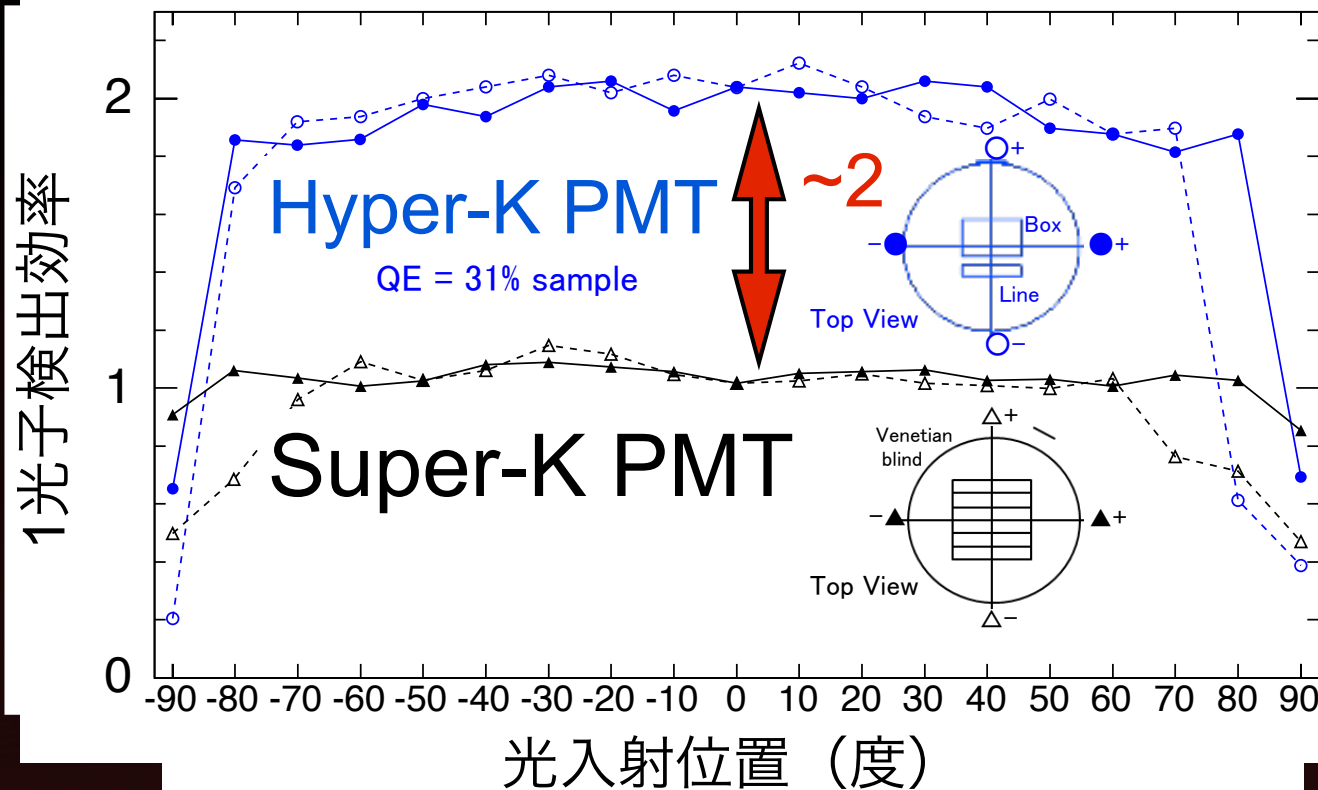
- 地球や太陽に蓄積された暗黒物質の対消滅や崩壊からのニュートリノを探索する.
- スーパーカミオカンデは軽い質量 ($< \sim 10 \text{ GeV}$) に競争力.

核子崩壊による大統一検証



- ▶ 世界最高感度での探索実験.
- ▶ 感度向上やバックグラウンド低減の研究が大事.
- ▶ ニュートリノ質量も説明する大統一理論の検証へと進む.

ハイパーカミオカンデ開発研究



- 1光子感度 2 倍、時間精度 2 倍を達成
- 耐水圧性能も~2 倍 (>100m相当)
- 安定動作、ノイズ低減、耐圧力性能が課題
- ~100本の試作品を1年で製作予定



今後5~10年で目指す研究課題

- ニュートリノのCPの破れの発見
- 質量階層性の決定
- 陽子崩壊現象の発見
- 超新星爆発ニュートリノの観測
 - 近傍からのニュートリノバースト観測
 - 背景ニュートリノの発見
- 太陽ニュートリノのスペクトラムのゆがみ
- 地球物質による振動効果の測定
- 暗黒物質起源のニュートリノの発見
- ハイパーカミオカンデの建設開始