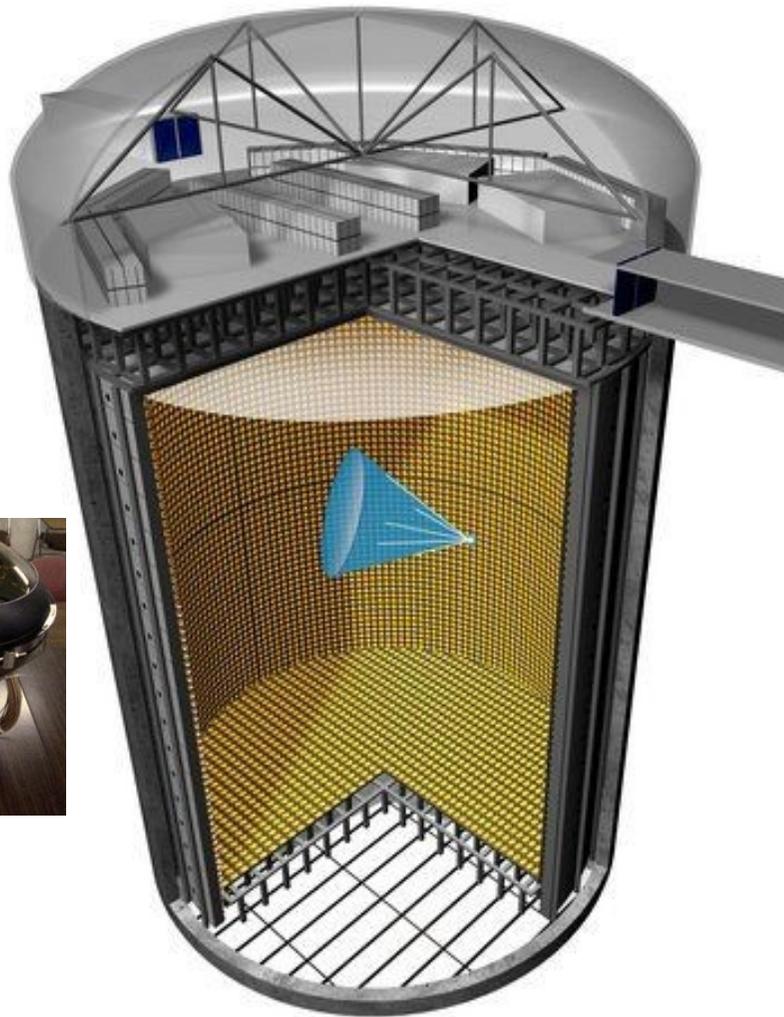


A satellite view of Earth from space, showing the Americas and the Atlantic Ocean. The text is overlaid on the image.

T2K-SK実験, Super-K実験、 Hyper-K実験紹介

Roger Wendell
High-Energy Group Meeting

Super-Kamiokande:



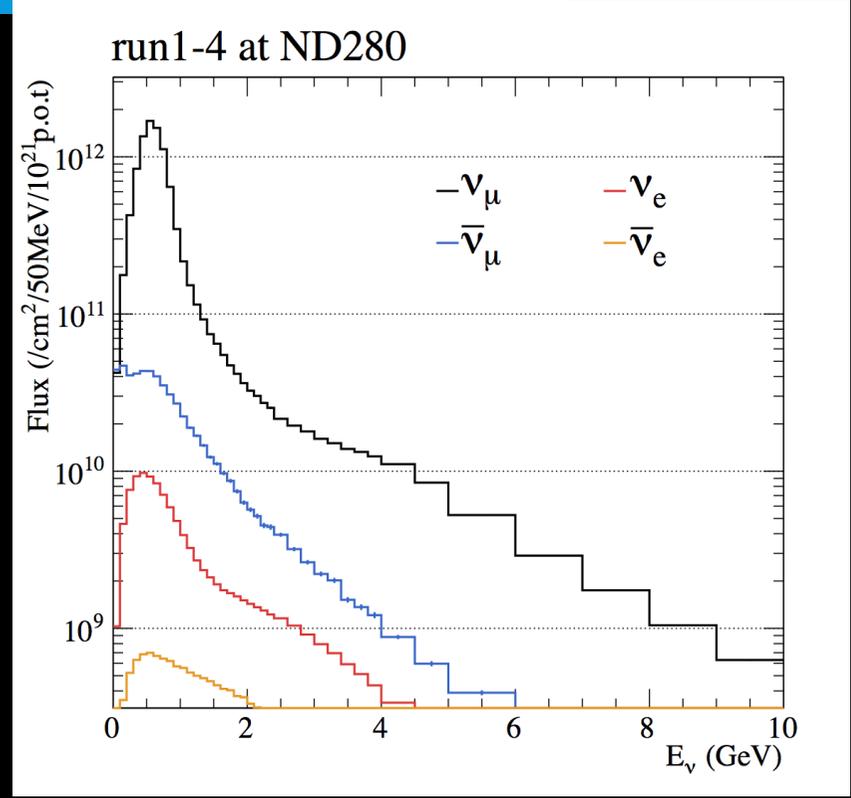
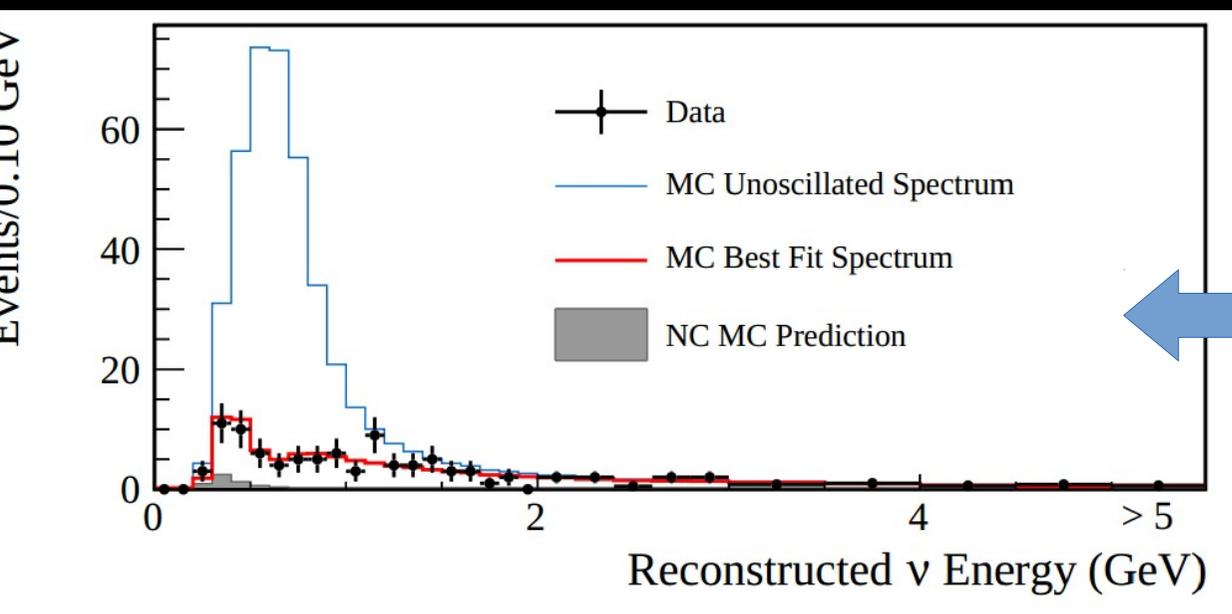
- 22.5 kton fiducial volume
- 同軸の検出器
 - 内部検出器 11,146 20" PMTs
 - 外部検出器 1885 8" PMTs
- 現在: 4581 日間のデータ
 - 40,000 Events
 - まだまだ統計は足りない
- 多目的
 - 太陽と超新星爆発 ニュートリノ
 - 大気ニュートリノ
 - 陽子崩壊
 - T2K実験の後置検出器
- 修士と博士論文のテーマが多い
- Calibration、解析、シミュレーションの仕事も出来る

Four Run Periods:

SK-I (1996-2001) SK-II (2003-2005)

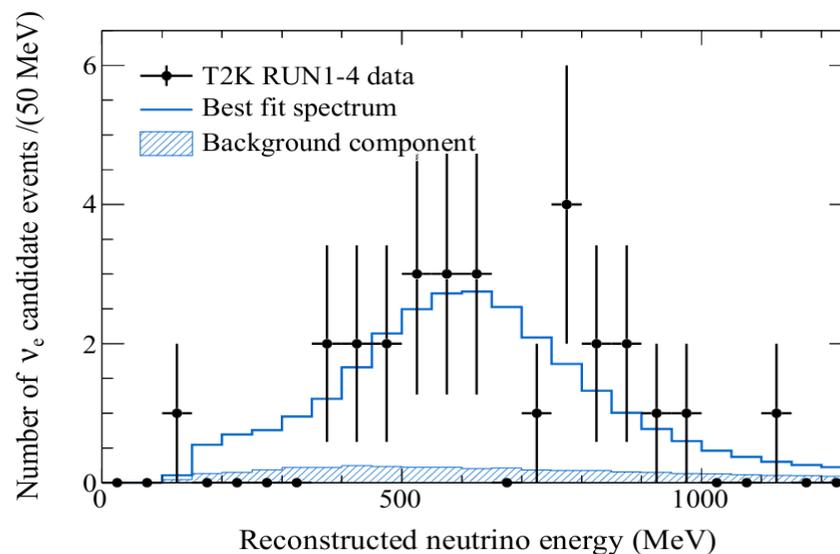
SK-III (2005-2008) **SK-IV (2008-Present)**

T2K-SK ワーキンググループ



T2K-SK WG

- T2K とSKは独立な実験だが、T2K-SKはその間の橋となっている
- SKにおけるT2Kビームデータの責任
 - SK側のGPS時間情報の管理
 - SKの再構成アルゴリズムの検証、安定性
 - データのクオリティ
- T2Kの解析サンプルを定義
 - 現在6個：far: 3 FHC , 2 RHC , NC γ
 - (CCQE / NCQE反応を中心)
- SK側の系統誤差を評価
 - 見積もり方を決める
 - 減らす必要ある



Source [%]	ν_μ	ν_e	$\bar{\nu}_\mu$	$\bar{\nu}_e$
ND280-unconstrained cross section	0.7	3.0	0.8	3.3
Flux and ND280-constrained cross section	2.8	2.9	3.3	3.2
SK detector systematics	3.9	2.4	3.3	3.1
Final or secondary hadron interactions	1.5	2.5	2.1	2.5
Total	5.0	5.4	5.2	6.2

T2K-SK : 現在と今後の活動

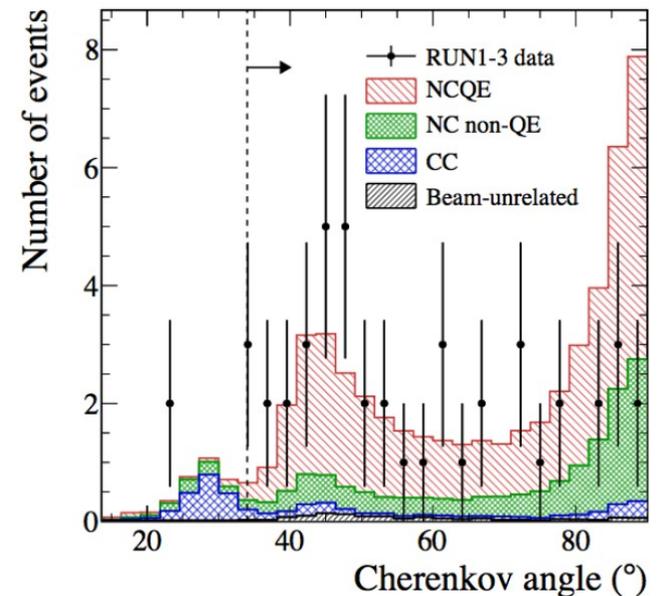
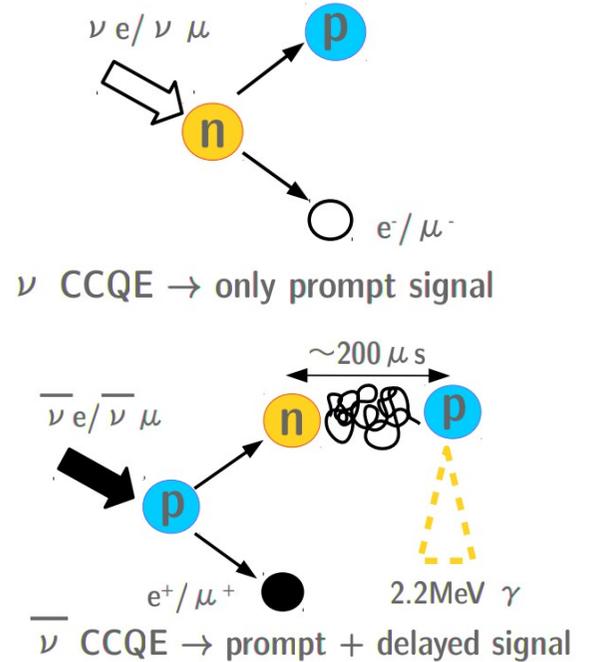
- 新しい再構成ツールを用いて、新しい解析サンプルを定義
 - 使用可能なデータが~15%増量
 - 複数リングのある事象も検討

- 反ニュートリノビームにおけるニュートリノBGを削減
 - 中性子タッグやLikelihood 関数

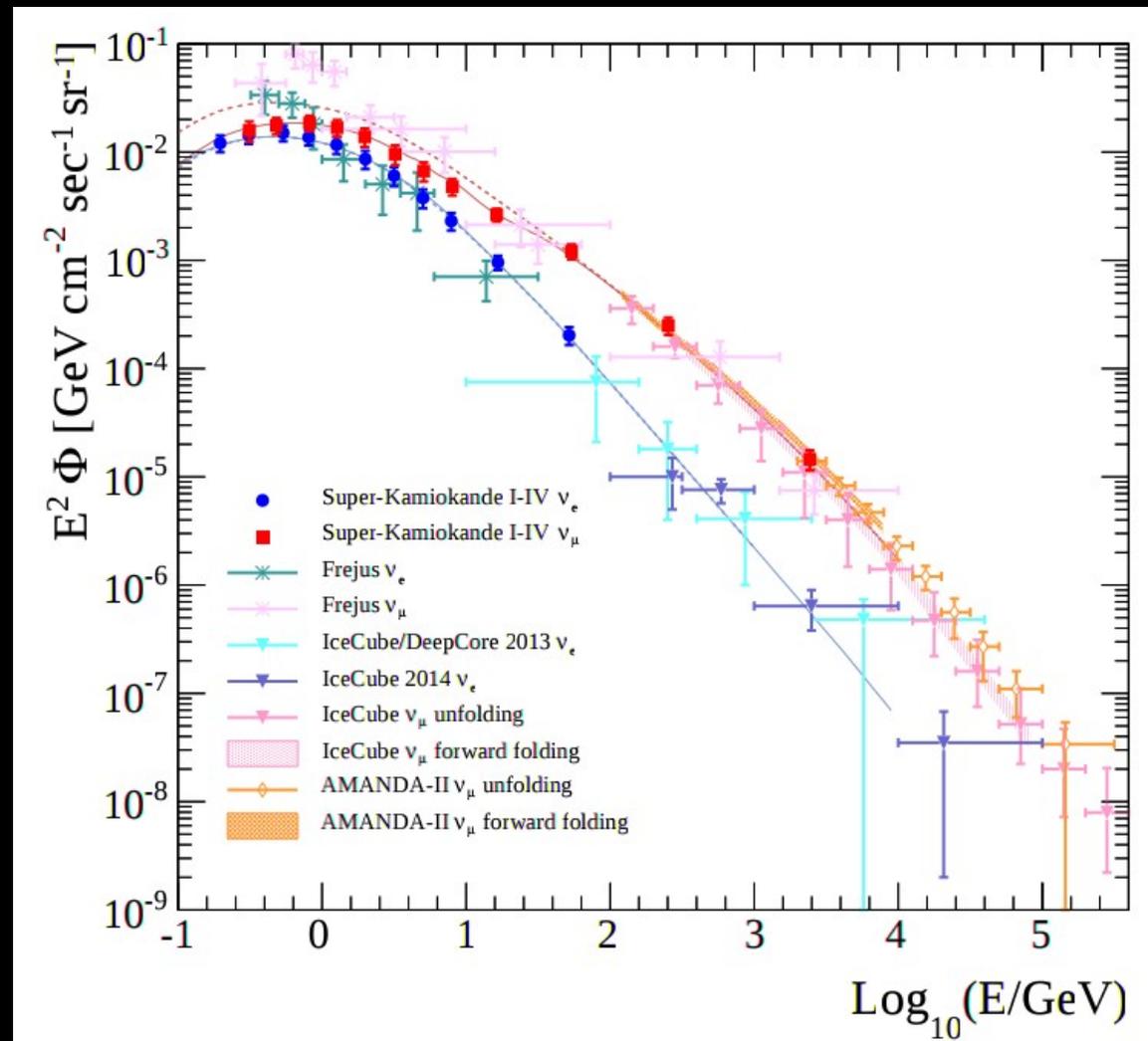
- SK検出器の系統誤差を削減
 - より詳細なCalibrationデータをベースに
 - 大気ニュートリノや宇宙線と共同で？

- NC γ (定エネルギー) サンプルのMCと誤差モデルの改善 (芦田)

- SK-Gdアップグレードの準備
 - Gd-Neutron + H-neutron タッグ方法
 - シミュレーションの開発



スーパーカミオカンデ：大気ニュートリノ



SK大気ニュートリノ：物理対象

■ エネルギーの範囲も飛行距離の範囲も広いので、豊富な物理

■ ニュートリノフラックス研究

■ PMNS ニュートリノ振動研究

- 大気混合

- ニュートリノ質量階層性

- δ_{cp} , θ_{23} octant

■ $\nu\tau$ 物理

■ Exotic振動

- ステライルニュートリノ探索

- ローレンツ対称性を破る振動

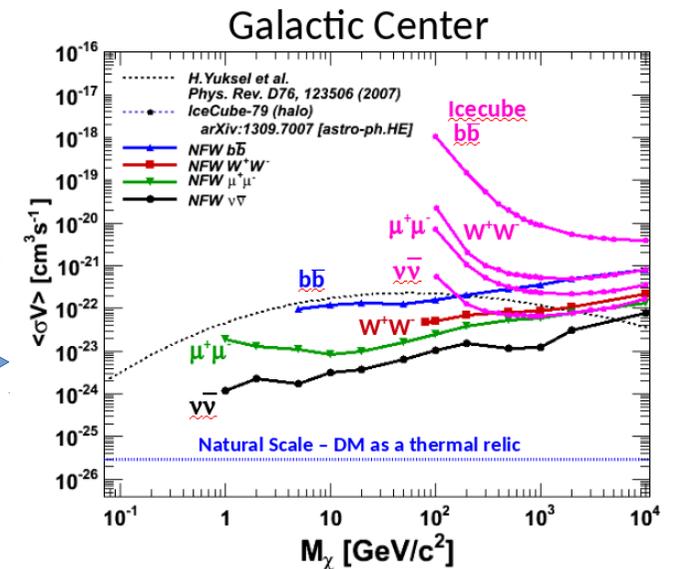
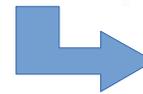
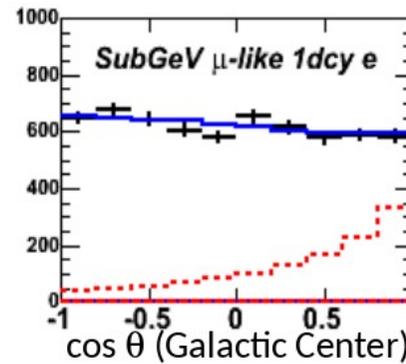
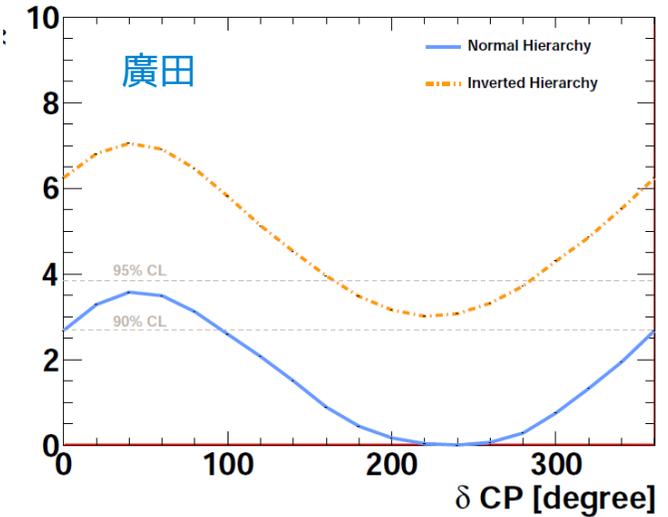
- 質量変動ニュートリノ

■ 間接的暗黒物質探索

- 銀河中心、地球内部、太陽中心

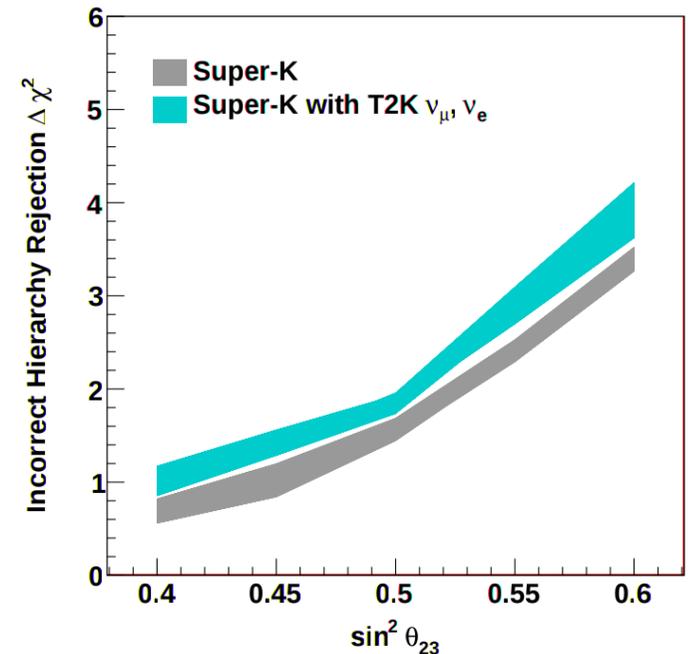
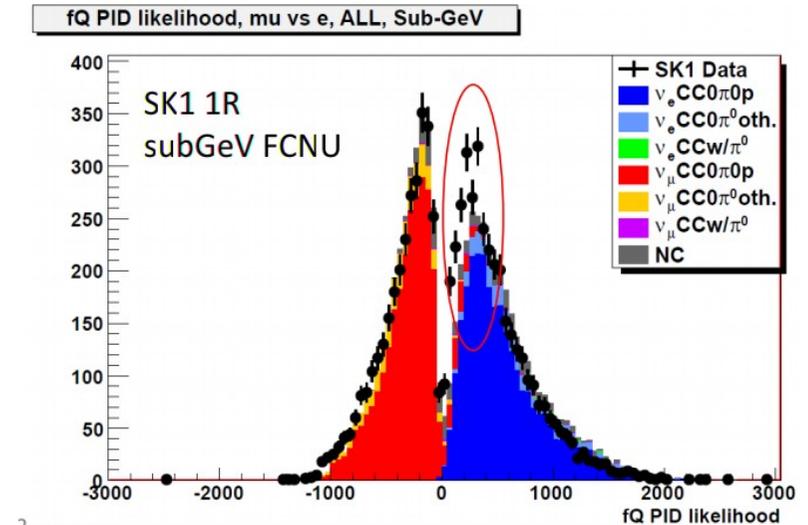
- Boostedダークマッター

■ 等等



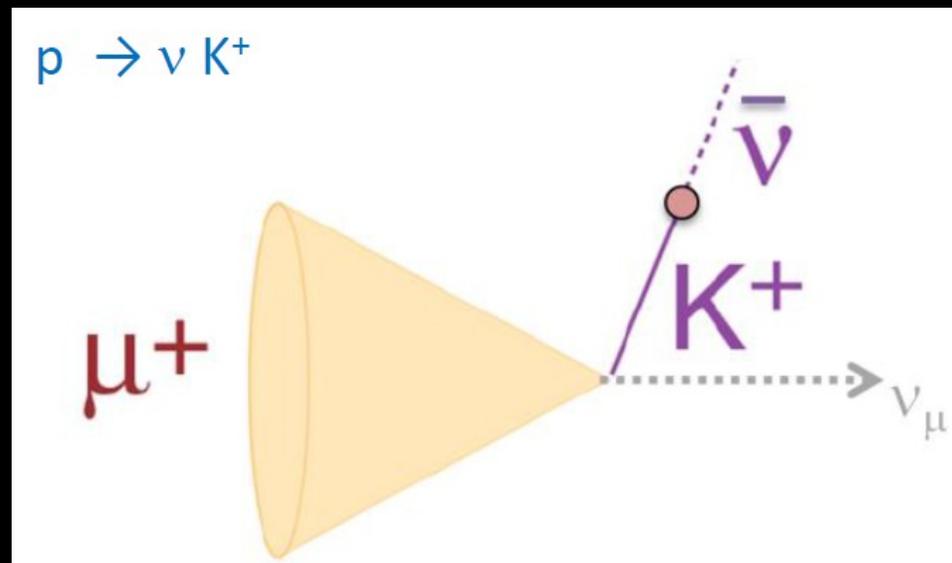
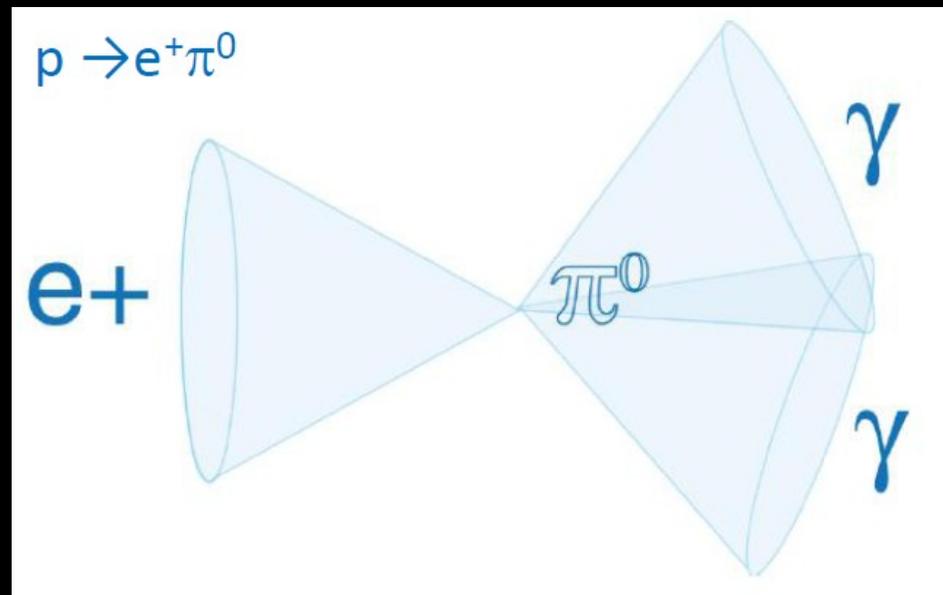
SK大気ニュートリノ：現在と今後の活動

- 再構成ツール開発とMC改善 (江、廣田)
 - BGを減らして、使用可能なデータ増量
- ニュートリノと反ニュートリノ識別
 - 中性子タグを導入
- タウニュートリノBG削減
- SKとT2Kの共同解析 (江)
 - T2K 感度： θ_{13} , θ_{23} , δ_{cp} , Δm^2
 - SK 感度：質量階層性、 δ_{cp}
 - サンプル定義、エラーモデルの統一化
- WIMP探索
- 大気ニュートリノフラックス系統誤差改善
- 検出器エラーモデルの改善
 - 検出の基本パラメータとCalibrationデータで制限

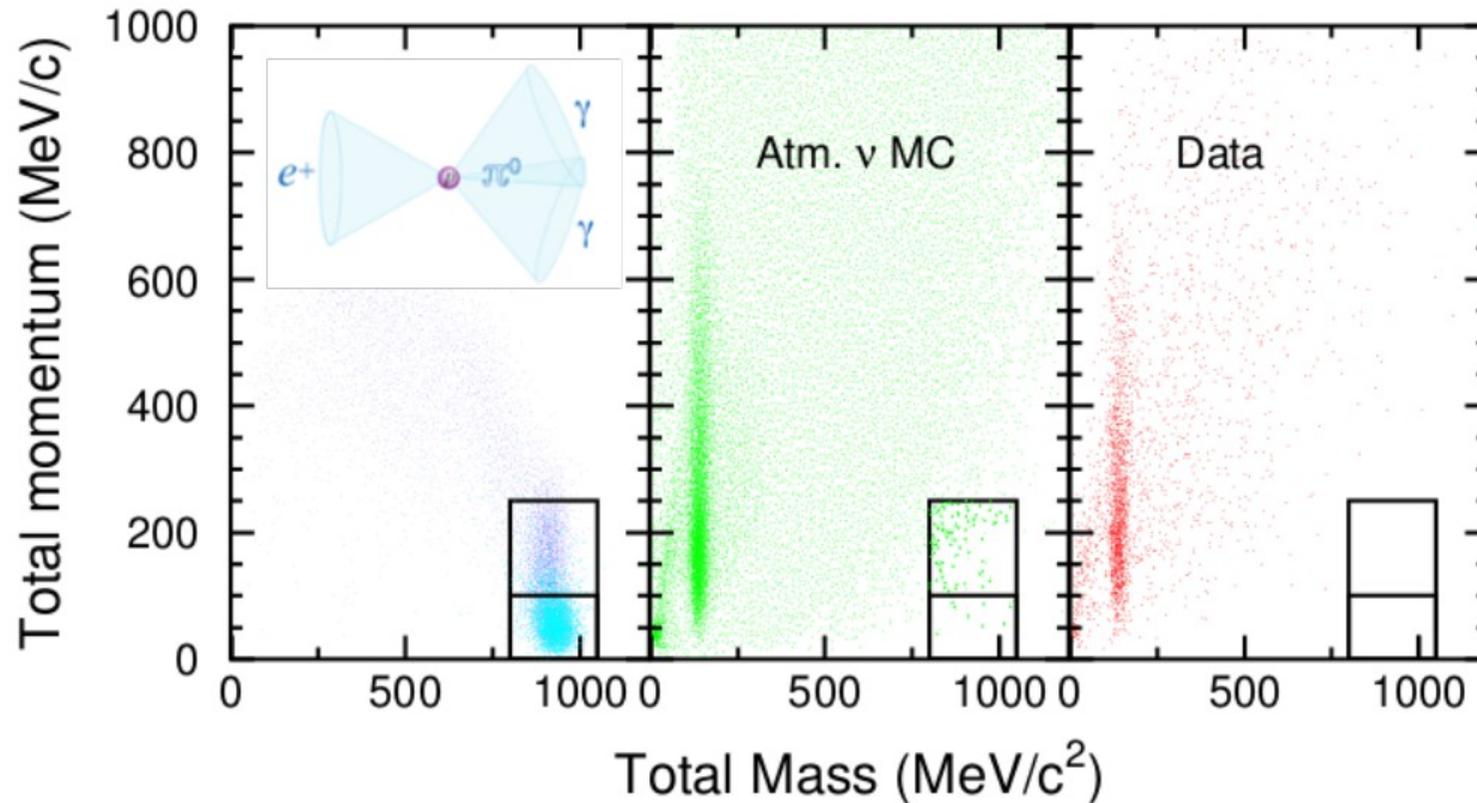


陽子崩壊

- 標準理論において陽子は安定粒子で、バリオン数の敗れが（殆ど）ない
- ただ、物質優勢宇宙の説明に必須
- 大統一理論（GUT理論）が鍵と成り得る
核崩壊を予言
- 陽子（中性子）崩壊の探索がかなり高エネルギー宇宙と新物理への窓となる



Proton Decay: $p \rightarrow e + \pi^0$

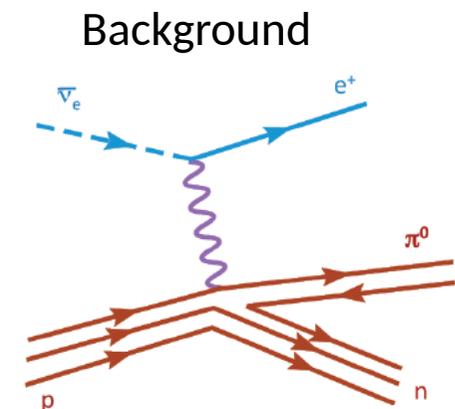


■ まだ見つかっていない：

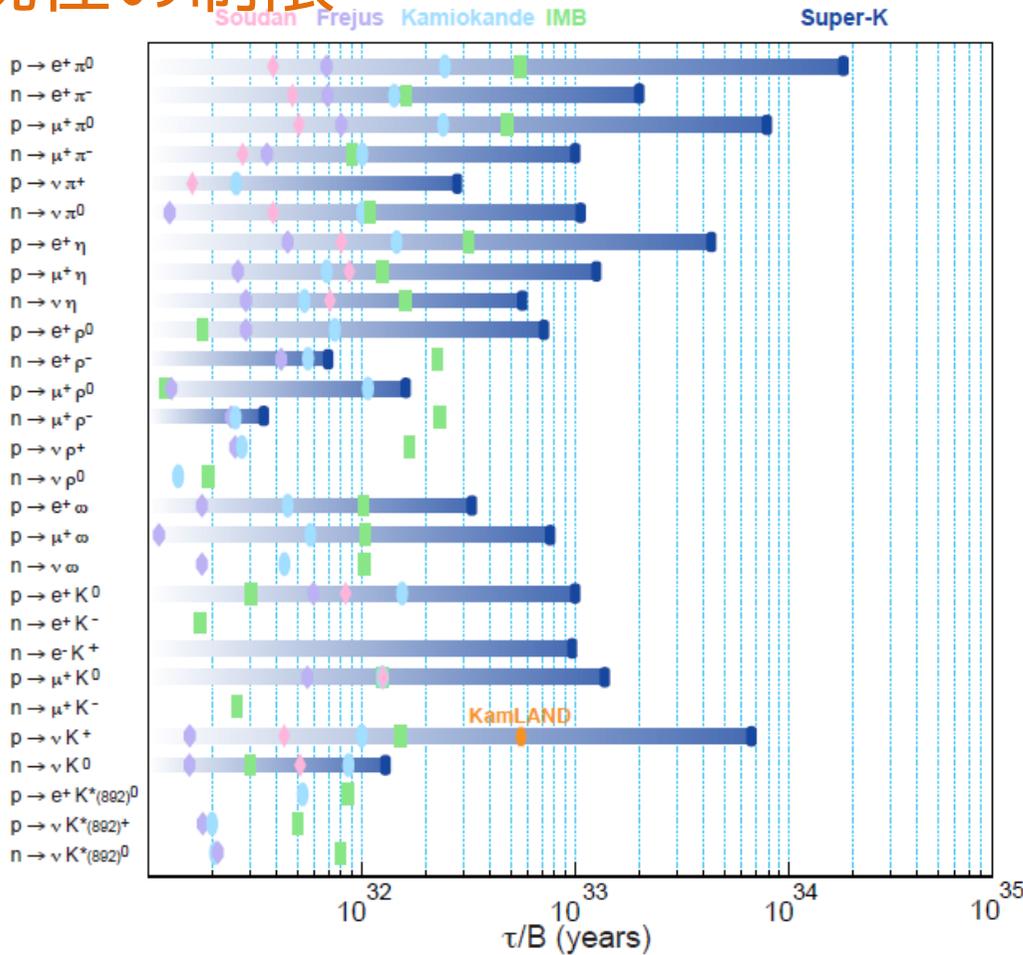
- 例： $p \rightarrow e^+ \pi^0$ ： $\tau > 1.7 \times 10^{34}$ years

■ 現代のSUSY GUT理論の予言へ制限を掛け始めている

- BG削減が不可欠

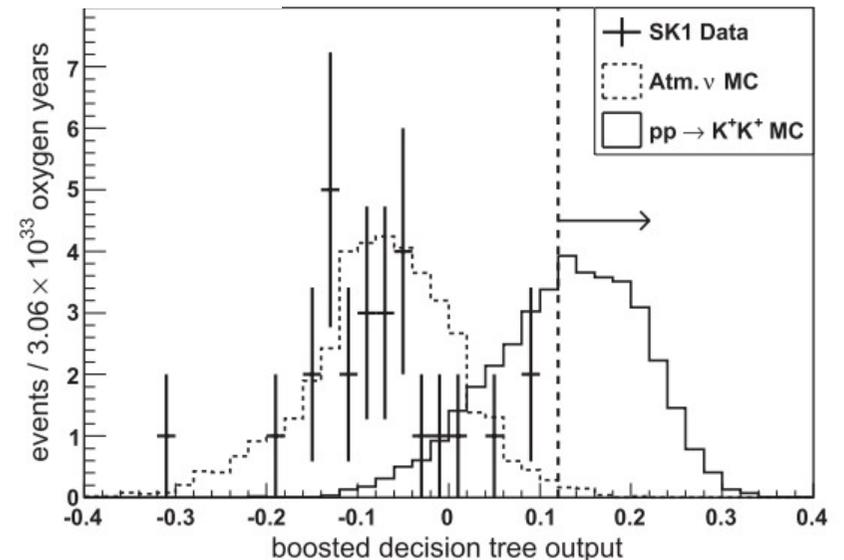


現在の制限



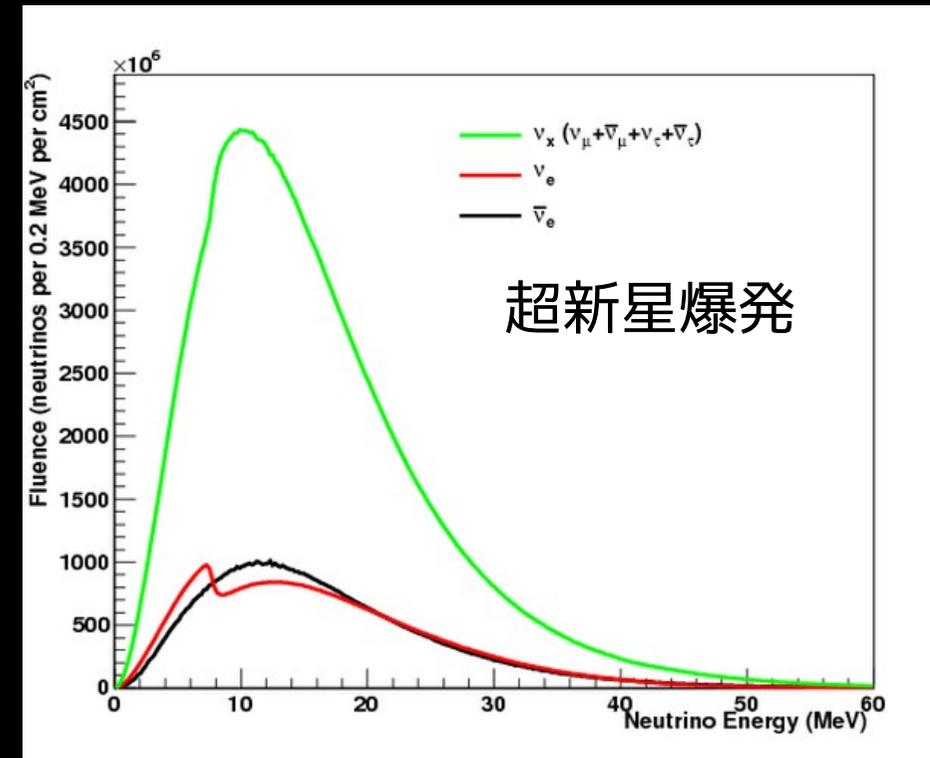
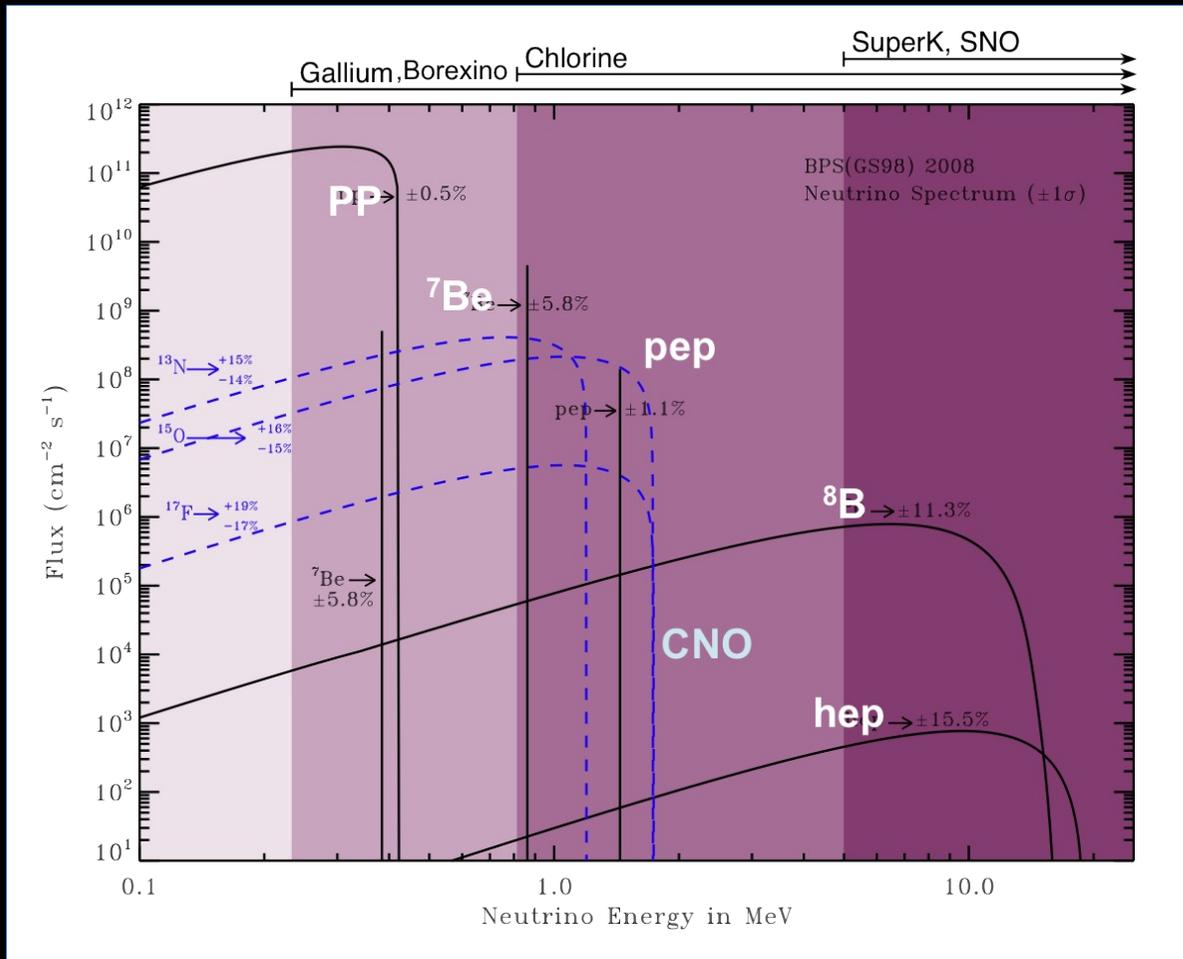
- 崩壊モードが沢山存在している
 - この表に載っていないものも！
- サンプルを決めて、エラーを見積もって、解析：学生一人でやるケースが多い

$$pp \rightarrow K^+ K^+$$



- 新再構成アルゴリズムや解析方法の改善による感度向上が可能

低エネルギー物理



SK低エネルギーニュートリノ：物理対象

- 宇宙の天体由来ニュートリノ研究
- 太陽ニュートリノ
 - フラックス測定
 - 「太陽混合」の測定
- 超新星爆発のニュートリノ観測
 - 早期発見
 - スペクトルと時間分布に豊富な物理
- 超新星背景ニュートリノ (SRN) 探索
 - 宇宙誕生以来爆発した超新星のニュートリノ
 - 宇宙進化と深く関連
 -
- 宇宙線 m 由来の ${}^6\text{Li}$ 探索
 - 核破碎の研究
- 重力波とニュートリノとのcoincidence探索
- 等等

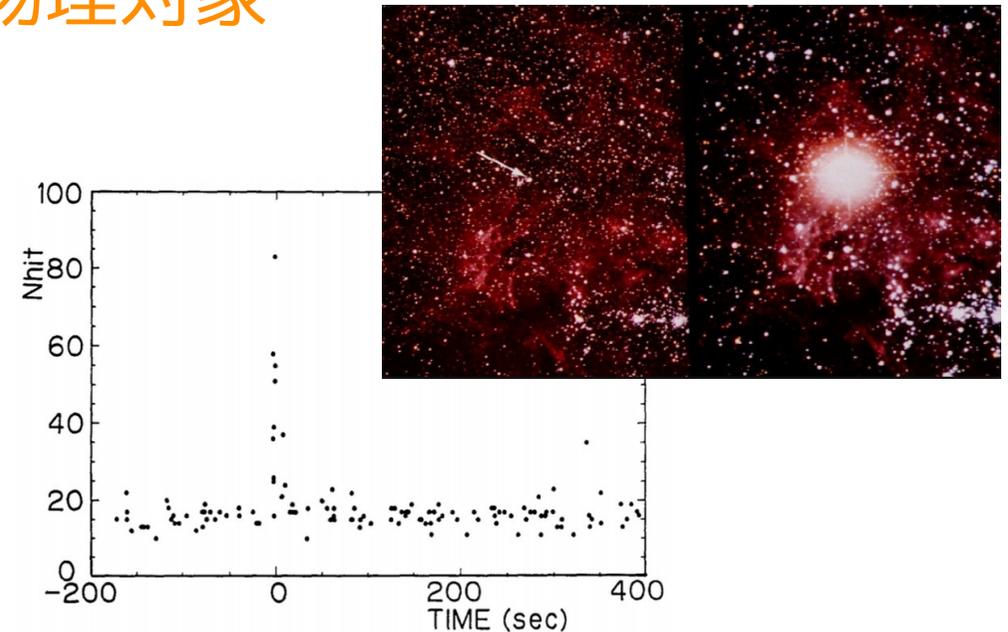
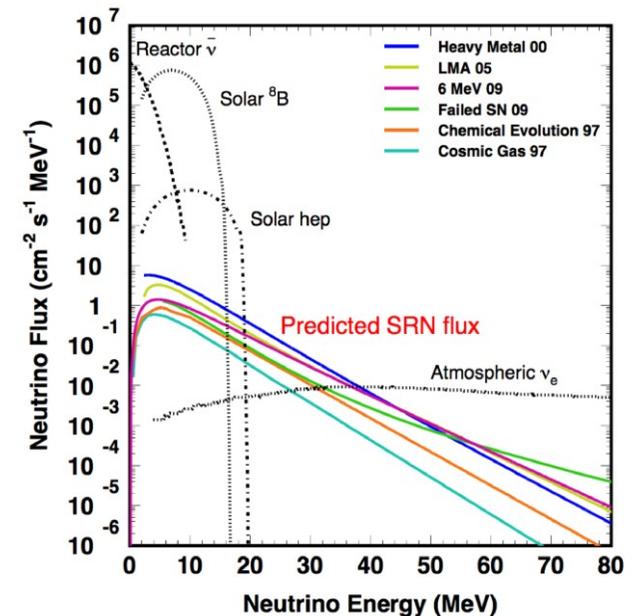


Fig. 2a : The supernova signal of the KAMIOKANDE-II experiment. It is a part of the laser printer output of the low energy raw data. Nhit is the number of hit photomultipliers.



SK低エネルギーニュートリノ：現在と今後の活動

■ 新エレキ開発 (森)

- 近傍に超新星爆発があった時、SKのDAQがなるべく多くのデータを捉えるように
- LEDを用いて爆発の制限で評価

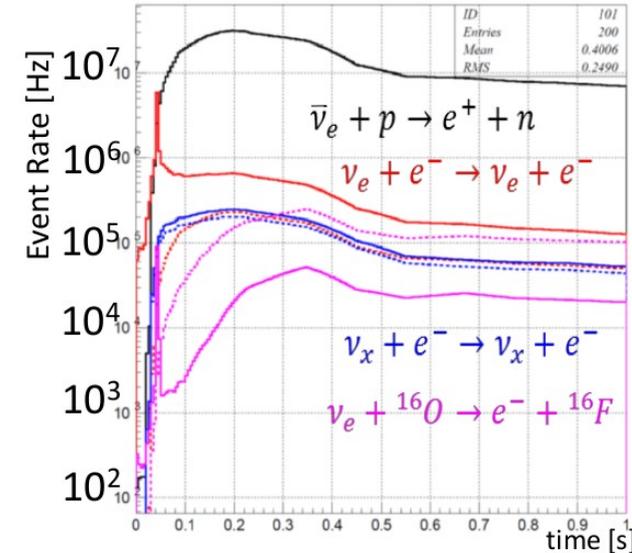
■ SRN探索の改善 (芦田)

- NC γ 測定による系統誤差改善

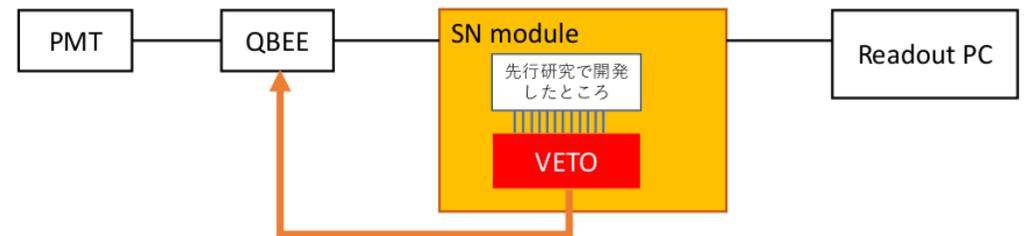
■ 遠く離れている爆発の事象探索

■ 低エネルギー再構成ツールの改善

■ 中性子タッグアルゴリズム開発



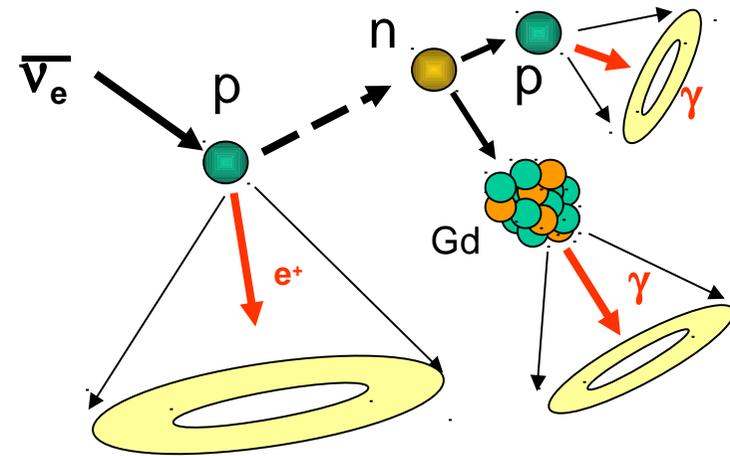
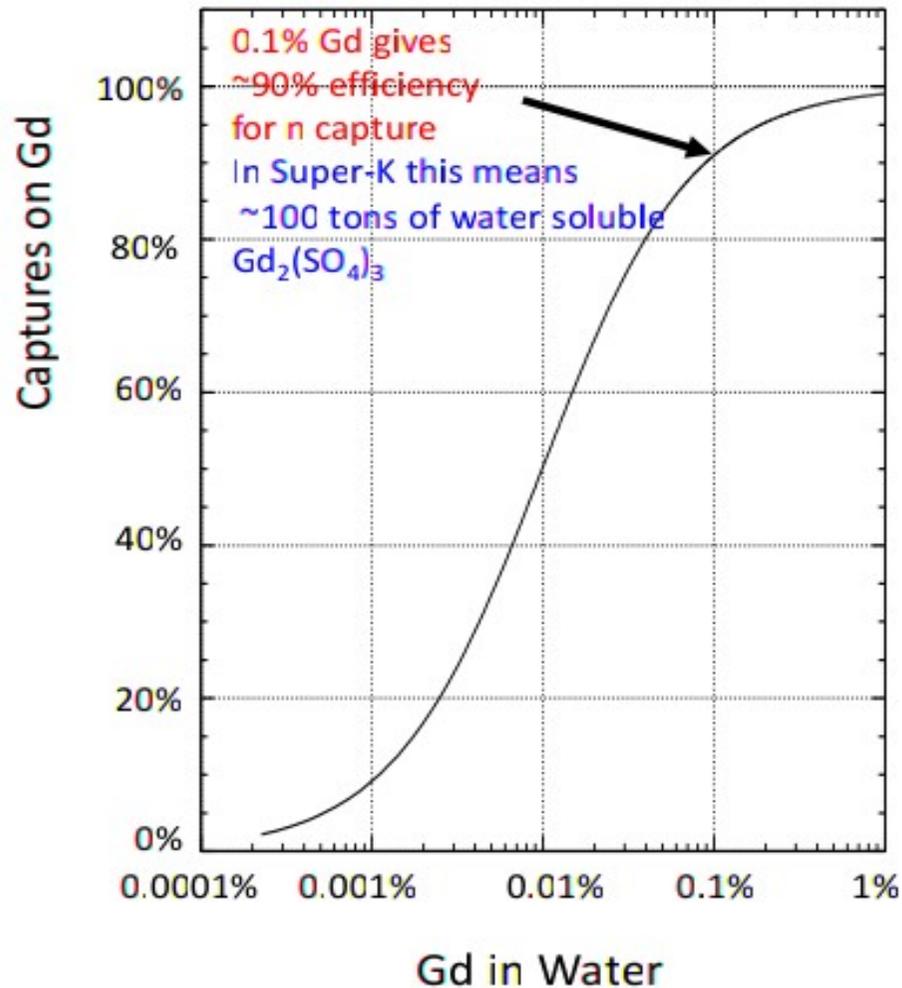
ベテルギウスが爆発したときのイベントレートの変化



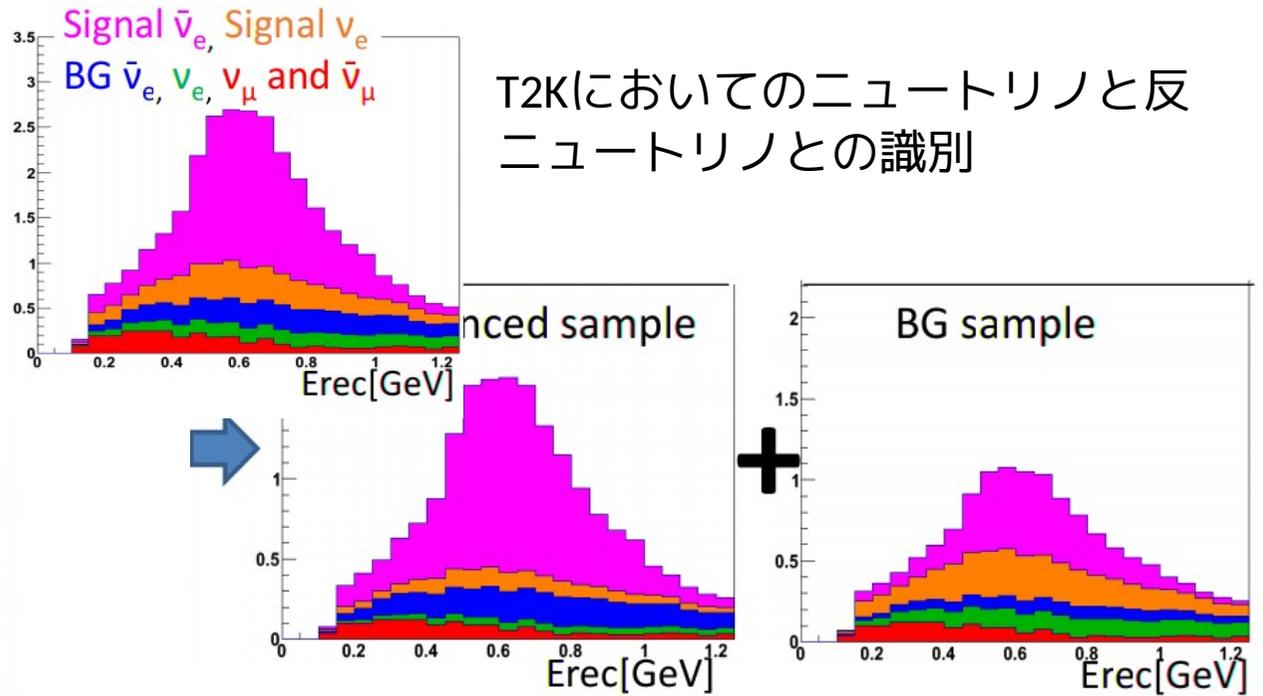
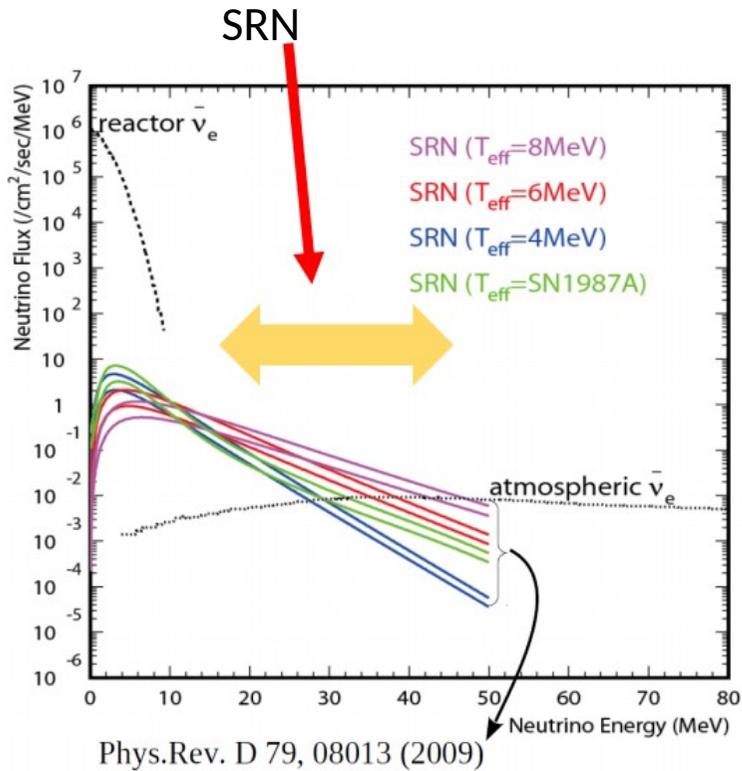
ONになっている入力が多い=QBEEの稼働率が高いときにVETO信号を出してQBEEの信号を間引く



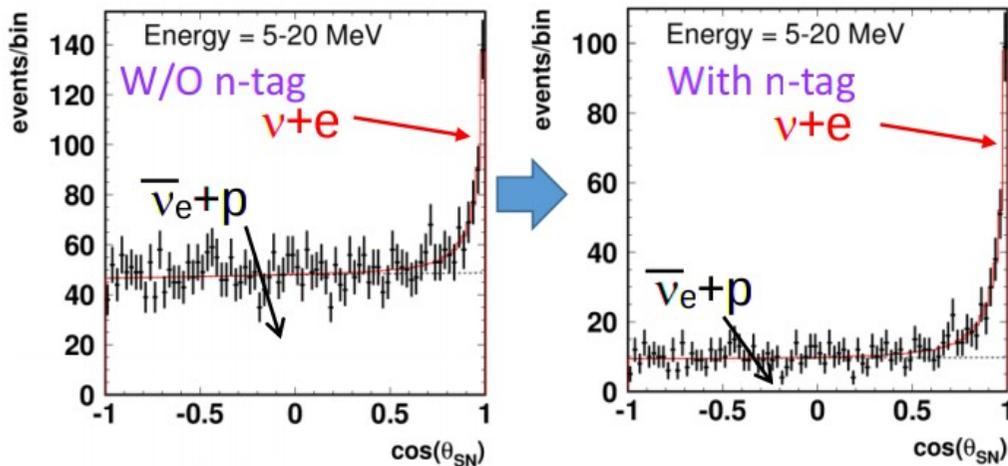
SK-Gd : A Gadolinium Doped Super-Kamiokande



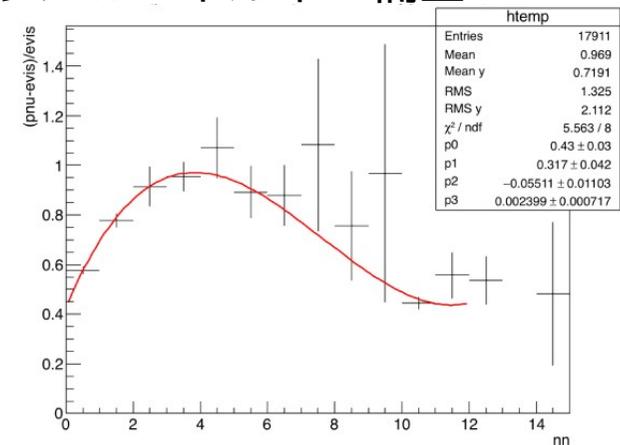
- SKにに 0.2% Gdを溶かすことによる、中性子タッグ効率が向上
 - ~90%まで
 - **SK-Gd** と言い、2018以降になる
- ある意味で新しい検出器になる
 - Calibration
 - 系統誤差の評価？
- 今その準備中、SK開けて再建予定



Supernova Burst Pointing



ニュートリノのエネルギー補正



Hyper-Kamiokande



23 countries, 261 people (Oct.2015)

Hyper-Kamiokande (将来計画)



$HK \sim 20 \times (SK + T2K)??$

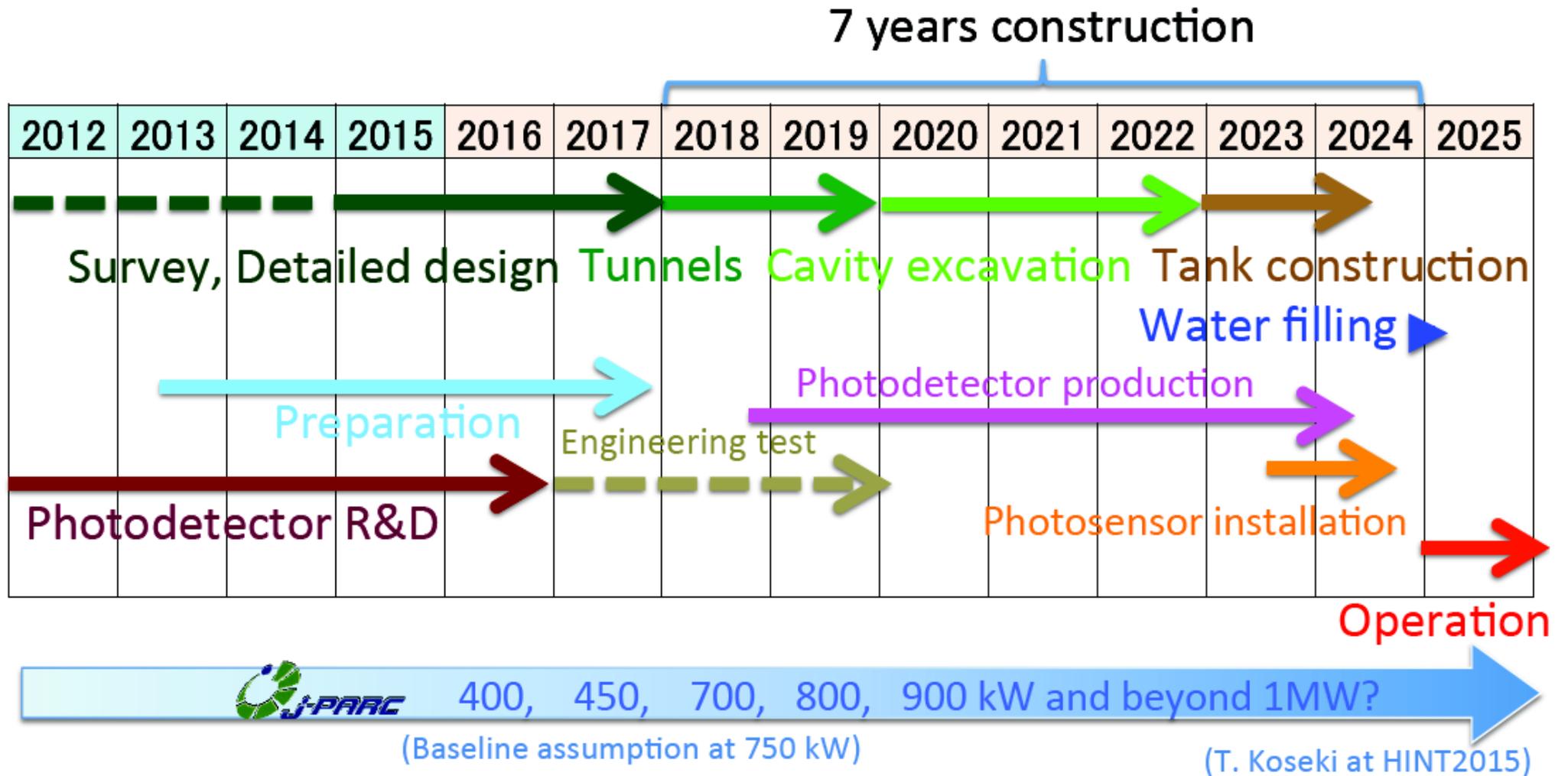
Hyper-Kamiokande

(KEK-JAEA, Tokai)



23 countries, 261 people (Oct.2015)

Hyper-Kamiokande Notional Timeline

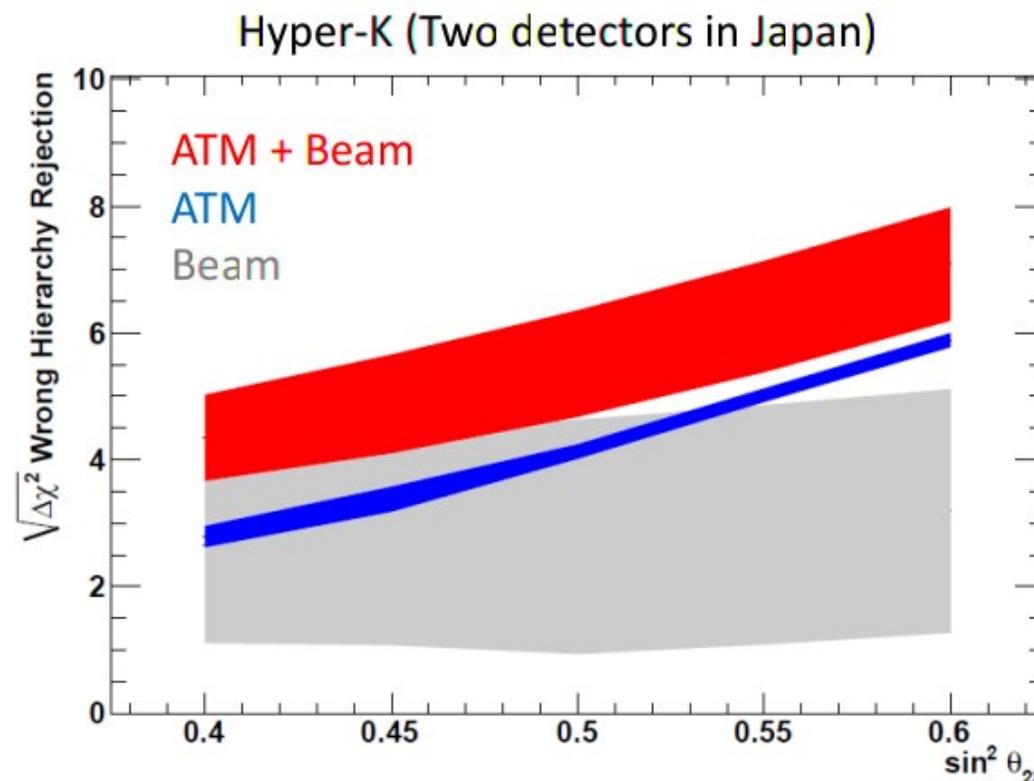


- If the budget proposal is approved, **construction** can start in **2018**
- **Physics** running would then start in **2025**
- J-PARC has already achieved 360 kW operation and is expected 750 kW by 2019
 - Opens the possibility for \geq MW operation after 2020

ハイパーカミオカンデ

- かなり大きいため、より良い制度でニュートリノ振動や陽子崩壊研究が可能
 - 現在評価中,大気 ν +ビーム ν (江)

- T2KとSKで出来ない物理も可能
 - ニュートリノ振動においてレプトン不変性の検証
 - $\nu\tau$ 断面積測定
 - 地球内部の電子濃度
 - 等



- 将来計画だが、修士論文のテーマも
 - 光検出器の評価 (東大：須田)
 - 光検出器のAMP開発 (江)
- HKシミュレーション (東工大：岡島)

Supplements