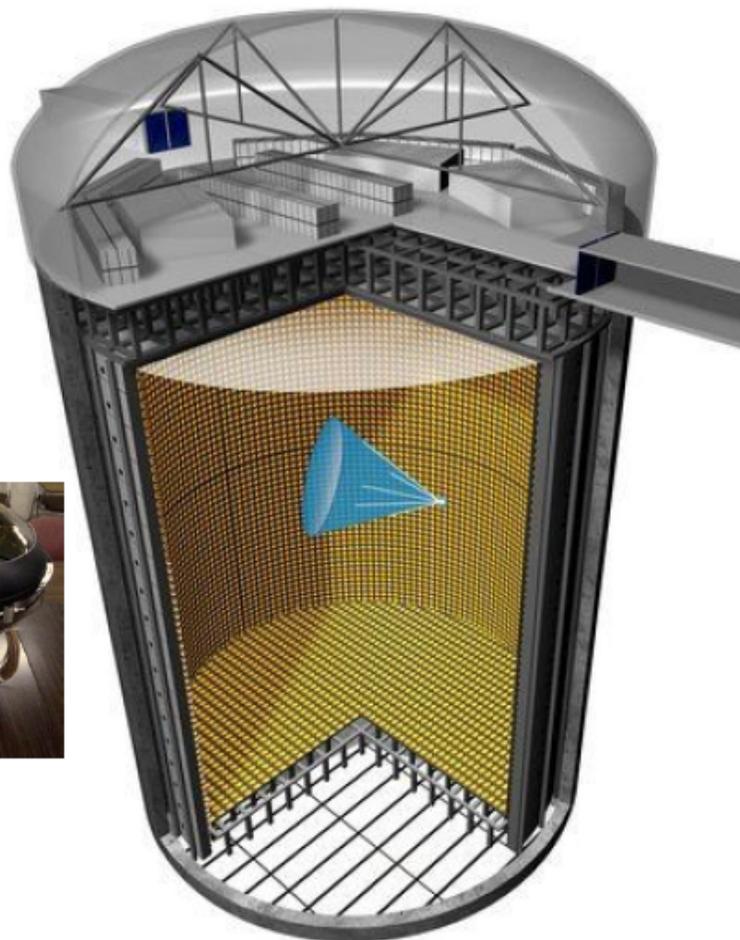


# T2K-SK, Super-K実験, Hyper-K実験計画: 紹介

ロジャー  
HEミーティング



# 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とSKはそれぞれ独立している実験だが、T2K-SKグループはそん間の橋

■ SKにおいてのT2Kビームデータの責任

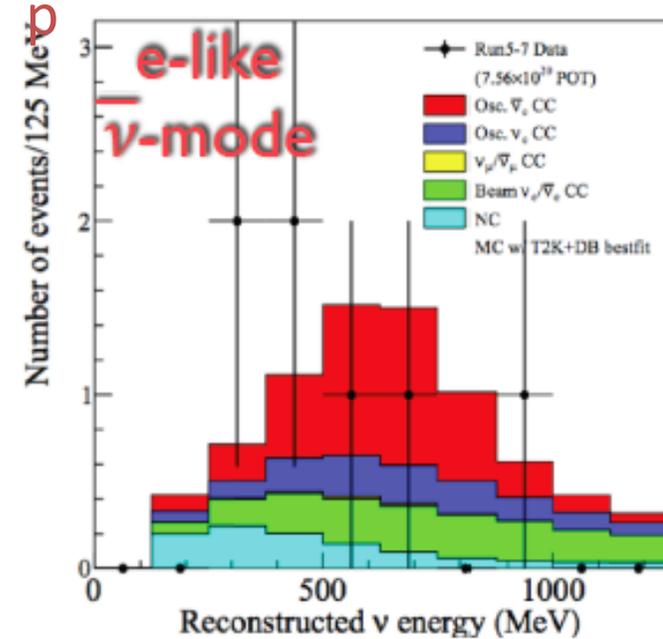
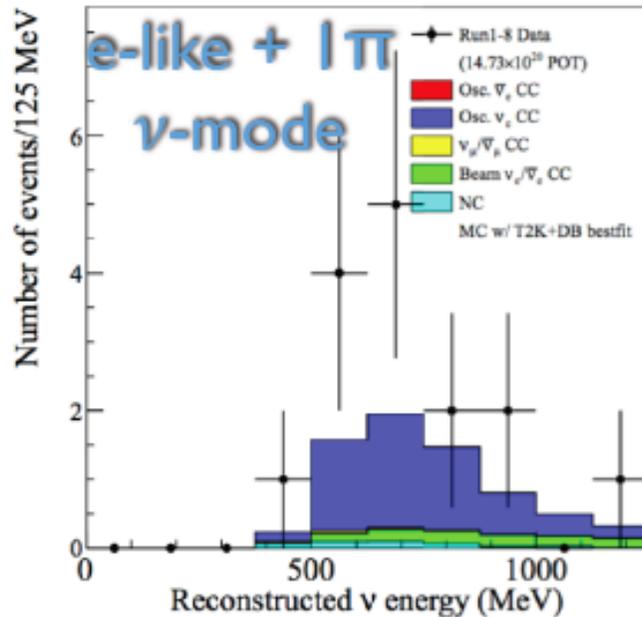
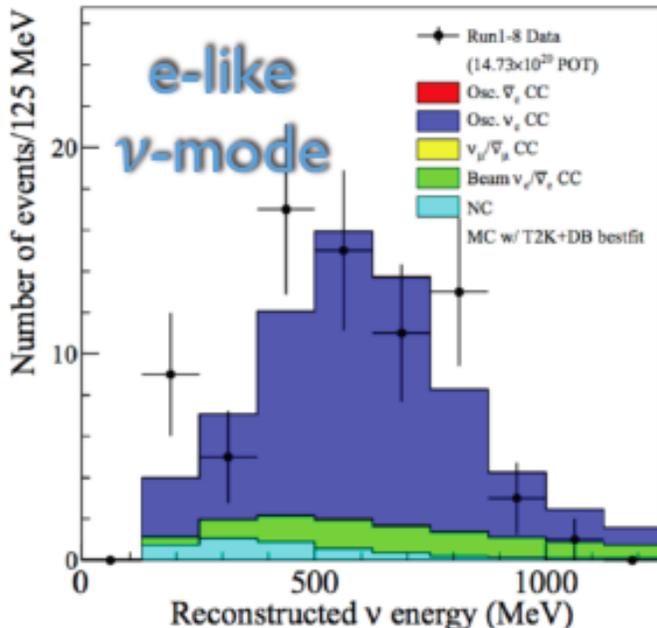
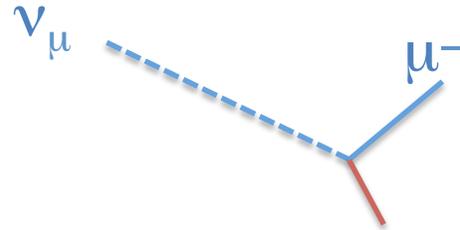
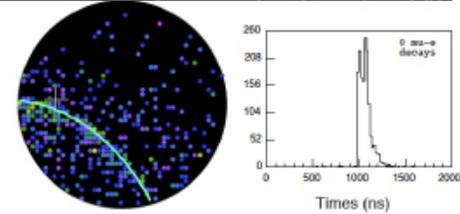
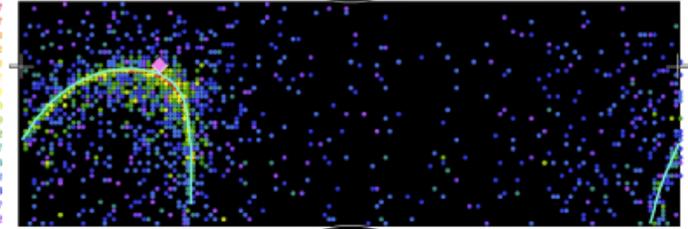
- SK側のGPS時間情報の管理
- SKの再構成アルゴリズムの検証、安定性
- データのクオリティ

■ データサンプルを定義し、系統誤差をつける

Super-Kamiokande IV  
 T2K Beam Run 33 Spill 822275  
 Run 66778 Sub 585 Event 134229437  
 18-05-12:21:03:22  
 T2K beam dt = 1902.2 ns  
 Inner: 1630 hits, 3481 pe  
 Outer: 2 hits, 2 pe  
 Trigger: 0x8000007  
 D\_wall: 614.4 cm  
 e-like, p = 391.8 MeV/c

Charge (pe)

- >26.7
- 23.3-26.7
- 20.0-23.3
- 17.3-20.0
- 14.7-17.3
- 12.0-14.7
- 10.0-12.0
- 8.0-10.0
- 6.2- 8.0
- 4.7- 6.2
- 3.3- 4.7
- 2.0- 3.3
- 1.3- 2.2
- 0.7- 1.3
- 0.2- 0.7
- < 0.2



# 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

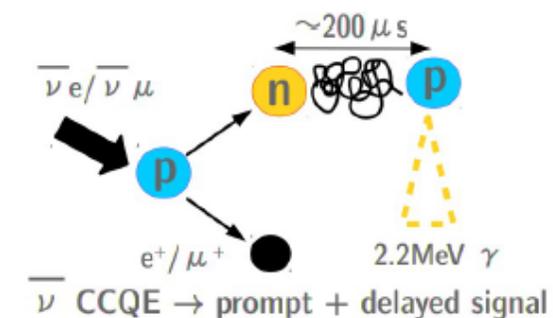
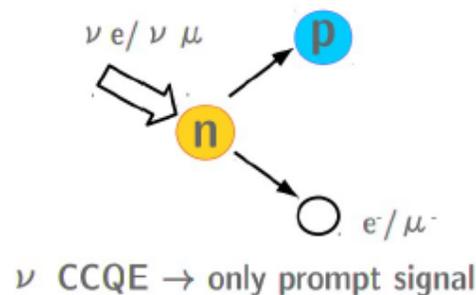
- SK検出器の系統誤差を削減

- 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?

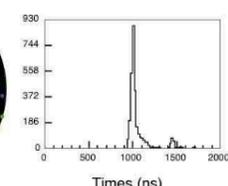
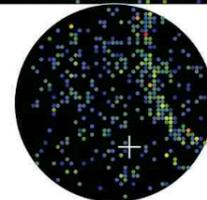
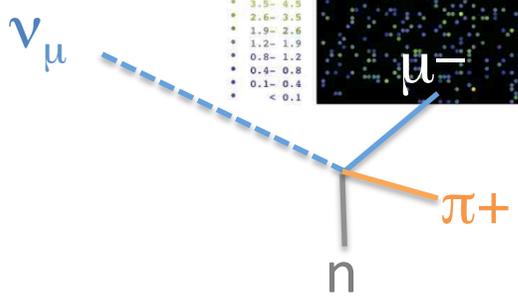
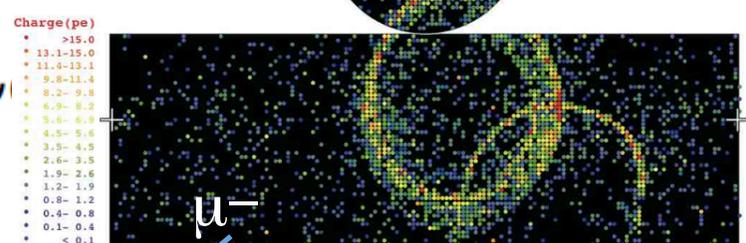
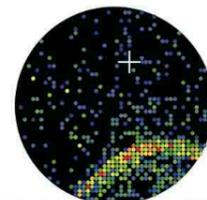
- NC  $\gamma$  (定エネルギー) サンプルのMCと誤差モデル改善 (芦田)

- 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



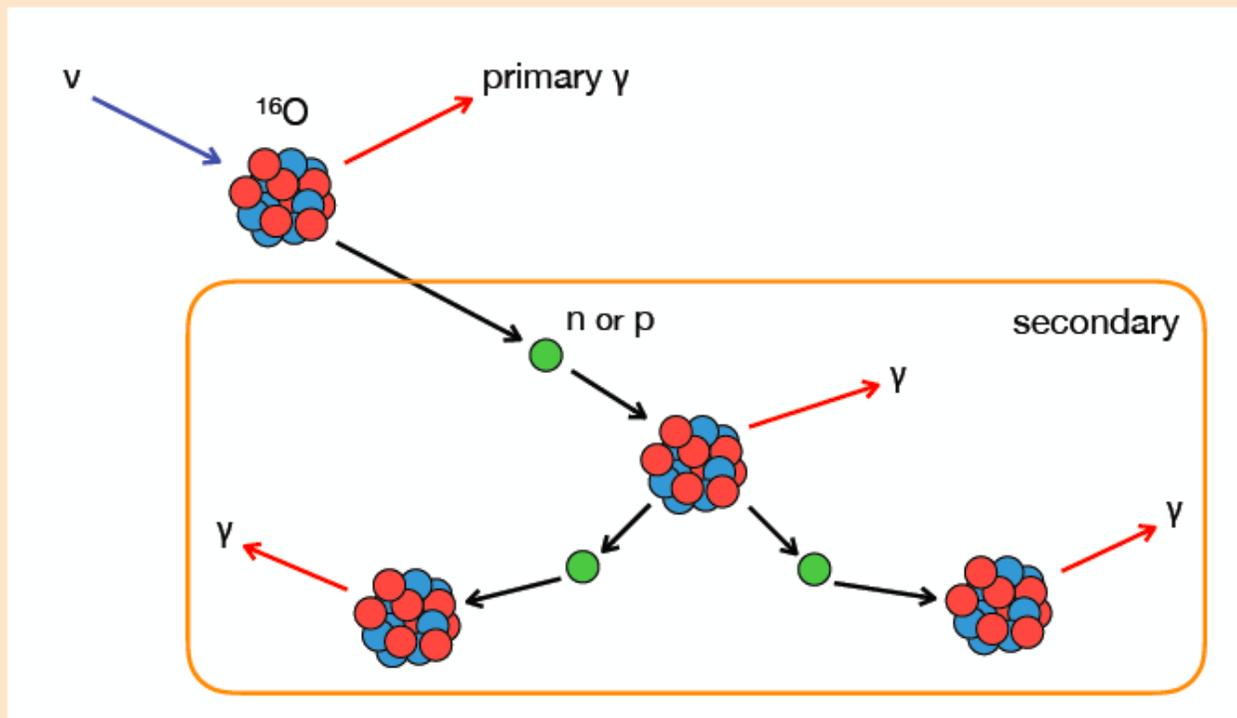
Super-Kamiokande  
Run 1871 Sub 2 Ev 6467  
96-06-11:02:06:46  
Inner: 3021 hits, 7254 pE



# NCgamma

芦田, 森

- **ニュートリノ中性カレント弾性散乱反応**を精密に測ることはとても大事。
  - 超新星背景ニュートリノ、暗黒物質の探索感度向上
- 現状では, 中性子と酸素原子核の反応がほとんど測られておらず不定性大!
- 中性子ビームといろんな検出器を使って自分たちで断面積を測る。  
場所は大阪大学核物理研究センター (RCNP)。原ハドのひとがいっぱい。



# NCgamma

芦田, 森

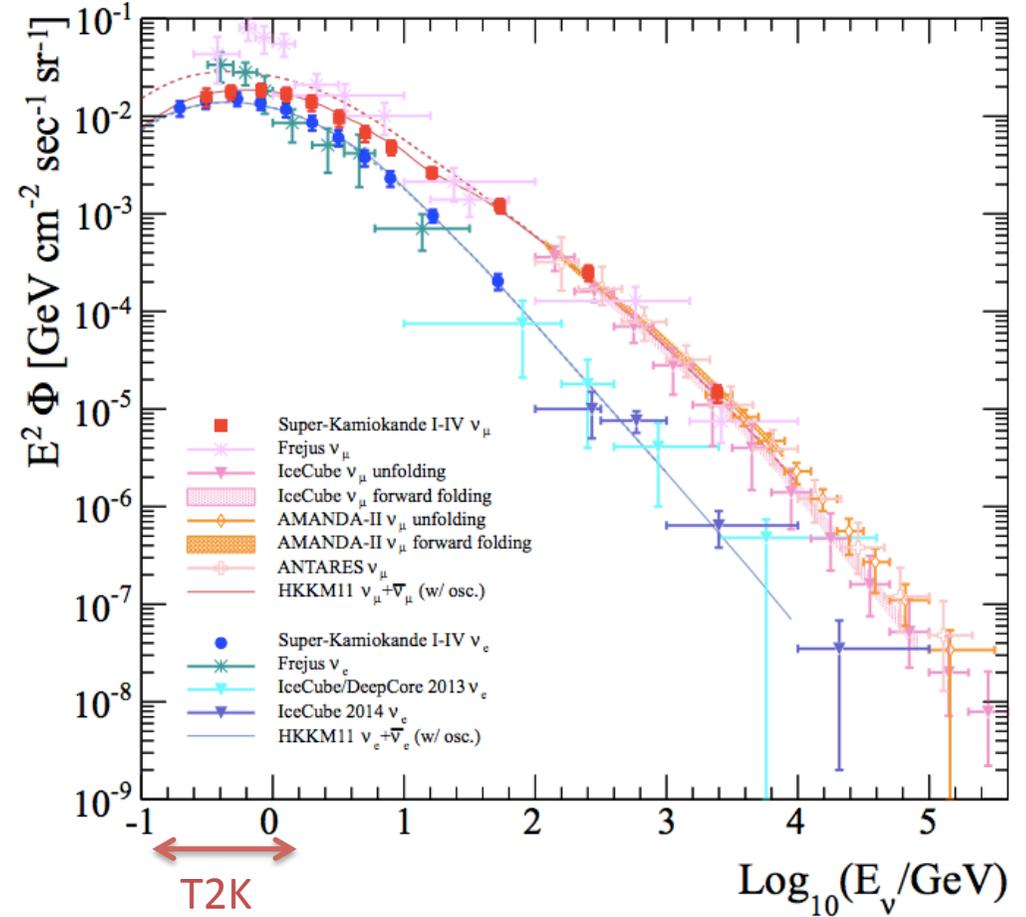
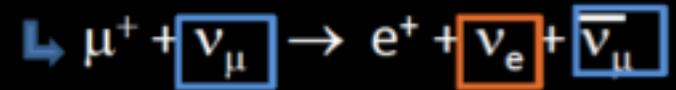
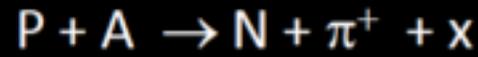
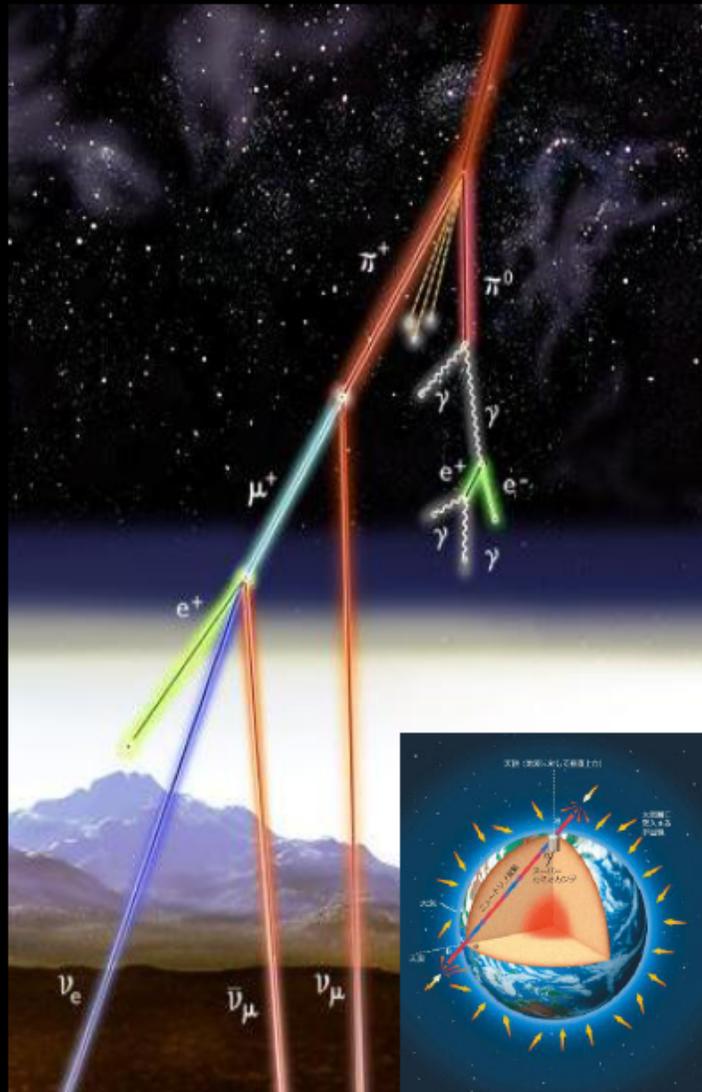
- 今年, 2回実験を行う (すでにRCNPに承認されている)。
- M1が入ったらできること ...
  - **ゲルマニウム検出器**: メイン検出器。生波形からエネルギー・時間の再構成アルゴリズムを開発する (たぶん単純ではないのでおもしろい)。
  - **DAQ/UIシステムの改善**: こっちは岡山大学のM1学生とD1の森くんが現在取り組んでくれているので、協力して進める。凝り性だと好きかも。
- 実験の構想、検出器・読み出し系の準備、現場でのドカタ作業、データ解析、シミュレーション、物理考察まですべて自分でやる。大変だけど楽しい!



モチベーションが少し細かい実験なので、詳しくは芦田まで遠慮せず聞きに来てください。



# SKの大気ニュートリノ



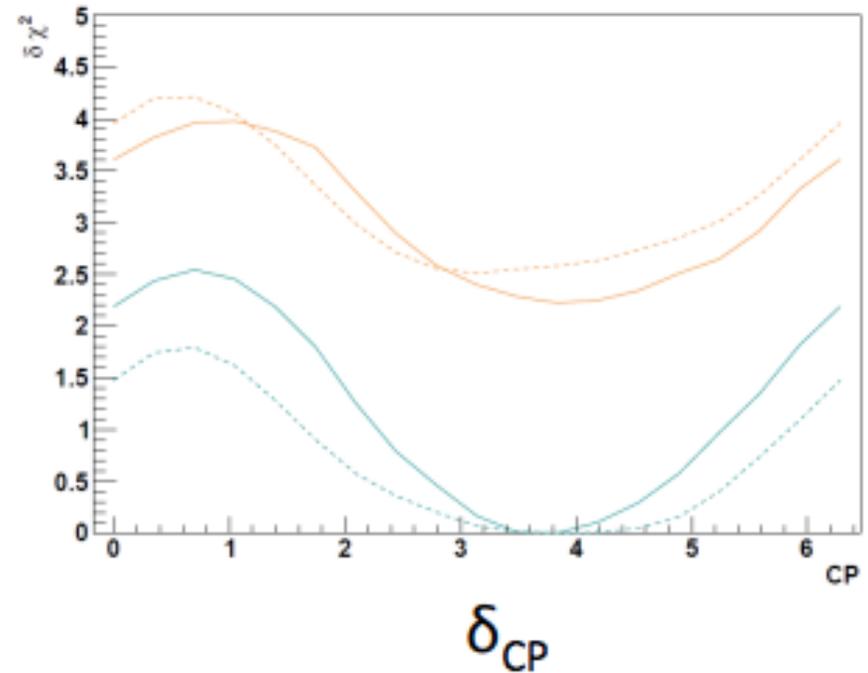
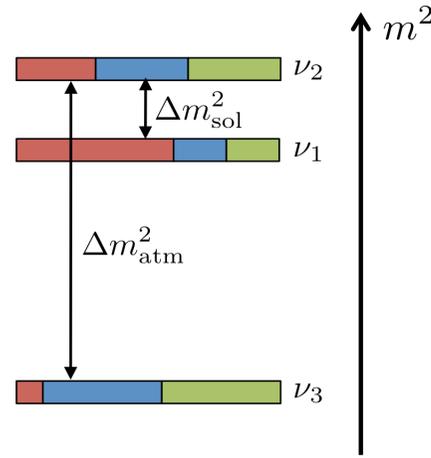
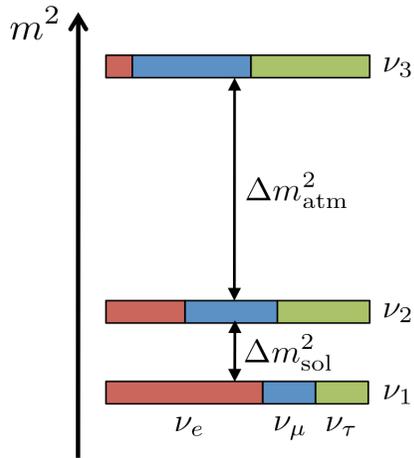
# 大気ニュートリノで測定

## 階層性が未決定

## ニュートリノ振動のCP位相

normal hierarchy (NH)

inverted hierarchy (IH)



$$\Delta m^2_{32} > 0$$

$$\Delta m^2_{32} < 0$$

■ 質量階層性はCP測定の邪魔(振動確率の縮退を起こす)

■ 大統一理論と関係している

■ CPの測定も可能だが, T2Kビームほど簡単ではない

■ 物質優勢宇宙の説明へ

# SK大気ニュートリノ：物理対象

江

■ 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
- $\delta_{CP}, \theta_{23}$  octant

■  $\nu\tau$  物理

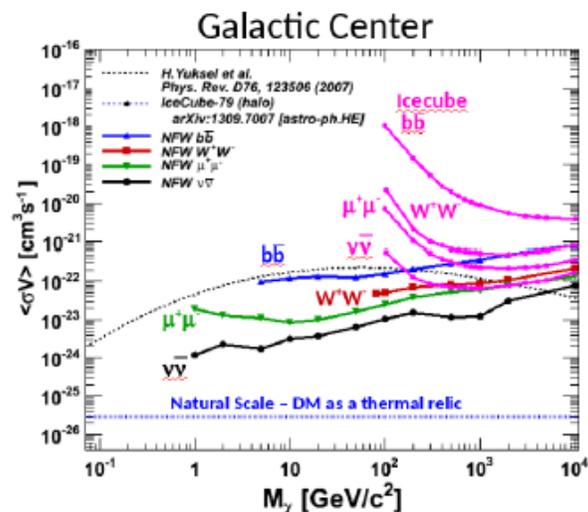
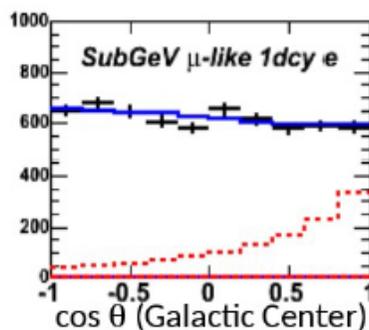
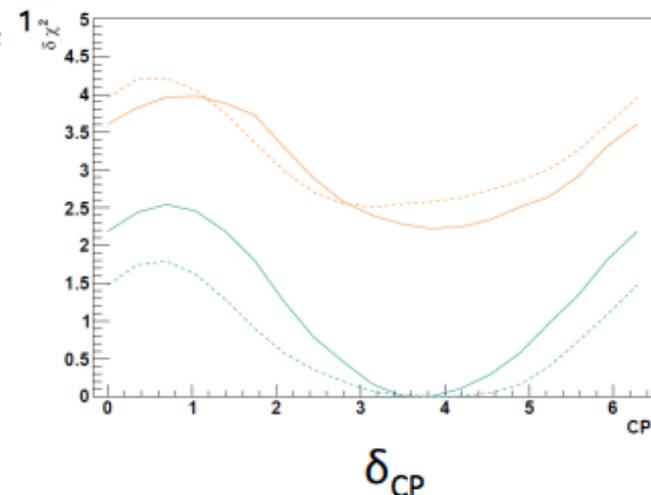
■ Exotic振動

- 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)

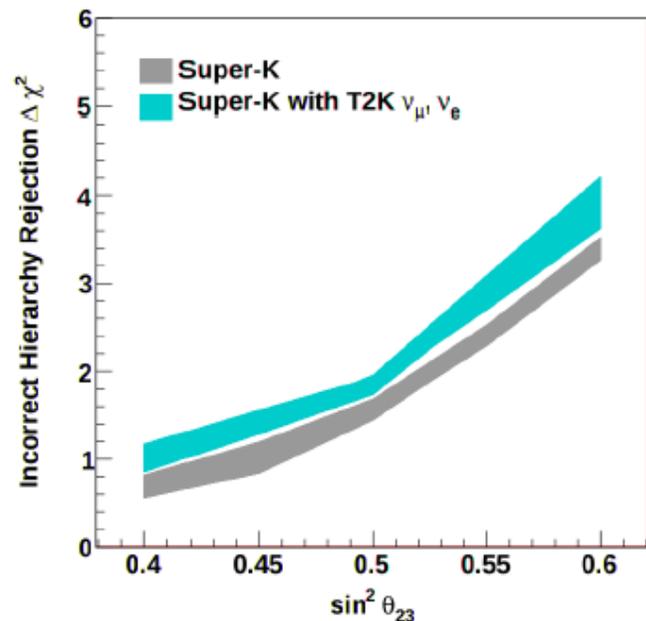
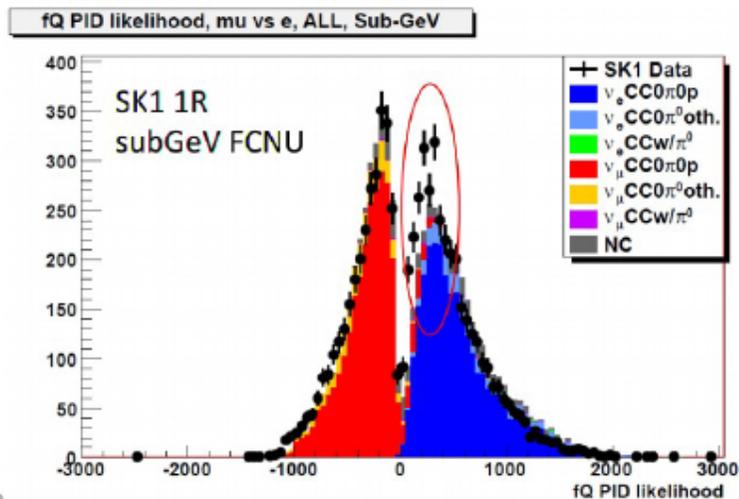
- T2K 感度： $\theta_{13}$ ,  $\theta_{23}$ ,  $\delta_{cp}$ ,  $\Delta m^2$
- SK 感度：質量階層性、 $\delta_{cp}$
- サンプル定義、エラーモデルの統一化

## ■ 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

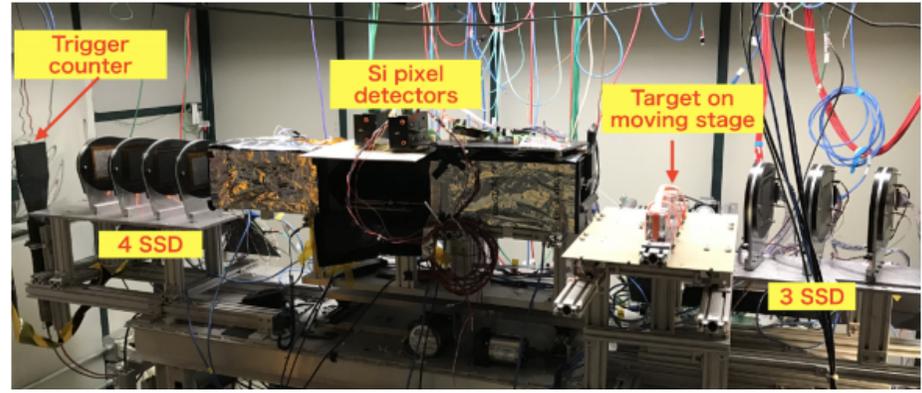
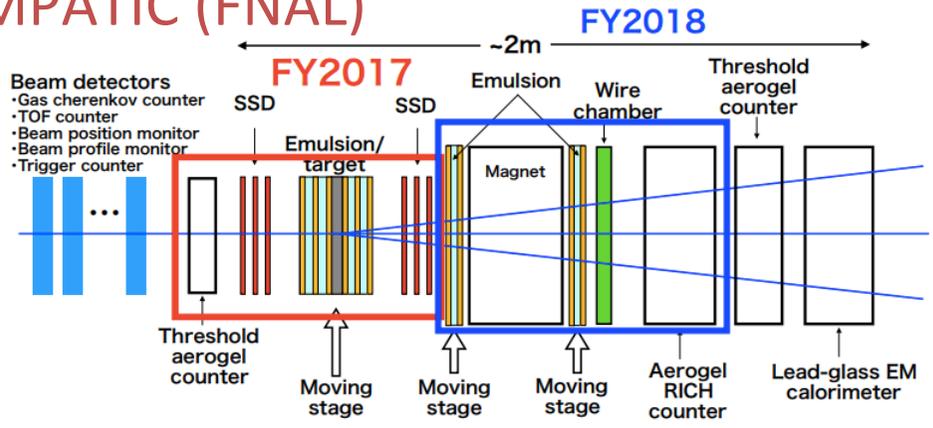
- 検出の基本パラメータとCalibrationデータで制限



# 関連研究

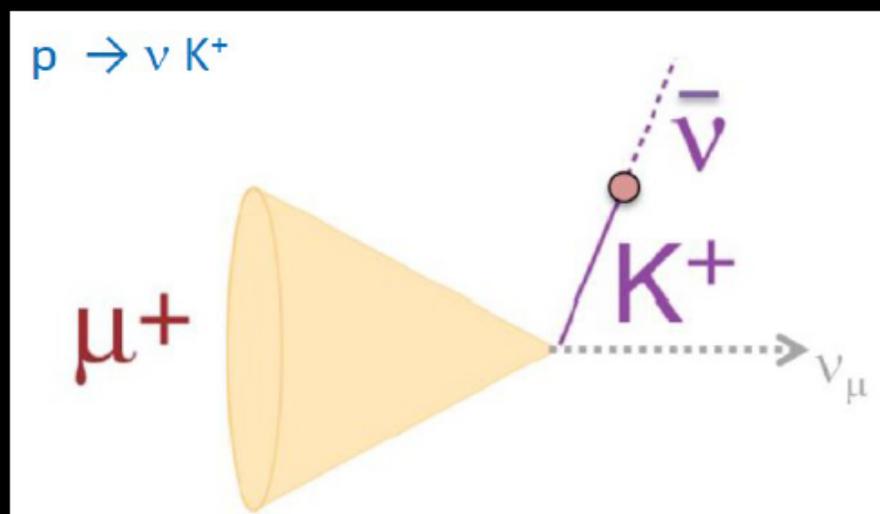
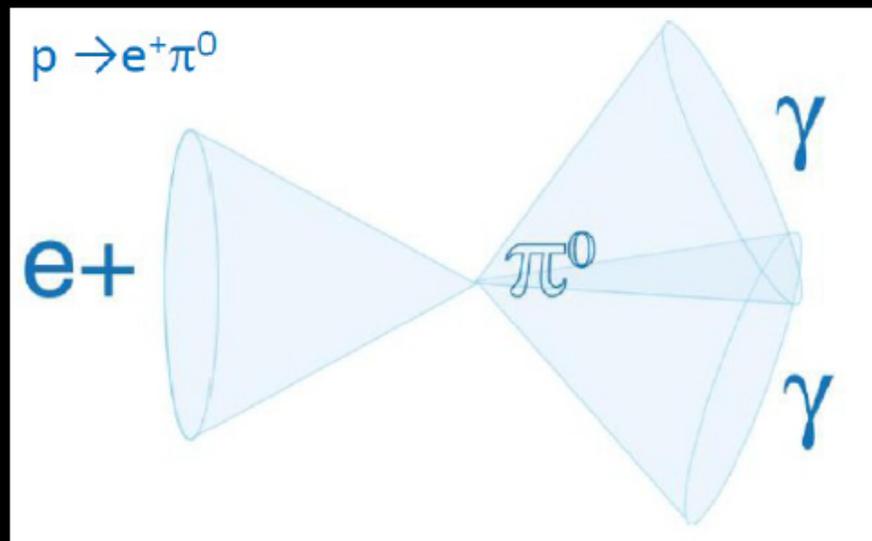
- ニュートリノフラックスを理解するため、ハドロン生成実験とモデルの開発が必要
  - 特に大気ニュートリノにおけるCP破れ探索
- EMPHATIC実験に参加し始めている
- 陽子ビームと様々な標的を使って正確に生成されるハドロンを計る
  - 2017年にファーストデータ
  - シミュレーション作業とデータ解析
  - 次の実験準備をこれから
- 大気ニュートリノとJ-PARCニュートリノフラックスの不定性削減を目指す
- 大気フラックスモデル(本田,HKKM)の改善を目指す
  - 系統誤差をより正確に評価
  - 現象論的なプロジェクト(ちょっとマニアック)

## EMPHATIC (FNAL)

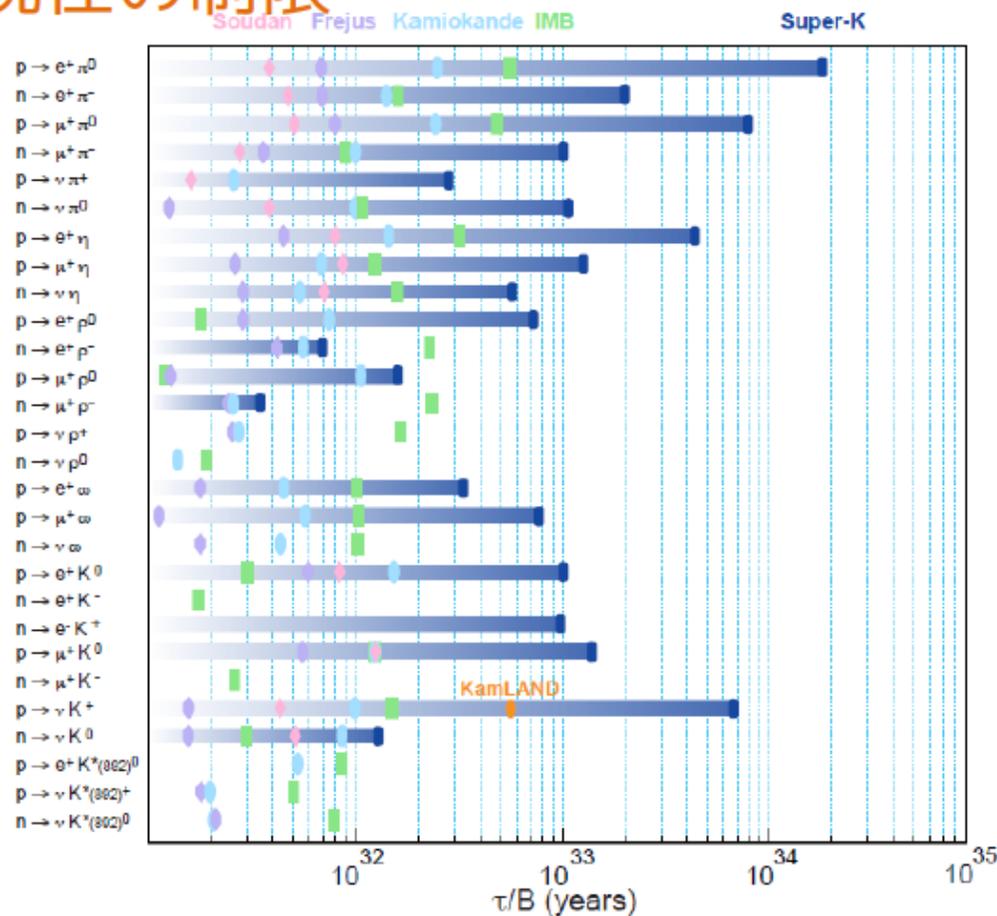


# 陽子崩壊

- 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

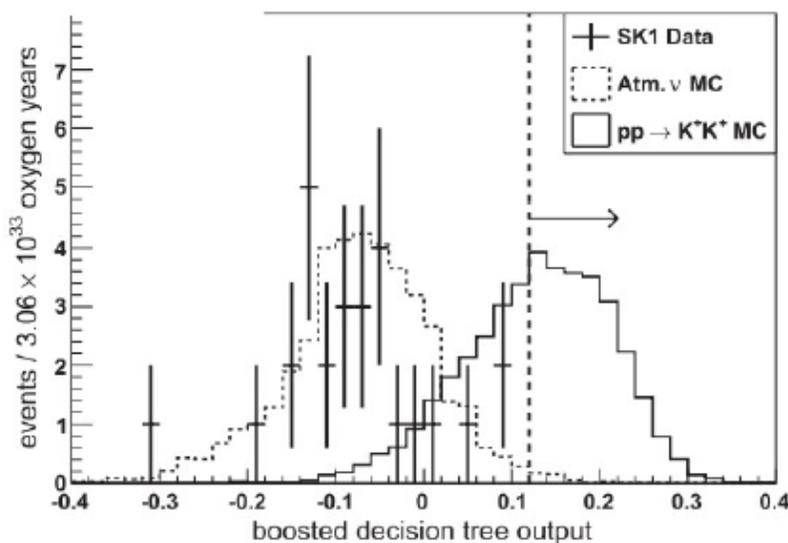


# 現在の制限



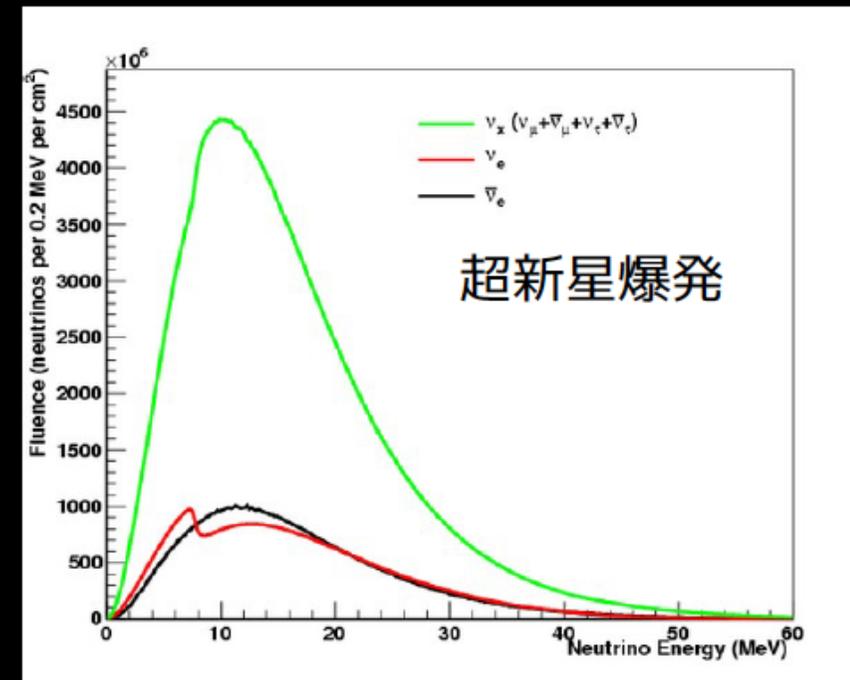
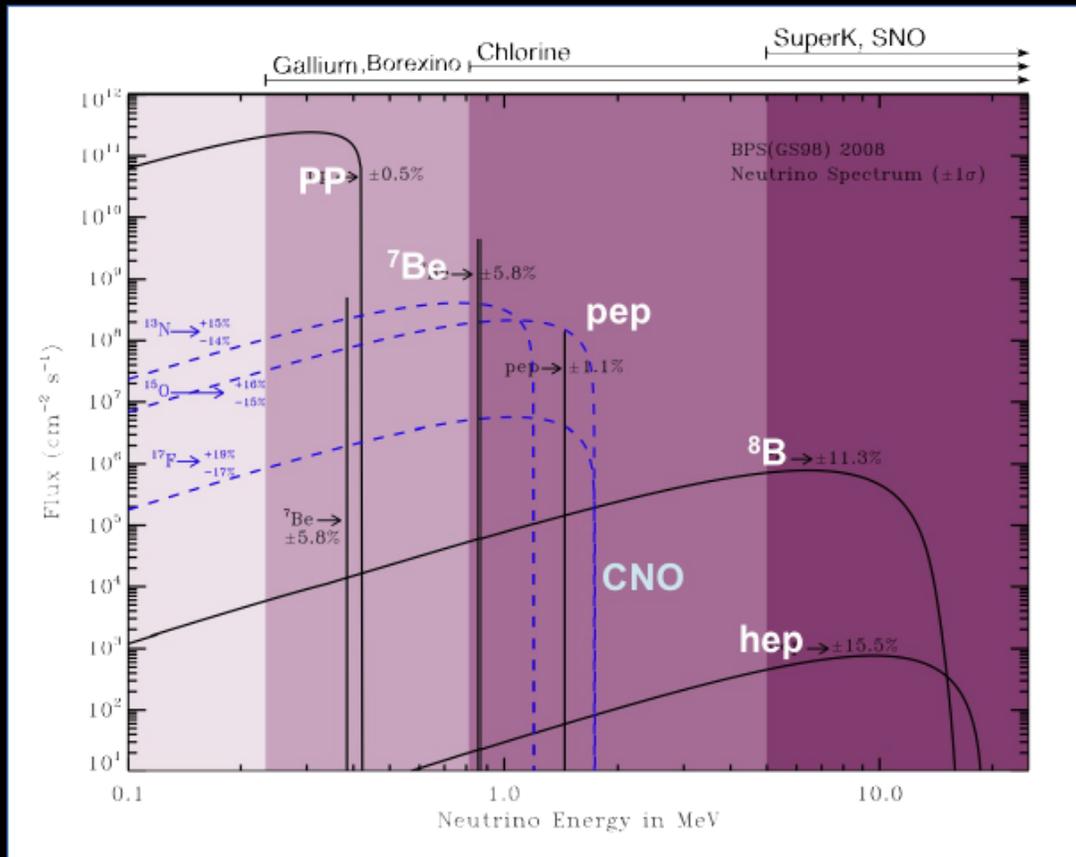
- 崩壊モードが沢山存在している
  - この表に載っていないものも！
- サンプルを決めて、エラーを見積もって、解析：学生一人でやるケースが多い

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



- 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 $E < 30$ MeV



# 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

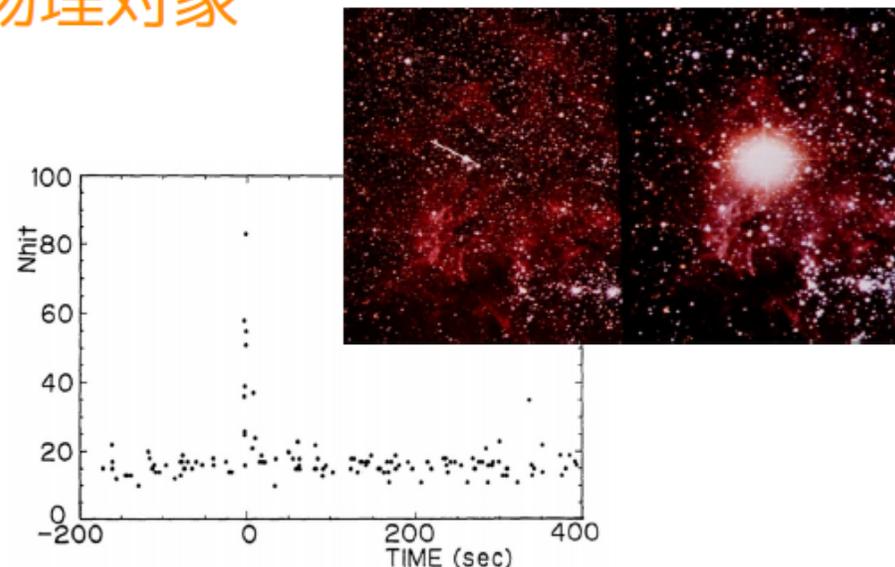
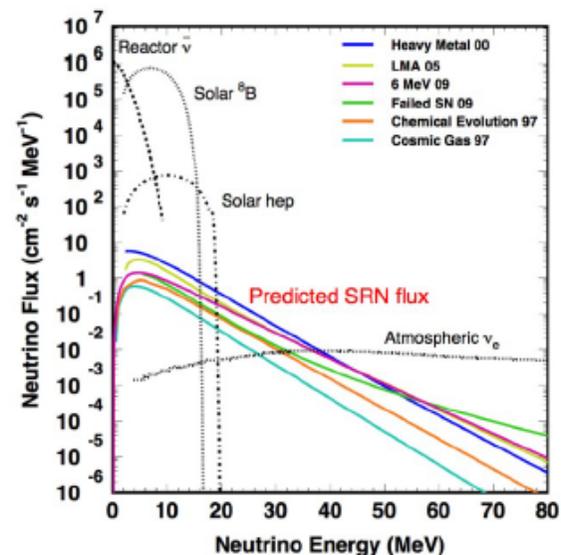


Fig. 2a : The supernova signal of the KAMIOKANDE-II experiment. It is a part of the laser printer output of the low energy raw data. Nhit is the number of hit photomultipliers.



# 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

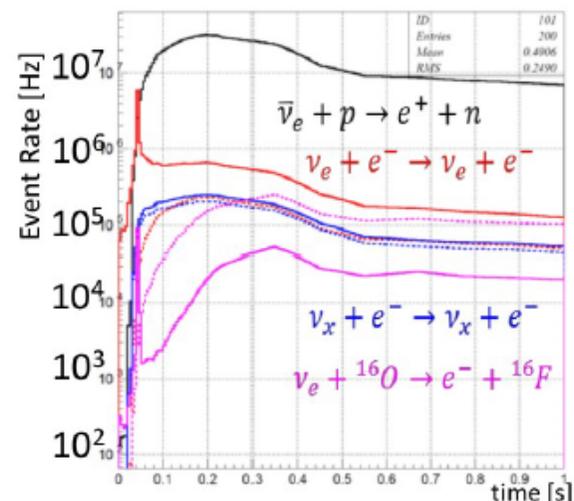
## ■ SRN探索の改善 (芦田)

- NC $\gamma$ 測定による系統誤差改善

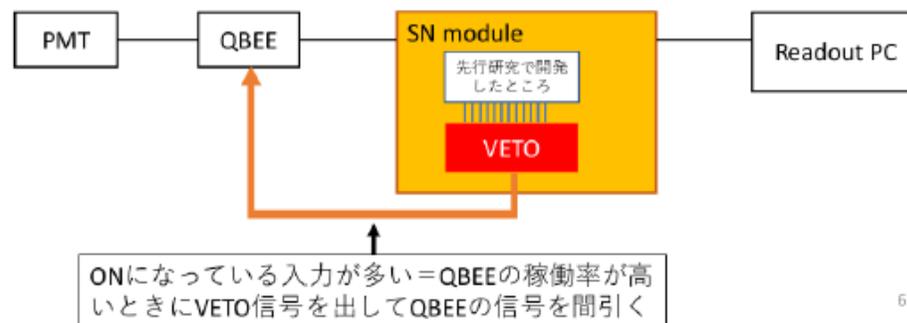
## ■ 遠く離れている爆発の事象探索

## ■ 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

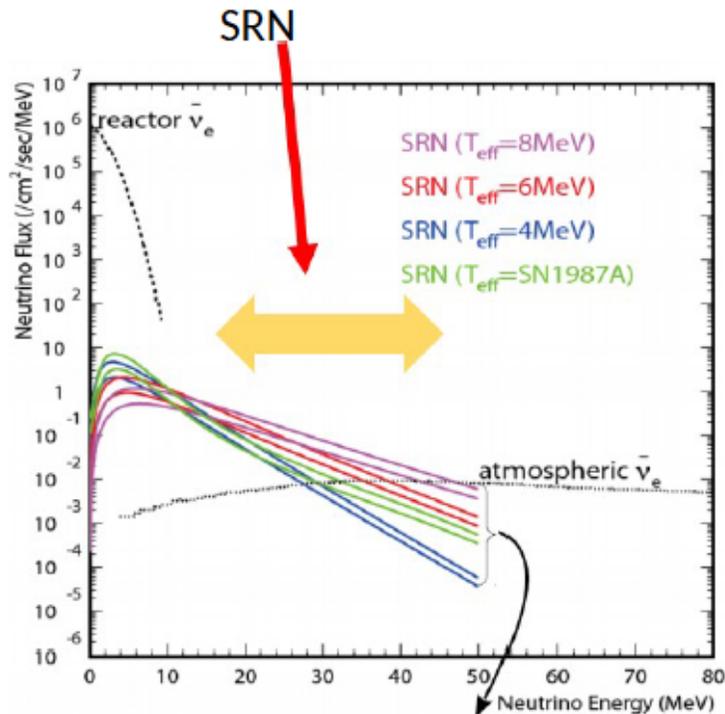


ペテルギウスが爆発したときのイベントレートの変化

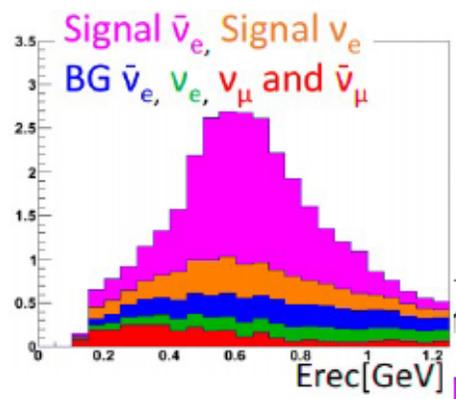




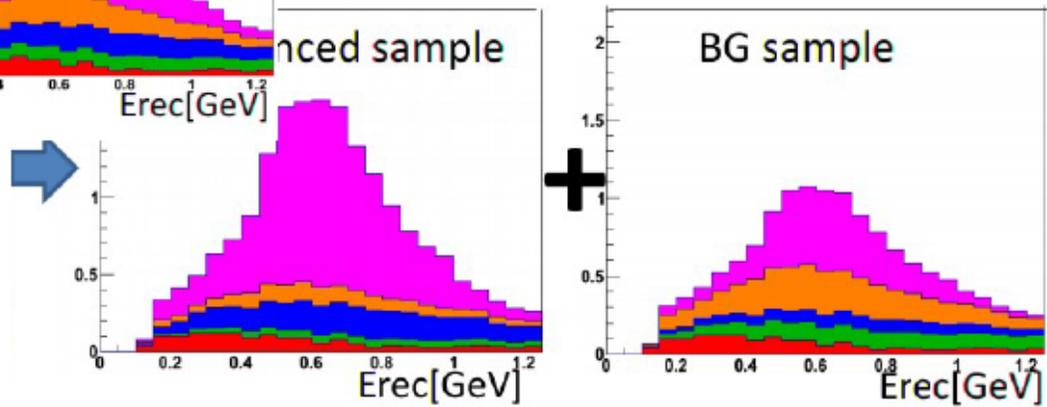
# SK-Gd : Many Physics Targets



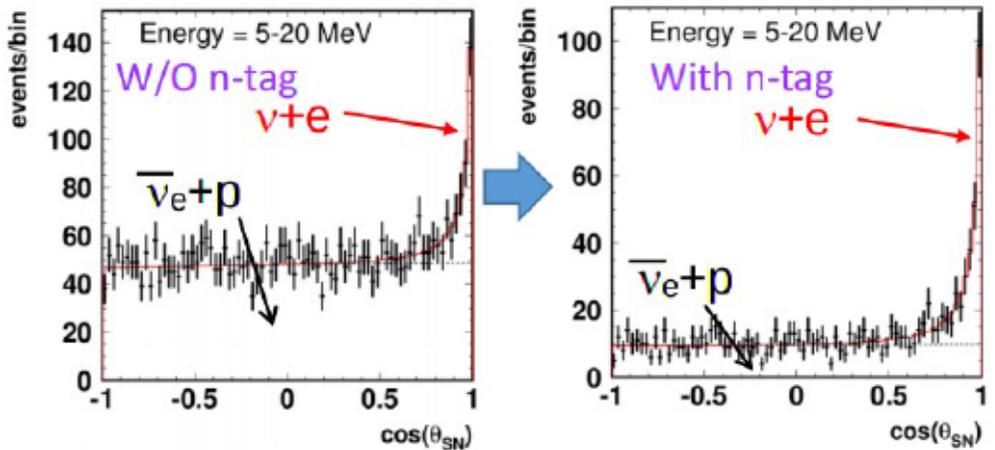
Phys.Rev. D 79, 08013 (2009)



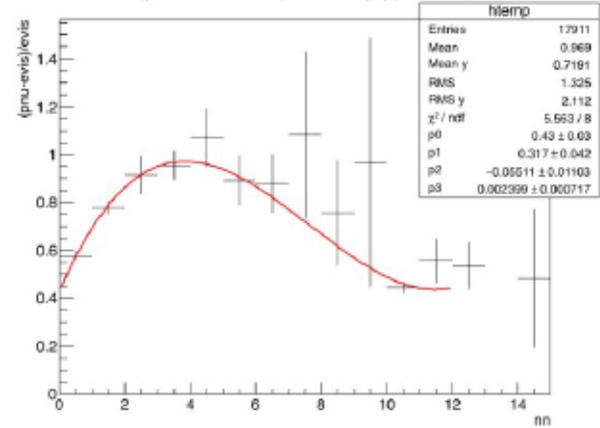
T2Kにおけるニュートリノと反ニュートリノとの識別



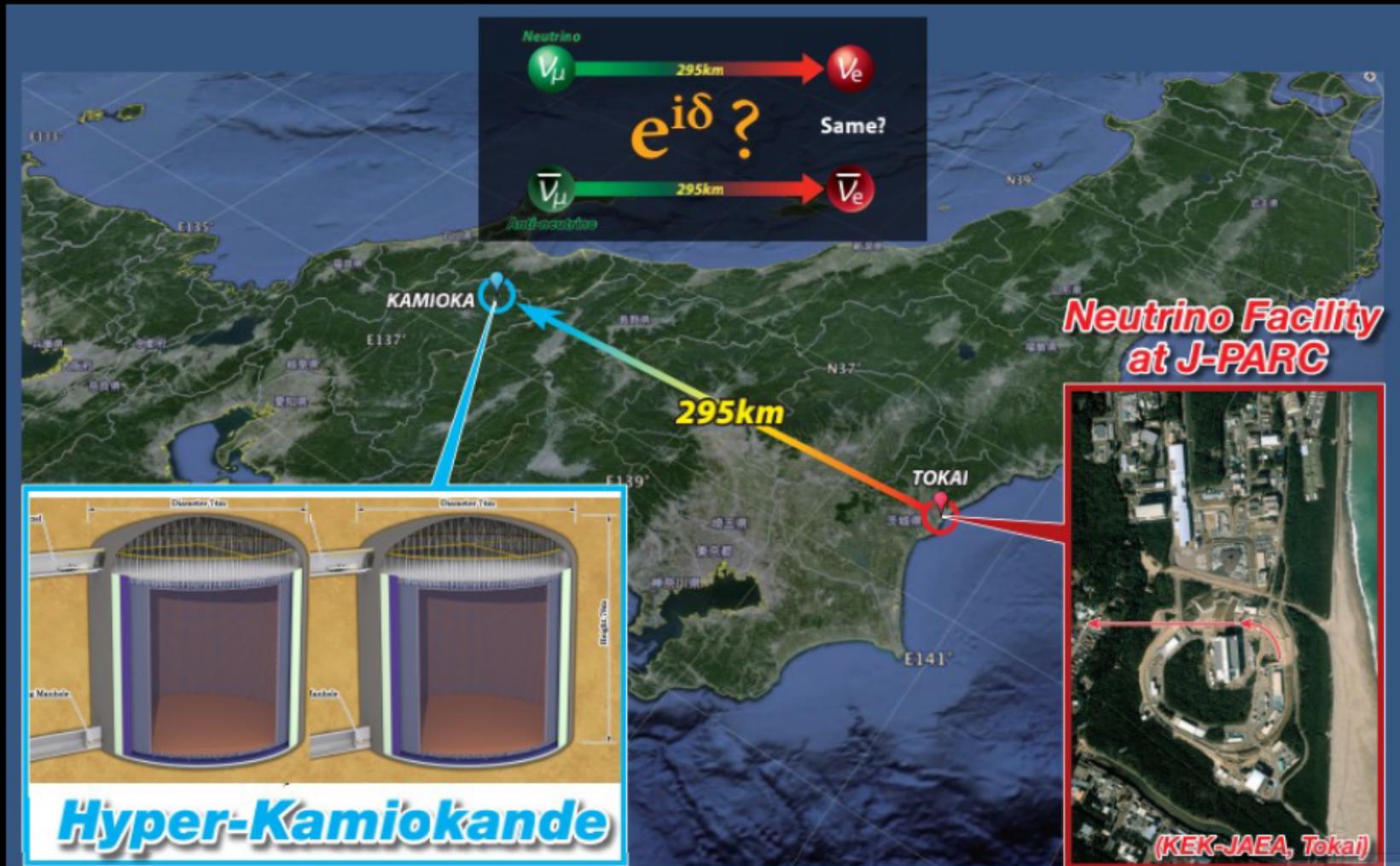
## Supernova Burst Pointing



## ニュートリノのエネルギー補正



# Hyper-Kamiokande



23 countries, 261 people (Oct.2015)

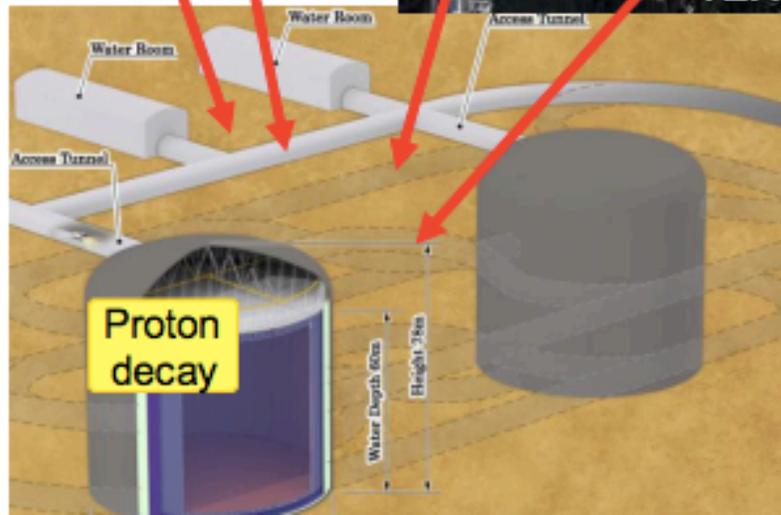
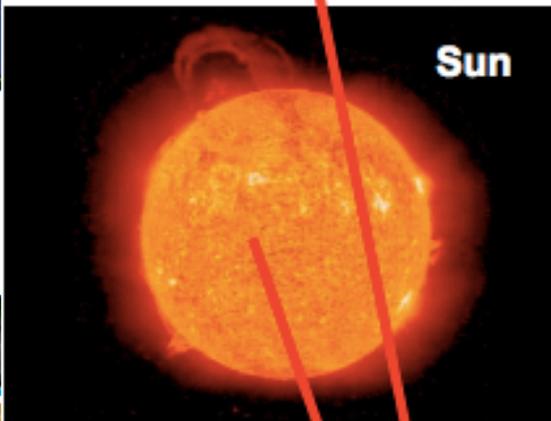
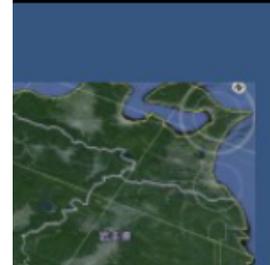
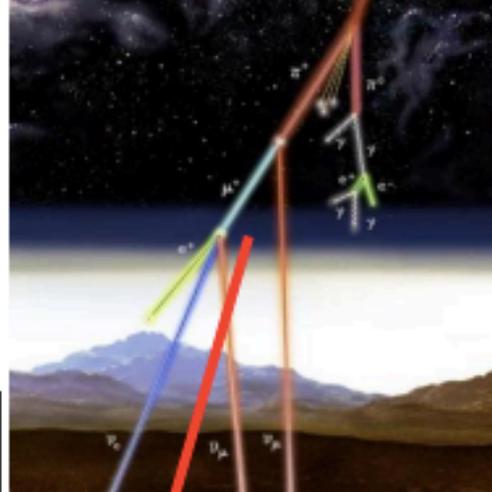
# Hyper-Kamiokande (将来計画)



23 countries, 261 people (Oct.2015)

Hy

画)



## ■ かなり大きいいため、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 $\nu$ +ビーム $\nu$  (江)

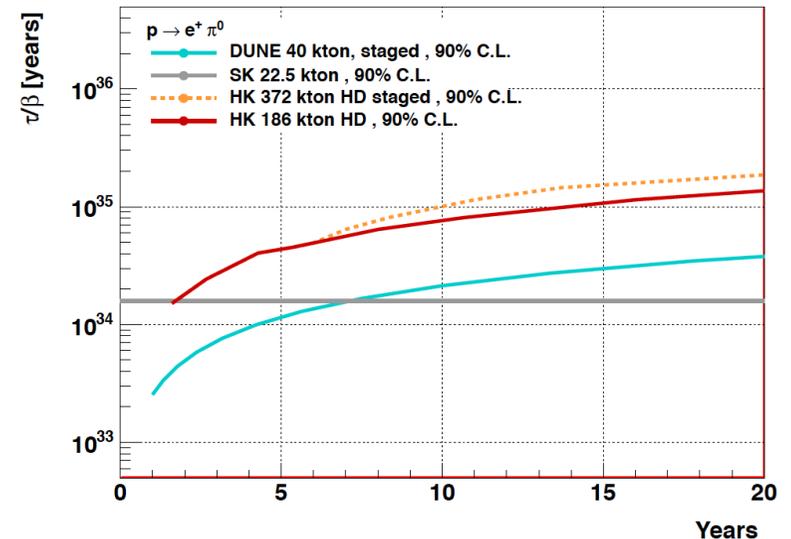
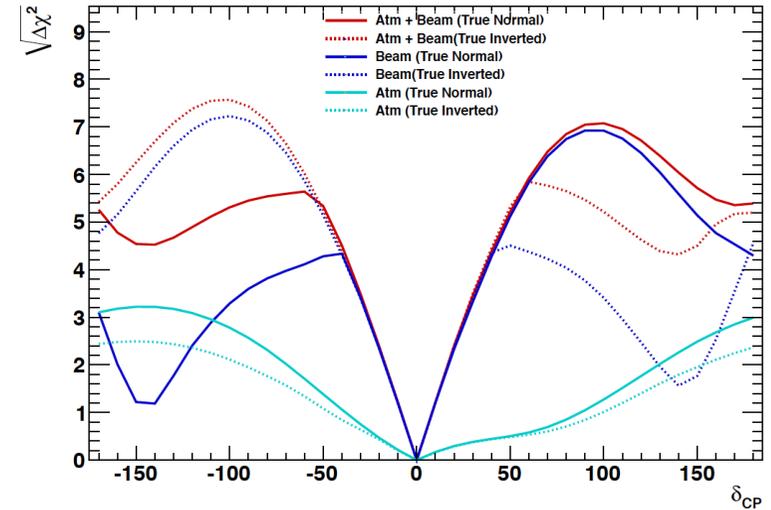
## ■ T2KとSKで出来ない物理も可能

- 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)



# 卒業までの流れ

- M1 – 授業＋研究開始
- M2 – 修論研究
  - ハード的ケースが多い
    - Calibration関係, HK 光センサー開発(江, 廣田), モジュール開発(森), NC gamma 測定(芦田)
    - 解析的なものでも可能
- D1 – 進行中の研究に参加, 実験へ貢献
  - 博士研究のテーマを選んで, 研究開始
- D2/D3 – 博士研究を集中
- D3 – 論文執筆



Venetian Blind



50cm HQE  
Box&Line PMT

過去20年のD論と修論:

<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/doc/sk/publications/index.html>

**FIN**