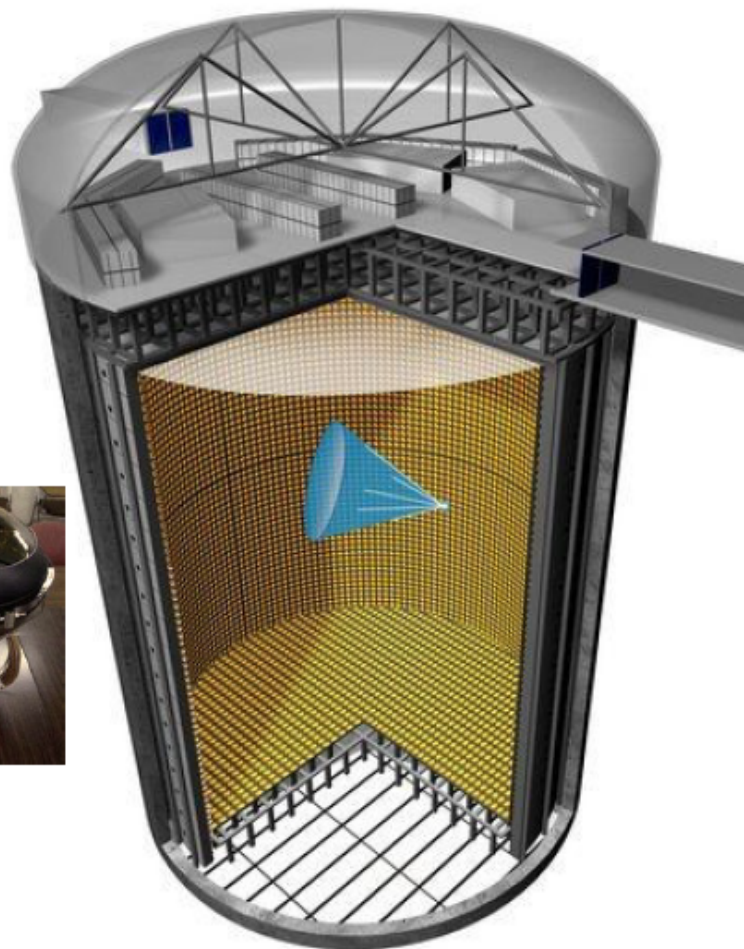


T2K-SK, Super-K実験, Hyper-K実験計画: 紹介

ロジャー
HEミーティング



Super-Kamiokande:



Four Run Periods:

SK-I (1996-2001) SK-II (2003-2005)
SK-III (2005-2008) **SK-IV (2008-Present)**

- 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

T2K-SK ワーキンググループ

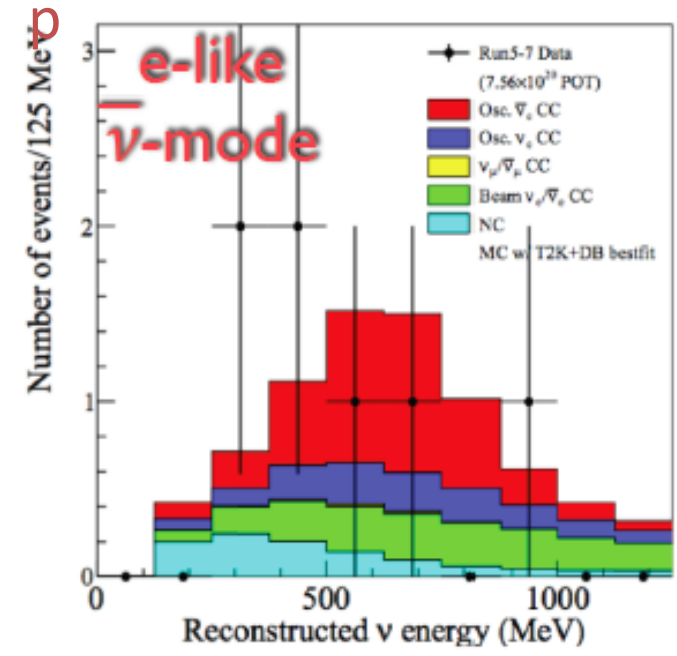
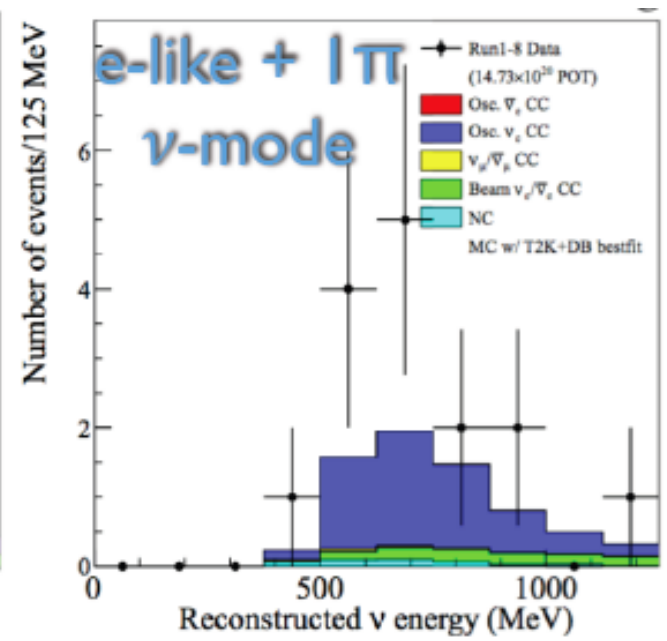
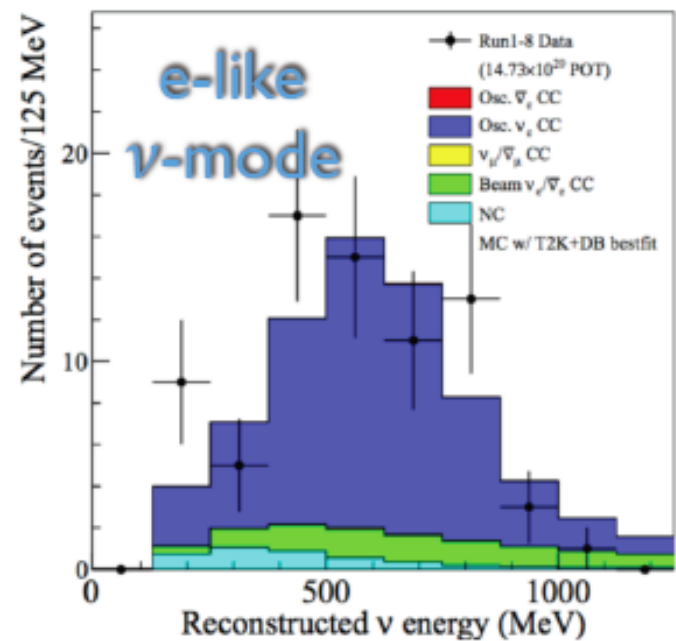
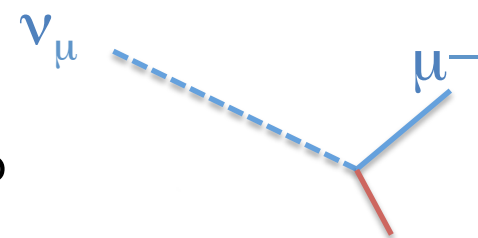
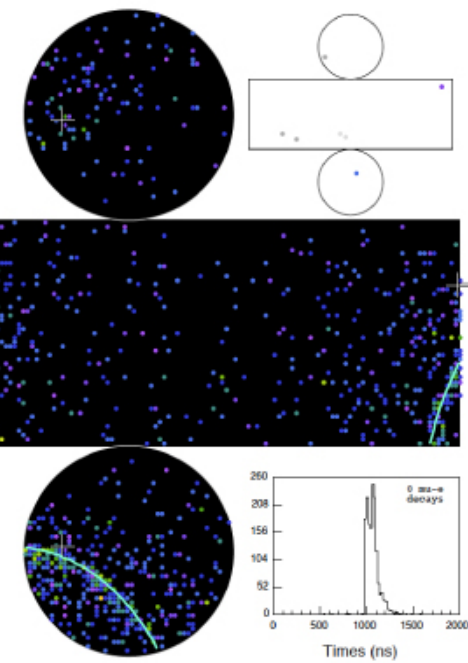
■ T2KとSKはそれぞれ独立している実験だが、T2K-SKグループはそん間の橋

- 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
 • 17.3-20.2
 • 14.7-17.3
 • 12.0-14.7
 • 10.0-12.2
 • 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

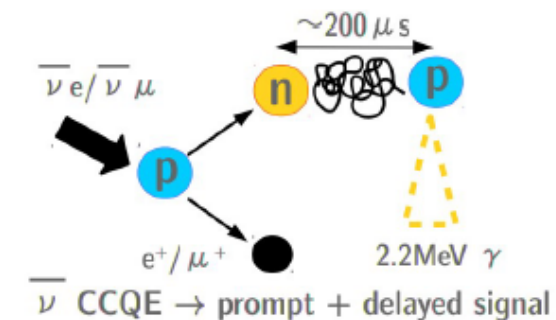
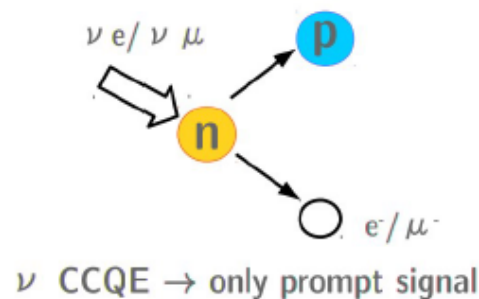
- SK検出器の系統誤差を削減

- 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?

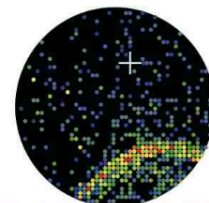
- NC γ (定エネルギー) サンプルのMCと誤差モデル改善 (芦田)

- SK-Gdアップグレードの準備

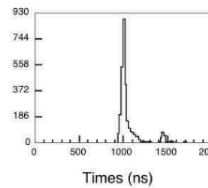
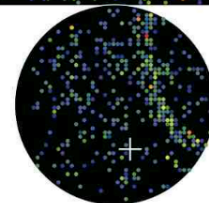
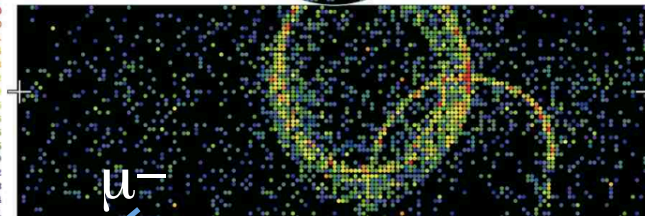
- Gd-Neutron + H-neutron タッグ方法
- シミュレーションの開発



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



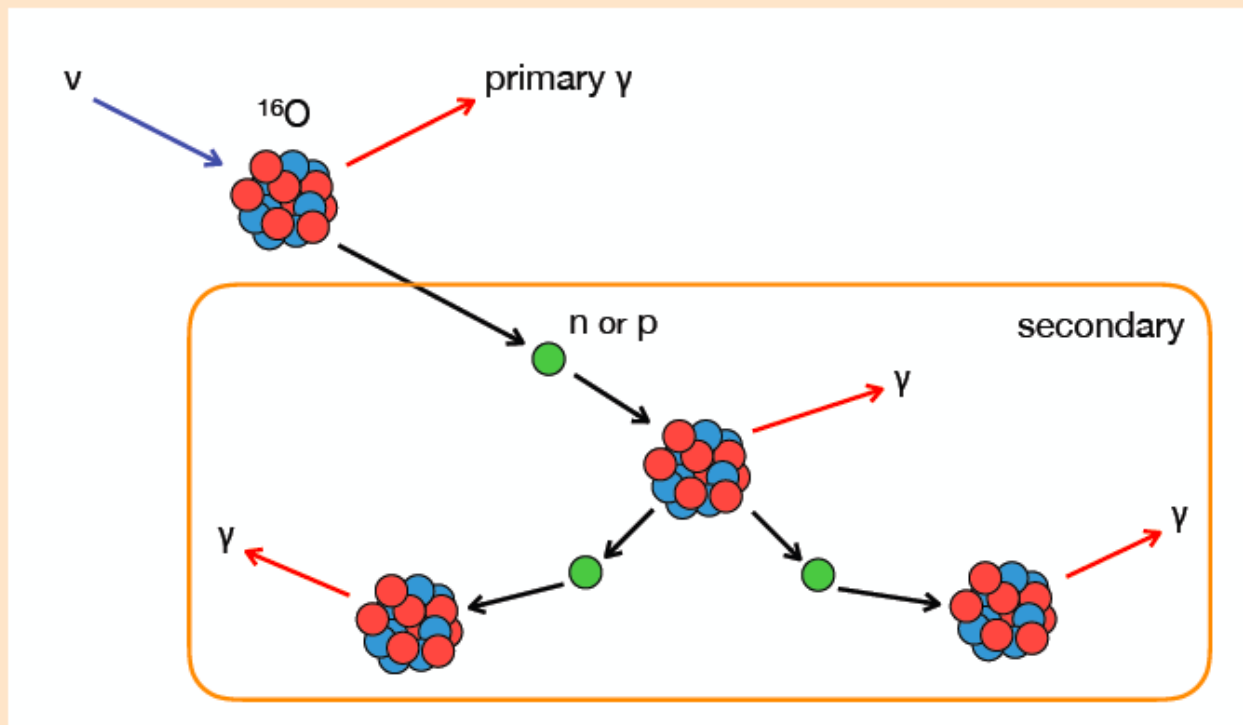
- >15.0
- 13.1-15.0
- 11.4-13.1
- 9.8-11.4
- 8.2-9.8
- 6.9-8.2
- 5.0-6.9
- 4.5-5.6
- 3.5-4.5
- 2.6-3.5
- 1.9-2.6
- 1.2-1.9
- 0.8-1.2
- 0.4-0.8
- 0.1-0.4
- < 0.1



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

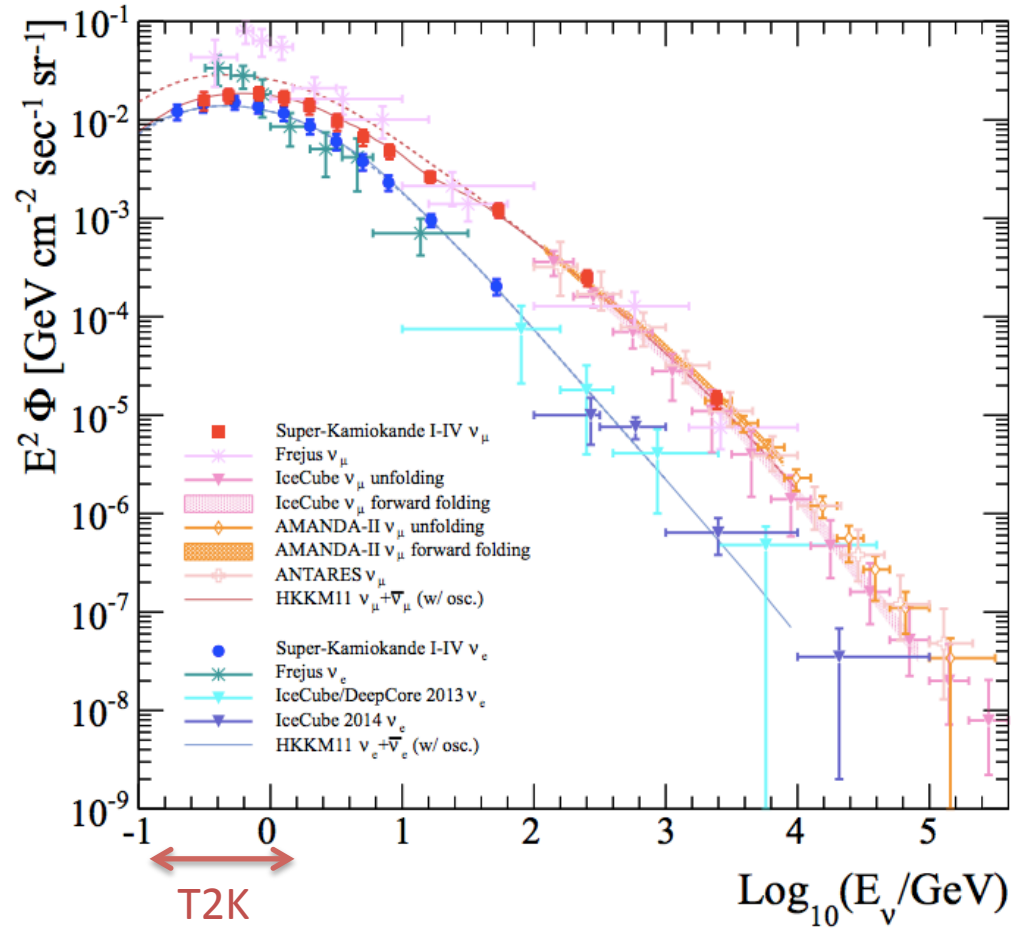
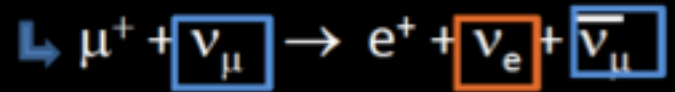
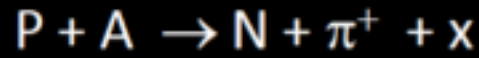
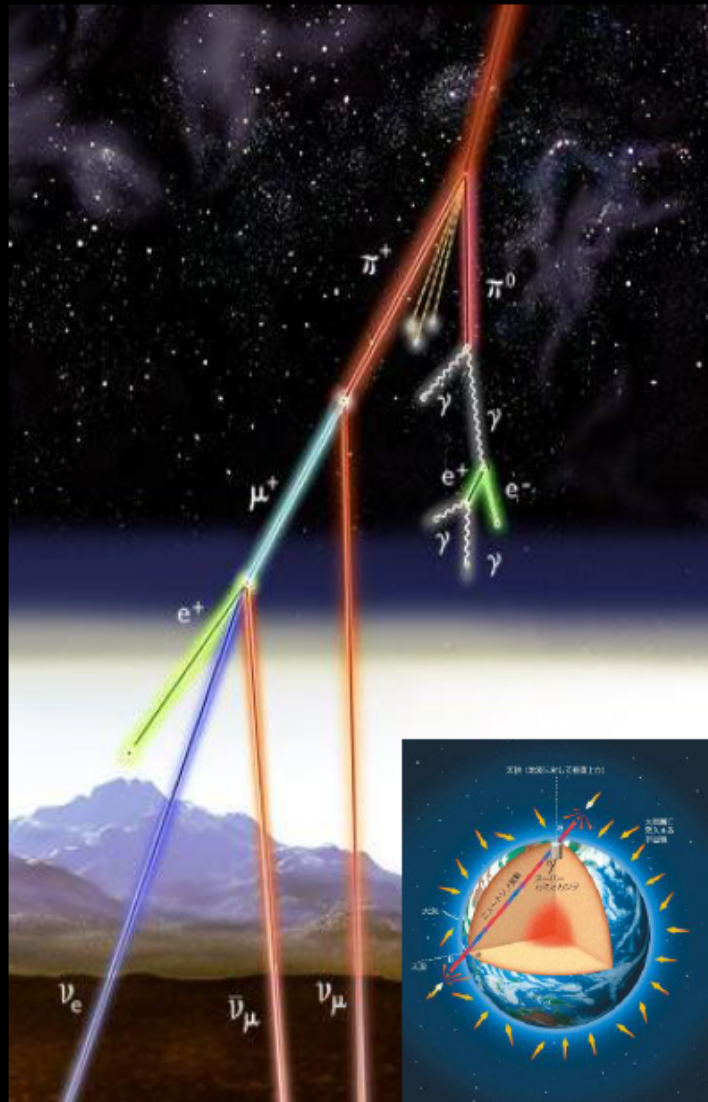
- 今年, 2回実験を行う (すでにRCNPに承認されている)。
- M1が入ったらできること ...
 - **ゲルマニウム検出器**: メイン検出器。生波形からエネルギー・時間の再構成アルゴリズムを開発する (たぶん単純ではないのでおもしろい)。
 - **DAQ/UIシステムの改善**: こっちは岡山大学のM1学生とD1の森くんが現在取り組んでくれているので、協力して進める。凝り性だと好きかも。
- 実験の構想、検出器・読み出し系の準備、現場でのドカタ作業、データ解析、シミュレーション、物理考察まですべて自分でやる。大変だけど楽しい!



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。



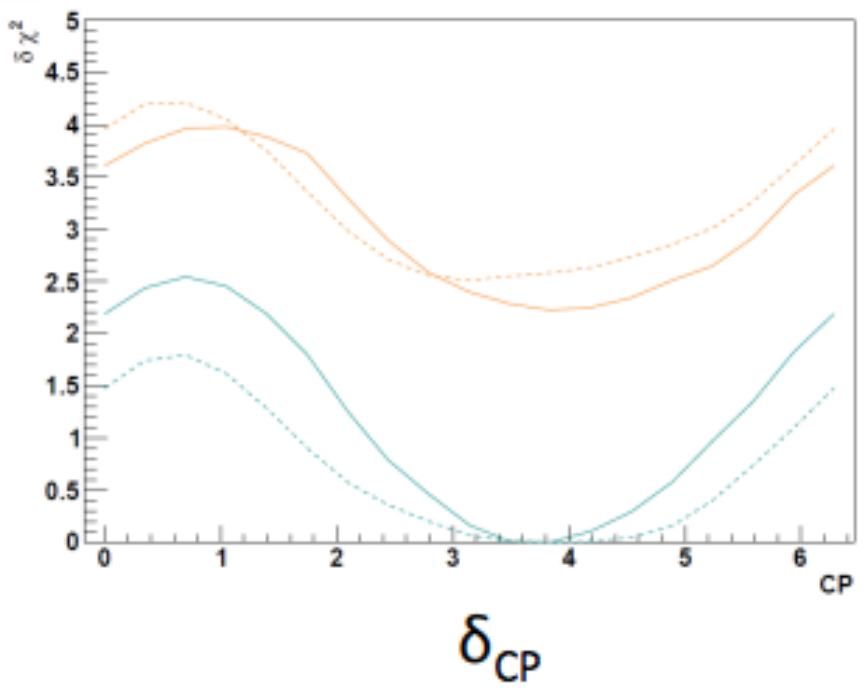
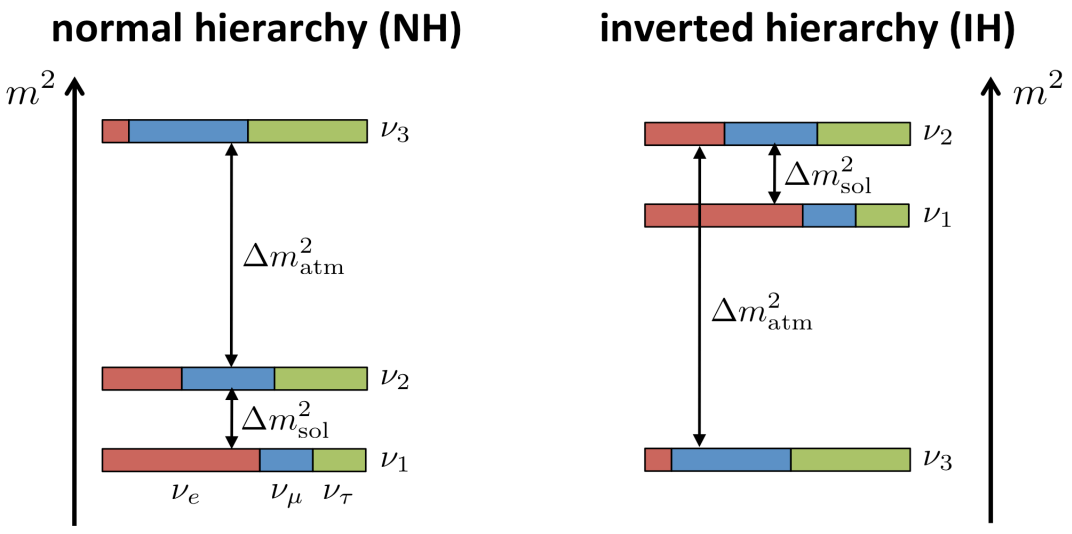
SKの大気ニュートリノ



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



$\Delta m_{32}^2 > 0$

$\Delta m_{32}^2 < 0$

- 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
- δ_{CP}, θ_{23} octant

■ $\nu\tau$ 物理

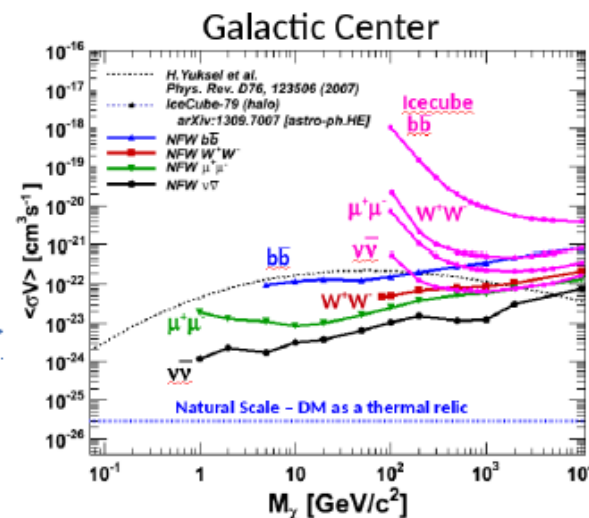
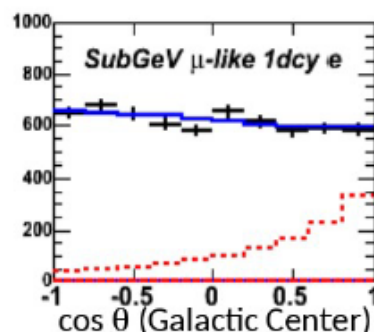
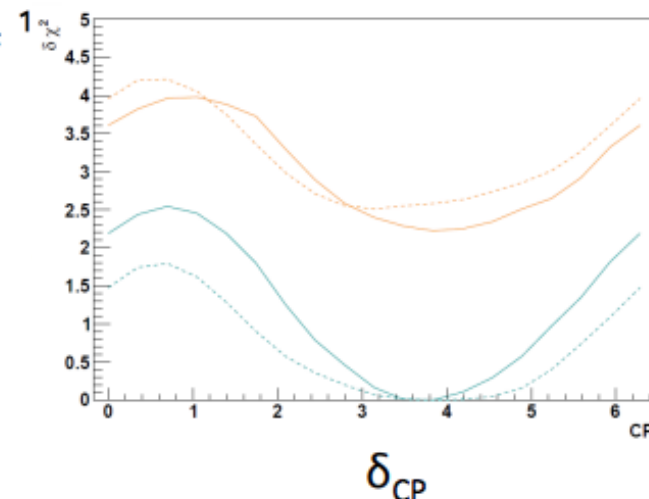
■ Exotic振動

- 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)

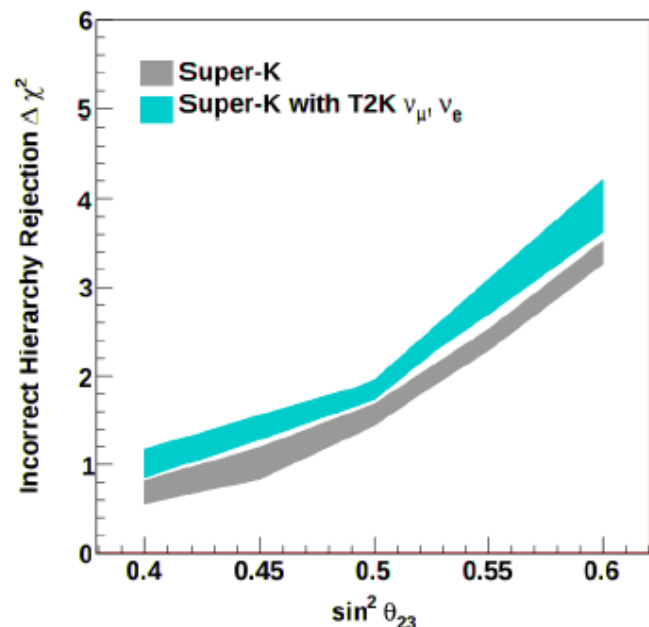
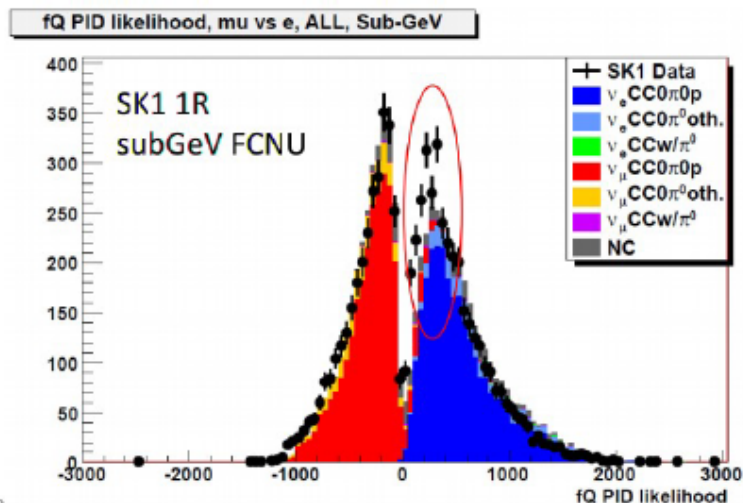
- T2K 感度： θ_{13} , θ_{23} , δ_{cp} , Δm^2
- SK 感度：質量階層性、 δ_{cp}
- サンプル定義、エラーモデルの統一化

■ 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

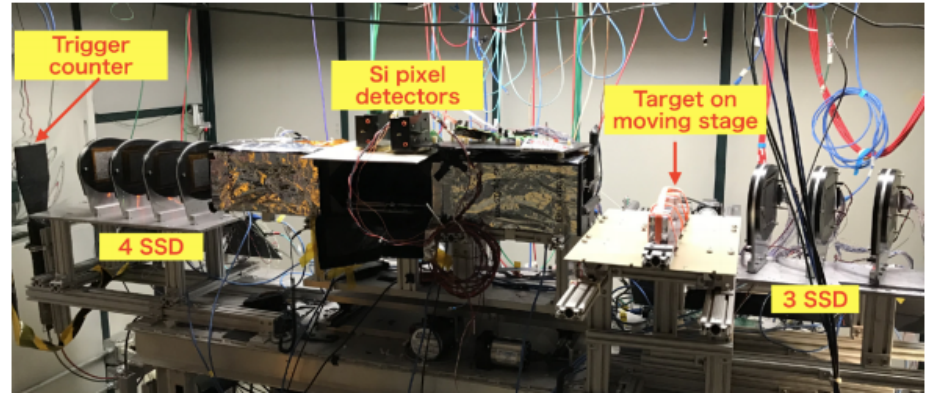
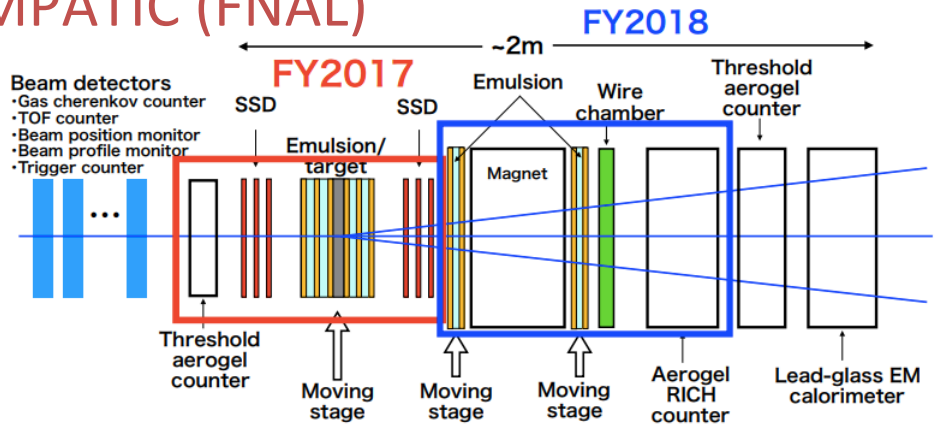
- 検出の基本パラメータとCalibrationデータで制限



関連研究

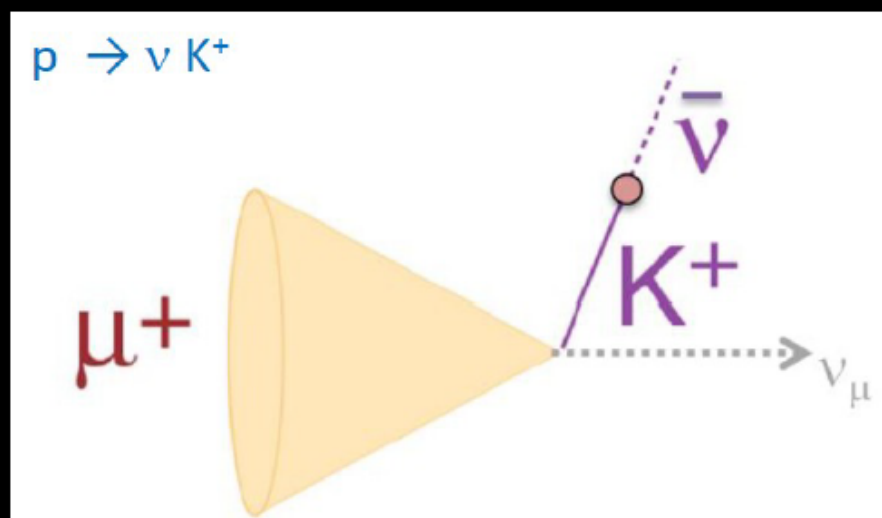
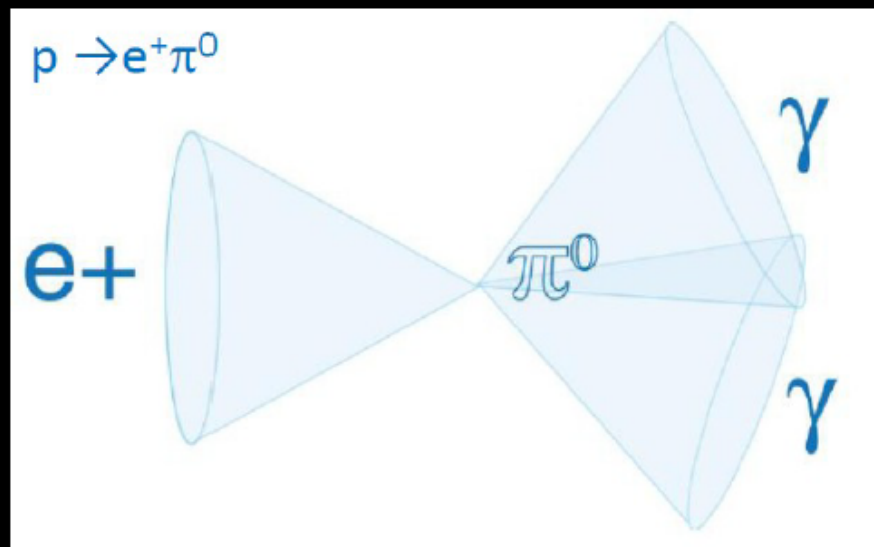
- ニュートリノフラックスを理解するため、ハドロン生成実験とモデルの開発が必要
 - 特に大気ニュートリノにおけるCP破れ探索
- EMPHATIC実験に参加し始めている
- 陽子ビームと様々な標的を使って正確に生成されるハドロンを計る
 - 2017年にファーストデータ
 - シミュレーション作業とデータ解析
 - 次の実験準備をこれから
- 大気ニュートリノとJ-PARCニュートリノフラックスの不定性削減を目指す
- 大気フラックスモデル(本田,HKKM)の改善を目指す
 - 系統誤差をより正確に評価
 - 現象論的なプロジェクト(ちょっとマニアック)

EMPHATIC (FNAL)

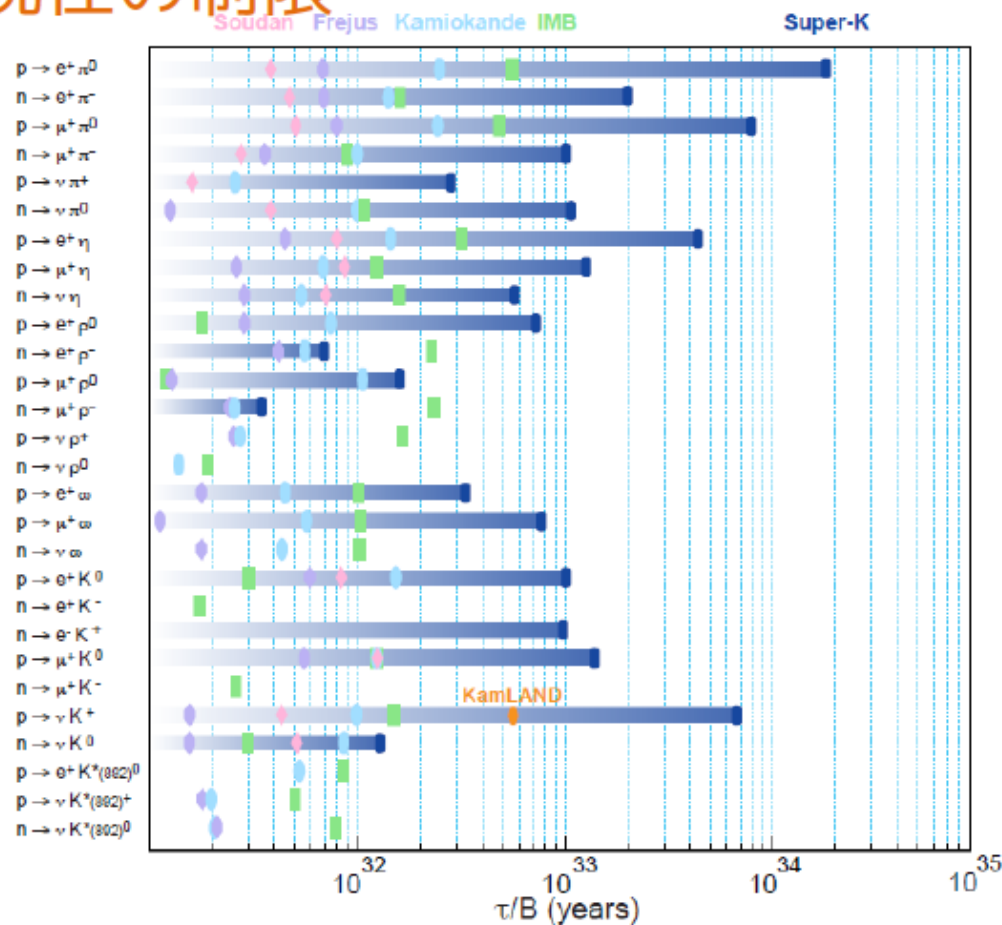


陽子崩壊

- 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



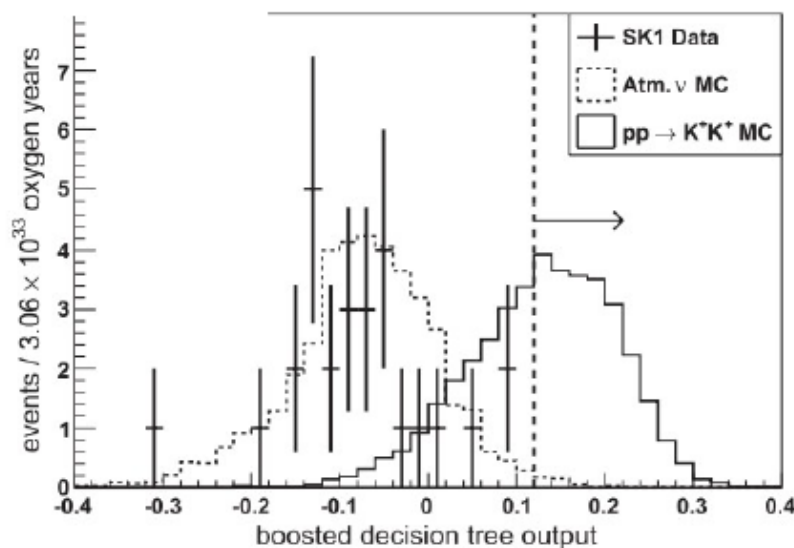
現在の制限



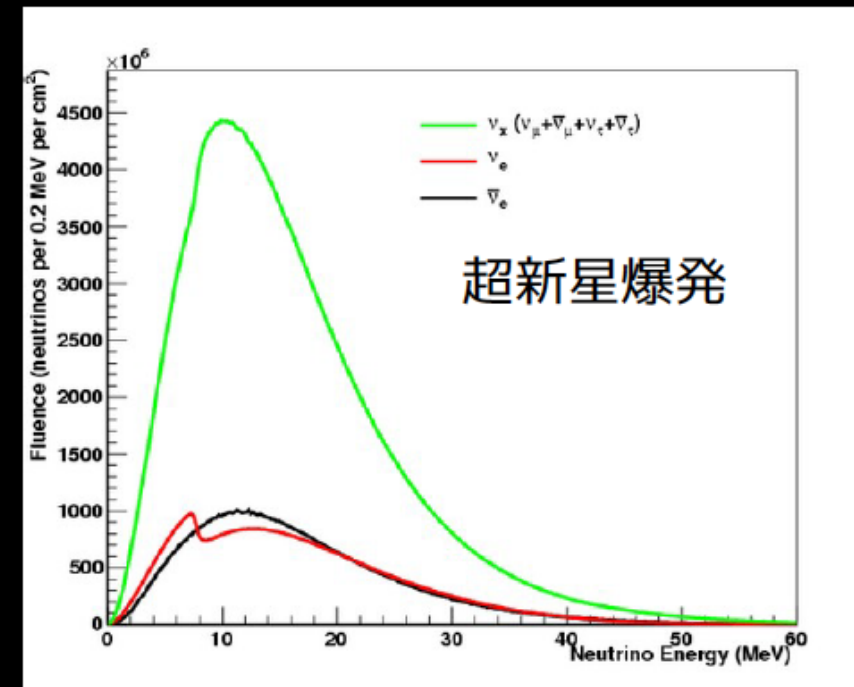
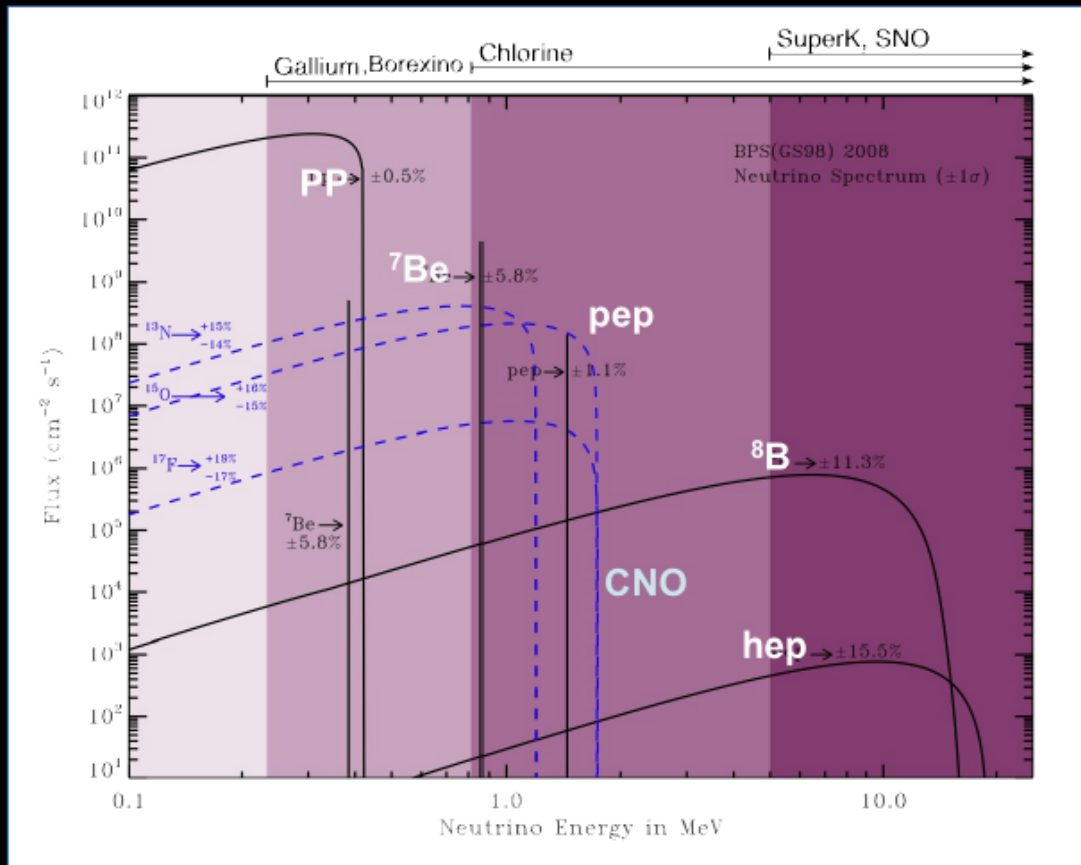
- 崩壊モードが沢山存在している
 - この表に載っていないものも！
- サンプルを決めて、エラーを見積もって、解析：学生一人でやるケースが多い

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

- 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

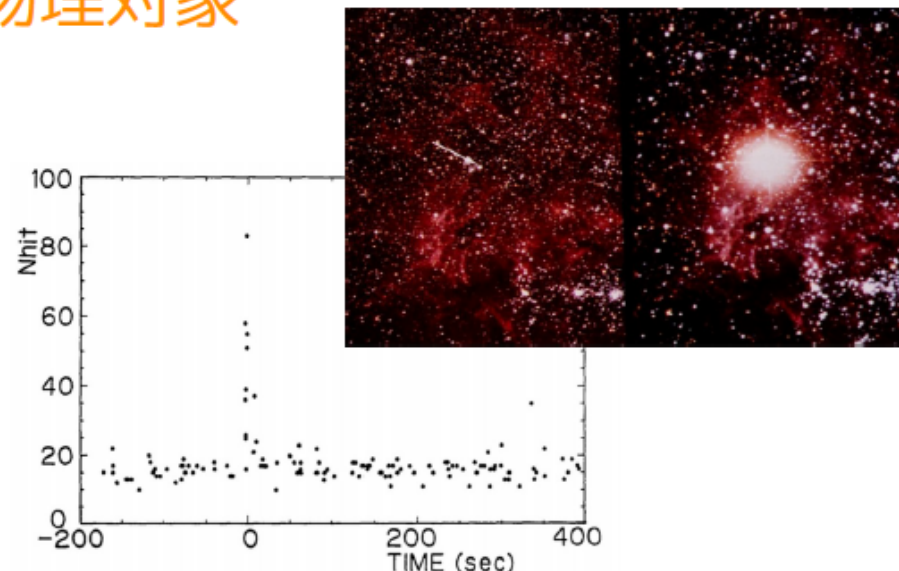
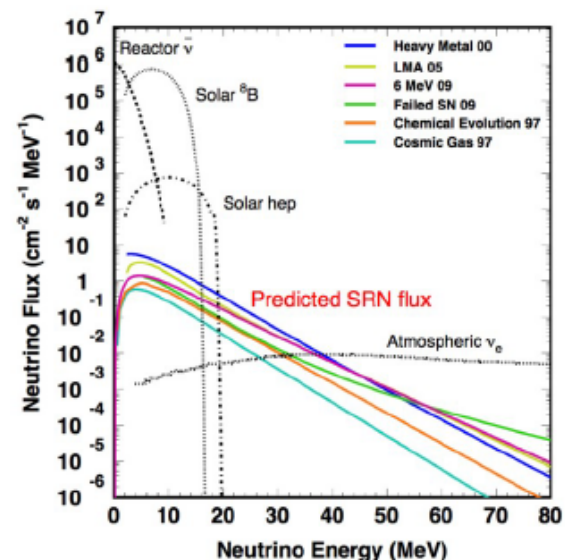


Fig. 2a : The supernova signal of the KAMIOKANDE-II experiment. It is a part of the laser printer output of the low energy raw data. Nhit is the number of hit photomultipliers.



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

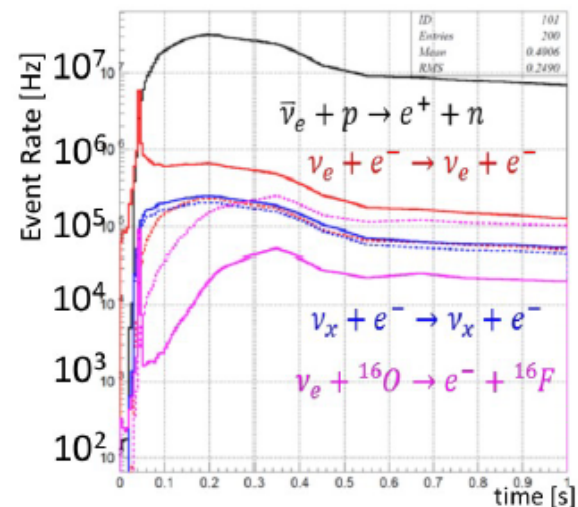
■ SRN探索の改善 (芦田)

- NC γ 測定による系統誤差改善

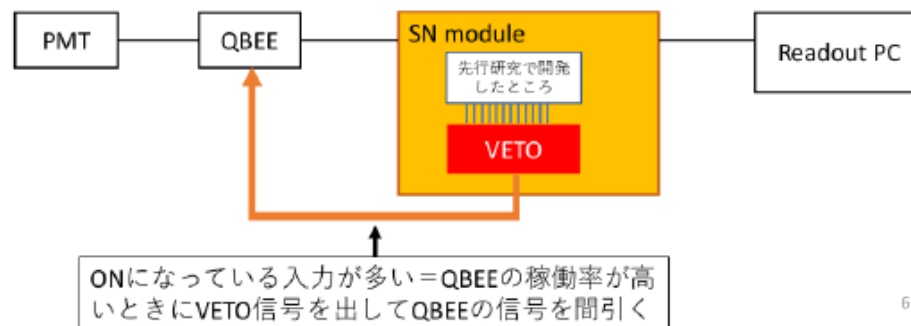
■ 遠く離れている爆発の事象探索

■ 低エネルギー再構成ツールの改善

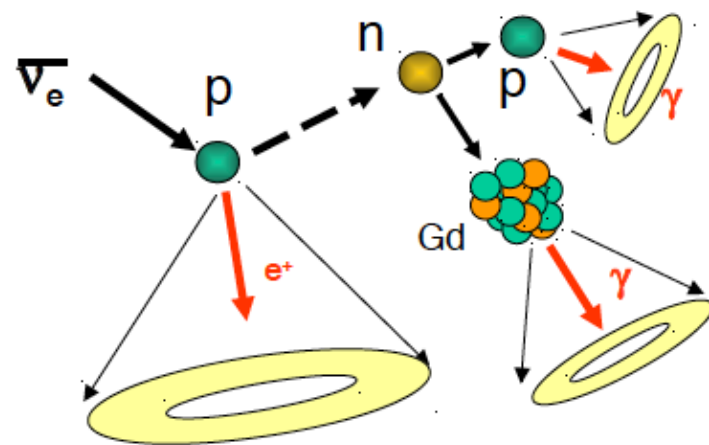
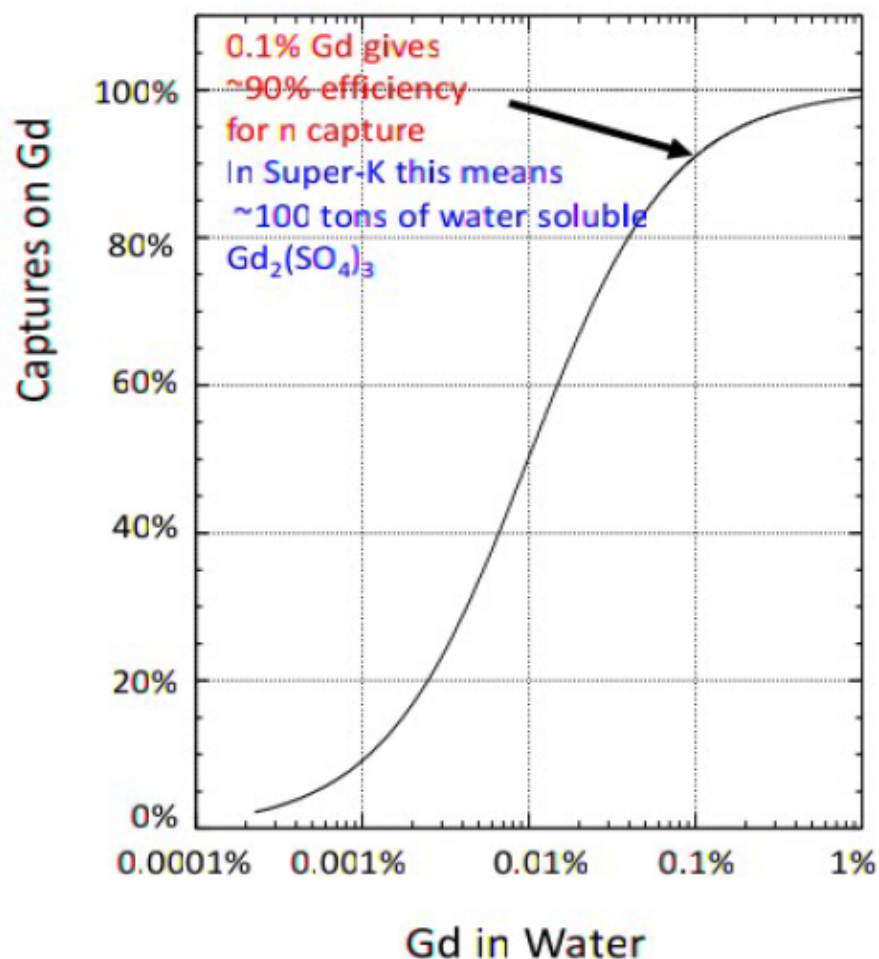
■ 中性子タッグアルゴリズム開発



ペテルギウスが爆発したときのイベントレートの変化

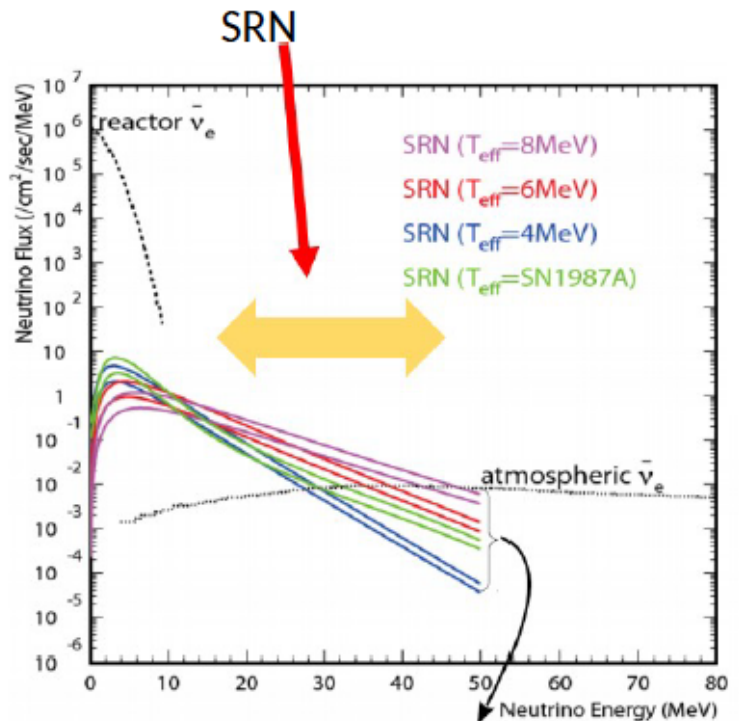


SK-Gd : A Gadolinium Doped Super-Kamiokande

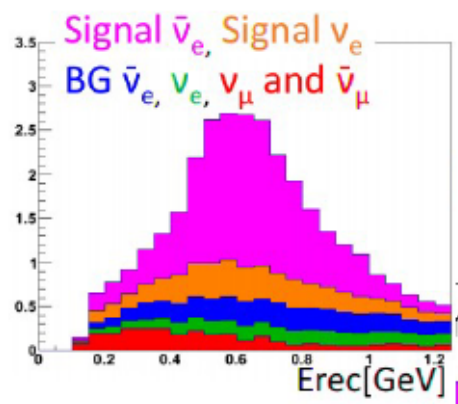


- SKにに 0.2% Gdを溶かすことによる、中性子タッグ効率が向上
 - ~90%まで
 - **SK-Gd** と言い、2018以降になる
- ある意味で新しい検出器になる
 - Calibration
 - 系統誤差の評価？
- 今その準備中、SK開けて再建予定

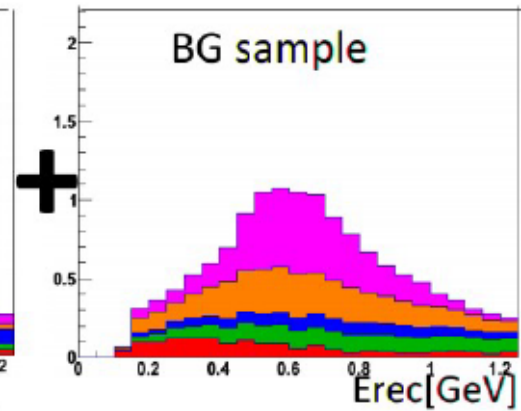
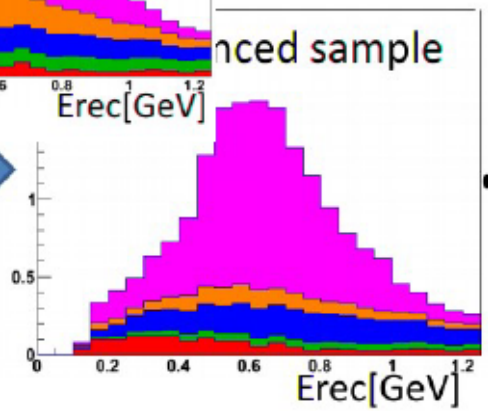
SK-Gd : Many Physics Targets



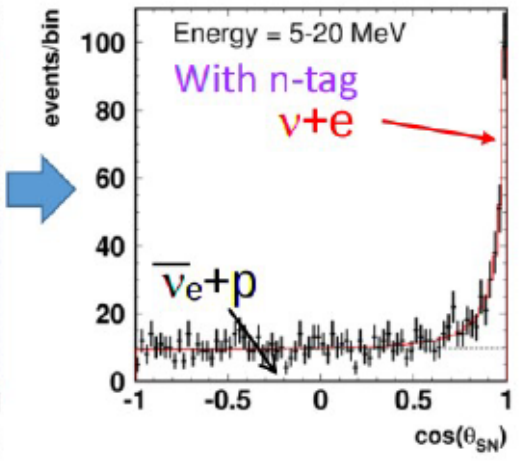
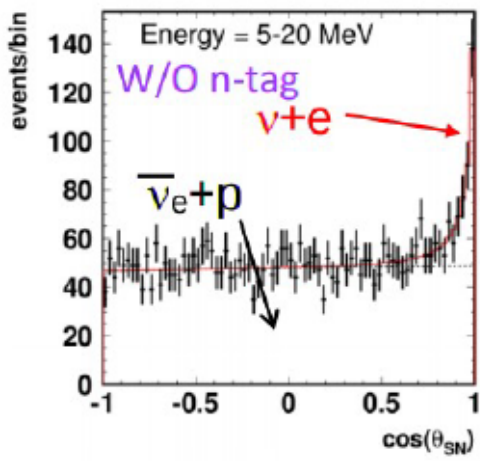
Phys.Rev. D 79, 08013 (2009)



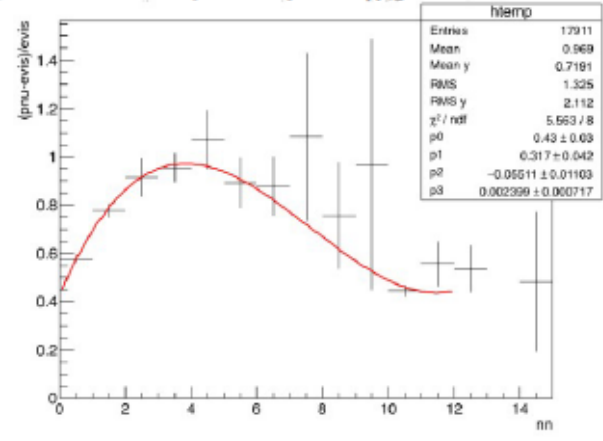
T2Kにおけるニュートリノと反ニュートリノとの識別



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)

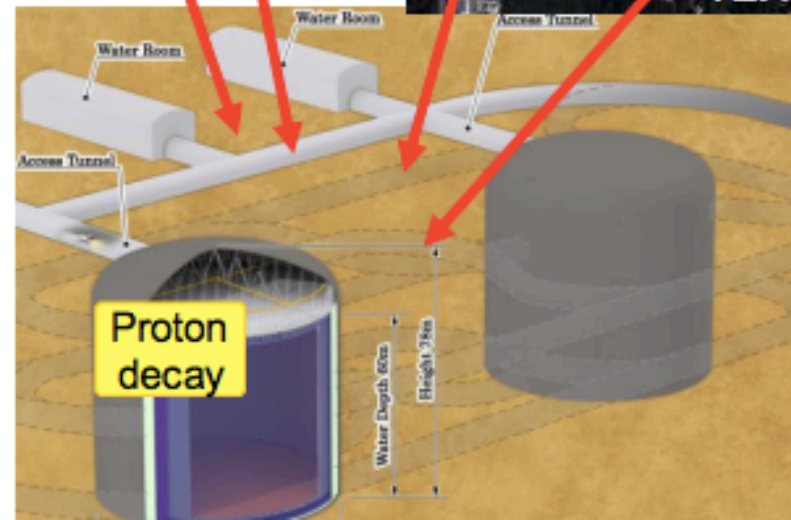
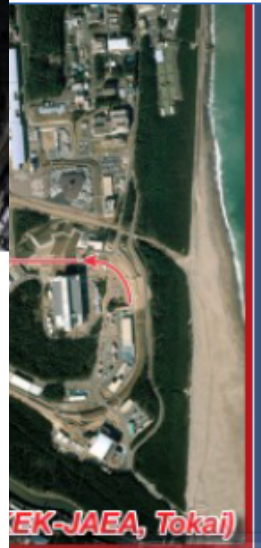
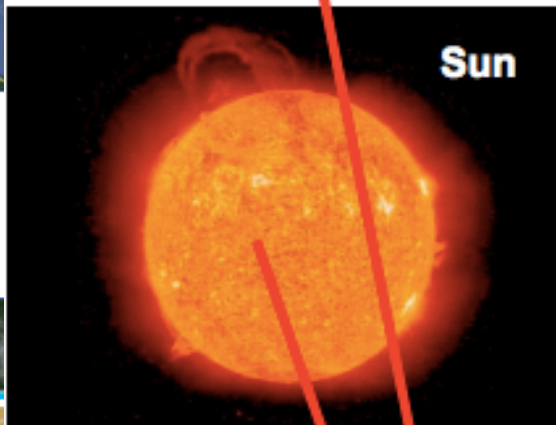
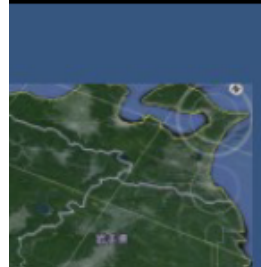
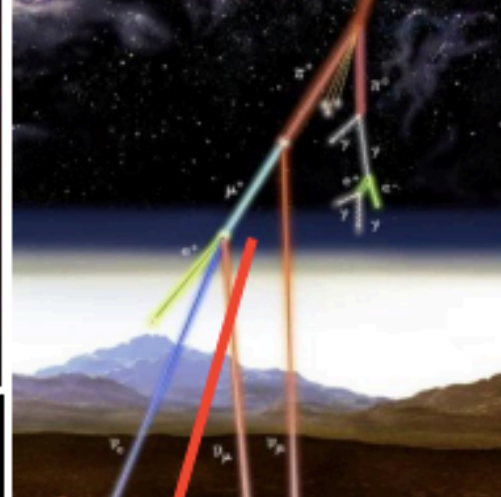
Hyper-Kamiokande (将来計画)



23 countries, 261 people (Oct.2015)

Hy

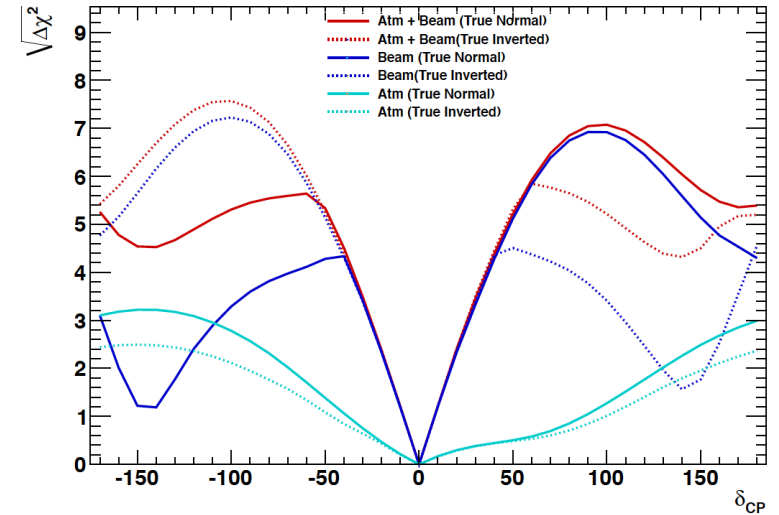
画)



- 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 ν +ビーム ν (江)

- T2KとSKで出来ない物理も可能

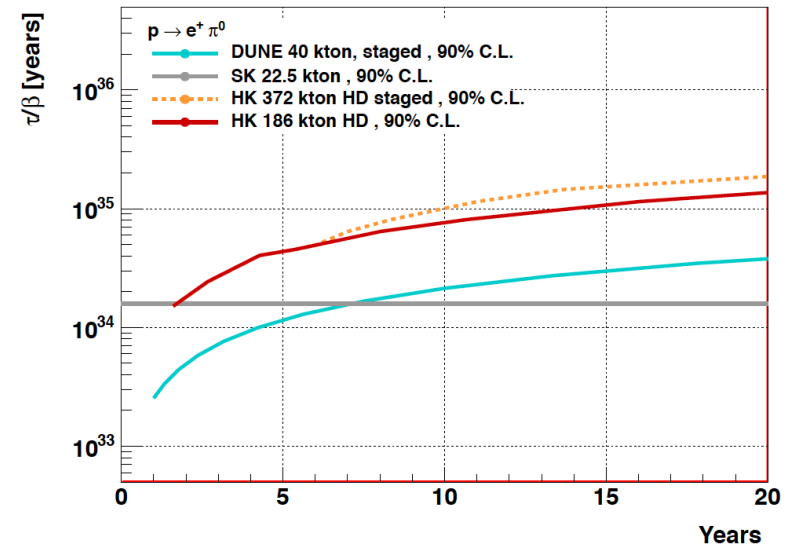
- ニュートリノ振動においてレプトン不変性の検証
- $\nu\tau$ 断面積測定
- 地球内部の電子濃度
- 等



- 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)

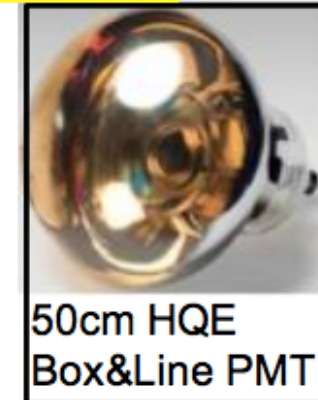


卒業までの流れ

- 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