

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
令和1年度版



主な研究目的

- ニュートリノ振動の完全な理解
 - CP破れの有無
 - ニュートリノ質量階層性
 - 混合パラメーターの精密測定

- 自然ニュートリノの観測
 - 大気ニュートリノ
 - 超新星爆発ニュートリノ
 - 超新星背景ニュートリノ

- 大統一理論の証明

- 上記と関連な測定

主な研究目的

- ニュートリノ振動の完全な理解
 - CP破れの有無
 - ニュートリノ質量階層性
 - 混合パラメーターの精密測定

- 自然ニュートリノの観測
 - 大気ニュートリノ
 - 超新星爆発ニュートリノ
 - 超新星背景ニュートリノ

- 大統一理論の証明

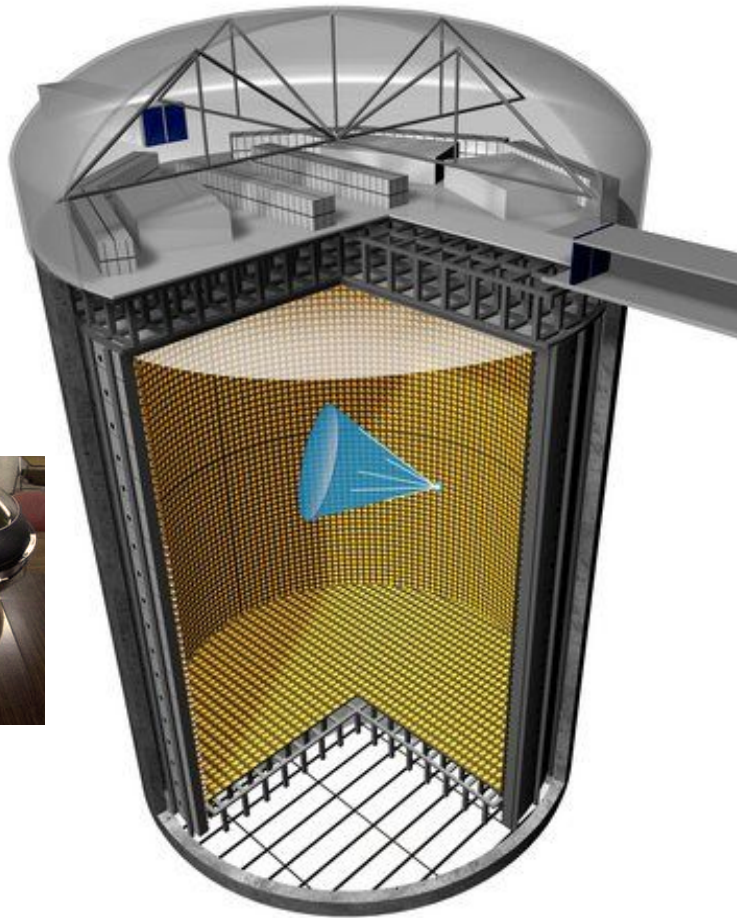
- 上記と関連な測定

ニュートリノと反ニュートリノ
それぞれの振る舞えを測定

バックグラウンドを削減、再構成パフォーマンスを向上

系統誤差を減らす

Super-Kamiokande: Introduction

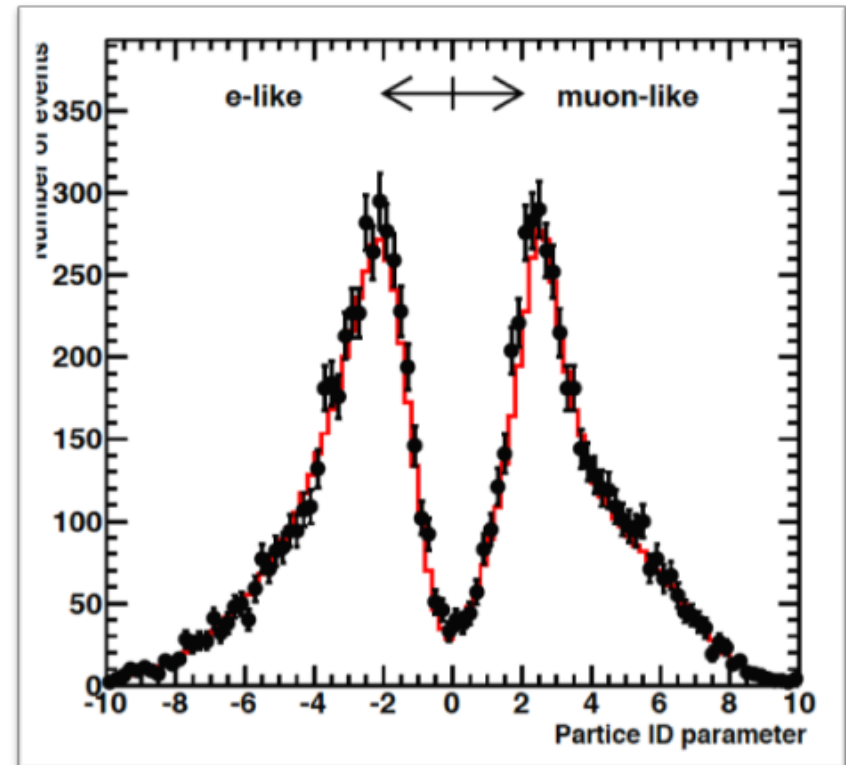


- 5万トンの超純水
- 22.5 kton 有効体積
 - 内部検出器 11,146 20" PMTs
 - 外部検出器 1885 8" PMTs
- 優れている粒子識別 (PID)
 - ミューを間違っ「電子」と識別する確率が < 1% MIS ID at 1 GeV
- 多目的の実験



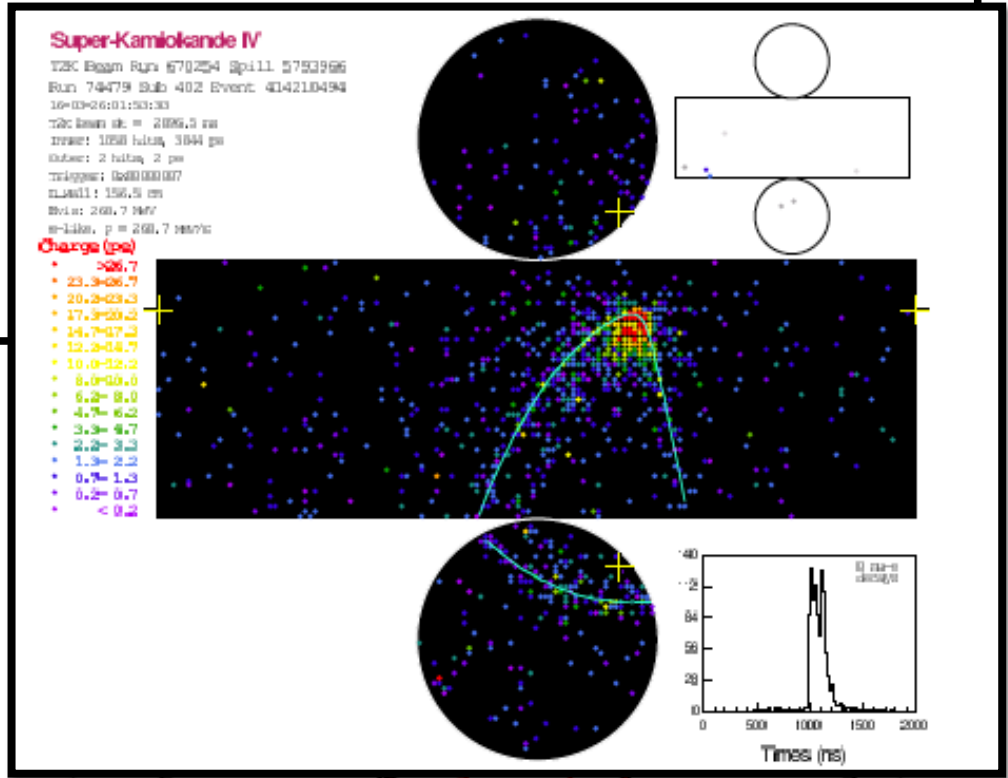
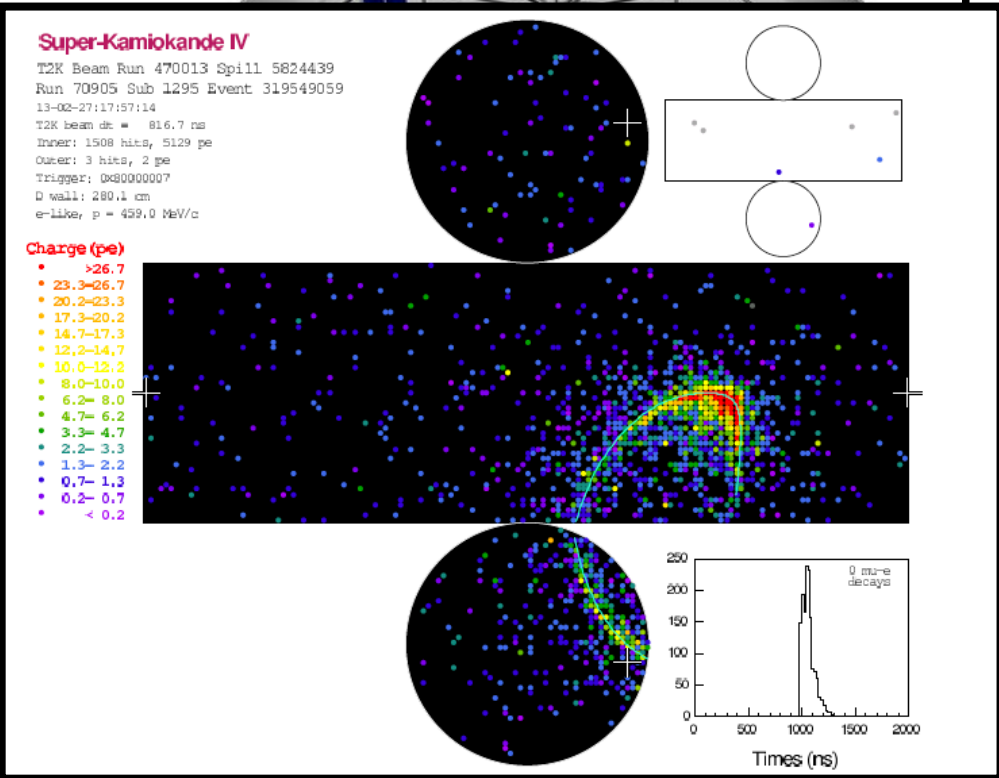
Four Run Periods:
SK-I (1996-2001) SK-II (2003-2005)
SK-III (2005-2008) **SK-IV (2008-2018)**

Upgrade Complete Now operating as SK-V !!



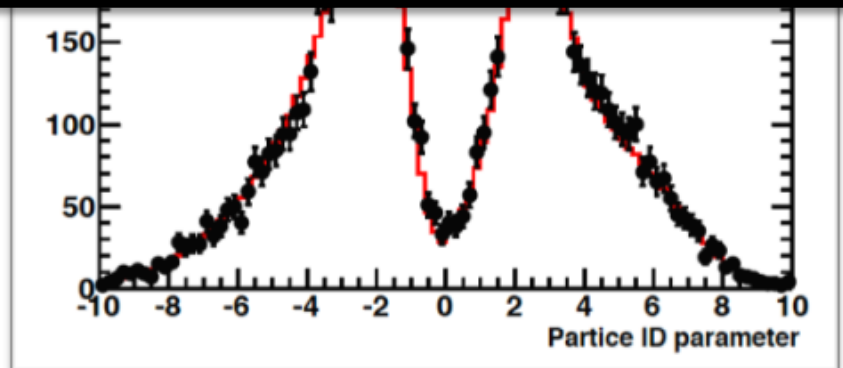
Neutrino, Antineutrino?

20" PMTs

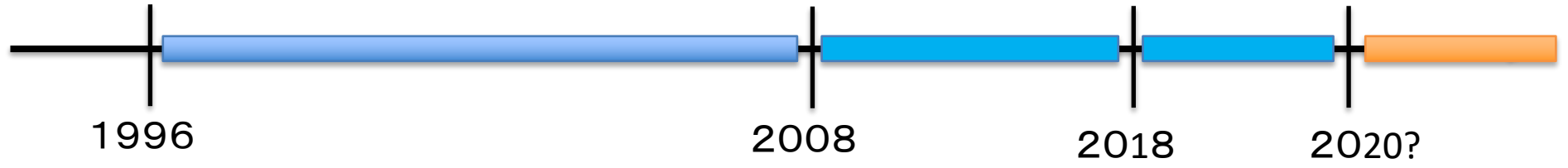


Four Run Periods:
 SK-I (1996-2001) SK-II (2003-2005)
 SK-III (2005-2008) **SK-IV (2008-2018)**

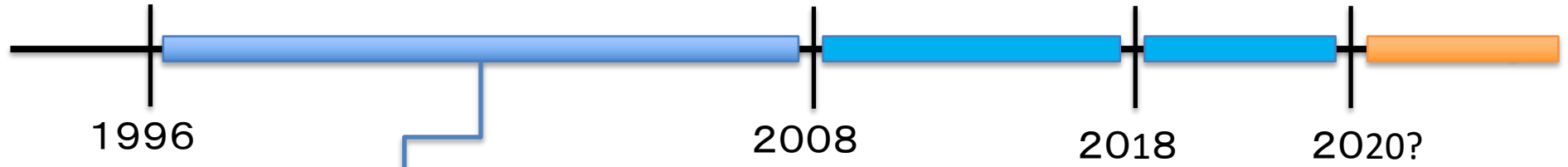
Upgrade Complete Now operating as SK-V !!



スーパーカミオカンデと中性子

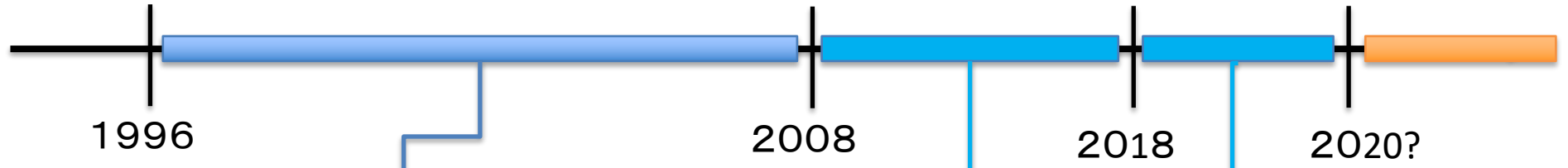


スーパーカミオカンデと中性子



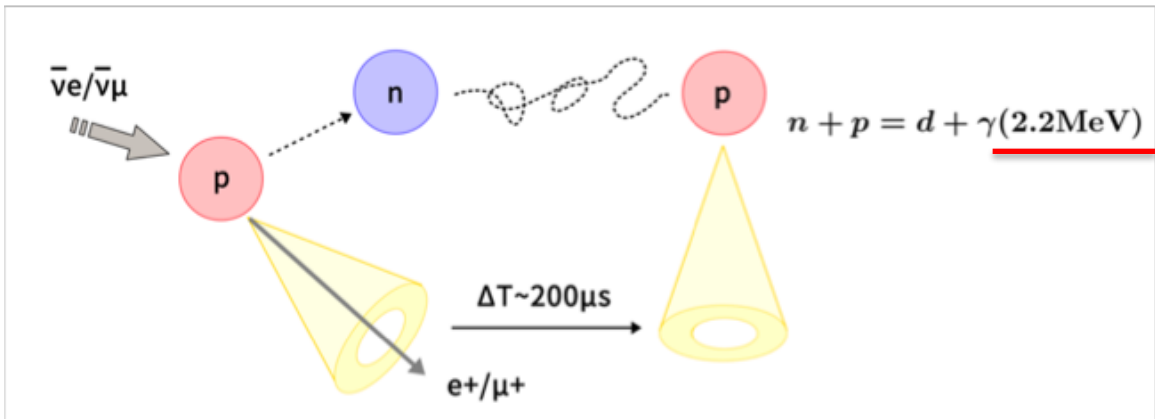
超純水：エレキの性能で、中性子情報なし

スーパーカミオカンデと中性子

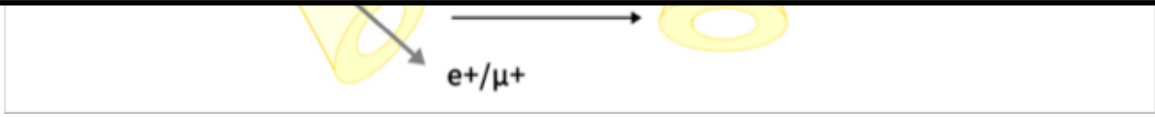
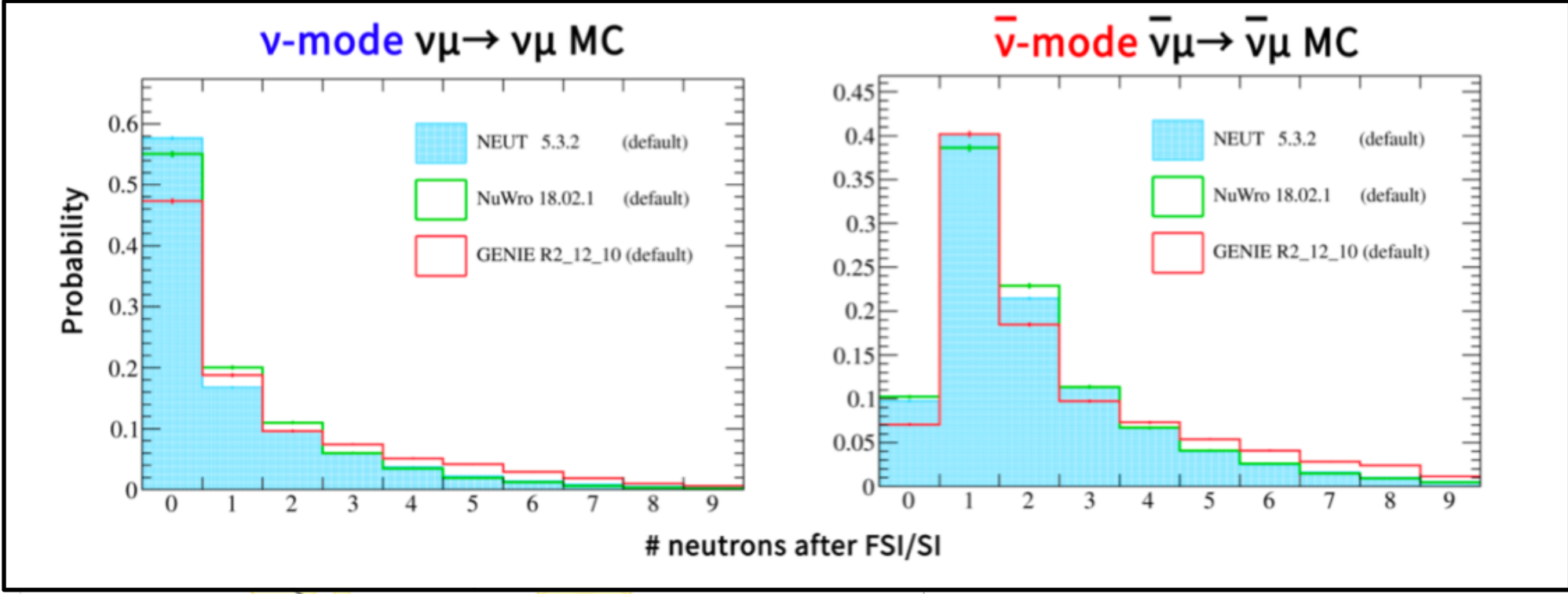
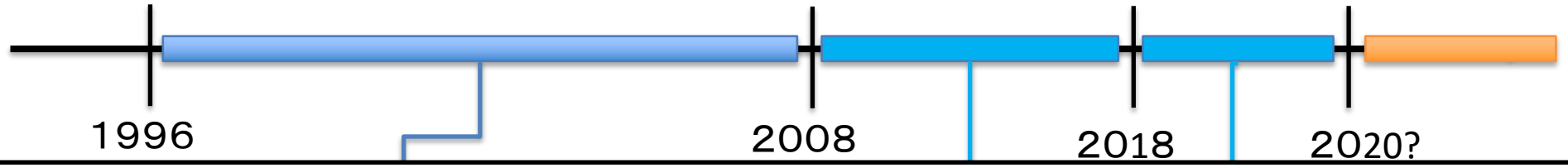


超純水：エレキの性能で、中性子情報なし

超純水：エレキの性能を向上、
中性子情報あるが検出効率が20%

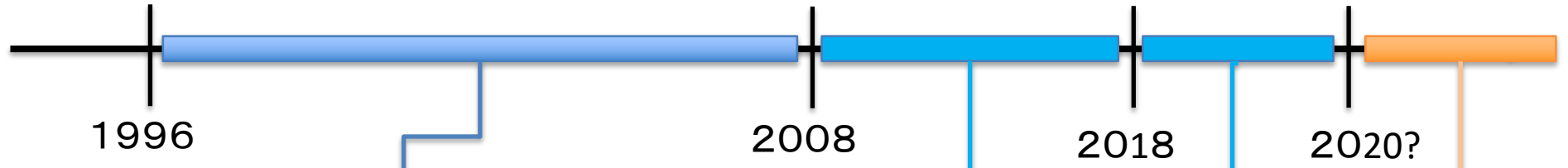


スーパーカミオカンデと中性子



スーパーカミオカンデと中性子

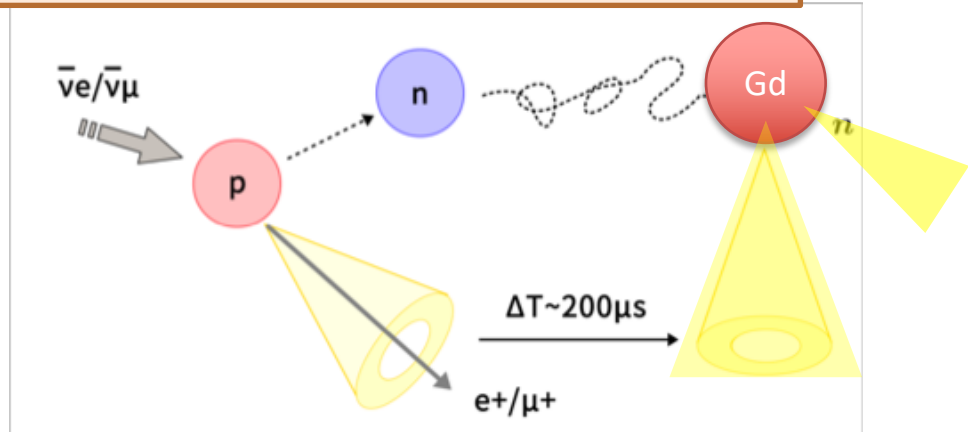
SK-Gd



1996
超純水：エレキの性能で、中性子情報なし

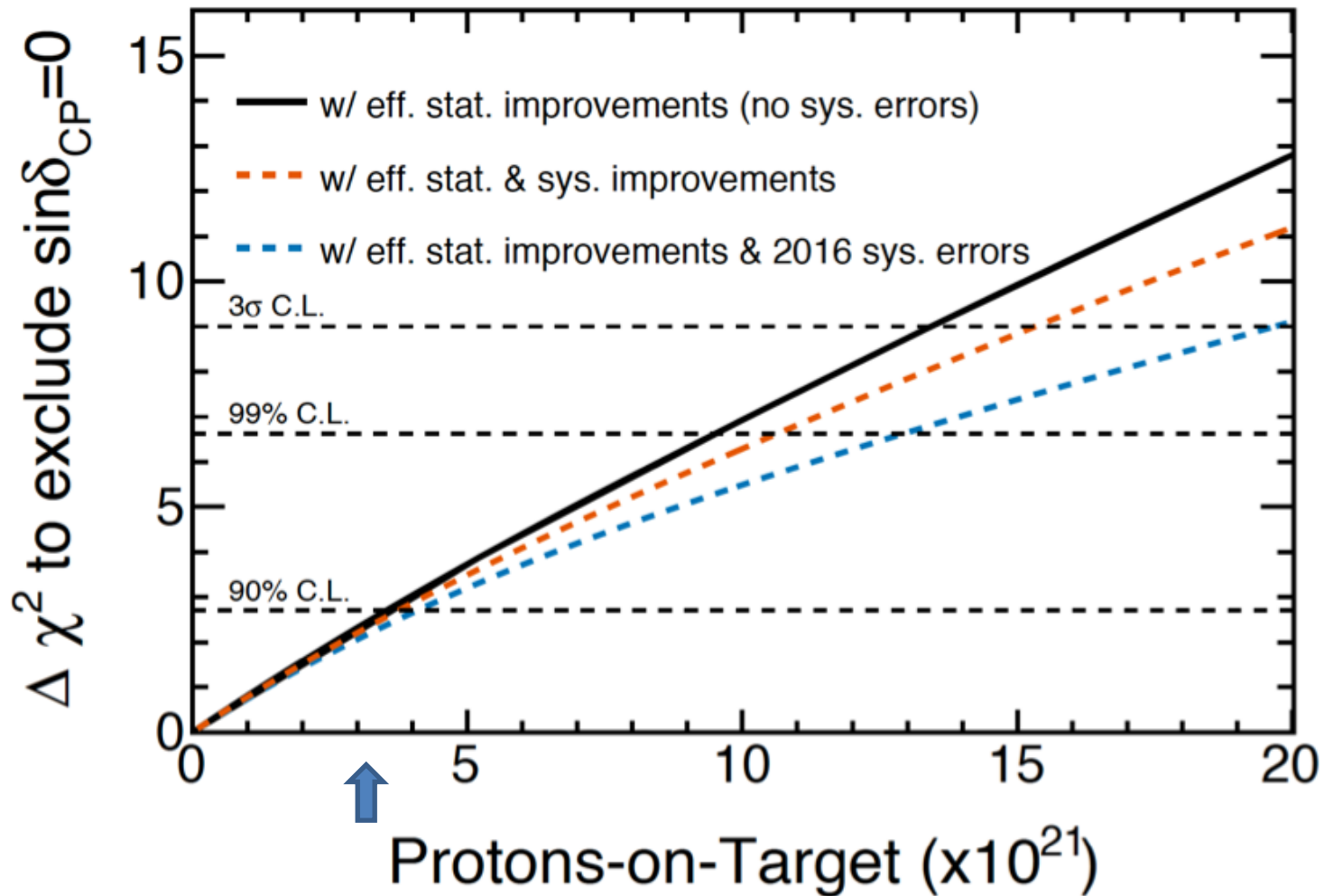
2008
超純水：エレキの性能を向上、
中性子情報あるが検出効率が20%

2018
2020?
Gd+超純水：中性子情報ある、検出効率が80%



複数γ、~8 Mev

T2K 関連



- SK側で解析可能な統計量を増やす
- 検出器反応に伴う系統誤差を削減

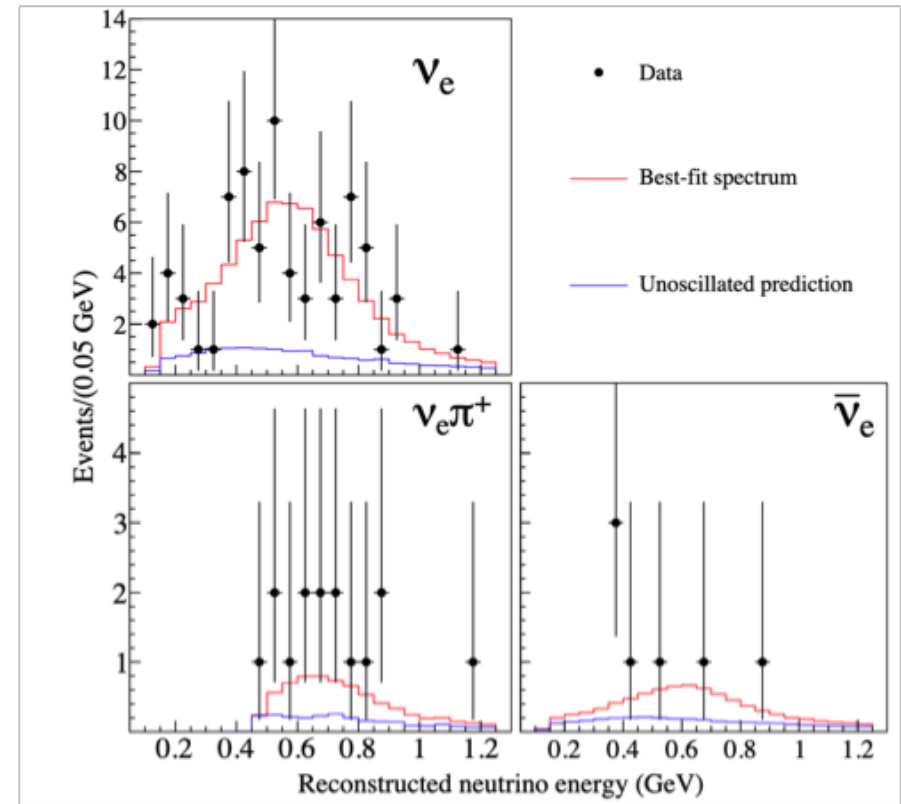
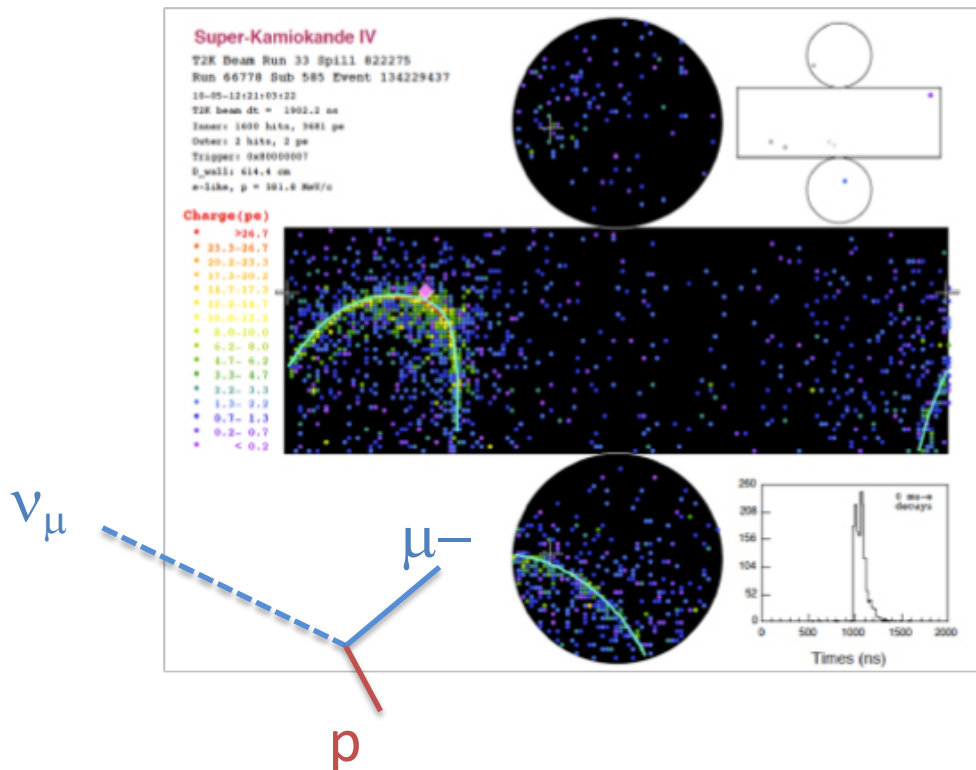
T2K-SK ワーキンググループ

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

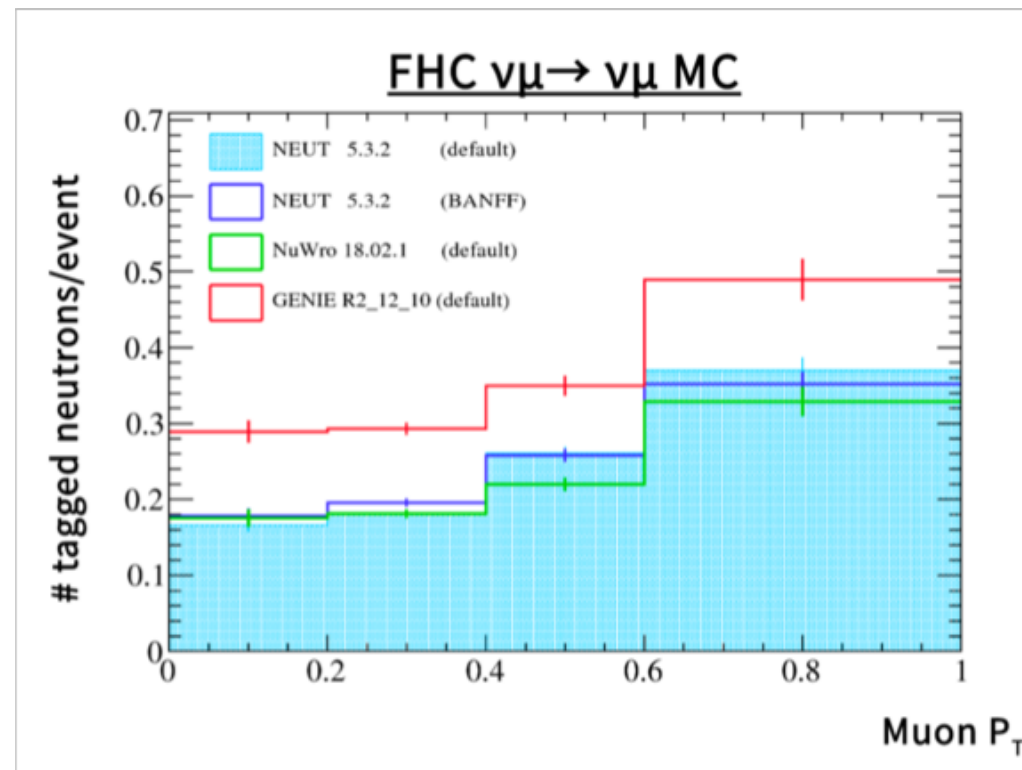
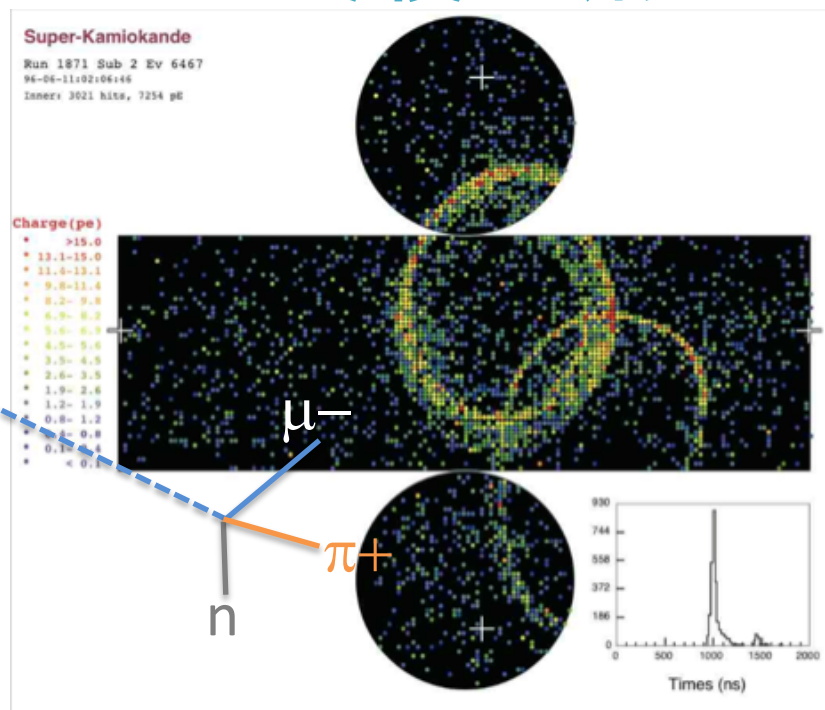
- SKにおいてのT2Kビームデータの責任
- SK側のGPS時間情報の管理
- SKの再構成アルゴリズムの検証、安定性
- データのクオリティ

■ データサンプルを定義し、系統誤差をつける

再構成した荷電粒子は一つしかないサンプル



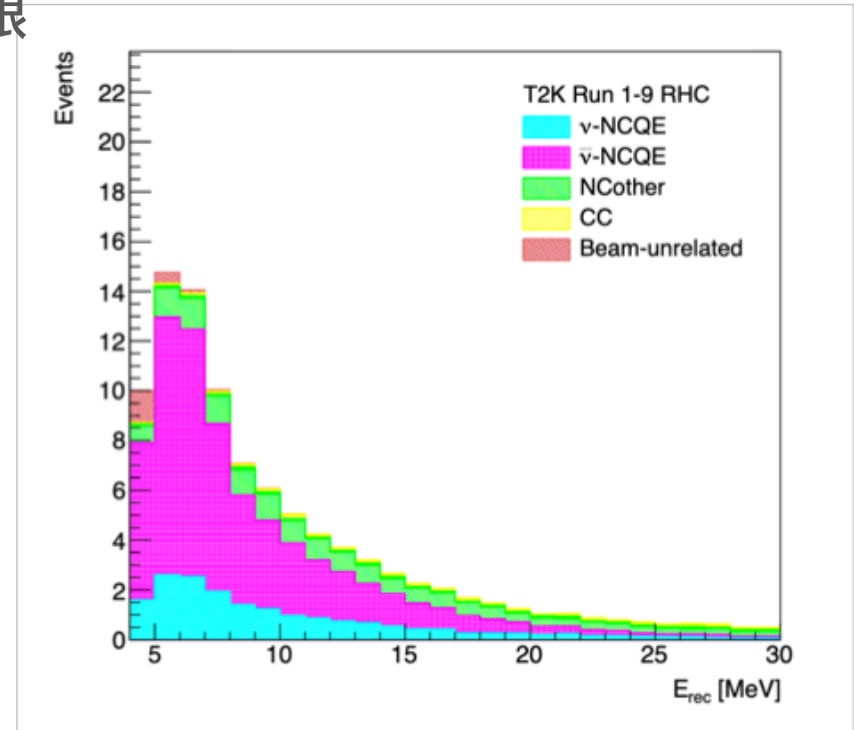
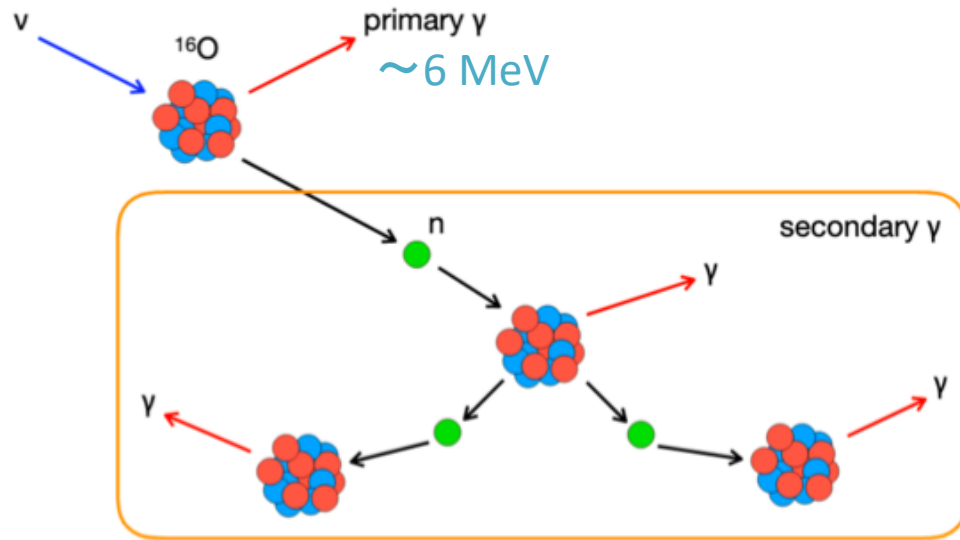
T2K-SK : 今後の研究



- 新しい再構成アルゴリズム (fiTQun)を導入し、有効体積を拡大に成功 (2017)
 - さらにパフォーマンスを向上
- 複数の粒子が生成された事象を使用！
 - さらに統計量が増える
 - 系統誤差の評価??
- 中性子情報を使った解析を進める
 - ニュートリノと反ニュートリノの識別
 - 中性カレントの事象を探し出す？
 - 中性子数の精密測定 (ニュートリノ反応モデルの改善)

- T2Kを使って数 100 MeVのニュートリノと水との中性カレント弾性散乱

- 世界初めて、反ニュートリノで測定予定
- 超新星背景ニュートリノのBG過程に制限



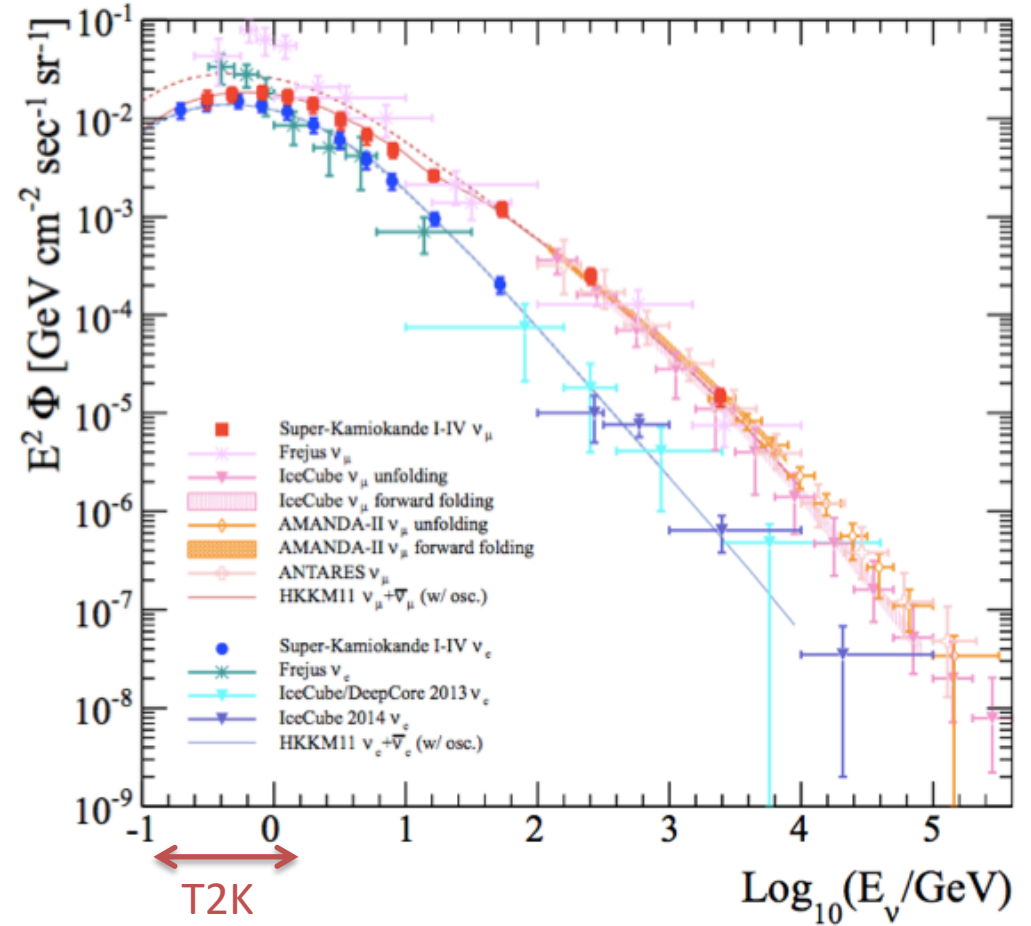
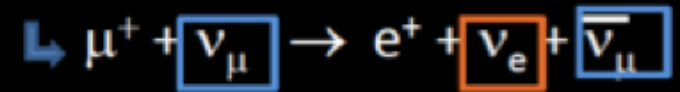
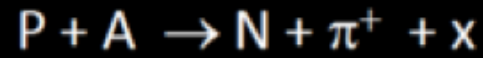
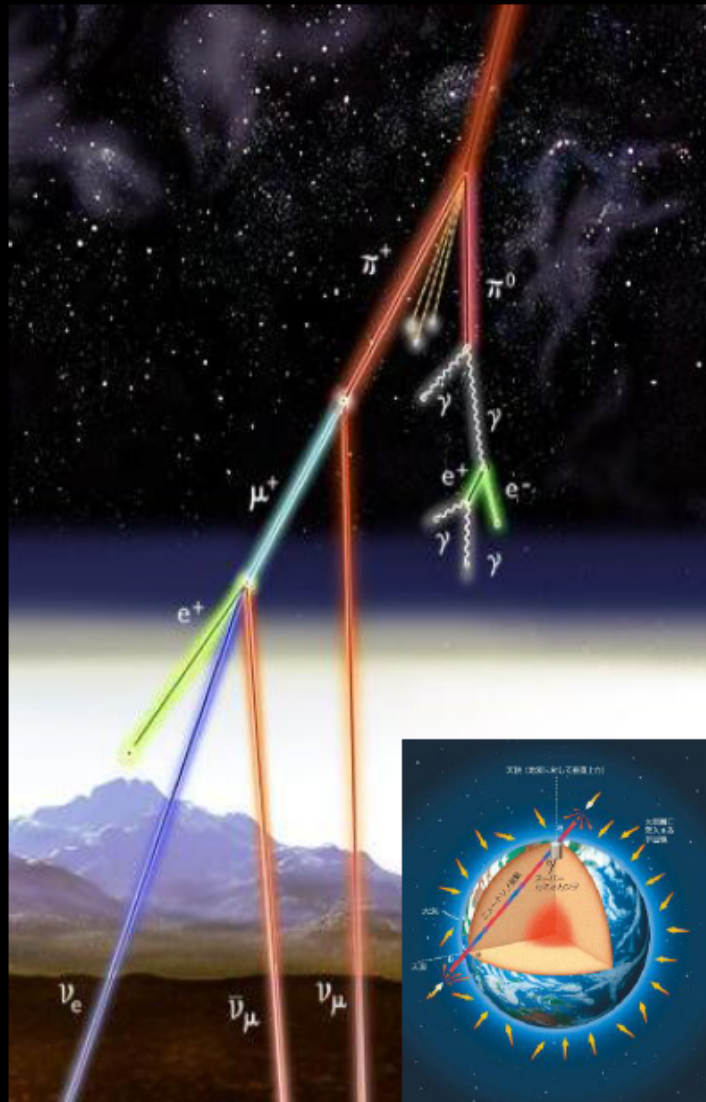
- 原子核物理と素粒子物理両方楽しめる
- 今後は
 - 中性子情報を導入
 - NC 1π 散乱に制限??
 - 統計量を増やす

スーパーカミオカンデ：大気ニュートリノ

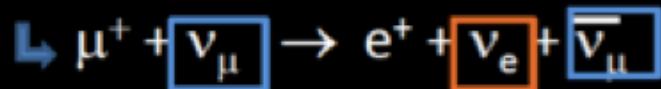
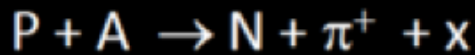
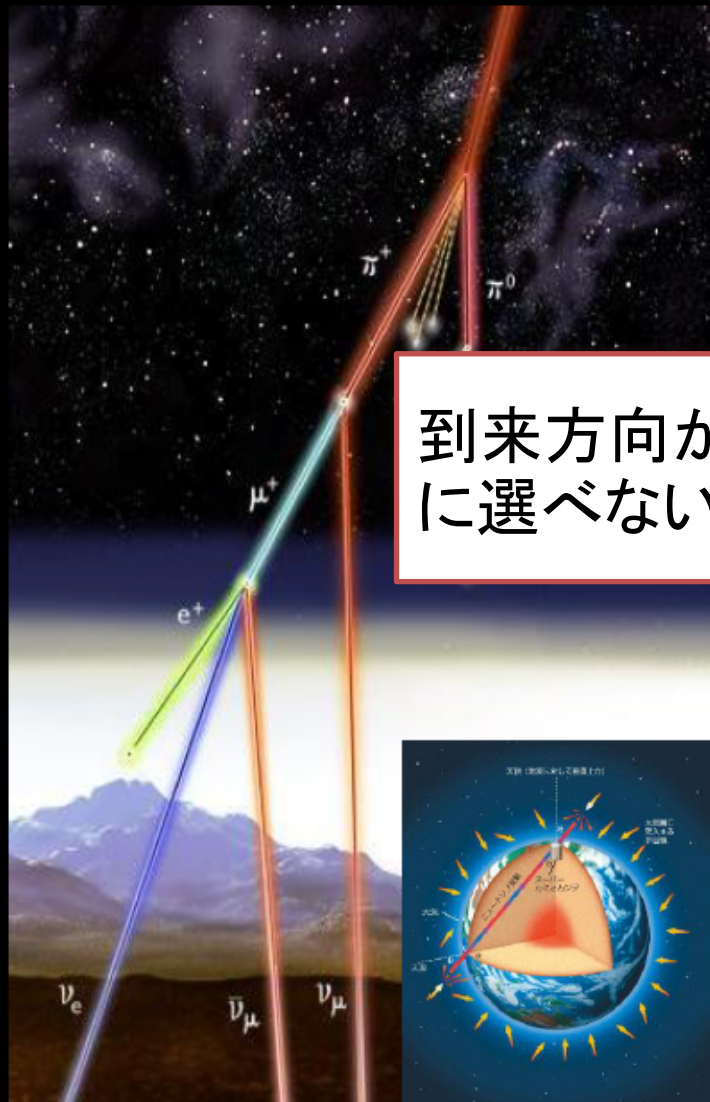
$E > 100 \text{ MeV}$

- PMNSニュートリノ振動
- Exotic ニュートリノ振動
 - ステラいるニュートリノ
 - NSI
 - ローレンツ対称性を破るニュートリノ
 - . . .
- 暗黒物質探索
- 重力波などとのCoincidence探索

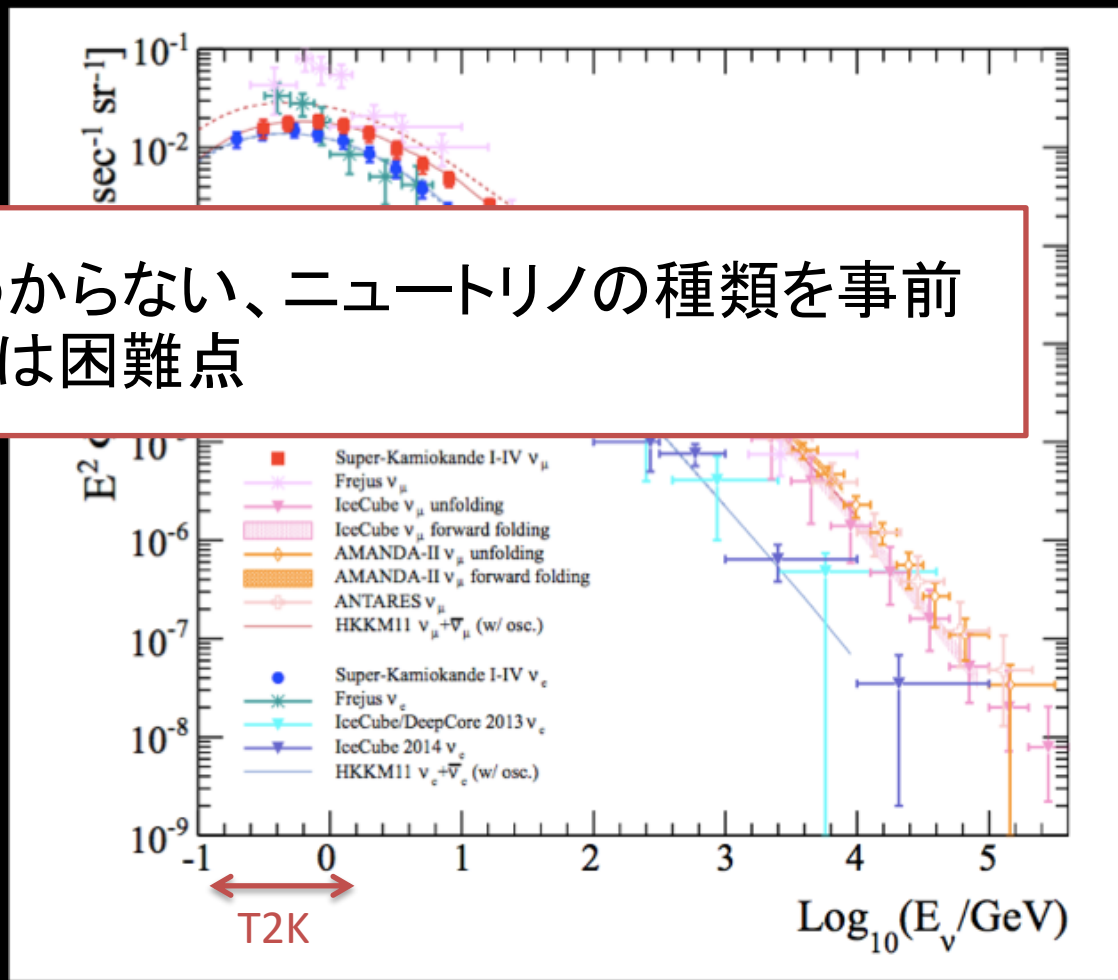
SKの大気ニュートリノ



SKの大気ニュートリノ

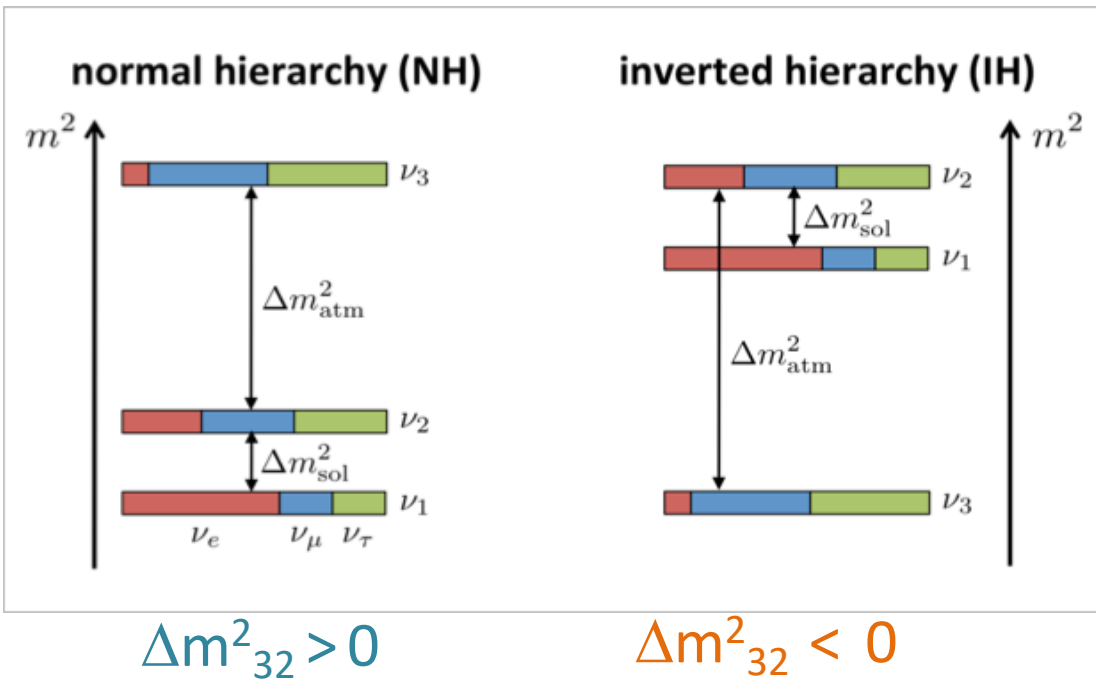


到来方向がわからない、ニュートリノの種類を事前に選べないのは困難点

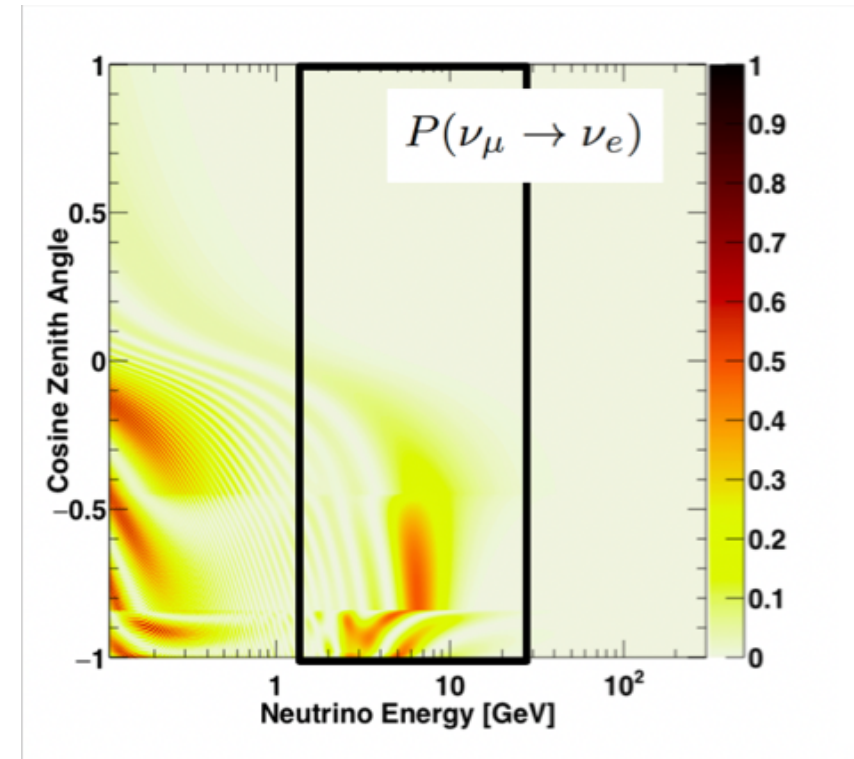


大気ニュートリノで測定

階層性が未決定



NH:ニュートリノの場合

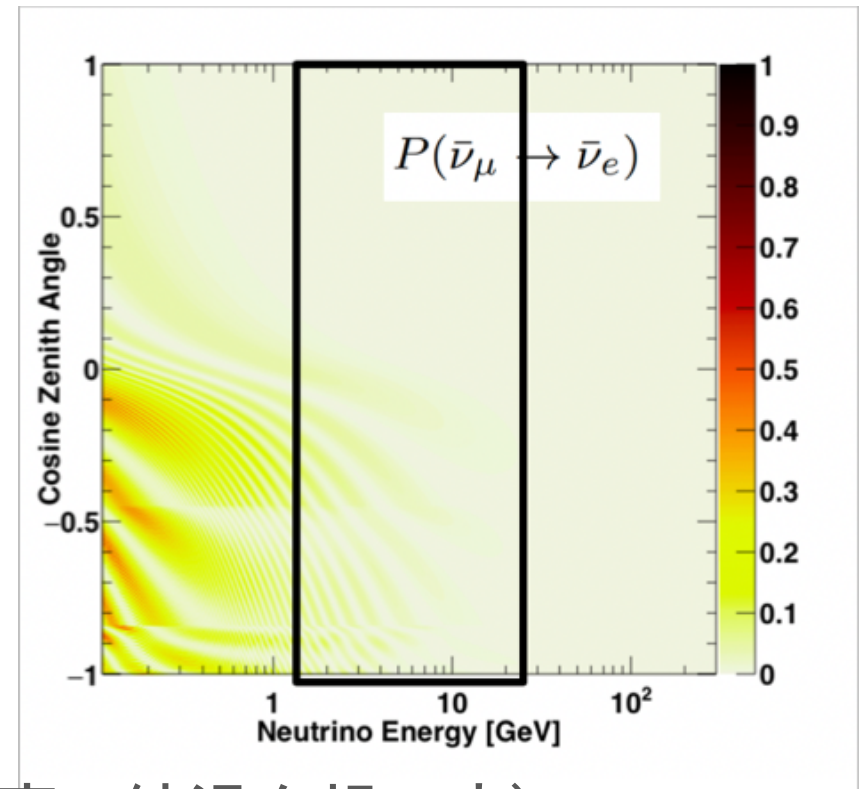
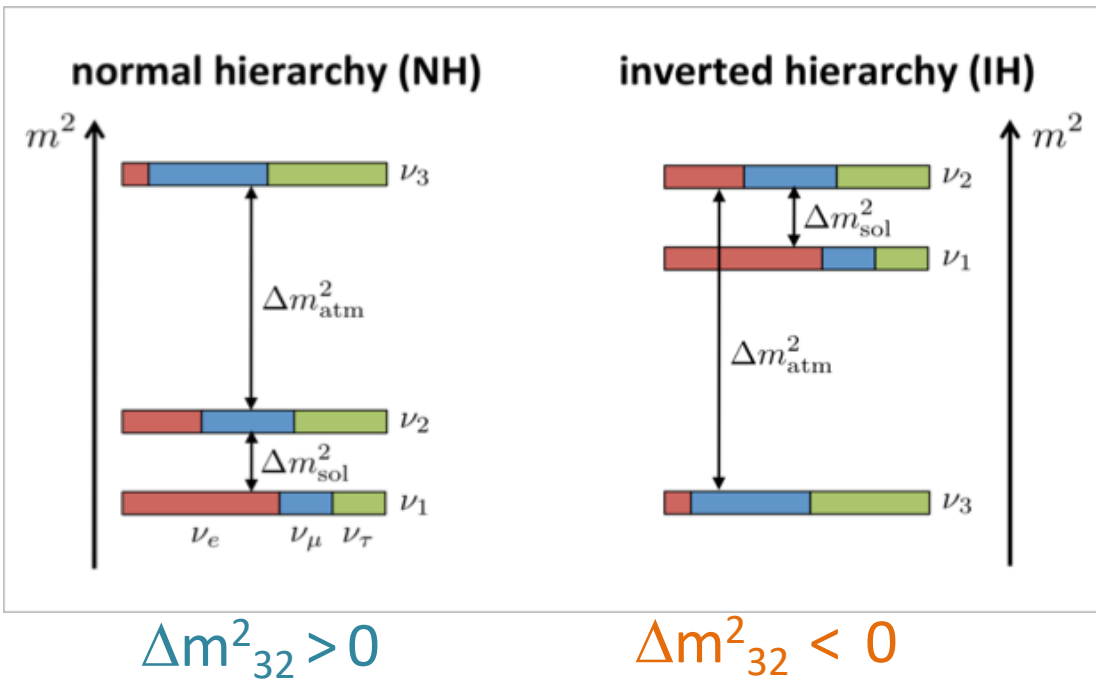


- 質量階層性はCP測定の邪魔（振動確率の縮退を起こす）
 - 大統一理論と関係している
- 大気ニュートリノと反ニュートリノの振動が質量階層性に依存
- 関連領域において再構成が難しい

大気ニュートリノで測定

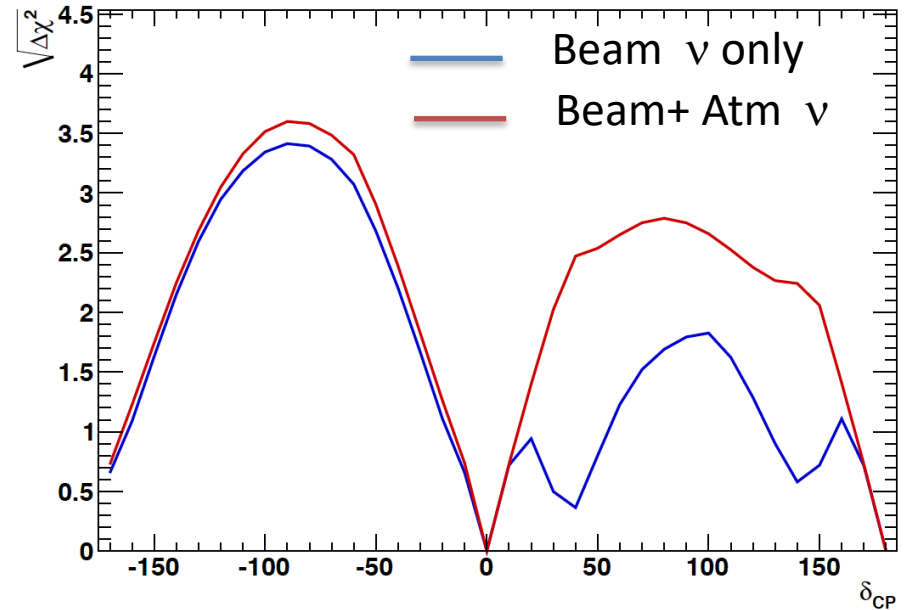
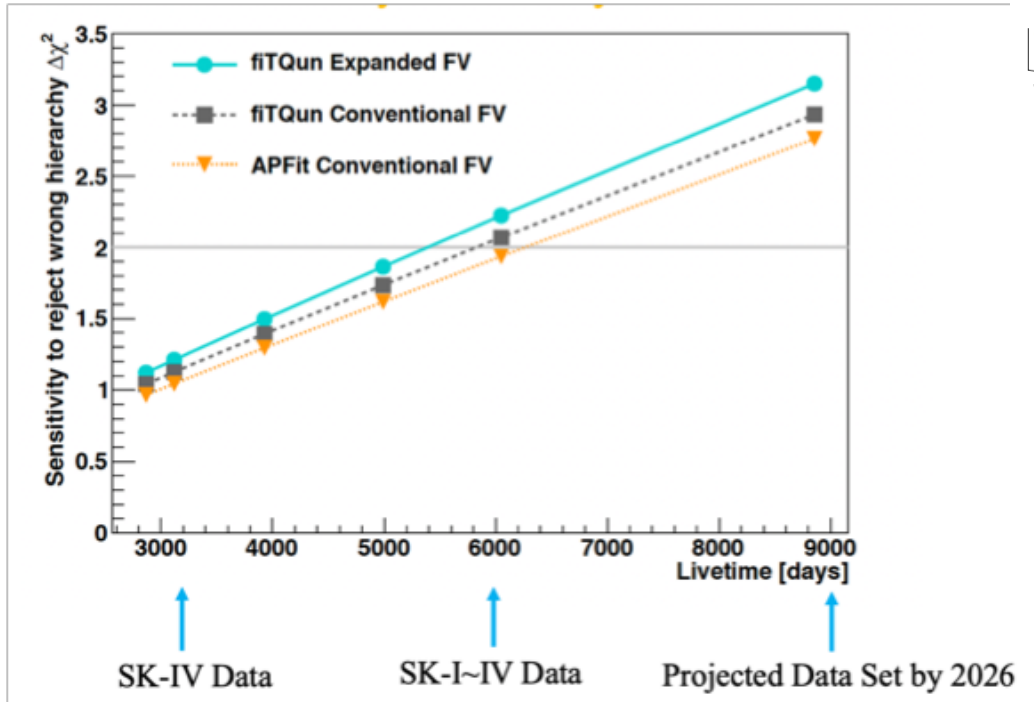
階層性が未決定

NH: 反ニュートリノの場合



- 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
- 大気ニュートリノと反ニュートリノの振動が質量階層性に依存
- 関連領域において再構成が難しい

大気ニュートリノ解析

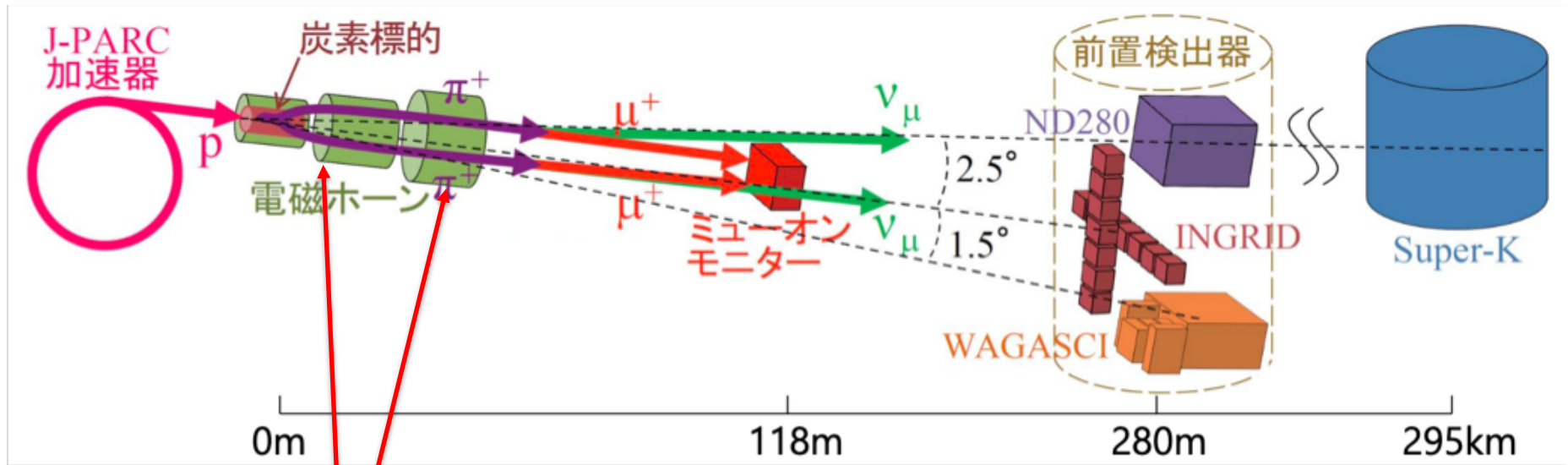


- 新しい事象再構成ツールを導入し、SKの感度向上に成功！
 - ただし、一部のデータにしか適応出来ていない
 - 今後は全データを使いたい！
 - 中性子タッグによるニュートリノと反ニュートリノを識別！

- SKとT2Kと共同で解析すると、CP破れ感度が向上
 - SKの感度は主に、質量階層性へ
 - T2Kは主に、CPへ

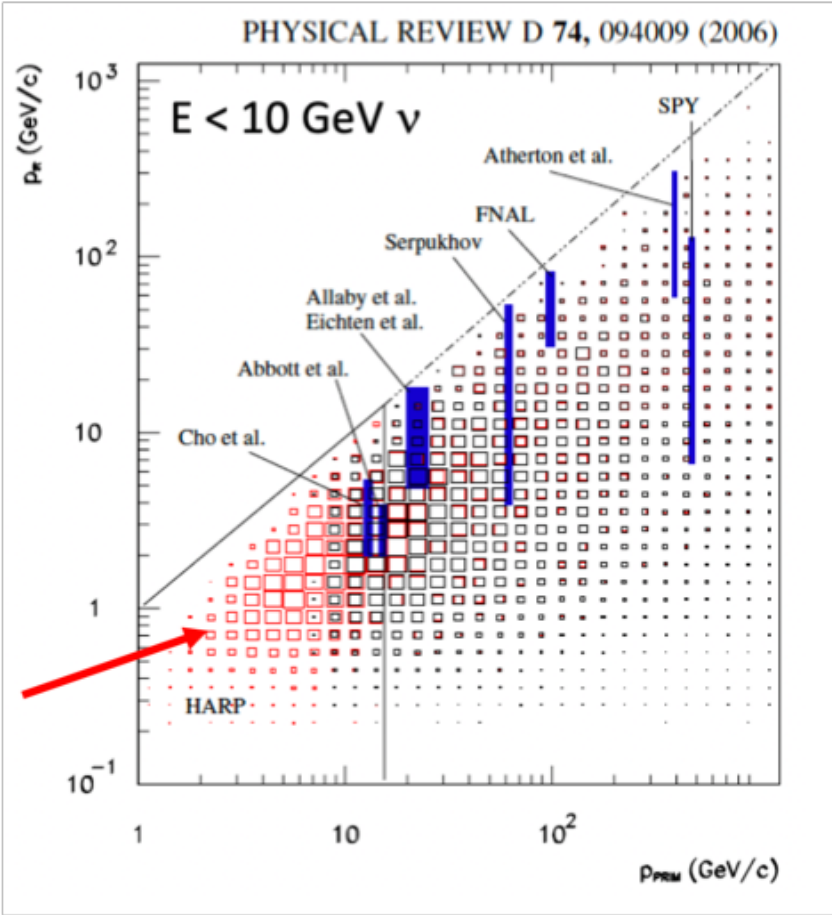
関連研究

ニュートリノフラック予測：

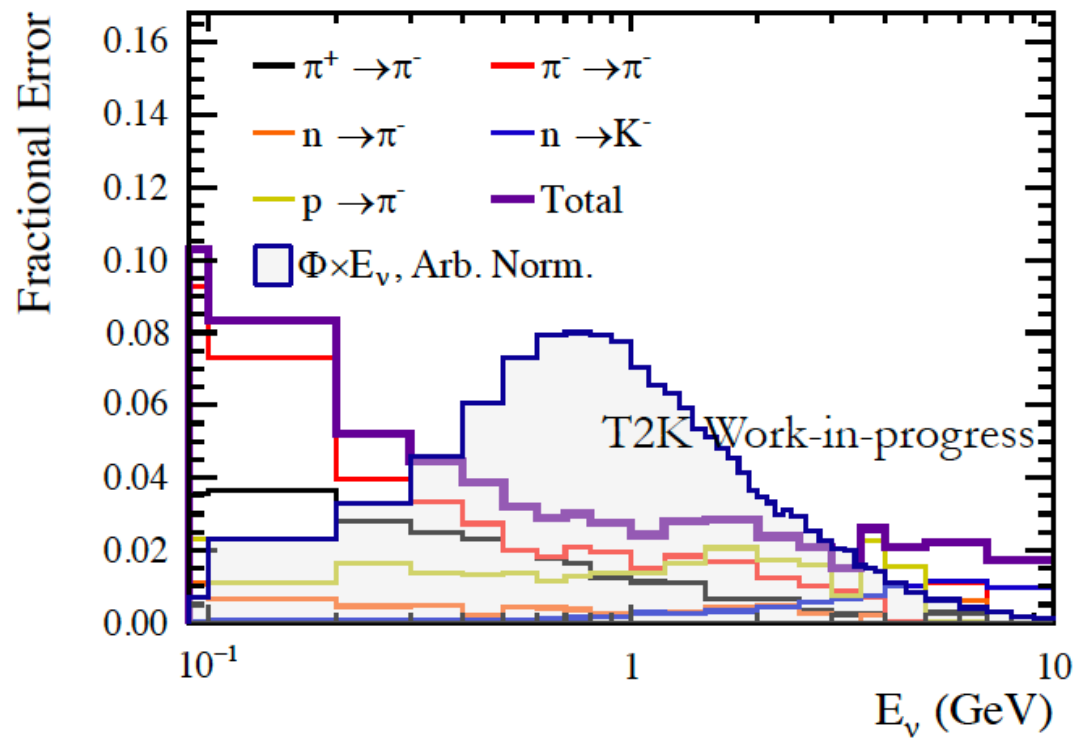


- パイオンが崩壊する前に物質と反応すると
 - エネルギー損失
 - 方向変更
 - 二次粒子
 - …などご起こるため、ニュートリノフラックスに影響を
- 外部実験の測定により、制限をかけている

ニュートリノフラック予測：不訂正

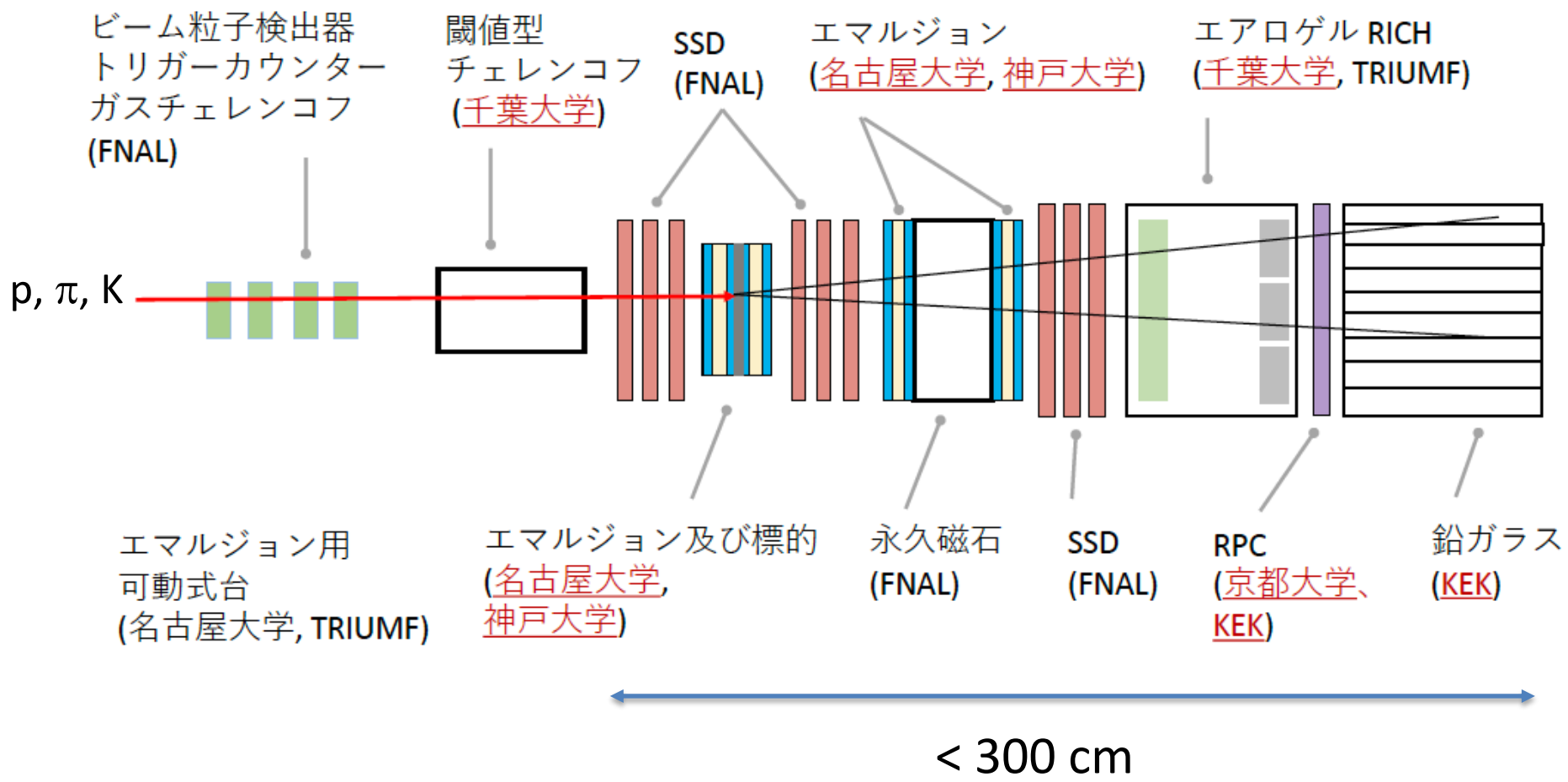


FHC wrong-sign ($\bar{\nu}_\mu$)



- 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
- 低運動量の粒子により生成されているニュートリノには大きな不訂正がまだついている

関連研究: EMPHATIC (FNAL・米国)



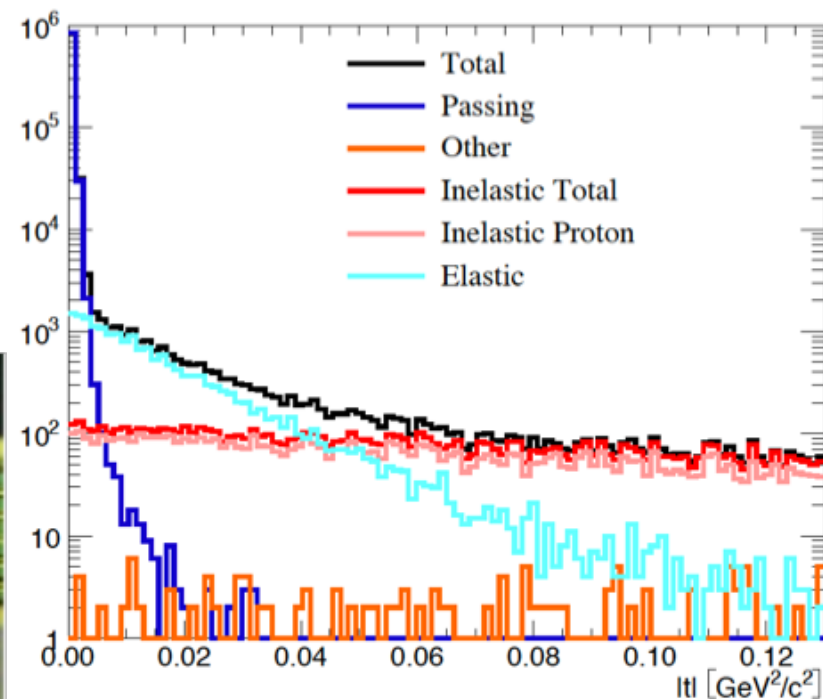
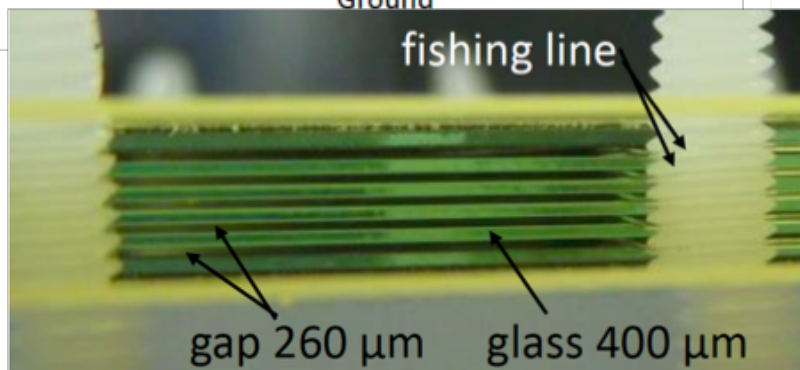
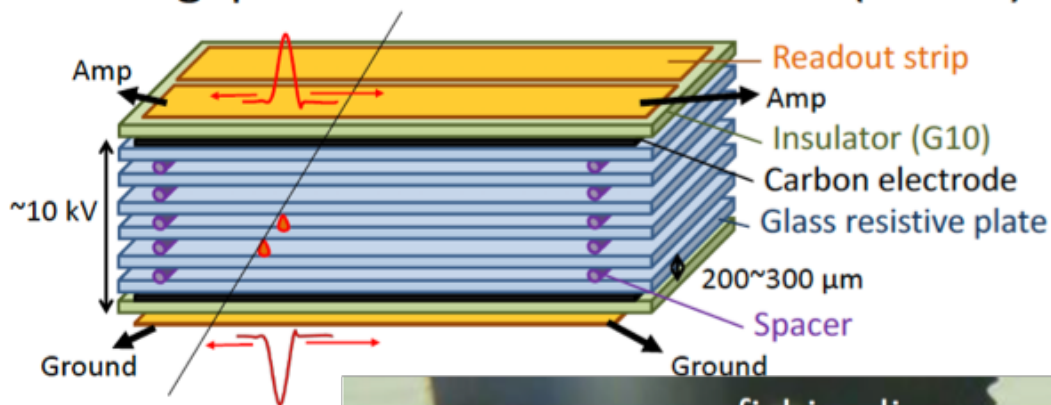
- 陽子ビームと様々な標的を使って精密にハドロン散乱・生成断面積を計る
 - FNALの1~120 GeV/c の 粒子
 - 2~3年で測定

EMPHATIC:

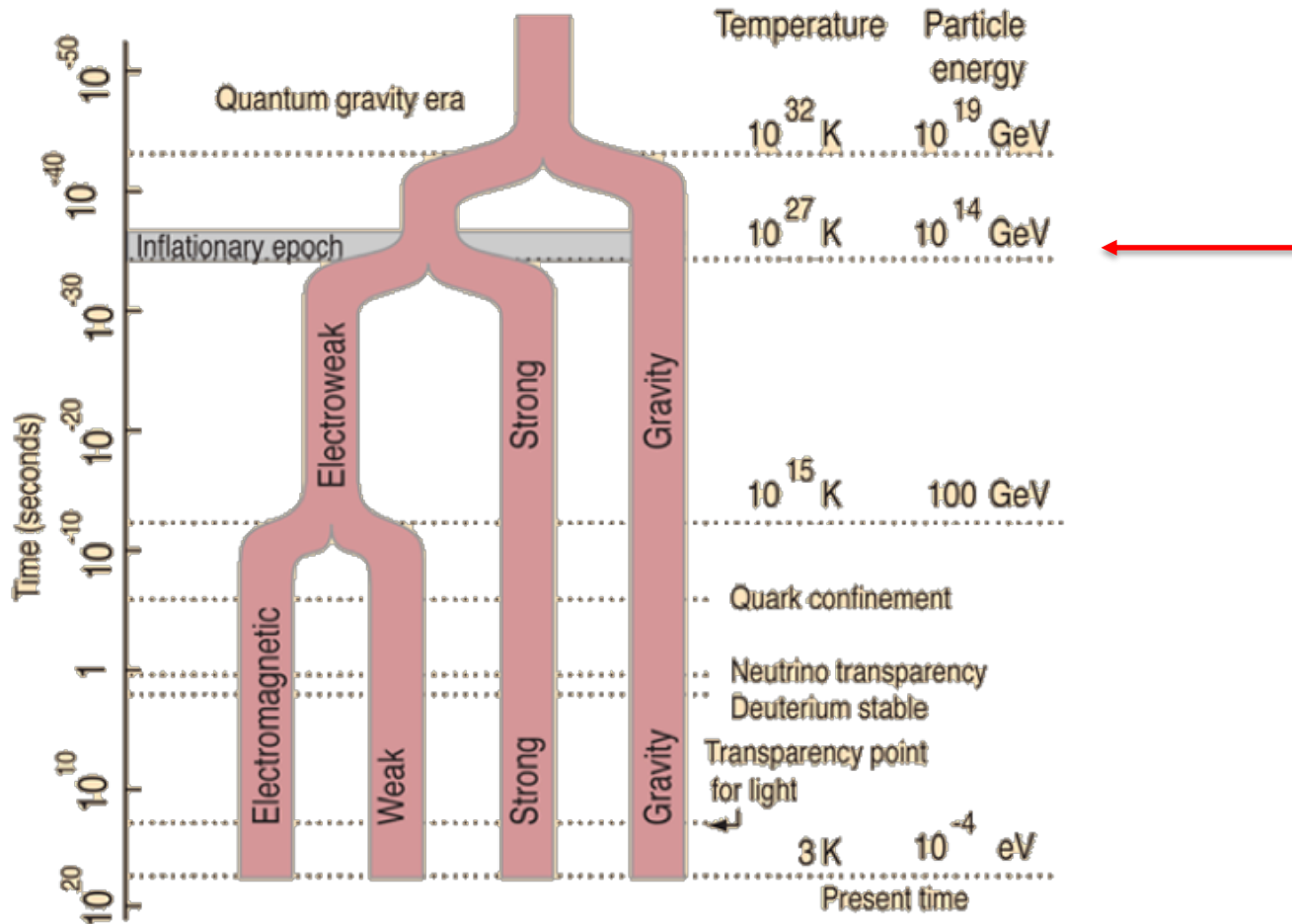
- 京大は、
 - 阪大のE50グループと共同でRPCを作成予定
 - R1年度：エレキ開発、アンプの検証、試作機作成
 - シミュレーション構築とデータ解析

- 測定はR1年度とR2年度でFNALで行う予定で、今から実験準備

Multi-gap Resistive Plate Chamber (MRPC)

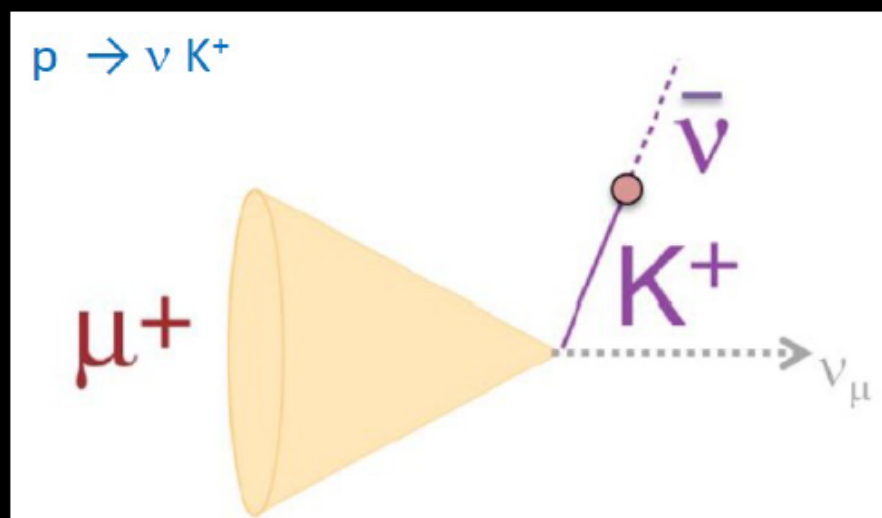
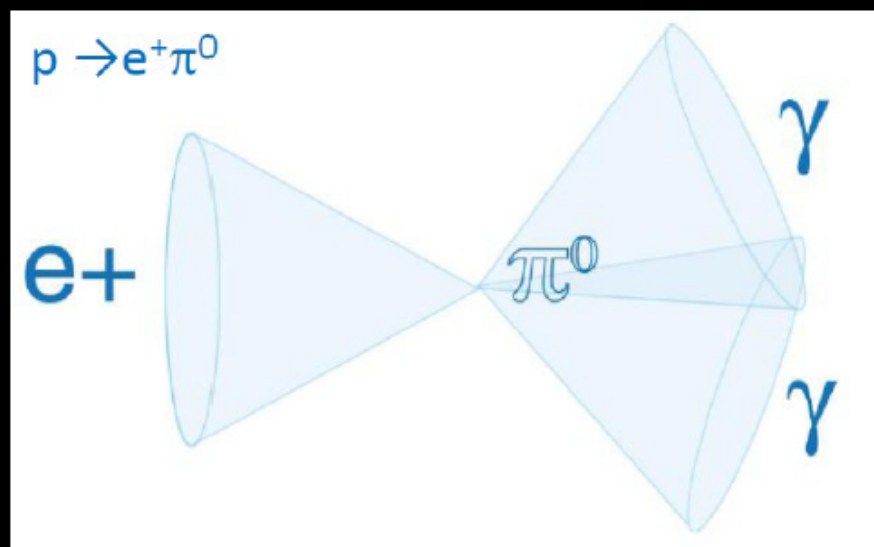


スーパーカミオカンデ：陽子崩壊

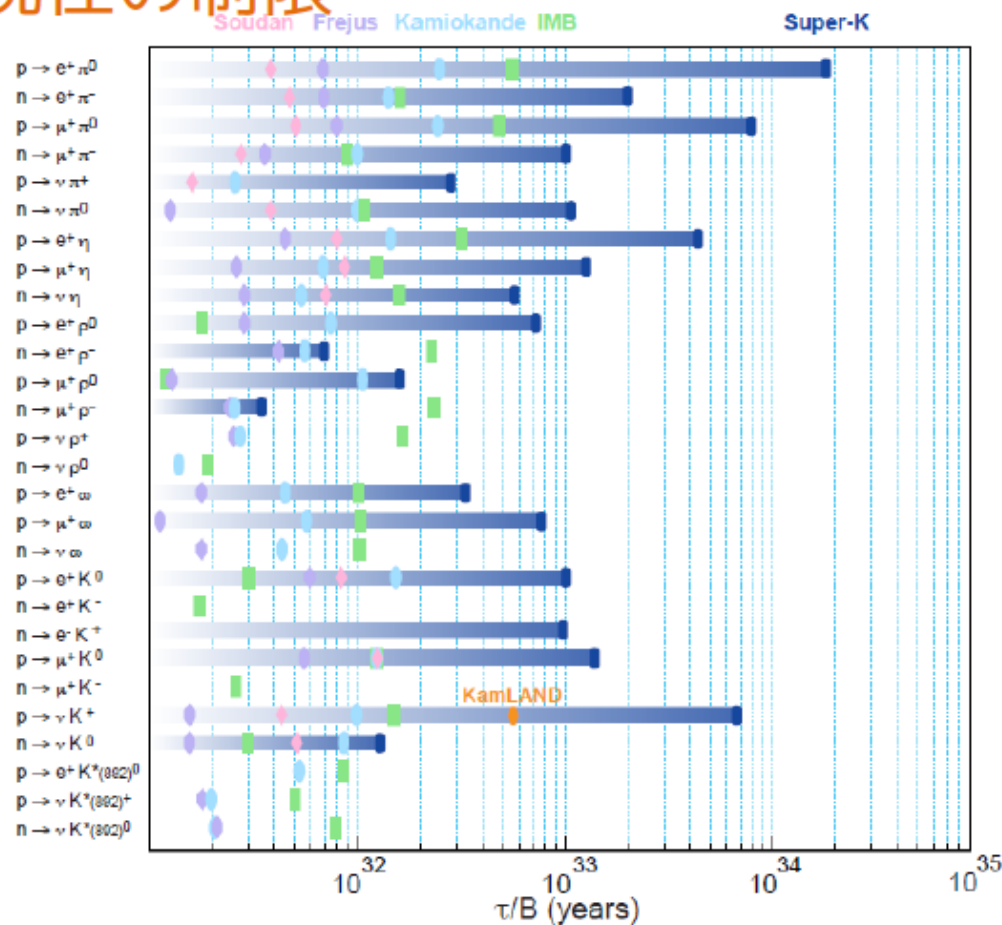


陽子崩壊

- 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

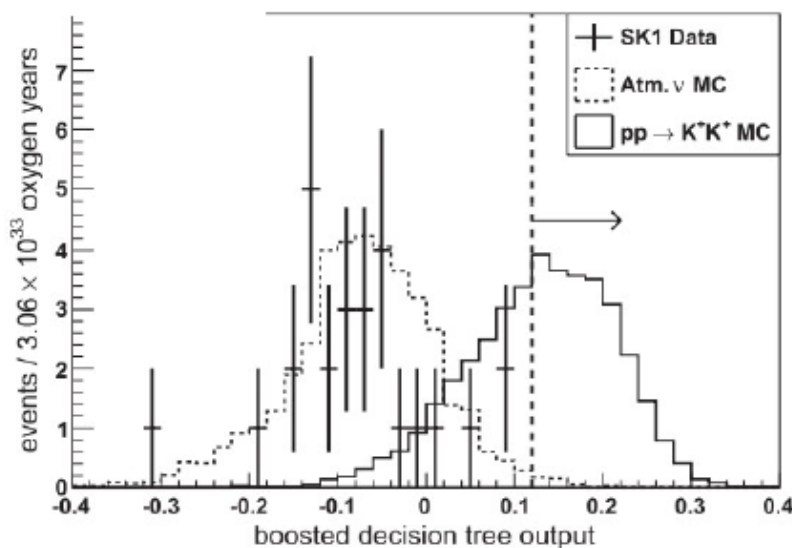


現在の制限



- 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

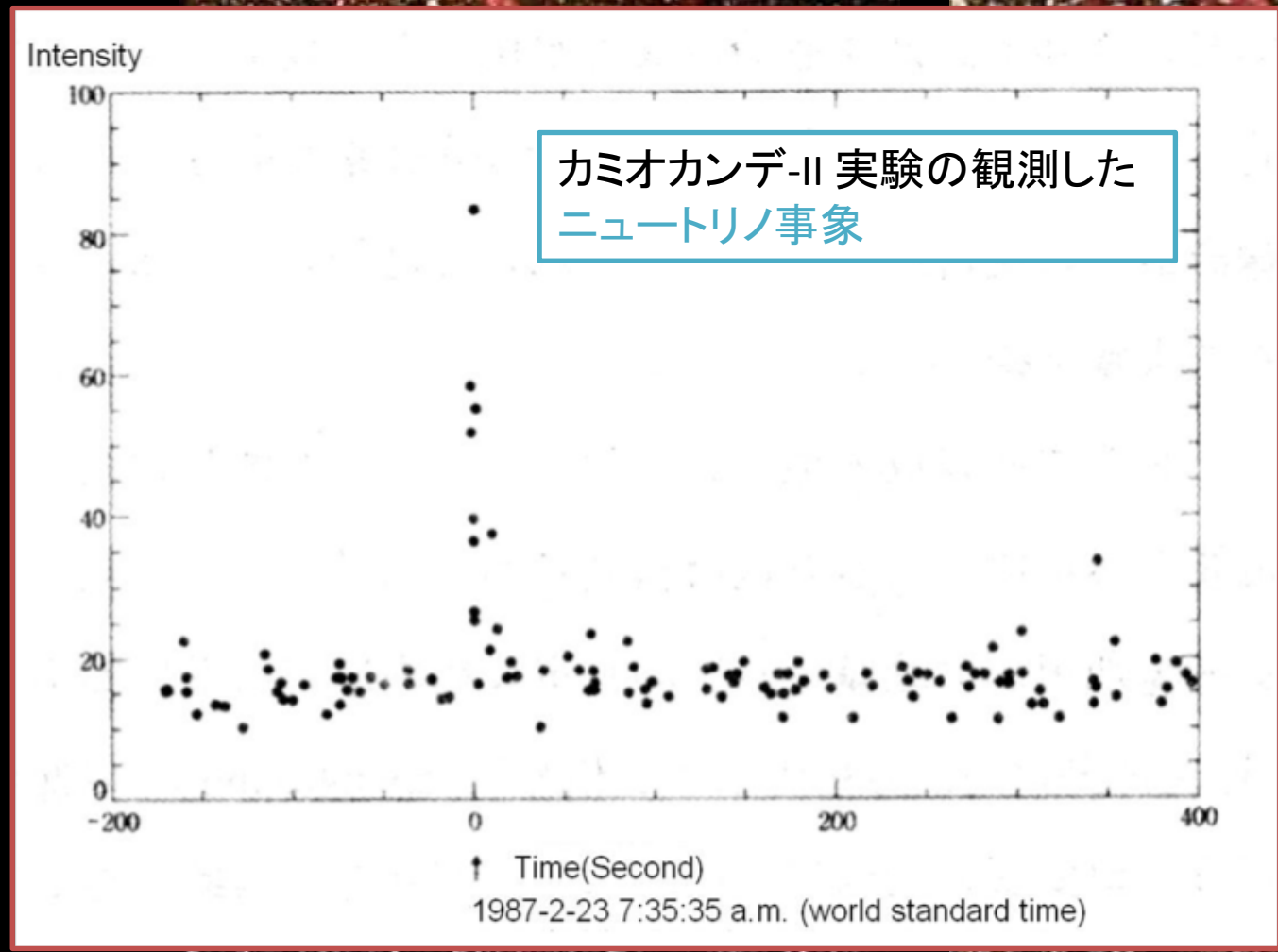
スーパーカミオカンデ：低エネルギー

$E < 50 \text{ MeV}$

- 太陽ニュートリノ振動
- 超新星ニュートリノ
- ラドン研究
- Astrophysicalニュートリノ

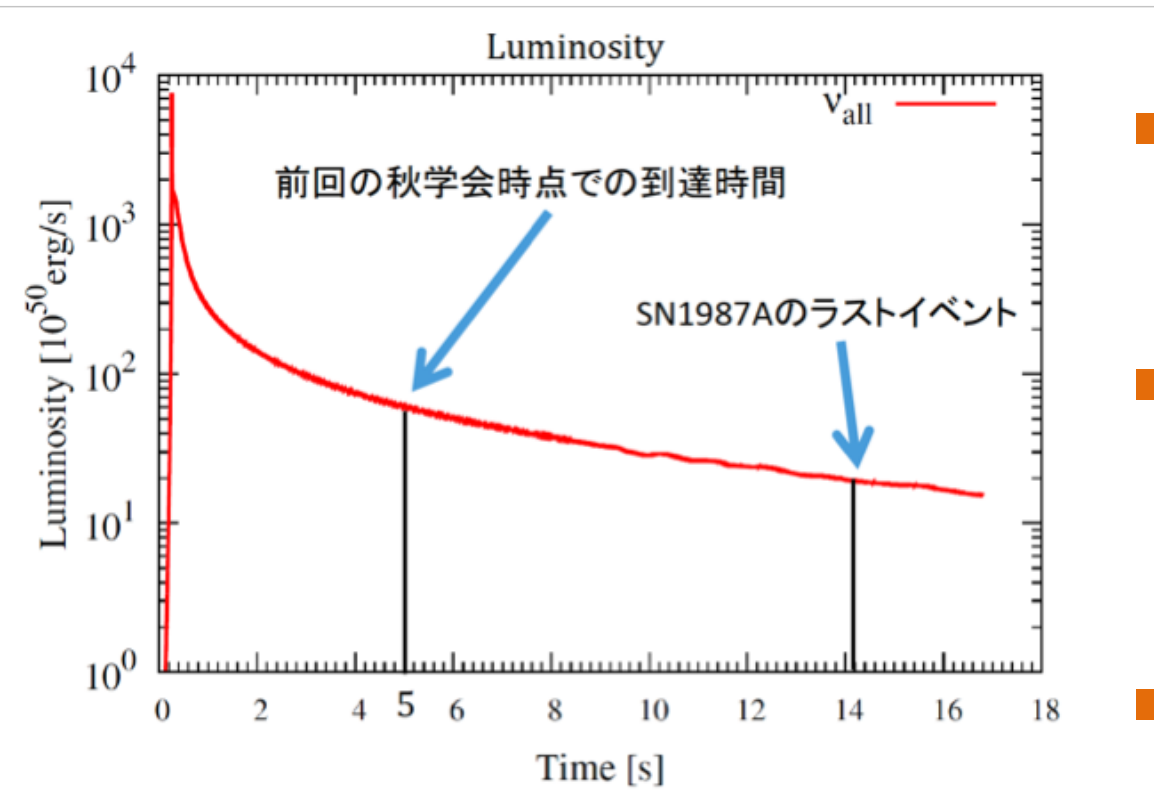
超新星爆発： SN1987A 大マゼラン雲 1987年2月24日

前 後

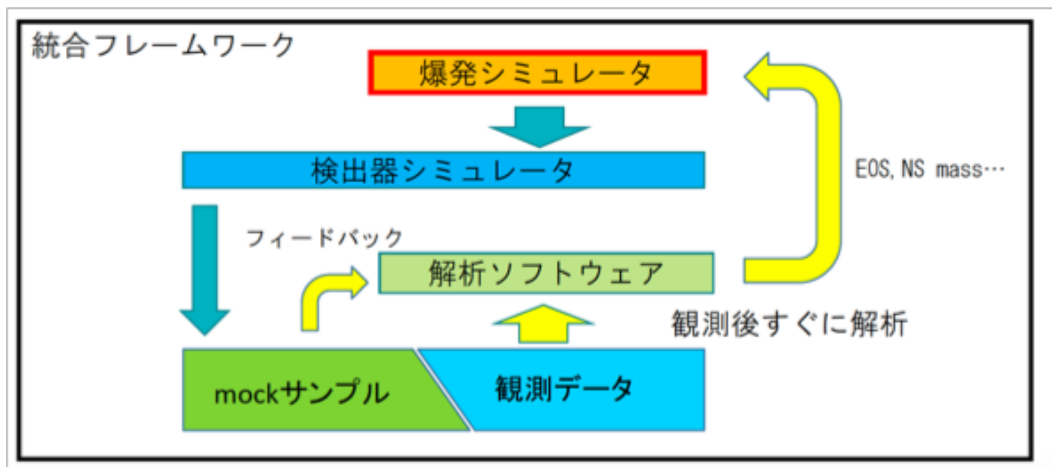


超新星爆発！

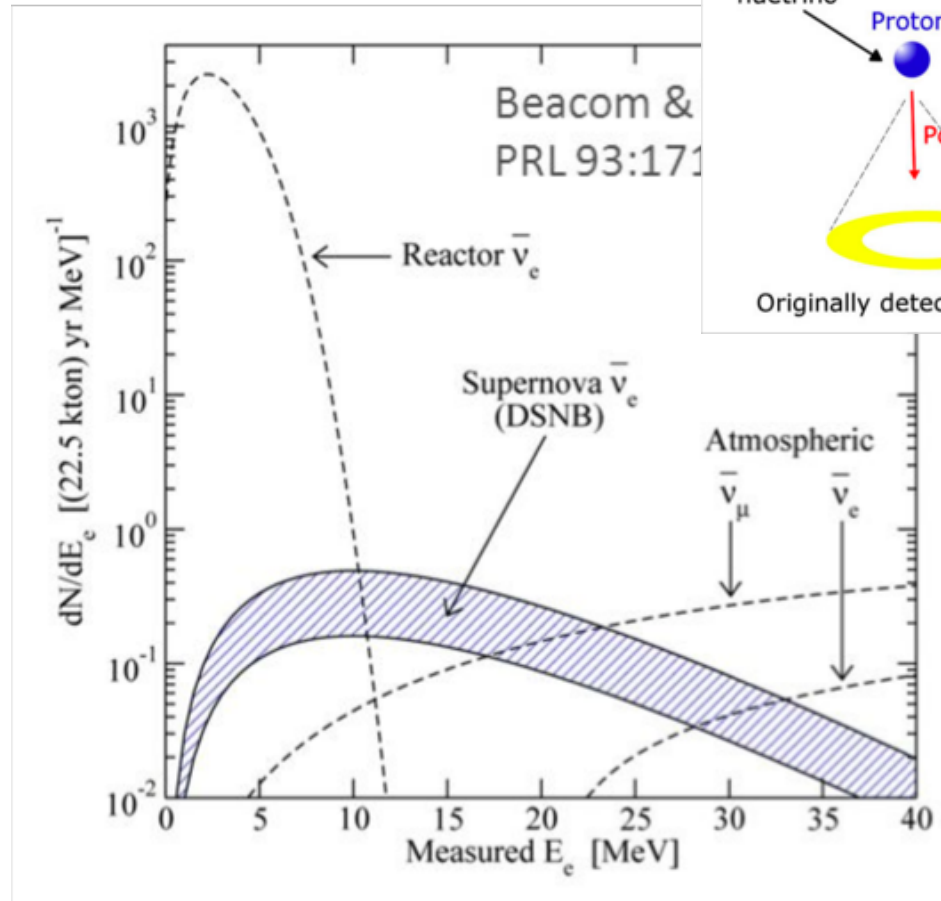
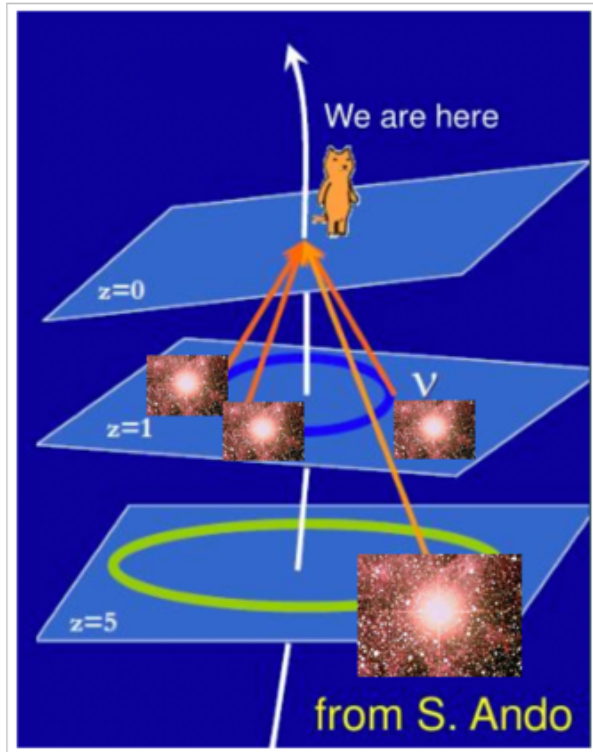
超新星爆発の研究



- 超新星爆発のメカニズムは大体理解されている
 - 詳細は全然
- ニュートリノの長時間スペクトラは爆発の理解の鍵となる
 - 中性子星質量、状態方程式の影響を受ける
- 理論グループと共同で、様々な爆発モデルを解いて長時間のニュートリノを調べ、SKでシミュレーション
- SKで観測したスペクトルをみて、超新星の性質を早速推測



超新星背景ニュートリノ



- 現在の宇宙は、宇宙誕生以降爆発した超新星のニュートリノに満ちている
- 世界に先立って測るために、SK-Gd
 - SKで、1年に数個しか期待できない
- 大気ニュートリノの中性カレント反応がBGとなる (芦田)

ハイパーカミオカンデ

10 × SK + 20 × T2K

2020年4月から建設開始

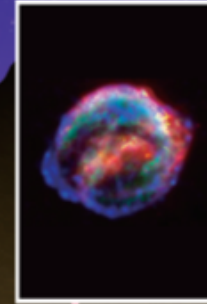
J-PARC 大強度加速器による
高品質ニュートリノビーム



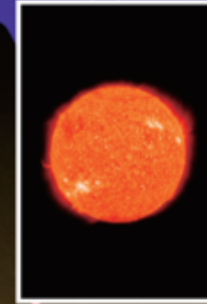
大気



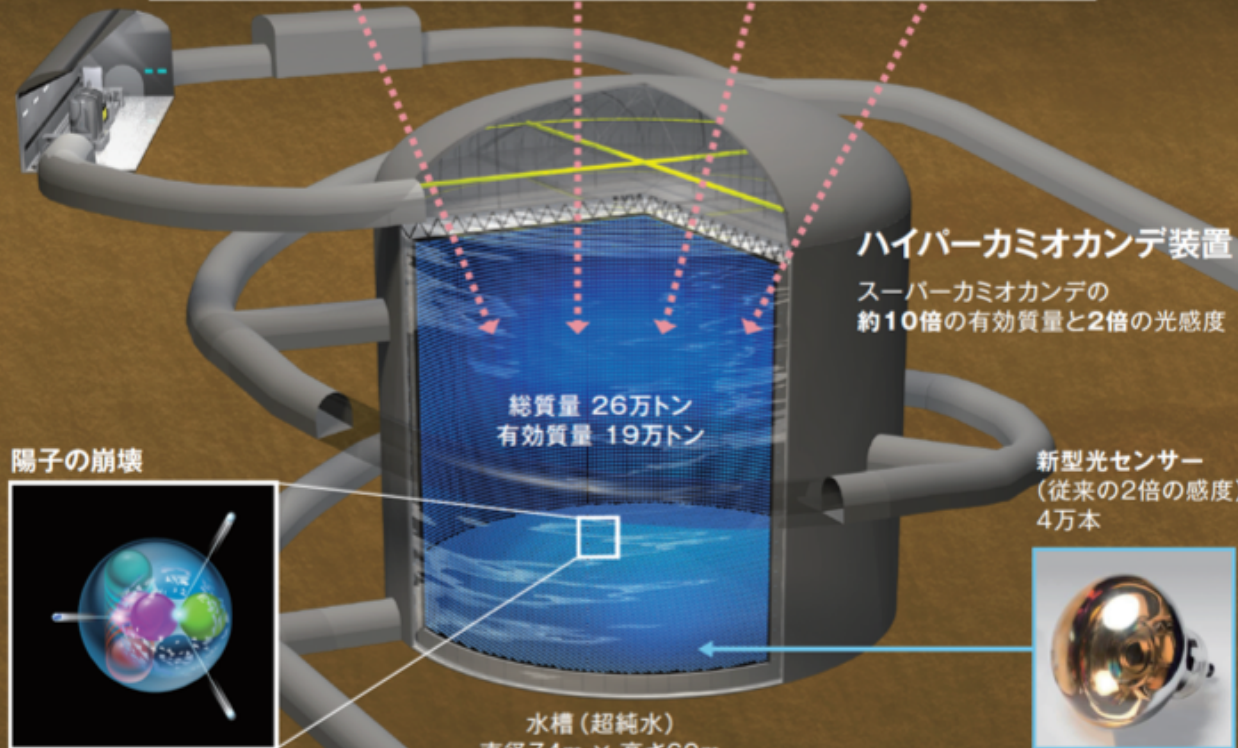
超新星爆発



太陽



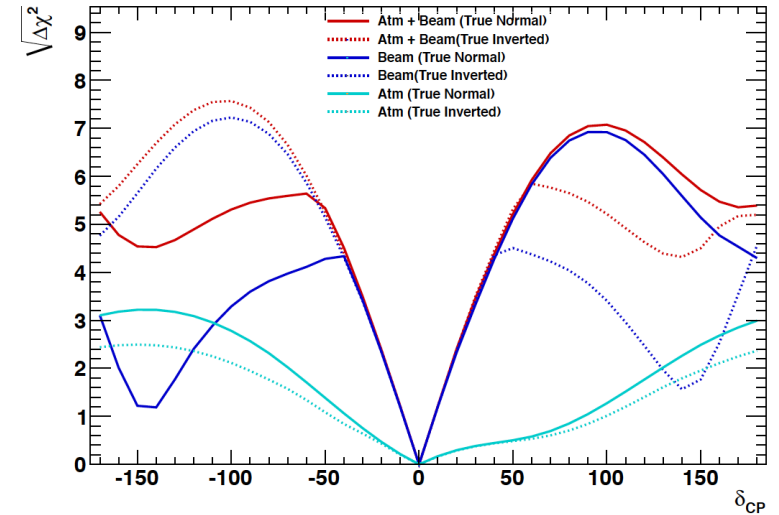
ニュートリノ



- 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

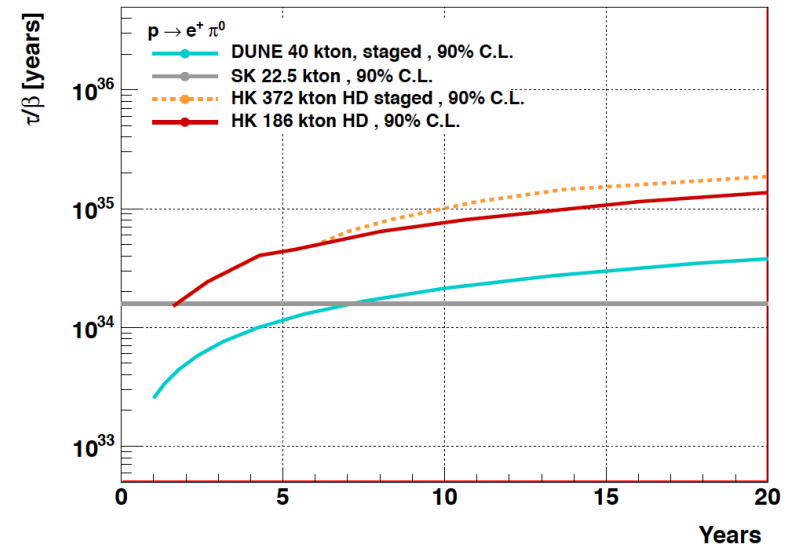
- ニュートリノ振動においてレプトン不変性の検証
- $\nu\tau$ 断面積測定
- 地球内部の電子濃度
- 等



- 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),
 - SN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



研究トピックは豊富

過去20年のD論と修論:

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

FIN