

New Event Reconstruction Algorithm for Super-Kamiokande

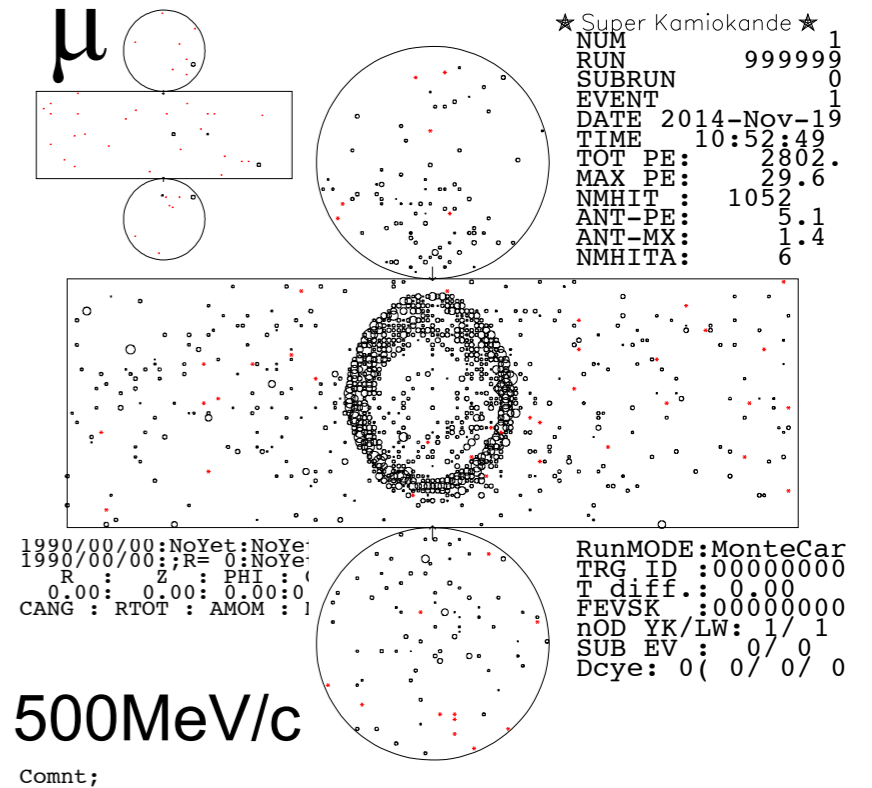
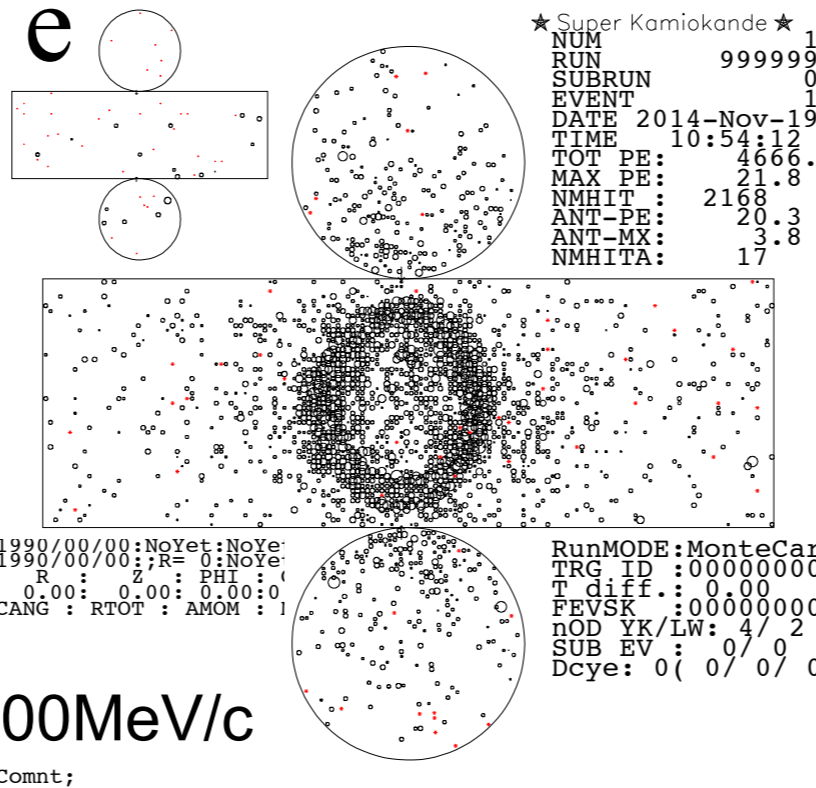
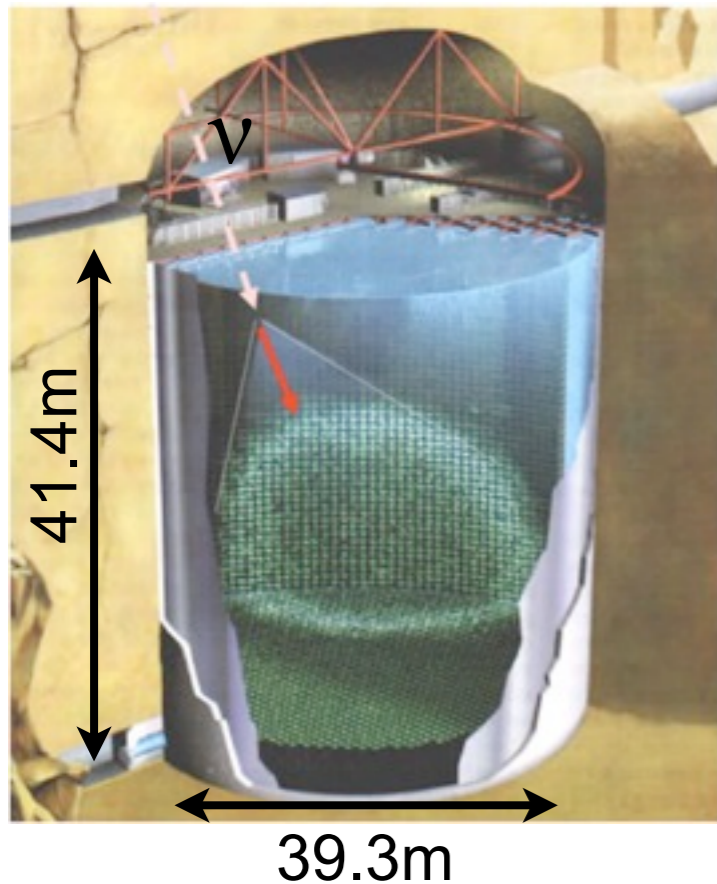
**Yusuke Suda (UTokyo)
for Super-Kamiokande Collaboration**

Neutrino Frontier Workshop 2014 @ Fuji Calm, Dec. 23rd, 2014

Introduction

- Super-Kamiokandeでは大気 ν 振動の観測,
核子崩壊探索を行っている
- ν 質量階層性問題の探求, 大統一理論の検証
- 感度を究極化するため, 新しい事象再構成
アルゴリズムの開発を進めている
- 新アルゴリズムの概要,
開発の現状について報告する

Super-Kamiokande (SK)



- Water Cherenkov detector
- Kamioka mine, Hida
- Fiducial volume: 22.5 kton
- 11,129 50 cm PMTs for Inner detector

	SK1	SK2	SK3	SK4
Period	1996-2001	2002-2005	2006-2008	2008-
Photocoverage (# of PMTs)	40% (11,146)	19% (5,182)	40% (11,129)	40% (11,129)
Electronics	ATM	ATM	ATM	QBEE

Current Algorithm (APfit)

- 各PMTのHit情報（電荷・時間）から段階を追って、vertex・direction・運動量・粒子を決定する
 - 1. Hitタイミング情報からvertexを設定
 - 2. Ring counting
 - 3. Cherenkov ring patternとopening angleを使いPID (e-like or muon-like)
 - 4. Cherenkov cone内の電荷情報による運動量の決定
 - etc...

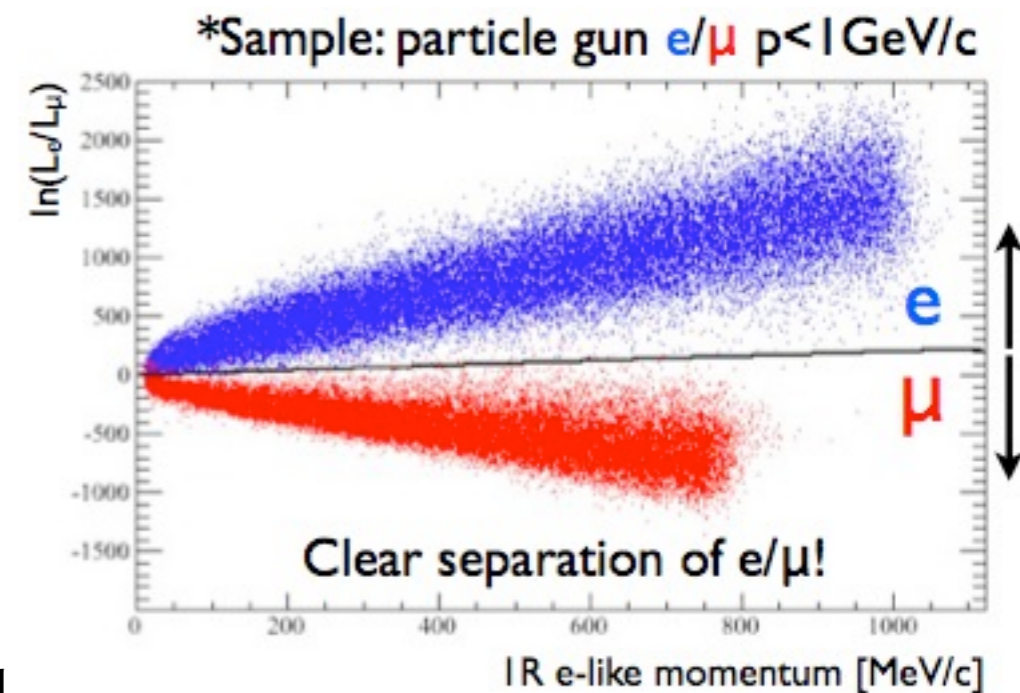
New Algorithm (fiTQun)

- 全PMTの電荷・時間情報を元に
各ringのvertex (x, y, z, t), direction (θ , ϕ), momentum (p)といった変数を
Maximum Likelihood methodで同時フィットする

$$L(\mathbf{x}) = \prod_j^{\text{unhit}} P_j(\text{unhit}|\mathbf{x}) \prod_i^{\text{hit}} \{1 - P_i(\text{unhit}|\mathbf{x})\} f_q(q_i|\mathbf{x}) f_t(t_i|\mathbf{x}) \quad \mathbf{x} = \{x, t, \theta, \phi, p\}$$

i...ith PMT, *P*...unhit prob., *f_q*...Charge PDF, *f_t*...Time PDF

- 異なる粒子仮説のLikelihood ratioを使いPID
- 情報が多い分, 精度良い事象再構成が可能
- MiniBooNE実験のアルゴリズム*に基づいて
T2K実験用に開発→Super-K 4でのみ使用可能
*NIM A608, 206 (2009)
- 現在, Super-K 1-3でも使えるように開発中

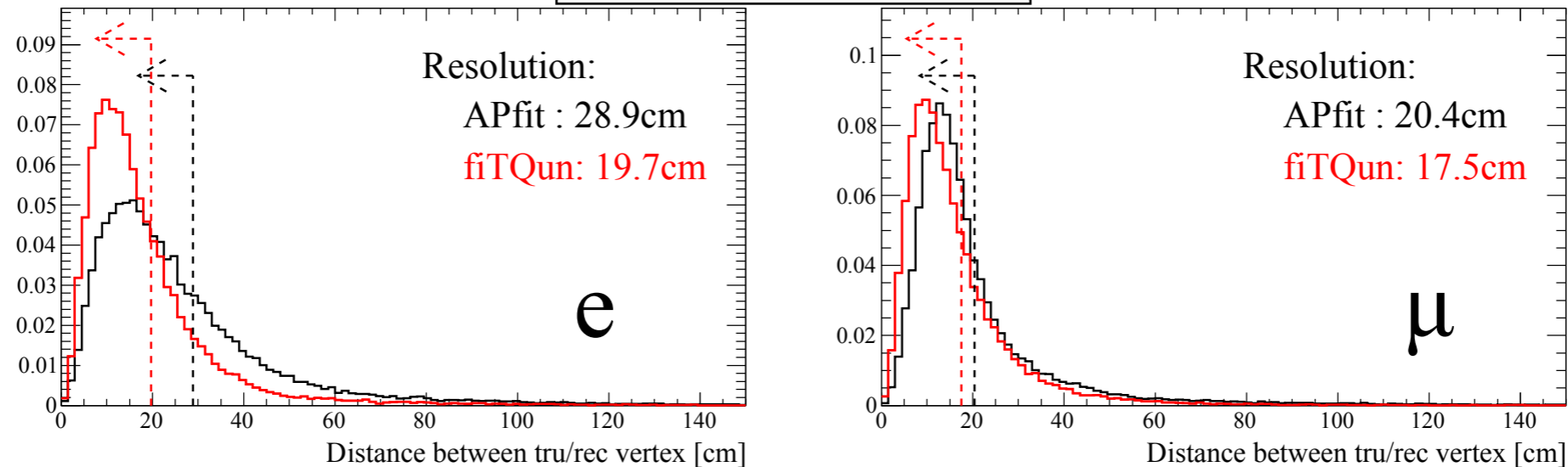


S. Tobayama (UBC)

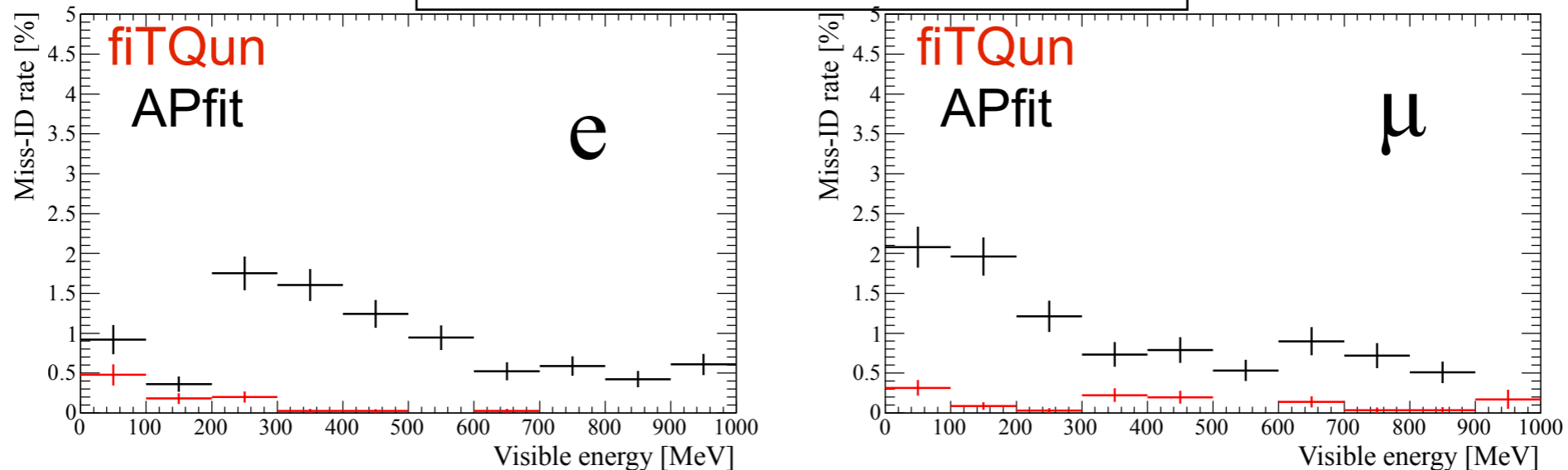
Single-ring fit

SK 4

Vertex Resolution



Mis-PID rate vs. Visible energy

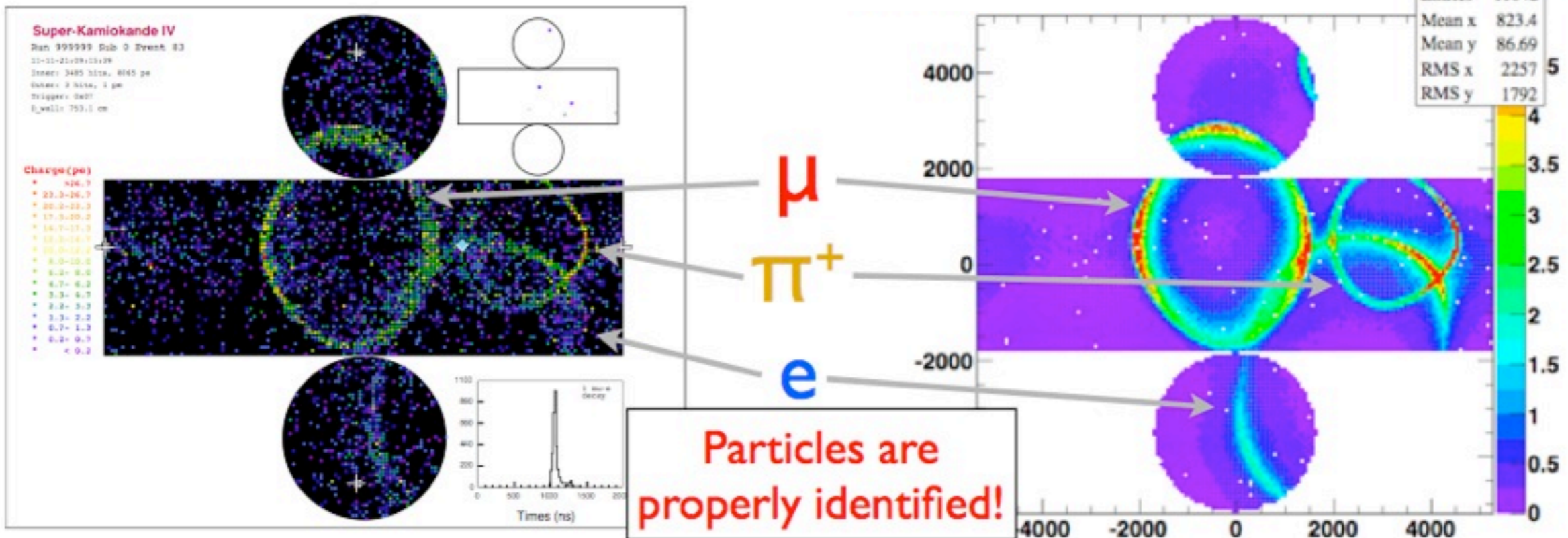


- Fiducial volume内に1GeV/c以下の一様な運動量をもつe/μをランダムなvertexと方向で発生させ、fiTQunをかけた結果
- Single ringについて、fiTQunはAPfitよりも精度良くフィットできている

Multi-ring fit

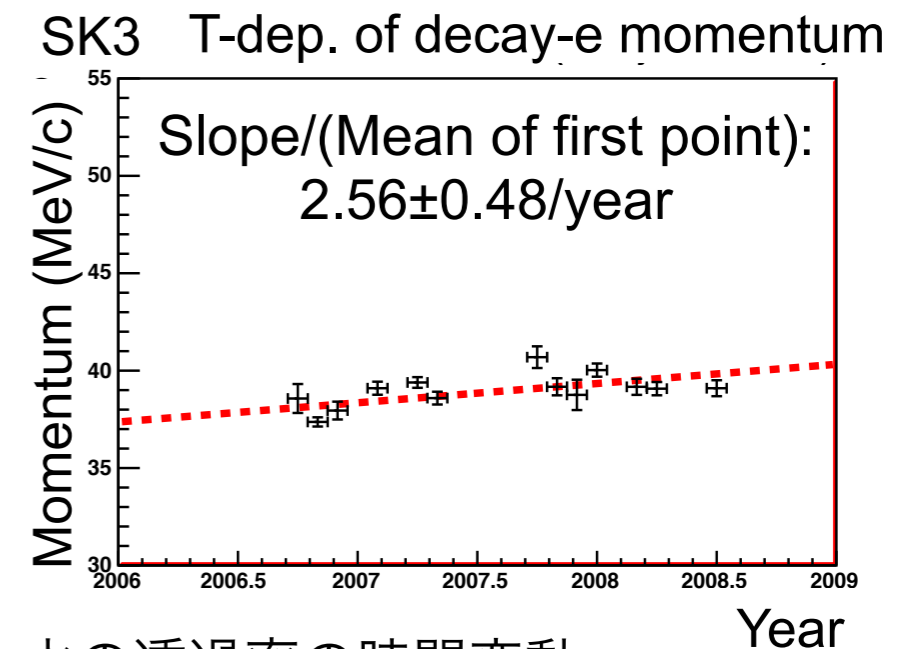
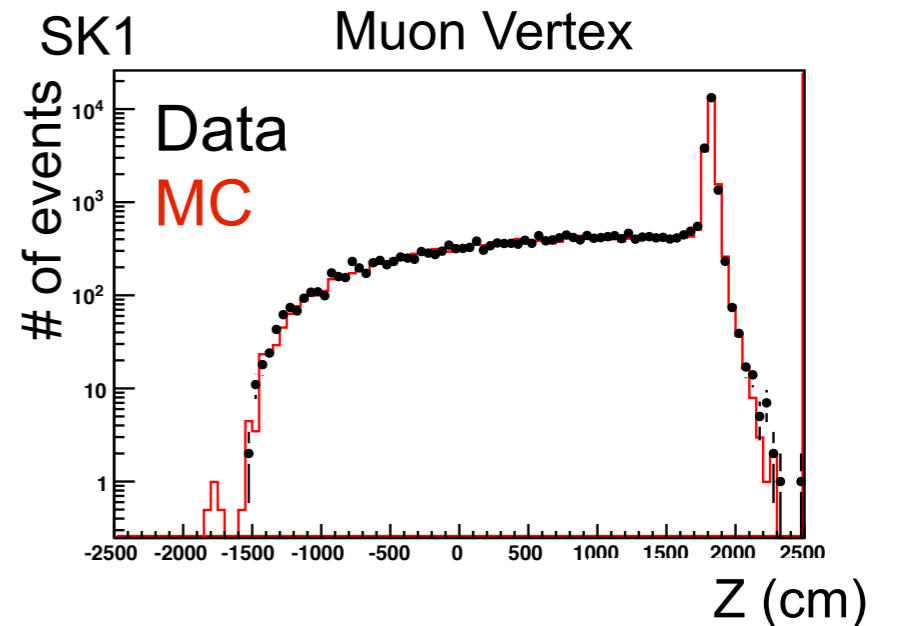
- 最大6-ringまでfit
- Multi-ringに対する感度が向上
- π^+ の再構成の感度も向上

Event display

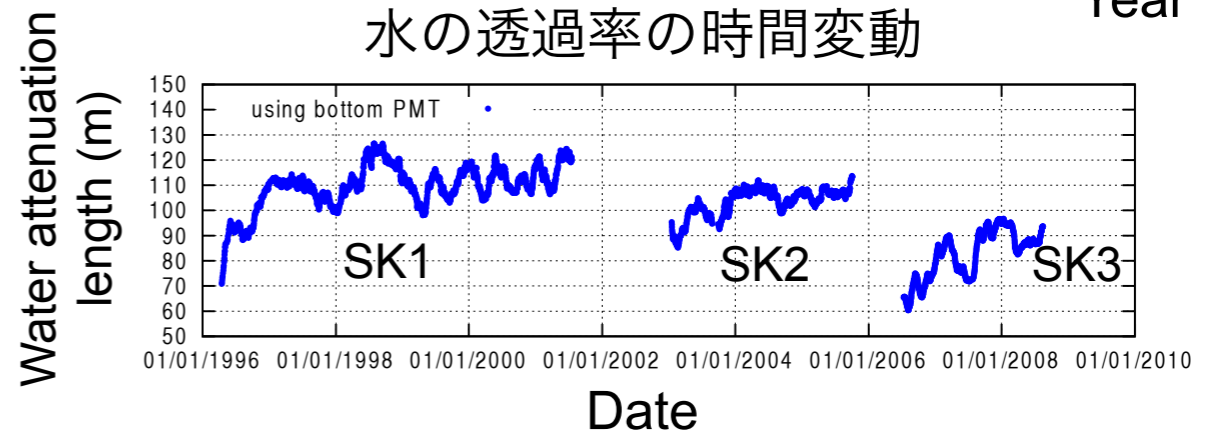


Development for SK1-3

- SK 4との違い(エレクトロニクス, PMT gainや水の時間変動の仕方)を組み込む必要がある
- 現在, エレクトロニクス・PMT gainの時間変動を組み込み, 宇宙線 μ がID内で止まって電子に崩壊するStopping- μ サンプルを使い, DataとMCの違いをstudyしている
- Vertexは良く合っている
- 運動量などは時間変動が見られるため, 水の透過率の時間変動を組み込む予定
- 大気 ν サンプルも今後調査

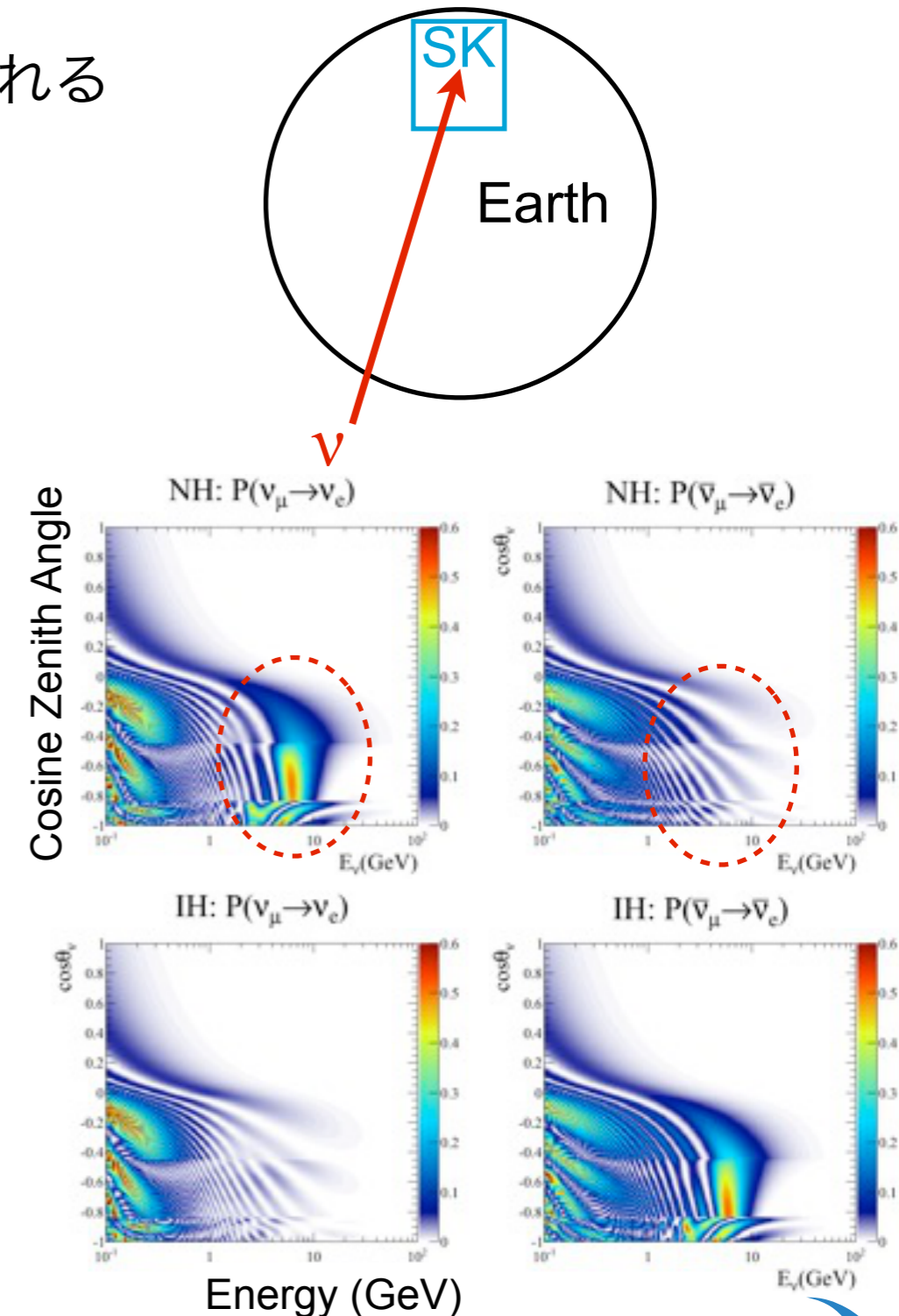


水の透過率の時間変動



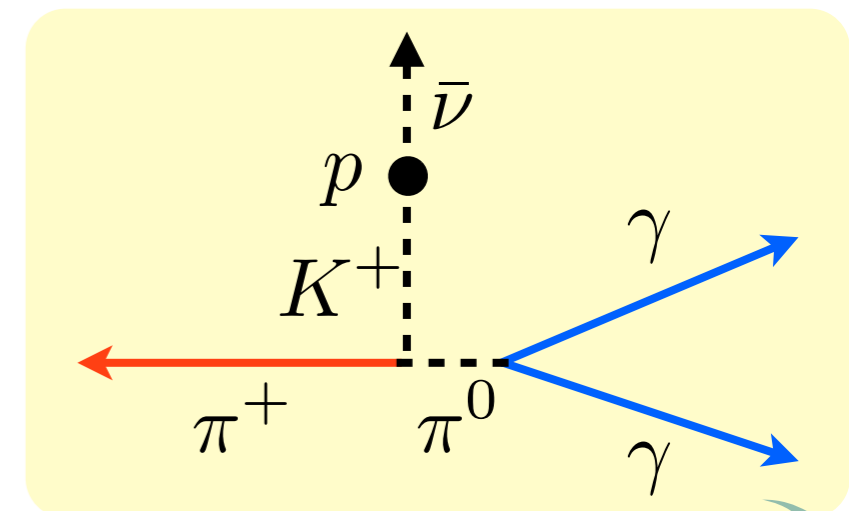
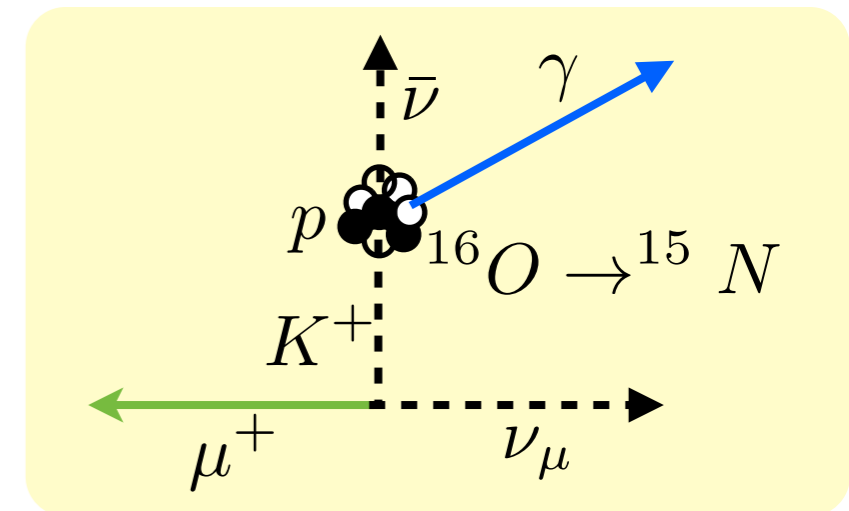
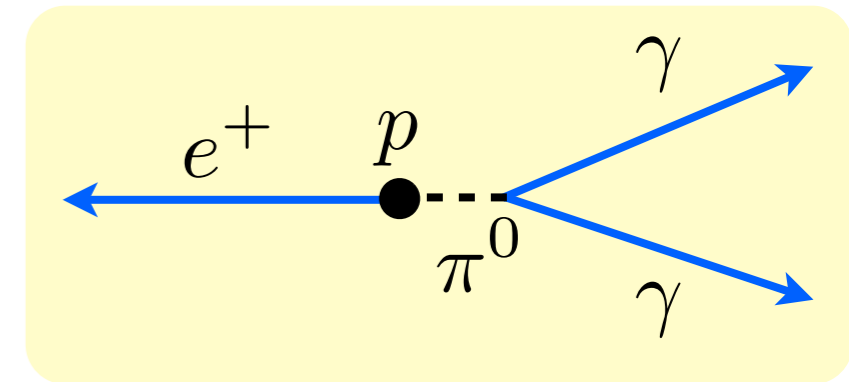
Atm. ν Oscillation

- ν_e と反 ν_e の出現確率は物質効果により高められる
- Super-Kではmulti-GeV領域の upward-going ν_e /反 ν_e の割合が増加
- 通常階層の場合は ν , 逆階層では反 ν のみenhanceされる
- 階層性問題をMulti-GeV upward-going atm. ν_e /反 ν_e を使って探求する
- Multi-GeV領域ではMulti-ring事象が多い
- fiTQunのMulti-ring fitterで より正確に再構成できる可能性
- 振動解析に向け, fiTQunでの 事象選択・系統誤差の研究を進めている



Proton Decay

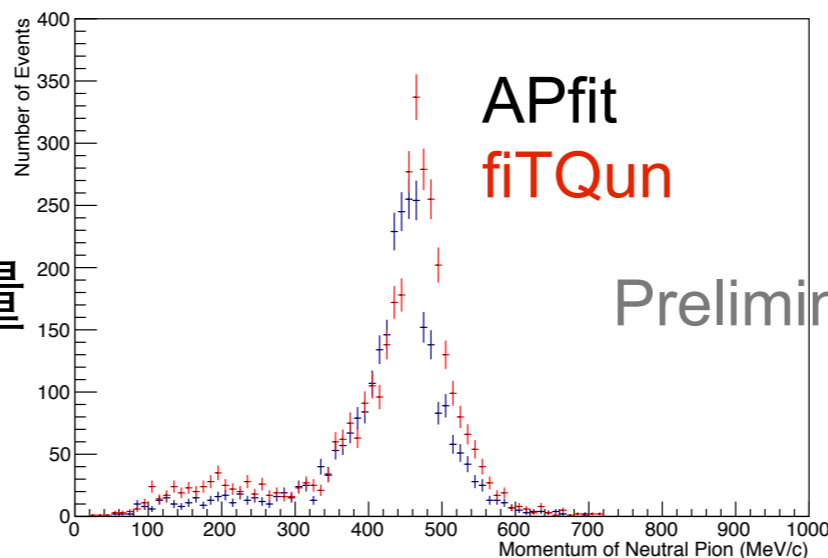
- Main targets: $p \rightarrow e^+ \pi^0$ and νK^+
- $p \rightarrow e^+ \pi^0$
 - e^+ と π^0 の崩壊先の 2γ による3-ring event
 - APfitでは全体の半数弱が2-ringとしてfitされている
(光の弱い γ が見えていない)
 - fiTQunで3-ringの感度向上を目指す
- $p \rightarrow \nu K^+$
 - K^+ の主な2つの崩壊先は
 $\mu^+ \nu$ (BR: 65%)と $\pi^+ \pi^0$ (BR: 21%)
 - $\mu^+ \nu$: 脱励起 γ (6.3MeV)の検出効率の向上?
 - $\pi^+ \pi^0$: π^+ fitによる感度向上?
- まずはSK 4での $e^+ \pi^0$ の感度研究から始めている
- Hyper-Kamiokandeではどうか?



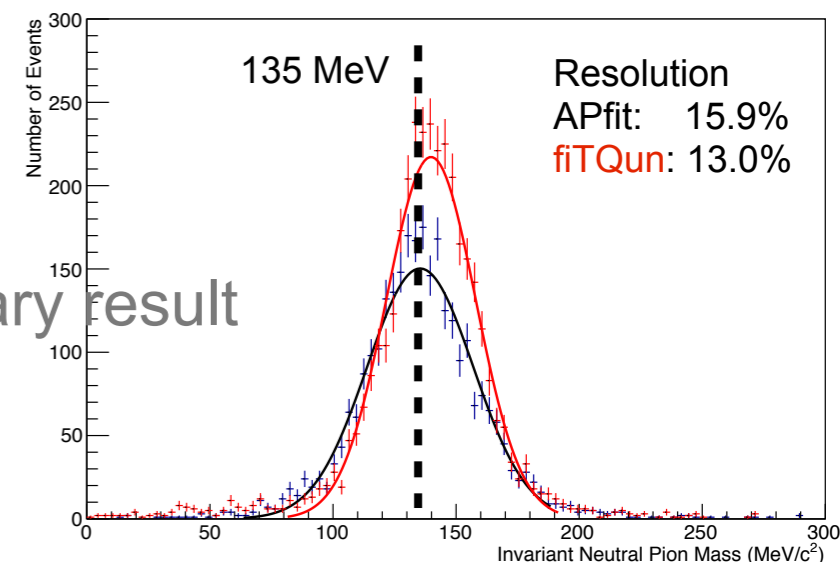
$p \rightarrow e^+ \pi^0$ MC study

- SK official event selectionの下,
 π^0 と陽子の質量・運動量
分布をチェックした

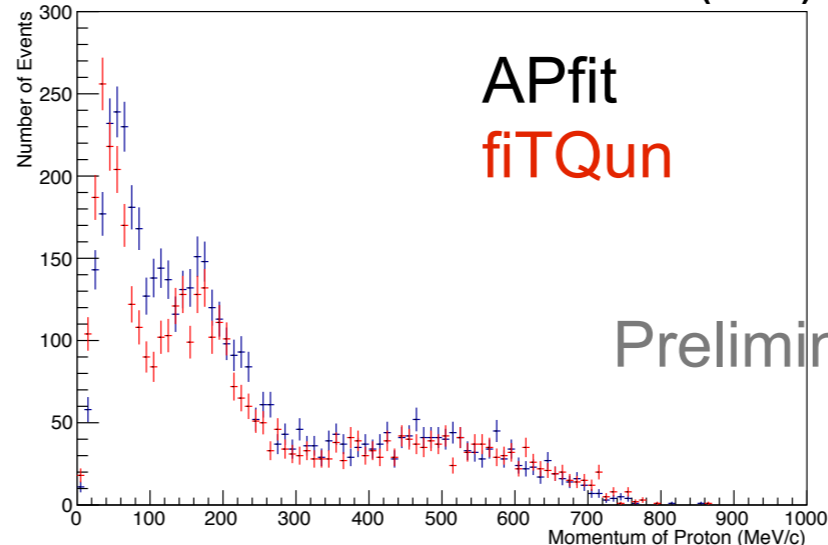
π^0 invariant momentum (MC)



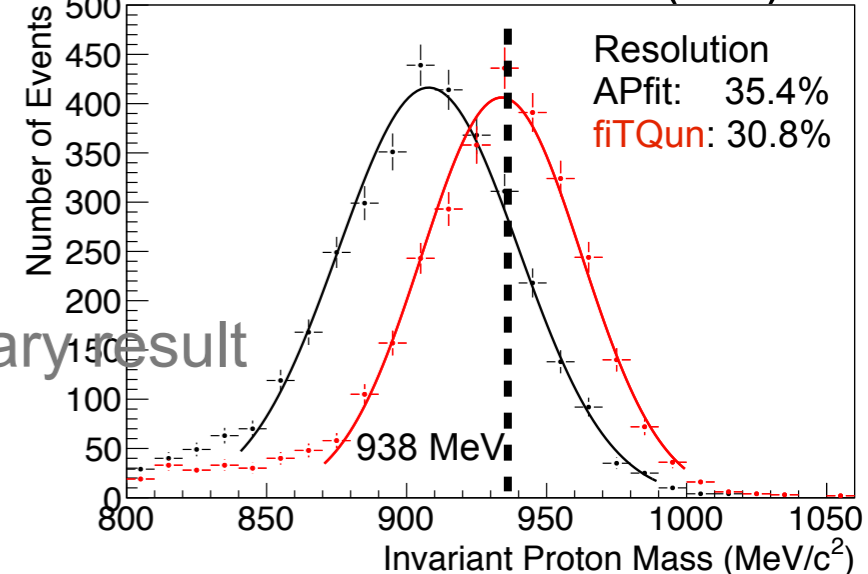
π^0 invariant mass (MC)



Proton invariant momentum (MC)



Proton invariant mass (MC)



Resolution (%)	APfit	fiTQun
π^0 mass	15.9	13.0
Proton mass	35.4	30.8

- π^0 ・陽子のどちらも分解能が向上
- Signal efficiencyや大気 ν によるBKGについて今後調査

Summary

- 大気ニュートリノ振動や核子崩壊の感度向上に向け、新しい事象再構成アルゴリズムを開発中
- 現行のものよりVertex, momentum, PIDともに精度が良い
- Super-K 1-3のデータに適用できるように調整中
- 大気 ν のMulti-GeV領域でより正確な再構成を行い、質量階層性問題を探求する
- Super-K 4/Hyper-Kに向けた $p \rightarrow e^+ \pi^0$ の感度研究が進行中
- 来年5月中にはSuper-K全データで解析できるようにする