

スーパーカミオカンデにおける 崩壊電子を用いた大気 $\nu_\mu/\bar{\nu}_\mu$ 識別方法の開発

名古屋大学 宇宙地球環境研究所

村瀬 美咲

for Super-Kamiokande collaboration

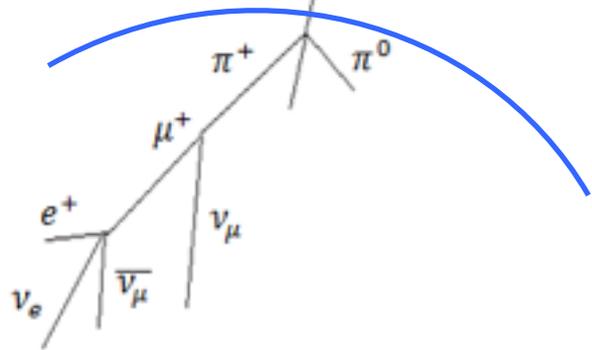
第24回 ICEPPシンポジウム 2018/2/18



大気ニュートリノ

上層大気

宇宙線シャワー



宇宙線が地球の大気と衝突して2種類のニュートリノ(大気ニュートリノ)を生成

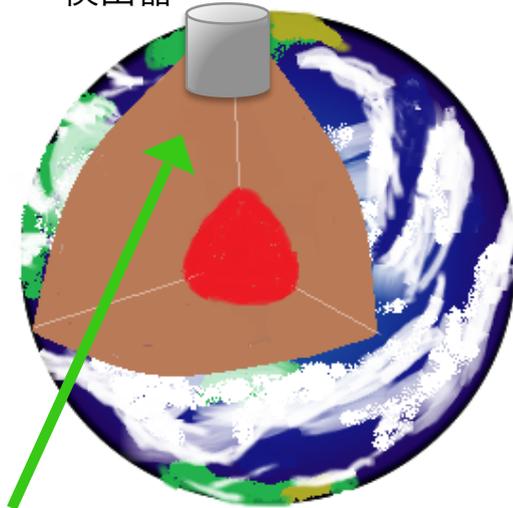
$$\pi^+ \longrightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

$$\mu^+ \longrightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$$

$$\pi^- \longrightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

$$\mu^- \longrightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

検出器



検出器の下側から来たニュートリノ

→物質中の影響を受けた

ニュートリノ振動が起きる

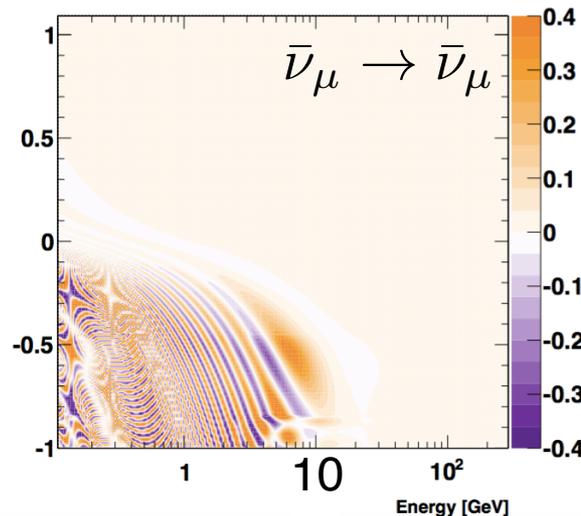
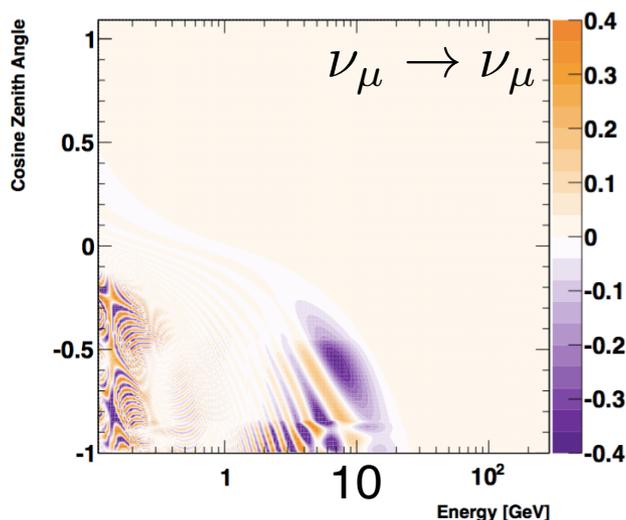
Δm_{23}^2 の符号に感度有り

ニュートリノの質量階層性問題

- $m_1 < m_2 \ll m_3$ の順番である正常階層、 $m_3 \ll m_1 < m_2$ の順番である逆階層の2つの可能性がある ($m_1 < m_2$ は太陽ニュートリノから決定済)

質量階層性問題 物質中におけるニュートリノ振動が解決の鍵

- スーパーカミオカンデにおける大気ニュートリノ観測において、現在93.0%の信頼度で正常階層を示唆 → より精度を上げることが目標
- 大気ニュートリノの上向き事象において、正常階層なら反ニュートリノ、逆階層ならニュートリノの欠損が起こりにくい(特に10GeV辺り)



← (正常階層での遷移確率)

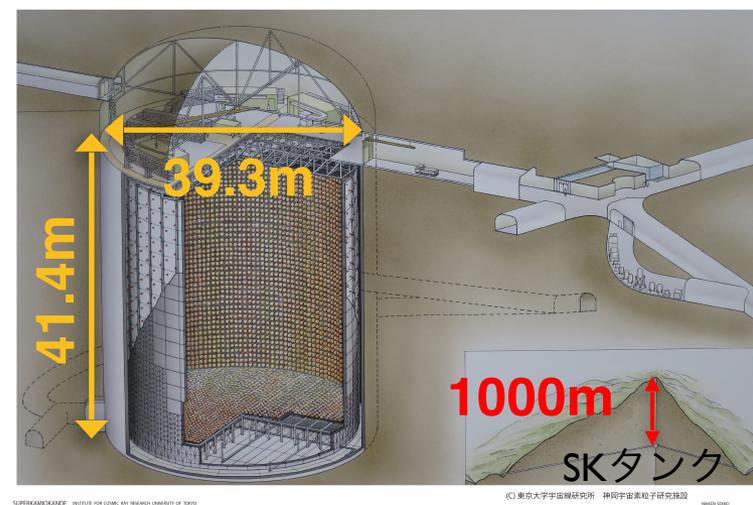
— (逆階層での遷移確率)

(R.Wendell(Kyoto))

➡ ニュートリノと反ニュートリノの識別が質量階層性問題の解決につながる

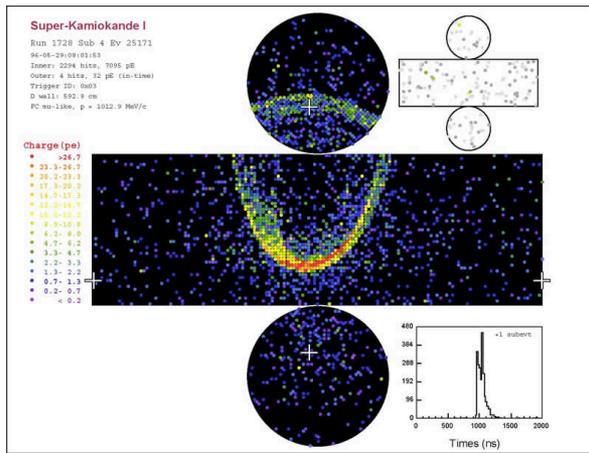
スーパーカミオカンデ

- 岐阜県飛騨市の神岡鉱山地下に位置する水チェレンコフ型検出器
- 1996年から観測開始し、現在SK-IV

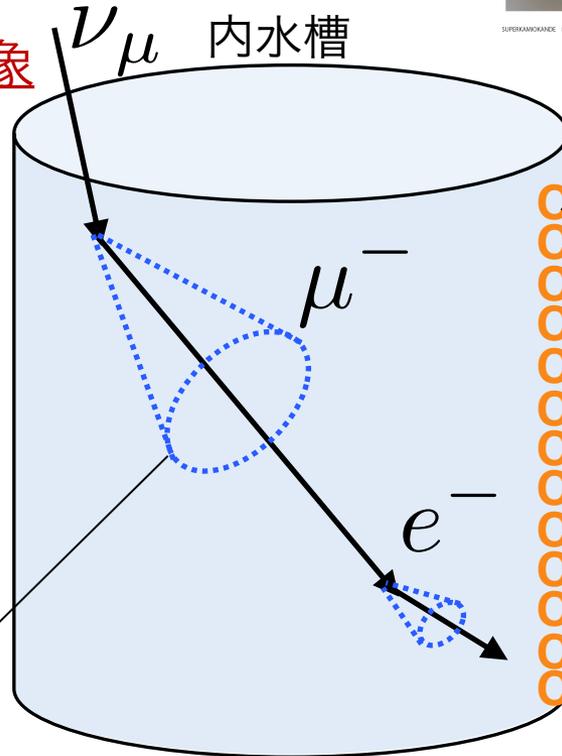


single-ring事象

ν_μ (μ -like)事象

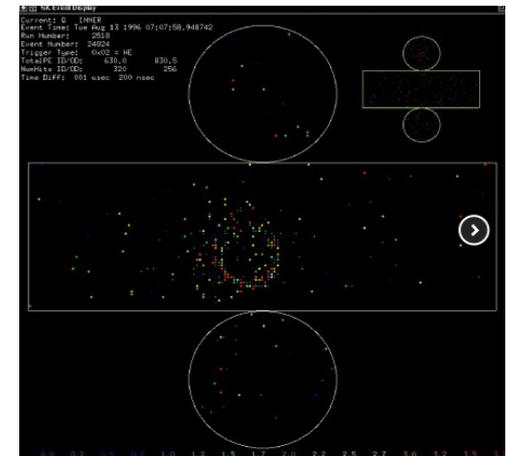


チェレンコフリング



光電子増倍管
(内壁全面に設置)

崩壊電子事象



光を検出したタイミングから反応位置、光量から運動量、光を検出したPMT数からヒット数などニュートリノの情報を再構成

研究目的

- スーパーカミオカンデの大気ニュートリノ振動解析においてニュートリノの質量階層性の感度を上げるために、 $\nu_\mu/\bar{\nu}_\mu$ を識別するための解析方法を開発する

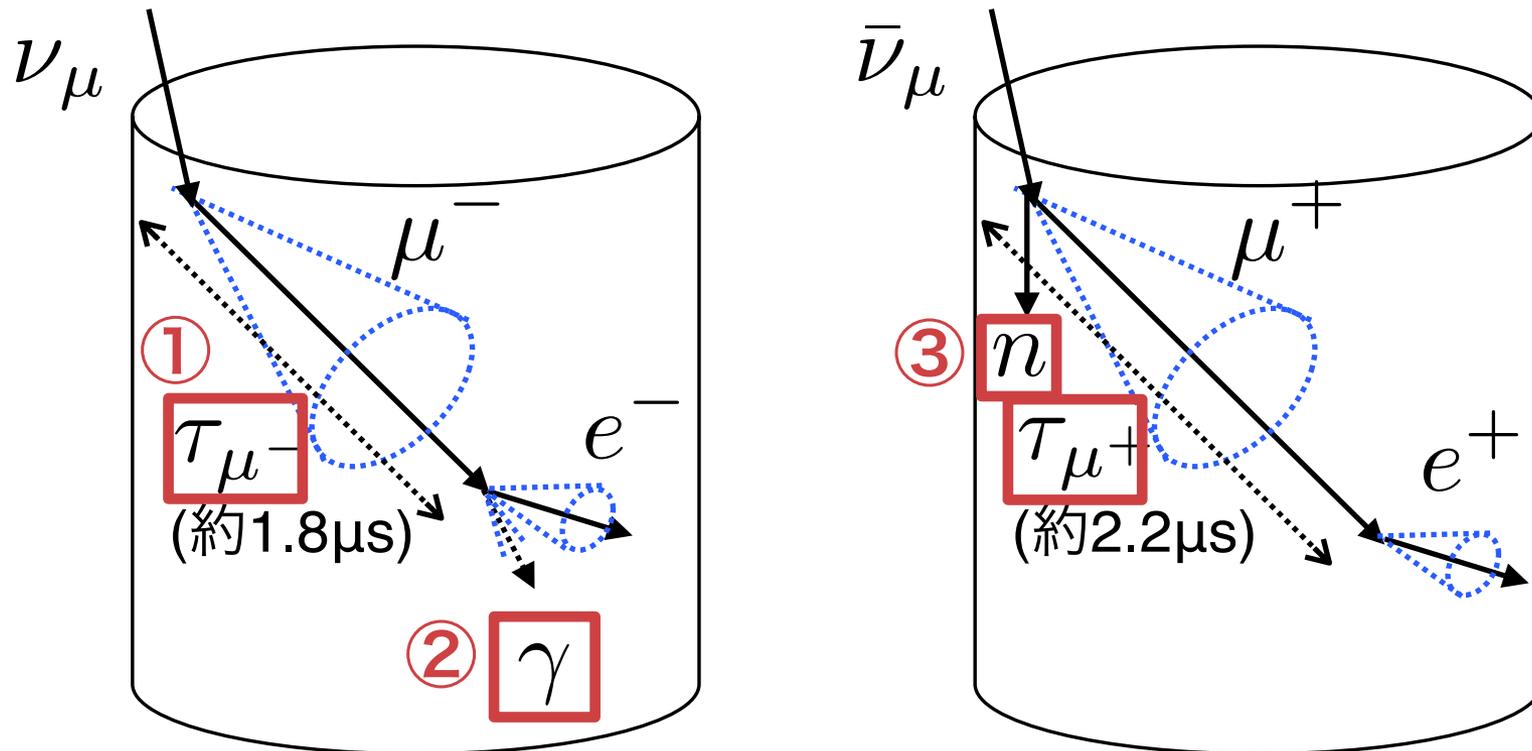
$\nu_e/\bar{\nu}_e$: すでに解析方法が確立されている

$\nu_\mu/\bar{\nu}_\mu$: 本研究で解析方法開発

→MCシミュレーションを用いて開発・性能評価

研究方法

- $\nu_\mu/\bar{\nu}_\mu$ を分けるためには、以下を用いる

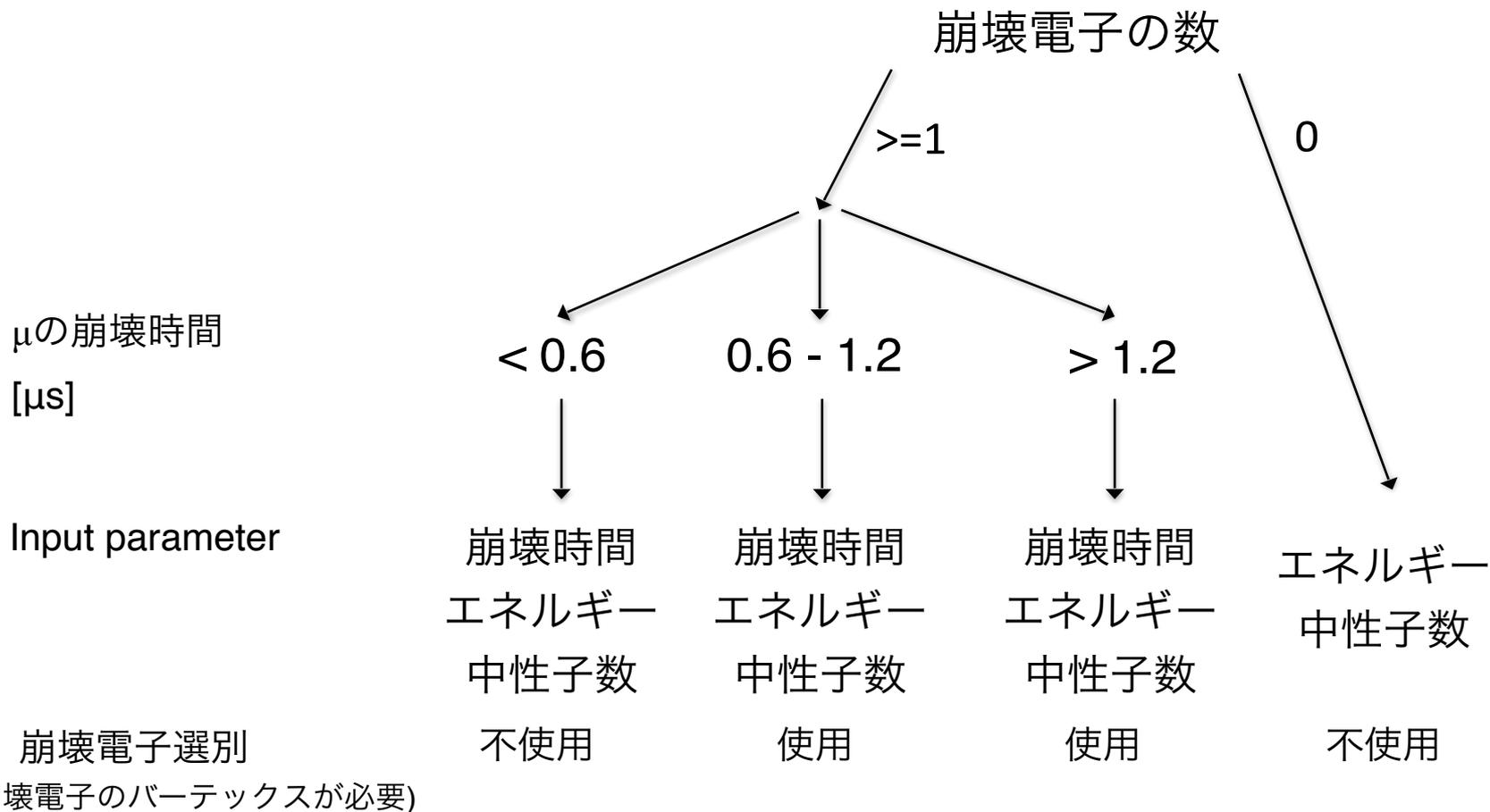


- ① μ の見かけの寿命の差 \rightarrow μ 崩壊時間分布
- ② μ^- は一部 γ を放出 \rightarrow 電子エネルギー分布
- ③ $\bar{\nu}_\mu$ は中性子を放出 \rightarrow 中性子数分布

$n + p \rightarrow d + \gamma$ の2.2MeV γ (光電子増倍管7,8本のヒット)

log likelihood法により識別

$\nu_{\mu}/\bar{\nu}_{\mu}$ 識別使用パラメータ



昨年の発表: 崩壊時間が1.2μs以上のみ
今回の発表: 全ての崩壊時間+崩壊電子数=0

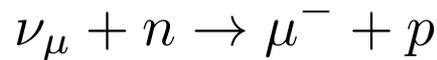
事象選択後の事象数は、
使用する事象中の約3割
から約6割に増加

$\nu_\mu / \bar{\nu}_\mu$ 識別likelihoodの定義

使用する事象: μ -likeのFully-Contained(FC)

single-ring

荷電カレント準弾性散乱(CCQE)事象



まずはシンプルな事象において
識別手法を確立

500年分MC

300年→確率分布

200年→性能評価のための疑似データ (MCは真の情報がわかる)

$$P^{\nu_\mu} = P^{\nu_\mu}(\text{崩壊時間}) \times P^{\nu_\mu}(\text{エネルギー}) \times P^{\nu_\mu}(\text{中性子数})$$

$$P^{\bar{\nu}_\mu} = P^{\bar{\nu}_\mu}(\text{崩壊時間}) \times P^{\bar{\nu}_\mu}(\text{エネルギー}) \times P^{\bar{\nu}_\mu}(\text{中性子数})$$

$$\longrightarrow \Delta L = \log P^{\nu_\mu} - \log P^{\bar{\nu}_\mu}$$



①



②



③

それぞれの確率分布から確率を求める

①崩壊時間の違い

ミュオンがヒットしてから
電子がヒットするまでの時間差

* μ^- は原子核に捕獲されるため、見かけの崩壊時間が短くなる

$$\mu^- : \tau = 1.7960 \pm 0.0085 \mu\text{s}$$

$$\tau = 1.7954 \pm 0.020 \mu\text{s}$$

T.Suzuki et al. Phys. Rev. C 35, 2212 (1987)

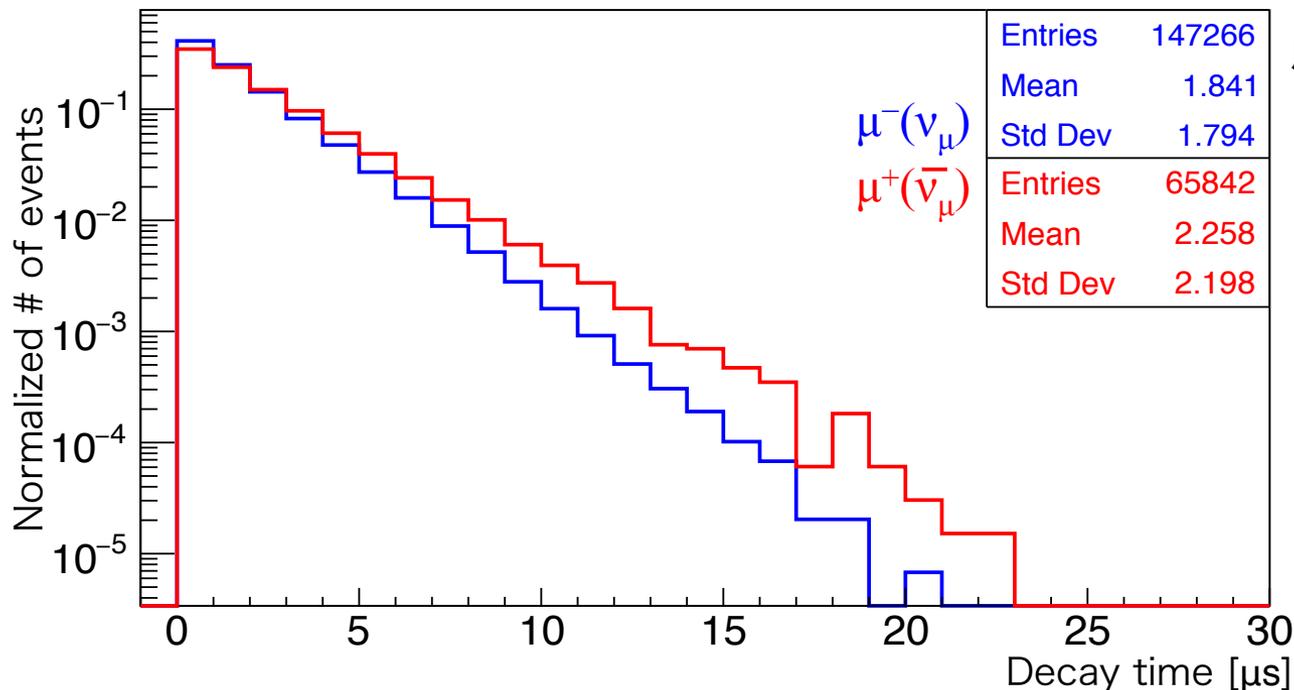
$$\mu^+ : \tau = 2.1989 \pm 0.0151 \mu\text{s}$$

$$\tau = 2.19703 \pm 0.00004 \mu\text{s}$$

Particle Data Group, Phys. Lett. B 139 1 (1990)

フィット範囲: 2~12 μs

μ の崩壊時間の確率分布



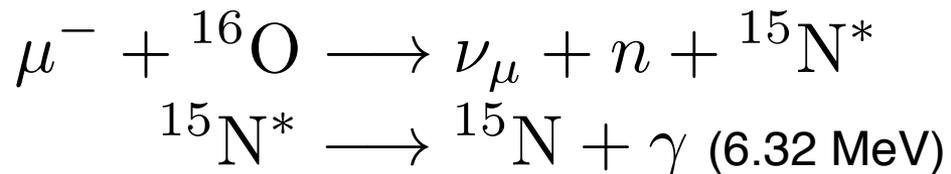
崩壊電子数 = 0は除外

縦軸: log scale

②エネルギーの違い

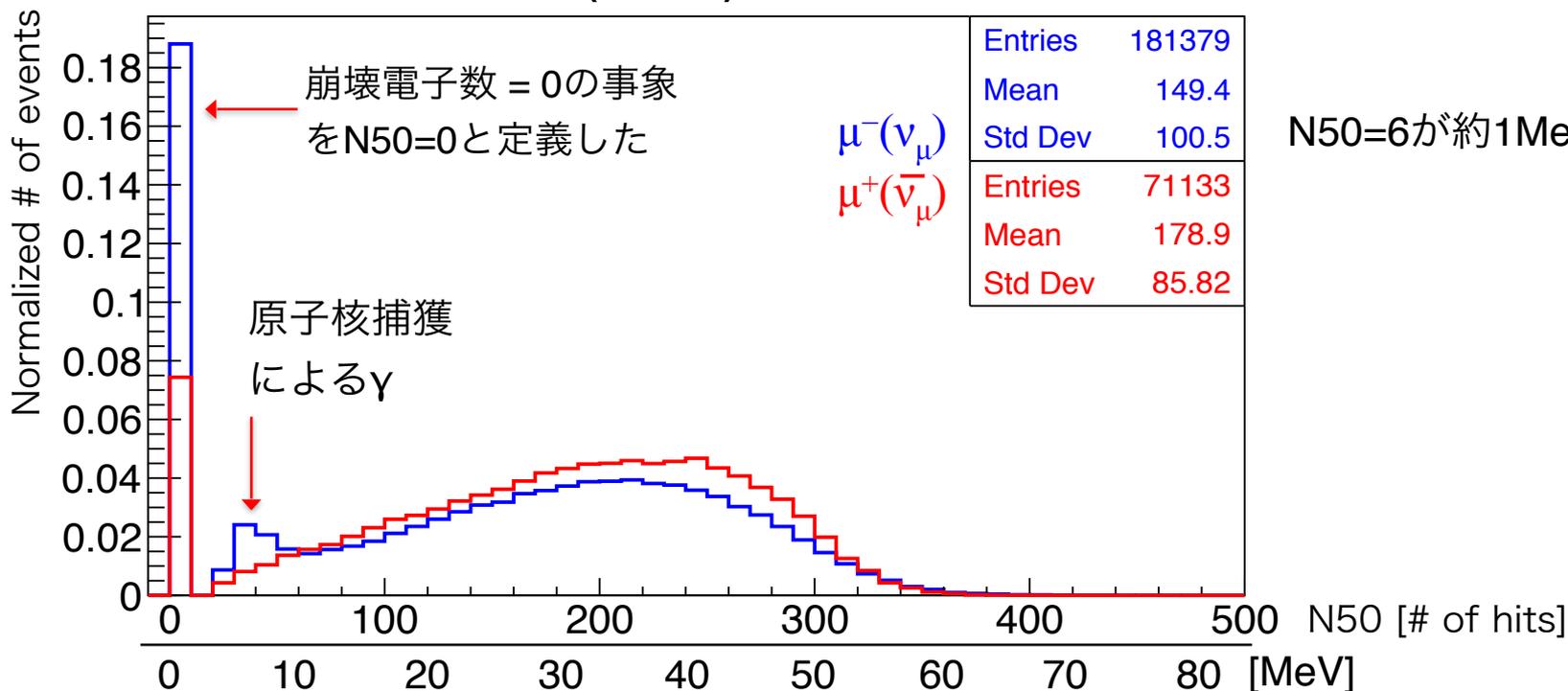
N50 → 事象発生時刻周辺50ns内でヒットした最大PMT数
エネルギーを推定するパラメータ

* μ^- は原子核捕獲による γ を放出することがある



* μ^- は吸収されて崩壊電子が出ない場合がある

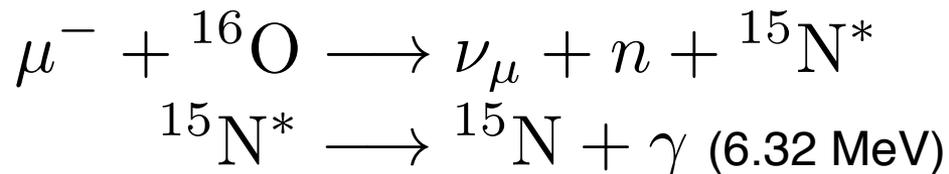
電子エネルギー(N50)の確率分布



②エネルギーの違い

N50 → 事象発生時刻周辺50ns内でヒットした最大PMT数
エネルギーを推定するパラメータ

* μ^- は原子核捕獲による γ を放出することがある



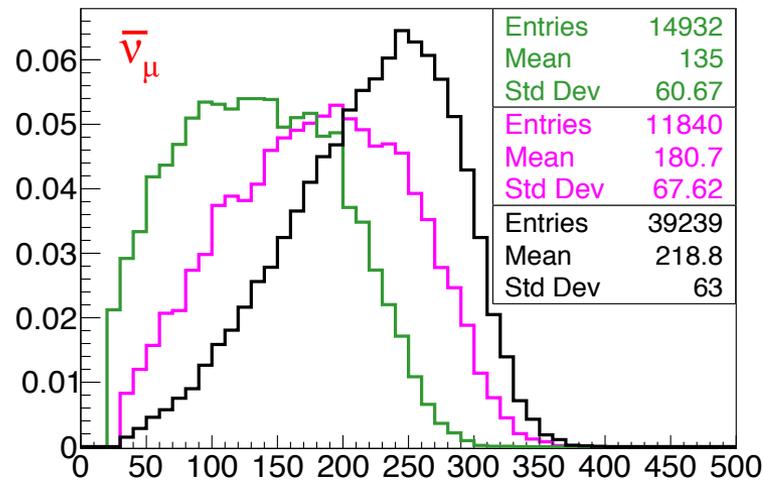
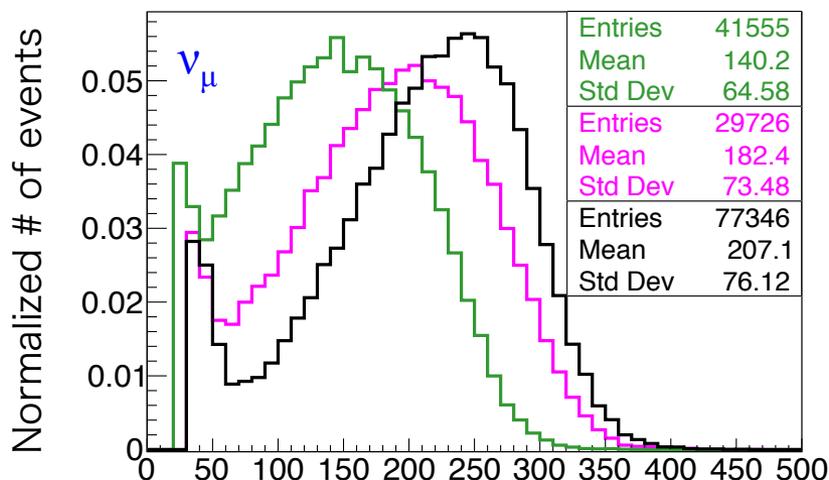
* μ^- は吸収されて崩壊電子が出ない場合がある

電子エネルギー(N50)の確率分布

崩壊時間 < 0.6 [μs]

0.6 < 崩壊時間 < 1.2 [μs]

崩壊時間 > 1.2 [μs]



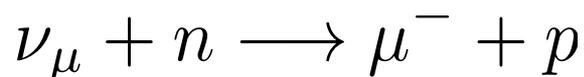
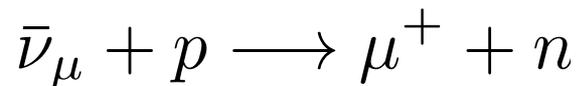
N50 [# of hits]

N50は崩壊時間が短いほど親事象の影響を受けるため分布が左にずれる

しかし... ν_μ と $\bar{\nu}_\mu$ の差は見られる・MCとデータは一致している → 使用可能

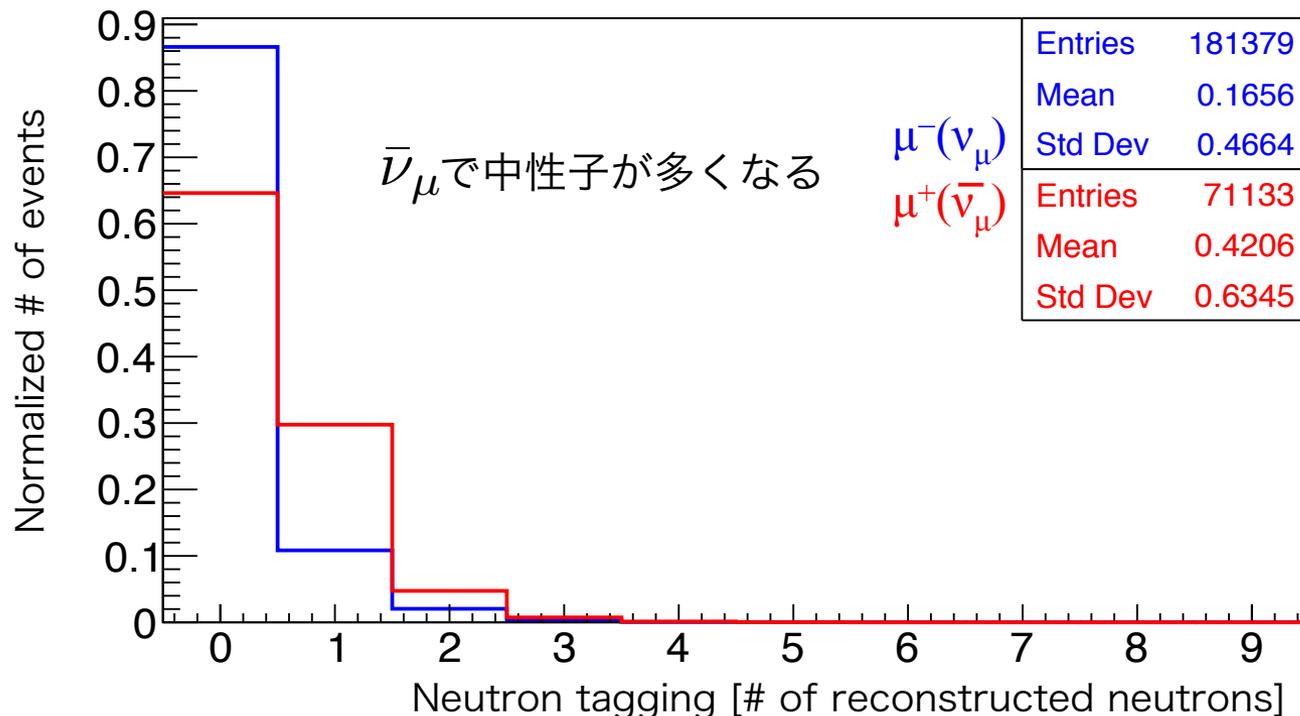
③中性子数の違い

*ここで用いている事象では $\bar{\nu}_\mu$ のほうが中性子を放出する



ニュートリノ反応から18~535 μ sの中で、 $n + p \rightarrow d + \gamma$ の2.2MeV γ を検出し、neutron taggingアルゴリズムで中性子同定

中性子数の確率分布



$\nu_\mu/\bar{\nu}_\mu$ 識別方法

$$P^{\nu_\mu} = P^{\nu_\mu}(\text{崩壊時間}) \times P^{\nu_\mu}(\text{エネルギー}) \times P^{\nu_\mu}(\text{中性子数})$$

$$P^{\bar{\nu}_\mu} = P^{\bar{\nu}_\mu}(\text{崩壊時間}) \times P^{\bar{\nu}_\mu}(\text{エネルギー}) \times P^{\bar{\nu}_\mu}(\text{中性子数})$$

$$\longrightarrow \Delta L = \log P^{\nu_\mu} - \log P^{\bar{\nu}_\mu}$$

$\Delta L > a \rightarrow \nu_\mu$ like

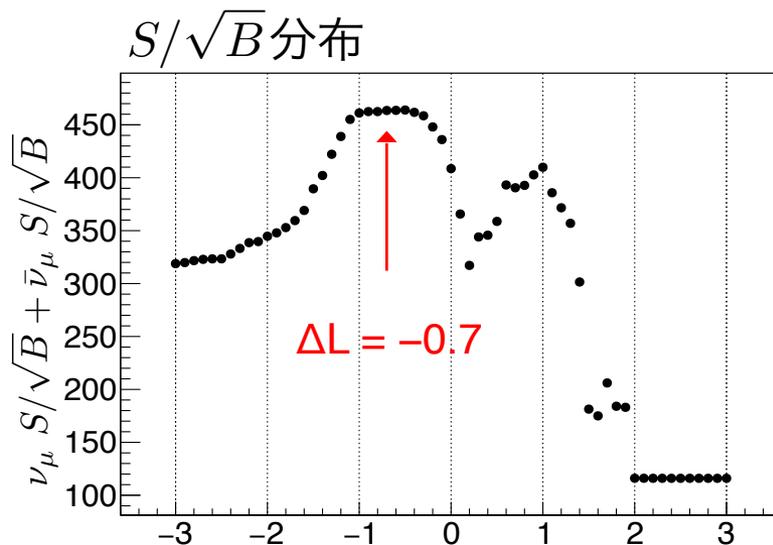
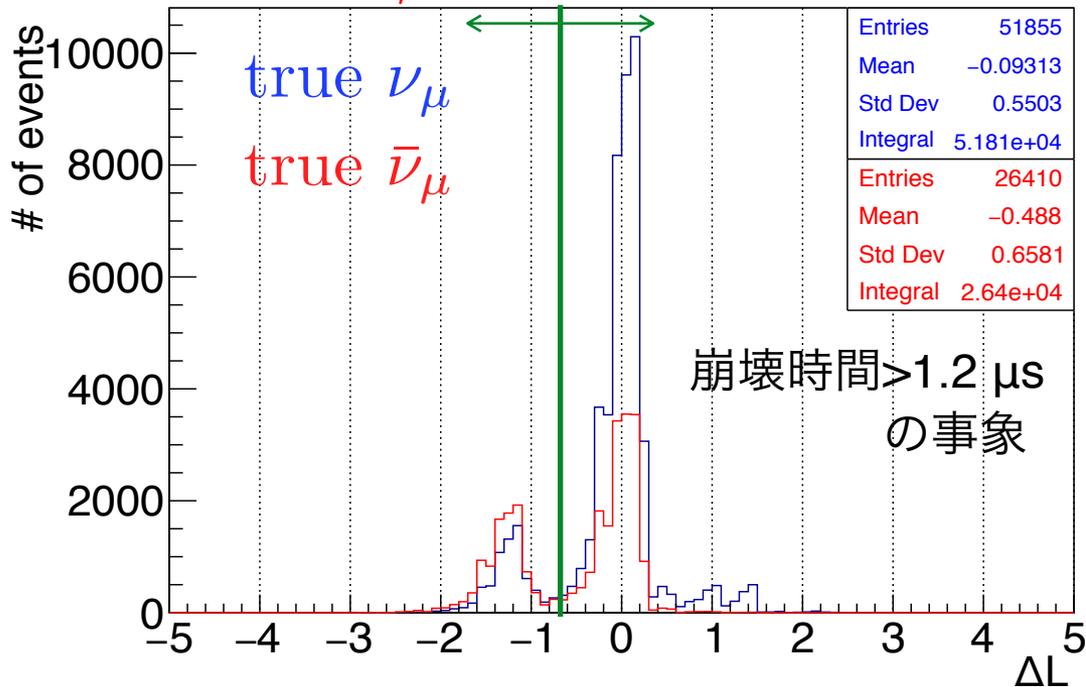
$\Delta L < a \rightarrow \bar{\nu}_\mu$ like

カット値 a は S/\sqrt{B} が最大になる ΔL の中央値に決める

$\hookrightarrow S$: $\nu_\mu(\bar{\nu}_\mu)$ -likeの中の真の $\nu_\mu(\bar{\nu}_\mu)$ 事象数

B : $\nu_\mu(\bar{\nu}_\mu)$ -likeの中の真の $\bar{\nu}_\mu(\nu_\mu)$ 事象数

ΔL 分布 $\bar{\nu}_\mu$ like ν_μ like



3世代振動導入後の大気 $\nu_\mu/\bar{\nu}_\mu$ 識別

開発した $\nu_\mu/\bar{\nu}_\mu$ 識別の性能評価するため、実際の解析で扱うサンプルと同じものを用意する→3世代ニュートリノ振動を考慮

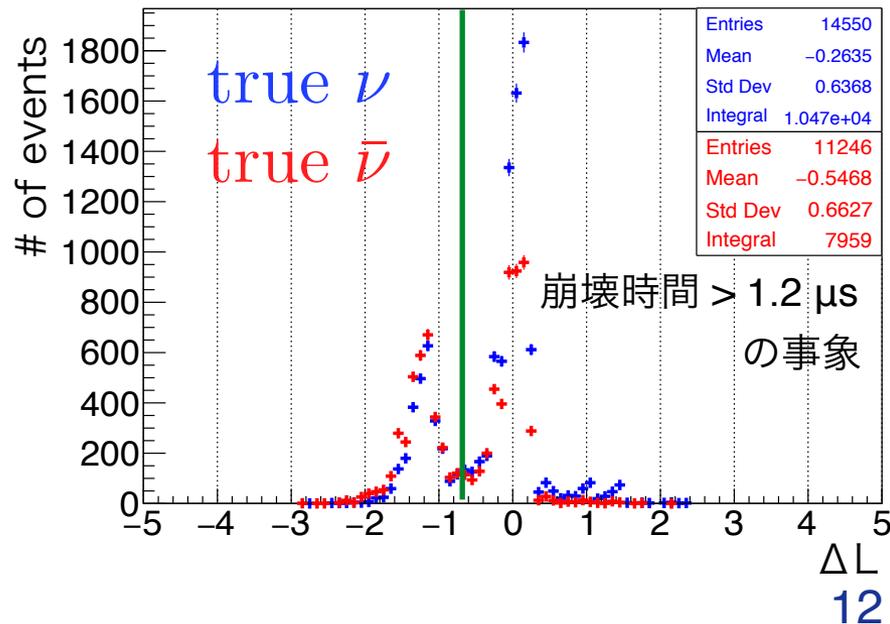
300年分MC(確率分布)→

200年分MC(疑似データ)→

リング	エネルギー	相互作用	e or μ
1	全て	CCQE	μ -like
1	Multi-GeV	全て	μ -like

(Multi-GeVは μ の運動量が約1400MeV/c以上)

振動を考慮した場合の ΔL 分布



振動パラメータ

$$\sin^2 \theta_{12} = 0.309 \quad \Delta m_{12}^2 = 7.49 \times 10^{-5}$$

$$\sin^2 \theta_{13} = 0.025 \quad \Delta m_{23}^2 = 2.44 \times 10^{-3}$$

$$\sin^2 \theta_{23} = 0.50 \quad \delta_{CP} = 0$$

3 世代振動大気 ν MCのpurityの結果

(single-ring 200年分MC)

purityを用いて性能評価を行う

$$\text{purity} = \frac{\text{分母のうちの真の } \nu_{\mu} (\bar{\nu}_{\mu}) \text{ 事象数}}{\nu_{\mu} (\bar{\nu}_{\mu})\text{-like になった事象数}}$$

→高いほど性能がよい

purityの結果

1つのサンプルを2つに分ける

()は事象数を示す

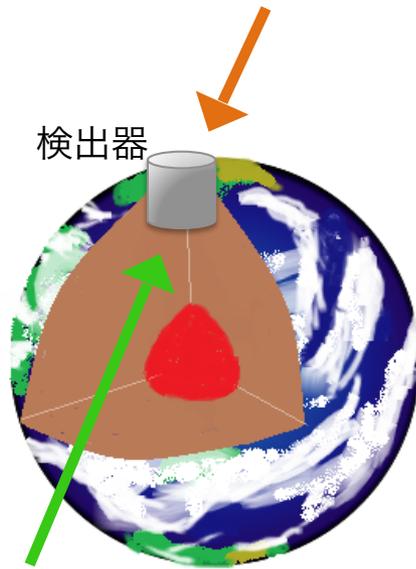
$\nu_{\mu}/\bar{\nu}_{\mu}$ 識別	識別前	識別後	
	(全事象中の組成比)	ν_{μ} -like	$\bar{\nu}_{\mu}$ -like
真の ν_{μ}	62.3% (24351.2)	67.4±0.3% (18336.9)	49.8±0.5% (6014.3)
真の $\bar{\nu}_{\mu}$	36.9% (14616.0)	31.8±0.3% (8669.6)	49.2±0.5% (5947.3)

反応断面積の違いにより観測される数はおよそ $\nu_{\mu} : \bar{\nu}_{\mu} = 2:1$

識別によって、 ν_{μ} **5.1±0.3%**

$\bar{\nu}_{\mu}$ **12.3±0.5%**上がった

大気ニュートリノの正常階層と逆階層での差



下向き事象：ニュートリノ振動の影響を受けにくい

上向き事象：物質中の影響を受けた
ニュートリノ振動が起こる

→正常階層なら $\bar{\nu}_\mu$ 、逆階層なら ν_μ の数が多く見られる
(特に10GeVあたりで)

上向き事象 = 天頂角 $\cos \theta < -0.4$

下向き事象 = 天頂角 $\cos \theta > 0.4$

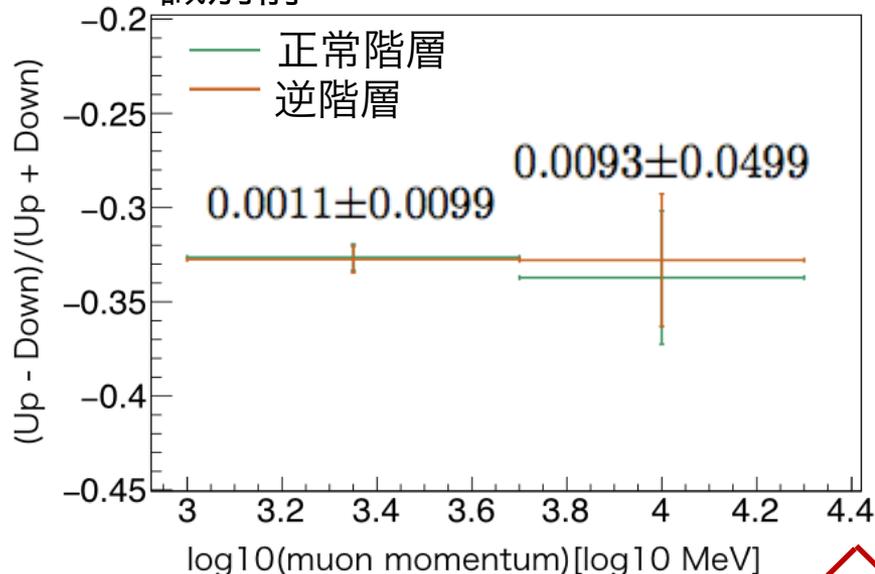
$$\text{上向きと下向きの事象数の比} = \frac{(\text{上向き事象数}) - (\text{下向き事象数})}{(\text{上向き事象数}) + (\text{下向き事象数})}$$

$\nu_\mu/\bar{\nu}_\mu$ 識別前後でこの比の正常階層と逆階層の差を見してみる
(識別によってこの差が大きくなるはず)

↑使用するサンプルは性能評価のときと同じ(前スライド)

質量階層性感度の考察 (single-ring μ -like FC 200年分MC)

識別前



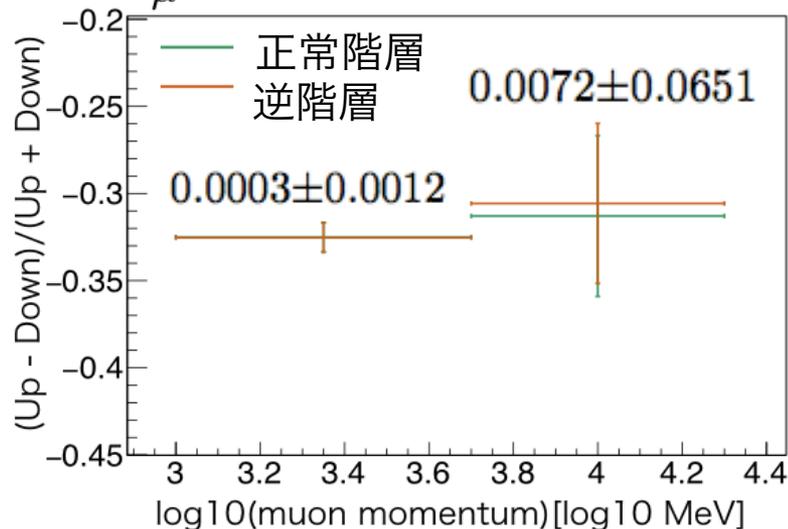
図中の数字は正常階層と逆階層の差を示す

横軸 3.7 → 約 5 GeV

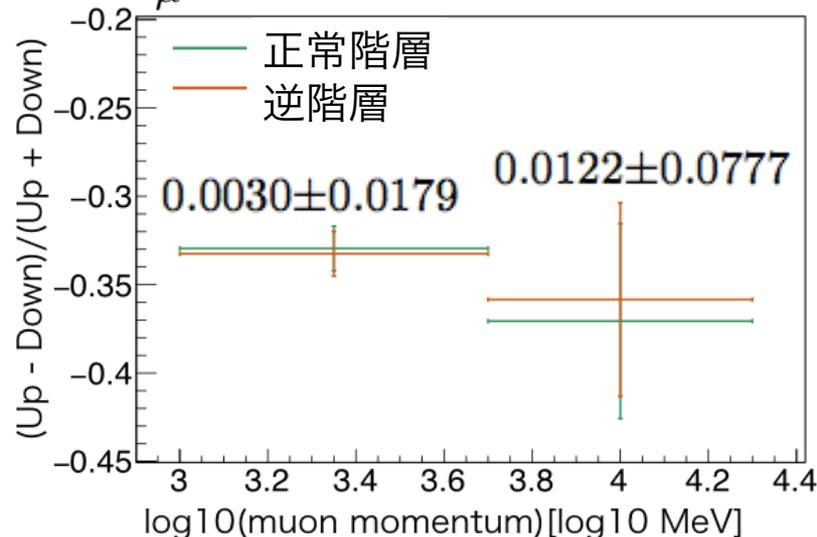
4.3 → 約 20 GeV

識別による正常階層と逆階層の差の変化はあるが、統計的に有意な差はない

ν_μ like

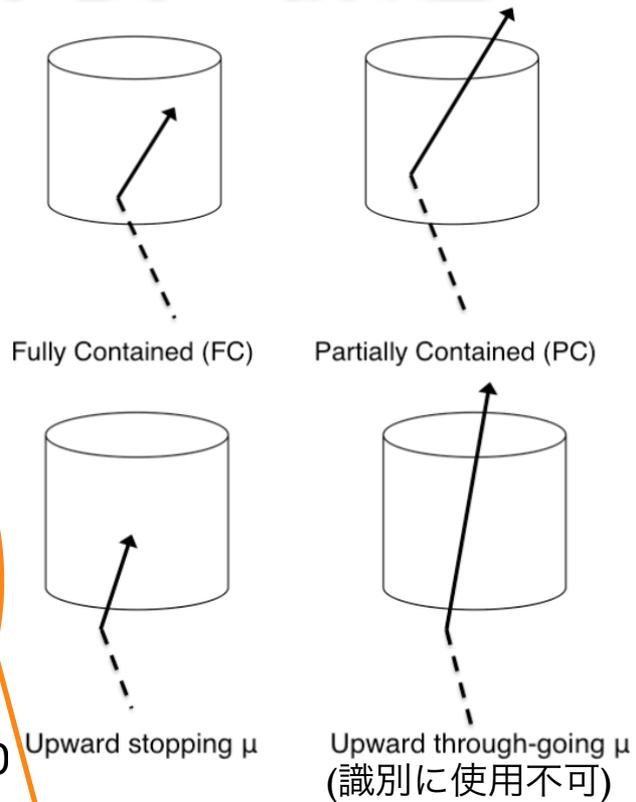
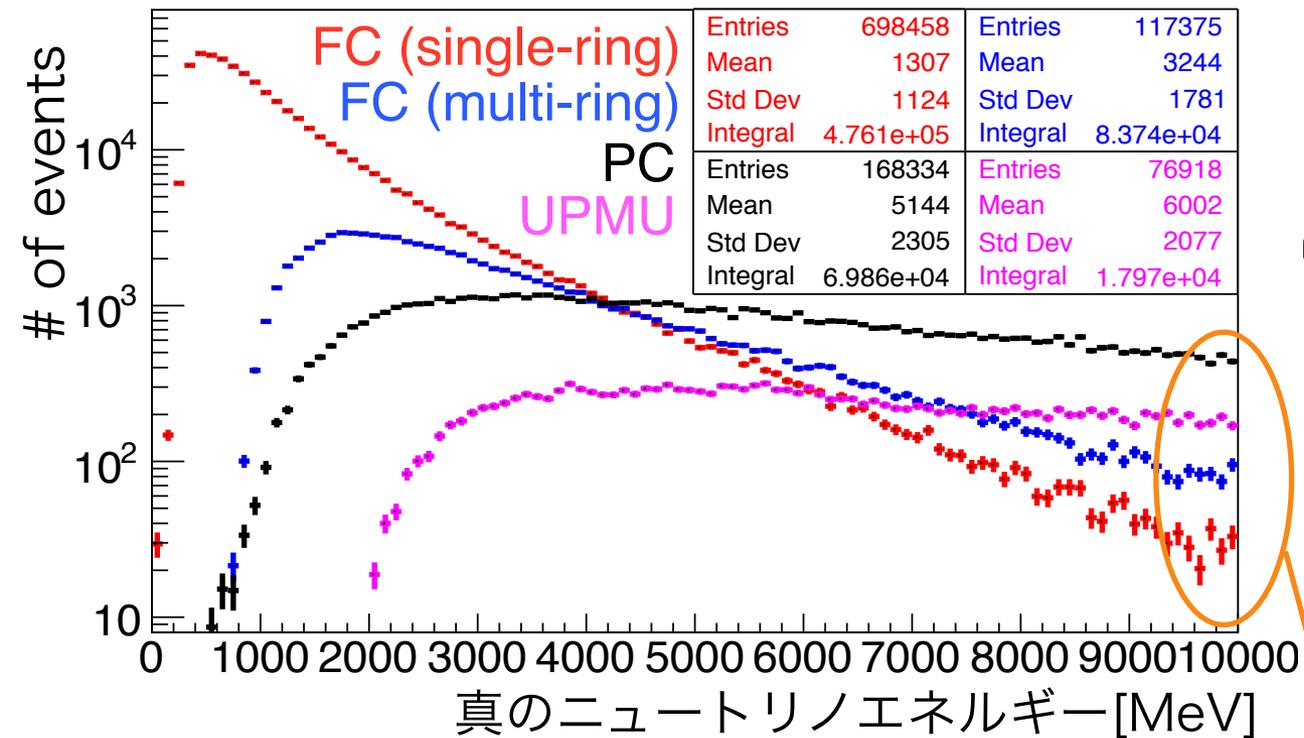


$\bar{\nu}_\mu$ like



質量階層性感度に対する今後の課題

ニュートリノエネルギースペクトラム



10GeVの領域での
事象数の割合

FC single-ring 5%
FC multi-ring 13%
PC 59%
UPMU stopping 23%

質量階層性感度が最も高い領域では
FC (single-ring)は少ない

今回の識別手法を他の事象にも応用すれば、質量階層性感度がよくなるはず

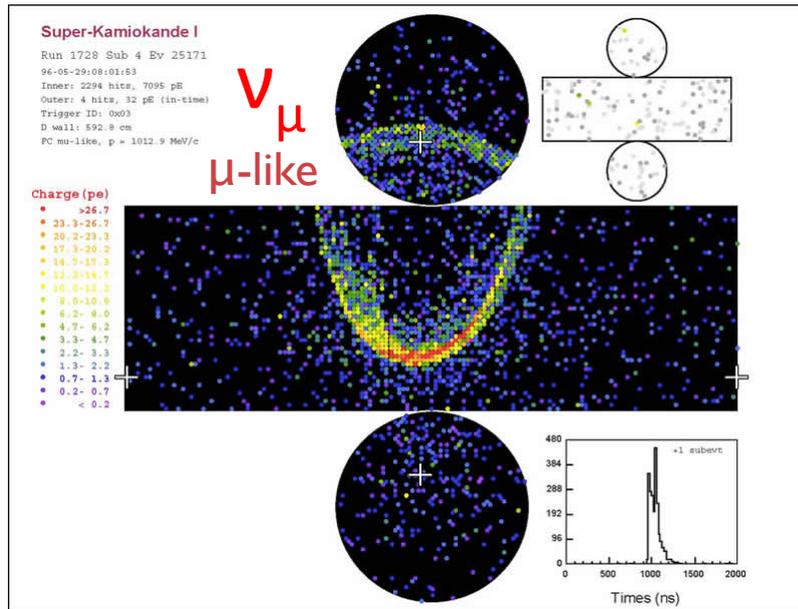
まとめ

- 大気ニュートリノの質量階層性感度を上げるために、スーパーカミオカンデにおいて崩壊電子を用いた $\nu_\mu/\bar{\nu}_\mu$ 識別方法を開発した
- 3世代ニュートリノ振動を考慮したmulti-GeVでの200年分MC(μ -like single-ring FC)サンプルにおいて、purityを識別前と識別後で比較すると、 ν_μ は62.3%から $67.4\pm 0.3\%$ 、 $\bar{\nu}_\mu$ は36.9%から $49.2\pm 0.5\%$ にそれぞれ高めることができた
- 200年分MC(μ -like single-ring FC)上向き事象における $\nu_\mu/\bar{\nu}_\mu$ 識別前と識別後の ν_μ -likeと $\bar{\nu}_\mu$ -likeで正常階層と逆階層の差を見たが、統計的に有意な差を見ることができなかった
- 今後は、質量階層性感度が最も高い10GeVあたりで事象数の多い、FC multi-ring、PC、UPMU(stopping)事象においても今回確立した識別手法を適用することで、質量階層性感度が上がる可能性がある

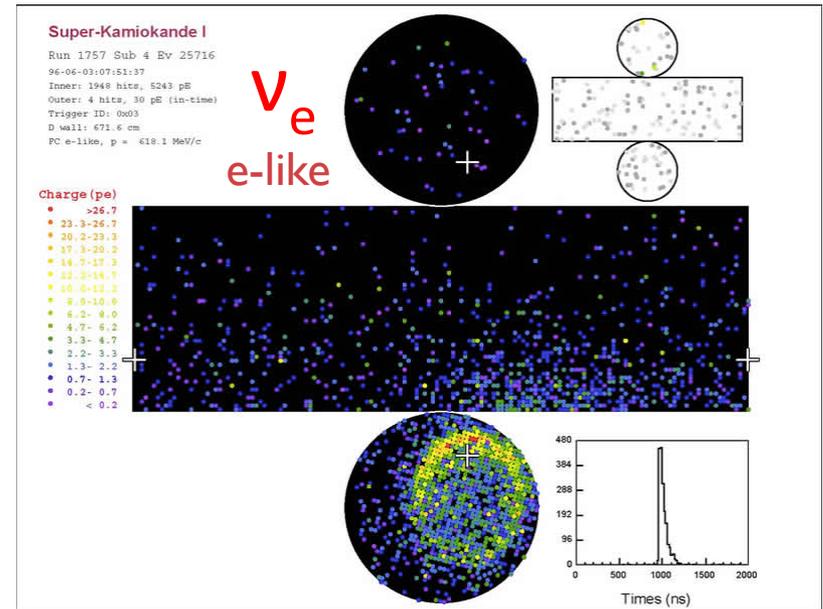
Back Up

スーパーカミオカンデにおける ν_e/ν_μ 識別

イベントディスプレイ



はっきりとしたリングの輪郭が見える

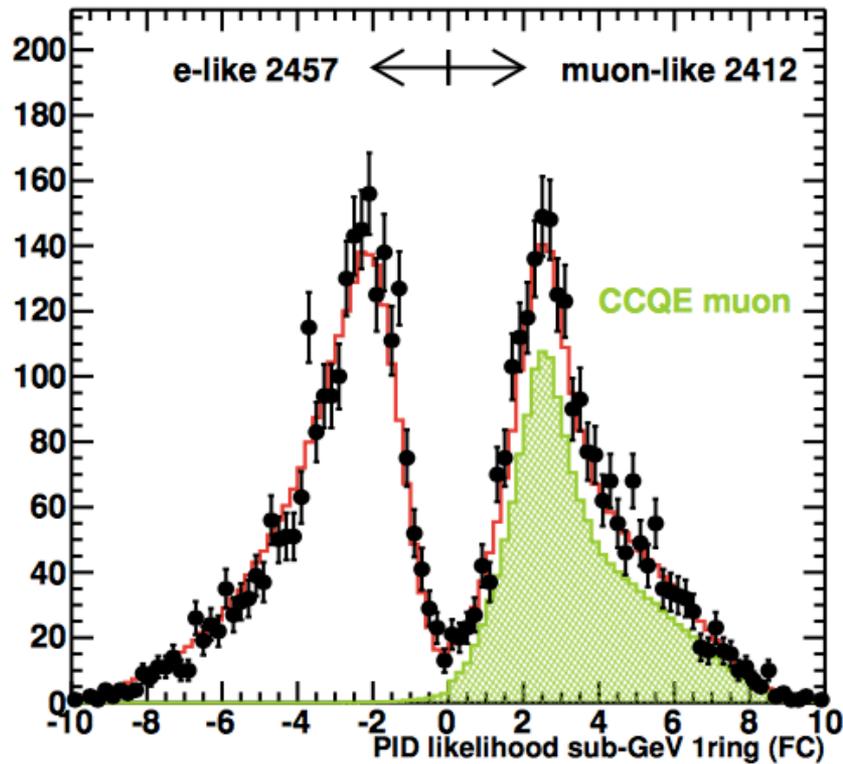


リングはぼやけて見える

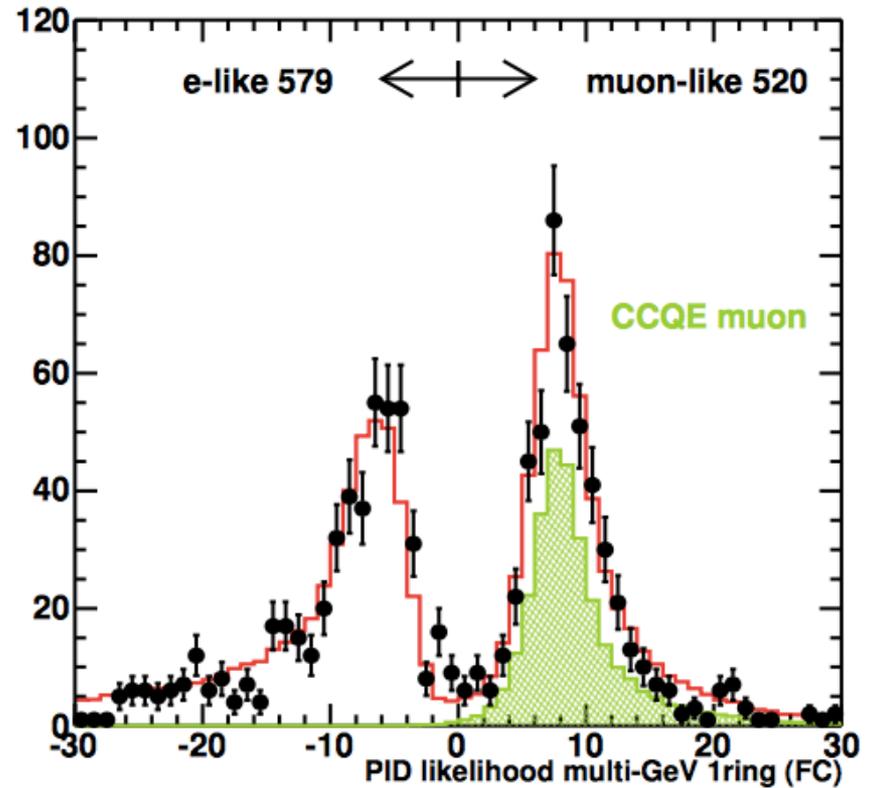
ニュートリノが水中の粒子と相互作用したときに出る荷電粒子が、水中の光速を超えたときに放射されるチェレンコフ光を観測

Particle Identification

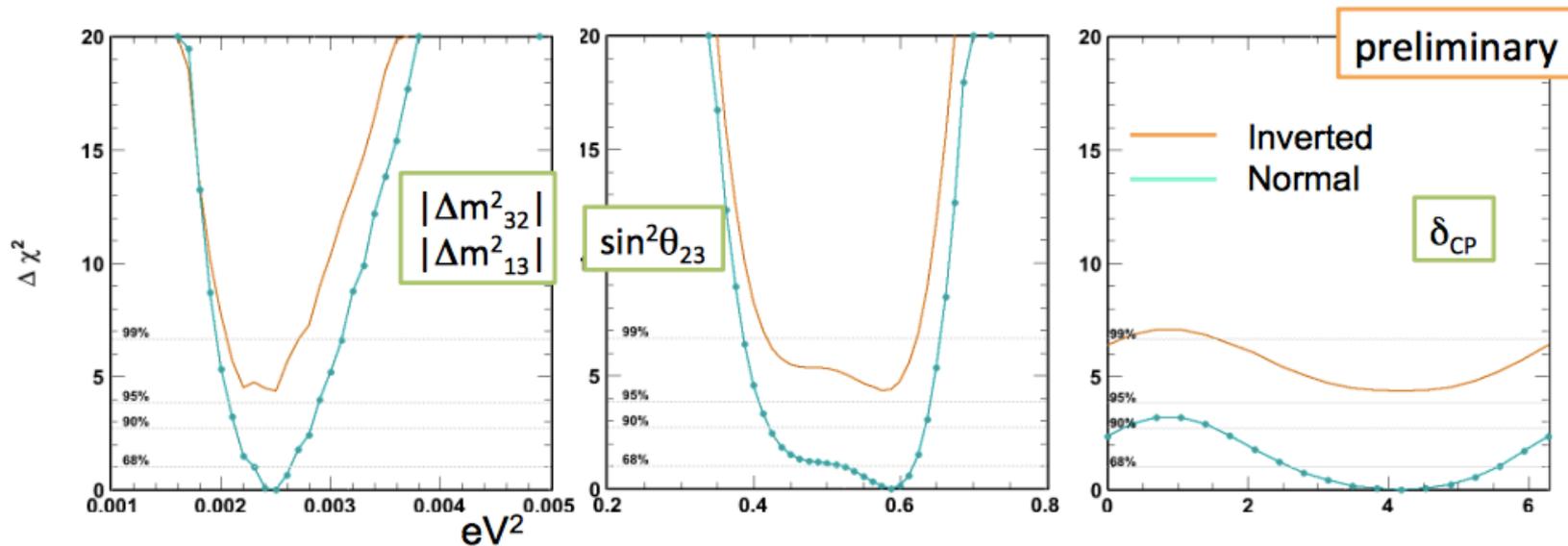
Super Kamiokande IV 1096.7 days : Monitoring



Super Kamiokande IV 1096.7 days : Monitoring



スーパーカミオカンデ大気ニュートリノ 観測からの質量階層性決定



Fit (517 dof)	χ^2	$\sin^2\theta_{13}$	δ_{CP}	$\sin^2\theta_{23}$	$ \Delta m^2_{32} \text{ eV}^2$
SK (IH)	576.08	0.0219 (fix)	4.189	0.575	2.5×10^{-3}
SK (NH)	571.74	0.0219 (fix)	4.189	0.587	2.5×10^{-3}

- SK only (θ_{13} fixed): $\Delta\chi^2 = \chi^2_{NH} - \chi^2_{IH} = -4.3$ (-3.1 expected)
- Under IH hypothesis, the probability to obtain $\Delta\chi^2$ of -4.3 or less is 0.031 ($\sin^2\theta_{23}=0.6$) and 0.007 ($\sin^2\theta_{23}=0.4$). Under NH hypothesis, the probability is 0.45 ($\sin^2\theta_{23}=0.6$).

(S.Moriyama NEUTRINO2016スライド)

ニュートリノ振動

遷移確率(真空中)

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) = \sin^2\theta_{23}\sin^22\theta_{13}\sin^2\left(\frac{1.27\Delta m_{32}^2[\text{eV}^2]L[\text{km}]}{E_\nu[\text{GeV}]}\right)$$

物質中では...

$$\sin^22\theta_{13}^m = \frac{\sin^22\theta_{13}}{\underbrace{(A/\Delta m_{32}^2 - \cos2\theta_{13})^2 + \sin^22\theta_{13}}}$$

正常階層 : +

逆階層 : -

ここで、 $A = \pm 2\sqrt{2}G_F N_e E_\nu$

+ : ニュートリノ

- : 反ニュートリノ

G_F : フェルミ定数

N_e : 物質中の電子数密度

スーパーカミオカンデにおける $\nu_e/\bar{\nu}_e$ 識別

e-like事象に対する識別

◇ 1 リングなら

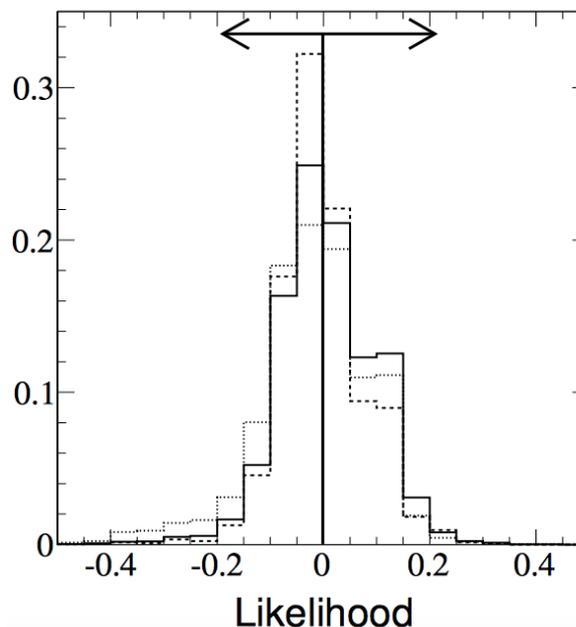
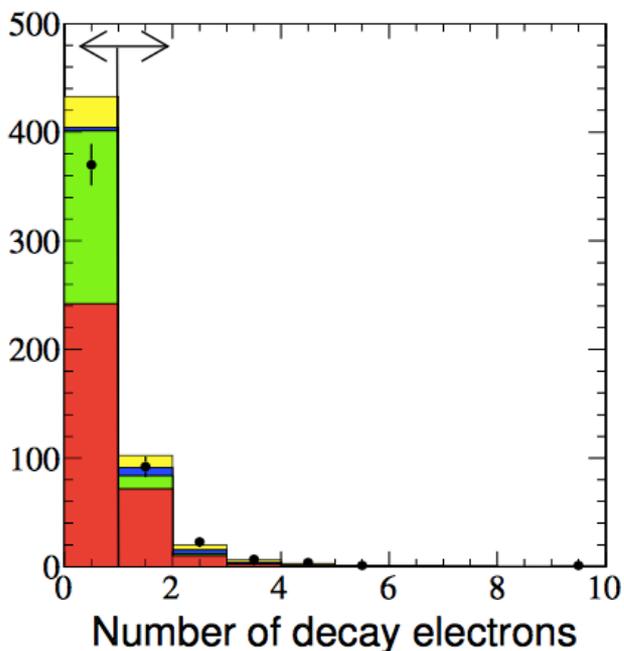
崩壊電子数 N_{dcy}

$N_{\text{dcy}} > 0 \Rightarrow \nu_e \text{ like}$

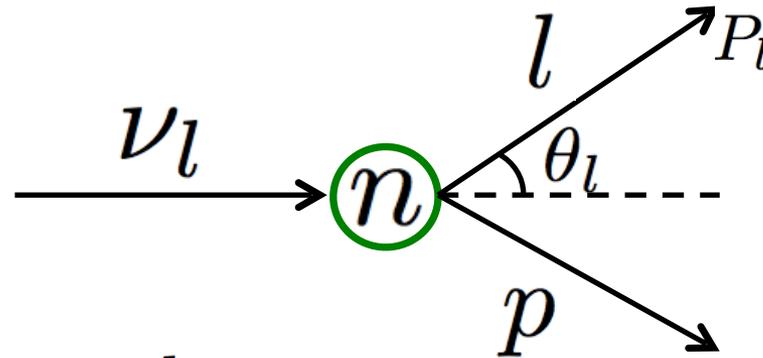
$N_{\text{dcy}} = 0 \Rightarrow \bar{\nu}_e \text{ like}$

◇ 複数リングなら

- ・ 崩壊電子数
 - ・ チェレンコフリングの数
 - ・ 再構成された横運動量
- を用いて log likelihood を計算



荷電カレント準弾性散乱(CCQE)



$$\nu_l + n \longrightarrow l + p$$

終状態の荷電レプトン(l)の運動量と方向から、ニュートリノのエネルギーを再構成することができる

$$E_\nu^{rec} = \frac{m_n E_l - m_l^2/2}{m_n - E_l + P_l \cos\theta_l}$$

事象選択

崩壊時間 > 1.2

0.6 < 崩壊時間 < 1.2

宇宙線
ミュオン

- μ 崩壊時間 > 1.2 or 0.6 < 崩壊時間 < 1.2 [micro sec]
- μ 総電荷 > 1000 [p.e.]
- $1.5 < \mu$ 運動量/ μ 飛程 < 3.5[MeV/c/cm]
- 鉛直下向き μ
- μ fitの良さ > 0.5 (Max : 1)
- 崩壊電子の数 ≥ 1
- 崩壊電子の種類 = sub event
- e fit (Bonsai) の良さ > 0.5 (Max :1)
- 壁際イベント除去

+崩壊電子タグ

大気
ニュートリノ

- μ 崩壊時間 > 1.2 or 0.6 < 崩壊時間 < 1.2 [micro sec]
- μ 運動量 > 200 [MeV/c]
- 壁からの μ の距離 ≥ 200 [cm]
- μ またはe like のタイプ = μ
- 崩壊電子の数 ≥ 1
- 崩壊電子の種類 = sub event
- e fit (Kai) の良さ > 0.5 (Max : 1)
- visible energy > 30 [MeV]
- 外側のタンクでのヒット数 ≤ 15 [hits]
- リングの数 = 1
- 荷電カレント準弾性散乱イベント選択
- 壁際イベント除去

+崩壊電子タグ

事象選択

崩壊時間 < 0.6

大気
ニュートリノ

- μ 崩壊時間 < 0.6 [micro sec]
- μ 運動量 > 200 [MeV/c]
- 壁からの μ の距離 \geq 200 [cm]
- μ またはe like のタイプ = μ
- 崩壊電子の数 \geq 1
- 崩壊電子の種類 = in-gate event
- visible energy > 30 [MeV]
- 外側のタンクでのヒット数 \leq 15 [hits]
- リングの数 = 1
- 荷電カレント準弾性散乱イベント選択

事象選択

崩壊電子数 = 0

宇宙線
ミュオン

- μ 総電荷 > 1000 [p.e.]
- $1.5 < \mu$ 運動量/ μ 飛程 < 3.5[MeV/c/cm]
- 鉛直下向き μ
- μ fitの良さ > 0.5 (Max : 1)
- 崩壊電子の数 = 0
- 壁際イベント除去

大気
ニュートリノ

- μ 運動量 > 200 [MeV/c]
- 壁からの μ の距離 \geq 200 [cm]
- μ またはe like のタイプ = μ
- 崩壊電子の数 = 0
- visible energy > 30 [MeV]
- 外側のタンクでのヒット数 \leq 15 [hits]
- リングの数 = 1
- 荷電カレント準弾性散乱イベント選択
- 壁際イベント除去

宇宙線 μ での崩壊電子選別

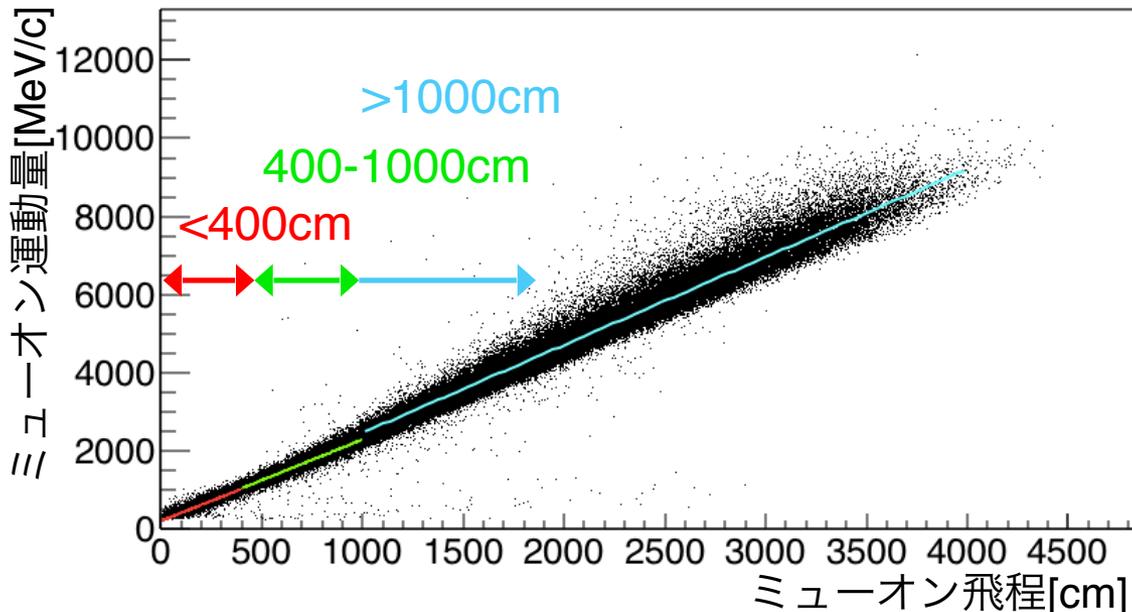
使用するMC/data(dataは2009年4月のものを使用)

*タンク上部から入射し、タンク内で止まって崩壊電子を出す

鉛直下向きの宇宙線ストップミュオン

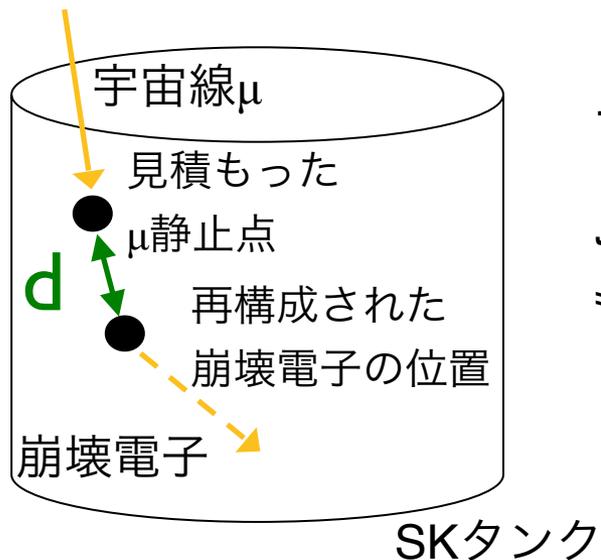
これを用いて、ミュオン静止位置から
崩壊電子を同定する手法を確立

ミュオン運動量と飛程の相関図(MCで見積もり)

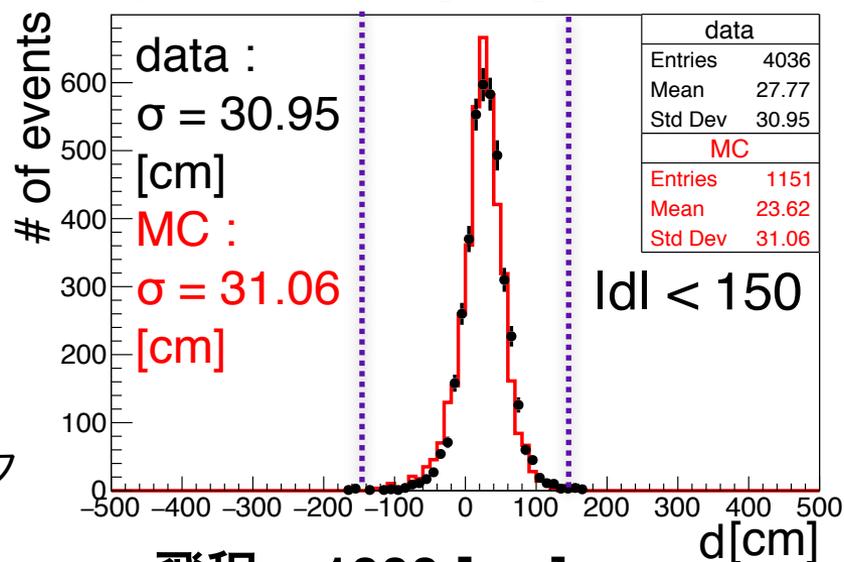


ミュオンの運動量からミュオンの飛程を予測
(3つの範囲に分け、それぞれ
フィットして得た一次関数から
計算)

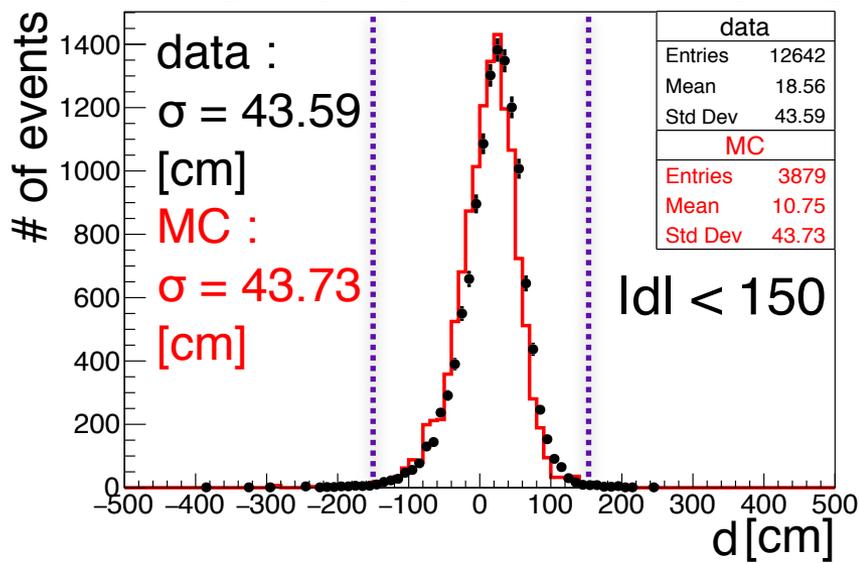
宇宙線 μ での崩壊電子選別



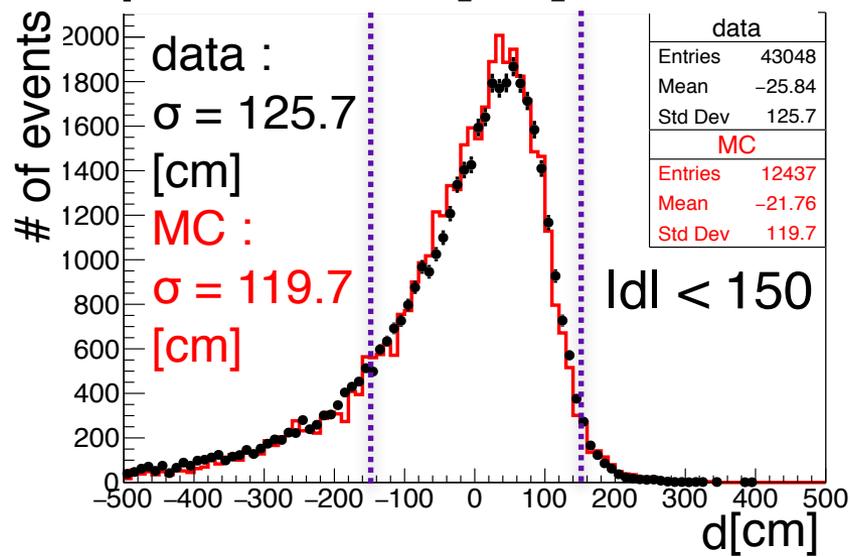
μ 飛程 < 400 [cm]



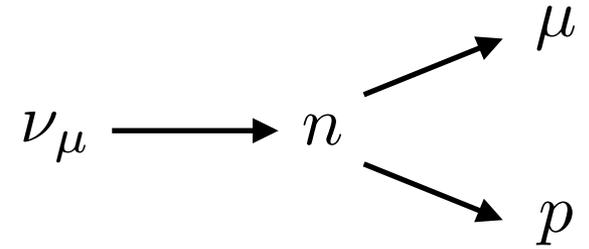
$400 \text{ [cm]} < \mu$ 飛程 < 1000 [cm]



μ 飛程 > 1000 [cm]



大気 ν での崩壊電子選別



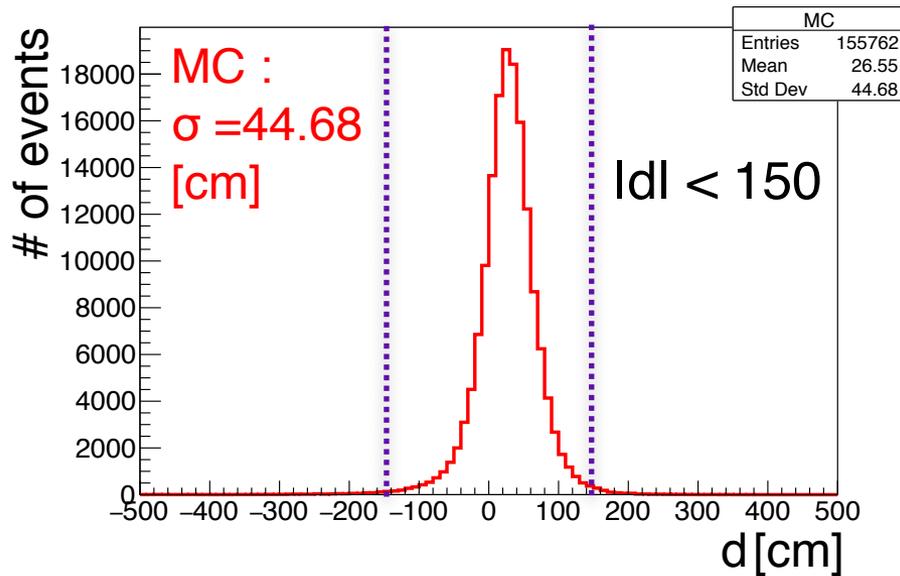
使用するMC

*1リング(チェレンコフリングが1つ)の μ -like荷電カレント準弾性散乱(CCQE)

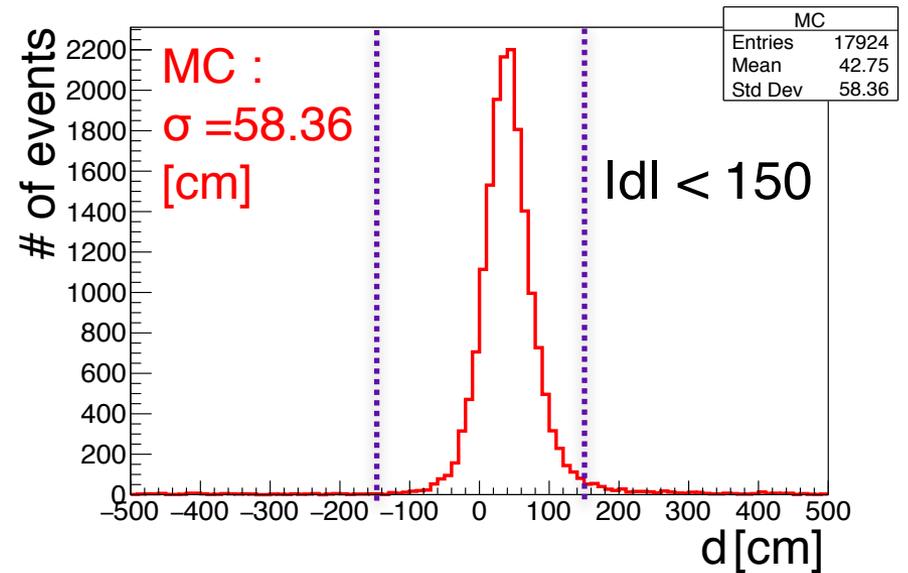


宇宙線ミュオンで定義した選別方法を適用すると...

μ 飛程 < 400 [cm]



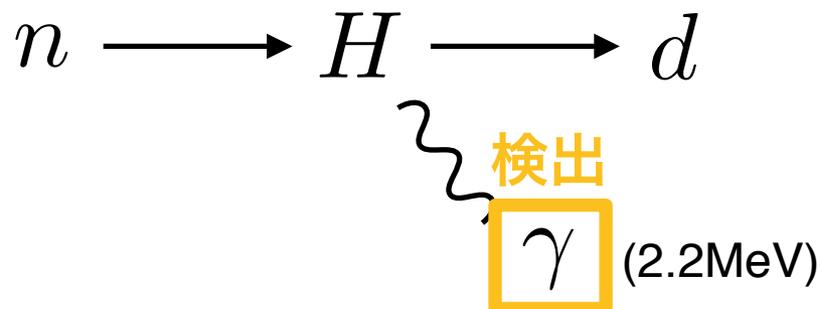
400 [cm] < μ 飛程 < 1000 [cm]



大気 ν でも同じ基準で使用できる

Neutron tagging

中性子が水中の陽子に捕獲される



ミューオンのヒットが検出されてから、中性子捕獲時間: ~205 μ s

評価対象時間: 18-535 μ s

→10ns中に7ヒット以上存在する領域を中性子捕獲事象候補

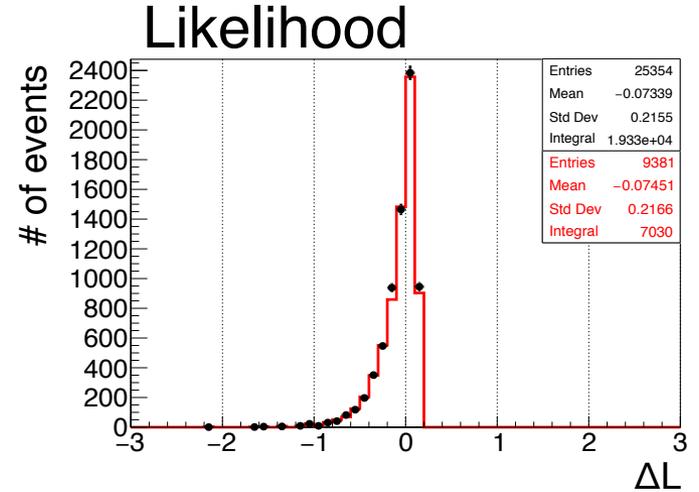
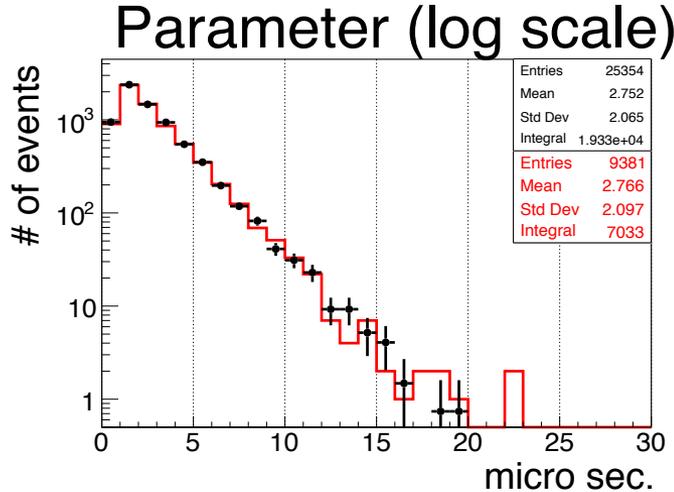
Neural Networkの出力変数がある一定以上の場合に中性子信号とする

中性子検出効率	20.5%
バックグラウンド/事象	0.018

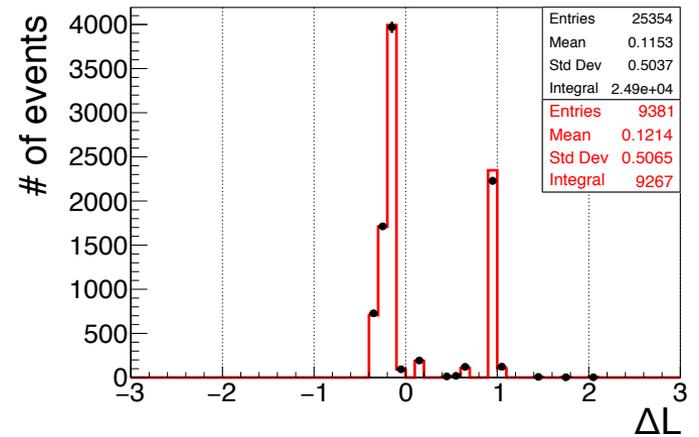
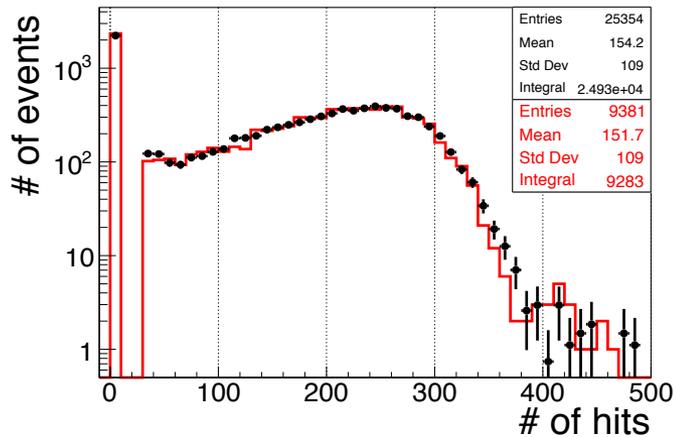
宇宙線ミュオンでの比較

崩壊時間

MC
data(Apr. 2009)



N50



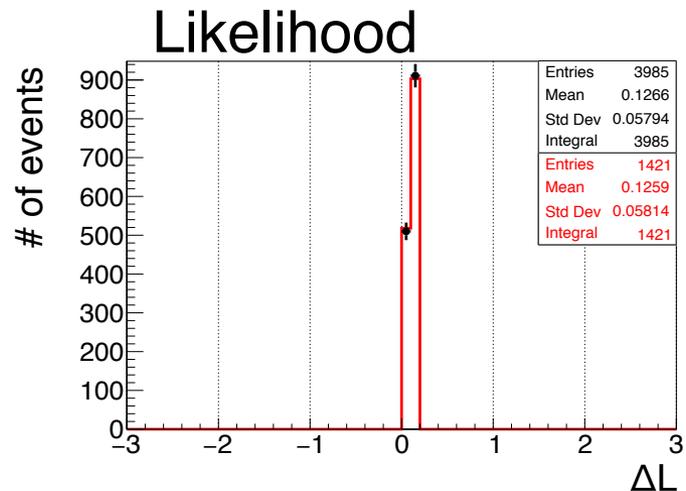
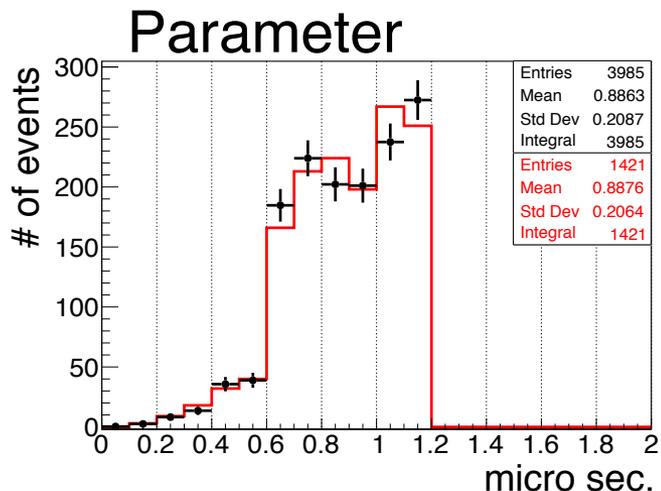
MCとdataは一致している

中性子数 ➡ 宇宙線ミュオンでは使用不可

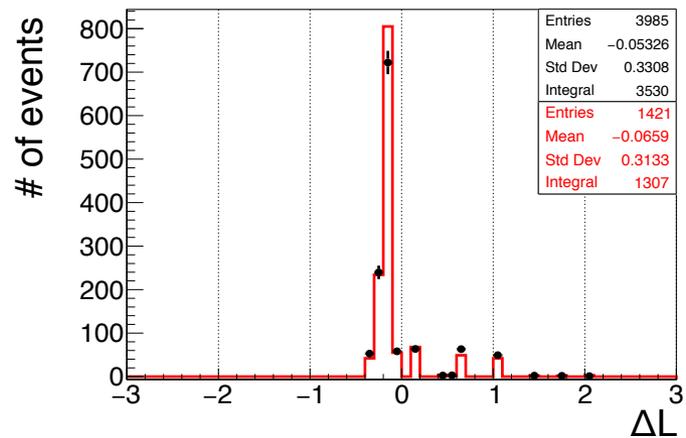
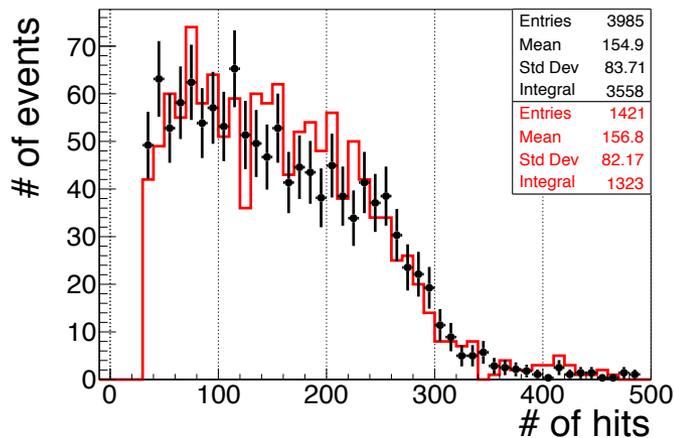
宇宙線ミュオンでの比較(崩壊時間 $<1.2\mu\text{s}$)

崩壊時間

MC
data(Apr. 2009)



N50



MCとdataは一致している

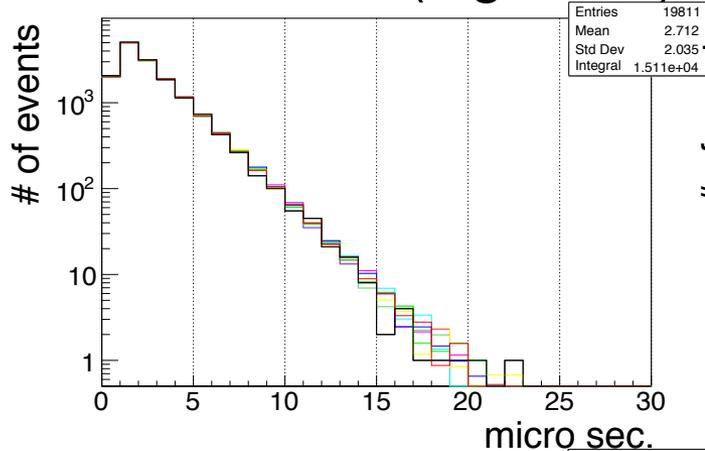
中性子数 ➡ 宇宙線ミュオンでは使用不可

宇宙線ミュオンでの比較

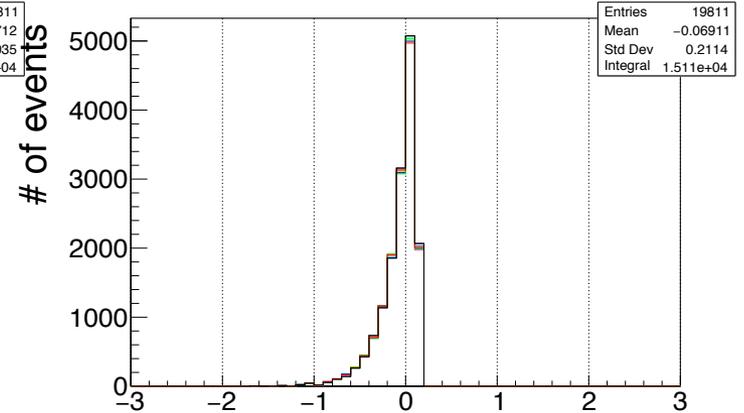
崩壊時間

MC
data(Apr. 2009)

Parameter (log scale)

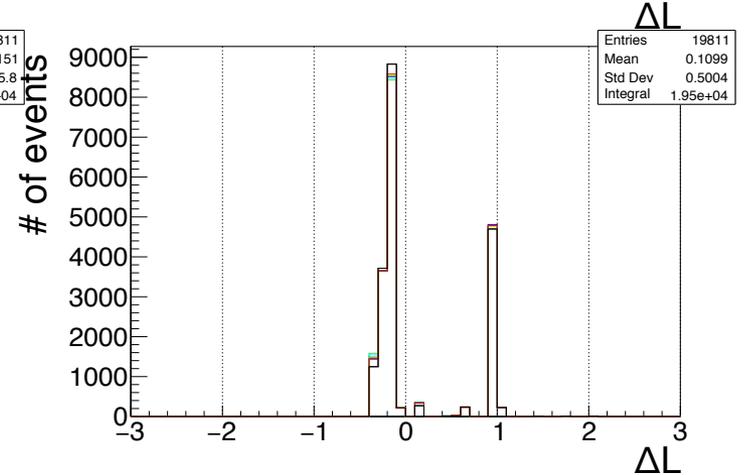
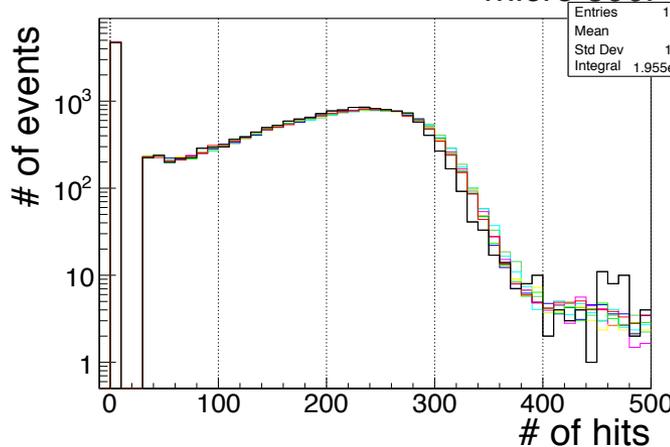


Likelihood



ヒット数

2008 2009
2010 2011
2012 2013
2014 2015



時間変動なし

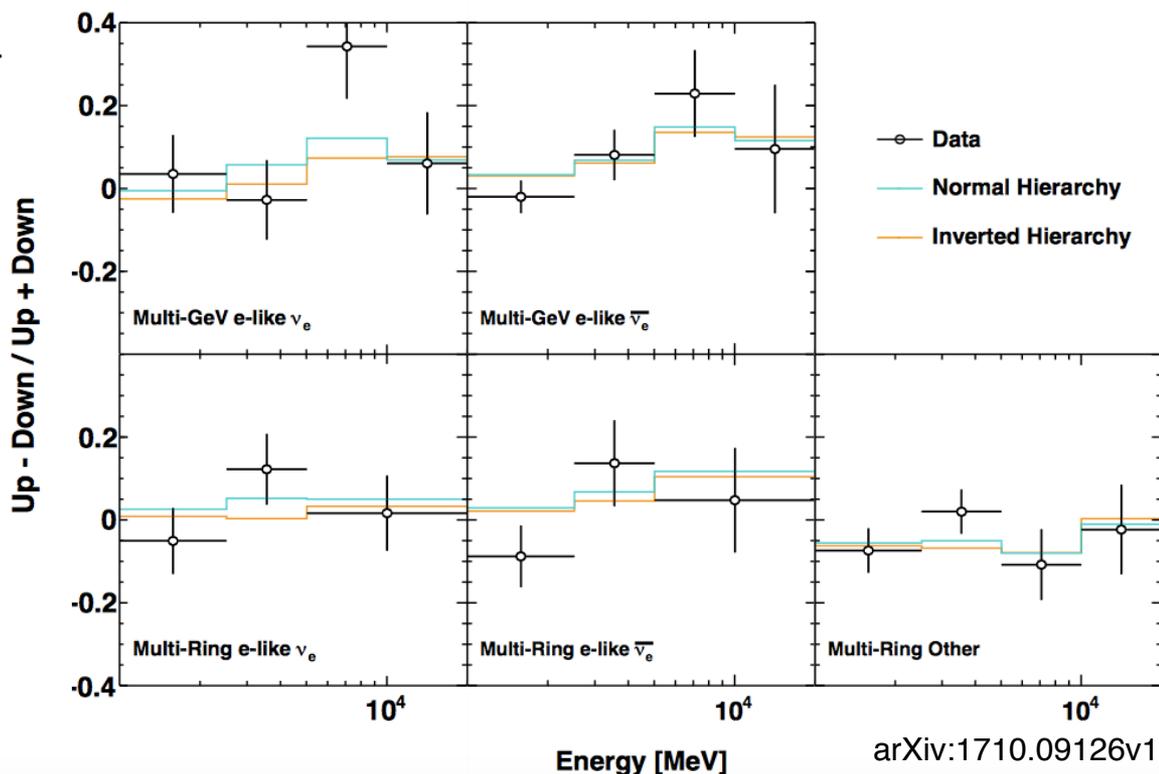
中性子数 ➡ 宇宙線ミュオンでは使用不可

e-like事象のpurityと質量階層性感度

purity

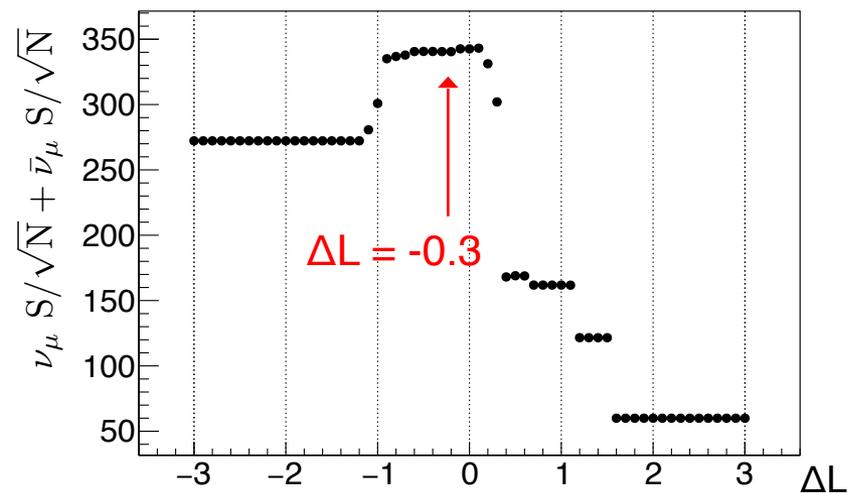
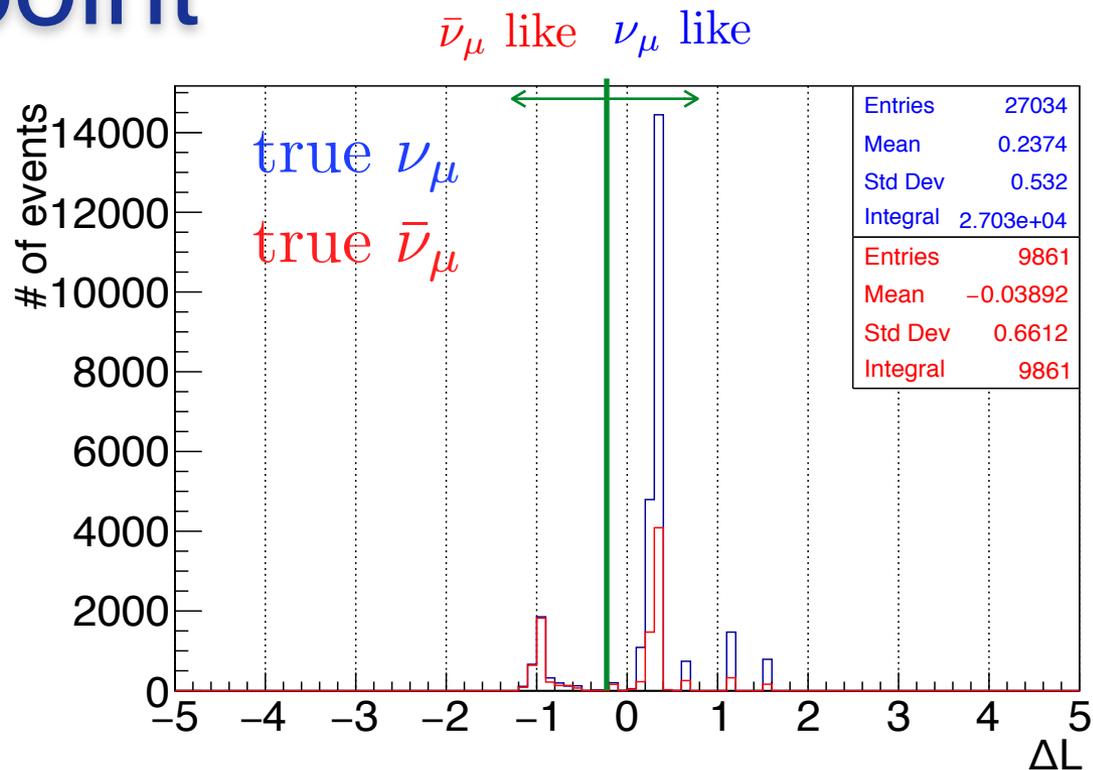
		真の ν_e	真の $\bar{\nu}_e$
識別前		56.5%	30.0%
識別後	ν_e -like	62.1%	9.0%
	$\bar{\nu}_e$ -like	54.6%	37.2%

上向き/下向き



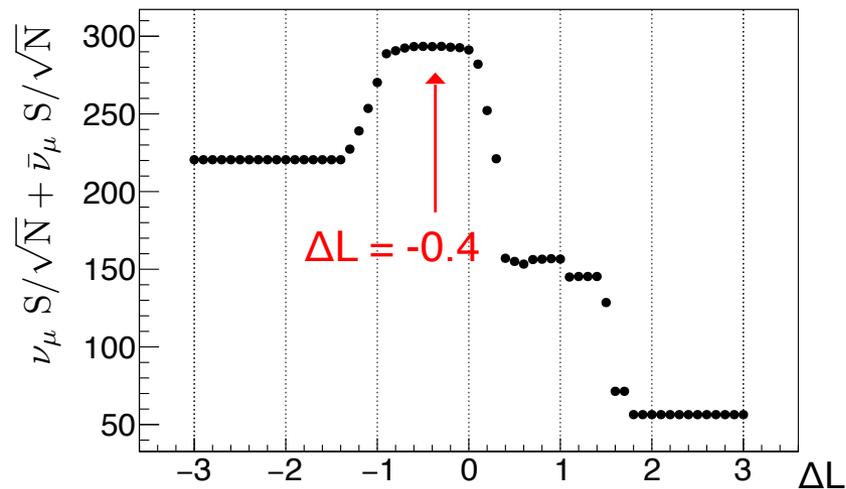
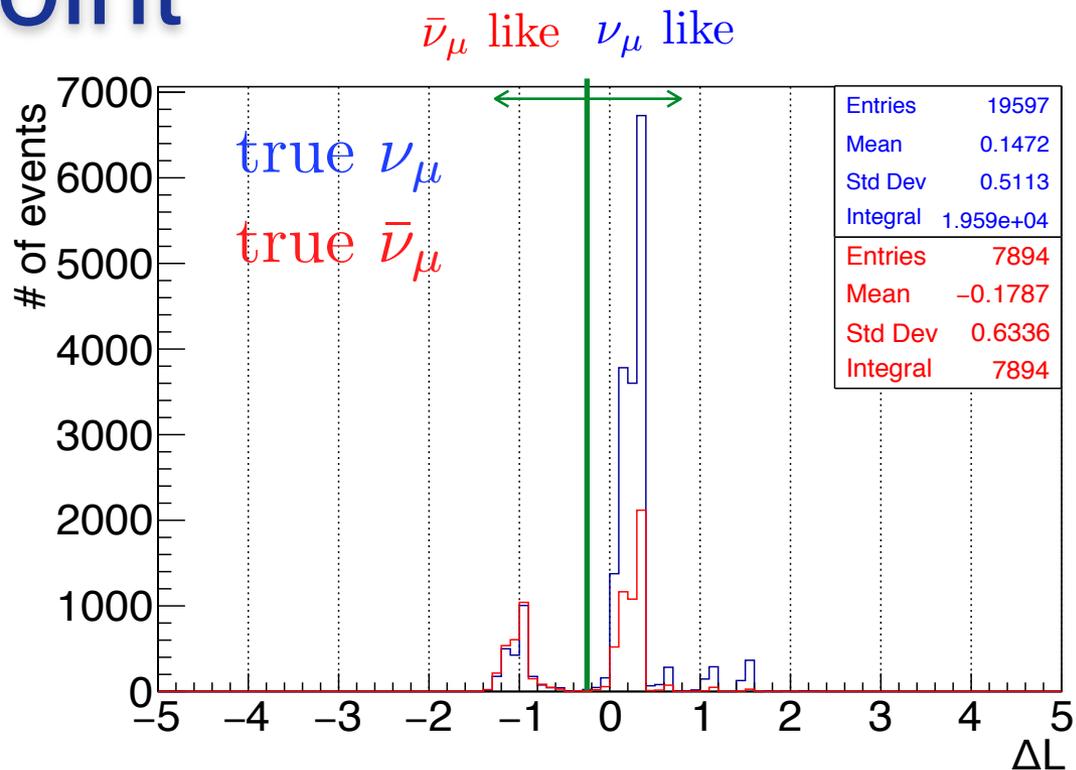
ΔL 分布とcut point

崩壊時間 < 0.6 [micro sec.]



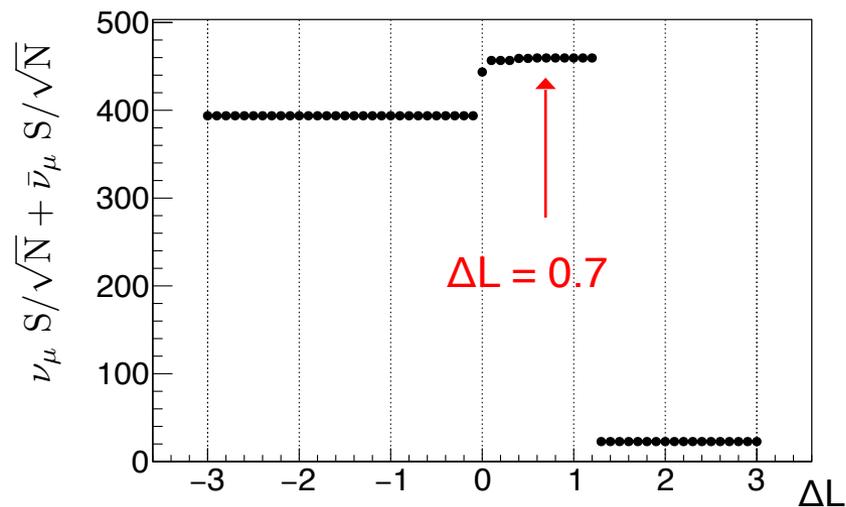
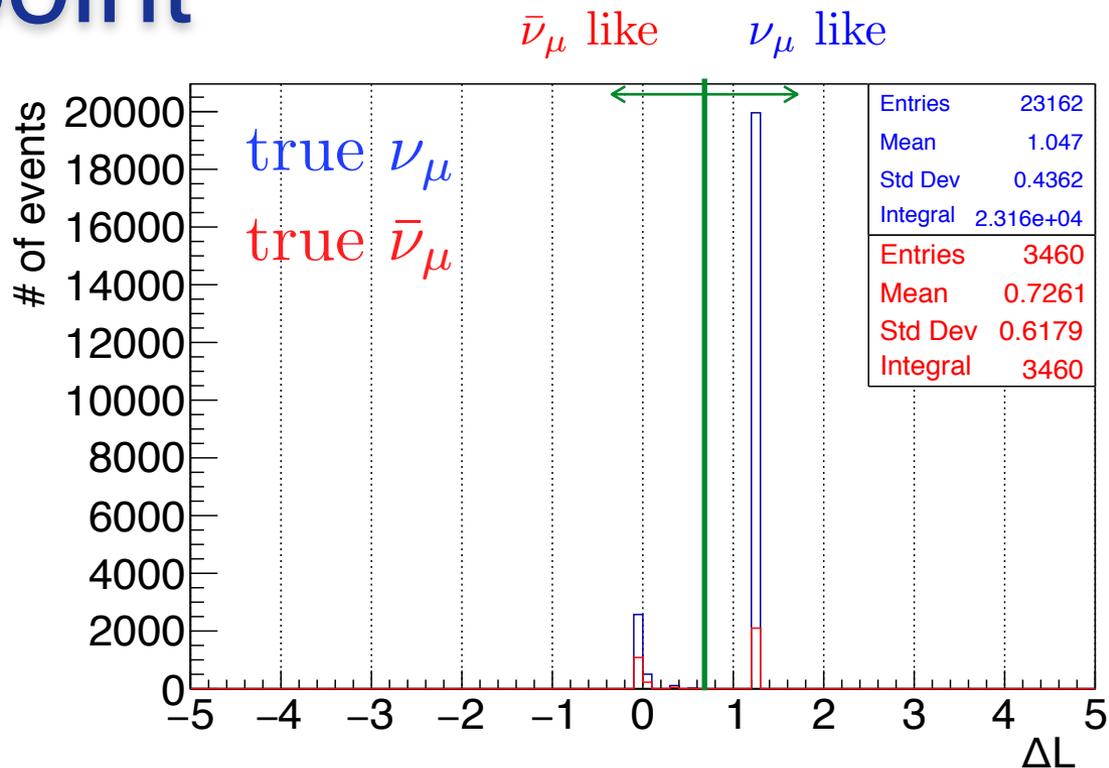
ΔL 分布とcut point

$0.6 < \text{崩壊時間} < 1.2$ [micro sec.]



ΔL 分布とcut point

崩壊電子数 = 0 の事象



ΔL 分布からの結果(3世代振動考慮前)

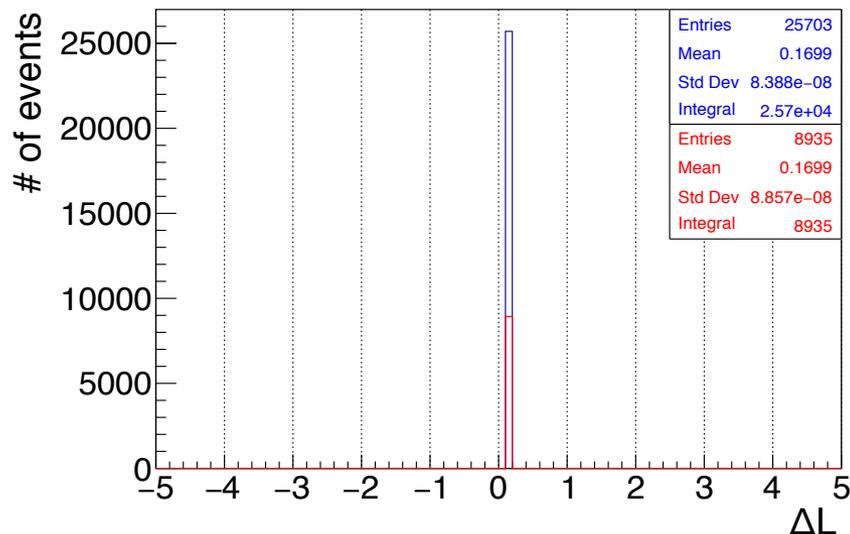
$$\text{purity} = \frac{\text{分母のうちの真の } \nu_{\mu}(\bar{\nu}_{\mu}) \text{ 事象数}}{\nu_{\mu}(\bar{\nu}_{\mu})\text{-likeになった事象数}}$$

$$\text{efficiency} = \frac{\text{分母のうちの } \nu_{\mu}(\bar{\nu}_{\mu})\text{-likeになった事象数}}{\text{真の } \nu_{\mu}(\bar{\nu}_{\mu}) \text{ 事象数}}$$

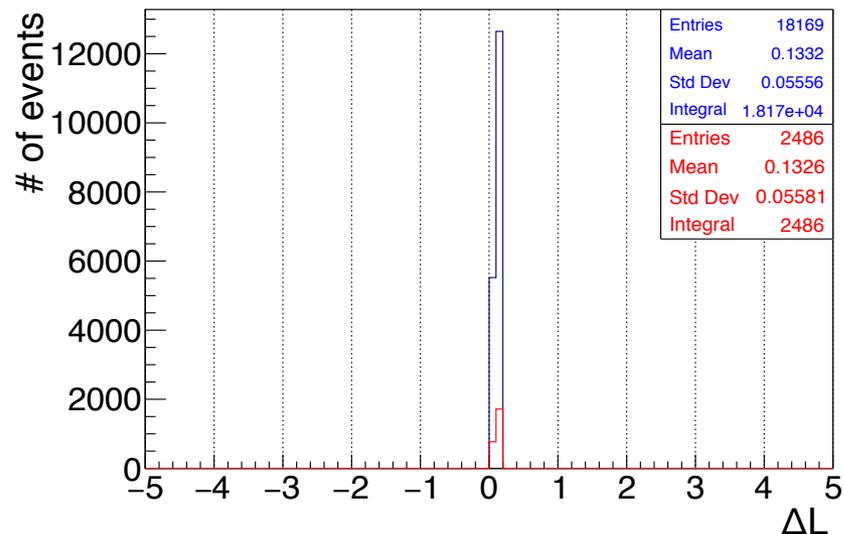
	ν_{μ} purity	ν_{μ} efficiency	$\bar{\nu}_{\mu}$ purity	$\bar{\nu}_{\mu}$ efficiency
$\nu_{\mu}/\bar{\nu}_{\mu}$ 識別前	71.9%	—	28.1%	—
$\nu_{\mu}/\bar{\nu}_{\mu}$ 識別後	$87.0 \pm 0.1\%$	$77.4 \pm 0.1\%$	$35.2 \pm 0.2\%$	$51.3 \pm 0.3\%$

ΔL 分布(崩壊時間のみ)

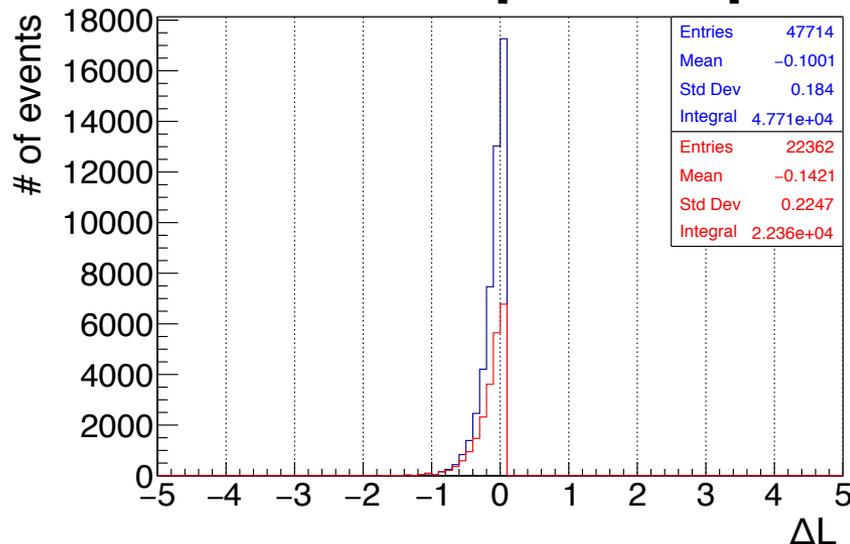
崩壊時間 < 0.6 [micro sec.]



0.6 < 崩壊時間 < 1.2 [micro sec.]

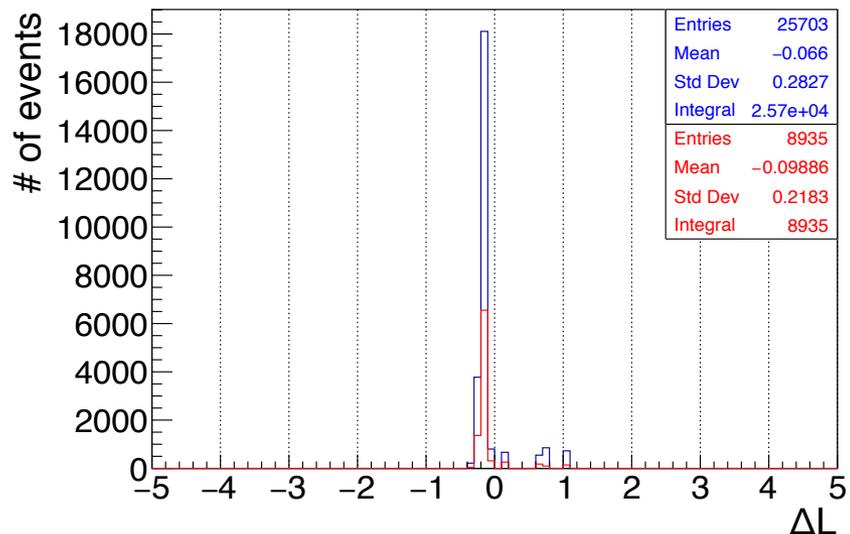


崩壊時間 > 1.2 [micro sec.]

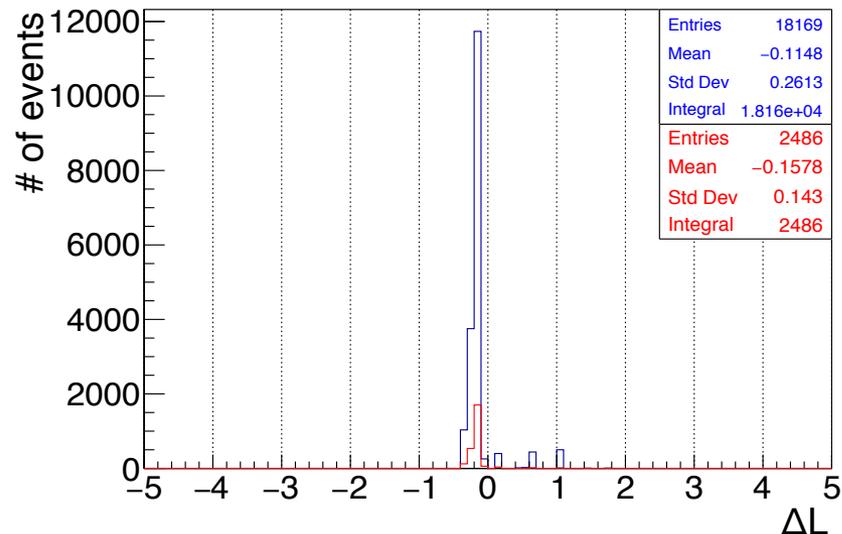


ΔL 分布(N50のみ)

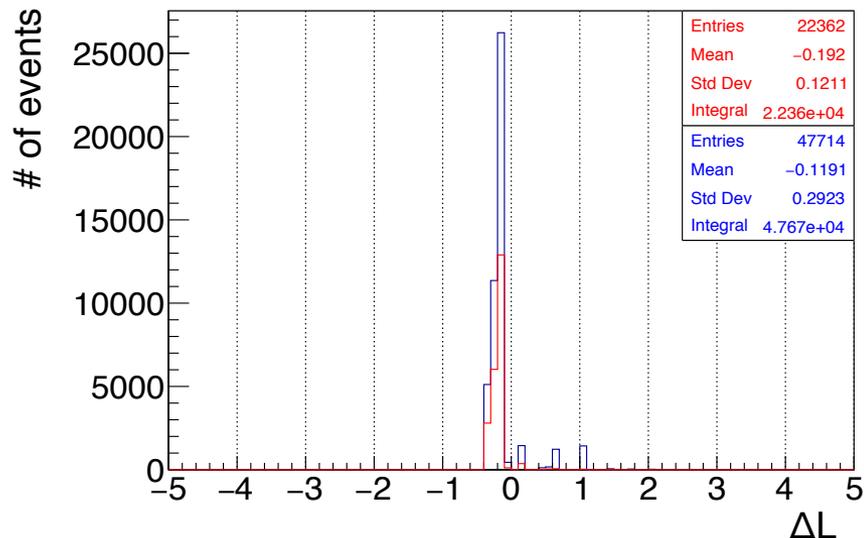
崩壊時間 < 0.6 [micro sec.]



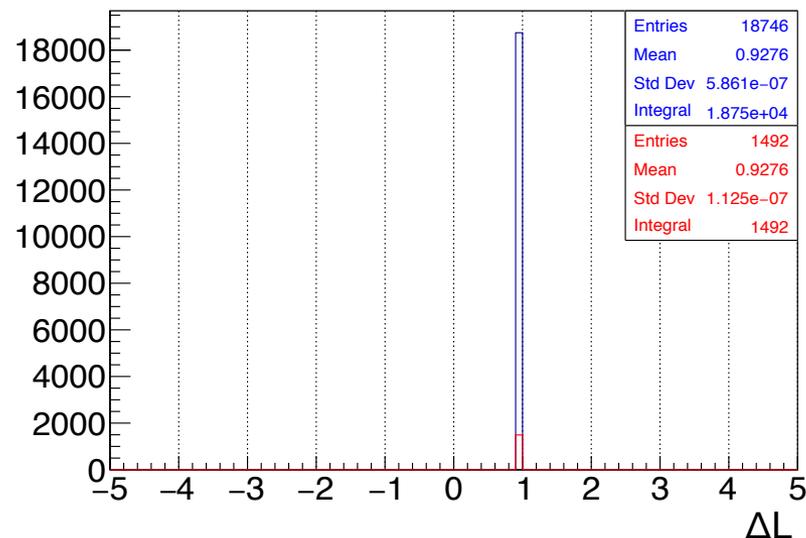
0.6 < 崩壊時間 < 1.2 [micro sec.]



崩壊時間 > 1.2 [micro sec.]

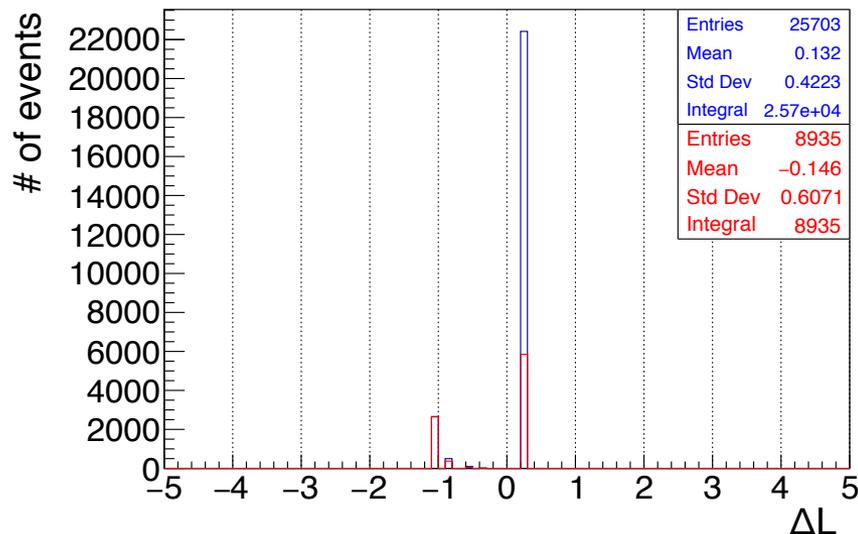


崩壊電子数 = 0

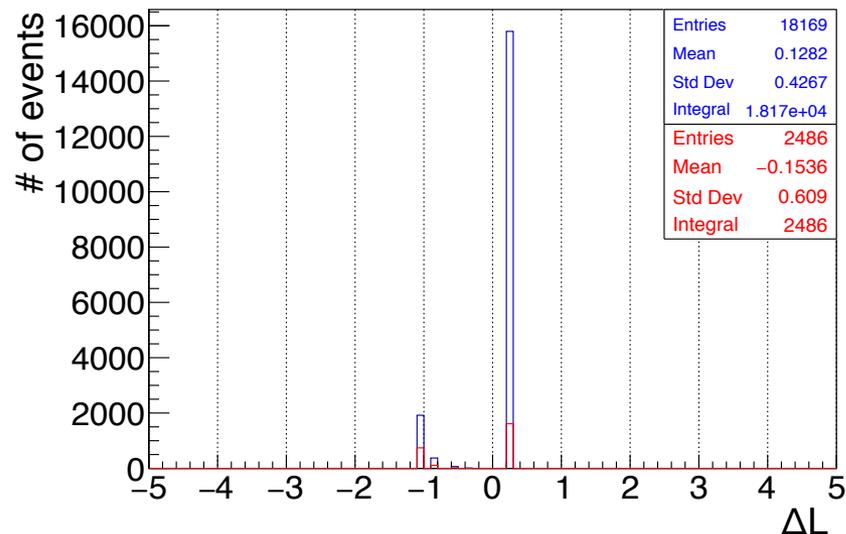


ΔL 分布(中性子数のみ)

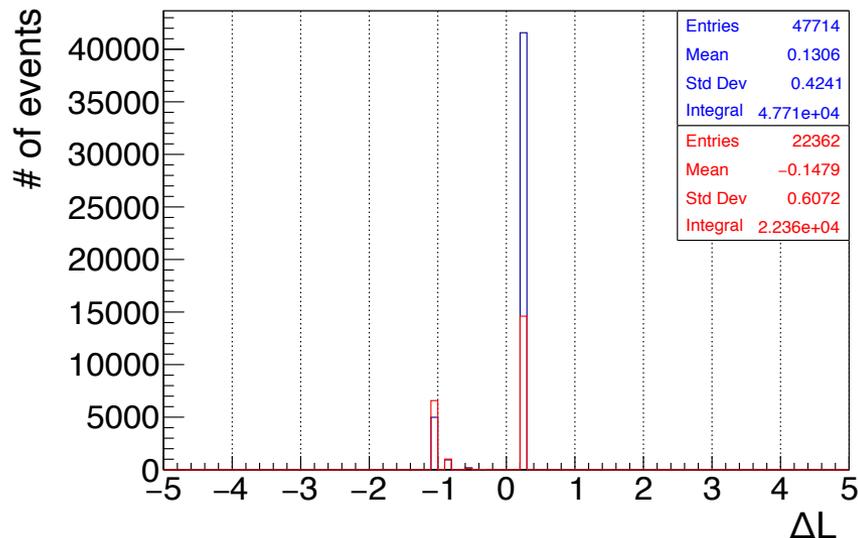
崩壊時間 < 0.6 [micro sec.]



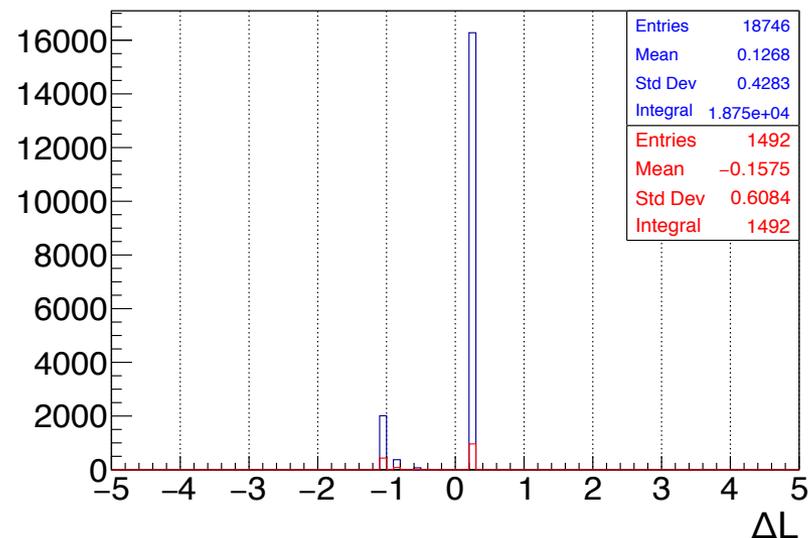
0.6 < 崩壊時間 < 1.2 [micro sec.]



崩壊時間 > 1.2 [micro sec.]



崩壊電子数 = 0



真の情報を用いた上向き/下向き比

(single-ring μ -like FC 200年分MC)

