

$\mu + N$ + N 反応探索実験の
ためのシミュレーション計算



久野良孝

久野研究室

年末発表会 12月22日

$\mu + N$ + N 反応探索実験の
ためのシミュレーション計算



松島朋宏

久野研究室M1学生

年末発表会 12月22日

目次

- 物理的意義
- 散乱実験と崩壊実験の比較
- 高エネルギー・ミューオン・ビームの評価
- シミュレーション計算
- 測定器の可能性
- まとめ

レプトン・フレーバー非保存

- $\mu + N \rightarrow e + N$
 - PRISM (10^{-18}) and/or MECO (10^{-16})
- $\mu + N \rightarrow \tau + N$
 - μ - τ 転換の方が大きい可能性も
 - Neutrino振動では、 μ - τ 転換が大きい
 - 実験的試みは無し
 - $\tau + N \rightarrow \mu + N$ は寿命が短いので実験的に難しい
 - Minimum muon beam energy = 1.83GeV

Lepton Family number (LF), Lepton number (L), or Baryon number (B) violating modes

L means lepton number violation (e.g. $\tau^- \rightarrow e^+ \pi^- \pi^-$). Following common usage, LF means lepton family violation and not lepton number violation (e.g. $\tau^- \rightarrow e^- \pi^+ \pi^-$). B means baryon number violation.

Γ ₁₄₁	$e^- \gamma$	LF	< 2.7	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₄₂	$\mu^- \gamma$	LF	< 1.1	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₄₃	$e^- \pi^0$	LF	< 3.7	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₄₄	$\mu^- \pi^0$	LF	< 4.0	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₄₅	$e^- K_S^0$	LF	< 9.1	$\times 10^{-7}$	CL=90%
Γ ₁₄₆	$\mu^- K_S^0$	LF	< 9.5	$\times 10^{-7}$	CL=90%
Γ ₁₄₇	$e^- \eta$	LF	< 8.2	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₄₈	$\mu^- \eta$	LF	< 9.6	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₄₉	$e^- \rho^0$	LF	< 2.0	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₅₀	$\mu^- \rho^0$	LF	< 6.3	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₅₁	$e^- K^*(892)^0$	LF	< 5.1	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₅₂	$\mu^- K^*(892)^0$	LF	< 7.5	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₅₃	$e^- \bar{K}^*(892)^0$	LF	< 7.4	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₅₄	$\mu^- \bar{K}^*(892)^0$	LF	< 7.5	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₅₅	$e^- \phi$	LF	< 6.9	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₅₆	$\mu^- \phi$	LF	< 7.0	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₅₇	$e^- e^+ e^-$	LF	< 2.9	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₅₈	$e^- \mu^+ \mu^-$	LF	< 1.8	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₅₉	$e^+ \mu^- \mu^-$	LF	< 1.5	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₆₀	$\mu^- e^+ e^-$	LF	< 1.7	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₆₁	$\mu^+ e^- e^-$	LF	< 1.5	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₆₂	$\mu^- \mu^+ \mu^-$	LF	< 1.9	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₆₃	$e^- \pi^+ \pi^-$	LF	< 2.2	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₆₄	$e^+ \pi^- \pi^-$	L	< 1.9	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₆₅	$\mu^- \pi^+ \pi^-$	LF	< 8.2	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₆₆	$\mu^+ \pi^- \pi^-$	L	< 3.4	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₆₇	$e^- \pi^+ K^-$	LF	< 6.4	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₆₈	$e^- \pi^- K^+$	LF	< 3.8	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₆₉	$e^+ \pi^- K^-$	L	< 2.1	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₇₀	$e^- K_S^0 K_S^0$	LF	< 2.2	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₇₁	$e^- K^+ K^-$	LF	< 6.0	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₇₂	$e^+ K^- K^-$	L	< 3.8	$\times 10^{-6}$	CL=90%
Γ ₁₇₃	$\mu^- \pi^+ K^-$	LF	< 7.5	$\times 10^{-6}$	CL=90%

崩壊or散乱(1)

- τ 崩壊モード $\tau \rightarrow \mu q \bar{q}$

$$B(\tau \rightarrow \mu \pi) < 4.0 \times 10^{-6}$$

$$B(\tau \rightarrow \mu \pi \pi) < 8.2 \times 10^{-6}$$

$$B(\tau \rightarrow \mu \rho) < 6.3 \times 10^{-6}$$

- Contact Int.を仮定

$$\frac{4\pi}{\Lambda^2} (\bar{\mu} \Gamma \tau) (\bar{q} \Gamma q)$$

- 崩壊の実験値から

$$\Lambda > 2.6 \text{TeV} (\Gamma = 1)$$

$$\Lambda > 12 \text{TeV} (\Gamma = \gamma_5)$$

$$\Lambda > 12 \text{TeV} (\Gamma = \gamma_\mu)$$

$$\Lambda > 11 \text{TeV} (\Gamma = \gamma_\mu \gamma_5)$$

崩壊or散乱(2)

- Scalar int.の場合

$$\sigma(\mu + q \rightarrow \tau + q) = \left(\frac{\pi s}{3\Lambda^4} \right) \left(1 - \frac{m_\tau^2}{s} \right) \left(1 + \frac{m_\tau^2}{2s} \right)$$

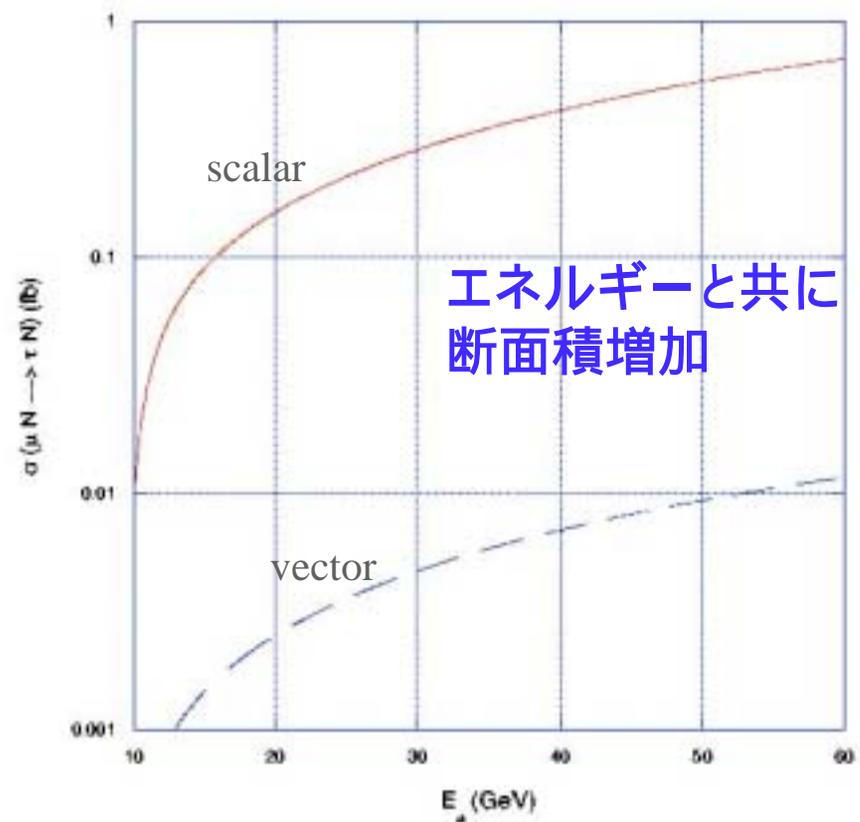
$$\Lambda = 2.6 \text{ TeV}$$

muon energy = 50 GeV

$$\Rightarrow \sigma \approx 0.55 \text{ fb}$$

muon beam $10^{10}/\text{sec}$,
1-meter target

3×10^3 events/year



崩壊or散乱(3)

- Scalar int.の場合

$$\sigma(\mu + q \rightarrow \tau + q) = \left(\frac{\pi s}{3\Lambda^4} \right) \left(1 - \frac{m_\tau^2}{s} \right) \left(1 + \frac{m_\tau^2}{2s} \right)$$

$$\Lambda = 12\text{TeV}$$

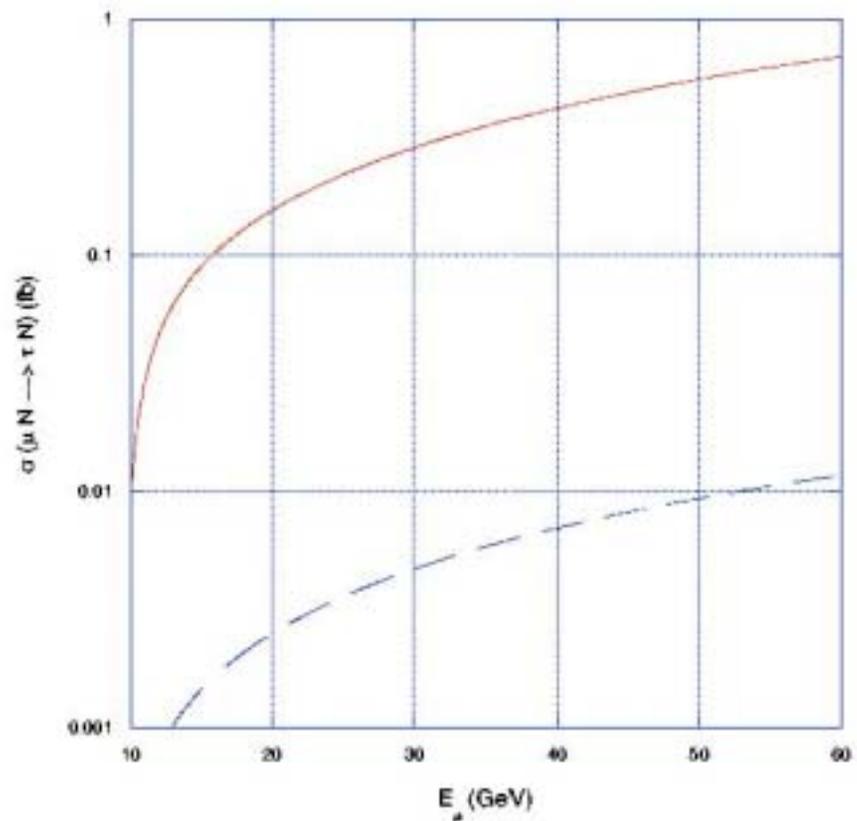
$$\text{muon energy} = 50 \text{ GeV}$$

$$\Rightarrow \sigma \approx 0.0012\text{fb}$$

muon beam $10^{10}/\text{sec}$,

1-meter target

6.5 events/year



高エネルギー・ミューオン・ ビームの強度の評価

- JHF
 - From the JHF-Nu proposal,
 - Neutrino intensity at Kamiokande (at 300 km)=
 $2 \times 10^6 / \text{cm}^2 / \text{year}$.
 - At 100m, neutrino intensity = $2 \times 10^{10} / \text{m}^2 / \text{sec}$.
- Other locations
 - Fermilab-MI, CERN-SPS
 - Yet evaluated

実験へのアプローチ



- シグナルの同定

- τ 崩壊のkink

- Emulsionが必要

- τ 崩壊から発生した粒子の横方向運動量 P_T

- μ -e conversion実験と類似
- Triggerとしても有効

- その他

Signal Simulation

- 目的

- τ 崩壊から発生した粒子の P_T 分布を調べる。

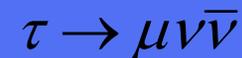
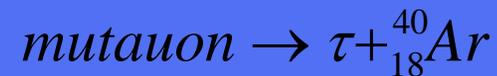
- 反応



- scalar int.を仮定。
- CM系で等方的分布を仮定。

- 方法

- \sqrt{s} の質量をもつ仮想粒子 (mutauon) を生成し、崩壊させる。

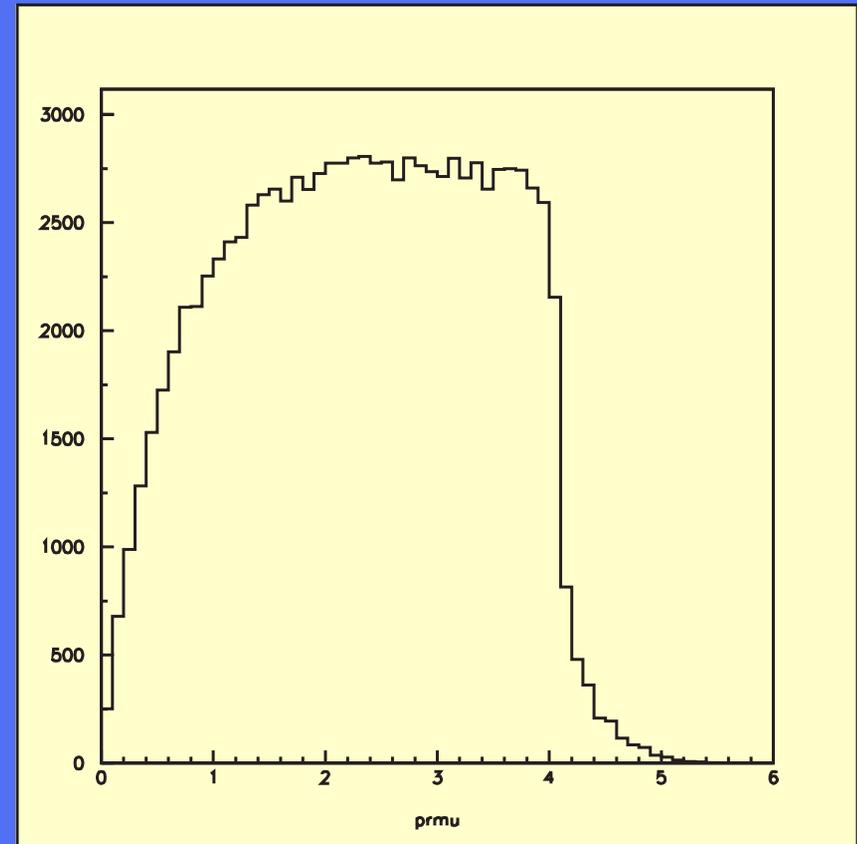
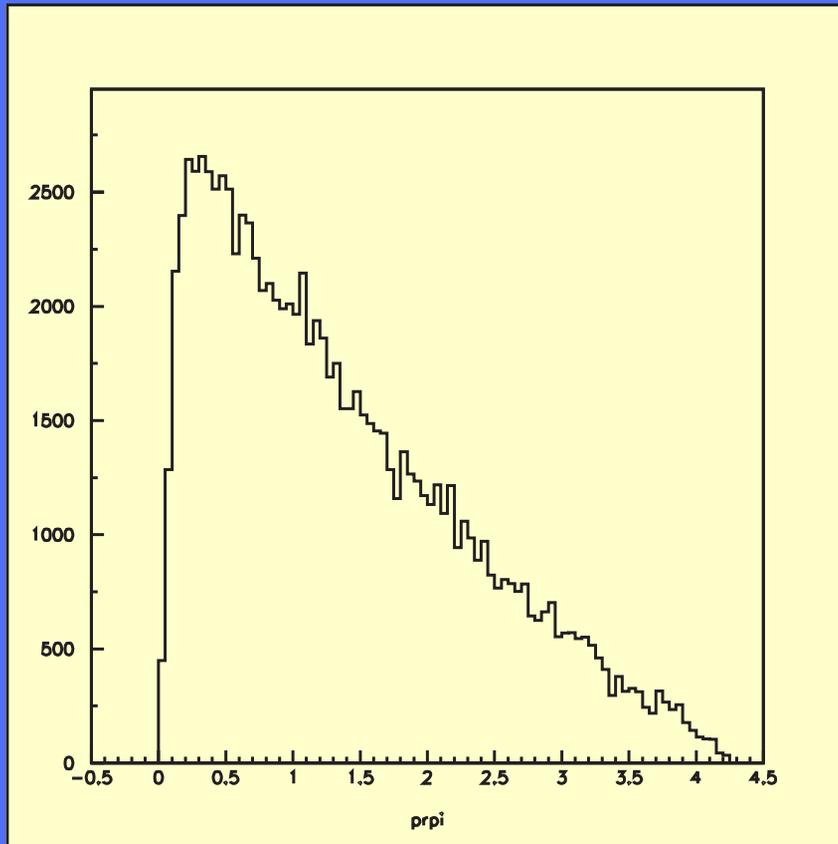


$$\sqrt{s} = 38.17 \text{ GeV}$$

Muon Beam Energy : 5 GeV

$$\tau^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \nu_\tau; \tau^+ \rightarrow \pi^+ \nu_\tau$$

$$\tau \rightarrow \mu \nu \bar{\nu}$$

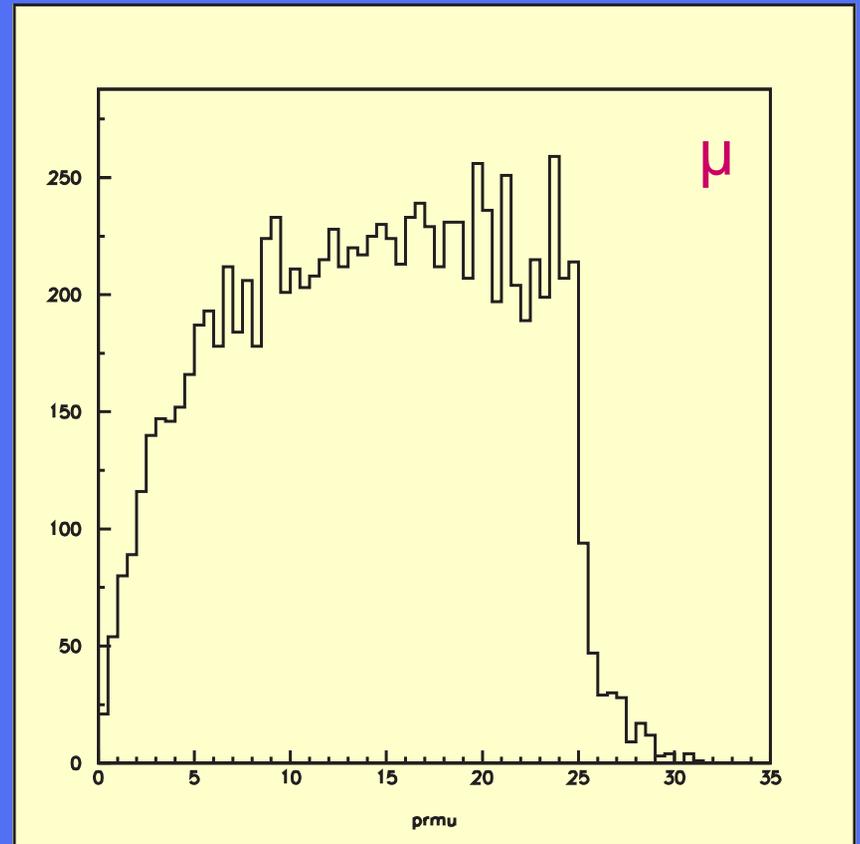
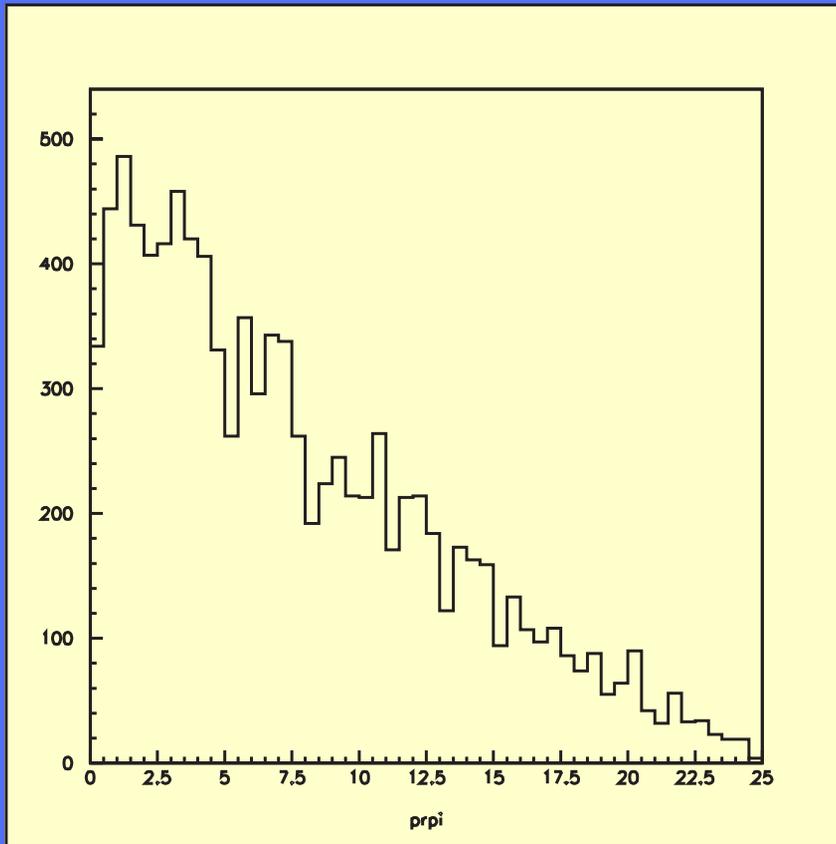


$$\sqrt{s} = 66.87 \text{ GeV}$$

Muon Energy : 50 GeV

$$\tau^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \nu_\tau; \tau^+ \rightarrow \pi^+ \nu_\tau$$

$$\tau \rightarrow \mu \nu \bar{\nu}$$



Backgrounds



- ミューオン非弾性散乱
- Charm生成
- Neutrino charged current反応
- その他

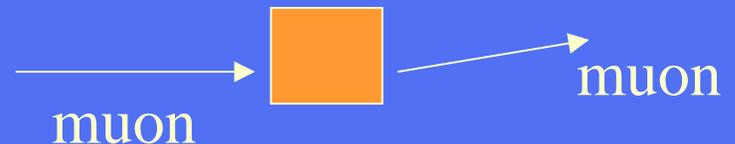
検討は始まったばかりで、不十分だが....

Background Estimation

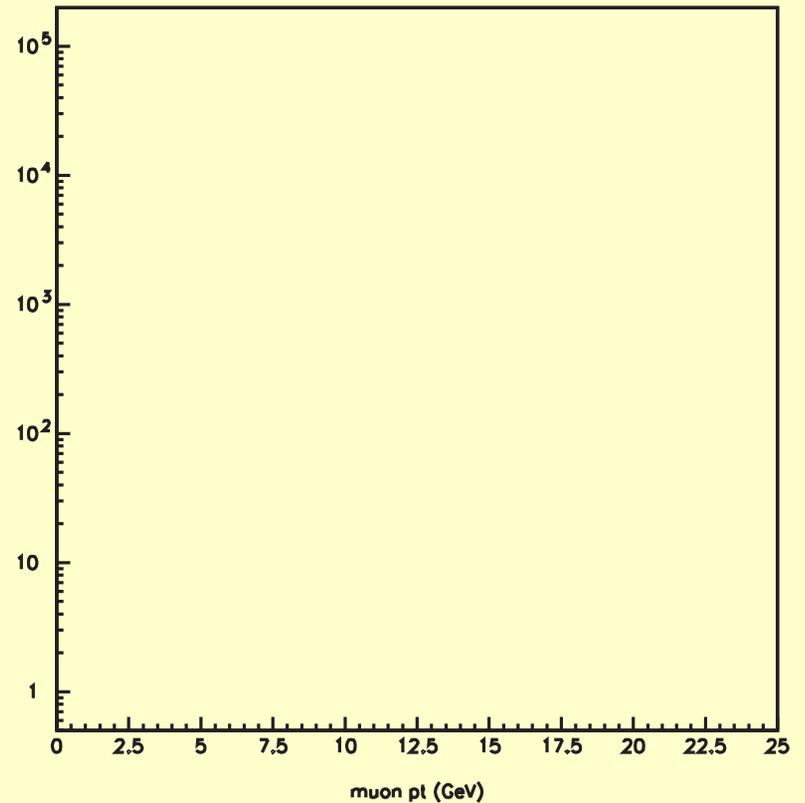
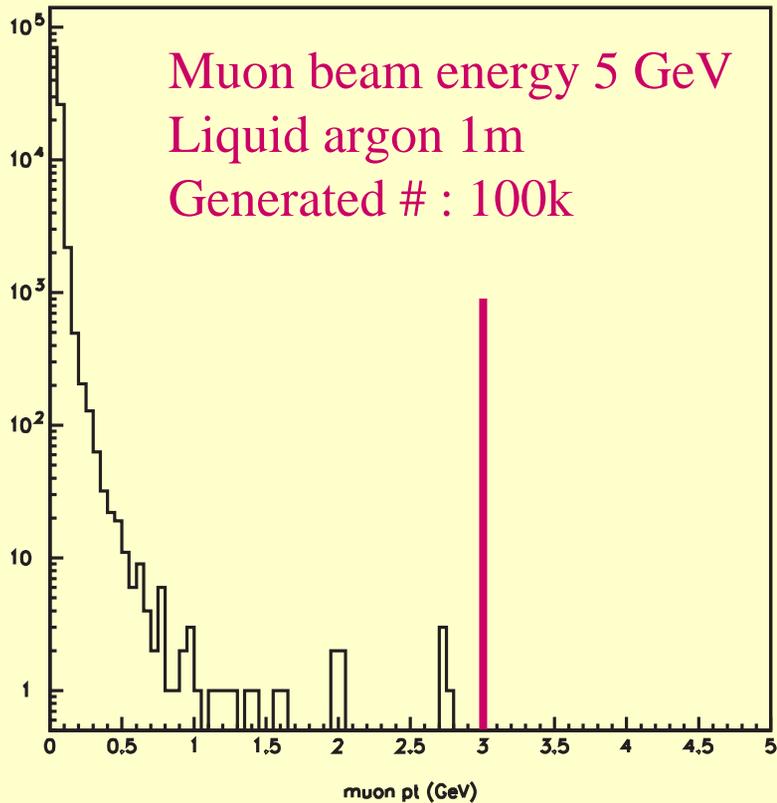
- 目的： P_T cut thresholdを決定する
- とりあえず、ミューオン散乱をGeantで計算
 - IMUNU=1 (ミューオン原子核散乱ON)
 - 二次粒子発生ON

- Setup

- Muon beam energy = 5 GeV or 50 GeV
- Target
 - 液体アルゴン
TPC (L=1m, R=0.5m)



ミューオン散乱計算

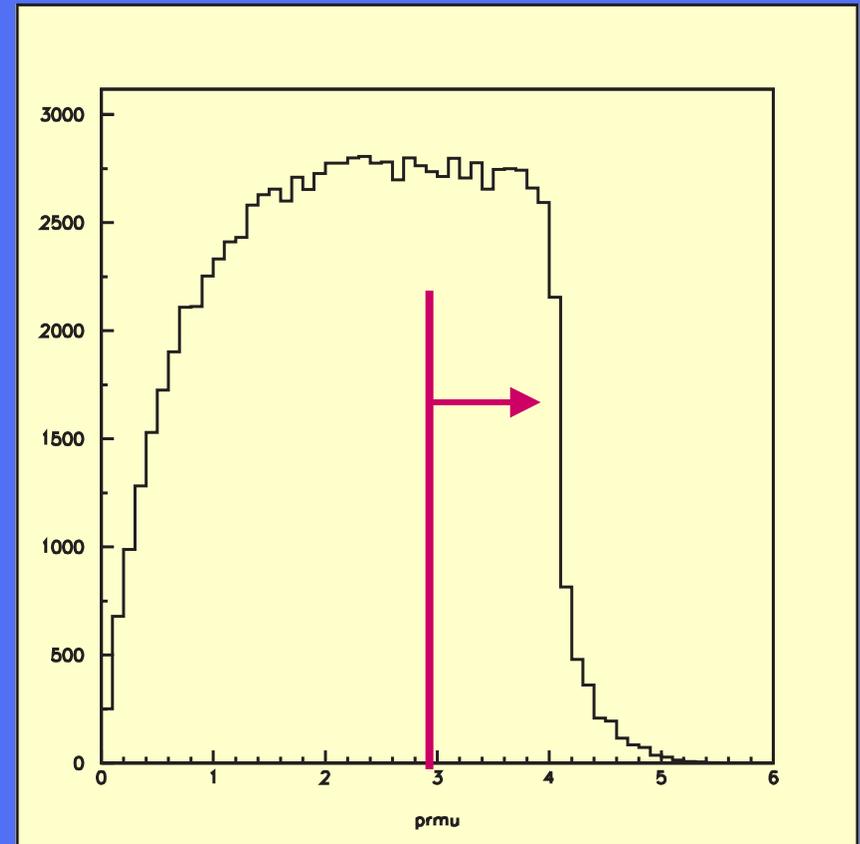
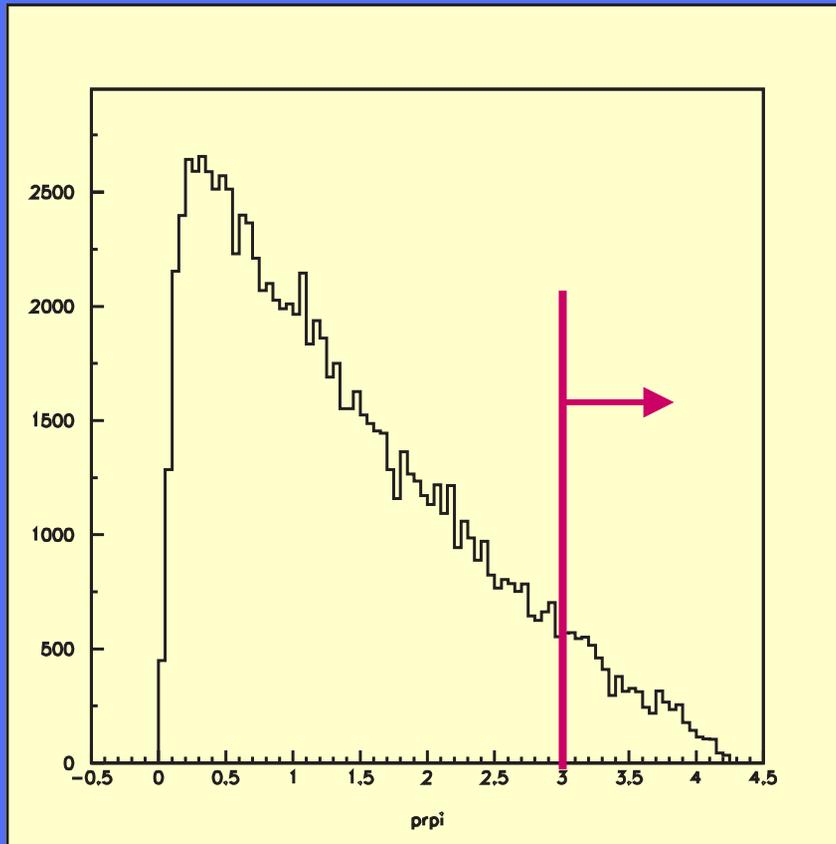


$$\sqrt{s} = 38.17 \text{ GeV}$$

Muon Beam Energy : 5 GeV

$$\tau^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \nu_\tau; \tau^+ \rightarrow \pi^+ \nu_\tau$$

$$\tau \rightarrow \mu \nu \bar{\nu}$$

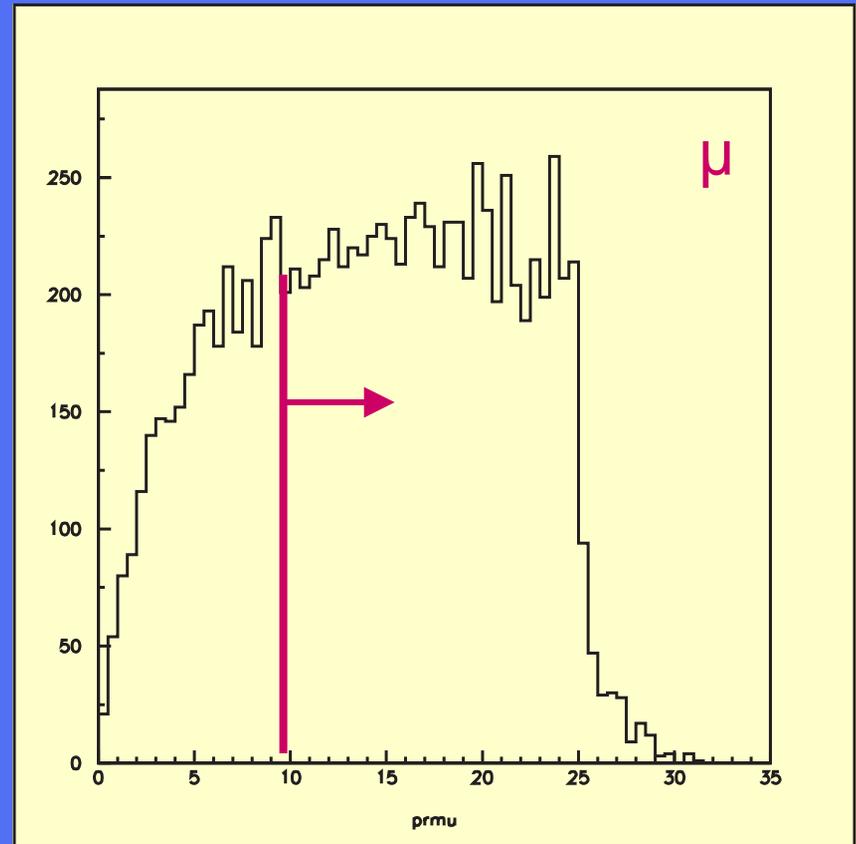
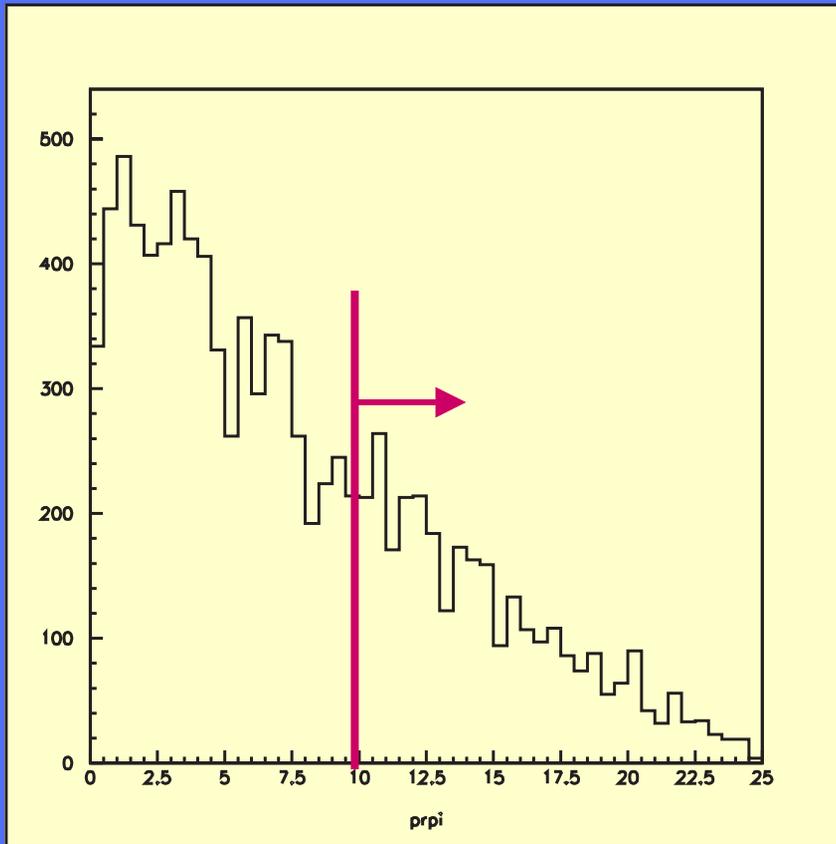


$$\sqrt{s} = 66.87 \text{ GeV}$$

Muon Energy : 50 GeV

$$\tau^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \nu_\tau; \tau^+ \rightarrow \pi^+ \nu_\tau$$

$$\tau \rightarrow \mu \nu \bar{\nu}$$



測定器の可能性

- $\nu_\tau + N \rightarrow \tau + N$ 実験のための測定器が参考になる。
 - ICURUS, OPERA, DONUTSなど
- エマルジョン+シンチ・ファイバー
 - 10^7 tracks/cm²までOK
- 液体アルゴンTPC+シンチ・ファイバー
 - 1m driftはOK (3mまでIcurusで試験)

これから課題

- ミューオン・ビーム・エネルギーの最適化
 - 強度、断面積、Background削減
 - J-PARC / FNAL-MI / CERN-SPS
- Signalの評価
- Background Study
 - 非弾性散乱
 - Charm生成

まとめ

- $\mu + N \rightarrow e + N$ 反応は、Lepton Flavor Violationを探索するうえで重要である。
- $\mu + N \rightarrow e + N$ 反応は、B factoryでの稀崩壊実験以上の実験感度を達成する可能性がある。
- $\mu + N \rightarrow e + N$ 反応の探索実験は、これまで一度の検討されることがなかったが、今回初めて検討を始めた。
- 測定器としては、液体アルゴンTPCまたは、emulsion+SciFi測定器を検討している。
- 世界の検討されているニュートリノ・ビームラインで実験ができる可能性がある。
- 将来は、Neutrino Factoryが出来れば、より感度のある実験が可能となるであろう。