

T2K実験にむけたニュートリノ ビーム生成についての研究 (CERN NA61実験)

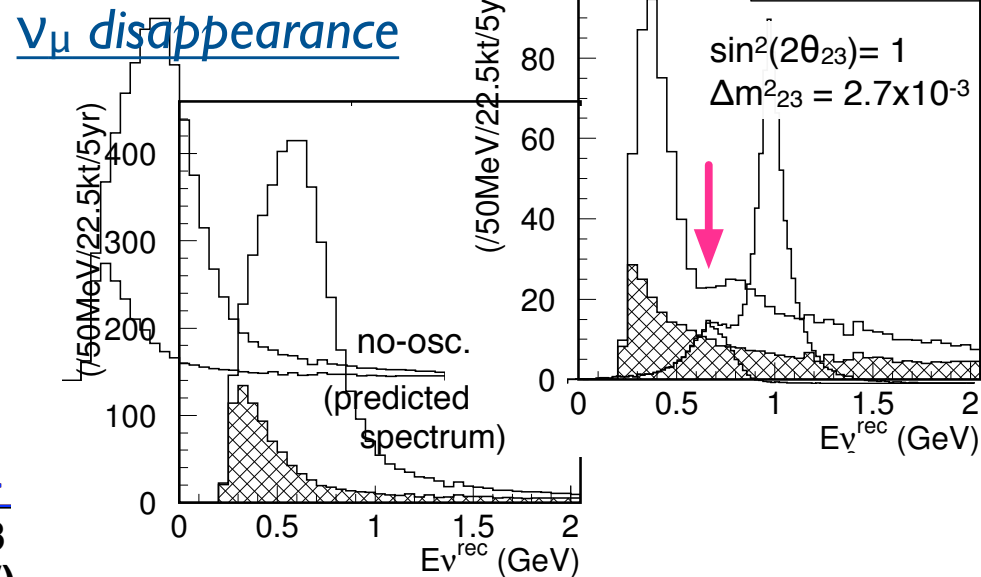
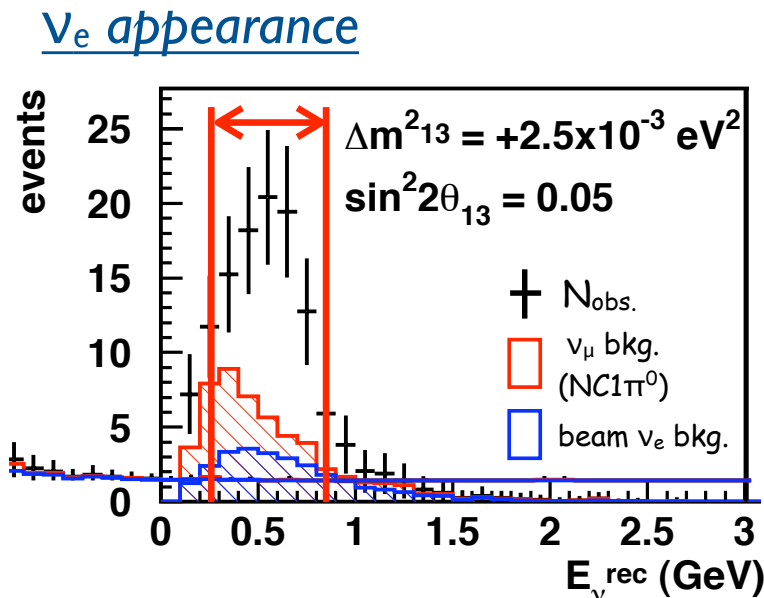
坂下 健(KEK) for T2K/NA61 collaboration
2008/Feb/22, 特定領域「フレーバー物理」研究会

1. Introduction/Motivation
2. Study of requirements on hadron production measurement
3. NA61 2007 Run
4. Summary

Introduction

- T2K実験では、 ν_e 出現事象に対する背景事象と振動がない時の ν_μ の数やエネルギー分布を精度良く見積もる必要がある
- 測定量 $N(E_\nu) = \Phi(E_\nu) \times \sigma(E_\nu) \times \epsilon(E_\nu)$
- $\Phi(E_\nu)$ 、 $\sigma(E_\nu)$ が大きな不定性を持つ

$\Phi(E_\nu)$: flux
 $\sigma(E_\nu)$: ν int. cross section
 $\epsilon(E_\nu)$: 検出効率



どのように精度良く $N^{\text{SK}}(E_\nu)$ を見積もるか

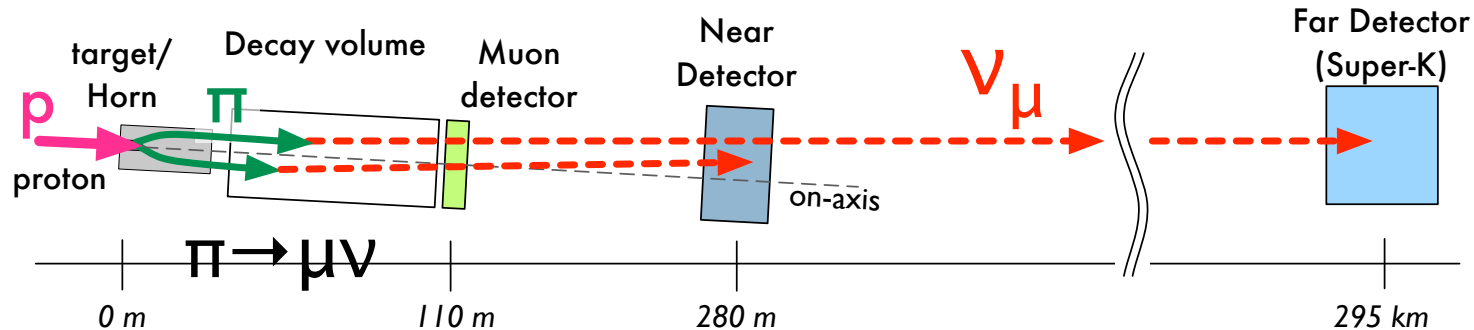
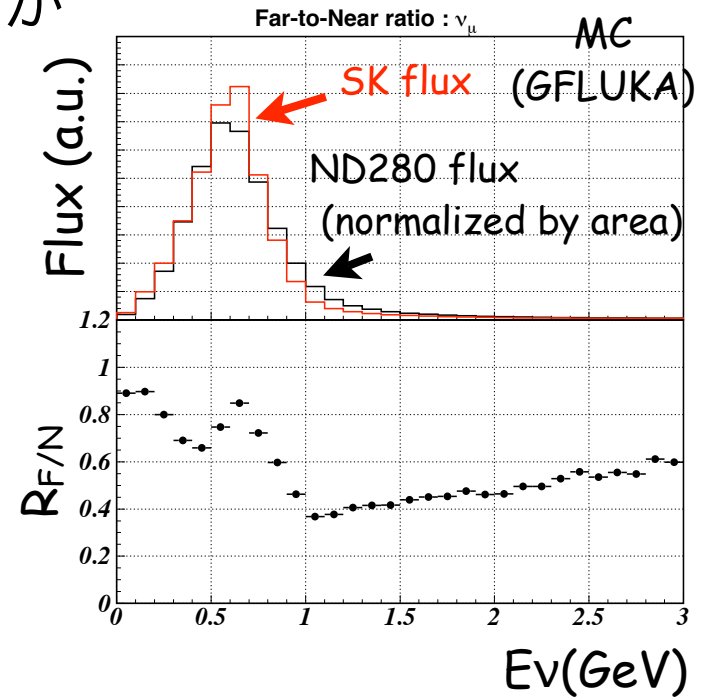
☆ ν の親粒子の生成分布の不定性を
小さくして、NDの測定量を外挿して求める

- $\Phi^{\text{SK}}(E_\nu) \neq \Phi^{\text{ND}}(E_\nu)$

$$R_{F/N} = \left. \frac{\Phi^{\text{SK}}}{\Phi^{\text{ND}}} \right|_{\text{MC}} \quad \text{determined by Geometry \& Production distribution of } \pi^+, K^+$$

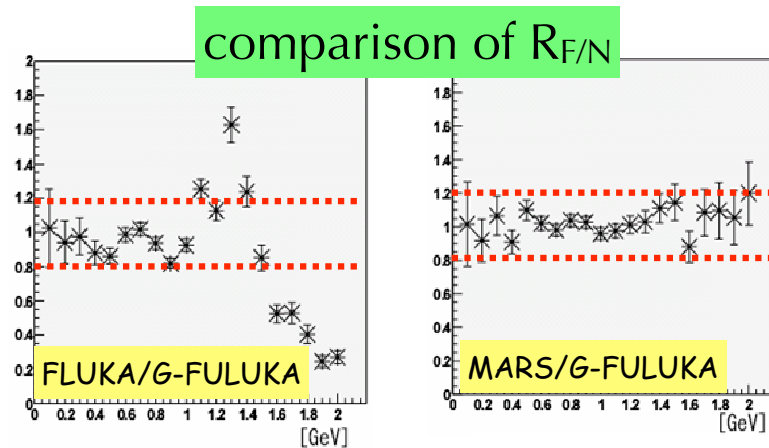
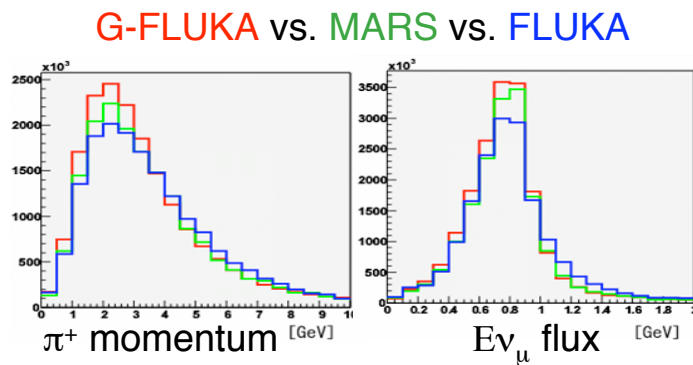
$$\rightarrow \Phi^{\text{SK}}(E_\nu) = R_{F/N}(E_\nu) \times \Phi^{\text{ND}}(E_\nu)$$

$$\rightarrow N_{\text{pred.}}^{\text{SK}} = R_{F/N} \times \frac{N_{\text{obs.}}^{\text{ND}}}{\sigma^{\text{ND}} \times \epsilon^{\text{ND}}} \times \sigma^{\text{SK}} \times \epsilon^{\text{SK}}$$



Study of Hadron production

- 現在、30GeV protonと炭素標的のハドロン生成データがない
- いくつか違うハドロン生成モデルの間で $R_{F/N}$ の差が大きい



~20% difference @ $E_\nu < 1\text{GeV}$

Measure Hadron Production distribution ($\rightarrow$ the input of beam-MC)

Study of requirements on Hadron production measurement

(1) $\delta R_{F/N}$ をどのくらい小さくする必要があるか？

T2K実験の目標精度

- ν_μ disappearance : $\delta(\sin^2 2\theta_{23}) \sim 1\%$, $\delta(\Delta m^2_{23}) < 1 \times 10^{-4} \text{ eV}^2$

- $\Phi^{\text{SK}}_{\text{pred}}(E_\nu)$ のsyst. errorに
対する要求から見積もる

T2K実験の目標精度を達成する
ために必要なsystematic error

→ $\delta[R_{F/N}]_i < 2\sim 3\%$

100MeV毎の各binで

syst. error only from $R_{F/N}$

→ $\delta(\sin^2 2\theta_{23}) < 0.5\%$,
 $\delta(\Delta m^2_{23}) < 1.5 \times 10^{-5} \text{ eV}^2$

source	error size
Flux normalization	< 10%
Φ^{SK} shape	< 20%
Φ^{SK} width	< 10%
SK energy scale	< 2%
non-QE/QE	< 5%

- ν_e appearance : $\delta N_{\text{bkg}} < 10\%$

$$N_{\text{bkg.}} = \Phi_{\nu_\mu}^{\text{SK}} \cdot \sigma_{\text{NC}\pi^0}^{\text{SK}} \cdot \epsilon_{\pi^0}^{\text{SK}} + \Phi_{\nu_e}^{\text{SK}} \cdot \sigma_{\text{CCQE}}^{\text{SK}} \cdot \epsilon_e^{\text{SK}}$$

$$\Phi_{\nu_l}^{\text{SK}} = R_{F/N}(\nu_l) \times \Phi_{\nu_l}^{\text{ND}}$$

overall 10% error on

$R_{F/N}(\nu_\mu)$ in 0-1 GeV : $\delta N_{\text{bkg}} = 5.4\%$

$R_{F/N}(\nu_\mu)$ in 1-10 GeV : $\delta N_{\text{bkg}} = 4.6\%$

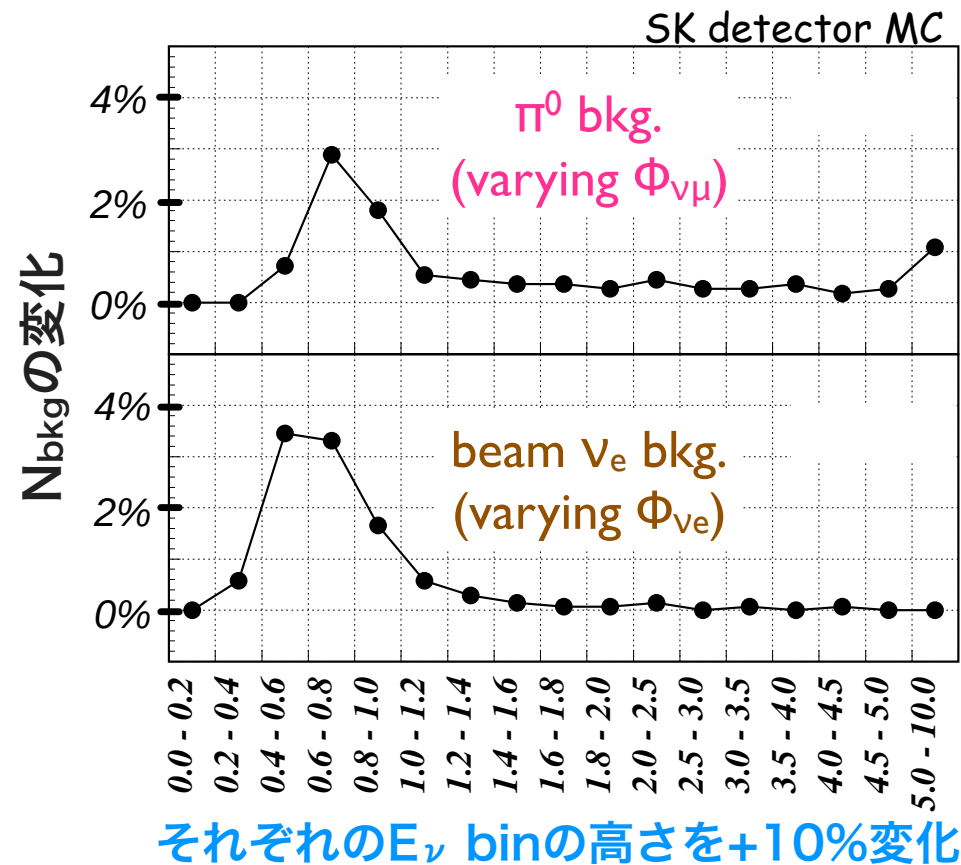
$R_{F/N}(\nu_e)$ in 0-1 GeV : $\delta N_{\text{bkg}} = 8.9\%$



ν_μ, ν_e それぞれについて:
 $\delta R_{F/N}$ in 0-1 GeV, 1-10 GeV < 2%



syst. error only from $\delta R_{F/N}$
 $\rightarrow \delta N_{\text{bkg}} < 4\%$

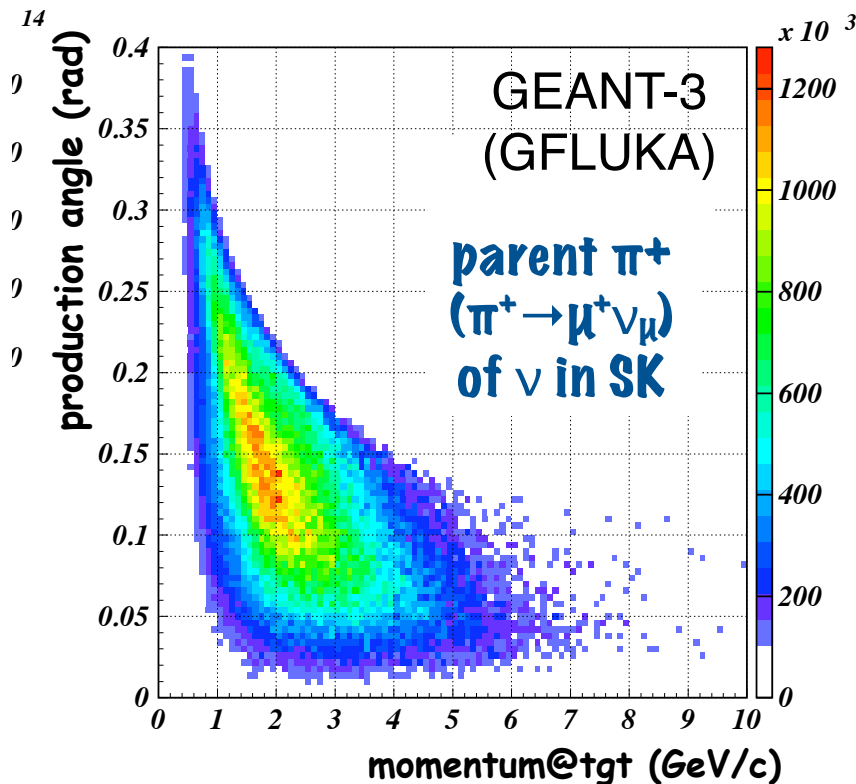


(2) 必要な π^+ , K^+ の生成断面積分布の測定精度を見積もる

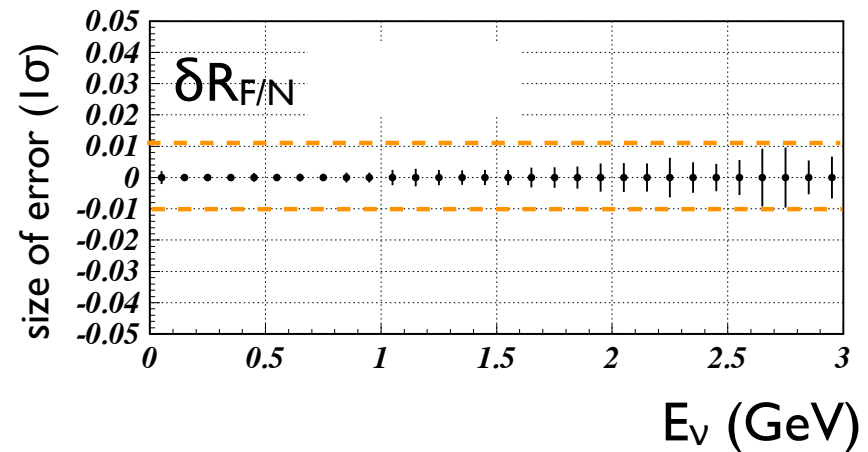
- (P_π, θ_π) 分布

➔ **200k good π^+ tracks**

- 20 mrad毎の運動量分布(200MeV/bin)の各binを10%以下の精度： $0.3 < P_\pi(\text{GeV}/c) < 10$ and $0 < \theta_\pi(\text{mrad}) < 400$



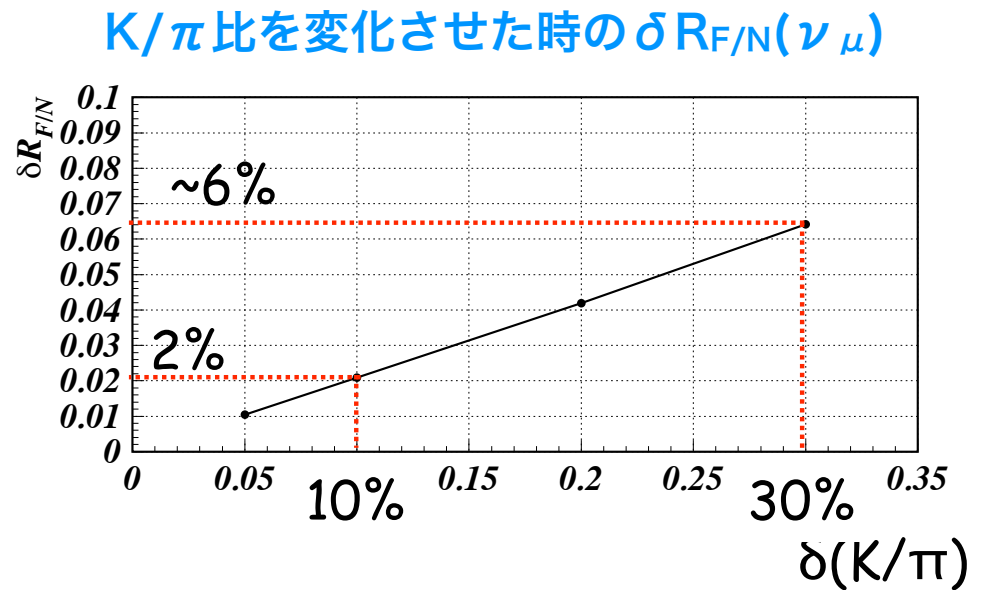
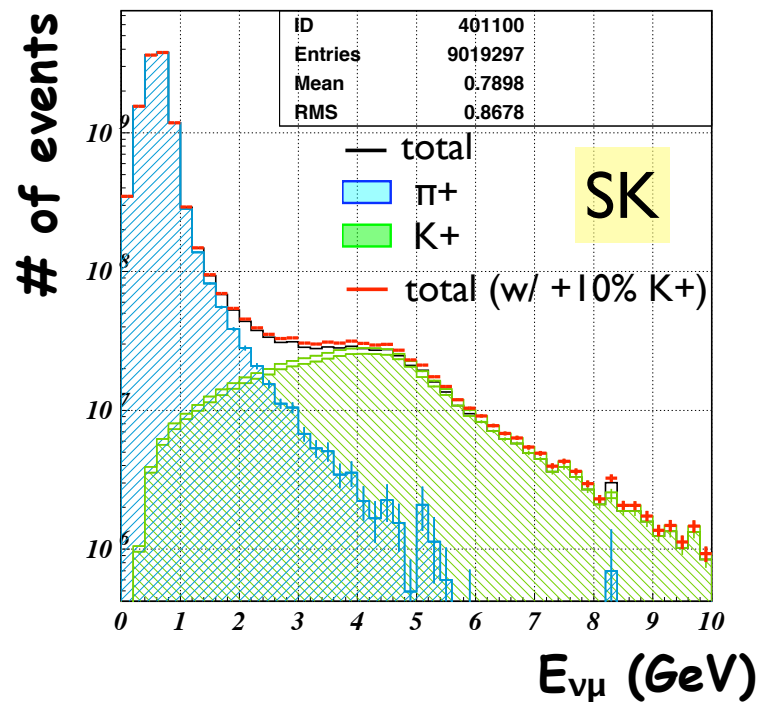
(P_π, θ_π) 分布のそれぞれのbinの高さを独立に最大+10%変化させた時の $\delta R_{F/N}$



- K^+/π^+ ratio

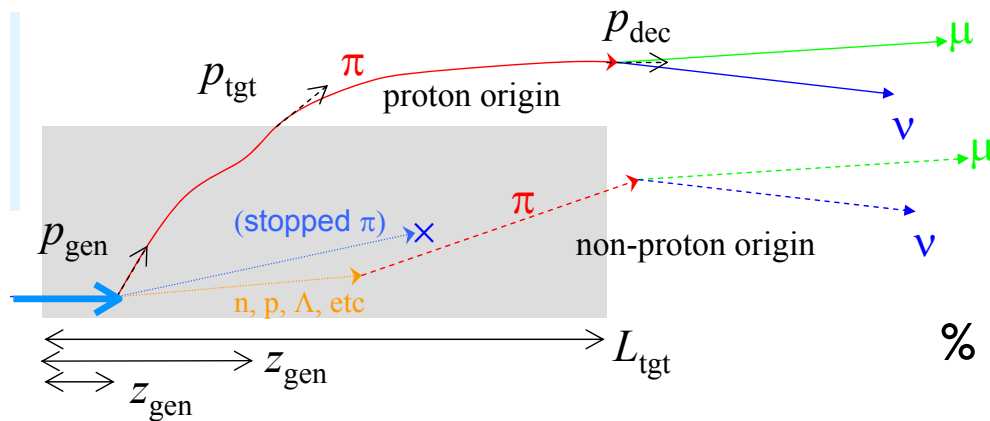
predict $R_{F/N}(\nu_\mu)$ in 1-10 GeV (high energy ν_μ comes from K^+ decays)

- ratio of the overall # of K^+ to π^+ less than 10% accuracy
- K^+ in the region: $1 < P(\text{GeV}/c) < 20$ and $0 < \theta(\text{mrad}) < 300$

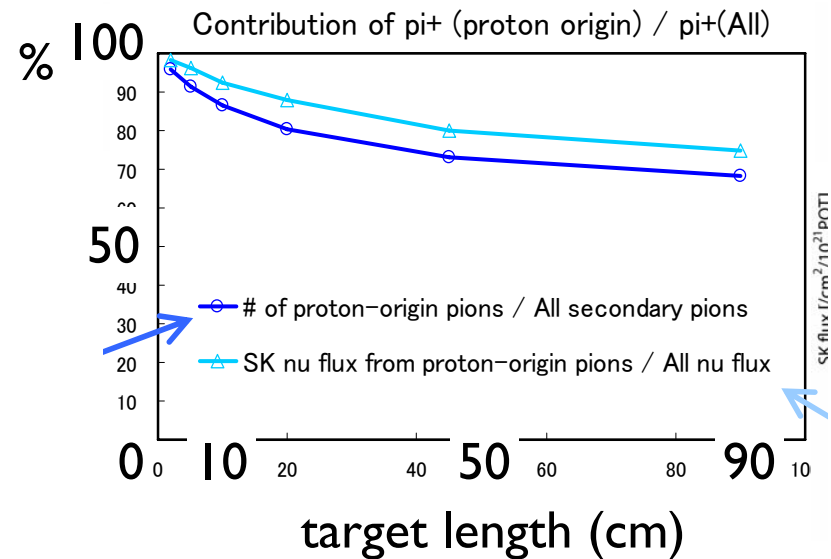
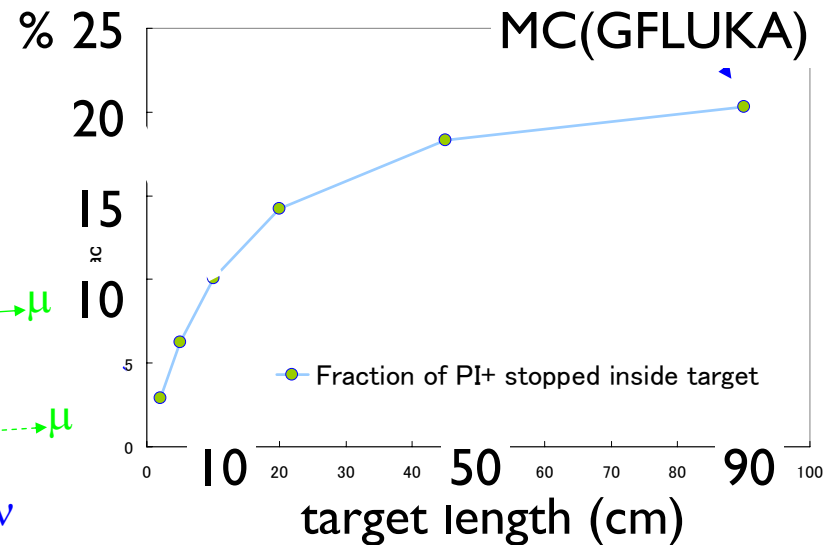


Effect of secondary interaction

- π absorption inside the target
- π from secondary interaction

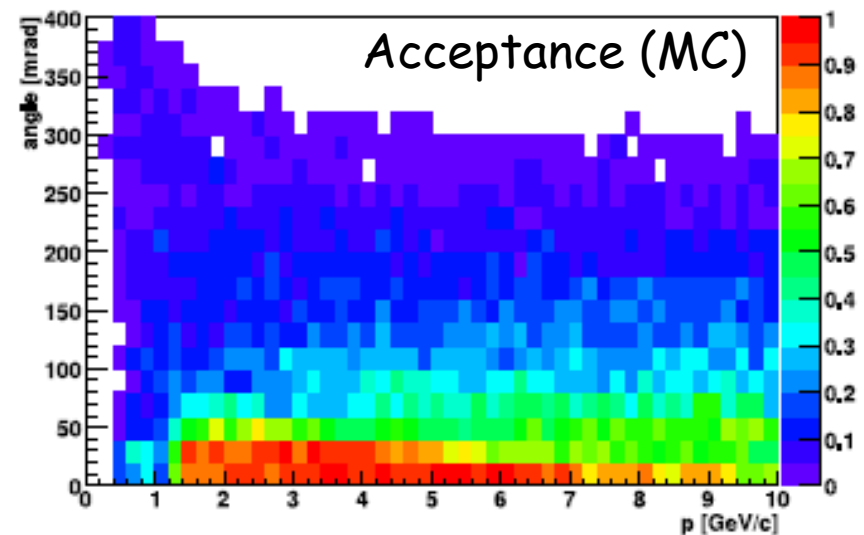
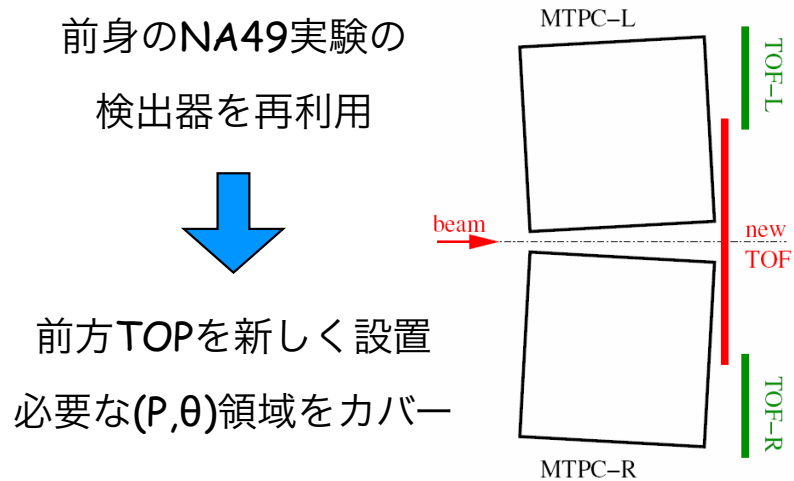
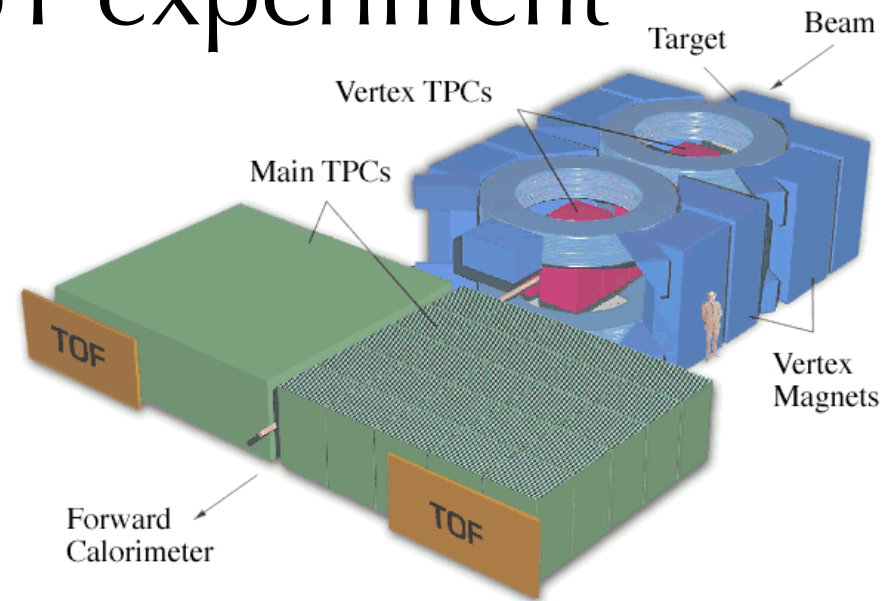


- (1) meas. of primary int.(30GeV p + C)
→ thin target data
- (2) study of effect of secondary int.
→ compare long target data and MC prediction



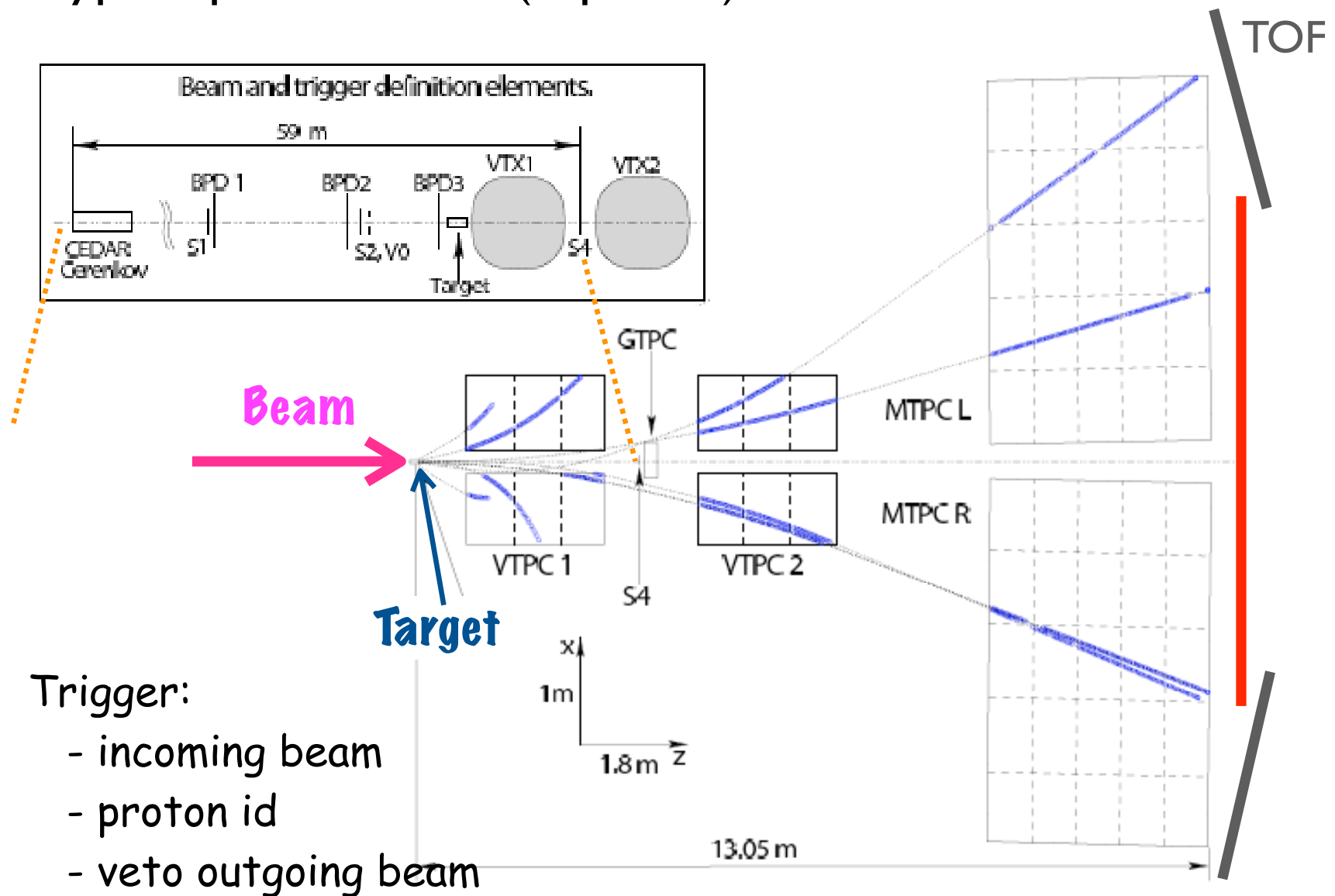
CERN NA61 experiment

- Large acceptance detector at SPS secondary beam line
 - TPC w/ magnetic field + TOF
 - $dE/dx + TOF \rightarrow PID(p, K, \pi \dots)$



Typical proton event (top view)

$$\sigma_z \sim 5\text{mm}, \Delta p/p^2 = 10^{-4} \text{ GeV}^{-1}$$



T2K target for NA61

- 長さ 2 cm , (10cm), 90 cm graphite targetの制作
- 設置作業

材質: graphite IG-43

(東洋炭素製)

密度 (測定結果):

1.82~1.84 g/cm³

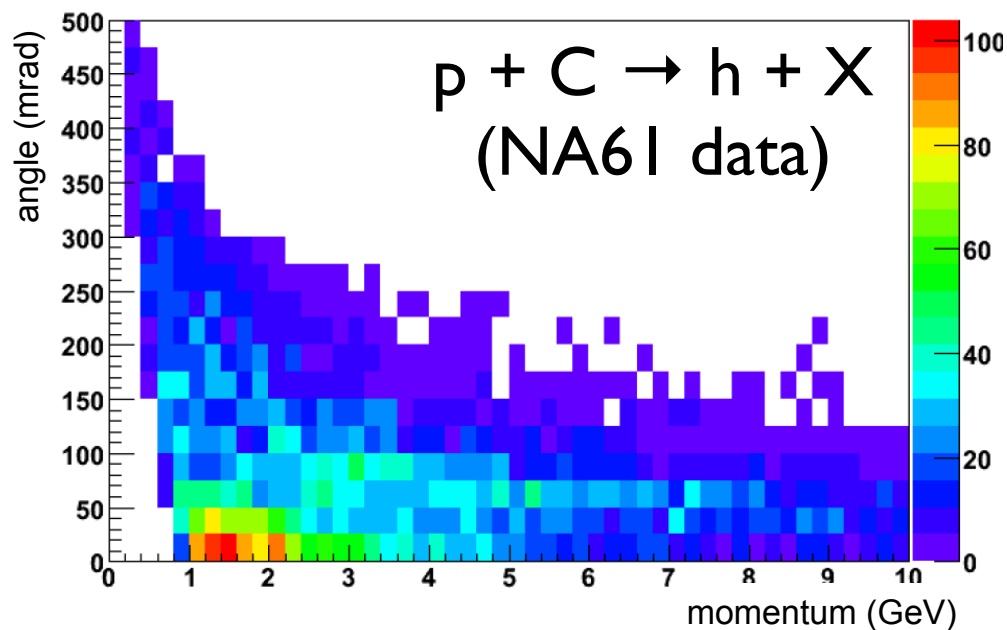


Data taking (2007)

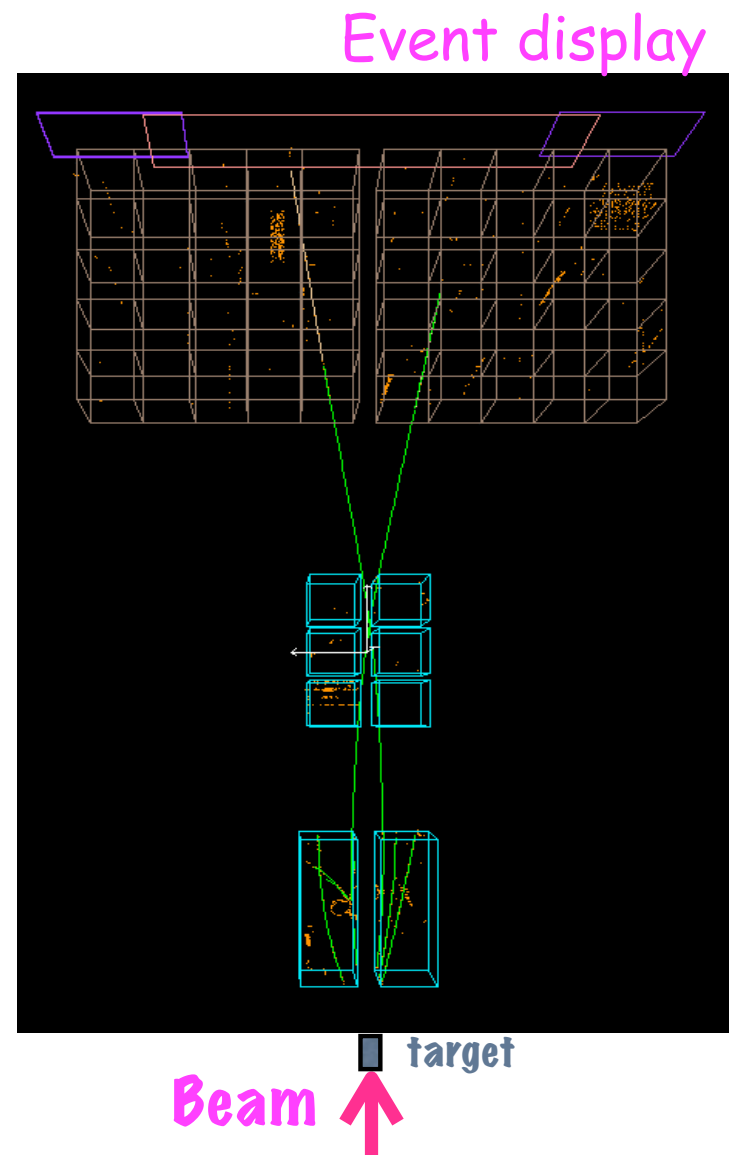
- First data taking in October 2007 (30日間)
- 30GeV proton beam + 2 kinds of graphite targets
 1. **thin(2cm) target to measure primary interaction**
 - # of triggers(interaction) is ~660k (12日間の測定)
 - Fake trigger rate: target-out/target-in = 25%
 - rough estimation # of accepted π^+ tracks ~100k
 2. **replica(90cm) target for study of secondary interaction**
 - # of triggers is ~220k (3日間の測定)
- ~100k calibration events

解析状況

- calibration, event reconstructが進行中
- 2008夏までにFirst resultをまとめる事を
目指している



必要な領域のデータが収集できている
(PID, acceptance補正なし)



Summary

- ν_e 出現事象に対する背景事象と振動がない時の ν_μ の数やエネルギー分布を精度良く見積もるためにハドロン生成分布を測定
- 必要な測定精度
 - π^+ の (P_π, θ_π) 分布：20mrad毎の運動量分布(200MeV/bin)の各binを10%以下の精度で ($>200k \pi^+$ tracks)
 - K/ π 比： $\delta(K/\pi) < 10\%$
- CERN NA61実験で π^+, K^+ の生成断面積を測定 (2cm, 90cm target)
 - 2007年は、thin targetとreplica target data を収集 → 現在解析中
 - 必要な測定精度を満たすために2008年もデータ収集する
- 今後、測定した (P_π, θ_π) を使って $N(E_\nu)$ を精度良く求めていく