

New results of neutrino interactions@Neutrino2008

22th Neutrino meeting, 2008 June 27
Gaku Mitsuka (ICRR, University of Tokyo)

Outline

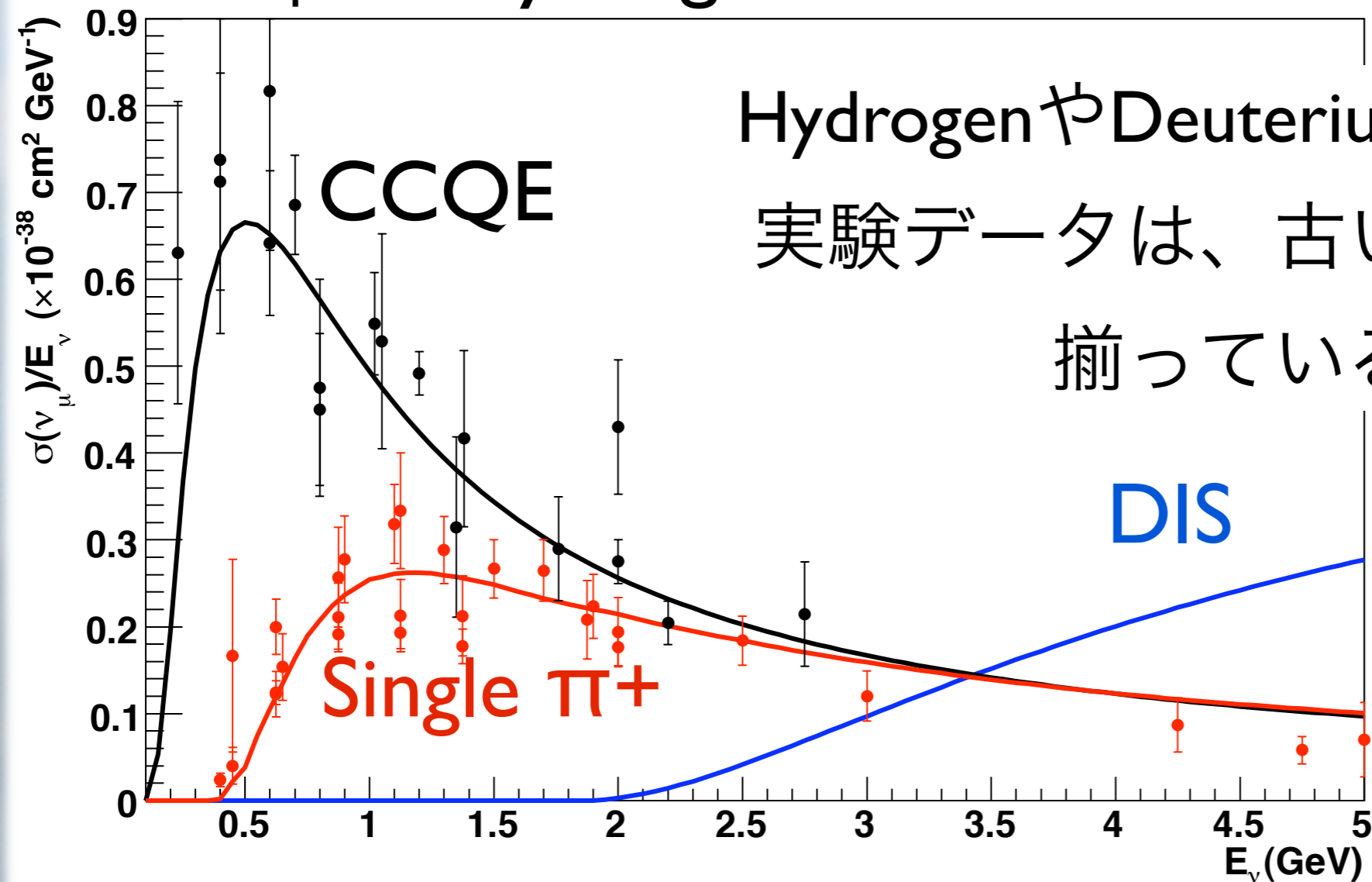
- なぜ今、ニュートリノ相互作用か？
- どんな実験でニュートリノ相互作用の研究が行われているか
- 最近の結果
- まとめと今後の展望

Why neutrino interactions now?

- ニュートリノ振動実験は新たなステップへ
発見と追認→精密解析
e.g. SK, K2K→MINOS, T2K
- CP violationの測定では反ニュートリノの断面積が重要になる
- 遠い将来、断面積の誤差がメガトン検出器の精度をspoilするかもしれない

Neutrino cross sections

CC ν_μ on Hydrogen or Deuterium



HydrogenやDeuteriumに対する
実験データは、古いながらも
揃っている

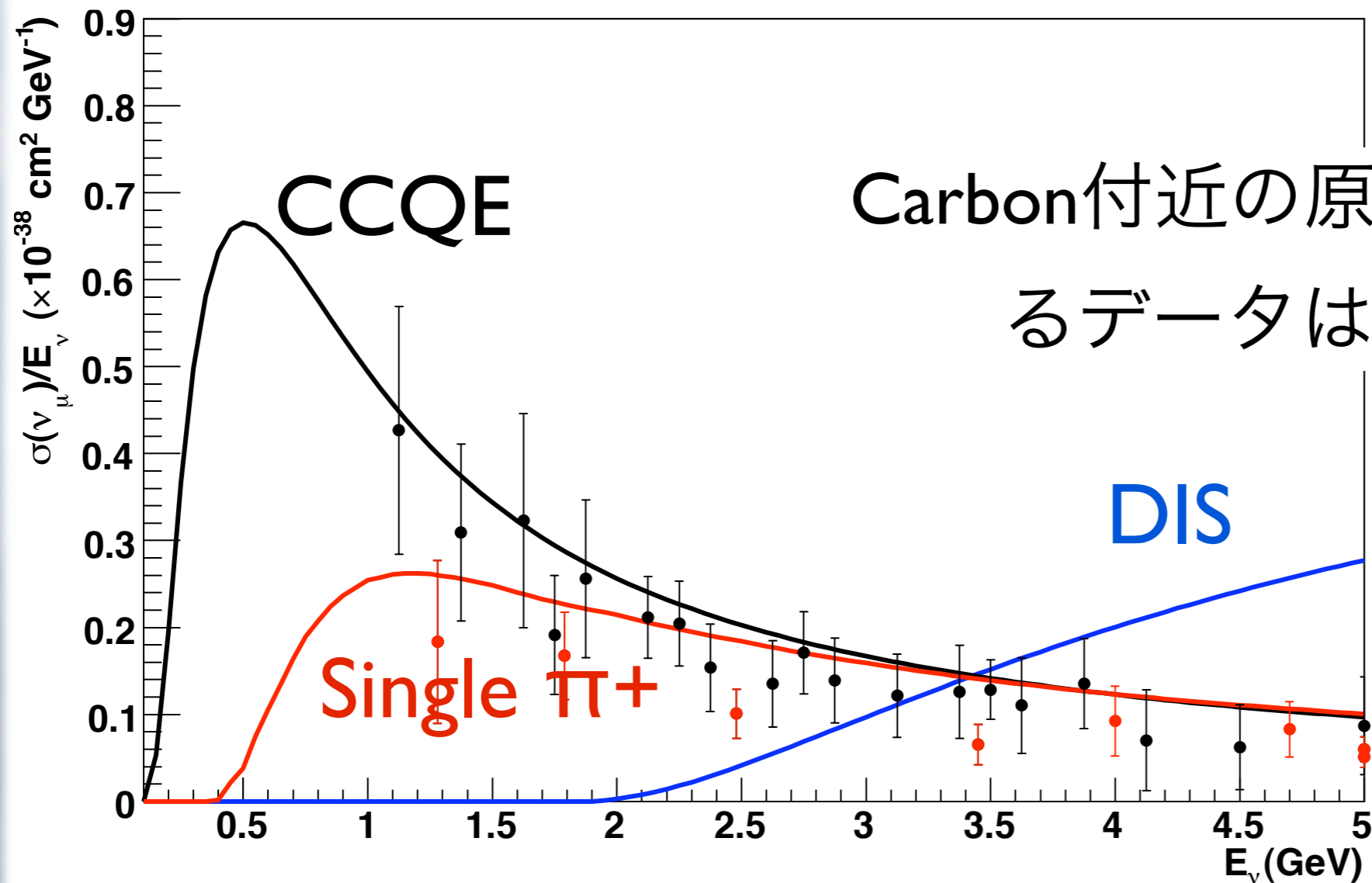
DIS

Single π^+

CCQE

Neutrino cross sections

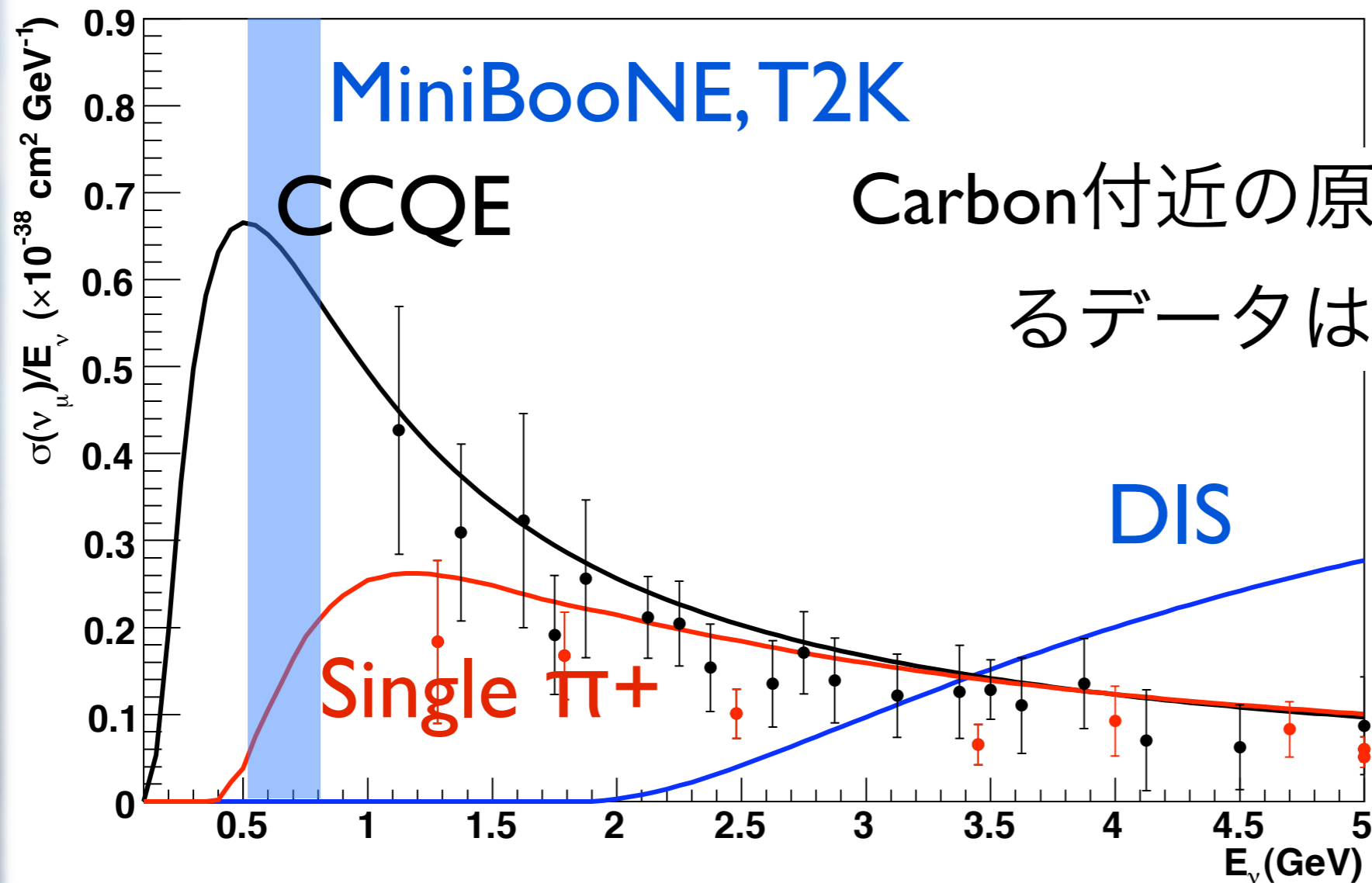
CC ν_μ on target heavier than H or D



Carbon付近の原子核に対するデータは少ない

Neutrino cross sections

CC ν_μ on target heavier than H or D



MiniBooNE, T2K

CCQE

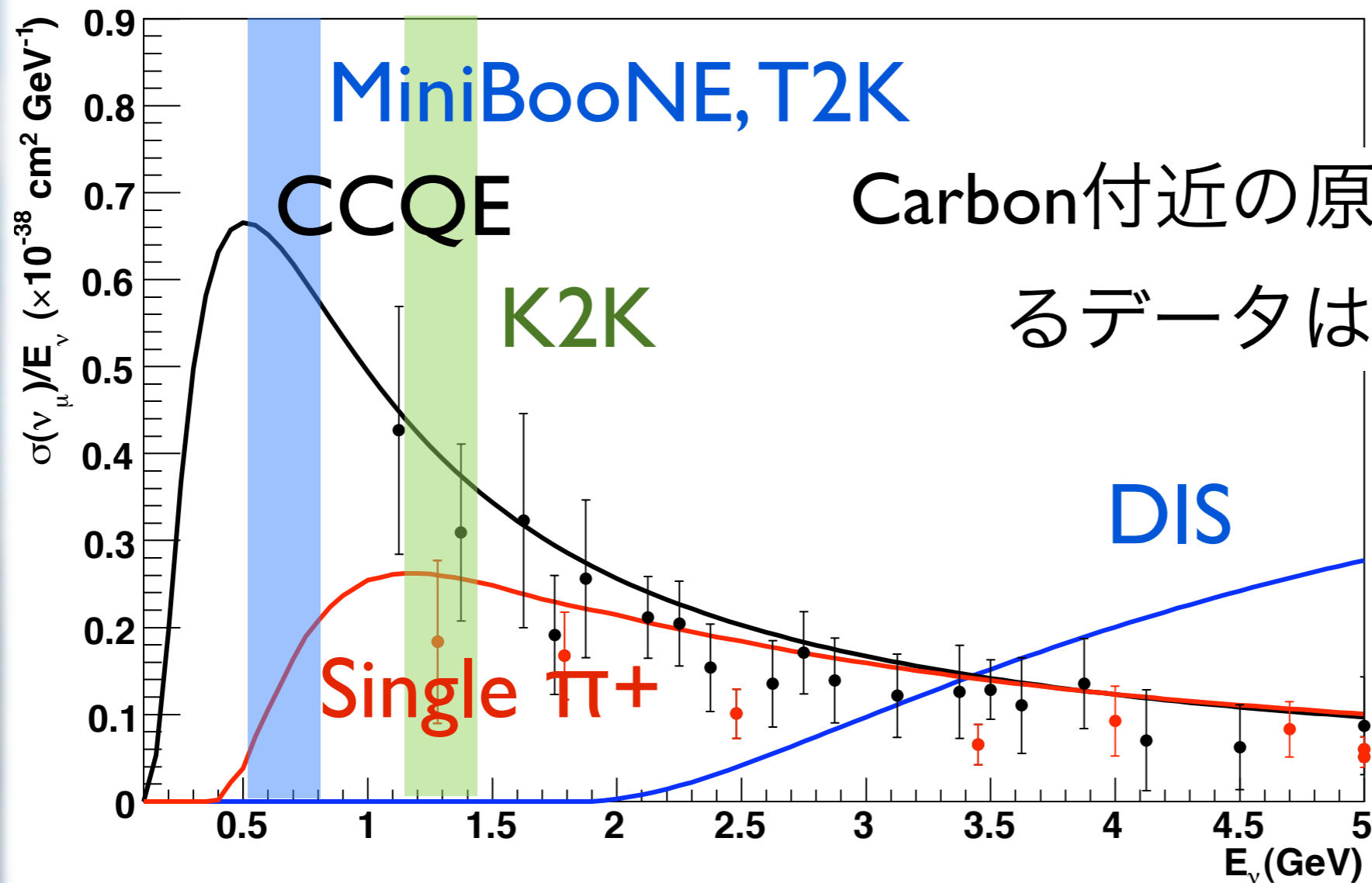
Carbon付近の原子核に対するデータは少ない

DIS

Single π^+

Neutrino cross sections

CC ν_μ on target heavier than H or D



MiniBooNE, T2K

CCQE

K2K

Single π^+

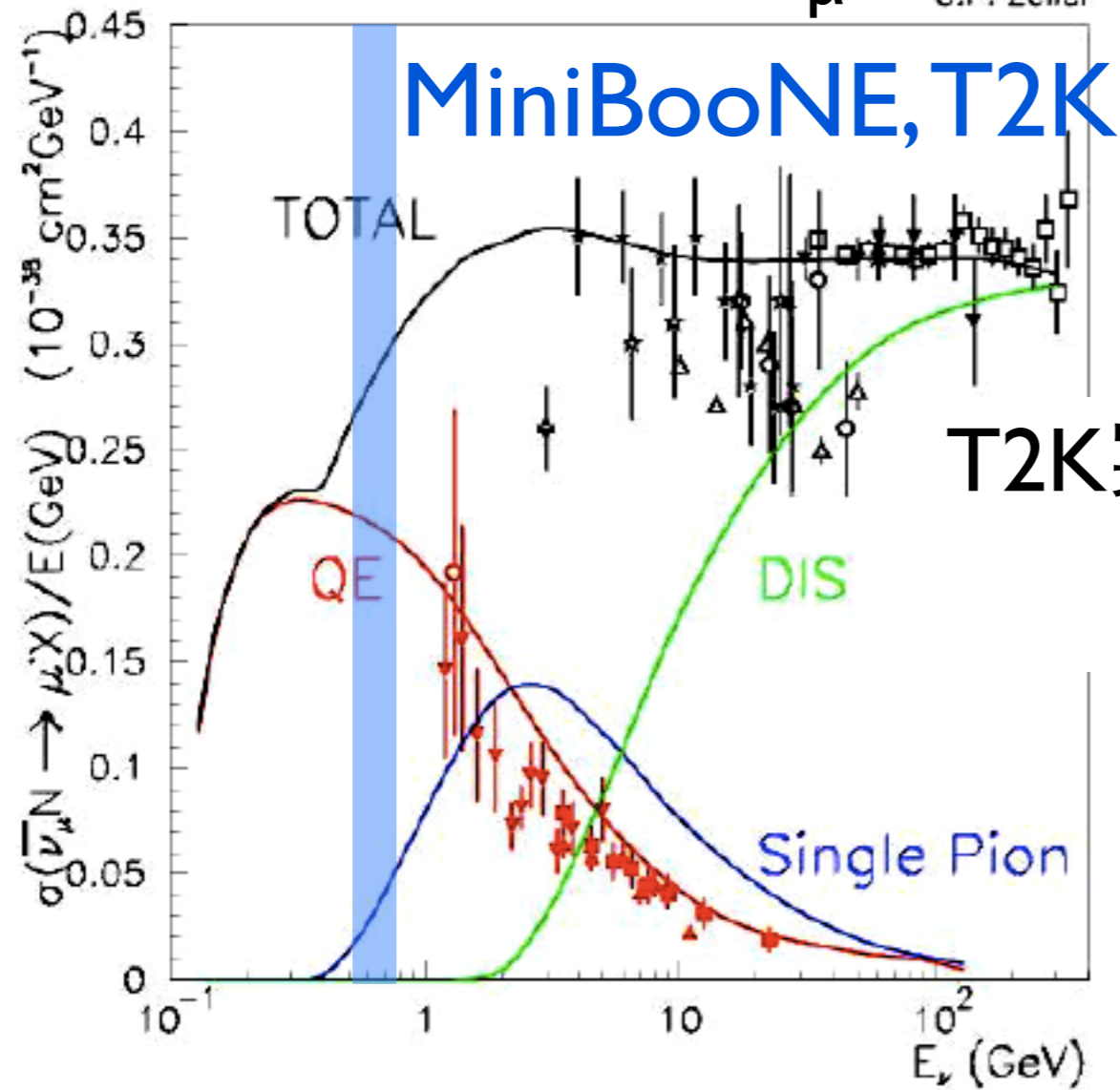
DIS

Carbon付近の原子核に対するデータは少ない

Neutrino cross section

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

G.P. Zeller

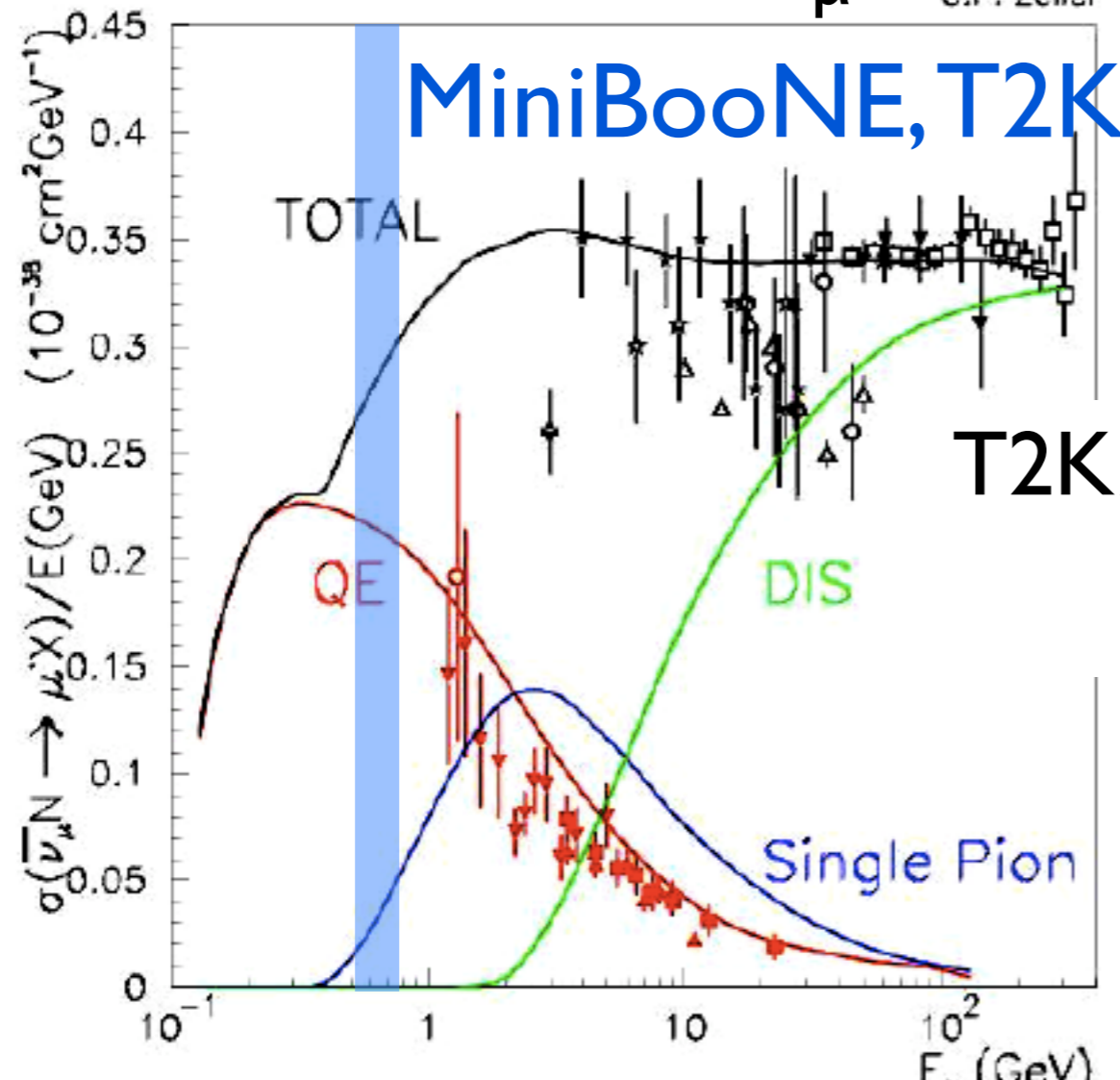


T2K実験が行われる領域にはデータがない

Neutrino cross section

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

G.P. Zeller



T2K実験が行われる領域にはデータがない

次世代ニュートリノ実験の精度を上げるためには
ニュートリノ相互作用の理解が不可欠

Talk for neutrino interactions @Neutrino 2008

Plenary talk

- Low energy neutrino scattering-
K2K,MiniBooNE,SciBooNE,MINERvA-
(Sam Zeller)

Poster

- Overview of SciBooNE (Morgan Wasco)
- MINERvA (Ric Gran)

Talk for neutrino interactions @Neutrino 2008

Plenary talk

- Low energy neutrino scattering-
K2K,MiniBooNE,SciBooNE,MINERvA-
(Sam Zeller)

Poster

- Overview of SciBooNE (Morgan Wasco)
- MINERvA (Ric Gran)

決して多くないが、内容は濃い

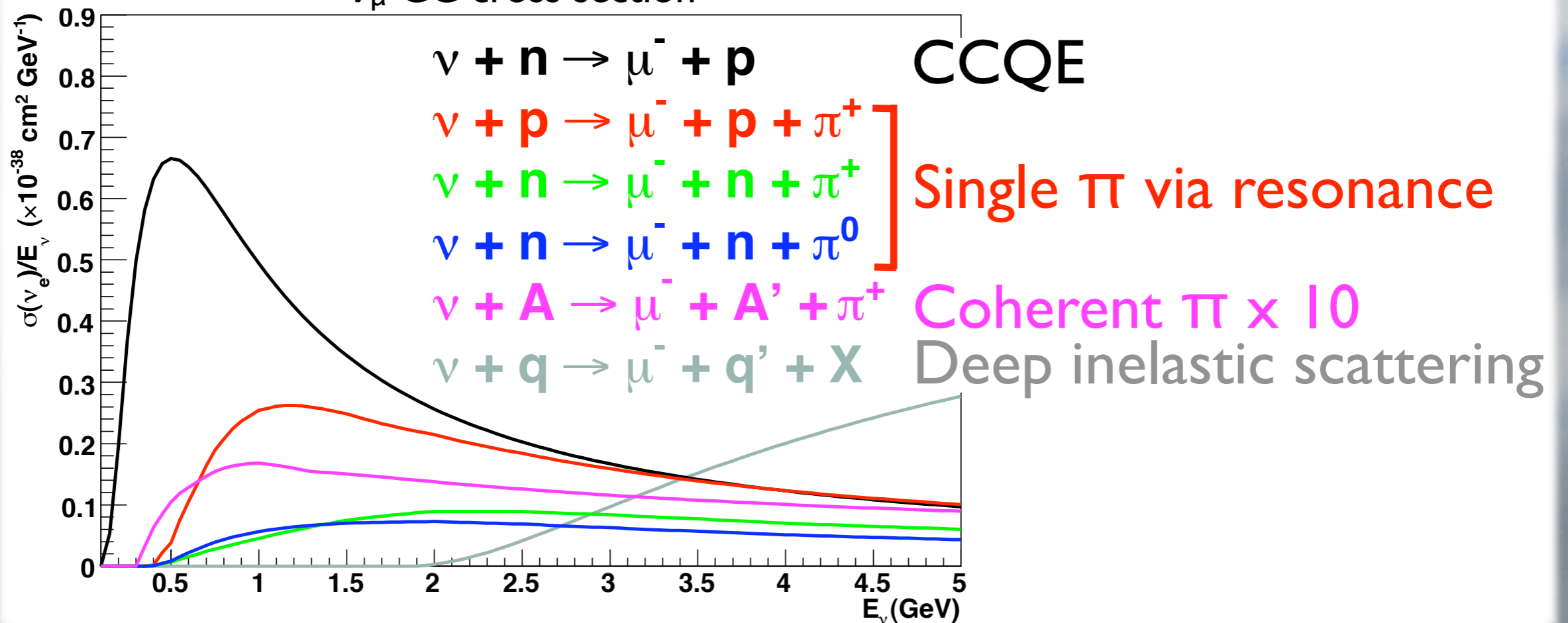
Neutrino interactions

K2K(SciBar): CCQE, CC inclusive π^+ , π^0

MiniBooNE : CCQE, NC π^0

SciBooNE : CC inclusive, CC inclusive π^+

ν_μ CC cross section



K2K experiment (1999~2004)

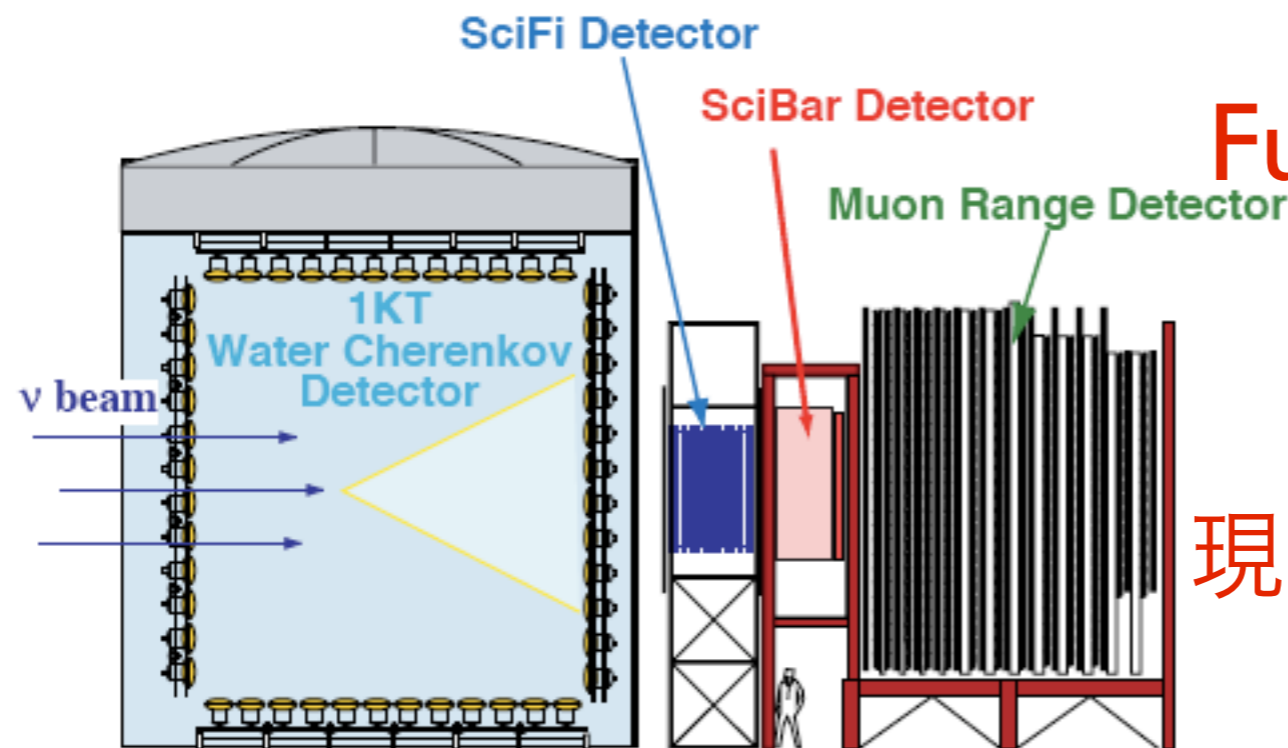
1 kton detector(H₂O)

First measurement of $N\text{CT}\pi^0$ in H₂O
PLB 619 255(2005)

Scintillating fiber tracker

SciFi(H₂O)

First measurement of M_A^{QE} in H₂O
PRD 74, 052002(2006)



Fully-active scintillator strip

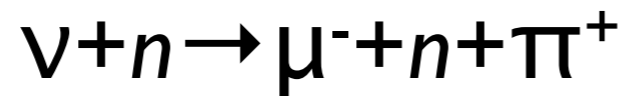
SciBar(C₈H₈)

First search of CC coherent π

PRL 95, 252301(2005)

現在はSciBooNE実験で活躍中!

K2K new result : CC π^+

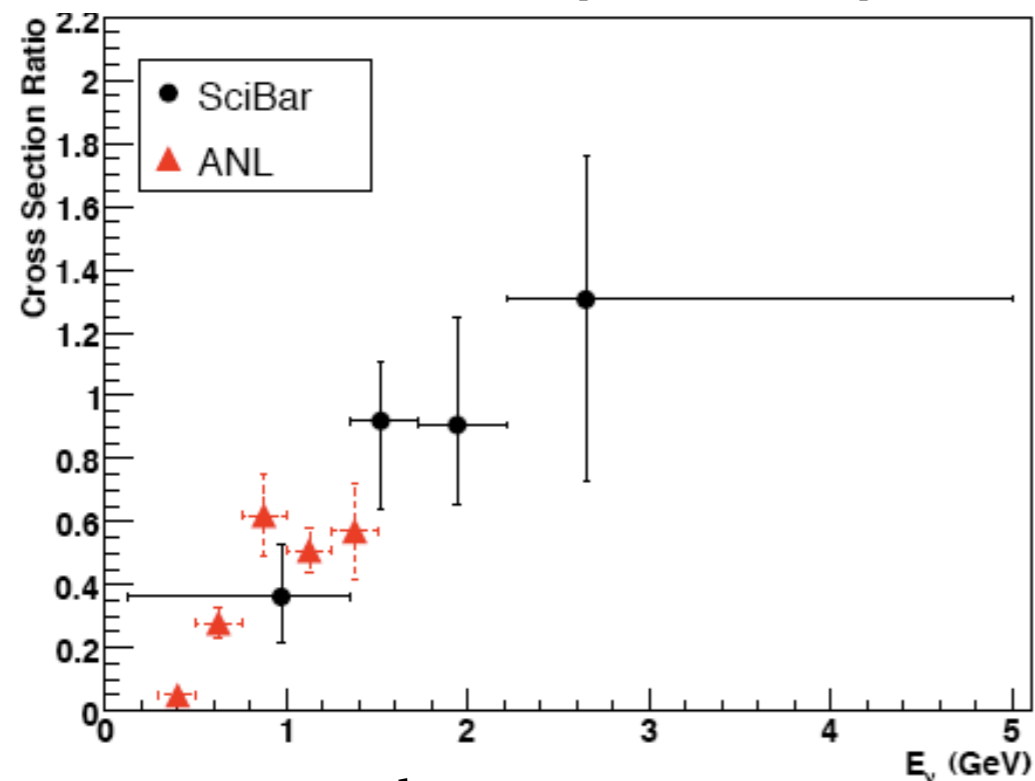


cross sectionの比を求めるこ

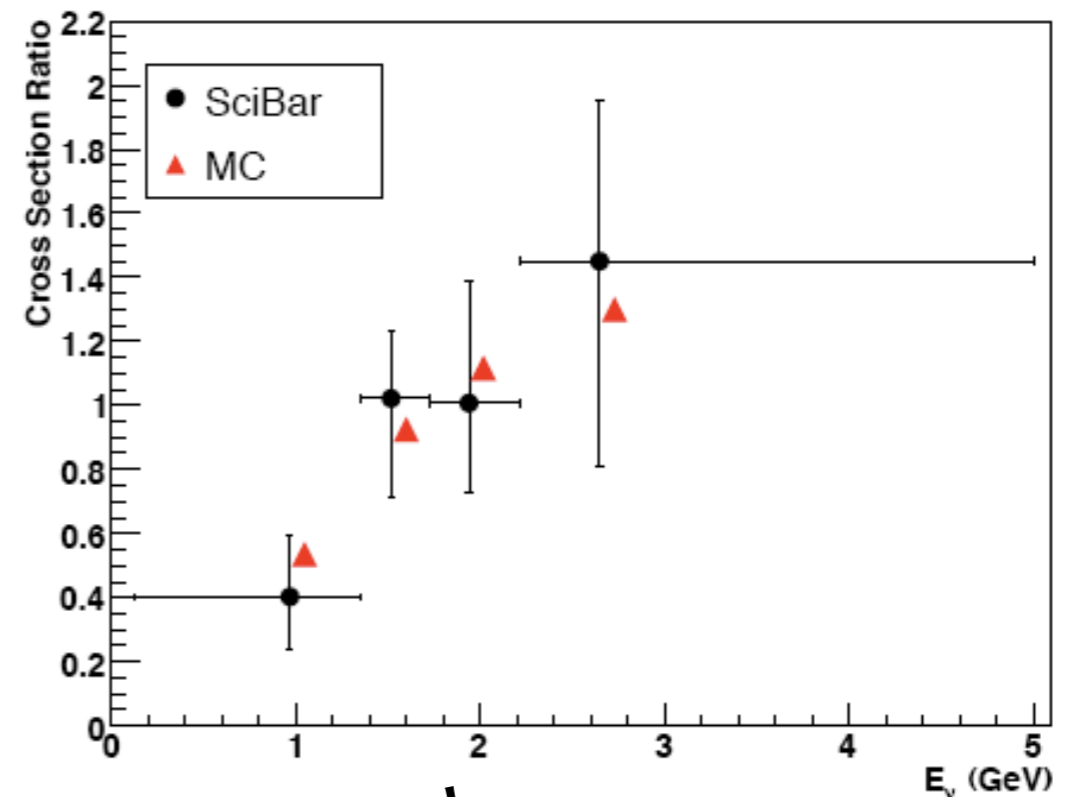
$$\sigma_{\text{CC}\pi^+}/\sigma_{\text{QE}}$$



とでfluxの不定性を避ける



ANLとconsistent



MCとconsistent

$$\sigma_{\text{CC}\pi^+}/\sigma_{\text{QE}} = 0.736 \pm 0.086(\text{fit}) \pm 0.076 - 0.103(\text{nucl.}) \pm 0.079 - 0.073(\text{syst.})$$

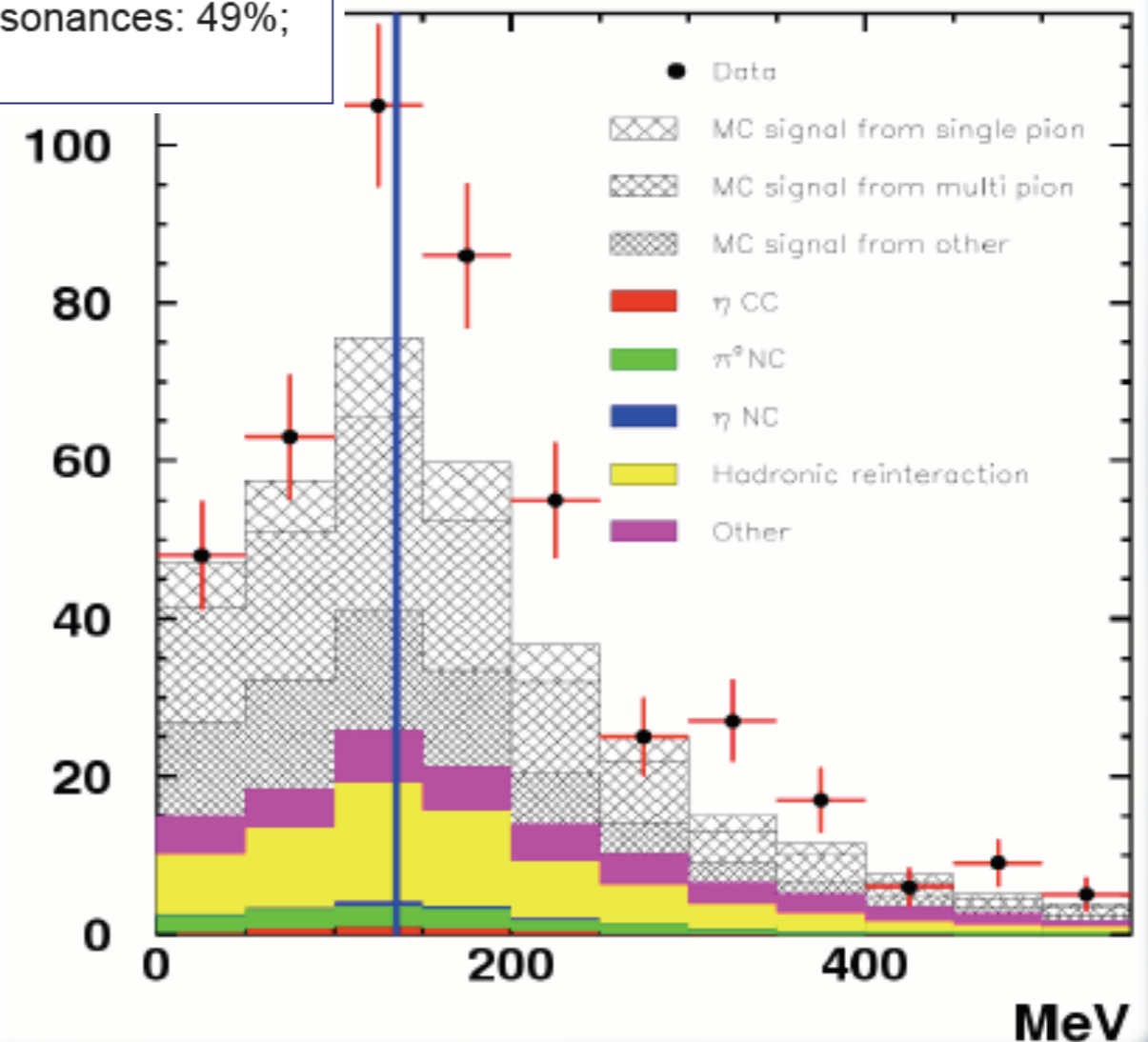
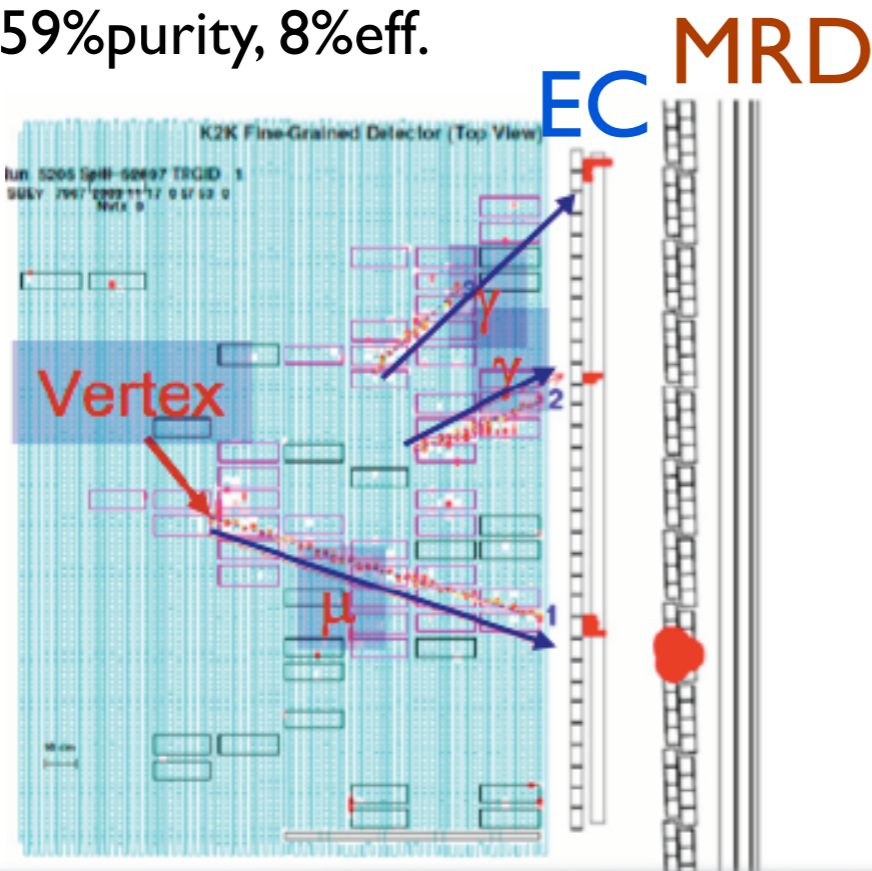
断面積比の理解は20%のレベル、 ^{12}C で初の結果

ちなみにT2Kの目標レベルは10%以下

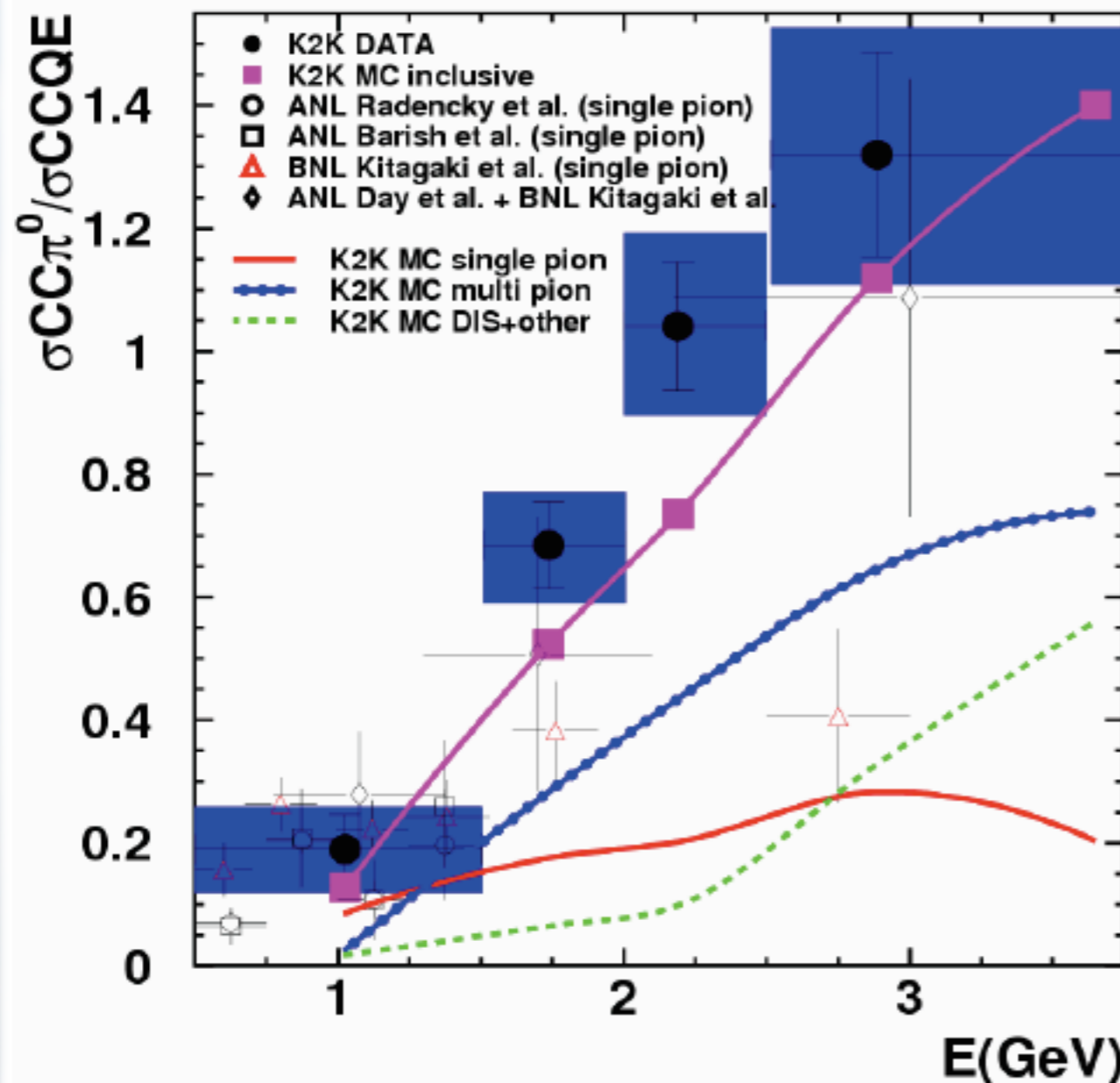
New K2K result : CC π^0

| True π^0 signal (59%) | |
|---|---|
| Composition: | Source: |
| <ul style="list-style-type: none"> Prompt π^0: 82%; π^0 from reinteractions: 11%; η decay: 7%; | <ul style="list-style-type: none"> Single pion from resonances: 45%; Multi pion from resonances: 49%; DIS: 6%; |

479 CC π^0 events
59%purity, 8%eff.



K2K new result : $CC\pi^0$



ANLの結果とconsistent

Multi π via resonance

DIS

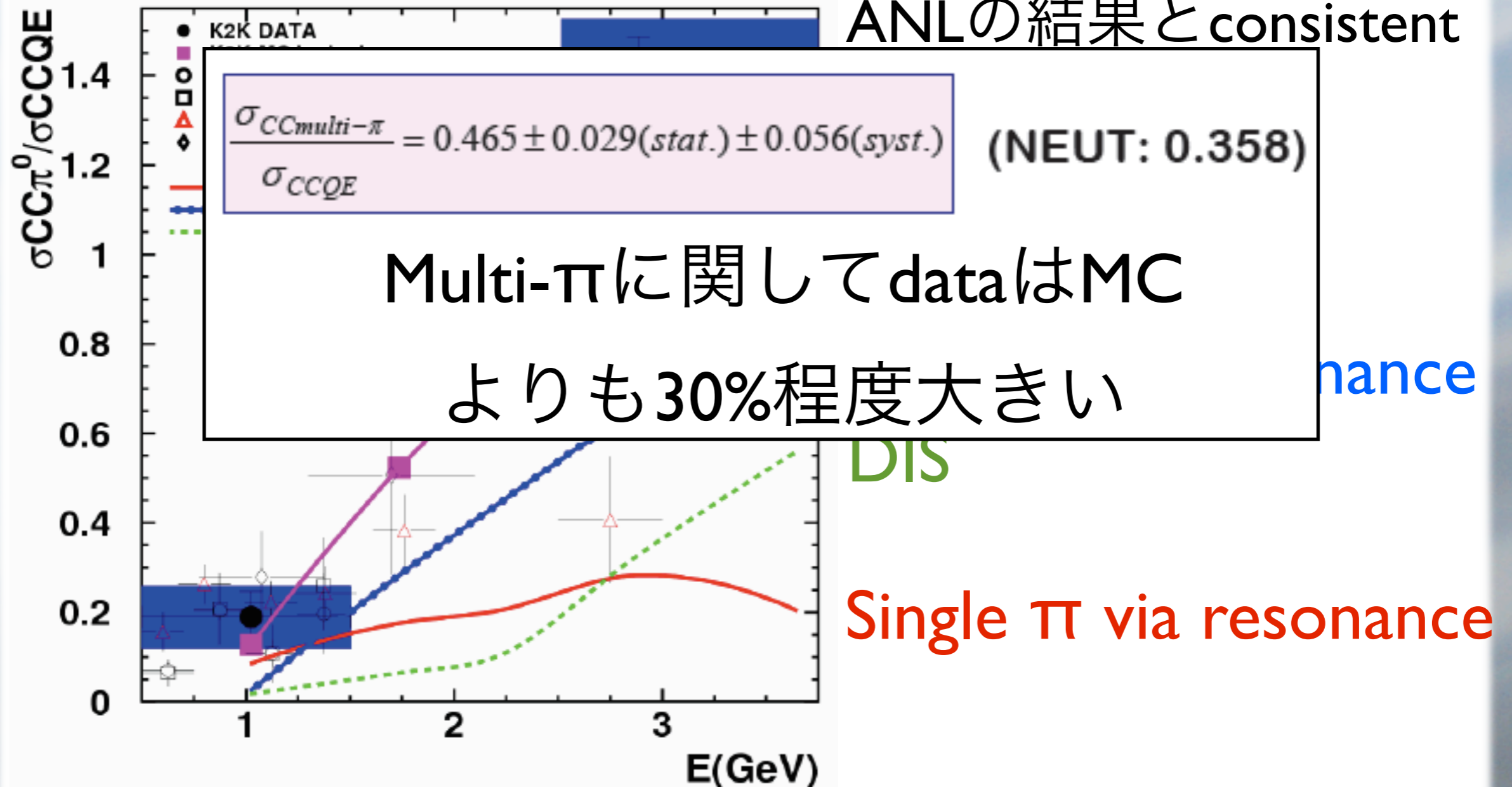
Single π via resonance

$$\sigma_{CC\pi^0}/\sigma_{QE} = 0.306 \pm 0.023(\text{stat.}) + 0.023 - 0.021(\text{syst.})$$

10%の精度で観測

K2K new result : CC π^0

ANLの結果とconsistent



$$\sigma_{cc\pi^0}/\sigma_{QE} = 0.306 \pm 0.023(\text{stat.}) + 0.023 - 0.021(\text{syst.})$$

10%の精度で観測

K2K new result : CCQE

QEの理解は特に重要！

- Nuclear effects

 - Fermi gas model使われている

- Form factor

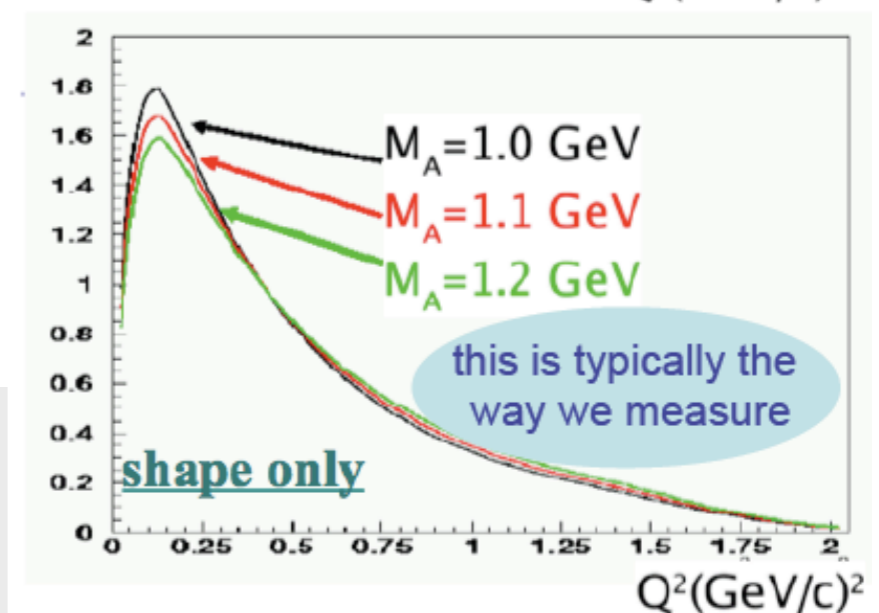
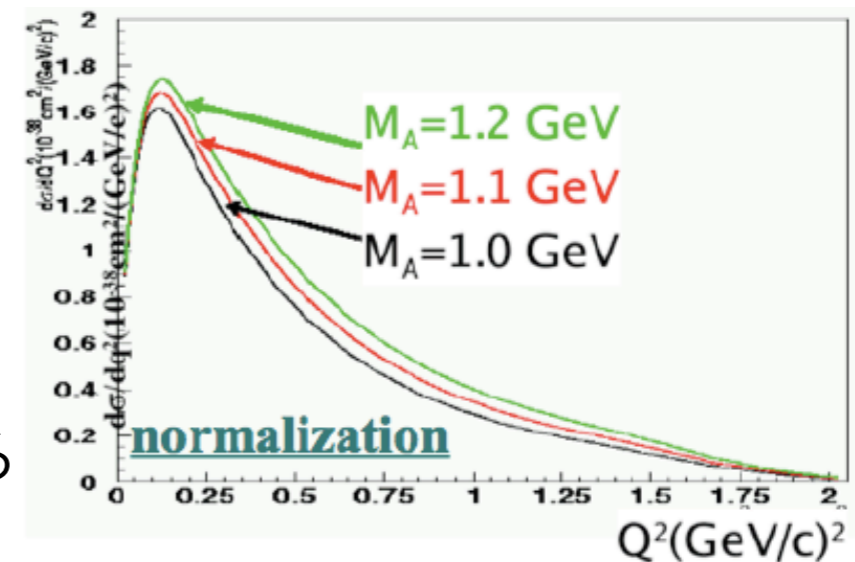
 - Vector FFはe- scatteringからよく理解されている

 - Axial FFはそれほど理解されていない(v scat.)

$$F_A(Q^2) = \frac{g_A}{(1 + Q^2/M_A^2)^2}$$

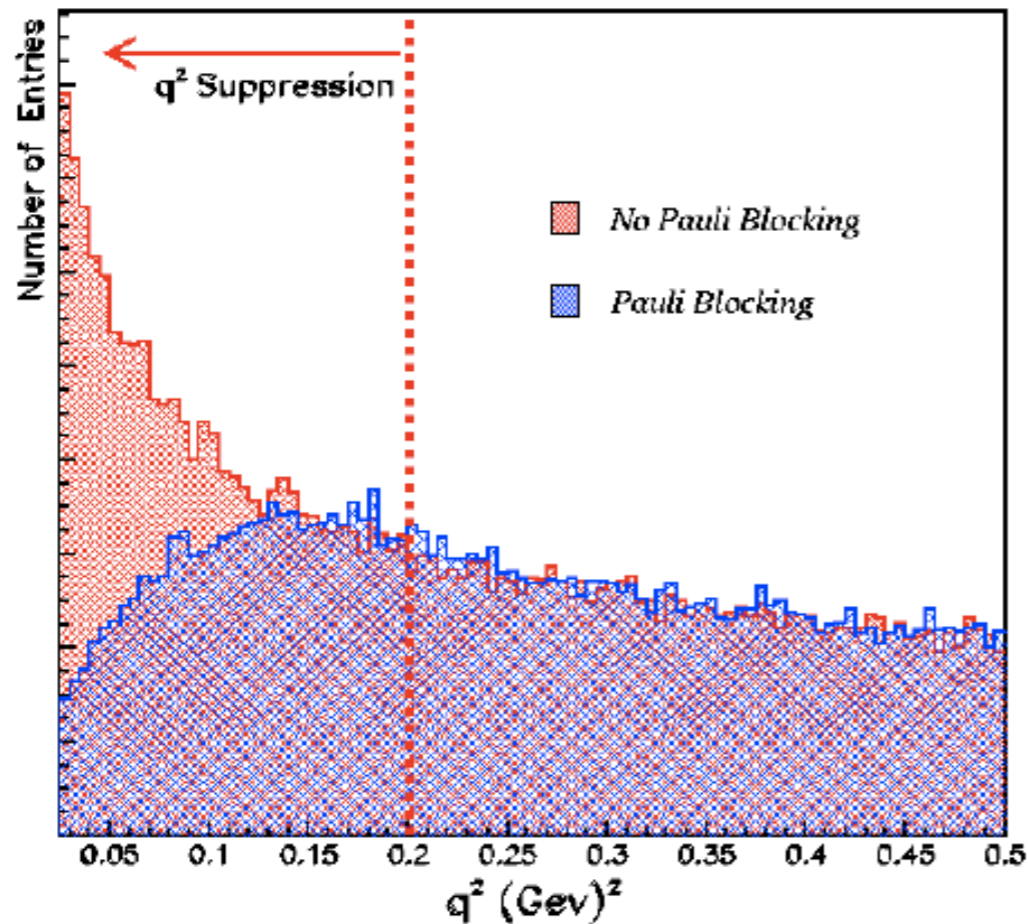
dipole FF

M_A によって断面積分布の形状、
大きさが変わる

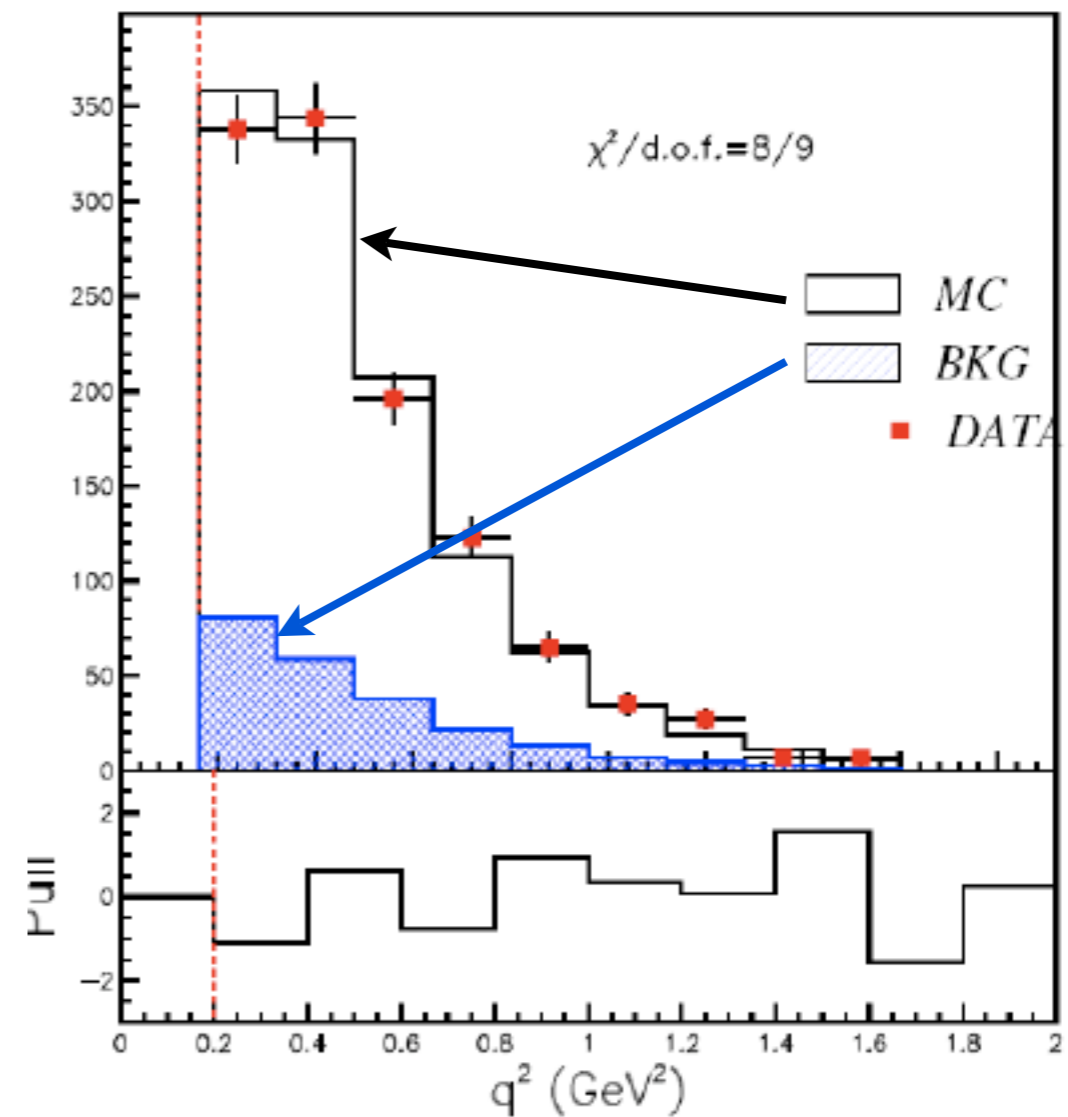


K2K new result : CCQE

Pauli Blocking Effect



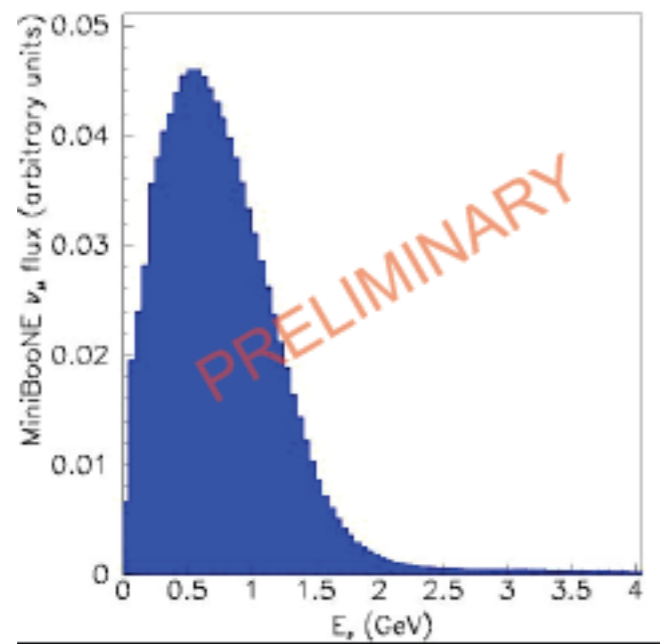
2 Track-QE samples



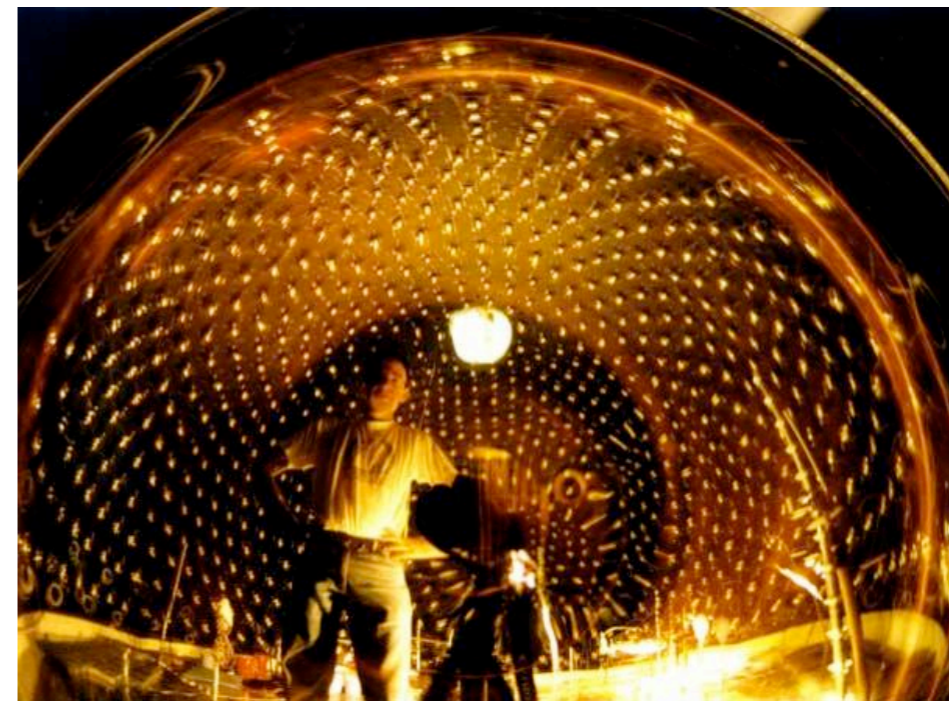
$$M_A = 1.144 \pm 0.077(\text{stat.}) + 0.078 - 0.072(\text{syst.})$$

(歴史的にworld averageは1.03GeVとなっている)

MINIBOOONE experiment (2002~)



ν beam : FNAL BNB
 $\langle E \rangle \sim 0.7 \text{ GeV}$



Cerenkov detector(CH₂)
 $\nu\bar{\nu}$ 両方のデータを持っている

MINIBOONE new result : CCQE

$$W = \int_{E_{lo}}^{E_{hi}} f(k, q, w) T_{\mu\nu} dE$$

$f(k, q, w)$: nucleon phase space density function

$T_{\mu\nu}$: nucleon tensor

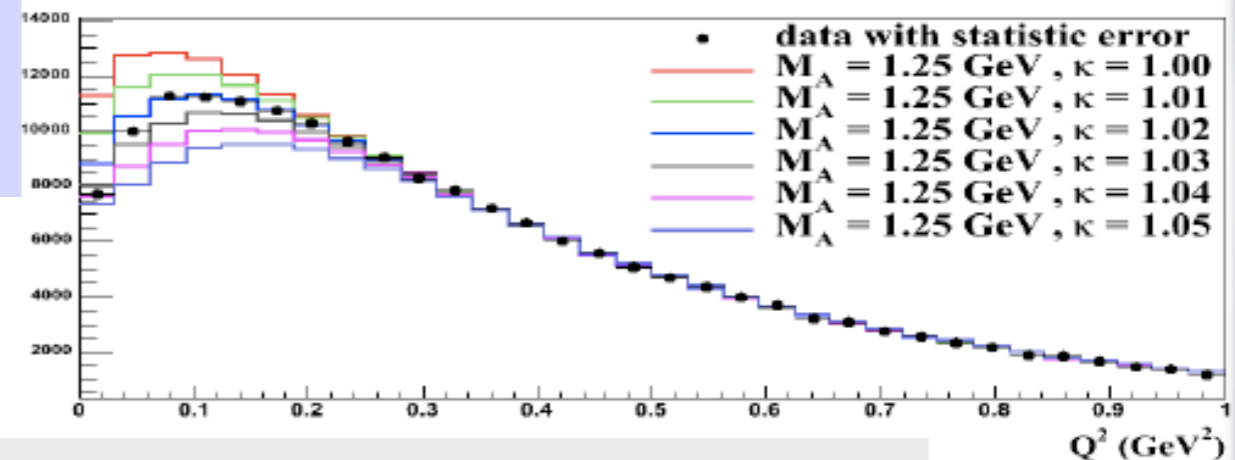
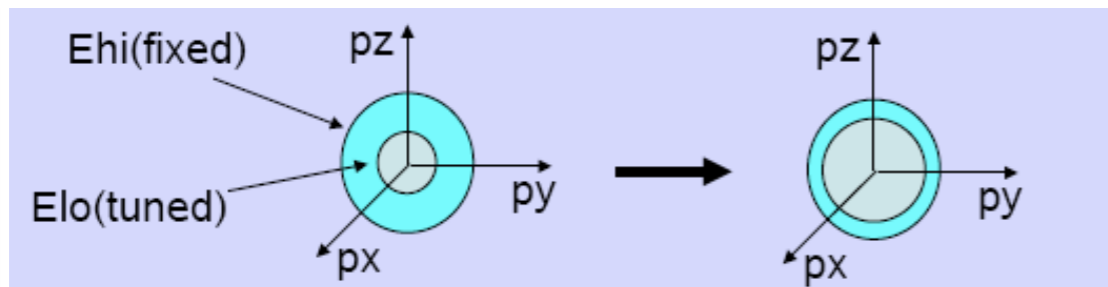
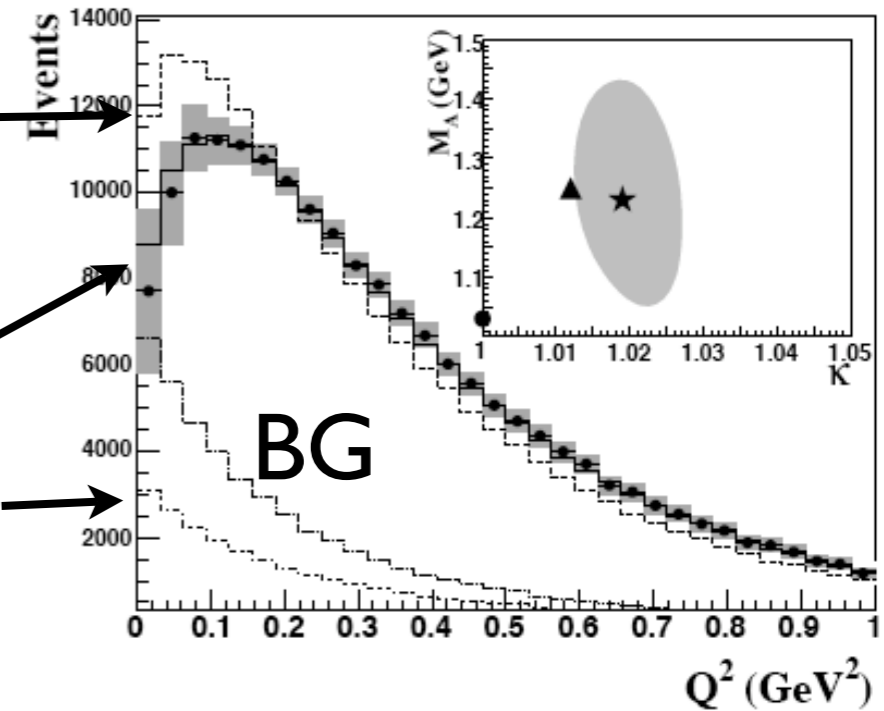
$$E_{hi} = \sqrt{p_F^2 + M^2}$$

$$E_{lo} = \kappa(\sqrt{p_F^2 + M^2} - w + E_B)$$

before fit

after fit

non-QE

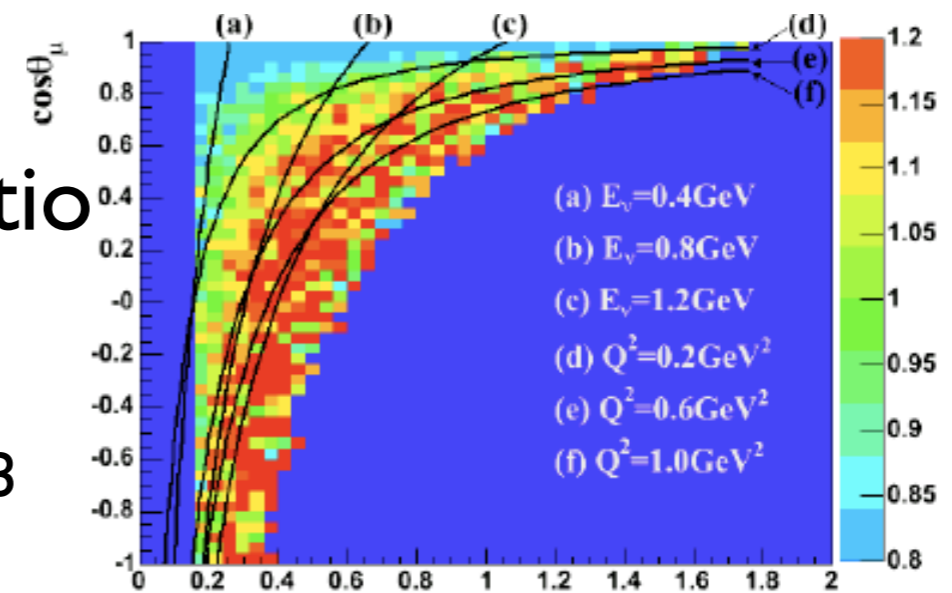


$M_A = 1.23 \pm 0.20 \rightarrow$ high Q^2

$\kappa = 1.019 \pm 0.011$ (/Pauli blocking) \rightarrow low Q^2

MINIBOONE new result : CCQE

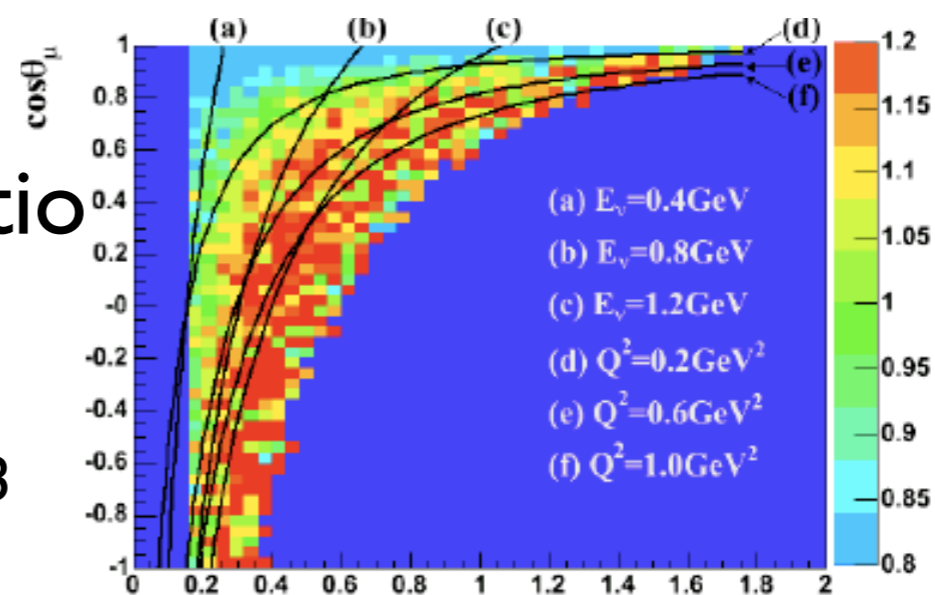
data-MC ratio
before fit
 $M_A=1.03\text{GeV}$
 $\chi^2/\text{dof}=79.5/53$



Q^2 分布だけを使ってfitしているが他のkinematicsも改善している

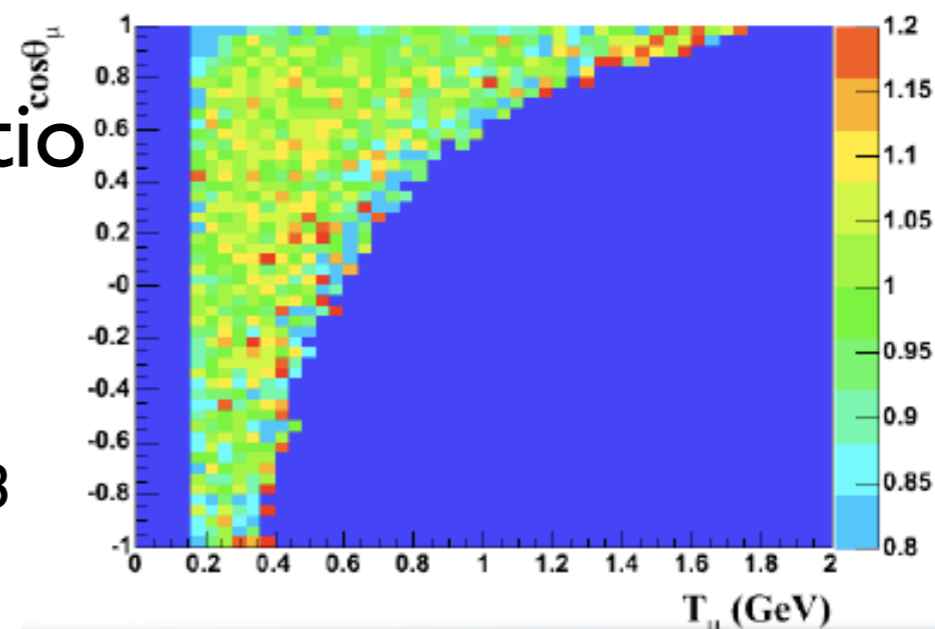
MINIBOONE new result : CCQE

data-MC ratio
before fit
 $M_A=1.03\text{GeV}$
 $\chi^2/\text{dof}=79.5/53$



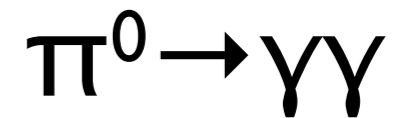
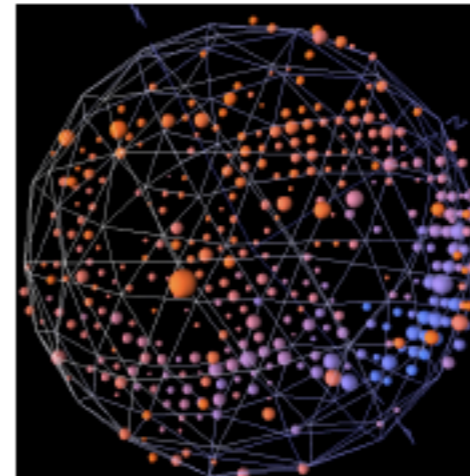
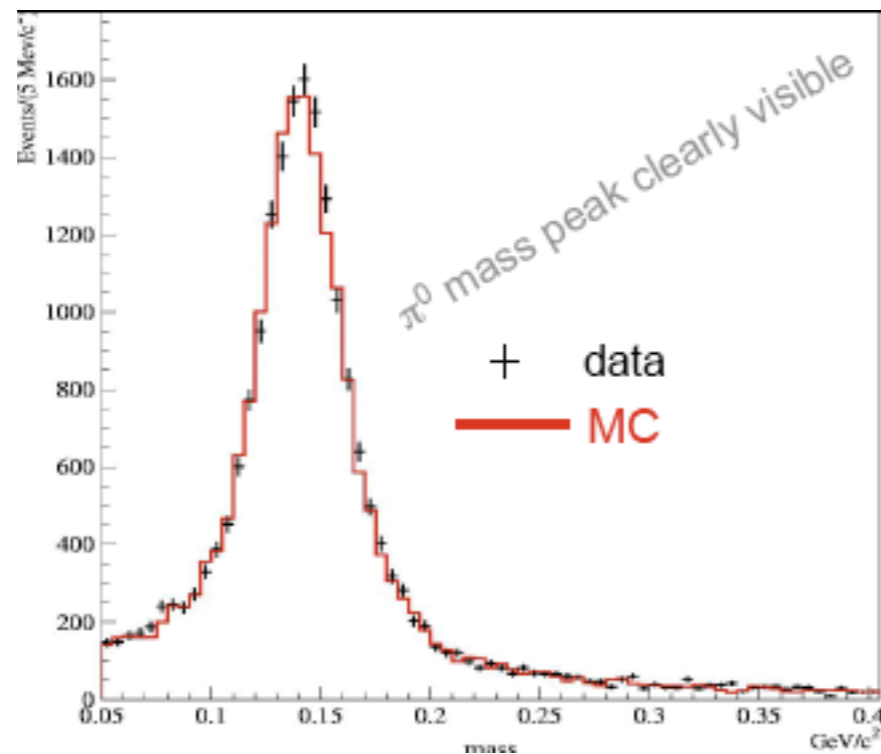
Q^2 分布だけを使ってfitしているが他のkinematicsも改善している

data-MC ratio
after fit
 $M_A=1.23\text{GeV}$
 $\kappa=1.019$
 $\chi^2/\text{dof}=45.1/53$



MINIBOONE new result: NC π^0

ν_e appearance searchのBGになり得る→理解が必要



28,600 ν_μ NC π^0 events
97% purity, 40% error

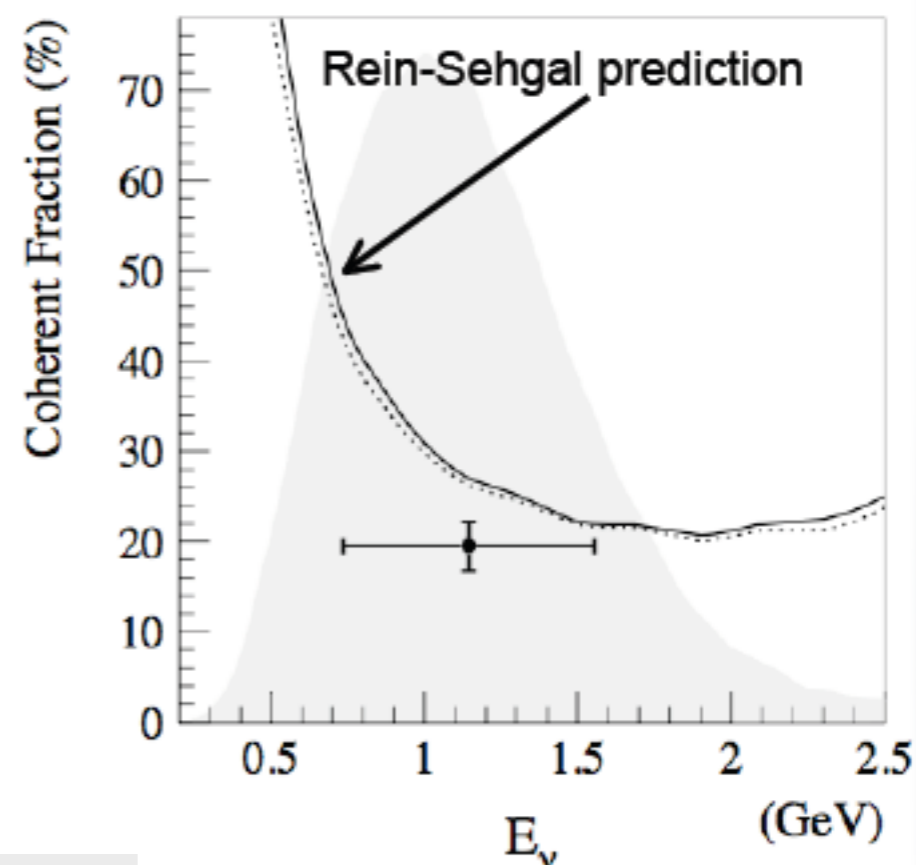
NC resonance π^0 : データが少ない、不定性~40%

NC coherent π^0 : データが少ない、CCも理解されていない、不定性>50%

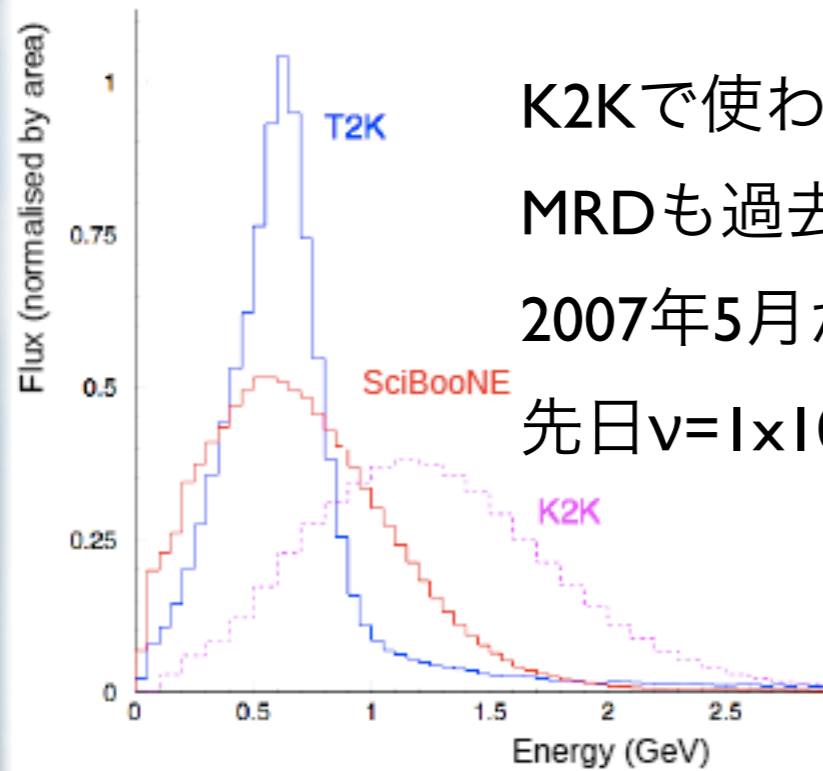
MINIBOONE new result: NC π^0

- 2GeV以下のエネルギーにおける、初の測定
(J.RaafのPh.D thesisを除く)
- 14%の精度で観測
(ν_e searchの不定性を下げるのに有益)
- MCの予測(Rein&Sehgal)よりも35%ほど小さい

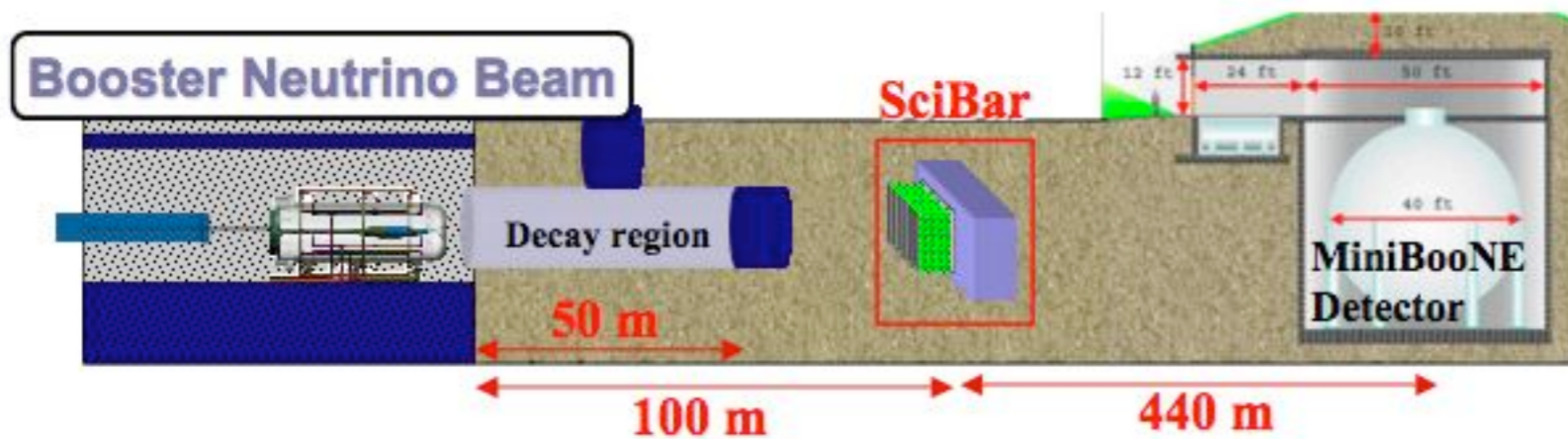
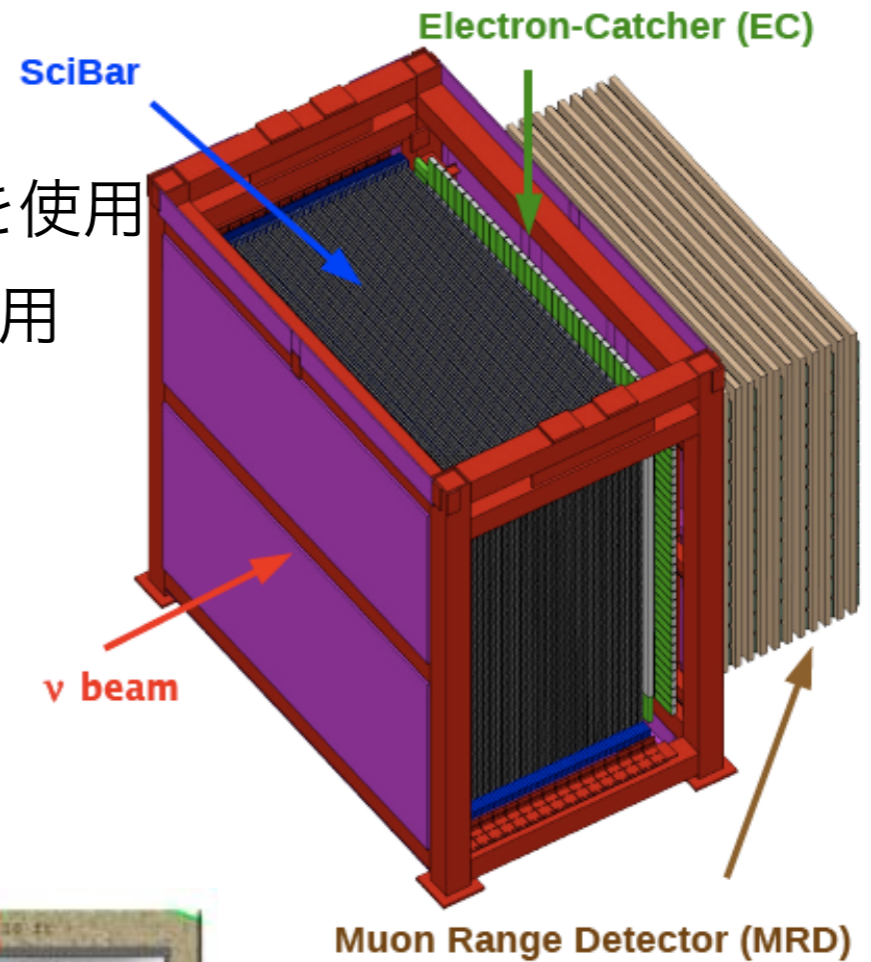
Coherent π^0 fraction = $(19.5 \pm 0.27)\%$
MC prediction = 30%



SciBooNE experiment (2007~)

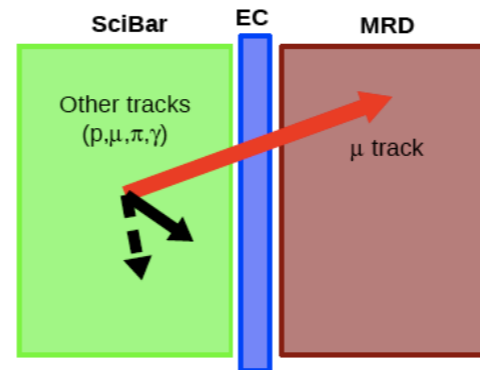


K2Kで使われていたSciBarとECを使用
 MRDも過去の実験の部品を再利用
 2007年5月からoperation開始
 先日 $\nu=1 \times 10^{20}$ 、 $\bar{\nu}=1 \times 10^{20}$ を達成!!

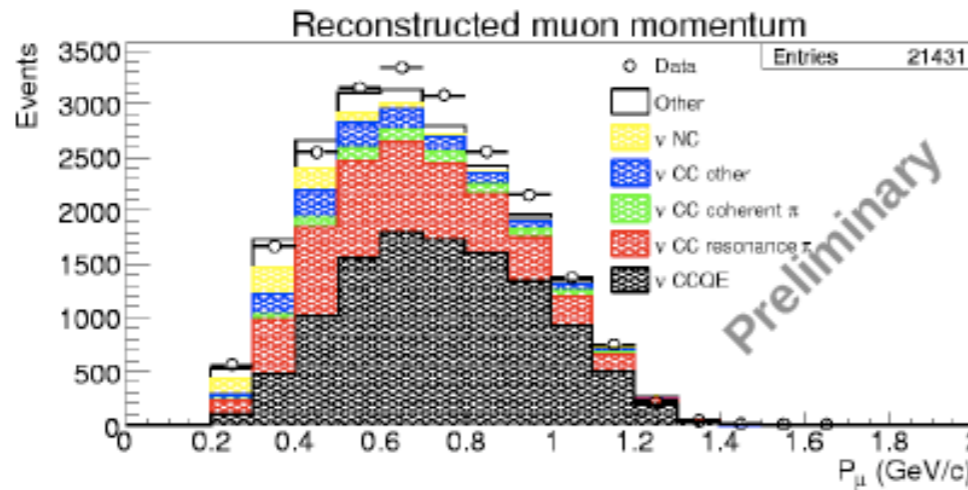


SciBoONE new result : CC inclusive

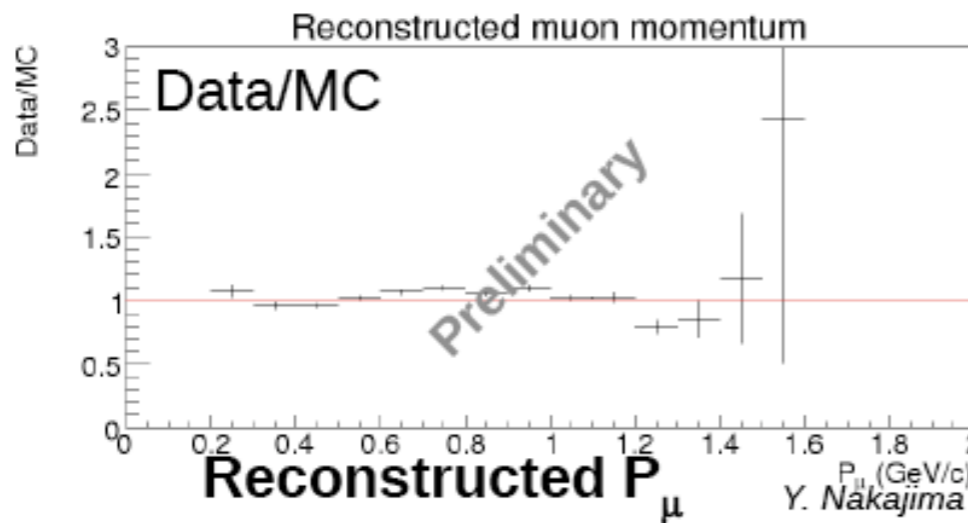
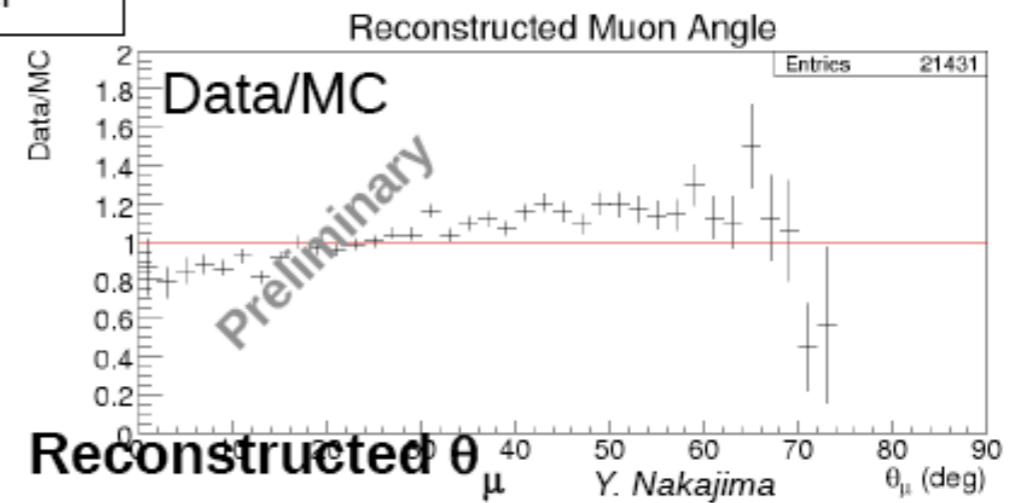
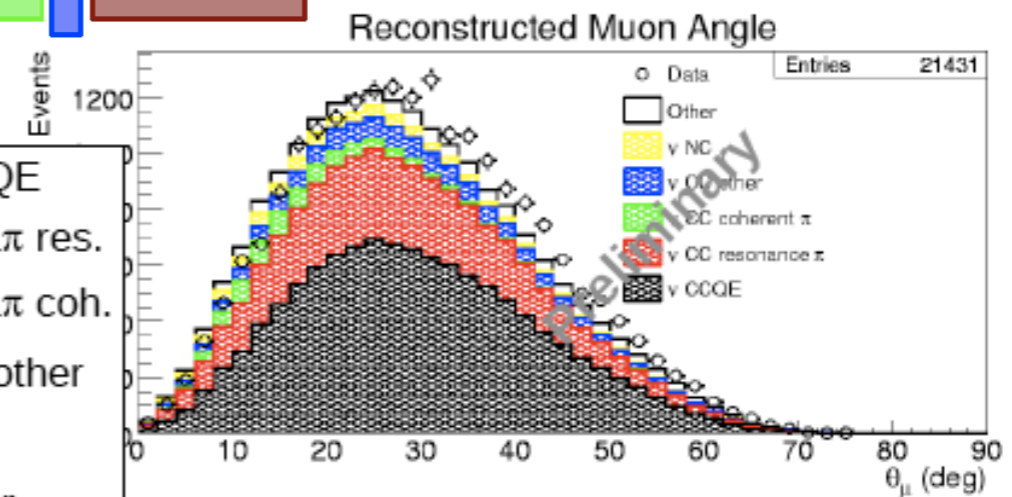
96% pure CC
 Cosmic BG < 0.5%
 21,431 events



MRD-stopped eventのみ使用

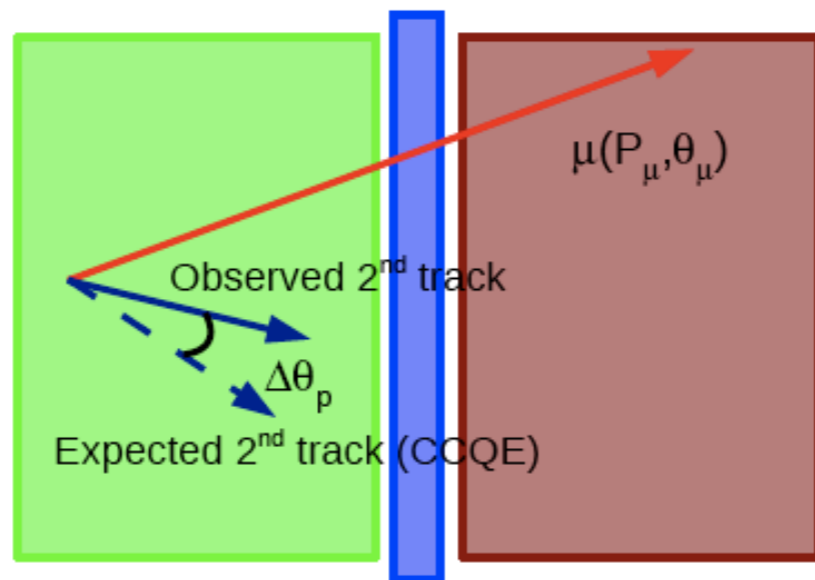


- CCQE
- CC1 π res.
- CC1 π coh.
- CC other
- NC
- Other



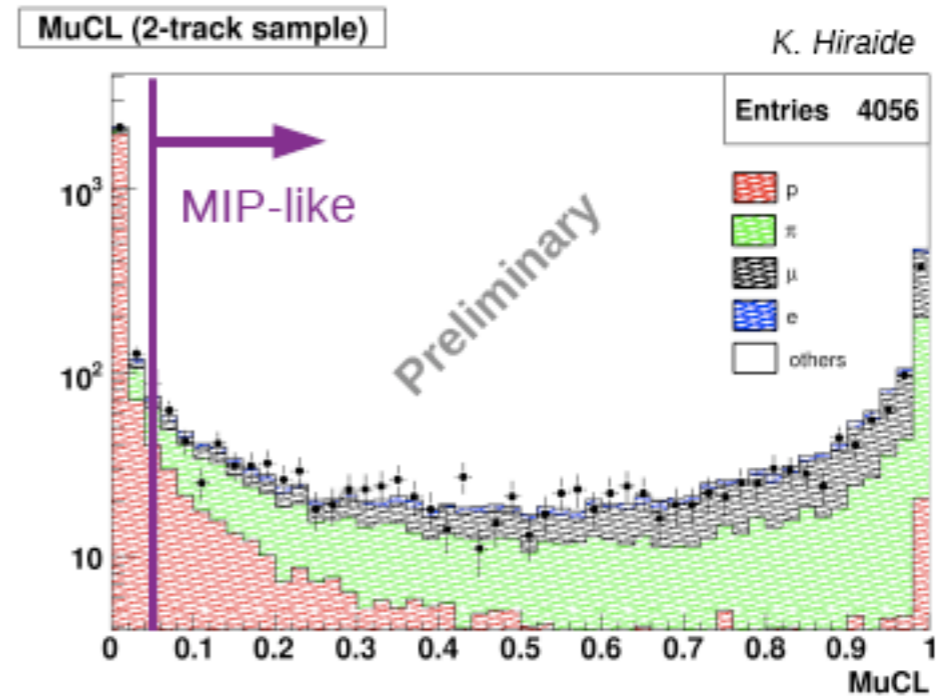
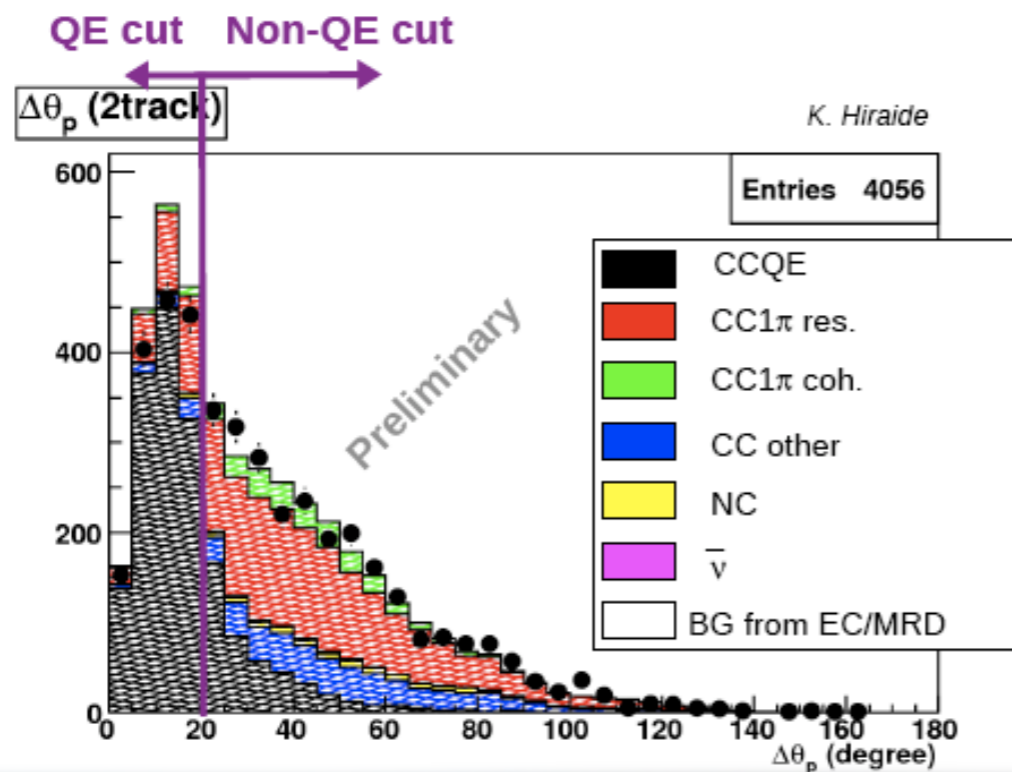
SciBoONE new result : CC inclusive

SciBar



MRD

MuCL : muon confidence level with dE/dx
protonとMIPを区別する

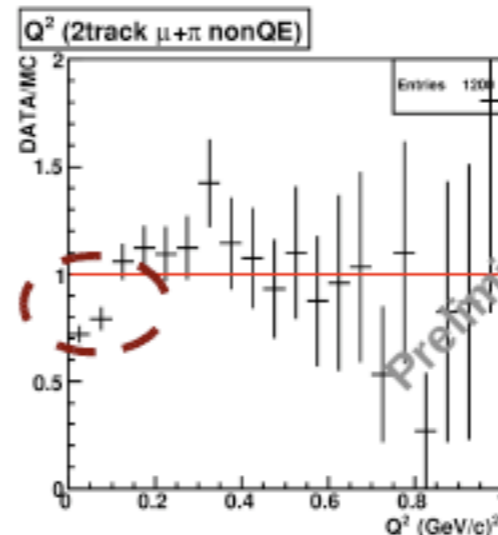
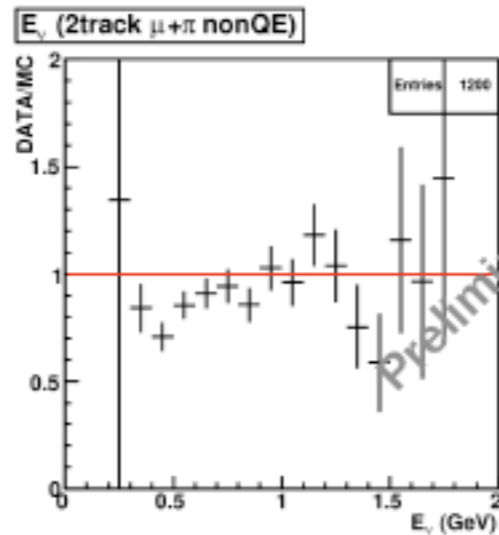
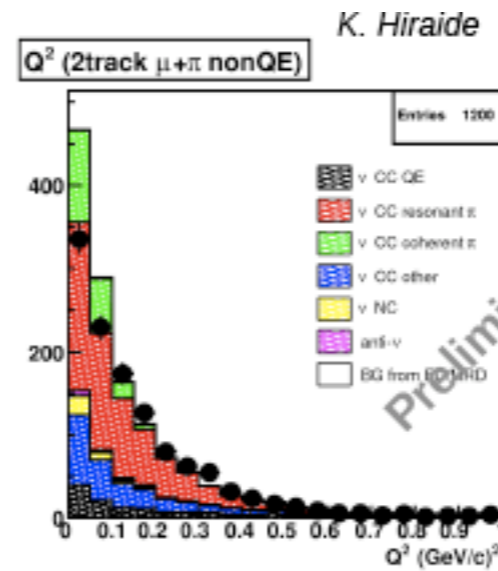
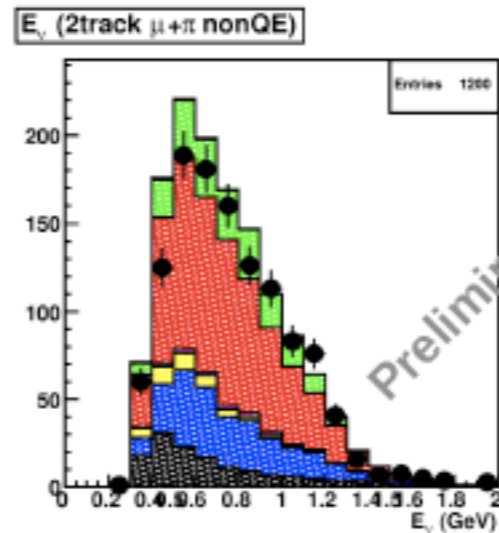


SciBoONE new result : CC π^+

$\Delta\theta_p > 20^\circ$ && 2nd track PID (μ or π), CC $\pi^+ \sim 1200$ events

$$E_\nu^{rec} = \frac{m_n E_\mu - m_n^2/2}{m_n - E_\mu + P_\mu \cos \theta_\mu}$$

- CCQE
- CC1 π res.
- CC1 π coh.
- CC other
- NC
- $\bar{\nu}$
- BG from EC/MRD



K2KのCC coherent π
の結果とconsistent ?

Summary

- K2K, MiniBooNE, SciBooNEの最新結果が発表された
- 個人的な意見
 - QE: 現在のformalismに基づき、 M_A のfitだけでデータを再現するのは不可能→新しいモデルが求められる
 - Single π via resonance: 核内効果についてはQEと同じ。resonanceからの 2π 反応の理論的な研究が進んでいるそうなので期待
 - Coherent π : データが少ないので何とも言えない
MiniBooNE, SciBooNEの高統計の結果が待たれる

ご清聴ありがとうございました

