

J-PARCニュートリノビームの 系統誤差改善に向けた ハドロン生成分布の研究

日本物理学会2019秋季大会

2019年9月19日 19pT11-11

岡田 涼^A、坂下 健^B、小汐 由介^A、
他T2K-Collaboration
岡山大学^A、KEK^B

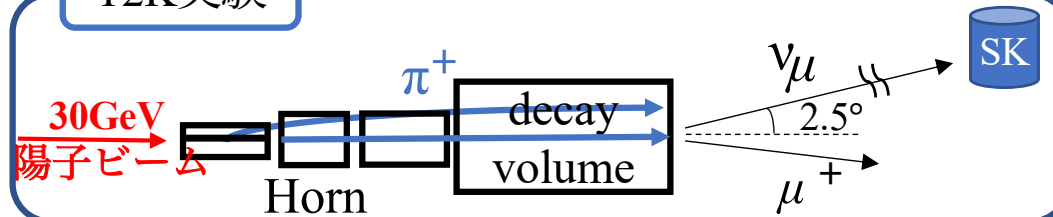
目次

1. 概要
2. 手法
3. 結果
4. 考察
5. まとめ

概要 (T2K実験)

- T2K実験では、ニュートリノが飛行中にどの様に変化するか (ニュートリノ振動) を研究している。
- ニュートリノ振動事象を効率よく観測するために、off-axis法(2.5°)を用いて、ニュートリノビームのエネルギーピークが600MeVになるようにしている。
- さらに精度のよい実験を行う為に全体の系統誤差 (ビーム、ニュートリノ相互作用、SK... 等)を減らす必要がある。

T2K実験

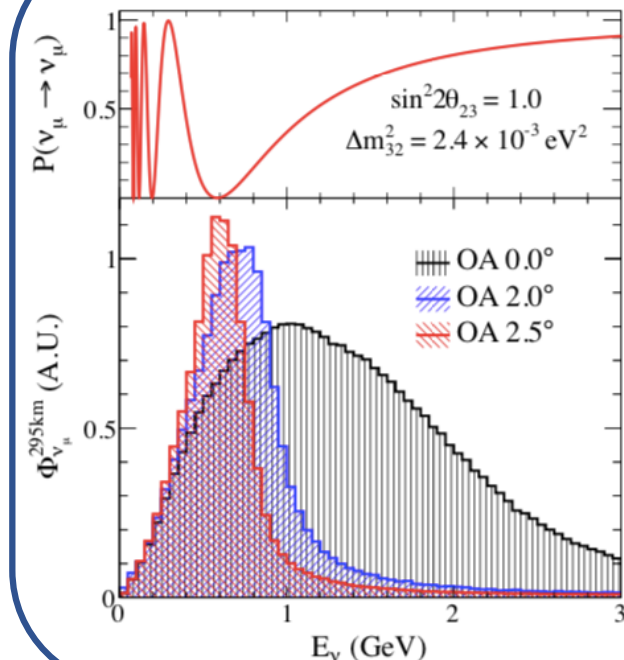


振動確率

$$P(\mu \rightarrow e) \approx$$

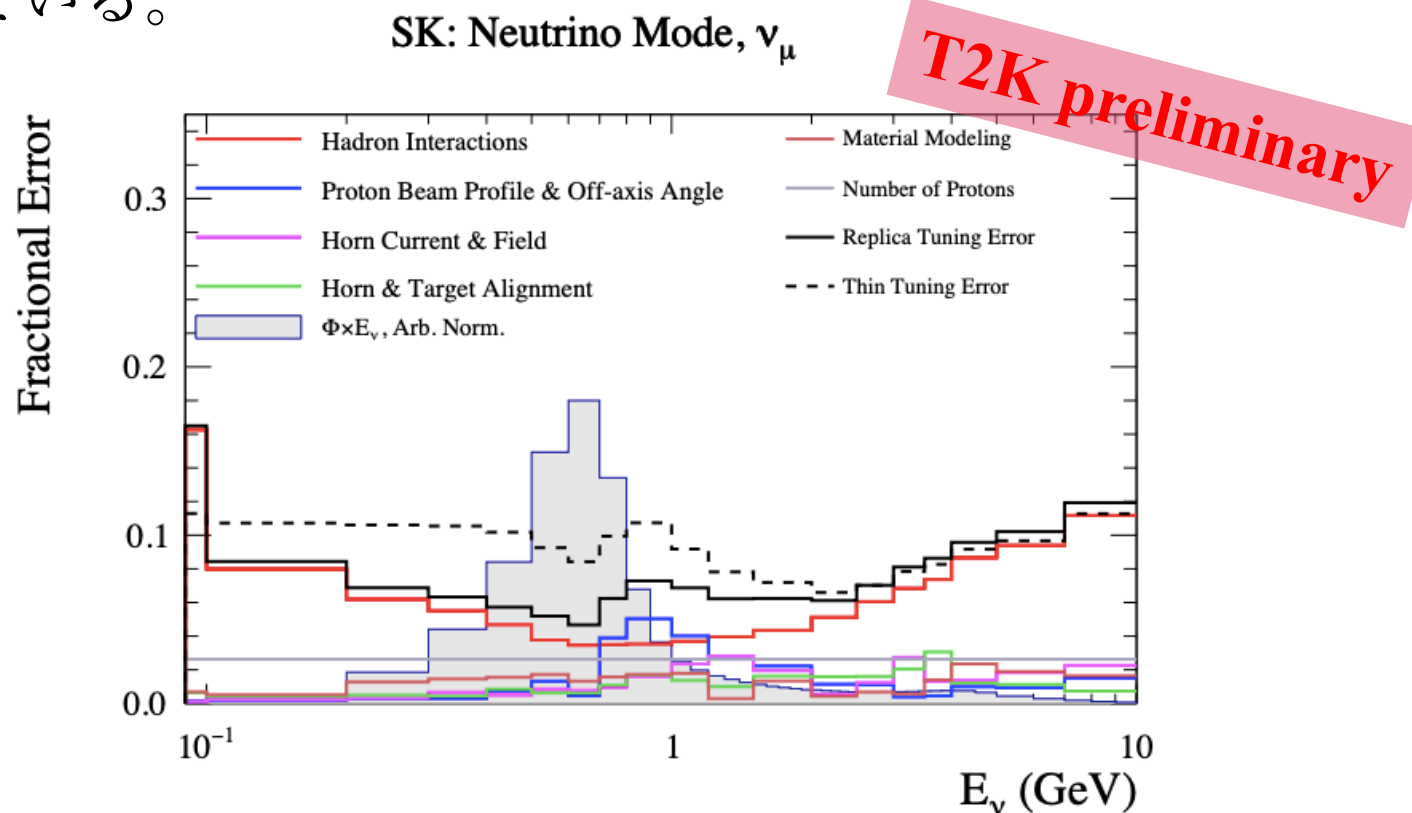
$$\begin{aligned} & \sin^2 \theta_{23} \sin^2 2\theta_{13} \sin^2 \frac{\Delta m_{32}^2 L}{4E} \\ & - \frac{\sin 2\theta_{12} \sin 2\theta_{23}}{2 \sin \theta_{13}} \sin^2 \frac{\Delta m_{21}^2 L}{4E} \\ & \times \sin^2 2\theta_{13} \sin^2 \frac{\Delta m_{31}^2 L}{4E} \sin \delta_{CP} \end{aligned}$$

ニュートリノフラックス



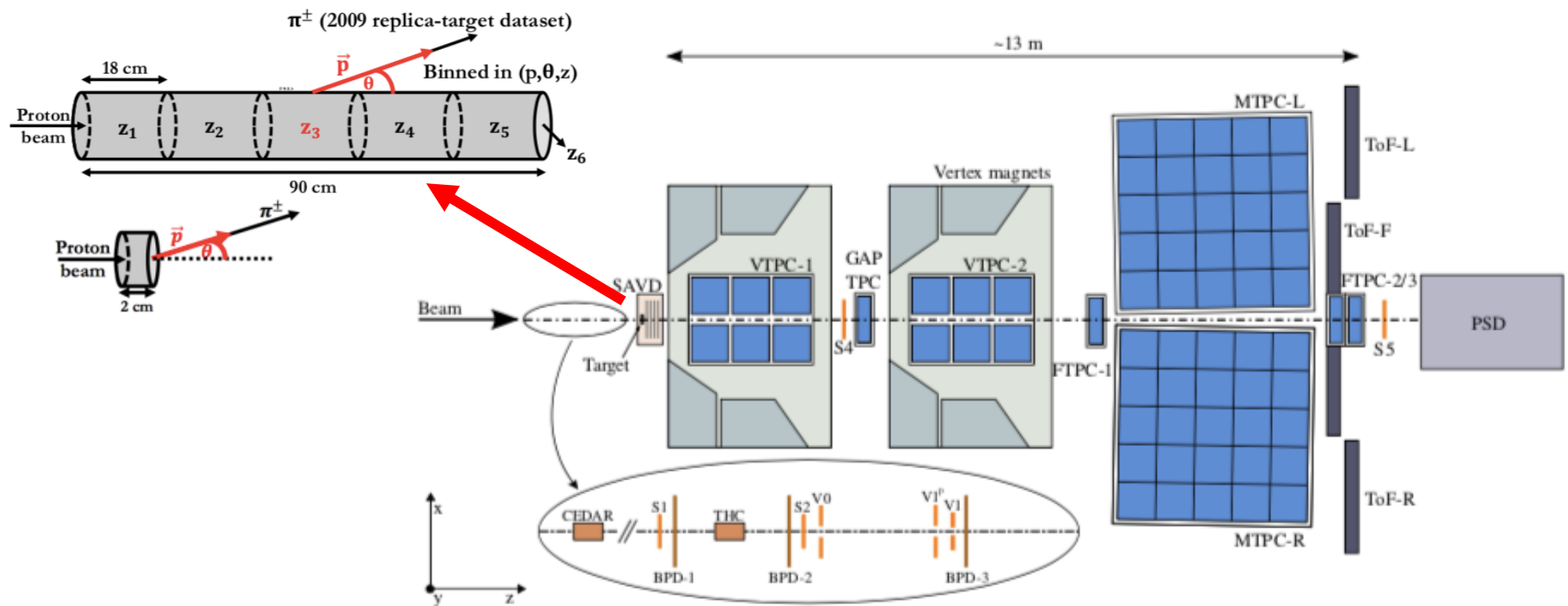
概要 (現在のT2Kビームの不定性)

- (現在)エネルギーピークでは5%まで不定性を低減。
with 2009年 NA61実験 T2K 90cmターゲットのデータ
- (今後) 2010年 NA61実験 T2K 90cmターゲットのデータを用いることで、より広いエネルギーで不定性を5%まで削減できると見積もられている。
- T2K&SK(HK)で精度よく実験を行う為にさらなる不定性削減を目指している。



概要 (NA61実験@CERN SPS)

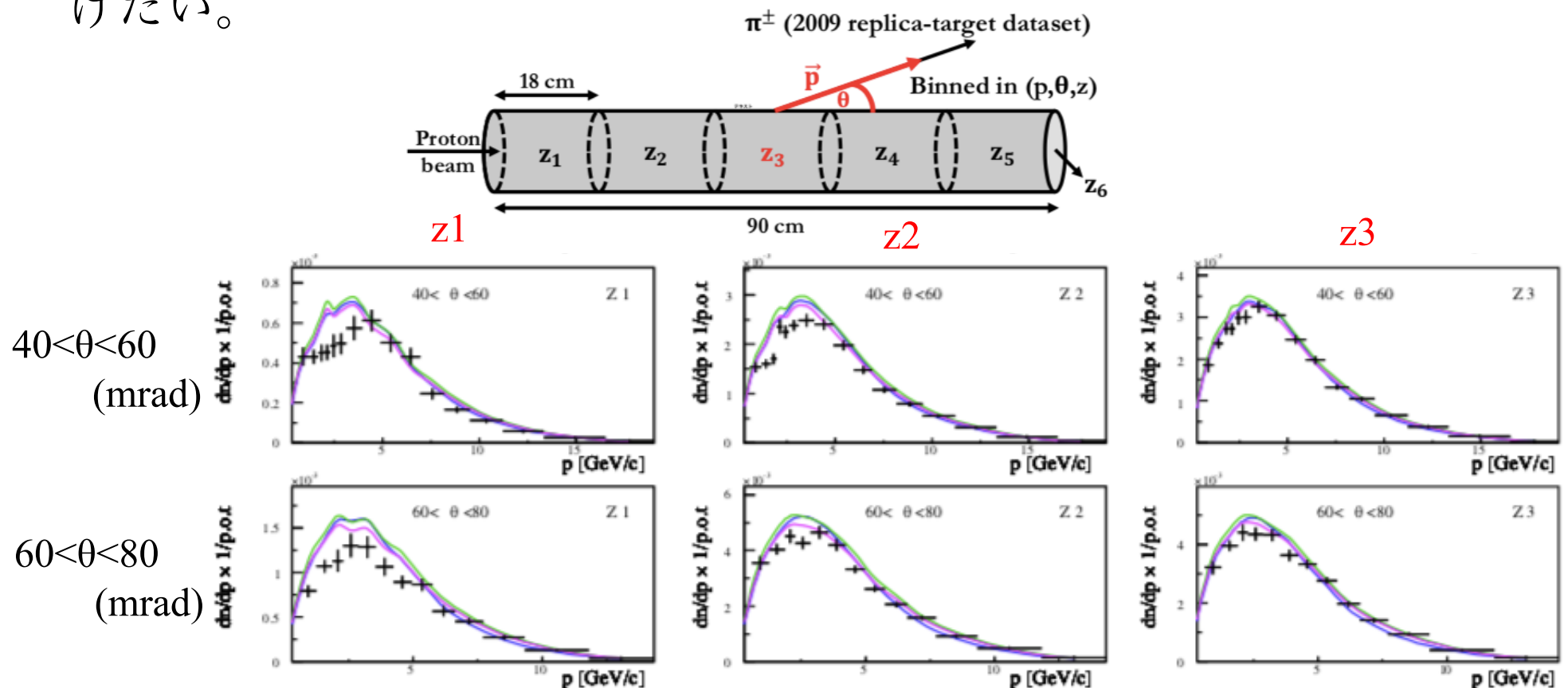
- NA61実験(2009,2010)において π 粒子、K粒子の生成断面積、 p, θ 分布が測定された。
(2009年: 2cmターゲット & T2K 90cmターゲット
2010年: T2K 90cm ターゲット)
- このデータを使ってニュートリノフラックス予測がされている。



NA61実験で用いられたディテクタ

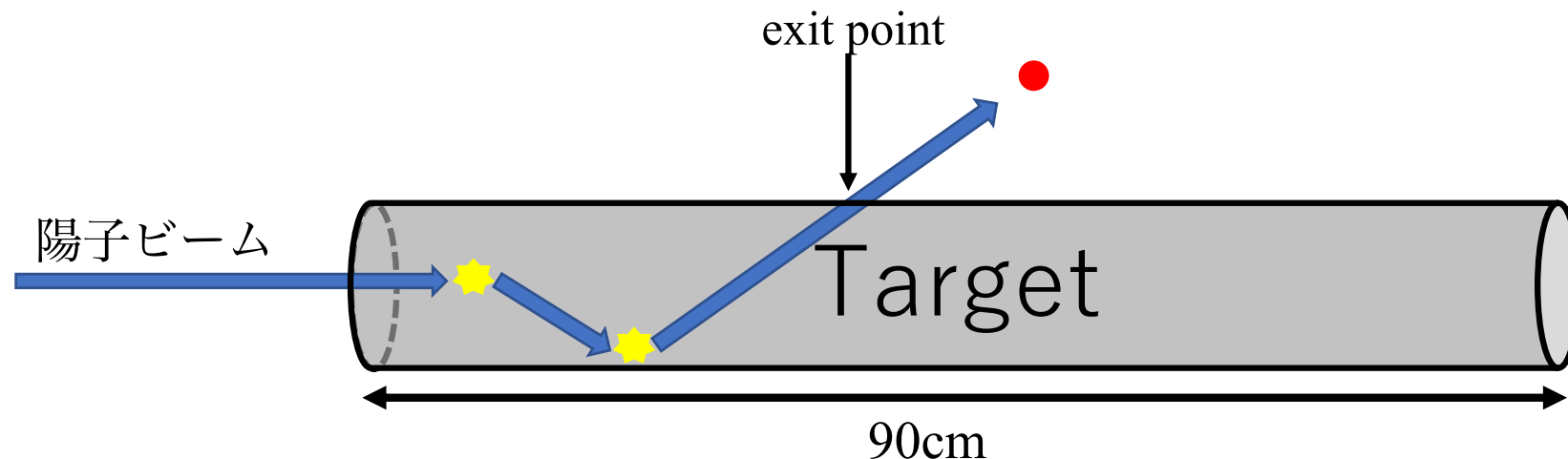
概要 (データとシミュレーションのズレ)

- シミュレーションと、2009年のT2K 90cm targetのデータの間にズレがある。(シミュレーションは2cm targetの実験結果($p, \theta, \sigma_{\text{prod}}$ 等)を使ってチューニングされている)
→将来の NA61実験で、より細かなbinningでのハドロン生成断面積測定を行い、原因を理解する事でビーム不定性のさらなる改善に繋げたい。



概要 (将来のNA61に向けて)

- さらにビームフラックス予測の不定性を減らすためには、その原因の理解が必要となる。
- 今回は、粒子がターゲットから出てくる位置(exit point)を変えることでビームフラックスがどの様に変化するかにについて調べた。
→将来のNA61実験において何binでデータを取ればよいかを見積もるため
 - ハドロン生成についてさらに理解を深め、ニュートリノビームの不定性を減らすことで実験全体の系統誤差削減に貢献したい。



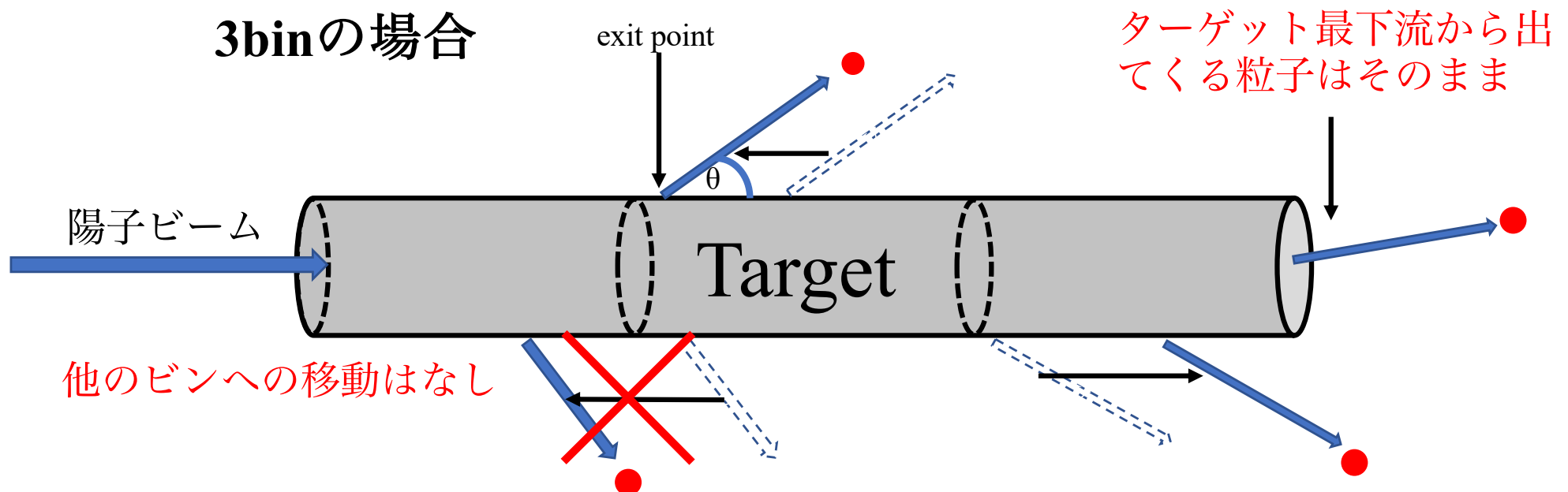
手法

シミュレーション内で、ターゲットをNbinに分割し、粒子の exit point を Z-bin 内でランダムに変えることでニュートリノフラックスがどの様になるかを調べる。

1bin, 5bin, 15bin, 90binでシミュレーションを行った。

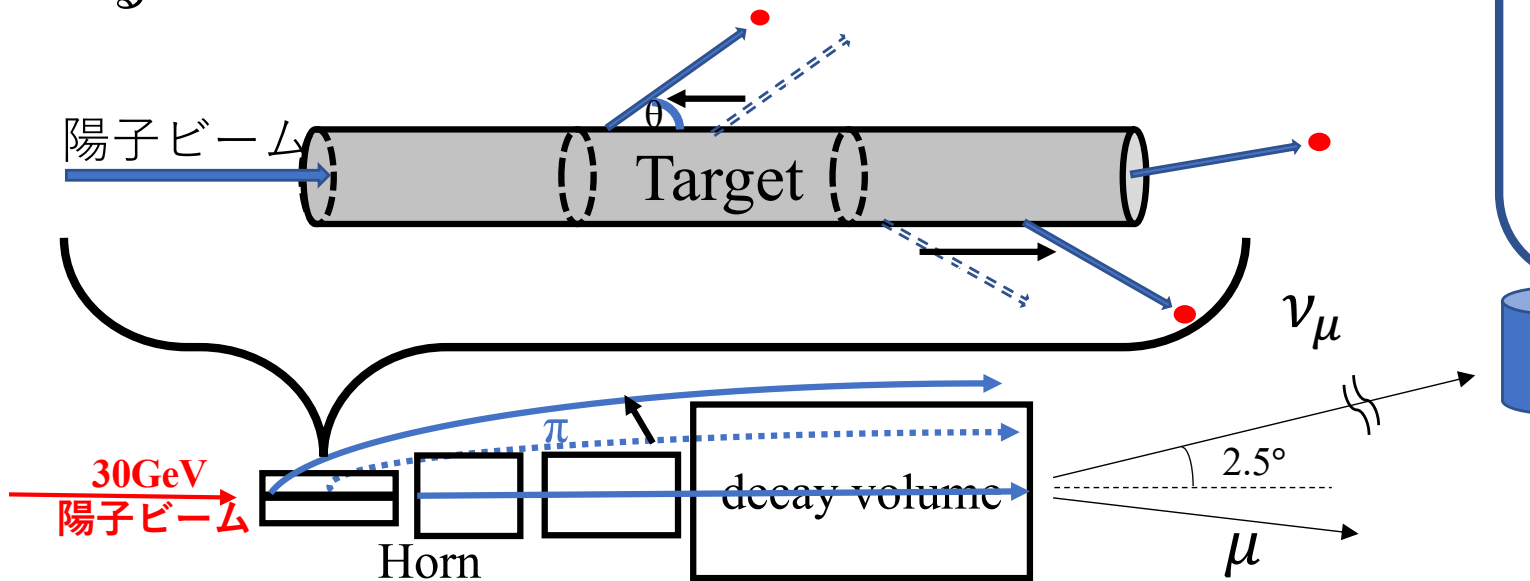
注意：今回はexit pointのみを変えた。
運動量やエネルギー、ターゲットに対する角度等の他のパラメーターはそのまま。

3binの場合

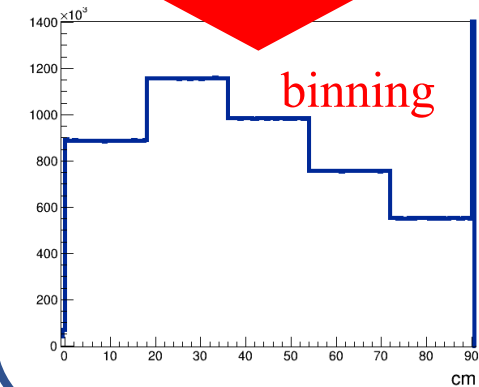
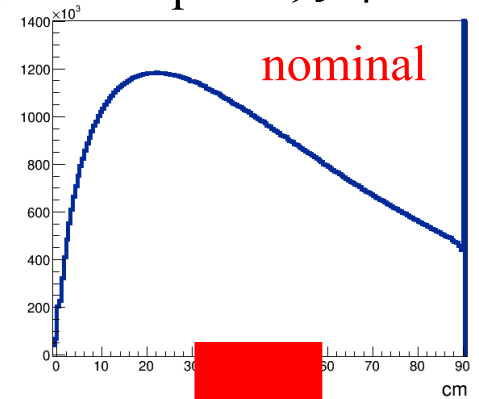


手法

- シミュレーション内でexit pointのみをビン内でランダムに変える(p, θ 等の他のパラメーターは変えない)
 - ターゲット内のシミュレーションはFLUKA
 - ターゲットから出た後はGEANT3 Base
(ホーンでどのように収束されるか、ターゲット外でどのような相互作用をするか)
- exit pointの違いがフラックスにどの程度影響するか調べる

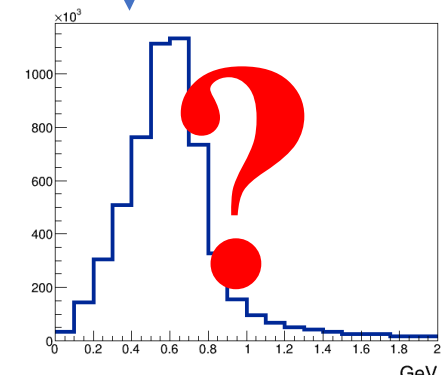


exit point 分布



フラックスが
どう変わるか?

SKでの ν flux

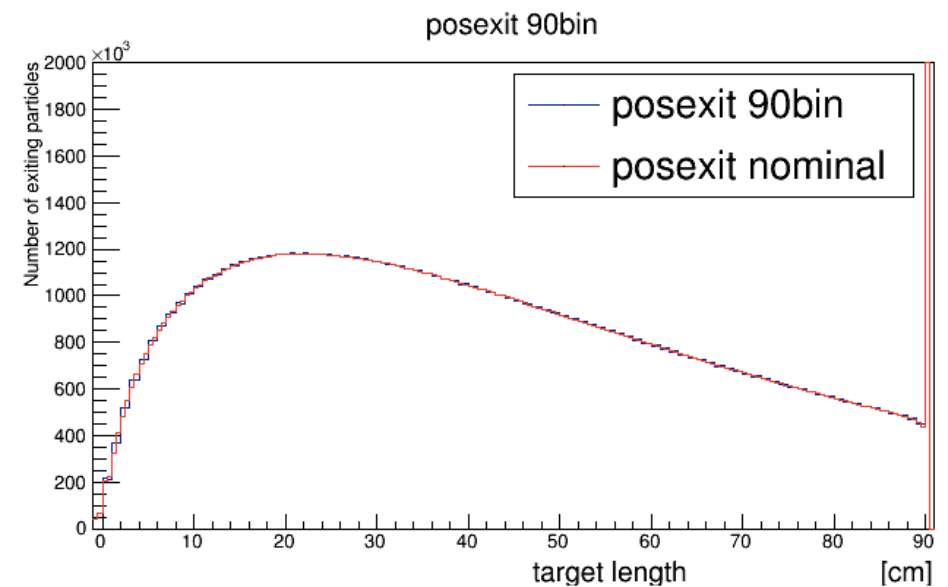
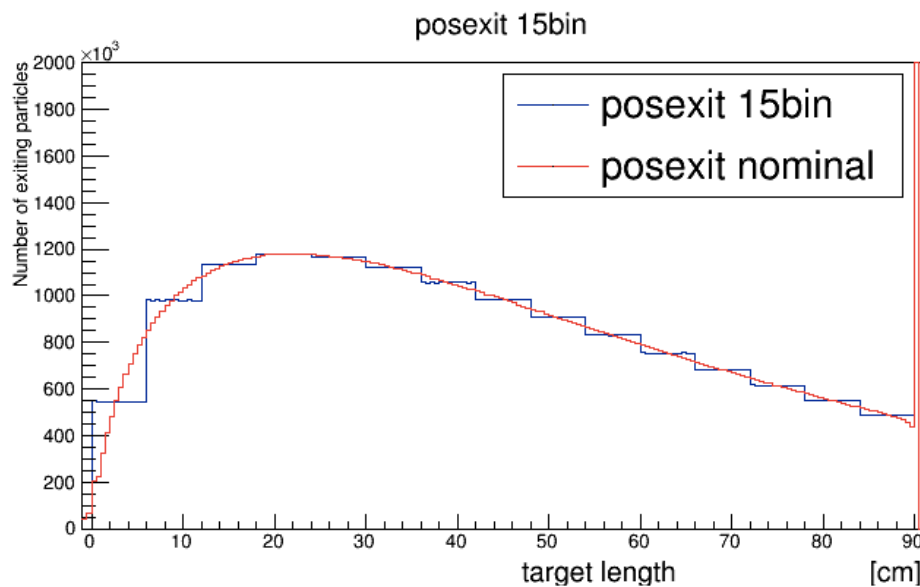
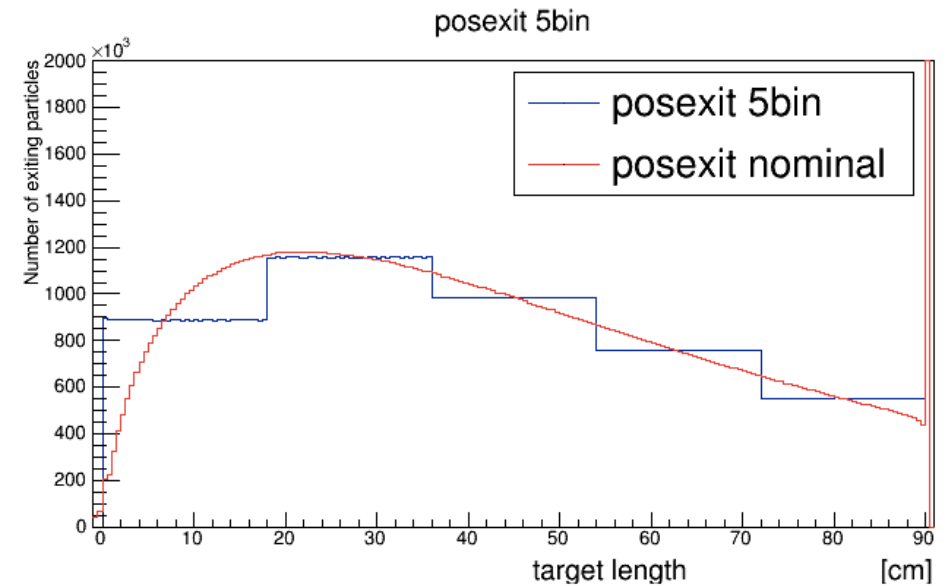
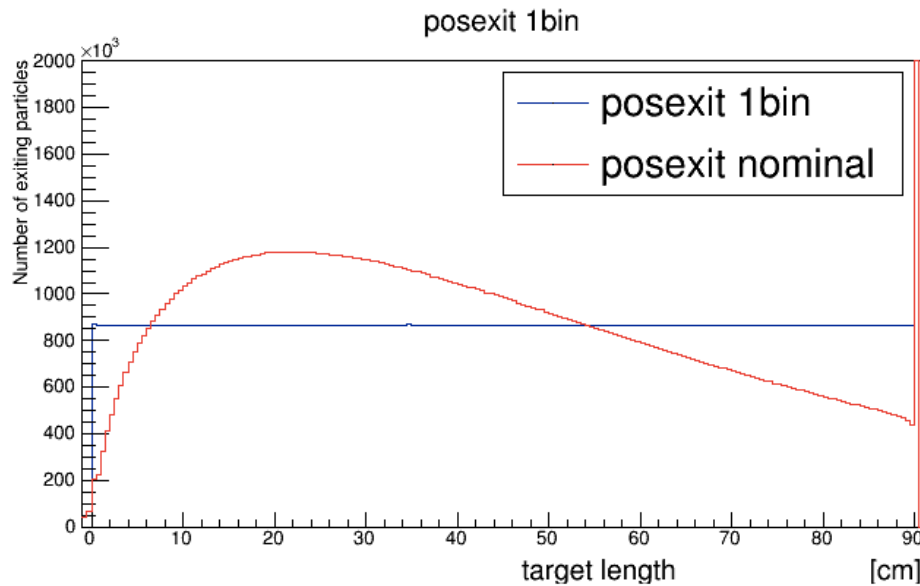


結果

work in progress

10

粒子がターゲットのどこから出てきたかを表すヒストグラム

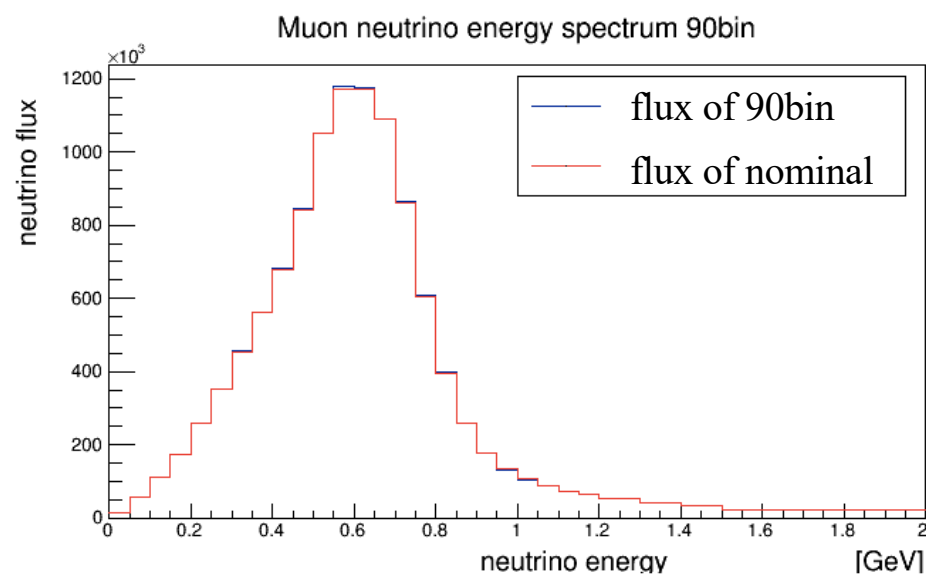
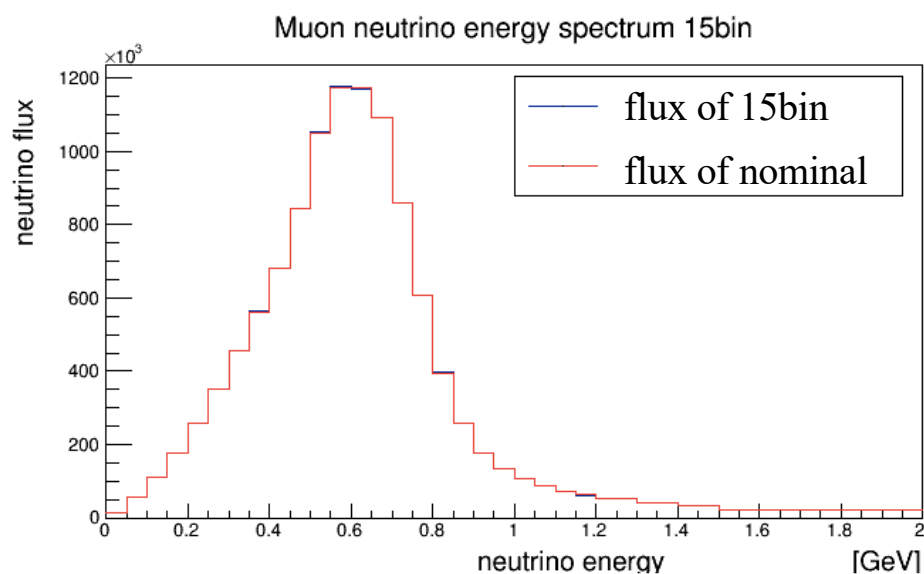
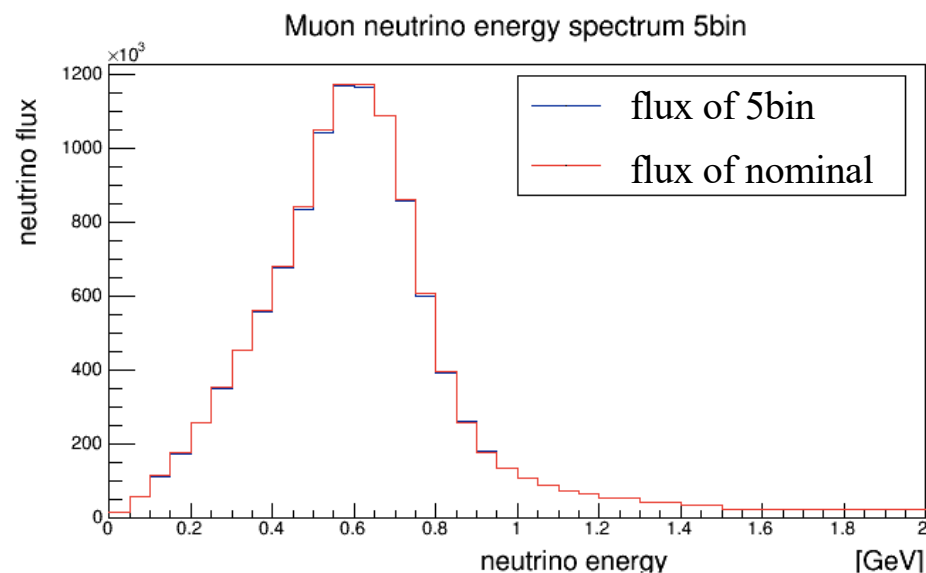
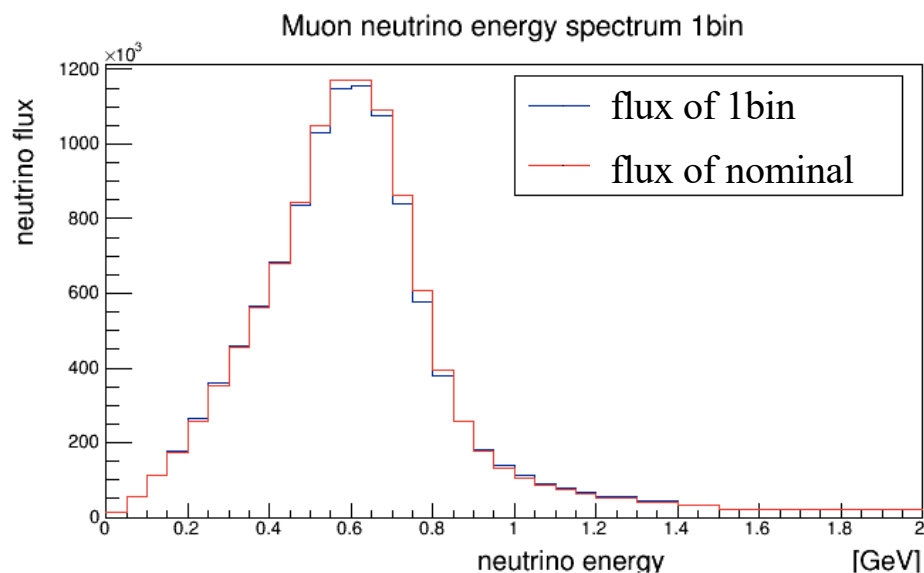


結果

SKで観測される ν_μ flux

work in progress

11



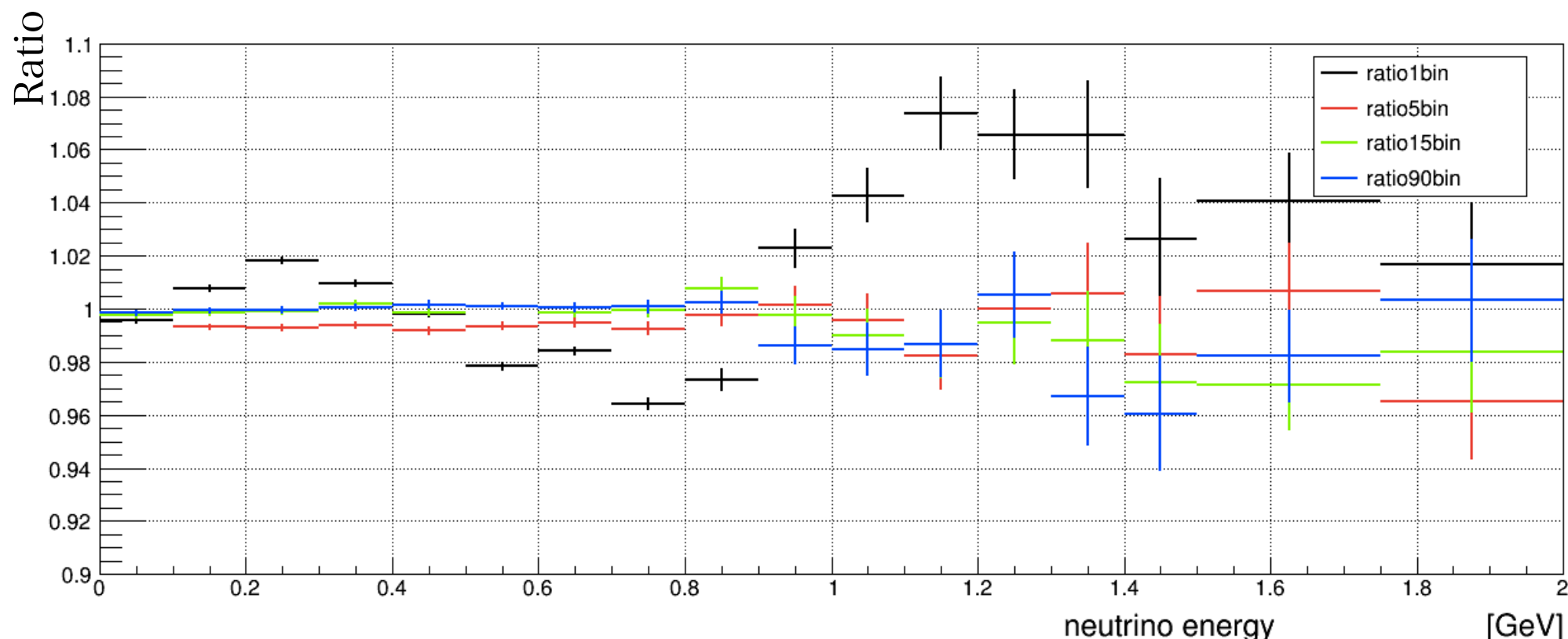
結果

work in progress ¹²

Nbin-flux と Nominal-flux のratioを取ったもの

$$ratio = \frac{Nbin-flux}{Nominal-flux}$$

- $E_\nu < 1\text{GeV}$: ratio ≈ 1.0 → off-axis ビームに起因？
- $E_\nu > 1\text{GeV}$: ratio $\neq 1.0$ → exit pointを変えたことに起因？

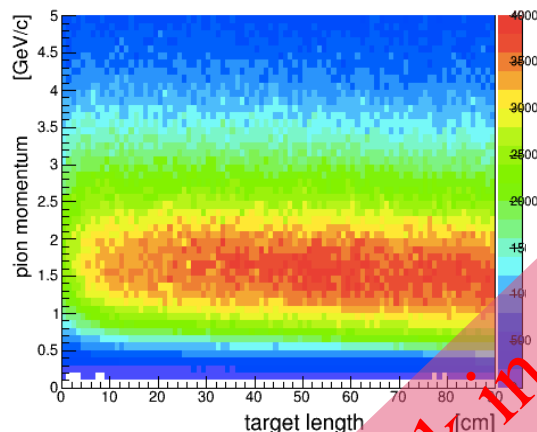


考察

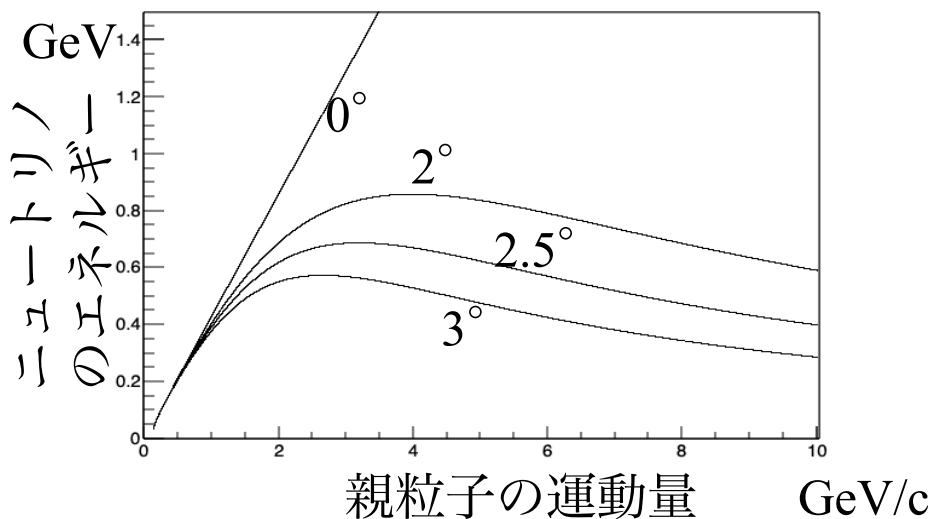
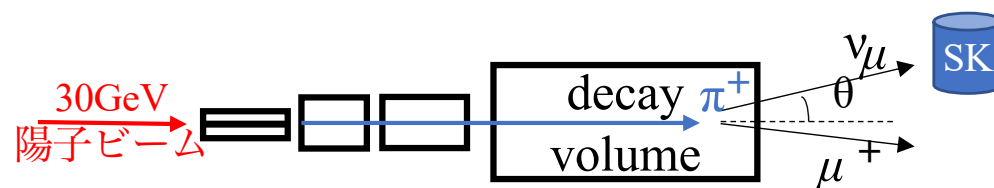
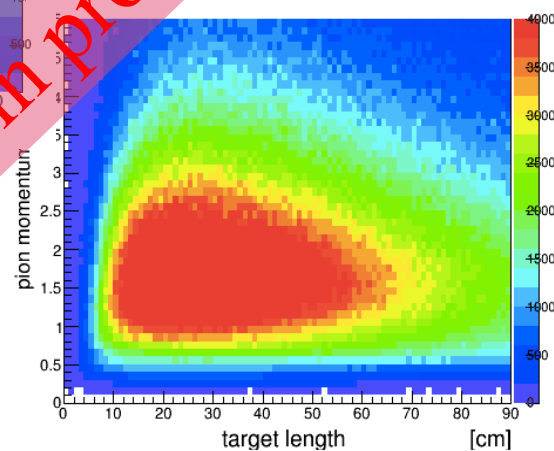
13

- $E < 1 \text{ GeV}$ ではフラックスに大きな変化は見られない
→ニュートリノフラックスは親粒子のexit pointにあまり依存しない？
そもそも、T2Kのビームはoff-axisなのでexit pointを変えたところで、600MeVあたりのエネルギーを持つニュートリノしかSKに飛ばないのでは？

Z vs π^+ momentum 1bin



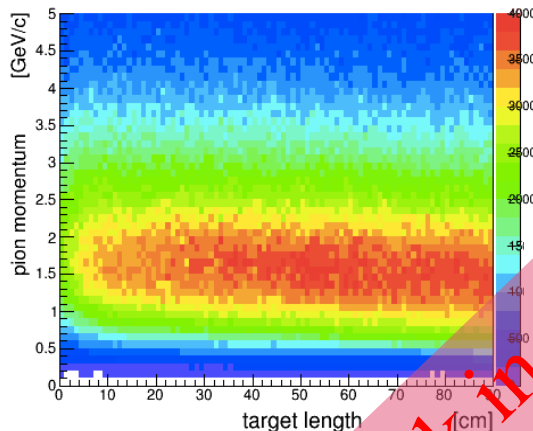
Z vs π^+ momentum nominal



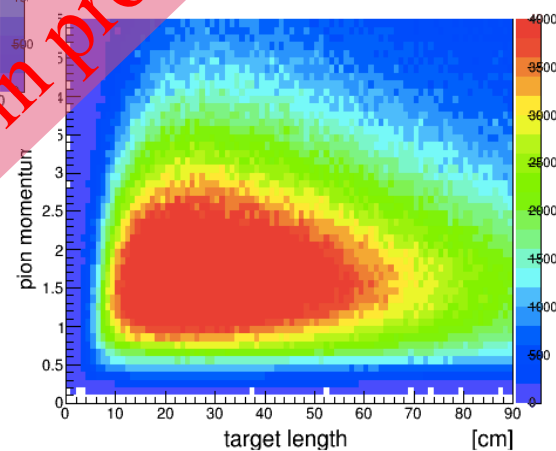
考察

- $E > 1\text{GeV}$ ではある程度の違いが見られる
 → Nominalではホーンによって収束されていた親粒子が、exit pointを変えることで収束されずにSK方向に飛んでいく様になる
 (SK方向に飛んでいく = on-axis → 親粒子の運動量に比例してニュートリノのエネルギーも大きくなる)

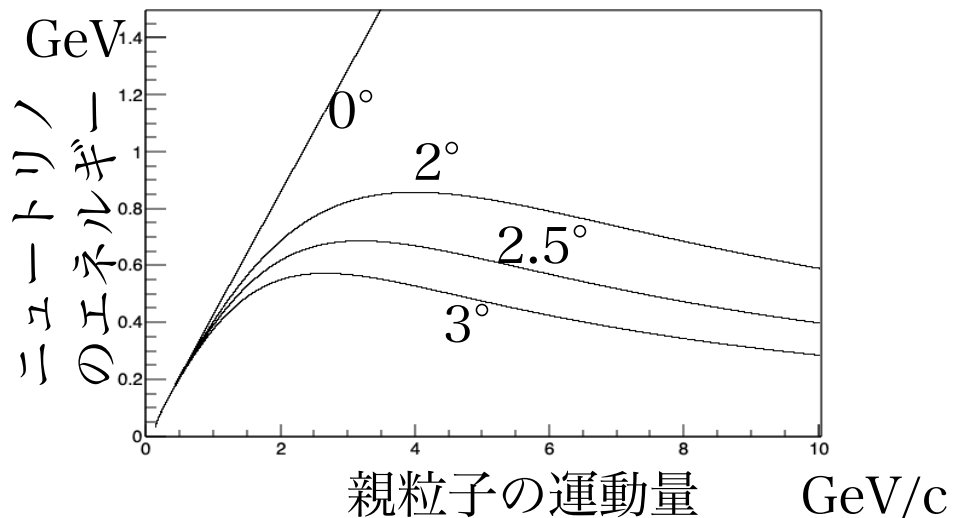
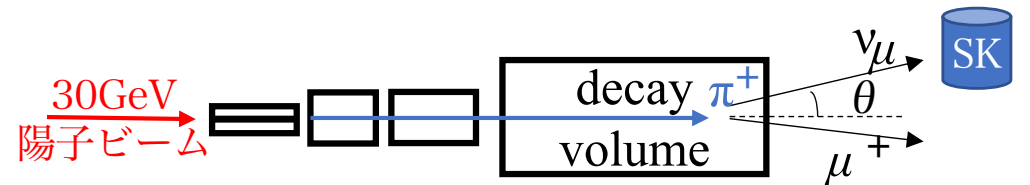
Z vs π^+ momentum 1bin



Z vs π^+ momentum nominal



work in progress



まとめ

- ターゲットから出る粒子の座標を変えることで、フラックスがどの様になるかを調べた。
- SKでの ν_μ フラックスを調べ、1binの場合であっても大きくは変わらないことがわかった。
 - ニュートリノフラックスは親粒子のexit pointにあまり依存しない？→T2Kのビームがoff-axis ビームだから？
 - 高いエネルギーのニュートリノフラックスはある程度変化が見られる→収束されない粒子が増えた？

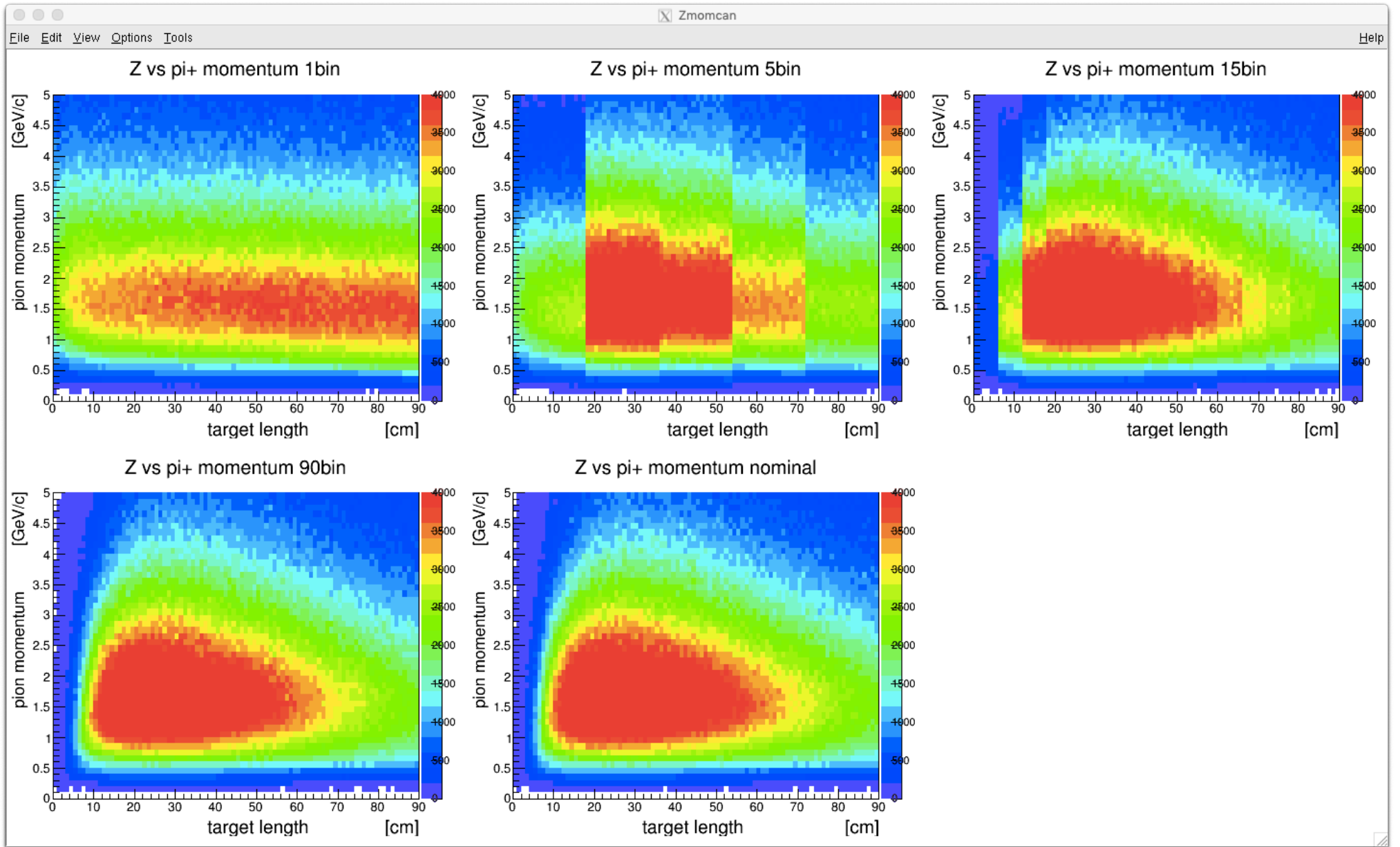
Next step

今回の結果を確認するために

- ν_e フラックス @SK
 - $\nu_\mu(\nu_e)$ フラックス @INGRID (on-axis ND)
- を見てみる

最終的には p, θ 分布も変えて、フラックスへの影響を調べる。

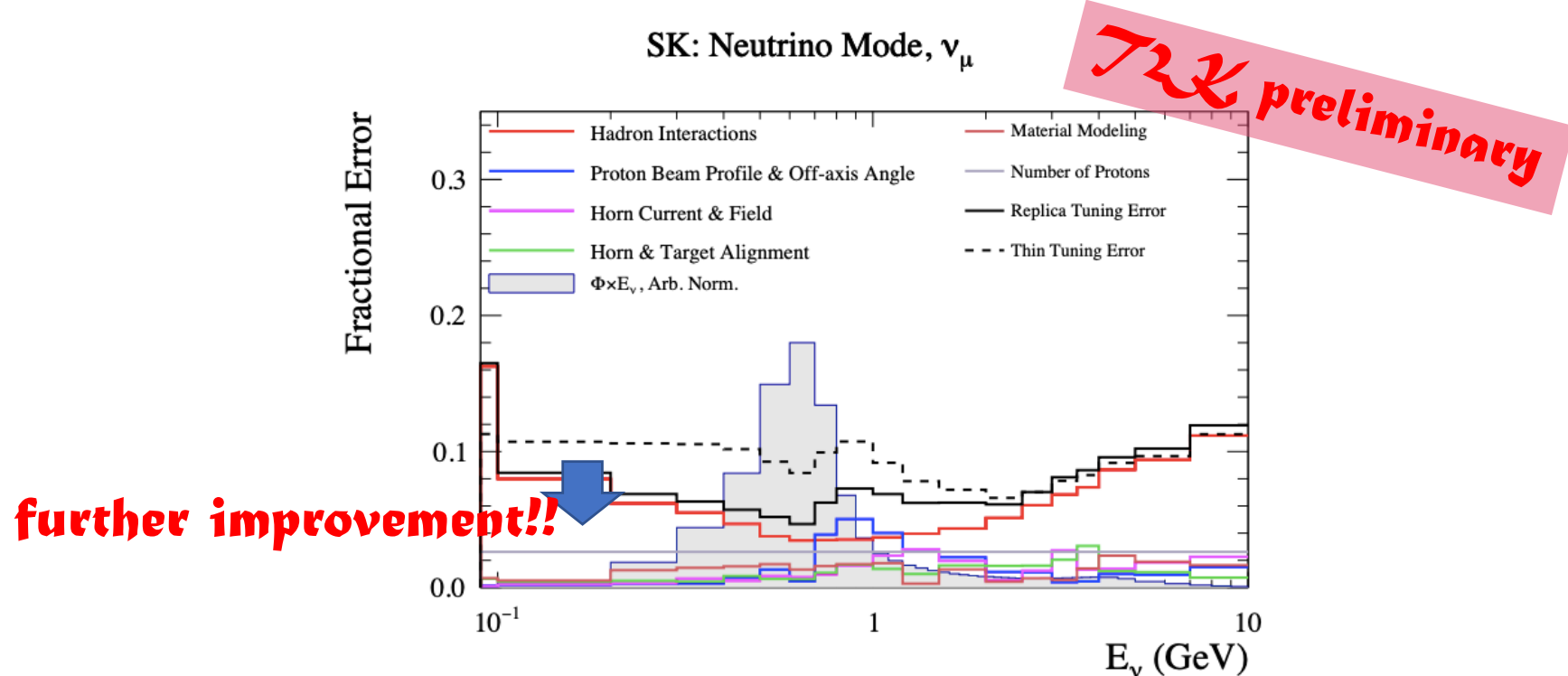
BACKUP



概要

T2K & Hyper-Kamiokande 実験に向けて

- ニュートリノビームの不定性を減らすことで実験全体の系統誤差削減に貢献したい。
- 広いエネルギーでビームの不定性を3%以下に減らすことを目標としている。



まとめ

- ターゲットから出る粒子の座標を変えることで、どの様にフラックスが変わるかを調べた。
- SKでの ν_μ エネルギースペクトラムを調べ, ratioが1binの場合でも~5%よりも小さいことがわかった。 @Enu < 1 GeV。
 - T2Kのビームがoff-axis ビームだから？ or ニュートリノスペクトラムは親粒子のexit pointにあまり依存しない？
 - 今回の結果は、市川さんの結果よりratioがかなり小さい結果となった（今回:~5%、市川さん:~15%）

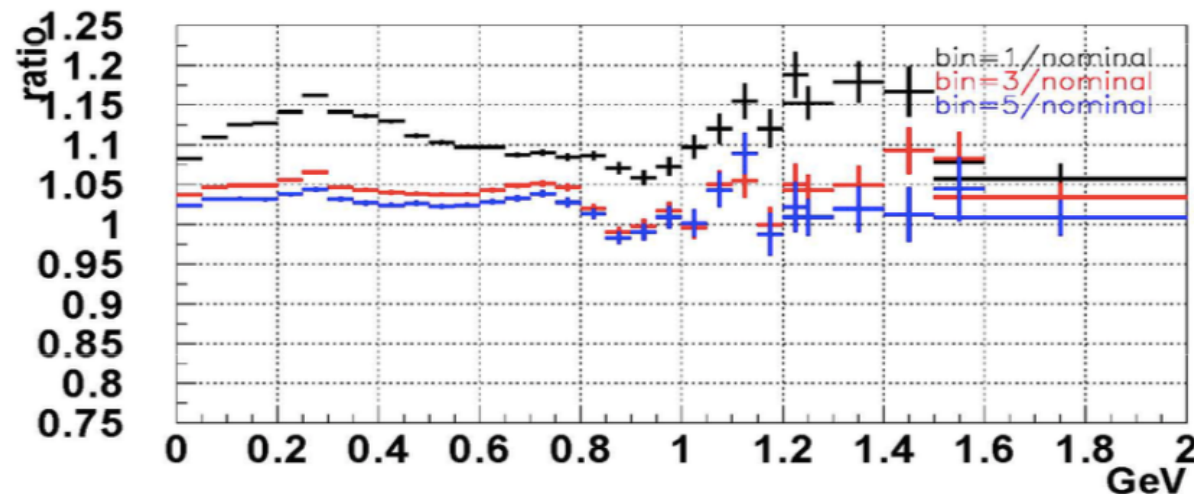
Next step:

今回の結果を確認するために

- ν_e エネルギースペクトラム @SK
- $\nu_\mu(\nu_e)$ エネルギースペクトラム @INGRID
- ターゲット最下流から出る粒子の座標を変えるとどういふスペクトラム、ratio plotが得られるか
→市川さんのプロットを再現できるかどうか

Discussion(2)

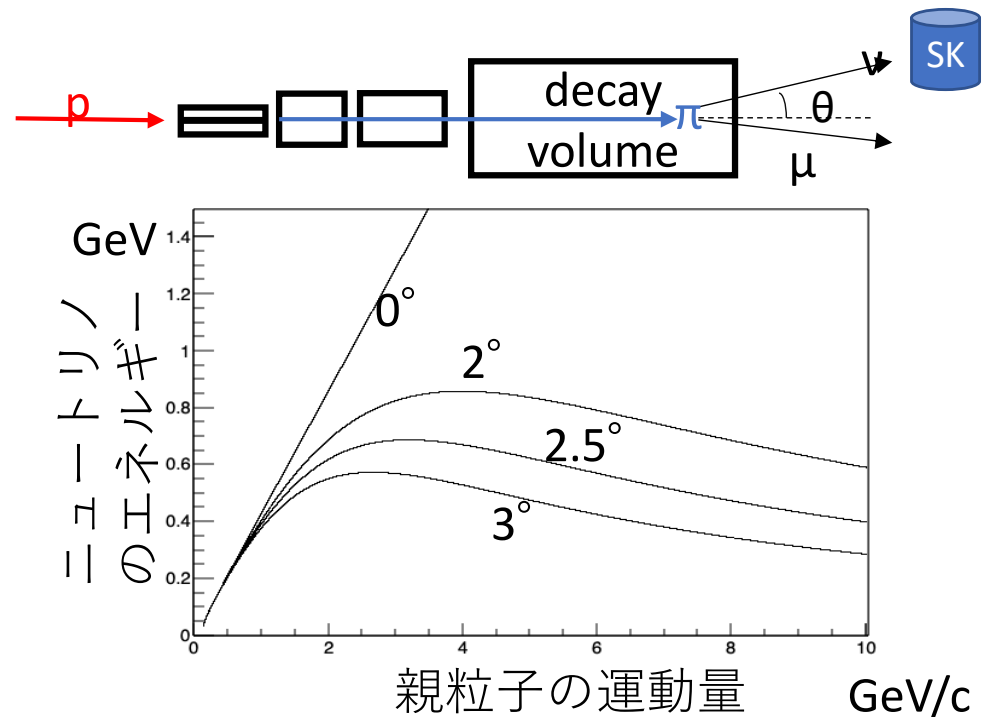
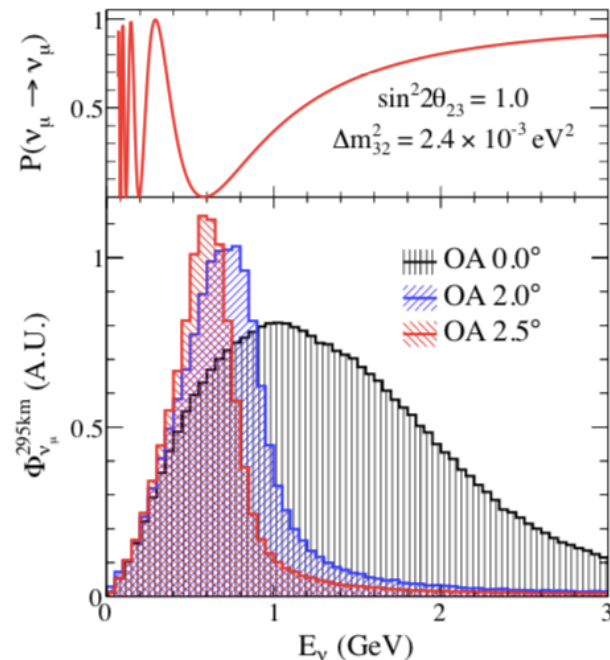
- If change the exit point in case of $Z = 90$ cm, and the exiting particle is proton ...
- More parent particles will be generated than nominal case.
 - More neutrino will be also generated.
 - Ratio will be over 1.0 entirely.



概要

T2K実験

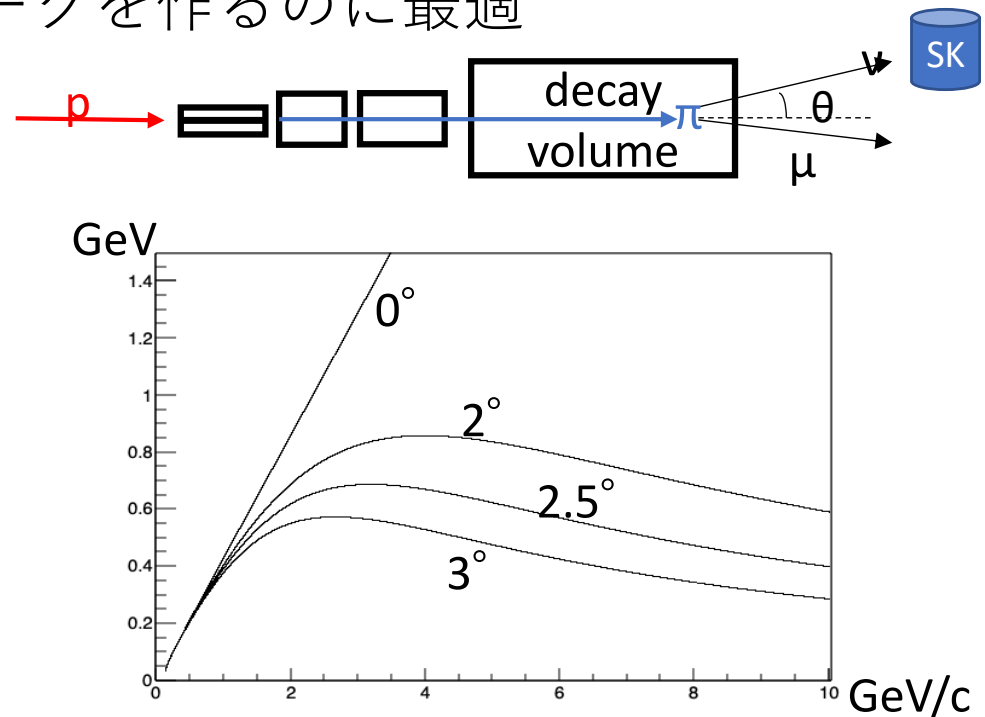
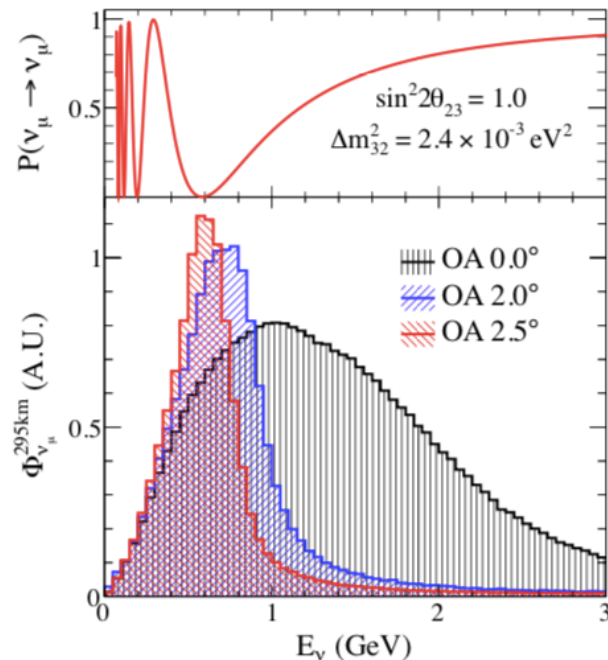
- T2K実験では、ニュートリノが飛行中にどの様に変化するか（ニュートリノ振動）を研究している。
- ニュートリノ振動事象を効率よく観測するために、off-axis法 (2.5°)を用いて、ニュートリノビームのエネルギーピークが 600MeV になるようにしている。
- さらに精度よく CP violation を観測する為に全体の系統誤差（ビーム、ニュートリノ相互作用、SK… 等）を減らす必要がある。



概要

T2K実験

- T2K実験では、ニュートリノが飛行中にどの様に変化するか（ニュートリノ振動）を研究している。
- ニュートリノ振動事象を効率よく観測するために、off-axis法 (2.5°)を用いて、ニュートリノビームのエネルギーピークが600MeVになる様にしている。
 - 理論上、600MeVが $\mu \rightarrow e$ or τ への振動事象が100%.
 - 2.5° が600MeVのピークを作るのに最適



結果

work in progress

23

ratioを取ったもの

ratio は $\frac{\text{bin分けした時のフラックス}}{\text{nominalのフラックス}}$

エネルギーが1GeV以下だと、1binであってもnominalとの違いは5%よりも小さいことがわかる。

