

NINJAデータによる ニュートリノ反応モデリングの展望

Ayami Hiramoto

2020.09.23

Contents

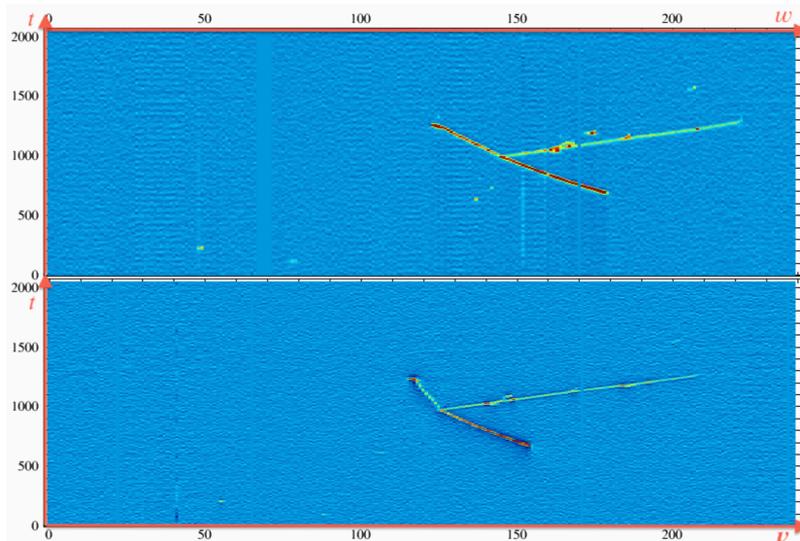
- Introduction (これまでのおさらい?)
- パイロット実験からいえること
- E71でどんなことが測れるか
- ニュートリノ反応モデルへの制限
- Sensitivity Study

Introduction

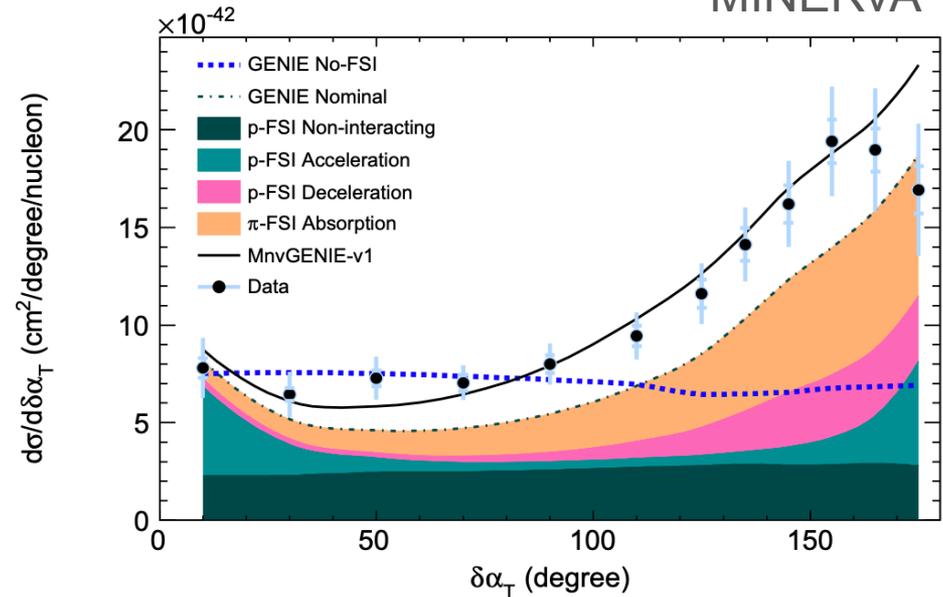
他の検出器と比べると

- 200MeV/cのProtonまで見れるといえはLArTPC
- T2K, HKのためには水で測りたい=> NINJAは水(+他も)で測定可能
- 大統計をためるのはちょっと苦手。あと π^0 がはかれない

ArgoNeut

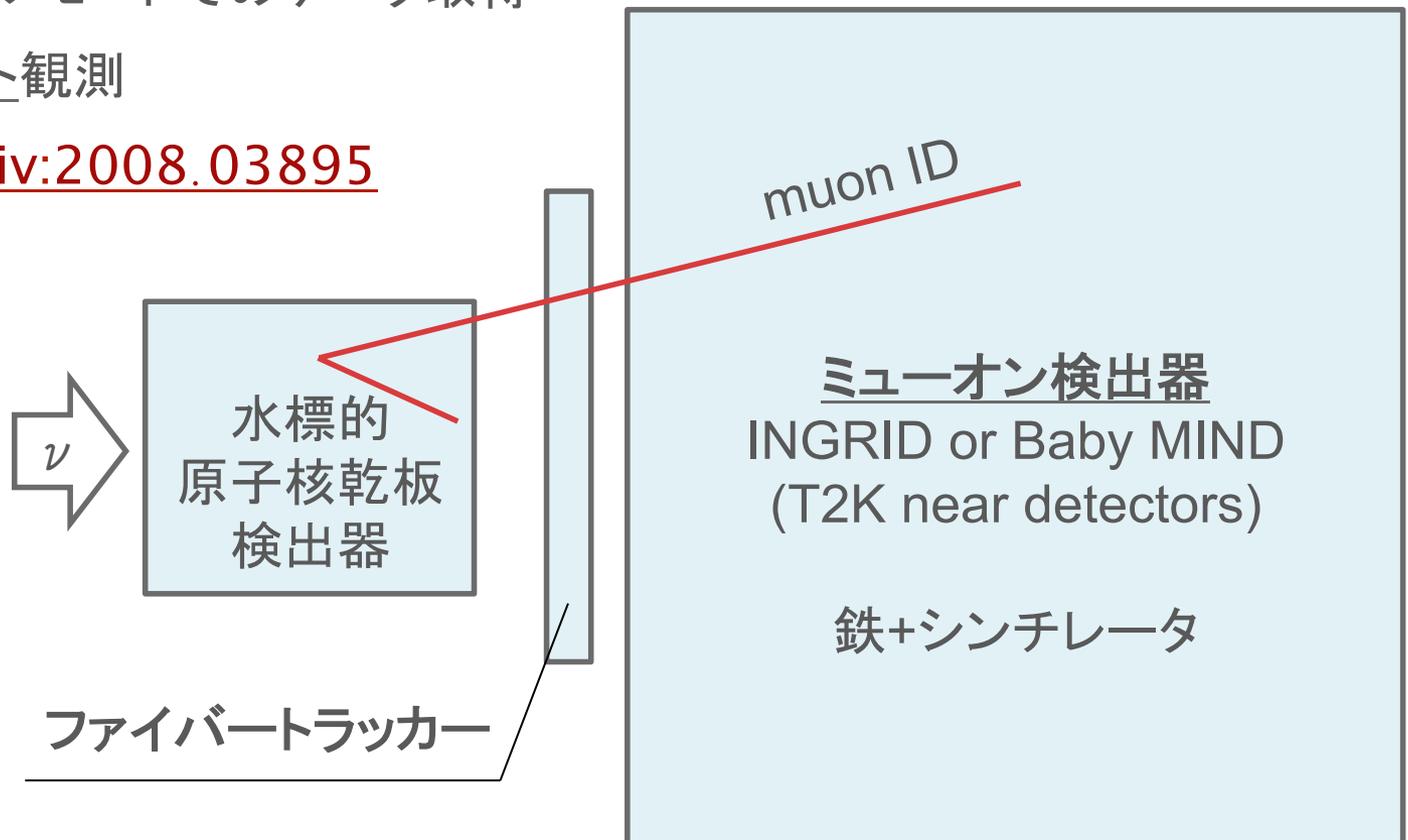


MINERvA



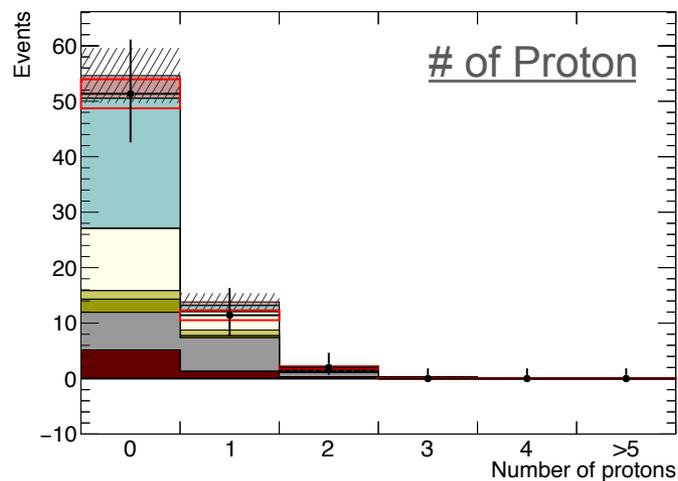
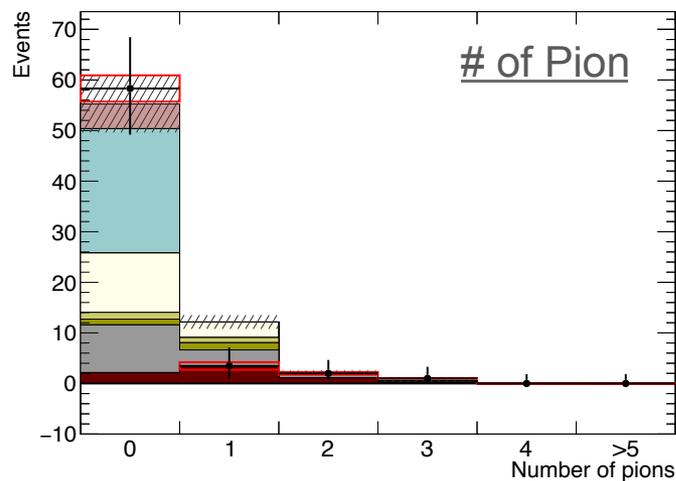
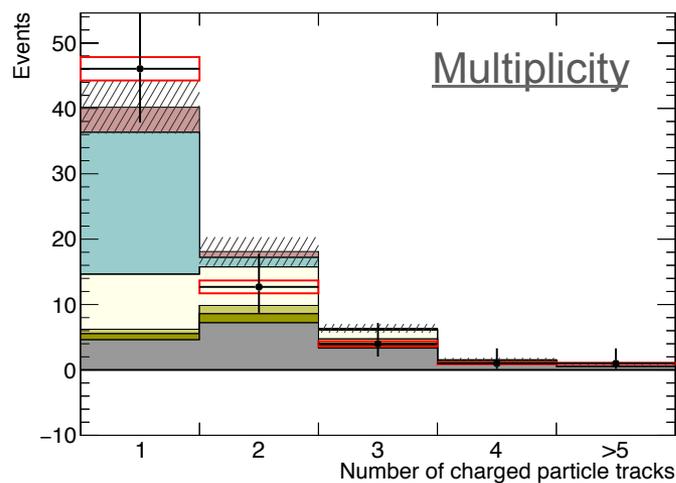
NINJA Run8

- 3 kg 水標的、 0.7×10^{21} POT (2017-2018)
- 反ニュートリノモードでのデータ取得
- 計86イベント観測
- 詳細は [arXiv:2008.03895](https://arxiv.org/abs/2008.03895)



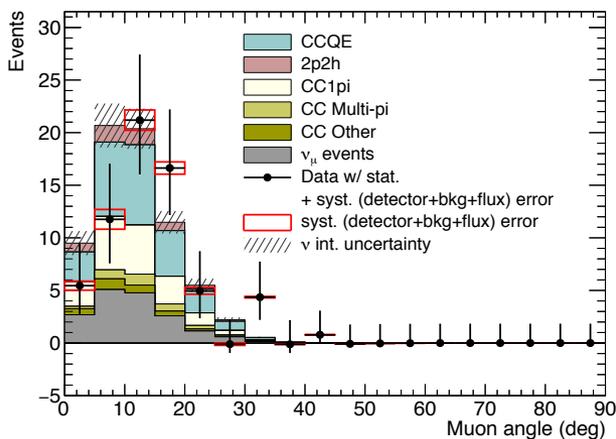
Run8 結果

Multiplicityが予想より低い
=> 原因はPionの分布にありそう

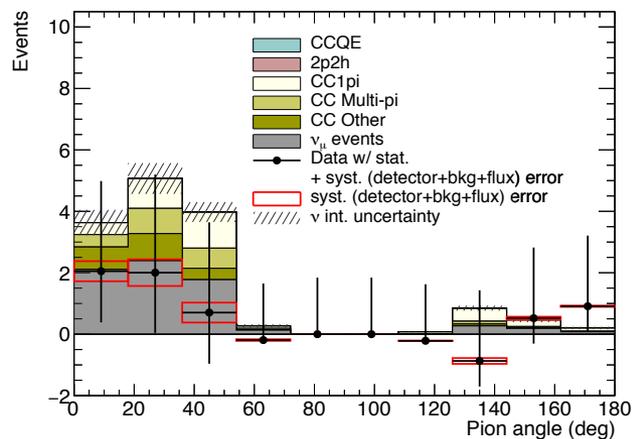


Muon: small angle, high momentumが少ない
 Pion: 全体的に少ない

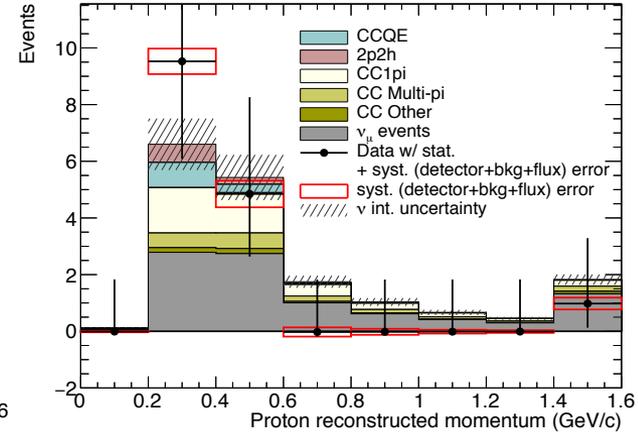
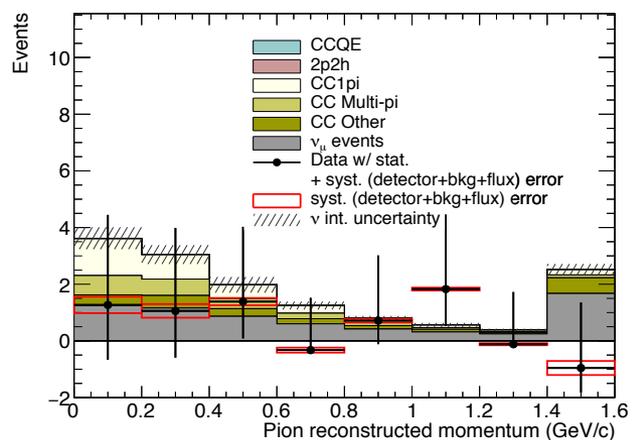
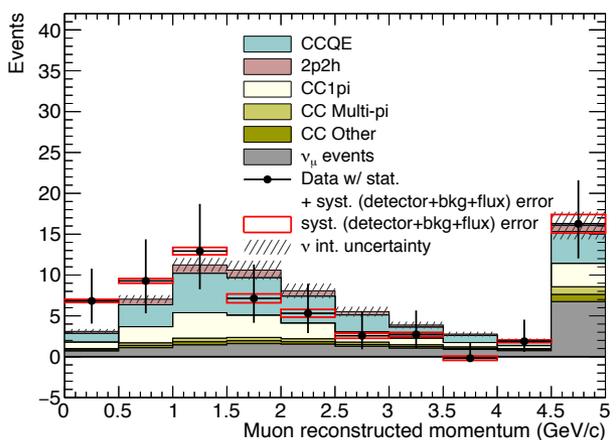
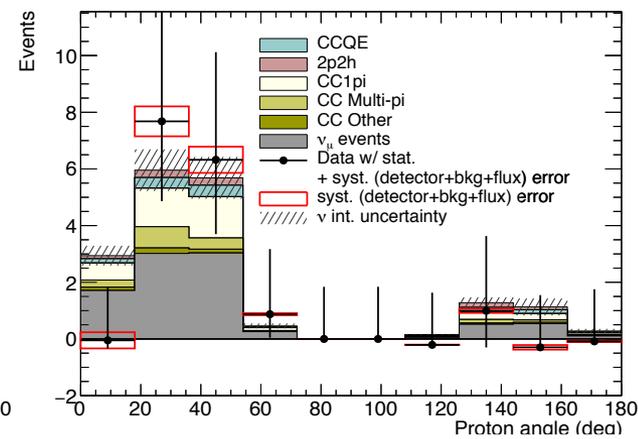
Muon



Pion



Proton

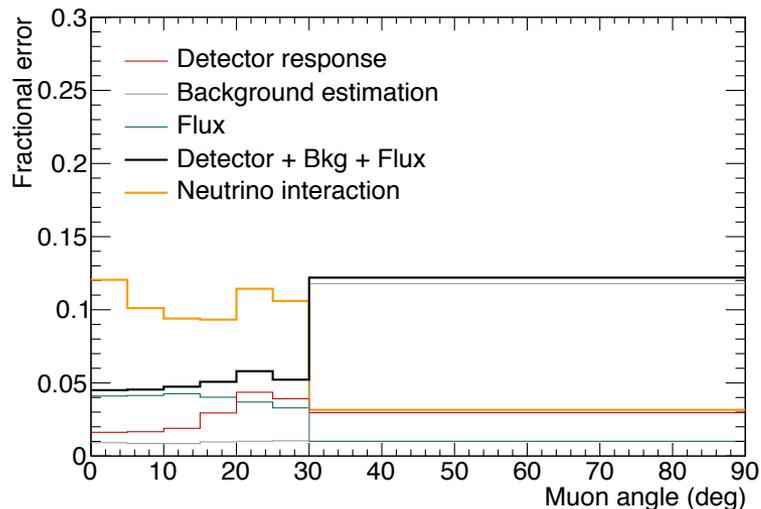


Systematic uncertainties

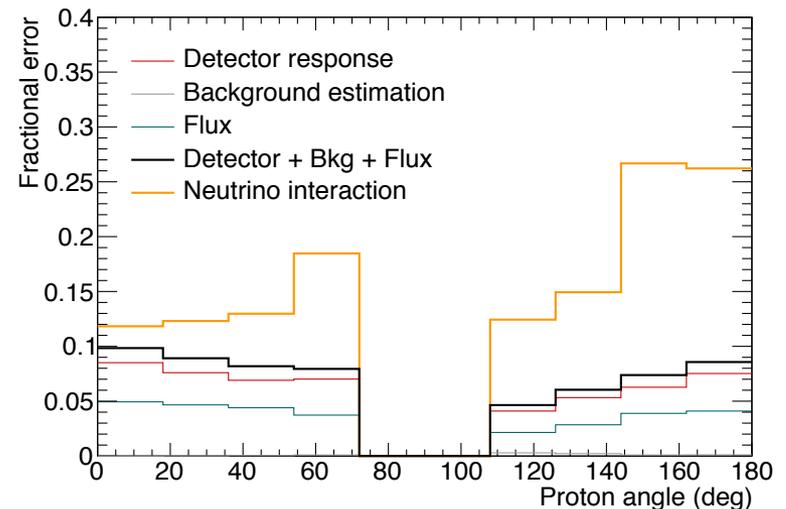
Detector uncertainty 主要要因

- Muon => ECC-SFT connection (物理ランではまたちがう検出器)
- Pion/Proton => PID (too conservative?)
- VPH分布の理解 (PIDのエラーをへらす。とくに角度依存性)

Muon angle

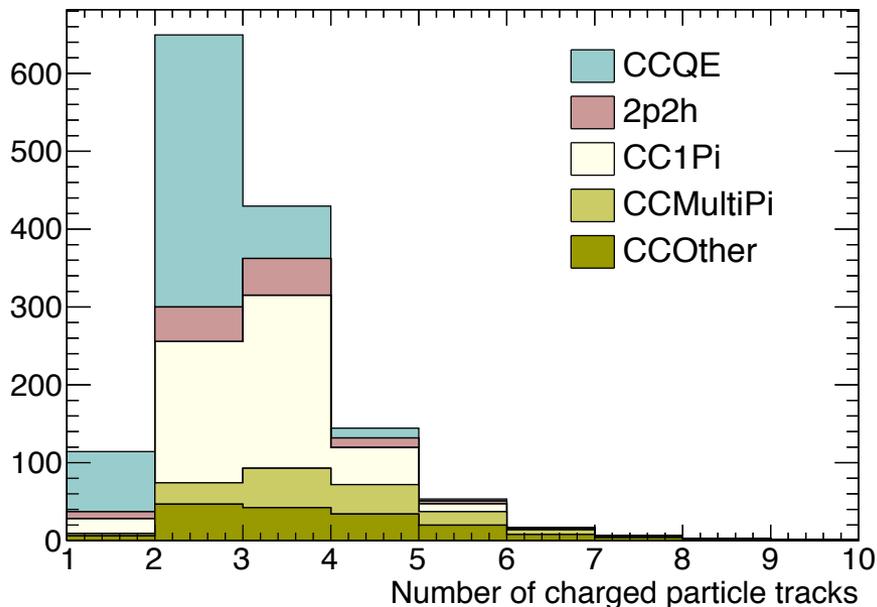


Proton angle



E71 MC distributions

- E71aで測れる統計 (0.48×10^{21} POT)



assuming 80% detector eff.

	events (E71a)
CC0pi1p	~550
CC0pi2p	~180
CC1pi	~400
CCNpi	~100
Total	~1,400

- E71a+b => $\sim E71a \times 1.5$ (3,500 events)

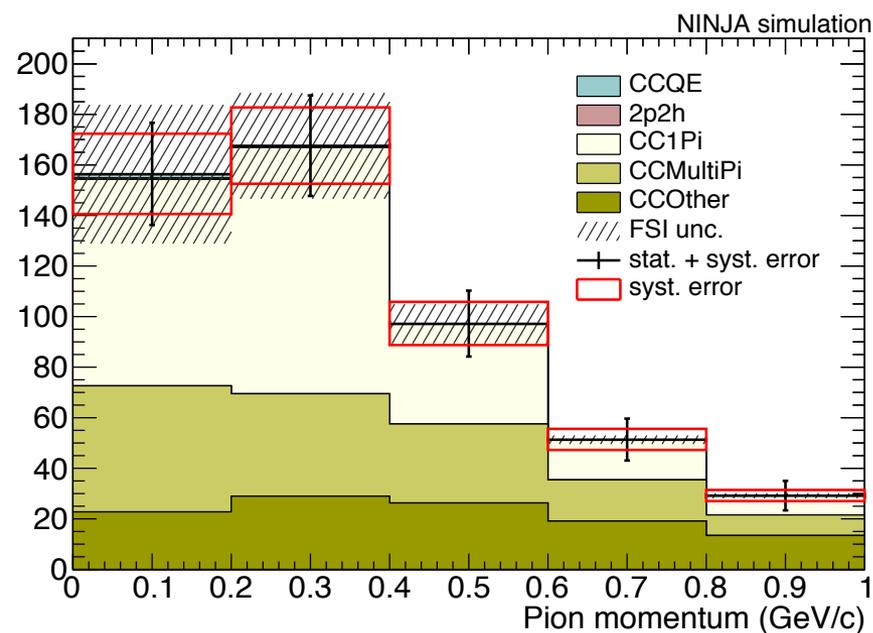
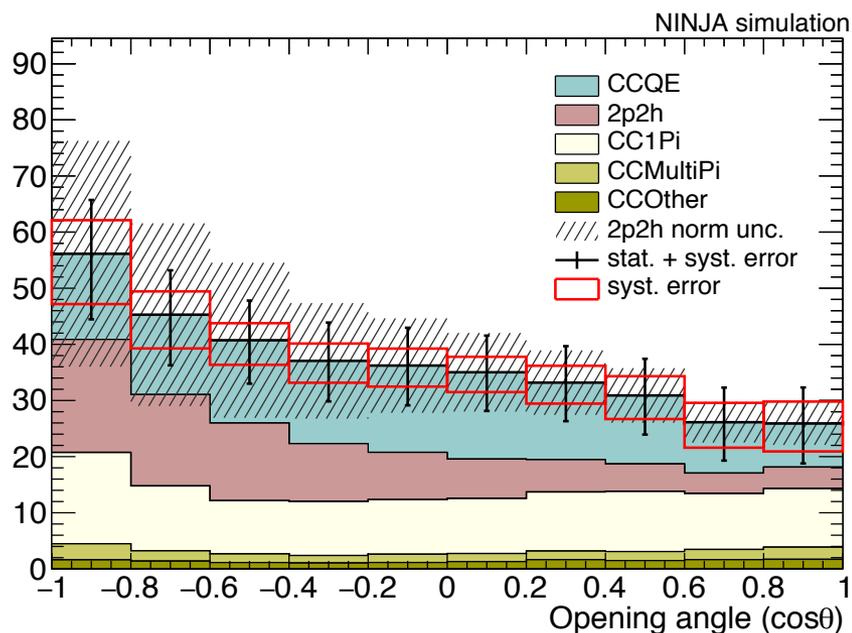
ニュートリノ反応モデル不定性の影響

例1) Muon + 2 protons + no pion のときの2本のProtonのOpening angle

例2) Muon + N pions (N \geq 1) のときのPion momentum

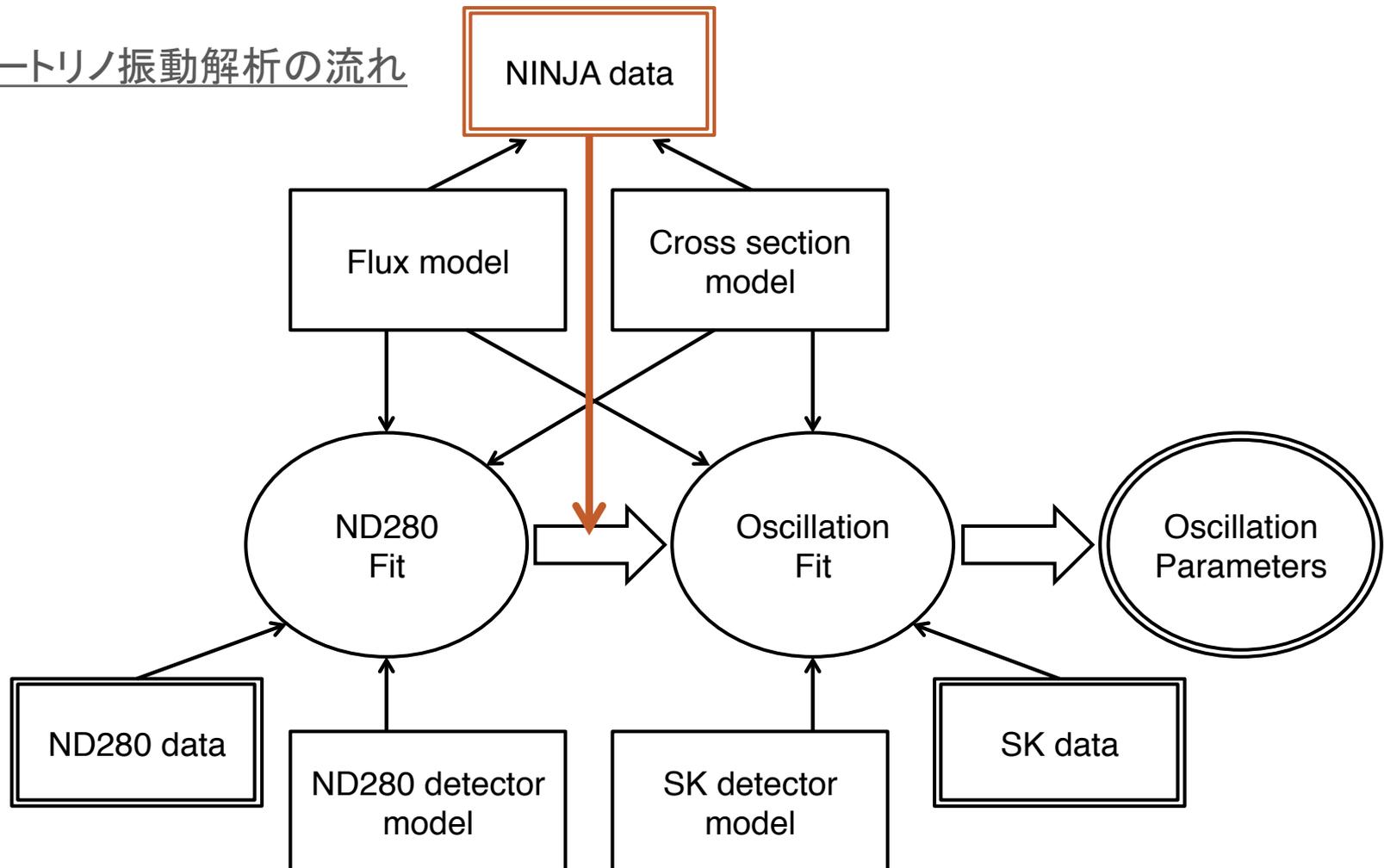
- 測定のエラー(プロットのエラーバー)に対して、2p2hやFSIの不定性(斜線部分)は非常に大きい

=> NINJAの測定によって制限をかけられるはず



反応モデルへの制限の与え方

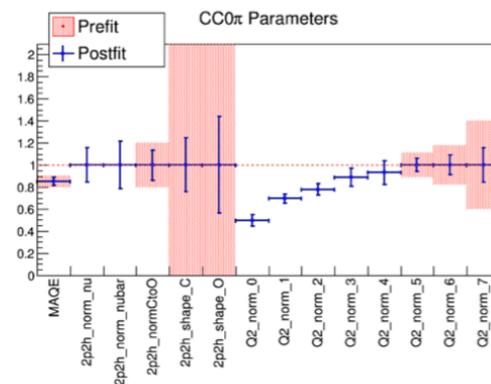
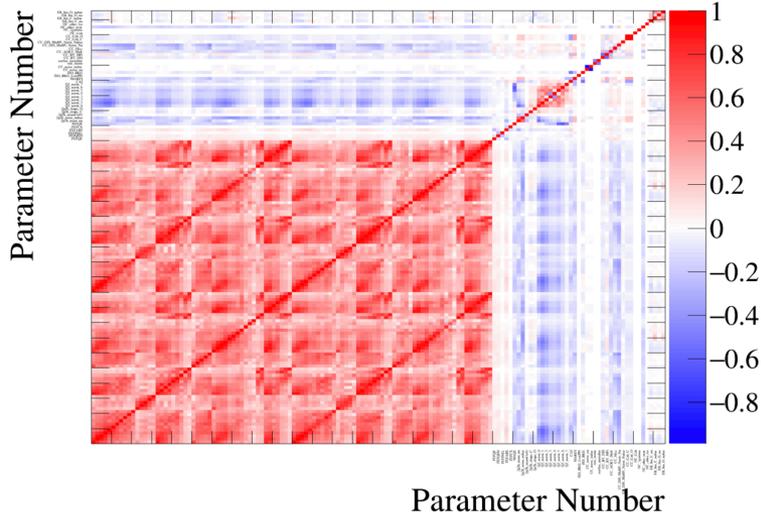
ニュートリノ振動解析の流れ



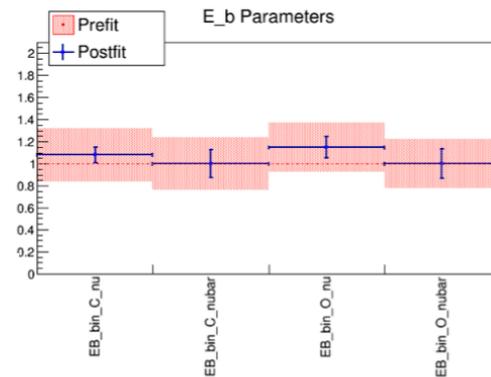
T2K ND fit

- 50 flux parameters
- 47 interaction parameters

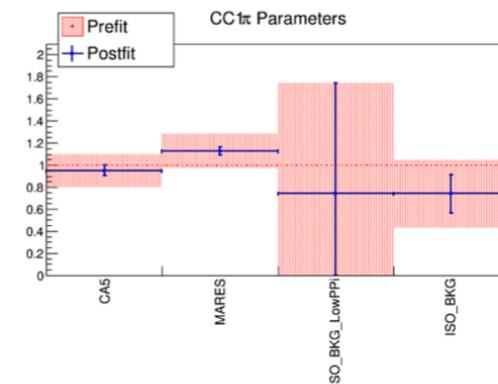
Flux and Xsec Postfit Correlation Matrix



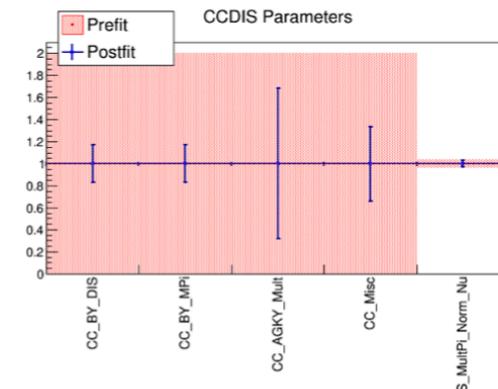
(a) CC0 π parameters



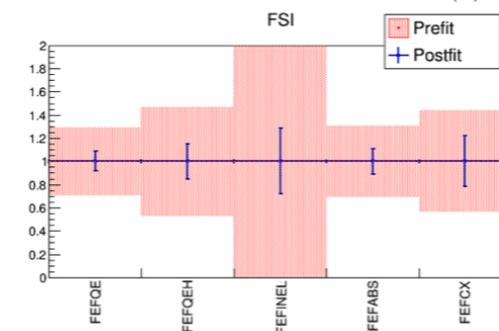
(c) E_b parameters



(b) CC1 π parameters



(d) CCDIS parameters



(e) FSI parameters

Fittingによるモデル制限

- 測定結果の分布に対し、定義した χ^2 が最小になるようにする(=Fit)ことで各パラメータの不定性を制限
- T2K前置検出器のFitと合わせることで、今のニュートリノ振動解析よりさらに強い制限をかけることができる
- 系統誤差はパイロット実験の値。Fluxの相関は考慮していない

パラメータを Δx 変えたときのMC変化量

$$\chi^2 = \sum_{ij} \Delta N_i^{MC} (V_{stat} + V_{sys})_{ij}^{-1} \Delta N_j^{MC} + \sum_{ij} \Delta x_i (V_{int})_{ij}^{-1} \Delta x_j$$

統計誤差

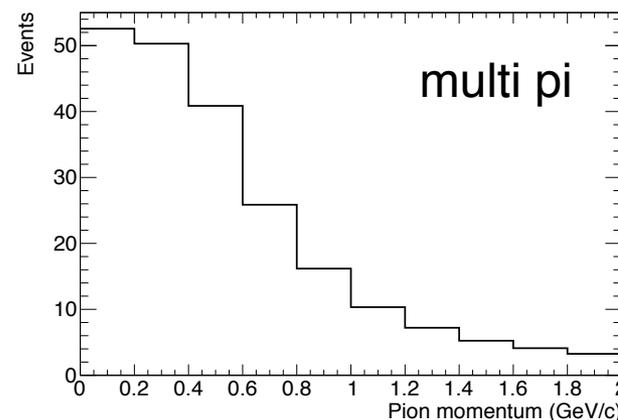
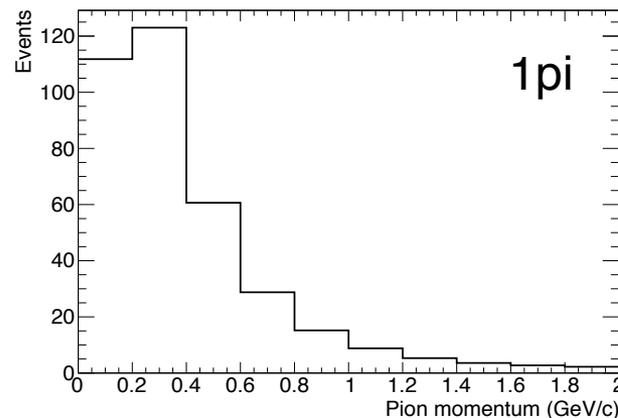
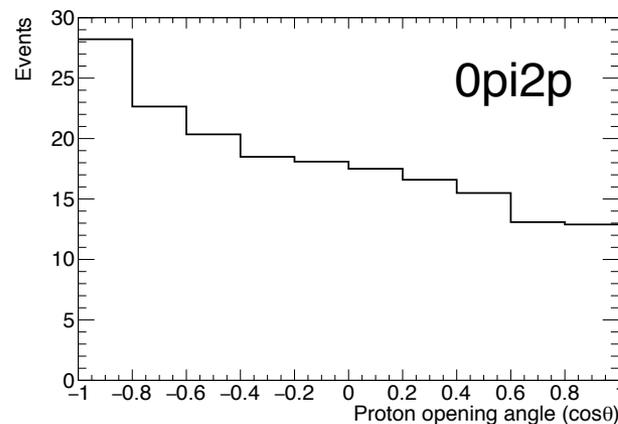
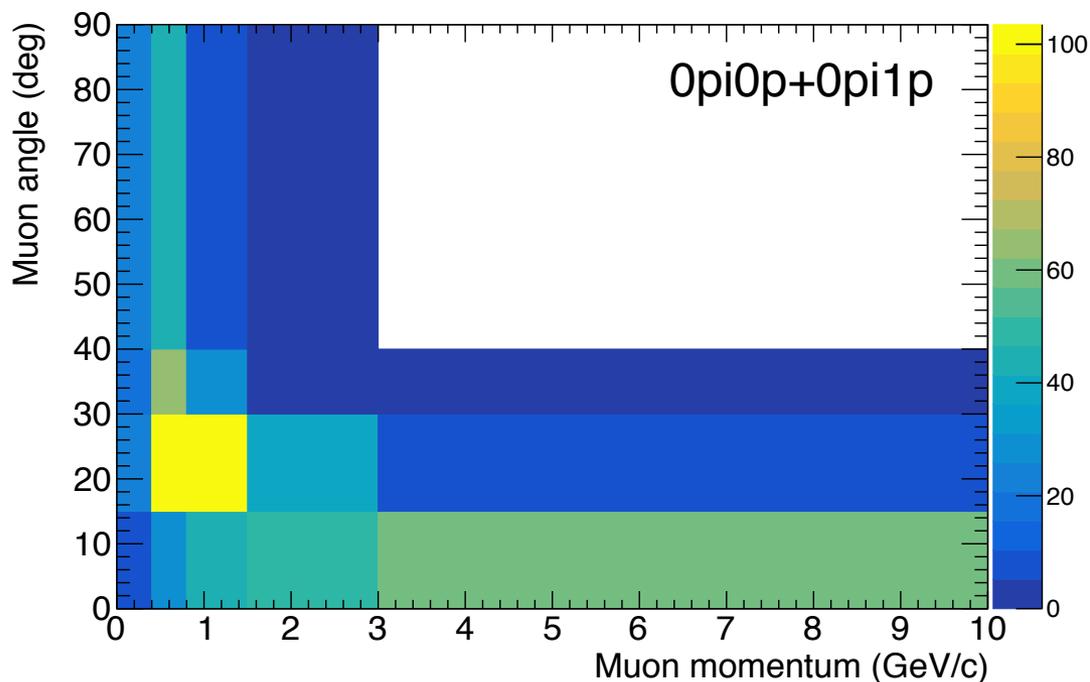
系統誤差
(detector, flux)

ニュートリノ反応パラメータ
前置Fitによる制限値

Fit sample A

Sample A

- Muon P-theta (0pi0p+0pi1p)
- Proton opening angle (0pi2p)
- Pion momentum (1pi, multi pi)



Fit sample B, C, D

Sample B

- Muon P-theta (0pi0p+0pi1p)
- Proton opening angle **vs muon angle** (0pi2p)
- Pion momentum (1pi, **2pi**, multi pi)

Sample C

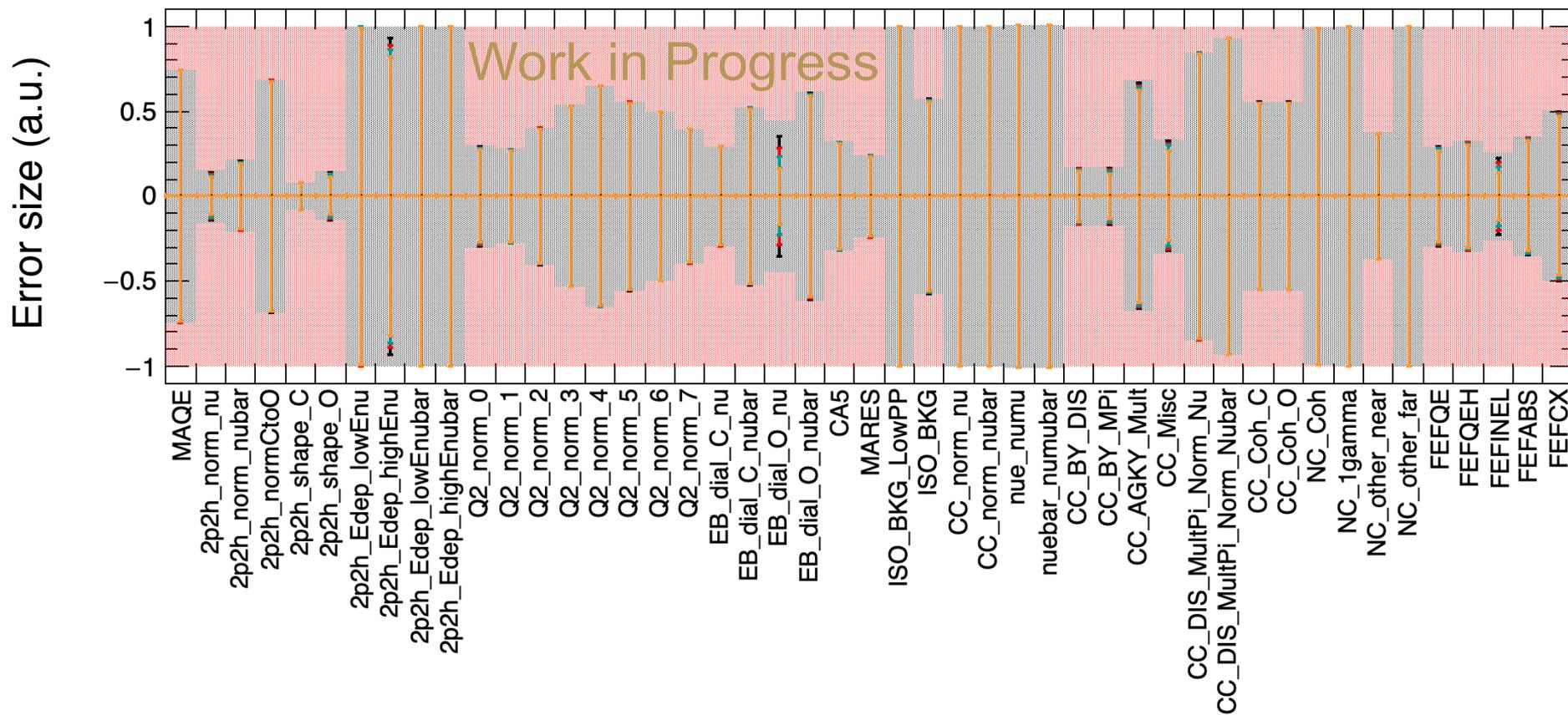
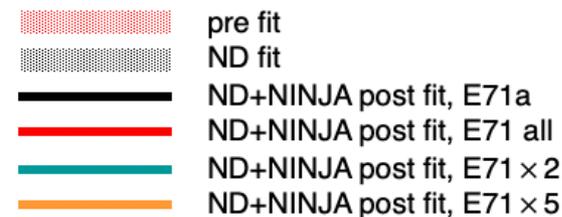
- Muon P-theta (0pi0p+0pi1p)
- Proton opening angle **vs muon momentum** (0pi2p)
- Pion momentum (1pi, **2pi**, multi pi)

Sample D

- Muon P-theta (0pi0p+0pi1p)
- Proton opening angle **vs proton lower momentum** (0pi2p)
- **Pion momentum vs angle** (Npi)

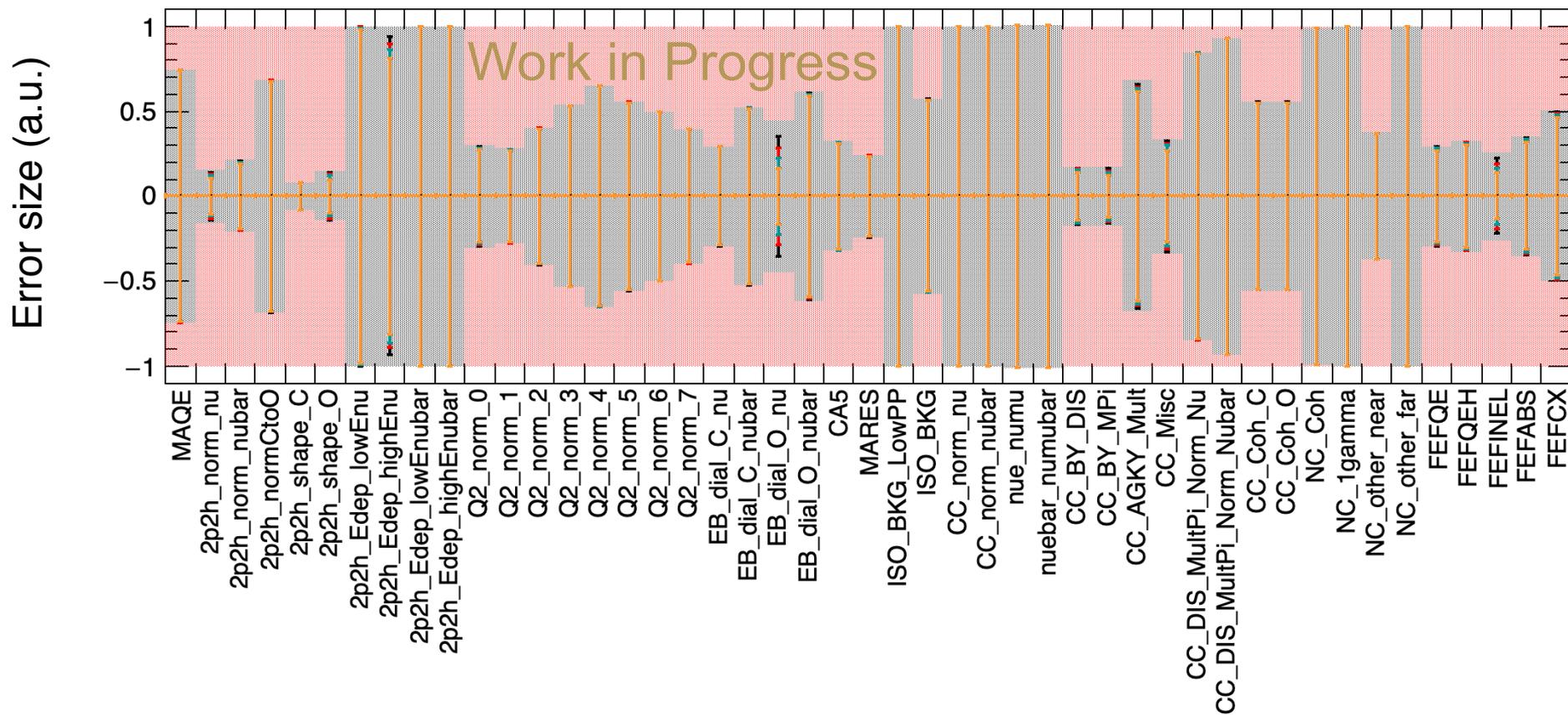
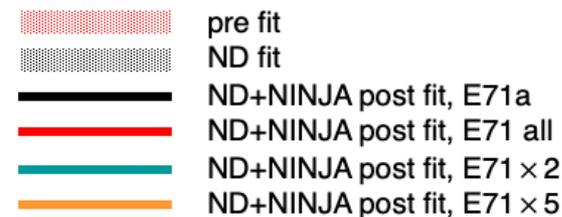
ニュートリノ反応パラメータへの制限 A

- Pre fitのエラーサイズに対してFit後にどれだけ制限をかけられるか
- ND MC fit



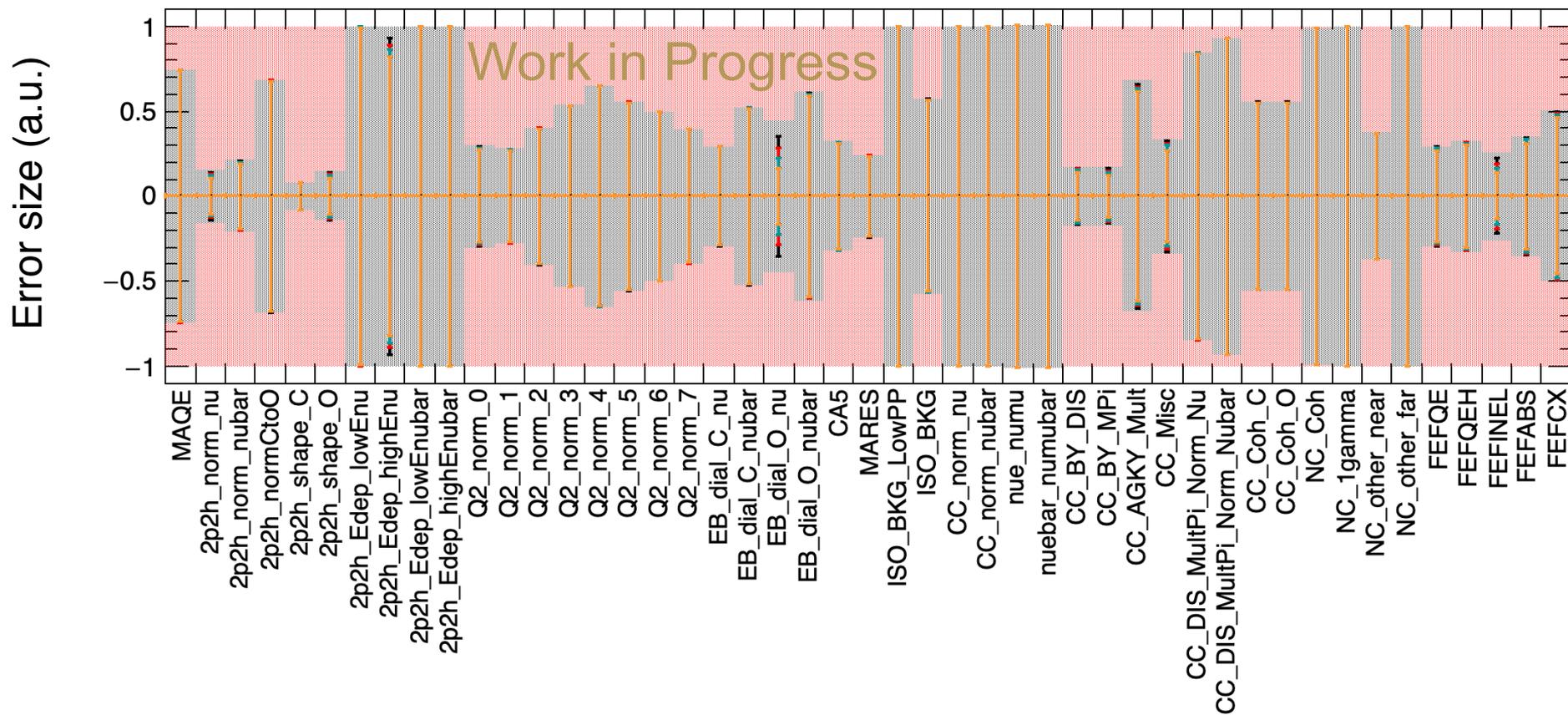
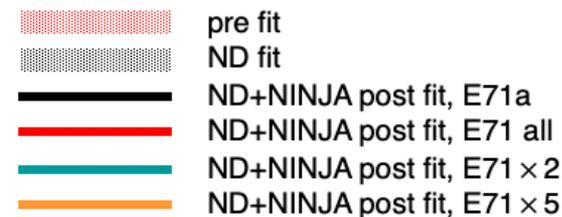
ニュートリノ反応パラメータへの制限 B

- Pre fitのエラーサイズに対してFit後にどれだけ制限をかけられるか
- ND MC fit



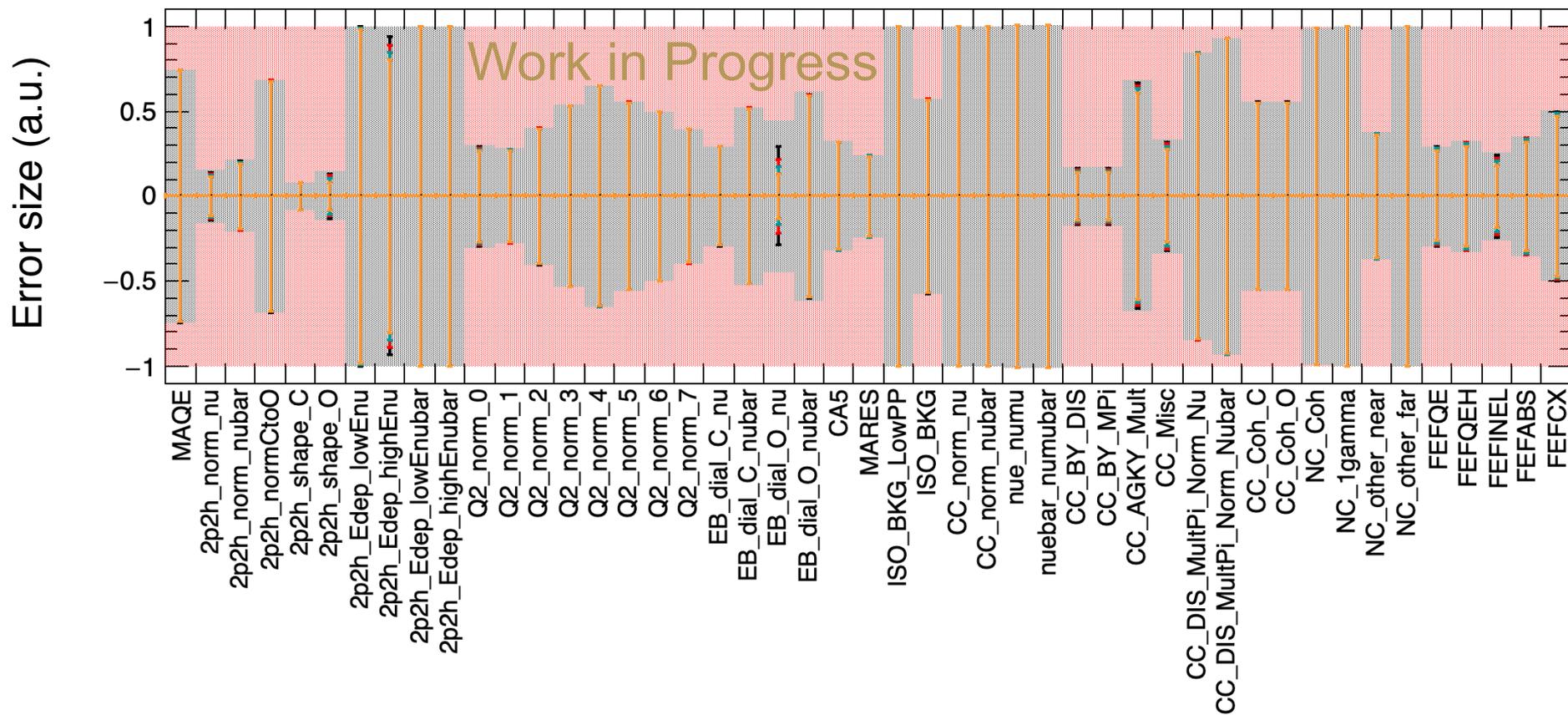
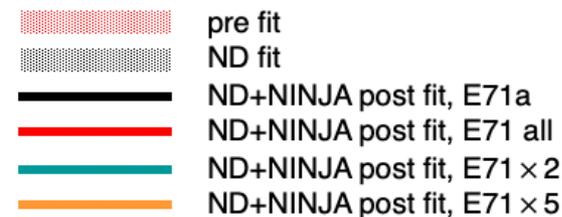
ニュートリノ反応パラメータへの制限 C

- Pre fitのエラーサイズに対してFit後にどれだけ制限をかけられるか
- ND MC fit



ニュートリノ反応パラメータへの制限 D

- Pre fitのエラーサイズに対してFit後にどれだけ制限をかけられるか
- ND MC fit



ニュートリノ振動測定への影響

- P-Theta (T2K振動解析のフレームワーク) をつかって、まずはSKでのエラーがどれくらい減るかをみつめる
- Nominal MCの場合

Asimov A, BANFF_postfit_Asimov

Error source	FHC 1Rmu	RHC 1Rmu	FHC 1Re	RHC 1Re	FHC CC1pi+	FHC/RHC
Flux	3.0	3.1	3.0	3.2	3.0	1.6
Xsec (ND constr)	3.2	3.3	3.4	3.6	4.3	1.9
Flux+Xsec (ND constr)	2.2	2.6	2.2	2.8	3.8	1.9
2p2h Edep	0.4	0.5	0.2	0.3	0.0	0.3
1/2bkg lowppi	0.5	3.4	0.1	2.7	0.1	2.5
$\sigma(\text{nue}), \sigma(\text{nueb})$	0.0	0.0	2.5	1.4	2.6	3.0
NC gamma	0.0	0.0	1.7	2.6	0.0	0.9
NC other	0.3	0.2	0.2	0.4	0.7	0.2
SK	2.9	2.5	3.2	4.3	13.5	1.3
Total	3.8	5.1	5.0	6.7	14.2	4.6

ニュートリノ振動測定への影響

- E71*2の統計の場合

Sample	FHC 1Rmu	RHC 1Rmu	FHC 1Re	RHC 1Re	FHC CC1pi+	FHC/RHC
Nominal	3.2	3.3	3.4	3.6	4.3	1.9
Sample A	3.1	3.2	3.4	3.5	4.2	1.9
Sample B	3.1	3.2	3.3	3.5	4.1	1.9
Sample C	3.1	3.2	3.3	3.5	4.1	1.9
Sample D	3.1	3.2	3.3	3.5	4.2	1.9

- (もっとよいFitがあるかもしれないが)いまのパラメータのままだとあまり減らないかも...?

To do

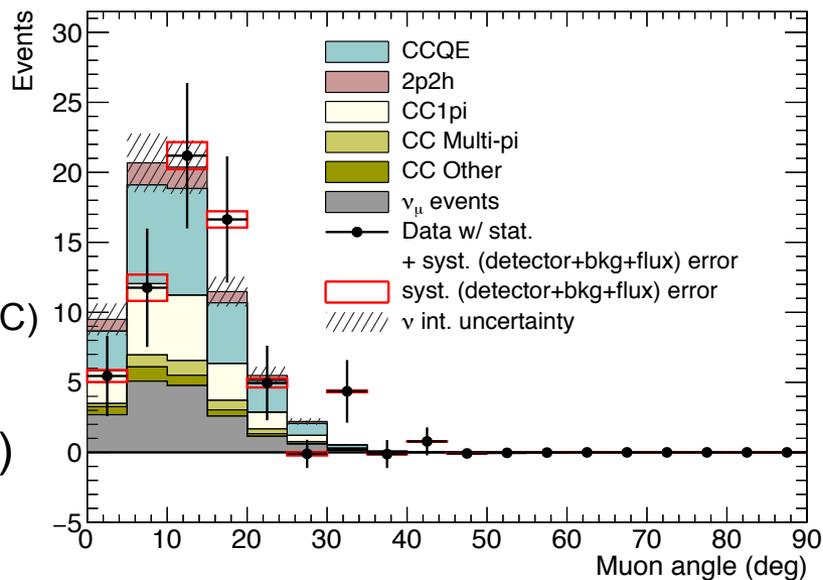
- ニュートリノ反応のパラメータだけでなく、フラックスの相関をSK, ND, B2で考えてフィットする
- Detector MCをちゃんと通す
- 物理ランでのsystematic errorを見積もる

- いまのニュートリノ反応モデルのパラメータが、NINJAの測定で感度のあ
る部分をカバーできているとは限らない
- むしろそういったモデリングの部分に深く関わっていくべきではないか

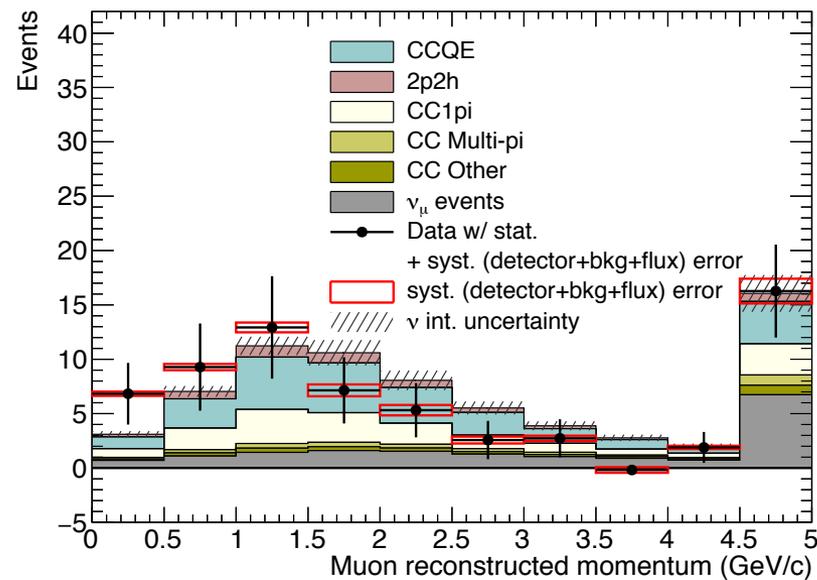
まとめ

- パイロットランでのエラーをもとに物理ランのSensitivity studyをしている
- BANFF+NINJAのフィット(Xsecのみ)でニュートリノ反応のパラメータへの制限をチェックした
- さらにSKでのエラーサイズも確認し、sensitivity plotは近々作成できそう

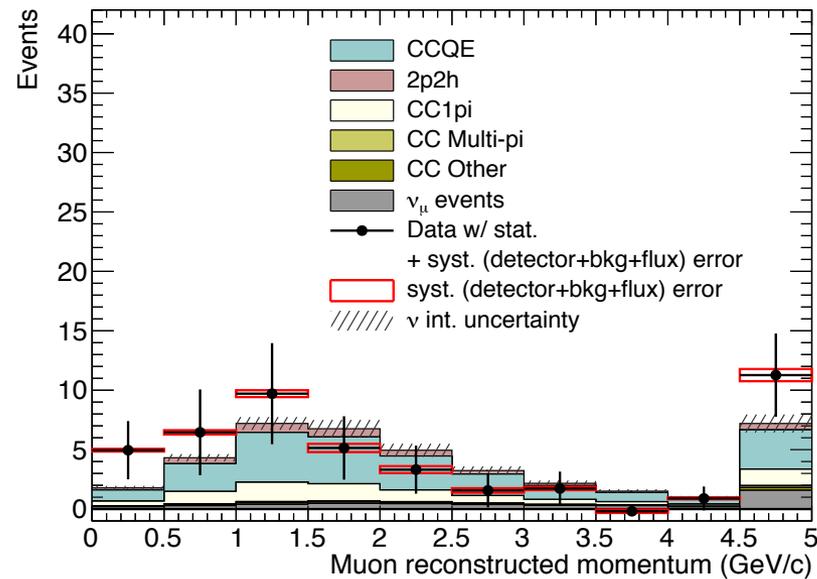
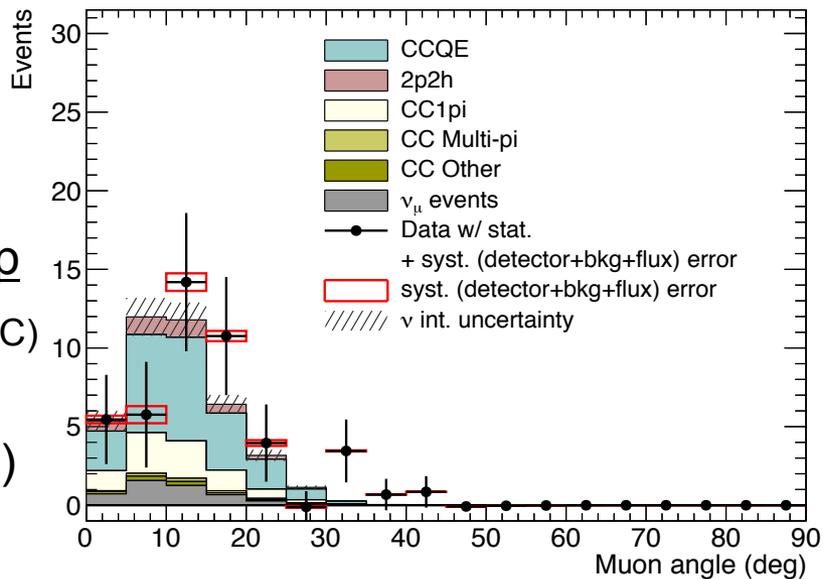
Angle



Momentum

0pi0p

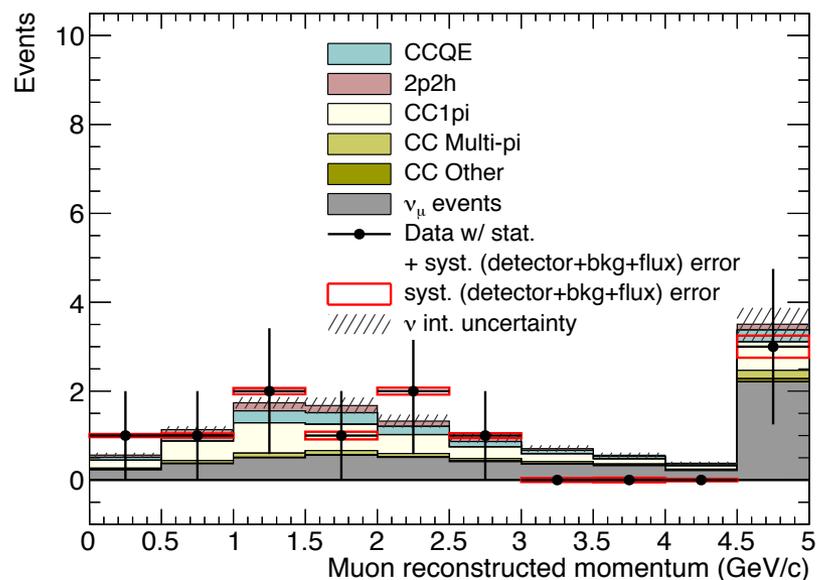
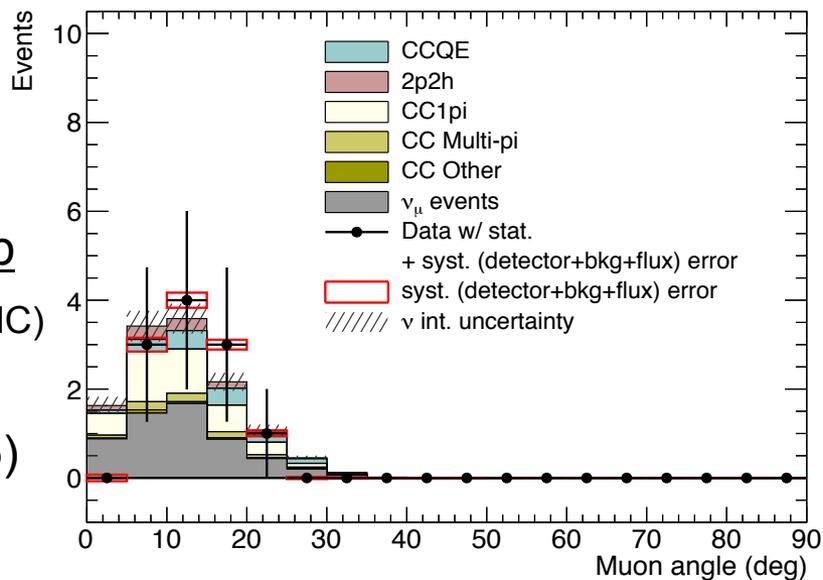
data/(MC)

44.9
(40.2)

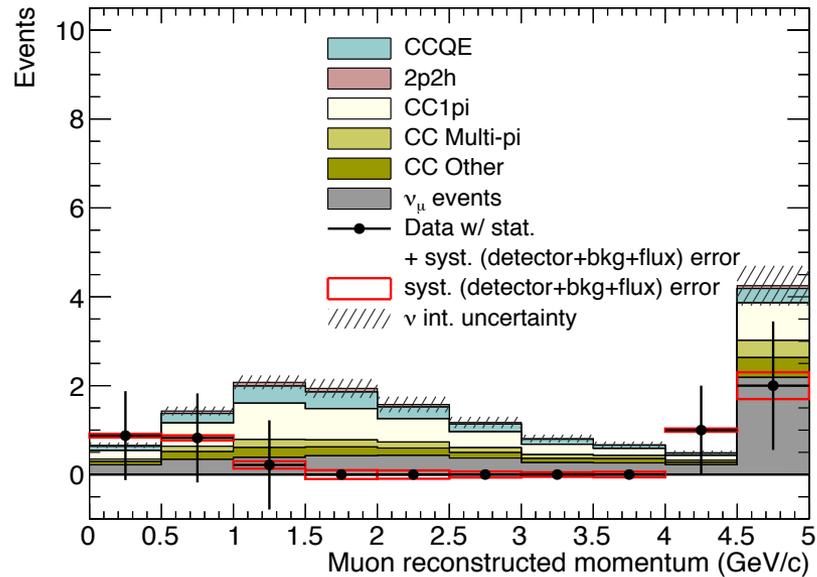
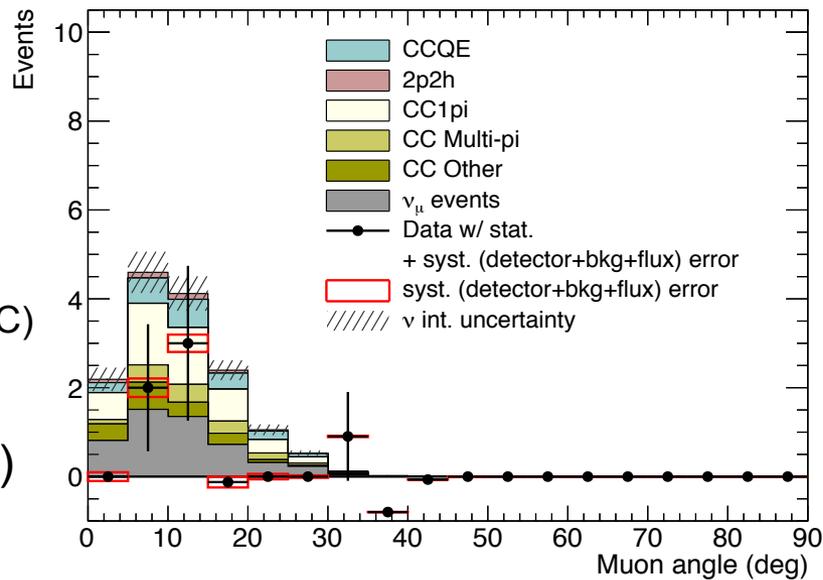
Angle

Momentum

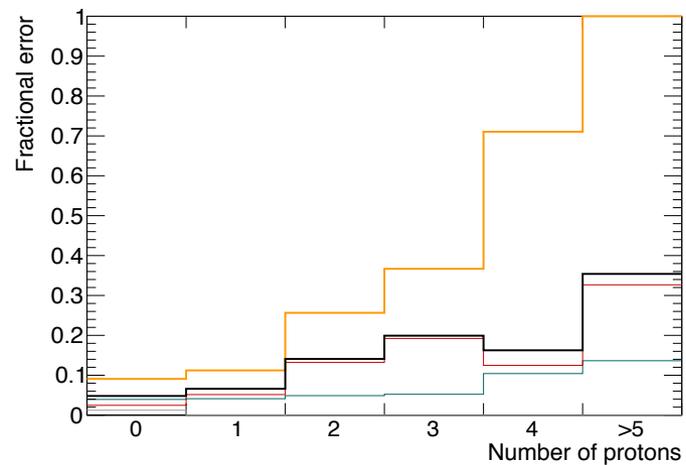
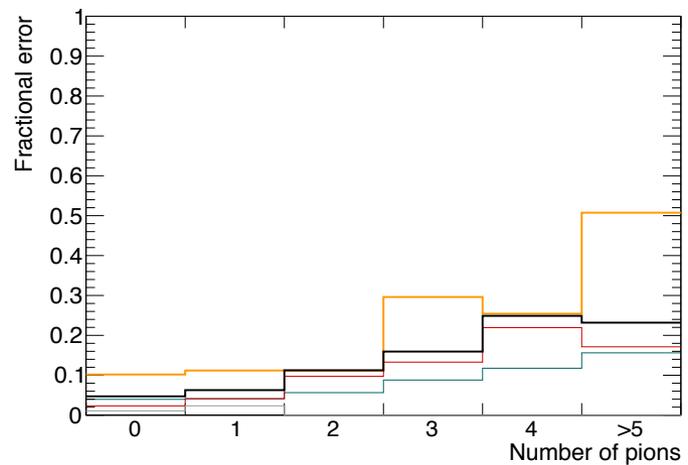
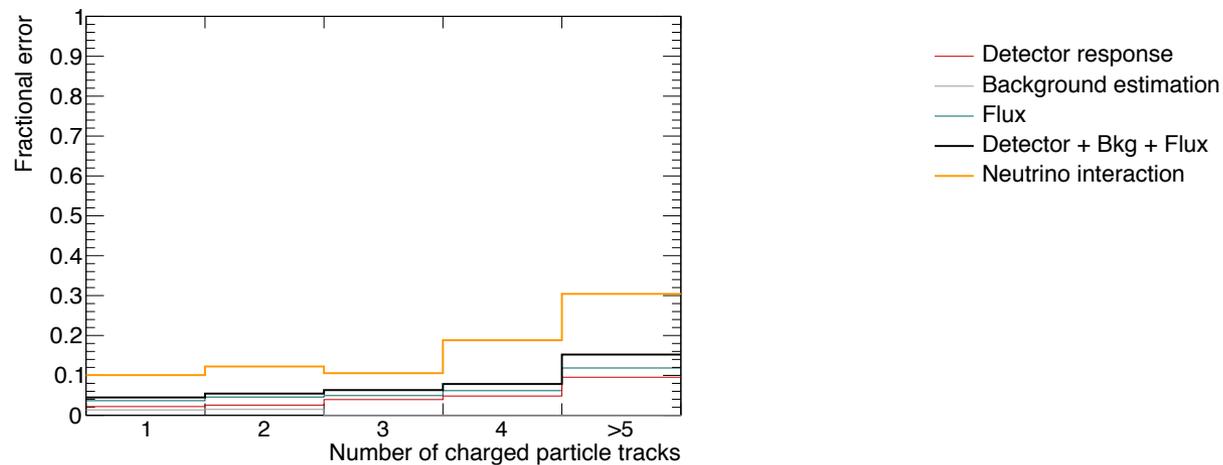
0pi1p
data/(MC)
11
(12.5)

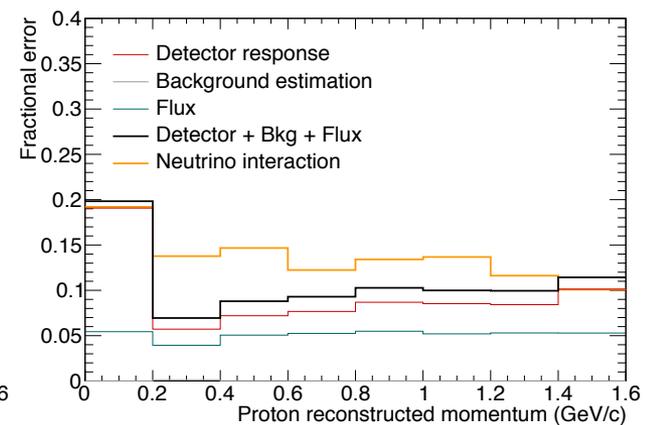
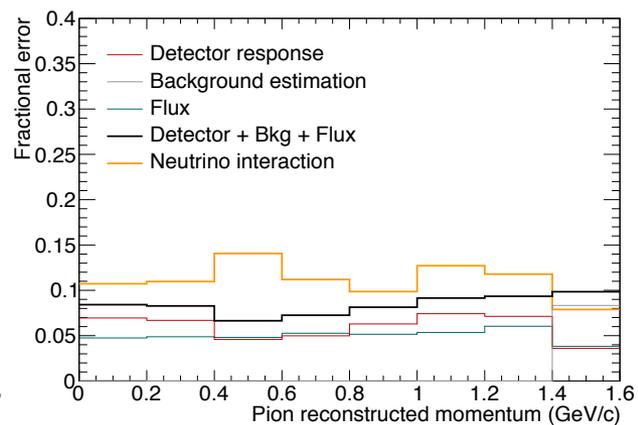
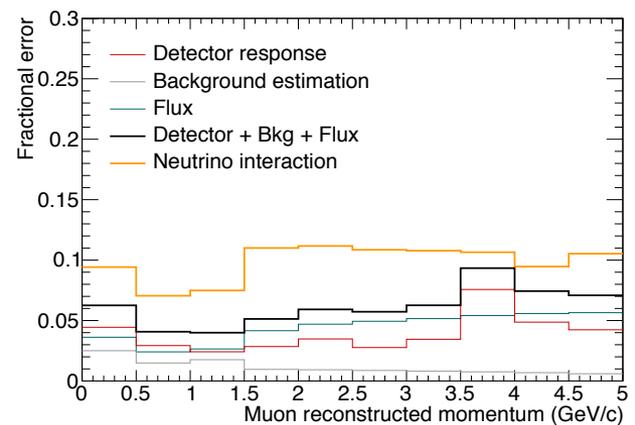
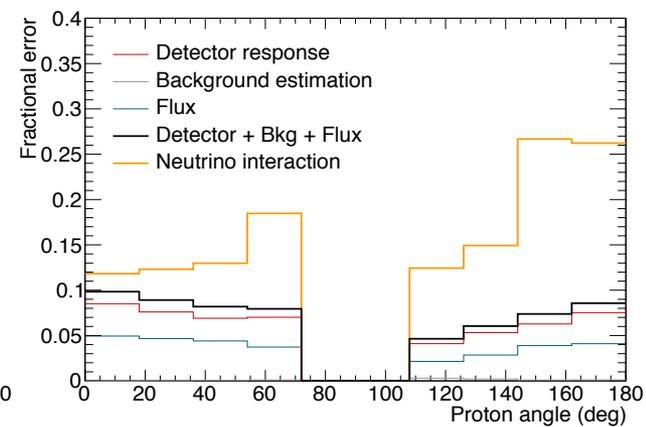
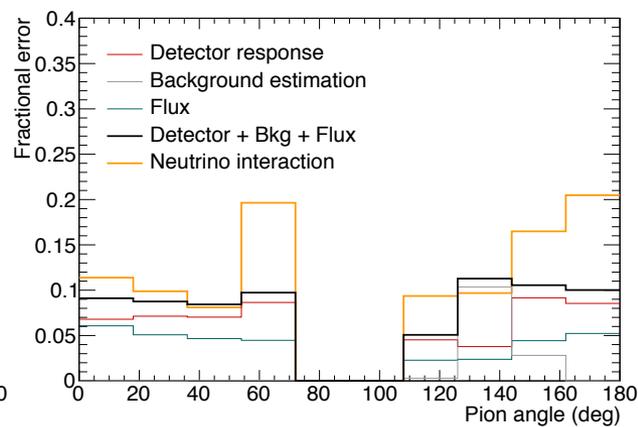
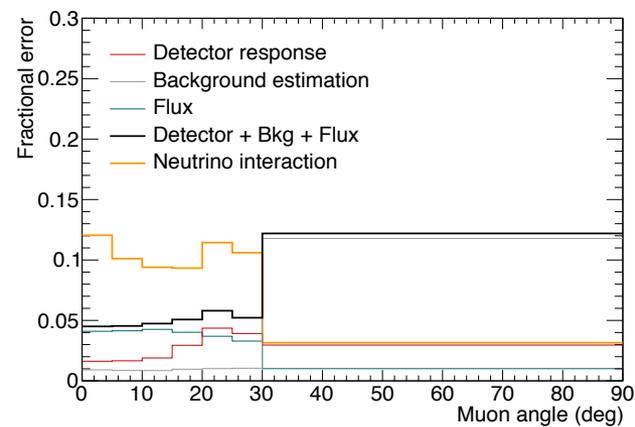


1pi
data/(MC)
4.9
(15.0)



Systematic uncertainties





Sensitivity study flow

- ① Nominal MC study with information of how interaction parameters change our distributions.
 - Check a lot of distributions to see which parameters make significant changes. (i.e. 2p2h norm at proton opening angle distribution)
- ② Fitting to obtain constraints on interaction parameters.
 - BANNFF+NINJA fit covariance matrix
- ③ (Fake) oscillation analysis with new matrix

ニュートリノ反応パラメータへの制限

- Pre fitのエラーサイズに対してFit後にどれだけ制限をかけられるか
- ND data fit, sampleA

