

大気ニュートリノの精密計算

T.K. Gaisser Takayama 5 June 1998

Atmospheric ν flux

+ related primary cosmic ray + μ

Thanks to P. Lipari, T. Stanev

E. Kearns, M. Honda, S. Orito

G. Battistoni, A. Ferrari, T. Montaruli, R. Engel

$$\phi_{\nu} = \phi_{\text{primary}} \otimes R(B_{\oplus}) \otimes \text{Yield}(N \rightarrow \nu)$$

$$\phi_{\mu} = \phi_{\text{primary}} \otimes R^{*}(B_{\oplus}) \otimes \text{Yield}(N \rightarrow \mu)$$

Outline of talk: 1) Cutoffs + B_{\oplus}

2) Primary spectrum

3) Muons

4) Yields

本田守広@icrr, Dec. 15, 2007

一次宇宙線のフラックス

×

宇宙線と大気の相互作用

×

宇宙線に対する地磁気効果

||

大気ニュートリノ
フラックス

誤差の源

しかし、以下に十分な注意を払わない場合、容易に ν_μ/ν_e 比 5%、絶対値20~30%程度の誤差が生じる。

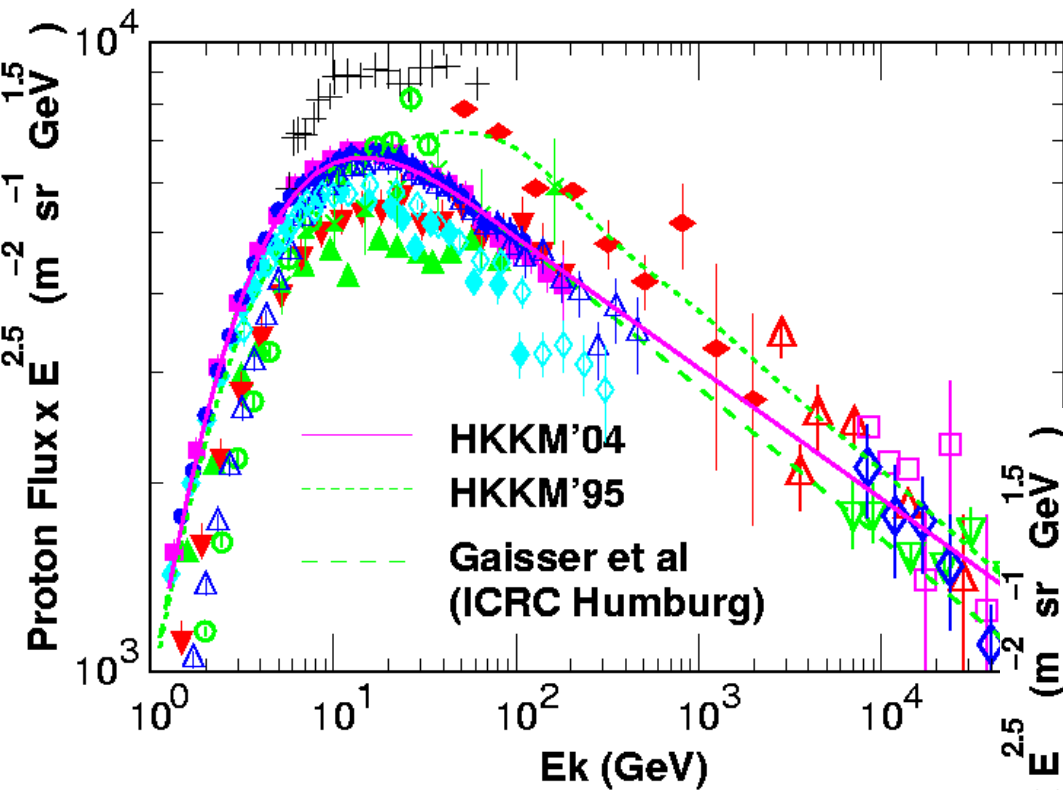
- 宇宙線スペクトル(15%)
- 相互作用モデル(15%)
- 三次元計算(方向、エネルギーによって10%以上)
- 大気構造モデル(相互作用の μ -calibrationを通して10%)
- 太陽活動の影響(10%)

観測装置の上の山の影響(5%)

()の中は、各項目に起因する誤差の大きさ

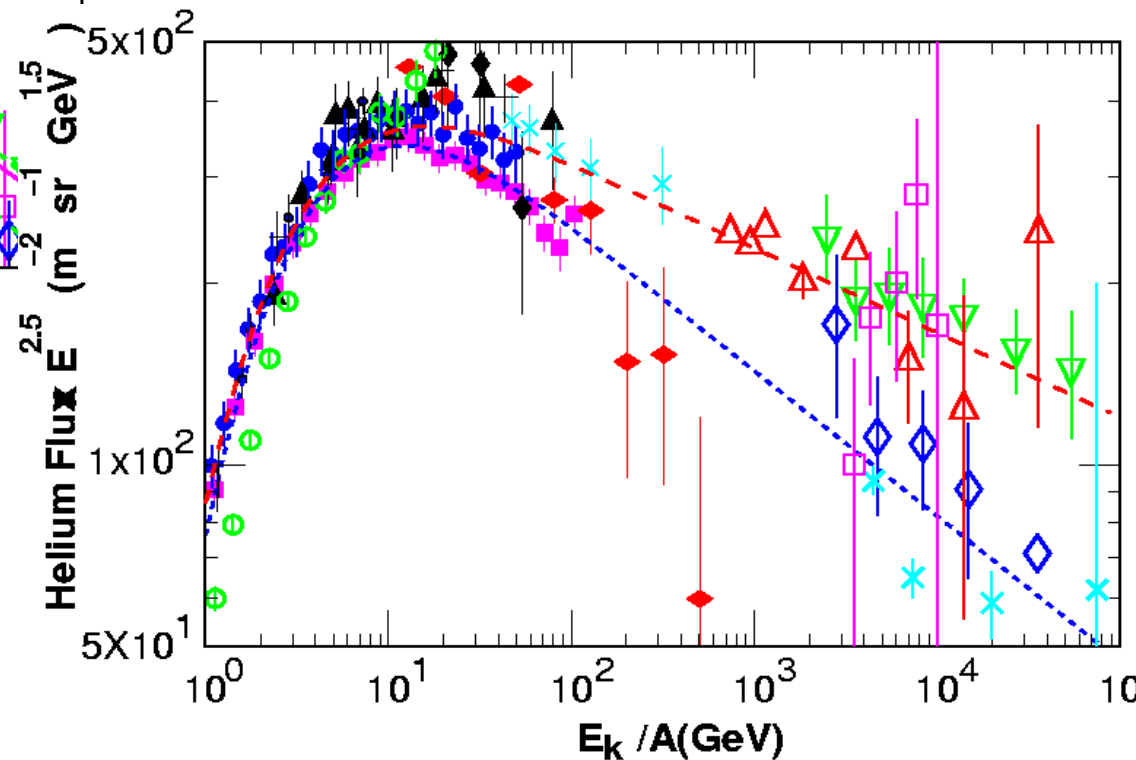
宇宙線スペクトル

陽子宇宙線



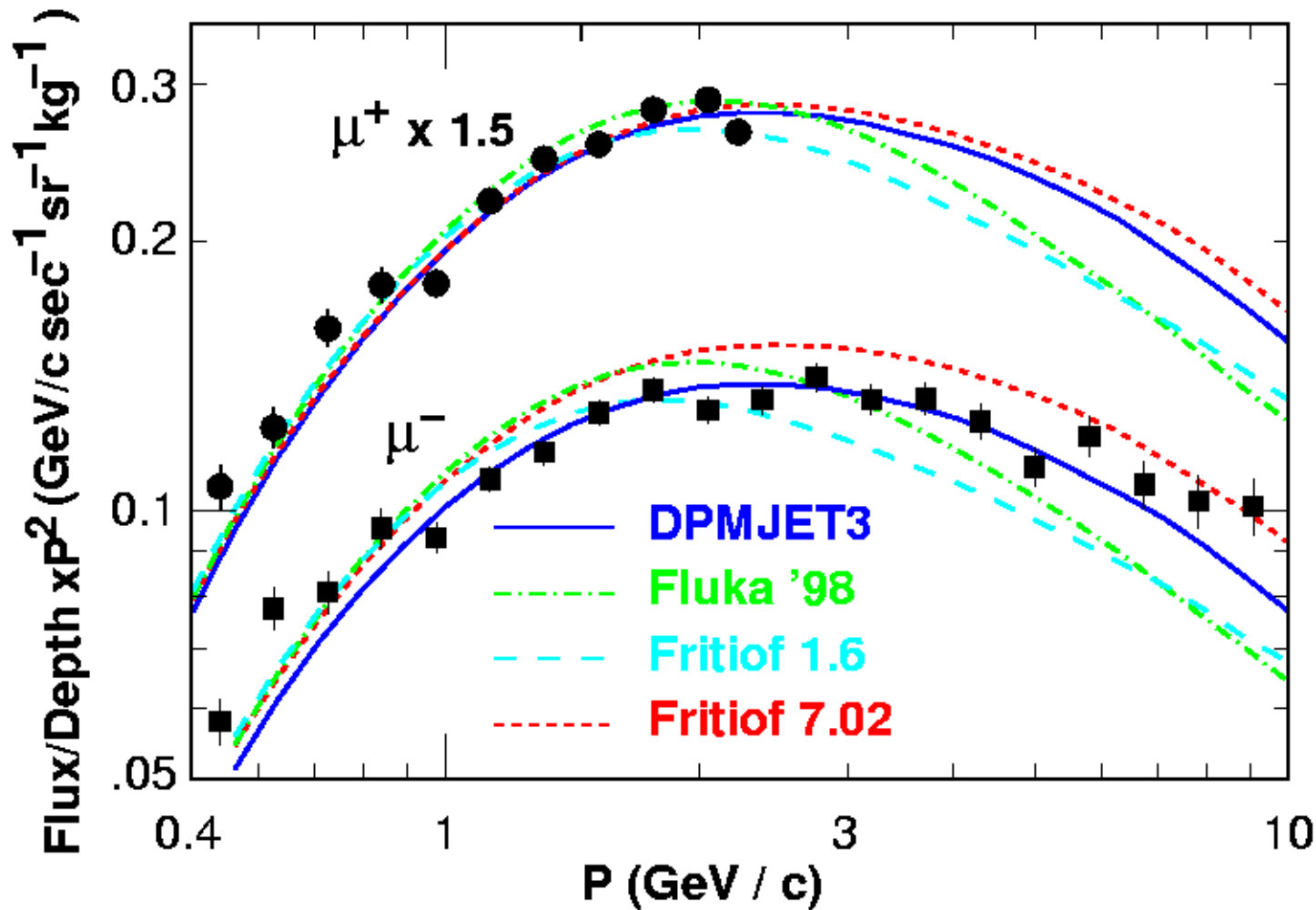
BESS, AMSは、100GeV以下
5%で一致！

ヘリウム宇宙線



大気ミューオンで相互作用の検定

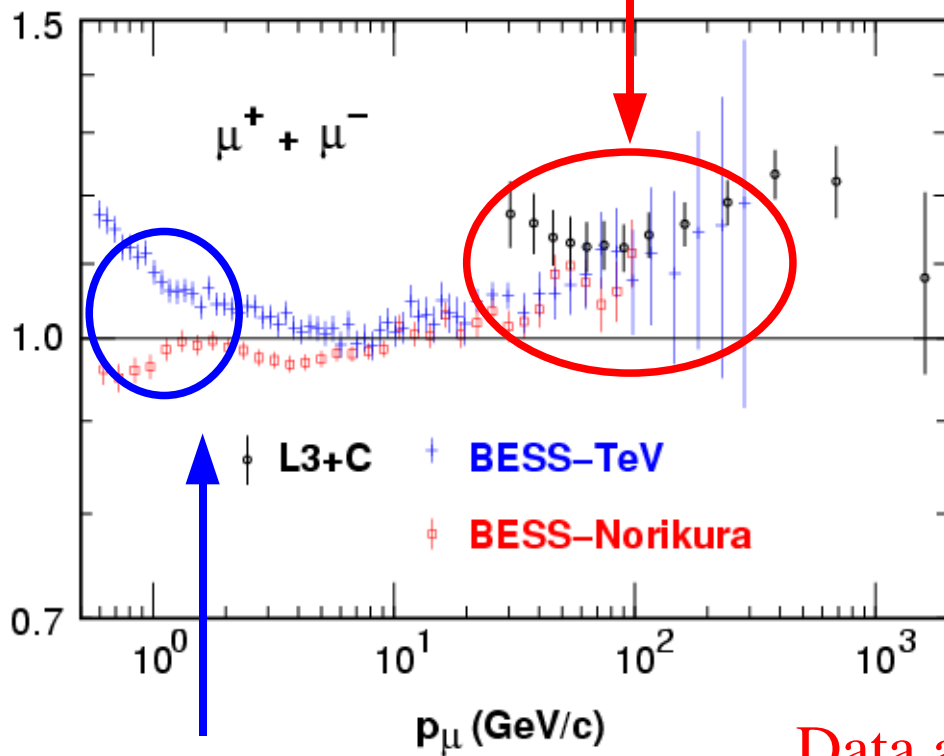
(@Ft. Sumner by 安部)



DPMJET-III is the best ! => HKKM04 calculation

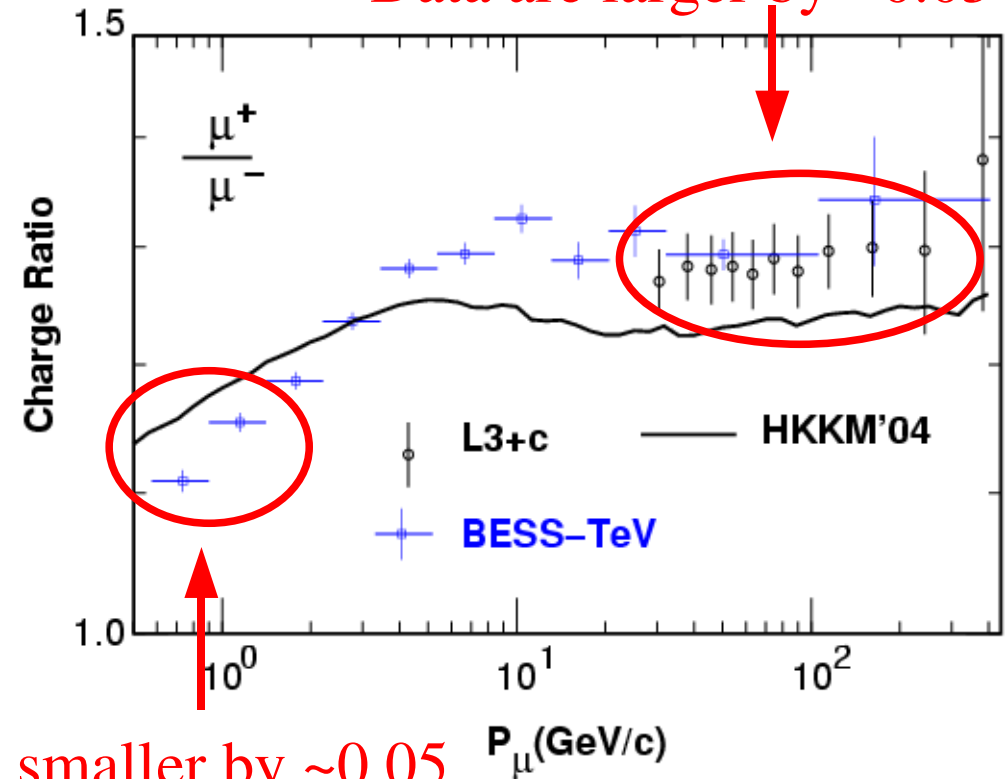
しかし、詳しく比較をしてみると、

Data are larger by ~15%



~15% scatter ?

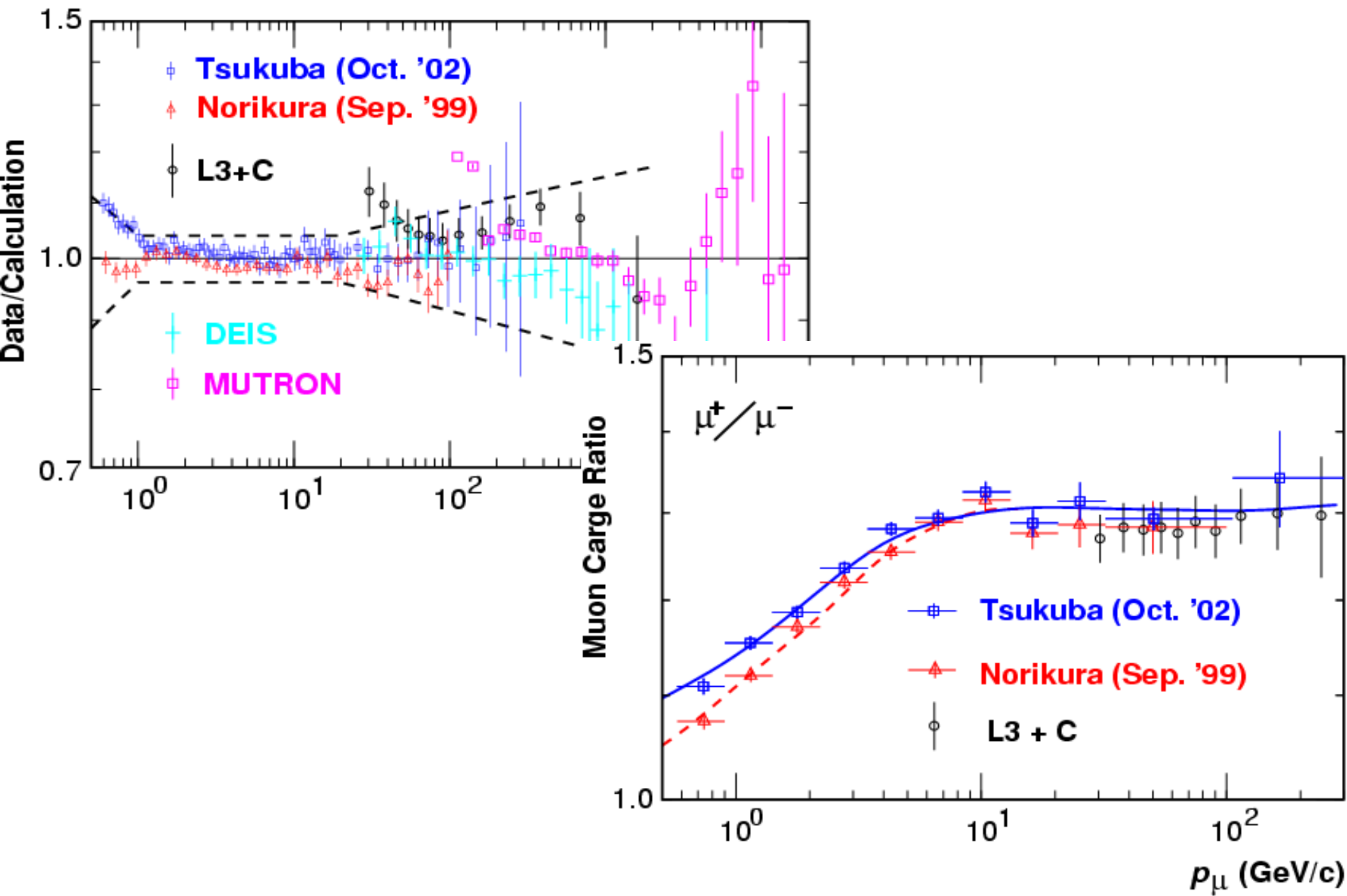
Data are larger by ~0.05



Data are smaller by ~0.05

DPMJET-IIIも修正が必要

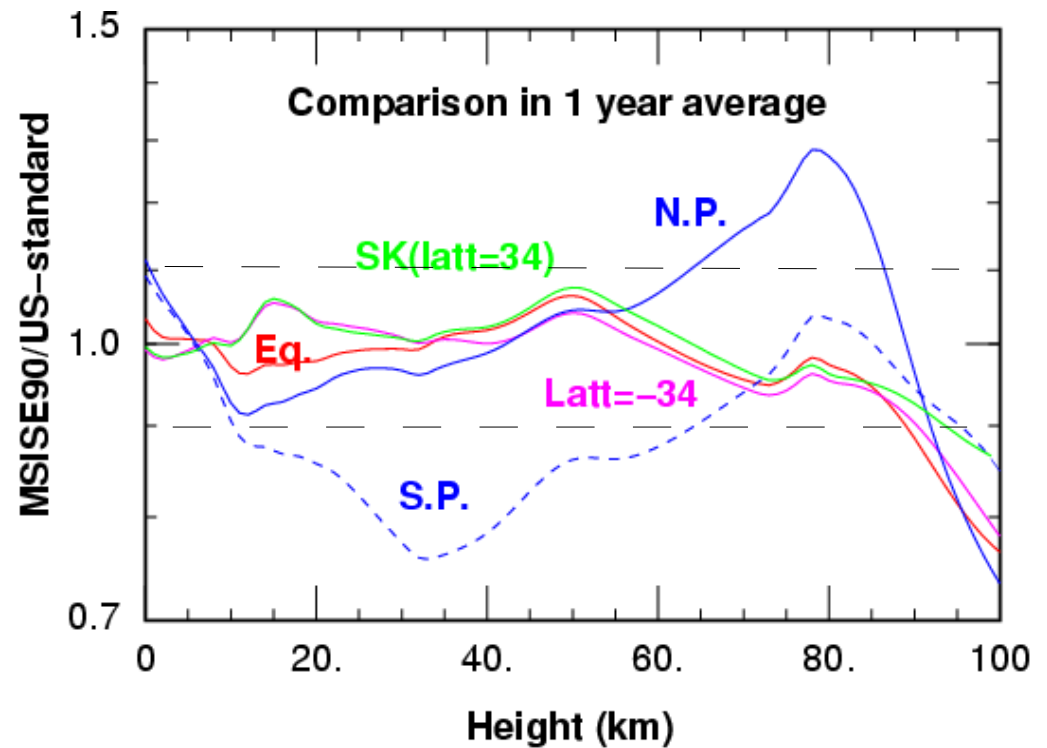
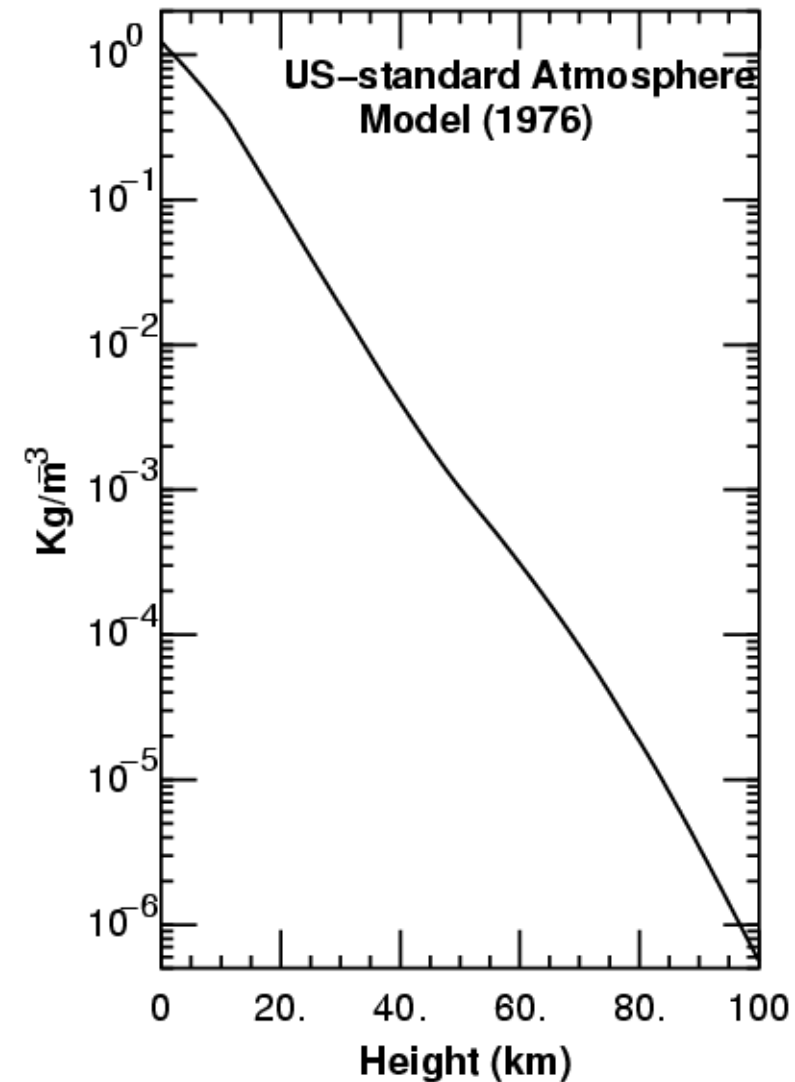
DPMJET-III修正後の比較



大気モデルの問題

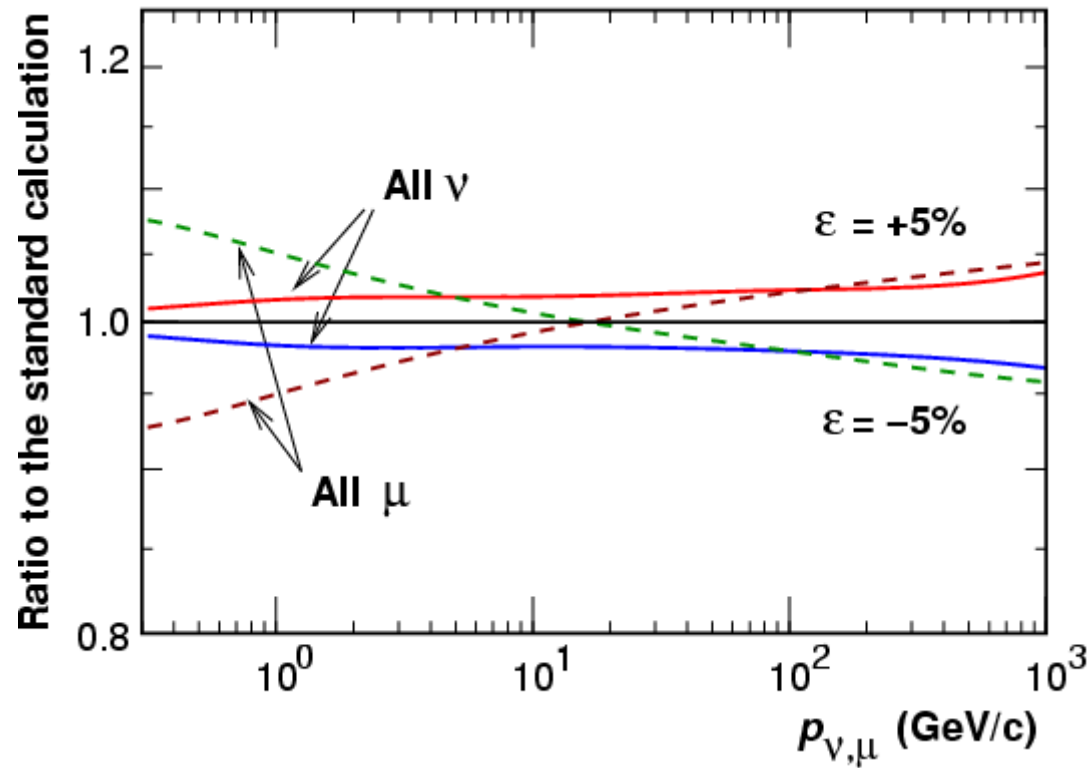
我々は US-standard 76を使って来たが、
もう少し良いモデルがある。

Air density comparison with MSISE90



地球全体の平均としては、使えそう。

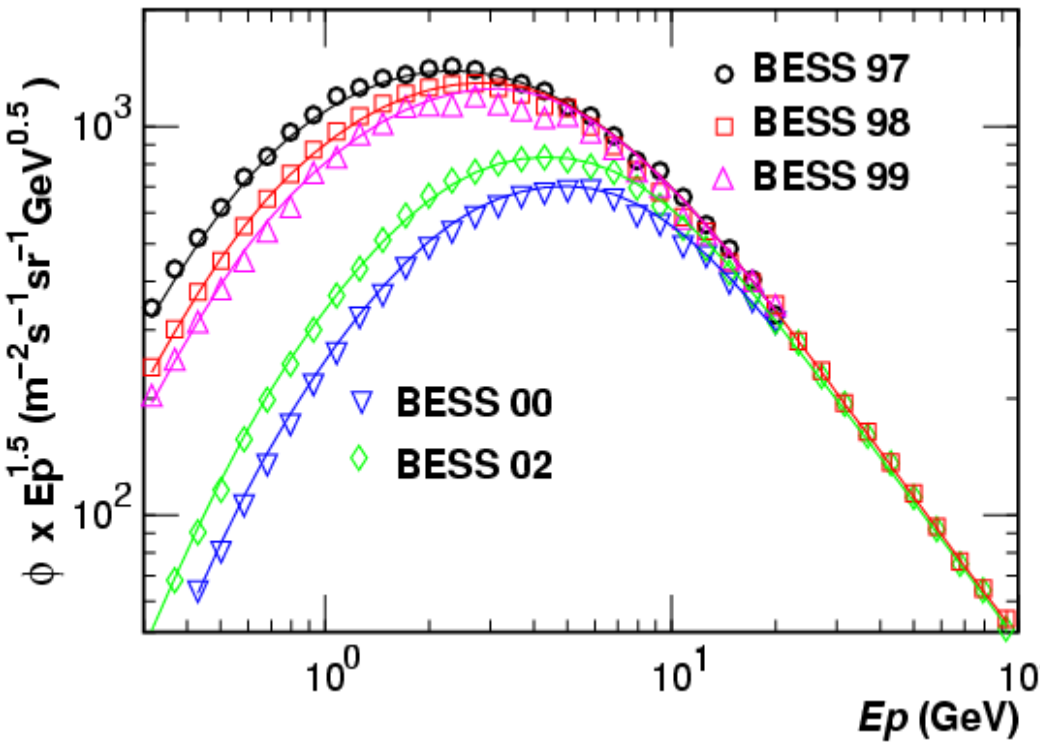
大気モデルの大気ニュートリノ、ミューオン に対する影響。



スケールハイトを $\pm 5\%$ 変化させた時の、それぞれの
フラックスの変化

太陽活動による宇宙線スペクトル変調

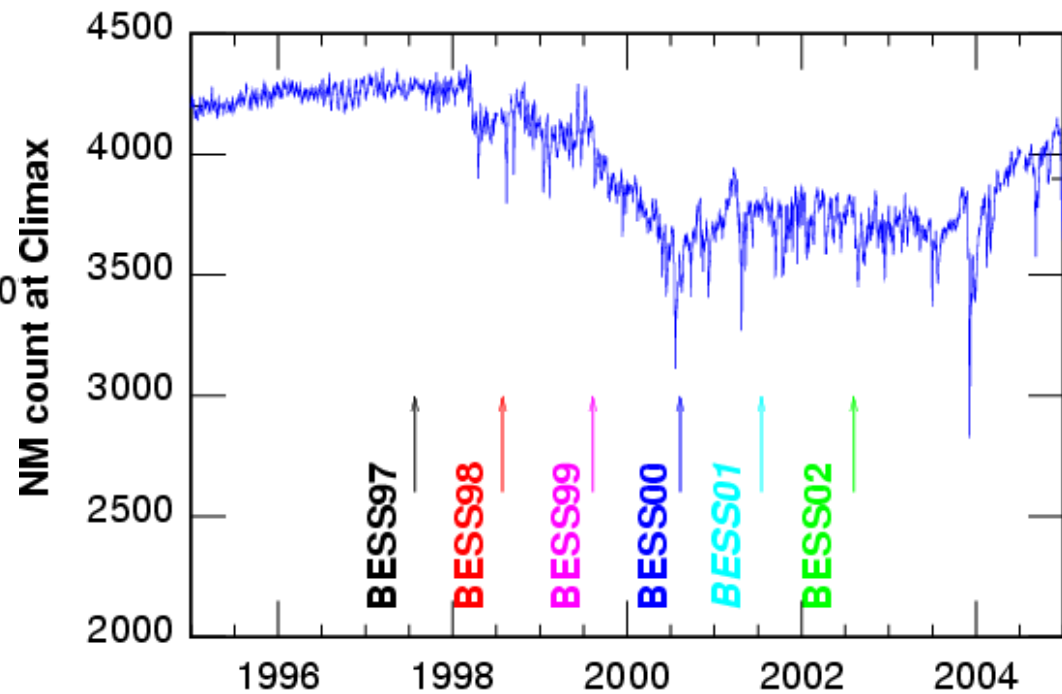
Proton spectra observed by BESS



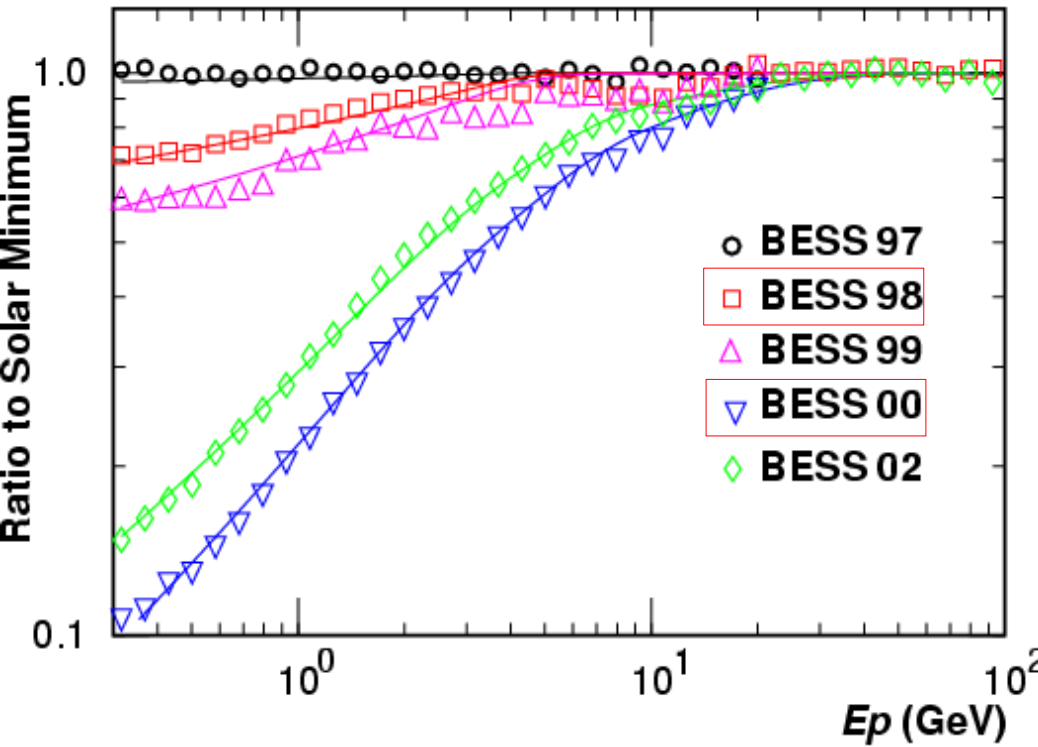
$$\phi_i(N, E_k) = \phi_i^{min}(E_k) \cdot \underline{M(N, r)}$$

$$\phi_i^{min}(E_k) \equiv \phi_i^{1997}(E_k) \quad \text{変調関数}$$

Nは、Climaxにおけるニュートロンモニターカウント

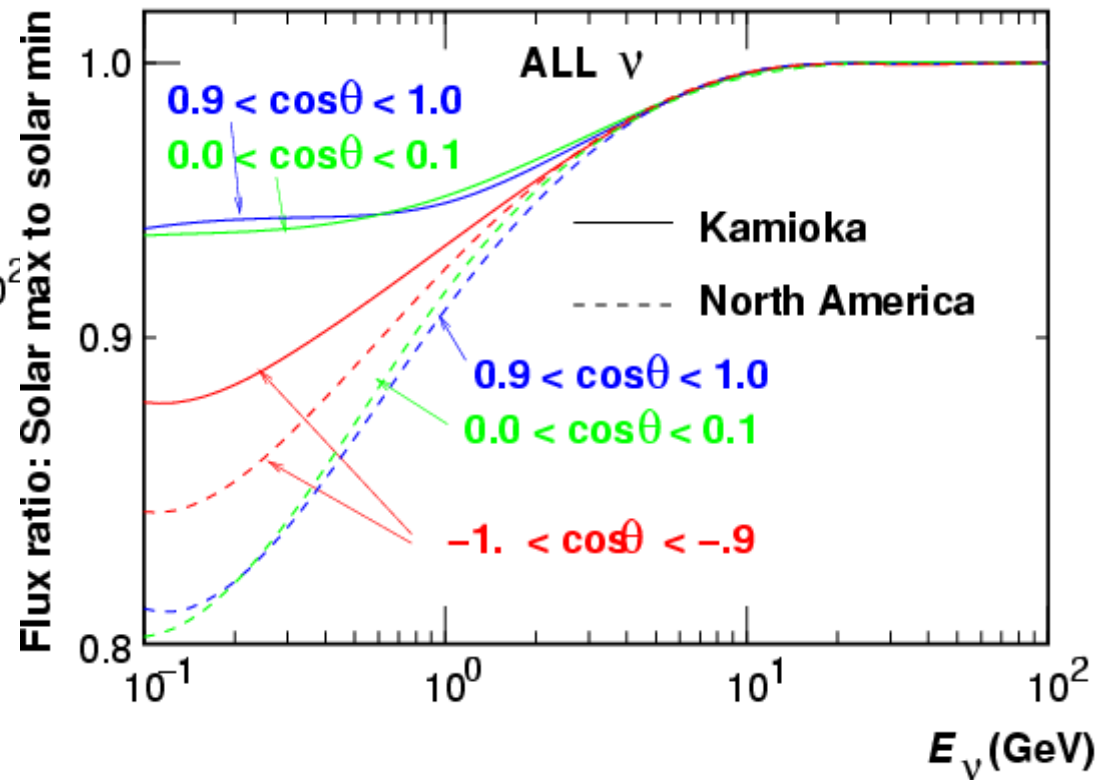


変調関数 $M(N, r)$

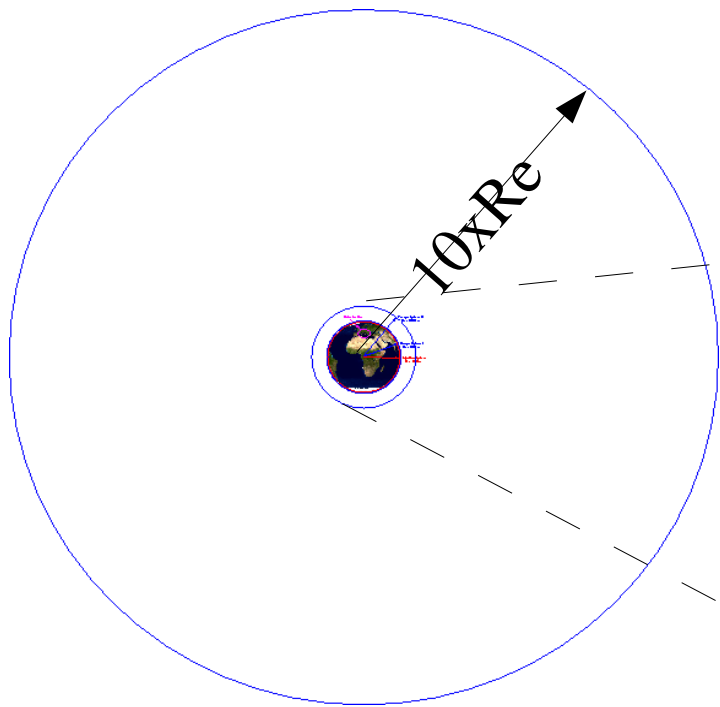


大気ニュートリノの変化

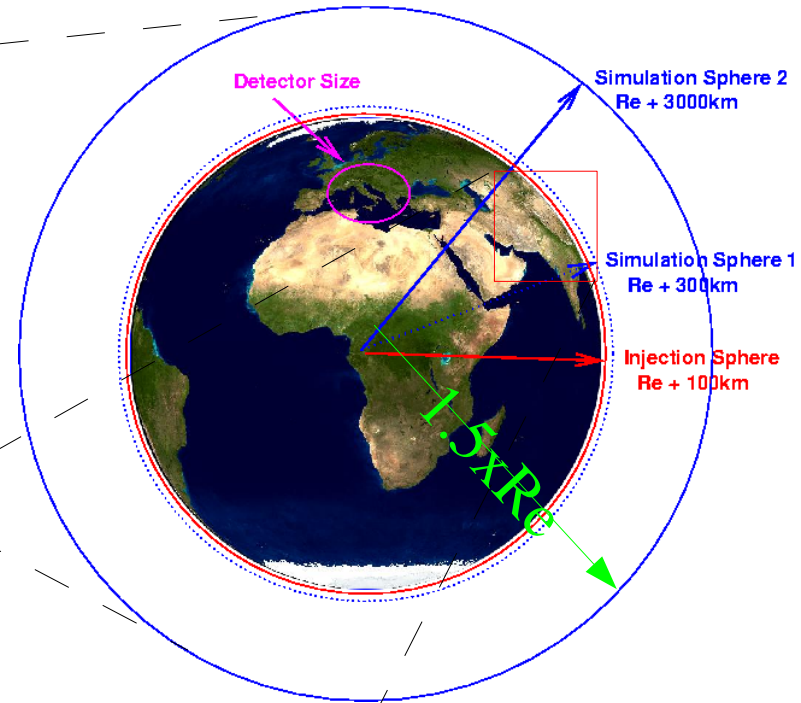
N=3650 for solar active phase (~ BESS02) and N=4170 for solar quiet phase (~ BESS98)



三次元大気ニュートリノ計算

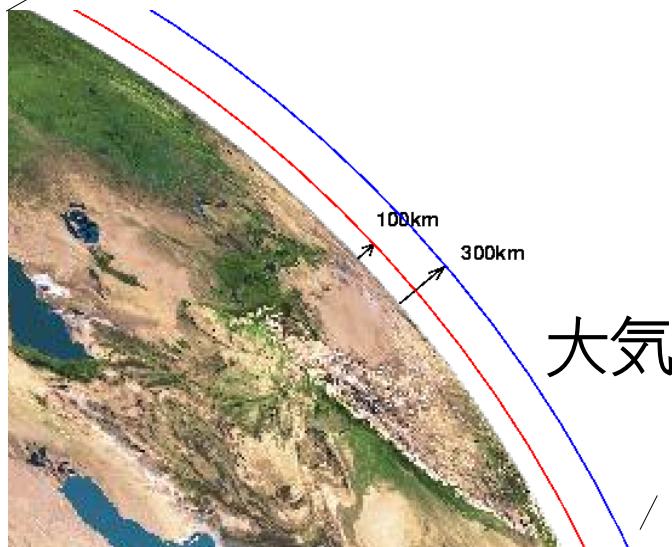


Rigidity Cutoffの計算



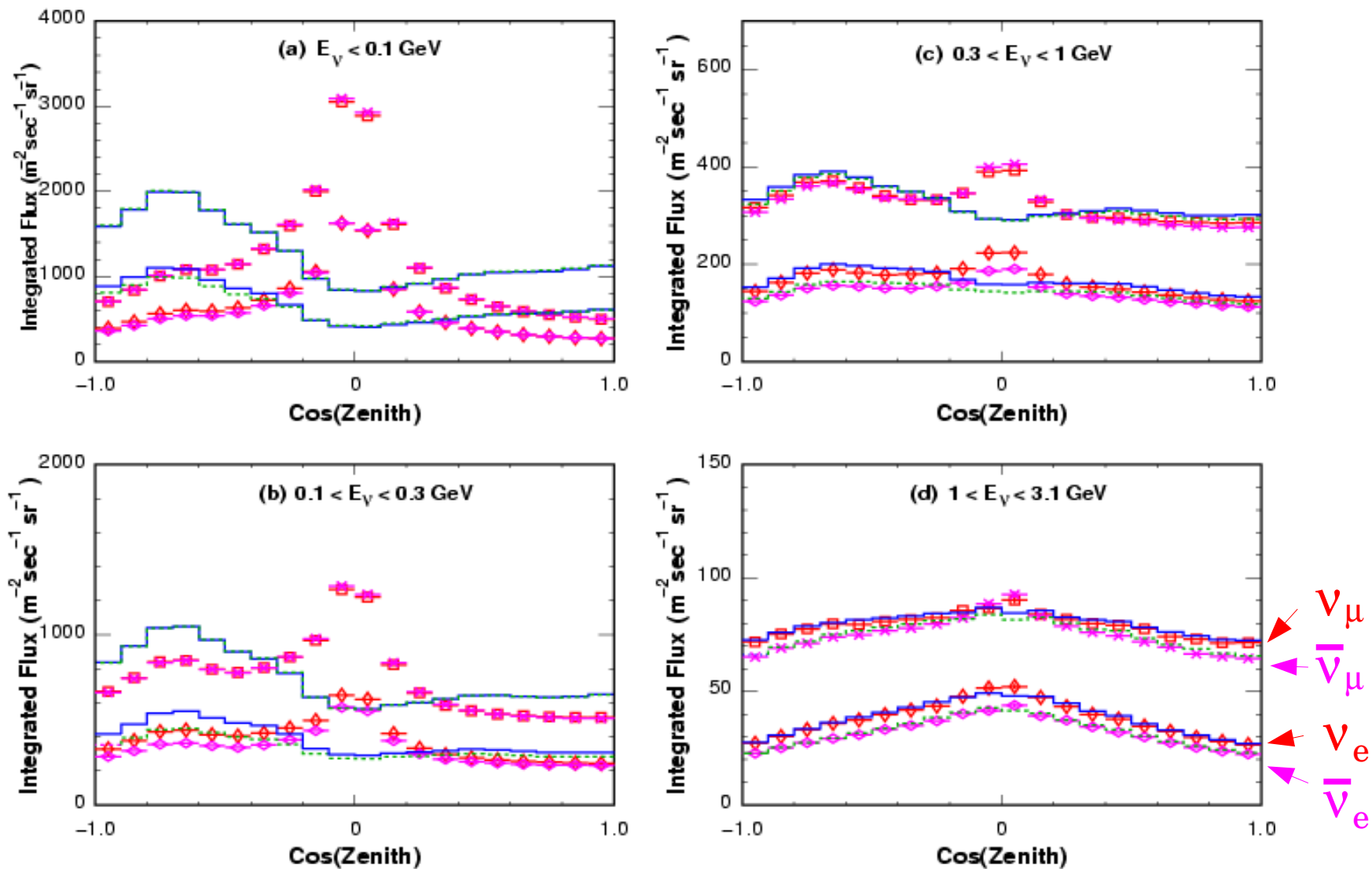
地磁気の中の運動

HKKMS06における
地磁気モデルは
IGRF2005



相互作用、
カスケード

「三次元効果」

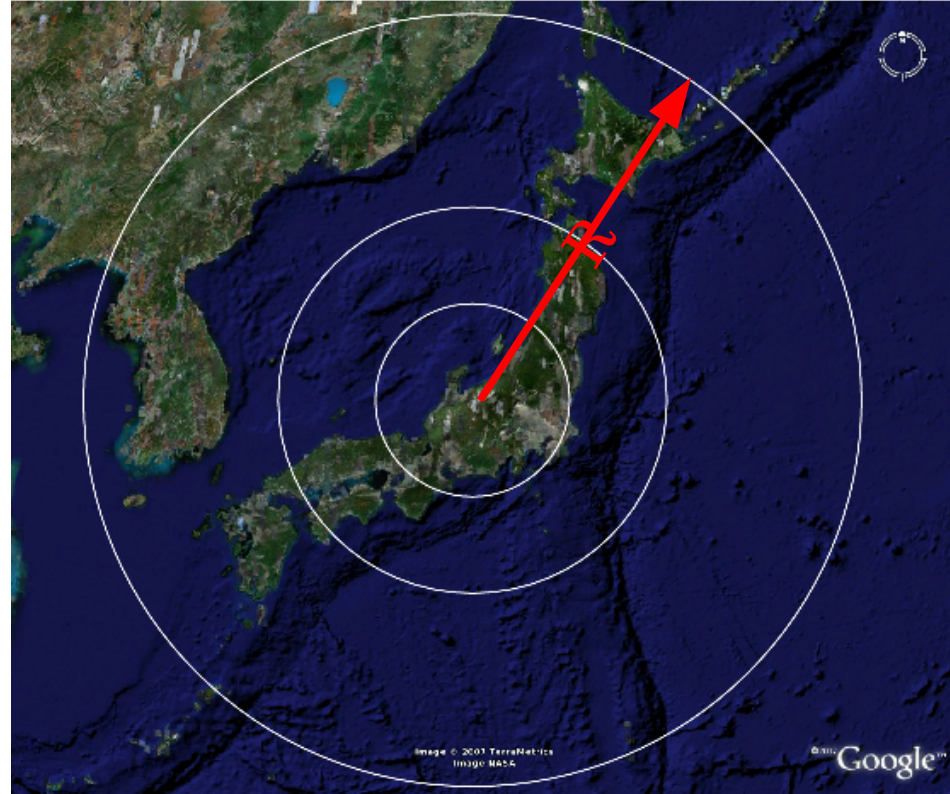


ヒストグラム：一次元計算、
マーク：三次元計算

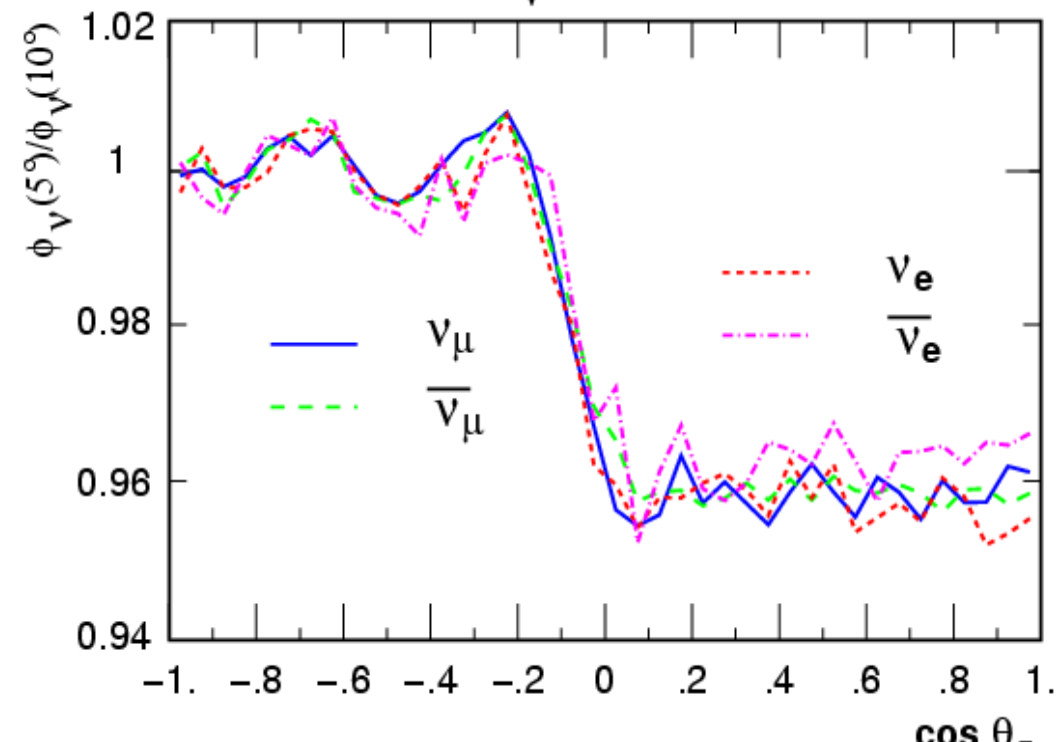
三次元計算では、大きな仮想的検出器が、新たな誤差を導入する。しかし、

$$\phi_\nu(0) \simeq -\frac{1}{3}\phi_\nu(R) + \frac{4}{3}\phi_\nu(R/2)$$

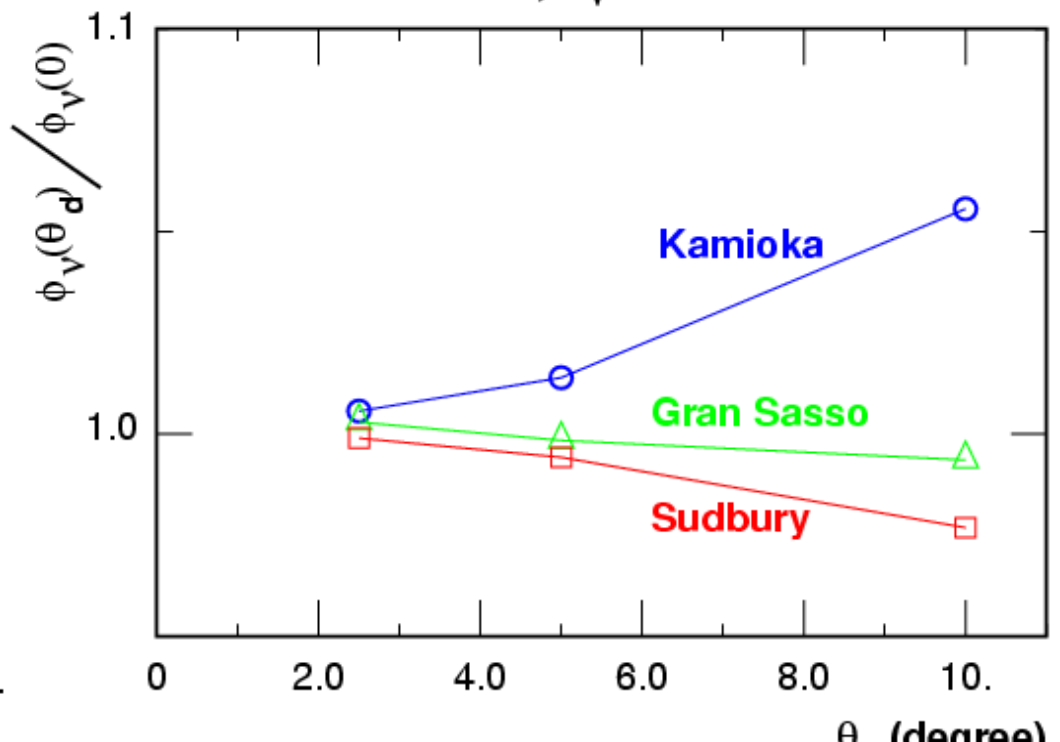
で、最低次の誤差をキャンセルできる



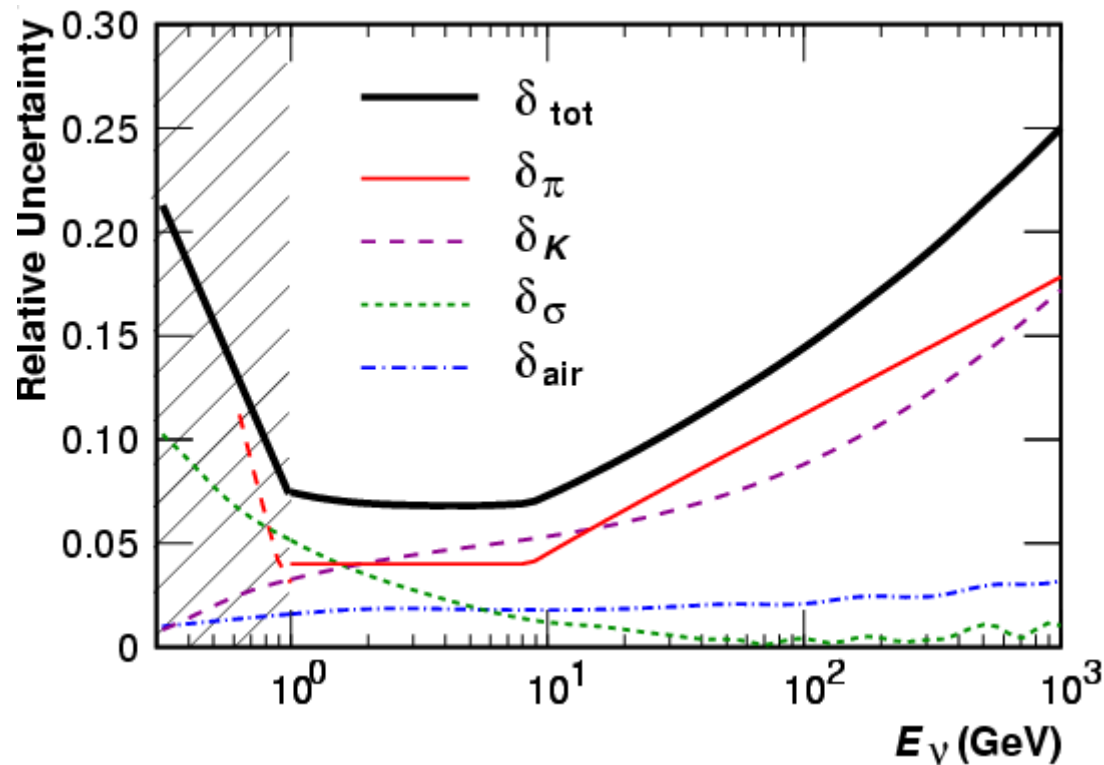
At $E_\nu = 0.1 \text{ GeV}$



Vertical, $E_\nu = 100 \text{ MeV}$



計算された大気ニュートリノフラックスの精度



δ_π μ -observation error + Residual of reconstruction

δ_K Kaon production uncertainty

δ_σ Mean free path (interaction cross-section) uncertainty

δ_{air} Atmosphere density profile uncertainty

まとめ。

精密大気ニュートリノ計算に必要な、

- 一次宇宙線は、100 GeVまで精密測定された(BESS,AMS)。
- 相互作用は、大気ミュー粒子の観測で校正が可能。

$E_\nu = 1 \sim 20$ GeV では、 ν_μ/ν_e 比で 2%、絶対値では、10% 程度まで、大気ニュートリノ計算を精密化できた。

ただし、

- 低エネルギーと高エネルギーミュー粒子観測には、相互作用の不定性により、再現できていないものもある。
- 三次元計算で、十分な統計を得るためには、まだ計算力が不足。

→今後の課題

- 地球近傍の衛星データとの比較
- 新しい、相互作用モデルの導入

現在進行中