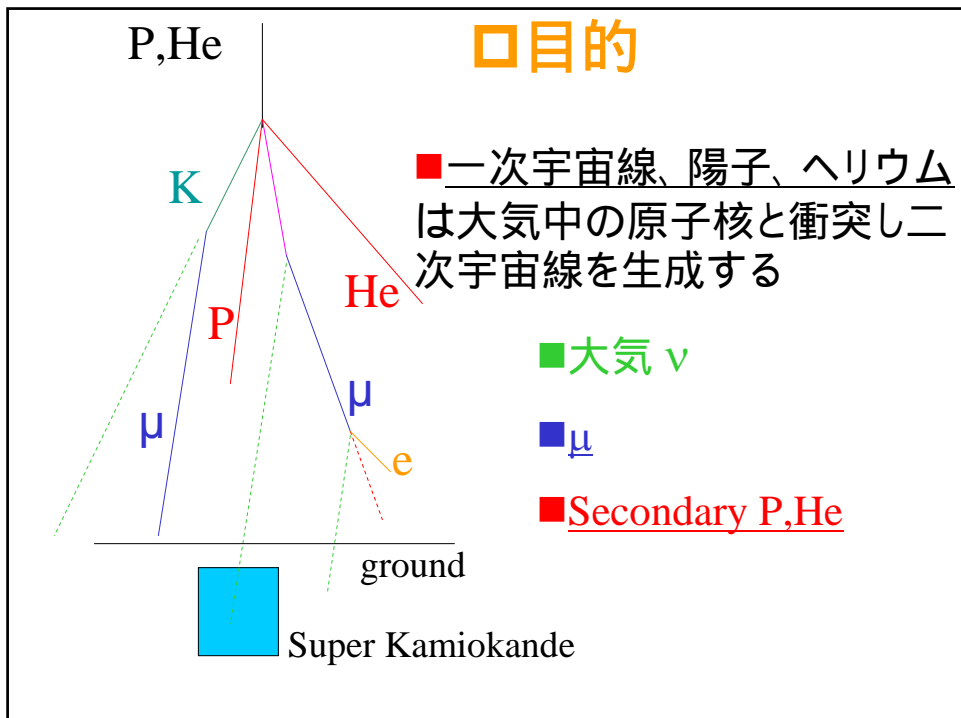


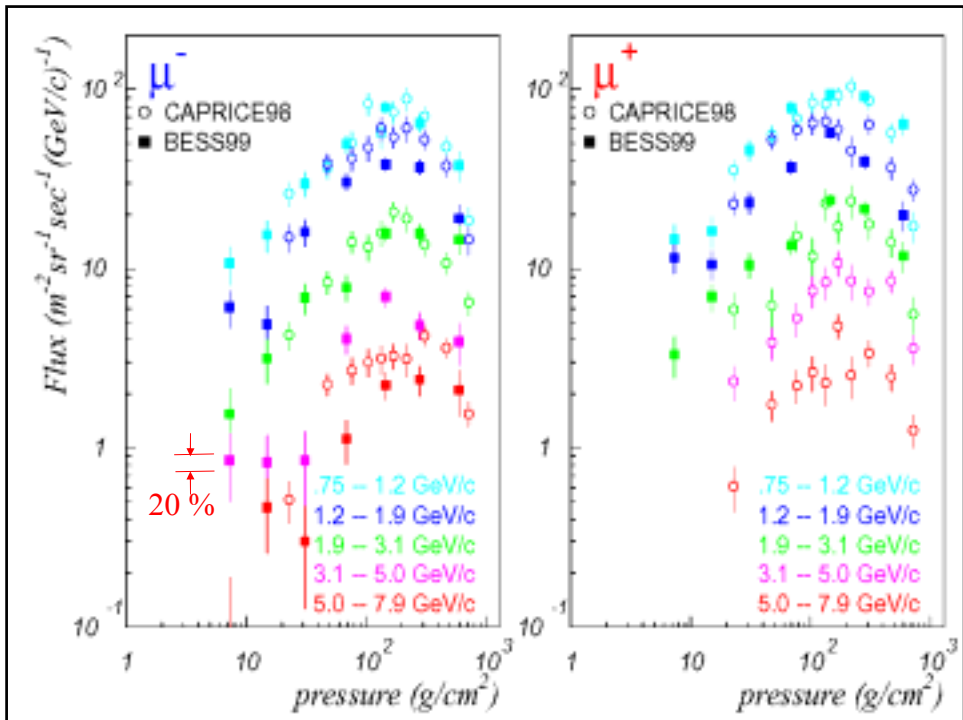
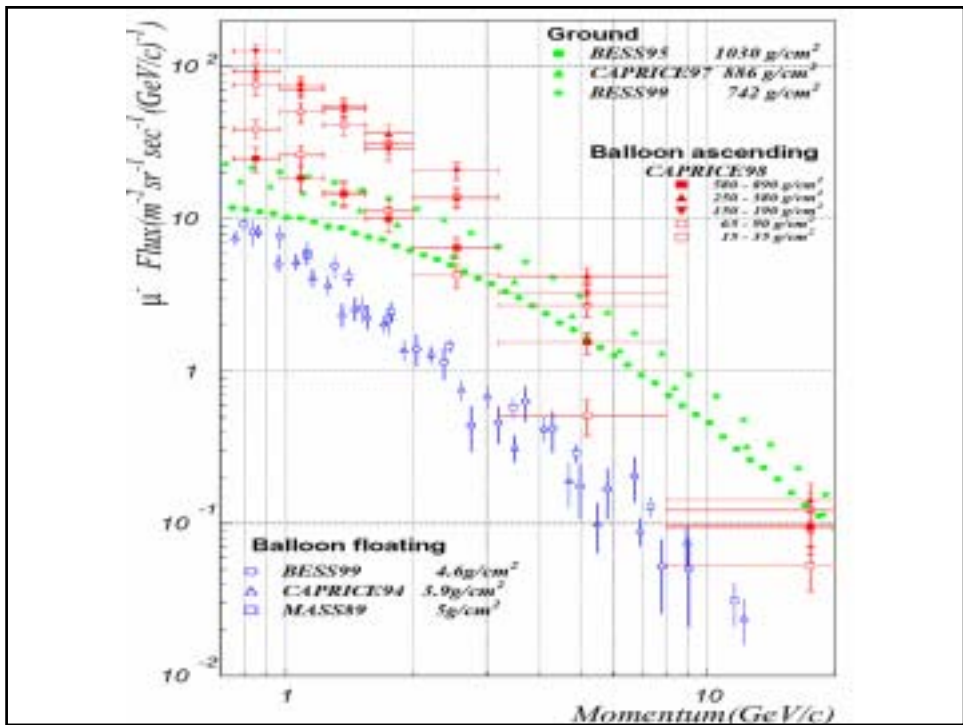
大気上層部における μ 、陽子、 及びヘリウム流束の測定

東京大学大学院理学系研究科

安部 航

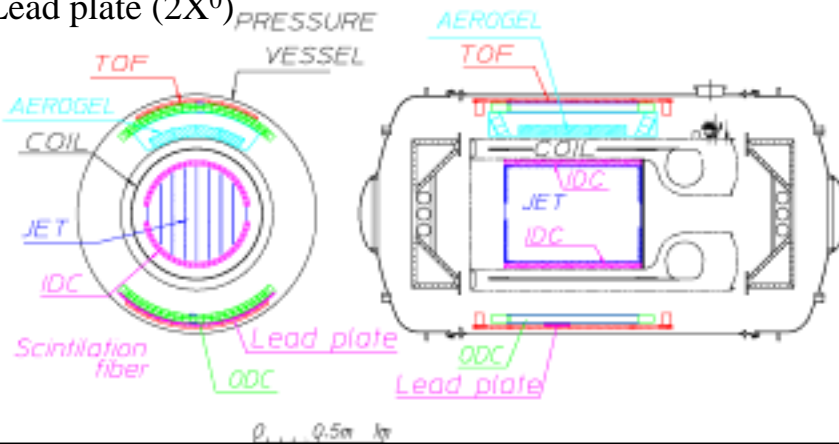
- 目的
- 測定器
- Flight
- 解析
- 結果
- まとめ





□ BESS2001 測定器

- TOF β ($1/\beta \pm 1.5\%$), dE/dx
- JET/IDC Rigidity (Pc/Ze)(GV) ($\pm 0.5\%$ at 1GV)
- Aerogel ($n=1.02$) } Particle ID
- Lead plate ($2X^0$)





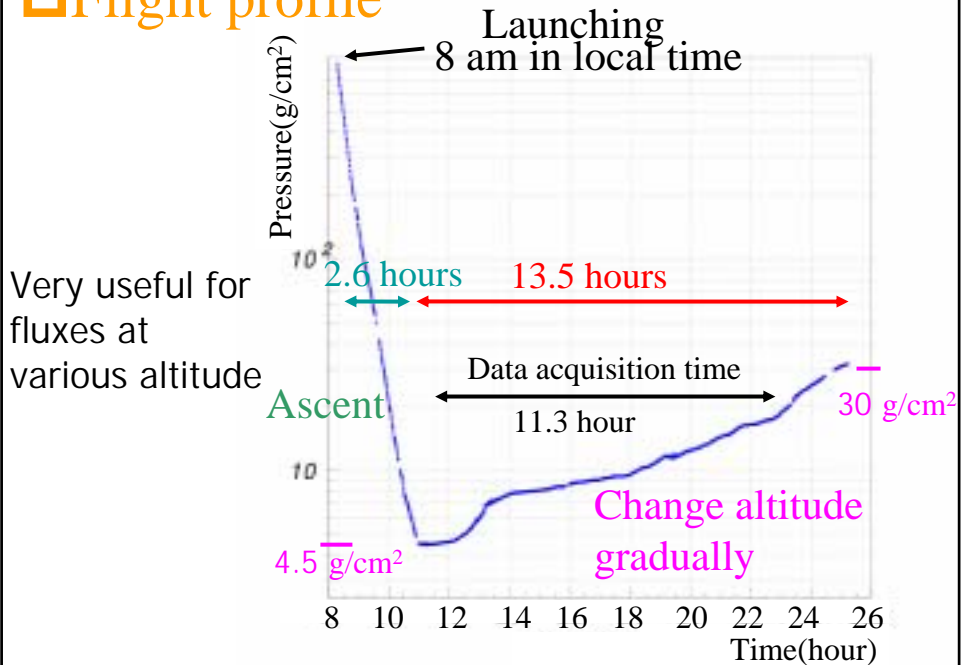
□ BESS 2001 flight

- ◆ September 24, 2001
- ◆ Ft. Sumner, NM, USA





□ Flight profile

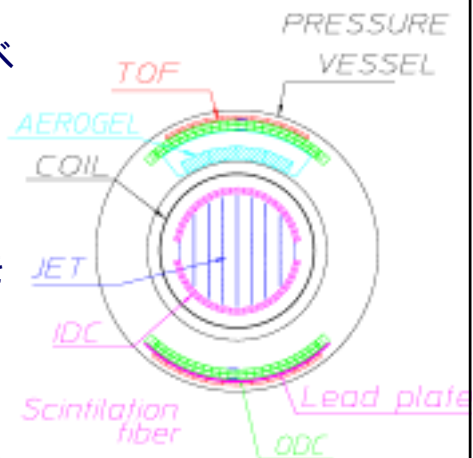


□解析

- Selection and efficiency
 - Trigger
 - Non-interacted event selection
 - Fiducial volume
 - Particle identification
- Background
- Error estimation

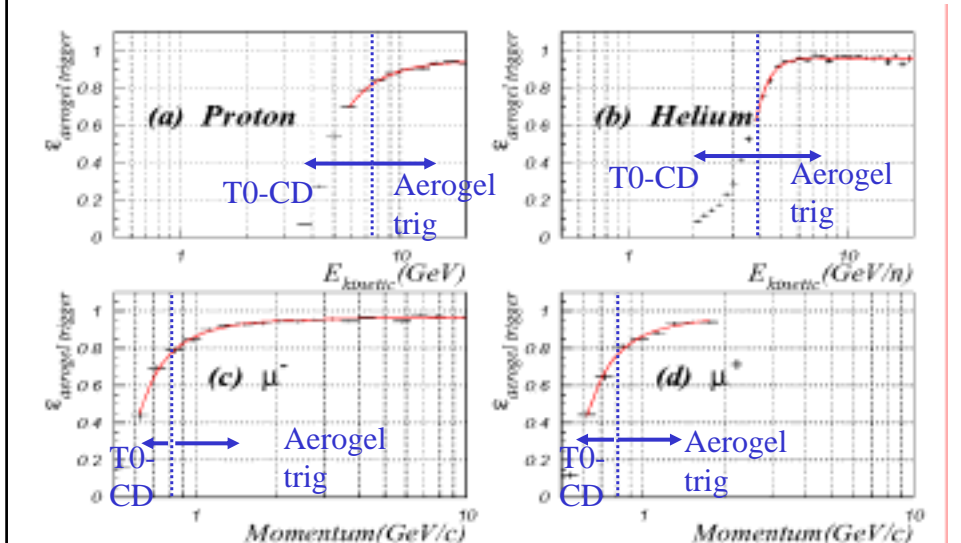
Trigger mode

- T0-CD
 - 上下の TOF を hit したすべての event の1/4 を記録
unbiased trigger
- aerogel trigger
 - Aerogel でチェレンコフ光を出した event を記録
(proton $> \sim 5\text{GV}$)
- 低エネルギー側では T0-CD、高エネルギー側では aerogel trigger を使用する。



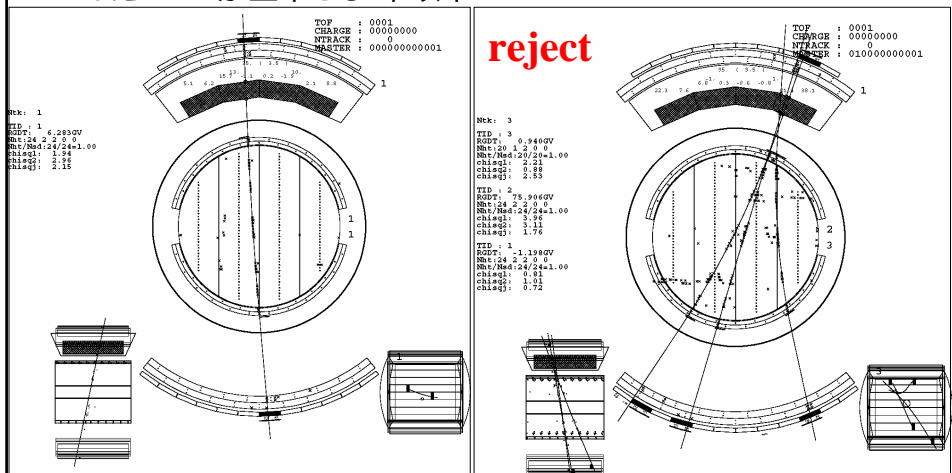
Trigger efficiency

- T0-CD 99.8 % : ビームテストから求められている
- Aerogel trigger: 測定中のT0-CD event を用いて計算



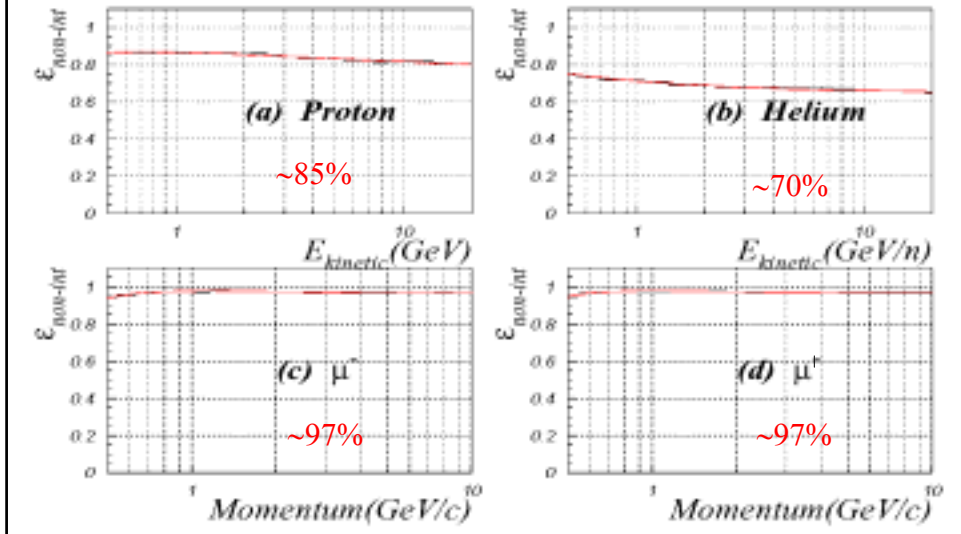
□ Non-interacted event selection

- 測定器内部で相互作用したevent をカットする
- ✓ JET/IDCでのトラックの数が1本 ✓ トラックが hit したTOF を通過する
- ✓ Hit した TOF が上下とも2本以下



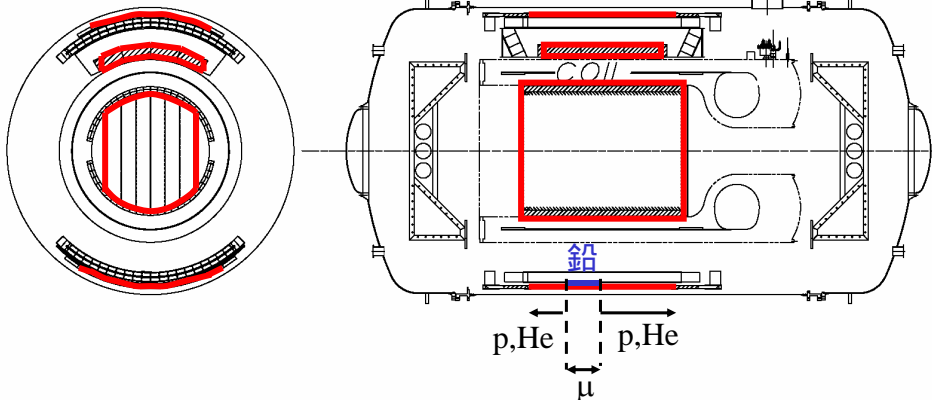
Efficiency for “non-interacted event selection”

- Monte Carlo simulation (GEANT)を用いて計算する



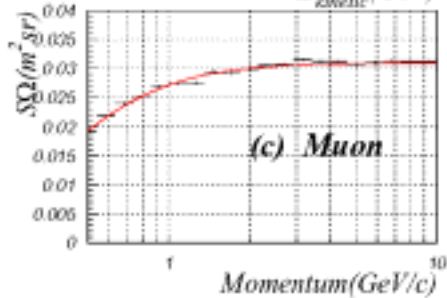
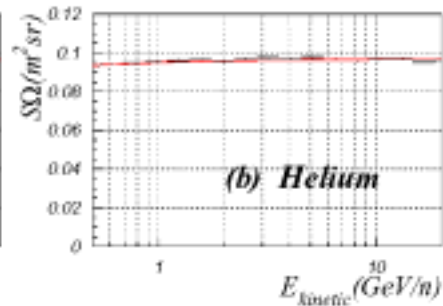
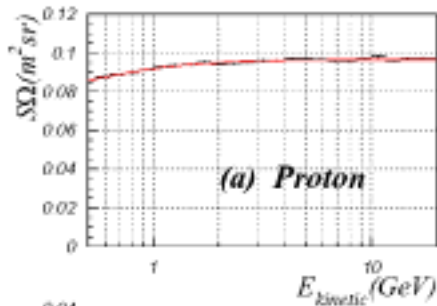
□ Fiducial volume

- 各測定器の十分な精度が出る領域を通過した event を選ぶ
- Vertical flux を求める $\cos \theta_{\text{zenith}} \geq 0.9$



Geometrical acceptance $S\Omega(\text{m}^2\text{sr})$ が決まる

$S\Omega$ for each particle

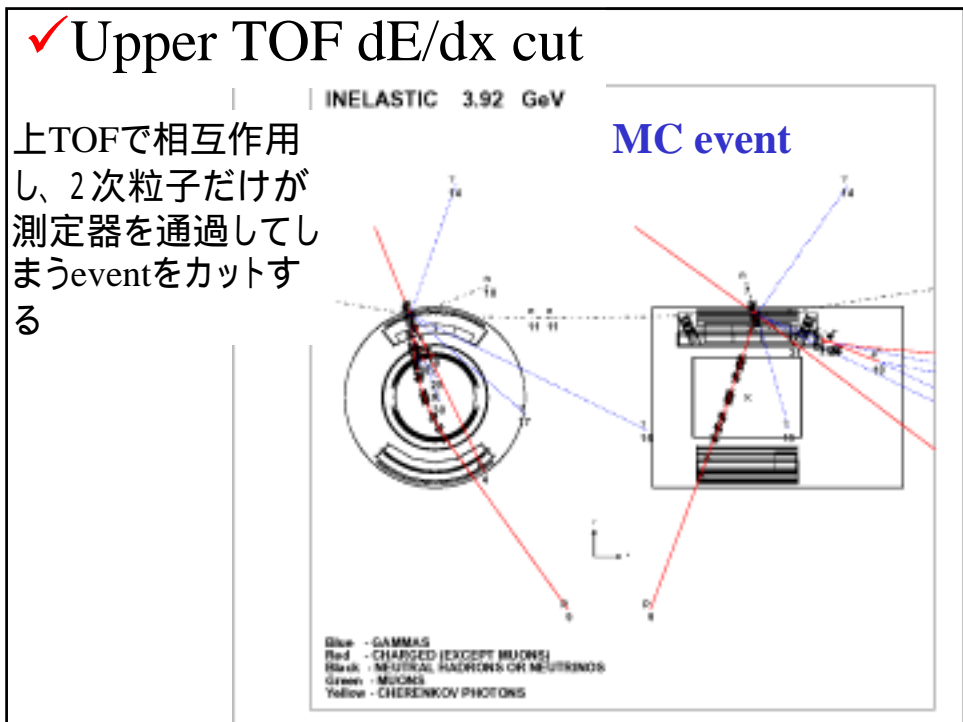
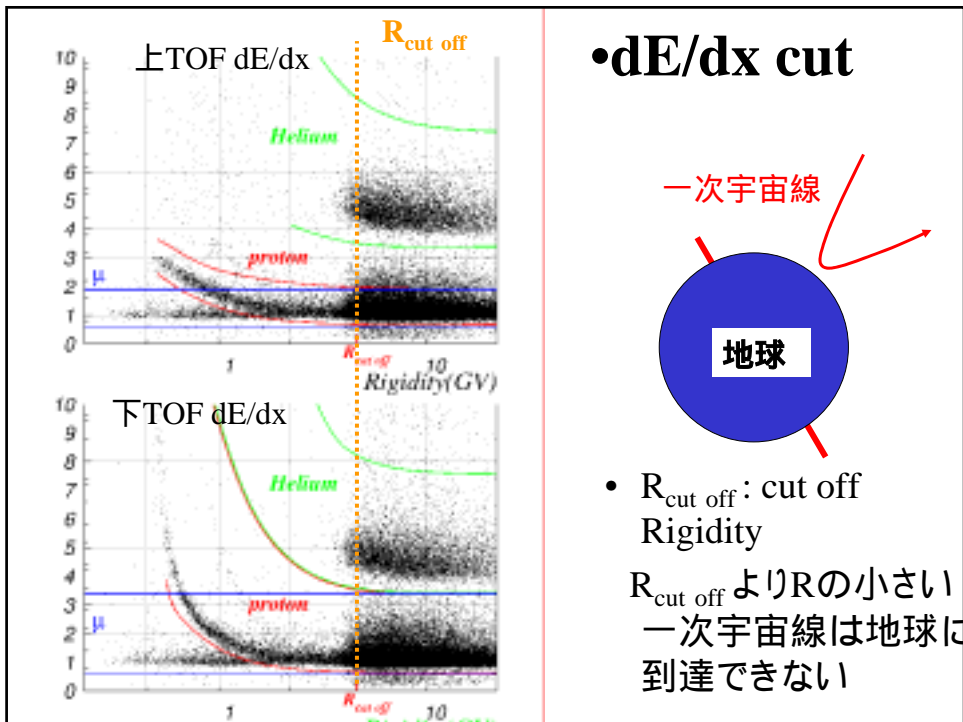


- Non-interacted event efficiency 同様 MC simulation (GEANT) を用いて計算する

□ Particle identification

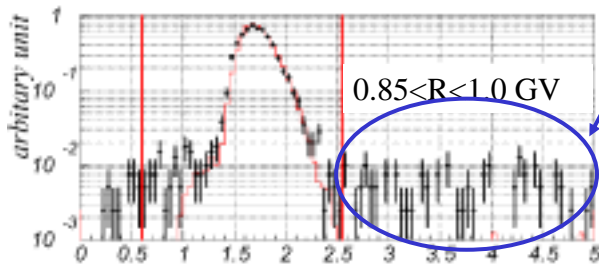
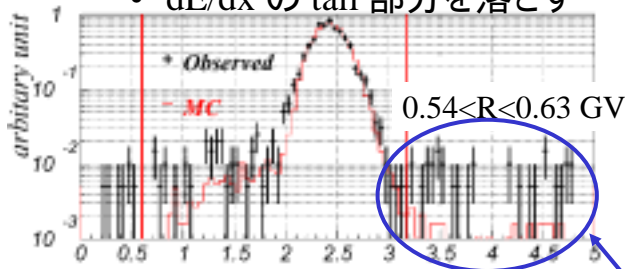
- 上下のTOFでの dE/dx を用いて粒子の電荷を識別する
- $1/\beta$ から粒子の質量の識別を行う

→ 各粒子を識別する



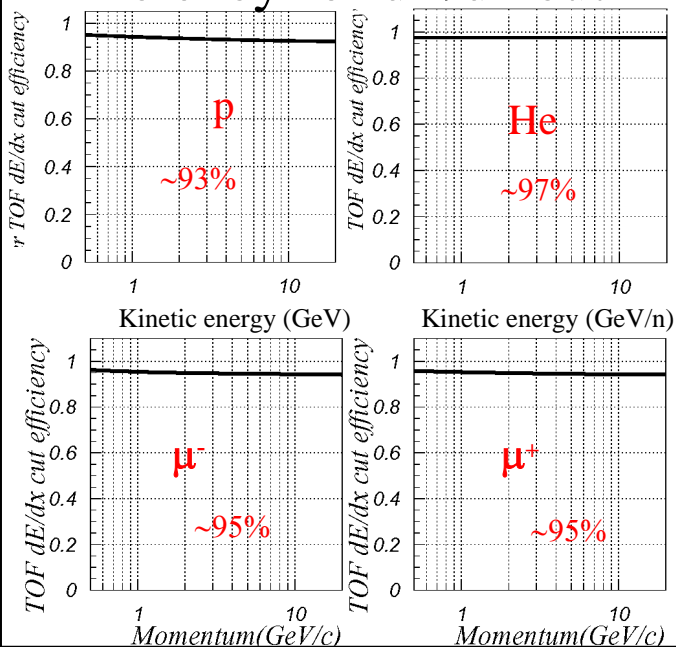
Upper TOF dE/dx cut

- dE/dx の tail 部分を落とす



Interaction event

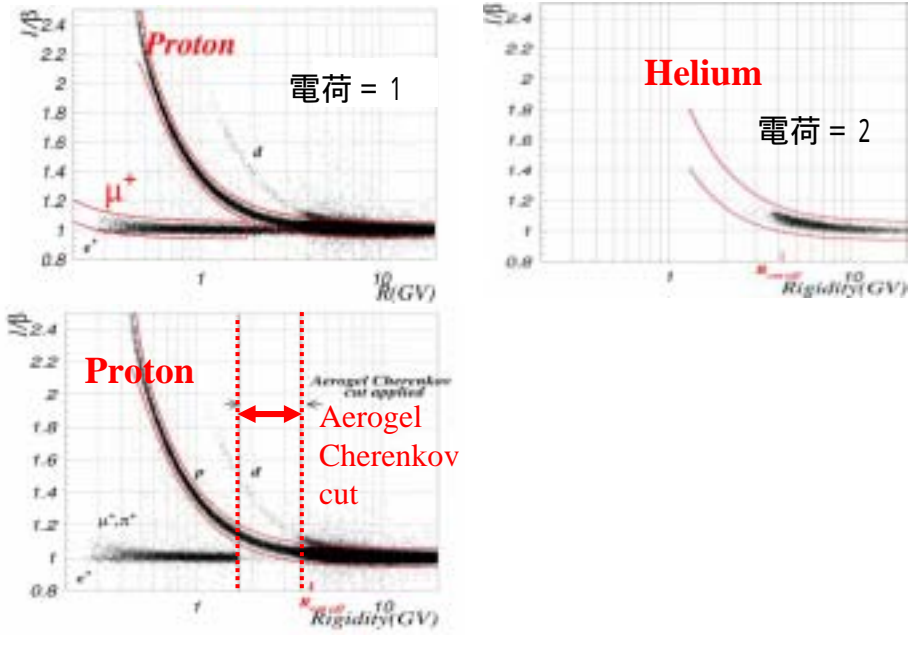
Efficiency for dE/dx cut



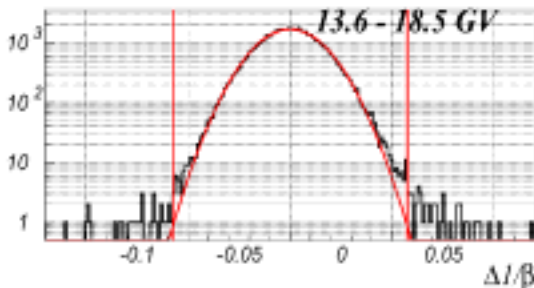
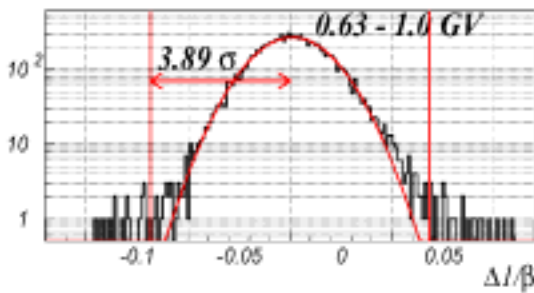
● JETでのdE/dxを含む独立のcutで選び出したeventを用いて計算する

• $1/\beta$ cut

dE/dx cut で電荷を選んだ後の分布



Efficiency for $1/\beta$ cut



- $1/\beta$ の分布はきれいなGauss分布になる
- Cut の境界は 3.89σ に設定されているので cut efficiency は 99.99 % と見積もられる。

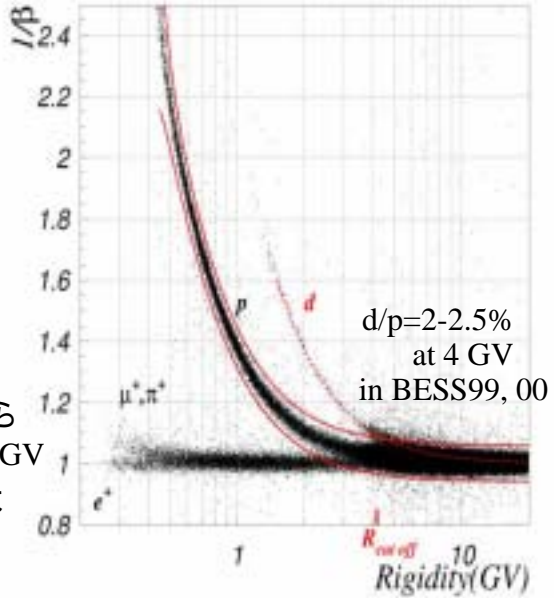
Backgrounds

Background in Protons

- ◆ Deuterons
- ◆ Positrons and muons

Deuteron

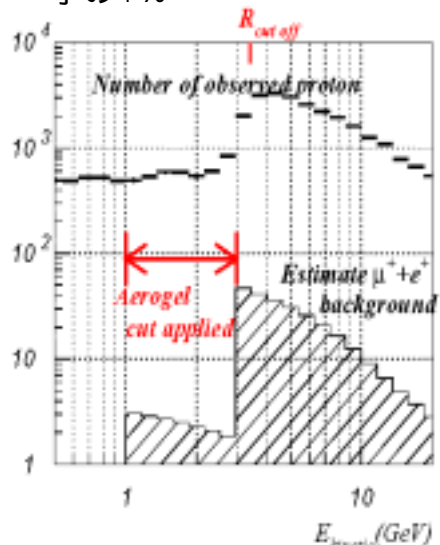
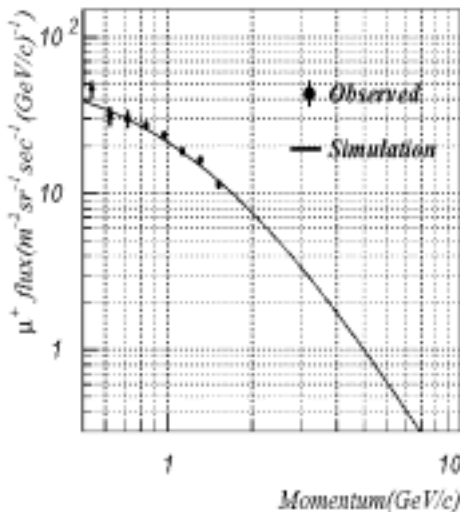
- Rcut off 以下 secondaryは識別可能
- Rcut off 以上 primaryは識別不可
- BESS99、2000データから Primary $d/p=2-2.5\%$ at 4GV
- スペクトラムへの補正は行わない



Background $\mu^+ + e^+$ in protons

1.7 GeV/c までの μ^+ flux を使って
20 GeV までの $\mu^+ + e^+$ の数を見積もる

見積もられた数は最大で陽子の4%



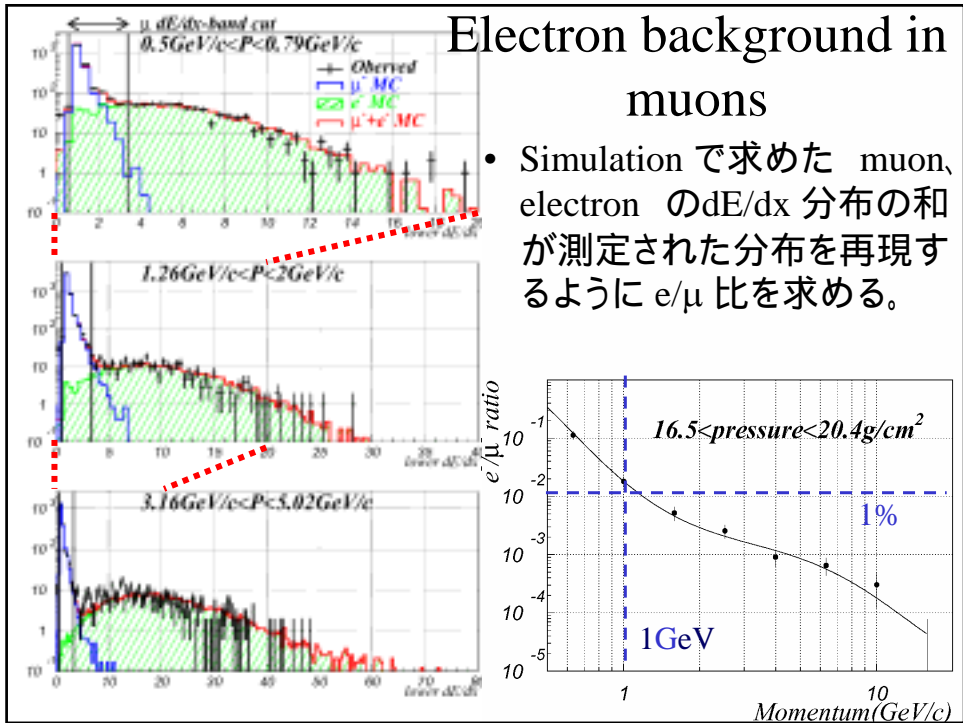
Background in Helium nuclei

- ◆ 上下のTOFでの dE/dx によりはっきりと識別される
- ◆ 最も数が多いprotonからのなだれこみも 10^{-4} 程度。
- ◆ Helium に対して background の補正は不要

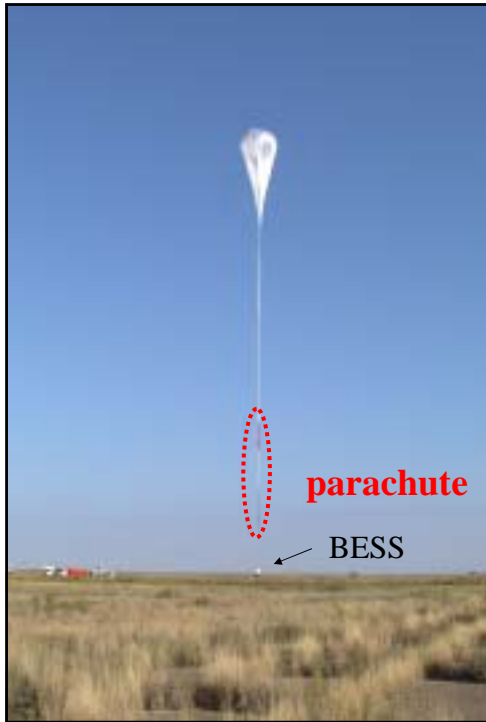
Background in Muons

- ◆ Pions
 - ◆ 質量が非常に近いので $1/\beta$ で識別できない
 - ◆ 補正は行っていない fluxは π を含んでいる
~2% at 1 GeV/c ~4% at 3GeV/c
- ◆ Electrons and positrons
- ◆ Particles from the parachute

Electron background in muons

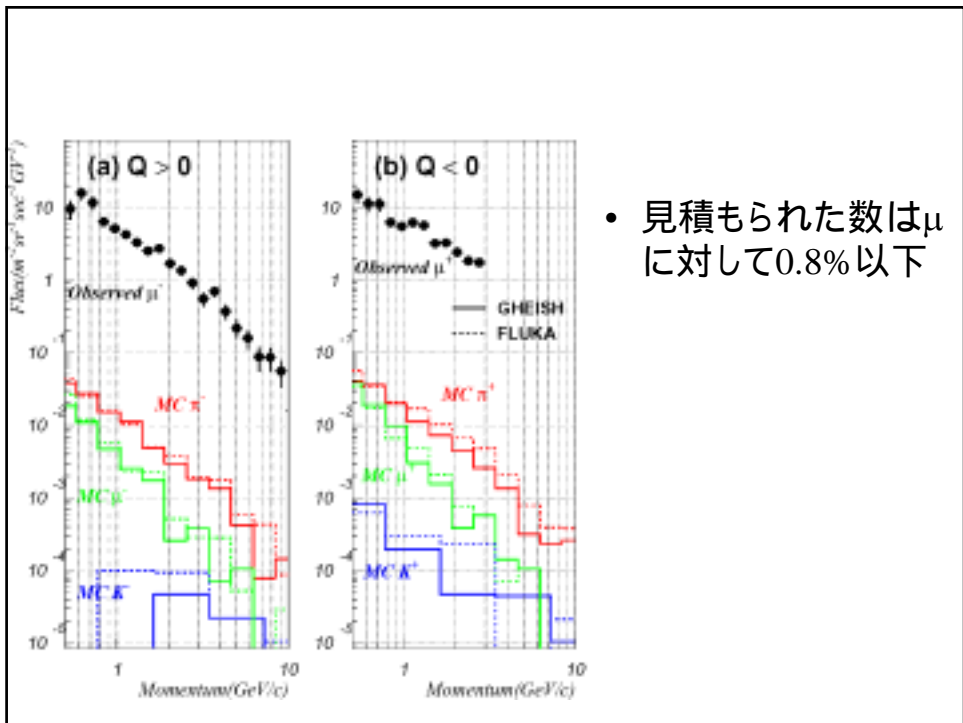


- Simulation で求めた muon, electron の dE/dx 分布の和が測定された分布を再現するように e/μ 比を求める。



π , K, μ produced in the parachute

- 測定器から見た角度は小さいが物質質量が大きい
- Simulation を使ってどれくらいの粒子が作られているか見積もった



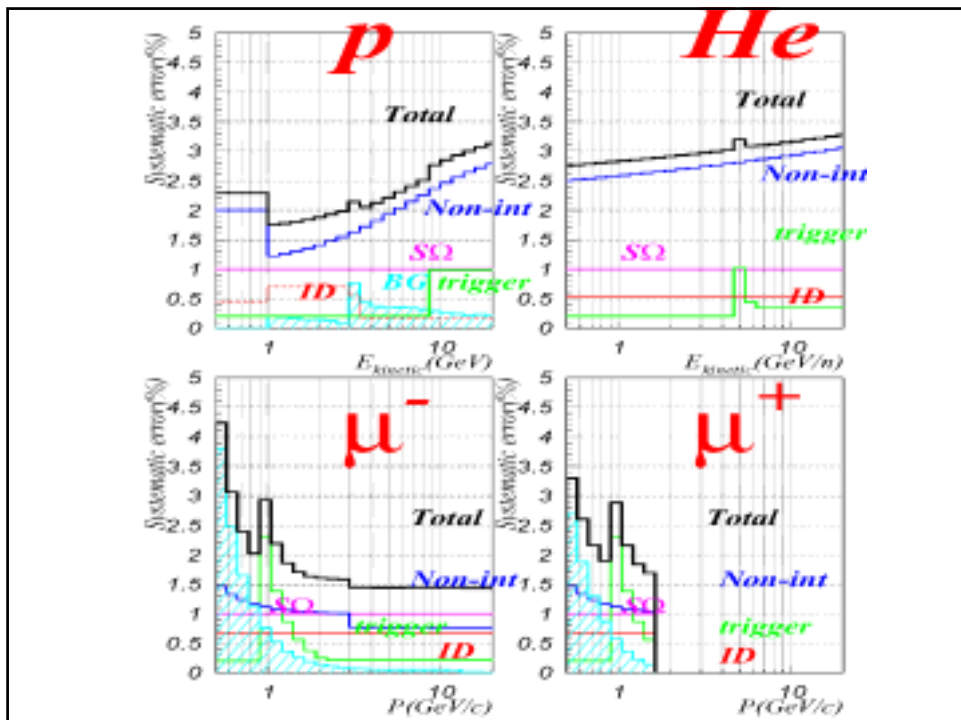
□ Error estimation

$$\left| \frac{\Delta F}{F} \right|^2 = \left| \frac{\Delta N_{obs}}{N_{obs}} \right|^2 + \left| \frac{\Delta(S\Omega)}{S\Omega} \right|^2 + \left| \frac{\Delta T_{Live}}{T_{Live}} \right|^2 + \left| \frac{\Delta \mathcal{E}_{trig}}{\mathcal{E}_{trig}} \right|^2 + \left| \frac{\Delta \mathcal{E}_{non-int}}{\mathcal{E}_{non-int}} \right|^2 + \left| \frac{\Delta \mathcal{E}_{id}}{\mathcal{E}_{id}} \right|^2 + \left| \frac{\Delta N_{BG}}{N_{BG}} \right|^2$$

- ほとんどのエネルギー領域で最も大きいのは第一項の統計誤差
 - 陽子 ~5%
 - ヘリウム ~7%
 - μ ~15%

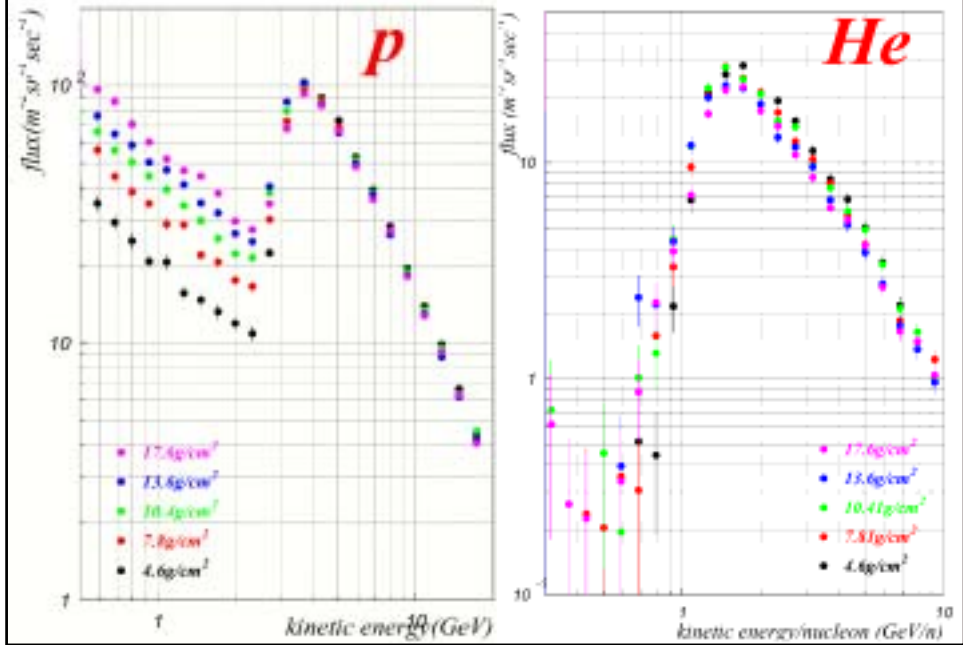
見積もられたsystematic error

	p	He	μ
$\Delta S\Omega$ 組み立て時のTOF位置の精度から	1%	1%	1%
ΔT_{live} 実験中高精度で測定されている	$\sim 0\%$	$\sim 0\%$	$\sim 0\%$
$\Delta \varepsilon_{trig}$ T0-CD はビームテストから agel trig はT0-CD event の統計から	0.2% 0.6%	0.2% 1.2%	0.2% 0.6%
$\Delta \varepsilon_{non-int}$ simulation と測定データの cut に用いたパラメーター分布のずれから	$\sim 2\%$	$\sim 3\%$	$\sim 1\%$
$\Delta \varepsilon_{id}$ sample events の統計から	0.2~ 0.8%	0.6%	0.6%
ΔN_{BG} BG計算でのfitting等からくる誤差	0.1~ 0.7%	0%	0.1~ 4%

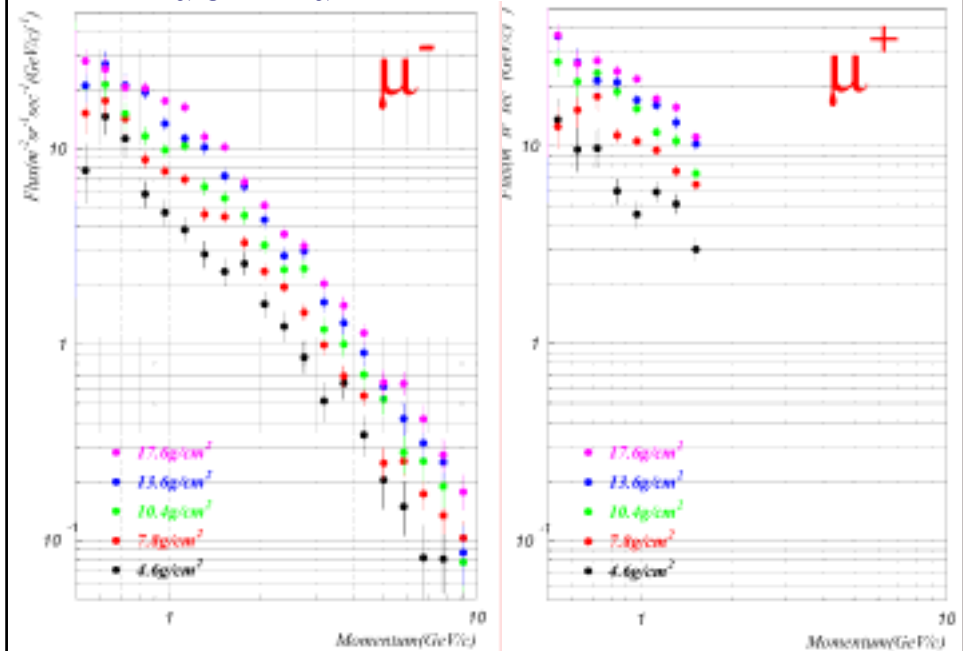


結果

proton and helium flux

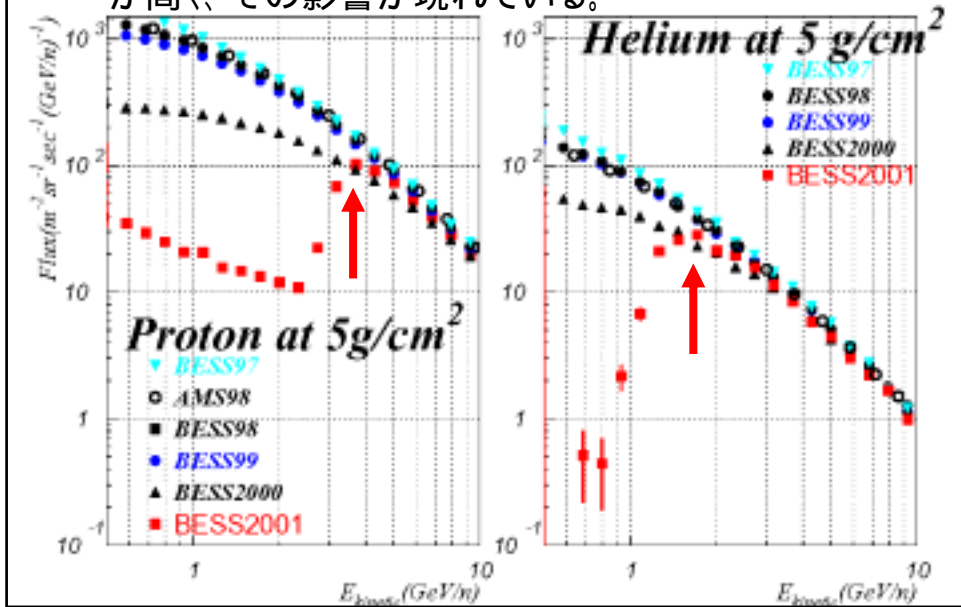


Muon flux

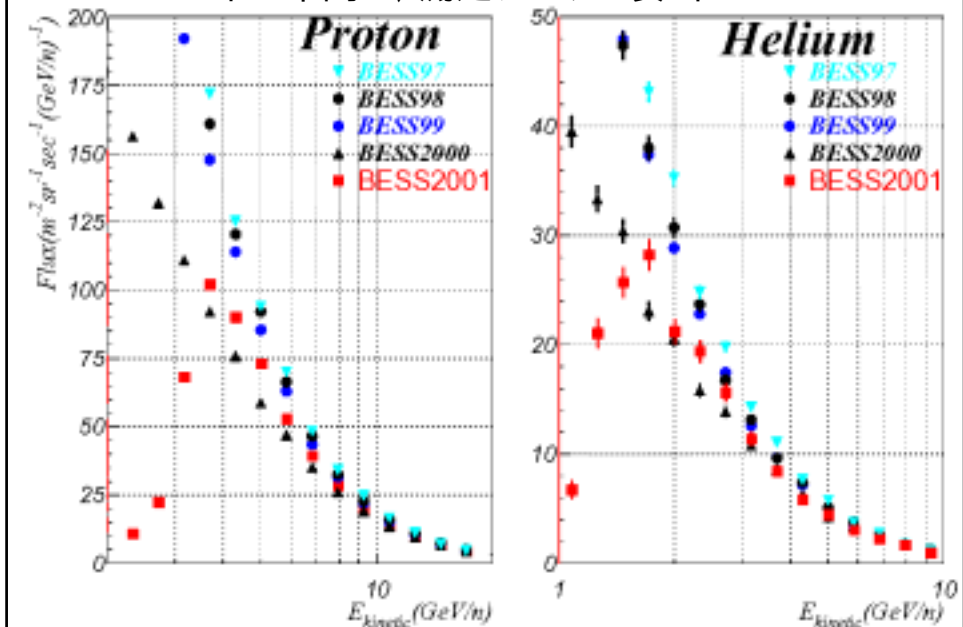


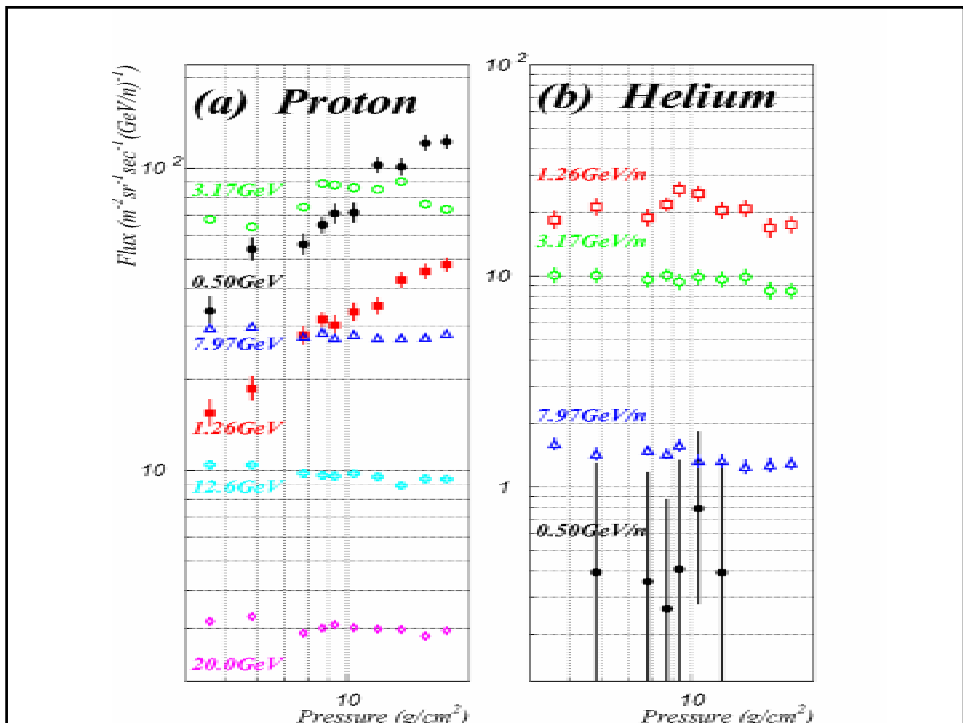
□ Proton Helium flux at $\sim 5\text{g/cm}^2$

- BESS2001 は過去のBESS,AMSより測定地の $R_{\text{cut off}}$ が高く、その影響が現れている。



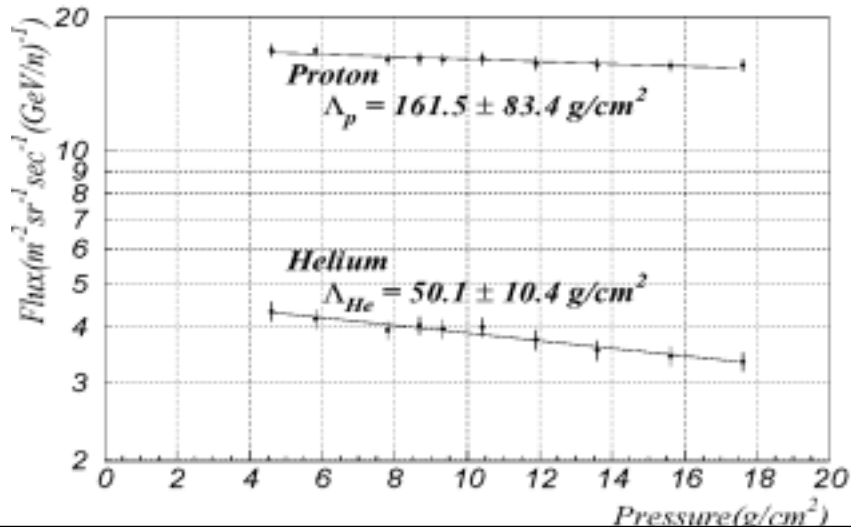
- 太陽活動から予想される primary 流束は 99 と 2000年の中間で、測定データは妥当

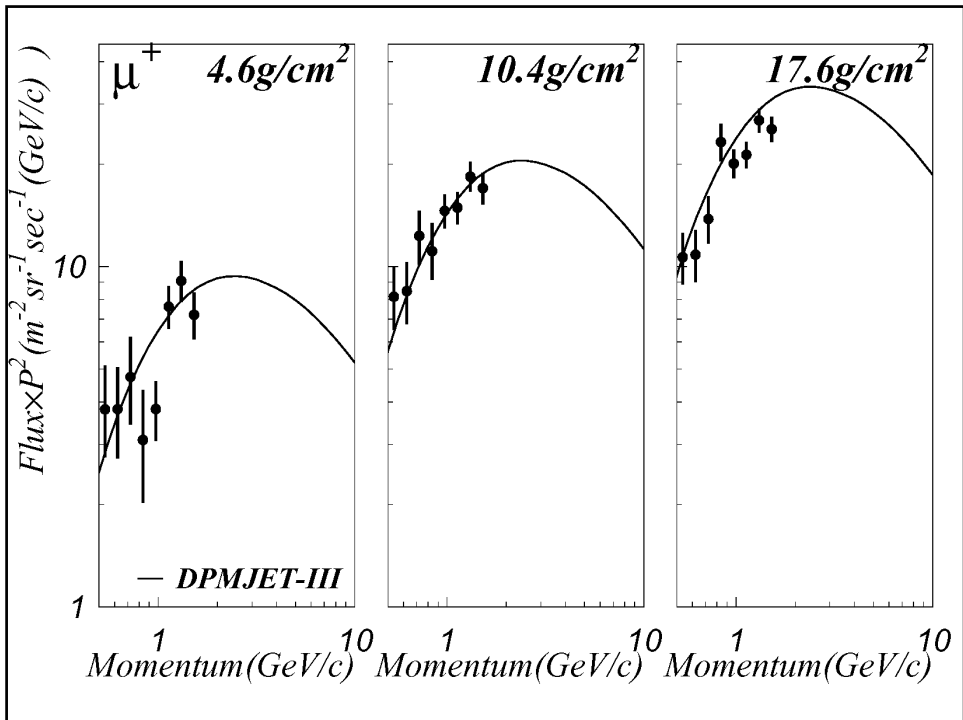
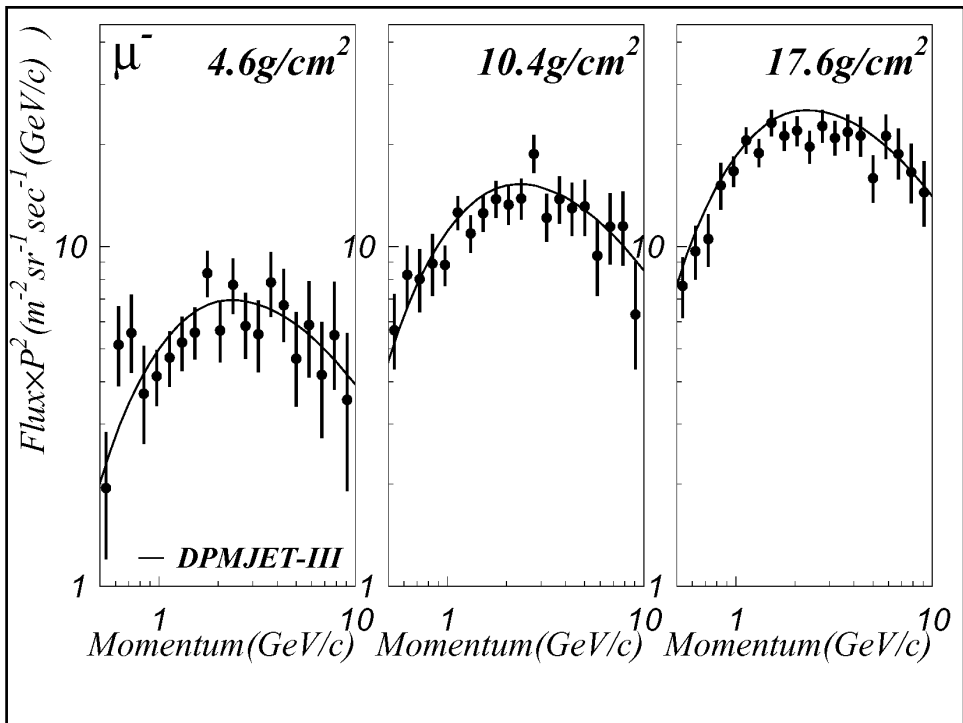


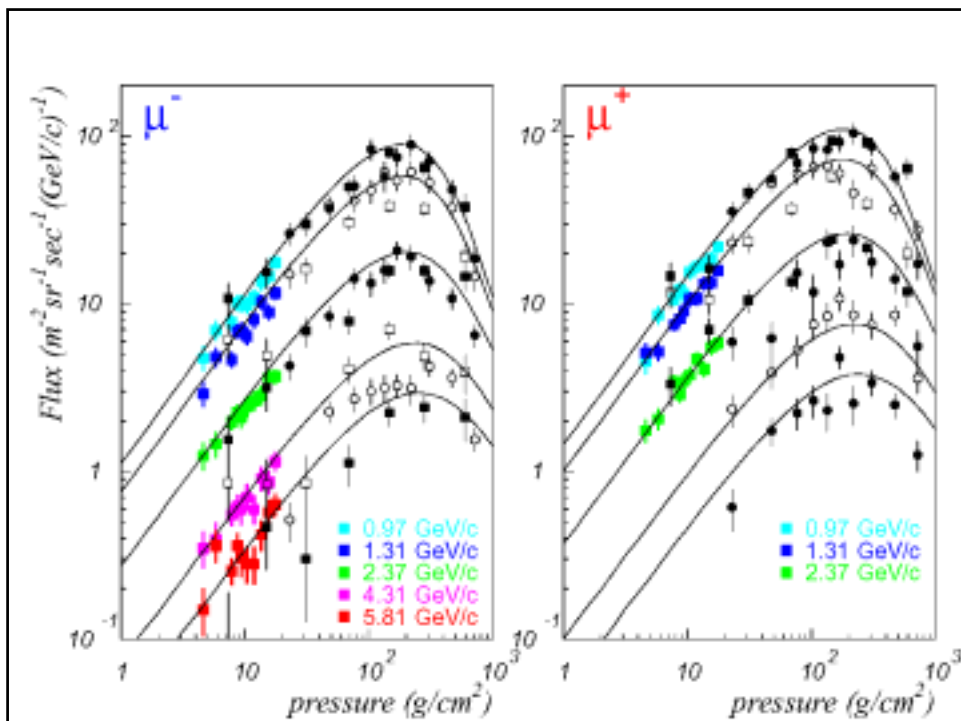
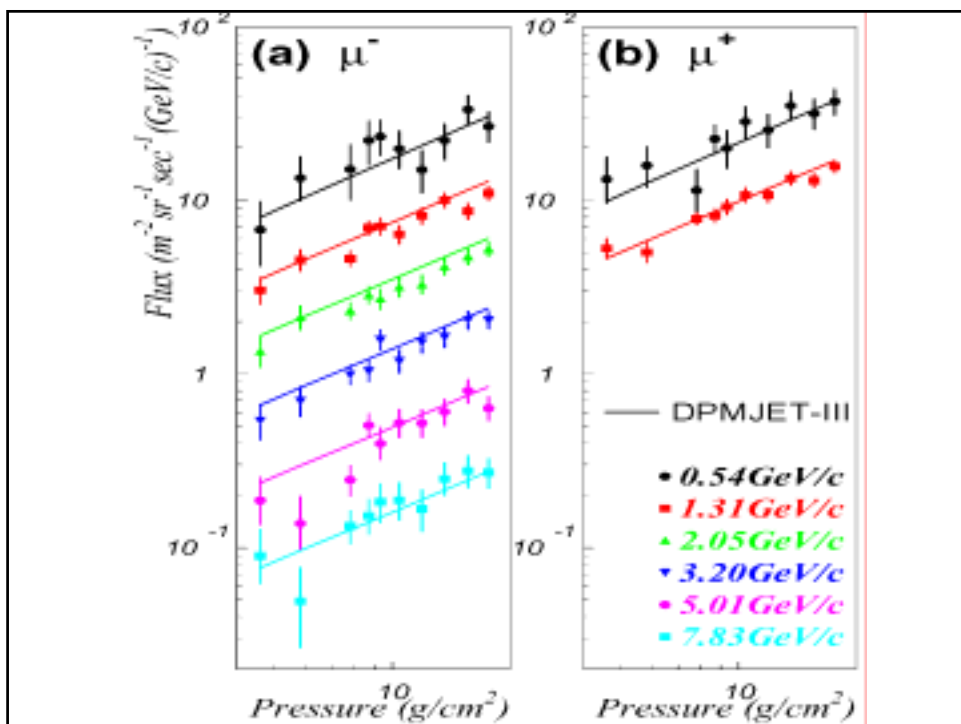


Attenuation length (Λ) of proton and helium

$$F = F_0 \times \exp(-\text{pressure}/\Lambda)$$







口まとめ

- BESS2001 実験はアメリカニューメキシコ州フォートサムナーで行われた
- 測定中高度が変化し続け4.5g/cm² から 20g/cm² の大気圧領域で μ 、陽子、ヘリウムの精密な流束を測定することができた
- 求められた陽子、ヘリウム流束はcut off rigidity attenuation、太陽活動の影響などからの予想と矛盾しない結果が得られた。
- Simulation における相互作用を議論できる精密な μ 流束を初めて得ることができた。
- ここで得られた陽子ヘリウム等のデータを使えばさらにシミュレーションを精密にし相互作用の効果を調べることができる