

2009年度 宇宙史拠点実習LHC-ALICE班の成果報告会  
『LHC-ALICE実験における  
Event Displayによる観測と荷電粒子の解析』

目次

1. 実習期間中に行ったこと
2. 研究目的
3. CERN
4. LHC
5. ALICE
6. 現在の実験
7. Event Display 数種類の例
8. 解析結果
9. まとめ

所属:筑波大学大学院 数理物質科学研究科 物理学専攻 宇宙観測研究室  
前橋 秀紀

滞在期間:2010年3月4日から23日まで。

発表日:2010年3月22日

# 宇宙史拠点実習で行ったこと

3月

- 4日深夜: CERN到着
- 5日: CERNユーザー登録、Securityテストを合格
- 8日～: lxplus上でAliEveを用いてeventを視覚化  
自分のパソコンにALICE解析環境を導入しようとした
- 10～12日: The Dark Side of the Universe (セミナー)
- 11日: 自分のパソコンにALICE解析環境を導入成功
- 15日: ATLAS見学
- 16日～: マクロを用いて、荷電粒子多重度、荷電粒子生成断面積の解析開始
- 17日: ALICE見学
- 18日: CERN Heavy Ion Forum (セミナー)
- 22日21時～: 最終発表
- 23日午前: CERNから去る予定

# 研究目的

- ALICEpp900GeVのデータを及びシミュレーションデータをEvent Displayを用いて、視覚的に解析及び理解する。
- ALICEpp900GeVのデータを用いて、荷電粒子多重度及び荷電粒子生成断面積を導出する。

# CERN



- 英語: European Organization for Nuclear Research
- フランス語: Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire
- 日本語: 欧州原子核研究機構

ジュネーブ近くのスイスとフランスの国境にまたがって位置する国際共同研究機関

## 力の解明

重力 (graviton?)  
弱い相互作用 (W and Z boson)  
電磁力 (photon)  
強い相互作用 (gluon)

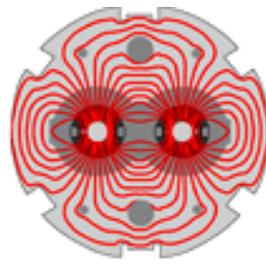
物質の根源の探索

質量の謎の解明 (Higgs)

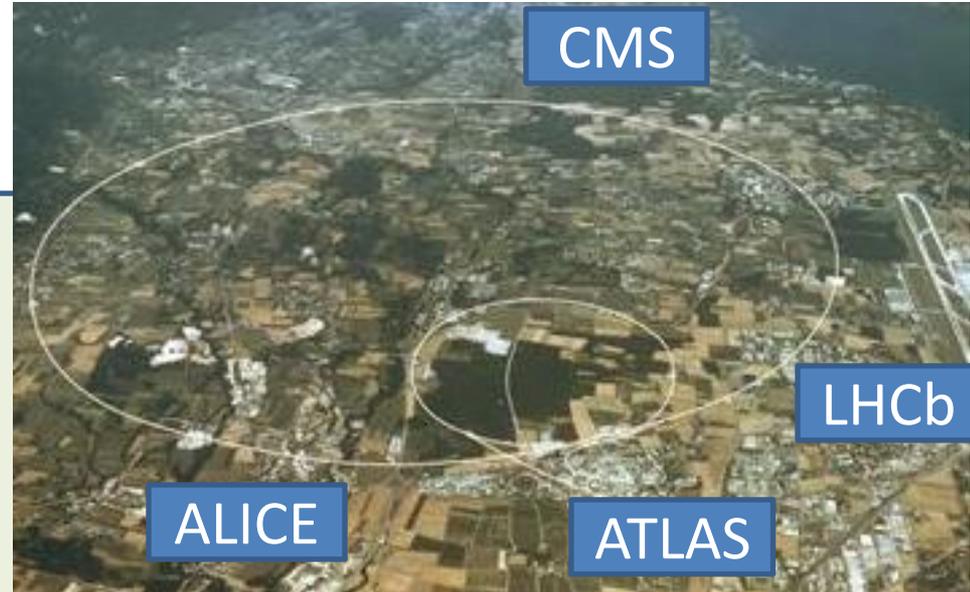
宇宙誕生の瞬間の探索

ダークマターの探索

# LHC



- 英語: The **L**arge **H**adron **C**ollider
- 1周27kmの加速器 深さ50m-150m
- 陽子・陽子または鉛イオン・鉛イオンの正面衝突
- 衝突の最高重心系エネルギー ( $\sqrt{s}$ ) =
  - 14TeVで設計 (pp)
  - 5.5TeVで設計 (PbPb)
- 2009年12月に2360GeV達成  
(ppで世界最高エネルギー)



## 予定

今年・・・900GeV (pp) の後、  
7TeV (pp) 開始

2010年秋以降・・・PbPb衝突

2011年秋以降・・・PbPb衝突

2011年PbPb衝突以降・・・Shutdown

# ALICE

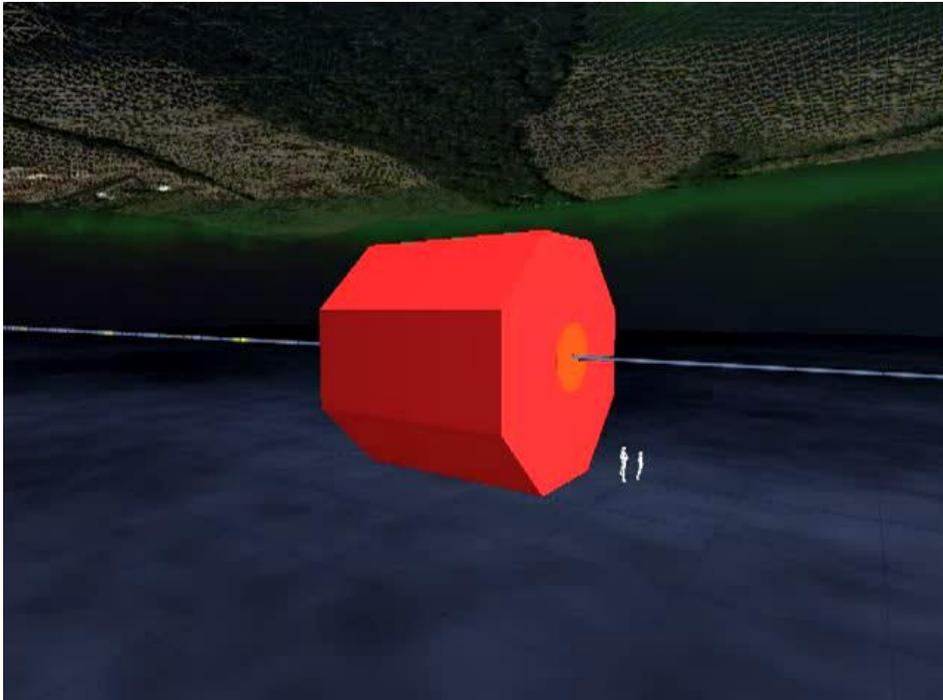


- 英語: **A** Large Ion **C**ollider **E**xperiment
- 31カ国、111機関、1000人以上が参加
- 量子色力学の予想 (lattice-QCDの計算)  
高温、高密度状態でquarkとgluonが閉じ込めから解放される
- 鉛イオンの正面衝突 (ほぼ光速)  
高温、高密度状態を達成  
Big Bang直後の  $10^{-5}$ sを再現
- quarkとgluonが自由に動き回る状態  
quark-gluon plasma (QGP)を作りその性質を調べる  
→宇宙誕生直後の様子を知る。

# ALICE

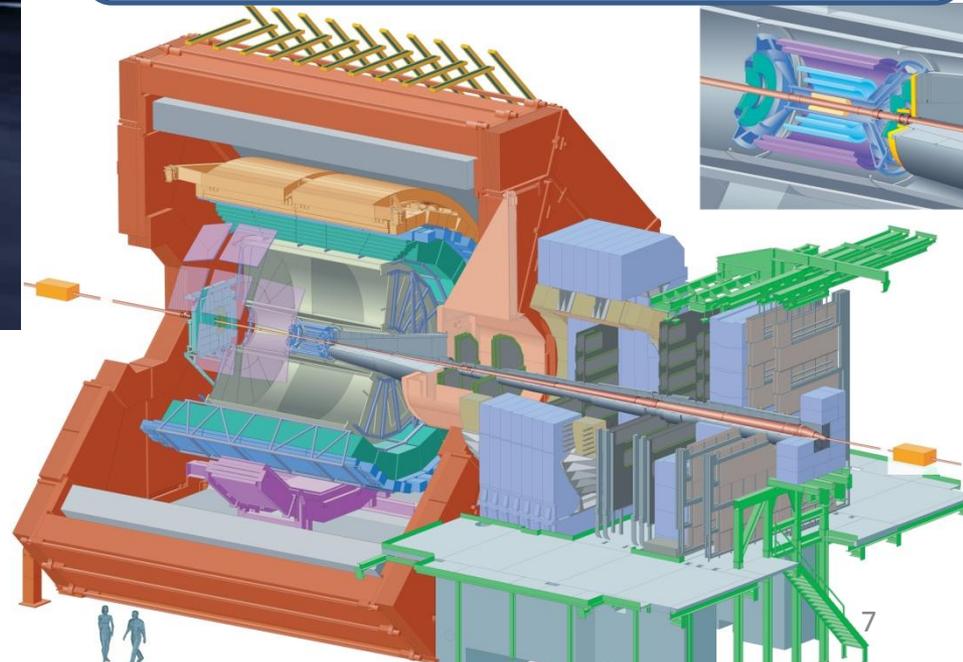


## 鉛イオン・鉛イオンの衝突アニメーション



重さ: 10000t  
高さ: 16m  
長さ(奥行): 26m

粒子衝突の生成物を捕まえる  
検出器群



# ALICE検出器



3D表示

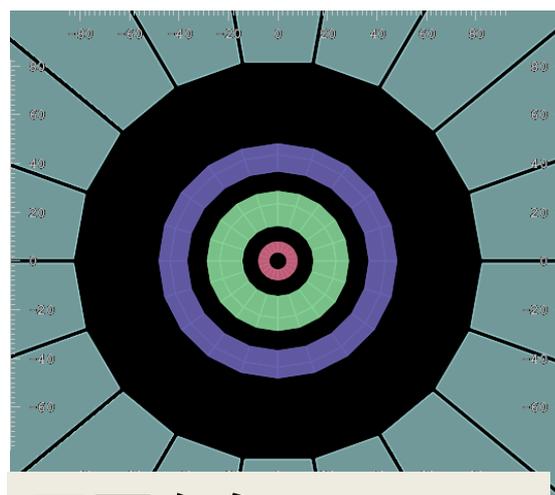
ITS (Inner Tracking System)  
飛跡検出器  
粒子の生成点を見つける。

SPD (Silicon Pixel Detector)

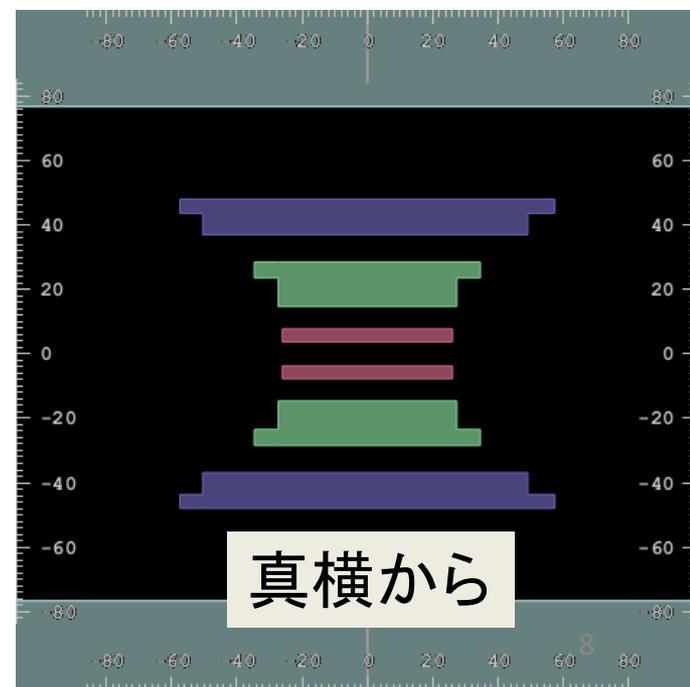
SDD (Silicon Drift Detector)

SSD (Silicon Strip Detector)

3D表示



正面から  
ビーム軸方向から



真横から

# ALICE検出器



EMCAL (Electro-Magnetic CALorimeter)  
e、 $\gamma$ を捕まえて、エネルギーを測る。光子・jet物理の探索。

HMPID (High Momentum Particle IDentification)  
チェレンコフ光の測定で $\pi$ 、K、pの識別

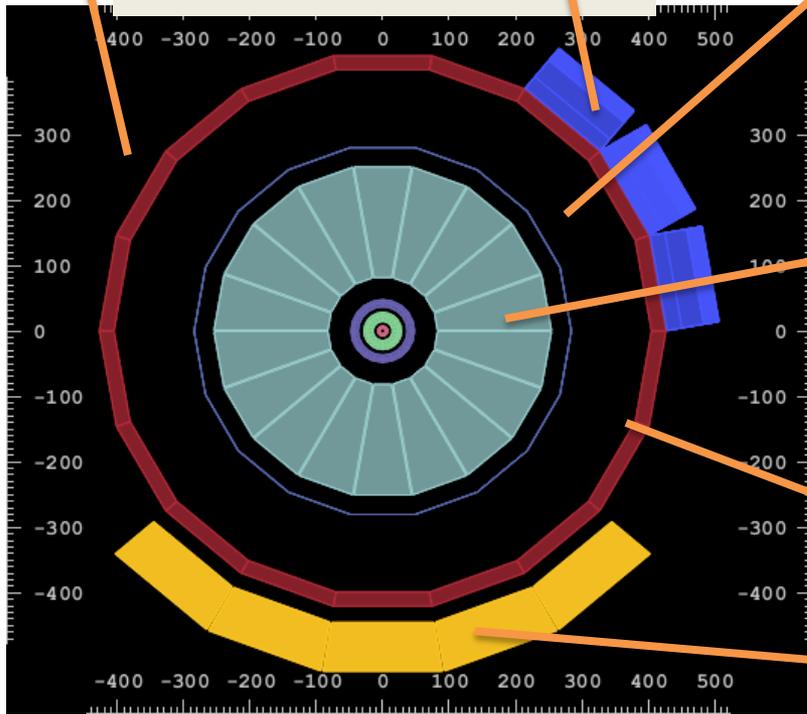
正面から  
ビーム軸方向から

TRD (Transition Radiation Detector)  
Xe : CO<sub>2</sub> = 85 : 15  
eを識別

TPC (Time Projection Chamber)  
Ne : CO<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> = 87.5 : 7.5 : 5  
荷電粒子の飛跡とエネルギーを測定  
dE/dxで $\pi$ 、K、p、e、d、He3を識別

TOF (Time Of Flight detector)  
飛行時間の測定で $\pi$ 、K、pの識別

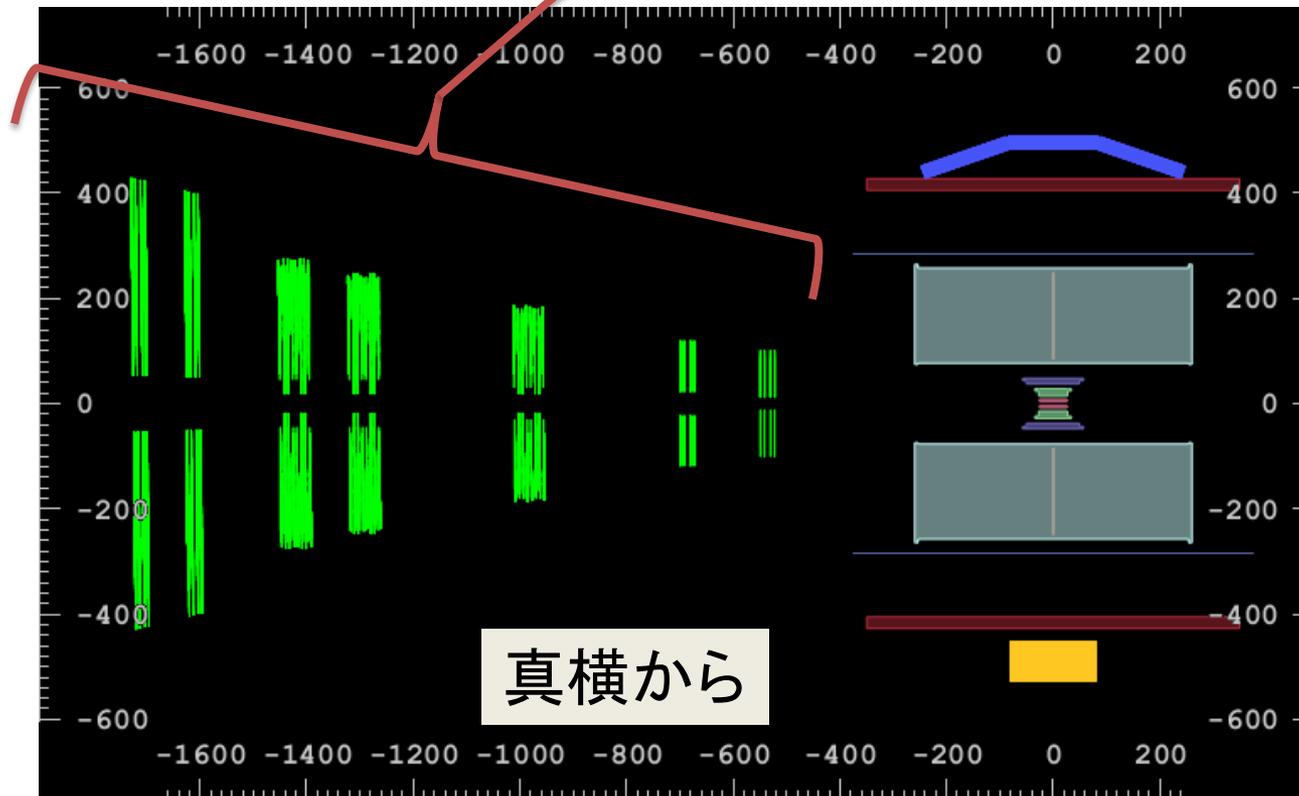
PHOS (Photon Spectrometer)  
光子測定に特化したカロリメーター



# ALICE検出器



Dimuon Spectrometer  
muon-tracker、muon-trigger、muon-wallなど  
 $\mu$ 粒子の検出に用いられる。



# Event Display

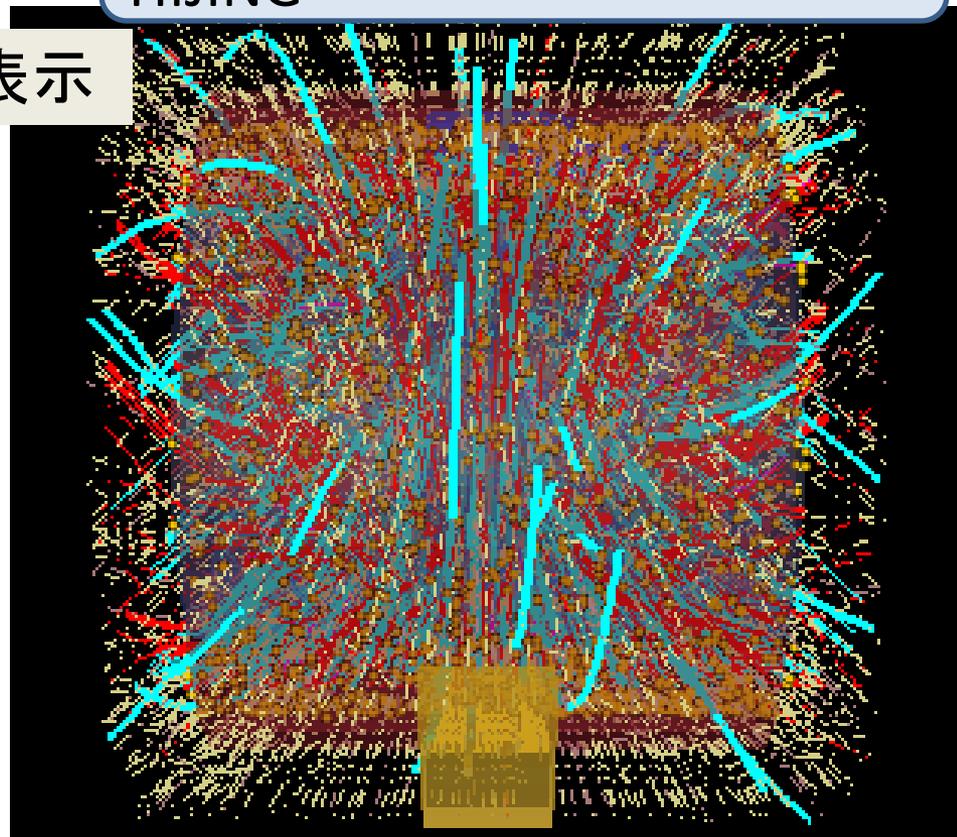
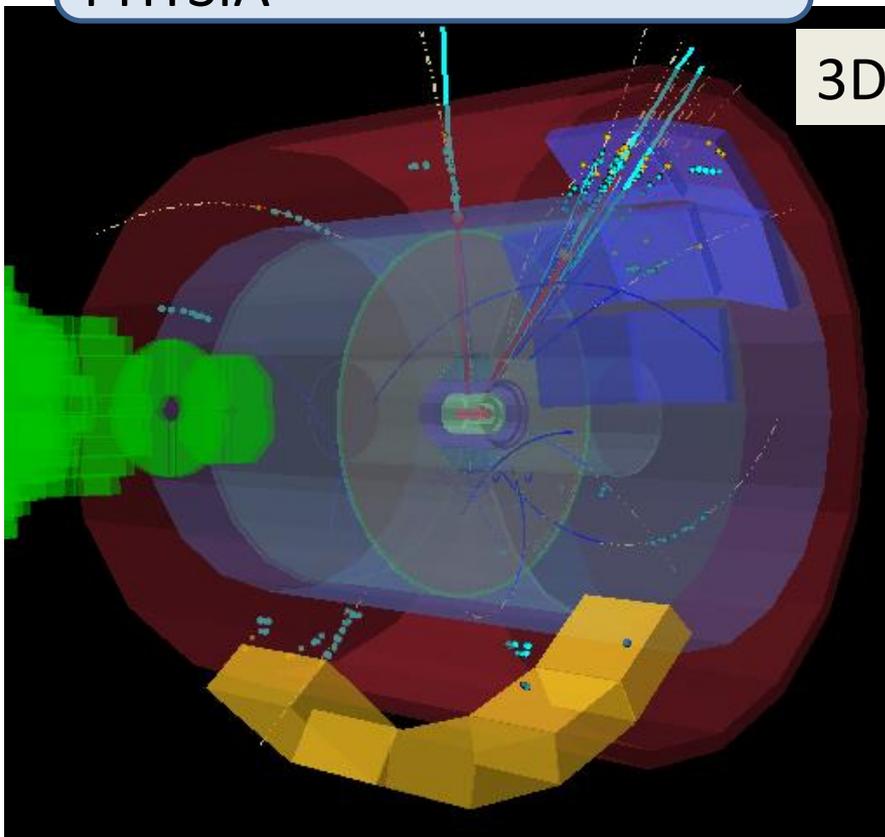
- Event Displayとは・・・
  - 粒子が検出器を叩く。
  - 検出器は、その情報を電気信号で出力する。
  - 電気信号を元に、粒子の性質や飛跡を再構成する。
  - 再構成された情報を視覚的に再現する。
- 再構成した飛跡を見るソフトウェアがEvent Display (AliEve)
  - trackのquality-cutを入れることもできる。
  - 視覚的に解析ができる。
  - 1eventずつ解析しなければいけないことが難点。
- AliEveはAliRootの中で動く
- AliRootは、事象生成シミュレーション＋検出器シミュレーション＋データ再構成の機能を基本とするALICEオフラインフレームワーク。

# Event Display ～AliEve ～の例

pp5.5TeVシミュレーション  
PHYSIA

PbPb5.5TeVシミュレーション  
HIJING

3D表示



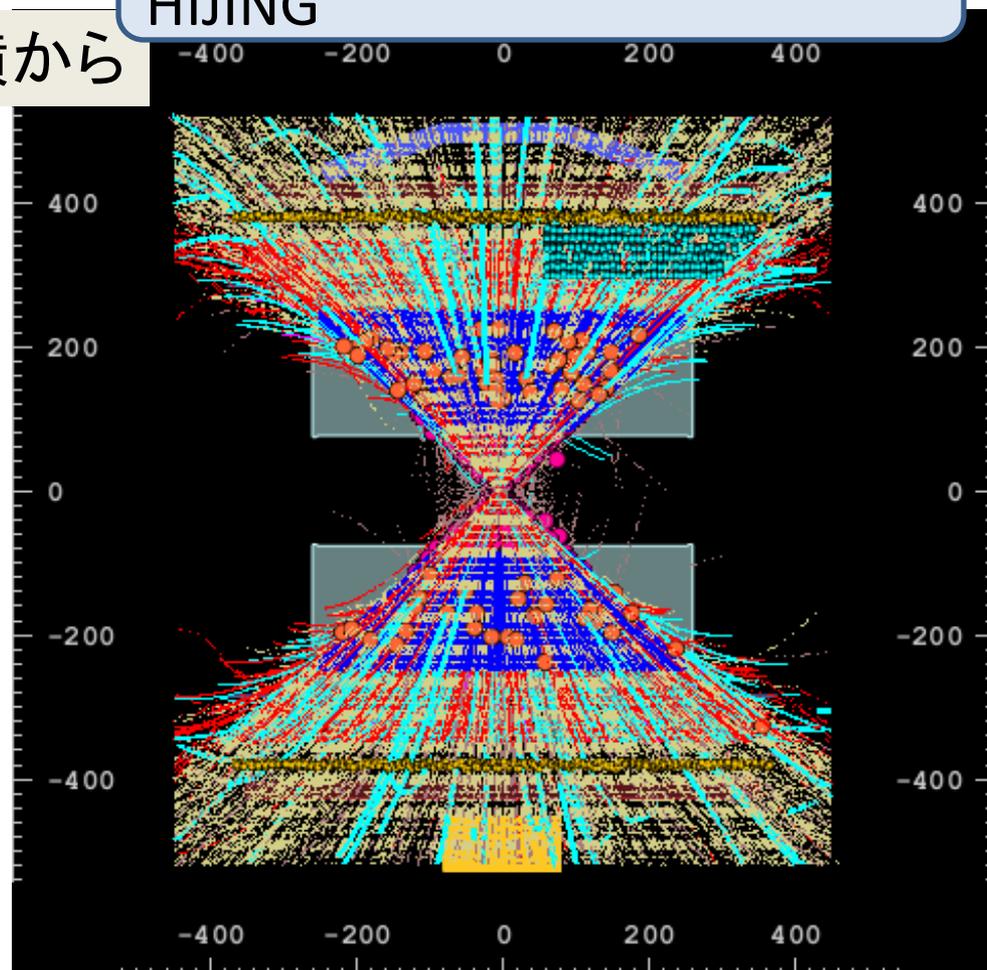
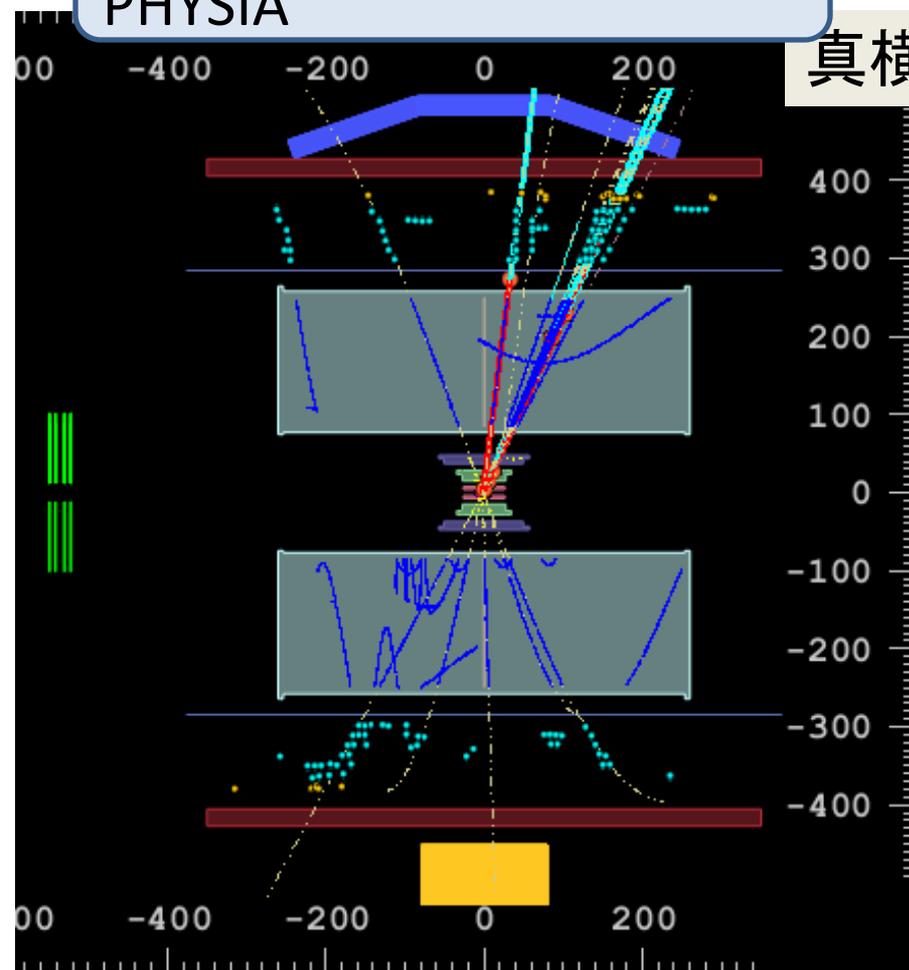
- 核子数の多いPbPb衝突の方が、生成粒子が多いことがわかる

# Event Display ～AliEve ～の例

pp5.5TeVシミュレーション  
PHYSIA

PbPb5.5TeVシミュレーション  
HIJING

真横から

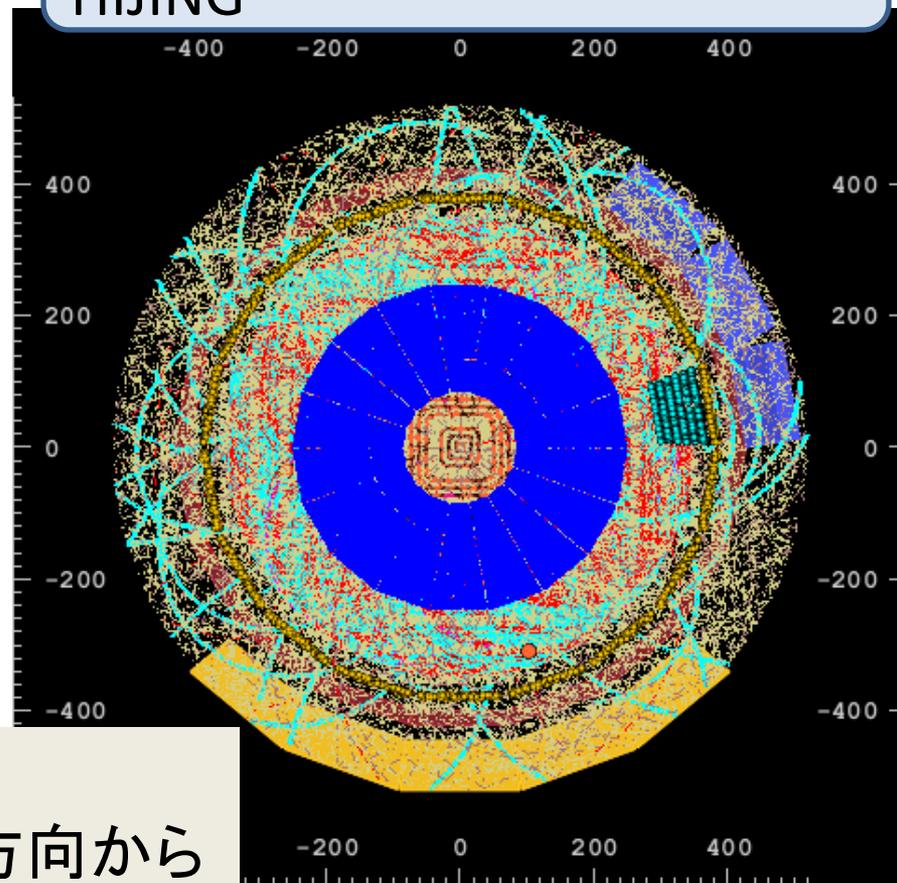
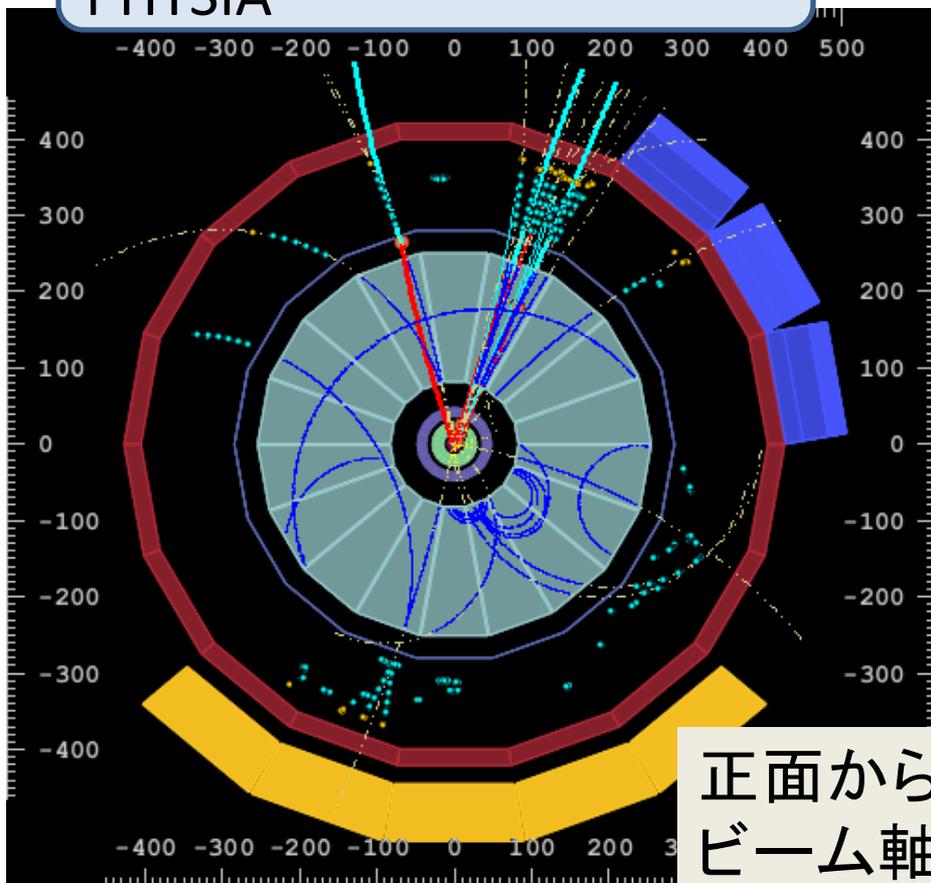


- 核子数の多いPbPb衝突の方が、生成粒子が多いことがわかる<sup>13</sup>

# Event Display ～AliEve～の例

pp5.5TeVシミュレーション  
PHYSIA

PbPb5.5TeVシミュレーション  
HIJING



正面から  
ビーム軸方向から

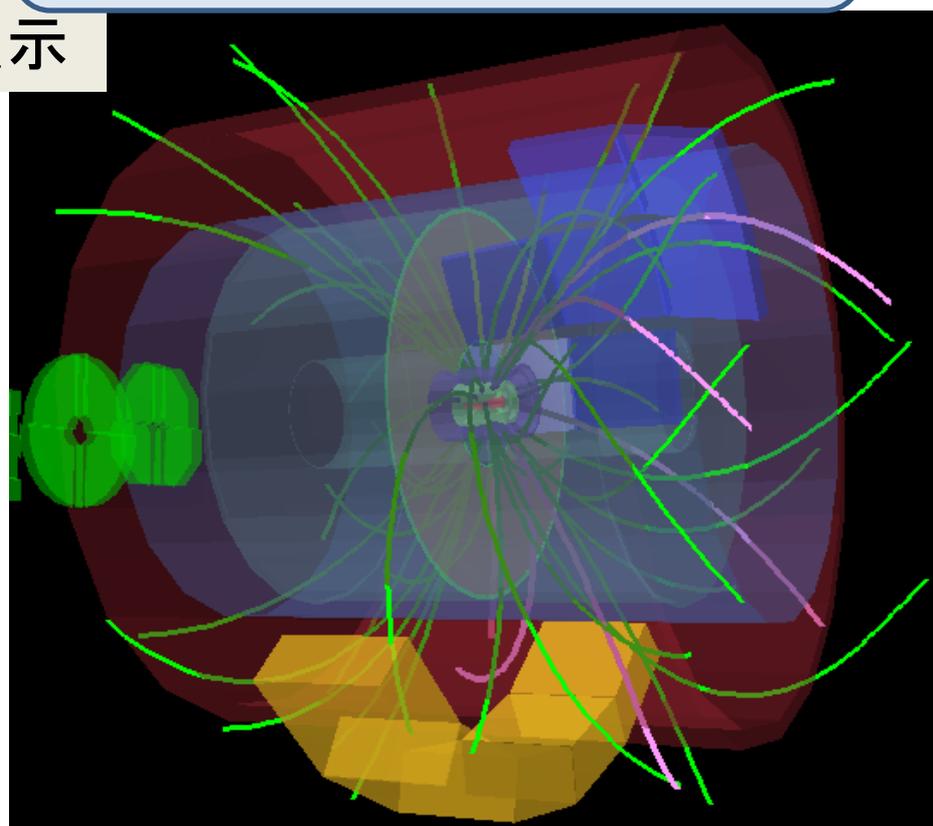
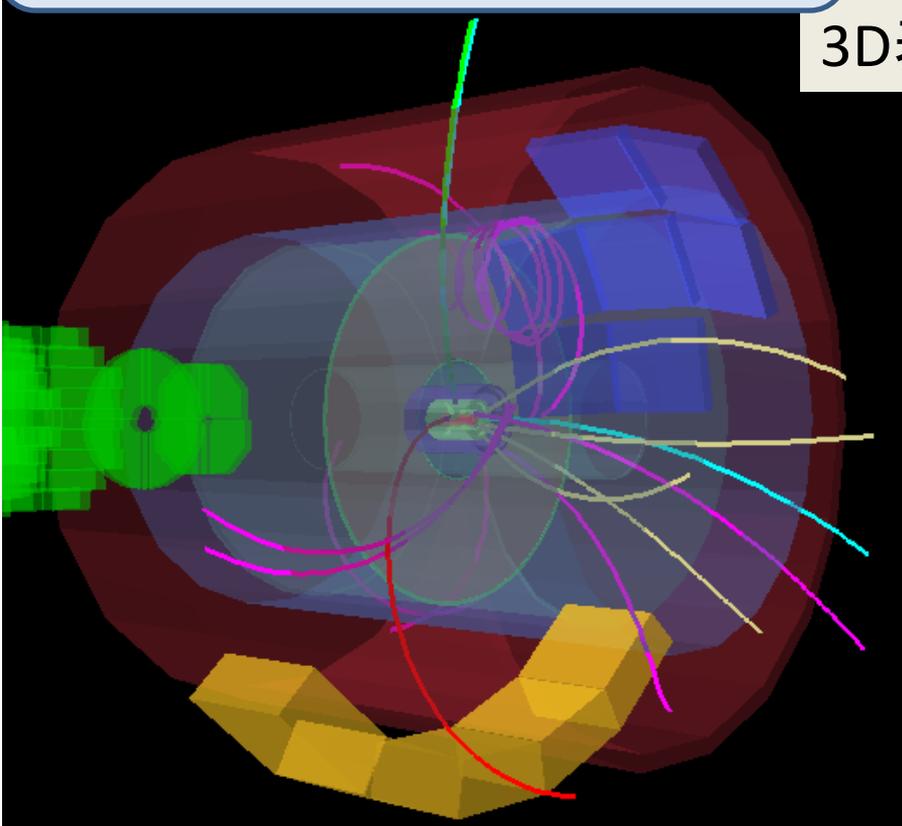
- 核子数の多いPbPb衝突の方が、生成粒子が多いことがわかる

# Event Display ～AliEve～の例

2009年12月12日 pp900GeV  
run number = 104845  
event number = 265

2009年12月14日 pp2.36TeV  
run number = 105057  
event number = 1229

3D表示



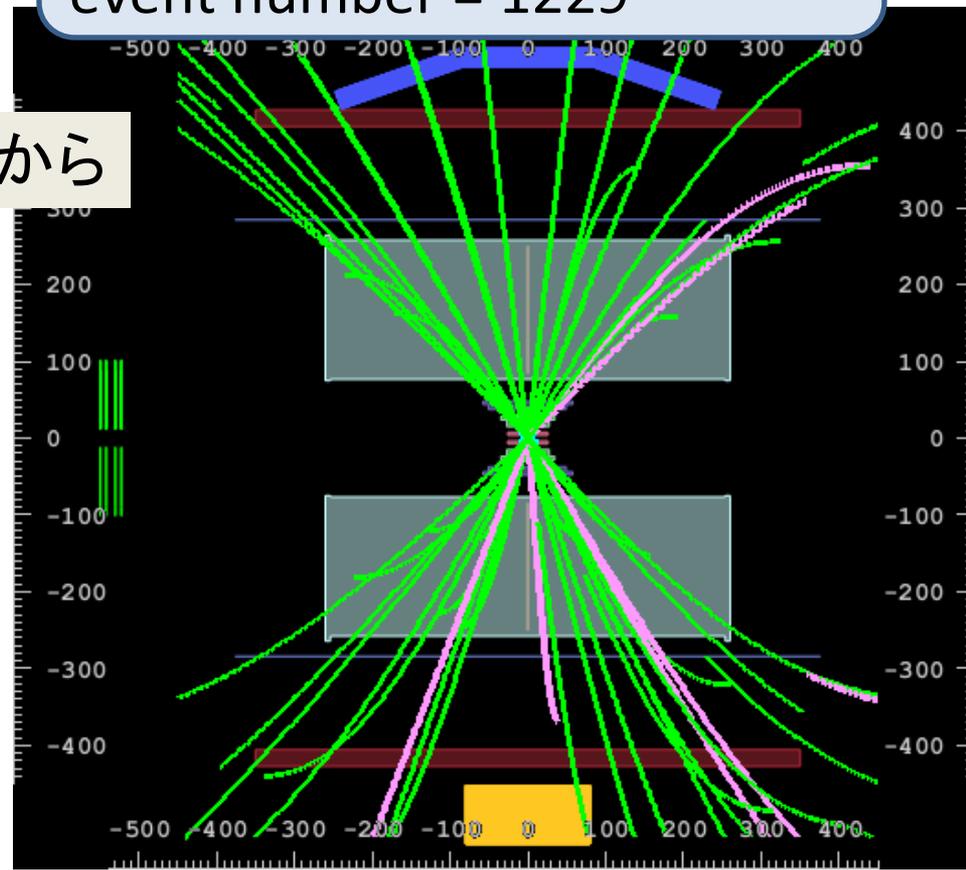
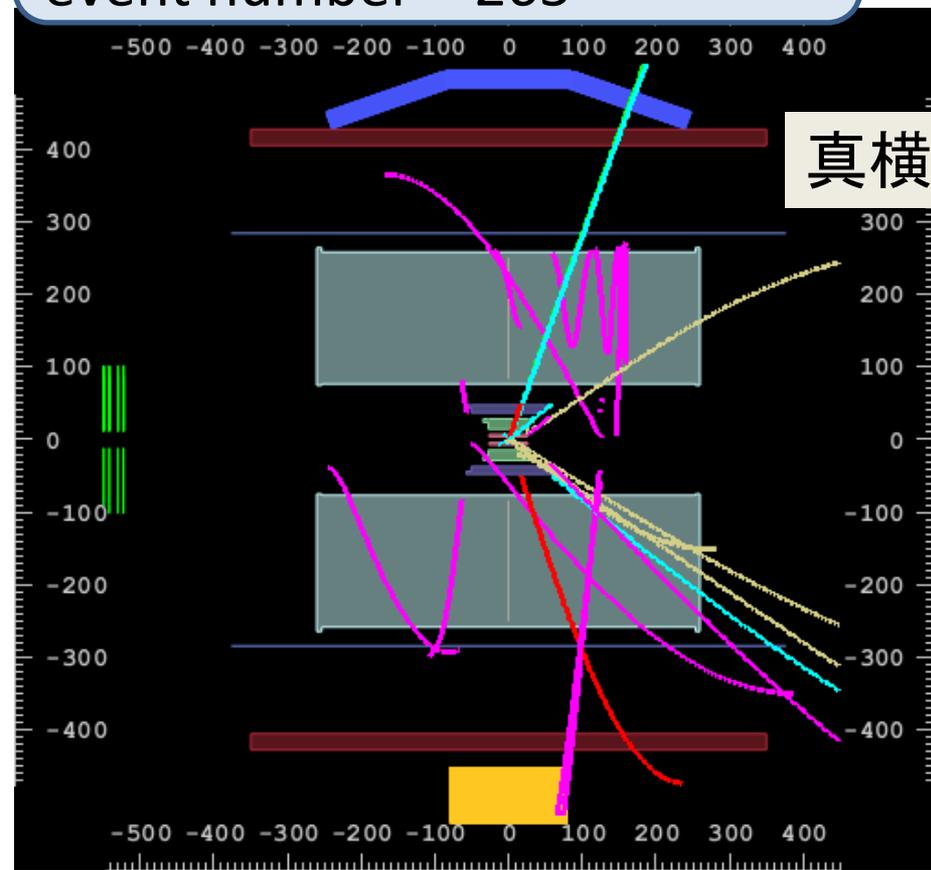
- ppの世界最高エネルギー2.36TeVでもeventが観測された。

# Event Display ～AliEve～の例

2009年12月12日 pp900GeV  
run number = 104845  
event number = 265

2009年12月14日 pp2.36TeV  
run number = 105057  
event number = 1229

真横から



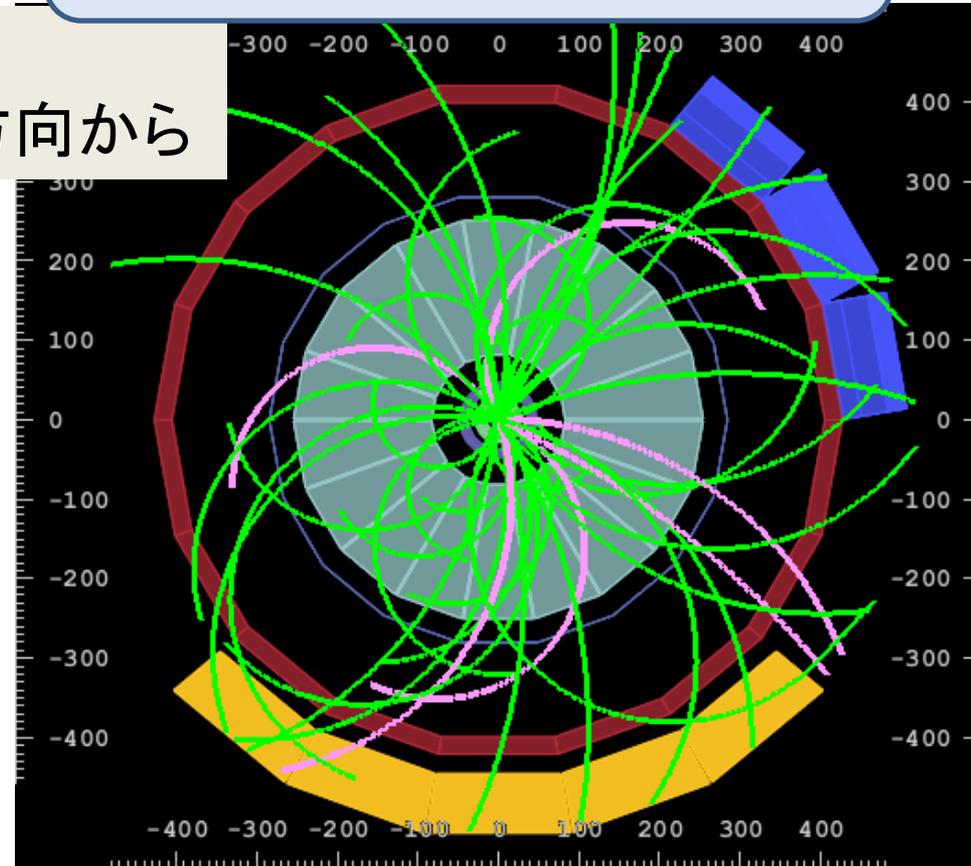
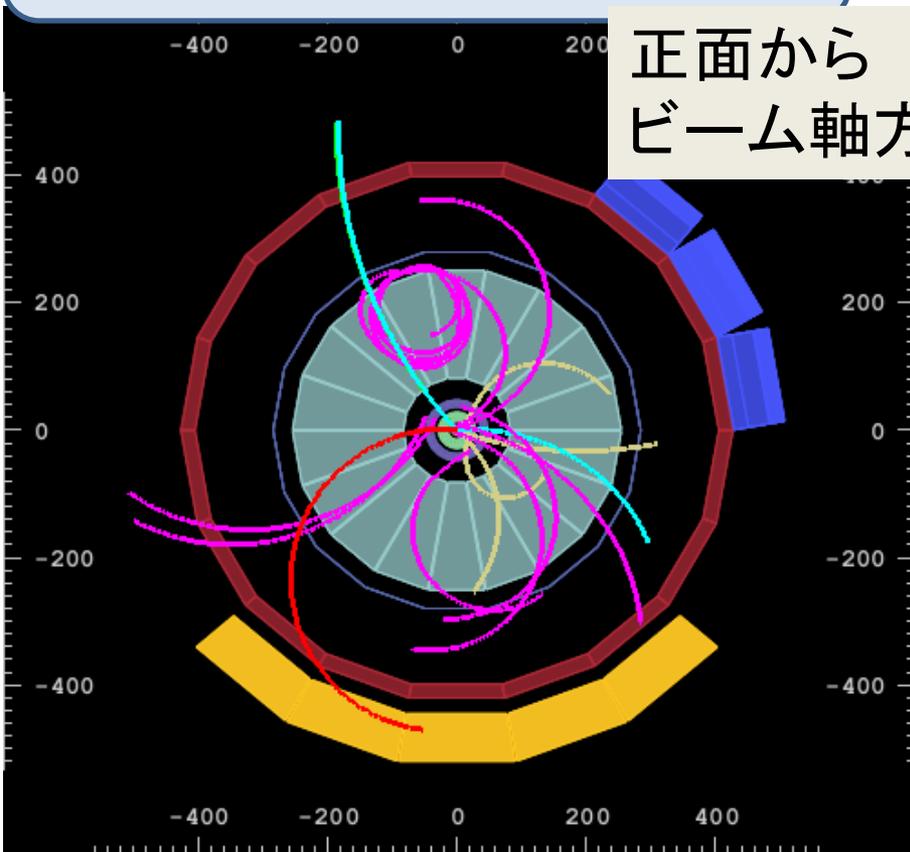
- ppの世界最高エネルギー2.36TeVでもeventが観測された。

# Event Display ～AliEve～の例

2009年12月12日 pp900GeV  
run number = 104845  
event number = 265

2009年12月14日 pp2.36TeV  
run number = 105057  
event number = 1229

正面から  
ビーム軸方向から



- ppの世界最高エネルギー2.36TeVでもeventが観測された。

# データ解析

- データセット

  - ALICE TPC detector

  - pp900GeV

  - reconstruction pass2

  - event数 = 289297

- カット

  - Ghost track cut .....  $d\phi > 0.001$ 、 $dz > 0.001$

  - minimum bias event ..... 確実に衝突している事象  
を取る(たとえ飛跡がなくても)

  - z-vertex cut .....  $< 20\text{cm}$

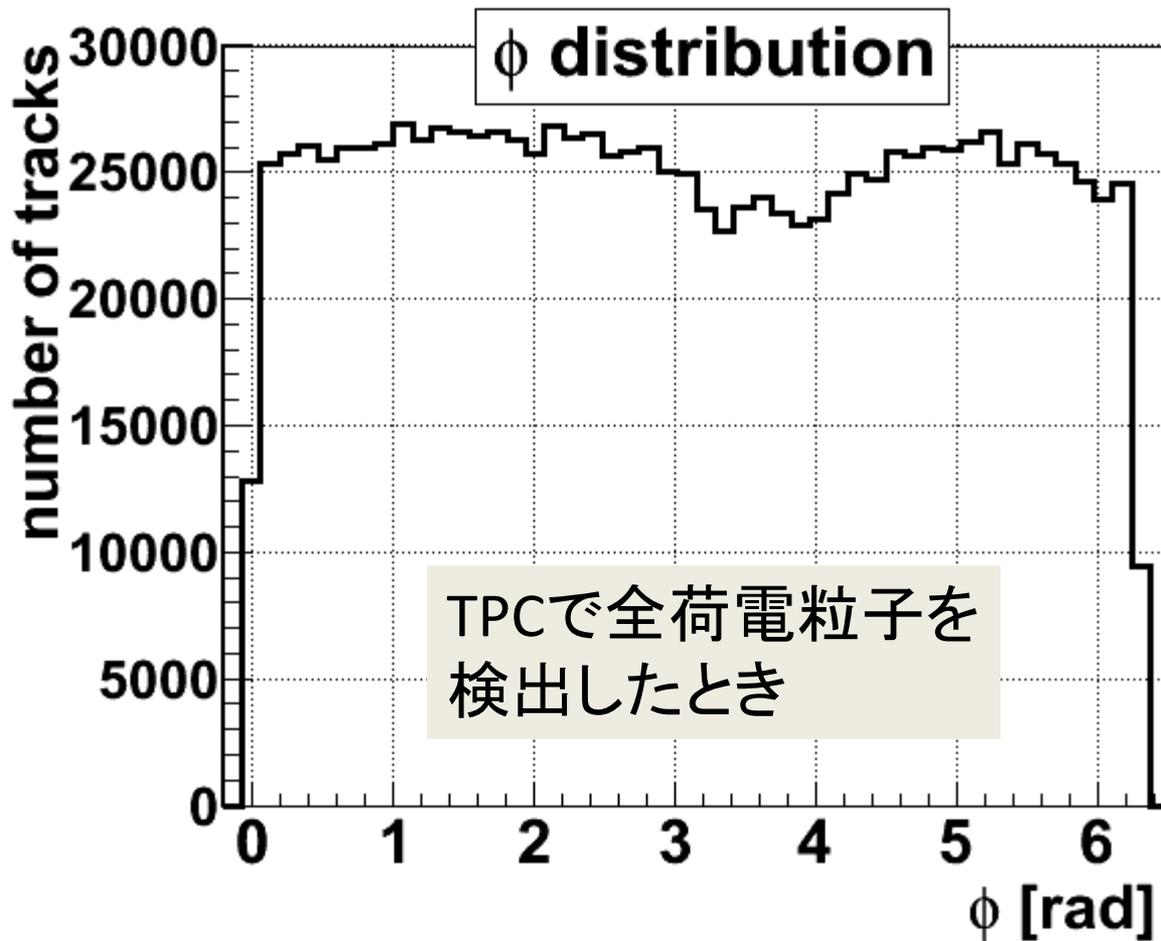
  - TPC quality cut .....  $\text{culster}=80$

- 解析

  - 荷電粒子の  $dN/d\eta$  と  $1/N dN/dp_T d\eta$

  - 粒子多重度 (Multiplicity)

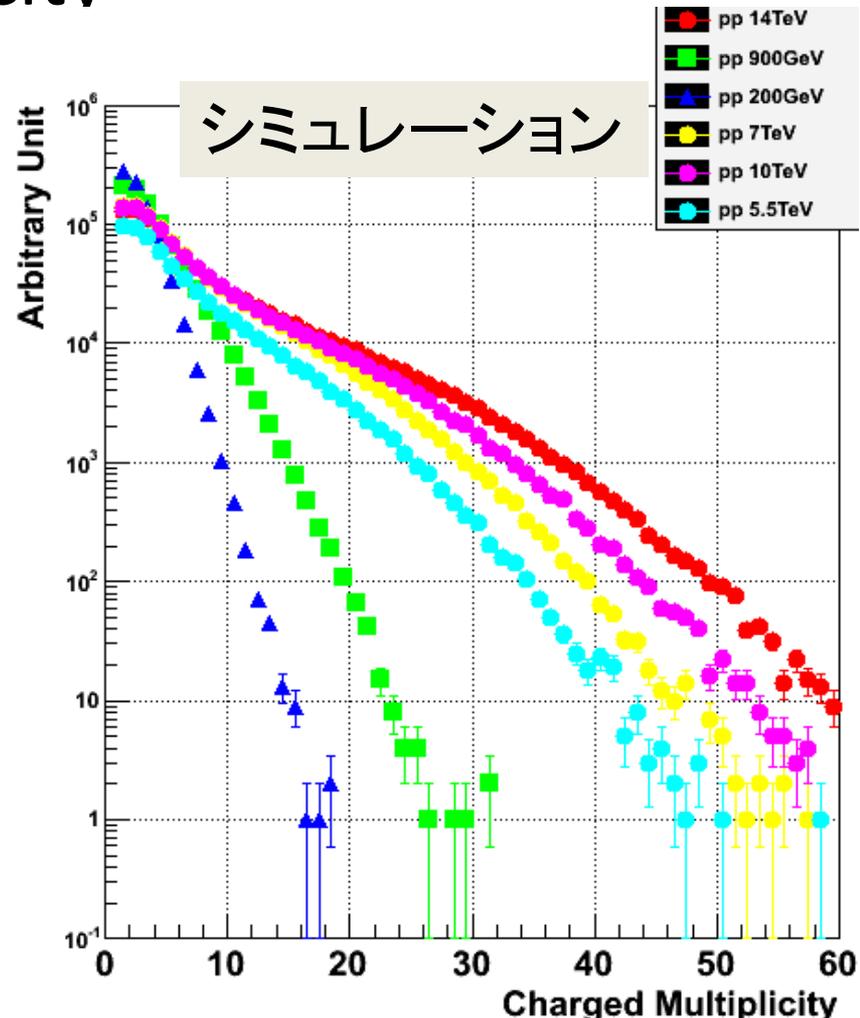
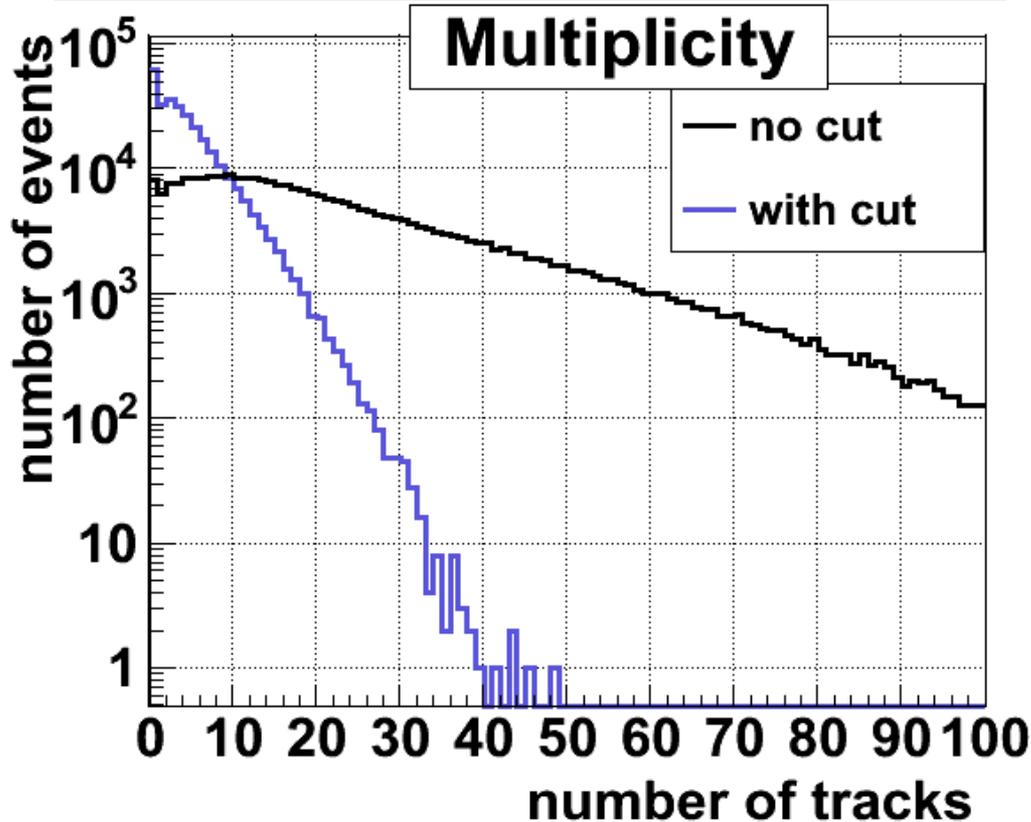
# $\phi$ 分布



- ビーム軸からほぼ等方的に粒子が生成されていることがわかる。

# Multiplicity

TPCで全荷電粒子を検出したとき

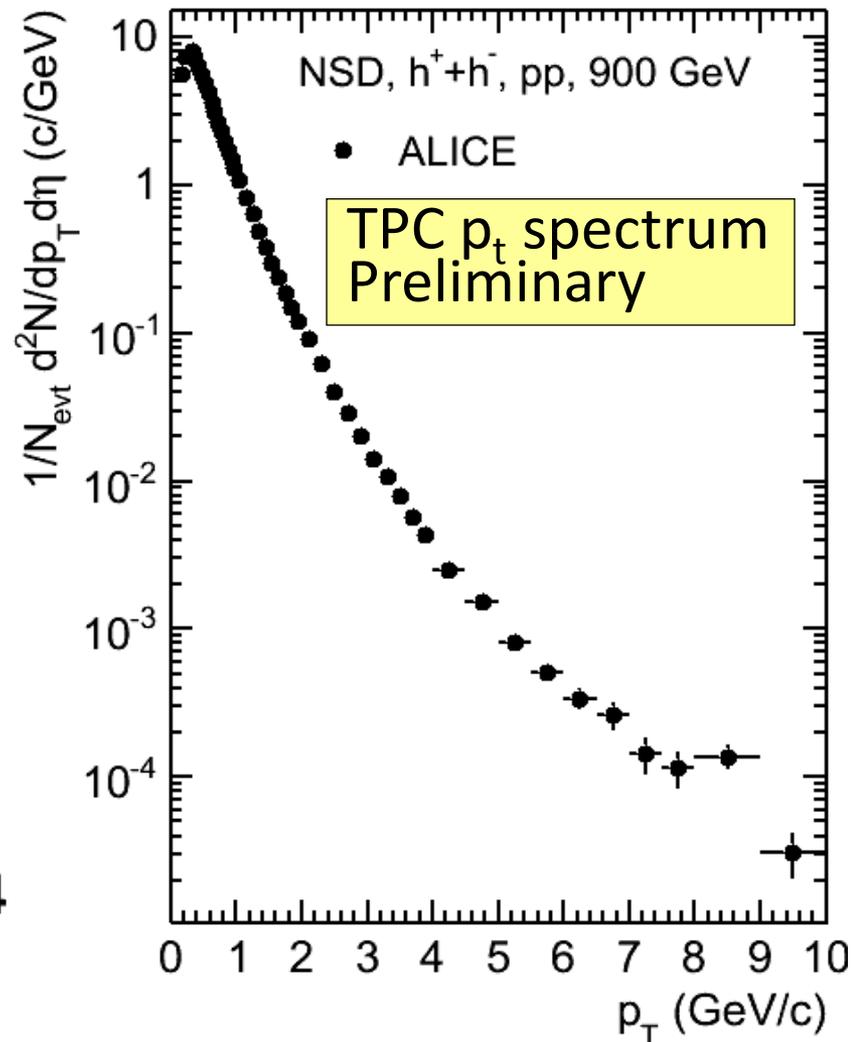
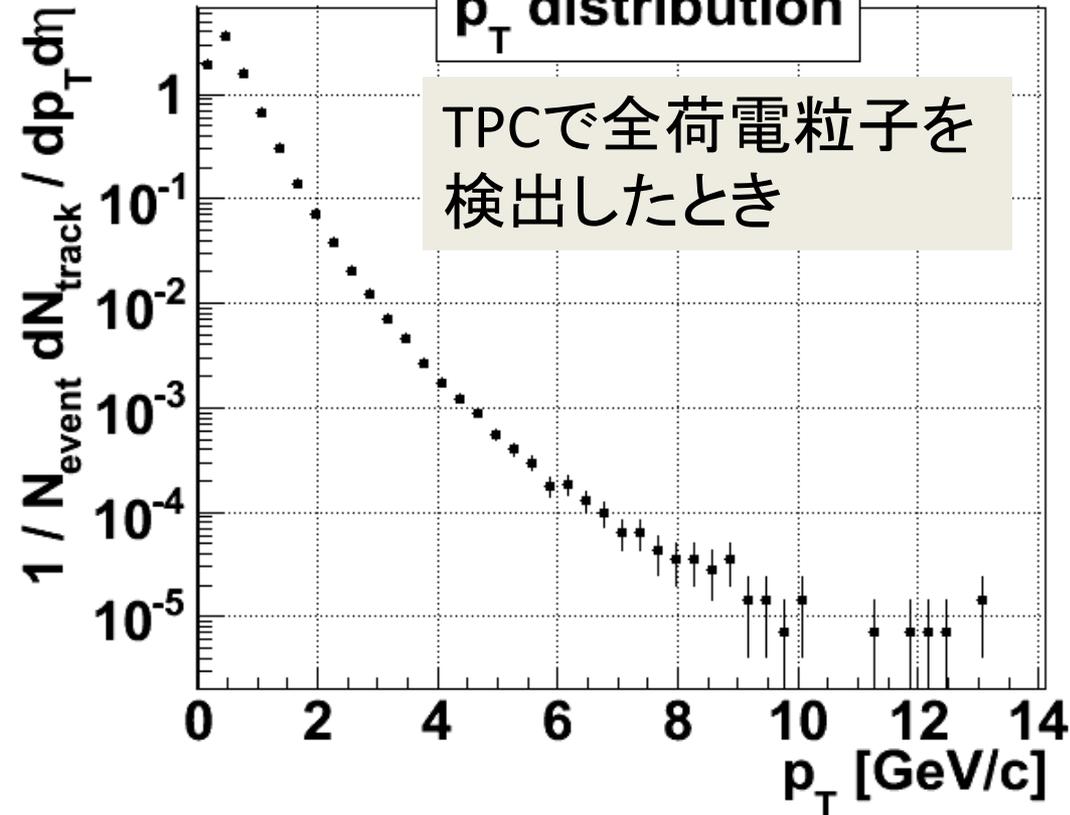


- cutによりghost trackが減少することがわかる。
- シミュレーションから衝突のエネルギーが高いほど、track数(生成粒子の数)が増えることが予想される。

# $p_T$ 分布

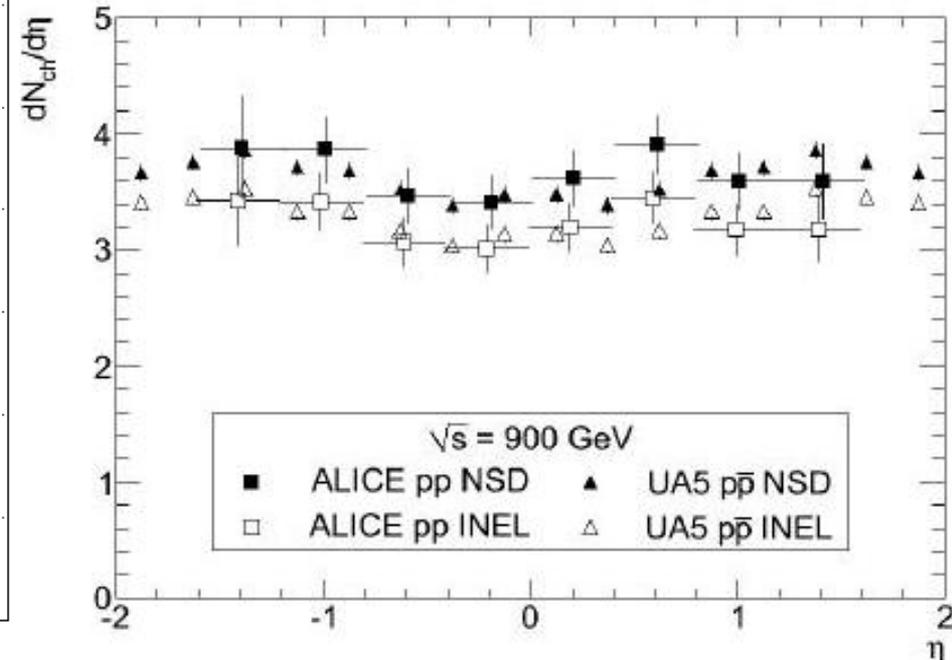
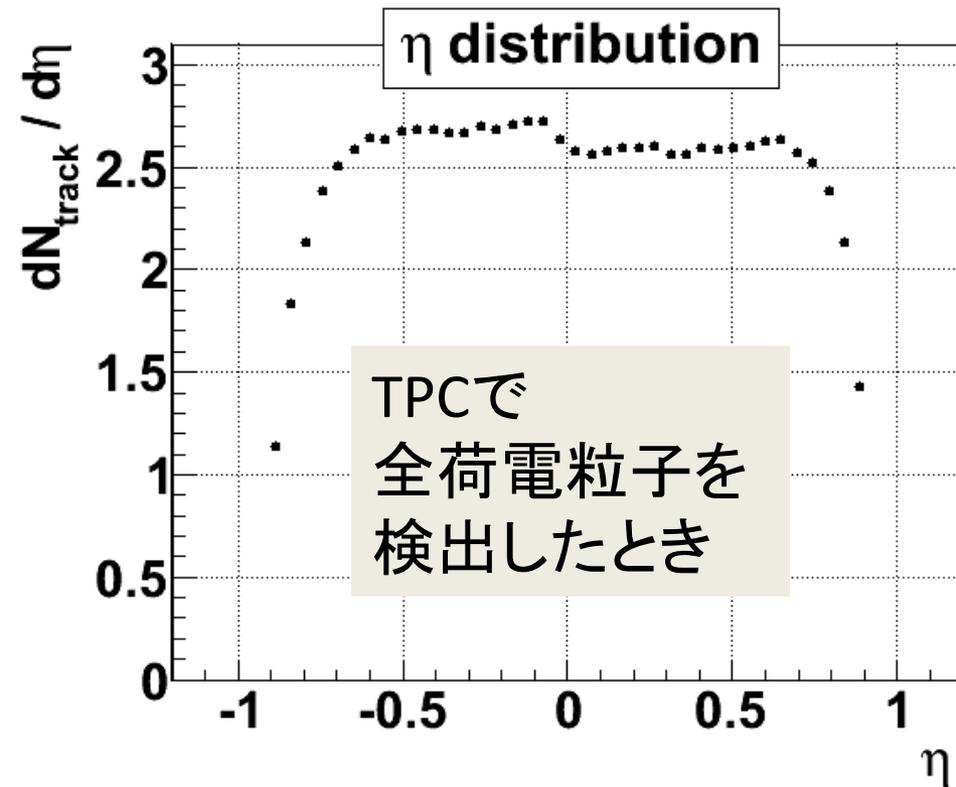
$p_T$  distribution

TPCで全荷電粒子を検出したとき



- $p_T$ が13GeV/cの範囲で5桁にわたり荷電粒子の断面積を導出することができた。
- ALICE first resultの結果と比較して、ほぼ近い値を得ることができた。
- cutの条件等においてさらに議論が必要である。
- 統計誤差のみ

# $\eta$ 分布



- $\eta$  (検出器の範囲) が  $-0.9 \sim 0.9$  の範囲で  $dN/d\eta$  を測定することができた
- $\eta$  が  $-0.9 \sim 0.9$  の範囲で、 $dN/d\eta$  がほぼ一定
- ITSと比べ、ごみが少ないので、 $dN/d\eta$  が小さい

# まとめ

- ALICE解析環境の導入 (root、geant3、alrootのインストール)
- シミュレーションを用いてpp5.5TeVとPbPb5.5TeVの事象をAliEveで視覚化した。
  - 粒子多重度の違いを視覚的に理解することができた。
- pp900GeVとpp2.36TeVのreal dataをAliEveで視覚化した。
  - pp900GeVとpp2.36TeVにおいてデータ取得に成功していることがAliEveによって視覚的に確認できた。
- $1/NdN/pT/d\eta$ 分布と $dN/d\eta$ 分布を導出し、TPCgroupの結果と比較を行った。導出結果は議論が必要であるが、近い値を得た。
  - $1/NdN/pT/d\eta$ 分布は $\eta$ が $-0.9 \sim 0.9$ の範囲
  - $P_T$ が13GeV/cの範囲で5桁にわたる
- 荷電粒子多重度を導出し、PYTHIAシミュレーションの結果と比較した。PYTHIAの結果よりreal dataの方が粒子多重度が高い結果を得た。
- ALICEとATLASの見学とCERNで行われたセミナーに参加し、見識を深めることができた。

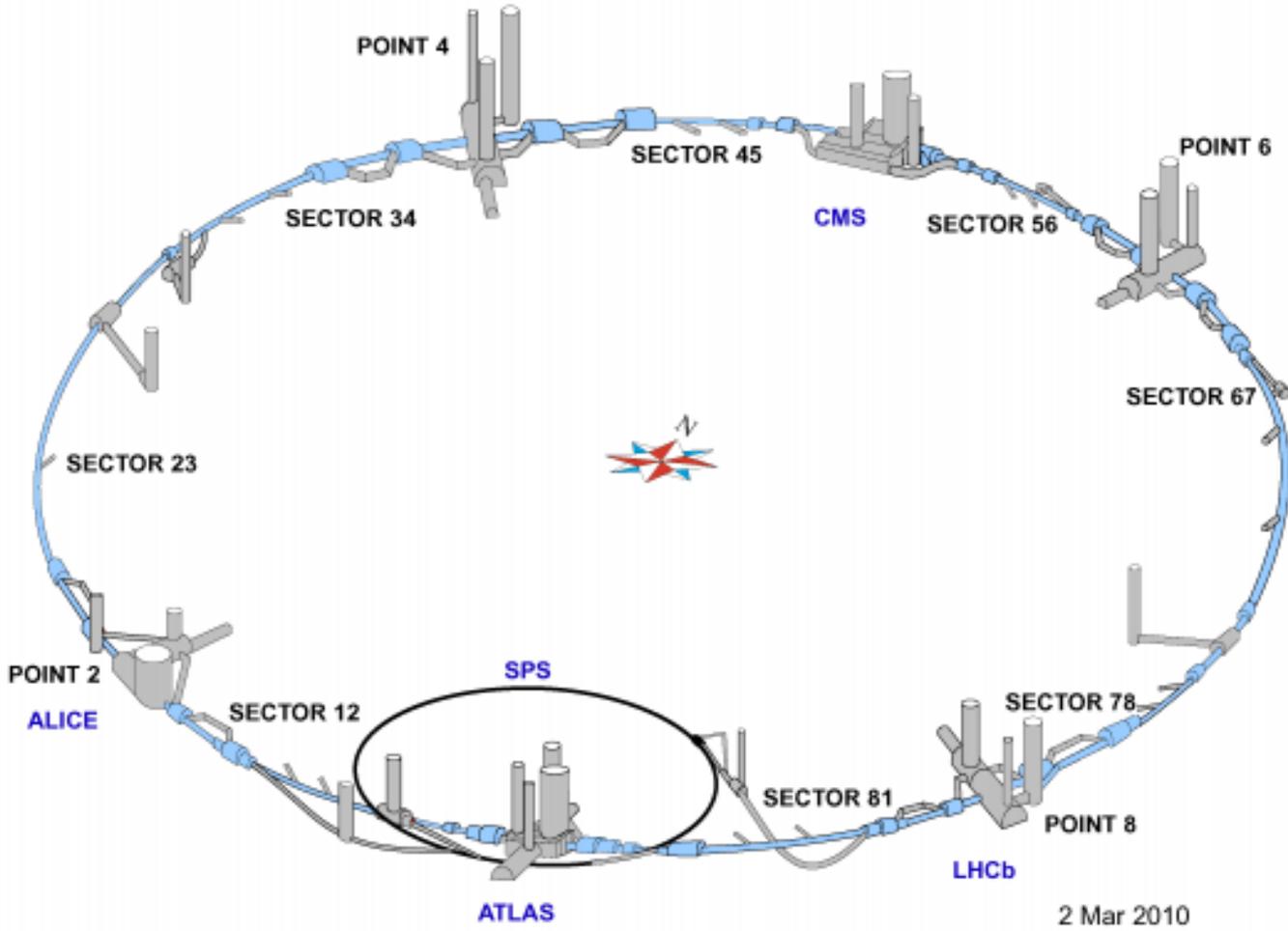
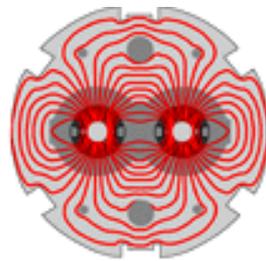
# ありがとうございました

滞在期間が3週間で、実際に実習を行うことができた期間が2週間少々と、新型インフルエンザの影響で短くなりましたが、形あるものにできたのは、以下の皆様のおかげです。

- 下村さん
  - 実習のマネージメント
  - Event Display (AliEve) の使い方
  - ROOTの使い方
- 洞口さん
  - ALICE解析環境の導入
  - pp900GeVの解析～解析のベース、フレーム
  - スライドの添削
- 渡辺さん
  - スライドの添削
- ALICE班の先生方、ATLAS班の先生方

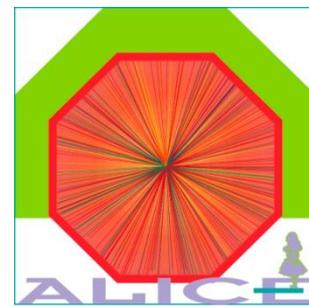
# 追加スライド 補足説明

# LHC



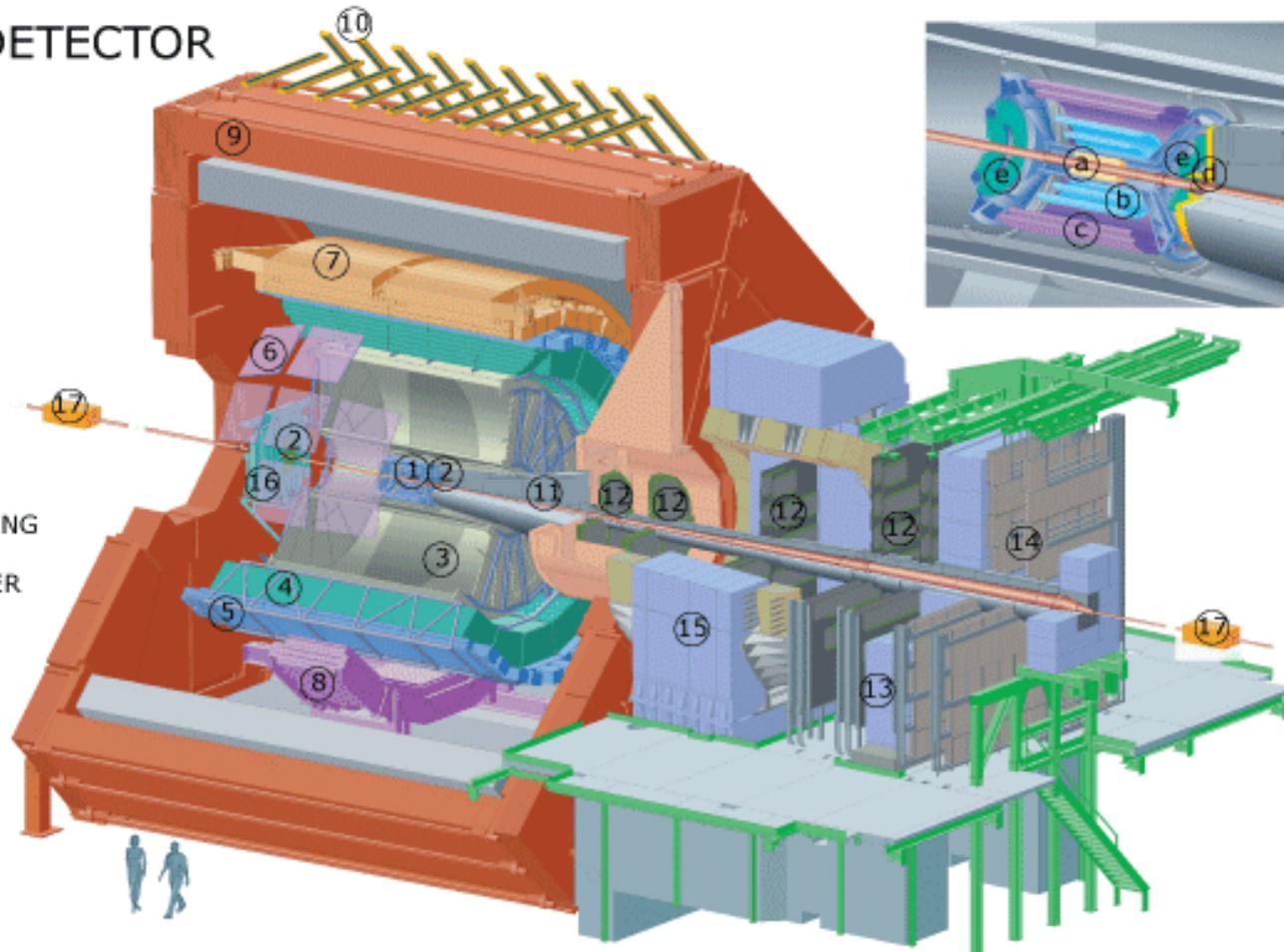
2 Mar 2010

# ALICE検出器



## THE ALICE DETECTOR

1. ITS
2. FMD , T0, V0
3. TPC
4. TRD
5. TOF
6. HMPID
7. EMCAL
8. PHOS CPV
9. MAGNET
10. ACORDE
11. ABSORBER
12. MUON TRACKING
13. MUON WALL
14. MUON TRIGGER
15. DIPOLE
16. PMD
17. ZDC



- a. ITS SPD Pixel
- b. ITS SDD Drift
- c. ITS SSD Strip
- d. V0 and T0
- e. FMD

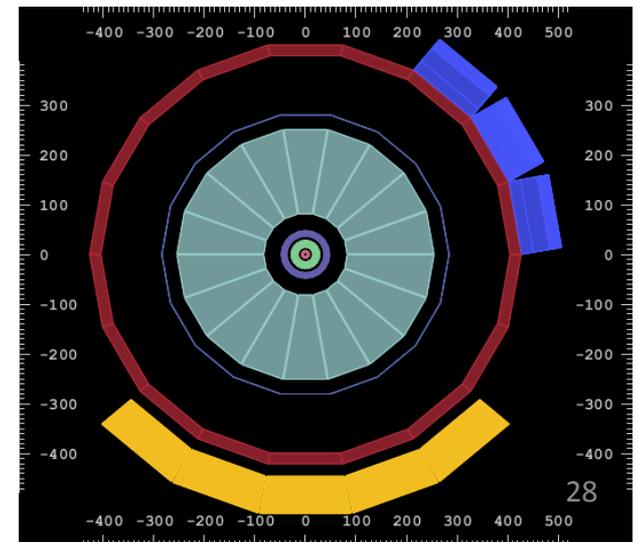
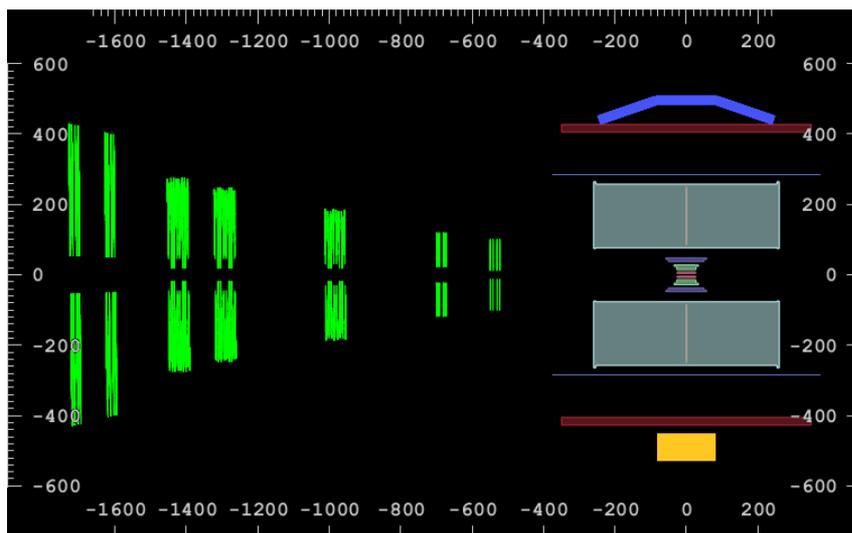
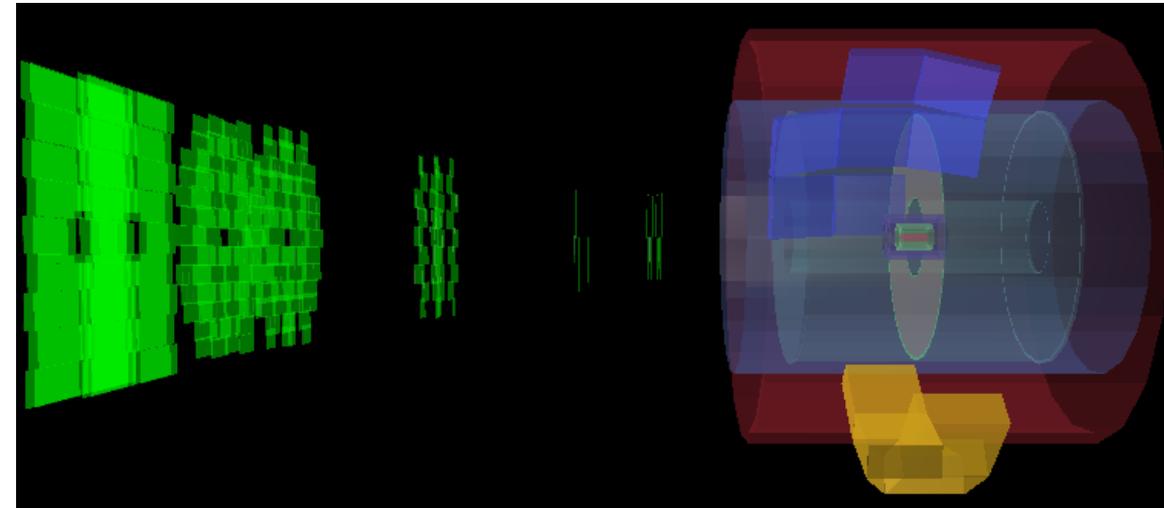
# Event Display ～Alieve～の例

Alieveで見たALICE検出器 粒子なしの場合

3D表示

正面から  
ビーム軸方向から

真横から



# ALICE検出器の粒子識別一覧

ITS -> pi、K、p

TPC -> pi、K、p、(e、d、He)

TRD -> e

TOF -> pi、K、p

HMPID -> pi、K、p

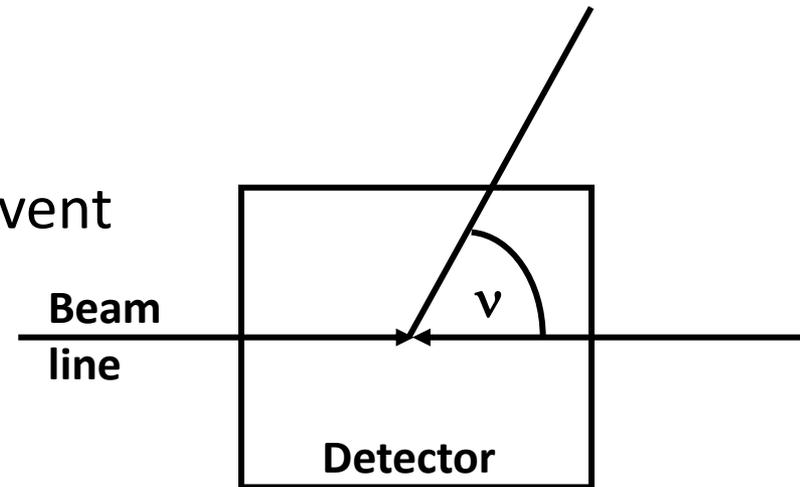
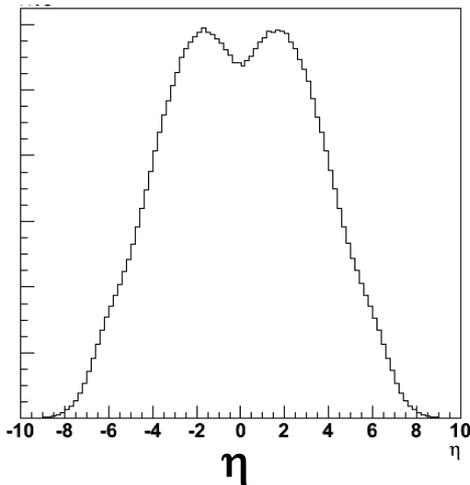
# Definitions

- Primary charged particles  $N_{ch}$  per event
- Number of events  $N_{ev}$
- Pseudorapidity

$$\eta = \frac{1}{2} \ln \frac{p + p_L}{p - p_L} = -\ln \tan \frac{\nu}{2}$$

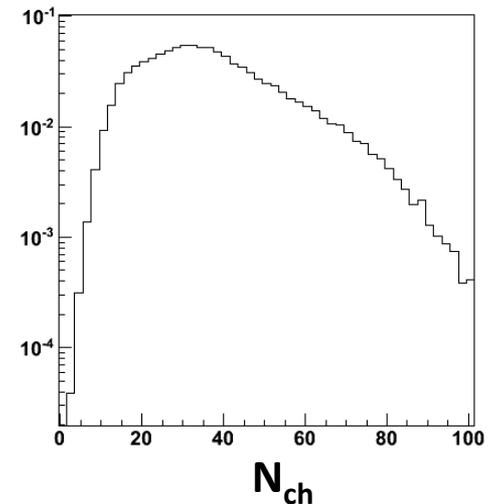
- Pseudorapidity density

$$\frac{dN_{ch}}{d\eta}$$



- Multiplicity distribution

$$P(N_{ch}) = \frac{1}{N_{ev}} \frac{dN_{ev}}{dN_{ch}}$$



# Minimum Bias Event

- Have the correct event type (physics)
- Have the interaction trigger, i.e. trigger on bunch crossings;
- Fulfill at least *\*one\** of the three following conditions:
  - a) 2 fired chips in the SPD\*
  - b) 1 fired chip in the SPD\* and a beam-beam flag in either V0A or V0C\*\*
  - c) beam-beam flags on both sides V0A and V0C\*\*;
- Are not flagged as beam-gas by either V0A or V0C\*\*.

\* calculated offline from reconstructed clusters

\*\* calculated offline from the V0 signals