モンテカルロシミュレーションによる PHENIX 実験ビームビーム検出器の性能評価

指導教官　宮村　修

広島大学理学部物理学科

ハドロン物理学研究室

梅津　愛子

u0572007k

1997 年 2 月 14 日

Abstract

量子色力学 (ＱＣＤ) によれば、原子核を充分高温高圧に加熱加圧すると、ハドロンの殻から解放されたクォークとグルーオンが自由に飛び交う、クォークグルーオンプラズマ (ＱＧＰ) 状態に相転移すると予言されている。この現象を探索するために、衝突型重イオン加速器 RHIC(Relativistic Heavy Ion Collider) を使用した、核子当たり 100GeV+100GeV の金+金原子核衝突実験、PHENIX (Pioneering High Energy Nuclear Interaction eXperiment) の準備が進行中である。

本研究は、この PHENIX 実験で衝突時刻 (t_0) と衝突位置 (vtx) を決定するために、私達が開発制作している Beam-Beam Counter (BBC) が、この未知なる環境の下で要求された精度を満たすには、どのように検出時刻を決めれば良いのかについて調べた。

その結果 2 種類の方法を使うことによって、t_0 を分解能 34 ピコ秒、vtx を分解能 1.15cm の精度で求められ、充分要求を満たすことができた。

また BBC がΦ 方向に対して対称な形をしていることから、この方向での発生粒子の偏りを検出できないか試みたが、それについては、今回用いた方法では残念ながら検出できなかった。

目 次

1 Introduction **3**

2 Beam-Beam Counter (BBC) **4**

3 シミュレーションについて **7**
3.1 Pisa/Pisorp 7
3.2 イベントジェネレーター 7

4 Beam-Beam Counter の性能評価 **9**
4.1 発生粒子多重度とパルスの大きさ 9
4.2 検出時刻の決定方法 9
4.3 ビームパイプによるバック ・グラウンド粒子の影響 9
4.4 φ 方向の粒子の偏りの検出 10

5 結果 **11**
5.1 発生粒子多重度とパルスの大きさ 11
5.2 検出時刻の決定方法 11
5.3 ビームパイプによるバック ・グラウンド粒子の影響 19
5.4 φ 方向の粒子の偏りの検出 22

6 考察 **27**

7 謝辞 **28**

参考文献

1 Introduction

物質を創る究極の素粒子として現在信じられているクォークは、量子色力学 (QCD) によれば通常の世界ではハドロンの中に閉じ込められていて決して単体では存在できない。クォークを閉じ込める役割を担っている素粒子をグルーオンという。しかし充分高温高圧の下では、クォークやグルーオンが自由粒子のように振る舞うクォーク・グルーオン・プラズマ (QGP) と呼ばれる状態の存在も QCD によって予言されている。この様な状態は、宇宙初期や中性子星内部で実現されていると考えられている。また、超相対論的原子核衝突によって生じる反応領域もこのような相転移を起こすものと予想されている Ref. [1]。

現在予備的実験としてジュネーブの CERN (ヨーロッパ合同原子核研究所) の SPS 加速器で比較的軽い酸素や硫黄の原子核を核子あたり 200 GeV/c に加速して、重い原子核の固定標的に衝突させている。しかし現在までのところ QGP 発生とも解釈できる結果は存在するが、確定的な徴候は見つかっていない。　そこで 1999 年実験開始を目指して、アメリカのブルックヘブン国立研究所 (BNL) の重イオン加速器 RHIC (Relativistic Heavy Ion collider) を使用した核子当たり 100GeV + 100GeV の重イオン衝突実験 (PHENIX :Pioneering High Energy Nuclear Experiment) が準備されている。衝突エネルギーは格段に大きく、QGP 発生が期待されている。本研究では、この PHENIX 実験で衝突時刻 (t_0) と衝突位置 (vtx) を決定するために、私達が開発制作している Beam-Beam Counter (BBC) の性能についてモンテカルロシミュレーションを用いて調べた。

2 Beam-Beam Counter (BBC)

図 1に PHENIX 実験装置の全体図を示す。BBC は、ビーム衝突点の両側 z =± 150cm の位置に置かれ前 (後) 方角度 2.1 ° から 5.2 ° (pseudorapididity η =3.1 ~ 4.0) を覆い、各々64 個のクォーツ ・チェレンコフ ・ラディエーターを頭部に付けた光電子増倍管 (PMT) からなる。交差するビーム ・バンチ内の加速粒子同士が衝突した際生成する高速 2 次粒子を検出し、その粒子衝突が起こった時刻を 70 ピコ秒 (ps) の時間精度で測定するものである Ref.. [2]。この測定値は、飛行時間差 (TOF) 測定法のスタート時刻として使用すると同時に、衝突位置 (Vertex Position) を決定するためにも用いる。

ここで pseudorapididity η は以下の式で表され、粒子の 3 元運動量ベクトル p がビーム軸となす角度θ によって決まる。

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{1}{2} ln \frac{p + p_z}{p - p_z} \\ &= - ln(tan \frac{\theta}{2}) \end{aligned} \quad (1)$$

図 2に示すように BBC へ粒子が入射するわけであるが、各検出器での粒子の検出時刻の平均および差を用いてビームの衝突時刻を及び位置をそれぞれ以下のように決定する。

$$t_0 = \frac{t_n + t_s}{2} - \frac{L}{c} \quad (2)$$

$$vtx = c \frac{t_n - t_s}{2} \quad (3)$$

添え字は、北側 (n :north) と南側 (s :south) の BBC を、L は二つの BBC の中心の位置から BBC までの距離を示す。各検出器が 70 ピコ秒の固有時間分解能を有すると、衝突位置の決定を 17mm の精度で行うことができる。

実際に我々が得る量は、検出器の各々の PMT が出したパルスを TDC (Time to Digital Converter) と ADC(Amplitude to Digital Converter) に通したデータである。TDC の値から得られるものは、最初に各 PMT に入射した有効な粒子の入射時刻で、ADC の値は全ての有効な粒子から発せられた photon の総数に比例する。ここで有効な粒子とは BBC のラディエーターを発光させる粒子のことで、 BBC はチェレンコフ ・カウンターなので、β =1/ n ~ 0.69 (n :水晶の屈折率) より速い速度を持つ荷電粒子である。

ビームの衝突点と BBC の間には、ビームパイプを始めとしてセントラル ・マグネットなどがあり、BBC の入射粒子には衝突点から直接やってくるもの以外に途中で粒子の崩壊によってできたもの、ビームパイプやその他の物質と粒子の相互作用によってできたものが在る。これらは、BBC で衝突時刻位置を決定するためには、本来必要のないバック ・グラウンド粒子と呼ばれるものである。これらのバック ・グラウンド粒子が BBC に与える影響は、シミュレーションで調べるべき主な問題の一つである Ref. [3]。

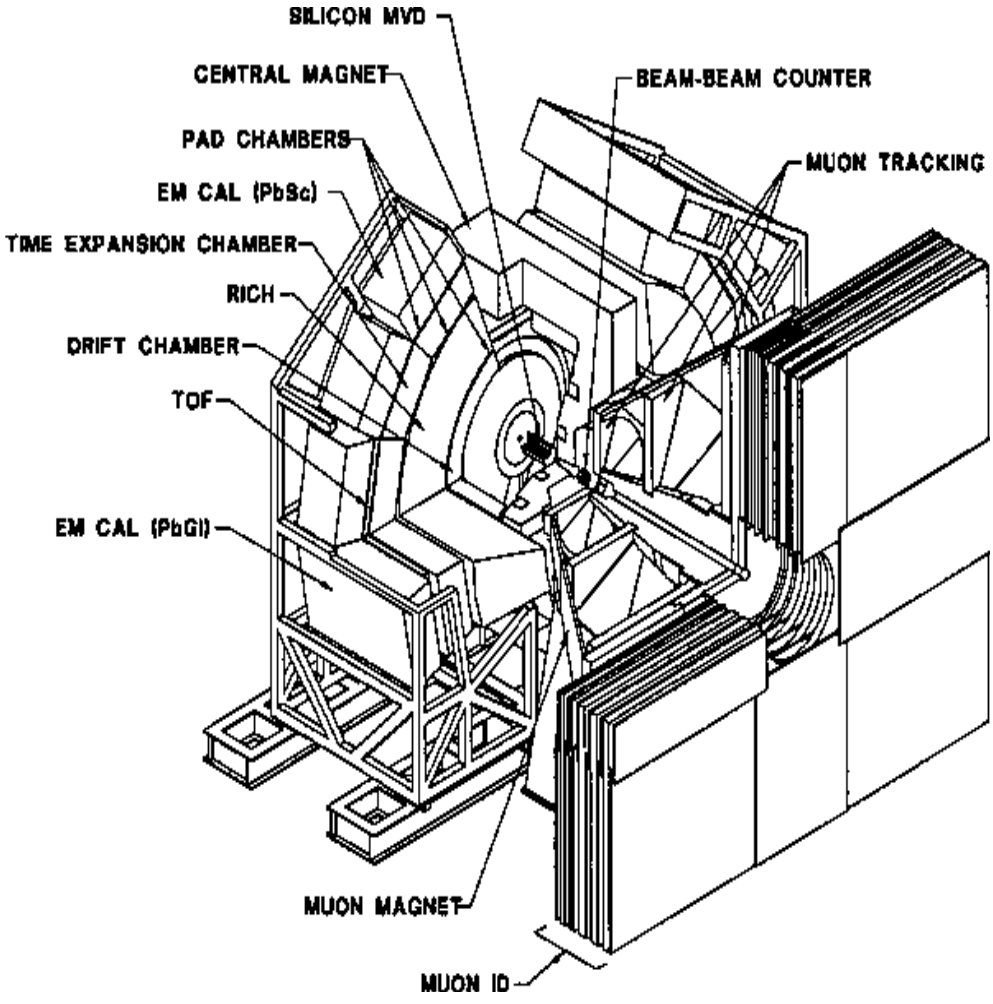

図 1: PHENIX 実験装置全体図 from Ref.[4]

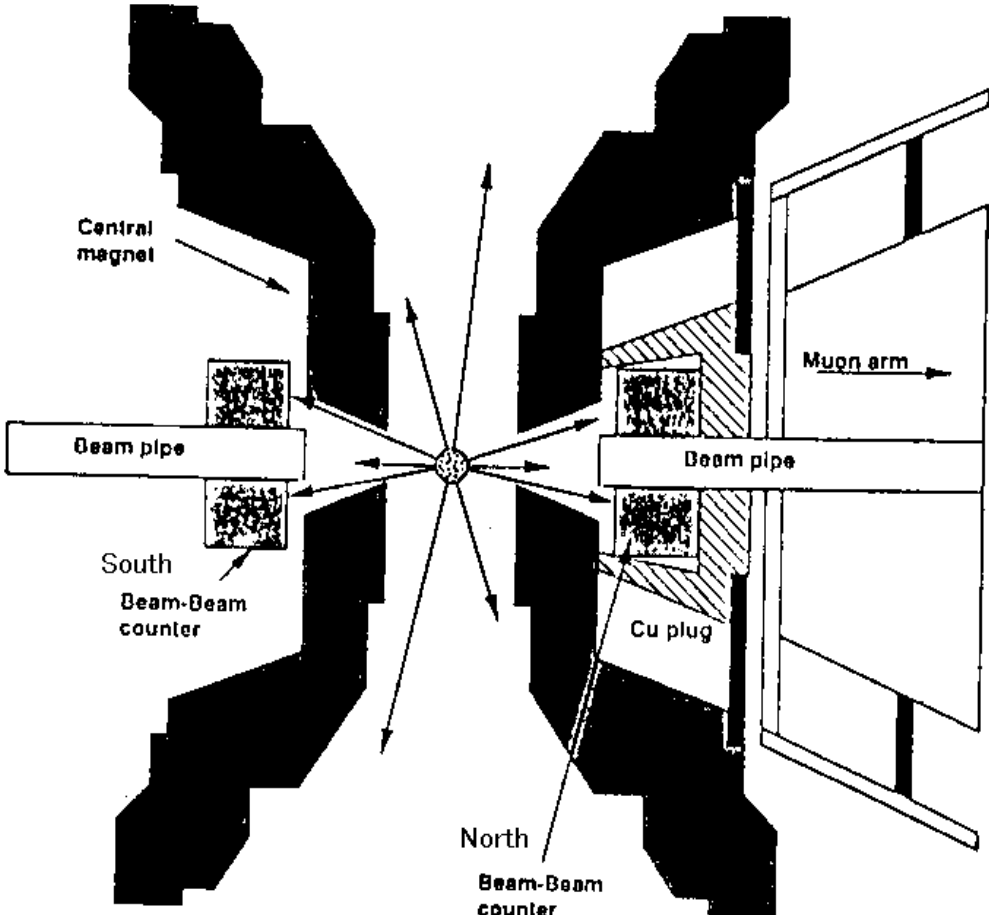

図 2: PENIX 実験装置中での BBC の位置 from Ref.[2]

3　シミュレーションについて

3.1　Pisa/Pisorp

PISA(PHENIX Integrated Simulation Application) ,PISORP(PISA Output Reconstruction Program) とは、検出器の応答をシミュレートし現実的な実験環境における検出器の性能などを調べるコンピュータプログラムである Ref. [4]。例えば検出器は前にも述べたように、それ自身又は他の検出器中での二次的な反応によってバック・グラウンド粒子を作り出す。検出器はこのような環境下で、意図された物理量を検出できなければいけない。

PISA は、GEANT(geometry and event particle tracking software system :検出器の geometry を描き粒子と検出器の物質や磁場との相互作用を生じさせるソフトウェアーで、tracking の過程で、検出器中に hit を作り出す) を用いた PHENIX 実験のシミュレーションである。 PISA を実行するとイベントシミュレーションにおける全 PHENIX 検出器の様子が分かる。(但し今回のシミュレーションでは、検出器は BBC のみを用いてる) イベントジェネレーターは、1 イベント当たり 1 粒子のシンプルなものから実際の重イオン衝突に近いイベントまで幅広い種類から選ぶことができる。シミュレートされたイベント粒子は、GEANT software によって軌跡の追跡 (トラッキング) をされ、hit の raw data (粒子の種類、位置、運動量、etc .) はイベント毎に output data file に書かれる。

検出器との相互作用の結果、粒子は検出器中で energy を失ったり、チェレンコフ光を生じたり、遷移放射を生じたりする。失った energy は、イオン化やシンチレーションを生じさせ、チェレンコフ光やシンチレーションは、photo-sensitive な装置によって電気信号に変えられ、preamplifiers/amplifiers で増幅される。amplifier の出力は、ADC や TDC によってデジタル化される。この過程は、PISA ではなく PISORP で行われる。

3.2　イベントジェネレーター

前述のように PISA では、様々なイベントジェネレーターを用いることができるが、今回のシミュレーションでは、HIJET と LUCIAE [5] を使用した。イベントジェネレーターで発生させたイベントは、すべて核子当たり 100GeV+100GeV の Au+Au 衝突のイベントで、impact-parameter b を変えて発生させている。このシミュレーションで用いたイベントの種類を以下に示す。

E-1　HIJET セントラル衝突 100 イベント　(b=0.02 ~ 0.15fm)
E-2　LUCIAE ペリフェラル衝突 100 イベント　(b=4 ~ 17fm)
E-3　LUCIAE　b=16fm　100 イベント
E-4　LUCIAE　b=13fm　100 イベント
E-5　LUCIAE　b=12fm　100 イベント
E-6　LUCIAE　b=10fm　100 イベント
E-7　LUCIAE　b=7.2fm　100 イベント
E-8　LUCIAE　b=4fm　47 イベント

このイベントを今回のシミュレーションでは、PHENIX 検出器の中心 (x，y，z = 0) から発生させた。

4 Beam-Beam Counter の性能評価

4.1 発生粒子多重度とパルスの大きさ

BBC から得られるパルスの大きさ (ADC の値) は、入射粒子の数に比例する。衝突で発生した 1 次粒子の中には、BBC に入射するまでにバック ・グラウンドを生じるものもあるが、このバック ・グラウンドの量も 1 次粒子の量に比例するので 1 イベントでの PMT の ADC の合計は 1 次粒子の量に比例してなければいけない。また、 1 次粒子の数は、近似的に impact-parameter b の b^{-3}の様に減少すると予想される。この関係についてイベントセット E-2 を用いたシミュレーションをおこなった。

4.2 検出時刻の決定方法

BBC は、式 (2)、(3) を用いて t_0と vtx を決定する。このとき検出時刻 t_n、t_sの決定方法にはまず次に挙げる 3 つの方法が考えられる。

1) BBC に入射した一番早い粒子の入射時刻
2) すべての有効な TDC の平均
3) ピークの TDC の値 (一番多くの PMT が検出した TDC の値)

しかし 1) は、ランダムなバック ・グラウンドやカウンター本来の時間分解能 (シミュレーションでは 50ps) に影響を受け、2) は、バック ・グラウンドや遅い粒子の影響を受けると思われる。3) は、ピークが複数あるときどうするかという問題がある。そこで E-3、4、5、6、7、8 のイベントントセットを用いて、impact-parameter ごとにシミュレーションをしたデータを使ってこれらの方法で解析し比較した。

4.3 ビームパイプによるバック ・グラウンド粒子の影響

PHENIX 実験で使用するビームパイプは、Fe と Be を混合したものである。粒子はビームパイプとの相互作用で多くのバック ・グラウンド粒子を生じる。とくに Au+Au のセントラル衝突においては、非常に多くの粒子が発生することが予測されるので、ビームパイプにはなるべく相互作用の少ないもの、つまり密度の薄い Be が望ましいが、コストの問題などがあり使われていない。しかしビームパイプによって BBC の時間分解能が大きく影響されるようならば、Be パイプを使うことも検討しなければいけない。そこでビームパイプの違いによって BBC の t_0と vtx の分解能がどのくらい影響を受けるのかについて、E-1 のイベントセットを用いて調べた。

4.4　φ 方向の粒子の偏りの検出

BBC はビーム軸を軸とした回転対称な形をしている。つまり azimuthal angle φ の全方向をカバーしている。同様にφ の全方向をカバーしている検出器に Silicon MVD (The multiplicity and vertex detector) がある。これは、発生粒子の偏りを見るという目的がある。

セントラル衝突では粒子はφ 方向に偏りなく放出されるが、ペリフェラル衝突では粒子は衝突に関与しなかった粒子 (スペクテーター) の影響で、スペクテーターの存在するφ 方向に偏りが生じると考えられている。そしてその偏りによって reaction plane(スペクテーターの存在する平面、impact-parameter を決めている平面でもある。) の決定ができる Ref. [6]。そこで BBC もφ の全方向をカバーしているので、この偏りを検出することができないか E-3 のイベントセットを使って調べてみた。

5　結果

5.1　発生粒子多重度とパルスの大きさ

図 3を見ると、(a) は縦軸は発生粒子多重度、横軸は impact-parameter で、前述のように近似的に b^{-3}に比例している様である。これと同じような関係を ADC の測定から得ることが望まれる。(b) は縦軸は PMT の ADC の合計、横軸は impact-parameter で、(a) の関係をほぼ満たしているが、ADC は 1024 でオーバー ・フロウするので impact-parameter が小さくなるにつれて飽和して 1024 × 128(本) に近づいている。しかし、これによって測定した ADC の量から impact-parameter を推測することができる。(c) は縦軸はデジタル化する前の raw ADC、横軸は impact-parameter で、これだと impact-parameter が小さくなっても (a) と同じ様な曲線になっている。(d) は縦軸は ADC、横軸は発生粒子多重度で、前述の様に比例関係にあるはずであるが発生粒子多重度が多くなるとこれも 1024 × 128(本) に近づいている。これによって測定した ADC の量から発生粒子数が推測できる。(e) は縦軸はデジタル化する前の raw ADC、横軸は発生粒子多重度 でやはりこれだと比例関係の様になっている。

5.2　検出時刻の決定方法

4.2 のそれぞれの方法での解析結果を図 4 ~ 8 に示す。但し 16fm は 78 イベント分の結果しかない。これは、BBC に入射した粒子がないイベントや、片方の BBC にしか入射粒子がないイベントが在る為である。また、4fm も 47 イベント分のデータしかないので、結果は全体のイベント数で割って規格化してある。ここで TDC1ch = 25ps である。

図 4は 4.2 の 1) の方法で解析したものである。t_0については、時間分解能σ は全 impact-parameter において十分 70ps より良いが、フィッティングのピークの値が真の値 (このシミュレーションでは 0) から大きく早いほうにずれていて、そしてそのずれは impact-parameter が小さくなるにつれて大きくなっている。これは、カウンター本来の時間分解能 (50ps) の影響によるものと思われる。vtx の分解能σ は全 impact-parameter において 1.7cm より良い値で、さらにフィッティングのピークの値も真の値 (0) に近い。vtx は t_nと t_sの差から求められるので、両側の検出器で同じように値のずれがあれば影響しないからである。

このピークのずれを考えて、ただ単に一番早い値ではなく PMT が 2 本以上検出した時刻のうち一番早い (leading-edge) 値、 3 本以上での leading-edge の値と、あるスレッシュホールドをかけてその leading-edge

の値を採るという方法も考えられている。だが、どの impact-parameter にも同じスレッシュホールドをかけることはできない。図 8に各 impact-parameter ごとに、検出した TDC の値と PMT の数の関係を示す。各 100 イベント分 (16fm は 78) の合計をイベント数で割って 1 イベント当たりの数にしてある。PISA/PISORP で得られる、BBC から得た TDC の値は、粒子の飛行時間をデジタル化したものである。衝突点は中心に設定しているので north、south とも TDC の値は中心から BBC までの距離を光速 c で割った 192.5ch が真の値である。これを見ると、PMT が 2 本以上検出した leading-edgeTDC の値は各 BBC で 1 イベント当たり、16fm では検出できず、13fm では 191ch、12fm では 190ch、10fm では 189ch となりずれの値は小さくなるがやはり正しい値を求めることは、出来ない。したがってこの場合は、 impact-parameter ごとに違うスレッシュホールドをかけなければいけない。

図 5は 4.2 の 2) の方法で解析したものである。t_0を見ると、分解能σ はどの impact-parameter でも十分 70ps より良い。しかも、13fm 以下のσ は 1) より良く、フィッティングのピークの値は 1) に比べて遥かに真の値に近い。vtx のσ も 16fm では 1) より大きいが 1.7cm を満たしており、それ以外では 1) より小さい。これは、粒子数が増えると遅い粒子に反応する PMT が少なくなる為である。

図 6は 4.2 の 3) の方法で解析したものである。但し、ピークが複数あるときは一番始めの値を採ることにした。それらの平均を採るという方法も考えられるが、 impact-parameter が大きいと遅い粒子の影響を大きく受けると考えたからである。t_0の分解能σ は、全 impact-parameter において十分 70ps より良いし、ピークの値も真の値に近い。 vtx の分解能σ も 1.7cm より良い。しかし、全体としてσ は、1)、2) より大きめになっている。

図 4 ~ 6 の結果をまとめたものを図 7に示す。(a)、(b) を見ると、t_0、vtx ともどの方法でも要求された分解能を満たし良い。しかし t_0の fitting peak は (c) を見ると、 impact-parameter が小さい領域では 2) の方法が良いが、 impact-parameter が大きい領域では 3) の方が真の値からのずれが小さく良い。1) は、 真の値からのずれは大きいが全体的にσ の値が大きく変動せず良いので、図 7-(e) を用いて粒子の入射した PMT の数に応じてあるスレッシュホールドを掛けるという方法や、図 7-(f) を用いて粒子の入射した PMT の数に応じてピークの値を補正することによって、真の値を求めることも可能かもしれない。

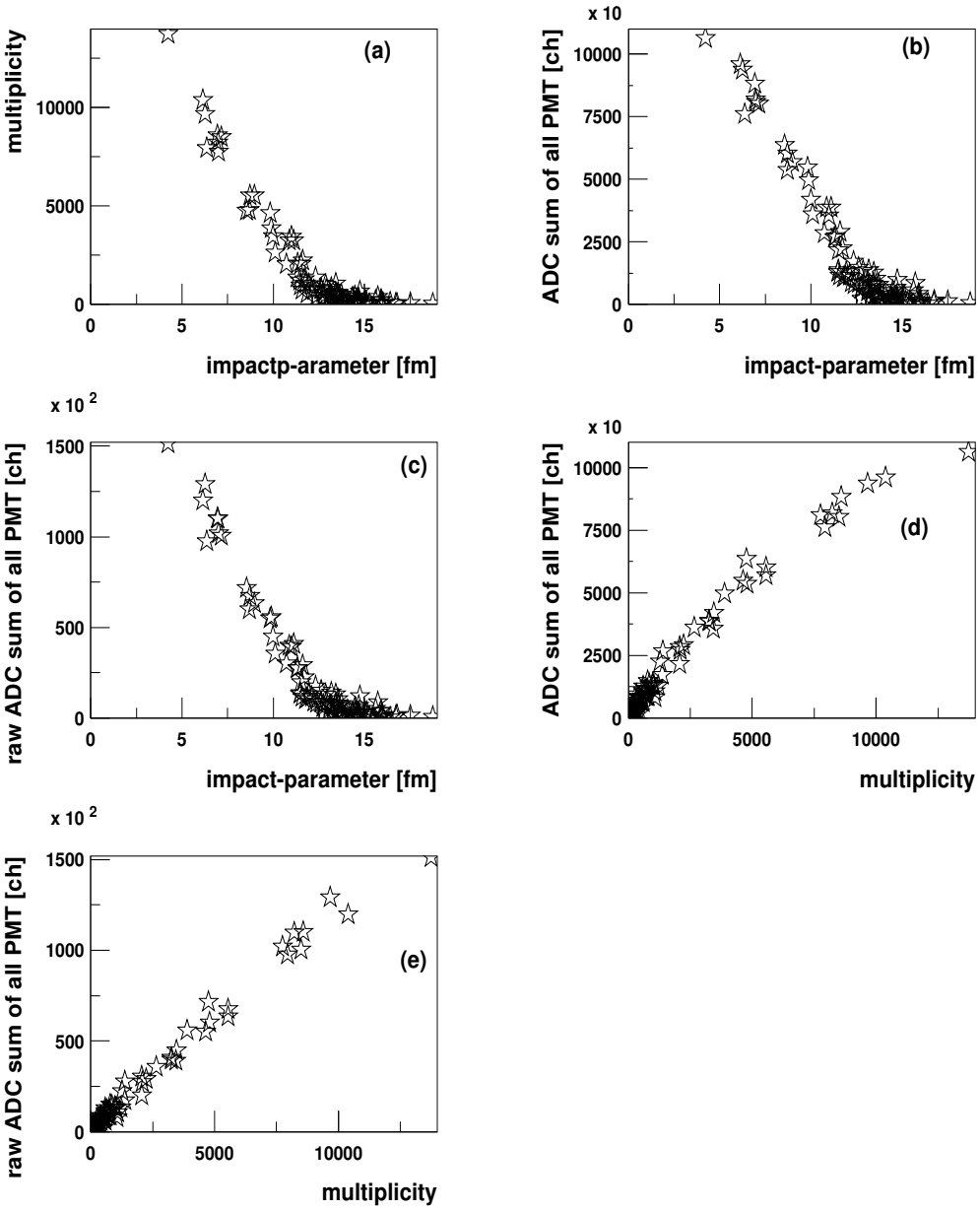

図 3: (a)impact-parameter と発生粒子数の関係、(b) impact-parameter と 1 イベントでの ADC の合計の関係、（c ） impact-parameter と 1 イベントでの raw ADC の合計の関係、（d ）発生粒子数と 1 イベントでの ADC の合計の関係、(e) 発生粒子数と 1 イベントでの raw ADC の合計の関係。

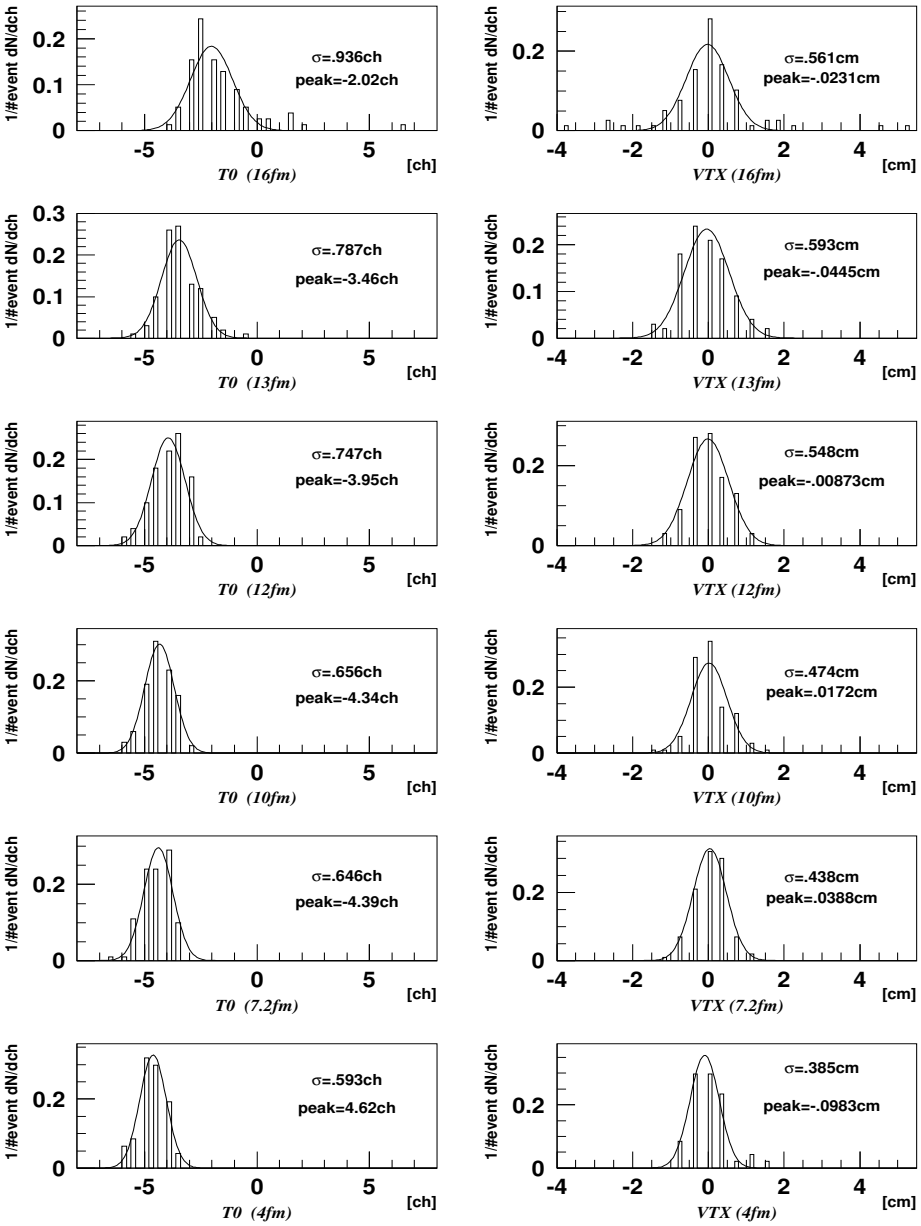

図 4: BBC に入射した一番早い TDC の値から求めた t_0と vtx。上から b= 16、13、12、10、7.2、4fm に対応している。

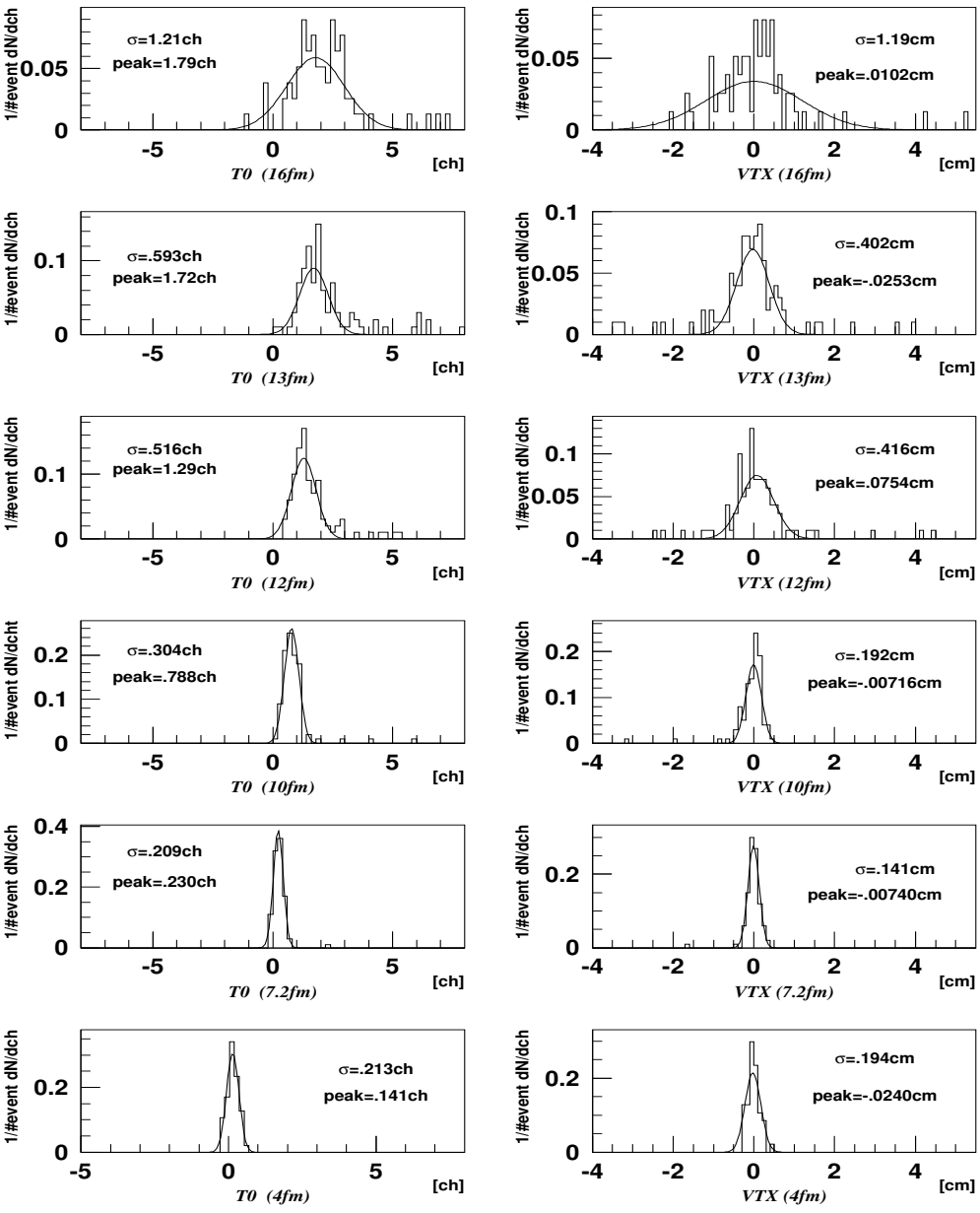

図 5: TDC の平均値から求めた t_0と vtx。上から b= 16、13、12、10、7.2、4fm に対応している。

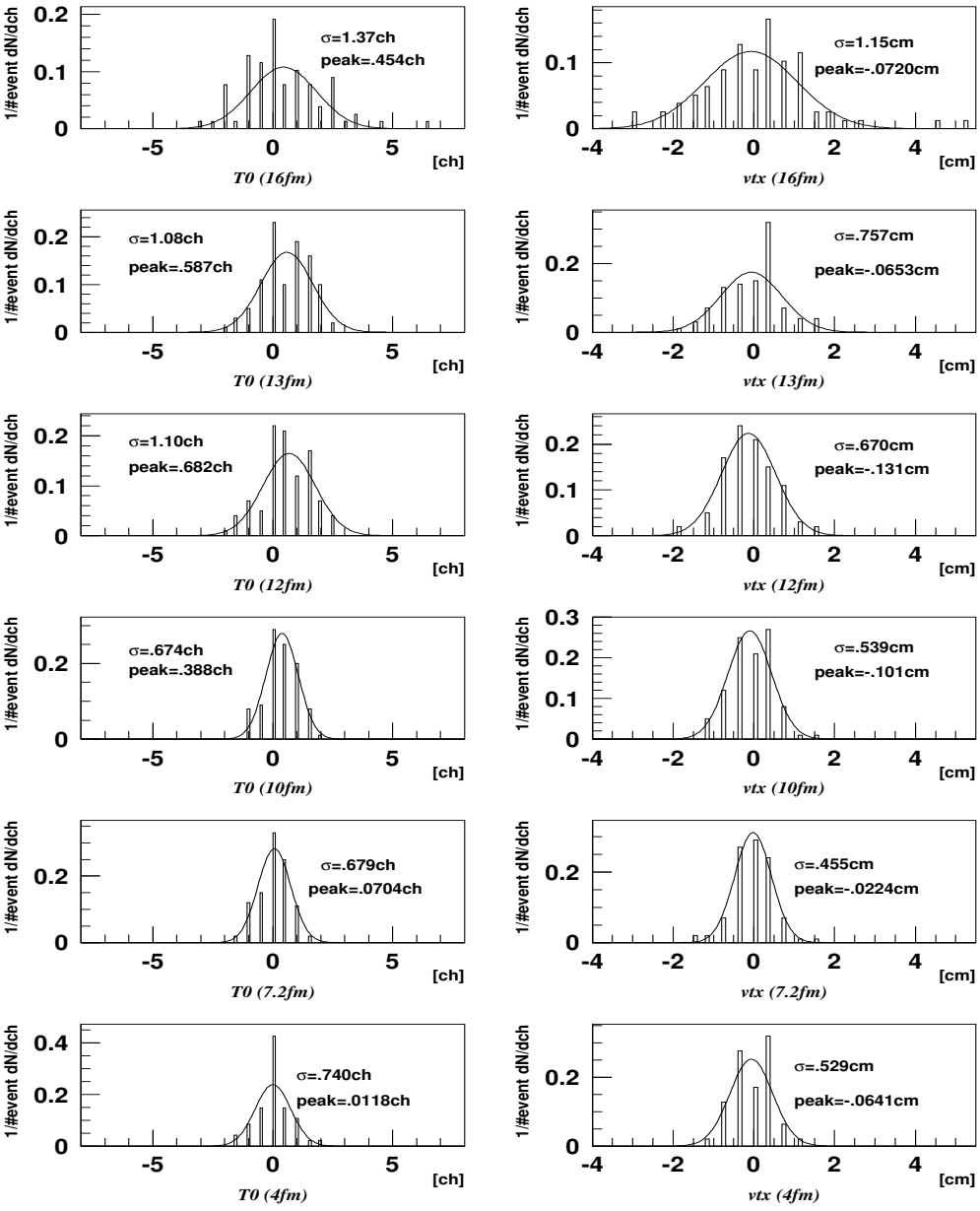

図 6: ピークの TDC の値から求めた t_0と vtx。上から b=16,13,12,10,7.2,4fm に対応している。

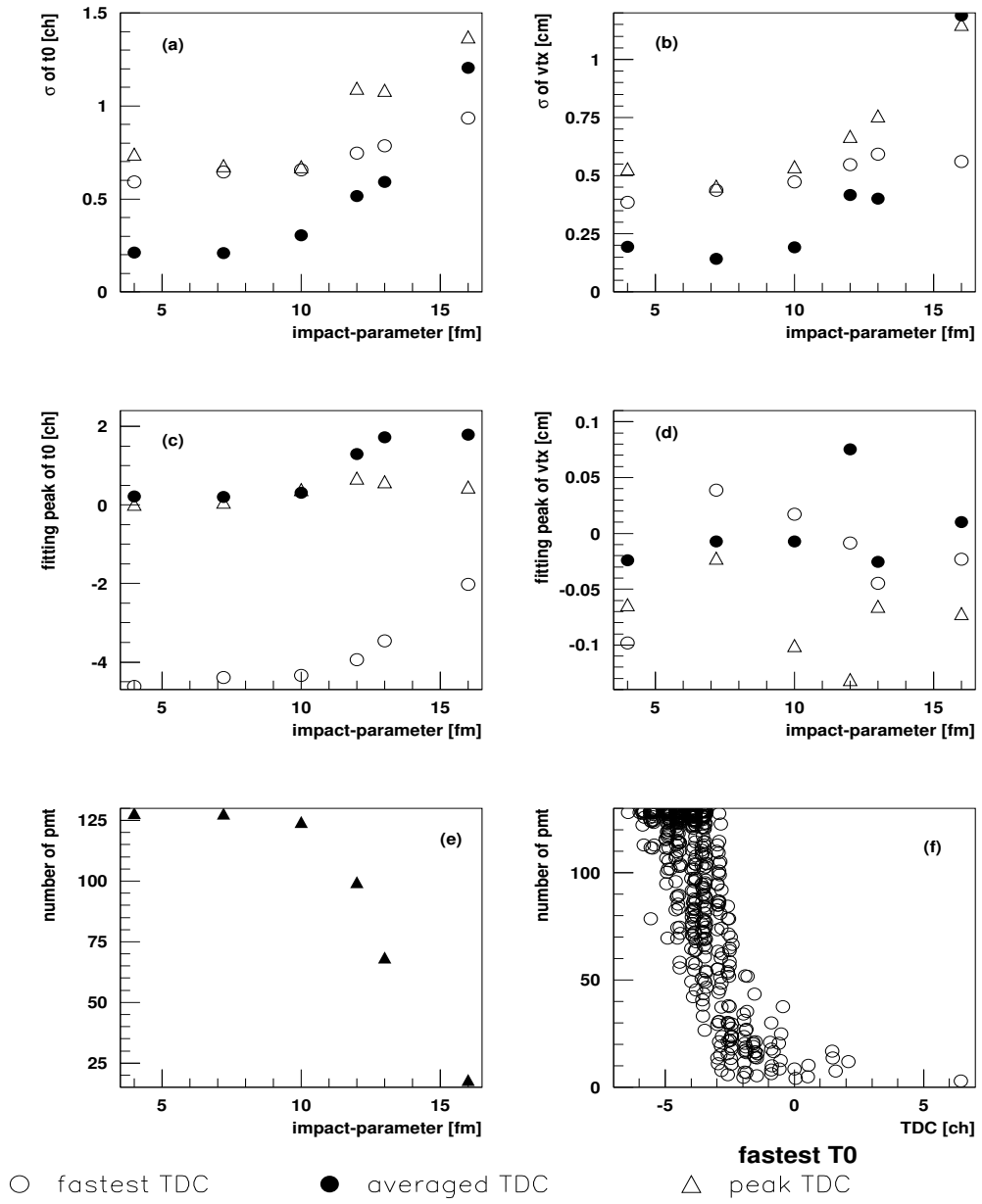

図 7: (a)t_0の分解能の比較。(b)vtx の分解能の比較、(c)t_0の fitting peak の比較，(d)vtx の fitting peak の比較，(e) impact-parameter と粒子が入射した PMT の数の関係、(f) 一番早い TDC の値から求めた t_0 の fitting peak と粒子が入射した PMT の数の関係。

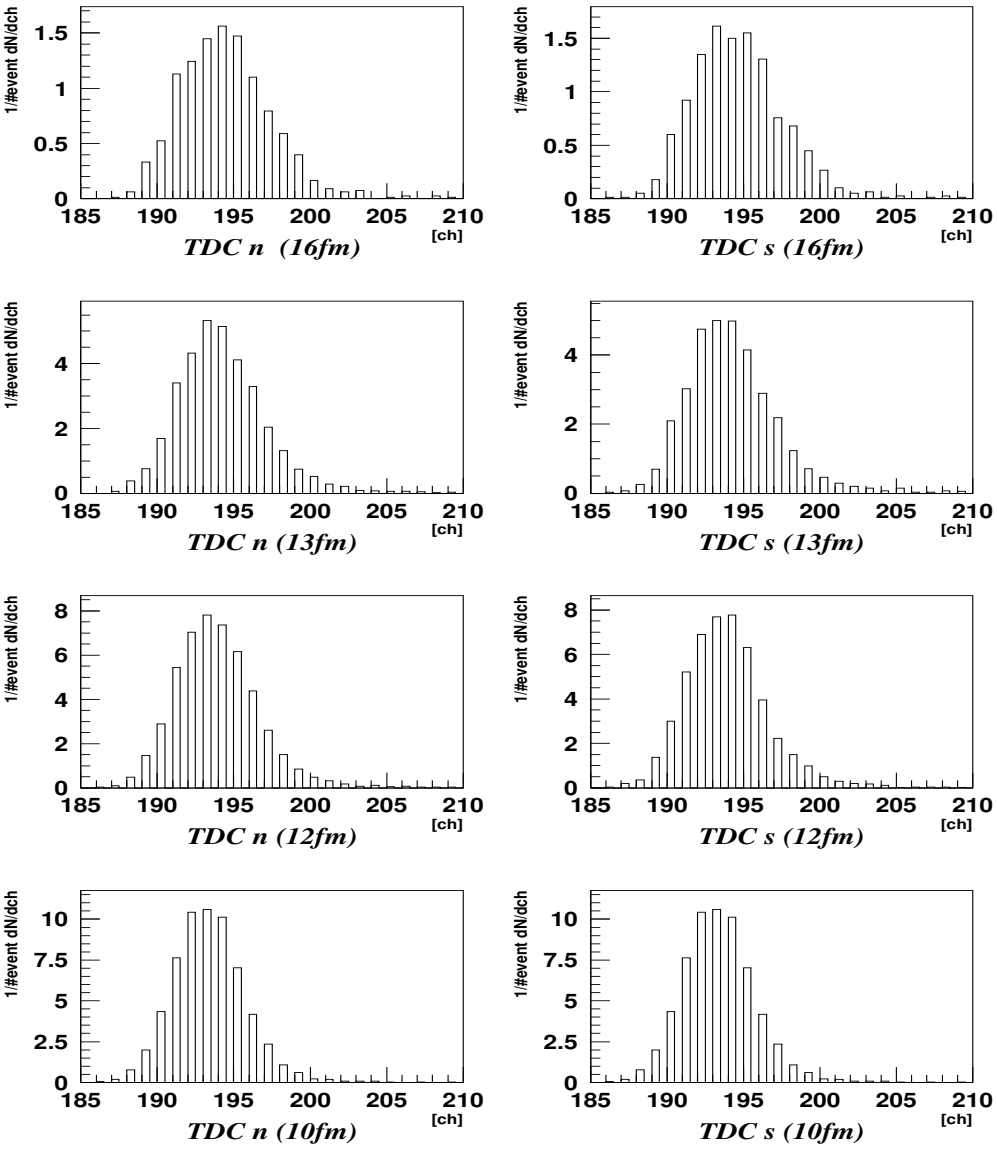

図 8: impact-parameter による TDC の変化。上から b= 16、13、12、10、7.2、4fm に対応していて、左側は North 側の BBC，右側は South 側の BBC で測定したもの。

5.3　ビームパイプによるバック ・グラウンド粒子の影響

検出時刻は、4.2 の 2) すべての有効な TDC の平均から検出時刻を決定する方法を用いた。図 9を見ると、BBC への入射粒子数はパイプの違いによって大きく変わっている。この違いの殆どは、粒子とパイプの相互作用によって生じたバック ・グラウンド粒子である electron と positron の数の増加から生じている。図 10に t_0と vtx の分布をパイプごとに示す。t_0の分解能 (σ) はビームパイプの変化、つまりバック ・グラウンド粒子の数の変化に対して何か相関があるようには見えない。

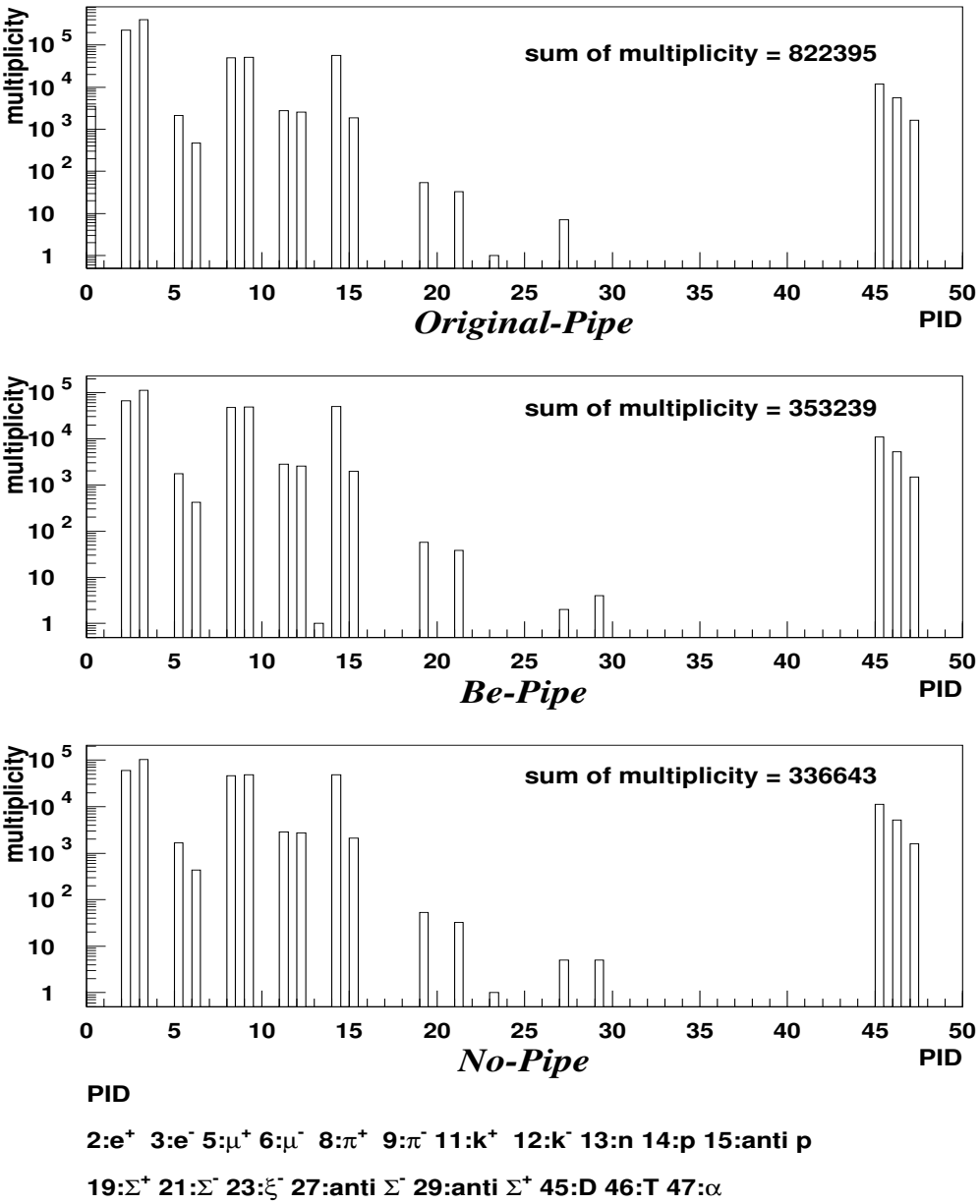

図 9: ビームパイプの違いによる BBC に入射した粒子の種類と数の変化。
(横軸の PID 番号は、下の PID 番号の粒子と対応している)

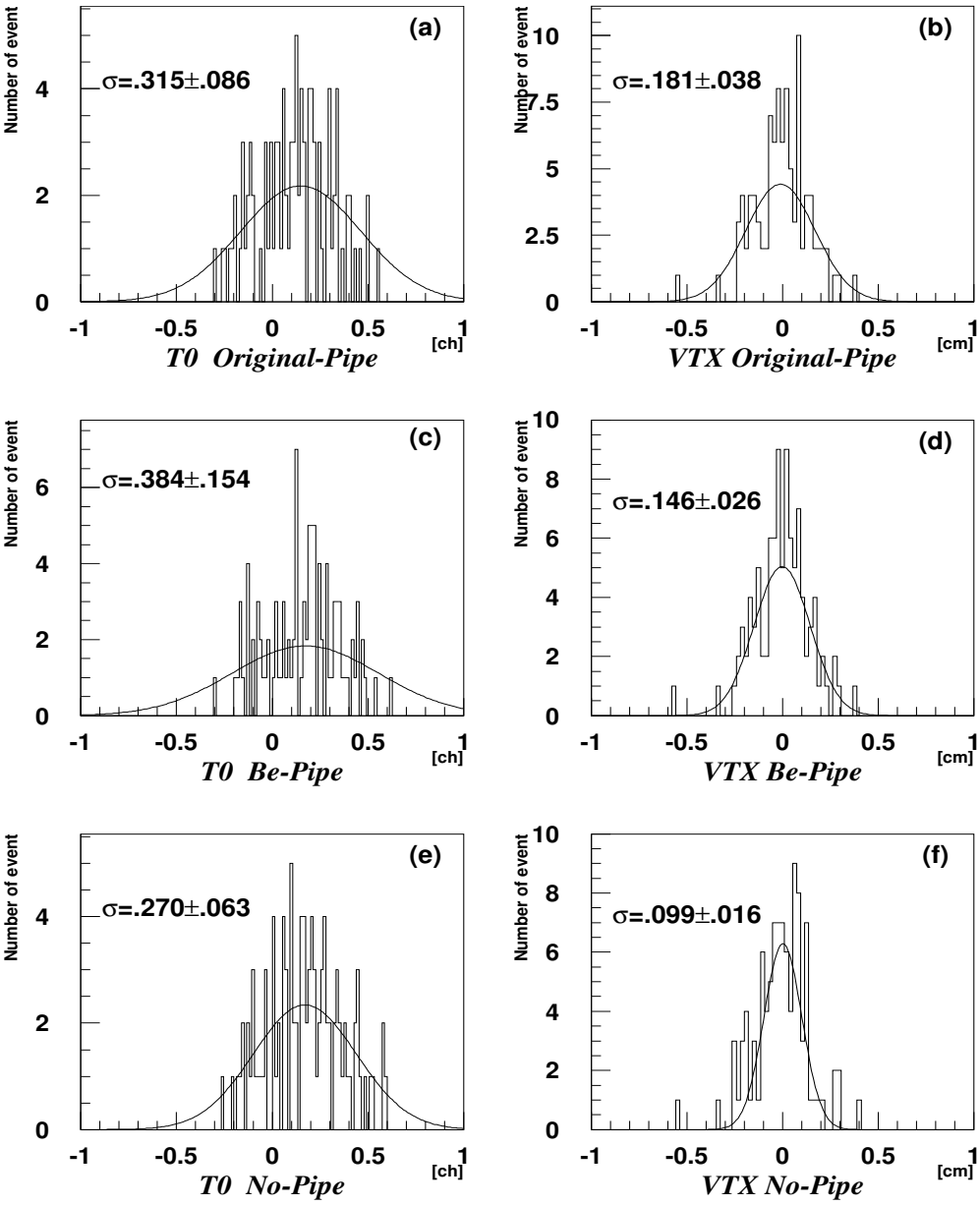

図 10: ビームパイプの違いと t_0、vtx。上段、中段、下段はそれぞれ PHENIX Original-pipe、Be-pipe、pipe なし。

5.4　φ 方向の粒子の偏りの検出

まず使用したイベントセット E-3 がφ 方向の偏りを持ったイベントであるのか、更にその偏りの角度は何度なのかについて調べた。最初に偏りを定義しなければいけなのだが、発生粒子の運動量を使って図 11 に示すように定義した。(a)、(b) は同じイベント (1イベント) での粒子の運動量分布を示したもので、それぞれ z 軸正の方向 (north)、z 軸負の方向 (south) に発生した粒子の x 軸、 y 軸方向の運動量 $(px\ ,py)$ 分布である。north、south 方向でのこの粒子の運動量の偏りを平均 ：

$$< px_{\mathrm{n}} > = \frac{\sum_{i=1}^{N_n} px_i}{N_n} \quad < py_{\mathrm{n}} > = \frac{\sum_{i=1}^{N_n} py_i}{N_n}$$
$$< px_{\mathrm{s}} > = \frac{\sum_{i=1}^{N_s} px_i}{N_s} \quad < py_{\mathrm{s}} > = \frac{\sum_{i=1}^{N_s} py_i}{N_s} \qquad (4)$$

(N_nN_sは各方向の粒子数) をとって (c)、(d) のように示し、これが x 軸正の方向となす角度φ をこの粒子の偏りとして定義した。そして north と south のφ の関係を (e) に示す （φ_n , φ_sの添字は、それぞれ north、south を表している)。(f) は、こうしてだした 100 イベント分のφ_n , φ_sの関係を示している。これを見ると分かるように、LUCIAE は north と south で $|\varphi_n - \varphi_s| = \pi$ [rad] の方向に粒子を放出している。これは運動量保存則によるものと思われる。

次に BBC に入射した粒子の偏りの定義を図 12に示す。(a)、(b) は同じイベント (1イベント) で粒子が入射した north、south の BBC の各 PMT の番号と測定した ADC の値である。各 PMT の位置として PMT の中心点の座標 $(x、y)$ とその ADC の値を用いて、BBC への入射粒子の偏りを重み付き平均 ：

$$< x_{\mathrm{n}} > = \frac{\sum_{i=1}^{N_n} ADC_i * \mathrm{x}_i}{\sum_{i=1}^{N_n} ADC_i} \quad < y_{\mathrm{n}} > = \frac{\sum_{i=1}^{N_n} ADC_i * \mathrm{y}_i}{\sum_{i=1}^{N_n} ADC_i}$$
$$< x_{\mathrm{s}} > = \frac{\sum_{i=1}^{N_s} ADC_i * \mathrm{x}_i}{\sum_{i=1}^{N_s} ADC_i} \quad < y_{\mathrm{s}} > = \frac{\sum_{i=1}^{N_s} ADC_i * \mathrm{y}_i}{\sum_{i=1}^{N_s} ADC_i} \qquad (5)$$

を求め図 12-(c)、(d)、先の発生粒子の偏りと同じようにφ を定義した。(e) は、(c)、(d) で示したイベントの north と south のφ の関係である。(f) は、78 イベント分のφ_{nb} , φ_{sb}(添え字 b は BBC での偏りを示す。) の関係を示している。78 イベントしかないのは、BBC に入射した粒子がないイベントや、片方の BBC にしか入射粒子がないイベントが在る為である。これを見ると、図 11-(f) の様な相関は見られない。

BBC は、前にも述べたように前 （後) 方角度 2.1 ° から 5.2 ° に飛ん

できた粒子、つまり pseudorapidity η =3.1 ~ 4.0 を持つ粒子を検出する。LUCIAE のイベントが、この範囲で $|\varphi_n - \varphi_s| = \pi$ [rad] の関係がなければ BBC で同じ関係を検出することはできないと思われる。そこで、この範囲での発生粒子の偏りを調べると、図 13-(a) に示すように特に相関は見られなかった。しかし (b)、(c) に示すように、発生粒子の偏りと BBC で測定された粒子の偏り φ_n vs φ_{nb}、φ_s vs φ_{sb} をみると、同じ角度に偏っているイベントが多く見られる。

そこで、発生粒子の偏りの小さいものはバック・グラウンド の影響で偏りが検出しにくいのではないかと考え、偏りの大きさを図 11- （c ）、(d) での原点からの距離で定義し、この値が 0.2 以上のものだけを選んで φ_n vs φ_{nb}、φ_s vs φ_{sb} をみたのが、図 13- （d ）（e ）である。まだ多少偏っている角度が違うものもあるが、ばらつきの割合は減ってきており同じ方向に偏る傾向にある。しかし逆に、BBC のほうで大きく偏よっている場合その発生粒子も同じ方向に大きく偏っているかというと、図 12- (b) (c) より良い相関は見られなかった。

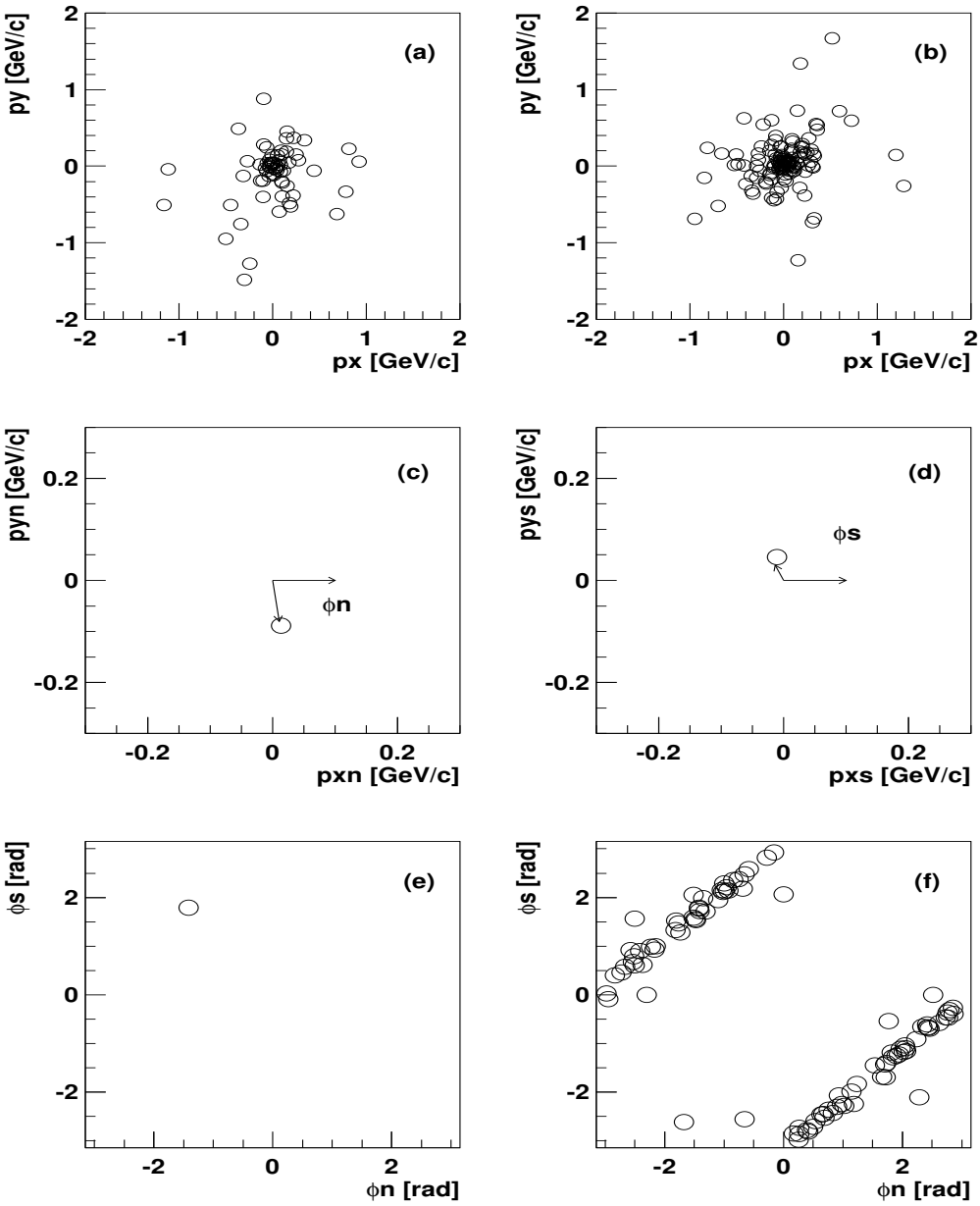

図 11: 発生粒子の偏りの決め方。(a)pz が正の粒子の px、py 分布、(b)pz が負の粒子の px、py 分布、（ c ）（ a ）の px、py の平均、（ d ）（ b ）の px、py の平均、（ e ）（ c ）（ d ）で求めたφ n とφ s の関係、(f)100 イベント分のφ n とφ s の関係。

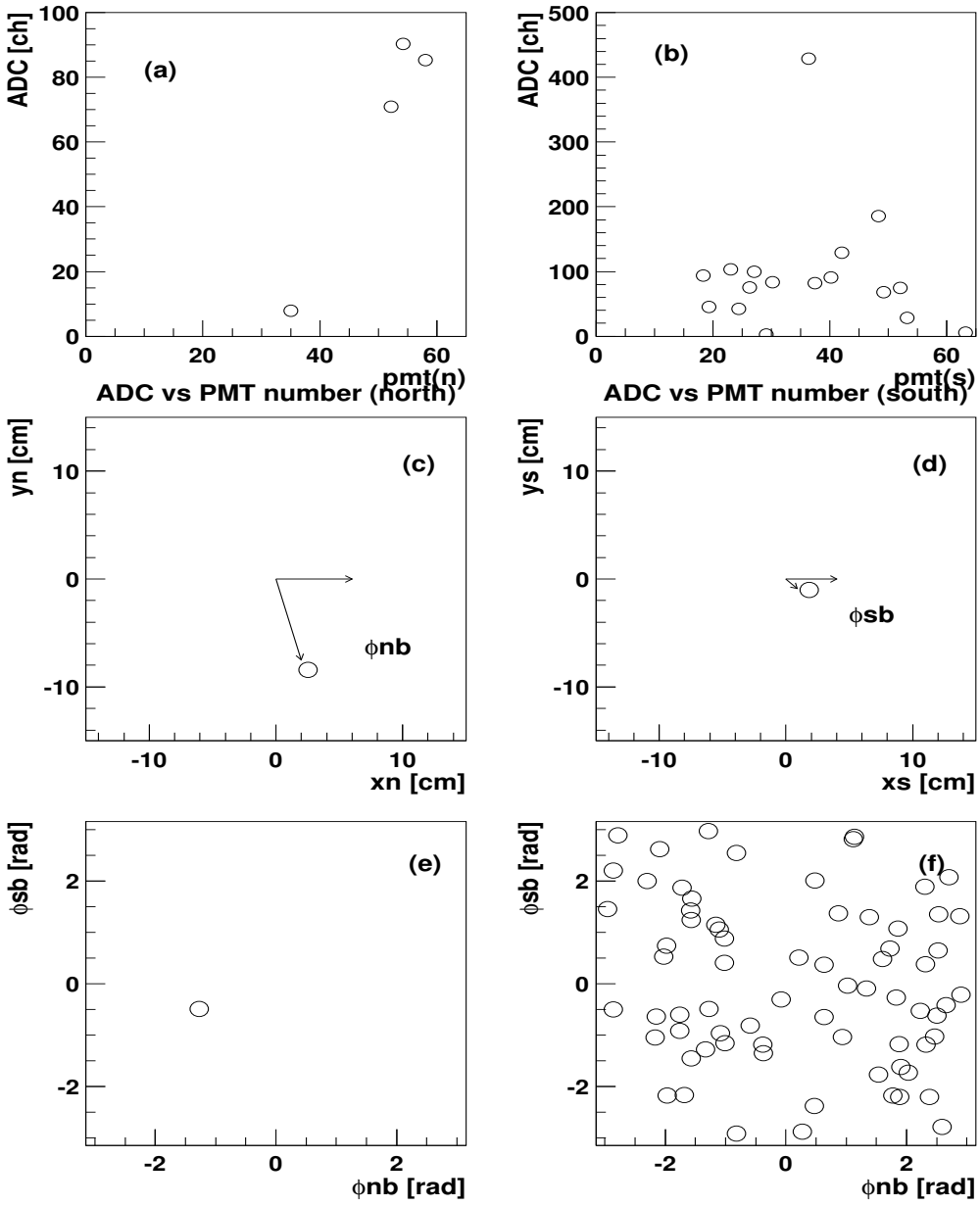

図 12: BBC での偏りの決め方。(a) North の PMT 番号とその PMT の ADC の値、(b) South の PMT 番号とその PMT の ADC の値、(c) (a) の PMT の位置 (x、y) の重み (ADC) 付き平均、(d) (b) の PMT の位置 (x、y) の重み (ADC) 付き平均、(e) (c) (d) で求めたφ nb とφ sb の関係、(f) 78 イベント分のφ nb とφ sb の関係。

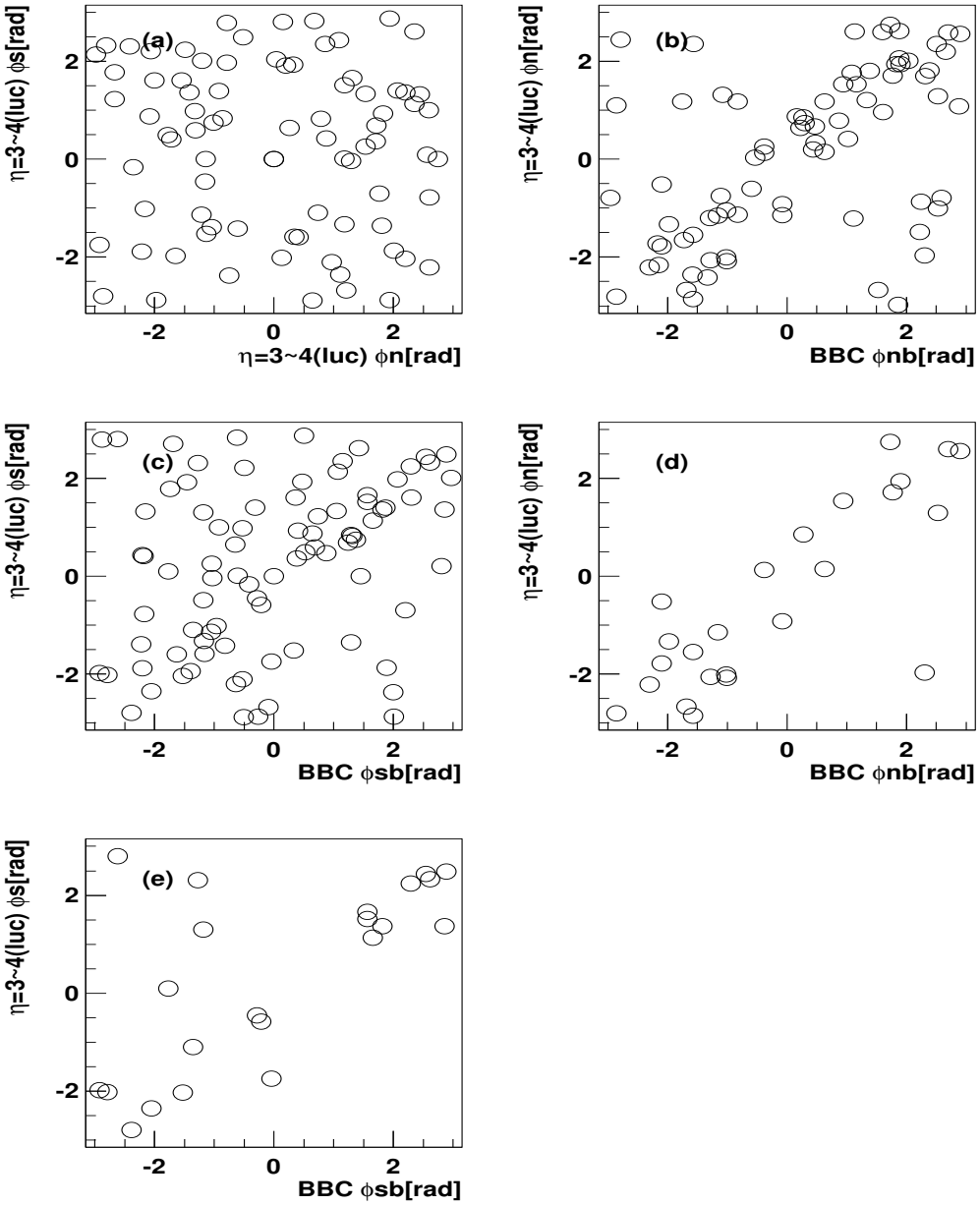

図 13: 発生粒子と BBC での偏りの相関　(a) η = 3 ~ 4 の発生粒子の φ n と φ s の関係、(b) η = 3 ~ 4 の発生粒子の φ n と BBC の φ nb の比較 、(c) η = 3 ~ 4 の発生粒子の φ s と BBC の φ sb の比較 、(d) (b) のうち 0.2GeV 以上偏っているイベントでの φ n と BBC の φ nb 比較、(e) (c) のうち 0.2GeV 以上偏っているイベントでの φ s と BBC の φ sb 比較

6　考察

BBC の全 PMT の ADC の値の和は発生粒子と図 3の様な相関があり、発生粒子の数を良く反映している。これにより全ての BBC がオーバー ・フロウするまでの範囲で発生粒子数の予測ができるが、 impact-parameter による発生粒子数はイベントジェネレーターによって違うので、これだけでは目安程度にしかならない。他のイベントジェネレーターで同じように調べる必要が在る。

検出時間の決定方法は、4.2 の１）の一番早い時間で決める方法は vtx はよい精度で決められるが、t_0は補正の値にも広がりがあり正しい値を決定することは出来ない。現時点では、粒子を検出した PMT の数が 100 本より上 （impact-parameter が約 12 以下）のときは 4.2 の２）の平均時間を採る方法、 PMT の数が 100 本以下のときは 4.2 の３）のピークの値を採る方法が良い。しかし、粒子を検出した PMT の数に応じてスレッシュホールドをかけてその leading edge の PMT の値を採るという方法は今後調べるべき課題である。

ビームパイプによるバック ・グラウンドの影響については、時間分解能に与える影響はないといえる。

以上の結果から、BBC は Au-Au 衝突において十分よい精度で t_0と vtx を決定することが出来るといえる。

φ 方向の粒子の偏りの検出については、発生粒子が偏っていてもバック ・グラウンドの影響で BBC も同じ方向へ偏っているとは言い難い。だが偏りの大きいものについては、同じ方向に偏りが見えるといえそうである。しかし、BBC でかたよって見えるからといって発生粒子が偏っているとは言えないので、結局この方法ではφ 方向の偏りは検出できない。

7　謝辞

このシミュレーション実験全般に渡って、お忙しい中御指導して下さった杉立先生に、心より感謝し御礼を申し上げます。また、様々な助言を下さった宮村先生、阪口先生、鷲見先生にも、大変感謝致しております。金田さん、横路さん、大西さんをはじめとする研究室のみなさんからは、UNIX の使い方から、シミュレーションのやり方まで色々なことを教えて頂き、また私の細々とした質問にも丁寧に答えて頂きまして、有り難うございました。最後に、このシミュレーションを始めるにあたり大変お世話になった海見さん、有り難うございました。

参考文献

[1] 神吉 健 パリティ物理学コース クローズアップ クォーク ・グルーオン ・プラズマ (丸善株式会社，1992)

[2] K. Matsukado , Research and development of time zero detector for Heavy ion collider experiment (PHENIX) (1994).

[3] K. Kaimi , Study of Beam/Beam Counter performance (1996).

[4] R. K.choudhury etal., A Primer for PHENIX Simulation Codes PISA and PISORP (1995).

[5] B.-H. Sa and A. Tai , LU TP 94-22 (1994).

[6] Y. Zhang , PhD thesis, SUNY at Stony Brook (1995).