

パーソナルコンピュータを用いたシンチレーティング ファイバー測定器中でのハイペロン反応の解析

高 嶋 隆 一

Analysis of Hyperon Reaction in the Scintillation Fiber Detector with a Personal Computer

Ryuichi TAKASHIMA

Received September 30, 1992

抄 録： H粒子探索の実験がKEK 陽子加速器実験施設において行なわれている。この実験では、プラスチックファイバーシンチレータ中で起きる原子核、素粒子反応の画像データをイメージインテンシファイヤーを用いて記録する。この画像データをMacintosh パーソナルコンピュータを用いて解析するためのソフトウェア開発を行なった。SCSIバスによって接続された8mmテープドライブからデータを読みだすことができるようになった。パーソナルコンピュータの持つグラフィカルなユーザーインターフェースルーチンを利用したインタラクティブな解析ができる。

検索語： パーソナルコンピュータ, SCSI, 8mmテープドライブ, グラフィカルユーザーインターフェース

Abstract: An experiment to search for H dibaryon is now proceeding at the KEK Proton Synchrotron Facility. In this experiment, the image data of nucleon or elementary particle reaction in the scintillating fibers are recorded with the use of image intensifiers. Software for the Macintosh personal computer to analyze these image data is developed. The data is read out from an 8mm tape drive connected via a SCSI bus. An interactive image analysis is done with the use of graphical user interface routines implemented in the personal computer.

Key Words: personal computer, SCSI, 8mm tape drive, graphical user interface

1. は じ め に

H粒子はストレンジクォークを2個含んだ、バリオン数が2の2核子系である。予言されているように、この粒子の質量が二つのラムダ粒子の質量より小さいと、弱い相互作用によってしか壊れない安定な少数核子系となる。¹⁾ この粒子の存在の有無は強い相互作用の理論に重要なパラメーターを加えることになる。KEKにおいてシンチレーティングファイバーを標的に使い、H粒子を直接観測しようとする実験(E224)のデータ収集が1992年春に終了し、データ解析が現在進行中である。

この画像データを解析するために、パーソナルコンピュータであるMachintoshを使った解析システムを開発した。一般的には、ギガバイトクラスの大量のデータを解析する仕事はパソコン向きでなくワークステーションが必要とされる。実験で大量に作り出される2.3ギガバイトの8mmテープを読み取ることができるかさえ、明らかではなかった。それにもかかわらず開発を行なったのは、ワークステーションの導入が遅れたこと、パソコンのシステムが安価であること、また実験に参加しておきながらデータ解析を十分に行なえないという事態を避けるためである。

Machintoshの画面には、256色を同時に表示できるため、7ビットの輝度情報を持った今回の画像データを表示するのに適している。さらに、SCSIのポートがついているためEXABYTE 8mmテープドライブを接続することができる。また画像解析のために豊富なROMルーチンを利用できる。

2. H粒子探索実験とその解析

図1に実験装置の概略を示す。静電粒子選別装置を通過した $1.6\text{GeV}/c$ のビームには $1/4$ の K^- 中間子が含まれており、シリカエアロジェルチェレンコフカウンターによって、のこりのパイ中間子と区別される。 K^- 中間子と陽子が反応して、 Ξ^- 粒子が発生する反応を探す。このとき K^+ 中間子が発生するので、この粒子を捕まえて運動量を調べるためのスペクトロメーターがシンチレーションファイバー標的の後方におかれている。

シンチレーティングファイバーとイメージンシファイヤーを組み合わせた測定器は、このH粒子の探索実験のため

に京都大学の素粒子物性グループを中心にして開発されてきた。²⁾ シンチレーティングファイバーは、 0.5mm 角のプラスチックシンチレータでできたファイバーで、クラッドの外側に遮光を兼ねた接着剤を塗ってリボン状に束ね、X方向とY方向に交互に積み上げて、反応を立体的に捕えることができるようにしてある。このファイバ束のX方向とY方向に直径8cmの静電型のイメージ

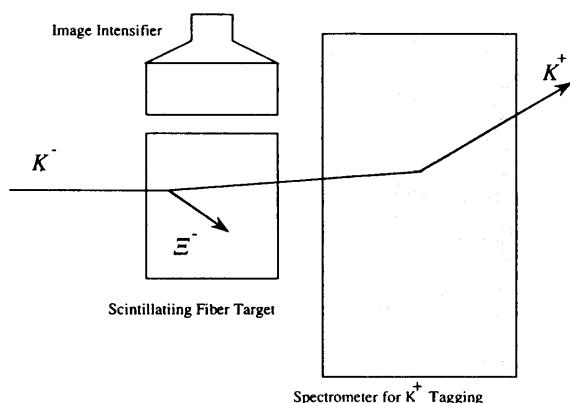


図1 H粒子探索実験(E224)装置の概要

インテンシファイアーを取付け、この光電面で発生した一個の光電子が十分明るく見えるまで後段の2段のマイクロチャンネルプレートを使ったイメージンシファイヤーで増幅を行なっている。このインテンシファイヤーにはゲートが掛かるようになっており、実験ではファーストレベルトリガーとセカンドレベルトリガーを作ってそれぞれ1段ずつのゲートとしている。このように、反応を画像として捕えることができると共に、反応を選択して画像化することができるということは、今までになかった測定技術である。今までに素粒子反応を画像で捕えることのできた、泡箱や原子核乾板などは、反応画像を選択して捕えることができなかった。

最終段の蛍光面に現われる画像をCCDカメラでNTSC信号に変換したあと、フラッシュADCとFIFOメモリーを使ってデジタイズとバッファリングを行なう回路が製作された。³⁾ これによって、ゼロサプレスされた、輝度とXY座標のデータの組がFIFOメモリーに蓄えられる。FIFOメモリーにたまった画像データは、VMEモジュールの平行IOモジュールを通じて、VMEのデータ収集システムに取り込まれ、EXABYTE 8mmテープに書き込まれる。

実験の述べ時間は800時間ほどであるが4時間を単位にデータを収集している。例えば、この4時間のデータ収集時に使われた K^- 中間子の数は6千5百万個でこのうち5万9千個が電気的なトリガーシステムで選択され画像化されている。実験終了後の解析で K^- 中間子を含んだ反応は166例あることが解かった。これは、反応断面積から予想される数と一致している。テープからこの反応を取り出して光磁気ディスクに書き出す作業を行なう。取り出す反応のリストは京都大学のVAXコンピュータ上にあるので、このファイルはKermitという異機種間のファイル変換ユーティリティを利用して移す。研究室にはパケット交換網に端末接続するための装置があるので、学情ネットを利用して京都大学のVAXを利用できるようにしてある。

データ解析システム解析に使ったコンピュータはMacintosh IIsi, MacintoshSEである。MacintoshSEにはテプドライブと光磁気ディスクがSCSIバスによって接続されており、 K^- 中間子を含んだ反応を取り出すのに利用する。Macintosh IIsiは256色を同時にカラー表示でき、反応の表示や解析に利用する。Macintosh IIsiもAppleTalkを通じて光磁気ディスクにアクセスでき、MacintoshSEと同時にアクセスしても問題は起こらない。

3. マッキントッシュの基本ルーチンと言語

MacOSのROMルーチンはToolBoxルーチンと呼ばれており、これらを利用したプログラミングが必要になる。^{3), 4)} SCSIの利用のための基本ルーチンも簡単に利用できるもので、8mmテープの読みだしプログラムを容易に書くことができた。また、プルダウンメニューやウィンドウ、スクロールバーといったプログラミングツールをつかった解析プログラムを容易に書くことができる。また、たくさんの解説書が出ており、^{5), 6)} その中のサンプルプログラムに手を加えて取り込むことによって、自分のプログラムに印刷、ファイルへの保存、クリップボードへのコピーといった、様々な機能を加えることができる。

しかし、解析のためのソフトウェアの場合、プログラムの利用の仕方の見かけの美しさを犠牲にしても、早く一つのパラメータを引き出したいということがしばしば起きる。このような場合には、コンソールとの伝統的なやり取りの方が有り難いときがある。今回プログラム開発に利用したThink CはANSICの標準ルーチンをすべてサポートしているので、その場合にも十分対応できる。

このように、我々のようなデータ解析の現場では、ToolBox ルーチンと ANSIC の標準ルーチンの柔軟な使い分けが必要になってくる。例えば、 K^+ 中間子を含んだ反応を取り出した後、光磁気ディスクに格納するときは ANSIC の標準入出力ルーチンを使っている。

Think C は Macintosh の上で非常に簡便にプログラム開発ができ、インタラクティブに働くデバッガが付属している。高速コンパイルによるインタプリタのような簡便さ、というように非常に使い勝手の良いツールである。今回、開発したプログラムは Think C を使って作られている。

4. 8 mm 磁気テープ装置読みだしソフトウェア

EXABYTE 8 mm テープドライバはメディアとして、通常の 8 mm テープを使い、120 分テープに 2.3 ギガバイトのデジタルデータを記録することができ SCSI インターフェースを通じて、あらゆるワークステーションに接続可能である。しかし、Macintosh 用のドライバソフトウェアは付属していないため、自作する必要がある。

Macintosh には、SCSI マネージャと呼ばれる、基本ルーチンがある。これらを使って EXABYTE 8 mm テープのデータを読み、テープ装置の動作確認をするためのテストプログラムを作った。Macintosh の、SCSI ルーチンについて、わかりやすい解説書があったので、それを参考にした。⁷⁾

H 粒子探索実験のデータテープは 8 mm テープに 64k バイトの固定長ブロックにデータが書かれている。テストプログラムによって調べると、Read コマンドでエラーなしで読むためにはまず、ModeSelect コマンドで、ブロック長である 65532 バイトをセットし、Read コマンドのパラメータブロックには固定長の 1 ブロックの読みだしを指定する。Read コマンドの疑似パラメータブロックにも 65532 のバイト数をセットする。普通に読めているときはメッセージフェーズでエラーは出ないが、EOF があるとステータスバイトに Check Condition コードが現われる。このとき、ModeSense コマンドを送ってエラーの確認をし、例えば EOF のビットがたっていれば、対応した処理をするようにすればよい。読みだしのバッファはポインタを使うことによっていくらかでも長く取ることができる。

Macintosh の、SCSI ルーチンでは、ステータスフェーズとメッセージフェーズが SCSI Complete コマンド中で実行される。テープのファイルスキップなどの時間のかかる動作をするときには、メッセージフェーズの待ち時間を長く取ってやる必要がある。このとき一時的なバスの開放などの手続きは含まれないのでバスが占有されてしまう。このとき他のコンピュータがそのバス上のハードディスクが AppleShare によってシェアしていると、Chooser が起動したときバスの開放時まで待たされることがある。

EXABYTE 8 mm テープは原子核や高エネルギー物理学実験ではよく利用されているので、Macintosh でエラーなしで利用できるようになったことにより、データ収集装置として Macintosh を使うことも可能になると思われる。以下に、読みだしに使ったコマンドのパラメータのリストを示す。

```

/* Read コマンド パラメーターリスト */
char CMDfread[]={0x08,0x01,0,0x00,0x01,0}

/* Mode Select コマンド パラメーターリスト */
char CMDmsel[]={0x15,0,0,0,12,0};
char DATAmse[12]={0,0,0x10,8,0,0,0,0,0,0,0xff,0xfc};

/* Mode Sence コマンド パラメーターリスト */
char CMDsence[]={0x03,0,0,0,26,0};

```

5. イベントの表示と歪みの修正, 印刷

読みだされたデータはバイト単位となっているが, 画像データは32ビット単位なので, 同一 Address をポイントする longInteger のポインタを作る。あらかじめ Color Quick Draw Routine を使ってパレットを作っておく。⁵⁾ イベントナンバーや輝度情報, x y 座標をデコードし輝度情報によってパレットをセットし, 点を打つというように, 簡単に表示をすることができる。この表示のためのルーチンを以下に示す。

```

DrawEvent(BuffPtr, numPixel)
long *BuffPtr;
int numPixel;
{
    long temp;
    int i,event__Num,xPosition,yPosition,brightness;

    temp= *BuffPtr;
    event__Num=(temp & 0xfc000000)>>26;
    for(i=0; i<numPixel; i++)
    {
        temp= *(BuffPtr+i);
        event__Num=(temp & 0xfc000000)>>26;
        xPosition=( int )((temp & 0x03ff0000)>>17);
        yPosition=( int )((temp & 0x0000ff80)>>7);
        brightness=( int )(temp & 0x0000007f);
        PmForeColor(brightness);
        MoveTo(xPosition, yPosition);
        LineTo(xPosition, yPosition);
    }
}

```

静電型のイメージインテンシファイアーの光電面は直径 8 cm であるが、蛍光面の直径は 2.5 cm である。これは後段のマイクロチャンネルプレート（MCP）の直径にあわせるためである。しかしこのため磁場があると画像が歪んでしまう。X 方向の画像は K 中間子の運動量解析電磁石の磁場を感じて、本来正方形であるべき図形が図 2 のように歪んでしまっている。

ビームチェンバーからの入射粒子のトラックやスペクトロメーターシステムからの K プラス中間子のトラックを画像データに重ねるために、この歪みをできるだけ取り除く必要がある。この結果を図 3 に示す。

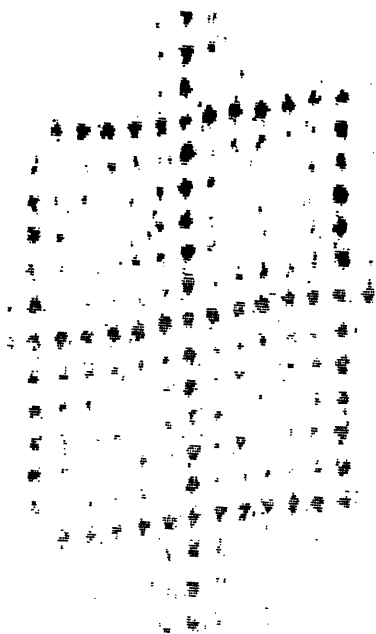


図 2 磁場によって歪んだ位置の Calibration 用パターン

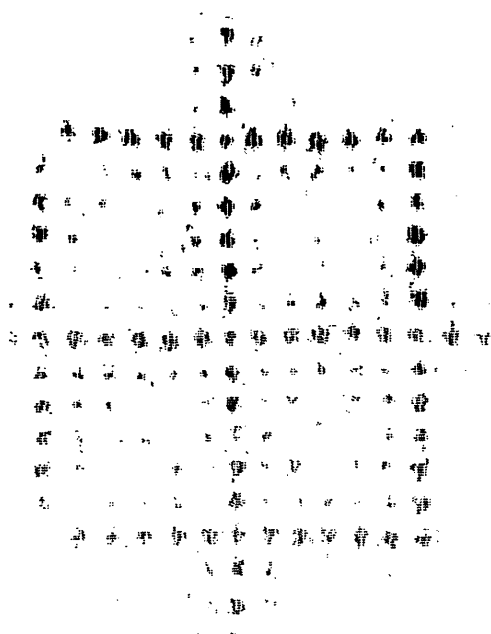


図 3 座標変換で歪みを除いた位置の Calibration 用パターン

簡単な関係式で歪みを完全に取り除くことは難しいので、周辺部を中心に歪みが残っている。この描画のプロセスは非常に早く、テープから読みだして描画してもほとんど待ち時間はない。また Ethernet に比べて遅いとされる Apple Talk を通して比較的遅い光磁気ディスクから読みだしても、ほとんど待ち時間はない。

また、画像データの印刷は、上記の描画プロセスを行なって作ったデータをプリンタドライバに渡すかんたんなルーチンを作ってやればよい。⁶⁾ パレットをグレイスケールの諧調をもたせておくとプリンタドライバルーチンが自動的にプリンターの解像度の高さを使って網点を使った諧調表現をしてくれる。

6. 電離エネルギー損失の解析による粒子識別

H粒子探索実験では、 Ξ 粒子と原子核中の陽子の反応のプロセスを調べる。グザイマイナス粒子が静止した後の反応を調べ、2次的な反応を同定しなければならない。延べ800時間の実験で、得ることができる負の電荷をもった Ξ 粒子はおよそ1万8千個である。このうち1万3千個がファイバーの中で Λ 粒子と負の π 中間子に崩壊する。H粒子が原子核と Ξ 粒子の反応が作られ、弱崩壊によって観測されるとすれば10個程度と見積られているので、⁸⁾ Λ 粒子への崩壊反応と十分良い精度で区別できなくてはならない。このためには粒子の識別が重要になる。

飛跡の電離エネルギー損失は粒子同定の手段として重要である。粒子識別の可能性を調べるために、 π 中間子、重陽子、陽子をシンチレーティングファイバー中で止るようにビーム運動量を設定してデータを取った。

図4に、それぞれの粒子の画像データを示す。電離エネルギー損失は速度によって決まり、低速度の時ほど大きい、重い粒子ほど低速度での運動エネルギーが大きいので濃い飛跡となることが解かる。 π 中間子は静止した後、 μ 粒子に崩壊し、その後電子に崩壊する。薄い飛跡は電子のものである。 μ 粒子の飛跡はエネルギーが小さく飛距離が短いので、ほとんど見えない。

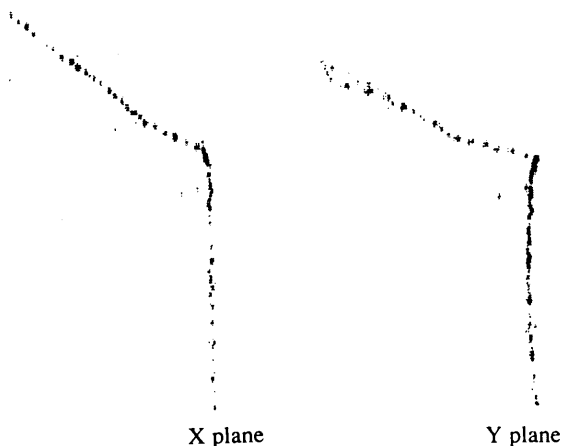
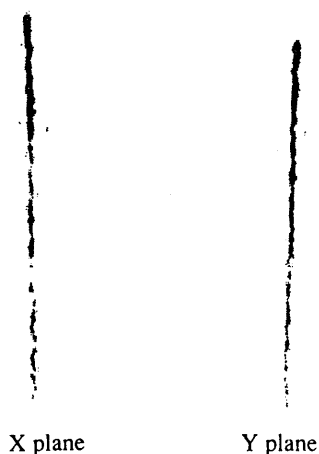
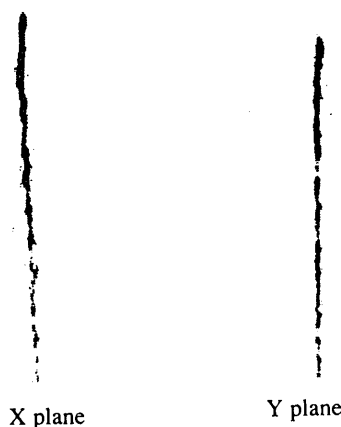


図4 a) Fiber Scintillator 中で静止した π 中間子



b) Fiber Scintillator 中で静止した陽子



c) Fiber Scintillator 中で静止した重陽子

静止点から4 cmの間、位置の違いによる輝度の変化を、数十イベントの平均として取ったものを、各粒子について図5 a) に示す。また300MeV/cの π 中間子のデータも示す。高速に近い粒子をこのデータから同定できる。 π 中間子、陽子、重陽子の順に静止点の近くでエネルギーロスが大きくなっている。

電離エネルギー損失はBethe-Bloch 方程式に物質のパラメーターを入れて計算することができる。これを図5 b) に示す。輝度の低いところでは輝度とエネルギー損失は比例関係が成り立っているが、高いところでは輝度のカウント数が桁溢れして、飽和してしまうことが解かる。

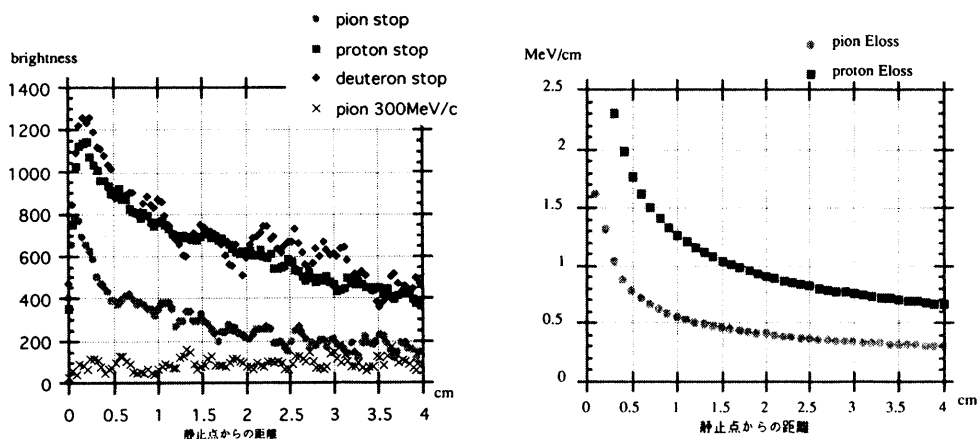


図5 a) 静止点近くでの輝度の位置による変化 b) Be the-Bloch 方程式による静止点近くでの電離損失の位置による変化

しかし、イベント毎の輝度は、統計的な変動や測定器固有の状態変化や装置の光学的な接触状態によって、揺らいでしまう。輝度を静止点から位置の変化に添って積分しイベント毎の揺らぎを調べた結果を図6 に示す。

これによると、積分輝度では揺らぎの大きさはそれほど小さくなく、1 cm程度の飛跡でも高速な粒子と、静止しようとしている π 中間子、陽子や Ξ 粒子などの重粒子をそれぞれ、積分輝度を調べることによって、区別することができることが解かった。

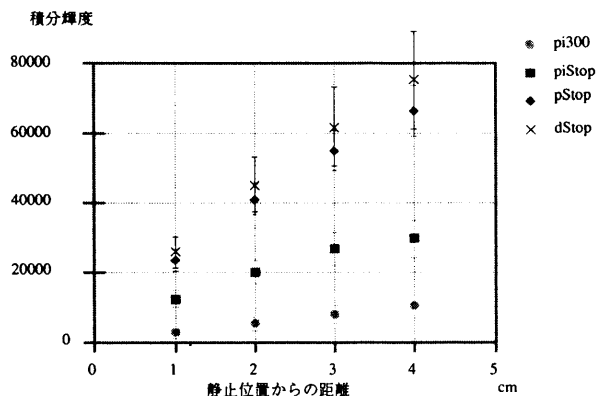


図6 静止位置からの積分輝度のイベント毎の揺らぎ

7. Λ 粒子の質量再構成

前に述べたように、 Λ 粒子の崩壊はH粒子の探索の大きなバックグラウンドとなる。この反応を良い精度で同定する必要がある。その一つの方法として、 Λ の質量再構成を考えてみる。 Λ の発生点を仮定し、陽子又は π 中間子のレンジが決まれば、運動学的に Λ の質量再構成ができる。マウスでそれぞれの粒子の飛跡上の点をクリックして行くと、運動量の保存の関係から運動学的な値を求め表示するようにした。図7にこの典型的な例を示す。これから溯って行って、 Ξ 粒子の質量再構成もできる。 Ξ 粒子が弱崩壊しているかいないかがH粒子の同定に取って重要となるので、これらの運動学的解析は重要である。また今後は静止粒子を使うのみならず、輝度の解析を行なって運動学的な解析を行なうプログラムを開発する必要がある。

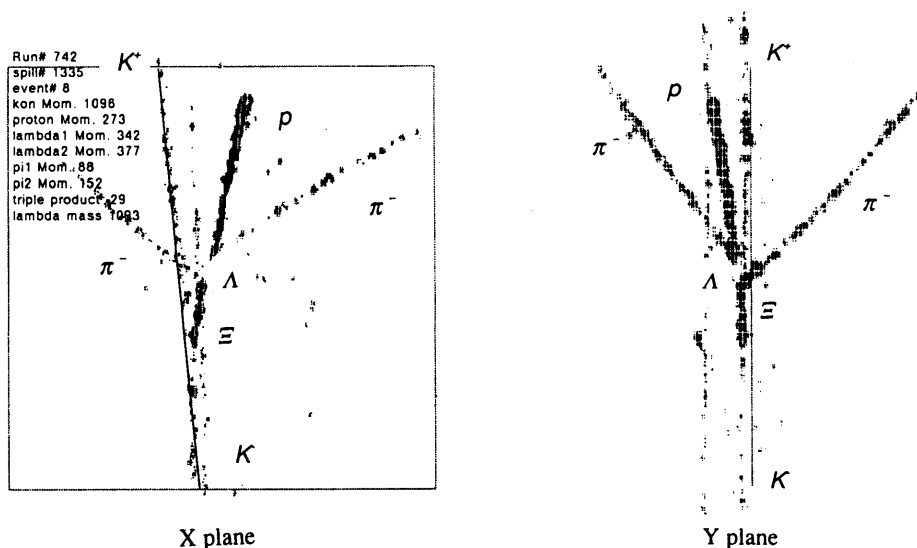


図7 質量再構成をされた Λ 粒子を含むイベント。実線はスペクトロメーターで捕えた K^+ を画像データに重ねたもの

8. お わ り に

H粒子探索のための基礎データを解析するためのシステムをパーソナルコンピュータを利用して作った。さらに進んでH粒子の探索そのものにも利用できると思われる。このシステムは非常に安価に作り上げることができ、用途に合わせてプログラムを書き換え柔軟に対応することができる。問題点としては、UNIX や VMS で一般に使われている標準的なライブラリを利用しにくいことがあげられる。また、プログラム開発の過程で、ハングが起きやすく、システムソフトウェアの保護が甘いと感じられることが少なくない。しかしながら、ToolBox という基本ルーチ

ンを使えば、グラフィックユーザーインターフェースを使った解析プログラムを簡単に書くことができ、高速にイベントのディスプレイ表示ができ、プリントアウトが簡単に得られることは驚きである。さらに、簡便で安価なネットワーク接続が可能のため、解析を並行して進めることができる。

実験グループではUNIX ワークステーションであるSUNを使った解析が続けられている。パソコンを利用したシステムを作ったのは純粋に経済的な問題からだったといえる。しかしながら、ToolBox Routineは多くの解説書によって非常に使いやすいものとなっており、パソコン自体が魅力的なツールであると感じられるようになってきた。C言語をはじめすべてに初心者であった筆者が開発を続けることができたのは、その魅力によるところが大きい。

参 考 文 献

- 1) R.L.Jaffe, Phys. Rev. Lett. 38(1977)195
- 2) A.Konaka et al., Nucl. Instr. & Methods A256(1987)70.
- 3) S.Aoki et al., to be published
- 4) Apple Computer, Inside Macintosh, Vol.I,II,V アジソンウェスレイ BNN, インサイドマック 徹底ガイド
- 5) D.マークC.リード, Macintosh C プログラミング, Vol.I,II アジソン-ウェスレイ・トッパン
- 6) 小池邦人, Tool Box 100 の定石 アスキー出版局
- 7) 斎藤亮, Macintosh の SCSI 活用事例, 別冊インターフェース, 最新 SCSI マニュアル
- 8) 今井憲一, Hダイバリオンの探索, KEK PS 実験計画書