

解説



高エネルギー物理学における極限的コンピュータ利用技術

高エネルギー物理学実験での
データ収集システムとデータ処理†

渡瀬 芳行††

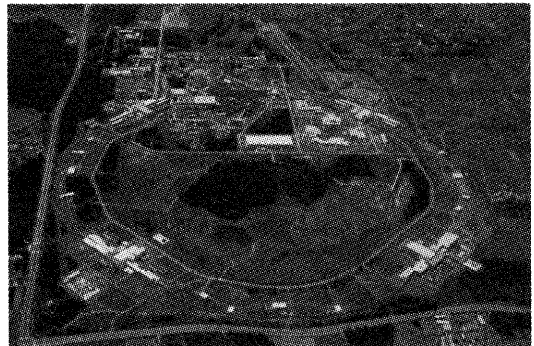
1. はじめに

高エネルギー物理学の実験では、極微の世界を探るため超大型の加速器により、高いエネルギーをもった粒子ビームを作り、標的物質に衝突させる。そこで起こる素粒子反応を観測して、素粒子同士の相互作用や新しい粒子の生成などを研究している。我が国においては、1971年つくば学園都市の建設と同時に高エネルギー物理学研究所(図-1)が全国大学共同利用研究機関として設立された。同時に、12 GeV 陽子シンクロトロン加速器が建設され、1976年から実験が開始された。このときから日本においても本格的な高エネルギー実験がはじめられた。そこでの成果をふまえて、世界最高エネルギーでの実験を目差して1981年から電子・陽電子ビーム衝突型加速器トリスタン (TRISTAN) が建設された。トリスタンでの実験は1986年秋から開始され、現在まで約3年間精力的に加速器の性能を上げつつ実験が行われてきている。大型加速器にしても、また素粒子反応を観測する実験装置にしても、新しい技術的開発を必要とするもので、ビッグサイエンスを進めることは、幅の広い先進的技術開発のドライビングフォースにもなっている。複雑な素粒子反応の観測データの収集や、データ解析には、エレクトロニクスやコンピュータの先端的技術を最大限利用している。

トリスタンでは、電子と陽電子を高エネルギーにまで加速した後、リング状の加速管の中を常に一定エネルギーで周回させ、実験装置のある実験室でビーム同士を正面衝突させる。このとき発生する超高エネルギー(超高温度)状態から従来知られていない新しい質量の重い粒子が発生していないか

また、この超高エネルギー状態での素粒子の反応過程などを研究するものである。トリスタンという名前の由来は、Transposable Ring Storage Accelerator in Nippon からきている。ビームの周回する加速管(リング)は直径約1 km であり、地下11 m のトンネル内に設置されている。図-2のように周上の4カ所に実験室が設けられている。物質の基本的要素は何かを探ることは古くから人間の自然に対する理解の基になることとして、営々として続けられてきた知的活動である。その結果、今日では、表-1のように6種類のクォークと6種類のレプトンから構成されていて、それらの間の力を媒介とする粒子として、光子、 W^\pm 、 Z^0 、グルーオンがあると考えられている¹⁾。たとえば陽子は(uud)、荷電パイ(+) π 中間子は(u \bar{d})から構成されている。このうち未発見のトップクォークや素粒子間に働く力を統一的に説明する統一理論から予言されるヒッグス粒子などの実験的検証、などが今後の課題になっている。

電子・陽電子の正面衝突によってできる局所的な超高温状態から、もし新しい重い粒子が生成されたとすれば、その粒子は重心系の運動エネルギーはごく小さいとみられ、短寿命の後、われわれの

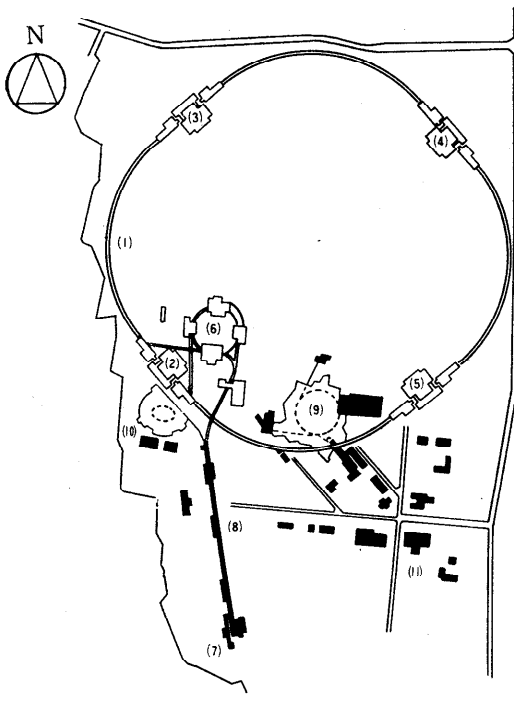


▲ 北方よりトリスタン施設を望む

図-1 高エネルギー物理学研究所全景

† Data Acquisition System and Data Processing in High Energy Physics by Yoshiyuki WATASE (National Laboratory for High Energy Physics (KEK)).

†† 高エネルギー物理学研究所データ処理センター教授



トリスタン施設配置図

- (1) トリスタン 主リング
- (2) トリスタン 富士実験室 (VENUS)
- (3) トリスタン 日光実験室 (SHIP)
- (4) トリスタン 筑波実験室 (TOPAZ)
- (5) トリスタン 大穂実験室 (AMY)
- (6) 電子・陽電子入射蓄積リング
- (7) 陽電子発生装置
- (8) 電子・陽電子リニアック
- (9) 陽子シンクロトロン
- (10) 電子貯蔵リング (放射光)
- (11) データ処理センター

図-2 トリスタン (TRISTAN) 施設の配置

観測にかかる多数の粒子群に崩壊する。このとき、これら粒子群は空間的にほぼ一様な角度分布で放出されてくるはずである。このように粒子の角度分布からも、何か新しい現象が起こっているか否か観測できる。

このための実験装置は各種の検出器の複合的な組合せで構成されている²⁾。複雑な検出器からのデータをもとに、電子・陽電子の衝突の結果発生する全ての粒子についての空間的再構成や運動学的物理量を求めるのがデータ解析である。大量のデータの処理や物理解析のため、超大型システムを多数の研究者が研究所内はもとより、ネットワークを通して、国内及び国外の大学研究機関からも利用できることが要請されている。

2. 実験データ収集システム

光の速度に近い早さで放出されてくる各種の粒子を観測する実験装置は、粒子飛跡検出器、粒子飛行時間測定器、全エネルギー損失型エネルギー測定器 (カロリメータ) などからなる複合型測定器である。図-3 は典型的な実験装置の例で、トリスタンでの三つの実験装置 (VENUS, TOPAZ, AMY) のうち TOPAZ 実験装置について述べる。同装置の内部構造が図-4 である。以下にデータの種類や一事象当たりのデータ量をみるために簡単に説明を加えると、ビーム衝突点に近い順に、

- ①バーテックス・チェンバ (図-4 中の記号: VTX)

ビーム・ラインに最も近く、粒子の飛跡を測定する検出器で直径 40 cm の円筒状で長さ 60 cm, 多数の細線をはり、高電圧をそれらに加えてある。粒子の通過後、電離電子がセンサ・ワイヤヘッドリフトして行き、到達するまでの時間を測定する。これにより、粒子の通過位置を最寄りのセンサ・ワイヤから測って 60 ミクロン以下の精度で測定できる。主として短寿命の粒子が、生成されてすぐビームパイプの中で崩壊する点 (バーテックス) を測定するために用いられる。全部で 480 本のセンサ・ワイヤからの信号の時間測定を約 1 nsec 以下の精度で行うもので、

表-1 物質を構成している素粒子

物質を構成しているクォークとレプトン

世代	I	II	III	電荷
レプトン	ν_e 電子ニュートリノ	ν_μ ミューニュートリノ	ν_τ タウニュートリノ	0
	e 電子	μ ミュー粒子	τ タウ粒子	-e
クォーク	u アップ	c チャーム	t トップ	$\frac{2}{3}e$
	d ダウン	s ストレンジ	b ボトム	$-\frac{1}{3}e$

自然界の力とそのもとになっているゲージ粒子

力 (相互作用)	力の強さ	力の作用半径	ゲージ粒子
万有引力	10^{-40}	∞	重力子 (グラビトン)
電磁気力	10^{-2}	∞	光子 (フォトン)
強い力	1	10^{-13}	グルーオン
弱い力	10^{-5}	10^{-16}	W \pm , Z 0

データ量としては、1事象当たり大略 0.5KB である。

②タイム・プロジェクション・チェンバ (TPC)

タイム・プロジェクト・チェンバはアルゴンガスで満たした直径 2.58 m、長さ 3 m の円筒で、軸方向に約 0.5 kv/cm の様な電場が作られている。放射線粒子が通過したときに、その飛跡に沿って発生する電離電子は、電場に引かれて一定

速度で軸方向にドリフトし、同円筒端部に、設置してあるセンサ・ワイヤによって、吸収され、ガス増幅の結果、電気信号パルスとなる。この信号の出るワイヤの位置と、ドリフトに要した時間から、粒子飛跡の3次元的座標を測定できる。位置測定精度は、約 200 ミクロンぐらいである。したがって、多数の粒子が放出されても立体的なイメージが観測できる。データは1事象当たり 80-90 KB にも昇る。

③飛行時間測定器 (TOF)

電子・陽電子が衝突した瞬間から、放出された放射線粒子がプラスチック・シンチレータの角柱 (5cm×13cm×4m) を通過するまでの時間計測によって、粒子の速度が求まり、別途磁場内の曲がりぐあいから求めた運動量とから粒子の質量が算出される。これによって粒子の識別をするためのものである。この時間計測の精度は、200 psec 以下である。TOPAZ の場合、64 本のプラスチックシンチレータが円筒上に並べられている。

④鉛ガラス・カロリメータ (BCL)

約 12×13×34 cm の大きさに鉛 70% を含んだ

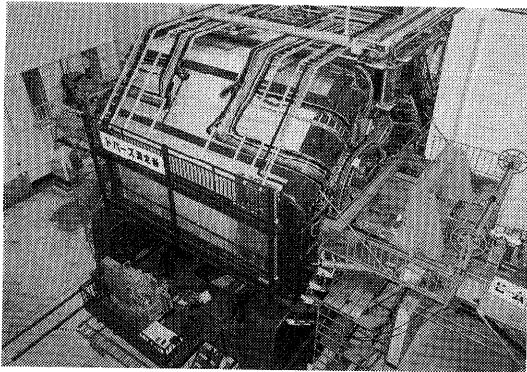


図-3 トリスタンの TOPAZ 実験装置

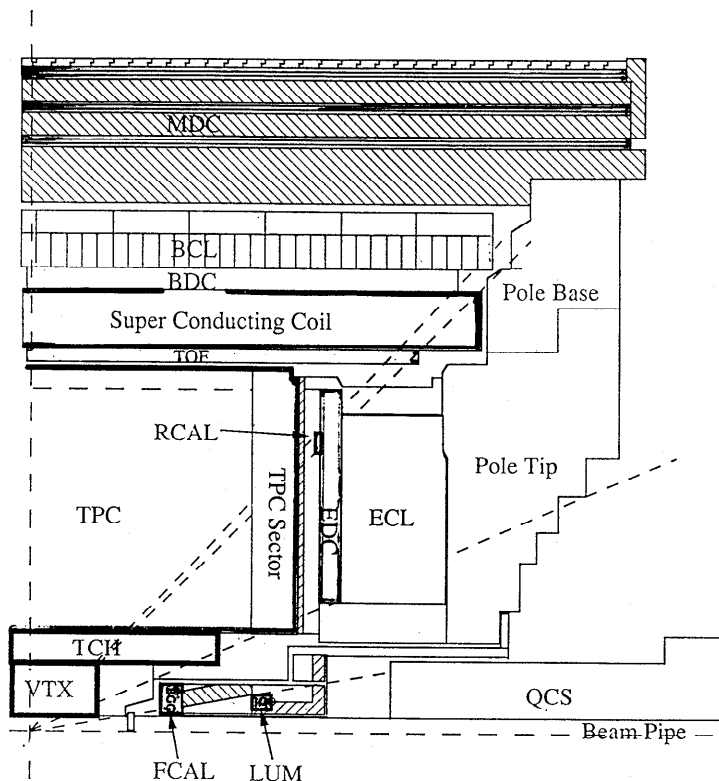


図-4 TOPAZ 実験装置の内部詳細 (円筒構造の4分の1断面)

透明のガラス・ブロック 4320 本を直径約 3.5 m の円筒にはめ込んだ検出器で、電子やガンマ線のエネルギーを精度よく測定するものである。おのおのに光電管が取り付けられており、粒子エネルギーに比例したパルスが出力され、それをデジタルデータに変換する。このとき、16 ビット相当の広いダイナミックレンジで使用されている。データ量としては、約 1KB である。

⑤ ミューオン検出器 (MDC)

いくつかの粒子の中で、ミュー粒子は物質との相互作用がごく弱く、鉄 1 m ぐらいの厚さのものも通過するので、逆に厚い鉄を置いて (ミューオン・フィルタという)、その後ドリフト・チェンバをセットして置いて、ミュー粒子の選別を行う。実験装置の一番外側に設置されているもので長さが約 8 m にもなる。全部で約 7200 本のセンサ・ワイヤからの信号の時間測定を行う。データ量としては、約 1KB ぐらいである。

以上のほかにも、エンドキャップ・カロリメータ (ECL)、バレル・ドリフト・チェンバ (BDC) などと合わせて、1 事象当たりのデータ量は約 100 KB で、2~5 HZ の率でデータ収集を行っている。

図-5 はデータ収集システムのブロック図である。検出器からのアナログ信号は、全部で 30,000 チャンネルになるが、実験装置の脇に置かれたエレクトロニクス・ハット (小屋) 内の特殊なアナログ・デジタル回路系で処理され、デジタル・データとなる。高エネルギー実験の分野では古

くから、国際的に標準化されたモジュール方式の計測システムを使用しており、研究所間でモジュールやそれを動かすソフトウェアの交換などよく行われている。トリスタンでも、この標準の一つである FASTBUS 規格のシステムを採用し、所内標準としている TKO モジュールなどと合わせて、この膨大な量の信号処理が行われている。

FASTBUS はコンピュータバスに近く、32 ビットアドレス・データ・ラインを有し、マルチ・マスタ (バスマスタ) や、マルチ・クレート構成が可能で大規模システムに向けたものである。データは、200 台の FASTBUS クレートから高速データ転送路 (~8 MB/sec Max) を通して、VAX システムによって収集される。データ形式のチェックの後、大型計算機 M780 のチャンネル・インタフェース (DACU) を通して、計算機センタにただちに転送される。このときの実質的な転送レートは最高 250 KB/sec である。TOPAZ の場合は 2 チャンネルを使用している。電子・陽電子ビームの衝突で正面衝突が起こる確率は非常に低いが、バックグラウンド的な事象が加速管中の残留ガスに起因して多く起こる。このようなバックグラウンド事象に対しては、データを採らないようにする選択が必要で、トリガシステムによってこれを行っている。図-5 のようなデータ収集システムの中でトリガ条件をプロセスする部分は、トリガ回路と言われ、TOPAZ の場合、特にタイム・プロジェクション・チェンバでの飛跡情報から、ビームの衝突点から粒子が出ていることをチェックするロジックになっている。こうすることで前述したバック・グラウンドの事象を大幅に減少させることができる。

3. データ解析と大型システム

実験室のオンライン計算機 VAX からリアル・タイムで転送されてくるデータはいったん、大型機の磁気ディスクに蓄積され、一定量 (~250 MB) ごとに磁気テープにダンプされ、格納される。実験装置が正常に働いているか否かはいろいろの手法でモニタされているが、データ収集の段階で、サンプリングにより、観測された事象の表示がグラフィック画面を通して行われ、目で見て確認することができる。ここまでがビーム衝突実験とリアルタイムに連動する部分である。1 日平均 30 本

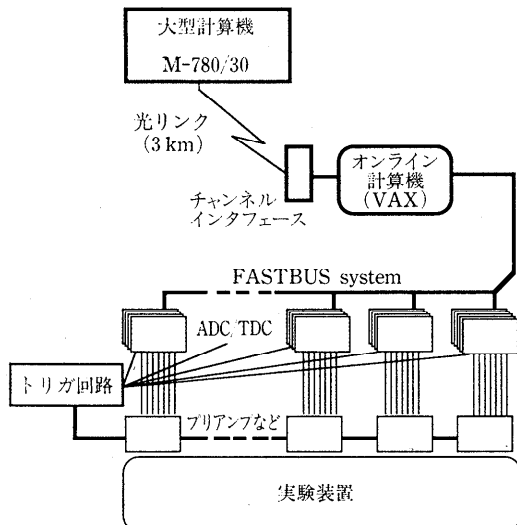


図-5 オンライン・データ収集システムの概念図

ぐらいのデータテープが毎日増加している。

高エネルギー実験での大型計算機の使用の仕方は大きく分けて三つある。一つは今まで述べてきたように実験データの高速データ収集/格納である。次は実験データの解析で、どのような素粒子が運動量やエネルギー、電荷をもって放出されてきているのか、それぞれの事象について詳しく解析し、事象を特徴づける物理量を計算して、統計的処理を行うことである。この結果を見て、物理事象を理解するためには、理論的に予想しないしは想定(仮定)に基づいた素粒子反応のシミュレーションを行い、実験データの解析から出した統計量と同じものを求めて比較する。これによって、物理過程の解明が行われていく。このシミュレーションに要する計算時間は、かなりなもので、大型計算機使用時間の4~5割に当たっている。以上のように、データ収集、データ解析、シミュレーション(物理解析)が大型計算機の使用目的である。

磁気テープからの生データを読み込み1事象ごとにデータ解析が行われる。なかでも最も計算時間を要する処理プロセスは、荷電粒子の飛跡をドリフト・チェンバやタイムプロジェクトン・チェンバからの情報をもとに見出し、その磁場中の曲率から粒子の運動量を出すところである。データ解析のCPU時間の大部分80~90%を占めている。

こうしてデータ解析によって得られた事象の様子をディスプレイに表示したものが図-6である。1事象当たり、M780CPUで約1秒ほど必要であるが、実験データは毎秒2~5事象ぐらいのレートで撮り続けているため、データ解析は実験時間終了とともに終わらない。このようなデータ解析の結果、事象の種類分けを行い、バック・グラウンド事象は捨て必要なものだけをデータ解析の中間結果として、磁気テープに記録する。

ここまでは、各実験グループともルーチンワークのジョブとして処理される。中間結果のデータを用いて物理的解析を行うのは、おのおのの研究者が自らプログラムを書き、またはグループ固有のライブラリを用いて、解析を行っている。シミュレーションも含めてこの段階の計算処理は、所内外の研究者によって分担される。

以上述べたような作業環境、研究環境のための

システムとして、図-7に示したようなFACOM M-780システムが採用されている。

中央処理装置は、M-780/30とM-780/10Sの二つから構成され、M-780/10SはTSSマシンとして、インタラクティブなターミナルのサービスに使用し、M-780/30はバッチマシンとしてバッチジョブの処理、オンラインデータ収集に使用している。

プログラムの製作とそれをランしてデータ解析を行う人間は同一であるため、プログラムのエディットとバッチジョブのサブミット及びその結果の取り出しが有機的に連携されていることが重要である。

実験データの解析をスムーズに進めるためには、大量データをいかにして、格納管理し、効率的にアクセスできるようにするかが大きな課題である。トリスタン用計算機システムでは、当初からデータへのアクセスは所内の利用者はもちろんのこと、ネットワークを通して、共同研究をしている大学研究機関(国内外をとわず)からも可能であり、しかも1日24時間サービスできるようにシステム設計された。そのため、1985年にカートリッジ・テープ・ライブラリ(CTL)システムの導入が検討され、1986年秋に導入し、その後約3年間稼動している。現在4ユニットのCTL装置に約8500本のカートリッジ・テープ(VHSテープ1巻約280MBの容量)が格納されている。この装置により、人手を煩わせることなく、磁気テープ上のデータにアクセスできる。最近の統計では、平均1日1000回のアクセスが行われている。本来この装置はディスクのアーカイブとか大量データの格納用でいわゆるストリーミングモードで使用されるものであるが、このトリスタンでの応用は、通常のオープンリール・テープと同時にスタート・ストップ・モードで直接使用をベースにしている。

今日、ネットワーク的接続のない計算機はない。高エネルギー物理学というビッグサイエンスの中でのネットワークは、大型加速器、実験装置、計算機システムと並べられるほどの重要性をもってみられている。

高エネルギー物理学研究所内では、所内LAN(Ethernet)が所内全域に敷設され各計算機は基本的にこのLANに接続されている。Ethernet上で

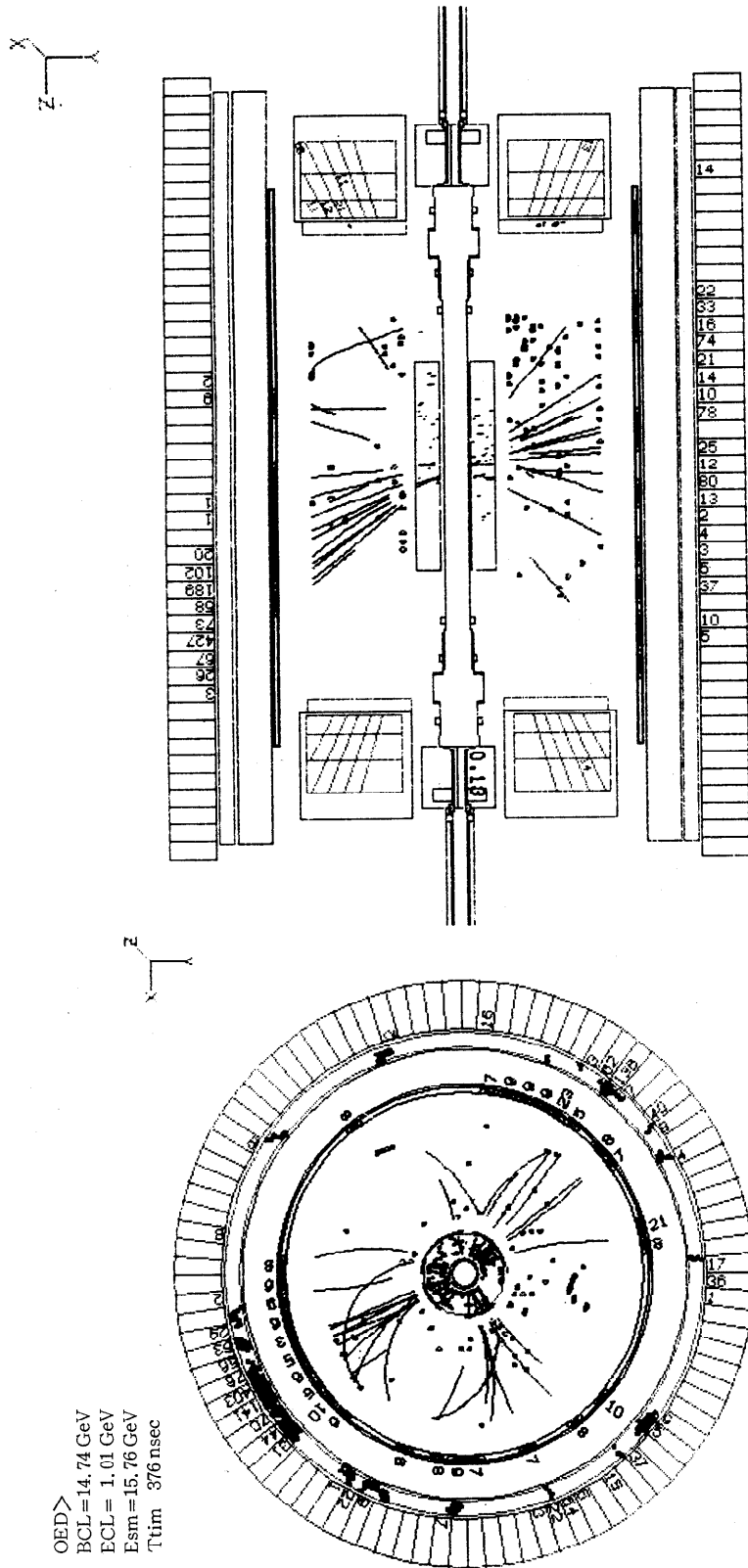


図-6 典型的な事象のディスプレイ (ビーム軸方向)

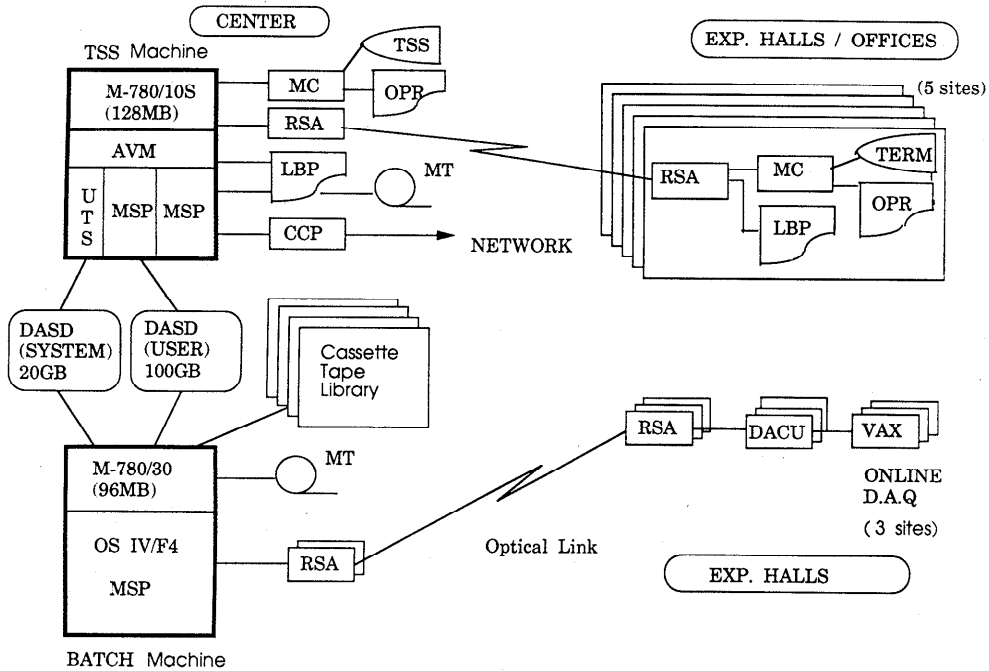


図-7 FACOM M-780 システムの構成 (1990.2)

は現在、DECNET, TCP/IP のネットワークがはられている。多数の VAX は、VMS (OS) 下で動いており、所内外とも DECNET 接続がほとんどであるが、最近 UNIX マシンも少しずつ見受けられるようになったこと、またパーソナルコンピュータでも TCP/IP をサポートするものが見られるなど、次第に数が増加するものと思われる。

国内の大学研究機関との間のネットワークはほとんどの場合、学術情報ネットワークの専用線を利用して行われている。現在、9600 bps の専用線を用いて、VAX のある大学とは DECNET をはり、FACOM システムを有する大学研究室とは、FNA 接続によってより有機的な接続がなされている。

次に国際間のネットワークとして、高エネルギー物理分野のネットワークが構築されて HEPNET (High Energy Physics Network) として、アメリカ、ヨーロッパ、日本国内の間を結んで運用されている。図-8 のように、本研究所が国内キー局となり、米国 LBL (Lawrence Berkeley Laboratory) との間に 64 kbp の専用回線を設けて、全米及びヨーロッパにつながっている。現在のところ、専用線の上で DECNET を張り、運用している。研究者のメールはもちろん、フォン機能、プログ

ラムの交換、配布、論文原稿の相互推敲、Document の配布、実験データの部分的転送や、リモート・ログインやそれによるネットワークを通じたデータ解析、さらにソフトウェアの保守や、コンパイルだけ米国のある計算機で行って、日本の計算機にロードし、実行するなど多種多様な利用方法が行われている。このような全世界にまたがるネットワークは、高エネルギー物理の研究が大規模化し、国際協力なしには進められない事情を反映している。

4. 将来の超高エネルギー加速器での実験

素粒子物理学の実験では、陽子や電子を加速し、互に正面衝突させ、瞬間的ではあるが超高温状態をつくり、そのエネルギーが物質化していく過程を観測する。それにより、新しい物質粒子の存在や素粒子間に働く力学について研究する。この超高温状態はまさに宇宙のビッグバン直後の状態に相当している³⁾。トリスタンでの数十 GeV のエネルギー状態 ($\sim 10^{15} \text{K}$) は、ビッグバン後、 10^{-10} sec に当たっている。さらにエネルギーの高い状態を研究しようということで、1~10 テラ電子ボルトまでいくと、ビッグバン後 10^{-15} sec にまで迫ることになる。このような物質状態のことを研究する

Network Topology

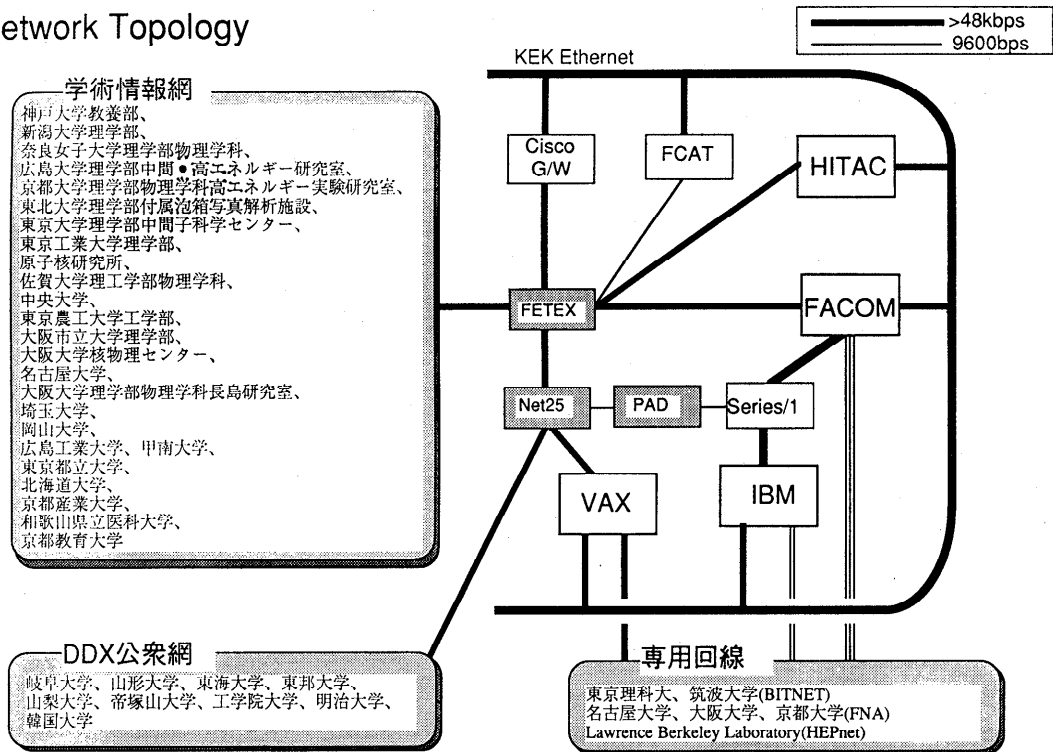


図-8 国内 HEPNET (高エネルギー物理ネットワーク) (1990.2)

ことは、現在われわれが知っている物理法則が生まれた根本的理由、原理を研究することになる。

このような学問的動機から世界の研究者はさらに高いエネルギー状態の研究に向かっている。電子・陽電子を直線的に加速して、衝突させるリニアコライダや陽子同士を直径 30 km の円形加速器で加速して衝突させるものなどが計画されている。陽子同士の衝突の場合、陽子自身が素粒子ではなく、三つのクォークとそれらを結び付けているグルーオンから構成されているため、それらのクォーク及びグルーオンの組合せによる衝突現象が同時に重なって観測される。このため、観測される放出粒子の種類、数が多く複雑な事象となる。したがって、一事象当たりの観測データの大きさがトリスタンの約 100 倍になり、さらに事象データの収集頻度も 1000 倍にもなる。このことから陽子同士の衝突型加速器による実験でのデータ収集、処理は格段に規模が大きく、新たな開発研究が必要である。このような陽子の衝突型加速器には、アメリカを中心とした SSC (Superconducting Super Collider) 計画、ヨーロッパの LHC (Large Hadron Collider) 計画があり、1990 年

代の実験として計画が進められている。もちろん日本からも参加することになる。日本で具体的に共同研究の検討が進んでいるのは SSC 計画であるので、この例に沿って述べる。直径 30 km の円形加速器の周上の 6 カ所の実験室では、62.5 MHz (16 nsec 間隔) で陽子と陽子のバンチ(かたまり)が衝突し、ほぼ毎回、なんらかの超高エネルギーの衝突反応が起こり事象当たり 100~400 個の粒子が放出される。この反応の様子を計算機シミュレーションしたものが、図-9 に示されている。実験装置はトリスタンでの装置に似た機能構成であるが大きさで約 2.5 倍、多数の粒子の観測のため、測定器の分割が細かく、読み出し信号の数は全部で大略、数 100 万チャンネルに上る。

衝突点に近いほど放出粒子の空間的密度が高いのでより微細な粒子飛跡検出器が必要である。このため、大量の信号を検出装置から取り出して、信号処理すると信号ケーブルの量は膨大なものになる。したがって可能なかぎり検出器上でアナログからデジタルデータへの変換をしなければならない。信号チャンネル数の大きさや、大型装置の内部に限られたスペースに埋め込むので、長期的

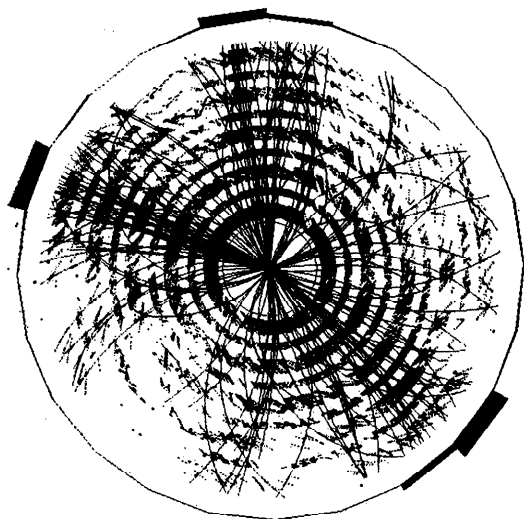


図-9 超高エネルギーでの素粒子反応のシミュレーション

な信頼性のうえから、エレクトロニクスは集積回路化したものにならざるをえない。しかも数年の間には強い放射線にさらされるため、放射線耐性のものが要求されている。集積回路 (VLSI) の開発は、いくつかの研究所で行われている。高エネルギー研では、NTT LSI 研究所などとの共同研究により、高密度広帯域アンプ回路や CMOS メモリ技術を生かした時間計測回路 (時間精度 0.8 ナノ秒 $= 0.8 \times 10^{-9}$ sec) の VLSI の開発が行われている。

検出器の中でも、ビーム衝突点に近い所には、シリコン・ストリップ検出器が用いられるであろう。これは 25 ミクロン間隔でシリコン上にストリップ状のダイオードを形成し、放射線粒子が通過したときのシリコン中の電離電子による微弱信号を同じピッチで作られる高密度アンプでストリップごとに信号をとり出すものである。チャンネル数 (ストリップ数) としては 300 万 ~ 400 万チャンネルになるがストリップに信号があったか否かだけのデジタル信号として読み出すものである。したがって粒子の飛跡点は約 10μ の精度で測定できる。その他、粒子の全エネルギーを吸収して、エネルギーを測定するカロリメータや、ミュー粒子検出器なども TOPAZ の場合と同様設置される。

これら検出器からのアナログ信号には、 16 nsec 間隔で次々に起こる事象からの信号が重なったり、事象データを取るか否かを定めるトリガ信号

が出される間 (\sim 数 μ sec) には、多くの衝突が起こってしまう。このため、この判断が下されるまでは、全ての信号は、次々とどこかに蓄積しておかなければならない。このようにアナログ信号やデジタル信号のバッファリング (緩衝用記憶) はきわめて重要で、膨大な容量の新しい集積回路の開発が行われようとしている。

各種検出器からのデータは、合わせると 1 事象当たり 1 MB ぐらいと見積もられている。このように大きなデータがおそらく、 10 KHz の頻度で出力される。したがってデータの流は、 10 GBytes/sec になる。こうした超高速データの転送とデータ整列の方式は現在検討中である。おそらく、各種検出器からのデータは並列に多数 ($100 \sim 1,000$ 本) の光ケーブルで地上まで送られて、次のリアルタイム処理のための大規模並列処理計算機システムにはいる前で、おのおの CPU に 1 事象分の全データがはいるようにデータの並べ変えが必要である。現在デュアルポート・メモリのアレイを用いる方法、クロスバースイッチを用いる方法が検討されている。中でも光クロスバースイッチによるものが開発できれば上のような目的には、好ましいものである。

また、上のように大量のデータをそのまま記録したのでは、記録する所もないし、後の解析も見通しがいい。そこで、実時間でデータ解析を済ませる以外にない。事象のうち、本当に物理現象として、有効なものは、それほど多くはないので、データ解析により、必要なものだけを記録に回せばよい。

トリスタンでの事象に表れる粒子数は $20 \sim 30$ ぐらいであるが、SSC の場合はその 10 倍以上あり、その複雑さから必要な処理時間は、約 10 倍になるとすると、M 780/10 上で 10 秒ぐらいのジョブとなる。それを毎秒 10^4 個処理しないとイケないとすると 10^5 台の M 780 に相当してしまう。これを解決するには、事象ごとのデータは互いに独立なものであるので多数のマイクロ・コンピュータで分散並列処理が可能である。こうすれば、たとえば 1 GIPS のマイクロプロセッサを 1000 台並列に動作させることでなんとか処理が可能となる。このような大規模並列処理システムはいまだ見通しがあるわけではなく、もちろんソフトウェア上の工夫はするとしても、ハードウェアの格段の

進歩がないかぎり実現できない。最近のハードウェアの進歩は日進月歩であるので、あるいは将来可能かもしれない。このようなリアルタイムの解析の結果データ量が10分の1ぐらいになると予想され、テープなどの長期保存媒体へ格納されるデータの量は、1GB/sになる。これにしても10~100本の記録のためのチャンネルが必要となり、いずれにしても莫大なシステムとなることは確かである。このようなシステムが各実験装置ごとに必要となる。

テープなどに格納されたデータがオフライン解析される場合もほぼ同規模のものがないかぎり実験が終わっても結果が出せない。これと同様に重要なことは、物理学的結果を導くには、理論的に予想される現象と比較対照が必要で、この理論からの予想値はモンテカルロ・シミュレーションを行って求める。このシミュレーションがまた膨大なものになるため、上と同規模に近い計算能力をもったシステムが必要である。

以上のように将来の実験といっても7~8年後には稼動していなければならないシステムであるので現在の技術の先端的なもので実現の見通しのあるものを頭に置いて設計せざるをえない。

5. 結 び

高エネルギー物理学の研究は、計算機の発展進歩とともに、その技術の先端的利用を追求する形で行われてきた経緯がある。1960年代小型計算機の出現とともに、実験のデータ収集をオンライン化し、重要な機能としてのリアルタイム性の追求が行われてきた。また、加速器のエネルギー向上とともに実験装置が大型化し、より多くのデータ量とデータの複雑さがデータ解析用として、超大型計算機システムを必要としてきた。理論の分野では、スーパーコンピュータの利用による大規模な理論計算が欧米とともに競われている。

さらに最近では、マイクロコンピュータの飛躍的

高性能化によって、従来のメインフレームをはるかに越える計算処理能力を使える可能性が出てきている。実験データの解析はもちろんのこと、実験中にリアルタイムにデータを処理してしまい、不必要なバック・グラウンド事象のデータを落とすことができる。さらに現在磁気テープにデータを格納しておいてから、オフラインにて解析していたことの大部分をリアルタイムで処理することも可能になるであろう。その際には、実験の規模や種類によっても違うがM780/10に換算して、10万台ぐらいのものが必要であろうと言われている。このことにも現れているとおり、次世代の研究はコンピュータへの依存度がますます増大してくると思われる。計算機の分野に限らず、研究所内に閉じた研究開発では、今後の高エネルギー実験に対応していけないのが実情であり、企業との連携は従来にも増して重要なものとなってきている。この傾向は特に最近の欧米の研究機関で盛んになってきており、日本での企業との協力関係が注目されている。

参 考 文 献

- 1) 日本物理学会編：物質の究極を探る，253 p., 培風館，東京（1982）。
- 2) 堀越源一，政池 明：素粒子の世界を探る，319 p., サイエンス社，東京（1981）。
- 3) 佐藤文隆：宇宙の創成，220 p., 紀伊国屋書店，東京（1979）。

（平成2年3月8日受付）



渡瀬 芳行

1941年生。1964年東北大学工学部通信工学科卒業。1970年同大学院理学研究科（原子核理学専攻）修了，理学博士。1971~1974年新潟大学理学部助手。1974年高エネルギー物理学研究所助手。現在，同研究所教授，データ処理センター長。高エネルギー物理学の実験研究に従事。特にデータ収集/処理関連システムの開発研究を担当。日本物理学会会員。