



高エネルギー物理学と先端技術

幅 淳 二*

高エネルギー物理学という言葉は、本誌の読者には馴染みがないかも知れない。素粒子物理学の実験的研究の分野で、素粒子の生成と消滅の機構が研究の対象となるといえば分かっていたただけだろうか。そこでやり取りされるエネルギーはギガエレクトロンボルト (GeV) を単位としてはかれる。1 GeV のエネルギーは、電子が10億ボルトの電圧で加速されたときに得るエネルギーに相当し、これを日常のスケールである温度に換算すると、1兆度という超高温となる。それゆえこの分野を高エネルギー物理学と称するわけである。

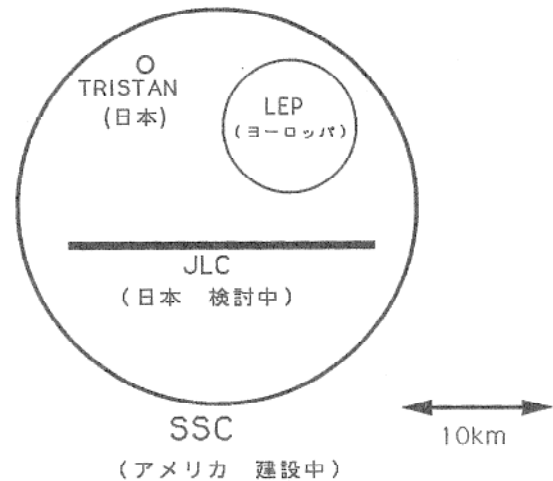
こういった説明をするとき、しばしば次のように尋ねられることがある。「それでは、一体どういう役に立つのか?」と。これには2種類の答えが使い分けられるのが常である。そのうちで正当的なものは、「素粒子物理学の生みの親に当たる量子物理学は、100年の歳月を経て現在のマイクロエレクトロニクスなどの先端技術へと結実した。基礎研究の成果は、100年のレンジで評価してほしい。」というものである。いま一つは、極めて現実的なもので、「研究の必要から使われてきた様々な技術は、極めて多岐の分野にわたって社会に還元されている。」というものである。本稿では、後者の視点に立って、高エネルギー物理学実験の技術的側面について簡単にまとめてみよう。

さきにも述べたような高エネルギー状態を人工的に作るためには、巨大な粒子加速器が必要とされる。高エネルギー物理学がビッグサイエンスの最右翼のひとつに上げられる由縁である。生じた素粒子反応を測定する装置もまた巨大で

ある。ところが困ったことには、測定の対象となる素粒子が極めて微小であるために、測定器のエレメントは精密さを目指すほど小さくなっていく。「巨大かつ細密」—これが測定器に課せられた矛盾した要求である。当然のことながら、測定器エレメントの数は、膨大なものとなり、そこからのデータを処理するためのエレクトロニクスならびに解析を行うための計算機システムへの要求も極めて厳しいものとなる。以下、加速器、測定器、エレクトロニクス、計算機それぞれについて、現状を紹介する。

1. 加速器

図に示したのは、現在稼働中及び計画中の世界の主要な加速器の大きさを示したものである。



世界の巨大加速器

これらの加速器はすべて地下 (ヨーロッパにおいて稼働中の世界最大の加速器、LEPでは、深さ100mに達する) に建設され、総延長数10kmにおよぶトンネル工事はそれ自体が最先端の掘削工事である。円形のトンネルに沿って粒子を導く為の超伝導電磁石の使用は、この分野

*幅 淳二 (Junji HABA), 大阪大学理学部, 物理教室, 助手, 理学博士, 高エネルギー物理学

においては完全に確立された技術となっている。世界最大級の超伝導電磁石のほとんどは、高エネルギー物理実験のために建設されたものという過言でない。開発された超伝導線材の技術等は、他分野での実用化に大きな寄与をした。アメリカ、テキサス州で建設中の SSC (Superconducting Super Collider) はその名の通り、周長 87km のトンネル内に 1 万台の超伝導電磁石が並ぶという、超巨大加速器である。

図中にある TRISTAN というのが、日本が有する世界最大級の加速器である。LEP と比べるとずいぶんとコンパクト (とはいっても、周長は 3 km) であるが、最大エネルギーは 30 % 程小さいに過ぎない。これは、日本で初めて実用化された、超伝導加速空洞の優秀さに依るところが大きい。TRISTAN の大きさを制限したのは、何といっても土地問題であったわけだが、日本の将来計画として検討が進んでいる JLC では、衝突型線形加速器 (全長 20km) の形をとり、大深度地下の利用などでこの問題の解決を模索している。JLC 設計の上で直面する技術的難問の一つは、ビーム輸送の問題であろう。ビームの断面は 1.4nm (ナノメートル) × 230nm 程度に絞る必要がある、これを正確に正面衝突させるには、究極的ともいえる軌道制御技術を確立しなければならない。その為の研究が、日、米、欧その他で精力的に行われつつある。

放射光を利用した様々な先端技術も加速器科学から生まれた大きな実りといえよう。これにより、ULSI などのための超微細加工が実現可能となってきた。

2. 測定器

先に述べたように、加速された粒子の衝突点におかれた測定器もまた巨大であり、縦横高さそれぞれ 20m、総重量 30 万 ton に及ぶものまで計画されている。その中で、粒子飛跡の検出を数十ミクロン、粒子の飛行時間を 100 ピコ秒程度の精度で測定が行われる。しかも反応はマイクロ秒ごとに (SSC では 30 ナノ秒) 発生する為、装置の高速性も重要なポイントとなる。これらを可能としたのは、比例計数管を多重化し

さらに発展させたドリフトチェンバーや、シリコンウエファの上に 100 ミクロン幅の電極を並べたシリコンストリップ検出器、時間特性を大幅に改良したシンチレータや光電子増倍管などであり、それらを支持する新素材 (CFRP、ファインセラミックス等) である。これら検出器のどの部分を取り出してもその開発までには、数十篇以上の研究論文が発表されており限られた紙面で紹介することは、不可能に近い。

3. エレクトロニクス

先にも述べた「巨大かつ細密」の当然の帰結として測定器からの電気信号のチャンネル数は、膨大なものとなる。SSC に使われる測定器では、その数は、50 万にも達すると見積もられている。これは大都市の電話回線の総数にも匹敵するものである。それぞれのチャンネルには、プリアンプ、ケーブル、アンプとデジタル変換器が独立につながれることになり、エレクトロニクスに課せられる負担の大きさは、想像を絶する。一般に高速のエレクトロニクス程大きな電力を消費する為、この消費電力をいかに少なくできるかが一つのポイントであり、高速、高集積度の CMOS による専用 VLSI の開発が NTT などとの協力で進んでいる。最近では、民生用としても優れた素子が出回り始めたが、我々の仕様にとっては、速度、精度などの点から、十分とはいえない。

4. 計算機システム

50 万チャンネルのエレクトロニクスから送られてくるデジタルデータは、毎秒 1,000 ギガバイトにも達し、いかなる高速計算機もその処理どころか、記録することさえおぼつかない。そこで高速のマイクロプロセッサを多数つけた大規模並列処理システムが構築されることになる。また、コンピュータをつかったシミュレーションは、高エネルギー物理学においても重要な手段であるが、先の SSC で発生する反応をシミュレーションするには、大型汎用計算機においても 1 事象当たり 10 秒ほどの計算時間を要する。一方で実験においては、そういった事象が、毎秒 100 万程度発生し、シミュレーショ

生産と技術

ンが実験に全く追いつかないという事態が発生する。したがってここでも、より高速の（たぶん並列処理による）新しいタイプの計算機が必要になるわけである。

データの高速処理のためにニューロコンピュータの概念の応用も検討されている。あらかじめシミュレーションに依って作られた事象をコンピュータに「学習」させておき、実験データの解析を高速に処理させようといったものである。

実験装置が巨大化するに従って実験チームも国際化が一層進んでいく。そうしたときに高速で信頼性の高いコンピュータネットワークは欠くことができない。現在でも HEPNET と呼ばれる比較的低速のネットワークが全世界の高エ

ネルギー物理学関連の大学及び研究所を結んでいるが、本格的なデータの転送を行うには、あまりに非力である。専用の衛星回線をつかった高速（数メガ baud 以上）のネットワークが検討されている。

以上高エネルギー物理学実験の技術的側面について簡単にまとめてみた。最も基本的な物理現象の研究の一側面は、実は、多岐にわたる先端技術の巨大なテストベンチである。ここで開発され、あるいはテストされた先端技術が、産業用あるいは、民生用として社会へと還元されていく。今世紀において軍事研究や宇宙開発が担ってきたこうした役割を高エネルギー物理学も果たしつつあるのかも知れない。

