



# じつきょう 理科資料

NO. 55

サイエンス・プラザ

## 大型加速器「B ファクトリー」

名古屋大学大学院理学研究学科教授 三田 一郎

素粒子物理学で宇宙創造を理解しようとする試みがビッグバン理論である。創造時、全宇宙が水素原子よりもさらに小さな領域に詰め込まれていた。この火の玉宇宙が爆発し、150億年間膨張を続け、現在の宇宙が出来た。では、初期の宇宙は何で構成されていたのか。また、どのような法則の下に爆発したのか。

このように小さな領域に詰め込まれると、エネルギー密度は非常に高くなる。このエネルギーは現在の素粒子物理学で理解できる範囲をはるかに超えている。素粒子物理学の研究は、常に理解できるエネルギー領域を広げ、最も基本的な法則、最も基本的な粒子を発見することを目的としている。従ってビッグバン宇宙論を解明することによって素粒子物理学も解明されていく。

爆発後、約  $10^{-34}$  秒たつと宇宙の温度は  $10^{26}$ ℃まで下がり、半径は1mまで膨張したと考えられる。この温度まで下がれば、加速器実験で観測される現象に裏付けられる素粒子物理学で宇宙を理解することが出来る。つまり、この宇宙はクォーク、反クォーク、電子、陽電子、ニュートリノ、反ニュートリ

ノ、光子などで構成されて、重力も古典重力として捉えられる。そして、約  $10^{-10}$  秒後には温度が  $10^{15}$ ℃まで下がり、半径は10万キロまで膨張した。ここまで冷えると宇宙はクォークが結合して陽子、中性子、電子、ニュートリノ、反ニュートリノ、光子などで構成されるようになる。約100秒後には温度が10億℃まで下がり、軽い原子が生成される。

つまり、現在の素粒子論とビッグバン宇宙論によって、半径が1mの状態から現在に至るまでの宇宙創造が理解できるのである。この理論は次のような観測事実を明確に説明しているので、その正しさはもはやだれも疑わない。

- (1) 宇宙に存在する軽い原子、ヘリウム4 ( ${}^4\text{He}$ )、重水素 ( ${}^2\text{H}$ )、ヘリウム3 ( ${}^3\text{He}$ )、リチウム ( ${}^7\text{Li}$ ) などの密度を理論的に計算した結果と測定結果がほぼ一致する。
- (2) 温度が  $10^{26}$ ℃で、半径が1mの宇宙が150億年膨張したとすると、現在の宇宙の大部分は温度 - 270℃に対応する光子で埋まっていることが予想出来る。角砂糖ぐらいの体積をとると、その中には約200個の光子で埋まっている計算になる。こ

### ◆ も く じ ◆

サイエンス・プラザ	
大型加速器「B ファクトリー」	1
トピックス	
ナノ分子「フラーレン」で摩擦ゼロ	8
トピックス	
火星は生命に適した星だったのか	10

授業実践	
割り箸から紙をつくる	13
高校生へ私が選んだ1冊の本	
チョコレートを食べても	
太らないってホント？	15

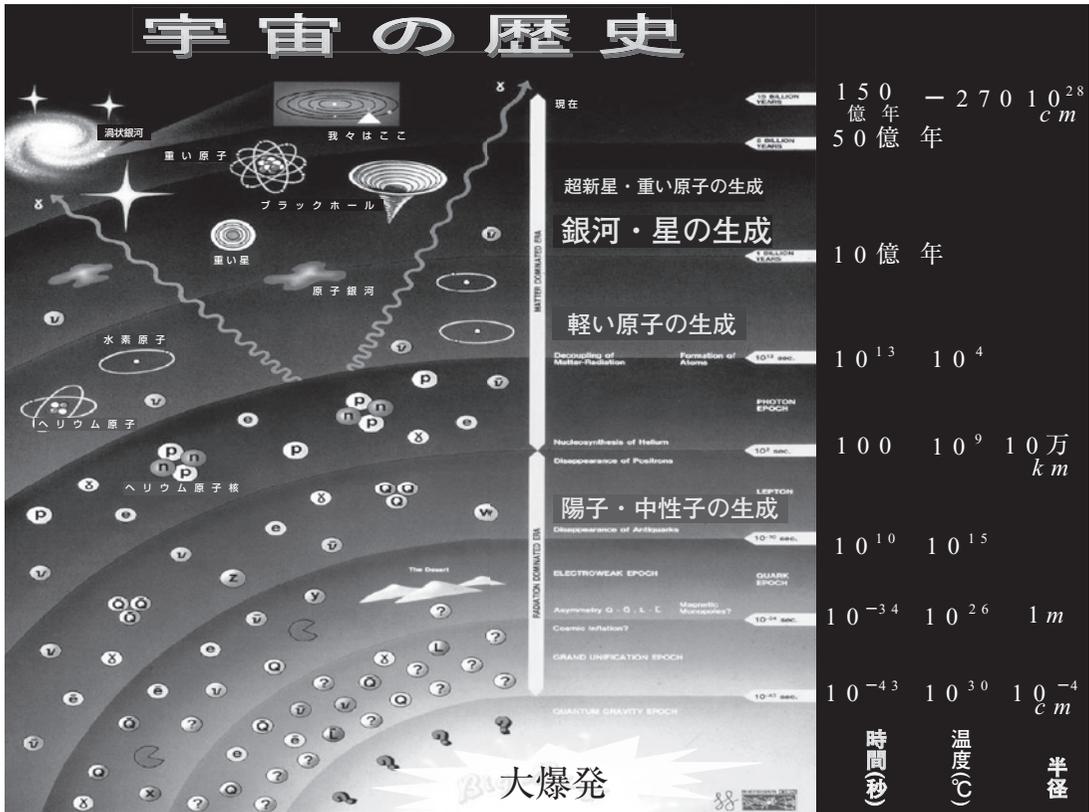


図1 宇宙の歴史 [CERN ホームページ (<http://microcosm.web.cern.ch/Microcosm/>) 提供]

これらの光子を背景放射というが、ペンジアスとウィルソンによって背景放射が初めて観測されたことにより、ビッグバン理論の正しさが示された。彼らはこの発見によって1978年ノーベル物理学賞を受賞した。

(3) 宇宙は今でも膨張していることが観測されている。

さて、話を半径1mの宇宙以前に戻すと、大きなパズルにつきあたる。エネルギーのかたまりが爆発して膨張し、温度が下がると、このエネルギーは現在我々が知っている素粒子に変化する。後ほど詳しく説明するが、素粒子論ではエネルギーから素粒子が生成されると、必ず粒子と反粒子が対で生成されることを予言する。わたしたちの身の回りにある物質は原子で構成されており、原子は原子核と電子で構成されている。さらに、原子核は陽子と中性子で構成されている。そして、現在観測されている銀河や星はすべてこのような物質で構成されている。つまり反粒子が構成する宇宙(反宇宙)が観測されていない。もし反宇宙が存在すればいずれ宇宙と衝

突し消滅してしまうであろう。そうすると我々も存在していないはずである。ビッグバン宇宙創造論は前述したようにその予言が次々に観測で確認され大きな成功を収めたが、これは避けて通れない大きなパズルである。

この物質宇宙を素粒子論で解明するには、素粒子論の根本から考え直す必要がある。わたしはこのパズルを研究することが、より基本的素粒子論の発見につながるかと信じている。まさに現在、Bファクトリーがこのパズルの解明に挑戦している。ここではこの挑戦について話す。

## 1. 何故わたしたちは存在するのか

### 1.1 陽子は崩壊するか

わたしたちの宇宙を構成する陽子や中性子の大部分は150億年前に生成された。従って陽子の寿命は150億年以上である\*1)。なぜ陽子はこんなに安定

\*1) 中性子は約16分で  $n \rightarrow pe^- \bar{\nu}$  崩壊するが、原子核に束縛された中性子は原子核を壊すエネルギーを外部から与えるまでは安定している。

しているのか。なぜ  $p \rightarrow \pi^0 e^+ \nu$  のような崩壊が起こらないのか。これを理解するために、なぜ  $e^- \rightarrow \gamma \gamma$  のように電子が2個の光子に崩壊しないのか考えてみよう。電子は負の電荷をもっているが、光子は電荷をもたない。崩壊するとき電荷が保存されているとすると、電子の崩壊は起こらないことが自明になる。陽子の寿命を理解するために、陽子に特別な電荷に似た量子数を持たせ（この量子数をバリオン数と呼び、上記の崩壊で  $\pi^0$ ,  $e^+$ ,  $\nu$  はバリオン数を持たない。）現在我々が知っている理論は全てバリオン数を保存しているとする。そうすると電荷が保存されない崩壊が起こらないように、バリオン数が保存されない崩壊は起こらない。陽子や中性子のようにバリオン数をもつ粒子をバリオンと呼ぶ。

## 1.2 エネルギーから素粒子を造る

初期宇宙はエネルギーの火の玉であった。温度が下がるにつれて星や銀河が創造された。つまり、エネルギーから銀河を構成するバリオンが生成された。ただし、火の玉宇宙のエネルギーは光子や電子などの運動エネルギーと考えられる。これらの粒子はバリオン数をもたない。従って光子や電子はバリオン数を保存する過程で1個のバリオンには遷移できない。

実際、電子と光子をそれぞれ1 GeV まで加速させて正面衝突させたらどうなるか。加速器実験で調べてみる\*2)。電子と光子のエネルギーは2 GeV でアインシュタインの有名な方程式

$$E=mc^2$$

( $E$ =エネルギー,  $m$ =質量,  $c$ =光速)の法則に従ってエネルギーが質量に変化し、重い質量の素粒子が生成される。例えば陽子の質量  $m_p$  は  $m_p c^2 \sim 1\text{GeV}$  なので

$$\gamma + e^- \rightarrow p + \bar{p} + e^- \quad (1)$$

は電子 ( $e^-$ ) + 光子 ( $\gamma$ ) が衝突し、そのエネルギーからほとんど静止した低エネルギーの電子と、陽子 ( $p$ ), 反陽子 ( $\bar{p}$ ) が対生成されることを意味する。

話を先に進める前にここで反粒子の説明をする。水素原子は陽子と電子で構成されているが、電子の状態を量子力学では複素関数で表す。もっとエネルギーが高い状態は相対論的量子力学で扱うが、ここでも粒子の状態は複素関数で表す必要がある。複素

関数にはその関数の複素共役が存在する。粒子の状態を表す関数の複素共役をとると、その関数は反粒子の状態を表す。このように、量子力学では複素関数が不可欠であることから相対論的量子力学ではごく自然に反粒子の存在が予言できる。

つまり、あらゆる素粒子に対し電荷が正反対で全く等しい質量の反粒子が存在する。例えば電子の反粒子は陽電子と呼ばれ、電子と全く同じ質量で電子と反対の電荷  $+e$  を持つ。陽子と中性子の反粒子は反陽子、反中性子と呼ばれる。

陽子と中性子がバリオン数  $+1$  をもつとすると、反陽子と反中性子はバリオン数  $-1$  をもつ。従って  $p + \bar{p}$  の状態はバリオン数合計  $0$  なので遷移 (1) は、バリオン数  $0$  の状態から  $0$  の状態への遷移でバリオン数は保存されている。

## 1.3 わたしたちの存在から生じるパズル

ビッグバン理論は現在の観測事実を見事に予言した。ただし、本質的なところで矛盾がある。ビッグバンでエネルギーが膨張してこの宇宙が創造されたとしたら全てのバリオンと反バリオンは対生成したはずである。バリオン数が保存されているからである。従ってバリオンで構成された宇宙のほかに反バリオンで構成された反宇宙が存在するはずだ。しかし、反物質で構成された星や銀河は一切観測されていない。したがって、反宇宙は存在しないであろう。

このパズルを解く鍵を旧ソビエトで人権運動で投獄され、後にノーベル平和賞を受賞した物理学者アンドレー・サハロフが提唱した<sup>3)</sup>。彼はビッグバンで同数の粒子と反粒子が対生成したが、自然法則が (1) バリオン数を保存せず、(2) CP対称性\*3) も破れば現在の物質宇宙を説明できることを示した。

## 1.4 第1条件：バリオン数の破れ

せっかく物理法則はバリオン数を変化させる遷移を禁止すると1.2章で述べたのに、バリオン数が保存されないというのは矛盾ではないか。「最初からエネルギーが粒子に変化するときバリオン数が保存されないと言うのと同じではないか」と問い直すことも可能だ。しかし、量子電磁気学によって光子のエネルギーが物質と反物質に変化するが、この理論ではバリオン数が保存されることに私たちは強い確信を持っている。様々な現象を予言し実験的にそ

\*2) 1eV (1 エレクトロン・ボルト) は電子を1ボルトの電圧で1m加速させたとき、電子が得るエネルギーであり、1GeV とは  $10^9\text{eV}$  である。

\*3) CP対称性については後ほど詳しく述べる。

の正しさが確認されている理論を変更してバリオン数が保存されないようにするのではなく、初期宇宙では更に基本的な理論が登場し、この理論ではバリオン数が保存されないとわたしたちは考える。

半径 1 m 以下の宇宙ではわたしたちが建設できる加速器以上のエネルギーで粒子が運動している。この運動を定義する素粒子物理学の法則はまだ証明されていない。そのような法則の一つとして提唱されている大統一理論は高エネルギーの状態ではバリオン数を破ることを予言する。従って初期宇宙に特別な素粒子が存在しその素粒子が崩壊するときバリオン数が保存されなかったと考える。

自然法則がバリオン数を破ることは陽子もいずれ崩壊することを意味する。これは「陽子崩壊を発見する」という実験家に大きなチャレンジをあたえたことは言うまでも無い。小柴昌俊先生もこのチャレンジを受けて立った一人であった。彼は陽子崩壊を発見するための測定器カミオカンデを建設した。この測定器で超新星爆発を観測し、ニュートリノ天文学の道を切り開きノーベル物理学賞を受賞されたが、まだ陽子崩壊は発見されていない。これは陽子が崩壊しないのではなく、寿命が測定器の感度を越えていることを意味する。

### 1.5 第2条件：CPの破れ

CP対称性とは、粒子で構成された世界と反粒子で構成された世界は物理的に区別が付かないことを意味する。反世界をわたしたちが見ると陽電子と反陽子が反水素原子をつくり、全て反物質で構成されているが、そこに永住している人たちはわたしたちと同じように生活をしている。CP対称性を破るとは物理法則が粒子と反粒子を区別することである。従って上記の反世界と我々が住む世界とは区別が付く。

サハロフが上記の条件を提唱したのはフィッチとクローニンがK中間子の崩壊でCPの破れを発見した2年後であった。この発見ではCPの破れ、つまり世界と反世界の違いは1000分の2で微小な現象であったことだけ述べる。

サハロフの発案から35年以上経っている現在この提案を文章で示すとあたかも当たり前のように思えるが、この提案は極めて創造的である。もしわたしがこの問題を考えたとしたら、次のように考えたであろう。「わたしたちが住む宇宙全体が物質で構成されている。これは莫大なCPの破れではないか。

このような大きなCPの破れは素粒子論で説明できない。」わたしの考えは浅はかである。わたしとサハロフの違いは、わたしは身の回りを見て考え、サハロフは宇宙全体で考えたということである。

原理を大雑把に説明する。宇宙初期にバリオン数、つまり陽子と中性子の数は約  $10^{88} + 10^{80}$  で反バリオン数は  $10^{88}$  だったとする。バリオン数と反バリオン数の違いはCP対称性の破れからくる。 $10^{88}$  個のバリオンと反バリオンは対消滅して約  $10^{88}$  個の光子になる。相棒が探せなかった  $10^{80}$  個のバリオンは現在まで残り、この銀河や太陽系ができ、わたしたちが存在することになった。

バリオン数	$10^{88}$ 個	+	$10^{80}$ 個
反バリオン数	$10^{88}$ 個		
消滅後	光子数 $10^{88}$ 個		バリオン数 $10^{80}$ 個

半径 1 m の初期宇宙にはバリオンの方が反バリオンより 100 万分の 1% 多かったと考える。これは微小な違いであり、K 中間子の崩壊における CP 非保存より小さい。高エネルギー領域でより基本的理論を追求するにあたり、上記の CP 非保存は大きな制限となるであろう。

## 2. CP対称性の破れの発見

先にも述べたようにCP対称性の破れはK中間子の崩壊で観測された。K中間子とはどのような素粒子か。じっきょう理科資料53号の中畑氏の記事サイエンス・プラザ「ノーベル物理学賞受賞・小柴昌俊先生について」で説明してあるように3世代のクォークが存在する。

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix} \quad (2)$$

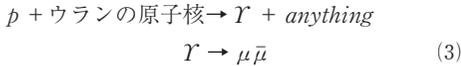
K中間子は反sクォーク ( $\bar{s}$ ) とdクォークの束縛状態 ( $d\bar{s}$ ) である。フィッチとクローニンはK中間子の崩壊と反K中間子 ( $\bar{K}$ ) の崩壊に約1000分の1の誤差があることを1965年に米国のブルックヘブン国立研究所で行なわれた実験で示し、1980年ノーベル物理学賞を受賞した。

この結果は当時の素粒子研究者にショックを与えた。なぜ粒子と反粒子の世界が違うのか。なぜCP対称性が破れるのか。破れるとしたらなぜ1000分の1という微小な破れ方をするのか。当時プリンストンの大学院生であったわたしも含めて多くの研究者がこの問題の解明に取り組んだ。

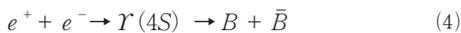
名古屋大学物理教室はゲルマンがノーベル賞を受賞したクォーク模型のもとになった坂田模型の提唱者坂田昌一先生が所属していることから世界に知られていたが、当時研究の中心と見られていた米国の諸大学から遠く離れた小さな研究センターであった。このような研究室でCPの破れのパズルは解かれた。小林誠と益川敏英は彼らが提唱した小林・益川模型で、もし6個のクォークが存在すればCP対称性が自然と破れることを証明した。当時、米国の研究者は3個のクォーク ( $u, d, s$ ) の存在しか知らなかった。ところが、名古屋大学で当時研究していた丹生潔先生が原子核甲板で新粒子を発見したと発表した。世界はこの発見を無視したが、名古屋大学ではこの発見は4個目のクォークが存在することを示すと信じた。4個のクォーク ( $u, d, s, c$ ) が存在しても6個の存在を仮定するのは大胆であった。

### 3. B中間子におけるCPの破れ

1976年にレダマンは米国のフェルミ国立研究所で陽子を加速しウランの原子核に衝突させ、終状態の様々な粒子のなかの  $\mu$  と反  $\mu$  ( $\bar{\mu}$ ) の対のみを観測する実験を行なった。これは  $\mu\bar{\mu}$  対に崩壊する新粒子を発見するテクニックである。この実験で新粒子  $\Upsilon$  を発見した。



$\mu$  中間子はほとんどの素粒子が通り抜けられない鉄の板でも通り抜ける性質があり、新粒子の崩壊  $\Upsilon \rightarrow \mu + \bar{\mu}$  を発見するには最適な実験であった。この粒子は理論研究によって  $b$  クォークと反  $b$  クォークの共鳴状態  $\Upsilon(1S) = (b\bar{b})$  であることが解明された。 $\Upsilon(1S)$  は角運動量0の最低エネルギーの状態(基底状態)である。この実験で小林・益川理論が予言する  $b$  クォークの存在が的中したのだ。 $\Upsilon$  が発見されれば  $d$  クォークと反  $b$  クォークの束縛状態  $B = (d\bar{b})$  が発見されるのは時間の問題であった。基底状態の  $\Upsilon(1S)$  が発見されれば励起状態が複数存在し、質量が  $B$  中間子の2倍以上の励起状態は  $B\bar{B}$  対に崩壊する。 $B$  中間子の発見にはしばらくかかったが、1981年に



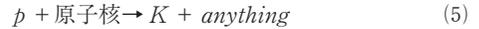
が確認された。

1979年にわたしは次のように考えた。 $K$  中間子の崩壊でCP対称性の破れが15年前に発見されて以来、様々な実験研究が試みられたが一切進歩がない。(2)を眺めていただきたい。 $K$  中間子は ( $d\bar{s}$ ) で構成されている。

わたしは考えた。 $B$  中間子 ( $d\bar{b}$ ) と  $K$  中間子の違いは  $\bar{s}$  を  $\bar{b}$  に入れ替えただけではないか。では  $B$  中間子の崩壊でCP対称性は保存されるのか。調べてみると  $B$  中間子の方がCP対称性の本質的な側面を研究するには適していることが解った。CPの破れを示す現象は  $K \rightarrow \pi^+\pi^-$  の崩壊確率と  $\bar{K} \rightarrow \pi^+\pi^-$  の崩壊確率の比が0.996であり、 $K$  中間子と反  $K$  中間子の振る舞いが微少だが異なることを意味する。わたしの計算では  $B \rightarrow \pi^+\pi^-$  崩壊確率と  $\bar{B} \rightarrow \pi^+\pi^-$  の崩壊確率の比は0.75以下でCPの破れのパターンが  $K$  中間子と  $B$  中間子の場合で大きく異なることを発見した。

但し、問題は  $K$  中間子の場合、質量がわずかに500MeVで、約50%の確率で  $K \rightarrow \pi^+\pi^-$  に崩壊するが、 $B$  中間子の場合、質量が  $K$  中間子の10倍もあり様々な崩壊が可能なことである。 $B \rightarrow \pi^+\pi^-$  崩壊はわずか1万個の  $B$  中間子崩壊の中のわずか1個である。

さらに  $K$  中間子の場合、



で  $K$  中間子を生成し、他に生成された粒子は全て削除し  $K$  中間子のみを取り出し、 $K$  中間子のビームを造り  $K$  中間子の性質を観測することが可能である。 $B$  中間子の寿命はわずか  $10^{-12}$  秒である。 $B$  中間子のビームを造るどころか、この寿命では  $B$  中間子はわずか0.02mm飛んで崩壊してしまう。ここでは触れないが、わたしの提案した実験で  $B$  中間子の崩壊でCP非保存を観測するには  $B$  中間子の飛跡の長さを測ることが不可欠である。式(4)で  $B\bar{B}$  を対生成するが、他の粒子も生成される。実験では毎秒何百万個の粒子が測定器の中を通り抜け、その中の約10個が  $B\bar{B}$  対である。寿命が短いので瞬間的に崩壊する。その終状態を観測し崩壊した粒子が  $B$  か  $\bar{B}$  か判断し、さらに生成されてから崩壊するまでの距離を測る必要がある。現在の技術では、このような状況で0.02mmの飛跡は測ることができない。

この問題をわたしの大学院時代の同級生である  $\rho$

エール・オドネと議論していたとき彼が解決策を提案した。電子・陽電子衝突型加速器は同エネルギーのビームを反対方向に加速させ正面衝突させるのが常識だが、彼は9GeVの電子と3GeVの陽電子を衝突させることを提案した。このような非対称加速器を作成することによってB中間子の飛跡は10倍伸びる。彼は提案した非対称加速器ならこの実験が可能だと判断した。

オドネは早速カリフォルニア州立大学パークレー校及びスタンフォード線形加速器研究所 (SLAC) の研究者たちとともに非対称加速器が建設可能かどうか検討を始めた。わたしも日本に一時帰国し、高エネルギー物理学研究所 (KEK) に出向いて、この加速器は建設可能か専門家に聞いた。こんな加速器は建設不可能と当時の加速器建設のプロに門前払いをくった。しばらくしてオドネたちは非対称加速器について論文を書いた。するとその論文に刺激されてKEKからも可能性についての論文が発表された。2つのグループは競い合いながらお互いに刺激し合って建設可能という方向に研究が進んだ。

数年後にやっと概算要求が通り、我が国でBファクトリー建設が始まった。当時、米国ではスーパー・コライダーという山手線の円と同等の大きさの加速器の建設が始まっておりスタンフォードで提案されていたBファクトリーには予算がついていなかった。わたしはこの物理は日本が独占できると思った。しかし、わたしの考えはあまかった。アメリカの大統領が代わり、スーパー・コライダーは財政赤字削減の犠牲になり、プロジェクトはストップした。スーパー・コライダーの建設をとりやめ、予算

的に1桁小さいBファクトリーの建設が許可された。そして両国の競争は始まった。非対称加速器というトップレベルの技術を使い、人類が持つ最も基本的な問題「なぜわたしたちは存在するのか」の解明を競った。

アメリカと日本の発見に対する意識の違いがBファクトリー建設のなかに大きく現れた。過去SLACの研究者は駐車場に加速器を建設し、その施設を使った研究でノーベル賞を受賞している。彼らは発見のテクニックを熟知している。アメリカの加速器研究者は素粒子実験家と協力して最低限で目標を達成する加速器を建設する。従ってSLACでは加速器設計に伴う冒険は一切避け、今までに熟知されている技術のみでBファクトリーを建設し、発見に伴う栄誉をねらった。

日本の加速器研究者のスタイルは違った。研究者としてのこだわりで常に新しい技術を導入し、新しいコンセプトのもとにBファクトリーを建設した。わたしが特に気になったのはKEKの電子と陽電子のビームが有限交差角衝突（正面衝突するのではなく角度をもって衝突する。）するデザインである。過去の成功例が無いどころか、失敗した例がある。ドイツの研究所で有限交差角衝突を試みたが衝突させることが出来ず、結局あきらめて正面衝突に切り替えた。このような競争を伴う研究では、何か一つ間違えば修正するのに1年かかり、発見は横取りされる。

幸いにもわたしの心配は無用であった。見事に様々な新しい技術が計算どおり機能し、SLACにわずか6ヶ月遅れて完成した。



写真1 筑波山の麓にある高エネルギー研究所と加速器  
[KEK ホームページ (<http://www-kekb.kek.jp/>) 提供]

#### 4. 神が振ったさいころの奇跡

普通であれば競争相手に6ヶ月遅れたら残念ながら発見は出来ない。どんな測定でも測定誤差があり、数多くの測定を重ね統計的に答えが出る。はじめのうちは誤差が大きく中心の値のずれていることがしばしばある。ここでは説明しないが、大きなCP（非保存を示す値）を $\sin 2\phi_1$ と呼ぶ。この値が0であればCPは保存されている。CP非保存を発見する条件として、測定誤差が測定値の3分の1になると99%の確率で

CP 非保存が発見されたと言える。2001年に両グループが同時に大きな CP 非対称性を発見した。発表された結果は次のとおりである。

$$\begin{aligned}\sin 2\phi_1 &= 0.58 \pm 0.32 \text{ (KEK)} \\ \sin 2\phi_1 &= 0.34 \pm 0.20 \text{ (SLAC)}.\end{aligned}\quad (6)$$

SLAC の測定結果は小さい方にずれた。見て解るように SLAC 実験グループの誤差が 3 分の 1 になるには KEK の統計誤差より 1.5 倍小さくする必要があった。これには 2 倍以上データを収集する必要がある。KEK 実験グループはこの神からの助けによって 6 ヶ月の遅れを取り戻し、同時に CP 非保存の発見を発表することができた。

この実験の結果が、2001 年の 2 月に名古屋大学が主催し、伊勢志摩で開催された BCP 4 国際会議で発表された。

## 5. SUPERKEKB

先に記したように KEK は SLAC に比べ、創造力あふれた加速器を建設した。その力は図 2 で示されている。2 年後には KEK は B ファクトリーの強度をさらに 2 倍に増やすことが可能である。

今後、競争相手は増える。2007 年 7 月にスイスの研究所 CERN で建設中の LHC で実験が始まる。このような競争相手に勝つには KEK の加速器の強度を 100 倍にする必要がある。この SUPERKEKB

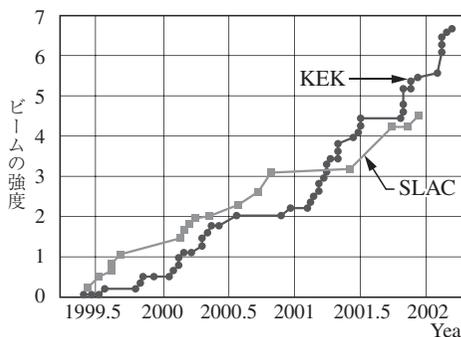


図2 国産と米国産の加速器強度における競争。2001年に KEK は SLAC を追い越した。

[KEK ホームページ (<http://www-kekb.kek.jp/>) 提供]

と名づけられたプロジェクトを実現するには SLAC の研究者を抱きこんだ国際共同研究体制が必要となる。

## 6. 終わりに

日本の理論物理学は、戦前から世界に負けず最前線の物理学の開拓におおきく寄与してきた。最近になって実験物理学でも、世界をリードする実験を行い注目を浴びている。今後この地位を保ちながら更にリードを広げていくには国際共同研究の中で我が国独特な実験を続ける必要がある。我が国で建設した B ファクトリーを SUPERKEKB に格上げすることによって今後 20 年間は世界のリーダーとして研究を進めていけるであろう。

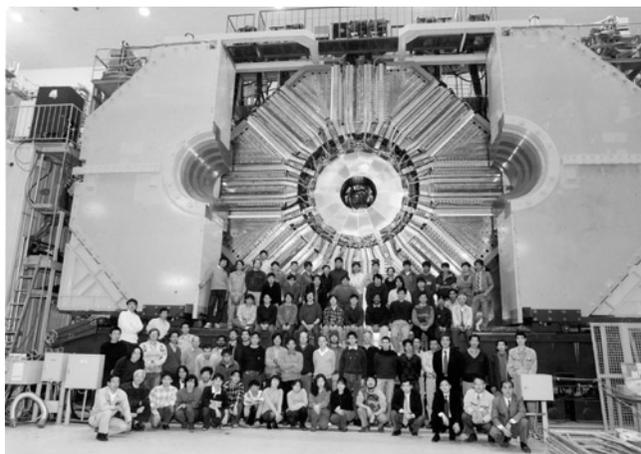


写真2 大きな CP 対称性式 (6) を発見した KEK の測定器と実験グループ [KEK ホームページ (<http://www-kekb.kek.jp/>) 提供]

### [参考図書]

- 1) 三田一郎 CP 非保存と時間反転, 失われた反世界 岩波書店 2001 年
- 2) I. I. Bigi and A. I. Sanda, *CP Violation* Cambridge University Press, (2001).
- 3) A. D. Sakharov, *JETP* 5 24 (1967).
- 4) I. I. Bigi and A. I. Sanda, *Nucl. Phys.* B193 85 (1981).