

# 失われた反世界

## 素粒子物理学で探る

代表挨拶	三田 一郎	2
------	-------	---

### A セッション 基調講演

人類が知り得た素粒子世界	坂井 典佑	8
--------------	-------	---

基本粒子とはなにか / 原子の構造を調べる / 原子核の構造と構成成分 / 自然界に働く力  
4つの力とゲージ粒子 / 4つの力と標準模型 / クォーク・レプトンは何種類あるか  
標準模型を超える統一理論 / 重力を含む超弦理論 / 超弦理論の検証へ向けて

反世界とは	三田 一郎	19
-------	-------	----

はじめに / 反粒子とは / 反粒子の発見 / 素粒子論による初期宇宙の予言  
なぜ反宇宙は存在しないのか / 素粒子論を変更する必要性 / CPの破れとは  
K中間子系でのCP非保存をどう理解するか / B中間子崩壊で予言されたズレの観測  
なぜ、非対称加速器が必要か / CPの破れの発見

### B セッション 反素粒子をつくる・素粒子をみる

加速器 素粒子を光速へ	平田 光司	34
-------------	-------	----

高エネルギー物理学とは / なぜ、高エネルギー粒子が必要なのか / 物質とエネルギー  
衝突型加速器(Collider)の原理 / 加速器物理学 / 加速器におけるビームの運動とカオス  
アメリカのSSC計画 / 高エネルギー物理学と社会

測定器 素粒子をとらえる	住吉 孝行	44
--------------	-------	----

素粒子の痕跡とは / 原子のイオン化をとらえる / イオン化を利用した飛跡の検出器  
蛍光を利用した検出器 / チェレンコフ光の検出器 / チェレンコフ光を利用した粒子識別装置  
電荷をもっていない粒子の検出法 / 実際の測定器: Belle測定器 / まとめ

測定器 素粒子を記録する	山内 正則	54
--------------	-------	----

なにが難しいのか / 検出器からコンピュータへ / データの集積 / コンピュータに制御された実験  
データ解析 / まとめ

### C セッション 特別講演

光とわたしの夢	晝馬 輝夫	62
---------	-------	----

天地の創造 / 光の本質と光の性質 / 光子の測定 / ポジトロンCTの開発  
PETによるガンの早期発見 / ボケない、ガンで死なない運動 / 日本産業の三重荷重  
半導体レーザーの産業応用 / 人類未知未踏領域の認識 / 求められる日本発の新しい産業  
日本におけるサイエンス活動 / 人類に新しい価値観を生みだす新しい産業創出サークル / おわりに

### D セッション 反素粒子と素粒子の違いをみる

実験物理 素粒子世界 反素粒子世界を証明した!	相原 博昭	78
-------------------------	-------	----

反世界と反素粒子 / 素粒子の対称性とは / 宇宙のはじまりを再現する  
bクォークにおける非対称性の観測 / なにを測定すればよいのか  
bクォークと反bクォークの差をとらえる / 発見から論文、学会発表へ / おわりに

# 目次

## Eセッション 失われた反世界はどこへ

- 素粒子と宇宙創世 ..... 池内 了 88  
はじめに / 起源とは / 対称から非対称へ / 対称性の破れと宇宙の創世 / 宇宙膨張の発見  
自然界の構造とプランク点 / 「無」からの宇宙の創世 / 真空は豊かである  
真空のエネルギーを使つての宇宙の創世 / 真空の相転移 / 真空の宇宙から物質の宇宙へ
- 素粒子、反素粒子世界の違いは何を教えるか? ..... 日笠 健一 102  
まず相対性理論 / アインシュタインは間違っていた? / なぜ、粒子と波動の二重性が可能なのか  
反粒子の存在 / サハロフの3条件 / 素粒子の標準模型 / 鍵を握る CP の破れ: 小林・益川機構  
小林・益川行列 / 将来に向けて

## Fセッション 反素粒子と素粒子を追う

- 世界最高記録を更新中! ..... 赤井 和憲 114  
はじめに / B ファクトリー加速器に要求される性能 / 日米決戦 / B ファクトリー加速器の仕組み  
性能向上を阻んだ問題点とその解決 / 今後の計画と加速器科学の広がり
- 何故、素粒子研究は重要か ..... 高柳 雄一 125  
素粒子の研究とは / 科学と芸術 / 科学と技術 / 科学技術を育てる / おわりに
- 素粒子探求のゆくえ ..... 大島 隆義 131  
B ファクトリーの成果と成功の原動力 / B ファクトリーの第2幕 / ヒッグス粒子を求めて  
スーパー粒子を求めて / 未知の素粒子世界とは / さらなる新世界へ
- 演者紹介 ..... 142

# 実験物理

## 素粒子世界 反素粒子世界を証明した！

相原 博昭

東京大学大学院理学系研究科助教授

### 反世界と反素粒子

水素原子は、電子と陽子からできています。水素原子より原子番号の大きな原子は、電子と原子核からできています。その原子核は陽子と中性子からできています。電子はマイナス、陽子はプラスの電気を帯びた粒子ですが、プラスの電気を帯びた陽電子とマイナスの電気を帯びた反陽子が存在します。これらを反粒子と呼びます。電気あるいは電荷の符号が反対という意味です。中性子というのは、電氣的に中性な粒子ですが、この中性子にも反中性子という反粒子が存在します。じつは、中性子や陽子は、クォークと呼ばれる素粒子(物質を構成する最小要素)からできていて、反中性子や反陽子はクォークと逆の符号の電気をもつ反クォークからできているのです。

現在、もっとも有力な宇宙論であるビッグバン宇宙論によれば、宇宙のはじまりはエネルギーでした。そのエネルギーからクォークが生まれ、そのクォークが集まって

陽子や中性子ができ、それらが集まって原子核となり、さらにこの原子核と電子が結合して原子ができ、宇宙をつくる材料となったとされています。つまり、宇宙はクォークや電子といった素粒子からできあがっているのです。

ところで、エネルギーというのは電氣的に中性な状態ですから、そこから現在のよような宇宙ができてくる途中では、素粒子とそれと反対の電気を帯びた反素粒子が同じ数だけできたはずですが、したがって、世の中のすべての力が素粒子と反素粒子に対して同じように働くのであれば、反陽子、反中性子それに陽電子からできた反原子が存在し、さらに反原子からできた反物質、はては反宇宙が存在してもよいはずですが、しかし、反宇宙の存在する証拠はなく、宇宙は物質、つまり素粒子でできていることがわかっています。とすれば、素粒子と反素粒子に働く力には違いがあって、その結果、反素粒子でできた反宇宙が存在しないのではないのでしょうか。

その違いを見つけ、さらに違いの理由をはっきりさせれば、宇宙の生い立ちを知る手がかりになるのではないのでしょうか。

これが私どもの実験の動機です。

では、どうしたら、その違いを見つけられるのでしょうか。

そのためには、宇宙のはじまりを実験室で再現する必要があります。そして、それを可能にするのが加速器という巨大な装置です。

### 素粒子の対称性とは

物質を構成する最小単位であるクォークは、6種類あります。

アップクォーク (uクォーク)  
ダウンクォーク (dクォーク)  
チャームクォーク (cクォーク)  
ストレンジクォーク(sクォーク)  
トップクォーク (tクォーク)  
ボトムクォーク (bクォーク)

これらのクォーク間にいろいろな力が働いていますが、そのような力は「力の粒子」を介して交換されています。

そして、6種類のクォークの重さは多様性に富んでおり、軽いものから重いものまでさまざまです。bクォークの質量は、水素原子の5倍ほどです。最後(1995年)に発見されたtクォークは水素原子175個分の重さです。なぜ、そんなに重いのかその理由はわかっていません。

すべてのクォークに対応する反クォークが存在して、必ず対として生成します。加速器を用いると、これら6種類のクォークと反クォークのすべての対を生成することができます。

私どもが研究していることは、粒子と反粒子が同じように振舞うのかどうかということです。そのことを少し難しく物理の言葉でいうと、「対称性」ということになります。

対称性の例として小学校で習う三角形の合同や相似があります。違う場所からもってきた2つの三角形が同じ形をしている、あるいは、一見違う形だが、よくみると拡大コピー、縮小コピーと同じである、ということは、2つの三角形になにか同じ特徴があることを意味しています。その特徴のことを「対称性」といいます。

物理法則にも対称性があります。「普遍性」ともいいますが、仙台で起こっている物理法則と、つくばで起こっている物理法則は同じです。また、月で起こっている物理法則も同じであると、確信をもっていうことができます。物理法則や物理現象には対称性、普遍性があるわけです。物理現象は、時間についての対称性ももっています。昨日起こっていたことと今日起こっていること、そして明日起こることのうちで、共通なこと、すなわち時間とともにかわらないことがたくさんあるはずですが、そのようなことを表すのに、物理学者は「対称性」という言葉を使います。

物理学、特に素粒子物理学ではいろいろな対称性についての研究がなされています。素粒子物理学は対称性の研究をする物理学だといってもよいくらいです。ゲージ対称性や超対称性(supersymmetry)と呼ばれる対称性は研究の中心課題です。

さらに重要なことは、対称性はいつも成り立つわけではなく、ときどき破れるということなのです。その破れ方はでたらめではな