

はじめに

小林 誠

一九七一年四月、高エネルギー物理学研究所が、建設が始まったばかりの筑波研究学園都市に誕生しました。一九九七年には高エネルギー加速器研究機構に改組されていますが、略称はいまも昔も「KEK」です。

物質の根源や宇宙の成り立ちなどに迫る素粒子物理学は、新しい理論を実験で証明し、新しい実験結果を理論で説明することをくり返しながら発展してきました。それには、高エネルギー加速器などをつくる粒子の衝突反応を詳しく調べることが必要となります。このため、こうした研究分野を高エネルギー物理学と呼んでいます。

近年では、欧州のCERN^{セルン}（欧州合同原子核研究機構）にある大型加速器LHCによるヒッグス粒子の発見という重要な成果が大きく報道され、この分野が脚光を浴びましたから、

深い関心を寄せている人も多いことでしょう。

一九四五年の終戦以降、この分野で欧米諸国に大きく後れを取っていた日本の研究者にとって、高エネルギー加速器の建設は長年の悲願でした。その実現に向けた動きが始まったのは、一九六二年のこと。原子核や宇宙線などの関連分野も含めた「原子核研究将来計画の実現について」という日本学術会議の勧告によって、高エネルギー加速器建設への道筋ができました。

そこから計画の規模などをめぐる激しい議論が行われ、一〇年近い紆余曲折を経てスタートしたのがKEKです。しかし、研究者たちが立案した当初の計画は、最終的には大幅に縮小されてしまい、建設を認められた加速器の性能は、当時の世界の最先端に遠く及ばないものでした。

一九七〇年代は、素粒子物理学が急速に進展した時代です。欧米諸国の加速器によって新しい粒子の発見が相次ぎ、その謎を説明するための理論が発展しました。それによって、素粒子の「標準模型」と呼ばれる理論体系が築き上げられたのです。

残念ながら、日本の高エネルギー実験の研究はこの世界的な波に乗ることができません

でした。しかしその後、KEKはより高い性能を持つ加速器を建設し、高エネルギー物理学の世界で大きな存在感を示すようになりました。八〇年代に建設されたトリスタン加速器の後継機として一九九八年に完成したKEKB^{ケックビー}加速器（Bファクトリー）は、世界中で進められてきた標準模型の検証作業の最終段階で、決定的な成果を挙げています。

それだけではありません。カミオカンデやスーパーカミオカンデがノーベル物理学賞に結びつく成果を挙げたニュートリノ実験は日本の得意分野ですが、そこでもKEKの加速器は重要な役割を果たしています。理論だけでなく、実験の面でも、わが国の素粒子物理学は世界の最先端にまで躍進しました。

本書では、一九七一年に誕生したKEKの五〇年におよぶ歴史を振り返り、おもに素粒子物理学の分野で挙げてきた成果について、現場の研究者たちの言葉で綴^{つづ}ります。ここではまず、全体の概要を述べておきましょう。

第一章では、編著者である私が、一九三〇年代に始まる素粒子物理学の歴史を簡単に紹介しつつ、標準模型という理論体系の内容を説明します。KEKの加速器が挑んだ「CP対称性の破れ」という現象に関する話を読んでいただければ、本書のタイトルでもある「宇

宙はなぜ物質でできているのか」という問いの意味も理解できるはずだ。

第二章では、菊谷英司氏（KEK史料室）に、戦前に始まる日本の加速器研究の歴史とKEKの歴代加速器について説明してもらいます。素粒子物理学における加速器実験の存在意義はもちろん、それ以外にもさまざまな分野で加速器が活用されていることがわかりただけだと思います。

第三章と第四章では、クォークにおけるCP対称性の破れを実証したKEKのBelle^ベ実験を取り上げます。前半と後半に分け、第三章のPART1では山内正則氏（KEK機構長）にベル実験の全体像を、第四章のPART2ではベル実験に使用したKEKB加速器の設計や運転などについて生出勝宣氏^{おいでかつのぶ}（KEK名誉教授）に語ってもらいます。米国の研究所との厳しい競争を乗り越えるための努力と工夫のすばらしさを味わっていただきましょう。

第五章では、市川温子氏（東北大学大学院理学研究科教授）に、茨城県東海村の加速器から岐阜県神岡のスーパーカミオカンデにニュートリノビームを打ち込むT2K実験について説明してもらいます。CP対称性の破れという現象は、クォークだけのものではなく、

ニュートリノでも起こると考えられています。こちらでも海外の研究所と競争しつつ、大きな成果を期待されている実験です。

そして最後の第六章では、岡田安弘氏（KEK理事）に、二一世紀の素粒子物理学が抱えている課題や目指している方向性、今後のKEKが果たすべき役割などについて述べてもらいます。

Bファクトリーの実験やLHCによるヒッグス粒子の発見によって、標準模型の検証はひと区切りつきました。それが物質や宇宙の謎がすべて解明されたわけではありません。むしろ、現在の素粒子物理学は新たな挑戦の入り口に立った段階だといえるでしょう。本書を通じて、素粒子物理学や加速器科学に対する社会の理解と関心がより深まり、この分野がさらに発展することを願っています。

目次

第一章

素粒子の標準模型とCP対称性の破れ

中性子の発見と三つの相互作用／反粒子の存在を証明した「陽電子」の発見／
対消滅と対生成／破れていた粒子と反粒子のCP対称性／
ゲルマンの提唱した「クォーク模型」とは／三つの相互作用のメカニズム／
クォークが六種類あればCP対称性は破れる／
物質と反物質が非対称になるためのサハロフ三条件／
標準理論のCP対称性の破れでは足りない

第二章

加速器実験の歴史

GHQに破棄された四基のサイクロトロン／
シンクロトロン開発に乗り遅れた日本／K2K実験で活躍したKEK PS／
ついに世界トップクラスに到達したトリスタン加速器／

第三章

想定より質量が大きかったトップクォーク／
小林・益川理論の検証を目指したKEKB／
放射光を利用するフォトンファクトリー／
国際リニアコライダーの実現に向けて／
東海村の大強度陽子加速器「J-PARC」

小林・益川理論を検証せよ P A R T 1

山内正則

71

「カーター・三田論文」とB中間子／

一流のSLACに一・五流のKEKが勝てるのか／

非対称なエネルギーで粒子を衝突させる実験／

先進的なSLAC、保守的なKEK／

電子雲対策のためにピップエレキバンも試してみた／

一〇億個のB中間子のうちデータになるのは一〇万個／

雑誌の同じ号に掲載されたKEKとSLACの論文／

科学の実験には競争が不可欠

第四章 小林・益川理論を検証せよ（PART 2）

—— 生出勝宣 99

高く掲げたルミノシティの目標値／トリスタンの大きなトンネルが役に立った／
ビームを安定させる「アレク空洞」の開発／甘く見ていた電子雲の影響／
全周三キロメートルに巻きつけたソレノイド／
入射器のハンデを無化した連続入射／危険視された「有限交差角衝突」の採用／
トリスタンの遺産なしにKEKBの成功はなかった

第五章 ニュートリノとCP対称性の破れ

—— 市川温子

129

T2K実験に参加したきっかけ／
クォークよりも破れの大きいニュートリノのCP対称性／
毎秒一〇〇兆個のニュートリノをつくって神岡に打ち込む／
早い段階で見えてきた三種類の混合／
東日本大震災で実験停止中に中国の実験に逆転を許す／
昨日のライバルは今日の友／
二〇二七年実験開始を目指すハイパーカミオカンデへの期待／

陽子崩壊の検出も大きな目的のひとつ

第六章 「新しい物理」と加速器科学の未来

岡田安弘

157

単独で存在できないクォークは「素粒子」か／

標準理論に貢献したノーベル賞受賞者たち／

ヒッグス粒子は素粒子か複合粒子か／超対称性理論と大統一理論／

ヒッグス粒子の精密測定が最重要課題／

ILC（国際リニアコライダー）の役割／

標準理論と合致しないミューオンの磁気モーメント／

物質と反物質の非対称は素粒子物理学の「最後の宿題」／

ダークマターは素粒子全体の中でどう位置づけられるか／

素粒子物理学の歴史に対する責任

おわりに

小林 誠

188