

小林さんのすごさと 本物を見抜く目

坂東昌子 愛知大学名誉教授

坂東昌子(ばんどう・まさこ)
京都大学で博士号を取得。湯川研究室で小林・益川両氏と研究をともにし、「超対称非線形表現」(坂東・蔵本・益川・上原)の論文は益川氏との共著。1987年に愛知大学教養部教授、2008年から名誉教授。専門は素粒子論、非線形物理。女性研究者の社会貢献をめざす活動にも尽力。2006年に日本物理学会長、その後日本物理学会キャリア支援センター長(2008年9月まで)。



小林さんの強烈な印象

小林・益川(KM)理論が実験で検証されたのは2002年秋でした。私はこの年のノーベル賞受賞を予想して、授業などで特別に解説をしたものです。

小林さんのことでよく覚えているのは、KM理論を出した後のエピソードです。正月明けに、「論文書かないわけにはいかないので、正月に書いた」と1本の論文を出してきました。それは、第2種超伝導を素粒子に応用したものでした。超伝導といえば、南部陽一郎先生が対称性という視点から透徹した論理を組み立てられ、その上にカイラル対称性の自発的破れという形で持ち込まれたのは有名です。これは、今回のノーベル賞にもつながりました。

南部理論は、私が修士1年のころ、仲間に教えてもらってその新鮮さに魅せられ、すぐランダウのゼミを始めたので、強烈な印象がありました。でも、第2種超伝導? 私は、小林さんが物性の興味深い現象からその概念を素粒子論の弦模型に導入して論文をさりげなく作ってしまったのに、びっくりしました。私はKM理論より、この方を強烈に覚えています。

理論が生まれた背景

KM理論が生まれたのには、2つの背景があります。1つは、1960年後半から押し寄せていた新しい流れをすばやく評価できた2人のセンスです。当時、大抵の平凡な研究者(私もですが)は、次々と現れるおびただしい数の新粒子をどう理解するかに四苦八苦していました。しかし、1967年のワインバーグ・サラム(WS)、1971年のト・フーフトの仕事を理解した小林・益川は、統一理論への道を確認します。ただ、1971年にWS理論の予言した中性カレントが発見されるまでは、半信半疑だったとも思います。発見前に益川さんが、「WS理論はきれいだけど、自然はこれを選ばなかったんだねえ」と残念そうに言っていたのを思い出します。

2つめの背景は、名古屋模型で培った物質観です。ノーベル賞報告には「3つのクォークを6つにした」とありますが、名古屋では2つのニュートリノ(e、 μ)が見つかった1962年ころから、4つはあると思っていたのです(原・牧の4元模型)。しかも、丹生潔先生が1971年には4番目のチャーム(当時 χ 粒子)を発見していました。つまり2世代を確認していたのです。ですから2世

代を3世代にするのにそれほど抵抗がなかったのです。

本物を見抜く目

今回、KM論文を読み直し、ノーベル賞委員会のレビュー「Broken Symmetry」を読んで、いくつか気付いたことがあります。

KM論文は、CPの破れを自然に入れるためにどうすればいいか、それを形式論理で尽くせるだけ尽くすことが大切だと教えてくれます。すべての可能性を論理的に尽くして、最後に本命(と私は思っているのですが)の3世代模型が出てくるのです。

また、この論文がここまで評価されたのは、菅原寛孝さんの貢献も大きかったと思います。多くの研究者が「新粒子なんて…」という中で、KM論文の価値を見抜き海外で紹介した菅原さんの見識眼に尊敬の念を禁じえません。ノーベル賞委員会のレビューには、本当にすごいところと日本の伝統が書かれていないと思いました。

大切なのは、流行だけを追うことでもないし、流行を無視することでもありません。流行の中にある本物を見抜く目です。このことを若い人たちにわかってほしいと思います。

京都大学時代

小林 誠さんが「6種のクォークの存在を予言するCP対称性の破れの起源の発見」で、益川敏英さんとともに2008年のノーベル物理学賞を受賞しました。小林さんとは一緒に研究し、共著論文もあるので、とくに嬉しいです。

私はノーベル賞の対象となった小林・益川理論が誕生するころ、同じ時期に京都大学物理学教室に在籍していました。先見の明がなかったのか、当時お二人から「クォークが6種類なければならない」という話を聞いてもあまりインパクトを感じませんでした。私は素粒子の研究者ではなかったのですが、お二人の師である坂田昌一先生の無限階層論を信奉しており、クォークは当然無限に存在するはずと考えていたからです。お二人には、「クォークの種類って、無限にあるはずでしょ」と申し上げた記憶があります。

3番目のニュートリノ

私は1974年ころ、佐藤文隆さんと、宇宙論的、天体物理的観測データを使って

素粒子の質量や寿命に制限を付ける研究を進めていました。1976年、スタンフォード大学の線形加速器センターで、質量の大きい3番目のレプトンの存在が示されました。当然3番目のニュートリノも存在するはずで、レプトンは6種類あることとなります。レプトンとクォークの対応を考えるなら、これは小林・益川理論のクォークが6種類あるという予言をサポートするものです。

小林さんと私は、この3番目のニュートリノについて宇宙論的、天体物理的議論から質量や寿命に制限が付けられるはずだと考え、共同研究を始めました。また、さらに新たなニュートリノがあるとすれば、その種類数についても制限が付けられるはずだと考えました。もっとも、共著論文を書いたときは「タウ」レプトンという名前はついていなかったため、翌1977年に発表した論文では「heavy lepton neutrinos」となっています。

このニュートリノの崩壊寿命は、小林さんがニュートリノ間の混合を考え計算しました。これと、①宇宙の密度と年齢からの制限、②宇宙初期のヘリウム合成量からの制限、

③マイクロ波宇宙背景放射のプランク分布からずれないことからの制限、などを考え総合的に質量、寿命、種類数について制限を付けたのです。

ほとんど同時期に、私たちとは独立にB. W. LeeとS. Weinbergによって、①の制限を使って、3番目のニュートリノが安定で崩壊を考えない場合についての制限が示されました。今日、LeeとWeinbergの論文の一部として含まれていることです。

今日、何か新たな仮想的粒子を考えたと、宇宙論、天体物理学からその寿命や質量に制限を付けることは常識的になされます。私たちの論文は、そのような議論を始めた先駆的論文だと自負しています。

小林さんは、常に沈着、何事も深く物事を詰めて考える方です。今後も素粒子の研究についてはもちろん、宇宙との境界領域の研究についても高所からご助言をいただきたいと考えています。

素粒子と 宇宙論の架け橋

佐藤勝彦

東京大学大学院理学系研究科教授

佐藤勝彦(さとう・かつひこ)

京都大学で博士号を取得。専門は宇宙物理学で、インフレーション宇宙論の提唱をはじめとして、宇宙論における世界的なリーダーとなっている。学生時代から小林・益川両氏とは交流があり、小林氏とはニュートリノの共同研究がある。1982年に東京大学助教授、90年に同教授、2007年から数物連携宇宙研究機構主任研究員を兼ねる。





林 青司(りん・せいじ)
 東京大学で博士号を取得。専門は素粒子論で、フレーバーを変える中性カレント過程における重い粒子の効果、ニュートリノ振動、高次元時空におけるゲージ理論の階層性問題などを研究してきた。1987年に高エネルギー物理学研究所(KEK:現在の高エネルギー加速器研究機構)助手。1992年に神戸大学理学部助教授、96年同教授、2007年から現職。小林氏とは KEK 時代の同僚で、共同研究をまとめている。

小林先生との 共同研究の思い出

林 青司
 神戸大学大学院理学研究科教授

ニュートリノ質量の共同研究

小林先生とは、KEK 在籍中と神戸大学に移ってから1回ずつ共同研究をさせていただきました。ニュートリノ質量の起源に関する“Pseudo-Dirac(擬ディラック)”シナリオと、そのニュートリノ振動への応用、といったテーマです。1つ目の論文は、小林・林・野尻(野尻美保子・総研大教授素粒子原子核専攻/KEK教授)の共著です。

きっかけは、私が1年間CERNに滞在してKEKに帰ったところ、昼食後に理論部のサロンでいつものように雑談をしていたときのことだったと記憶しています。小林先生が、「太陽ニュートリノ、大気ニュートリノの振動だけでなく、質量17KeVの重いニュートリノもあるとすると、通常の3世代の枠組みでは説明がつかない。Pseudo-Diracシナリオを用いたらどうか」といったアイデアを出されました。

重いニュートリノについては、当時そのような実験データがあったのです。私は多少ニュートリノ振動の仕事をした経験があったので、一緒にやらせていただくことになりました。

本質を見抜く目、謙虚な姿勢

1個のディラック粒子は、質量の縮退した2個のマヨラナ粒子と等価ですが、これに小さなマヨラナ質量が加わったのがPseudo-Diracニュートリノです。縮退が解けて(大きな混合角とともに)わずかな質量差が生じ、世代が一つだけでもニュートリノ振動が可能になります。第1、第2世代で太陽・大気ニュートリノ振動をそれぞれ説明し、第3世代が17KeVニュートリノである、というのがアイデアでした。

2回目の共同研究のときに、大体の計算結果を持って小林先生のところ打ち合わせにうかがったのですが、私が少し説明しただけでその物理的内容を瞬時に理解され、私がいちばん気になっていた部分だけ鋭く指摘を受けました。共同研究の経験において、最短かつ最も効率的な研究打ち合わせでした。小林先生の本質を見抜く物理的センスのすごさに改めて驚いたことを覚えています。

いちど、クォークやレプトンの質量階層性、混合といったものの起源についてどう思われ

ますかと質問したことがありましたが、「ちょうど原子に関して周期律がわかったような段階なのではないか。自然はそんなに単純でなく、本当の理解までには時間がかかるのでは」といった趣旨のことを述べられました。いつも謙虚な研究の姿勢を貫かれておられたように思います。

小林・益川の仕事は現象論のお手本とすべき仕事で、今回の受賞は小生のような現象論をやっている端くれにとっても大変うれしいばかりでなく、後に続く若い研究者たちにとって大きな励みになると思います。

突然届いた論文

2004年のことだったか、小林 誠さんから突然、論文草稿が送られてきました。それは、N=2超対称ヤン・ミルズ理論に現れる古典解のモノポールが運ぶ電気双極モーメントの大きさを計算したものでした。

とくに興味深かったのは、電子の磁気双極モーメントが磁気回転比2を持つのとまったく同様に、モノポールの持つ電気双極モーメントの電気回転比が正確に2であることです。電気の世界と磁気の世界がまったく鏡像の関係になっている(電気磁気双対性)ことを、場の古典解を用いた易しくあからさまな計算で示していることが大変印象的でした。

この論文は、小林さんらしくなかなか発表されずにいたのですが、私の勧めもあったせい、2006年暮れになってやっと『Progress』誌に投稿されました。

30年ぶりの共著

この論文に触発された私は、大学院生の1人と、小林さんの美しい結果が模型の「超対称性」によるものなのかを確かめようと

しました。それを知った小林さんからじきに、 Θ 項があるときに電気回転比が2からずれるかどうかを調べてみてはという提案がありました。 Θ 項はCP対称性をあからさまに破るので、それが存在すれば通常の電子でも電気双極モーメントを持てるようになります。その大きさを求めることも興味ある問題でした。

おりしも小林さんは、2006年9月から国際高等研究所のフェローとなり、定期的に「けいはんな」に来られることになりました。そこで、5、6回じかに会って議論をし、2007年夏ごろに「Electric Dipole Moments of Dyon and 'Electron」という論文を書くことができました。小林さんと私が共著論文を書くのは3回目、前回から実に30年ぶり(!)のことでした。

物理的直感に満ちた発想

今回のモノポールの仕事でも痛感したのは、小林さんがいかに物理的な直感に満ちた「生々しい」理解をするかです。私には決してできない発想です。小林さんは、 Θ 項の存在が磁場軸と電場軸の「直交性」を壊し

て「斜交軸」にするという解釈で、正しい理解に到達しました。私はそれがよく理解できなかったのもっと形式的な方法で同じ結論を出したのです。

論文の0次草稿は私が書いたのですが、小林さんの直感的導出を書かなかったのですが、今となってはそれを後悔しています。なぜなら、小林流は世界中のどこにも書かれていないし、それに私は早くもそれを忘れてしまっているからです。

この仕事には後日譚があります。今年の春にも、小林さんから、「ある重力の古典解の場合にも磁気モーメントがあるが、 Θ 項があれば磁気回転比はどう変化するのか。昨年のわれわれの結果と同じになるのではないかと考えてください」というメールをいただきました。昨年の論文はマイクロ系の話で、それを重力の解というマクロな対象にまで展開する、その自由な発想に驚きました。しかし、面白いと思いがちなかなか取っ掛かりが得られず、この宿題は手付かずのままです。

小林 誠さんと モノポール

九後太一
 京都大学基礎物理学研究所教授

九後太一(くご・たいち)
 京都大学で博士号を取得。小林・益川理論が最初に披露された京大研究室セミナーで、大学院生としてそれを聴いた一人であった。専門は素粒子論で、非可換ゲージ場の共変的量子化の理論、超弦理論の示唆する超対称大統一模型などを研究してきた。1981年に京都大学助教授、93年同教授。2003~07年には京都大学基礎物理学研究所長を務める。



天文と素粒子が協力して 宇宙の究極に迫る

海部宣男

放送大学教授／総合研究大学院大学名誉教授／
自然科学研究機構 国立天文台名誉教授

海部宣男(かいふ・のりお)

東京大学で博士号を取得。専門は電波天文学。東京天文台(現在は国立天文台)野辺山宇宙電波研究所の45m電波望遠鏡の建設に力を注ぎ、星間物質の解明に大きな成果をあげた。すばる望遠鏡の設立にも携わり、1992年、初代のハワイ観測所長に就任。2000年、国立天文台長、2006年から総研大および国立天文台名誉教授。日本学術会議の会員としても積極的に活動している。



私と小林さんは一緒に遊んだ従兄弟同士ですが、私は電波天文観測、小林さんは素粒子理論ということで、研究上の接点はあまりありませんでした。仕事で顔を合わせるようになったのは、小林さんが2003年に素粒子原子核研究所長になってからですね。私はそのころ国立天文台長で、所長会議などでは席が隣りになるんです。2004年の法人化など、大変な時期をともに乗り越えてきました。

ただ、大学院時代の若手夏の学校での交流など、素粒子物理と天文との接点は昔からある程度はあったのです。私は東京大学・国立天文台を拠点に研究してきたわけですが、若いころは京都大学の基礎物理学研究所の研究会によく行きました。湯川秀樹さんや坂田昌一さん、武谷三男さんたちが作った独特の雰囲気・熱気があり、大変魅力がありました。

大型化する加速器と望遠鏡

現在、天文学と素粒子物理学はともに大型科学と言われます。ただやはり、素粒子

のほうが一桁ほど大きい。たとえば380億円かけた「すばる望遠鏡」も、CERNの大型ハドロン衝突型加速器(LHC)に設置する観測装置の一つ「ATLAS」と、ほぼ同じ規模ですね。素粒子の最先端はより高エネルギーの現象をめざしますから、ますます巨大な加速器が必要となり、装置の規模は膨大になりました。

もちろん、天文学も大望遠鏡が常に最先端をリードしてきましたし、今後も大型化は進むでしょう。たとえば第2の地球を観測し生命存在を探索するには今の望遠鏡では不足で、次世代の大望遠鏡に期待がかかります。ただ、宇宙はさきわめて多様なので、大学でもアイデアと中規模装置でいろいろ面白い勝負をすることができます。その意味では、天文学はまだ幸せな面もあるかもしれませんね。

究極の謎に迫る

いま天文学、とくに宇宙論と素粒子論はがっぷり組んだ近い分野ですが、さらに関係は密接になっていくはず。物質の起

源を探る素粒子論と、膨張宇宙の起源を探る宇宙論は、結局、同じ目的を追っているからです。この世界を作る物質・力・空間・時間の成立の謎が、究極の対象なのです。素粒子論が扱うエネルギーの高さと、望遠鏡が探る宇宙の深さとが、20世紀末ころからいよいよ重なってきたと言ってもいいでしょう。

長期的には、重力波望遠鏡と超高エネルギーを狙う宇宙線望遠鏡が面白い。重力波で日本は三鷹のTAMA300で先鞭を付け、神岡に建設をめざすLCGTで最先端を狙います。重力波検出はもちろん「ノーベル賞級」のテーマですが、加速器の真空技術など、天文と素粒子の技術協力が大いに役立っています。ダークマターの有力候補とされる未知の超対称性粒子、重力の謎に迫る素粒子のひも理論、謎のダークエネルギー。天文と素粒子の融合が何を生み出すか。非常に面白い時代がやってきたと思います。

(取材・構成 吉戸智明)

発行人 池内 了(総合研究大学院大学理事)
顧問 高畑尚之(総合研究大学院大学長)
野村雅一(総合研究大学院大学理事)

編集長 平田光司(葉山高等研究センター)

編集委員 (50音順)

縣 秀彦(天文科学専攻)
岩瀬峰代(全学事業推進室)
児玉隆治(基礎生物学専攻)
佐々木 顕(生命共生体進化学専攻)
西本豊弘(日本歴史研究専攻)
平田光司(委員長)
三澤啓司(極域科学専攻)
森田洋平(高エネルギー加速器研究機構、特別号担当)
湯川哲之(葉山高等研究センター)

編集担当 岩瀬峰代/杉浦利勝/秋友豊香/草柳大輔

編集協力 サイテック・コミュニケーションズ/福島佐紀子/吉戸智明

デザイン 松田行正/日向麻梨子/高田文世

写真撮影・提供協力

表1、表4、1、5、7、8、10、15~21 由利修一
表2、表3、4、10-11 高エネルギー加速器研究機構
22 林 青司
23 九後太一
24 海部宣男



記者会見に臨んだ小林 誠氏(右)と益川敏英氏(2008年10月10日)

総研大ジャーナル特別号 Sokendai Journal

発行日 2008年12月10日
発行 総合研究大学院大学
〒240-0193 神奈川県三浦郡葉山町(湘南国際村)
journal@ml.soken.ac.jp
印刷・製本 大日本印刷株式会社

©The Graduate University for Advanced Studies, 2008
●本誌掲載記事の無断転載を禁じます。