



座談会：三博士ノーベル物理学賞受賞の報を受けて

出席者（五十音順）

上田正仁 〈東大院理〉 羽澄昌史 〈KEK〉 前川展祐 〈名大院理〉

横山順一 〈東大院理〉（司会）

[2008年11月3日、東京大学にて]

横山：本日はお忙しいところお集まりいただきありがとうございます。日本物理学会では今回会員である三博士が一挙にノーベル物理学賞を受賞されたことを記念し、様々な記念事業を計画中ですが、この記念特集号もその一つです。学会誌の記念特集には三博士とゆかりの深い大御所の諸先生が原稿を寄せられています。受賞対象になった研究が30年以上前に行われたものであることを鑑みて、その今日的意義と言いますか、もう少し若い我々くらいの世代の人がどのように受け止めて、現在どのように活かされているか、そのような観点からより若い世代の中堅の研究者による座談会をしよう、という提案があり、理事の中で一番若い私が柄にもなく司会進行役を承った次第です。今日は小林・益川両氏の母校名古屋大学素粒子理論研究室（E研）の前川さん、KEKで小林・益川理論の検証実験である Belle 実験に携わった羽澄さん、そして物性分野から南部先生の母校東大の上田さんに来ていただいております。よろしくお願ひ致します。

一同：よろしくお願ひ致します。

横山：まずは、受賞者三名のゆかりの大学・研究所からお越しいただいておりますので、ノーベル賞受賞が決まった瞬間の様子をお話いただけますか。

前川：名古屋では、今年は発表の予定時刻の直前までセミナーで使っていたスクリーンに、今年から始まった Web 中継を映して皆で聞いていました。予定時刻を過ぎても発表されなかったのですが、そのうちノーベル賞委員会が出てきて発表する、というので皆で注目していると、「ヨウイチロウ・ナンブ」と聞こえて皆「うおー」とそこですごく興奮して、でも南部さんだから、「あ、これで今年小林・益川はないな」と思ったんですけど、僕個人は「わー」で消されて小林さんの名前聞こえなくて、そのうち「トシヒデ・マスカワ」と聞こえてきてそれでまた「うおー」となって…。

羽澄：その様子が新聞に載っていましたね。

前川：その後すぐ大勢の記者が来て、まあメインは山脇さんへのインタビューですけど、学生とか集まってきた人たちと談笑をしている部屋で、（益川さんと小林さんの名前も入っている）色紙の後ろで、ガッツポーズを取ってくれとか言われました。

一同：（笑）

横山：KEK ではどんな様子でしたか？

羽澄：B-factory のメンバーも、お茶のみ部屋で、Web 中

継を見ていました。ところが予定された発表時間が近づくとどんどん混んできて（Web 中継の接続が）切れちゃいました。しばらくして接続が復活したら、まだ発表されていなかったのでもた盛り上がり、「南部先生が今年受賞されるんじゃないか」って噂をしていたところで、「ナンブ」という発表があり「うおー」と皆で喜んで、同じですね、あとは（前川さんと）。びっくりしたんですけど、正直、というのは業績云々ではなくてですね、この組み合わせの妙。対称性の破れというカテゴリーを（ノーベル財団側が）作ったセンスに、感心しました。もちろんこれは理論の受賞で、我々はそれをアシストした側なんですけれど、実験グループの皆は本当に喜んでるという感じでした。

横山：東大は南部先生の出身校であって、しかも一時助手もされてたわけですけど、東大の物理教室の皆さんはどうでしたか。

上田：私はそのとき自宅にいましたが、ニュースの後、すぐにメール上で、いろんなやりとりが始まり、大騒ぎになりました。南部先生にお祝いの連絡をするとか、あるいは受賞内容を学生に早く説明しなければならないとかの議論で大いに盛り上がりました。次の日に大学に行くと学生も皆すごうれしそうで、物理教室全体が盛り上がりつつあるという感じがしました。

横山：もちろんこうして日本人三名が一挙に物理学賞を受賞した、というのはたいへん喜ばしいことであり、これは我々の世代が記憶に残っている最後の世代だと思いますが、札幌オリンピックのスキージャンプで日の丸が3本上がったとき以来の快挙であるともいえますが、今の学生さんにはわからないでしょうけれど。

羽澄：僕ギリギリです。（笑）

横山：ところで受賞対象研究というのは3、40年以上前のものですので、我々の世代がリアルタイムで論文を読んで勉強したということはなかったわけで、むしろ標準的な教科書に全部出ている話として勉強されたと思いますけれども、皆さんどうやってこれらの理論をお知りになって、その時にどうお感じになったか、そのあたりいかがでしょうか。

羽澄：3世代でCPの破れが出るっていう話自体は、実験家から見ると、割と簡単。で教科書っていうのはそのところだけ書いてある。小林・益川論文の凄味は、他の可能性をいろいろ考えて考えてつぶしていったところにあります。当時ゲージ理論の方向が固まっていない時期に、突き詰めてやったという凄味です。

横山: 原論文にはいろんな可能性が書いてあるわけですね。
羽澄: そうなんです。最後に真打って感じで(現在の小林・益川理論が)登場する。要するにそこに追い込まれていくっていうニュアンス。

前川: でもこの時点では他の可能性も死んでるわけじゃないんですよ。

羽澄: この論文とほとんど時を違わず、タウレプトン、第三世代のレプトンのほうがまず見つかって、それから**b**クォーク…

前川: チャームが先ですね。

羽澄: そうです、チャームはもう直後ですね。名古屋ではすでに「見つかった」という話をよく聞きますが、

前川: 名古屋では丹生イベントと呼ばれるチャーム的な事象が宇宙線の中ですでに見つかっていました。そのことは小林さんも益川さんもご存じで、4つ目のフレーバーがあるということはほぼ確信しておられたと聞いています。

羽澄: (4フレーバー目があるの)ではないかということで(6フレーバーを導入する)心理的なバリアがなかったという話を聞いてます。

横山: ああその当時から、

前川: それで4フレーバーでとにかくCPの破れの原因を一生懸命探して、どんなことやっても無理だ、と、4フレーバーじゃだめだから、残念ながらだめ論文、つまりCPの破れを説明できません、そういう論文にしようかと、そういうふう思ったと聞いています。

横山: 益川さんがどんどんモデルを考えていくたびに小林さんがつぶしていったんだという話を益川さんはおっしゃってましたけども、やはりまあそういう形でできてきたんですかねえ。それで日本語で益川さんが最初に原稿を書かれて、でそれを小林さんが英文に訳したところでまた(論文の論理展開の)順番がひっくり返ったという…

前川: これも話しか聞いてないんですけど、益川さんが日本語で原稿書かれた時は、6フレーバーモデルを一番初めに、CPの破れができるモデルとして持ってきてたらしいんですけど、できた論文を見ると、(現在の小林・益川理論が)最後になってる。小林さんは最後のほうに重要なもの、真打を出す、そういう意味だったんですかね。

横山: こういう理論が生まれる背景には名古屋大学の坂田スクールの伝統というのがやはり強くあったのでしょうか。そのあたり今もやはり感じられますか? 前川さんは京大で益川さんに薫陶を受けられて、今は名古屋大学にいますけれども。

前川: E研っていうのは坂田先生が作られた研究室なんですけれども、自由な雰囲気っていうのはありますね。研究者としてはとにかくスタッフも学生も対等だという、そういう観点から…。そういう精神、理念が1946年に物理学教室憲章として制定されたのですが、今でも制定された6月13日を憲章記念日として、その精神を再認識するための行事を毎年やっていますね。

横山: 今もそういう伝統が、

前川: 今もそういう伝統があって、まあそういう雰囲気の中で(小林・益川理論は)出てきたのかもしれないですね。

横山: まあその後も、Belle実験のもとになった三田理論も名古屋大学の三田先生がやられてるわけですし。

羽澄: 1980年と思います。三田先生はアメリカにおられて、試験の監督をやっている時に思いついたと聞いています。**b**クォークが発見されてすぐですね。K中間子でCPの破れが見えているので**b**でどうだ、ということが話題になっていて、三田先生の先生である、パイスが、CPの破れはあるだろうけれど見られないだろうと、そう言われていた中で、実は巨大な、K中間子の場合より100倍以上大きなCPの破れが見える方法を見つけたのです。これはやはり常識を覆したという点で、Bファクトリーへの出発点だったと思います。ですから、もちろん小林・益川理論が最初にあるわけですが、やはり三田先生の業績というのは絶対に忘れてはいけない。三田先生はもう1980年頃にB中間子を1億個作れとおっしゃったんです。B中間子が見つかったようやく大体半年で10個くらい測定できるというような時代ですから、実験屋はあきれて、また理論屋さんが言ってるよ、と。ところが、本当に重要な目標があれば、テクノロジーはだんだん発展していくものなので。20年かかったわけですけど、Bファクトリーの実験結果が今回のノーベル賞に必要なとしたら、それがやはり発表から受賞まで30年以上かかった理由の一つじゃないですかね。

横山: そのCP非対称性の初の観測結果というのが2001年に出たという。

羽澄: 私がこのプロジェクトに参加したのが学位を取って間もない1994年です。ちょうど測定器のデザインを固めつつあった時代で、プロジェクト自体としては大体そのころ認められて、これから建設にとりかかるぞ、という時代でした。で、実験自体の開始が99年です。大雑把に言うと構想数年で建設がやはり約5年、そのあと10年近く走り続けています。

横山: 現在はどういうことを目指してやってるのですか。

羽澄: 2001年にバーンとCPの破れが見えた後は、標準理論の基本パラメータであるカビボ・小林・益川行列を本当に精密に測っていくということをやっています。カビボ・小林・益川行列ってのは結合定数なので、電荷と同じように物理の基礎定数です。個人的な見方ですが、我々がやってることを一言で言うと物理の基礎定数は、複素数なんだよって示すこと。基礎定数は実数、普通そう思いますけど、そうではない。しかも重箱の隅に行くのではなく、精密測定からさらに先を、より高いスケールの新しい物理の効果をなんとか見たいという、今はそういう方向に進んでいます。

前川: 理論家としては小林・益川を超えたいんですよ。

羽澄: そうですね、小林・益川を古典論にしたいというの

が、これからの(目標です)。小林・益川理論は、ニュートン力学が永遠の輝きを放つように、今後高いエネルギーで何が見つかって、永遠の輝きを放ち続けると、僕は思うんですよ。ただ、やはりCPの破れの起源はまだわかっていないです。宇宙のバリオン生成もわかっていない、それはノーベル委員会の発表でも書かれています。やはりそういうところに向かって、実験サイドも頑張っていくということだと思います。

横山: 宇宙のバリオン非対称性を作るということでは、小林・益川のCPの破れというのは、残念ながら足りないですね。

羽澄: そうですね、ええ。

上田: 二つ質問があります。これまでの実験で小林・益川を超える必要があるということを示す実験的証拠があるのかということが一つ。それから、まもなくLHCが動きますが、それに対して、日本の素粒子実験、特に国内でやる素粒子実験はどういう意味で、独自性を出そうとしているのか教えてください。

羽澄: まず証拠がフレーバーの実験で見ついているかというところ、気持ち悪い「ずれ」がある状態が続いてはいるんですが、統計的に確立するには至っていません。だからこそ今KEKのBファクトリーの、専門用語でルミノシティという、——どれくらいの頻度でB中間子を作れるかということですが、——それを10倍以上上げるという提案がされています。素粒子物理においては、非常に大雑把にいうと、電弱の統一スケールよりあまり高くないところに新しい物理のスケールがあるのではないかと期待されています。それは超対称性か、ひょっとしたら余剰次元か、そんな可能性が議論されていますけれど、だとすると(Bファクトリーのエネルギーである)10 GeVくらいのところでループと言われる量子効果に新しい物理が影響する可能性というのが結構あるんですね。いまそういう方向が一つ、LHCという何千億円もかけた世界で一つのプロジェクト、それ自体に日本チームが参加して貢献するというをやっていますし、そこでもしTeVスケールの新しい素粒子が見えてきた場合は当然その効果が、ループで量子効果としてどのように見えるかが問題になります。そちらはやはり今世界一のルミノシティを誇っているBファクトリーをさらにアップグレードすることが非常によいマッチになると思います。

上田: 相補的な役割が果たせるということですか。

羽澄: その通りです。新しい物理で仮定しているいろいろな条件によってどれくらいのエネルギースケールまでそういう量子効果で見えるかというのは変わりますけれど、一般的には100 TeVまでいっても、要するにLHCよりはるかに高いエネルギー、の効果も見え得るというポテンシャルがあるんですね。

上田: エネルギーでは勝てないけれど測定精度で勝負するということですね。

羽澄: エネルギーのフロンティアと強度のフロンティアという二つがずっと歴史的にあったんですね。CPの破れももともとは実験で見つかって、誰もそんなものないだろうと思っていて、それも強度フロンティアのいい一例ですね。これはフィッチ、クローニンというアメリカの人たちですが。

上田: 強度を上げることによって精度が出るということですか。

羽澄: そうですね、小さい効果をちゃんと見るということが自然の本質を知るのに非常に重要であると。他にも歴史上の例はあると思うんですけど…

前川: 超対称性など新しい物理探索に関しても相補的な関係にあると思います。つまりLHCやILCなどのエネルギーのフロンティア実験では、新しい粒子を作ることができて、その質量とかは測定できたりするのですが、新しい物理でもあると思われる小林・益川混合みたいなのを測定するのは難しい。そういうものをちゃんと測ろうと思うと、強度的なフロンティアの実験が重要になる。だから測ろうとしているパラメータというか、物理が違う、みたいな感じがします。

羽澄: 極めて相補的で両輪という感じが(します)。僕はときどき、今のBファクトリーはトップクォークの物理だ、と言うことがありまして、トップクォークを見つけて質量を測定したのはアメリカの一番高いエネルギーのテバトロンです。小林・益川理論の枠組みではCPの破れはトップクォークとダウンクォークとの結合定数が複素数であることに由来します。Bファクトリーはその位相をきちっと測ったということですね。

上田: 精度で勝つというのは物理としては非常に格好いいことで、頭を使わなければならないことですね。原子物理の分野でもパリティ非保存を反映するアナポールモーメントを、カール・ワイマン(Carl E. Wieman)が観測しましたが、これは高エネルギー物理で見つけられなかったものを原子分光の精度を上げることで見つけました。それはセシウムの外側に電子がまわっていて、ときどき原子核と弱い相互作用します。そこにアナポールモーメントという原子核のモーメントがからんでくる。それをパリティ非保存に感度がある6S-7S間遷移を系統誤差とか統計誤差とかを含むあらゆる問題点を克服して十数年かけて見つけたんですね。精度を上げて非常に精妙な物理を観測することは、物理として非常に格好いいと思います。

羽澄: なるほど。

上田: 物理のセンスが要求されるので。

羽澄: そうですね、センスとアイデアがやはり。

横山: 小林・益川理論の検証というところのBelle実験に対してもう一つスタンフォードのBabar実験ですか、そういうライバルがあるわけですけど。

羽澄: 一番肝心な2001年の発見というのは論文がback to backでまあ同時発見という形になっていますね。で、それ

以外のいろいろな検証をしていますけれど…まあいい勝負、勝ったり負けたりというところで、お互いやはりこのよきライバルがいなかったらここまで頑張れなかったんじゃないだろうか、今振り返るとですね(そう思います)、当時はなかなかそんなふうに…、って当時ってまだ続いていますけれど(笑)。ただ Babar 実験はもうデータ取るのを終えたんですよ、この春に。だから今は我々単独飛行になっている状態なんですよ。加速器の勝負という意味では、KEK の先進的な方式の加速器が勝利をおさめたというふうに言っていていいと思いますね。ルミノシティという先ほど言った、どれだけの頻度でぶつけるかという数字に関しては KEK が上回っていて今世界最高記録。勝因は簡単に言うとその当時の常識ではあまりうまくいかないと思われていた、正面衝突じゃなくて交差させたまま当たるという方式を、慎重にちゃんと研究して、実現可能であると、勇気を持って導入された。私は測定器を作って測定をするサイドですが、日本の素晴らしい加速器物理学の勇気と努力が絶対に光っていると思いますね。

横山: 小林・益川理論のノーベル賞を記念して、文部科学省のほうもリニアコライダの誘致に向けて前向きになるのでしょうかね…

羽澄: もう(そんな談話が)出てますか!

一同: (笑)

羽澄: 我々にとっては非常に喜ばしいことですね。先ほど言いましたように B ファクトリーで実証した世界に冠たる加速器技術、これがベースにあって、同じ電子・陽電子コライダである、リニアコライダへというのが、高エネルギー物理の大きな流れとして目指しているところですね。LHC かそれ以上級のものすごい装置になりますから、これに夢を持っていますけれど、やはり一步一步進めていくということだと思いますね。この大きな流れについて私は「湯川ミッション」というふうに言うことがあります。小林・益川理論ではたくさんパラメーターが出てきて、南部さんが発見された自発的対称性の破れに起因する粒子の質量についてもたくさんパラメーターが出てきます。それは標準理論の湯川セクターに指導原理がないということが両方とも原因だと思うんですよ。ゲージ原理があって量子論があって相対論があって他の部分はものすごくきれいに決まっているけれど、湯川セクターだけが非常に汚いので、素粒子が増えるとともにパラメーターが増えてしまいました。そこを最終的に理解したいというのがすごい野望だと思うわけです。粒子の質量にしてもカビボ・小林・益川行列にしてもすごく変なパターンがすでに見えています。あからさまな階層構造が見えている。周期性みたいなものがあるにもかかわらず我々には原因がさっぱりわからない。そこを電子・陽電子(コライダ)で突き詰めていくというのが一つの大きな流れだと思っていて、それを僕は勝手に「湯川ミッション」というふうに言ってるんですけども。前川さんはどう思われますか。

前川: 私の興味はどうしても TeV スケールにあると思われる新しい物理になってしまうのですが、個人的には超対称性(SUSY)だと思っていますが、その新しい物理があると、LHC では標準模型では説明できない事象が観測されるでしょうが、それがどんな新しい物理かということを決めるのは難しいです。分かるところは分かりますけれど、それをリニアコライダできっちり押さえるっていう、そういう重要な役割がありますね。(新しい物理があれば)結果は約束されているので日本でできればすごいことだと思います。これを言うと反感をかってしまう危惧があるのですが、(素粒子)実験の人には、LHC が(新物理があるという)結果を出す前の今、手を挙げれば(笑)日本に来るのではないかとよく言っているのですが。

上田: LHC がエネルギーのフロンティアであるのに対して、J-PARC とか Belle は強度のフロンティアですね。他方、精度のフロンティアで相補的な物理を探究できる EDM (電気双極子能率) 探索は、小規模でありながら SUSY などを検証するうえでかなり重要な手段になると思われるんですけど、むしろそういうところに日本は力を入れる気はないのでしょうか。非常にハイテクで物理のセンスが必要で、日本のお家芸的な力が発揮できるような分野じゃないかという気がするんですけど。

羽澄: そうですね。まあ僕はそれ(に対して)日本を代表して答える立場じゃないのは誰にも明らかなんですけど、一同: (笑)

羽澄: アイディアはもちろん必要になります。あと面白いのは、ミューオンですね。今いろんな計画が検討されているところです。新しいマシン、J-PARC でできるだけ成果を引き出すことが大事で、今言われた EDM も当然視野に入っているところですね。

上田: ビッグプロジェクトっていうのはリスクを最小限に抑えようとして、確実な路線に縛られがちじゃないかと思うんですね。

羽澄: そうですね。

上田: 例えば TeV スケールで何か分からないけれど新しい物理がありそうだと皆が予感しているところを探索するには、ビッグプロジェクトだけでなくセレンディピティーが生まれるように、いろんな人たちが個別の、独自の、ある意味まったく注目されないようなアイディアを試すことが、むしろ必要になってくるんじゃないかと思うんですね。大発見っていうことを考えますと。

羽澄: ええ、僕もそういうことは思いますね。これまでの B ファクトリーは、特にこの小林・益川理論っていう、ものすごくなんていうかいい地図を与えられてる感じですね。目的地がはっきり書かれている地図を持った旅という感じがあったんですが、これから先はそういう地図がない、もしくはたくさんの理論屋さんがたくさんの地図を持ってくるという旅で、やはり一つの方向だけを攻めるというのではなくて、いろいろなことを試すこと。それは実は地上の

加速器を用いた実験に限らず、例えば宇宙と素粒子の連携だとか、そういうところまで含めて、やはり何か突破口を、というのは、僕は時代認識として非常に正しい方向だと思います。EDMなんかは超対称性に対しても非常に厳しい制約を与えていますよね。

上田：物性物理の大発見は、ほとんどセレンディピティですね。高温超伝導の例で言うと、セラミックが、つまりお茶碗が超伝導になるなんて誰も思わなかったからあんな大発見になったわけですね。あるいは白川先生の話もそうですね。ああいう伝導性ポリマーができるなんて誰も予測できなかった。大発見はほとんど、あらかじめ予測がなかったところにあるもので、高エネルギー物理にそれがないとはとても思えない。今はそういうところを皆さん探索してるんですよ。それで、理論がわんさか出るわけで、今回は理論を検証するという方向で実験が大成功をおさめたんだと思いますが、同時に、数多くの理論をどんどんつぶしていくような、そういう実験をやるのも実験家の醍醐味じゃないかと思えます。

羽澄：あ、それは同時に常に行われていると思います、Bファクトリーでも。まあ理論の先生は逃げ方がうまいので…

一同：(笑)

前川：逃げ方と言われるとちょっとあれだなあ(笑)。

上田：この小林・益川先生、南部先生のお仕事である意味、標準模型が完成したんだとしたら、今後実験が目指すことは標準模型を超えたところにセンシティブな量は何かということにもすごく集中して、お金も重要なものかもしれませんけれど、お金がかからなくてもやれることが多分たくさんあると思います。EDMなんか特にその最たるものだと思います。そういう研究が今後ますます重要になると思います。

羽澄：そうですね。あとは宇宙のほうから、明らかな標準模型を超えた効果が見えています。ダークマターがわかりやすい例ですけれど、そういうところもまだ、超巨大な実験ではなくて、できることはたくさんありますね。実は、あまりこれに立ち入る予定は今日はないんですが、私は宇宙背景放射の観測を最近はじめまして、それも一つの例です。

横山：ええ、宇宙背景放射って本当に超低エネルギーの現象ですけど、その中に宇宙初期の非常に高エネルギー時代の記憶が留まっているわけですね。

羽澄：そうですね。

横山：それを見るということはまさに高エネルギー物理の検証になるということですね。

上田：対称性の破れの起源を理解するためには、非常に微妙な差を見きわめる必要があります。対称性を破り、鞍点のどっちにずれるかを決定するシーズに大きな物理が隠れている気がします。そういう意味で精密測定っていうのはますます重要になる気がします。

羽澄：そうですね。

横山：それでは次に、南部先生の対称性の破れの方に行きましょうか。そもそも対称性の破れというのが、物理学に一番最初にでてきたのはたぶん、ハイゼンベルク(Heisenberg)の磁性体の話あたりでしょうかね。そのへんからはじまって、南部理論も、もちろん物性に非常に強く影響を受けているわけですけども、そのあたりはいかがでしょうか。

上田：物性へのインパクトというよりは、むしろ南部先生が物性のことを非常によく知っていたのが、南部理論の成功の要因だと思います。実際、南部先生は、物性分野でも、立派なお仕事されてるんですよ。さらに、南部理論ができたのはBCSができて、数年しか経っていない頃ですが、BCS理論を熟知されていたはずですよ。ここから学べる教訓は、一つの分野にとらわれないで、広く物理全体を、楽しもうという意識が大切だと思います。南部先生は、それを体現しているような方なんじゃないかなと思います。ものすごく広い領域で、非常に基本的な物理を、自在にやられているという意味で、物性から言いますと、自発的対称性の破れというのは、どこにでも見られる普遍的現象です。素励起というのは真空を決めないと決まらないので、非常に身近な概念です。ただ、マクロな世界で日常的にあることが、場の理論の最も基本的なところで起こっているというのを洞察されたことは、すごいことだと思います。

横山：そうですね。場の理論の最も基本的なところから、素粒子物理にずっと連綿と受け継がれていってるというわけですよ。でも、あまりにも基礎的すぎて、だから、勉強してもあまりそういう意識を持たずに、私なんか勉強しましたけども、どうでしょうかね、素粒子物理サイドで南部理論からどれくらい影響を受けたかというのは、

前川：対称性の自発的な破れという概念は、本当に基礎的な部分なので、(南部先生が議論された)フレーバーSU(2)の破れから、標準模型における電弱対称性の破れ、大統一理論にいたるまで、様々なところに現れますね。今や、これ抜きでは素粒子論は語れません。

横山：そのへんで本当に皆が標準理論として、これで決まりだと思ったのはいつごろでしょうか。理論的には、やっぱり、ゲージ理論が繰り込み可能であるということの証明というのが一つあったと思いますが、

前川：小林・益川のすぐ前ぐらいにそれが証明されて、それでスタンダードモデルがこれでいいんじゃないかという雰囲気が出たというふうに聞いていますが…

横山：まあ、そういう状況の中で小林・益川理論も生まれてきたというわけではあるわけですよ。で、その逆の方向の、南部理論が物性にどう影響を及ぼしたかというのはいかがでしょうか。

上田：南部先生が超伝導を分析された理論が60年代初めに生まれたけれども、その理論がそのまま今では南部フォーマリズムとして逆に超伝導を理解するための必須の道具になっています。原論文は非常に美しく、もうそれ以上変

更の余地がないくらい完成された論文になっています。BCS理論を場の理論の枠内で、どう定式化して理解すべきか。特に、ゲージ対称性がどうして破れていないのか、BCS理論の時に一番問題だったのはそこだったんですね。理論としては素晴らしくて、predictive powerもあったのですが、ゲージ対称性が一見すると破れているように見えることをいったいどういうふうに解決したらいいのか、この問題を深く考えて、最終的に答えを出したものの一つが、南部先生の理論だったんですね。

上田：例えば、LHCが探している、ヒッグス粒子についてなんですけれども、これは、まさに真空がどう破れているかというのをプロブしようとしてるんですね。だから、ある意味で南部理論の、一番重要な検証をしようとしているんですね。

羽澄：そうですね。LHCもヒッグスのところまでが、ある意味、その、地図のある旅という感じがあって、今までの精密測定によって、Massのレンジまで標準模型の枠組みで決まっていますから、南部先生の書いた地図のある旅でも、南部先生のお仕事は、単に粒子を予言したというレベルではなくメタレベルの業績という感じがします。だからこそ、もっとすごいということかと思えます。

上田：場の理論の真空が空じゃなくて、ある破れた対称性を持ったもので埋まっているということは非自明なことですよ。

羽澄：受賞のあと南部先生の業績を一口でどう説明するかというのを理論の人といろいろ話をしたんですよ。ある人は、禅問答になるけれども、素粒子物理が粒子の物理ではないことを決定づけたと、そういうふうに言われました。つまり、ラグランジアンを書けば、それで真髄がもう得られる、というのは間違いだと、おそらく、物性の先生には、むしろ、当たり前なのかもしれませんけど、そういうことを言われて。

上田：物性の場合は最初にものがあって、そのシンメトリーが破れているというのは、本当に発現してるわけですね。ところが、場の理論の真空というレベルで、対称性の破れが起こっているということを洞察することは、ものすごいジャンプだと思います。ノーベル賞委員会も、bold ideaと言っていたと思います。ちょうどアインシュタイン(Einstein)が時空についての革命をもたらしたように、物事のすべてが生まれる真空の最も基本的なレベルで対称性が破れているということを洞察したのは、すごい飛躍だと思います。だから、それを皆が正しいということを確信するまでに50年もかかったんですね。

羽澄：その流れで言うとLHCでのヒッグス粒子の探索・発見というのは、やはり、物理にとって非常に重要だと思いますね。

横山：そういう意味で、今年というタイミングは非常に重要でもあったというわけですね。まあ、もちろん遅すぎたことは確かですけども。

上田：ある意味非常にタイムリーで、やっぱりノーベル賞委員会はよく考えている。

横山：先ほど地図のある旅はこのあたりまでだとおっしゃいましたけれども、地図のない旅というのは宇宙の方では、ずっと続いていまして、南部先生の研究というのは実は宇宙論にも大きなインパクトがあって、自発的対称性の破れというのは、(図を指示して)一番簡単に書けば、こういうワインボトル型のポテンシャルを書いて、このてっぺんにもし玉があったら、これは回転対称性が破れていません、というわけですね。だけど、これ、玉を落としたり、ここは不安定ですからどっかに落ちてしまう。落ちた状態で見ると、対称性が破れていますと。実は宇宙の初期には、対称性が回復した時代というのが実現されていたと思われていて、これだけエネルギーのかさ上げがありますから、その時に宇宙全体がエネルギーのかさ上げを持って、そこでインフレーションと呼ばれる非常に急激な膨張する時代がしばらく続くわけですね。だけど、不安定だからいつか終わって、そこでビッグバンが起こって、我々の宇宙のはじめになると。まあ、それが現代のWMAPやなんかでもだいぶ見えてきた、今できつつある宇宙の標準模型ですね。そういう中にも南部先生のアイデアというのは非常に大きなインパクトを持って受け継がれているんですね。そのあたりでできた、対称性が破れる時の量子的な効果というのが、今、羽澄さんの観測されようとしているCMB(宇宙背景放射)の中にも埋め込まれているんですね。

羽澄：そうですね。南部先生は受賞直後の新聞記事でこれからの物理について聞かれた時に、極微の素粒子論と極大の宇宙論という二つの未知の領域の関係が非常に大切になるということを言われていて、これは、南部先生は20年以上前からおっしゃられていたことなんですけど、時代がようやく追いついてきているという感じがありますね。ですから、私のように素粒子実験をやっているものも、そういうところに魅力を感じて、宇宙の観測、CMBの観測をはじめたりとか、そういうクロスオーバーが…。我々が変に垣根をつくる理由は全くないと思うんですよ。これからは、やはり先ほどの地図のない旅の一環として、そういうことも大事になっていくと思います。

横山：素粒子論サイドからは。

上田：標準理論で最も欠けている点は、なんですか。

前川：標準模型には、ヒッグズの質量に関連して、いわゆるfine tuningの問題があり、それを避けるために、TeV scale, weak scaleになにかがあるはずだと、(多くの理論屋は)考えているとは思いますが…。

横山：ただ、でも、それは全部ヒッグス粒子があるという前提の下での話ですよ。実験的にはfundamentalなスカラー粒子というのは誰も見た人がいないわけですよ。

前川：その通りですね。

横山：そこで、まず、上田さんがおっしゃった南部理論の究極の検証という意味でのヒッグス粒子を見つけるという

のが第一に重要ですよ。その上でいろいろなシナリオ、可能性がありうると思いますけれども、それこそいろんな何枚も地図を持っていて、どの地図が正しかったらどうしようという、まあ、そういう計画をいろいろ…

前川：すべての地図を用意するのは不可能なので、典型的ないくつかの地図を用意して、実際の地図は、実験の結果を見ながら作っていく、という形になるのではと思いますが、横山：まずは、その、LHCで、例えば、ヒッグスが見つかったけど超対称性は見つからなかったと、そういうことが起こったらどうなるんでしょうか。

羽澄：まあ、それはある意味、最悪のシナリオと呼ばれていまして、その場合は、先ほど言ったような、一つは宇宙で見えている現象をどう説明するかが、一層重要になると思います。しかし TeV まで探して、新しい物理が全然ないとなると、理論的にも大問題ですね。

上田：物性で言いますと、ある物質が超伝導になることが実験でわかったら、それがなぜ超伝導になったかということは説明できるんですけども、最初にある物質が与えられて、それが超伝導になるかどうかという予言は、極めて難しいと思います。私は、理論はまだそのレベルには達していないと思います。これに対して、それは計算機のパワーが足りないだけで、原理はすべてわかっているの、計算機のパワーが上がれば予言できるという一つのもっともらしい理論があります。しかし、私は、その議論は間違いだと思っています。ある真空がノーマルなのか超伝導なのかを決めるのは、対称性の破れを決めるいろんな競合している力のバランスなんです。何が対称性を破るかを理解するには、いくつか常に拮抗しているいろんな力があって、非常に微妙なバランスをなにか破るかということ洞察力が本質的になります。つまり、対称性を破る摂動は何かということですね。そして、それは、しばしば、元のハミルトニアンには含まれていないんです。

横山：それは外的な条件を与えれば、決定論的に決まっているものではあるんですよ。

上田：いや、むしろ外的な条件が何かというのが、ハミルトニアンで最初から書き下せるような性質のものじゃないという点がポイントだと思います。例えば、金は超伝導になりますか。これは、誰も予言できないと思うんですね。しかし、もし、金が超伝導になるということがわかったらおそらく理論で説明ができる。そこが、物性をやっていて非常に精妙だなというも思うことです。つまり、本質的に emergent な対象を扱っている。素粒子の分野でも、これからはますます観測事実から学ばない限り指導原理が得られない気がするんですけど、どうでしょうか。

横山：素粒子の考え方とはずいぶん違いますね。

前川：fine tuning をやっている起源をどうみるかということに対応しているっていう感じですよ。

上田：だと思えますね。そこに本質的な物理がある。

前川：そういう意味では同じなんですけど… ラグランジ

アンで決まらなると言われると、ちょっと違うという気が、上田：いろんな相が拮抗している際に、どちらの相に落ちるかということを決める種が問題ですが、その種は普通はラグランジアンの中に入っていないんですね。対称性を破る perturbation というのは普通は結果を知ってから手で入れる。でも、物理の本当の発見っていうのは、そのタネが発見したところを見出すことにあると思います。特に、物性は、そういう例が多いですね。

前川：超伝導相と超伝導でない相があって、その種によって得られる相が異なるというイメージ？

上田：はい。

前川：理論で、そういうふうになっているということを実証することはできないんですか。

上田：普通は実験がないとできないと思います。

羽澄：本質的にできない？

上田：少なくとも、今は、predictive power を持つて理論はないと思います。

羽澄：ハミルトニアンを規定しても、それは決まらない？

上田：はい。それはなぜかという、それを規定するためには symmetry breaking perturbation まで規定しないといけないから。

横山：さて、次に受賞者の素顔についてお話を伺いたと思います。前川さんは京都大学では益川さんの薫陶を受けられたということ。何か思い出がありましたら、ぜひ。

前川：益川さんは、皆さんテレビでご覧になったように、益川節というか…。なんにでもなんか一家言がある。僕も大学院で益川さんの講義を受けたんですけど、わかりやすくはないんだけど、とても楽しそうに講義されるという評判でした。益川さんの講義は脱線が多くて、物理の講義よりも脱線の方が最終的には記憶に残ると、自分でおっしゃって、積極的に脱線されてました。脱線で覚えているのは、過去の偉人への益川さんの、評価と言えいいんですかね。例えば、ランダウ (Landau) っていうのはどういう物理をやるか、というと、よくわからない前提からよくわからない論理を使って、重要な真実に到達する、そういう天才だと。で、ハイゼンベルクというのは、あれは秀才の極地で、とてもよく勉強して、実験等の外的条件をしっかりと考慮して、真実に到達することができる人。で、ディラック (Dirac) の評というのが、とても納得できるのですが、誰にでもわかる前提から誰にでもわかる論理を使って、誰にも到達しえない真理に到達するという天才だそうです。まあ、そういう話をいろいろ聞かせてもらって…。あと、ちょっと印象に残ったのは、研究室合宿というのがありまして、その時に青山さんだったと思うんですけど、low energy の supersymmetry はあると思うのかと質問したんですね、益川さんに。僕はその当時は別に low energy の SUSY 派でもなんでもなかったんですけど。彼は、あると思うと言うんですよ。で、その理由も聞いたんですけど、結構多くの人が長い間それなりに一生懸命やっているような物理は

ホントなんだ、という理由なんですよ。結論は、僕も同じになってしまっていますが、益川さんの理由については、今でも納得できていません。

横山：でも、益川さんの研究のスタイルというのはけっしてそういうものではないですよ。

前川：そうですね。流行を横目で見てはいるのだけど、益川さん自身は独自の視点から研究される、という印象がありますね。

横山：小林さんの素顔というのは、いかがでしょうか。

羽澄：小林さんは、報道でもわかるように、益川先生と好対照という感じです。Belle 実験というのはまさに小林・益川理論の検証だったということもあって、理論と実験のコンタクトが非常に頻繁にありました。実験サイドは小林さんからいろいろ話を聞いて励みにするっていう感じで、理論の方がこれだけオリジナルなことやってきてるんだから、実験の方もできるだけオリジナルなもので頑張ろうって。実験グループ主催の勉強会とか研究会とかにご招待すると、ホントにきさくに来てくださって、ですから接点は多いのですが、小林先生はジェントルマンなので、あまり隙がないというか、失敗談もあんまりない感じですね。とにかく B ファクトリーにはホントに肩入れをしてくださって、皆で頑張るんだと拳を突き上げてトークをしてくださったことすらあります。

前川：それ、小林先生も？

羽澄：ええ、小林先生も。なかなか滅多に見ることできないと思うんですけどね。あと、こちらは実験屋なので気軽にアホな質問ができるんで、ある時、もう一つ CPT の破れというのがあるんですけど、これは見つかったら大発見ですね、CPT の破れはどれくらい真剣に探したらいいんですかねえ、と質問したら、小林先生の答えは「インパクトは ∞ 、チャンスは 0、 $\infty \times 0$ の掛け算をなさい。」でした。もちろんそれは真剣にやらなきゃいけないという結論だったわけですが、 $\infty \times 0$ の時は真剣にやれ、ということなんですね。それが印象に残ってますね。

横山：私、昔どっかで小林先生にお会いした時に小林・益川行列を先生ご自身ではなんと呼ぶんですか、というアホな質問をしたことがあって…。実際、flavor changing mixing matrix とかおっしゃってましたね。

羽澄：本当に謙虚な方ですよ。

横山：南部先生の方はどうですか。南部先生も非常に飄々とした温厚な方ですよ。

羽澄：去年も KEK に来られて、講演をされて、立ち見ができるくらいになったんですよ。本当に理論のコミュニティにとっては特別な存在ですよ。実験にとってももちろんそうですけど、でも、おっしゃることは、きさくで、皆さん、南部先生は宇宙人だから、どうやったらそういう予言的な仕事ができるんだろうという思いで質問するんですけど、いや、実は別の理論も用意していた、どっちでもよかったと答えたりされて、でも、もう御高齢といって差し支

えないのに、あれだけシャープな講演をされるっていうのは、やっぱり宇宙人かなという感じがありましたね。

前川：南部先生は、素粒子論だと、多くの有名な論文があるのですが、40 歳になってからというのがほとんどで。まあ、それ以前の話を知らないだけかもしれないんですけど南部先生は 40 からでも、いっぱい、いい仕事をされておられるので、中高年研究者の希望の星になっていると思います。

横山：それは、励みになりますね。最後に、こうした輝かしい研究、そしてそれを産み出した環境を次世代に受け継いでいくためにはどうしたらいいかということで、いかがですか。例えば益川さんは、受験教育のことをずいぶん非難されたりしてますけど、受験教育に限らずとも現代では皆忙しくなって、いろんな評価システムがいっぱいありますから、そういう中で、例えば、若手が仕事していくというのも、昔にはなかったようなプレッシャーもありますよね。

上田：まず、三人が受賞したというのは、ものすごく大きなインパクトがあると思います。今までですと、何年かに一度パッとでて、ああすごいっていう感じで、やっぱりノーベル賞っていうのは特別で、とった先生は天才で自分たちとは違う、という感じだったと思います。この意味で、三人の同時受賞は、若い人たちにすごい自信を与えるんじゃないかと思えますね。欧米はヨーロッパユニオンで一つの大きな連合みたいなもので、アメリカはもともと国際的ですよね。これに対して、日本っていうのはかなりの部分を自前でやらなきゃいけないっていう中で、素粒子の歴史の中で湯川先生、朝永先生、そして今回の話と、第 1 世代、第 2 世代、第 3 世代と全部重要な仕事をやっている。さらに、実験も非常に花開いてきて、非常に誇りになるような契機になるんじゃないかなという気がします。

羽澄：誇りになるとともに、ノーベル受賞者がより身近になることが、我々とさらに若い世代にとっても大きいと思います。今回理論の先生三人で、2002 年に小柴先生、それから、戸塚先生が今年亡くなられたのは非常に残念だったんですけど…。実験の方も理論の受賞に刺激を受けて、より、ノーベル賞が身近になっていくというのはプラスな方向ですよ。

上田：やっぱり、基礎科学というのは作るのに時間がかかる。物性も同じようなことが言えまして、今、日本の物性実験は国際的なプレゼンスが非常に高いと思います。超伝導も数多くの発見が日本でなされていて、50 年くらいかけて本当の意味で基礎研究が花開きつつあるという感じがします。それらを日本のような小さな国がやったというのは、やはり誇りに思っただけでよいと思います。

羽澄：これからどうやってそれを受け継いで発展させていくかですよ。周りの状況はかなり厳しいと思います。本当の地力を持って研究していく、そのためには何をやっていくかというのは非常に大事だと思いますね。特に理論の先生はこれだけ情報がサーッと世界中を回ってしまう中で、

どういうバランスでやられるんですか。小林・益川理論というのは、ある程度、独自路線でやっていて、むしろ、情報を半分意図的に遮断するような感じで大きな仕事をされたわけですけど、今、どういうバランスで考えられているんですか。

前川：そのバランスは、理論屋でも人によって大きく違うでしょうね。情報の遅れがないことが現在の強みなんでしょうけど、情報を取捨選択するところにセンスが問われる。そのセンスが人毎に異なることがバランスの違いを生み出しているのだと思います。

羽澄：素粒子だとテーマが集約されている感がありますよね。つまり、一番大事な問題というのがあって、それに比べると物性の理論だと、もう少し…。

上田：理論に限らず、実験も元々物性というのは多様性が本義みたいところがあります。先ほども言いましたけれど、大発見というのはほとんどの場合あんまり注目されていないところからでてくるんですね。青色レーザーなんかも、ガリウムナイトライドというのは本命ではなかったんですね。そこに着目した少数の日本人がいて、それを花開かせた。自然は非常に精妙で、驚きをいっぱい用意しているので、戦略的に資金を集中するというのも、もちろん、重要ですが、やっぱり発想の多様性を許容して、それをむしろ encourage して、裾野が広い研究のコミュニティを作っていくというのが非常に重要じゃないかな、と思います。常に裾野の方にも目をやって、大切に作る有機的なコミュニティが非常に重要じゃないかなという気がしますね。メインストリームじゃないとだめだとか、そういう意識が若い人の自由な発想にもすごくダメージを与えるので。

横山：素粒子では、いかがですか。日本ではどうですか。傍流というの大きな顔していられるのでしょうか。

前川：もちろん、そういう意味では大丈夫と思いますが、でも若い人にとっては、ポストをつなぐというのが、今、とても厳しくなってきましたから、そういう観点に立つと、



図1 座談会を終えてホッとした表情の四氏：左から横山順一(司会)、羽澄昌史、上田正仁、前川展祐(敬称略)。

あんまり皆に注目されないような仕事を着実にやっていくというのは結構難しいですよ。重要な仕事だとしても、

上田：それは、かなり長い目で見るとスコープを自ら狭めていることになりかねないので、注意しないといけないですよ。

横山：短いタイムスケールでなにかできるようなことに、どうしてもそっちに流れがち、それは何とかしないと。

上田：科研費のシステムというのは、たくさん応募があるところにたくさんお金がいくようになってる。そうになると、その研究が続いて、ポストも維持されるわけですね。それは、新しい芽が出てそれが花開くまではなかなか研究資金が投資されないということになります。やはり、いろんなところに目をやって多様性を許容し、いいものがでてきたらそれを積極的にピックアップする努力をますますしないといけないと思います。

横山：やはり、そういう意味で裾野を広げるとというのが非常に大事ですよ。

横山：それではどうもありがとうございました。