



## Interview

# 佐藤勝彦教授に聞く

聞き手: 杉山 直

### 世界で進む大型地上望遠鏡次期計画

**杉山** 佐藤さん、今日はどうもお忙しいところ、ありがとうございます。

**佐藤** 名古屋からわざわざ来ていただきまして、こちらこそありがとうございます。

**杉山** 北京で開催されたIAU (国際天文学連合) 総会から帰られたばかりということで、何か新しい話、面白い話がありましたか?

**佐藤** インターネットの時代ですから、突然新しい話が出てくるということはありませんが、改めて感じたことは、大型計画は本当に世界の色々なところで進んでいるということでした。天文学分野としては本当にうれしい状況だと思いました。

**杉山** なるほど。日本でも今、大型計画が色々議論されています。佐藤さんは、自然科学研究機構長として、天文学関係だったらTMT(30メートル望遠鏡)とか、すばる望遠鏡の次期計画とかを進められる立場ですので、その

佐藤勝彦さんは大学共同利用機関法人自然科学研究機構の機構長です。IPMU発足以来、2010年度末まで主任研究員の一人として活躍され、現在もKavli IPMUの客員上級科学者を兼ねておられます。1974年、京都大学理学博士。1976年、同助手。1982年、東京大学理学部助教授。1990年、同教授。2010年から現職。この間、東京大学理学系研究科長、日本物理学会会長、国際天文学連合宇宙論部会長など、要職を歴任。井上芸術賞(1989年)、仁科記念賞(1990年)、紫綬褒章(2002年)、学士院賞(2010年)受賞。

辺について伺いたいと思います。

**佐藤** そうですね。第一にALMA (アルマ) 望遠鏡です。来年3月に完成記念式典を行います。運営費は単年度の特別経費で概算要求しなければなりませんので、これが非常に大事なことです。それから、もちろん、すばる望遠鏡も大事です。素晴らしい成果を挙げており、特に色々な画像を発信することによって国民の皆様にごく大きなサポートを頂いていると思います。でも、今や、30メートル、40メートルの望遠鏡になる時代ですから、現在、国立天文台で参加しようとしているTMT計画は非常に重要だと思います。世界では、このクラスの望遠鏡はいろいろ計画されていて、GMT (Giant Magellan Telescope) もあるし、ELT (Extremely Large Telescope) もあります。

**杉山** GMTはアメリカ中心、ELTはヨーロッパの計画ですね。

**佐藤** はい、そうです。しかも、GMTは既に鏡の1枚2枚は磨いていますし、彼らは結構順調に進んでいる感じを受けました。

**杉山** 先ほど、すばる望遠鏡の話が出ましたが、Kavli IPMUは次の宇宙論の大きな謎の一つであるダークエネルギー解明に向けて、今すばる望遠鏡を利用するSuMIReプロジェクトを進めています。

**佐藤** すばる望遠鏡はTMTで行うものの準備的な研究と同時に、

そういう大きな望遠鏡の時代になりますので、10メートルクラスの望遠鏡として特色を出すような研究も必要と思います。個人的にはSuMIRe計画はよく知っていますし、まさにすばるの特色を生かした素晴らしいプロジェクトだと思います。自然科学研究機構構長という立場からは、各研究所の各論的なことについての口出しは控えるべきと考えますが、この4月から新しく国立天文台長になられた林正彦先生も私が考えることと同じようなことを考えて進められていると思います。元すばるの観測所長でしたから、SuMIRe計画もよくご存じだと思います。

**杉山** 広視野という強みを生かして非常に広い範囲のサーベイを行う計画です。

**佐藤** そうですね。既にハイパーシュブリームカム(HSC)も完成していますし、成果を期待しています。マルチファイバーのPFSは、いつ頃になるのでしょうか。

**杉山** 少なくとも部分的なファーストライトは2014年ぐらいを予定しています。

**佐藤** 一研究者として、それも是非早く成果を出してほしいと思います(笑)。

**杉山** 是非推進をバックアップしていただければと思います(笑)。宇宙論として、今後非常に重要な問題は、一つはダークエネルギーの解明であり、また、初期宇宙のインフレーションの最終的な証拠を掴むことだと思うのですが、ひょっとしたら両方が関係するかもしれません。というのは、スカラー場みたいなものがあるとそういうことが起こるからです。エネルギースケールは全然違いますが。今話題のヒッグス粒子がファンダメンタルなスカラー場ですが、インフレーションを一番最初に唱えられたときに、ヒッグ

ス粒子と宇宙論を結びつけた経緯について、お伺いしたいと思います。

#### ヒッグス場を宇宙論に結びつける

**佐藤** 実は、京都大学時代に超新星の研究のためにワインバーグ・サラム理論を勉強していたことがきっかけでした。そのときはニュートリノ物理はよく分かっていたのですが、益川先生からワインバーグ・サラムでやったらどうかと勧めていただきました。それまで、ワインバーグ・サラムを知らませんでしたのでしっかり勉強して超新星に使いました。ニュートリノが超新星のコアにニュートラル・カレント相互作用でトラップされるということも、私のもう一つの大きな仕事です。

**杉山** それは非常に大きなお仕事ですね。すると今まで佐藤さんのお仕事で、初期宇宙、宇宙論にかかわる部分と、超新星爆発、高エネルギー天文学にかかわる部分というのが何となく2つ別な山のように見えていたのですが、実は、ワインバーグ・サラム理論というか、素粒子物理学でつながった2つの山だったということなのですか。

**佐藤** そうなのです。本当にスムーズに連続につながっていったのです。大学院に入ったときは、宇宙の初期のことをやりたいと思っていましたが、その頃は、ちょっと宇宙論が冴えない時代でした。いわゆる3度Kが見つ

**杉山** 直さんは名古屋大学大学院理学研究科教授でKavli IPMUの主任研究員を兼務しています。



って、その後やるべきことはほとんどやられてしまい、どうも大学の若い学生ができるような宇宙論の研究はないという感じがしました。そういう中で、私は、ハンス・ベークさんが湯川先生の客人として京都に半年間滞在されたこともあって、中性子星と超新星の研究を始めることになったのです。しかし、超新星の研究をしている中で、益川さんに教えてもらったワインバーグ・サラムを勉強することで、ニュートリノの研究と同時に、実はその基礎になっているのは自発的対称性の破れであり、それは僕らにとってみれば温度とともに変化して相転移が起こることと同じなものですから、宇宙の初めのときに相転移が起こるのだということに気が付いたということなのです。

**杉山** それはすごい。大学院のときにノーベル賞受賞者のハンス・ベークと共同研究をされていたのですね。

**佐藤** そうですね。私の最初の論文です(笑)。

**杉山** うーん、ハンス・ベークと共同研究をしたおかげで中性子星の話に行き、益川さんと話した結果としてワインバーグ・サラム理論に行ったということですね。2人のノーベル賞物理学者に大学院生が教えを受けたとはすごく贅沢な院生時代でしたね。

**佐藤** 本当ですね。一介の院生であるにもかかわらず、そんな偉い人とも話もできるというのは、やはりそのころの京都のいい雰囲気のおかげでした。もっとも、益川さんは助手だったわけですが、

**杉山** ええ、まだ若かったですね。

**佐藤** 大事なことは、隣の研究室の教授や助手の人と気楽にいくらでも触れる機会があったことです。

**杉山** そうですね。

**佐藤** それはもう素晴らしいと思います。当時の京都大学では研究計画委員会というものがあり、それは選挙で選ばれた理学部物理学第2教室の内閣を構成する、そして院生でも誰でも、選ばれば研究計画委員になるのです。私は選ばれて、益川さんも選ばれて出てきていました。そういうことで、第2教室では院生もスタッフもほとんど互いに顔を知り合っていました。素粒子も、原子核の方々も、私はほとんど名前と顔を知っていましたし、個人的にもコンタクトできました。私にとっては、原子核、素粒子、宇宙、これを一緒にやるというのが研究の動きなのですが、それが本当にできたのです。そのような京都大学のその当時の雰囲気、そのメリットを本当にそのまま受け取りました。先生方、偉い教授の先生にも、院生の方で全然臆することなく(笑)、いくらでも行って議論できました。その雰囲気は本当に良かったですね。益川さんとこんな話をしたことを覚えています。「いや、今回は、素粒子は3世代あるということを論文に書いたんだよ」と自慢していましたから、私は、「えー、そんなの、あなたの先生は何と言っているか、知っていますか? 無限階層論と言っているんですよ」。

**杉山** 坂田先生ですね。

**佐藤** 「たかだか3個なんて言わず、無限にあるんでしょう?」と冗談というか、遊びですけどね。そんな風に気楽に話すことができました。実を言うと、私は宇宙論に入る前には、ワインバーグ・サラムの相転移自身が高密度物質、中性子星ですが、その中でも起こるのだという論文を書いたのです。フェルミオンとヒッグスの相互作用のために対称性が破れて

いたものが、実は、回復するのです。但し、ヒッグスポソンの質量がすごく小さいという大きな仮定があって、その当時、せいぜい何百 MeV ぐらいに考えていました。

**杉山** 今の1,000分の1とか数百分の1ですね。

**佐藤** ええ。そのころは、ヒッグスの質量は全く分からなくて、結構小さいことを議論している論文が多かったもので、そういうことを考えることはできたのです。ですから、フェルミオンの場が対称性を回復するのだという論文を書きました。実は、そのころから、リンデもよく似たことをやっていたので知り合いになりました。フェルミオン場での対称性の回復だとか、温度を上げての回復だとか、その辺りをやっていたのです。それは70年代でしたが、私が論文を送ったり、リンデからも「俺も、こういうことをやったんだ」といって、レベデフ研究所のプレプリントを送って来ました。

**杉山** まだソ連から出るのが難しかった時代ですね。

**佐藤** はい、彼はもちろん出られません。手紙でのやりとりで1ヵ月くらい経つと返事が返ってくるという悠長な時代でした。後で、ソ連時代ですけども、リンデがやってきて、「俺は主に自宅の研究しているんだ。レベデフ研究所へ行くのは、文献を読んで調べるだけで、帰ってきて、もう全部自宅で研究しているんだ」と、そういうことをものすごく元気な声で言っていました。彼は必ずその日どこへ行ったとかの報告をソ連大使館にしなければいけなかったのですが、でもそんなに偉くなかったので、誰かがついてくるということはなく、随分好き勝手に言っていました。ものすごく元気な人で、そういう意味では大変いい人にも巡り合いました。

#### 素晴らしかった林先生の天体核研究室

**杉山** 京都時代は非常にいい雰囲気があって、そこで人との色々な出会いがあったのです。

**佐藤** ええ。そうです。

**杉山** そのころの京都の話はとも興味があります。佐藤さんは、林忠四郎先生の天体核研究室ご出身なわけですが、そこからすごくたくさんの人材が輩出されて、今、数えてみると、直弟子でなく、孫弟子、その先ぐらまで行くと、ほとんど日本の宇宙物理学理論研究者をカバーするのではないかと思います。私自身も孫弟子ぐらいいになるのですが。

**佐藤** そういう意味ではそうですね。

**杉山** その成功の秘訣は、何だったのでしょうか。

**佐藤** やはり、林先生の方針、つまり全ての現象を基礎から、物理プロセスから研究しろというプリンシプルで、研究室のコミュニティの中で、徹底して鍛えられたことが大きかったのではないかと思います。現象論的なことをいっばい調べるのではなく、エレメンタリープロセスをちゃんと押さえてからやれ、つまり、基礎方程式からちゃんとやれというプリンシプルだったと思います。やはりそれが大きかったと思います。天文学からの現象を見るときは、データの解析をするほうが学会全体にはインパクトがあるかもしれませんが、林先生のそういうやり方、その影響がずっと生きた時代だったと思います。とにかく、土曜日の12時から、いつ終わるか分からないような感じでコミュニティで鍛えられました。

**杉山** 夜、夜中までやっていた。

**佐藤** うーん。時には、そうなたったりもしました。とにかく、林先生の研究室では、林先生が疑問に思うことは何でも聞き、準

備がものすごく大変でした。半年ぐらい前から大体テーマを決めて、どんなことを報告するか考えておかないと、その場で立ち往生間違いなしでした。

**杉山** (笑)

**佐藤** やはり関連する論文など徹底してサーベイしてからやらないと、「そんなことも調べていないのか」としかられてしまいます。それは鍛えられました。私も東大へ来たとき、そういうことをやりたいと思っていたのですが、そんなことを1時間も2時間もとなると、院生でも用があると、忙しいとか、もうそういう時代だったので、とてもできる雰囲気ではありませんでした。

**杉山** 今は、なかなかそれは難しいですね。アカデミック・ハラスメントみたいな話もありますし。しかし、やはり非常に突っ込んだ議論、それから物理基礎過程からの積み上げがキーだった訳ですね。あとは、風通しの良さみたいなものもありましたか。

**佐藤** そうですね。多分第2教室だけですが、自由に本当に議論できる雰囲気があって、しかも研究室だけでなく、原子核でも素粒子でも、実験でも理論でも、互いに顔を知り合っていて議論できました。それはやはりすごく大きかったですね。

**杉山** なるほど。そういう中でインフレーション理論に結び付いた訳ですが、それはコペンハーゲンへ客員で行かれる前の話ですか。

**佐藤** ええ。本当にコペンハーゲンに行く3カ月前と言っているかもしれません。その頃私は、ワインバーグ・サラムだけではなく、いわゆる大統一理論に基づいての相転移の研究、物質の中の相転移の研究とか、ヒッグス粒子そのものに対して宇宙論

的な制限を付けられないとかいう研究をしていました。今から考えるととても非常識な話ですが、ヒッグス粒子が宇宙背景放射の中にあったとして、それが崩壊すると3度Kの背景放射にかぶるという研究もしてまして、そういうことから、ヒッグスの寿命に制限を付けるとか、また、星の中からそういうヒッグス粒子が出てくるとすると、星の進化から制限が付くとか、論文を書いていたのです。最近、その方法は、素粒子の人が何か新しい粒子を考えときの標準的なやり方です。

**杉山** そうですね。

**佐藤** やはりその頃、いわゆるタウ粒子が発見されました。当時は、ヘビーレプトンといわれていました。それに関連して、ニュートリノの質量と寿命について制限を付けるとか、小林誠さんと一緒に仕事をしました。有名なリー・ワインバーグという論文と比べると3、4日投稿するのが遅れたのです。しかし、私たちは、崩壊する可能性も考えて議論していたのです。有名なリー・ワインバーグは、質量に制限を付けるだけであって、寿命については何ら制限を付けない話でした。小林誠さんと一緒に仕事ですから、この点は強調しておきたいと思います。

**杉山** またここでノーベル賞受賞者と一緒の仕事ですか。贅沢ですね。

**佐藤** 小林誠さんと一緒に共同で研究ができたことは素晴らしいです。私は細かな計算はできませんけども、小林さんはニュートリノ崩壊のダイアグラムをいろいろ書いて、主な計算というか、宇宙論以外のところは、小林さんがその当時の素粒子の実験から、どの程度パラメータに制限が付いているかと調べた上で、理論としての制限がある範囲と宇

宙論からの制限を合わせて論文を書いたのです。

**杉山** それは、佐藤さんが助手になられた前後ですか。

**佐藤** 助手になったころです。小林誠さんはもちろん、その当時、助手だったわけです。

#### オーバードクター時代

**杉山** 今、助手の話が出ましたが、助手になるまで5年ほどポストで、結構苦勞されていました。インフレーションに話を戻す前に、少しその話を伺いたと思います。

**佐藤** そうですね、ほぼ4年間ですが(笑)。振り返ってみると天体核は確かにレベルが高かったのですが、院生の数以上にポストが多かったのです。そういう条件の中で、ここで頑張らないとどうしようもないと厳しい時代を過ごしたことで自分の気を引き締められて、かえて良かったと思います。

**杉山** 当時の大学院生の方、もちろん今は教授になっていらっしゃる方々から話を伺うと、大学院に入ってみて、ポストという、パーマナントなポストにまだついていない人がたくさんいて、佐藤さん、高原さんなんていうのが上にいるので、もう自分なんかどうなってしまうんだろうと言っていましたね。

**佐藤** そうですね。やはりポストというのは、その研究室では戦力ですね。そういう人たちが半分以上いるのですから、議論もものすごく活発ですし、広い分野でありながら皆が議論に参加できて、林先生の研究室の素晴らしさがあったのでしょうか。教室全体の雰囲気も合わせて、素晴らしかったと思います。

**杉山** 就職難だった代わりに、その人たちが今の助教の役割を

完全に果たしていて、研究室で研究をリードしていたということですね。

**佐藤** そうですね。私も、そういう意味では勝手に徒党を組んでいましたね。実は、杉山さんがご存知かどうか知りませんが、星間分子の研究もやっていました。

**杉山** それは知らなかったです。

**佐藤** 私がオーバードクターの1年目ぐらいでしたか、夏の学校のために、徒党を組んで何か新しいテーマで発表しようということになったのです。そのとき、私たちは原子核反応のネットワーク、原子核の元素合成のネットワークを作ったところだったので。

**杉山** それは、超新星の中に使うためですか。

**佐藤** そうです。世間はあまり知らないけれど、実は、日本でそういうのを作ったのは、私たちのグループが最初で、私たちの作った原子核のコードは、野本さんとか、杉本さんのグループが全部使っているのです。そのコードが星間分子に使えるのではないかと思ったのです。その当時の星間分子の論文を読みますと、化学の人が自分の都合のいい反応ばかり並べて化学反応で合成されるのだという論文を書いているのです。しかし、いくらでも壊す反応もあるではないか、そういうことを総合してやらないと意味のないのではないかというのが、私の目的だったのです。その当時、重要だったのは、鈴木博子さんでした。元々彼女は星の中での元素合成をやろうとしていたし、それで私ども、一緒にやろうということになったのです。収縮している星間雲の中で密度と温度は変わってきますから片一方はイオンで、片一方はニュートラルのイオンモレキュール反応というものに着目して、ネットワークで計算し、



論文に書いたのです。星間分子の中のイオン分子反応はやはり主要な合成ルートであって、水素分子は表面反応でなければ難しいですが、それ以外は、この反応で起こっているということになっていくと思います。鈴木さんは、それ以後ずっとやられて、日本の星間分子の分野を彼女が理論的に切り開いていったのです。

**杉山** 分野で切り分けるというのではなく、持っている物理の力でもって、それが当てはまる対象は色々やったということですね。

**佐藤** そうです。しかも、風通しがいいから、平気で野合できたのですよ(笑)。

#### 宇宙初期のインフレーションを唱える

**杉山** そういうことをやりつつ、ワインバーグ・サラム理論でヒッグス粒子を宇宙にどう応用するかと考えられた訳ですね。

**佐藤** まず、星の中でやっていたけども、当然、宇宙の初めで相転移が起きることは、見れば明らかなので…

**杉山** エネルギー的には、宇宙の初めで起こることはすぐ分かる。

**佐藤** ええ。オーバードクターの時代ですが、佐藤文隆さんが「自然」に原稿を頼まれたので私に声を掛けて、「君がやっていることを中心に書かないか?」と言うので、そこで書いたのが力の枝分かれの図です。横に温度を

書いて、時間を書いて、温度とともに相転移が起こって枝分かれする、あの図は世界で最初に私が書いたのだと思います。文章とか内容は、いろいろ文隆さんが直して加えたりもしました。

**杉山** 「自然」というのは、中央公論の雑誌でしたね。もう今はない。それは、何年ごろですか。

**佐藤** 1976、1978年ですね。その頃、吉村太彦さんのバリオンの非対称性の仕事も出てきて、素粒子の人も宇宙の方に段々興味が増えてきたのではないかと思います。それまでは余り見向きがくれなかったですね。素粒子の研究会で宇宙の相転移の話をしたとき、すぐに言われたことは、「あなた方は、ヒッグスの自発的対称性の破れが本当に起こると思っているのですか?」という言い方でした。特に温度が上がって相転移が起こるとか、そんなことは、対称性が破れればそれによいので、それを本当に起こるような現象と思うのは…

**杉山** それは便法にすぎないという意見が当時あった。

**佐藤** 当時の先生に怒られましたよ。それは数学的な、単に道具にしかすぎないと。まさに便法なのですよという言い方でした。しかも、その当時は、また、別の人から、「ヒッグス粒子なんて見つかっていませぬよ。ワインバーグ・サラム? あるいはもしない素粒子を仮定して議論してる論文で、そんなもので超

新星の研究をするなんておかしいよ」と言われました。本当にあきれましたね。1970年代初めの頃はそういう時代でした。ちょっとそのムードが変わったのは、まさにニュートラル・カレントが発見された頃からで、うれしいことに、超新星の研究をやっているところに、CERNのガルガメールの実験グループがニュートラル・カレントを見つけたのです。それで随分ワインバーグ・サラムの価値が上がりました。

**杉山** ちょうどその超新星で、ニュートリノ・トラップの話が出てきた頃で、ちょうど実証が得られたということですか。

**佐藤** そうですね。やはり研究しているときにガルガメールの実験があったので、随分影響されました。これが本当なんだということ、やはり今度は、宇宙初期のヒッグスの宇宙論的な制限もどンドン論文に書きました。そうすると、当然、相転移のことはすでに気が付いていたわけなので、宇宙の相転移によって力の枝別れ、進化が起こることも当然わかっていました。しかし力の進化が起こるだけでは現在の宇宙がこうしてできましたよというだけの単なる昔話ですから、この相転移が何か現在の宇宙に影響を残さないと面白い話にならないわけです。いろいろ勉強していると、これはまたヒッグスの質量を変えないと駄目なのですが、質量をちょっと小さめに選ぶと、輻射補正がものすごく効いて、実は、ヒッグス場が0のところと対称が破れた状態の間に小さな山ができるのです。そういう意味では、ファインチューニングをせざるを得ないのですが、そうすると適当な一次の相転移になります。もちろん一次相転移では相転移が遅れるということは分かり

ますので、真空のエネルギーがドミナント、つまりヒッグスエネルギー・ドミナントの時代があるとすれば、ヒッグス場の真空のエネルギーによって宇宙は指数関数的に急膨張することもすぐ気づきました。また一次相転移ではガタンと落ちるから、その途端に、一番簡単なモデルでは、宇宙はそのとき一挙に加熱されて火の玉になるというシナリオができて、1979年の4月にそういうモデルを作ったのです。そこで我々のサブグループのセミナーで、その話は5月ごろしたのですが、小玉さんにポロクソに批判されました。

**杉山** 今はKEKの教授をされていらっしゃる小玉さんですか。

**佐藤** それは、自分もちょっと後ろめたかったので仕方ないのですが、「これで一挙に地平線問題は解決する」と話したのです。小玉さんが言われたことは、「佐藤さん、あなたの仮定したモデルは、一様等方モデルを使って宇宙は一様になると言っているのでしょうか? そんなこと、おかしいんじゃない?」と。つまり、「一様等方モデルで一様になるなんて、結論が先にあって、言っているのでしょうか? 非等方モデルでそれを言ったなら価値があるけれど、一様の方で宇宙は一様になるとか、3度Kの一様性が言えるなんて、それはトートロジーですよ」というのが彼の批判です。そう言われるとそのとおりなので、単なる地平線問題とか哲学的な話でなく、そういうことはあまり強調せずに、現実に天文学での影響があるような、何か見えるような、役に立つことを沢山探そうというポリシーで3つほど考え出しました。その第一がいわゆる揺らぎの問題で、大構造の起源。

**杉山** そうですね。そこはかなり強調して書かれていますね。

ニールス・ボーア研究所に在籍した頃

**佐藤** そうなのですよ。それから、第2がいわゆるバリオン・反バリオン対称(ドメイン構造)宇宙モデル、これはちゃんと生き延びているのだと。それから第3、最後はモノポールです。コペンハーゲンでは、そういう格好で三つの論文を書いたのですが、その当時、インフレーションを提唱するのに都合が悪かったのは、実は、宇宙の密度パラメータ、 $\Omega$ はその頃は0.01と決まっていたからで、観測事実と反すること、宇宙の平坦性問題を言えなかったのです。

**杉山** 0.01だったのですか。

**佐藤** そうです。0.01か、0.02なのですよ。これは、要するにバリオンですからね。

**杉山** バリオンで見えている分はどれだけかという話ですね。

**佐藤** そうなのです。堂々と平坦と言えるかという、やはり言えなかったですね。

**杉山** それは、まるでアインシュタインが静的な宇宙を無理やり作ったみたいなお話とちょっと似ていますね。観測の方がついていかなかったのですね。

**佐藤** 同じような話ですね。やはり地平線を越えるスケールの大きい揺らぎを作り、その成長によって宇宙の大構造を作るとするような話が、論文として有力だと思ったので、「マンスリー・ノーティス」に投稿することに決めました。

**杉山** 物理ではなく、天文学の雑誌ですね。グースよりは先に投稿されています。

**佐藤** 私の論文は、この論文と物質・反物質対称宇宙を作るという論文の二つは2月の初めで、最後のモノポールの論文は7月に投稿しています。3つ論文を書きましたが、グースは8月に投稿ですから、3つの論文全てグース

よりは早く、最初の2つは、ほとんど半年ぐらいは早かったですね。役に立つということでインフレーションを考えたときに、「マンスリー・ノーティス」に、「宇宙は平坦だ」という論文は観測に合っていないではないかという話になるのは分かっていたので、言えなかったのです。グースのようにフィジカル・レビューに出せば良かったのかもしれませんが。

**杉山** なるほど。それで、ちょっとモチベーションがあいまいな感じを与えることになってしまったということですか。

**佐藤** 今から見れば、平坦性を強調するのが世間では分かりやすかったですね。

**杉山** しかし、昨年宇宙の加速膨張の発見がノーベル賞を受賞したときに、インフレーションに言及していて、その中でスタロピンスキー、佐藤、で、グースと2番目に佐藤さんの名前を挙げていました。

**佐藤** そうですね。やっぱり世界的にもそれを認めてくれているのだということで、うれしかったですね。

**杉山** ノーベル賞委員会が認めてくれたということですね。それがちょうどコペンハーゲンに行かれた時のことで、佐藤さんの研究にとって大きな転機になったという印象があります。

**佐藤** そうですね。もちろん、アイデアそのものはあった訳ですが、これをいかに論文として仕上げるかは、コペンハーゲンの客員教授で呼んでくれたのは、超新星のニュートリノのニュートラル・カレントによるトラッピングの研究を高く評価してくれたからなのです。呼んでくれた人には申し訳なかったのですが、向こうでは全く超新星の研究をしなくて、もう本当にインフレーション

のことだけでした。

**杉山** でも、大きな成果が出たから良かったのではないですか。ただ、そのコペンハーゲン時代に、いろいろ同年代の外国人研究者と随分交流を深められました。

**佐藤** ええ。M. Rees、M. Turner や S. Perlmutter など含めて随分いろんな人がやってきましたし、やはり世界のニールス・ボーア研究所ですよ。ですから、本当にいろんな人に会うことができました。

**杉山** 人脈は随分広がり、その後京都に帰られ、すぐに東大に移られたのでしょうか。

**佐藤** 半年から1年近く京都にいて、その時代にいわゆる宇宙がたくさんできるというマルチユニバースを作る論文を京都の人と一緒に書くことができました。一次相転移のときには、本当は細かく議論すると一挙に相転移が終わることはありません。実は、相転移が終わった泡に囲まれた、まだ偽真空のところがある程度大きい場合、その領域はもちろんインフレーションしているから、相転移が終わらないことになってしまいます。しかし、相転移が終わったところから見ると、その偽真空の領域は向こうに収縮しているはず。表面が収縮しているのに、全体の体積だけはどうも増えていくというパラドックスで、そこに苦しんで悩んでいました。7月に日本に帰りましたが、当時サブグループと一緒に作っていた若い人達、佐々木さん、小玉さん、前田さんと議論をして、きれいな論文にして書いたのは9月でした。今言ったようなパラドックスはワームホールを考えればなくなるということ、特にきれいな球対称を仮定すると式がスムーズになることに気がついたので、球対称な偽真空が残っていて、小さな泡が囲んでいるよ

うなモデルを作りました。そうすると、数学的にきれいな格好で、ワームホールになっているということを示したのです。

東大に移る

**杉山** その後、東大へ移られて、研究グループを率いられたのです。今、日本をリードしている研究者を育てられました。東大時代、研究室運営はどんなところに気を使われましたか。

**佐藤** 自分は林先生の指導の下に育ったわけですから、現象論よりは、やはり基礎から積み上げていくことを指導方針にしました。それからコロナ禍はすごく大事で、議論を続けていこうと努力しました。最初の助手として小玉さんに来てもらいましたが、彼もそういう精神の人ですから、随分院生にとっては厳しい指導になったと思います。特に小玉さんは厳しいですから。

**杉山** そうでしょうね(笑)。インフレーションにも衝突して文句を言っているくらいですから。

**佐藤** いや、その批判精神は本当に大事なことで、批判精神がなければ、科学は成功しません。だからこそ、助手になってもらったわけです。そういう中で、いろんな人が育っていったわけですが、研究の上では院生でも対等であるという京都の雰囲気とうまく持ち込めて、その点も良かったと思います。

**杉山** なるほど。その後、もちろん、研究室は非常に活発でしたが、佐藤さん自身は物理学会長とか理学系研究科長をされて、アドミニストレーションのほうも随分されました。その辺は、研究者としての自分と、アドミニストレーションと、普段、どういうふうに分けてお考えでしたでしょうか。

**佐藤** 確かに、50歳くらいころから、アドミニストレーションにかかわるような話が増えてきたと思います。そのきっかけになったのは私が代表者としてCOEプログラムに応募し採択されたことです。いわゆる初期宇宙研究センターをつくる辺りからそういうことに力を入れざるを得なかったというのが本当でしょうか。実は、釜江先生とか、折戸先生とか、偉い先生に囲まれて、彼らにとっては貴重な観測の研究費になるし、理論にとっては、ちょっとしたスーパーコンピュータも買えるし、これでやろうということで、祭り上げていただいたのが最初だと思います。

**杉山** でも、ずっと続いて、ポストも純増1つ付いてうまくいきました。

**佐藤** COEは5年なのですが、さらに2年追加して7年になり、合計で20億円の予算をいただきました。それで折戸先生のバルーンも上がりましたし、釜江先生や牧島先生のASTRO-Eに搭載したX線検出器の開発もできました。そういう意味では、東大の宇宙グループの強化にすごく役立ちましたし、東大全体の底上げに随分寄与できたのではないかと思います。理論研究者は若いころにオリジナルの研究が出るものですが、ある程度の年齢になったときに、やはりある程度アドミニストレーションのようなことに力を注ぐのが年相応の義務であろうという感じですね。年を取ってもそうでない人もおられるし、それはそれで立派だと思いますが。

**杉山** その務めを立派に果たされたと思います。その初期宇宙センター、今はビッグバン宇宙国際研究センターという名前です。

**佐藤** 文部省の省令としてつくっていただく申請の段階で、特にマスコミの方に名前のアイデアを

聞いたりすると、「初期宇宙センターなんて、何だか、覚えられもありませんよ」と言われて、初期宇宙センターではなくて、ビッグバン宇宙国際センターにしようということになりました。しかし、化学の先生からはこう言われました。「え、ビッグバンセンター？ビッグバンなんて単なる仮説で、何も分かっていないような話でしょう？それをセンターの名前に付けるのはおかしいですよ」とね。

**杉山** 化学の先生に？10年ぐらい前ですよ。

**佐藤** ええ。キョトンとしましたね。  
**杉山** 証拠は山ほどあると言わなければいけないところでは。

**佐藤** いや、10年前ですら他の分野から見ると、ビッグバンで始まったというのは、単なるお話としか思われていなかったのです。理学部の中でセンターをつくるための手続きを学部長に上げて審議してもらった過程でしたが、啞然としました。

**杉山** その辺りは、本当にアウトリーチ活動をきちんとやって、我々の得た知識を伝えていかなければいけない。

**佐藤** そうですね。私、理学部長になったときに、理学部講演会というのを始めました。それまでの理学部の雰囲気というのは、「そんなことをする暇があったら、ちゃんと論文を書きなさい」というものでした。しかし、特に天文とか宇宙の分野は、これだけ予算をもらってやっている以上、一般の人に面白いと思ってもらわないと、やはり支持してもらえません。そういうことで、天文分野では、本当に色々な方が発信されています。私は理学部の他の分野でも全てそうだと思います。そういう意味で、理学部の講演会は本当に大事だと思い、年に2回始めることにしました。その頃から、やはり世間の雰囲気も

ガラッと変わってきました。私が全部そうしたわけではなくて、その時代の流れだと思いますが、随分、広報活動を熱心に行っていました。

**杉山** そうですね。宇宙は、特に広報はやりやすいのですが、素粒子はなかなか難しい所があります。しかしカブリIPMUでは、そこにも力を入れて、本当に話のうまい人がいて、色々なところでアウトリーチに励んでいます。

**佐藤** ホームページを見ても、動画までリンクされていて、村山機構長の色々な講演の様子が見られますね。強力なスタッフをもっていることは素晴らしいですね。自然科学研究機構も、天文台はその辺り、優れていると思います。また、生物系の岡崎の研究所も、常に記者会見を開くとか、高校生に体験していただくようなプログラムを色々走らせていますし、随分強気に進めています。生理学研究所は、特に脳科学ですので、脳科学に関する体験ができるようなことまで色々取り組んでいます。核融合研は核融合研で、やはり特に日本科学未来館で体験できるブースを持っていて、また年に1回ですが大きなイベントをやっていますし、随分努力しています。

#### コミュニティの支持が必要な基礎科学の大型プロジェクト

**杉山** 基礎科学は、何か税金の無駄遣いだと思われるところがどうしてもあります。これから天文分野で非常に大きな計画がどんどん進み、素粒子の方もLHCの次、もしILCに行くとなると、巨額なお金が掛かります。その辺を我々がどういう風に社会に納得してもらって進めていくかという辺りが、今後は非常に大きな問題になってきます。

**佐藤** 全くそのとおりだと思います。

私は、いわゆる応用分野が大事なこと、日本の産業、経済のために必要なことは全くそのとおりで、基礎科学と応用技術が適当な割合を保つことは不可欠だと思います。それをどういう割合に設定するかというのが、基本的に大きな政策だと思います。我々はどうしても基礎科学にも少し予算があつていいのではないかと思う訳で、自然科学研究機構の中でも素晴らしい計画が色々進んでいます。核融合の大型ヘリカル装置は、温度とか密度はまだトカマクほど上がってはいませんが、トカマクと比べて長時間運転できるということで、色々改良が進んでいます。核融合のための3条件、時間、密度、温度についても、着実に上がっています。やはり核融合の研究は大きなITERを造ればいいというものではなくて、基礎研究からきちんと積み上げることが必要です。ですから、やはりもう少し政府からサポートがあつたらいいと思います。私たち基礎科学者から見れば、今の政策は少し応用に偏っているのではないかと思います。いわゆる「集中と選択」は聞こえはいいのですが、結局、集中したところで、お金のコストパフォーマンスは決して良くないのは明らかだと思います。日本の科学政策を決めているような政治家を含めて、総合科学技術会議の議員とか、やはりもう少し基礎科学を重視してもらえればと思います。

**杉山** そういう意味では、我々としては、学術会議からの発信が重要になりますね。

**佐藤** ええ、そういう意味で、杉山さんに本当にお世話になりました。学術会議の物理学委員会天文宇宙分科会が作成した、天文学の大型将来計画も素晴らしいものができましたね。やはり天文コミュニティが一丸となって

これを推進するのだと決めること、それによって、政府に対して発信ができています。それが拡大して、学術会議で全分野の大型将来計画が...

**杉山** そうですね。マスタープランができ上がりました。あれは、ほとんど我々天文学の活動が契機になっています。

**佐藤** そうですね。やはりそれが例になって、色々な分野がコミュニティから意見を吸い上げて支持を得なければ駄目だということを理解した訳ですね。そのお陰で、文部科学省サイドでも、やはり学術会議のそういう答申に基づいて決めていかなければならないのだということが基本的になってしまったのです。全く様子が変わりました。それ以前は、言ってみれば大きなプロジェクトをやりたい先生が文部省のお役人に直接会って説明するという話でした。今は、学術会議が個々の計画を評価するのは難しいですから、評価だけは私も委員を務めている科学技術・学術審議会の中の大型プロジェクトに関する作業部会で、学術会議から出てきたものについて審議を行い、その中から決めていこうということで進んでいます。先ほどのTMTはそのトップで進捗すべきと結論され、すばると一緒に含めてTMTを準備するというので、文部省からはオーソライズされました。更に来年度予算には本格的予算が計上されています。それから、スーパーBも、全額ではないですが予算が付きました。やっぱり学術会議からボトムアップで上がってきたものです。

**杉山** そうですね。しっかりコミュニティのサポートがある、良い計画であるということですね。それを我々は見せなくては行けない。

**佐藤** 何かのプロジェクトを進めようとするれば、まさに自らのコミ

ュニティーでまとまって意見を出さなければ駄目なのということ、を各コミュニティが自覚するようになってきたと思います。それはすごく大きなことです。

#### 期待される物理学の大きなパラダイムシフト

**杉山** 最後に、この10年、20年ぐらい、宇宙論、観測を含めて、急速に進展しましたが、今これから佐藤さんの関連分野で、何を期待されますか。

**佐藤** そうですね。すごく近いところでは、超新星の研究です。特に日本ではシミュレーションをやる人がすごく増えて、私が始めたころは、重力崩壊型超新星の研究では日本ではほとんど唯一だったと思うのですが、今コミュニティはすごく大きくなり、日本の寄与が随分高くなってきました。そういう意味では、やはり世界のトップとして大きな成果を期待できると思います。

**杉山** なるほど。超新星を爆発させるとかですね。

**佐藤** ええ。そうです。もちろん、学問として極めるのは、ダークマター、ダークエネルギーです。ダークマターに関しては、なかなか見えないとか色々言われますが、エネルギーも上がっていくことですしやはりLHCに期待したいと思います。捕える方の研究も随分進んできて、鈴木洋一郎さんのXMASSもさらに増強されて、ほとんど限りなく限界に近づけていけると思います。そういう意味で、ダークマターの方は、10年ぐらい以内には何とか結論が観測的にも実験的にも可能になってくるのを期待したいと思います。ダークエネルギーの方は、インフレーションとの関係が絶対あると思います。私は時々、今のダークエネルギーが満ちている宇宙のことを第2のインフレーション

が起きているのだという言い方をしますが、そういう気持ちがあることです。今は、インフレーションを起こす場をインフラトンという訳の分からない名前と呼んでいますが、インフラトンのエネルギーとか、空間の持つエネルギーがどうなっているかという、素粒子のまさに根源的な問題だと思うのです。現象論的には、スカラー場でいいと思いますが、私はその本質はそんな単純なものではないと思います。

**杉山** ヒッグス粒子の性質を詳しく調べたら、何か大きなヒントが得られる可能性があるのでは。

**佐藤** 全くそうだと思います。そういう意味では、ヒッグス場も超伝導のアナロジーで現象論的にはきれいに単純にできていると思いますが、その本当のメカニズムというものは分かっていないと思います。質量を与える粒子として根源的なものと言われていますが、私は素粒子が専門ではないけれども、ヒッグス粒子が本当に根源的な粒子かということ、それはやはり単なる現象論のモデルだと思います。現象論で相転移が起ることは本当だと思うのですが、もっと深いものがあって、いわゆる真空というものに関係するような、ものすごく大きな深い概念だと思えるのです。そういう意味では、本当の正体が分かったときは、物理学の大きなパラダイムシフトの時期だと思います。昔、「サイエンティフィック・アメリカン」の解説で、L. アボットは「真空」について「我々は現在、かつて建設した、物理学の体系という摩天楼を破壊することなく、その欠陥のある土台を取り替えることに挑戦しているのだ。」と述べています (*Scientific American*, vol. 3, no. 1 (1991) p. 78)。私は全くそうだと思うのです。物

理学の体系という摩天楼は決して壊れることはないのだけれども、土台を取り替えることによって、また物理学の大きな発展があるのではないか、というのが今の夢ですね。それがどうすることで実現するのにはよく分かりませんが、今で言えば超弦理論に期待するということになるのでしょうか。そういう意味では、大栗さんたちは本当に世界のリーダーですから、ぜひ根底にかかわるようなパラダイムシフトを起こしてほしいと期待しています。

**杉山** なるほど。カブリIPMUに期待するところ、大ということですね。実験的にも、LHCから次のILCへ向けて、そこは非常に詳しく調べられるところだと思うので、私もちょっと門外漢になりますが、期待して見ていきたいと思っています。

**佐藤** そうですね。本当にそういう意味では、まだまだ物理学には素晴らしい展開があるはずだと思います。

**杉山** まず土台からきちっと作り変えなければいけない。

**佐藤** 多分、そういうことが21世紀には起るのではないかと思います。10年以内とは言いませんが、やはり大きなパラダイムシフト、物理学の革命がもう一回あるはずだと思うのです。

**杉山** 最後に元気が出るお話をいただき、ありがとうございました。