

天文学の世界的な主要研究機関に発展したIPMU

高田 このインタビューを受けていただき、ありがとうございます。まず最初にお聞きしたいのですが、IPMUについてどんな印象をお持ちですか？

ストラウス IPMUは素晴らしい研究所ですね。すごい早さで成長しました。確か始まりは2007年だったと思いますか？

高田 その通りです。4年経ちました。

ストラウス 4年ちょっとで、少なくとも天文学分野では既に世界の主要研究機関の一つになりましたが、物理と数学でも同じだと思います。成長の早さには驚くのみです。日本中、世界中から本当に最高の人材の結集に成功しました。理論天体物理学だけでなく、観測的研究にも焦点を合わせ、日本の天文観測コミュニティの色々な人たちをまとめ上げ、私たちが関わっている大規模なサーベイ計画を着手したことも本当に素晴らしいことです。私はこの発展を目の当たりにすることができ本当に嬉しく思っています。

高田 IPMUについてそう言って

マイケル A. ストラウスさんはプリンストン大学天体物理学教授で、スローン・デジタルスカイサーベイ (SDSS) の元プロジェクトスパーソンおよび元副研究責任者。1989年にカリフォルニア大学バークレー校から博士の学位を取得、1995年にプリンストン大学天体物理学科の教員となり、2004年より現職。

いただき、ありがとうございます。では、別の話題に移りましょう。あなたはこれまで大規模な銀河サーベイに関わってきましたが、今私たちは共同で8.2mのすばる望遠鏡を用いた銀河サーベイ計画、SuMIRe (すみれ) プロジェクトを進めています。SuMIReプロジェクトを読者に説明していただけませんか？

胸躍るSuMIReプロジェクト

ストラウス まず最初に言うべきことは、すばる望遠鏡は世界で最高の望遠鏡の一つだということです。直径8.2mの主鏡は光学望遠鏡として世界最大級です。非常に広い視野を持つように設計されたため、イメージング (撮像) と分光の両方で、特に大規模サーベイに適しています。これを念頭に、宮崎聡さんをはじめとする国立天文台とIPMUを含む日本の研究機関がHyper Suprime-Cam (ハイパーシュプリームカム) と呼ばれる広視野撮像カメラを建設しています。これは大型望遠鏡に搭載される世界最大の撮像カメラで、遠方の銀河と暗い星を研究するため、できるだけ広い天域に渡り、非常に暗い等級まで大規模サーベイを行うには最強の装置になります。

それで、SuMIReプロジェクトの最初の柱はハイパーシュプリームカムによる宇宙の撮像サーベイです。今から1年後には銀河サ

ーベイを開始したいと思っています。観測したイメージから、重力レンズ効果を用いて宇宙の物質分布（ダークマター）を赤方偏移の関数として求める研究、銀河の性質の研究、遠方のクエーサーの探索、天の川銀河のハローに存在する構造の探索、等々を行います。私たちが得るすばるのデータは非常に広範囲に渡る様々な分野の研究に役立ちます。

しかし、天文学では調べたい天体の物理的性質の詳しい情報を得るため、また特に銀河の距離を測定するためには、分光観測が必要です。スペクトルによって銀河の物理的性質を詳細に理解できるのです。スペクトルから化学的組成、表面温度、星の運動速度を測定できます。スペクトルの測定には別の装置が必要であり、ここで主焦点分光器(Prime Focus Spectrograph; 以下PFS)が役割を果たすことになります。これがSuMIReプロジェクトの第2の柱です。IPMUは両方の計画で指導的役割を果たしていますが、特に村山さんはPFS計画の中心研究者で、撮像データから選んだ天体のスペクトルを観測するためのPFS分光器を設計し、建設する国際共同研究体制をまとめ上げました。私たちはこの分光器で可能になる銀河サーベイの立案に取りかかろうとしています。先週、東京で80人が参加して開催された会議でこのテーマを議論したところですが、その続きをここIPMUで行い、サーベイ計画とその要求が分光器の設計に及ぼす影響を議論しています。このプロジェクトは非常に現実的になりつつあり、本当にエキサイティングなのです。撮像データと分光データは相補的であり、宇宙論と銀河から私たちの天の川銀河まで、非常に広範囲にわたる様々な研究課題に対して極め

て強力な手段になります。

高田 そうですね。すごく色々なことができます。しかし、SuMIReによるサーベイから期待される研究成果のうち、あなたが一番興味があるものは何ですか？

ストラウス そうですね、私たちは非常に明確な目的をもった研究プロジェクトを遂行するため、サーベイを計画します。SuMIReの主たる狙いは、実は2つあります。宇宙の質量-エネルギー密度で支配的なダークマターとダークエネルギーのパラメーターを調べて宇宙全体としての構造を理解すること、それが目標の一つです。もう一つは銀河の進化を理解することです。望遠鏡で観測する遠方の銀河からの光は現在ではなく遠い過去の銀河からやってきたものです。数十億年かけて到達するほどの遠方です。この観測から宇宙の歴史を直接知ることができます。これらがSuMIReの2つの主要な目標です。

しかし、大規模なサーベイを行うと、予期しなかった分野も含め多くの他の研究ができることにすぐ気がつきます。私が参加したサーベイの経験から言えることですが、予期しなかった研究が最も大きな成果だったということは良くあることです。そして、できる限り高精度のサーベイを行うことが予期せぬ大成果を上げることにつながるのです。私たちはサーベイと観測機器と、勿論、望遠鏡をデザインし、そうして行うサーベイは主たる研究目的に焦点を合わせるわけですが、一方ではデータをできる限り利用し尽くし、得られるものは全て得ようとしています。それが予期せぬ研究成果につながります。

高田 全くその通りですね。こ

高田昌広さんはIPMU准教授です。専門分野は天文学で、特に観測的宇宙論を研究しています。





の種の大規模サーベイの能力を最大限引き出すためには、データの質が実に重要であることを強調されるのですね。

ストラウス はい、そうです。

高田 あなたが言われたように、SuMIReプロジェクトの一つの側面は、勿論、国際協力です。

ストラウス 私たちは遠く離れているので、国際共同研究は勿論やさしいことではなく、一生懸命コミュニケーションを図り、実際互いの意思の疎通ができていて、やっていることが理解できていることを確認することが必要です。SuMIRe共同研究にはアジアから日本と台湾、北米からアメリカ、南米からブラジル、ヨーロッパからフランスと4つの大陸の研究者が参加しているので、全員と一緒に仕事を進めようというのは実に困難なことですが、やらなければなりません。私は過去4、5年で11回日本を訪れました。その間はほとんどIPMUにいましたが、このように頻りに旅行することが必要になります。同様にあなた達もプリンストンにいる

私達を何度も訪れなければなりません。

高田 そうですか、こういう国際共同研究にはコミュニケーションが実に重要なのですね。

ストラウス ええ、それから同じ場所で一緒に過ごし、一緒に働く機会を持つことです。スカイプや電話会議やテレビ会議、eメールでコミュニケーションはできませんが、それでも実際に顔を合わせることも非常に重要で、従って飛行機の中でかなりの時間を過ごすこととなります。しかし、先日の夜の夕食のようにポルトガル語、スペイン語、フランス語、日本語が飛び交うような会話はとてもわくわくするものです。そういう国際的なコミュニティの一員であることは科学者であることの特典の一つですね。私にはそれが大きな楽しみです。

大規模銀河サーベイでSDSSの次の時代を担うSuMIRe計画

高田 では、大規模銀河サーベイの話題に戻りたいと思います。あなたは何年もの間今まで

で最大の銀河サーベイであるスローン・デジタルスカイサーベイ(SDSS)で研究されてきました。2.5mの専用望遠鏡を使い、データの質は良くコントロールされています。SDSSにはいつ頃参加したのですか?

ストラウス このプロジェクトのことを初めて聞いた記憶があるのはカリフォルニア工科大学のポストドクの時で、多分1990年でした。私はパロマール天文台で観測していましたが、同じ時にジム・ガンもプリンストンから観測に来ていました。その時彼と話したことを覚えています、「私はすごいプロジェクトを考えていて、100万個もの銀河のスペクトルを観測しようとしている」と彼が言い、私は「なんと、それは本当にすごい」と言ったのです。私の博士論文は赤方偏移の分光観測だったので…

高田 確か宇宙の大規模構造中の多数の銀河の固有速度を測定する研究でしたね?

ストラウス その通り、固有速度、つまり大規模構造での速度場です。私の博士論文ではおよそ2,400個の銀河の赤方偏移を使っています。私と共同研究者の数年がかりの仕事でした。それだけの赤方偏移を測定するため、望遠鏡の多くの時間を費やしたのです。

高田 それなのに彼は100万個もの銀河のスペクトルの話をしたわけですね。

ストラウス そう、100万個もの銀河です。私はただ、ただ「すごい」と思いました。一晩にSDSSで5,000個もの銀河を観測できるのです。毎晩、私の博士論文の2倍です。1991年の暮れに私はポストドクとしてプリンストンに来ました。最初に私がしたことの一つは、ジム・ガンのところに行って「デジタルスカイサーベイ

にとっても興味があります」と言ったことです。その時はまだスローン財団から資金を得ていなかったため、スローン・デジタルスカイサーベイとは言われていませんでした。「私のできることで役に立つことはありますか?」と聞いたら、彼は「勿論、間違いなく君がすることがあるよ」と言ってくれました。それで私はどんどん関わっていったのです。私はポストドクでしたが、それからプリンストンの教員になることができませんでした。

高田 それは1994年か95年でしたか?

ストラウス 1995年に教員になったので、ポストドクは4年間でした。

高田 プリンストン高等研究所のポストドクだったのですか?

ストラウス その通り、プリンストン高等研究所にいました。プリンストン大学とは離れていますが、非常に近い、というかそれほど遠くはありません。私は頻りにプリンストン大学に来ていました。実は高等研究所はSDSSの協力機関の一つであり、正式にプロジェクトに参加していました。ですから、もう一人私と同時期に高等研究所にいたデイビッド・ワインバーグも同時にSDSSに加わりました。

高田 では、あなたは最初からスローン・デジタルスカイサーベイ計画に関わっていたのですか?

ストラウス ほとんどそれに近いのですが、完全に初めからというわけではありません。プロジェクトが正式に始まったのは1988年です。シカゴでどうやってプロジェクトを実現しようかと議論する会議があり、ジムとシカゴ大学の人たちが出席していました。私はその会議には出ていなくて、プロジェクトに関わり始めたのはその数年後のことです。ご存知のように、スローン計画では同じ望遠

鏡で撮像と分光の両方のサーベイをします。ですから撮像と分光で違う装置が使われます。撮像用のカメラはプリンストンが中心となりジム・ガンと彼のグループが製作し、分光器は主にアラン・ウオモトとスティーブ・スマーを含むジョンズ・ホプキンス大学グループが製作しました。SuMIReプロジェクトは撮像と分光の両方でこのやり方を受け継いでいます。撮像用カメラは勿論宮崎さんを中心に日本グループが製作していますが、その設計についてはジムと宮崎さんがずっと議論を続けてきました。

SuMIReの分光器はやはり日本が中心になっていますが、その設計にはジムとスティーブ・スマーを含むジョンズ・ホプキンスグループが非常に大きく関与しています。SDSSでは広視野撮像と多天体分光を行い、低赤方偏移、従って時間的には現在の近傍の宇宙にある銀河の分布と物理的性質の特徴を明らかにすることができました。その次の世代の問題を考えると、銀河の分布とその物理的性質が赤方偏移と共にどのように変化するか、また重力レンズの信号は赤方偏移の関数としてどのようなものなのかを知るために、宇宙の性質を赤方偏移の関数として調べることが必要であると気がつきます。

これら全てがもともとずっと暗い銀河の観測を、従ってもともとずっと大きな望遠鏡を必要とし、私たちがすばる望遠鏡でのSuMIReプロジェクトへと導いたのです。ですから、SuMIReプロジェクトは同じ学問的課題の非常に自然な延長線上にあるわけです。科学の世界では多くの重要な問題に回答が与えられてきましたが、それで終わりではなく、また新たな問題が現れてくるのです。例えば、SDSSが始まった時にはダー

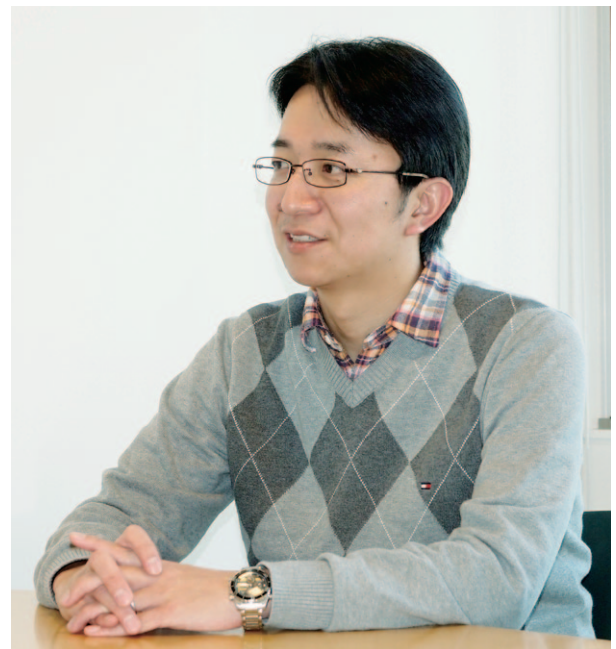
クエネルギーのことは全く聞いたこともありませんでした。宇宙膨張が加速していることは知りませんでした。そういうことが起きているかもしれないというクレイジーなアイデアをもった人たちが少しはいましたが、誰も注意を払いませんでした。しかし、今私たちはそれが事実であることを知っているのです。それは私たちの分野で、ここ何年もの間の最も重要な発展の一つなのです。

今や宇宙についての私たちの考え方は完全に変わってしまいました。私たちの置かれた状況には、非常に興奮させられます。というのも、ほんの数個のパラメーターでほとんど全ての宇宙論的なデータを記述する、極めて完全であると同時に極めて簡単な宇宙のモデルを手に入れたわけですから。しかし、そのモデルにはダークエネルギーとダークマターが登場するのに、私たちはその正体を知りません。ですから、私たちはなんだか分かっていないものについて非常に精密な観測をしているという、とても困惑させられるような状況にいるわけで、それは当然ながらとてもわくわくするような状況なのです。

高田 ええ、私もダークマターとダークエネルギーの性質には非常に興味があり、SuMIReのサーベイはこの非常に重要な問題に取り組むことができると信じています。ところで、SDSSでは、大量のデータセットをどう取り扱ったのですか？ あのような巨大なデータセットを処理するソフトウェアとパイプラインをどうやって準備したのですか？

失敗の瀬戸際を何度も経験したSDSS

ストラウス そうですね、私たちがSDSSを始めた時、ソフトウェアがどれほど大変なものかほと



んど理解していませんでした。皆以前に撮像データを解析したことがあり、既存のパイプラインを使えるだろう、空いている時間にソフトウェアを開発しよう、と考えていました。最初はソフトウェアの開発のために取っておく予算は全くなし、ゼロでした。実際はソフトウェアがプロジェクトの最も難しい技術的課題の一つであることが判明しました。SDSSには実に多くの問題がありました。そのうちの一つがこれでした。プロジェクトが始まった最初の数年は多くの葛藤があり、ソフトウェアの書き方や、問題を実際のデータ自体を用いてどのように解決するか、意見の食い違いも多々ありました。さらに、当初、プロジェクト全体の費用の見積もりを誤ったのです。最初の見積もりは1,500万ドルだったと思います。

高田 たった1,500万ドルですか？
ストラウス そうです。最終的にはSDSSの第一フェーズで1億ドルかかりました。ですから、ほとんど一桁少ない予算を立てたわけです。1991年に私がプリンスト

ンに来た時には、ファースト・ライト（望遠鏡が完成して最初の観測）は1994年暮れと聞きました。実際は、ファースト・ライトは4年遅れの1998年5月でした。予算不足は大問題で、全てが遅れました。問題山積でした。アン・フィンクバイナーがSDSSプロジェクトの歴史について書いた本があるのを知っていますか？

高田 ええ、知っています。SDSSがどうやって始まったかというジムの物語についての本ですね。でも、まだ読んでいません。

ストラウス ええ、とても面白いので是非読むことを勧めます。私たちがSuMIReについてとても意識して気をつけていることの一つはSDSSの過ちを繰り返さないことです。かかる時間と必要な金額について、私たちは非常に現実的になりました。以前、私たちは国際協力で十分確実にコミュニケーションが図れるように話し合ったので、意見の対立で時間をかけたりせず、その点でもうまくやっているといます。一緒に生産的に仕事をし、互い

に助け合い、有効に時間を使っています。

高田 SDSSはすごい成果を上げました。全く驚くような成果です。

ストラウス そうなのですが、ほとんど失敗の瀬戸際が何度かありました。資金を使い果たしたことが何度かあり、あらゆる種類の技術的問題が起き、組織上の問題もありました。フィンクバイナーの本では数多くの章を費やしてこれらについて述べています。例えば、私たちが望遠鏡の副鏡を壊したことを知っていますか？

高田 え！それは知りませんでした。

ストラウス 望遠鏡のファーストライトは1998年5月でしたが、その時点で私たちは天球の赤道上でドリフトスキャン撮像だけを行ったのです。この方法では望遠鏡は動かさずに固定しておき、天球が回転して行くのを観測します。既にこのデータを用いて研究の開始が可能で、6ヶ月後には論文を書き始めていました。しかし、およそ1年後、1999年でしたが、分光観測を開始して副鏡を壊してしまいました。副鏡は裏でピントと傾きを調節するピストンに支えられています。個々のピストンが押し力は同じではなく、全体として鏡の形を正しい形状に保つように押さなければなりません。しかし、一つのピストンが強く押しすぎてガラスを突き破り、副鏡に穴を開けてしまったのです。

高田 副鏡に穴を開けてしまったのですか！

ストラウス それが起こしたのは1999年11月だったと思います。その時、私は「これでプロジェクトは終わった」と思いました。ところが、鏡の損傷は中心部だけに限られていることが分かりました。ご存じのように、主鏡の中心には大きな穴がありますから

副鏡の中心部は光を受けません。ですから損傷部だけを修理して、その後副鏡を使うことができたのです。損傷した副鏡は今でもまだ取り付けられたままです。フィンクバイナーの本にはこれが全部書かれています。

天文学の様々な分野に大きな影響を与え続けてきたSDSS

高田 そういったことがひとたび決着した後は、あなたたちはSDSSでいくつも重要な業績を上げました。SDSSのデータを用いた論文のいくつかは天文学界に大きな影響を与え、非常に多くの引用数を誇っています。ハッブル宇宙望遠鏡や高エネルギーX線天文衛星と比較してさえ、それらを上回るほどです。

ストラウス 私たちは非常に満足しています。繰り返しますが、本当に面白かったことの一つは、宇宙の大規模構造から遠方のクエーサーや天の川銀河の構造まで、天文学の様々な分野で大きな影響を与えることができたことです。SDSSの初期に私が関与したものの一つに、非常に初期のデータを用いて高赤方偏移のクエーサーを発見することがありました。銀河間物質中の中性水素による吸収のため、高赤方偏移のクエーサーは非常に赤く見えます。実はこの時はSDSSの分光器の稼働前だったので、私たちはアパッチポイント天文台の3.5m望遠鏡を使い、当時私の学生(今はアリゾナ大学の教員)だったシャオファイ・ファンと一緒に分光観測をしました。3.5m望遠鏡で見つけられる最も赤い天体の観測から、高赤方偏移のクエーサーと非常に赤い褐色矮星を同時に発見しました。半分は褐色矮星、半分は高赤方偏移のクエーサーでしたが、140億光年という最も遠いクエーサーと10パーセク先と

いう最も近い星を発見した訳で、実に面白かったですね。本当にわくわくして観測しました。

毎晩、非常に高赤方偏移を発見する度に私たちはジム・ガンに電話したものです。彼はこう言いました。「いつでも私を起こして良いのだよ。高赤方偏移のクエーサーを見つけたら私を起こさない。」ですから私たちは午前2時に電話して「ジム、赤方偏移5を見つけました」と言うと、彼は「結構、結構、では私は戻って寝るよ」と言ったものです。

高田 SDSSは大成功でしたが、例えば1990年代半ばと比べて、新しい大規模銀河サーベイであるSuMIReプロジェクトは当時より仕事し易くなっていると感じますか？

ストラウス ええ、SDSSで私たちが新しく始めたことの一つは、大グループと一緒に仕事をするやり方を考えようとしたことです。天文学者、少なくとも光学天文学の研究者は数人の小さなグループでの共同研究に慣れていました。私たちがSDSSの最初の論文を出版したときは著者が100人を超え、他の人たちから見るととても奇妙に思われました。私たちは論文出版についての詳細なポリシーとそれに基づくルールを定めました。それは非常に重要なことであることが分かったのですが、なぜかという研究グループのそれぞれが学問的興味を追究することを許すこと、若者をキャリア・アップさせること、そして確実に最高の研究成果を上げること、これらのために何らかの方法を必要としていたからです。やり方を誤ると、誰がどんな研究を始めるのか、誰が一番目の著者になるのか、などについて延々と議論に時間を費やすはめになります。全員が同意できる明確なポリシーをもつことにより、多

くのトラブルを解決したのです。

高田 そうですね、ハイパーシュプリームカムのサーベイに関しては、私たち共同研究チームはSDSSと似たポリシーを採用することに同意しました。願わくは科学的成果についてもSDSSのように大きな成果を挙げられることを望みます。

さて、話題を変えたいと思います。あなたにとって、天文学あるいは宇宙論の理論家と観測家と実験家は、何か違いがありますか？

ストラウス 天文学で自分を理論家と呼ぶ人たちが益々観測的天文学、特にサーベイ天文学に興味を惹かれるようになったことは確かだと感じています。なぜなら彼らが自分の理論をテストしたいと思うならサーベイが必要だからです。プリンストン大学の天体物理学教室は、未だに理論志向を強く打ち出しています。しかし、理論家の多くは益々観測的な研究に関わるようになってきました。例えばデイビッド・スパーゲルのような人たちです。

高田 今ははっきりした境界は無いわけですね。では、最後の質問です。IPMUの将来について何を期待しますか？提案やコメントはありますか？

ストラウス IPMUはどんどんサーベイに関わるようになり、指導的役割を果たすようになっていくでしょう。私たちは長期間SuMIReプロジェクトで忙しくなり、10年後もまだSuMIReで研究を続けていると思います。それから次にやるべき素晴らしいプロジェクトを考えることになると思います。

高田 ありがとうございます。とても面白い話を伺えました。今後も一緒にこの素晴らしい広域銀河サーベイの旅を続けていきたいと思います。