

Round Table Talk : ロバート・ウィリアムズ博士に聞く

ロバート・ウィリアムズ Robert Williams
宇宙望遠鏡科学研究所 (Space Telescope Science Institute) 名誉所員

岡村 定矩 おかむら・さだのり
法政大学理工学部創生科学科 教授

鈴木 尚孝 すずき・なおたか
Kavli IPMU 助教

岡村 ボブ^{*1}さん、覚えておられると思いますが、20年前の1997年に京都でIAU (国際天文学連合) 総会が行われた時に同じような対談をしましたね。今日、またそのような機会が得られたことを大変うれしく思っています。

ウィリアムズ 同感です、定矩さん。できるだけ面白い話をしましょう。

岡村 そうしましょう。あなたは天文学者の間で影響力をお持ちですし、一流の天文学者として、また非常に強力な天文学研究所の所長として多くの重要なプロジェクトを開始されました。

今日はそういったプロジェクトの話やエピソードについて、あなたにしか語れないようなことを伺いたいと思います。そういった話は、若い人たちでも私のような年寄りでも、プロジェクトの詳しい内容やそれがあなたの経歴に与えた影響に興味を持っている者には、非常に有益であろうと思います。

ウィリアムズ 尚さんがいることで、この機会に私が関わった大プロジェクトで、これまで公には議論してこなかった側面を幾つかコメントしたいと思います。特に、2つの独立な研究チームが、なぜ、どのようにしてダークエネルギーの発見に関与することになったのか、また、どうして2人の天体物理学の巨人がハッブル深宇宙 (HDF) プロジェクトに反対し、私た



岡村 定矩

ロバート・ウィリアムズ

鈴木 尚孝

ちにその観測をさせまいと説得したのかを取り上げてみたいと思います。

岡村 では、あなたのセロ・トロロ・汎米天文台 (CTIO) の所長時代の1987年に発生した超新星から話を始めましょうか。

1604年以来肉眼で見えた最初の超新星 1987A

ウィリアムズ それで結構です。SN1987Aについては非常に良く覚えています。

岡村 私の知る限り、あれは1604年のケプラーの超新星以来初めて肉眼で見えた超新星でした。ですから、南半球の天文台では大変な科学的フィーバーがあり、また大混乱もあったに違いありません。

ウィリアムズ 1987年2月下旬のその朝、オフィスに行った時のことを覚えています。私はチリのラ・セレナにあるAURA (天文学研究のための大学連合) の施設構内に住んでいて、家から

オフィスまでは歩いてたった3分の距離でした。

岡村 3分ですか。

ウィリアムズ ええ、理想的な環境でした。通勤は不要で、昼食には歩いて家に帰れたのです。私はそれが大好きで、仕事中毒なものですから、ほとんどいつも夜遅くまでオフィスで過ごしていました。それはともかく、ラス・カンパナスのカーネギー天文台の所員のビル・クンケルが突然やってきたのです。彼はCTIO研究棟の正面入り口にやってきて、オフィスには何人かが朝早くから出勤していましたが、私もその一人でした。彼は私のオフィスのドアから首を出して「ボブ、重要なことを話したいので、座ってくださいませんか」と言いました。「どうして座らなければならないのかね?」と聞いた私に、ビルはこう言い張ったのです。「これから話そうと思うことは、座って聞いてもらう方が良くと思うからです」

^{*1} ボブ (Bob) は日常的に使われる Robert の短縮形 (の一つ)。

よ。」そして、ビルは私に「我々は超新星を発見した。遠い銀河のことではない。昨夜イアン・シェルトンが肉眼で見える超新星を発見した。間違いない。」と告げたのです。

私は注意を集中しました。分かったことは、ラス・カンパナスの天文学者シェルトンと夜間観測助手のオスカー・ドゥハルデが独立に超新星を発見したということでした。シェルトンは連夜、写真乾板を使って大マゼラン雲の写真撮っていたのです。2月23日に撮影した写真はあまりよく撮れていなかったの、翌2月24日の夜、もう1枚の写真を取りました。2枚の乾板を比較していたところ、彼は前夜の写真には写ってなかった、肉眼で見えるほど十分明るい新しい天体が今夜の写真には出現していることに気づきました。その夜、シェルトンとドゥハルデは2人ともその天体を確認するため外に出て新しい超新星を見つけました。ビルは、その夜が明けた当日の朝、超新星が発見されたことを私に報告してくれたのです。それはこの400年間で最初の、局所銀河群の銀河で発生した超新星でした。

その超新星を直ちに調べなければならぬことは明らかでした。他の所員が出動してきたところで私は彼らを集め、思いついた2つのことを言いました。第一に、私たちには科学的な研究に着手すること、光度曲線の観測、つまり測光を行うこと、そしてスペクトルを観測することが必要であるということです。その超新星が明るいことは明らかで、肉眼で見えるわけですから、小さな望遠鏡で用が足りるだろうと考えられました。また、私はその超新星には一般の人々が大変な関心を持つであろうと述べて、情報を欲しがらる報道陣を満足させるための用意をするべきことを全員が了解しました。それには超新星の高品質な写真を撮ることが必要でした。

当日、それから私たちのチームは超新星を撮像する手はずを整えるために山上の天文台に行き、夜には最初のカ

ラ写真を手に入れました。その次の晩からは現地の官吏やアメリカの主な雑誌社や新聞社から記者達が、超新星を観望するために天文台を訪れました。特に、ピノチェト将軍が私的に任命した州監督官 (Intendente) のことは良く覚えています。

岡村 軍事政権のピノチェト大統領ですか？ 彼は独裁者として知られていませんね。

ウィリアムズ そうです。超新星が現れたのは圧政的なピノチェト政権の時に、州監督官や県知事、地方公務員は全員軍人でした。私は友好的な国際関係を維持するため、しばしば彼らと会いました。超新星発見後間もないある晩、州監督官は自分の目で望遠鏡を通して明るく輝く星を見るためにやってきました。また、当時ニューヨーク・タイムズの科学報道記者をしていたマルコム・ブラウンが訪れたことを思い出します。彼はチリで私たちと一緒に数夜を過ごし、超新星 1987A についての記事をニューヨーク・タイムズに連載しました。タイム誌もカバーストーリーとして取り上げました。当時、私たちは測光と分光によって超新星の研究を行う傍ら、アウトリーチにも随分力を入れました。

岡村 測光と分光にはどの望遠鏡を用いたのですか？

ウィリアムズ 分光観測には、利用申し込みが募集枠を大幅に上回ることが余りない中型望遠鏡の一つを使用しました。ですから観測スケジュールを組むことは容易でした。私たちはスティーヴ・ヒースコートが開発した分光器を持っていました。当時は大型の4メートル望遠鏡に搭載されていなかったの、これで定期的にスペクトルを取り始めました。また、私たちは正確な光度曲線を得るために測光観測を行いました。超新星 1987A は非常に明るかったため、40センチ望遠鏡による最短露光時間の観測さえ明るすぎてうまく行きませんでした。それで望遠鏡の口径を絞るために、穴を開けたマスク (アパーチャマスク) を取り付けな

ければなりませんでした。超新星が暗くなってからは、アパーチャマスクをはずし、何ヶ月も光度曲線の測光観測を続けました。また、定期的にスペクトルをとり、それを理解しようとしませんでした。

岡村 さて、それで発見後、晴れた夜が続いたのは何日間でしたか？

ウィリアムズ 2月、3月は夏の天気が良い時期で、ほとんど晴れていました。ですから観測開始初期には悪天候に悩むことはありませんでした。

岡村 そうでしたか。

超新星1987Aのスペクトル中にs-過程の元素を発見

ウィリアムズ 本当に面白かったのは超新星のスペクトルに何本か変わったライン (スペクトル線) が見えたため、それを解釈することでした。私はスペクトルを理解しようという試みにかなりの研究時間をつぎ込んだことを覚えています。他の超新星には現れなかった3、4本のラインを同定しようと原子物理のあらゆる参照マニュアルを調べました。私は「s-過程」と呼ばれる遅い中性子捕獲過程から生じる元素であるバリウムとストロンチウムを同定したことを決して忘れないでしょう。別の元素である可能性はないか、それを調べるために私は何時間も何時間も費やしました。

私は赤外領域のスペクトルを持っていたので、元素の同定にとっても役立つ特徴をつかめました。同僚のジェイ・エライアスが波長1ミクロンをちょっと超えたところに何かあると報告してくれましたが、その波長のラインをもつ元素の可能性の一つはイオン化したストロンチウム (Sr II) でした。既に私は可視光域にあるスペクトル線のうちの2本を暫定的にSr IIとしていましたが、これまでの超新星ではその元素は観測されていなかったため、やや疑念を持っていました。しかし、私が見出した他のスペクトル線のうちの1本がもう一つのs-過程の元素であるバリウムのように見えたため、これまで

予想されてはいなかったが、超新星1987Aの進化にs-過程が含まれていたことに自信を深めました。私は一人で週末に仕事をしていたことをはっきり覚えています。その日は4月4日の土曜日で、大きく宣伝されたローマ法王ヨハネ・パウロ2世の南アメリカ訪問の中で、法王が飛行機でラ・セレナに到着された日でした。その土曜日に私はオフィスにいましたが、他のラ・セレナの住人は、私の妻も含め全員法王の到着を歓迎するために小さなラ・セレナ空港に出かけていました。

私は法王の乗ったジェット機がCTIOのオフィスの上を低空で飛行する音を生き生きと思い出します。なぜならオフィスは空港からたった数マイルの位置にあり、法王ヨハネ・パウロ2世のジェット機が私のオフィスの上を飛ぶ轟音を聞いたのは、私が同定しようとしていたスペクトル線はs-過程の元素であるストロンチウムとバリウムであると最終的に結論を下してから数分のことだったからなのです！私はその瞬間を忘れないでしょう。

岡村 ローマ法王の到着と共にスペクトル線が同定されたとは、実にドラマチックですね。それは、重力崩壊型超新星爆発を起こす重い星の内部でs-過程が起きていることの初めての証拠だったのでしょうか？とすれば、スペクトル線同定の専門家であるあなたにとってさえ、ストロンチウムとバリウムのラインを同定することは非常に難しかったのではないのでしょうか。

ウィリアムズ ほとんどのラインの同定はかなり簡単にできましたが、それ以前の超新星では観測されなかったラインがいくつかありました。ストロンチウムとバリウムの同定は、最も矛盾のないものとして結論しました。私たちの観測したスペクトルは、重力崩壊型超新星が爆発を起こす前に遅い中性子捕獲が起きていることをはっきり示す証拠であり、進化した重い星が超新星爆発を起こす前にはs-過程が起きるといふパラダイムを初めて確立したものです。

CTIOにおける超新星の研究

岡村 ところで、当時CTIOは強力な超新星研究者グループを擁していたのではないのでしょうか？

ウィリアムズ 超新星1987Aが弾みをつけました。歴史的にはCTIOとセロ・カランで超新星に興味を持ち、研究が行われていました。セロ・カランはチリの…

岡村 セロ・カランのカランは土地の名前ですか？カラン/トロロ超新星サーベイはよく知られています。

ウィリアムズ その通りです。セロ・カランはチリ大学が運営する天文台ですが、チリの国立天文台なのです。ホセ・マサを中心に何人かの研究者がいましたが、彼らは超新星の研究に興味を持っていました。私が1985年にチリに赴任する以前でさえ、チリのエル・ロプル天文台での超新星サーベイでいくつかの超新星が発見されてきました。当時サーベイに関わった人はそれほど多くなかったのですが、1987Aの後、超新星に対する興味が増すに連れ、関わる人の数も増えました。特に、セロ・トロロ所員のマーク・フィリップス、ニック・サンツェフ、マリオ・ハムイは彼らが研究に割ける時間のかなりの部分を1987Aおよびその他の超新星の研究に振り向け始めました。

私たちは超新星1987Aの爆発の直前にCTIOでマリオ・ハムイをデータ処理のアシスタントとして雇用しました。マリオはチリの大学を卒業して天文学の学士号を得ましたが、その時は大学院で研究を続けることには興味がありませんでした。彼が所員に応募する可能性を誰かが私の耳に入れ、それで私たちは彼を面接したのです。アメリカの国立天文台としてCTIOは利用者全員のデータ取得とそのデータの処理を助ける義務があるため、私はマリオを雇用するのは非常に良いことだと考えました。私たちはマリオのようなデータ処理の経験者を必要としていました。彼は非常に頼りになる人物の一人でした。ところで、嬉しいことに、

丁度今年、マリオがバチレ大統領からチリ国科学賞を受賞したということをお知らせしておきます。

超新星1987Aの後、マリオとマーク・フィリップス、ニック・サンツェフはホセ・マサ、その他と一緒にCTIOの望遠鏡を使って発見された超新星の追跡観測を行うこれまで以上に徹底的な超新星プログラムを開始しました。1989年に彼らのうちの3人が超新星爆発の物理を理解するために新たなカラン/トロロ超新星サーベイを始めました。彼らのもう一つの動機は、発見された超新星をハッブル定数決定のための標準光源として利用することでした。このサーベイの結果は、最終的にダーク・エネルギーの発見につながる観測活動への重要な導入でした。

岡村 私は後に「フィリップス関係^{*2}」として知られるようになったIa型超新星の最大光度時の等級(M_{\max})と減光率(Δm_{15})の間の直線関係の発見を報告したフィリップスの論文を読んだ時のことを、まだ非常にはっきりと覚えています。明るい超新星ほどゆっくり減光する。この関係はIa型超新星のピーク時の絶対等級を校正し、その分散を大きく低減させ、その後のIa型超新星による宇宙論研究の鍵となりました。

ウィリアムズ その通りです。彼は1993年に私が宇宙望遠鏡科学研究所(Space Telescope Science Institute, STScI)へ行くためにセロ・トロロを離れようとしていた丁度その時にその論文を発表しました。私は、マークの論文は宇宙の距離尺度に対して強い影響力を持つ業績であると考えています。

岡村 そうですね。他の方法を使うことも調べられてはいましたが、彼の論文がIa型超新星を精密な標準光源として用いるようになった(当時から見て)将来の動向の基礎を築いたと思います。

ウィリアムズ あれがなかったら宇宙の加速膨張も分かっていなかったろうと

^{*2} 本号の裏表紙を参照。

思います。

岡村 その通りですね。CTIOにおける超新星の研究が最終的に宇宙の加速膨張の発見につながりました。

ウィリアムズ あれがなかったらハッブル定数は今知られているよりずっと不定性が大きく、恐らく宇宙の加速膨張の証拠はまだ得られていなかったろうと思います。私も本当に重要な成果であると思います。それはマークが手がけたものですが、その始まりはIa型とはタイプの異なる重力崩壊型超新星(II型)の1987Aを理解しようとしたことにあります。それが本当にマークに超新星への興味を持たせ、異なる種類の超新星の明るさ最大の時の光度を正確に理解しようと試みることになったのです。

岡村 では、話題をハッブル宇宙望遠鏡に変えましょうか。

鈴木 その前に一つ質問してよろしいでしょうか。別のパークレー・チームも超新星のデータを集めていました。CTIOではいろいろなタイプの超新星についてのデータを集めていたのですか。

ウィリアムズ どこまで正しく知っているかは分かりませんが、ソール・パールムッターとボブ・カーシュナーの両方が超新星のデータを集めるためにCTIOの望遠鏡を使っていました。しかし、超新星爆発の物理を理解しようとして、主としてII型超新星に興味を持っていたのはカーシュナーです。私の記憶では、当時ソールはもっと広く、距離の測定のために超新星を使うことに興味がありました。彼が早い時期からIa型超新星に興味を持っていたのはそのためだと確信しています。そうは言っても、後にソールが結成して率いたSupernova Cosmology Projectチームは、超新星1987Aの時点ではまだ結成されてはいませんでした。

ですから、確かに超新星の研究に興味を持つ人たちがパークレーにいましたが、後に減速パラメータ^{*3}を決定し

^{*3} 宇宙の膨張が内部にある物質の重力のために減速してゆく度合いを表す数値。

ようとするに一般的な興味を持たれるようになるよりも前のことでした。1987Aがより多くの超新星を発見することに対する興味を引き起こし、その結果、超新星の多くはIa型であることが理解されるようになったと言えると思います。人々がIa型超新星とその標準光源、つまり距離の物差しとしての利用にもっと注意を集中し始めたのがその頃です。

鈴木 では、明るさの変化を表す光度曲線を集めるという着想は1987Aによるものですか？

新星の分光学的研究を進める機会を与えてくれた超新星1987A

ウィリアムズ まさに1987Aが光度曲線を得ようという動機を与えました。この点については一連の出来事がありますが、このテーマを前進させたのは1987Aです。実際、私自身、新星の分光学的研究に長期的な興味を持ち始めたのは1987Aによるものです。

鈴木 その関係は興味深いですね。

ウィリアムズ 1987Aの爆発から引き続き、そのスペクトルを解釈しようとして私は自分の時間のほとんどを費やしていました。私たちが1987Aを観測できるのは毎晩5時間程度のため、私は1987Aが地球上で観測のために理想的な位置にいない夜間の数時間を使って望遠鏡で何をしようかと問いました。「新星に関するデータを得ることにしようではないか。」と言ったところCTIOの研究スタッフの何人かが賛成し、新しいプログラムが始まりました。それが新星のスペクトルの分類について明確にした1990年の論文につながったのです。

明るくて肉眼で見える新星はほとんどアマチュア天文家が発見します。発見の報告後、私たちが非常に急速に変化するスペクトルを取ります。私は新星の物理に魅せられてきました。さらに、他の人は誰もが超新星を研究していることにも魅力を感じ始めました。数人で新星を調べれば意義のある成果が得られると考え、ほとんど誰も興味

を示さない新星のデータを取ったのです。私たちは膨大な数の新星のスペクトルを集め、それをフルに使いました。

私は研究をするためにこんなに多くの新星のスペクトルがあることをうれしく思いました。スペクトルが関係すると、私はある意味で何でもきちんとしておきたがる「仕切りたがり屋」であることを認めます。私はデータを解釈するため、マリオ・ハムイ、ステイヴ・ヒースコート、マーク・フィリップスと共に随分働きました。そして1990年に新星の分類システムを明らかにした主要論文を発表することに成功しました。私たちは約15個の新星についてのデータを何年間にも渡って取り続け、進化の枠組みを提唱しました。この新星のプログラムはCTIOが大々的に行っていた超新星1987Aの観測業務に付随したものでしたから、1987Aがなかったら決してできなかったでしょう。

岡村 新星ですか! 新星のスペクトルの多様性と時間発展は有能な分光の専門家を魅了したに違いないですね。あなたにとっては1987Aと共に別の世界が開けましたね。さて、(鈴木) 尚さんがいるうちに話題をハッブル宇宙望遠鏡(HST)に進めましょう。彼がSCP(Supernova Cosmology Project)チームのメンバーであることはご存知のはずです。それで、彼はチームの一人として、あなたにHSTを用いた超新星観測について伺いたいことがあるそうです。

ウィリアムズ 想像できますよ。2つのチームが距離の指標としてのIa型超新星の研究を遂行した事実については強い思いがあることを承知しています。

鈴木 そう思います。

ハッブル望遠鏡を用いた超新星観測

ウィリアムズ では、その話をしましょう。どのように、そしてなぜそういうことになったのかに光を当てるため、幾つかの事実を提示したいと思います。



鈴木 SCPチームの側では1997年9月27日にグループミーティングでガスン・ゴールドハーバーが、「我々のデータが支持する宇宙は $\Omega_m = 0.3$ かつ $\Omega_\Lambda = 0.7$ である（加速膨張する宇宙）」と報告しました。

ウィリアムズ それはSCPチームのミーティングでのことでしたか？論文として出版しなければ研究成果としてのクレジットは得られません。

鈴木 その1か月前に京都でIAUの総会が開催されました。そのハイライトの一つはウェンディ・フリードマンが率いるHST Key Projectの結果でした。彼女は、最新のハッブル定数の測定結果は、アインシュタイン・ドジッター宇宙、すなわち物質優勢で空間が平坦な加速膨張しない宇宙の年齢と矛盾するという報告をしました。

ウィリアムズ 面白いのはウェンディがどちらの超新星観測チームのメンバーでもなかったことです。

鈴木 そうですね。観測と整合性のとれた宇宙モデルは宇宙項 Λ が存在する、いわゆるラムダ宇宙でした。SCPチームは我々が住んでいる宇宙は加速膨張宇宙でなければならないと結論しました。この結果は1998年1月にAAS（アメリカ天文学会）で公表されました。

岡村 私はSCPチームの結果については、発表された論文からだけフォロー

していました。ある時点で彼らの論文の結論が突然変わったように見えたので、ちょっと混乱したことを覚えています。

鈴木 ポブさん、あなたがラムダ宇宙、あるいは加速膨張宇宙を信じ始めたのはいつのことですか？

ウィリアムズ それより後です。というのは、超新星の最大光度に対するダストによる吸収の効果がはっきりしていないことを懸念したからです。

それでは、距離と減速パラメータの測定にIa型超新星を使うということに2つのチームが関わりあうようになったことについて、私の考えと事の起こりをお話ししましょう。それは加速膨張の可能性が議論されるようになった時よりずっと前のことです。ハッブル定数を測定したフリードマンやムールド達のHST Key Projectの研究を、特に減速パラメータに焦点を合わせて、進展させたいと希望する2つのチームが結成されました。ハッブル宇宙望遠鏡の球面収差を補正する装置を設置するため1993年に行われた最初のHSTのサービスミッションの後、背景銀河光差し引き^{*4}の精度が上がったため、遠方の超新星の光度をより正確に観測できるようになりました。また、マーク・フィリップスが先ほど話題に出たIa型超新星のピーク時の光度の決定を改良した重要な成果を発表したのも

1993年でした。Hi-zチームとSCPチームが結成されたのはこの数年後で、Hi-zチームにはブライアン・シュミット、ニック・サンツェフ、マーク・フィリップス、ポブ・カーシュナー、アダム・リースが参加し、SCPチームにはソール・パールムッター、ニーノ・バナジーア、それに加えて主としてアメリカ西海岸やローレンス・パークレー研究所からのメンバーが参加しました。彼らは超新星を研究するために地上の望遠鏡とHSTを利用する系統的な観測プログラムを開始しました。

鈴木 初期の段階ですね。

岡村 非常に早い時期です。

ウィリアムズ そうです。4ヶ月ごとに出版されたSTScIニューズレターに立ち戻ってみればTAC（Telescope Allocation Committee、望遠鏡観測時間割り当て委員会）がその年に採択した全ての観測プログラムのリストを見ることができます。私は自分のコンピューターにこの情報を持っています。というのは、何年か前にある本について私に注意を促した人がいたからです。その本の題名は何だったか—A Four …

鈴木 *The 4 Percent Universe (4%の宇宙)*^{*5}です。

ウィリアムズ そう、「4%の宇宙」です。私の同僚が、本に書かれている事実は幾つか正確ではないと思うと言い、その本で取り上げている詳細についての私の記憶を聞きに来たのです。その結果、私はダークエネルギーの発見につながった出来事に私がどのように関わったのか、自分の記憶を書き留めました。これからお話しするのは歴史的な記録の一部となるべき情報です。全部ではありませんが、その大部分は公表されている情報です。

1994年から1996年にかけてのHST

^{*4} 超新星は銀河中で発生するので、その明るさを正確に測るには、背景として重なっている銀河(母銀河という)の光を差し引かなければならない。
^{*5} 4%の宇宙—宇宙の96%を支配する“見えない物質”と“見えないエネルギー”の正体に迫る、リチャード・パネク(Richard Panek) [著]、谷口義明 [訳]、ソフトバンククリエイティブ、2011年8月。

の観測サイクル4と5では超新星の研究を行ったプログラムがいくつかありました。ジャーミー・ムールドとウェンディ・フリードマンが Hubble constant Key Project を率い、ポブ・カーシュナーが SINS (Supernovae Intensive Studies) Survey を率いていました。カーシュナーらの興味を中心は超新星を距離の指標として用いることよりは、II型超新星と超新星爆発の本質を理解することにあります。宇宙望遠鏡科学研究所の所長はTACの審査によって勧告されたこれらのプログラムを最終的に認可する責任を負っているため、私はこれらに常に強い関心を持つように努めました。このTACの審査とは別に、私には、必ずしもTACによる審査の中で考慮されない観測から科学的に重要な結果が得られる可能性があるかという判断をし、それに基づいてHSTによる観測時間の10%までを所長裁量時間として配分する責任もありました。

1996年1月にサン・アントニオで開催されたアメリカ天文学会でソール・パールムッターが私に話しかけてきました。所長裁量時間を得るために提出したいと考えているプロポーザルについて議論するためでした。それは、距離の尺度と減速パラメータを決定するためにIa型超新星を使うという研究でした。彼との会話から私はその目標と方法が、ソールと共同代表研究者がサイクル6のTACに提出したが審査で実施が認められなかったプロポーザルと似ていることに気がつきましたが、プロポーザル提出を勧めました。実際、ソールは2月の初めに所長裁量時間へのプロポーザルを提出し、私は受け取ったことを通知しました。

毎年のTACのミーティングにはHSTの観測可能時間をはるかに超えて応募が殺到するため、終わった後には観測プロポーザルのうちかなりの割合で採択されなかったものが残ります。これらの不採択のプロポーザルの多くが直ちに所長裁量時間枠を申し込むことが普通のやり方になっていました。ソー

ルのプロポーザルはそのうちの一つでした。この時期に私はTACで不採択になったプロポーザルは所長裁量時間を与えないということを既に自分の慣例として確立していました。それよりも、私は所長裁量時間を新たな計画や新たな発見、それから緊急を要する観測のために確保しておくことの方を好みました。パールムッターらの所長裁量時間へのプロポーザルは実に面白いと思いましたが、TACの審査の評価意見も併せて読んだ後、私は彼のプロポーザルを直ちには採択しないと決め、この件を頭の中で保留しておくことにしました。

数か月後、1996年の5月に状況が変わりました。毎年5月に開催されるSTScIシンポジウムでのことですが、HSTを用いてもっと大々的に超新星観測を行うことに私も他の人たちもこれまで以上に興味を持ちはじめたのです。そのシンポジウムの主題は「銀河系外の距離尺度」で、ウェンディ・フリードマン、グスタフ・タマン、ポブ・カーシュナー、アビ・サハ、マーク・ポストマン、その他の人々が、測定精度が上がったハッブル定数 H_0 の値の報告と、HSTによる観測が減速パラメータを明らかにできる可能性、その結果宇宙の平均密度を決定できるようになるという講演を行いました。宇宙論の研究にHSTをユニークな手段として用いることに対して熱気が燃え上がりました。私は、サン・アントニオでソールが私に話した時に彼の熱意を認識しなかったのは先見の明がなかったと認めざるを得ません。

シンポジウムの終了までに、私は単にハッブル定数 H_0 をさらに精度よく決めるだけでなく、ソールが不採択とされたサイクル6および所長裁量時間へのプロポーザルで既に主張していたことですが、減速定数 q_0 も決めるためにHSTがかなりの努力をするべきであると確信するようになりました。ところが、サイクル6のHST TACは既に1995年11月に開かれ、1996年7月から1997年6月の期間のHSTの観測につ

いて勧告を終えていました。採択された観測の中で宇宙論的な距離の尺度に専念するプログラムはただ一つ、ムールドが責任者を務める、多数の近傍銀河中のセファイド型変光星を較正するものでした。シンポジウムでの興奮を考えれば、それ以外のプログラムがないことは残念でした。

サイクル6のHST TACでは、ポブ・カーシュナーとSINSチームの超新星の観測プロポーザルも採択されたことは言うおくべきですね。しかし、その主目的は異なる種類の超新星爆発の物理を理解する手段として、数個の超新星のスペクトルを特に紫外領域で測定することでした。是非理解してほしいのですが、これはかなりの所長裁量時間を割り当てて実施した大規模なHDF (Hubble Deep Field、ハッブル深宇宙) 観測プログラムが丁度完結して結果を公表した時——大成功を収めたのですが——それから、まだ余り時間が経っていない頃のことだったので。そのため最初私が直観的に思ったのは、宇宙論的距離の尺度とその時間発展(宇宙膨張の歴史)はHSTで挑戦することができる同じくらい重要なトピックであり、直ちに進めるためには所長裁量時間を使う必要があるということでした。

この時、パールムッターの超新星観測チームは既に3か月前に私に観測時間を要求する交渉を始めていましたが、私は所長裁量時間を彼らだけに与えるのではなく、この問題に興味を持っていたもう一つの有力なチーム、ブライアン・シュミット、ニック・サンツェフ、マーク・フィリップス、ポブ・カーシュナー、その他のメンバーで構成されるHi-zチームにも与えることに決めました。銀河の後退速度と距離の関係を改良する目的で最初に所長裁量時間を要求したチーム、すなわちソールとSCPに優先権を与えない、という決定は、北カリフォルニアでは大きな衝撃と不満を引き起こすことになり、その余波は今日までも残っています。自分たちは他のチームと競争せず

にIa型超新星を使って距離の尺度の問題を調べる資格があったと彼らは信じています。私は彼らの考えを理解し尊重するものではありませんが、私にとっては、サイクル6のTACがソールのプロポーザルを不採択にしたことと、プロポーザルに対して述べた批判的な意見が、 H_0 と q_0 の値のもっと正確な測定に取り組むにはもう一つのチームも加わることが適切であるという考えに至る上で重要な役割を果たしたのです。

鈴木 それでは物議をかもした競争を引き起こしたのはあなたなのですね。

遠方のIa型超新星観測のため2つのチームに所長裁量時間を与える

ウィリアムズ ええ、そうです。それに、そうすることについて研究所で私の親しい同僚だったニーノ・パナジーアに励まされました。彼はソール・パールムッターのSCPチームのメンバーで、5月のシンポジウムでは彼と話をしました。サイクル6のTACの審査（その勧告を私は既に承認していました）の結果、HSTでは少なくとも1年半は距離の尺度とその時間発展を決めるために遠方の銀河を観測する予定はない状況でした。それが動機となって、私は所長としてこの問題を進展させるため所長裁量時間を使おうと考えました。そして、その重要性を考慮して、この課題に取り組むために必要な経験を持っているいくつかのグループを関与させることにしました。私は所長裁量時間を2つの独立なグループに与えることを一方的に決めました。もしサイクル6のTACが特定のグループだけにHSTの観測時間を与える勧告をしていたら、私はそういう決定はしなかったでしょう。

鈴木 HSTでの観測提案を出すように彼らに頼みましたか？

ウィリアムズ 所長裁量時間を与えたいと伝えた後で、私はまさにそのように頼みました。それは、こんな具合でした。5月のシンポジウムにはソール・パールムッター、アラン・サンデー、

ブライアン・シュミット、アダム・リースは欠席でした。しかしHi-zチームのマーク・フィリップスとニック・サンツェフ、SCPチームのニーノ・パナジーアは出席していました。マークとニックとはCTIOで、ニーノとはSTScIで同僚でしたので、私は彼らとは非常に親しい間柄なのです。5月のシンポジウムの最後に、距離の尺度とその時間発展について進展を図るため、どのようにHSTを使うかについて議論できるように、私は彼ら3人とHi-zチームのポプ・カーシュナーを招き所長室で会議を行う手配をしました。議論の中で、私はとりあえずSCPチームとHi-zチームの両方に25-30周回^{*6}程度の適度な所長裁量時間を割り当てたいと思っていることを示唆しました。この意味で、「4%の宇宙」^{*5}の中で著者のパネクが、 H_0 の時間依存性を調べる口火を切ったこの会議にHi-zチームのメンバーだけが出席していたと主張していることは正しくありません。事実、この会議でSCPチームのメンバーのパナジーアは両方のグループに所長裁量時間を当てるアイデアを強く支持しました。

鈴木 現在の標準と比べると、どちらかと言えば少ない観測時間ですね。

ウィリアムズ その通り、比較的少ない時間です。これは宇宙論的な超新星の観測プログラムを開始するためのものでした。私が驚いたことには、カーシュナーはその問題にHSTの観測時間を使うことに余り興味を示さなかったのです。彼は、母銀河の背景光を精度よく差し引くためには、彼らがやっていた地上からの観測で十分だろうと感じていたのです。

鈴木 本当ですか？

ウィリアムズ 本当です。私のオフィスでポプは力説しました。「銀河光の差し引きにハッブル宇宙望遠鏡は必要ないね。我々は十分良いデータを持っている。」私は同意しませんでした。「いいかね、これは今使うことのできる最高の装置なのだ。もしこれが重要なサイエンスであるなら、ハッブルをお使

いなさい。」彼らは数日間議論した後考えを変え、以前サイクル6のTACで採択されたSINSプログラムとは別に、 q_0 を決めるためHSTの所長裁量時間の提供を受け入れる価値について同意しました。先に述べた会議のすぐ後、地上の望遠鏡によって新しい超新星を発見する重要な探索方法を開拓したのはソールであることから、同じ所長裁量時間の提供をソールのSCPチームに申し出ました。Hi-zチーム同様、ソールも私が両方のチームに申し出た28周回の所長裁量時間を喜んで受け入れました。そして、やがて両チームとも正式に私の承認を求めるプロポーザルを提出しました。

岡村 その話はこれまで聞いたことがありません。

ウィリアムズ 今回、初めてこの情報を明かしました。

岡村、鈴木 誰も知らないのですね。

ウィリアムズ その通りです。私は、距離の尺度についてはソール達が努力してきたのに、それを別のグループと一緒にされた事実について、北カリフォルニアでは幾分悪感情があることを知っていますが、私はそういう風には考えません。SCPメンバーのニーノ・パナジーアでさえ、この問題には独立な2つのチームが取り組むことが賢明であろうと賛成したのです。仮にサイクル6のTACで、審査の結果その目標を掲げたチームに認められたプログラムがあったら、そのサイクルの間に私が別のチームに所長裁量時間を与えはしなかったでしょう。恐らく別のグループには将来のサイクルを目指してこの問題に興味を持つように促したのではないのでしょうか。しかし、そういう状況にはなりませんでした。

鈴木 あなたの先見の明には感銘を受けました。ノーベル物理学賞委員会の委員長が、彼らが加速膨張宇宙を信じたのは2つのチームがあったためであると言ったからです。過去において、

^{*6} ハッブル宇宙望遠鏡は約100分で地球を1周する。これを1単位として観測時間が割り当てられる。

ノーベル賞委員会のメンバーは報告された結果を確認するため自ら解析を行い、実験が正しいかチェックしました。しかし、加速膨張宇宙に対しては2つの独立なチームが同じ結果を得たわけですから、そうする必要はありませんでした。

ウィリアムズ どのようにして2つの独立なダークエネルギーチーム^{*7}がハッブル宇宙望遠鏡での観測に乗り出したのかという物語は興味深いものです。ですからそれは誰もが知る知識であることがふさわしいと思います。SCPチームとHi-zチームの間に競争はありましたが、距離の尺度について研究していた全期間にわたり、両チームは専門家としての良好な関係にあったことを強調しておきます。

岡村 それがあなたの精神で、ハッブル深宇宙プロジェクトの実施を決めた時に示されたものと同じ精神ですね。

ウィリアムズ その通りです。データを公開することも含め、同じ哲学です。

岡村 では、ハッブル深宇宙に話題を変えましょう。今やそれが歴史に残る記念碑的な事業であったことに異議を唱える者はいません。しかし、あなたの先週の講演のスライドを見て、初めはそうではなかったと知りました。その話も非常に興味深いのではないかと思います。

鈴木 その前に、まずダークエネルギーについての話を締めくくらせてください。あなたが宇宙の加速膨張を信じ始めたのはいつのことでしたか？ 私自身は、SCPチームとHi-zチームの論文が公表された後でさえ信じませんでした。

ウィリアムズ WMAPが宇宙マイクロ波背景放射のピークを見出した時です。私が本当に信じたのは、その時です。

鈴木 分かりました。

ウィリアムズ 私が信じ始めるについてはBOOMERanGの観測結果が大きかったのですが、それだけではダストの吸収の影響がないか心配しました。

岡村 私も2003年に「WMAPの1年目の観測」の論文を読んだ後で信じ始め



ました。

鈴木 グループ以外の他の人たちにとっては一つの瞬間ではなく、長い時間かけて「ああ、なるほど」ということだったのでしょ。私はもうすぐ失礼しますが、その前に一つ手短かに質問があります。今年11月に私たちはハイパー・シュプリーム・カムの超新星探索を試行します。すばる望遠鏡に搭載した新しい広視野カメラであるハイパー・シュプリーム・カムから素晴らしい超新星を見つけ始めるのです。あなたならハイパー・シュプリーム・カムあるいはすばる望遠鏡で何をされますか？

ウィリアムズ 私ならいろいろな宇宙モデルの間で大きな違いが現れる赤方偏移 $z=1-2$ ^{*8}の領域で対象となる銀河をもっと探索するでしょう。また、そのスペクトルを基に対象銀河の物理的性質がどのように違うか理解する研究をしなければなりません。私はそういったことに焦点を合わせるでしょう。

岡村 なるほど。分光の専門家はスペクトルを調べ続けるのですね！ハイパー・シュプリーム・カムはあなたのために大きな赤方偏移を持つ良い対象銀河を見出すことに非常に役立つはずですよ。

鈴木 見つけた標的を分光するのにKeck, Gemini, VLT、すばる、JWSTといった望遠鏡が必要になるでしょう。

ハッブル深宇宙

岡村 では話題を変えましょう。観測的宇宙論や銀河はあなた的主な研究分野ではありません。どのようにしてハッブル深宇宙（Hubble Deep Field, HDF）プロジェクトを着想されたのですか？

ウィリアムズ 私は少年の頃から天文学に興味を持っていました。自転車で新聞配達したのが最初の仕事でした。新聞配達で初めて25ドルを得た時、私は小さな屈折望遠鏡を買ったのです。そうして最初にしたことの一つですが、暗い夜に外に出てどんなに微かな光の天体が見えるか、もしかしたら銀河が見えるのではないかと、その望遠鏡で覗いてみました。勿論、ロサンジェルス郊外の2インチの小さな望遠鏡では大したものが見えませんでした。天文学者が望遠鏡を使う時にやってみようという一つのことが、どれだけ遠い天体を検出できるか試したいということは事実です。50年後、私はもっと大きな望遠鏡を手に入れました。そのハッブル宇宙望遠鏡で最初にしなければならないと考えたことの一つは、どれだけ遠くの宇宙が見えるか試すことでし

^{*7} 宇宙膨張を加速させている原因はまだわかっていないにもかかわらず、ダークエネルギーという名前が付けられている。

^{*8} 赤方偏移 z は遠方の天体の距離を表すためにも用いられる。

た。勿論、宇宙論研究で起きていたブレークスルーを考えれば、単にそれだけではなく、本当にもっと本質的な理由がありました。

岡村 なるほど、そんなに早くから天文学に興味を持ち始めたのですか。25ドルの2インチ望遠鏡がHDFの母だったわけですね。

ウィリアムズ 当時、それは私の研究の主要テーマではなかったのですが、私達にはこの分野の最高の装置があるわけですから、HSTが高赤方偏移の銀河の検出にどれほど優れているか決めようと試みるべきであると思いました。HSTが打ち上げられた1990年4月にジョン・バコールとその同僚のラジャ・グハタクルタ、ドン・シュナイダーは、HSTで期待される発見について総合的な論文^{*9}をサイエンス誌に書きました。その論文で彼らが予言したことの一つは、HSTが「恐らく新しい種族の銀河を明らかにすることはしない」ということでした。彼らの論拠は確固たるものでした。計算に基づいたもので、遠方の天体の表面輝度が $1/(\text{距離})^2$ よりも速く $1/(1+z)^4$ で減衰するという宇宙論的效果によるものであり、理にかなっていました。通常の距離の2乗の効果、 $1/(\text{距離})^2$ に加えて波長と時間の伸びの効果があり、銀河の表面輝度は極めて速く $1/(\text{距離})^4$ で減衰する関係があります。そこでバコール達は当然のことながらHSTによる高赤方偏移での重要な発見は難しいであろうと予言したのです。

岡村 当時、天文学の世界ではかなり多くの人たちが同じ感覚を持っていたかもしれません。HDFの直前に発表した1995年の論文^{*10}でチャック・スタイデルはこう書いています。「 $z>3$ での銀河の探索は、それに注がれた努力を考えればこれまでのところ大失敗に終わってきた。」

ウィリアムズ マーク・ディキンソンがHSTのサイクル3に $z=1.2$ のリッチな（空間密度の高い）銀河団3C 324を観測するプロポーザルを提出して認められた時に、それが完全に変わったの

です。彼は博士号を取得したばかりでまだ常勤の職についておらず、STScIで博士研究員をしていました。彼は1994年に32周回の観測時間を与えられましたが、その当時HSTで実施された観測では群を抜いて長いものでした。銀河団3C 324の中心には強力な電波源が存在しますが、地上の望遠鏡で撮った写真では解像度が悪くはっきり見えませんでした。それとは対照的に、マークが一つの波長帯域でHSTによって得た写真は見事なものでした。1ダースもの銀河の詳細がはっきりと見え、そのほとんどが非常に不規則な形態を示していました。遠方の銀河を撮像するHSTの能力を説得力のある1枚の写真が証明して見せたのです。

私たちは研究所で毎朝コーヒーを飲みながら研究の話をしていました。マークが初めてその写真を私たちに示してから数週間は、それが私たちの中心的話題でした。それは私にとって非常に刺激的であり、HSTによって遠方の銀河の研究を真剣に行うべきであると確信させてくれました。遠方銀河の研究を速やかに前進させるため、またそれらの銀河の観測とデータの記録・保管の促進に研究所が役割を果たすための最も簡単な方法は、所長裁量時間を使うことであることは明らかでした。

最初私がこうするべきであると考えたのは、天文学者に対してプロポーザルを募り、エキスパートがどのように応えるか見てみようということでした。私は銀河の研究に豊富な経験を持つサンディ・フェーバー、アラン・ドレスラー、サイモン・リリー、ケン・ケラーマン、リチャード・エリス、レン・カウイー、フレーザー・オーウェン、その他の研究者からなる諮問委員会を、彼らが所長裁量時間を与えられたら何をするか聞きくために招集しました。私は遠方の銀河の研究にほとんどの所長裁量時間を与える覚悟でいました。私は各委員に、それぞれ15分で遠方の銀河を研究するためにHSTを使う最善の方法は何かを私に示唆する

ように依頼しました。

委員会が取り上げた問題は次のようなものでした。どんなフィルターを使うべきか？ 既知の天体の観測を選ぶべきか未知の天体の探査を選ぶべきか？ 換言すると、撮影された画像の中に銀河が見つかることを保証するため既知の銀河団を観測するべきか、あるいは宇宙ではもっと典型的であるが恐らくほとんどが空っぽと思われる天域（ブランクフィールド^{*11}）を観測するべきか？ 何周回の観測時間を使うべきか？ データはどうするのか、公表するのか？ 所長裁量時間であることから、私は研究責任者と共同研究者だけがデータを利用できるのは通常1年であるとする非公開期間のルールを適用除外とする権限を有していました。

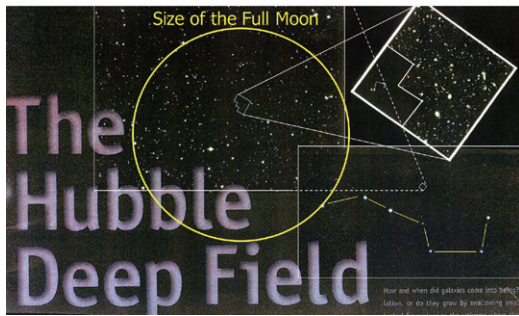
私は上述の問題全てに委員会のコンセンサスが得られることを期待していましたが、そうはなりません。一日中この問題について議論を戦わせた末、主な問題についてはほとんど一致点が見出せませんでした。委員の半数は、少なくとも何かを得られると分かっている既知の天体の観測を選ぶべきであると考えました。残りの半数は「いや、既知の天体は特殊な場合だから、選択効果のない観測、つまりブランクフィールドを選ぶことにしよう」と言いました。結局、はっきりした方向は何も決まりませんでした。

翌日、私は遠方銀河の研究に興味を持っていた若手の研究所員、ハリー・ファーガソン、マーク・ディキンソン、アンディ・フラッチャー、マウロ・ジャヴァリスコ、マーク・ポストマンと会い、何をすべきか議論しました。私たちはこの状況を何時間も議論し、「我々だけでも、広く天文学者コミュニティのためにプログラムを念入りに作り上げて実施することができ

^{*9} J.N. Bahcall, P. Guhathakurta, and D.P. Schneider, *Science* **248** (1990) 178.

^{*10} C.C. Steidel, M. Pettini, and D. Hamilton, *Astronomical Journal* **110** (1995) 2519.

^{*11} 銀河系の星は別として、これまでに知られている明るい銀河がなく、短時間露光の画像では何も天体がないように見える天域。



ハッブルディープフィールド(HDF)。北斗七星のそばのHDFを含む約30分角の天域(右下)を撮影した写真(パロマー・スカイサーベイ:真中上)に、満月の大きさとHDFの場所が示されている。右上はHDFプロジェクトで得られた画像。背景はNASAが作成したHDFのポスターの一部。(岡村定矩氏提供)

る」という認識に至りました。加えて、我々はHSTのデータを誰よりも良く理解していたので、データを処理して一般に公開することができます。従って私はこのグループで大掛かりなHSTのプログラムに着手することを決定しました。撮像するのは一つの視野とし、ブランクフィールドで未知の天体を探索することにしよう。感度を多少損するが、星質量(銀河中にある星の全質量)に関する基礎的な情報を得ることができるのでいくつかの波長帯域を使うことにしよう。これにはアウトリーチの目的でカラー写真を作れるという利点もありました。HSTのように過去にトラブルに見舞われた高価な望遠鏡にとって、アウトリーチは決して小さな問題ではありません。そして、我々はデータを公表し、完全に処理したデータセットも提供しよう。

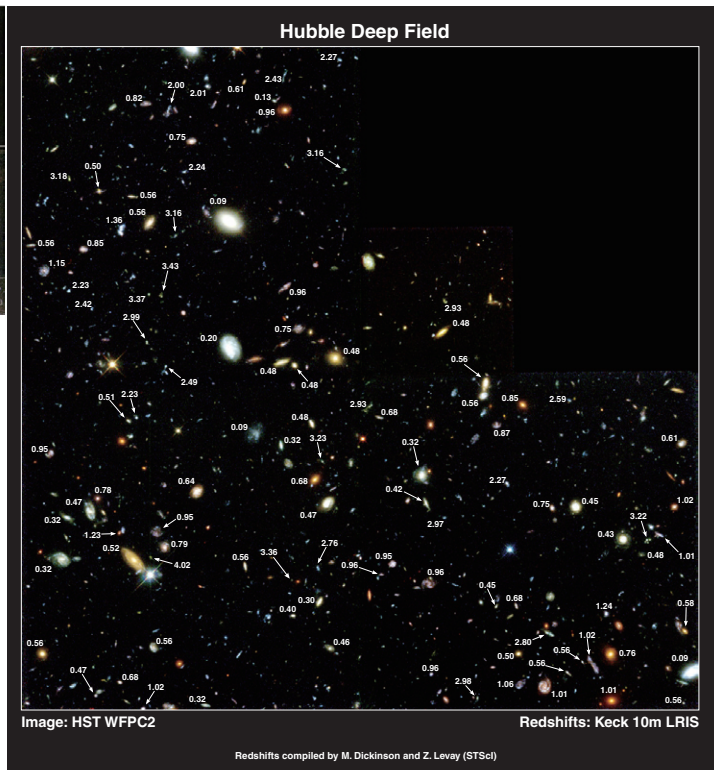
「ハッブル深宇宙(HDF)」と名付けたプログラムのための観測周回数を決定するため、私たちは計算をしました。その結果、撮影された暗い天体の信号対雑音比が150周回、すなわち10日間連続の露光時間を超えると、露光時間に比例して向上せず、露光時間の平方根に比例する領域に入って、観測効率が下がることが分かりました。そこで私たちはHSTのメインカメラで天球上の一ヶ所を10日間連続で深く撮影することに決めました。

私たちは早い段階から、撮影した銀河の赤方偏移、すなわち距離を決めるにはスペクトルを得ることが重要であると気が付いていました。従って私たちは世界で唯一、本当の巨大望遠鏡として稼働を開始したばかりのケック望遠鏡に提供するため、そのHDFの視野を2周回分撮影しました。そしてケックの天文学者に、その2周回分の写真の視野の中で最も明るく映っている複数の銀河のスペクトルを取り始めるように依頼しました。幸い、ケック望遠鏡を使用できる研究機構のメンバーのうち、カリフォルニア大学、ハワイ大学、カリフォルニア工科大学の3研究機関の天文学者が最も明るい天体のスペクトルを取ることに同意してくれました。これは私たちが実際にHSTでHDFの撮像を開始する9か月前のことでした。1995年12月の10日間にわたるHDFの観測活動の時までに、すでに

彼らはHDFの銀河のうち50個、そしてさらに2年後には最終的に130個のスペクトルをとり、彼ら自身のウェブサイトに掲載しました。

岡村 興味深いお話です。HDFの観測活動の前にケック望遠鏡でスペクトルを取るという協定が結ばれていたのですか。

ウィリアムズ チャック・スタイデル、ジュディ・コーエン、ガス・イリングワース、レン・カウイー、デイヴィッド・サンダースの全員がケック望遠鏡で最も明るいHDF銀河のスペクトルを取ることに貢献してくれました。そして、その結果を直ちに公開してくれました。彼らの偉大な功績です。彼らはスペクトルの情報を独占しておく当然の権利を持っていましたが、そうはしませんでした。このスペクトルは、それがなかったらただの美しい写真に過ぎなかったHDFの結果に大きな価値



HDFの中でケック望遠鏡で赤方偏移が測られた125個の銀河。数字は赤方偏移 z の値。(© M. Dickinson & Z. Levay)

を与えてくれました。

岡村 なるほど、それは素晴らしい!

ウィリアムズ ケック望遠鏡のスペクトルはHDFが見つけた2700の銀河全ての赤方偏移を測光から決定する基本的なデータセットとして用いられました。私はこれこそハッブル深宇宙プロジェクトから得られた最も重要な科学的成果であると信じています。現在ではスペクトルがなくても、どんな銀河の赤方偏移も5～6個の波長帯域で撮像した写真による測光から決定でき、それにより銀河までの距離を決定できます。赤方偏移の値の縮退を解くために、一つの波長帯域は赤外線領域に取ることが特に役立ちます。現在、6あるいは7帯域で撮影したイメージから測定される銀河の赤方偏移の値は、その分散が $\Delta z \sim 0.06$ と、見事なほど小さく精度の良いものが得られます。測光学的赤方偏移は宇宙全体を研究し、解釈する途を開きました。

岡村 おっしゃる通りだと思います。測光学的赤方偏移は最初1960年代に提案され、1980年代に幾つか実際に応用されました。しかし、時に「貧者の分光観測法」と呼ばれるこの方法を、遠方の銀河の研究に不可欠で決定的に重要な意味を持つ方法としたのはHDFです。ところで150周回もの露出時間は当時のHSTにとって前例のない大きなものでした。恐らくHDFの構想を批判した人達は、このような長時間の露出は想像していなかったのでしょう。

一流の天文学者に批判されたハッブル深宇宙の構想

ウィリアムズ その通りです。バコール、グハククルタ、シュナイダーがサイエンス誌に書いた論文*9をご覧になれば、彼らは長時間の露出を1～2周回と考えていました。私の考えでは所長裁量時間は、リスクを伴うが成功すれば大きな価値を持つかもしれないような観測を可能とする、特別に役に立つ方法なのです。これはTAC委員会が、リスクを最小にしようとし、そのため成果が不明確であると主張して審査で

プロポーザルを低く評価する傾向とは対照的です。

私が未知の天体を探査するための撮像に150周回のHDF観測活動を行うと初めて発表した時、天文学研究者の間では支持だけではなく批判もありました。なぜそんなに多くの貴重な観測時間を、銀河も含まず何も興味のあるものがないかもしれない写真を撮るために使うのか? それだけの周回数があれば、TACで採択された他のプログラムで新しい結果を期待できるものをもっと支援することができるであろうに。HSTの偉大な提案者である二人、ジョン・バコールとライマン・スピッツァーは共にHDFの構想に大反対でした。ジョンは我々が多くの銀河を見つけることを疑問視する検討を既に行っていました。さらに加えて、HDFは多額の経費を要した最初のHSTのサービスミッションの後、すぐに実施されようとしていたのです。当時、歴史上最も高価な30億ドルの科学プロジェクトであったハッブル宇宙望遠鏡に対する一般大衆のイメージは、球面収差という大失敗のために恐ろしくネガティブでした。HSTとNASA（アメリカ航空宇宙局）は惨憺たる評判からやっと信用を回復しつつあるところでした。

ジョンは私に懸念を伝えるため、プリンストンから私の研究所を2回訪れました。彼は私にHDFを実行しないように強く主張しました。私たちは非常に専門的な会話を交わしました。ジョンと話すのはいつも楽しみなのですが、彼にはもっともな理由があってこう言いました。「ボブ、今は時期が悪い。それに取りかかるのは正しいやり方ではない。周回数が余りに多すぎる。こういったことを試みるのはまだ待つべきだ。」私は丁寧に反論しました。「いや、これは本当に行うべきことであると考えている。もし失敗したら私は全責任をとり辞職する覚悟だ。」ライマン・スピッツァーもHDFのことを心配していました。彼はジョンのようにあからさまに反対を述べたりしませんでした。彼らがこの件を一緒

に議論していたことは明らかでした。ライマンは宇宙望遠鏡研究所評議会（Space Telescope Institute Council, STIC）のメンバーで、その会議に出席すると公開討論でよくこう言ったものでした。「ボブ、本当にそれを行いたいのですか?」これが間接的でそのないライマンのスタイルでした。彼はこうして自分の論点を、私と重要な役割を持つSTICに伝えようとしたのです。こうしたもっともな懸念にもかかわらず、私達のHDFチームと私は遠方の宇宙を撮像することは必要な観測であるという信念を決して放棄しようとはしませんでした。

岡村 老人は時々新しい考えに反対する傾向があります。これが要因の一つだったと考えますか?

ウィリアムズ ジョンとライマンは共に彼らの人生の重要な部分をハッブル宇宙望遠鏡に打ち込んだという事実があります。年齢という要因がどれくらいあったのか私には分かりません。彼らはハッブル宇宙望遠鏡が維持されることを確実にしたいと望んでいました。私たちの間には全く悪感情はありませんでしたが、彼らの反対は疑いの余地がありませんでした。年齢の問題というよりも、むしろ今が危険を冒す時と場合なのかということです。明らかに彼らはハッブル宇宙望遠鏡について、危険を冒す時とは感じていませんでした。

岡村 私には、この前例のない長時間の露出の決定と4色のフィルターを選んだ決断がハッブル深宇宙プロジェクトの偉大な成功の主要な要素であると思えます。

ウィリアムズ （フィルターがなかったら）明らかに測光による赤方偏移の測定を可能とすることはできませんでした。紫外域のフィルターは熱い星の種族に感度があり、宇宙の星形成率密度の最初の推定図であるマダウ・プロットに導きました。これはHDFの重要な成果の一つです。

岡村 そうですね。宇宙の星形成率密度を赤方偏移の関数として示すマダ

ウ・プロットに、未開拓の赤方偏移領域でHDFから新たに2つの点が見つかりました。共に下限値ですが、一つは $\langle z \rangle = 2.75$ ($2 < z < 3.5$)で、もう一つは $\langle z \rangle = 4$ ($3.5 < z < 4.5$)です。近い方の $\langle z \rangle = 2.75$ の点は69個の銀河から、 $\langle z \rangle = 4$ の点は14個の銀河から得られましたが、これらの銀河はドロップアウト法^{*12}によりHDFで発見されたものです。

ウィリアムズ その通り、ドロップアウト法によるものです。HDFから得られた非常に重要な結果です。その後、ダークマターの分布の地図、重力レンズ、宇宙の加速膨張、銀河中のブラックホールなどの結果が得られています。

岡村 また、このHDFの成功で、それ以来HSTは一種のサーベイ望遠鏡となったように見えます。多くの深い探査が続きました。

ウィリアムズ そうです。1°×2°のCOSMOSサーベイがありました。7200平方分のモザイクから非常に素晴らしいダークマターの地図が得られました。その次がフロンティア・フィールドズです。

岡村 そうです。フロンティア・フィールドズです。密度の高い銀河団の撮像を行う、もう一つのエキサイティングな観測です。

ウィリアムズ 赤外域のフィルターを使うのでHバンド（波長1.65ミクロン）でドロップアウトができ、赤方偏移7の銀河を検出できます。そこで非常に遠方の銀河の候補がいくつか見つかっています。そしてフロンティア・フィールドズは重力レンズを用いて赤方偏移 $z = 10 - 11$ の銀河の候補を検出できます。候補のいくつかについてはスペクトルをとり、ライマン・ブレイクに基づいて $z \sim 11$ という赤方偏移の値が確認されました。今やHSTは、形成された時代に非常に近い時期の銀河を検出しています。

岡村 そうです。赤方偏移11.2が最近確認され、3月に報告されました。^{*13}

ウィリアムズ 別の $z = 10.7$ の銀河の候補もあると思います。私の同僚のダン・

コーがスペクトルから赤方偏移 ~ 10 が確認された幾つかの天体について論文を発表しました。

岡村 こういったサーベイ全ての成功の母となったのがHDFです。

ウィリアムズ それでも「深宇宙はもう十分だ」と言うであろう人達がいます。「十分な観測時間が注ぎ込まれたので、別のことに進むべきだ。」私はその考えを理解はしますが、賛成はしません。

ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の現状

岡村 さて、時間が経つのはとても速くて、話し始めて1時間以上になります。最後にJWST (James Webb Space Telescope、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡)の現状と打ち上げのスケジュールがどれほど確実かについてお話しただけませんか。

ウィリアムズ 3年前、プロジェクトにかなりの予算超過と遅れがあり、また組織の問題が幾分ありました。私はゴダード宇宙飛行センターが、管理体制が最適ではなかったことに同意したと思います。この問題が、大々的なレビューを行うきっかけとなりました。なぜならプロジェクトの完成には予算のかなりの増額が必要で、NASAの当初見積りをはるかに超えるからです。このレビューに対し、NASAは請負業者及び利用していたNASA内部の管理の取り扱いに大改革を行うことを確約しました。NASAは議会を説得し、議会はプロジェクトを完成させるために最後の追加資金の支出を承認しました。その時以来プロジェクトは予定通りに、また予算内で進んでいます。過去2～3年は順調に進み、打ち上げ予定は2018年10月のままで変わってはいません。

岡村 分かりました。2018年10月が目標ですね。

ウィリアムズ 数年の間変わっていません。最終的な組み込みと試験が残っていますが、現時点で測定器は問題ないようです。しかし、誰もが知っている

ように宇宙というのはリスクの大きい事業であり、特に打ち上げ前の試験と打ち上げ自体、予期せぬ失敗が起こり得るものです。JWSTは月の彼方に位置することになるため、修理することができません。成功すれば、初期宇宙と他の恒星の周りを回る惑星の性質についての我々の理解に対し、計り知れない利益を生み出してくれるに違いありません。

岡村 JWSTの打ち上げに是非成功して欲しいと願っています。ご存じの通り日本のX線衛星「ひとみ」の悲劇があったばかりですから。

ウィリアムズ とても残念なことでした。私たちがも幾つか失敗を重ねてきました。科学者仲間として、私たちは皆同じ志をもっています。JWSTがもたらす発見を享受できることを皆願っています。

岡村 どうもありがとうございます。今日は実に面白いお話を聞かせていただきました。このインタビューにお時間をいただき、大変感謝しています。

^{*12} 画像中の銀河の見え方で赤方偏移（距離）を推定する方法。遠方銀河の紫外線放射（121.6 nmのライマンアルファ共鳴線より短波長側）は銀河間空間にある水素に吸収されてほとんど地球に届かないので、画像では銀河が見えなくなる（ドロップアウト）。遠方銀河からの光の波長は赤方偏移により伸びているので、観測されるライマンアルファ輝線の波長も、距離に応じて可視光から近赤外波長域にシフトする。短い方からいくつかの波長帯で撮影した画像を短波長のものから順に見て、どの波長帯までドロップアウトしているかで、銀河のおおよその赤方偏移が推定できる。

^{*13} P.A. Oesch et al., *Astrophysical Journal* **819** (2016) 129.