

すばるからコスモスへ

谷口 義明

〈放送大学 〒261-8586 千葉市美浜区若葉 2-11〉

e-mail: yoshiaki-taniguchi@ouj.ac.jp



スプリーム・カム、シュプリーム・カム、シュプライム、そしてエス・カムなんて呼んでみたりした。すばる望遠鏡主焦点カメラ Suprime-Cam のことだ。私の一番大好きなカメラだ。いや、一番お世話になったカメラと言うべきだろうか。そして、そのカメラが引退した。私なりの感謝を込めた思い出話しにお付き合いいただきたい。

1. すばるまで

1.1 1996年初夏、英国ケンブリッジにて

王立グリニッジ天文台^{*1}。ケンブリッジの天文学研究所 (Institute of Astronomy; IoA) に隣接する場所にあった由緒ある天文台に私は客員研究員として勤務していた。96年初夏のことだ。招いてくれたのはロベルト・ターレヴィッチ。超大質量ブラックホール (SMBH) の存在を信じないが、そのために超有名な天文学者の一人だ。一方、私はSMBHが大好きだ。どうしてこんな二人がケンブリッジで共同研究をしなければならないか理解し難いが、縁は縁として大切にしろということだろう。実際、ケンブリッジで共著論文を書いているのだから、驚きではある¹⁾。

当時、私はヨーロッパ宇宙機関が打ち上げた赤外線宇宙天文台 (Infrared Space Observatory; ISO) で中間赤外線と遠赤外線帯で深宇宙探査をやっていた。ただ、まだ観測結果を待っている時期だったので²⁾、結構気楽に研究三昧の日々を楽しんでいた (図1)。

グリニッジ天文台のオフィスとケンブリッジ市内で間借りしていたヴィクトリアン・テラス



図1 ケンブリッジ市内のヴィクトリアン・テラスド・ハウスに間借りしていた。このキッチンでアイリッシュ・ビールを飲みながら、たくさんの論文を読んでいた。

ド・ハウスの行き来をするにはIoAの図書室を通るのが近道だった。じつはこの図書室のある建物は、かのアーサー・エディントン卿の自宅だったものだ (図2)。いつものように帰り際に新着雑誌のコーナーに立ち寄ってNature誌を手にした。そして愕然とすることになった。

^{*1} 設立は1675年。場所はロンドンのグリニッジ。1990年にケンブリッジに移設されたが、惜しまれながら98年に閉鎖。



図2 市内中心部の方から天文学研究所に向かう小道。すでに敷地の中で、奥に見えるのがエディントン卿の自宅（提供：岩澤一司氏）。

そこにはケニス・ランツエッタらの論文が出ていた。終に赤方偏移 $z=5$ を超える銀河^{*2}が見つかった！³⁾天域はハッブル・ディープ・フィールド（Hubble Deep Field; HDF）。ビッグ・ニュースだ。天文学者としては、大いに喜ぶべきニュースであることは間違いない。しかし、図書室で私はつぶやいた。「すばるの仕事が一つ減った…」。

銀河の形成と進化を見極めるには、できる限り遠い銀河を見つけて、その性質を調べるに限る。しかし、遠方銀河の探査は90年代中盤まで苦戦を強いられていた。探しても見つからない。その連続だったからだ⁵⁾。ただ、90年代は口径4-5 mクラスの地上望遠鏡から脱却し、新たな地平を目指し始めた時代だ。まず、90年にスペースシャトルで打ち上げられたハッブル宇宙望遠鏡（Hubble Space Telescope; HST）。主鏡の研磨ミスというビッグトラブルがあったが、93年のサービス・

ミッションで修正後は順調に観測が進んだ。その93年には口径10 mのケック望遠鏡、W. M. Keck Iが稼働し、95年にはW. M. Keck IIも動き出した。では、それまで見つかっていなかった赤方偏移 $z=5$ を超える銀河が簡単に見つかるかということ、それほど話は簡単ではない。それらの銀河は暗いだけでなく、個数密度も低いだろう。つまり、ディープに、かつ広い視野を探查できる望遠鏡が望ましい。それこそ、すばる望遠鏡だ。なぜなら口径8-10 mクラスの光学望遠鏡で広視野カメラ（Suprime-Cam）を有するのはすばる望遠鏡だけだからだ。Suprime-Camがくるなら勝てる。私は固くそう信じていた。

油断だ。私は心配していなかった。HDFのカバーする視野はあまりにも狭いからだ。しかし、デプスが前人未到だった。HSTがHDFでブレークしたのだ。すばる望遠鏡のオープンまで。まだ4年。私は途方に暮れた。

1.2 2000年春、米国ホノルルにて

20世紀最後の年、すばる望遠鏡は共同利用観測をスタートさせた。別に合わせたわけではないが、その年の始め、私はハワイ大学天文学研究所（Institute for Astronomy; IfA）で2度目の客員研究員として勤務していた^{*3}。

欧米の研究所では、勤務時間中はオフィスのドアを開け放していることが多い。そのため、廊下を歩いていると、電話の話し声が漏れてくることがある。

…

「いやあ、すごいんだよ」

「何がって、Suprime-Camだよ」

「とにかく視野が広い」

「ああ、そうだ、満月1個分だ」

「もちろん、どんどん見つかっているさ」

…

^{*2} ここでの赤方偏移は測光赤方偏移である。分光的な赤方偏移で $z=5$ を超えたのは98年のことである⁴⁾。

^{*3} 1度目は、96年で、ケンブリッジに行く前の3カ月をIfAで過ごしていた。このとき、Suprime-Cam開発の立役者である宮崎聡氏はポスドク研究員としてGerard Luppino氏らとCCDカメラの高性能化に取り組んでいた。懐かしい思い出だ。

どうも、超新星探査のグループの人のようだ。かなり興奮気味であることがわかる。すばる望遠鏡が大貢献していることはうれしいことだ。しかし、強敵がたくさんいることも意味する。IfAはすばる望遠鏡の観測時間を年間52夜もっている。しかも彼らはマウナケア天文台での経験が豊富ときている。急に口径8mの望遠鏡が使えるようになったからといって私たち日本人が大活躍できるとは限らない。というより大活躍できずに恥をかく確率のほうが高い。廊下に漏れ聞こえる会話を聞きながら、いやはやたいへんだなど思った。

1.3 1999年1月、仙台にて

ここで恐縮だが、1年遡って99年初頭の出来事について述べよう。このとき何があったのか？すばる望遠鏡のファースト・ライトの結果がリリースされたのだ。それは本当に衝撃的だった。特にオリオンKL領域の近赤外線画像は圧巻だった*4。水素分子が波長2.122ミクロンに放射する輝線による画像は、激しい星風がKL天体から吹き出ていることが手に取るようにわかるものだった。

一連のファースト・ライトの結果を見て私は思った。

「これは勝ったな」

一体、何に勝つというのか？ それはよくわからなかった。しかし、

「これは勝ったな」

という印象は、確かに私の頭の中を駆け抜けたのだ。この感覚を説明するのはなかなか難しいのだが、要するに

「普通にやれば勝てる」

という感じだったように思う。すばる望遠鏡ができるまでは、闘いようがなかった。だが、すばるがきた。すばるを普通に使えば勝てる。21世紀の幕開けを控え、めでたい前触れになった。

1.4 すばるまで

「普通にやれば勝てる」

すばる望遠鏡の共同利用観測が始まる頃、この感覚をもつことができたのは幸せだった。しかし、これができたのは私の実力ではない。冒頭に書いたように、私は90年代に入ってから、ISOによる中間赤外線と遠赤外線帯での深宇宙探査プロジェクトにかかわらせてもらっていた。宇宙科学研究所の奥田治之先生のお導きだった。このプロジェクトはいろいろな経緯があり、日米共同プロジェクトとなった。米国側の代表はなんとIfAのレン・カウイ (Lennox, L. Cowie) だった。レンは深宇宙探査業界でトップを走り続けていた人で、とても私がお相手できるような人ではない。ところが、プロジェクトとしては日本が代表権をもっていたため、私が代表者をせざるをえなかった。たいへんなプレッシャーの中での仕事になったが、この経験こそが平常心を鍛えることになったのではないかと、今では思える。なぜなら、マウナケアでの観測が標準モードになったからだ。

ISOの深宇宙探査を効率的に進めるには、事前に可視光や近赤外線の撮像サーベイを行っておかなければならない。中間赤外線で銀河が受かった



図3 ハワイ大学の口径2.2m望遠鏡(UH88)の観測室にて。優秀な大学院生たちが観測を取り仕切ってくれていたため、私はいつもこんな感じだった。幸い、高山にも強かった(今は不明)。

*4 https://www.subarutelescope.org/Pressrelease/1999/01/28gj_index.html

としても、それがどのような銀河であるかを調べるには可視光から近赤外線の撮像データが必須になるからだ。そのため、私たちはハワイ大学の口径2.2 m望遠鏡 (UH88) などを使って、サーベイの日々が続いた (日々ではなく夜々か? : 図3)。ISOの結果は97年以降に出始めたので、今度は検出された銀河のフォローアップ観測が始まった。分光観測ではもっぱらケック望遠鏡を使った。電波はちょうどサブミリ波のポロメーター・アレイ (SCUBA) が使えるようになったのでJCMT (James Clerk Maxwell Telescope) 通いもあった。こうしてマウナケアをベースにして研究を展開すると、最高レベルのデータが取れるのが普通になる。つまり、書く論文の質も上がる。こういう環境に慣れることが大切なのだろう。レンは優しく私にそのことを教えてくれたような気がする⁶⁾。深く感謝するしかない*5。

2. すばるから

2.1 赤方偏移5を超える

96年、ケンブリッジの天文学研究所の図書室で読んだランツエッタらの論文の衝撃³⁾。それは、やはり尾を引いていた。本来ならすばる望遠鏡で切り込みたいと考えていた $z=5$ を超える宇宙の探求はHSTとケックによって先を越されていた。しかし、臍を曲げてもらえない。まずは普通に $z=5$ を超えてみせる必要がある。

では、どうしたか? もう15年以上も前のこ

となので記憶が定かでない。そこで、すばる望遠鏡のWEBでどういう観測をしたかチェックしてみた。すると、意外なことがわかった。

S00とS01A期には、私の観測提案が見つからない。S01B期に私の提案があった。“Suprime-Cam Search for the Optical Counterpart of Lyman Limit System at $z=5.72$ ” いやはや、驚いた。「おいおい、クエーサー吸収線系かよ!」と言いたくもなる*6。しかも、ダンプト・ライマン α 吸収線系 (Damped Lyman α Absorption System; DLA) ならいざしらず、ご丁寧なライマン・リミット・システム (Lyman Limit System; LLS) と来た。普通に $z=5$ を超えたければ、星生成を活発にしている銀河が良いターゲットになる。可視光帯にライマン α 輝線 (静止波長121.6 nm) が入ってくるので、検出は容易だ。通称、ライマン α 輝線銀河, Lyman α Emitter (LAE) と呼ばれる銀河だ*7。

では、なぜLAEをターゲットにしなかったのか? あるいは、なぜまれなLLSのカウンターパートを狙いにいったのか? 理由は簡単だ。 $z=5$ を超えるLAEはすでに見つかっている。そしてクエーサー吸収線系の研究には将来性が感じられた (これは個人の感想である)。明快である。

こんな変化球のような観測だったが、幸運に恵まれた。私たちは日本人として初めて $z=5$ を超えたのである⁷⁾⁻⁹⁾。02年のことだ。Dey et al.⁴⁾ から僅か5年遅れだから、許されるだろう¹⁰⁾⁻¹²⁾。

*5 レンは16歳でハーバード大学に入学、私は1年留年して東北大・大学院に入学。お話になりませんね。

*6 遠方のクエーサーの視線にある物質 (銀河間ガスや銀河など) により吸収線として観測されるシステムをクエーサー吸収線系と呼ぶ。大別するとライマン α の森、ライマン・リミット系 (Lyman limit system; LLS), 減衰ライマン α 吸収線系 (damped Ly α absorption system; DLA) がある。これらは水素原子の柱密度で分類され、それぞれ $N(\text{HI}) = 10^{12-17}, 10^{17-2} \times 10^{20}$, および $\geq 2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$ となる。また、Mg IIなどでプローブされる金属吸収線系もある。

*7 銀河の中で放射された電離光子 (水素原子を電離する光子のことで、波長91.2 nm以下の紫外線) は銀河内にある水素原子に吸収されるので (電離吸収), 銀河の外側に出ることはない (100万回ぐらい散乱されて出てくることはある)。したがって、銀河を観測すると、波長91.2 nmより短波長側の紫外線は観測されない。遠方の銀河を観測する場合、この特徴が可視光帯で観測されるため、遠方の銀河の特定ができる。波長91.2 nmの紫外線はライマン端 (ライマン・ブレイク) と呼ばれるので、このような特徴で検出される遠方銀河をライマン・ブレイク銀河 (Lyman Break Galaxy; LBG) と呼ぶ。ただし、実際には銀河間空間にある水素原子による共鳴吸収があり、ライマン α 吸収の影響が出る。そのため、LBGの赤方偏移の推定は銀河間吸収の度合いに依存する。

2.2 赤方偏移6を超える

さて、次なる壁は $z=6$ だ。水素原子のライマン α 輝線を可視光帯でプローブする限り、赤方偏移には限界がある。 $z=7$ でお終いだ。その意味で、 $z=6$ を超えるということは、可視光帯でのサーベイを極めることになる。そして、この挑戦は「すばる・ディープ・フィールド (Subaru Deep Field; SDF)」というプロジェクトに委ねられることになった¹³⁾。

SDFはすばる望遠鏡の建設に関わった方々(すばるビルダー)が推進する特別枠のプロジェクトだ。私はすばるビルダーではないので、SDFに参加する資格はない。ところが、あるかかわりからSDFに絡むことができるようになった。そのかかわりとは狭帯域フィルターである。赤方偏移したライマン α 輝線を効率よく検出するには、広帯域と狭帯域フィルターを組み合わせることでデータを取得することで実現する。

問題はどのフィルターを使うかだが、小平桂一先生のご指導のもと、東北大学の林野友紀氏らと相談を進めていた。赤方偏移が5を超えると、ライマン α の観測波長は700 nmより長い波長帯にくる。ところがこの波長帯は大気の夜光(OH輝線)が強く、観測が難しい。少しでも夜光の弱い波長帯を狙うしかない。IfAの研究者らは815と920 nm帯に着目していることがわかった。

SDFの観測を始めるにあたり、フィルターの仕様を決め、発注する時期が近づいていた。01年の頃だ。私はたまたまドイツ出張中だったが、決断しようという連絡が日本から入った。私はIfAの研究者に負けたくないで「970 nmが一番良い」と提案した。しかし、この波長帯は可視光のギリギリのところで、920 nm帯に比べると夜光も強めだ。結局、安全策ということで、920 nm帯を選択した。

さて、SDFの戦略だ。林野氏も私もすばるビルダーではない。そのため、狭帯域フィルターによる遠方銀河サーベイは共同利用観測の枠組でやる

うということになった。幸い、S02A期から通常より多くの観測時間をもらえるインテンシブ枠ができたばかりだった(最大で10夜)。早速これを利用することにした。そして、S02A-IP-2として採択された。“A Very Deep Search for Lyman-alpha Emitters at $z=5.7$ and 6.6 ” 5夜の観測時間をいただき、無事多数のLAEsを $z=6.5-6.6$ で発見することができた¹⁴⁾⁻¹⁶⁾。すばる望遠鏡のパワーを持ってすれば当然の結果だった。ところが、私たちの提案したインテンシブ観測は $z=5.7$ や 6.6 のLAEの探査ではなかった。宇宙再電離フィラメントの探査だったのだ。今風に言えば、ライマン α ・インテンシティ・マッピングである。このことを知る人はあまりいない。

では、なぜ、ストレートにLAE探査を提案しなかったのか? それはIfAの研究者たちが02年にすでに $z=6.6$ のLAEを1個発見していたからだ¹⁷⁾。すでに見つかっている種類の天体を探しにいくのに、インテンシブ枠を使うのは恥ずかしいことだ。天文学者の矜持。とにかく、進取の気性をもたずして、フロンティアは走れない。

2.3 赤方偏移6の向こう側

こうして、Suprime-Camのおかげで、 $z=5$ を超え、そして $z=6$ も超えた。目標は達成できたのか? そう問われれば、答えはイエスだ。しかし、想定内のことなので特段の喜びはなかった。すばる望遠鏡にSuprime-Camが載れば必ず見つかる。それは96年にケンブリッジで思っていたことだ。

ケンブリッジでランツエッタらの論文を読んで感じたことは、high- z はすばる望遠鏡のビジネスの対象ではないということだ。確かにSDFなどのプロジェクトですばる望遠鏡はhigh- z 業界で大きな貢献をしてきた。実際、私ですら国際研究会に何回も招待されたぐらいだ。しかし、所詮、HSTにはかなわない。なぜなら $z>7$ の宇宙探査は近赤外線で行われるので、地上の望遠鏡では歯が立たない。

スペースシャトルによるサービス・ミッションの目処が立たず、NASAの倉庫で眠り続けていたWFC3^{*8}もいずれはHSTに載る。載れば、HSTの独壇場になる。SDFの $z=6.6$ の論文を書きながら、そう思っていた。

2.4 直接撮像に新たなビジネスはあるか？

すばる望遠鏡を使えばhigh- z の研究は確かに簡単にできる。Suprime-Camがあるので、効率は抜群によい。しかし、HSTや他の大口径望遠鏡でも当然できるテーマなので、完全な差別化が図れるわけではない。じつは、そこが問題なのだ。

何かユニークなアイデアはないか？ 96年のケンブリッジ以来、ずっと考えていた。そんな頃、「すばる望遠鏡ができれば、やってみたいこと」を放談する研究会が開催されることになった^{*9}。それに合わせてというわけではないが、私の中ではあるアイデアが固まりつつあった。それは中帯域フィルターによる撮像サーベイである。

深宇宙探査の観測では広帯域フィルターによる撮像観測がデフォルトだ。可視光帯なら B, V, R, I, Z バンドで撮像する感じだ。大雑把ではあるが、銀河のスペクトルエネルギー分布 (spectral energy distribution; SED) が知れると同時に、精度は良くないが測光赤方偏移も評価できる。一方、狭帯域フィルターはLAEなどの輝線天体の検出に用いられる。広帯域と狭帯域、それぞれ、役割分担が決まっている。それはそれでわかりやすい。では、ほかのチョイスはないのか？ そして思いついたのが中帯域フィルターだった^{18),19)}。波長分解能 ($R = \lambda/\Delta\lambda$) でいうと、広帯域、中帯域、そして狭帯域は、それぞれ5-10, 25, 100という感じになる。

では、中帯域フィルターを使うメリットは何だ

ろう？ 一言で言えば「 $R \sim 25$ の撮像分光 (imaging spectroscopy) サーベイができる」これに尽きる。Suprime-Camの視野 (34分角 \times 27分角) は広いので、1回の観測で数万個もの銀河が写る。1個1個、それぞれ重要な銀河のはずだが、すべてに対してフォローアップの分光観測ができるだろうか？ あり余る観測時間があるのなら良いが、現実には無理だ。しかし、中帯域フィルターを使って、可視光帯全域でスキャンすれば、かなり精度の良いSEDと測光赤方偏移が得られる。また、余禄として、非常に強い輝線を示す、希なポピュレーションの天体が見つかるだろう。かくして私は「中帯域フィルターによる深宇宙探査」を画策した。名称を「まほろば (MAHORоба) プロジェクト」とした。“倭 (やまと) は国のまほろば”これにちなみ、“すばるは天文学のまほろば” そういう思いを込めてみた^{18), 20)-24)}。ここで、すばるはSuprime-Camを意味する。

林野氏の協力を得て、 $R=23$ で可視光帯をほぼカバーする20枚の中帯域フィルターを完成させた。これはSuprime-CamのIAフィルター・システムと呼ばれることになった^{*10}。

さて、「まほろば (MAHORоба) プロジェクト」と銘打った割には、中帯域フィルターは全く受けなかった。そもそも、Suprime-Camチームから見れば、この20枚のフィルターはお荷物にしか過ぎない。保管場所もたいへんだし、多数枚のフィルターの使用は観測の運用上かなりたいへんである。もう時効かもしれないが、この紙面をお借りして、Suprime-Camチームの方々にご多大なるご迷惑をおかけしたことをお詫び申し上げておきたい。

^{*8} Wide Field Camera 3. HST用の可視・近赤外線カメラで09年にインストールされた。Hubble Ultra Deep Fieldの観測に使用され、 $z \sim 10$ の銀河候補の発見に威力を発揮した。

^{*9} おそらく、光学赤外線天文連絡会が主催した研究会だと思うが、開催年も含めて、詳細については忘れてしまった。

^{*10} ここでIは中帯域 (intermediate band) を意味し、Aは最初のシリーズであることを意味する。ただ、intermediate bandなので略称としてはIBのほうが馴染む。実際、狭帯域 (narrowband) はNBと略される。そのため、外国の共同研究者からは「なぜIAなのか？ IBではないのか？」という質問を頻繁に受けた。

3. コスモスへ

3.1 デーブとニック

共同研究をしているわけでもないのに、何となく馬が合う人があるものだ。私の場合、デーブ・サンダース*¹¹ (Dave Sanders, IfA) とニック・スコヴィル (Nick Scoville, Caltech) の二人だ。研究会で顔を合わせると、休憩時間はだいたい3人で駄弁っている。特に研究の話をするわけでもないのだが、不思議だ。一つの理由はニックと私がタバコを吸うことだ。コーヒー・ブレイクになると、ニックと私は目を合わせる。「ヨシ、カモン」ということで、コーヒー片手に外に出る。デーブはタバコを吸わないが、いつもニックについてくる。まあ、ほのぼのとした、おっさん同盟というところか。

3.2 COSMOSは突然に

そして、COSMOSは突然にやってきた。デーブとニックから「COSMOSと一緒にやらないか」と誘いが来たのだ。2003年のことだ。私たち3人の研究対象は広い意味で銀河だが、共同研究をしたことはない。そもそもCOSMOSとは何か？聞けば、ハッブル宇宙望遠鏡の基幹プログラム (Treasury Program) で、正式名称は「宇宙進化サーベイ (The Cosmic Evolution Survey)」。サイクル12と13の総観測時間の10%を使って2平方度の天域をACSカメラで探査し、宇宙の大規模構造の関数として、銀河、活動銀河核、暗黒物質の進化を調べるといふ。これは超ビッグプロジェクトだ。

「何で私が？」と思った。しかし、理由はすぐわかった。すばる望遠鏡のSuprime-Cam。これが必要だったのだ。HSTの観測はIバンドのみ。可視光帯全域での撮像データがなければ、銀河の性質や距離の評価に支障が出る。そこで、COS-

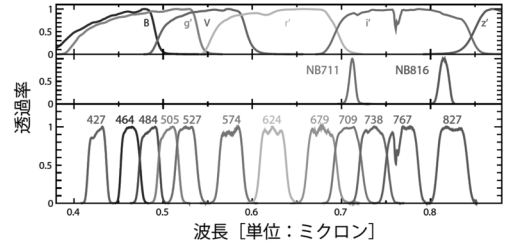


図4 COSMOS-20で用いられた20枚の光学フィルターの透過曲線。広帯域6枚(上段), 狭帯域2枚(中段), および中帯域フィルター12枚(下段)。

MOSではIバンド以外の可視光帯での撮像を地上の天文台を使って行うことにしていた。最初のプランではCFHT (Canada France Hawaii Telescope) のMEGACAMを使うことになっていた。しかし、03年といえば、すでにすばる望遠鏡の評価は急上昇中だった。COSMOSチームは最終的にSuprime-Camを選ぶことにしたのだ。

結局、インテンシブ枠の観測提案を3回採択していただいた。IfAの観測時間も入れると、総観測夜数は42.5晩^{25), 26)}。聞くところによると、すばる望遠鏡のランニング・コストは1晩あたり1,000万円だそう。ということはCOSMOS天域の観測に4億円以上を投資していただいたことになる。たいへんありがたい話である。

3.3 評価された中帯域フィルター

COSMOSプロジェクトをやっていて意外だったことは中帯域フィルターが高く評価されたことだ。04年にニューヨークで開催されたチーム会議で中帯域フィルターの話をしたところ、すぐに「それを使おう!」という動きが出た。結局、Suprime-Camで20枚ものフィルターを使う大プロジェクトになってしまった(図4)。プロジェクト名はフィルターの枚数にちなんでCOSMOS-20である²⁵⁾⁻²⁷⁾。

さて、先に述べたことをここで振り返ろう。

*¹¹ デーブとは少し仕事をしたことがある。ISOのサーベイで、彼はIfAチームの一員として参加してきたからだ。また電波銀河のCO観測も一緒にしたことがある。

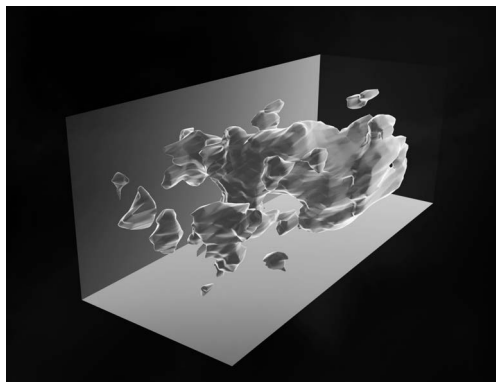


図5 COSMOSプロジェクトが描き出した宇宙における暗黒物質の3次元地図。奥行き80億光年、80億光年先で2.4億光年四方を見ている（提供：Richard Massey氏）。

“中帯域フィルターを使って可視光帯全域でスキャンすれば、かなり精度の良いSEDと測光赤方偏移が得られる。また、余録として、非常に強い輝線を示す希なポピュレーションの天体が見つかってくるだろう。”

COSMOS-20はまさにこれらのことを実現した。正確なSEDから測光赤方偏移の精度は格段に上がったし²⁸⁾、突然星形成をやめた100億光年彼方の珍しい銀河も見つかった^{19), 29)}。

己を信じよ。そして、実行せよ。うまくいくかどうかはわからない。しかし、やってみるしかない。そういうことをCOSMOS-20から学ぶことができたように思う。

3.4 見えないものを見る

COSMOS-20の成功はとて素晴らしい出来事だったが、COSMOSをやっている一番の衝撃は宇宙における暗黒物質の地図が描かれたことだった³⁰⁾⁻³²⁾。06年の暮れに、リチャード・マッセイ（Richard Massey）から結果が送られてきたときは、本当に腰を抜かしそうになった（図5）。その驚きは「まさか、本当だったのか!？」という驚きだ。

私が大学院で銀河の研究を始めた頃（80年代前半）、銀河の研究業界はほのぼのとしたもの

だった。渦がどうのこの、棒がどうのこの。かくいう私も銀河の形態には大きな関心をもって研究していた。しかし、宇宙論のほうでは暗雲がたれ込めている状況だった。普通の物質だけでは銀河は宇宙年齢の間に成長できないので、冷たい暗黒物質（cold dark matter; CDM）が必要である³³⁾。いわゆるCDMパラダイムがささやかれ始めた頃だ。「本当だろうか？宇宙ってそんなに不思議なのだろうか？」正体不明の暗黒物質に依存した銀河形成論とはいかなものか。能天気な私はそんな感想をもっていた。

しかし、事実は小説より奇なり。まさか、自分たちのやっているプロジェクトがCDM理論を観測的に検証するとは夢にも思っていなかった。僥倖としか言いようがない。

4. Suprime-Camとともに

また96年のケンブリッジに戻ろう。ランツエッタらの論文を見て愕然としたときのことだ。このとき、真剣に考えた。「数年後に産声をあげるすばる望遠鏡で私たちは何をすべきか？」結局、常にその問題の答えを探して、あるいは探し続けてきて、もう20年も過ぎてしまった。答えはまだ見つかっていないが、Suprime-Camのおかげでいろいろ学ぶことができた。

やはり、コスモスは私にとっては特別な経験かもしれない。スタート時のオフィシャルメンバーの人数は40名なので、それほど大きなプロジェクトではない。しかし、やっていること自体はとても大きい。なにしろ、HST史上最大のプロジェクトだ。メンバーの数が少ないことは一人一人の枠割分担が大きいことを意味する。例えば、谷口の参加は、すばる望遠鏡の参加を意味する。あまりにも責任が重すぎる。もちろん、私一人ですばる望遠鏡の観測をするわけではないが、ずいぶんメリハリのある、あるいは指揮系統がわかりやすいプロジェクトになっていた（現在も、進行中だが）。たいへんな仕事だったが、達成感もあり、

今では楽しい思い出しかない¹⁷⁾。しかし、明らかなことがある。私がコスモスに参加したのではない。Suprime-Camが参加したのだ。

$z=5$ を超える。 $z=6$ を超える。そして、コスモス・プロジェクトに参加する。そこにはいつもSuprime-Camがいた。振り返ってみれば、私は特に何もしていない。Suprime-Camが仕事をしてくれた。そういう記憶しかないのだ。

どうも私にとって、すばる望遠鏡とはSuprime-Camと不可分なのだ。そういえば、私が最初にすばる望遠鏡に出した観測提案のタイトルは、先にも述べたが、“Suprime-Cam Search for the Optical Counterpart of Lyman Limit System at $z=5.72$ ” だった。冒頭の“Suprime-Cam Search”に私の気持ちが詰まっている。今振り返れば、結構真面目にやっていたのだと感心する。

Suprime-Camのような素晴らしい観測装置があると、どうしてもプロジェクトが先行するものだ。SDFしかり、コスモスしかりである。では、プロジェクト研究が好きかと問われると、やや逡巡する私がいる。

研究は犯人探しをする探偵稼業と似ている。組織で探すなら警察だが、どちらかといえば、私は浅見光彦^{*12}派である。自分のアイデアに特んで研究を続けられるのであれば、それに越したことはない。

21世紀初頭の光学天文学を牽引したSuprime-Camが引退する。寂しい気持ちはある。しかし、引退は驚くに値しない。太陽質量の1,000億倍の超大質量ブラックホールですら、ホーキング放射のため 10^{100} 年でこの宇宙から消える。残念ながら、この宇宙には永遠という言葉はないのだ。

だが、問題はない。世代交代を図るべく、後継機であるHyper Suprime-Cam (HSC)が活躍し



図6 大好きなSuprime-Camとのツーショット。こんなに優しく微笑む私を、私自身見たことがない。

だしている。また、Prime Focus Spectrographもやってくる。すばる望遠鏡の時代はしばらく続くだろう。とはいえ、油断大敵だ。JWST (James Webb Space Telescope) もやってくる。近赤外線サーベイを目的とした宇宙望遠鏡、EuclidとWFIRST (Wide Field Infrared Survey Telescope) もだ。時代は常に明日に向かって走り続けている。

さて、私はどうしようか。Suprime-Camと観測天文学を十分に楽しんできた(図6)。ここは良い機会と思うべきだ。Suprime-Camとともに、少し休むことにしたい。だが、それは研究を休むという意味ではない。これまで蓄積されてきた膨大なデータの中に、お宝が密やかに眠っているかもしれない。そのお宝を探してみたいのだ。

浅見光彦氏のスタイルを踏襲し、量ではなく質的なチャレンジで天文学の発展に貢献できれば望外の幸である。

謝 辞

本稿を依頼して下さった小宮山裕氏にまず感謝させていただきます。共同利用観測が始まって

*12 内田康夫氏の推理小説に出てくる主人公。実家は名士の系譜。30代、独身。居候だが、車はT社の高級車。私が“バイエルの黒い風”に乗るようなものか…。

Suprime-Cam を使うとき、いつも小宮山氏にサポートしていただきました。ずいぶん心強く感じたことを思い出します。また、COSMOS の観測のときは古澤久徳氏にサポートしていただきました。4年間の長きにわたって観測が続いたので、古澤氏は共同観測者だと思っていた次第です。お二人に深く感謝いたします。

すばる望遠鏡の建設に携わったすべての方々、そして Suprime-Cam 製作チームの方々に深く感謝いたします。また、Suprime-Cam を使った研究で、ご一緒されたすべての方々に深く感謝いたします。

宮崎聡氏におかれましては、Suprime-Cam、そして HSC の製作をリードしていただき、深く感謝しています。HSC に関してはとても驚いたことが一つあります。キックオフは何と 02 年なのです。02 年といえば、Suprime-Cam の素晴らしさに、皆で酔いしれ始めていた頃です。その時期に HSC の製作に動き始めていたとは心底驚いたものです。やはり、進取の気性。それこそがプロたるゆえんなのだと思います。

さて、最後になりますが、Suprime-Cam に深く感謝いたします。ゆっくりお休みください。

参考文献

- 1) Ohyama Y., Taniguchi Y., Terlevich R., 1997, ApJ 480, L9
- 2) 谷口義明, 2001 年, 「生まれたての銀河を探して—ある天文学者の挑戦」(裳華房)
- 3) Lanzetta K. M., Yahil A., Fernández-Soto A., 1996, Nature 381, 759
- 4) Dey A., et al., 1998, ApJ 498, L93
- 5) Taniguchi Y., et al., 2003, JKAS 36, 123; JKAS 36, 283 (Erratum)
- 6) 谷口義明, 2008 年, 「モンスター銀河狩り」(NTT 出版)
- 7) Ajiki M., et al., 2002, ApJ 576, L25
- 8) Ajiki M., et al., 2003, AJ 126, 2091
- 9) Taniguchi Y., et al., 2003, ApJ 585, L97
- 10) 谷口義明, 安食優, 藤田忍, 長尾透, 塩谷泰広, 村山卓, 2003, 天文月報 96, 34
- 11) 谷口義明, 2011, 「宇宙の一番星を探して—宇宙最初の星はいつどのように誕生したのか」(丸善出版)
- 12) 谷口義明, 2013, 「宇宙の始まりの星はどこにあるのか」(メディアファクトリー)
- 13) Kashikawa N., et al., 2004, PASJ 56, 1011
- 14) Kodaira K., et al., 2003, PASJ 55, L17
- 15) Taniguchi Y., et al., 2005, PASJ 57, 165
- 16) Kashikawa N., et al., 2006, ApJ 648, 7
- 17) Hu E. M., et al., ApJ 568, L75
- 18) 谷口義明, 小林正和, 鍛冶澤寛, 長尾透, 塩谷泰広, 2016, 天文月報 110, 271
- 19) Taniguchi Y., 2004, in Studies of Galaxies in the Young Universe with New Generation Telescope, Proceedings of Japan-German Seminar, held in Sendai, Japan, July 24–28, 2001, Eds.: N. Arimoto and W. Duschl, 2004, 107–111
- 20) Ajiki M., et al., 2004, PASJ 56, 597
- 21) Yamada F. S., et al., 2005, PASJ 57, 881
- 22) Shioya Y., et al., 2005, PASJ 57, 287
- 23) Shioya Y., et al., 2005, PASJ 57, 569
- 24) Ajiki M., et al., 2006, PASJ 58, 113
- 25) Taniguchi Y., et al., 2007, ApJS 172, 9
- 26) Taniguchi Y., et al., 2015, PASJ 67, 104
- 27) 谷口義明, 2017 年, 「銀河宇宙観測の最前線: 「ハッブル」と「すばる」の壮大なコラボ」(海鳴社); 天文月報に連載された『コスモスな日々』をまとめたもの。第 1 話 2004 年 10 月号 578–585 頁, 第 2 話 2005 年 2 月号 90–98 頁, 第 3 話 2005 年 5 月号 327–335 頁, 第 4 話 2006 年 1 月号 34–43 頁, 第 5 話 2006 年 7 月号 372–380 頁, 第 6 話 2007 年 8 月号 408–416 頁, および番外編『コスモス 2108–100 年後のコスモス』2007 年 12 月号 (200 巻記念特集)
- 28) Ilbert O., et al., 2009, ApJ 690, 1236
- 29) Taniguchi Y., et al., 2015, ApJ 809, L7
- 30) Massey R., et al., 2007, Nature 445, 286
- 31) 谷口義明, 2007, 「暗黒宇宙で銀河が生まれる」(ソフトバンク・クリエイティブ)
- 32) 谷口義明, 2011 年, 「宇宙進化の謎」(講談社)
- 33) Blumenthal G. R., et al., 1984, Nature 311, 517

From Subaru to COSMOS

Yoshiaki TANIGUCHI

The Open University of Japan, 2-11 Wakaba, Mihama-ku, Chiba 261-8586, Japan

Abstract: A short story is given, dedicated to the prime focus camera, Suprime-Cam on the Subaru Telescope.