

# 遠いクエーサーをさがして

## 松岡良樹

〈愛媛大学宇宙進化研究センター 〒790-8577 愛媛県松山市文京町2-5〉

e-mail: yk.matsuoka@cosmos.ehime-u.ac.jp



遠い天体を探すということは、少なくとも自然科学としての天文学が始まった遠い昔から、多くの観測者を魅了してきたテーマの一つであろう。遠い天体を見つけることは、その天体の成り立ちをより良く理解するとともに、私たちの知る宇宙をその距離まで広げることでもある。本稿では、私たちのグループが身を投じたオーストラリアでの遠方クエーサー探査と、その経験の上に立って大きな成功を収めたすばる望遠鏡での探査について紹介する。また、私をこの分野に引き入れてくださり、2015年に惜しくも亡くなられた川良公明さんとの思い出についても、簡単ながら触れさせていただきたいと思う。

### 1. はじめに

クエーサーとは何だろうか？ 宇宙には、太陽の100万倍から100億倍もの質量を蓄えた巨大なブラックホールが存在することが知られている。そのようなブラックホールは、私たちの住む天の川銀河にも存在するし、他の多くの銀河にも宿っている。バルジをもつような成熟した銀河にはほぼ必ず存在するとも言われ、それらは宿主である銀河の進化にも、ただならぬ影響を及ぼした可能性が指摘されている<sup>1)</sup>。巨大ブラックホールは銀河の中心核に待ち構えていて、近づいてきた物質を飲み込みながら成長していく。物質は飲み込まれる寸前に強烈な光を放射するのだが、この光を観測によって捉えたのがクエーサー、あるいは活動銀河核と呼ばれる天体である。

クエーサーはその観測の歴史を通じて、常に「遠い天体」であった。1963年、初めてクエーサーとして認識されたのは電波源3C 273であるが、Maarten Schmidtによって決定されたその赤方偏移は、 $z=0.158$ という当時としては驚異的に大きなものであった<sup>2)</sup>。地球からの距離は、現在の宇

宙論パラメータで約20億光年である。その後、最遠銀河の記録と競うようにして次々と最遠クエーサー記録は更新されていき、20世紀の末頃には赤方偏移 $z=6$ の手前まで達した<sup>3)</sup>。宇宙が始まって現在まで約138億年であるが、赤方偏移 $z=6$ の時代では、ビッグバンからまだ10億年ほどしか経っていない。その光を観測することで、私たちはこの時代のこの地球にいながらにして、はるか太古の宇宙を垣間見ることができるわけである。

21世紀が目前に迫った頃、この分野の次の課題は明らかであった。赤方偏移 $z=6$ を超えて、さらに遠くへ探査の手を広げることである。宇宙が始まって最初の10億年 ( $z>6$ ) は、天文学・宇宙物理学においてあらゆる意味で重要な時代である。たとえば太陽の10億倍の質量をもつ巨大ブラックホールを作るには、(仮定にもよるが)7億年ほどの時間が必要である<sup>4)</sup>。したがって赤方偏移 $z=6$ を超えたあたりで、そのような巨大ブラックホールはだんだん観測されなくなるだろうと予測される。さらに宇宙誕生に向けて時代を遡れば、ますます質量の小さなブラックホールしか存在しなくなるだろう。各宇宙年齢でのブラッ





図1 サイディング・スプリング観測所 (AATドームより, 筆者撮影). 40インチ望遠鏡は稜線の一番右に位置する.

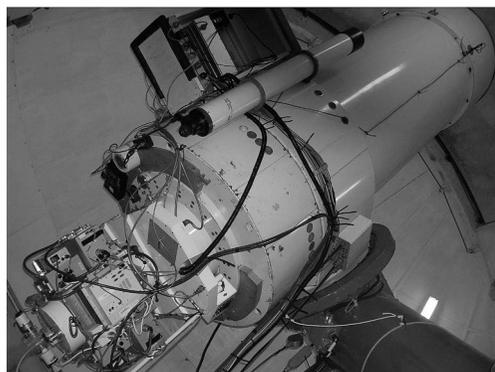


図2 40インチ望遠鏡とモザイク広視野カメラ (筆者撮影).

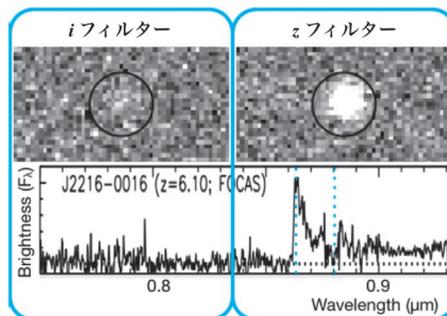


図3 遠方クエーサーのスペクトルを下部に,  $i, z$  フィルターでこの天体を撮影したときの画像を上部に示す (注: これらのフィルターは  $I, Z$  フィルターとは厳密には異なる).

も開発していた. サイディング・スプリング観測所の英国シュミット1.2m望遠鏡用で,  $2k \times 4k$  CCDs 2枚を備えた視野1.1平方度のカメラで

ある. ドリフト・スキャンと呼ばれる掃天モードを使用して, 天の赤道では1時間に16.5平方度を観測することができる. 2001年頃からキャンベ



図4 40インチ望遠鏡の観測室(筆者撮影)。左二つのモニターを通じて、望遠鏡とカメラを制御する。



図5 探査のデータはダンボール2箱分の磁気テープとして、今は筆者のオフィスに眠っている。

ラのレストラン山天文台で開発を行っていたのだが、ここは2003年1月に大規模な山火事に襲われ、甚大な被害を蒙ったことがある。このとき私たちのカメラも天文台にあったのだが、Bruceが持ち出して逃げたために難を免れた。カメラは2003年12月にファースト・ライトを迎え、その後2005年まで観測に使われた。

このようにして、2010年頃にかけておよそ150夜の観測が行なわれた。掃天面積は1,000平方度近くに及び、到達した深さは領域によって大きくばらつくが、 $I_{\text{Vega}} \sim 21$ 等、 $Z_{\text{Vega}} \sim 20$ 程度である。観測データは筆者が作成したIDL, IRAFベースの解析パイプラインによって処理された。データから*I-Z*の色が赤い天体を抽出し、さらに遠方クエーサーである確率を高めるために、近赤外線追測光観測を行った。この追観測には同じサイディング・スプリング観測所にある2.3 m望遠鏡のほかに、南アフリカのサザerland観測所に設置されたIRSF望遠鏡にも、豊富な観測時間をいただいた。こうして選ばれた遠方クエーサー候補天体に対して、最後の分光観測を行ってスペクトルを取得し、正体を明らかにする。この分光観測にはすばる望遠鏡のほか、チリのセロ・トロロ4 m望遠鏡、ジェミニ南望遠鏡が使用された。

結果から言うと、残念なことに、私たちの探査プロジェクトは科学的には成功しなかった。私た

ちが分光観測した候補天体は、実際には銀河系内の低温度星や低赤方偏移の銀河、移動・突発天体などであり、遠方クエーサーは1天体も見つけれなかった。世界的に探査の進んだ現在から振り返ってみると、私たちの観測データの中には、たしかに数天体の遠方クエーサーが含まれていたはずである。しかし膨大なデータの海の中から、それらを拾い上げることができなかった(図5)。一方でリーダーの川良さんの目論見では、プロジェクトの主目的の一つは学生教育であり、必ずしも科学的成功だけがすべてではなかった。実際にこの時に蓄積された経験・ノウハウは、当時の大学院生だった筆者が数年後に開始する新たなプロジェクトの中で、芽を出すことになる。

### 3. 新たな挑戦：最初の発見まで

オーストラリアでの探査を通じて私たちの目は常に南を向いていたが、北半球のほうでは、日本がハワイ・マウナケア山頂に建設したすばる望遠鏡が次々と素晴らしい科学成果を生み出していた。その要因の一つは、すばるのもつ圧倒的な広視野観測能力である。2000年代の後半から、その能力をさらに引き出すべく、新しい広視野カメラHSC (Hyper Suprime-Cam) の製作がスタートする。また日本中の天文学者を巻き込む形で、HSCによる大規模な掃天観測計画(以後「HSC

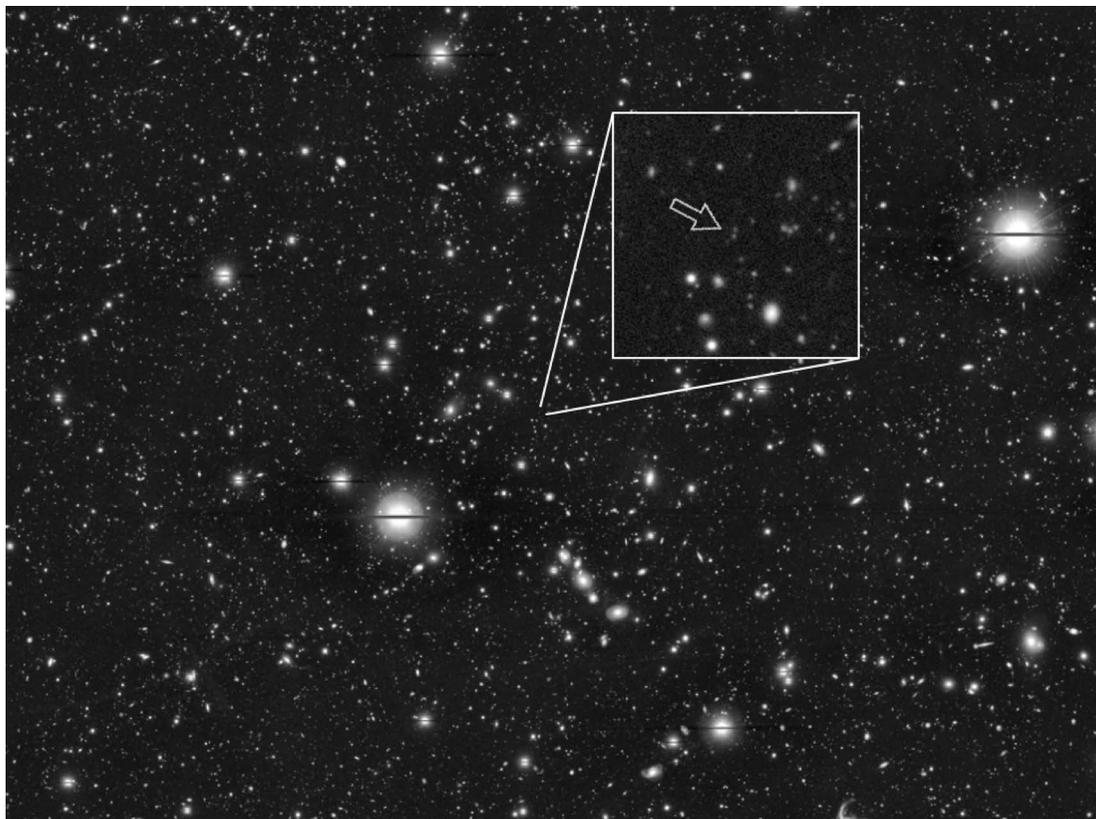


図6 HSCサーベイの画像データ。矢印の先に、後に遠方クエーサーと判明する天体が写っている。

サーベイ」と呼ぶ)の検討が進んでいった。HSCは2013年に科学ファースト・ライトを迎え、2014年からは計5年間・300夜もの望遠鏡時間割り当てを受けて、HSCサーベイが走り出すことになる。HSCサーベイ<sup>6)</sup>は $g, r, i, z, y$ の五つのフィルターを用いて、1,000平方度以上の空の領域を観測する<sup>\*3</sup>。到達深さは $i_{AB} \sim 26$ 等、 $z_{AB} \sim 25$ 等である。私たちがオーストラリアで行った探査と比べてみると、観測面積も $i, z$ フィルターに費す夜数も大雑把には同じであるにもかかわらず、およそ100倍もの深さに到達することがわかる。すばる8.2 m主鏡の集光力と、HSCの広視野・高感度の威力である。得られる画像データには、おそらく多数の遠方クエーサーが写っているだろう

(図6)。2010年頃、いったん遠方クエーサーの分野から遠ざかっていた筆者は、再びその探査に挑戦することになる。今から思えば、これは幸運な巡り合わせだった。しかしもちろん当時の見込みとしては、単に2度目の失敗に終わる可能性も少なからずあった。

HSCサーベイは日本、台湾、米国プリンストン大学の研究者が一体となって推進する、巨大な計画である。そのデータを用いてさまざまな研究プロジェクトが行われるが、どのプロジェクトについても、興味をもった研究者が自由に参加できるシステムになっている。遠方クエーサー探査については筆者をリーダーとして、20名ほどの共同研究者でスタートした。その後「SHELLQs (Subaru

\*3 HSCサーベイにはより狭い領域をより深くまで観測する計画も含まれているが、本稿では触れない。

High-z Exploration of Low-Luminosity Quasars)」というプロジェクト名も付けられた\*4。

探査を始めるに当たって筆者が心に留めていたのは、「普通にやってもまず成功しない」ということである。オーストラリアでは、私たちはまさに「普通に」やった。標準的なドロップアウト法を採用し、近赤外線追観測を経て分光観測に進むという戦略も、的を得ていた。それでも敗北したのは、敵の数が多すぎたためである。敵となったのは、遠方クエーサー候補に紛れ込む他種の天体、前章に述べた低温度星、低赤方偏移の銀河、移動・突発天体などだった。このような紛れ込み天体を、日本人研究者の俗語でコンタミ（英語のcontaminationから）と呼んでいる。最後の分光観測を行うとき、候補天体リストにたとえ正真正銘の遠方クエーサー1天体が含まれていても、同時にコンタミが100天体も含まれていれば、これは致命的である。分光観測には時間がかかる。地道に続けていく気でも、最初の1~2回の観測機会に運良く遠方クエーサーが出てこなければ、もう観測申請（プロポーザル）は通らなくなってしまう。そうなれば「詰み」である。

HSCによる新しい探査で私たちが最も力を注いだのは、できるだけコンタミの数を減らすということだった。一方で候補選出の条件を厳しくし過ぎると、肝心の遠方クエーサーを取りこぼしてしまうので、その辺りのバランスが難しい。私たちはまず単純なドロップアウト法の代わりに、ベイジ統計に基づく確率的選択法<sup>7)</sup>というものを採用した。この手法では天体の全バンドでの等級測定情報をフルに使い、期待されるスペクトルや等級ごとの天球面密度から、各天体がコンタミではなく遠方クエーサーである蓋然性を一つの確率値で表す。また主に移動・突発天体を排除するために、HSC画像の解析処理を少し廻り、スタッキン



図7 すばる望遠鏡と、上空を飛ぶ国際宇宙ステーション。私たちはこの夜、3度目の分光観測を行っていた（国立天文台提供）。

グ処理前のデータの確認も行っている。この辺りの詳細を述べることは本稿の趣旨から外れるので、興味のある方は、参考文献に挙げた論文<sup>4),8),9)</sup>を参照していただきたい。

さて、このようにHSCデータから選出した候補天体に対して、最後の分光観測を行う必要がある。分光観測で得られるスペクトルは、天体に関する情報を豊富に含んでおり、その正体を高確率で特定することができる。私たちはすばる望遠鏡（図7）に加えて、カナリア諸島にある口径10.4 mの大カナリア望遠鏡を使用することにした。すばるでは観測のたびにマウナケア山頂まで出かけるなければならないが、大カナリア望遠鏡はキュー観測というシステムを採用しており、事前に観測指示プログラムを送っておけば、条件の合う夜に現地のスタッフが実行してくれる。

私たちの最初の分光観測の機会は2015年2月20日、すばる望遠鏡であった。しかし残念ながらこのときは、霧のために観測ドームを開けることすらできなかった。最初からうまくはいかないものである。次の観測は大カナリア望遠鏡で、2015年9月8-14日の間に6天体の観測が行われ、データはすぐに送られてきた。順番に解析を行っ

\*4 「大きな望遠鏡時間を取るためには、印象的なプロジェクト名があったほうが良い」という説に基づくが、結局こんな名前を付けたことが良かったのかどうかはわからない。ただ知名度の向上には一役買っているようである。

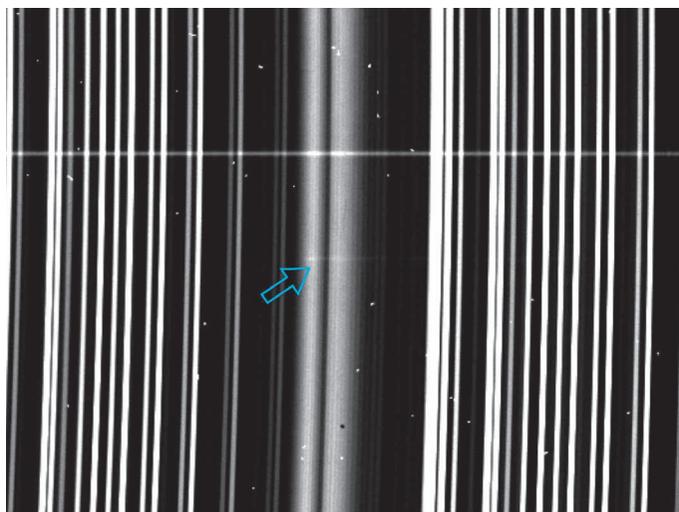


図8 大カナリア望遠鏡で撮られた、候補天体の二次元スペクトルデータ（中央付近が波長 $0.9\mu\text{m}$ ）。矢印の先にある淡い水平の光の筋は、紛れもなく遠方クエーサーの痕跡である。

ていったが、5天体目までは案の定、ハズレであった。どのスペクトルも、低温度星か銀河の特徴を示している。しかし最後の天体に取り掛かった瞬間、目をみはった—天文月報に「EUREKA」というコーナーがあるが、このEUREKA（見つけた！）を実際に心に叫ぶ機会は滅多にないだろう。しかしこのときがそうだった—このとき、筆者が見た生の観測データが図8である。解析するまでもなく、遠方クエーサーの痕跡がはっきりと写っている。この天体HSC J2216-0016は、解析の結果、赤方偏移 $z=6.10$ の遠方クエーサーであることが判明した。図3がそのスペクトル（後からすばるで撮り直したもの）である。

#### 4. 新たな挑戦：大規模分光探査へ

HSC J2216-0016の発見は、たしかに潮目を変えたと思う。筆者にとっては、オーストラリアで探査が始まった頃から数えれば実に15年ほどもかけて、探し求めた相手に巡り合ったことになる。この発見は大きな自信になった。自分たちの探査がある程度正しい道歩んでいることを、この天体ははっきりと教えてくれたのである。3度

目の観測機会は2015年の10-11月にすばるであり、一気に9天体の遠方クエーサーが発見された。2016年2月の4度目の観測では、さらに7天体の発見が続いた。

この機運に乗じて、2016年3月にはすばる望遠鏡の長期的な「インテンシブ・プログラム」に観測申請を行い、2018年春までの2年間に20夜の割り当てを受けた。それ以前と合わせると、私たちのプロジェクトはすばるに計30夜を獲得したことになる。この段階で、HSCデータからの候補選択の戦略はすでに確立し、分光のための豊富な望遠鏡時間が確保されたことから、余裕をもって探査を進めることが可能となった。このインテンシブ・プログラムは本稿執筆の2カ月前に終了しており、次に述べるように大きな成果を挙げている。私たちは、天気にも比較的恵まれた。マウナケアが深刻な長期的悪天候に見舞われた2018年前半を含めても、計30夜のうち20夜以上は晴れた。晴天率は70%ほどで、おおむねマウナケアの平均値である。この間、大カナリア望遠鏡でも計10夜分の観測時間をいただき、100%実行されている。

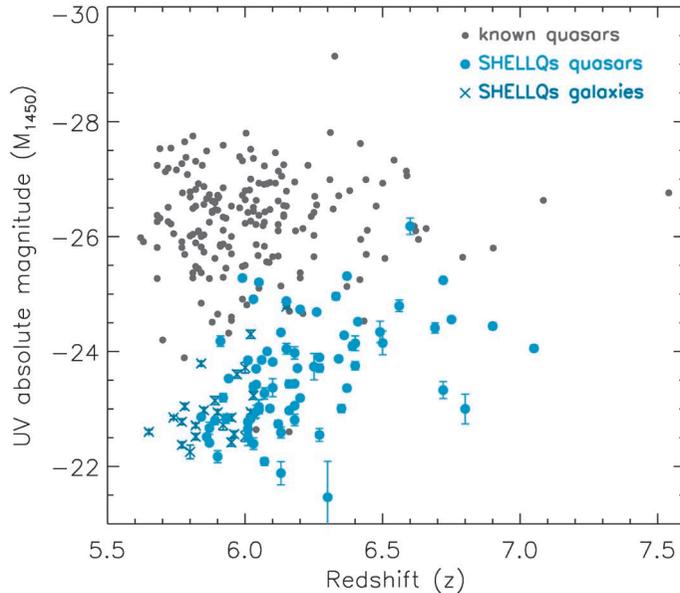


図9 赤方偏移 $z=5.5$ 以遠で現在知られているすべてのクエーサー。横軸は赤方偏移、縦軸は絶対等級（光度）を表す。私たちが発見した天体は青丸で示されている。

本稿執筆時点での探査の結果は、図9に示されている。この図からまず読み取れることは、2000年以前に比べて世界は変わってしまったということである。当時は1天体も知られていなかった赤方偏移 $z>6$ のクエーサーは、アメリカが主導する Sloan Digital Sky Surveyをはじめとする世界的な探査によって、現在では100天体以上が発見されている。また最遠クエーサー記録は2017年に更新され、 $z=7.54$ となった<sup>10)</sup>。この中で、すばるHSCも大きな貢献をしている。特に絶対等級 $M_{1450}=-24$ 等よりも暗い遠方クエーサーの探査については、私たちの独壇場である。

次に分光観測の勝率、すなわちスペクトルを取得した候補天体の中に、正真正銘の遠方クエーサーがどれくらい含まれていたかを見てみよう。これは図10に示されている。HSCの等級情報から計算されたクエーサー確率が高い側では、候補天体を分光観測した場合、約70%の割合で遠方クエーサーが発見されている。これまでの探査に比べて格段に高い勝率であり、私たちがコンタミ

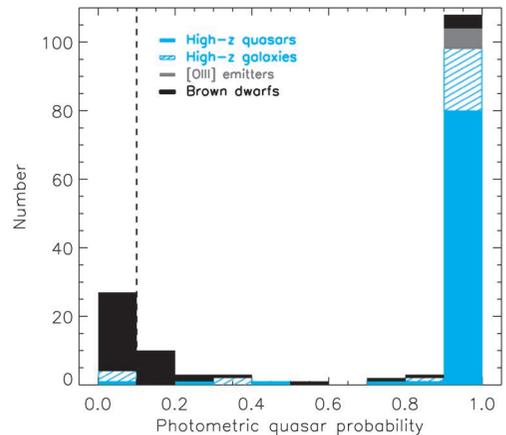


図10 HSCの等級測定情報から計算された、候補天体のクエーサー確率分布。分光観測で遠方クエーサーと判明した天体は、青色で塗りつぶされている。

を減らす上で大きな成功をおさめ、効率よく分光観測を行っていることがわかる<sup>\*5)</sup>。

こうして得られた遠方クエーサー群は、これから将来にわたって、宇宙最初の10億年に関する多様な研究の基礎となるものである。すでに光度

関数、すなわち等級ごとの数密度の測定は終了し、巨大ブラックホールの形成理論との比較が行われようとしている。この測定結果から導かれる結論として、未確定ながら、宇宙再電離に対する遠方クエーサーの寄与は小さかったようである。また巨大ブラックホールの質量分布を測定するため、すばる、ジェミニ北望遠鏡などによる近赤外線分光観測が着々と進みつつある。アルマ望遠鏡にも2016年から継続的に観測時間を確保し、星形成率や力学的質量の測定を通じて、巨大ブラックホールと宿主銀河との関係を調査している<sup>11)</sup>。これらの追観測は探査チームの若手研究者が主導しており、これから素晴らしい成果を上げていくだろう。もちろん打ち上げの迫るジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡にも、多様な関連テーマで観測申請を行う予定である。

一方で、私たちの目はさらに遠くを向いている。これまでの世界的な探査によって、遠方クエーサーのフロンティアは赤方偏移 $z=6$ を少し越えた辺りから、 $z=7$ 付近へと移ってきている。赤方偏移 $z=7$ はビッグバン後僅か7億年余りの時代であり、その徹底的究明は、人類の知識をさらに過去へ、宇宙誕生の瞬間に向かって広げることになるだろう。この次なるフロンティアの開拓のため、私たちは2018年3月に2度目の「すばるインテンシブ・プログラム」の申請を行って、採択された。2018年秋から3年間にわたって計30夜の観測が行われる予定であり、現在その準備を進めている。ぜひ成果にご期待いただきたいと思う。

2020年代に入る頃からは、次々と登場してくる新たな大型装置によって、遠方クエーサー探査の分野も大きな発展を見るだろう。すばる搭載に向けて開発が進むPFS (Prime Focus Spectrograph) は、HSCに匹敵する視野をもつ多天体分光装置であり、HSCサーベイで見つかった多くの天体のスペクトルを一挙に撮ることができる。また東

京大学アタカマ天文台 (TAO) 6.5 m望遠鏡は、近赤外線装置SWIMSによる高い掃天観測能力を有しており、私たちは赤方偏移 $z=8$ を超えるような超遠方クエーサーの探査を検討している。さらに宇宙空間から近赤外線の広視野観測を行う宇宙望遠鏡WFIRSTは、遠方クエーサー探査にとって一つの究極の望遠鏡と言うべきであり、他の追従を許さない圧倒的な成果を生み出すだろうと期待される。発見天体の詳細な追観測には、TMT (Thirty Meter Telescope) など地上の超大型望遠鏡が力を発揮するだろう。

## 5. 川良さんとの思い出

私たちの遠方クエーサー探査はすでに大きな成功を収め、次の数年間にわたってさらなる発展が期待されている。HSCサーベイの優れたデータがある以上、ほかの誰かが率いても探査はうまくいったかもしれないが、ともかくも今回は筆者が主導し、すばるの一つの財産となるであろう成果があげられた。その基礎をなしたのはオーストラリアでの経験であり、種をまいたのは川良さんである。川良さんはHSCでの探査には参加されず、筆者らによる初めての遠方クエーサー発見の報を待たずに、その半年前に亡くなられた。

川良さんと初めて会ったのは、学部4年生のときである。卒業研究の話を聴きにいった筆者には、いかにも研究者然とした、朴訥で優しい人に見えた。この時期以前からすでに体調は万全ではなく、研究室に入ってすぐの時期には、入院されていた病室まで論文を届けていたことを覚えている。それでも研究に対する少年のような情熱を常にもち続け、精力的に仕事をしておられた。定期的に研究室のメンバーを招いてホームパーティーを開いてくださり、故郷の佐賀から取り寄せたという豚足を振る舞ってもらったこともある。

南天での遠方クエーサー探査のことで、大藪さ

<sup>\*5</sup> HSC J2216-0016を見つけた大カナリア望遠鏡の分光観測では、勝率は6分の1だった。HSCデータ解析や候補選択手法の改善によって、探査の期間内にも勝率は大きく向上している。



図11 セロ・トロロ観測所（筆者撮影）。

んと2人，チリのセロ・トロロ観測所へ出かけたことがある。そこは若い日の川良さんが研究員時代を過ごし，また麓の町ラ・セレナで奥さんと出会った場所でもある（図11）。ちなみに私たちに川良さんから，奥さんの親族に手紙を渡すこと，娘さんのためにスペイン語の絵本を買ってくること，というミッションも課されていた。せっかくいったセロ・トロロでは曇り続きでほとんど観測できなかったが，古株らしきスタッフの人と話していたときに「お前たち，Kimiakiの弟子なのか！」ということになり，図書室へ連れていかれた。古ぼけたスクラップ帖を開いて見せてくれたのだが，色あせた新聞記事が貼られており，そこに写っていたのは何と，近くの町コキンボで結婚式をあげる川良さんと奥さんである（図12）。若い2人を祝福，という地元の記事だったのであるが，それが観測所に保存され，スタッフの記憶にずっと残っているということが，川良さんの慕われていた人柄を感じさせて，筆者にはとても印象深かった。写真に撮って帰国したら，川良さんは照れてあまり見てくれなかったが。

数年後に筆者は大学院を修了して三鷹キャンパスを去ったが，共同での研究は続いていた。その



図12 セロ・トロロ観測所の山頂図書室にあった，古い新聞記事の切り抜き。記事内の写真は1987年，San Luis de Coquimbo教会にて撮影されたもの（Diario El Dia社）。

頃私たちは，可視光の宇宙背景放射の研究をしていた。さらにのち2013年からを筆者は米国プリンストンで過ごし，帰国後久しぶりに川良さんに会ったのは2014年の秋から冬にかけて，入院先の病室においてである。この頃，川良さんの容体は悪かった。それでも病室にパソコンを持ち込み，ベッドの上で研究を続けておられた。久しぶりの筆者を見て，「最近僕の仕事が遅くて，何しとんやと思っただでしょ？」と言ってにやりと笑わ

れた。最近の研究結果をいろいろ見せてくださり、その日は面会時刻を過ぎて付き添いのご家族が帰ってしまった後までも、話が尽きなかった。

川良さんの容体は日を追って悪くなった。12月に入ったある日、お見舞いにいった筆者が病室に入るとすぐに、「これから言うことをよく覚えておいてほしい」と言われた。その声はかすれて聞き取りづらかったが、川良さんがまず明かされたのは、使われていたすべてのパソコンのパスワードだった。それから、当時書かれていた論文の結果・図などを再現するためのプログラムの在処、実行の仕方を伝えられた。そのほか、少しずついろいろな話があった。このときのことを思い出すと、今でも厳粛な気持ちにさせられる。川良さんには、覚悟されているものがあつたと思う。しかし一方で、復帰することも諦められてはいなかった。

最後に川良さんに会ったのは、2015年の年明けである。このとき何を話したのか、残念ながらも覚えていない。パソコンはまだ、ベッドサイドに置かれていたようにも思う。筆者は1時間ほど病室にいて、それから帰った。そのときから2週間ほどして、川良さんは亡くなられた。

## 6. さいごに

2000年頃に川良さんたちがオーストラリアで種をまいた遠方クエーサーの探査は、いま北半球のすばるで、筆者に率いられて大きく花開いている。不思議なものである。この成功を川良さんが見ることができなかったのはかえすがえすも残念だが、どこかで喜んでいてくれるだろうとも思う。またオーストラリアで撮った膨大な探査データは、現在は休眠状態だが、間違いなく科学的価値の高いものである。筆者も研究室をもつようになった今、新しい若い人たちと一緒に、このデータの出版・活用について考えてみたいと思っている。

なお川良さんが最後の病室で取り組んでおられた論文は、亡くなられた2年後に、川良さんを主著者としてPASJから出版されている<sup>12)</sup>。

## 謝辞

これまで筆者の研究を支えていただいた多くの方々に、改めて感謝申し上げたい。特に川良公明氏と、HSCでの探査を共に進めているMichael Strauss（プリンストン大学）に、筆者は多くを負っている。また今回の受賞に当たって筆者を推薦していただいた方々に、厚く御礼申し上げます。図12の古い新聞記事を掲載するに当たっては、セロ・トロロ観測所の現所長であるSteve Heathcoteのご夫妻とそのご友人に尽力いただき、Diario El Dia社のディレクターから快く許可をいただいた。Steveは1980年代後半にも観測所に勤務し、川良さんのことをよく覚えているということであった。最後に、海外出張の多い筆者に理解を示し、支えてくれる家族に深く感謝をしている。

## 参考文献

- 1) Kormendy, J., & Ho, L. C., 2013, ARA&A, 51, 511
- 2) Schmidt, M., 1963, Nature, 197, 1040
- 3) Fan, X., et al., 2000, AJ, 120, 1167
- 4) Matsuoka, Y., et al., 2016, ApJ, 828, 26
- 5) Fan, X., et al., 2006, ARA&A, 44, 415
- 6) Aihara, H., et al., 2018, PASJ, 70, S4
- 7) Mortlock, D. J., et al., 2012, MNRAS, 419, 390
- 8) Matsuoka, Y., et al., 2018, PASJ, 70, S35
- 9) Matsuoka, Y., et al., 2018, ApJS, 237, 5
- 10) Bañados, E., et al., 2018, Nature, 553, 473
- 11) Izumi, T., et al., 2018, PASJ, 70, 36
- 12) Kawara, K., et al., 2017, PASJ, 69, 31

### Looking for Distant Quasars

Yoshiki MATSUOKA

Research Center for Space and Cosmic Evolution,  
Ehime University, 2-5 Bunkyo-cho, Matsuyama,  
Ehime 790-8577, Japan

Abstract: This article describes two surveys for distant quasars; the one we carried out at Siding Spring Observatory, Australia, and the other at Subaru Telescope. The article was in part written in memory of Kimiaki Kawara, who brought enormous passion to this field and passed away in 2015.