

さよならエスカム

柏川 伸 成

〈国立天文台光赤外研究部 〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

e-mail: n.kashikawa@nao.ac.jp



すばるの代名詞とでもいうべき Suprime-Cam は、日本の遠方銀河・初期宇宙観測研究を世界的なスターダムにのし上げた。Suprime-Cam はまさにその大きな視野で遠方宇宙の知識を大きく広げたのである。

1. エスカム誕生

「彼、今度すばるの Suprime-Cam をやることになった宮崎さん。」当時国立天文台で指導を受けていた関口真木さんに宮崎聡さんを紹介されたのは、今はもうないエレキショップというプレハブ小屋の中だった。20年前の国立天文台三鷹キャンパスは、まだすばる棟も、まして ALMA 棟もなく、そのエレキショップは現在の「休憩室」という建物の付近にあったと記憶している。関口さんに紹介された宮崎さんは大学院生の私にも深く頭を下げるとも礼儀正しい方という印象が強く、その後激太りする未来の片鱗も感じさせず、ひょろっとして青白い顔をしていたことが記憶に残っている。煙草のヤニの香りを少し漂わせていた。その頃私たちはそのエレキショップで、モザイク CCD カメラを開発し、木曾観測所やラスカンパナス天文台、ウィリアムハーシェル望遠鏡などに持ち込んでいって、言ってみれば広視野撮像観測の先駆けとなる研究を行っていた。その後、CCD のモザイク化の技術は関口氏を中心にスローンデジタルスカイサーベイ (SDSS) の広視

野カメラの開発に発展応用されつつあったが、私の指導教官でもあった東大の岡村定矩先生のリードの下、日本がマウナケア山に建設を目指すすばる望遠鏡にも広視野機能をつけようという構想が長年にわたって育まれてきた。ただ、どのように具体化するか、その設計が急がれていた。関口さんは SDSS に忙しく、すばるの広視野カメラをリードして開発する人が必要とされていた折、宮崎さんに白羽の矢が立ったのだ*1。聞くと、宮崎さんはそれまでブラジルでバルーン実験をしていたという。これからハワイ大学の開発するカメラ開発に参加し、帰国後にすばるの広視野カメラをという予定らしい。暗くて少しかび臭いエレキショップの中で私はその当時、すばるなんてできるのはまだまだ先だなあと考えていた。

今となっては、すばるが完成したのはそれからすぐ後のように感じられる。善くも悪くも、すばるはたくさんの観測装置を装着する予定になっていたが、その中でもいち早くすばるに取り付けて観測を開始したのは主焦点カメラ、つまり Suprime-Cam だった*2。主焦点の完成は遅れていたため、カセグレン焦点という本来いるべき場所ではない

*1 だったような気がするが、もしかしたら話は多少前後しているかもしれない。詳細は天文月報2018年3月号の宮崎氏の記事を参照されたい。

*2 タイトルでは、一時代を共に築いたこの観測装置への愛を込めて、いつも私たちが呼んでいた通称でエスカムと呼ばせていただく。人によっては、シュプリーム、シュブカム、と呼んでいる場合もあるようだ。

場所に搭載された Suprime-Cam は、その多少の居心地の悪さをもとせず、次々と 8 m 望遠鏡の威力を私たちに見せつけていた。私自身はそのころ FOCAS の立ち上げに追われていたが、Suprime-Cam から次々と送られてくる美しい画像に、ほかの第 1 期観測装置開発グループの面々といっしょに、憧憬そして憔悴を覚えたものだった。さらにその当時、「山から下りてきた Suprime-Cam グループは夜な夜なヒロで寿司を食べている」というまことしやかな噂が、わたしたちをいっそう苛立たせた。

2. エスカムによる大規模観測の開始

やがて Suprime-Cam, CISCO, そして FOCAS で一つの大きなまとまった観測をしようという話が持ち上がった。その当時、Keck 望遠鏡に続いて、VLT や Gemini もファーストライトを迎えつつあった当時、すばるのレガシー的なデータを産み出そうという発想はとても素直な流れだった。3 装置で独自にそれぞれのギャランティードタイムを持ち寄って行った観測は、なかなかの成果を上げたこともあって、やがてハワイ観測所内でも大きな観測プロジェクトを走らせようという機運が高まり、当時のハワイ観測所長だった安藤さんが「ハワイ観測所プロジェクト」という枠組みを作った。いわゆる SDF (Subaru Deep Field) プロジェクト^{*3}の開始である^{*4}。このプロジェクトは、宇宙最遠方(赤方偏移 4 から 7)にある銀

河の探査と理解を最大の目的に掲げたもので、実際にどのような成果を上げたかについてはほかの研究とまとめて次章で述べることにして、古い記憶を呼び起こすために昔の資料をあさってみた。2007 年のすばるユーザーズミーティングで「SDF ~6 years journey~」と題してこの SDF プロジェクトの総括をさせていただいた。その中でこのプロジェクトの成功の秘訣として、1) 日本オリジナルの研究にしよう^{*5}、そして 2) 即座にデータ解析、データ公開、成果発表をしよう、という明確な意図があったことを挙げている。このことは現在の HSC-SSP の戦略にもつながっているのではないだろうか。

3. エスカムによる遠方銀河研究

エスカムがなかったら、日本の光赤外天文学、特に遠方銀河研究は、いまごろ何をやっていただろう？ この無謀な仮定の答えを私は全く思いつかない。地球からの距離がそのまま宇宙時間に対応する遠方銀河の観測研究で、大きな鍵となるのは無数に写っている銀河からいかにして目的の距離にある銀河を選び出すかということである。分光観測をすれば距離は求まるが、それには長い観測時間がかかる^{*6}。しかも、画像に写っている銀河のうち、われわれが興味のある遠方銀河はほんのごくわずかなので、銀河をしらみつぶしに分光しても遠方銀河に出会える可能性は低い。そこで、撮像観測だけで、遠方銀河をある程度の信頼

^{*3} この観測計画は谷口義明氏 PI のインテンシブプログラムと共同で実行された。またすばる観測所プロジェクトとして SXDS (Subaru XMM Deep Survey) も同時採択され、それぞれ春のフィールド、秋のフィールドとして精力的に観測された。

^{*4} ちなみに SDF というプロジェクト名は当時のハワイ観測所長の A 藤さんのご意向であった。私は当初このプロジェクトに、なんの略だったか忘れてしまったが、当時活躍していた(今でも十分活躍している) ICHIRO という名前をつけていた。高赤方偏移の宇宙を地道にしかし確実に理解しようという意図も込められて、ヒットと足を武器にした彼の名前をとったのであるが、まさかその後、このプロジェクトがホームランを何本も打つことになるとは予想していなかった。

^{*5} 当時のサッカー日本代表監督はイビチャ・オシムであり、同じく世界と伍して戦うための戦略として日本オリジナルを目指した時代背景が重なる。

^{*6} Suprime-Cam が 10 時間撮像観測することによって検出できる約 10 万個の天体をすべて分光観測するためには、現在の最先端の観測技術をもってしても約 1,000 時間かかる。

性で選び出す方法がいくつか考案されている。代表的な方法としてはドロップアウト法^{*7}とライマン α 輝線検出法^{*8}が挙げられる。これら二つの手法^{*9}はそれぞれ難点を抱えつつも遠方銀河探査の非常に有効な手法であり、赤方偏移3を超える遠方宇宙におけるほとんどの銀河はこれらの手法で発見されたものとなっている。Suprime-Camがこの分野で大きな成功を収めたのも、ほかの大型望遠鏡にはない広視野撮像というユニークな観測手法を用いてこれら二つの探査手法を最大限に活かすことができたことが大きな要因だろう。すばるは、僅か十数年の観測で、遠方銀河の知識を飛躍的に増大させた。以下では、われわれが取り組んだSDFで得られた成果を中心にエスカムによるすばるの遠方銀河研究をいくつか紹介しよう^{*10}。

3.1 遠方銀河の光度関数——銀河はいつ星を作ったのか——

Suprime-Camが感度をもつ可視光は、遠方銀河

自身にとっては遠紫外域(10–200 nm)で放射された光である。遠紫外光は重い星(すなわち寿命の短い星)からの寄与が卓越するため、遠紫外光の強度からその銀河の星形成率(1年当たり)にその銀河内で生まれる星の総質量)を測定することができる。Suprime-Camは、赤方偏移4を超える銀河を多数検出し、その光度関数^{*11}を求めることで、銀河の星形成活動の時間変化を調べた。銀河サンプル数とその測定精度を決定するこのような観測においてはまさにSuprime-Camの広視野が活かされている。LBGの光度関数^{1)–6)}においては、 $z=6$ から $z=4$ にかけて順調に星形成活動が活発化していることがわかったが、これはまさに階層的銀河形成によって小さな銀河から大きな銀河へと質量集積が進んでいる歴史を見ていると言える。一方、LAEサンプルに基づくライマン α 輝線光度の光度関数^{7)–10)}を見ると、 $z=3$ から $z=5.7$ までは光度関数はほぼ一定である^{*12}。ライマン α 輝線は進化の進んでいない若い星形成銀河か

^{*7} 遠方天体からの光は、地球までの経路上にある銀河や銀河間物質に多く含まれる中性水素ガスによってライマン α 遷移(波長 $\lambda 121.6$ nm)にちょうど合致する波長で吸収を受ける。この経路上の天体・物質は当然ながら対象の遠方銀河より小さい赤方偏移をもつために、遠方銀河のライマン α 線より短波長側の光はこうした天体・物質によってほぼ連続的に吸収され、観測されるスペクトルにはライマン α 線の前後で大きな段差=ブレイクが生じる。この段差をライマンブレイク(実際にはライマン α より高励起のライマン系列すべてがこのブレイクに寄与する。また、91.2 nmのライマン吸収端による連続光吸収も寄与する。)と呼び、この手法で検出される遠方にある銀河種族はライマンブレイク銀河(Lyman Break Galaxy=LBG)と称されている。ライマンブレイクの生じる観測波長から、その銀河の赤方偏移すなわち距離が推定できる。この手法は遠方銀河に限らずクエーサー、GRB(ガンマ線バースト)などほかの遠方天体にも応用されている。しかし遠方銀河の連続光が弱すぎるとこのブレイクはノイズに埋もれて見えなくなってしまう。

^{*8} 形成初期の銀河は活発な星形成を起こしていると考えられるが、若い星からの光によって電離された水素ガスが再結合する際に発するライマン α 輝線を観測で検出できる。特に銀河中の塵(ダスト)が少ないような最初期にはこの効果が期待される。このライマン α 輝線が検出された遠方銀河のことをライマン α 輝線銀河(Lyman- α Emitter=LAE)と呼んでいる。この輝線だけを効率よく検出するためには、狭い波長幅の光だけを透過する狭帯域フィルターと呼ばれる特殊なフィルターを用いる。このフィルターの透過波長範囲内にライマン α 輝線が存在すればほかの波長域に比べて明るく観測されるはずである。しかしこの方法にも難点がある。地上から観測する場合、可視光(300–1,000 nm)の長波長域では地球大気中の原子・分子からの輝線が卓越し、どの波長でも効率よく観測できるというわけにはいかない。暗い遠方のライマン α 輝線が検出できるような、大気の輝線の弱い波長域=赤方偏移範囲は限られているのである。

^{*9} 実際には、これら二つの手法によって候補天体を探した後に、分光観測によって赤方偏移が決定されると確実に遠方銀河だと言える。

^{*10} このテーマについては、一度、嶋作一大氏(東大)と共著で「すばる望遠鏡で探る遠方宇宙/初期宇宙」というタイトルで日本物理学会誌2008年2月号に寄稿させていただいたことがある。ここではそれに大幅に加筆したものを掲載した。

^{*11} 光度(単位時間当たり)に天体から放出される全エネルギー量)に対する分布関数。

ら出やすいことを考えると、この結果は、過去にいくにつれて若い銀河の比率が高まっていることを示唆する。これらの観測対象を追観測することで、例えば、紫外域の観測から光子脱出率を測定したり¹¹⁾⁻¹³⁾、近赤外分光観測から金属量、星間物質の物理状態を探ろうというLAEそのものの性質に迫った一連の研究も行われた¹⁴⁾⁻¹⁸⁾。

3.2 遠方銀河の空間分布——銀河はどこで生まれるか——

銀河がダークマターハローの中で成長するとすれば、ダークハローの質量は銀河進化にとって非常に重要なパラメータといえる。遠方銀河はどれくらいの質量のダークハローの中に存在するのだろうか。そもそも、銀河がダークハローの中で生まれるという仮説は正しいのだろうか。ダークハローの質量は、内部の物質（星やガス）の運動から原理的には測定できる。しかし現在の、つまりわれわれの近くにある銀河についてさえ、ダークハローの質量を測定するのは難しい。銀河の内部運動を、星やガスがほとんど存在しないようなハロー外縁部まで調べる必要があるからである。遠方銀河のダークハローの質量をこのような方法で測ることは不可能である。しかし、もし大規模な銀河サンプルを構築することができれば、その空間分布の強度からダークハローの質量を「推定」することができる。

ダークハローの形成モデルは、重いダークハローほど強く群れる、すなわち密集する傾向が強いことを予想する。群れ具合（クラスタリング）の定量的指標としては二体相関関数^{*13)}がよく用いられる。この関数から、その銀河の属するダークハローの群れ具合が分かり、同時にダークハ

ローの質量を推定することができる。見えないダークハローを、銀河の分布を通して「見る」わけである。銀河の二体相関関数を測るには十分大きな体積が必要である。なぜなら、少なくとも現在の宇宙の銀河は数十Mpcという大きなスケール^{*14)}で群れているからである。逆に、大きな体積を観測し銀河のサンプル数を増やさなければ、二体相関関数は求まらない。遠方銀河は見掛けが暗いため、検出には大口径望遠鏡でも十数時間の積分時間を要する。こうした暗い銀河を広い体積で探査するのを最も得意とするのが、すばる望遠鏡のSuprime-Camである。Suprime-Camは、遠方宇宙における銀河とダークマターの関係について、質・量ともに他の望遠鏡を圧倒するデータをもたらした。Suprime-Camから得られたLBGの二体相関関数の測定¹⁹⁾⁻²⁰⁾からは、まず、ダークハローが現在の銀河系並みに重い質量を持っている(10^{11} - 10^{12} 太陽質量)ことがわかった。さらに、約10秒角のところで二体相関関数が折れ曲がっていることが分かった。10秒角という角度スケールは約300kpcという実スケールに対応し、これはCDM(Cold Dark Matter)を仮定した場合の $z=4$ における 10^{11} - 10^{12} 太陽質量の質量をもつダークハローの大きさに一致する。折れ曲がりの10秒角以下の部分は、一つのダークハロー内の複数の銀河同士の相関を反映する。すなわち二体相関関数が小スケールで急峻しているのは、一つのダークハローの中に複数の銀河が存在していることを意味する。このすばるの観測は、重いダークハローの中で複数の遠方銀河が成長していることを初めて明確に示した。これらの銀河は、現在の宇宙に数多く見られる楕円銀河のような明

^{*12)} どうしてLAEの光度関数が進化しないかについては決着されていないが、ダスト量、光子脱出率、隠蔽割合などLAEそのものの性質がその個数進化とうまく釣り合っていると考えられる。このLAEの性質についてもすばるは多くの研究でその理解を深め、また同時に謎も深めた。

^{*13)} 二体相関関数とは、ある距離だけ離れた二つの場所に銀河が存在する確率（の、ランダム分布の場合の期待値からのずれ）を距離の関数として表したものである。

^{*14)} 現在の宇宙では銀河の二体相関関数は約10Mpc、銀河団の二体相関関数は数十Mpcの距離までほぼべき関数に従うことが知られている。

るい銀河の祖先だと予想できる。

しかし、銀河とダークハローの関係は常に単純なわけではない。ライマン α 輝線の強い比較的若いと考えられている遠方銀河(LAE)の $z=5$ における空間分布を調べた結果、数十Mpcという大きなスケールの個数密度の濃淡があることがわかった²¹⁾。これは現在の宇宙の大規模構造に匹敵する。このような大スケールの構造が早くも $z=5$ という宇宙初期に形成されていることは驚きである。同じく $z=3$ においても、さらに広範囲(～50 Mpc)に及ぶLAEの大規模構造がSuprime-Camによって発見されている²²⁾。

3.3 最も遠い銀河を探す——銀河はいつ生まれたのか——

これは、銀河形成の現場を直接見るというわかりやすい課題であるとともに、宇宙の再電離を探るうえでも重要である。SDFにおいては、まず2002年に $z=6.56$ の銀河が二つ発見された^{23), 24)}が、その後2006年には $z=6.96$ ^{*15}、2012年には $z=7.22$ の銀河が発見された^{25), 26)}。これらの銀河はいずれも、上で述べたライマン α 輝線を使う方法によって検出された。赤方偏移したライマン α 輝線を専用の狭帯域フィルターで捕え、分光観測をして赤方偏移を確定するのだ。 $z=7$ 付近の銀河は広いSuprime-Camの視野に1個程度しか見つからなかった。これは予想外に少ない数である。Suprime-CamによるLAE探査は赤方偏移が7より向こうで急激に難しくなる。これを超えるとライマン α 輝線の観測される波長が可視光検出器の感度帯よりも長波長の赤外線域にシフトしていくことと、同時に再電離期に突入し、ライマン α 輝線が著しく減衰されるためだと考えられる。より遠くを調べるには広い視野をもつ赤外線カメラが必要となるが、8 m望遠鏡でSuprime-Camに匹敵する視野をもつものはまだ現存しない。これらSuprime-Camが見つけた分光同定された遠方銀河は、ALMA

の恰好のターゲットとなり、いくつかで[CII]が検出されている²⁷⁾。

3.4 宇宙はいつ再電離したか

ビッグバン直後、宇宙空間は高温のプラズマ状態であったが、膨張とともに冷えていき、40万歳の頃に陽子と電子が結合して中性状態になった。ところが現在の宇宙空間はほぼ完全に電離した状態である。宇宙背景放射の観測によると、宇宙は $z\sim 10$ から $z\sim 6$ の間に再び電離状態になったらしい。これを宇宙の再電離という。再電離に必要な電離紫外光は初代天体から放射されたと考えられる。再電離が始まることによって、宇宙は天体の存在しない暗黒時代(ダークエイジ)が終わることになる。初期宇宙の飛躍的な宇宙空間の変化である再電離過程は非常に大まかには以上のように考えられているのだが、いつ、どのように、何によってこの現象が引き起こされたのかは、まだほとんどわかっていない。宇宙空間の電離状態を探る方法の一つに、LAEを使う方法がある。ライマン α 輝線は水素原子に散乱されてしまうため、中性状態の宇宙からやってくる銀河のライマン α 輝線は弱くなる。ライマン α 輝線の光度関数が $z>5.7$ で減少し、特に $z=7$ ではSuprime-Camの視野に1個しか見つかっていないのは、その時代には宇宙空間がまだ十分に電離していなかったからかもしれない。こう仮定するとこの当時の宇宙の中性度に制限を与えることができる²⁸⁾⁻³³⁾が、銀河の数がそもそも $z>6.5$ で少なかった可能性や、再電離過程の空間的非一様性の可能性など、議論の余地は残されている。ライマンブレイク銀河中のライマン α 輝線を出す銀河の割合を再電離の指標にした研究でも、同様の傾向が得られている³⁴⁾。

3.5 原始銀河を探す——銀河はどのように生まれるのか——

銀河が生まれる瞬間を見た者はまだいない。おそらく、冷えたガスからまとまった量の星が生ま

*15 当時は、分光同定された $z>6$ の銀河の大部分はSuprime-Camで発見されたものであった。Suprime-Camによる遠方銀河探査的にはこのころが黄金期だったかもしれない。

れたら、銀河が誕生したといえるのだろう。 $z=7$ に銀河が見つかったからといって、すべての銀河が $z=7$ 以前に生まれたとは限らない。実際、銀河は幅広い時代に生まれうると考えられている。しかし、生まれたての銀河（ここでは原始銀河と呼ぶ）と言える期間は非常に短い（典型的に 10^6 年以下）ため、希にしか存在しないと予想される。したがって、ここでも、すばるSuprime-Camの広視野+大口径の組み合わせがその発見に効果的となる。

原始銀河は、ガスの降着などによって空間的に広がったライマン α 輝線を出すと考えられる。また、星が非常に若い場合や、極めて金属量が低い場合には、ライマン α 輝線が非常に強くなる。したがって、こうした特徴をもつ天体の中に原始銀河が隠れている可能性がある。

すばるは初めて大規模にこうした銀河の探査を行い、 $z=3-5$ の宇宙で、原始銀河の候補ともいえる巨大なライマン α 輝線銀河を多数見つけた^{35),36)}。こうした銀河は、大きいものだとわれわれの銀河系の数倍の大きさがあり、ところどころに泡のような構造が見える。これは初期の激しい星形成活動に伴うたくさんの超新星爆発によってできたのかもしれない。こうした広がったライマン α の光芒は、銀河周縁物質に散乱されて遠方銀河に普遍的に存在するという結果も得られている^{37),38)}。

すばるはこのような原始銀河の候補を多数見つけたが、その性質を詳細に調べるには、赤外や電波など多波長での深い追観測が必要であり、その意味でSuprime-Camが広い視野から見つけた銀河は明るいものが多いため追観測に向いている。また低金属量のガスから生まれる最初の星は、われわれが知っている星とは随分違うと考えられているため、恒星物理の点からも興味深い。

4. さいごに

私のこれまでのすばるにおける成果発表は、その内容のほとんどにSuprime-Camが関係したものだ。Suprime-Camが観測を開始して間もないころには、海外での発表で「すばるにはSuprime-Camと言う広視野カメラがあって...」と、ハッブルとの視野の差を見せつけながらの導入をしなければいけなかったが、そのうちその必要も要らなくなった。世界のだれもが「すばる=広視野撮像」という等式を頭の中で持つようになったからだ。広視野、という性能はとてもわかりやすい。小学校の授業でも「すばるはいちどにたくさんのほしを見ることができるデジカメをもっていることがよくわかりました。」そんな感想ももらったこともある。そうやって私は、これまでSuprime-Camを頼れる友、自慢の相棒として、多くの方に紹介してきたのだ。

ステーブジョブズ氏は言った。「何かを捨てなければ前に進めない。」それはそのとおりで、われわれは前に進むべく、Suprime-Camに代わるHSCという強力な観測装置を手に入れた。視野はもちろんSuprime-Camを凌駕し、Suprime-Camのもつ機能はほとんどこのHSCに備わっている。おまけにデータ解析だって、HSCパイプラインを使えば、今ここで何をやっているのかな？ とぼんやり考えているうちに、解析済みの画像が目の前に現れる。Suprime-Camを捨てない理由なんて一つもない。いいじゃないか、HSCがあるんだから。頭ではわかっているけど、もうSuprime-Camといっしょに迎える朝がないことを想うと、胸の奥で何か引っかかるものを感じるのは私だけではないはずだ。十数年来の友人を失ってしまったような気持ちにそれは似ている。さようなら、そしてありがとう、エスカム。

参考文献

- 1) Iwata I., et al., 2003, PASJ 55, 415
- 2) Shimasaku K., et al., 2005, PASJ 57, 447
- 3) Yoshida M., et al., 2006, APJ 653, 988
- 4) Ouchi M., et al., 2009, ApJ 706, 1136
- 5) McLure R. J., et al., 2009, MNRAS 395, 2196
- 6) Bowler R., et al., 2014, MNRAS 440, 2810
- 7) Ajiki M., et al., 2003, AJ 126, 2091
- 8) Ouchi M., et al., 2008, ApJS 176, 301
- 9) Konno A., et al., 2014, ApJ 797, 16
- 10) Sobral M., et al., 2015, MNRAS 451, 400
- 11) Iwata I., et al., 2009, ApJ 692, 1287
- 12) Ono Y., et al., 2010, ApJ 724, 1524
- 13) Nestor D., et al., 2011, ApJ 736, 18
- 14) Nakajima K., et al., 2012, ApJ 745, 12
- 15) Nakajima K., et al., 2013, ApJ 769, 3
- 16) Hashimoto T., et al., 2013, ApJ 765, 70
- 17) Shibuya T., et al., 2014, ApJ 788, 74
- 18) Song M., et al., 2014, ApJ 791, 3
- 19) Ouchi M., et al., 2005, APJ 635, L117
- 20) Kashikawa N., et al., 2006, ApJ 637, 631
- 21) Shimasaku K., et al., 2003, APJ 586, L111
- 22) Hayashino T., et al., 2004, AJ 128, 2073
- 23) Kodaira K., et al., 2003, PASJ 55, 17
- 24) Taniguchi Y., et al., 2005, PASJ 57, 165
- 25) Iye M., et al., 2006, Nature 443, 186
- 26) Shibuya T., et al., 2012, ApJ 752, 114
- 27) Ota K., et al., 2014, ApJ 792, 34
- 28) Hu E. M., et al., 2004, AJ 127, 563
- 29) Kashikawa N., et al., 2006, ApJ 648, 7
- 30) Ota K., et al., 2008, ApJ 677, 12
- 31) Ouchi M., et al., 2010, ApJ 723, 869
- 32) Hu E. M., et al., 2010, ApJ 725, 394
- 33) Kashikawa N., et al., 2011, ApJ 734, 119
- 34) Ono Y., et al., 2012, APJ 744, 13
- 35) Matsuda Y., et al., 2004, AJ 128, 569
- 36) Matsuda Y., et al., 2011, MNRAS 410, 13
- 37) Steidel C., et al., 2011, ApJ 736, 160
- 38) Matsuda Y., et al., 2012, MNRAS 425, 878

Good-bye, SCam**Nobunari KASHIKAWA***National Astronomical Observatory of Japan,
2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan*

Abstract: The Suprime-Cam, which is a unique and synonymous Subaru instrument, has taken us to the research frontier of distant galaxies and early universe. Its wide field capability expands our knowledge of distant universe.