



「850ミクロンの物語」

— 生まれたてのダスティ ギャラクシーを捜して —

谷 口 義 明

〈東北大学 理学研究科 天文学教室 〒 980-8758 仙台市青葉区荒巻字青葉〉

e-mail: tani@astr.tohoku.ac.jp

ダストに包まれた原始銀河探査をどうやって捜すか？ 既に実績のある赤外線（波長 1–100 ミクロン）によるディープサーベイに頼るか？ 或いは新しい波長帯として注目されている、より波長の長いサブミリ波帯（波長数 100 ミクロン）にフロンティアを求めるか？ 数年前までであれば答は自動的に決まっていた。答は「赤外線」である。その理由はサブミリ波帯の高感度な（2次元）アレイ受信機が無かったからである。しかし、事情は一変した。ダストに隠された原始銀河探査に耐え得る超高感度サブミリ波帯のアレイ検出器が登場したからである。本稿では先頃行われたサブミリ波ディープサーベイの結果を紹介し、銀河形成と進化の研究に与えるインパクトを議論する。

1. 1980 年

1980 年、冬。私はまだ大学院生だった。ある日、図書室で新着の ApJ (= The Astrophysical Journal, アメリカ天文学会の天体物理学誌) をながめると、面白い論文が目にとまった。「宇宙における星生成密度」, Beatrice Tinsley と Laura Danly の二人の天文学者が書いた論文であった¹⁾。

1980 年頃といえば、まだ私たちの天の川銀河における星生成領域の研究や、近傍銀河における星生成の研究が行われ始めた時代である。そんな頃に、既に宇宙全体での星生成密度のことを考え、実際に色々な観測データをもとにそれを評価したのである。慧眼である。Tinsley 氏は若くして銀河の光度進化や化学進化の大御所ではあった。その彼女でなければ、宇宙全体を見せるような論文は書けなかったのだろうと思う。1998 年、現在。多くの銀河研究者がこぞって宇宙における星生成の歴史を躍起になって調べている。彼女には 20 年後の天文学の動向も見えていたのかも知れない。

しかし、彼女の人生最後の論文は 1981 年の ApJ に掲載されることになる²⁾。この論文は 1981 年 3

月 13 日に投稿された。そして、彼女はその 10 日後に天国に召された。40 歳。あまりにも早すぎる死であった。私は彼女と面識はない。しかし、彼女の書いた論文を読めば、彼女がいかに偉大であったかはわかる³⁾。「銀河は進化する。」この単純なことを私は彼女の論文から学んだ。もし、私が銀河の進化について新しくわかることがあれば、天国の彼女に伝えたいと思った。そして私は「銀河の形成と進化」を研究することにした。

2. 1993 年

時は流れた。可視光の検出器は全て CCD カメラにとって変わり、ガンマ線、X線、紫外線、赤外線、そして電波と全ての波長帯での観測感度が飛躍的に向上した。宇宙線による研究も大きく進展し、重力波天文学も台頭してきた。ハッブル宇宙望遠鏡が活躍し、口径 10 m のケック望遠鏡も動きだした。90 年代は銀河天文学にとって、まさに黄金時代となった。しかし、その 90 年代ですら、前

a) Tinsley 氏の研究業績は Physics Today 誌の 1981 年 9 月号 111–112 頁に紹介されている。

半はまだ眠りの中であった。

1993年、「サブミリ波宇宙論」と題された一編の論文が英国王立天文学会誌に発表された。この意表をつく題名の論文はA. W. BlainとM. S. Longair両氏によって書かれた³⁾。サブミリ波帯（波長＝数100マイクロン）でディープサーベイを行う。「サブミリ波帯での背景放射やサブミリ波源の性質を調べ、銀河形成の謎に迫る」という主旨の論文である。当時は口径4mクラスの望遠鏡による可視光のディープサーベイが一段落し、近赤外線（波長2マイクロン帯）でのディープサーベイが軌道に乗ってきた頃である。1993年、彼らはなぜ「サブミリ波」にこだわったのであろう。

理由は2つある。一つは世界最初の赤外線天文衛星IRAS (= Infrared Astronomical Satellite)^{b)}の成功で銀河天文学の流れが大きく変わったことである。私たちの住む天の川銀河や近傍の渦状銀河は、全放射エネルギーの約3割を中間赤外線(5-30マイクロン)から遠赤外線(30-100マイクロン)の領域で放射している(以下ではまとめて遠赤外線と呼ぶ)。放射源は星に暖められたダスト粒子である。特にOB型星などの大質量星に暖められたダスト粒子は30K程度まで温度が上がり、遠赤外域にピークを持つような熱放射を出す。ここで大切なことは近傍の渦状銀河はほとんど進化を終えた段階にある銀河であるにもかかわらず(つまり元々有ったガスの9割を既に星にしてしまったという意味)、全放射エネルギーの3割を遠赤外域に放射していることである。そしてIRASはさらにとんでもない銀河を発見した。それは超光度赤外線銀河と呼ばれる銀河で、何と全放射エネルギーの9割以上(10割と言っても良いくらいの銀河もある)を遠赤外線域で放射しているのである。しかもその光度は普通の銀河の100倍にも相当する。これらを一言で

表現すると「ダストに取り囲まれた、非常に活発に大質量星を生成している銀河」ということになる。この描像は、実は原始銀河(生まれたての若い銀河)でも期待されている描像の一つである。もしこのような銀河が赤方偏移3くらいにあったら、ダストの放射する遠赤外線は赤方偏移のために波長数100マイクロン(サブミリ波帯)にずれて観測されることになる。従って、冷静に考えるとサブミリ波帯でのディープサーベイは原始銀河探査という観点から極めて重要であることがわかる。

しかし、現実には厳しい。どこにあるかわからないダストに囲まれた原始銀河を捜すためには、サブミリ波を受信できるアレイ検出器が必要だからである^{c)}。BlainとLongair両氏が「サブミリ波宇宙論」の論文を書いたもう一つの理由は、近い将来、高感度サブミリ波アレイ検出器が出来ることを確信していたからである。彼らは知っていたのである。ハワイではSCUBAダイビングが楽しいことを？ いや、それとは全く別のSCUBA (Submillimeter Common-User Bolometer Array)がハワイのマウナケア山にある口径15mの電波望遠鏡JCMT (James Clerk Maxwell Telescope)に搭載される日がそう遠くないことを。

1993年といえば、我々が赤外線宇宙天文台(ISO = Infrared Space Observatory)^{d)}を使って、波長7マイクロン(中間赤外)から波長90マイクロンと175マイクロン帯(遠赤外)でディープサーベイをする決断をした年でもあった^{4), 5)}。共同研究者のLen Cowie氏とISOによるディープサーベイの話をする時、いつも決まって出てきたのが次の一言である。「もうすぐSCUBAが使える。」ディープサーベイの

b) IRAS はアメリカ、イギリス、オランダの3国共同で1983年に打ち上げられた口径60cmの全天サーベイ用赤外線天文衛星。波長12, 25, 60, 及び100マイクロン帯でほぼ全天をサーベイした。

c) もし既知の天体からのサブミリ波を受けるだけで良いのであれば1素子だけのボロメータがあれば良い。その天体の方向を観測し、次に天体から少し離れた方向を観測して引き算をすれば天体からやってくる放射強度を測定できるからである。

d) ISOはESA (European Space Agency, 欧州宇宙機関)が1995年11月に打ち上げた口径60cmの汎用型赤外線宇宙天文台。



素人であった私にはあまりピンと来なかった。しかし、胸がワクワクしたことは事実であった。みんな、SCUBA を待っていたのである。

3. 1997 年

どんな観測装置でも最初の立ち上げ（装置の調整や試験観測など）には時間がかかる。SCUBA 始動のニュースを聞いてからも、しばらくは目立った観測成果は聞こえてこなかった。しかし、SCUBA のもつ観測能力には目を見張るものがあった。観測波長帯は 450 ミクロンと 850 ミクロン。前者は SW (= Short Wavelength) アレイと呼ばれ 91 素子から成り、後者は LW (= Long Wavelength) アレイで 37 素子からなる。角度分解能はそれぞれ 7.5 角度秒と 14.7 角度秒である。両波長帯での同時観測が可能になるように設計されており、それぞれ 2.3 角度分の天域をイメージングできる。角度分解能は観測波長が長いので当然あまり良くないが、少しずつ観測する場所をずらしながらイメージングしていくので（ディザリングと呼ばれる）、天体の位置決定精度は 2 角度秒程度に抑え込むことができる。感度は 850 ミクロン帯で 1 mJy のレベルまでいくと言われていた⁶⁾。画期的である。サブミリ波帯でこれだけの観測が出来れば本当にすごい。SCUBA への期待感が高まる一方であった。そして、SCUBA はその期待を裏切らなかった。とんでもない論文が 1997 年に発表された。Ian Smail 氏らは重力レンズ源として知られていた 2 つの銀河団、A370（赤方偏移 = 0.37）と Cl2244-01（赤方偏移 = 0.33）、の天域を SCUBA でディープサーベイしたのである⁶⁾。観測時間は 7 時間にも及んだ。850 ミクロン帯でのノイズレベル（RMS）は 2 mJy であった。まだ SCUBA の限界まで達していない。しかし、彼らはサブミリ波源の検出に成功したのである。

e) ジャンスキー (Jy) は電磁波の放射強度を計る単位の一つで $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$ 。マイクロはその百万分の一。宇宙電波を最初に検出したジャンスキー氏の名前に由来する。

それらの正体は銀河団の重力レンズ効果で明るくなっている、銀河団の背景にあるダストに覆われた赤外線銀河であろう⁷⁾。1993 年の夢は早くも 1997 年に叶えられたのである。SCUBA。それは恐ろしいほどのスピードで現代天文学が進展していることを私たちに教えた。

4. 1998 年

Smail 氏らの観測の成功は我々を大いに勇気づけた。SCUBA ディープサーベイの時がやってきたと確信した。我々の ISO ディープサーベイグループ⁸⁾は既に ISO を使って波長 7 ミクロン帯のディープサーベイを終えていた⁴⁾。サーベイした天域はロックマン ホールと呼ばれる大熊座の方向にある。ロックマン ホールは我々の天の川銀河内の中性水素ガスが全天で最も少ない天域である。したがって、天の川銀河のガスやダストに邪魔されず、遠方の宇宙をディープサーベイするのに最適の場所を提供してくれる。我々は当然この天域を SCUBA で狙いたいと考えていた。

1997 年 11 月、共同研究者の Dave Sanders 氏から幸運の電子メールが届いた。「ケック 1 晩、JCMT 8 シフト⁹⁾、それとハワイ大学 2.2 m 望遠鏡 3 晩。来年の春は忙しいぞ！」JCMT の観測はもちろん SCUBA ディープサーベイである。1 シフト当たり仮に 6 時間観測できたとすれば、8 シフトで 48 時間相当になる。確実に Smail 氏らのディープサーベイを越える観測が出来る。しかも、もう一人の共同研究者 Len Cowie 氏も独立に JCMT の観測時間をとった。こちらも 8 シフト。この観測は Cowie 氏らが選定していた天域 SSA 13 を狙う。

f) 日本側：谷口義明（東北大）、川良公明（東大）、奥田治之、松本敏雄、佐藤康則（宇宙研）、及び若松謙一（岐阜大）。ハワイ側：Len Cowie, Dave Sanders, Bob Joseph, Gareth Wynn-Williams, 及び Ken Chambers（敬称略）。

g) JCMT の観測時間は午後 5 時半から夜中の 1 時半までの第 1 シフトと午前 1 時半から朝の 9 時半までの第 2 シフトにわけられている。

史上最強のサブミリ波ディープサーベイの準備が整った。

そして待ちに待った1998年がやってきた。我々のJCMTでの観測は3月に始まった。この観測は最初は4月に予定されていたのだが、JCMT側の都合で急遽3月に移されたのである。結局Sanders氏は都合がつかず、ハワイ大学のポスドク研究員Amy Barger氏だけがマウナケアに来た。幸い別の観測でマウナケアに行っていた私はハレポハク宿泊所^{h)}で彼女にあった。彼女はイギリスのケンブリッジで2年前にRichard Ellis氏の指導のもとで博士号を取得したバリバリである。2年前、たまたま私もケンブリッジに滞在していたので顔見知りだった。Sanders氏は来ない。おまけに観測を支援してくれるJCMTのスタッフの手配も忘れたという。私は彼女に「SCUBAは使ったことがあるの？」と聞くと、「ええ、でも1回だけ。」と言って首をすくめた。しかし、「何とかなる」ではなくて、「何とかする」のが観測現場の鉄則である。我々のディープサーベイは彼女の超人的な努力で無事終了した。

観測があけて、ホノルルにあるハワイ大学天文学研究所でSanders氏にあった。彼はすぐさま小声で話し始めた。「どうもイギリスチームもSCUBAでディープサーベイをしているらしい。天域はあのハッブルディープフィールドだⁱ⁾。「えっ！じゃあ、競争になる？」「その通りだ。論文は特急仕上げになるだろう。」Cowie氏もSSA 13のSCUBAディープサーベイを終えた。そして、幸運にも5月にもSCUBAの観測が出来ることになった。再びロックマンホールとSSA 13を観測した。450ミクロンはノイズレベルが高いので何も天体は受からなかつ

た。しかし、850ミクロン帯にはノイズレベルの3倍以上の強度で明るく輝く天体があった。ロックマンホールに1個。そしてSSA 13にも1個。3月のデータにも5月のデータにも同じ場所に写っている。もう間違いはない。サブミリ波で宇宙の彼方に密やかに輝く銀河たちに逢えたのである。私には、まるでダイヤモンドのように見えた。

論文は直ちにNature誌に投稿された⁸⁾。後れること1週間。イギリスチームの論文も予想通りNature誌に投稿された⁹⁾。ロックマンホール、SSA 13、そしてハッブルディープフィールド。いずれも50時間相当の観測時間。そしてノイズレベルはついに850ミクロン帯で1mJyを切った。「ついにここまで来たか。」私はふとTinsley氏の論文を思いだした。

さて、問題は「これらのサブミリ波で輝く天体は何か？」である。図1(=表紙)にロックマンホールの850ミクロンでとったイメージを示す。直径わずか2.7角度分である。中央左寄りに白く写っているのが天体である。ノイズレベルの6倍の強度である。問題は「この天体は何か？」である。図2に近赤外(K':波長2.1ミクロン)のイメージの上に850ミクロン天体の位置をコントアで示した。その右側にはそのクローズアップと可視光のBバンド(波長=4,400Å)のイメージも示した。SCUBAの位置決定精度は約2角度秒である。このことを考えるとサブミリ波源に相当する天体はサブミリ波源のピークの近くにあるはずである。可視光(B)と近赤外(K')のイメージを見ると、非常に暗いがピークのそばに天体が写っている(等級はそれぞれ $B_{AB} = 23.5$ 及び $K'_{AB} = 21.8$ である)。少し広がって見えるので明らかに銀河である。Cowie氏はこの銀河の正体を見極めるために、口径10mのケック望遠鏡2号機で可視光での分光観測をした。しかし、連続光は微かに見えるものの、残念ながら赤方偏移を決めるために必要な輝線が一つも検出できなかった。サブミリ波源はダストに隠されているような星生成銀河であると考えるのが最も自然で

h) JCMT等の天文台はマウナケアの山頂にある。そこは標高4,200mであり、地表での酸素量の約6割しかない。そこで、観測者は標高2,800mにあるハレポハク宿泊所に滞在しながら、観測の度に山頂の天文台に上っていく。ちなみにハレポハクはハワイ語で「石の家」という意味。

i) ハッブル宇宙望遠鏡は1995年に可視光での最も深いディープサーベイを行った。その天域をいう。論文はWilliams et al. (1996)¹⁰⁾に公表されている。

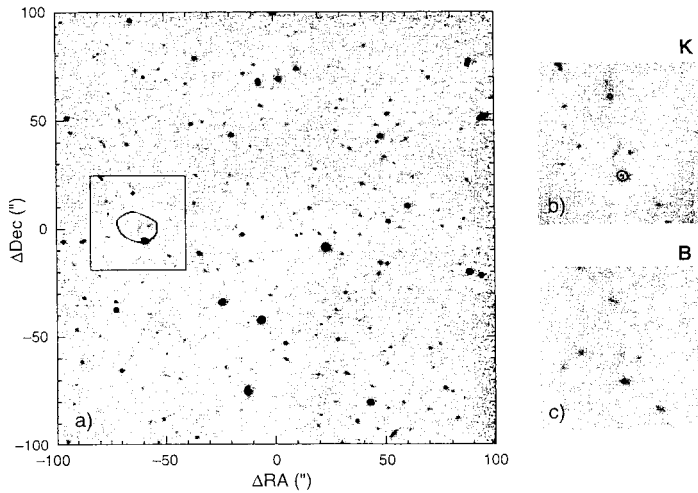


図2：ロックマン ホールの近赤外線（波長2.1ミクロン）のイメージにサブミリ波源の位置（青いコントア）を示した。右上にはその付近のクローズアップ、そして右下には可視光のBバンドのクローズアップを示した。両方のクローズアップの中心付近に暗い銀河が見える。これがサブミリ波源だと考えられている。

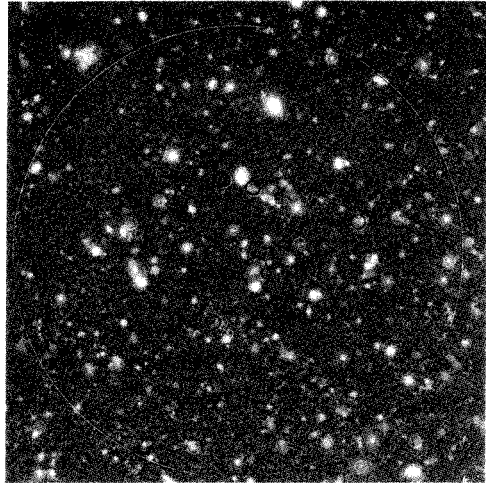
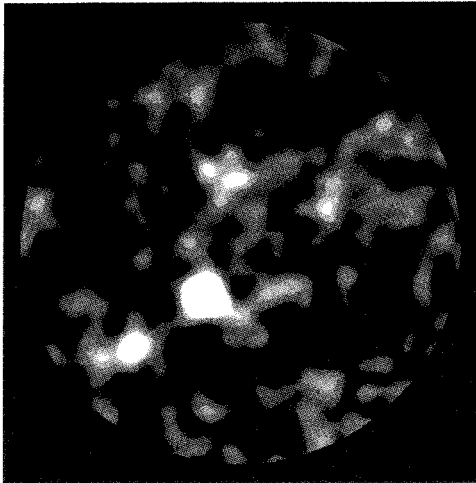
ある。そのような星生成銀河で期待される輝線は波長の短い方から列举すると、 $Ly\alpha$ （波長1215 Å）、[OII]（波長3727 Å）、 $H\beta$ （波長4861 Å）、[OIII]（波長5007 Å）というように続いていく。今回のように非常に暗い銀河の場合、可視光のスペクトルに何も輝線が見えない理由は、[OII]輝線が赤方偏移のために、可視光のレンジを越えていると一般的に判断される（赤方偏移 $z > 1.5$ を示唆する）。一方、Bバンドのイメージには、銀河が微かではあるが見えている。したがって、水素ガスのライマンブレイク（波長912 Å）はまだBバンドの波長帯に入っている（赤方偏移 $z < 3.5$ を示唆する）。これらの情報から、我々はこのサブミリ波源は赤方偏移が $1.5 < z < 3.5$ にあるダストに囲まれた星生成銀河であると考えた。そうすると、この銀河の遠赤外線光度は太陽光度の約 10^{12} 倍の光度に匹敵する。この光度を説明するには、星生成率は1年間当たり太陽質量の100倍のガスが大質量星になっていることが要請される。とんでもない怪物が潜んでいたものである。

次にイギリスチームの結果を見てみよう。図3に850ミクロンで見たハッブルディープフィールドのイメージを示す。こちらも本当に見事なイメージである。おそらく彼らの方がより良い観測条件に恵

まれたのだと思う。サブミリ波帯とはいえ、観測は大気条件に大きく左右される。マウナケア山頂とはいえ、いつもベストコンディションとは限らないのである。積分時間は我々と同じように50時間であるが、彼らのイメージのノイズレベルは我々のものよりも1.6倍良い。彼らはこの天域の中で、5個のサブミリ波源を発見したと報告している。一つは赤方偏移 $z \approx 1$ の星生成銀河であり、残り4個はおそらく赤方偏移 $2 < z < 4$ にある星生成銀河である（図3右側にハッブル宇宙望遠鏡で撮影された可視光のイメージに候補天体が青丸で示されている）。赤方偏移はやはり全てケック望遠鏡による分光観測から得られた。従来の可視光のディープサーベイの観測は、銀河における星生成は赤方偏移が $z \approx 1$ くらいの時に最も盛んであったことを示唆していた。しかし、イギリスチームと我々のチームのサブミリ波帯のディープサーベイの結果は従来の説と違うことを示唆する。つまり銀河における星生成のピークは赤方偏移 $z \approx 3$ くらいにあるのかもしれない、ということである（図4）。ロックマンホール、SSA 13、そしてハッブルディープフィールド。これらの天域はいずれもブランクフィールドと呼ばれ、近傍の銀河や銀河団がなく、宇宙のごく普通場所である。例えば、ロ

The Hubble Deep Field

astro-ph/9806297 22 Jun 1998



850 μ m SCUBA image

Optical Image

図3：ハッブル ディープフィールドの850 ミクロンでとったイメージ (左)。直径は3.3 角度分である。右側にはハッブル宇宙望遠鏡で撮影された可視光のイメージの中にサブミリ波源の候補天体が青丸で示されている。

ックマン ホールには可視光で 20 等級より明るい天体は一つもない。つまり、パロマー天文台のシュミット望遠鏡による写真を見ると、そこには何も写っていないような天域なのである。イギリスチームと我々のチームのサーベイは以下のことを意味する。「これらの宇宙の普通の場所をサブミリ波で見ると、必ず天体が見つかる。しかも、いずれも比較的赤方偏移の大きな星生成銀河である可能性が極めて高い。」驚くべきことは、これらの銀河の表面個数密度は1 平方度当たり約 1000 個にもなることである。全天が4 万平方度だから約 4 千万個ものダストに囲まれた若い星生成銀河が存在することになる。誰も予想していなかったこと。そのようなことがよくあるのが天文学の楽しみかも知れない。こうして、サブミリ波のディープサーベイは今まで可視光や近赤外のディープサーベイでは調べられな

った「銀河進化のダークサイド」を暴き出したのである。

5. 1999 年

イギリスチームのサーベイは1998年1月に始められた。そして我々のサーベイはその年の3月である。そして2つのサーベイの結果はNature誌の7月16日号に仲良く載って、サブミリ波ディープサーベイは完了した。みんなが待っていたSCUBAによるディープサーベイはあっという間に終わってしまった。1998年に、21世紀を待つこともなく。

これらのサーベイの成功は、サブミリ波による銀河形成と進化に関する研究の今後の進展を約束するかのようと思われるかも知れない。しかし、それは違う。SCUBAによるディープサーベイは終わったのである。これと同じようなサーベイをしても、

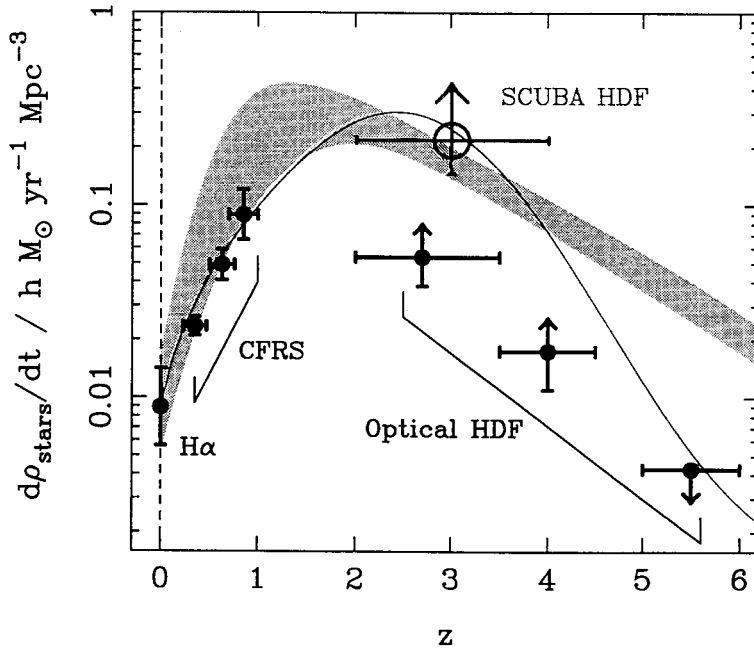


図4：宇宙における星生成の歴史⁹⁾。単位体積当たり（ここでは1立方Mpc当たり：1 Mpc = 3×10^{24} cm）の星生成率（単位は1年間当たり太陽何個分の質量のガスが星になるかで表されている。ちなみに太陽質量は $M_{\odot} = 2 \times 10^{33}$ グラム）が赤方偏移 z の関数として表されている。 $z=0$ が現在であり、 $z=5$ で宇宙誕生後10億年くらいに相当する。エラーバー付きの黒丸は可視光のディープサーベイで得られていたデータである。 $H\alpha$ は近傍の銀河の $H\alpha$ 輝線強度の密度から得られた値。 CFRS はカナダ・フランス赤方偏移サーベイから得られた値。そして HDF はハッブルディープフィールドの観測から得られた値である。実線は電波の強い活動銀河核のトータルパワーを星生成率に換算したもので、斜線部はクェーサーの吸収線系のデータから評価された星生成率。大きな青丸は今回のハッブルディープフィールドのサブミリ波観測から得られた値。従来の可視光の観測から得られていた値より非常に高い。また、大切な点は星生成率のピークが赤方偏移 $z \approx 3$ に来ることである。これは従来のデータが示唆していた $z \approx 1$ に比べて有意に大きい。

もう大きな進展はないのである。SCUBAの検出感度は1999年に約2倍上がることになっている。そして、JCMTの隣にあるCSO (Caltech Submillimeter Observatory: 口径10mの電波望遠鏡)にもSCUBAのようなサブミリ波アレイ検出器の搭載が予定されている。しかし、もし1998年に行われたサーベイを抜こうと思ったら、積分時間は数百時間は必要である。一天域当たり、一晚数時間の積分がやっとである。つまり、約100晩相当の観測をしなければ、1998年のディープサーベイを越えられないのである。3ヶ月を越えるディープサーベイ。個人的にはやるべきだと思う。しかし極めて多くの観測課題をこなしているJCMTとCSOにこれだけのウ

ルトラディープサーベイを敢行することが果たして出来るのだろうか？ いずれにしても、口径10-15mクラスの電波天文台でやるべきサブミリ波ディープサーベイは1998年に終わったのである。1999年、我々は途方に暮れる。

6. 2015年

そして2015年がやってくる。2020年かも知れないし、2030年かも知れない。しかし、銀河天文学の一つのビッグエンドは確実にやってくる。1998年現在、多くの新しいビッグプロジェクトが提案されている。口径10mクラスの近赤外線宇宙望遠鏡 (NGST = Next Generation Space Telescope), 口



径 4 m クラスの遠赤外線宇宙望遠鏡^{j)}, そして南米アタカマ山中に建設されるであろう大規模サブミリ波アレイ^{k)}. これらは計画通りに進めばいずれも 2010 年くらいには動き出しているだろう. これらがこぞってウルトラディープサーベイを行えば, 銀河の研究者が今知りたいと思っているようなデータはほぼ出そろってしまうだろう.

私は銀河の研究においてどのようなビッグエンドが来るのか, 期待と不安を持って見守りたい. 最良のケースは, 私たち人類が銀河の形成と進化についてほとんど疑問の余地無く理解してしまうことであろう. そして, 最悪のケースはデータは出そろったが, 私たち人類が銀河を理解できないことであろう. あえてこのような両極端なケースを示したのは, そろそろ人類は天文学研究の未来予想図を見据えて研究の体制をチューンしていく必要があるように私が感じているからである.

もちろん現実的には物事中庸が一番ということでは, 「理解は格段に進んだが, まだまだ研究が必要」. こんな感じで 2015 年が来るのだろうか. そして人類は月面に口径 100 m の光学赤外線望遠鏡を作り, またパラボラを 1000 台くらい並べたハイパー電波望遠鏡アレイを作るのかも知れない. たぶん, 次のビッグエンドを目指して. 人類は最後まで知的生命体なのである.

7. 1998 年, 再び

さて, 再び 1998 年, 現在. 私は Tinsley 氏に伝えたいことがある. ほんの少しのことではあるが, 銀河研究の最近の進展について語り合うことができると願っている. 彼女はきっと微笑んでこう言

うに違いない. 「ありがとう. でもお見通しよ。」どなたか, 天国の IP アドレスを知っていたら教えてください. E-mail をひとつ. 彼女に.

謝辞

本研究を遂行するにあたり, ISO ディープサーベイチームの同僚^{l)}, そしてマウナケアでの観測を成功させたエミイ・バーガー氏に感謝いたします. イギリスチームの M. Rowan-Robinson 氏には 6 月でパサデナでお会いしたときに激励してくださり, 深く感謝しております. また, JCMT 及び SCUBA 開発チームの方々のご努力がなければ, ここで紹介したようなサブミリ波ディープサーベイは実現しなかったと思います. 最後になりますが, 彼らのご努力には特別の感謝を致します.

参考文献:

- 1) Tinsley, B. M., & Danly, L. 1980, ApJ, 242, 435
- 2) Tinsley, B. M. 1981, ApJ, 250, 758
- 3) Blain, A. W., & Longair, M. S. 1993, MNRAS, 264, 509
- 4) Taniguchi, Y. et al. 1997, A & A, 328, L9
- 5) Kawara, K., et al. 1998, A & A, 336, L9
- 6) Smail, I., Ivison, R. J., & Blain, W. 1997, ApJ, 490, L5
- 7) Smail, I., Ivison, R. J., Blain, W., & Kneib, J.-P. 1998, ApJ, in press (astro-ph/9806061)
- 8) Barger, A., et al. 1998, Nature, 394, 248
- 9) Hughes, D., et al. 1998, Nature, 394, 241
- 10) Willams, R. E., et al. 1996, AJ, 112, 1335

「Goddess Smiles at 850 Micron」

Yoshiaki TANIGUCHI

Astronomical Institute, Tohoku University, Aoba, Sendai 980-8758

Abstract: I describe very exciting results of the recent 850 micron deep surveys which were performed with the SCUBA (Submillimeter Common-User Bolometer Array) on the JCMT (James Clerk Maxwell Telescope). I discuss some important implication on the star formation history in the universe.

j) 日本とアメリカは HII ロケットで地球と月のラグランジュポイント (重力的に比較的安定な場所) に口径 4 m クラスの冷却赤外線望遠鏡を打ち上げることを計画している (HII2 計画).

k) 日本が計画している LMSA (Large Millimeter and Submillimeter Array), アメリカが計画している MMA (Millimeter Array), そしてヨーロッパ連合が計画している LSA (Large Submillimeter Array).