

「7ミクロンの物語」

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

我々はダストに隠された原始銀河を捜すために、赤外線宇宙天文台を用いて波長7ミクロンの電磁波で宇宙を見てみました。そこには私たちが今まで見てこなかった銀河の姿がありました。研究の成果の一部は既に公表されていますので、ここでは我々の7ミクロンディープサーベイにまつわるお話を紹介します。

1. キットピークにて

昨日の快晴がうそのように、嵐がやってきた。キットピーク天文台。メイヨール4 m望遠鏡に付けられた赤外分光器も活躍する事もなく夜はふけていった。嵐は止む気配もない。我々は観測をあきらめて図書室で仕事をすることにした。1990年のクリスマスの夜のことである。

図書室に着くと、川良さんが突然話を始めた。「今度 ISO という赤外線衛星が上がるらしい。どうも IRAS の千倍くらい感度がいいみたい¹。」「それはすごい！」中島さんと僕は素直にその感度に驚いた²。問題は「ISO で何をやるべきか？」である。川良さんはほそつと言った。「ディープサーベイかな。」

ディープ・サーベイは人類に与えられた試練と違って良いだろう。新しい波長帯で宇宙を観測できる事になったとき、人類はディープサーベイをやる。その波長帯でどんな宇宙が見えてくるか？答を決めない仕事。それがディープサーベイであ

る。「どの波長帯がいいですかね」と私が聞くと、「2ミクロンは地上でできるから、やっぱり中間赤外になるのかな³。」と川良さんが答えた。1990年と言えば、ハワイ大学の Cowie 氏らがようやく2ミクロン帯のディープサーベイの論文を出したばかりの頃である。中間赤外域でディープサーベイをやって何が分かるのか？その頃は皆目見当もつかなかった。

2. 東京にて

ISO には当然多くの赤外線天文学者が注目していた。日本でも宇宙科学研究所の奥田治之氏、松本敏雄氏（当時は名古屋大学）や東京大学の辻隆氏、中田好一氏、田辺俊彦氏らを中心に「ISO を使おう！」という気運が盛り上げられていった。1992年3月になって、国内で初めて ISO に関する大きなワークショップが東大の山上会館で開かれた。50名くらいの参加者だったと思う。皆の最大の関心事は「キー・プログラムをどうするか？」であった。この頃、文部省宇宙科学研究所が ISO に

¹ ISO (Infrared Space Observatory) は ESA (European Space Agency, 欧州宇宙機関) が 1995 年 11 月に打ち上げた赤外線宇宙天文台。一方 IRAS (Infared Astronomical Satellite) 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赤外線天文衛星。IRAS が全天サーベイ型の赤外線望遠鏡だったのに対し、ISO はいろいろな観測ができる汎用型の赤外線望遠鏡である。

² 川良公明氏は現在東京大学理学系研究科助教授で当時は天下の素浪人であった。中島紀氏は現在国立天文台助手で当時は CfA 研究員だった。私は当時東京大学理学部助手で木曾観測所に勤務していた。

³ 波長 5 ミクロンから 30 ミクロンくらい。



ISOCAM $7\mu\text{m}$ image (halftone) and
H+K image (contour)

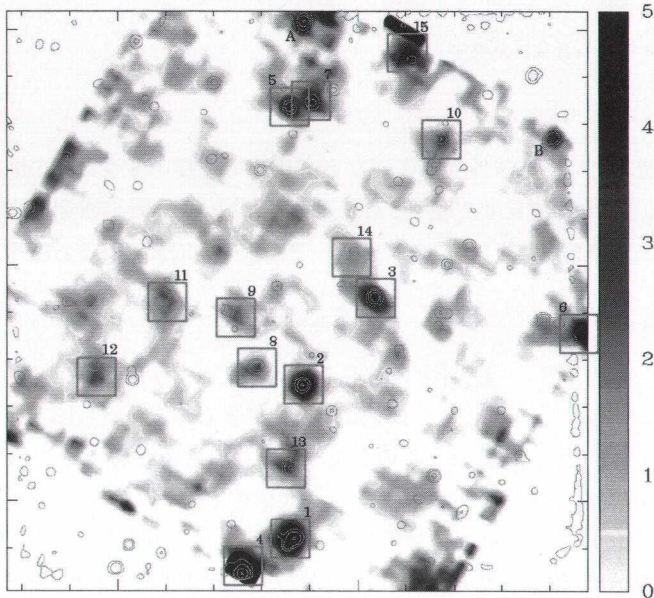


図 人類が波長7マイクロンで見た最も深い宇宙の姿。グレイ・スケールで描かれているのが波長7マイクロンのイメージ（濃い方がより明るい）。ノイズレベルの5倍以上で明るく見えている天体が27個あるが、その中でも信頼性の高い15個だけがボックスで示されている。コントアは波長2マイクロンで見える天体でK等級で24等級の天体まで検出されている。このデータはハワイ大学マウナケア天文台の2.2m望遠鏡で得られたものである。波長7マイクロンのイメージと2マイクロンのイメージをよく比較してみると7マイクロンで見える9番と12番の天体の場所には2マイクロンでは相当する天体がない。私たちはまさにこのような天体を捜していたのである。

一部ではあるが正式に参加することが要請されていた。そのおかげで、日本には250時間の観測時間が提供されることになっていた。この観測時間をいかに有効に使い、かつ日本側の独自性が生かされるプログラムを策定するのが急務となったのである。

とにかく研究分野を星、星間物質、そして銀河・宇宙論の3つに分類し、それぞれ良いアイデアを持ち寄ることにした。星と星間物質のチームがかなり具体性のあるテーマを提案してきたのに対し、銀河・宇宙論チームは「ディープサーベイ」の一言である。野心的ではあるが「本当に成果がでるのか？」という大きな不安は拭いきれなかった。私ももちろん不安であった。そもそも当時は日本人は誰もディープサーベイの経験など持っていなかった。しかし、答は「WE MUST GO!」である。中間赤外という新しい「窓」がISOによって開かれる。中間赤外ディープサーベイはISOの宿命ともいえる。とはいえ、銀河・宇宙論チームの提案

は必ずしも多くの参加者の賛同を得られなかったと思う。もし失敗したら貴重な観測時間をみすみす捨てる事になる。奥田先生の心配事がこの日から一つ増えた。

3. 相模原にて

ISOでディープサーベイをする。これは極めて自然なアイデアである。したがって、ヨーロッパチームはもちろん、NASA経由でアメリカチームもディープサーベイの計画を検討していた。しかし、どのチームも苦戦しているようだった。より堅実な提案の方が圧倒的に受けが良いのである。そして驚くべきニュースが入った。ハワイ大学のCowie氏らが提案していたディープサーベイ計画はアメリカのキー・プロジェクトに採択されなかったのである。さらにNASAはCowie氏らに日本が同様の計画を持っているから共同提案の可能性を検討するようにいったのである。

我々はこのニュースに揺れた。Cowie氏らの提案

が採択されなかったことも驚きだが、果たして彼らのチームと共同戦線をはれるのか、という方が素直な感想だった。Cowie 氏らはマウナケア天文台群を駆使した可視・近赤外域のディープサーベイで既に非常に優れた仕事をしてきており、片や我々は野武士軍団である。表現は適切でないかも知れないが、「彼らと一緒にやったらこの仕事は乗っ取られるかもしれない。」そんな不安が我々の中にあつたことは事実である。しかし、逆の見方をすれば、これは極めて大きなチャンスでもある。Cowie 氏らからディープサーベイに関して多くの事を学ぶことができるからである。そして1992年6月、宇宙研で初めて我々とハワイチームの合同会議が開かれた。共同戦線がこの日から始まった。

4. ハワイにて

実はハワイチームの提案していたディープサーベイと我々の計画は厳密には一致していなかった。ダストに隠されているかも知れない遠方の原始銀河を捜す。これが中間赤外ディープサーベイの主眼である。しかし、中間赤外と言ってもどの波長帯が一番良いかという問題が残っている。ハワイ側は12ミクロン帯でのディープサーベイを主張したが、我々は7ミクロン帯の方が良いのではないかと考えていた。どちらが良いかという決断するのは極めて難しい。捜そうとしている銀河の性質にもよるし、バックグラウンド放射の影響の具合にもよる。とにかくお互いのチームが独自に検討し、最終決断をしようという事になった。そして1992年12月、今度は我々日本チームがハワイに出向いた。ハワイといえばリゾート。といきたいところだが、たった3泊だけの会議漬け出張である。「天文学者はつらい！」といいながらもハワイ大学天文学研究所に着いた。

日本チームはその当時東北大学大学院に入学し

てきた佐藤康則氏（現在宇宙科学研究所 COE 研究員としてスペインのピアフランカにある ESA の研究所で ISO のサポートをしている。）を中心に検討を重ねた。楢岡銀河の標準形成モデルを用いて ISO での観測可能性を検討した。

もし、7ミクロン帯で $10 \mu\text{Jy}$ （マイクロジャンスキー）⁴ レベルまで検出可能であれば原始銀河が一視野あたり ($3' \times 3'$) 2個ぐらい見つかるかも知れない。なんとも危険な感じはするものの、12ミクロン帯よりは少しよい。結局、ハワイでの会議でも結論はでなかったが、最終決断は日本チームがするという事になった。我々がイニシアチブをとれる、というとカッコよいが、その分よけいにプレッシャーがかかることになった。

5. パリにて

1993年に入るといよいよ計画の最終段階の詰めに入ってきた。この頃になると、ISOの本案であるヨーロッパチームの動向がかなり気になりだした。我々のディープサーベイはISOに搭載される ISO-CAM と呼ばれる赤外線カメラを使う事になっていた。その ISOCAM の開発チームのミーティングに合わせて我々もパリに飛んだ。ISOCAM のリーダー、Cesarsky 氏らのサーベイ計画がどんなものであるか。これが知りたい。彼女らはカメラを開発した強みで恐らく最強の計画を立てるだろう。私はそう思っていた。しかし、驚いた事に彼らは我々のようなディープサーベイはやらずに、浅く広く天域を調べる方針をとった。いわゆる広域サーベイである。この方法だと広い天域を調べるので必ず多くの比較的明るい赤外線源を検出できる。もちろん、我々のチームが目指している原始銀河は見えないだろう。カメラの開発チームが安全策をとった。これは衝撃的だった。

会議が終わった後、奥田先生を見るとやはり心

⁴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。



配顔である。ハワイ側からは Sanders 氏と Joseph 氏がきていた。彼らもちろん不安を感じていたと思う。ここまで来ると、一番の問題は ISOCAM の性能である。地上実験でどこまで性能がでるか？そして ISO が打ち上がった後その性能が出し切れるか？衛星計画はご存知の通り、何段階ものステップを経てようやく観測にこぎつけるのである。幸か不幸か私には衛星観測の経験はない。そんな人間が ISO を使うディープサーベイ計画のリーダーになっているのである。「まいったなあ。」顔には出さないものの、本心でそう思っていた。しかし、「天文学者はオプティミスティック（楽観主義）であるべきだ。」とも思っていた。「7ミクロンに賭ける。」もうこの結論をかえる気はなかった。奥田先生の心配はさらに続く事になった。

6. オランダにて

1994年、打ち上げを翌年に控え、いよいよ観測計画のエントリーのために我々はオランダの景勝地ノルドバイクにある ESA の ESTEC 研究所を訪れた。我々銀河・宇宙論チームは約 75 時間の観測時間をもらっていた。その内 30 時間を 7 ミクロン帯でのディープサーベイ計画にあてることにした。どこを観測するかも大いにもめた。ISOCAM の視野はたった $3' \times 3'$ しかない。ハワイチームが独自に地上の望遠鏡を使って調べてきていたフィールドから 2 つ、そしてこのディープサーベイ用に我々が独自に選んだフィールドから 2 つ、合計 4 つの天域をそれぞれ 6 時間ずつ積分することにした。我々の独自に選んだフィールドはロックマン・ホールと呼ばれている場所から選定した。この天域は我々の銀河系の中性水素ガスが最も少ない天域なのでディープサーベイにはもってこいである。敢えて新しい天域を開拓したのは日本チームの意地といって良いかもしれない。「気合いなくして成果無し。」こんな格言があるかどうかは知らないが、我々は我々自身の独自性に拘ったのである。

ちょうどタイミング良く、ハワイ大学の Sanders

氏がパリに来ていた。データエントリーを佐藤氏にまかせて、私はパリへ飛んだ。そこで Sanders 氏とおちあい、パリ郊外にあるサクレイ研究所を訪れた。こここそが ISOCAM 開発の拠点である。Cesarsky 氏の共同研究者である Elbaz 氏がカメラの状況を我々に説明してくれた。といっても大きな進展があるわけではなかった。もう神に祈るフェーズに入ってきていると感じた。ISO が無事打ち上がり、ISOCAM が順調に動く。それを祈って再び ESTEC に戻った。佐藤氏は驚異的な努力で極めて複雑な我々のディープサーベイのデータエントリーを無事終えていた。さいは投げられたのである。

7. 再びハワイにて

1995年11月、ISOは無事打ち上げに成功した。第一段階はパスした。その後 ISOCAM も順調に動いているというニュースも入ってきて我々は一安心した。しかし、我々のディープサーベイは極めて難しい観測であり、それに耐え得る性能が出ているかどうかは定かではなかった。「あまり良くない。」「いや、調子いいらしい。」こんな情報が錯綜する中、私は半年間の海外ツアーにでた。1996年2月のことである。最初の3ヶ月はハワイ、そしてイギリスのケンブリッジに3ヶ月。この間に我々のディープサーベイが始まった。

ハワイに着いてまだ日も浅い頃、佐藤氏から連絡が入った。何と百武彗星の巨大な尾が我々のサーベイ天域であるロックマン・ホールを横切る可能性が高いというのである。すぐ国立天文台の渡辺潤一氏に連絡したところ我々の観測にはほとんど影響はないとのことで安心した。しかし、予測できないところが天文学の天文学たるゆえんである。我々は念のため百武彗星が来る前に観測する事にした。問題は果たして予定した6時間で目標の検出限界 $10 \mu\text{Jy}$ までいくかどうかであった。ISO のサポートのためスペインのピアフランカに勤務していた川良氏から連絡がはいった。「百武彗星が来る前にロックマン・ホールの観測にまるまる 2

軌道分の時間をとることができる。」1 軌道約 6.5 時間。つまり都合 13 時間を投入することができる。予定通り 6 時間か、無視して 13 時間か？ 13 時間投入すれば、残りの観測に影響がでることは明かである。Cowie 氏らは 13 時間でもかまわないと言ってくれた。迷った。観測のゴーサインを出すリミット 24 時間前に再び川良氏から Email が届いた。「判断を！」もう躊躇している時間はなかった。意を決して返事を書いた。「Go ahead, please！」

8. ビアフランカにて

最初の観測は無事に終わった。しかし、ただ単に終わった、というだけである。どういう結果になるかはデータを解析してみるまでわからない。ESA からデータが CD で送られてきたのは観測から 2 カ月もたった頃だった。佐藤氏が解析を始めたが最初は試行錯誤の連続であった。何しろデータ解析ツールは ISOCAM チームからリリースされていなかったし、そもそも我々のようなディープサーベイ観測はほとんど「勝手に解析してください。」という状況だったのである。生データからの解析結果が少しずつ出始めたのはもう秋も深まった頃だった。「少なくとも数個の天体は受かっています。」佐藤氏のこの連絡に奥田先生の心配はようやく少し解消された。

その頃 ISOCAM を使ったディープサーベイが Rowan-Robinson 氏らによって行われたことを知った。天域は余りに有名な「ハッブル・ディープ・フィールド」である。彼らは 7 ミクロンと 15 ミクロンで数時間づつの観測を行った。解析結果はすぐに WEB 上で公開された。あまりパットしない結果ではあったが、とにかくいくつかの銀河が検出されていたのを見て、ほっとした。我々の観測時間は彼らの倍以上である。彼らのサーベイより深いレベルまでは行くだろうと確信した。佐藤氏は博士論文を書きながら、執ようにデータ解析を続けた。そして、1997 年 2 月にビアフランカで ISO による微光天体の観測に関するワークショップが開催さ

れることになり、その研究会で我々の成果を発表する事になった。佐藤氏は必死に良い解析方法を探り、年末・年始を返上して仕事を続けた。納得いく解析方法が見つかって、結果が出たのは研究会出発の前日のことだった。

マドリッドに向かう飛行機の中で佐藤氏の結果を見た。そして、ハワイのマウナケア天文台で既にとっていた 2 ミクロンのイメージとおそろおそろ合わせてみた。たくさんの天体の位置がぴたっと重なった。私は思わず「すごい！」と叫んだ。奇跡が起こった瞬間である。Rowan-Robinson 氏らのサーベイを完全に越えたと思った。キットピーク天文台での嵐の夜から丸 6 年間。この瞬間を待っていたのである。人類が手にした最も深い 7 ミクロンの宇宙がそこにあった。

我々の結果はビアフランカ研究会に出席した人たちのため息を誘った。私が発表に使った 7 ミクロンと 2 ミクロンのイメージの OHP を ISO のプロジェクト・サイエンティストである Kessler 氏に手渡し、ビアフランカを後にした。後日川良氏から聞いたところ、Kessler 氏は我々の OHP を何回も何回も嬉しそうに見ていたそうである。

9. 仙台にて

仙台に帰り、佐藤氏は無事に博士論文を書き終え、川良氏のかわりにビアフランカへと旅だった。佐藤氏はまさに青春を 7 ミクロンに賭けたといつてよい。そして、彼の努力がなければこのプロジェクトは上手く行かなかっただろう。

冷静になって振り返ってみると、我々のディープサーベイは目標にしていた検出限界 $10 \mu\text{Jy}$ に到達していた。ノイズレベルの 5 倍以上の明るさの天体が 27 個も受かった。これは我々の予想を遥かに上回る大成果である。奥田先生の心配は確実に一つ減った。

さらに注意深くデータを見てみると、2 ミクロンのイメージで全く天体が見えないのに、7 ミクロンで明るく見えているものが 27 個のうち 2 個存在し



ている。実はこれこそが我々が探し求めていた天体である。2ミクロンで見えず、7ミクロンで見える。しかも、見かけの明るさは10 μ Jy程度。ダストに隠された原始楕円銀河があるとすればまさにこのような天体なのである。残念なことに、これらの正体を見極めるのは非常に難しい。可視光や近赤外で明るければスペクトルをとり、赤方偏移や天体の性質を明らかにする事が出来る。しかし、7ミクロンで初めて見えてきた天体では手の出しようがないのである。我々は全く違う側面からこれらの天体の正体を見極めようとしているが、本当の答が分かるのはおそらく21世紀に入ってからだろう。

我々人類は観測条件の悪い地上で天体の赤外線観測に挑戦し、赤外線天文学の重要性を深く認識した。その知恵はIRASという全天サーベイ型の赤外線天文台を打ち上げる事で一気に花が開いた。赤外線源の多くはダストに隠されて密やかに光っている天体であり、ある意味で宇宙の影武者的存在である。しかし、この宇宙で起きている天体現象を正しく理解するには、それら影武者の意味を深く考える必要がある。そのためにISOが打ち上げられ、多くの成果を出してきているのである。こ

れまで得てきた知見をさらに強固にし、新たな天体現象を発見するためにはIRASとISOを越える赤外線による深宇宙探査と研究を遂行していく必要があるのは言うまでもない。宇宙科学研究所が推進しているIRIS。アメリカはSOFIAとSIRTF⁵。これらのミッションが21世紀の赤外線天文学を切り開いていくだろう。宇宙進化のダークサイド。これを見るまで、我々は宇宙を正しく理解できない。

参考文献

- 1) Rowan-Robinson, M. et al. 1997, MNRAS, 289, 490
- 2) Taniguchi, Y. et al. 1997, A & A, 328, L9

God live at 7 micron

Yoshiaki TANIGUCHI

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

abstract: I give a brief story of our 7 micron deep survey program which was performed with the Infrared Space Observatory.

⁵IRIS (= Infrard Imaging Surveyor) は宇宙科学研究所が推進している赤外線宇宙天文台で2002年に打ち上げが予定されている。SOFIA (= Stratospheric Observatory for Far-Infrared Astronomy) はジャンボジェットに赤外線望遠鏡を搭載するユニークな計画である。またSIRTF (= Space Infrared Telescope Facility) はNASAの切り札的な21世紀の衛星天文台計画の一つであり、SOFIAとともに21世紀初頭に打ち上げが計画されている。