

PtSi 赤外線カメラの開発と銀河中心領域の観測

上野 宗孝

〈東京大学教養学部 〒153 東京都目黒区駒場 3-8-1

E-mail: ueno@chianti.c.u-tokyo.ac.jp

赤外線観測は赤外線カメラの登場により大きく変貌しつつある。本文では PtSi 赤外線カメラの開発と、それをを用いて行った銀河中心領域の広視野サーベイ観測の結果を紹介する。赤外線カメラは非常に効率的な観測装置ではあるが、一方では極めて大きな貧富間格差を生じつつある。この問題に対するささやかな抵抗として、筆者のグループが進めている PtSi カメラを用いた国際協力についても紹介する。

1. はじめに

今の若い人たちは、と言うといささか老人じみた出だしになってしまいますが、現在赤外線天文学を研究している大学院生の皆さんは「赤外線観測」=「赤外線カメラを用いて観測を行う」ということが当然なことだと思っているのではないのでしょうか。しかし米国・ロチェスター大学の W. Forrest 達のグループが 32×32 画素の赤外線カメラを用いて初めて天体観測を行ったという論文が PASP に発表¹⁾されたのがわずか 10 年前の事ですし、手前味噌ですが私が 512×512 PtSi 検出器²⁾ (写真 1) を用いた国産初の天体観測用赤外線カメラを伊藤昌尚君 (現在日立製作所) や佐藤修二先生 (現在名古屋大学) と開発を行ったのが 6 年前のことです³⁾。

さてそのころの状況を振り返ってみますと、私が京都大学大学院の修士課程に入学した 1987 年、赤外線天文の世界ではアレイ検出器を用いた天文学に関する第一回目の国際会議がハワイで開催されました⁴⁾。その時点で世界的には数グループながらも、既に赤外線カメラを用いて天体観測を行ったという成果報告がありました。しかしその頃私は、赤外線カメラというものを風の噂には聞いていたものの、具体的な情報は乏しく、国際会議

の話をも舞原俊憲先生から聞かされて、「赤外線カメラと言うものは凄いものらしいぞ」ということを認識した程度でした。その後もしばらくは、赤外線カメラというものは依然として雲の上の存在で、実際にはどうやって実現したらいいものやら皆目アイデアが浮かばない時代でした。当時私の

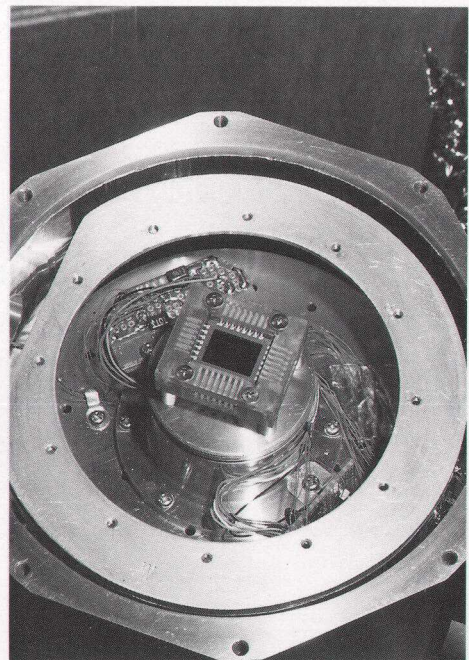


写真 1 512×512PtSi 検出器

属していた研究室（京都大学・物理学第二教室・宇宙線研究室）でも既に1次元赤外線アレイを用いた近赤外線分光器 (CGS)⁵⁾や、1×32素子のアレイ検出器を用いた赤外線スペックルカメラ⁶⁾などが開発されていましたが、赤外線の測光器として君臨していたものは依然としてInSbの単素子検出器を用いたものでした。さらに当時我々の研究室で“虎の子”的存在であった1×32素子のInSbアレイ (CEC製)も、科学研究費補助金の一般研究Aという、大学の研究室レベルで期待できる手一杯の研究費のおかげで実現したものでありました。この頃は特に2次元赤外線アレイ検出器に対するアメリカ側の強い輸出規制が残っていたことと、検出器の値段が非常に高価であることが、我々にとって検出器を手の届かないものにしていました。そのころ私は、宇宙科学研究所の赤外線グループの気球赤外線望遠鏡 (BIRT) 観測装置の孫受け仕事に参加したり、岡山天体物理観測所での赤外線スペックル観測に参加させていただいたりしながら、観測装置に関する勉強をさせて頂いていました。そのような状況の中、近赤外線波長帯を用いたタリー・フィッシャー関係⁷⁾に興味を持ち、それまで星生成領域での偏光星サーベイ⁸⁾や牡牛座領域の近赤外線サーベイ観測で活躍していた京都大学・上松赤外線観測所の赤外線測光器を用いて、無謀にも乙女座銀河団に属する系外銀河の赤外線測光観測に挑戦しました。しかし結果は無残にも（幸運にも？）このような観測にはほとんど手が届かないことを思い知らされてしまいました。同じ頃海外では、既に赤外線カメラを用いて系外銀河の撮像観測がスタートしているという情報が伝わってきており、その時私が抱いた無力感は極めて大きなものでした。そしてとにかく国内にも赤外線カメラが欲しいと強く駆り立てられたのでした。

2. 赤外線カメラのもたらしたインパクト

この原稿を執筆するのに当たって天文月報をひっくり返してみると、赤外線カメラ自身について記述されたものが残念ながらほとんど見当たらなかったため⁹⁾、赤外線カメラ開発に関する詳細に触れるのではなく、赤外線カメラのもたらした観測技術上の変化やインパクトについてここで簡単に解説しておきます¹⁰⁾。

まず赤外線カメラはどうして観測技術的に大きなインパクトをもっていたのでしょうか。可視光の波長帯では赤外線カメラに先だって、既にCCD¹¹⁾検出器が天体観測に広く用いられていました¹²⁾。しかし可視光波長帯では写真乾板という効率的な検出器が古くから存在し、CCD検出器はその高い量子効率のおかげで観測時の感度を大きく引き上げはしたものの、今から言えば赤外線カメラ程のインパクトを持っていなかったように思います。それでは赤外線カメラの場合にはどのような変化をもたらしたのでしょうか。このことを考えるに当たっては赤外線天体観測の置かれた特殊性について触れる必要があります。

図1にハワイ・マウナケア山頂から典型的な気象条件の時に天頂方向を観測した時の大気の透過率を示します。この図を見ていただくと明らかのように、大気は可視光の波長以外でも近赤外線波長帯に幾つかの「窓」を持っていることがお分かりになると思います。このように近赤外線波長帯では可視光の場合と同様に、地上の望遠鏡から自由に観測できる波長帯があります。しかし可視光波長帯と根本的に違う点は、赤外線波長帯では空が非常に明るいということです。赤外線波長帯における空の明るさの要因は、可視光波長帯のように夜光や散乱光によるものではなく、大気自身の赤外線放射が主成分となっています。この大気の赤外線放射の原因としては、近赤外線短波長領域 ($\lambda < 2.2 \mu\text{m}$) では上層大気からのOH夜光が支

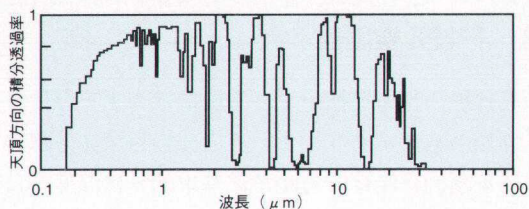


図1 マウナケア国際観測所における大気積分透過率

配的であり、それよりも波長の長い領域では大気自身の熱放射が支配的となります。この大気からの熱放射は大気の温度を 270 K とすれば、 $10\ \mu\text{m}$ より少し長い波長にピークを持つ黒体放射のスペクトルに近くなります。但しこの大気は全波長域で「黒体」ではなく、「大気の窓」と呼ばれる波長領域では数%程度の放射率まで下がります。しかし背景光の強度は「窓」においても決して小さな値ではなく、近赤外線ではしばしば観測に用いられる K バンド ($2.2\ \mu\text{m}$) でも、1 平方 m、1 平方秒角当たり毎秒 1 万個程度の光子が熱放射として存在します。さらに望遠鏡自身も曲者で、(100% の反射率を持った鏡面はありませんから) 反射鏡と言えども最低 2~3% の熱放射率を持ちます。また望遠鏡には通常反射鏡が最低 2 枚必要ですし、副鏡を支えるスパイダー等の構造物からも視野内に熱放射が回り込みます。このため望遠鏡全体で放射率を足し合わせると、赤外線観測用に設計した望遠鏡ですら容易に 10% の放射率を越えてしまいます(米・英を中心に推進されている GEMINI 8 m 望遠鏡計画においては望遠鏡の熱放射率を極限まで下げようとする努力がされています)。

このように赤外線観測においては膨大な背景放射の中で観測を行わなければならないという点が可視光波長帯の観測と大きく違うところです。言ってみれば都心の空に星を探すようなものです。この大きな背景放射の中で微弱な天体の観測を行うため、赤外線カメラの無い時代には図 2 に示すように空間チョッピングと呼ばれる方法を用いて観測を行ってきました。この方法は図に示すように目的の天体の含まれる視野と背景光だけの視野を副鏡をバタバタと振動させることにより切り替え、その差分信号成分を天体からの信号強度として取り出す方法でした。この方法は空の背景光のレベルの変動や検出器自身の不安定さをキャンセルすることができ、赤外線観測にとって非常に有効な観測手段でした。それでも我々の観測したい天体の多くは背景光のレベルよりも暗いものが多く、どこまで正確に背景光を差っ引いてやることのできるかが、検出限界を決めることとなります。

このような数々の観測技術上の問題点も赤外線カメラの登場とともに一気に解消されてしまいました。赤外線カメラを用いると、(対象となる天体が赤外線カメラの視野よりも小さな範囲では) 目的の天体と我々がスカイと呼んでいる背景光の基準となる領域を同時に観測することができます。この効能により、たとえ背景光が時間的に変化する場合でも安心してスカイの差っ引きが可能です。また天体の周囲を 2 次元的にカバーしているため、たとえスカイが空間的な傾きを持っている場合でも差っ引き可能です。さらに重要なこととして、点源に対して最小限の視野サイズで天体の

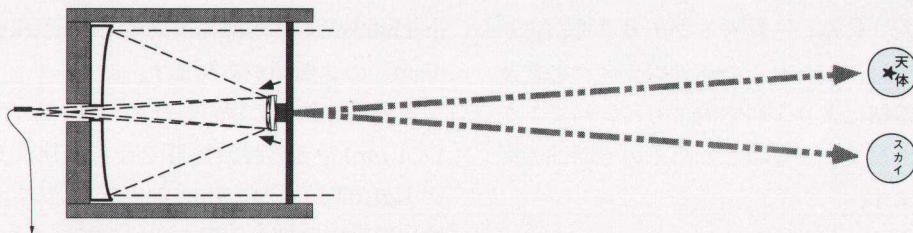


図2 チョッピング観測の例

検出ができるようになり、その視野面積内に含まれる背景光によって生じる統計的なノイズも小さくすることが可能となりました。これは検出器が2次元アレイになった事が本質的に重要な役割を果たしています。赤外線カメラを用いると1素子当たりの視野をシーイングサイズに合わせて光学系を設計しても全体の視野の広さを確保することができ、現実的な望遠鏡の指向精度の範囲でカメラの視野内に天体を導入することができます。しかし例えば視野の大きさをシーイングに合わせた0.5秒角の入射絞りを持つ測光器を用いる場合には、全視野がそもそも0.5秒角しかとれないため、望遠鏡を超人的な精度でコントロールする必要が生じます。またもう一つ非常に重要な点として、天体とスカイの同時観測の結果、長時間の露出が可能となったことがあげられます。このため十分な量の赤外線の光子を検出器上に電子の形で蓄積することが可能となり、検出器自身の読み出しノイズが無視できる状況が実現されたのでした。これは空間チョッピングを行っている時代には原理的に困難なことでした。これら諸々の事情により、赤外線カメラの登場は、単に赤外線撮像が可能となったこと、多重度が上がって観測効率が向上したことの他に、感度の向上という非常に大きなおまけをもたらしたのです。これらのことを総合すると近赤外線検出器の観測効率はこの10年間に6桁以上向上したことになるでしょう。

しかし残念ながら赤外線カメラはこのように観測効率を大きく引き上げているにも関わらず、アラン・トクナガさんが書かれているように¹³⁾、天文学的に見てセンセーショナルな成果は未だもたせていません。しかしそれもトクナガさんが書かれていたように、これからの赤外線カメラの普及とデータの蓄積により、科学的にもインパクトを持ったデータが続々と登場し始めるのも時間の問題だと思えます。

3. PtSi 検出器

赤外線の光子を検出する方法には大きく分けて2種類の方法があります。その一つ目は赤外線の光子を熱的に受ける方法で、基本的には温度計に赤外線を照射してその温度変化を調べると言った方法です。太陽光をプリズムで分光し赤色スペクトルの外側で温度計の目盛りを上げる光が存在する事実から、初めて赤外線を発見したウイリアム・ハーシェルの仕事もこの原理を用いたものでした。この原理を用いたものは後で述べる量子型の検出器と比較すると一般的に感度が低いです。量子型の検出器が実用化されていない長波長の赤外線領域や非冷却で赤外線を検出するような用途に広く利用されています。この種類の検出器としてはボロメーターと焦電型(パイロ)の2種類が有名で前者は極低温に冷却された状態で天文観測で用いられており(最近ではX線検出器にも用いられているようですが)、後者は熱源検出(人感)センサーなどの実用用途に広く利用されています。

これに対して量子型と呼ばれる赤外線検出器があります。可視光波長帯で用いられているシリコンCCDもこの量子型検出器の一例です。この方式にも色々なタイプの検出方法がありますが、基本的な原理や動作は共通です。検出すべき光子の持つエネルギーよりも小さなエネルギーギャップを持つ素材中の電子を入射光子が上の順位に叩き上げ、その結果生じた電気的な特性の変化を信号として取り出すというものです。この方法には内因性(intrinsic mechanism)、外因性(extrinsic mechanism)と内部光電効果(Schottky mechanism)の3種類があります。

可視光波長帯で用いられているシリコン検出器($<1\ \mu\text{m}$)や赤外線波長帯で有名なInSb($<5\ \mu\text{m}$)やHgCdTe($<2.5\ \mu\text{m}$, $<12\ \mu\text{m}$: 混晶比による)検出器は内因性の原理を利用しています。内因性の検出原理ではエネルギーギャップとして半導体

の固有なバンドギャップを用いているため、光子を電子に変換する際の量子効率が高いという特長があります。

これに対してもう少し長い波長の赤外線領域の光子を検出するためには、光子自身の持つエネルギーが小さくなるため、適当なバンドギャップを持った半導体が得られ難くなります。このためシリコンやゲルマニウムなどの半導体に不純物を加え、その不純物によって生じた電子準位を用いて検出する外因性検出器が必要とされるのです。名古屋大学などで開発されている Si:P 中間赤外線検出器などはこの例です。

内部光電効果を用いた検出器としては我々が実用化を行った PtSi ショットキーバリアー型検出器が主流となっています。ショットキー型の検出器ではバンドギャップとして金属-半導体間のいわゆるショットキーバリアー準位を用いています。ただし叩き上げるべき電子が金属中の電子である点が内因性や外因性の検出機構と違う点です。従ってこの方式ではお馴染みの光電管の内部で起こっている現象が半導体中で起こっており、これが内部光電効果と言われるゆえんです。

しかし金属中の電子を叩き上げる際の泣き所として、入射光子の持つ全てのエネルギーが必ずしもバリアーの高さを越えるためだけに使われず、電子が金属中で散乱されながら（ある確率で）エネルギーを失ってしまうという、エネルギーのムダ使いがされてしまいます。そして最終的にバリアーの高さを越えるエネルギーを持った電子だけが検出されるわけですから、量子効率が内因性や外因性の検出器と比較すると低くなってしまいます。しかしこの検出器には以下に説明するようにそれを補う長所も備えています。

シリコン半導体のバンドギャップエネルギーは、光の波長にして $1\mu\text{m}$ 程度に相当します。従ってそれよりも長い波長の光子は検出することができません。このため赤外線波長領域で内因性の検出器を作るためにはバンドギャップエネルギーの

小さな半導体が必要で、これが InSb や HgCdTe が赤外線検出器の材料として使われている理由です。しかしこれらの半導体は結晶生成技術自身が確立されておらず、さらに厄介なことにこれら半導体上では CCD 読み出し回路のような高度な電気回路は実現できないという技術的制約があります。このためこれらの検出器では、シリコン基板の読み出し回路と化合物半導体の検出器部分を電氣的・物理的に接合する必要があります。この作業の困難さがこれらの化合物半導体を用いた赤外線検出器のコストの高さ（1チップ当たり数千万円）と生産性の非常な低さ（数個/年-1個/数年）の原因となっています。

これに対して PtSi ショットキーバリアー型の検出器では検出器の基板材料として、半導体の中でも最も確立した技術を持つシリコンを用いています。つまり我々の良く知っている LSI や可視光の CCD を開発するのに近い技術を用いて赤外線の検出器を開発することができます。その上読み出し回路も同一基板上に配置可能なため、可視光 CCD と同様に大フォーマットで無欠陥、素子間の均一性や検出器の安定性も極めて高いというものが、低コストで実現可能です。

余談ですが、私は以前ショットキーバリアー検出器の原理の提案¹⁴⁾者の一人である Shepherd 氏と国際会議で2度ほど一緒になったことがあります。我々が観測を行った銀河中心のデータを見る度に喜んで頂けて「この原理を提案したころは、赤外線の検出器といえば単素子の検出器しかなく、シリコンプロセス技術の未熟さから量子効率も悲しいほど低かった。そのため InSb のような検出器があるのに、どうしてこんな検出器をやっているのだと、みんなに馬鹿にされたものだが、今では（特に民生用の世界では）すっかり引っ張りだこになった」と言われていました。

さて話を戻して、この検出器の泣き所であった量子効率も最近の研究で $2\mu\text{m}$ で 10% 程度のもので実用化が進みつつあります。本当にディー

ブな観測を行う際には内因性の InSb などと比較すると少し分が悪いですが、低コストにもものを言わせて大規模なモザイク検出器を製作すれば広視野の観測が必要な条件下では観測効率を大きくリードすることが可能となります¹⁵⁾。また予算の少ない大学規模の研究費でも赤外線カメラの開発ができ、赤外線天文学の裾野を広げる意味においては大きな貢献ができると思います。赤外線カメラを持つ天文研究機関は、色々な分野からのサポートにより予算的に恵まれているアメリカの赤外線グループと重点領域研究などの科学研究費補助金やすばる望遠鏡計画の開発費によって少しだけ潤い始めた日本の赤外線グループ以外では、世界的に見てもまだ数グループにとどまっています。

4. 銀河中心の観測

PtSi 検出器が天文観測に応用できるものであることが確認された後¹⁶⁾、この検出器を用いて実際の観測を行う段階に移りました。この検出器の持つ画素数は当時主流であった InSb 58×62 検出器と比較して 2 桁程度多かったため、この特長をおおいに活かせる観測はやはり広視野サーベイ観測であろうと考えました。近赤外線でサーベイを行って面白い領域は可視光波長帯で大きな吸収を受けている領域、即ち銀河面や暗黒星雲です。しかし暗黒星雲の中で牡牛座領域に関してはある程度サーベイが進みつつありましたが、オリオン領域をサーベイするには距離の遠さと吸収量の大きさを考慮すると、ある程度の深さを持ったサーベイが必要となります。これに対して銀河面、特に銀河中心の領域はその領域の広さも相まってサーベイされている領域が限られており、銀河中心までは可視光波長帯で 30 等級の吸収を受けますが、K バンドではわずか 3 等級の減光ですむため我々が十分手の届く範囲にあると考えられました。

我々はターゲットを銀河中心にしぼり、装置の準備を行うことにしました。広視野のサーベイ観

測を効率的に行うため、既存の望遠鏡に搭載して観測することにこだわらず、自前の望遠鏡で観測を行うことにしました。我々が観測に用いた望遠鏡はパークス社製の 25 cm 鏡を用いた手作りのニュートン望遠鏡でした。ニュートン焦点部に固体窒素で冷却された PtSi 検出器がマウントされるような設計で、ニュートン焦点で生じるコマ収差の補正系（赤外線カメラデュアーの窓を兼ねている）と、冷却した赤外線干渉フィルターを持つだけという最もシンプルな構成の観測システムでしたが、得られる星像の形・サイズに関しては十分配慮して設計しました。この補正光学系の設計には当時大学院生であった笠羽康正君が参加してくれました。銀河中心の観測ではこの装置をマウナケア山頂まで持ち込み（マウナケア観測所における第 7 番目の望遠鏡）ハワイ大学の所有する 60 cm 望遠鏡におんぶしてもらう形で観測を行いました。この観測と望遠鏡のフレームの製作には市川隆氏（東大・理・木曾観測所）に協力して頂きました。このサーベイ観測で得られた銀河中心の近赤外線イメージ（表紙）を示します¹⁷⁾¹⁸⁾。これまでこれだけ広い領域を赤外線カメラでサーベイした例はなく、観測の際マウナケアで合流した佐藤修二先生と市川隆氏と K バンドのクイックルック画面を見て本当に感激したものでありました。この感激は自分で装置を作って、観測を行ったものだけに与えられる特権でしょう。

近赤外線で銀河中心の観測を行った結果、この領域ではさながらパッチワークのような重なりを持つ暗黒星雲が分布していることが明らかとなり、それまで一口に銀河中心までの吸収量は 30 等級と言われていましたが、様々な暗黒星雲による吸収の重ね合わせの結果、そのような姿としてとらえられていることが判明しました。

またこれらの寄せ集めの成分とともに、銀河面に沿って 14 等級程度の比較的一様な吸収帯が存在していることも明確に描き出されました。この結果はこれまで銀河中心までの吸収量が銀河面

15等級、銀河中心の「固有成分」15等級の足し算になっていると大雑把に理解されてきた画像に概ね合致しているものの、銀河中心「固有」の15等級に関しては球対称というよりも非常にランダムに分布した多数の暗黒星雲を透かして銀河中心領域を眺めていると言うのが正解のようです。

また銀河中心部よりもはるかに大きな吸収 ($A_V > 50$ 等級) を持つ暗黒星雲も多数検出されました。さらに面白いのは銀河中心を取り巻くような形でリング状に分布している暗黒星雲の帯が見つかったことです。このダストリングはCO分子を用いた電波観測の結果とは明確な相関が見られないものの、レーザー源やIRASで検出された遠赤外線源との位置的な相関が見られるため、このダストリングに沿って星生成が起こっている可能性がうかがえます。残念ながらこのダストリングに関しては速度構造が現在のところ不明で、本当に一つに繋がったリングかどうかの確認が困難です。しかし銀河中心領域の星生成の謎に関して新しい糸口になるだろうと考えています。またこの観測を通じて、わずかに口径25cmの望遠鏡を用いても、赤外線カメラという装置があれば、こうして全く未知の観測を展開することが可能なのであるということを強く感じさせられました。

5. 赤外線カメラによる協力

振り返ってみると数年前から私自身、大部分の時間を赤外線カメラの共同開発に費やしているようです。先にも触れましたように赤外線カメラを持つということは、現在でも容易なことではありません。しかし今となっては赤外線カメラを持つものと持たざるもののギャップはあまりにも大きいのが現実です。

一方PtSi検出器を用いた赤外線カメラは、特別に大きな予算を必要としません。このため赤外線天文観測の裾野を広げることに大きく貢献できるはずです。

また赤外線天文学自身、観測装置や観測機会の

制限から足踏みしている国も多数存在します。我々はこのPtSi検出器を用いて多数の機関と共同開発を行いつつあります。それぞれその形態は様々ですが、これがきっかけとなり、その国で赤外線天文学が広がっていくことがあれば幸いであると思います。

これまで共同開発を行っている国(機関)と共同開発形態を簡単に紹介すると、オーストラリア・ニューサウスウェールズ大学(Michael Ashley—スタート時の窓口:佐藤修二:括弧内敬称略)、南アフリカ・南アフリカ天文台(Ian Glass—同窓口:中田好一):この2機関は現地で全てのコントロールシステムを立ち上げています。中国・北京天文台(Sun JingHao, Wang Gang—海部宣男):両者が日本に滞在してシステムを開発、但し開発期間が長期に渡っており、この原稿作成時においてすらシステムが未完成なのは全く私の力不足で、早急の立ち上げを急いでいます。韓国の大学連合(韓国側代表ソウル大学S. S. Hong):韓国で採択された国際協力の科学研究費により推進¹⁹⁾しています。現在ソウル大学とプサン大学の大学院生が一人ずつ私の研究室で、短期交換留学生として滞在、最後の立ち上げを行っています。韓国国立天文台(Jae-Mann Kyeong):距離的に近い国であるため、相互の訪問を重ねている。この原稿が掲載されるころには韓国で建設された1.8m反射望遠鏡での試験観測がスタートしていると思います。インド・天文学研究所(R. Srinivasan):日本—インド自然科学協力事業によって推進しています。相互の訪問で開発を進めており、最終的にはカバルールの2.3m反射望遠鏡の主焦点赤外線カメラとして用いられることを計画しています²⁰⁾。

また国内では市川隆氏が中心となって木曾観測所のシュミット望遠鏡用に赤外線カメラの開発を行っており²¹⁾²²⁾²³⁾、また鹿児島大学と兵庫県・西はりま天文台そして我々の3者協力で赤外線カメラの開発を進めつつあります。これらの協力では国

立天文台の田村元秀氏，総合研究大学院の海老塚昇君，東京大学研究員の三浦均君，大学院生の大野洋介君，和田武彦君，そして我々の研究室の他のスタッフの方々の多大なる協力により実現されていることを，この紙上を借りてお礼を述べたいと思います。

6. 開発とは

今から思えば，我ながらよくも PtSi 検出器の天文観測における実用化を始めたものだと思います。こう思うのも我々の置かれた環境が豊かではなかったからでしょう。もし最初から InSb や HgCdTe の検出器を購入して赤外線カメラを開発できる身の上ならば，海のものとも山のものとも判らず，天文用として果たして実用になるかどうかというものに心血を注ぐことができたであろうかと思います。特にこの仕事を始めたころ国立天文台では，実験や開発を展開する環境は皆無と言う状態で，佐藤修二先生と高見英樹氏，小林行泰氏（ともに現在国立天文台・開発実験センター）らとともに，電波天文学のグループが昔 6 m のミリ波望遠鏡の観測室として用いていた建物を占拠し，宮沢敬介氏（野辺山宇宙電波観測所）の多大な協力により電波関係の物品を整理し，ひどい雨漏りと戦いながら実験環境を整備していきました。

しかしこうして PtSi 検出器の開発・実用化を進めたおかげで，赤外線カメラの普及に貢献でき，さらにその性能も当初想像していた以上の水準まで到達できる展望も開けてきました。この件に関しては私自身本当に運にも恵まれていたと実感しています。

現在多くの人々が開発と称して，海外の機関で既に開発され実績もある装置のコピーのようなものを製作しているようです。確かにこれまで日本の天文学では，限られた分野だけで開発が行われてきた歴史的経緯があり，特に光の天文学の世界では基本的に装置は発注するものであったようで

す。そのような時代と比較すると自ら手を動かして物を製作すること自体が画期的なことであり，おおいに推奨されなければならないことだと思いますが，私の目から見るかぎりにおいて，このようなことに「開発」という言葉を用いることはいささかおこがましいことだと思います。

私自身 PtSi カメラの開発を始めた大きな理由の一つに，国産の検出器を用いて赤外線カメラを開発したいという意識が強くありました。海外から供給される検出器を用いているかぎり，観測的な条件にも決して恵まれていない日本において海外の装置を追い抜かすのは難しい事だと思います（X 線のように衛星という差別的なベースがある場合は少し事情が違うと思いますが）。赤外線検出器の開発は未だ発展途上であり，検出器の性能格差が観測装置の性能を直接左右する時代は今でも続いています。残念ながらすばる望遠鏡の観測装置においても，まだまだ世界をリードするような装置の提案は少ないように見受けられます。すばる望遠鏡は世界一級の望遠鏡の仲間入りをしますが，世界で群を抜いた望遠鏡ではなく，他の計画と横並びな計画です。このため観測装置の差こそが，得られるデータの優劣を決定するでしょう。日本では開発のマンパワーが足りないことは事実です。しかし現在それを増やす努力が非常に積極的にはなされているようにも見えません。目先のこと，即ちすばる望遠鏡立ち上げ時にある程度の装置がそろっていることも重要ですが，その先を十分に考え，色々な芽が多数生えてくる土壌を養うことも非常に重要だと思います。

最後に，誰にでも開発に挑戦せよとは勧められません。十分に努力したつもりでも，何も得られないことの方が多いのが開発というものでしょう。天文学の分野に限らずこのことが日本の科学や技術の泣き所だと思います。失敗するつもりで開発を行う人はいないと思いますが，死ぬほど頑張ったとしてもダメ元という程度の気持は必要なのが開発だと思います（この観点では楽天的な私

は開発ということに適性があったのでしょう)。成功の確率を上げる方法があるとすれば、小さな失敗を十分に経験し、物を作るカンを養っていくことが大事なのではないでしょうか。しかし光赤外線天文の分野においても大プロジェクトが林立するという極めて恵まれた状況にある今日、気楽に小さな失敗をしながらマイペースで仕事を進めていけるような幸せな研究室は少なく、若手研究者が健全に育って行くには大変な時代になってしまったように思います。それでもすばるの観測装置の製作に若手の人達が多数参加し始めていることは、将来への明るい材料だと思います。そしてこの若い世代が、製作の1サイクルを終了して真の「開発」へのステップを歩みだす時が来ることを期待しています。佐藤修二先生もよく言われておられますが、現在製作している観測装置をきちんと最後まで立ち上げ、天文観測に用いて科学的な評価を受け、世界の天文観測のレベルとしのぎを削るところまで行って「初めて」次のステップへと踏み出せるのだと思います。

我々の置かれた状況はアメリカの天文学者の置かれた状況には程遠いですが、以前と比べると経済的には随分恵まれた状況になりつつあるのではないのでしょうか。しかし最後にそれを本当に恵まれた状態に持っているのはお金ではなく我々天文学者だけです。

参 考 文 献

- 1) W. J. Forrest et. al. 1985 PASP 97, 183
- 2) Kimata, M., Denda, M., Yutani, N., Iwade, S., Tsubouchi, N., 1987 IEEE Journal of Solid-State Circuits, sc-22, No. 6
- 3) Ueno, M., Ito, M., Kasaba, Y. & Sato, S., 1992 Proc. of SPIE Conf. vol 1762, 423
- 4) Infrared Astronomy with Arrays, Edited by C. G. Wynn-Williams and E. E. Becklin Univ. of Hawaii (1987)
- 5) Suto, H. et. al., 1987 Proc. of the workshop on "Infrared Astronomy with Arrays", 398
- 6) Kataza, H., & Maihara, T., 1993 PASP, 105, 432
- 7) Tully, R., B. & Fisher, R., 1977 A & A, 54, 661
- 8) 佐藤修二, 1994, 天文月報, Vol.87, P 290
- 9) 佐藤修二, 1990, 天文月報, Vol.83, P 282
- 10) 上野宗孝, 1993, 科学, Vol.63, No. 2, 73
- 11) W. S. Boyle and G. E. Smith, 1970 Bell Syst Tech., J., 49, 587
- 12) 川上 肇, 1990, 天文月報, Vol.83, P 54
- 13) アラン・トクナガ, 1994, 天文月報, Vol.87, P 54
- 14) Shepherd, F. D., Yang, A. C., 1973 IEDM Tech. Digest, 310
- 15) Ueno, M., Tsumuraya, F. & Chikada, Y., 1995 IAU Symp 167, 117
- 16) Ito, M., Kasaba, Y., Ueno, M., Sato, S., Kimata, M., 1995 PASP in press
- 17) Ueno, M., Ichikawa, T., Sato, S., Kasaba, Y., Ito M., 1993 AIP Conf. Proc. vol. 278, 64
- 18) Ueno, M., Ichikawa, T., Sato, S., Kasaba, Y., Ito M., 1994 Proc. on Infrared Astronomy with Arrays, Kluwer Academic Publishers, ed. I. S. McLean, 119.
- 19) 趙世衡, 1995, 天文月報, Vol.88, P 162
- 20) Ueno, M., 1995 Proc. on India-Japan Cooperative Science Program Area: Astronomy and Astrophysics, in press
- 21) Ichikawa, T., Tarusawa, K., Yanagisawa, K., Itoh, N., Ueno, M., 1994 IAU Symp 161, 599
- 22) Yanagisawa, K., Itoh, N., Ichikawa, T., Tarusawa, K., Ueno, M., 1994 IAU Symposium 161, 89
- 23) Ichikawa, T., Yanagisawa, K., Itoh, N., Tarusawa, K., Driel, W. V., Ueno, M., 1995 AJ in press

Development of the PtSi IR Camera

Munetaka UENO

College of Arts and Sciences, University of Tokyo

Abstract; Recent progress of Infrared image sensors enables us to make much efficient IR observations. We have developed PtSi IR cameras and have conducted survey observations of the Galactic center region. A ring-like structure of extinction and patchy dark clouds around the center are detected.

The infrared camera is a very powerful instrument but makes an economical gap among astronomical societies. A collaboration of the infrared camera seems very important for us to spread infrared astronomy in the world.