

コスモスな日々 (第1話)

谷口 義明

〈東北大学大学院理学研究科 〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉〉

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

ハッブル宇宙望遠鏡 (HST) のトレジャリー・プログラムであるコスモス (COSMOS=Cosmic Evolution Survey) 計画の概要を説明する。HSTの新しいサーベイカメラ ACS で、2平方度の天域をIバンドで撮像し、他の波長帯の観測は地上天文台や多波長宇宙天文台で観測する超ビッグ・プロジェクトである。銀河、活動銀河中心核、ダークマター。コスモス計画では、これらが赤方偏移と銀河環境の関数としてどのように進化してきたかを探ろうとしている。

Iバンドを除く可視光帯の撮像サーベイには、日本のすばる望遠鏡が活躍することになった。すばる望遠鏡による観測は2004年1月に開始され、コスモス計画を大きく前進させてきている。本稿では、すばる望遠鏡の活躍を通して、コスモス計画の進捗状況をお知らせする。

1. ありふれた日々

私は天文学者を生業としている。やや、変わった職業かもしれない。しかし、日本全国には数百人はいるし、世界的にみれば何十万人のオーダーになるだろうから、そう特別な職業でもない。

私の専門分野は天文学の中でも銀河にまつわる部分である。星の大集団である銀河が宇宙の歴史の中で、どのように生まれ、育ってきたのか。そんなことを調べて過ごしている。実際に望遠鏡を

使ってデータを取り、解析して研究を進めている。だから、観測しているときは昼夜逆転の生活スタイルになる。しかし、ハッブル宇宙望遠鏡(図1)などの空飛ぶ天文台を使うときには、自分自身が観測に出かける必要はないので、ごくごくありふれた生活スタイルを送ることができる。また、地上の天文台を使う観測も、1年当たり数回程度である。つまり、観測天文学にウエイトがあったとしても、天文学者は普通の生活をしていることの方が圧倒的に多いのである。霞を食べて生きるような仙人のような生活でもない。普通の食事をとっている。それが天文学者の姿である。

2. 2003年4月 その巻

2003年4月のある日、私はいつものような普通の生活をしていた。朝、オフィスについて最初にするのは計算機の電源を入れることである。パソコンとワークステーション。それぞれ1台ずつある。

とりあえずワークステーションの前に座る。電子メールをチェックするためである。私のワーク

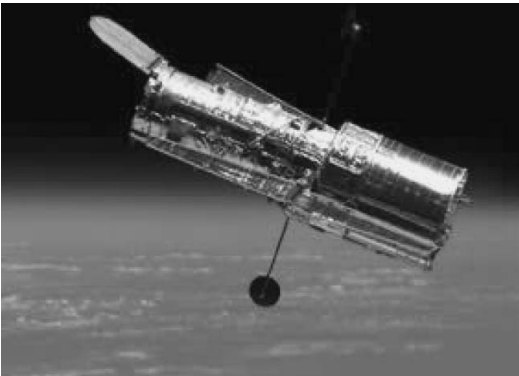


図1 ハッブル宇宙望遠鏡。(提供: STScI)

ステーションの名前は「クェーサー (quasar)」という名前である。私の所属する東北大学の天文学教室では「テラ (terra)」という名前のメールサーバーが使われている。クェーサーからテラへ接続し、電子メールをチェックする。また、1日が始まる。

その日も、テラに接続すると数十通の電子メールがきていた。ネット系の不要なメールはどんどん削除し、必要なものだけ残し、対応する。下手をするとその対応だけで午前中を費やすこともある。IT時代も便利でいいが、多忙な時代であることだけは確かなようだ。

この日きていたメールの中に、ハワイ大学天文学研究所のデーブ・サンダース (Dave Sanders) 博士からのものがあった。いつもとは少し違う雰囲気だ。内容がない、のである。つまり、メールはこうなっていた。

「ヨシ 電話したいことがある。都合いい時間と、その時使える電話番号を教えてください デーブ」たったこれだけである。何に関する話なのか？それがさっぱり書いていない。ハワイとは時差がマイナス 19 時間。こちらの朝は、向こうでは前日の夕方になる。デーブもまだオフィスにいる頃だろう。私はわけのわからないまま電話をかけた。

「おー ヨシ、サンキュー」
やはりデーブはまだオフィスにいた。

「メールをみたけど、どういう話？」

「うん、実は結構大事な話だ」
直接話をしたいくらいだから、そういうことなのだろう。

「うん、で？」

「HST*1のコスモス計画のことは知っているか？」

「コスモス計画？ いや、知らない」

「宇宙の大規模構造を調べるビッグな計画で、

HST のトレジャリー・プログラムに採択された。俺はこの計画のうち、地上望遠鏡の補強観測のマネージャーをやることになっている」

コスモス計画。名前は知らなかったが、そういう内容の計画が進められているのは知っていた。もう一つ知っていることがあった。その計画はあまりにもビッグ過ぎて、HST になかなか採択してもらえない、ということである。しかし、それが終に採択された。どうも、そういうことらしい。

「おお、それは凄い！ おめでとう！」

「うん、ありがとう。」

ヨシ、ところでコスモス計画の PI (計画責任者) は誰だか知ってるか？」

「いや」

「ニックだ」

「えっ、ニック？ ニック・スコビル (Nick Scoville)？」

「ああ、そのニックだ」

「確か、A さんじゃなかった？」

「A さん？」

「うん」

「確かにそういう時期もあった。ただ今回のサイクル 12*2のプロポーザル提案からニックに変わった」

「そうだったのか……」

理由はともかく、非常にビッグなプロジェクトが HST に採択されたことになる。これはすごいことになりそうだと感じた。

「デーブ、本当に良かったね」

私がそう言うと、デーブの声のトーンが変わった。

「ヨシ、そこでお前に頼みがある」

「なんだい？」

「すばる*3 (図 2) の観測時間がとれないだろう

*1 HST=Hubble Space Telescope ハッブル宇宙望遠鏡の略称。

*2 HST の観測期間はサイクルと呼ばれている。一般の地上望遠鏡の観測期間はセメスターと呼ばれることが多い。

*3 すばる望遠鏡は文部科学省 国立天文台 (現在は独立行政法人・自然科学研究機構・国立天文台) が運用する口径 8.2 m の光学・赤外線望遠鏡。アメリカ合衆国ハワイ州ハワイ島のマウナケア山頂 (標高 4,200 m) に設置されている。

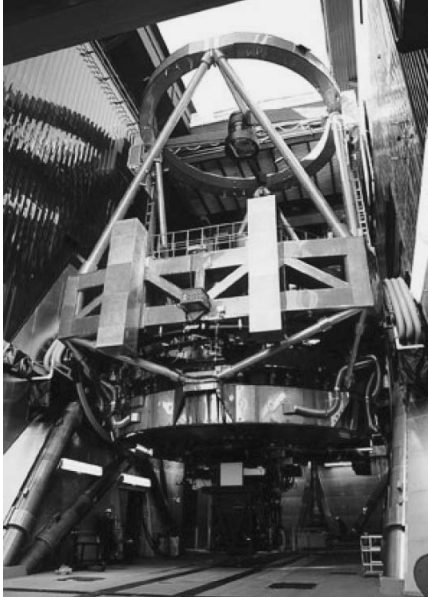


図 2 すばる望遠鏡。(提供: 国立天文台)

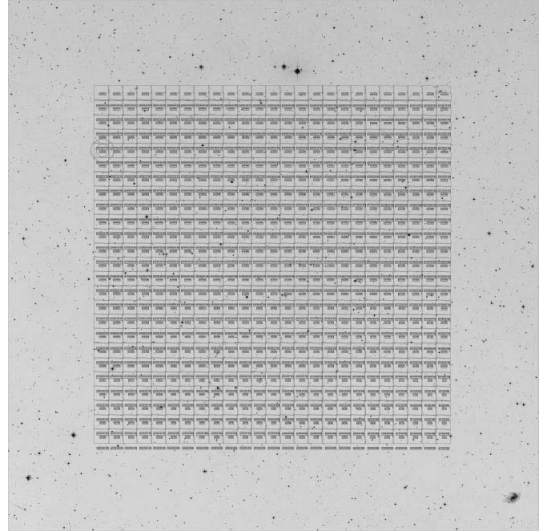


図 3 2平方度の天域をHSTのACSカメラで観測する様子(背景の天域はコスモフィールドではない). いかにも大変な観測であるかがわかる。(提供: Nick Scoville 博士 [Caltech])

か?」

「確約はできないけど、プロポーザルを提出するのは問題ないと思うけど」

「ありがたい。コスモス計画では宇宙の大規模構造を調べるために、2平方度もの広い天域をHSTのACS*4で観測する。ACSは非常に素晴らしいカメラだが、1回の撮像でカバーできる視野はそれほど広くない。ざっと3分角×3分角。そんなものだ。ACSで2平方度撮像するにはカメラを動かしながら625回ものショットをつなげていくことになる(図3)」

「625ショット? おいおい、本気?」

「ああ、本気だ。コスモス計画がなかなか採択されなかったのはこの大変さがネックになっていたんだ」

なるほど、納得できる。HST史上最大の計画。多分そうだろうと思った(後で、本当にそうだったことがわかった)。

「2平方度か…… デーブ、確かにそれだけ広い視野を観測するんだと、すばるがいいと思う」

「ああ、そのとおり。スプリーム・カム*5(Suprime-Cam: 図4)があるからな。是非とも頼む。」

「わかった。とにかくやってみよう。コスモスの観測天域(以下ではコスモフィールド)はどこ?」

「赤経=10時、赤緯=0度。そのあたりだ」

観測に適しているのは春。2月あたりだ。今は4月。すばる望遠鏡の観測期間はA期とB期に分かれている。A期は4月から9月、B期は10月から3月。つまり、コスモ・フィールドを観測す

*4 ACS=Advanced Camera for Surveys. HSTに搭載された最新鋭の高性能CCDカメラ。

*5 Suprime-Cam. すばる望遠鏡に搭載されている主焦点広視野CCDカメラ。34分角×27分角の視野が一挙に観測できる高性能カメラで、口径8m級の光学望遠鏡に搭載されているカメラとしては最大のカメラである。ところでSuprimeをどう発音するかは意見が分かれる。すばる・プライムフォーカスカメラなので、スプライムと呼ぶこともあるが、シュプライムとなることもある。すばるのオペレータの方々と意見交換したことがあるが、supreme(素晴らしい)を意識してスプリームという方が好きだということであった。私も実はスプリーム・カムと呼ぶのが好きなので、本稿ではスプリーム・カムを採用させていただいた。

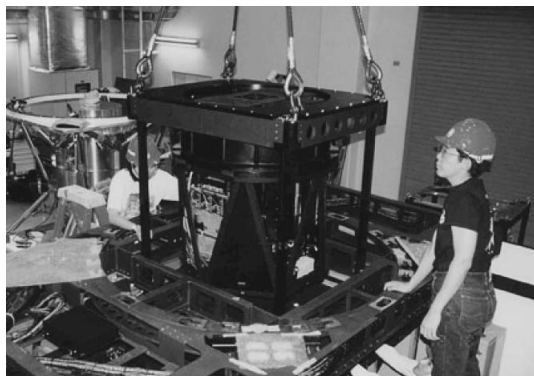


図 4 すばる望遠鏡の主焦点カメラ，スプリーム・カム。（提供：国立天文台）

るなら 2004 年の 2 月頃が最初の好機になる。これ S03B 期に相当する*6。

「じゃあ、来年 2 月頃の観測か。S04B 期だから、観測提案の申し込みはもう直ぐだ。5 月 2 日だぜ、締め切りは」

「えっ、それは大変だ。あと 2 週間か。わかった、とにかくコスモスメンバーで相談してみるよ。なにせ、観測もビッグだから、チームもでかい」

「メンバーは何人？」

「今のところ 38 人」

「ひゃー、それは大所帯だな」

「ああ、だから大事なことを決めるにはそれなりに時間がかかる。すばるへの観測の可能性は、今のところ俺とニック、あと数人で話している段階だから、正式にするためにはちょっと時間がかかる。しかし、時間がないことも事実だ。ヨシ、悪いけど、観測提案書の準備を進めておいてくれないか？ こっちもなるべく早く、決着をつける」

「わかった。問題ないよ。ただ、観測戦略はそちらからの情報がない限り決められない。とりあえずコスモス・フィールドをスプリーム・カムで観測する方法を検討しておくことにするよ」

「OK。じゃあ、またあとで連絡する。サンクス」

「デーブ、バイ」

受話器を置いて、一件落着？ いや、どうもそうではない。コスモス計画。これは大変な計画だ。しかも HST を中心に、地上の優れた望遠鏡に動員をかける。一大プロジェクトに違いない。しかし、今の段階で深く考えてもしょうがない。とりあえず、ほかにもしなければならぬことはある。

「まあ、様子を見ながら進めていくか……」

独り言を残して、次の仕事にとりかかることにした。

3. 2003 年 4 月 その弐

コスモス計画。あの日の電話以来、どうもこの言葉が頭にこびりついて離れない。困ったものである。

とりあえず、すばるでの観測について少し考えてみることにした。コスモス計画で観測する天域の広さは 2 平方度。つまり、1.4 度×1.4 度で、だいたい 2 平方度になる。スプリーム・カムのカバーする視野の広さは 34 分角×27 分角。ざっと 0.5 度×0.5 度である。9 回の観測でコスモス・フィールドをカバーすることができる。しかし、ゆとりをもってカバーしようとするすると 12 回の観測でカバーする方が良い。つまり、34 分角を持つ方向は 3 回、27 分角の方向は 4 回かけて観測する(図 5)。

これは結構大変な観測になると思った。通常のスプリーム・カムの観測では、その視野の広さもあり、1 カ所だけに望遠鏡を向けて撮像するだけである。複雑なことは何もない。しかし、12 回のショットをつなげて大きな視野のイメージデータを取るのには、やはり大変なことである。しかも、ある程度観測時間をかけてデータを取らなければ、遠方の暗い銀河は写らない。いったいどれだけの観測時間が必要になるのか？ これはコスモス計画の目的にかなう観測目標によって決まるこ

*6 観測セメスターの名称。2004 年の B 期のセメスターなので、略して S03B 期と呼ばれる。

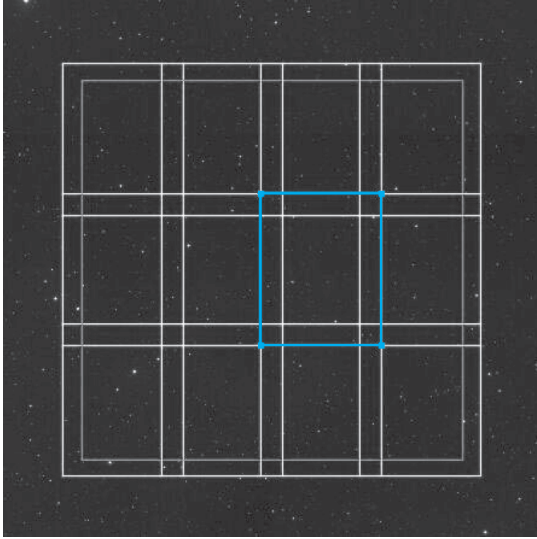


図 5 外側から二つ目の枠で囲まれた部分が、コスモフィールドと同じ2平方度の大きさである。青色の実線は、シュプライム・カムが一度に観測できる範囲(34分×27分)である。2平方度をゆとりを持ってカバーするには横方向に4回、縦方向に3回カメラを動かして観測するのがよいことがわかる。(提供: 安食 優 [東北大学大学院理学研究科])

とである。デーブの連絡を待つしかない。

電話のあった日から数日後、まずニックからメールがきた。コスモ・フィールドの観測にすばる望遠鏡を是非使いたい。チームの意思が決まったのである。そしてデーブからもメールがきた。すばる望遠鏡の観測計画に参加するメンバーが決まったのである。

ニック (Nick Scoville)

デーブ (Dave Sanders)

バーラム (Bahram Mobasher)

ハーベ (Herve Aussel)

デーブとハーベとは数年前にヨーロッパ宇宙機関 (ESA=European Space Agency) の打ち上げた赤外線宇宙天文台 (ISO=Infrared Space Observa-

tory) の赤外線ディープサーベイ (深宇宙探査) の時からの知り合いである。ニックとは直接一緒に仕事をしたことはなかったが、いろいろな天文台であったり、研究会で一緒になったりと、顔見知りである。バーラムだけは名前を知っているだけで、面識はなかった。

とにかく、私を含めてどういう観測戦略ですばる望遠鏡を利用するかを決めよう、ということになった。観測提案申込みまではもう1週間しか残されていない。使うフィルターをどうするか? 観測時間をどう配分するか? それほど決めべきことが多いわけではなかったが、できるだけ早く決断して、提案書を書き上げなければいけない。その日から忙しい日々が始まることになった。

4. 2003年4月 その参

まず、フィルターの選択である。HSTのACSによる撮像では I_{814} フィルターのみが使われる*7。可視光帯は 400 nm (ナノメートル) から 1,000 nm の波長帯をカバーするので、 I_{814} フィルターはかなり赤い波長帯である。HSTの観測がこのフィルターのみで行われるのには2種類の理由がある。第一の理由は先にも述べたように、コスモフィールドを観測するのに625ショットも必要であり(図2参照)、とてもたくさんのフィルターを使った観測はできないからである。HSTの観測時間は他の望遠鏡でも事情は同じだが、大変に貴重である。コスモ計画が大事な計画だからといって、HSTの観測時間を占有するわけにはいかない。したがって、どれか一つのフィルターを選ぶ必要があるということである。第二の理由は、ACSカメラでなるべく多くの銀河の撮像データを取得することである。コスモ計画では I_{814} フィルターでの限界等級を27.2等に設定した*8。

*7 フィルターの透過波長帯の重心波長が 814 nm で帯域幅が約 100 nm の広帯域フィルター。可視光帯の波長はオングストローム (Å) で表されることが多いが、最近では nm も多く使われる: ちなみに 1 nm = 10 Å である。

*8 本稿では AB 等級システムを採用する。ここでの限界等級は 10σ レベルである。

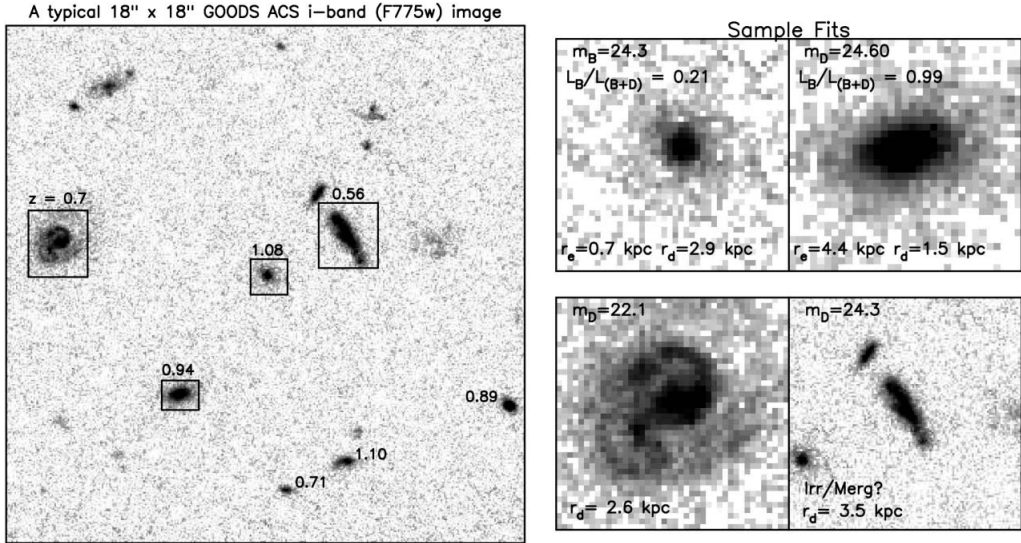


図 6 GOODS-S 天域で撮像された遠方の銀河 (コスモスで採用された I_{814} フィルターではなく、775 nm に重心のある I フィルターを用いて撮影されている)。銀河の形態が十分な精度で議論できるデータになっている。(提供: Bahram Mobasher 博士 [STScI])

2 平方度をこの限界等級まで観測すると約 200 万個の銀河が写ると期待されている。これらの銀河までの距離は、もちろん銀河ごとに異なっている。宇宙の大規模構造の進化の様子を探るためには、まさにいろいろな距離にある銀河を調べる必要がある。赤方偏移のために、遠方の銀河ほど観測される波長が長い (つまり、赤い) 方にずれ込んでくる。大規模構造形成で重要な時期、宇宙誕生後 20 億年くらいから 100 億年である*9。地球から観測すると、数十億光年から 100 億光年彼方の銀河を調べることが必要である。赤方偏移でいうと、 $z=0.2-2$ ぐらいが重要になる。もちろん、宇宙を調べ尽くすという意味では、もっと大きな赤方偏移の宇宙にある銀河もターゲットに入る。 $z=5-6$ の銀河もできれば観測したい。これらの

遠方の銀河も見逃すことなく観測するには、できるだけ赤い波長帯で撮像することが必要になる。実はこの理由で I_{814} フィルターが選ばれたのである*10 (図 6 参照)。

では、すばるでの観測はどうするか? 当然、 I バンド以外のフィルターの使用が望ましい。できるだけいろいろな波長帯でデータを取得することが、銀河の性質の理解につながるからである。すばる望遠鏡のスプリーム・カムで使える広帯域フィルターは 8 種類用意されている (図 7)。ジョンソンシステムが B, V, R_C , および I_C , SDSS*11 システムが g', r', i' , および z' 。これらの中から何を選ぶか? それが問題だった。

できるだけ可視光全域をカバーする方が良いのはもちろんである。もう一つの判断はジョンソン

*9 本稿では WMAP による最近の宇宙パラメーターに基づき、宇宙年齢を 137 億年とする: $\Omega_m=0.3$, $\Omega_\lambda=0.7$, および $h_0=0.7$ 。

*10 さらに波長の長い Z_{850} フィルターと呼ばれるものも ACS 用にあるのだが、 I_{814} フィルターの方が今までの実績がたくさんあるので、結局 I_{814} フィルターが採用された。

*11 SDSS=Sloan Digital Sky Survey スローン・デジタル・スカイ・サーベイ。スローン財団の援助を受けて行われている、CCD カメラによる北天のスカイ・サーベイ。

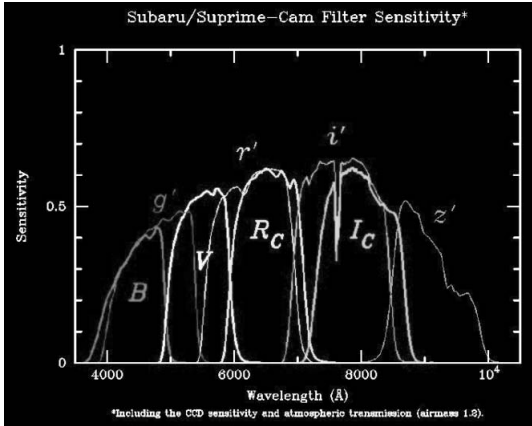


図7 すばる望遠鏡のスプリーム・カムで使える広帯域フィルター。ジョンソンシステムが B , V , R_C , および I_C , SDSS システムが g' , r' , i' , および z_0 。(提供: 村山 卓 [東北大学大学院理学研究科])

システムか、SDSS システムか、ということである。コスモス・フィールドは SDSS が探査した天域の中に含まれている。そのため SDSS フィルターシステムを採用しておく、あとでいろいろな比較がしやすいというメリットがある。コスモス計画の方が4等級以上深いサーベイであるが、両方のサーベイで共通に撮像されている銀河や星があれば、比較できるからである。このメリットを活かすために、SDSS システムを選択することにした。 i' に近い波長帯は I_{814} で HST で撮影するので、残りの g' , r' , および z' を選ぶことにした。

あとは、どの程度深く撮像する必要があるかである。HST の ACS による I_{814} は 27.2 等の天体まで検出する。そうなる、これにある程度深さを合わせておいた方がよい。そこで g' と r' では目標を 27 等とし、 z' では 25.5 等とした。 z' で浅めなのは致し方ないことである。地上の天文台で観測する場合、地球大気の放射光がノイズになる。特に波長が長い方に影響があり、 z' では時間をかけても、あまり深い観測ができないのである。

フィルターが決まり、目標とする限界等級も決

めた。あとはコスモスの2平方度の天域を観測するのにどれだけの時間が必要なのか。それを検討すればよい。早速検討してみると80時間という答えが出た。一晩当たりに観測に使える時間はだいたい8時間である。つまり、80時間は10晩の観測を意味する。これは大変である。

「インテンシブか……」

私はそうつぶやいた。

すばる望遠鏡の共同利用観測は、一つのプログラム当たり、最大5晩までとなっている。しかし、特別枠があり、最大10晩までの観測が許されている。それがインテンシブ・プログラムと呼ばれている。こちらは通常の共同利用観測より多くの観測時間を使うので、そのぶん審査が厳しい。また、観測計画の説明も通常の計画が2頁であるのに対し、インテンシブでは5頁になっている。さらに審査ではヒアリングがあることになっている。要するに、面倒で、採択されにくく、大変づらい。それがインテンシブ枠なのである。いやはや、……

しかし、乗りかかった船である。ニックとデューブに早速事情を説明するメールを打った。直ぐに返事がきた。

「ヨシ、インテンシブで行こう！」

5. 2003年4月 その四

結局、インテンシブ枠での挑戦ということになった。問題は締切りまで、あまり時間がないということだった。早速、いろいろな資料が送られてきた。HSTへ提出した提案書、ニックがセミナーで話をしたときに使った資料、などなどである。

その中でも HST への提案書はやはり特筆に値するものであった。気合十分。これでもかと思える文章術。そしてわかりやすい表や図。見習うべきことがたくさんあった。もちろん私たちも観測提案書を書くときには、それらのことに気を使っている。しかし、やはり経験の差なのだろう

か。レベルが違う、というのが第一印象ではあった。

ただ、そう感傷に浸っているほど暇はない。とにかく、提案書を仕上げなければならない。ざっと3日間。これが残された時間である。インテンシブ枠の提案書は、一般の提案書と違い、研究計画の説明部分に5頁を割くことができる。HSTへの提案書を参考にして、とにかく大急ぎで仕上げた。ニックや皆の意見を聞いて、さらに修正をかける。皆の懸命の努力もあり、無事最終版が仕上がった。締め切りの日のことである。

電子メールで投稿を済ませる。ほっと一安心の瞬間である。あとは、文書版をその日の消印有効で郵送すればよい。やれやれである。しかし、とんでもない落とし穴が待っていた。いろいろと手伝ってくれていた長尾透君^{*12}が、とある一文を発見したのである。

「先生、大変です」

「なあに？」

「インテンシブは日本語訳も必要だって書いてあります！」

「ゲッ！何それ？」

「ほら、ここです」

なるほどWEBの説明を読むと、確かにそう書いてある。私たちは提案書をももちろん英語で書いていた。ニックらと一緒にの仕事である。日本語の提案書を書く意味は特にない。しかし、である。規則は規則。

消印有効にするためにはあと3時間。私と長尾君は提案書の説明部分を半分に分け、それぞれマッハのスピードで日本語にしていた。なんだか意味のあるようなないような作業ではある。しかし、私たちのスピードは確かにマッハだった。あっという間に片付けて、コピーを作り、郵便局へと長尾君がゲンチャリで向かった。この時も

マッハだったかどうかは定かではない。しかし、何とか間に合った。長尾君のおかげである。

しかし、冷静になって考えてみると、なんだかおかしい。どうして日本語訳などがあるのだろうか？

一般枠の提案書は英語が正本であり、日本語訳はあってもなくても良いのである。なんでインテンシブだけが……

この疑問はいまでもって解明されていない。

とにかく、こんな感じで始まった。コスモスな日々。この先、いったいどうなるのだろうか？

(続く)

COSMOS Days

Yoshiaki TANIGUCHI

Astronomical Institute, Graduate School of Science, Tohoku University, Aramaki, Aoba, Sendai 980-8578, Japan

Abstract: We introduce the COSMOS (=Cosmic Evolution Survey) project which is the biggest single, treasury program of the Hubble Space Telescope. The Advanced Camera for Surveys (ACS) is used to map a 2 square degree field with the I_{814} filter. Other optical and multi-wavelength data are taken with so-called great observatories on the ground and in space. The purpose of the COSMOS project is to investigate the cosmic evolution of galaxies, active galactic nuclei, and dark matter as functions of both redshift and galaxy environ. One important thing is that the Suprime-Cam on the Subaru Telescope is used to map the COSMOS field at optical wavelength from B to z' . We report that the Subaru Telescope is contributing to the great progress in the COSMOS project.

*12 当時、日本学術振興会特別研究員 DC3 で、現在は同研究員 PD で、イタリアの Arcetri Observatory に研究員として滞在中。