

コスモスな日々（第3話）

谷口 義明

〈東北大学大学院理学研究科 〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉〉

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

13. 2004年1月 その壹

2004年、年が明けた。コスモス・イヤーの幕開けである。HST・ACSの観測は昨年10月に始まった。しかし、それは中心の81平方分角（9分角×9分角）領域を狙ったパイロット的な観測である。本格的な観測は2004年2月から始まる。

それに先駆け、コスモス・プロジェクトのスプリーム・カムの観測が1月から始まる。そして、VLT（ヨーロッパ南天天文台 Very Large Telescope）のVIMOS（可視光多天体分光器）による分光サーベイは4月から始まる。2年間で約600時間を投入する。今年はHST、すばる、VLTの揃い踏みになる。ドリーム・プロジェクトとしか言いようがない。

その分、何だか落ち着かないまま新年を迎えた。当然である。とんでもない観測を控えているのである。失敗？ それは許されないだろう。成功。この2文字しかない。つらい2004年が始まったと思った。

じつは、スプリーム・カムの観測は私が考えていた以上に大切なコンポーネントになっていた。なぜなら、HST・ACSの2004年の観測（サイクル12）では、コスモスの2平方度全域を撮像できないのである。ACSの視野は3.3分角×3.3分角しかない。今年度与えられた観測時間では中心の

1平方度のマップしか得られない。今の時点でコスモス・チームが持っているコスモス天域の情報はパロマー天文台のデジタル・スカイ・サーベイのデータにつきる。このデータは撮像の深さが全く足りない。20等級どまりだからである。もし27等までの深さで見たら、コスモス・フィールドは可視光でどのように見えるのだろうか？ それは、まだ誰も知らないのである。

スプリーム・カムの観測が成功すれば、初めてコスモス・フィールドの状況が見えてくる。全くとんでもないことになったものである。スプリーム・カムの観測の成否が、ある意味ではコスモス・プロジェクトの行方を決めてしまう。

もう一度言いたい。全くとんでもないことになった。すばるの観測の成否。タニグチはすべての責任を負う決意をした。

14. 2004年1月 その貳

スプリーム・カムを使うディープサーベイに関しては私たちもかなり経験のあるほうである^{*1}。また、幸いにもすばるディープフィールド(SDF)^{*2}の観測にも参加させていただき、多くのことを学ばせていただいた。

しかしCOSMOSプロジェクトでやるスプリーム・カムの観測は一味違うように感じた。2平方度の広域ディープサーベイはスプリーム・カムの

^{*1} Aijki et al., 2002, ApJ 576, L25; 2003, AJ 126, 2091; 2004, PASJ 56, 597; Taniguchi et al., 2003a, ApJ 585, L97; 2005, PASJ 57, 165; Kodaira et al., 2003, PASJ 55, L17; レビューとしては Taniguchi et al., 2003b, JKAS 36, 123, Erratum, 283; 日本語の解説としては谷口義明, 他, 2003, 天文月報 96, 34; 谷口義明 2004, 天文月報 97, 621, 谷口義明 2004, パリティ 19, No. 11, 52

^{*2} SDFプロジェクトのアウトラインについては Kashikawa N., et al., 2004, PASJ 56, 1011.

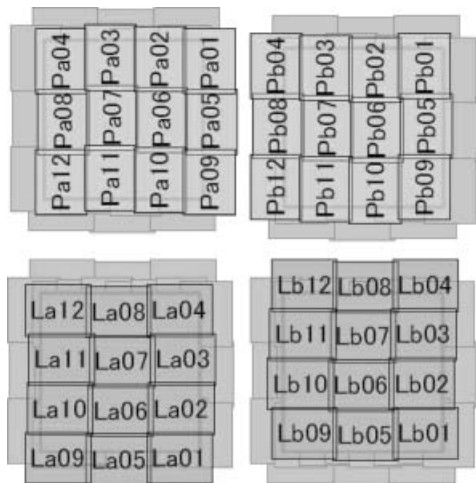


図1 スプリーム・カムの視野を半分ずつずらして撮像する方法. 私たちはこれをパターンAと呼んでいる.

記録である. さらに拍車をかけるのがHSTとのタイアップである. ベストなアストロメトリー(位置精度)とフォトメトリー(測光精度)が要求される. これらを保障しながら, どうやって2平方度のコスモス・フィールドを観測すればよいか? これはかなり悩んだ問題である.

フォトメトリーの方は天気次第のことなので, 考えて何とかなるものではない. しかし, アストロメトリーについては, あとで困らないようにデータを取得しておかなければならない.

ハーベは「ハーフ・アレイ・スペーシング」で, 最低でも1回は2平方度を観測した方が良かった. その方法を図1に示す(私たちはこの方法をパターンAと呼んでいる).

スプリーム・カムは10個のCCDチップを並べたものだが, CCDの間には少しだけギャップがある. 数秒角から15秒角のギャップである. この影響をなくすためにはスプリーム・カムを少しずつずらしてマッピングしていくが必要になる. ディザーリング(dithering)というテクニックだ.

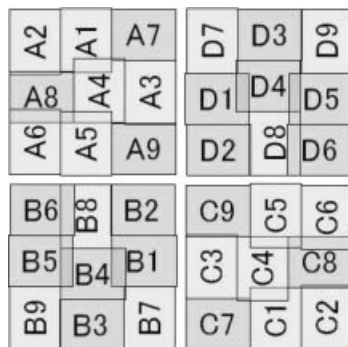


図2 2平方度を最も無駄なく撮像する方法. 私たちはこれを撮像パターンCと呼んでいる. 私のグループにいる安食 優君が考案したものである. 私は密かにこう呼んでいる. Ajiki Cosmos Special. 略してACS. お後がよろしいようで.

これを考慮して, 2平方度の天域をハーフ・アレイ・スペーシングで埋めるには12ショット×4回で, 合計48回の観測が必要になる. 仮に1回の積分時間を10分とする. データの読み込む時間が1分. つまり, $(10+1) \times 48 = 528$ 分=8.8時間かかる. 2平方度全体での有効積分時間は $10 \times 4 = 40$ 分. 8.8時間かけて, ようやく40分積分のデータが取れることを意味する. たいへんな観測である.

しかし, 全部このやり方でやるのももったいない話である. このモードでは1回だけ行い, あとは少しでも有効積分時間を稼ぐ方法はないだろうか? この要求に応じてくれたのが安食 優君(D1, 学振)である. 彼は注意深くCCDのギャップを埋めながら, 9ショット×4回=36ショットでコスモス・フィールドをマップする方法を考案した(図2: 私たちはこれをパターンCと呼んでいる). 図1と比べてお分かりになるように, こちらはかなりシンプルになっている. しかし, それでもカメラのポジション・アングルを90度変えながら撮る, アクロバティックなものである^{*3}.

^{*3} じつはそれほどアクロバティックではない. ポジション・アングルは $PA=0^\circ$ と 90° の二つしか使わない. 最初の9ショットのうち, $PA=0^\circ$ のものをまとめて撮り, そのあと $PA=90^\circ$ にして残りを撮る. 次の9ショットでは $PA=90^\circ$ のものを撮り, そのあと $PA=0^\circ$ を撮る. このようにしていけば, じつはPAを何回も替える必要はない.

凄い方法もあるものだ。

とにかくパターン A とパターン C の両方を使わざるをえないだろう。どうバランスよくデータを撮るか。これは現場での判断に委ねられることになった。

15. 2004 年 1 月 その参

観測は 1 月 17 日から 22 日。まずは 6 晩である。コスモス・プロジェクトにとって、最初のスプリーム・カムの観測である。観測チームの編成には万全を期す必要がある。

私のところからは村山 卓君(助手), 長尾 透君(PD, 学振), 安食 優君, そして私が参加。ハワイ大学からはデーブ(サンダース博士)とハーベ(オーセル博士), そして STSci からバーラム(モバッシュャー博士)が参加することになった。

コスモス・プロジェクトのスプリーム・カムの観測には小宮山 裕氏と宮崎 聡氏がメンバーとして参加してくれる。彼らはまさにスプリーム・カムのプロである。両氏の参加を得て、万全の体制が整う。まずは一安心であった。素晴らしい仲間が集まる。これに勝るものはない。

私と安食君は 1 月 15 日にヒロに着いた。幸い天気は良さそうだ(図 3)。1 日ゆとりを持ってヒロに着いたのは、いろいろと事前準備があったからである。

じつは、データ解析にはハワイ観測所の計算機を使うことにしていた。データ取得後、すぐに解析を始め、1 月末日までには解析を終えることにしていた。シュピッツァー宇宙望遠鏡(Spitzer Space Telescope)とチャンドラ X 線天文台(Chandra X-ray Observatory)にコスモス・フィールドの観測提案を行うことになっていた。締め切りはそれぞれ 2 月と 3 月である。その提案書にすばるのデータを使いたい。そういう要請があったからである。

この要請に間に合わせるにはオン・サイトでデータ解析を始め、終わるまでそこで続けるのが



図 3 ホノルルからヒロに向かう飛行機の中からマウナケアを望む。

望ましい。そこで、コスモスのデータ解析にはハワイ観測所の 6 台のワークステーションを使わせていただくことにした。あつかましいお願いだとは思った。しかし、小笠原隆亮氏らの手配で既に万全の準備がなされていた。ありがたい。

16. 2004 年 1 月 その四

そして初日を迎えた。2004 年 1 月 17 日。コスモス・プロジェクト。すばる望遠鏡の船出だ。

この日、コスモス・チームは 2 班に分かれた。サミット組とヒロ組である。サミット組については説明する必要はないだろう。まさにすばる望遠鏡のあるサミットに向かう。ヒロ組はハワイ観測所に残る。リモート観測モードで対応する。

サミット組は村山, 安食の両君。ヒロ組はコスモス外人部隊であるハーベ, バーラム, デーブ, 私と長尾君。そして小宮山 裕, 宮崎 聡両氏が支援にあたってくれた。彼らはもちろんスプリーム・カム観測の共同研究者である。もう一人の頼



図 4 参集したコスモス・オフィシャル・メンバー。右から Herve Aussel (ハワイ大学, 現在は ESA パリ・サクレイ研究所), Bahram Mobasher (宇宙望遠鏡科学研究所), 筆者, Dave Sanders (ハワイ大学)。このときはリモート観測室は 1 階の計算機室の片隅にあった。

えられることも多々ある)。こんな連中がやるのである。大戦が勃発しても驚くに値しない(図 4)。

もちろん静かに淡々と進む観測を期待していた。それなりの準備もしてきたはずであった。しかし、忘れていたことがあった。欧米の人は現場に立つと、いきなり「まじ」になってしまうのである。

私は現場でおろおろするのは好きではない。誰しもそうだろう。だから、「すばるの観測はこんな感じでやりますよ」という話を、観測の 1 カ月前くらいからメールで流していた。それには特にレスポンスがなかったので、OK なのだろうと思っていたのである。

しかし、これが甘かった。彼らは完璧な現場主義、あるいは直前主義の権化だったことが判明したのである。時、すでに遅し。

意見交換? その程度ならまだいい。妥協のない世界。とにかく、戦場に突入していった。

18. 2004 年 1 月 その六

コスモス・フィールドは 1 月中旬では高度が 30° を超えてくるのは午後 10 時頃である。それまでは、プリシヤス・タイム(?)ということ、その時間を無駄にしないための観測計画を出すことができる。所長の判断を仰ぎ、OK が出れば観測をすることができる。私たちは SDSS で発見された $z > 5$ のクエーサーを含む天域のディープサーベイをすることにした。

しかし時間はあっという間に過ぎる。午後 9 時をまわりだした頃から慌しくなってきた。この日は z' バンドのデータを取ることにした。 z' バンドの観測は結構難しい。そもそも夜光輝線が強い波長帯なのでバックグラウンドが高い。したがって、1 回の積分時間は長くできない。また夜光の強度は時間変化するので、慎重に 1 回あたりの積分時間を決めていく必要がある。

とりあえず、フォーカスチェックの時のデータを元に、安全のため 2 分積分で始めた。しかし、この直前に問題が起きた。

前にも書いたように、2 平方度をどのようなディザリング・パターンでマップしていくかはいへん重要である。事前打ち合わせでは、とりあえずハーフ・アレイ・スペーシングでマップする手はずになっていた。ハーベの提案である。しかし、直前病が出た。

「ヨシ、やっぱりパターン A は観測時間の無駄になるような気がしてきた。パターン C でいかないか?」

「えっ!? 今から変更?」

じつは、パターン Aの方が人気が高かったので、パターン C のシーケンスファイルはその段階では完成していなかったのである。そのことをハーベに言うと、

「すぐ作ろう! そしてパターン C でいこう!」と言ったものの、観測開始時間は容赦なくやってくる。とにかくパターン A で始めるしかない。間

に合わない。そしてパターン A の観測が始まった。

ハーベもがっかり。しかし、この直前の変更宣言には疲れた。なぜなら、実際のオペレーションはサミットでやっている。彼らとのコミュニケーションが上手くいかなければ、何も始まらない。

ヒロのリモート観測室で行われている喧騒に満ちたやり取りは、すぐには伝わらない。しかも、直前の予定変更では対応ができない。観測開始早々から、みんなカリカリになってしまった。

「いやはや、どうなることやら……」
私は、内心そう思った。しかし、やるしかない。それが観測なのである。

じつは、このあと、どのバンドでもパターン A で 1 回はマップすることが決まったのだが、まあこのときは仕方のないことであつたと思うしかない。とにかく初日の観測はみんなの協力(我慢?)で、どうにか無事に終わることができた。

「観測は現場で行われているんだ！」
サミット隊にそう言われても仕方のない状況ではあつた。皆に深く感謝した。

20. 2004 年 1 月 その八

翌、18 日。この日は r' バンドでいくことにした。今度は積分時間のことでまたひと悶着があつた。 r' バンドになると夜光の影響はぐっと減るので、バックグラウンドが低い分だけ、1 回の積分時間を長くできる。リードアウトのロスタイムを減らすには、ショット数を減らすに限る。だから、1 回の積分時間をできるだけ長めに取つた方が、実質の積分時間を増やせることになる。

ということで、私たちはなるべく長めの積分時間を想定していた。ディープサーベイの鉄則である。しかし、その鉄則もコスモスの観測には通用しない。

ディープサーベイの目的は、できるだけ遠くにある未知の天体を探ることが主目的になる。ターゲットは当然暗い。だから、がらがら積分時間を

かけるのである。この場合、明るい天体は最初から無視する。明るいといっても 20 等級よりは暗いのだが、それらの天体はすばる望遠鏡のスーパーカムにとっては明るすぎる天体になってしまう。積分時間を長めにすると、サチってしまう。それらの天体の測光はできなくなる。ディープサーベイの場合は問題ない。そもそも、そのような明るい天体をターゲットにしていないからである。しかし、コスモスの主目的である宇宙の大規模構造の形成と進化を探るためには、比較的近傍にある銀河も重要なターゲットになる。近傍といっても赤方偏移でいうと $z \sim 0.2-0.5$ くらいだが、それらの天体の測光データもきちんと取得する必要がある。そのため積分時間の短い観測もしなければならない。

どういう積分時間の組み合わせにするか？それが議論の種になったのである。 r' バンドなら 10 分、15 分は当たり前。しかし、それだと 1 晩で 2 平方度を観測することができない。今晚、 r' バンドの観測に使える時間は約 7.5 時間。この時間内に、何とか収めたい。安定したデータにするには、一晩で完結するようにしておく方が無難だからである。

ハーベは言う。

「1 分積分とか、2 分積分のデータが欲しい」

「えっ!?! 1 分積分だと、リードアウトも 1 分だから、効率の悪い観測になる。本当にそんな短い積分時間のデータが必要なの？」

と切り返す。しかし、上で説明したコスモスの事情がある。

それまでディープ・サーベイ三昧だった私には歯がゆい観測だが、呑むしかない。とにかく短時間積分の観測をパターン A でやることにした。パターン C では長めに積分時間を設定し、有効積分時間を稼ぐ。結局短時間の方は積分時間を 1.5 分とし(少し譲歩があつた)、長い方を 8 分とした。ようやく丸く収まつた。

「ハーベ、バーラム」

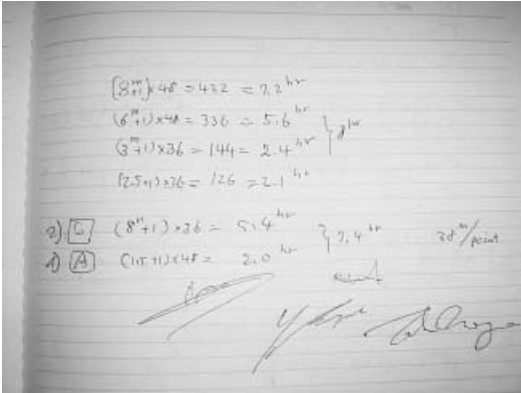


図 5 もめる観測。積分時間を決めた後、手打ち式を行い、各自サインした。左上がバーラム・モバッシャー、右上がハーベ・オーセル、左下が私、右下が長尾 透のサイン。

「何？」

「本当にこれでいい？」

「ああ、いいよ」

「約束だぜ」

「合点！」

「じゃあ、ここに全員でサインだ」

「おう、望むところさ」

ということで、図 5 にあるサインができた。ハーベ、バーラム、長尾、そして私。幸せな、リモート観測室の 4 人であった。ちなみに、デーブはこのときホテルで寝ていた。彼も幸せな一人だった。

ところで、これも後でわかったことだが、アストロメトリーの精度を上げるためにも、短時間積分のデータは重要である。USNO (アメリカ海軍天文台) 位置基準星カタログや 2MASS (2 ミクロン・オール・スカイ・サーベイ) のデータを使って、アストロメトリーをやる場合、比較的明るい星を使うことになる。したがって、それらの星のほとんどがサチっていたら、位置精度を上げることができない。コスモスの場合は VLA (アメリカ合衆国国立電波天文台の Very Large Array) による電波のマップがあるので、電波源の精確な位置が使える。その分、楽なのだが、いずれにしても、

短時間積分で撮ったデータはたいへん役に立つのである。

とにかく、2 日目の観測も無事終えた。この 2 日間の「喧騒」のおかげで、段取りが整った感がある。あとは、淡々と観測をこなせばよい。よかった。これで安心してサミット隊に合流できる。

21. 2004 年 1 月 その九

そして、19 日。この日の午後、私はハレポハクに向かった。バーラムたちといろいろな相談があると思って、最初の 2 晩は彼らと同じリモート・モードにしていたが、これはやはりたいへん良かった。議論を重ねることで、観測が軌道に乗ったからだ。

午後 5 時 30 分。ハワイ時間。私を乗せたすばるの四駆は静かにハレポハクを離れる。ドライバーはスプリーム・カムのサポートをしている古澤さんだ。

「古澤さん、何回この道を登りました？」

「うーん、何回でしょうか。数え切れないほどです」

ギアを 4 駆のロー・モードにしながら答える。

マウナケア。それはハワイアンの方々にとって、聖なる地である。そして私たち天文学者にとっても然りである。その聖なる地へ今夜は向かう。

道すがら、今夜の観測の手順を反芻する。ときおり下を眺めると、そこにはヒロに「おやすみ」を言うかのように雲界が漂う。優しいたたずまいの雲海が望ましい。そんな時は天気がいい。幸い、優しい佇まいだ。その雲界に感謝しているうちにすばるに着く。古澤さんに感謝する。

ドアを開ける。清冽だ。サミットに着くたびに思う。天気の問題ではない。いつでもサミットは清冽である。この感触を楽しむためにサミット派がいるとすれば、私は一も二もなく納得する。行けばわかる。その清冽の意味が。

22. マウナケア 番外編

マウナケア。そこは決して侮ることのできない、自然の支配する世界である。20年も通っているといろいろなことがある。

観測最終日に大雪に見舞われたことがある。データを持って帰らなければならない。しかし、その当時 LAN はない。データは 2,400 フィートの磁気テープにセーブされていた。その磁気テープはサミットにある。

ハレポハクで雪の具合を見る。夕方近くになって、サミットまでの道が確保できた。除雪が済んだのである。望遠鏡のオペレータが言う。

「磁気テープを取りに行くのなら、今しかない。どうする？」

今チャンスを逃すわけにはいかない。

「行こう！」

しかし、サミットに向かったのはいいものの、天候はまた悪化してきた。

「あまり時間はない。磁気テープを回収したらすぐに降りるぞ」

「わかった」

しかし、問題があった。マウナケアのサミット全域で停電になっていたのである。私たちは 2,400 フィートの磁気テープを手で巻き取るはめになった。共同研究者を含めた 3 人で交代しながら巻き取ることにした。このときほど 4,200 m という高度を実感したことはない。すぐに息が上がる。巻き取る手に力が入らない。血が回っていないのである。正直まづいと思った。

それでも 30 分くらいで作業を終えた。

「終わったぞ」

「OK。じゃあ、すぐ下山だ」

ところがその 30 分が命取りになった。道路という道路がすべてアイスパーンに変身していたのである。

「だめだ、降りられない」
オペレータの悲痛な叫び。

「どうする」

「かなりまづいな。とにかくほかの天文台に連絡を取ってみる」

当時、私が使っていたのはハワイ大学の 2.2 m 望遠鏡である。サミット周辺には、そのほかに CFHT と UKIRT があった。そして、彼らも孤立していた。その後も情報交換を続ける。そして決断が下った。

「私たちは歩いてここを脱出する。CFHT と UKIRT の連中と一緒にだ。でも心配するな。行き先は JCMT だ。JCMT からなら車が出せることがわかった。方法はこれだけだ……」

そして一言。

「いくぞ」

雷が鳴っていた。道はアイスパーン。下りの急勾配。正直、生きた心地はしなかった。まさに丑三つ時。私たちは朝 7 時のヒロ空港発、ホノルル経由で日本に帰ることになっていた。あと 7 時間しかなかった。

しかし、大丈夫だろうと思った。「いくぞ」この自信に満ちた言葉。それを信じたからだった。

「そんなこともあったなあ」

サミットに着くたびに思い起こす。しかし、それでもマウナケアは大好きである。マウナケアは媚びない。私も媚びない。研ぎ澄まされた駆け引きだけが、素晴らしいサイエンスにつながる。このスリルにとりつかれたらもうお終いである。

「どちらへ？」

「マウナケアまで！」

23. 2004 年 1 月 その拾

ということで再びマウナケアである。19 日は B バンドのイメージを撮った。この日はベストシーイング 0.4 秒台の前半が出た。スプリーム・カムのピクセル分解能は 0.2 秒角である。

「これ以上良くなったら、アンダーサンプリングになっちゃいますね」



図 6 すばる望遠鏡の観測室にあるお天気の神様。常々、手を合わせることを望ましい。

古澤さんが言う。確かに今回は初日からシーイングがいい。HSTのACSにはかなわないが、スプリーム・カムのデータは驚異的なものになると思った。

20日は初日にもやった z' バンドを。そして、21日は i' バンドを撮った。ACSでI814を撮るので、測光的にはスプリーム・カムで i' バンドを撮る

必要はない。しかし両者を比較することは意味がある。特にウイーク・レンズ効果を用いたマス・マップを行う場合、スペースと地上のデータで、何がどの程度違うのかを確認することは大切である。このマス・マップはコスモス・プロジェクトにとってはキー・サイエンスの一つになっており、宮崎聡さん、Caltechのリチャード・エリス (Richard Ellis) とジャンポール・クナイブ (Jean-Paul Kneib) 両氏が担当することになっている。スプリーム・カムでもシーイング0.6秒角で i' バンドのイメージが撮れたので、結果が楽しみである。

17日から21日までの5晩は天気にも恵まれた(図6)。6晩目の22日は残念ながら雲に包まれて危険な状況になってきたので夜半前にはハレボハクに戻った。

まさに怒涛の5晩であった。PIのニックからも毎日励ましのメールがきた。

しかし、私たちに安息の日々はまだこない。膨大なデータ解析が待っているからだ。そして2月に、再びコスモスの観測がある。今度はスプリーム・カム4晩。その2月の観測でも信じられないドラマが展開されることになる。これだから観測はやめられない。

(つづく)