



# 干渉計サマースクール 2003 の報告

亀野 誠 二

〈国立天文台 VSOP 室 〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

e-mail: kamento@hotaka.mtk.nao.ac.jp

河野 孝太郎

〈東京大学大学院理学系研究科天文学教育研究センター 〒181-0015 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

e-mail: kkohno@ioa.s.u-tokyo.ac.jp

総研大レクチャー「干渉計サマースクール 2003」は電波干渉計や VLBI の観測原理の講義やデータ処理実習の教習コースで、2003 年 8 月に 5 日間にわたって国立天文台三鷹および野辺山で開催されました。その概要を紹介するとともに、参加できなかった方にも有用な情報をご案内します。

## 1. はじめに

電波干渉計は現代天文学には欠かせない観測手法ですが、その原理は難解だと言われております。NMA（野辺山ミリ波干渉計）や VSOP（スペース VLBI）、VERA（天文広域精測望遠鏡）などの干渉計が共同利用運用され、ALMA（アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計計画）が始まろうという現在、干渉計による成果を最大にするには、利用する研究者がどんどん参入できるようにさまざまな障壁を取り払うべきです。そこで、電波干渉計の基本原則を学びデータ解析の手法を実習する教習コースとして、国立天文台を中心に干渉計サマースクールを 2000 年以降毎年開催してきました\*1。今年度は総研大レクチャーとしての開催を応募したところ採択され、2003 年 8 月 25～29 日の 5 日間にわたって実施することができました。本稿では、干渉計サマースクール 2003\*2（以後 SS2003 と略記）の様子を報告いたします。

## 2. SS2003 の実施

SS2003 が世話人（河野孝太郎、近田義広、亀野誠二）を中心として準備を始めたのは、総研大レクチャー内定直後の 4 月からです。基本路線としてこれまでの講義・見学・実習の方式を継承し、講師の候補者を決めて依頼を出したところ、多くの方がそのまま引き受けてくれました。

天文月報やポスター、web ページなどで参加者を募集したのは、開催が正式決定した後の 6 月です。想定していた 30 名程度を上回る 45 名の参加申し込みがありました。学部学生 12 名、修士課程 22 名、博士課程 7 名、ポスドク 3 名、社会人 1 名という内訳です。募集要項に「大学院修士 1 年程度の基礎知識があることを前提にします」と明記していたので、講義レベルが学部学生には少し難しかったと思いますが、そのまま受講してもらいました。当日の欠席者は一人で、44 名が出席しています。

開講に先立って全 228 ページの教科書を作成しました。当初は予習できるように十分前もって印

\*1 それ以前に野辺山ミリ波干渉計のサマースクールが開催されていた時期もあります。

\*2 SS2003 のホームページ <http://vsop.mtk.nao.ac.jp/SS2003/>

刷しなかったのですが、編集に手間取ったり印刷業者の夏休みがあったりで、結局納品されたのが開講3日前とギリギリでした。この印刷の遅れについては受講者の皆様にお詫びします。ただ、オンライン版を8月9日に公開できましたので、きちんと予習してきた参加者もいました。

SS2003のコースは講義と実習から構成されています。講義は8月25~27日までの3日間、国立天文台三鷹にて実施しました。表1に講義の一覧を載せます\*3。講義の柱となるのは干渉計の原理であり、「どうして電波干渉計で電波マップが得られるのか」が理解できるように組み立てました。その原理をどのように実現しているのかについて、各装置の講義を肉付けします。さらに干渉計で観測することの動機付けをするために、現存の干渉計で得られた成果のハイライトや将来の干渉計で期待されるサイエンスを紹介しました。また、今年度の試みとして数学の講義を最初に付け加えました。干渉計の原理を理解するにはフーリエ変換などに通じている必要があるためです。

講義方法は各講師に任せたとこ、ほぼすべてがパソコンによるプレゼンテーションでした。一部のプレゼンテーションはweb上で閲覧できますのでご参照下さい。多くの受講者の姿勢は真剣そのもので、集中力が持続していたように思います。しかし、質疑応答の時間を設けた割には思ったほどには質問が出ず、控えめな印象でした。講師側から「○○ってわかりますか?」と問いかけても反応が少なかった\*4一方で、休憩時間中に個別に質問を受けることはありました。みんなの前で質問するのが恥ずかしいのかな?

27日の午後まで講義を行った後にバスで野辺山に移動です。残念なことに実習を希望する人数が受け入れ可能数を大幅に上回っていたため、一部の方には実習を辞退していただき、以後31名

表1 講義内容と講師\*3

題名	講師
干渉計原理の数学的基礎	亀野 誠二
干渉計観測の特長と弱点	川辺 良平
干渉計計画の紹介	
—NMA/RAINBOW—	河野孝太郎
—VSOP—	井上 允
—電波ヘリオグラフ—	柴崎 清登
—VERA—	小林 秀行†
—ALMA—	長谷川哲夫
フリンジとビジビリティ	亀野 誠二
ビジビリティと輝度分布の関係	奥村 幸子††
干渉計の像合成	森田耕一郎
アンテナ	齋藤 正雄
受信機	関本裕太郎
デジタル信号処理	川口 則幸
位相追尾と相関処理	近田 義広
振幅と位相の較正	亀野 誠二
位相補償	百瀬 宗武
ソフトウェアの動作内容と操作	輪島 清昭

† 教科書執筆は廣田朋也

†† 教科書執筆は笹尾哲夫

だけに絞りました。それでも野辺山宇宙電波観測所の共同利用宿舎の容量目一杯に詰め込んだ宿泊状況で、チューターの一部は所外のペンションに宿泊するという経験をしました。

28日午前は電波ヘリオグラフの講義の後に、電波ヘリオグラフ、NMA、45 m 電波望遠鏡の見学を行いました。干渉計の実物を見ることができ貴重な機会です。各装置について柴崎清登、奥村幸子、久野成夫の各氏に案内してもらいました。

28, 29日の両日にわたった実習はAコース「NMAによる分子ガス観測データの処理」(16名)とBコース「VSOPによる連続波観測データの処理」(15名)の二つに分かれ、Aコースでは星生成領域あるいは系外銀河の分子輝線観測データを、Bコースではキューサージェットの観測データをそれぞれ解析して、電波写真を得るところま

\*3 より詳しくは <http://vsop.mtk.nao.ac.jp/SS2003/program.html> を参照。

\*4 筆者はこの前週に韓国のサマースクールに招かれたが、わかるまで質問し続けるという積極的な姿勢の参加者が多かった。

Clean LL map. Array: BEFHKL MNOPRS  
3C380 at 4.812 GHz 1998 Jul 04

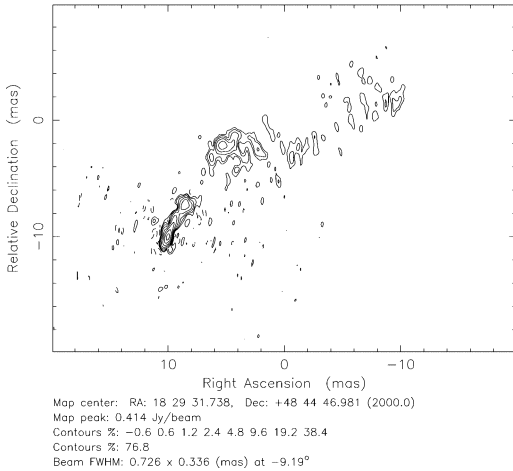


図 1 実習 B コースで受講者の一人が作成した電波写真。キューサー 3C 380 を VSOP で観測したもので、 $0.73 \times 0.34$  ミリ秒角という高分解能が達成されています。中心核から北西に伸びるジェットの形状がきちんと再現されていて、ビジビリティの較正や CLEAN の処理がうまくできています。

できました。A コースでは NMA 専用の解析ソフトウェアである UVPROC2 を用いてデータの較正を行い、AIPS という NRAO (米国国立電波天文台) が開発したソフトウェアでイメージ合成

を行います。B コースでは AIPS でデータの較正をしてから、Difmap というカリフォルニア工科大が開発した VLBI 用のソフトウェアでイメージ合成という手順です。どちらのコースも計算機は一人に 1 台ずつ割り当てました。A コースでは NMA の共同利用と同様に解析サーバー (Sun ワークステーション) を X 端末から使用した一方で、B コースでは人数分レンタルで用意した IBM ThinkPad に Linux と AIPS および Difmap をインストールしました。この作業は輪島さんの頑張りによるものです。チューターとして A コースには河野孝太郎、中西康一郎、齋藤弘雄、中西裕之、沖浦真保子の 5 人、B コースには輪島清昭、三好 真、望月奈々子、亀野誠二の 4 人が付いて解析手順を指導しました。図 1 は B コース受講者の一人が作成した電波写真です。

講義と装置見学の様子を写真 1, 2 に示します。その他の写真もホームページ\*2)に掲載しています。

### 3. アンケート

SS2003 の効果を調べて来年以降の改善に役立つため、参加者にアンケートを実施したとこ



写真 1 講義中の受講者の様子。国立天文台三鷹講義室にて。



写真 2 装置の見学中. 国立天文台野辺山宇宙電波観測所の 45 m 鏡にて.

ろ, 28 名分が回収できました. 詳しくは web ページ\*5をご覧くださいなのですが, 特記事項を紹介します. まず参加の動機についてですが, 干渉計を使って観測するため (8 件), あるいは干渉計そのものを知りたかった (10 件) という回答が多

く見られますが, その他にも実に多様です.

次に各講義のレベルと理解度それぞれを 5 段階評価してもらいました. レベルは 1 を「難しすぎる」5 を「やさしすぎる」として, 講義によって  $2.0 \pm 0.8$  という難しいものから  $3.3 \pm 0.6$  とややや

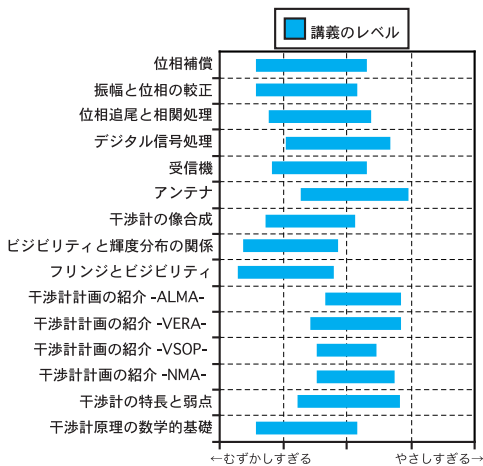


図 2 講義の難易度 (レベル) についてのアンケート結果集計. 各講義について 1 を「難しすぎる」, 5 を「やさしすぎる」とした 5 段階で評価してもらい, 評価の平均値  $\pm 1\sigma$  の範囲を棒で表しています.

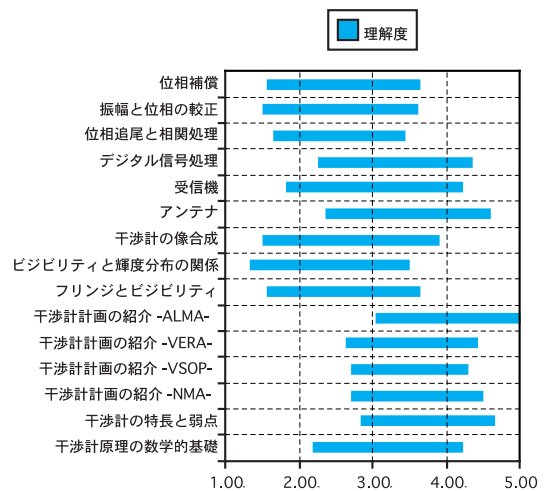


図 3 講義の理解度についてのアンケート結果集計. 1 を「よくわからない」, 5 を「理解できた」とした 5 段階評価で, 平均値  $\pm 1\sigma$  の範囲を棒で表しています.

\*5 アンケート集計 <http://vsop.mtk.nao.ac.jp/SS2003/questionnaire.html>

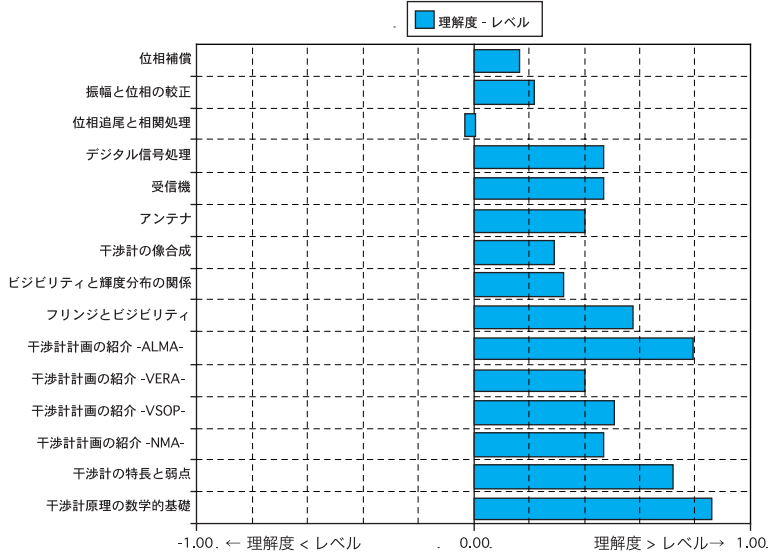


図 4 「理解度—レベル」の平均値。この数値が大きいくほど「難しかったけど理解できた」となる指標で、全体としてプラスに寄っています。

さしいものまであり、全体の平均が 2.7 とやや難しいということでした (図 2)。理解度については 1 を「よくわからない」5 を「理解できた」として、講義によって 2.4 ± 1.1 から 4.0 ± 1.0 まで分布しており、全体の平均は 3.13 とやや「理解できた」に寄っています (図 3)。全体としてみると、「難しかったけど理解できた」という方向に寄っています (図 4)。

講義の質についての項目では、「干渉計原理の数学的基礎」「デジタル信号処理」「フリンジとビジビリティ」「ALMA」などが「質が良かった」ものに挙げられています。

実習についての理解度は、「十分理解できた」「不十分ながら理解できた」の合計が A コースでは 91% に達した (図 5) のに対して、B コースでは 64% にとどまっております (図 6)、処理の内容の理解に改善の余地があります。日程や実習の計算機台数やデータの質については 96% の人がちょうどよいと答えています。参加目的に対する満足度はかなり散らばってしまいました (図 7)。

その他自由回答欄からいくつか抜粋して紹介します。web ページには全回答を掲載しています。

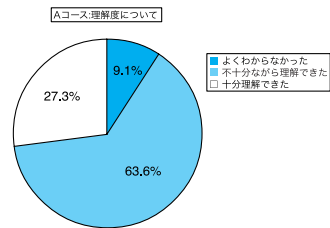


図 5 実習 A コースの理解度についての集計結果。

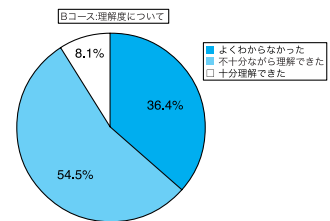


図 6 実習 B コースの理解度についての集計結果。

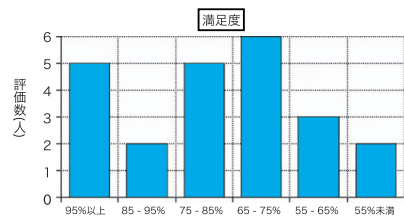


図 7 「満足度について…参加目的の何%が満たされたと思いますか」という設問に対する回答の度数分布。

- 懇親会とかあったらいろんな学校から来た他の学生さんたちともっと仲良くなれた。
- 覚悟はしていましたが、予想どおり難しかったです。
- 事前に宿題を出しておくなど、予習を義務づけたほうが、効果を上げられると思う。
- 実習と講義が（例えば午前と午後で）交互にあるとより理解できたと思う。
- この5日間はハードでしたが、ハードなくらいがちょうどよかったです。
- 来年は指導できるくらいになります！
- CLEAN が何をやっているのか、初めてわかりました。

#### 4. アフターサービス

SS2003 で使用した教科書はオンライン上で PDF ファイルにて公開しています\*6ので、ご自由にお使いください。また、製本したのもも多少残部があります。ご希望の方は下記の宛先に送付用封筒:

- 角 2 (33 cm×24 cm) 以上のサイズの封筒に、
- お手元に届くように発送先（郵便番号・住所・氏名）を記入し、
- 580 円切手を貼ったもの

を同封して、「干渉計サマースクール 2003 教科書希望」と朱書した封書をお送りください。教科書は無料ですが、送料をご負担いただきます。原則として一人に一部しかお渡ししません。残部がなくなり次第締切りますので、あらかじめ電子メールでお問い合わせ下さるほうが良いかと思いません。

請求先: 〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1

国立天文台 VSOP 室 亀野 誠二

また、講義で使用したプレゼンテーションの一部は web 上でご覧いただけます\*7ので、どうぞご利用ください。

#### 謝 辞

干渉計サマースクール 2003 では、総合研究大学院大学教育研究交流センターから校費を配分いただきました。開催にあたっては、講師およびチューターを担当して下さった皆様、諸手続きに尽力くださった国立天文台野辺山および三鷹の事務・秘書・計算機支援・食堂の皆様に多大なるご支援をいただきました。感謝申し上げます。

#### Interferometry Summer School 2003

Seiji KAMENO

National Astromomical Observatory of Japan

Kotaro KOHNO

Institute of Astronomy, University of Tokyo

Abstract: Interferometry summer school 2003 (SS2003) is one of Soukendai lecture courses for synthesis imaging in radio astronomy held on August 25 through 29. Total 44 attendees had learnt basic theory, scientific highlights, and principles of instruments in radio interferometry. Exercise of synthesis imaging using practical interferometric data was also set. This article is an introduction and a report of the SS2003.

\*6 教科書のダウンロードページ <http://vsop.mtk.nao.ac.jp/SS2003/text.html>

\*7 講義のプレゼンテーション <http://vsop.mtk.nao.ac.jp/SS2003/presentations.html>