

## ドップラーレーダーとウィンドプロファイラに関する 2つのワークショップに参加して\*

石原正仁\*\*

### 1. はじめに

ドップラーレーダーとプロファイラに関する2つのワークショップに出席した。1つは1999年12月に中国中部の安徽省合肥(ホーフエイ)市で開かれた「ドップラーレーダーに関する地区ワークショップ」、もう1つは2000年3月にフランスのトゥールーズ市で開かれた「MST9-COST76ワークショップ」である。前者はドップラーレーダーを、気象業務として運用しているアジア各国から担当者が集まり、技術的討論を行った研修会的な集会であった。一方後者は、対流圏から中間圏・電離圏までの風などを測定するMSTレーダー(プロファイラもその一種)を総合的に議論する本格的な国際研究集会であった。

ドップラーレーダーとプロファイラは降水の有無による観測の可不可や測定領域に違いはあるものの、ともに電波を利用して風を測定するいわば兄弟分の気象観測機器である。両者とも研究分野での利用は一般化しており、昨今は業務的な利用が進みつつある。筆者は空港気象ドップラーレーダーが設置されている関西航空地方気象台に1999年3月まで席をおいていたこと、その後現職でプロファイラ網の整備に参加していることから、上記2つのワークショップに参加する機会を得た。両ワークショップの概要やこの分野での各国の動向など、気がついたことを述べてみたい。

なお、MST9-COST76については、宙空電波科学研究所(RASC)の深尾昌一郎センター長をはじめ多くの方々に参加した京都大学から総合報告があることを期待するとして、ここではプロファイラの業務的

利用の面に重点をおいて報告したい。なお、本文中に使用した略字については、文末に一覧を示す。

### 2. ドップラーレーダーに関する地区ワークショップ

この「Regional Workshop for Doppler Radars」は、WMO/ESCAP(国連アジア太平洋経済社会委員会)の台風委員会(1995年12月)及び第2回熱帯低気圧パネル・台風委員会合同会議(1997年2月)の決定にもとづき、WMOの協力によりESCAPの台風委員会事務局(TCS)及び技術支援機関(TSU)が組織し、中国気象局が開催した会議である。1999年12月7日から4日間、中国の安徽省合肥市のホテルで開催された。WMOは世界を6の地区に分割しており、ここでいう「地区」とは第二地区(アジア)を指している。「各国の気象機関が業務用ドップラーレーダーを円滑に運用し、そのデータを有効に利用するため、基礎理論・データ処理・保守ならびにドップラーレーダーによるシビアウェザーや熱帯低気圧の検出と監視について討議し、さらに理解を助けるため事例解析の報告を受け。」が正式の開催目的である。WMOの熱帯低気圧計画課長である阿部勝宏氏が立案されたと聞いている。

このワークショップには日本、香港、韓国、ベトナム、マカオ、マレーシア、シンガポール、米国から各1名、タイ2名、中国12名(うち香港1名)の総勢22名が参加した。参加者のほとんどが業務用ドップラーレーダーの運用、あるいはそのデータを利用する実務者であった。

#### 2.1 会議の概要

会議冒頭の開会式では、安徽省気象局長による開会の挨拶、ESCAP台風委員会事務局長の挨拶文の紹介、各参加者の自己紹介が行われた。これに続き、6名による講演と参加者全体による討論が行われた。まず各

\* Reports on the Regional Workshop for Doppler Radar and the MST9-COST76 Workshop.

\*\* Masahito Ishihara, 気象庁観測部高層気象観測室  
ishihara\_masahito@met.kishou.go.jp

© 2000 日本気象学会

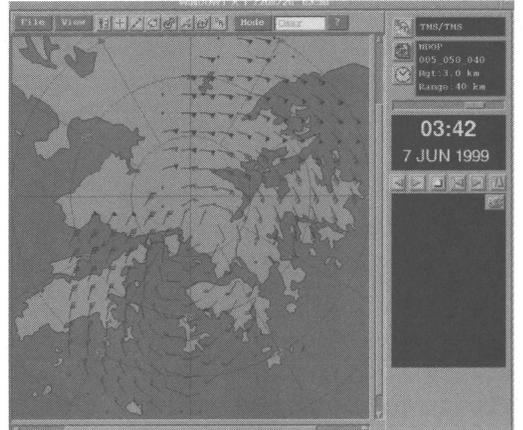
講演の概略を順番に紹介する。

(1) 米国気象局 WSR-88D 運用支援施設 (OSF) の主任レーダー技術官である Russell Cook は、「レーダーシステムの概要とドップラーレーダー機器」と題して、レーダーの基本原則、通常レーダーとドップラーレーダーの相違、レーダー方程式、NEXRAD ドップラーレーダー (型名 WSR-88D) の仕様、レーダーの設置、人体に与える電波の影響、データ処理、データ表示、保守とキャリブレーション、さらに運用について講演した。基本的事項の解説は教科書的ではあったが、NEXRAD を管理する主任技術者らしく、レーダーの保守や精度維持については実践的な説明であった。すでに約150台の NEXRAD から成る観測網を運営している米国では、オクラホマ州に同レーダーの運用支援施設 OSF を設置し、レーダーの維持管理者やデータの利用者である予報官の研修を行っている (古川, 1998)。レーダーの運用に関してナショナルセンターを置いている国は米国だけであり、ドップラーレーダーを含め新しい観測機器を円滑に運用し、データを最大限に利用する上での、ひとつの手本といえるだろう。

(2) タイ気象局副局長 Tawiesith Damrak は、「タイ国におけるドップラーレーダーの利用」と題して講演した。タイでは、1993年から8台のSバンドドップラーレーダーと6台のCバンドドップラーレーダーによる現業観測を実施しており、主に熱帯じょう乱、積乱雲、低層ウィンドシャーの監視や熱帯低気圧の経路予測に利用している。高橋ほか (1998) がアジアモンスーンの雨の研究に使用したレーダーも、このうちのいくつかである。各レーダーの観測データはバンコクに伝送され、全国エコー合成図が作成されている。観測データは数値予報にも利用されているとのことだが、詳細は報告されなかった。事例解析として、台風9728号による降水域の移動を示した。講演が終ると、ドップラー速度の利用に関して質問が集まったが、十分な回答はなかった。

(3) 香港気象台の予報官 Ginn Edwin は、「ドップラーレーダーの観測データ」と題して、ドップラーレーダーの基本原則、信号処理、測定の限界、データの種別、データの集配信、将来の課題についてパソコンを駆使して講演を行った。この講演の前日に、香港では一般気象業務用のドップラーレーダーが正式運用を開始したこともあり、豊富なカラー資料を用いた丁寧な解説であった。

香港の新空港では、すでに米国 TDWR (空港ドップ



第1図 香港気象台の2台のドップラーレーダーによるリアルタイムの風解析結果。1999年6月7日、台風9903号 Maggie の中心付近が香港島のすぐ北にある。高度3 km, レンジマークはひとつが10 km。

ラーレーダー気象レーダー) と同仕様のレーダーが運用されている。上記の新ドップラーレーダーが加わったことで、2台のレーダーによるデュアルモードの風解析がリアルタイムで可能となっており、これはおそらく世界初の試みである。第1図はその例である。1999年6月7日に台風9903号 (Maggie) の中心域が、香港の中心地を東から西へ通過する際の渦の動きが動画で示された。Ginn氏は数値予報・気象衛星・レーダーなど何でもこなすパワフルな予報官である。各種の国際会議・集会に出席しているとのことなので、目にされた方も多いと思う。

(4) 筆者は「ドップラーによるメソスケール解析・シビアウエザーの監視・降水量算出」というテーマで、メソスケール現象の分類から始めて、1台及び複数台のドップラーレーダーを使った観測・解析手法を解説し、前線・スコールライン・地形性大雨・台風などへの適用事例を紹介した。低層ウィンドシャーの検出については、検出原理と関西国際空港における検出実績や解析事例を紹介した。また、竜巻を発生させるメソサイクロンの検出原理と、わが国における観測事例を紹介した (気象庁観測技術課鈴木 修氏から資料を借用)。最後に、レーダーとアメダスのデータによる解析雨量の算出手法と降水短時間予測の現状について解説した (気象庁予報課牧原康隆氏から資料を借用)。

(5) 韓国気象庁水文気象研究所の女性研究者 Jung Young-Sun は「レーダーを利用した雨量算出」と題し

て講演した。雨量計のデータによってZ-R関係を校正し、レーダーによる雨量算出精度を向上させる Window probability matching method という手法を研究している。ドップラー速度のデータは使用していないが、一雨ごとに最適なZ-R関係を求め、レーダーによる雨量算出の精度向上を図る試みである。韓国気象庁では5台のCバンドドップラーレーダーが運用されており、この他に1台のXバンドドップラーレーダーが研究用に利用されている。この講演ではドップラーデータの積極的な利用については報告されなかったが、韓国では2000年5月にメソ対流システムに関する国際会議が開催されたばかりである(吉崎ほか, 2000)。今後同国ではこの方面の研究やドップラーレーダーの業務的な利用が進むものと思われる。

(6) 講演の最後に、中国気象局南京気象研究所教授 Tang Dazhang が「熱帯低気圧の移動監視及び風とウィンドシヤアの監視」と題して講演した。後述するが、中国では業務用ドップラーレーダーの全国展開計画(CINRAD)が動き始めており、1999年夏にその1号機がこのワークショップの開催地である合肥市郊外に設置された。ドップラーレーダーの観測実績はまだ少ないため、この講演では教科書や論文からの引用が多かったが、ドップラーレーダーによる観測の特性や、マイクロバースト・竜巻などの監視について解説した。CINRAD計画の研修も兼ねていると思われるが、中国各省から集まった気象局の若い職員が各講演を熱心に聴講し、質問をしていた。Tang教授は、中国におけるレーダー気象学の長老であり、これら若い職員の指導者である。

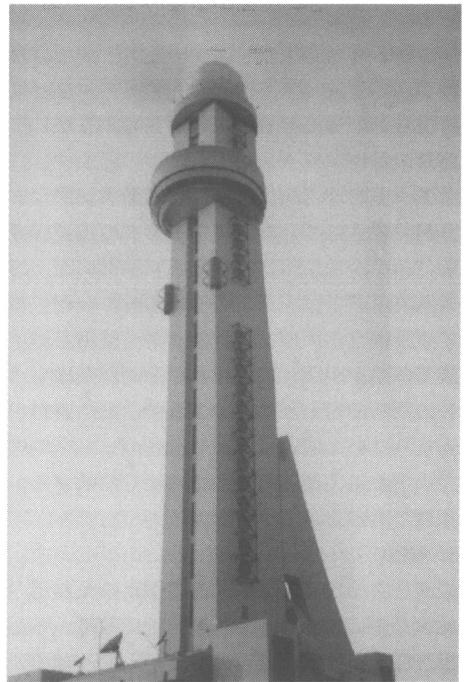
これらの講演の他に、マレーシアとシンガポールからの参加者の話では、両国の国際空港では、1998年7月に気象監視用のSバンドドップラーレーダーが運用を開始した。ベトナムでは2台のドップラーレーダーが運用されている。マカオでは2000年内にドップラーレーダーの運用が開始されるとのことであった。

## 2.2 CINRAD の見学

ワークショップ2日目の夕方、合肥市郊外で運用を開始したドップラーレーダーを見学に行った。中国政府は米国のNEXRAD製作会社との間に合弁会社を設立し、NEXRADとはほぼ同じ仕様のドップラーレーダーCINRAD(中国名は新一台多普勒天气雷达)を製作し、全国に93台(Sバンド65台、Cバンド38台)設置する計画を立てている(第2図)。CINRADのパフレットを読むと、米国NEXRADとはほぼ同じ思想



第2図 中国気象局が展開を開始したドップラーレーダー網CINRADの配置図。同気象局のパフレットから転載。1999年夏に安徽省合肥市に1号機が設置された。



第3図 中国安徽省合肥市郊外のCINRAD 1号機を載せた高さ114mのレーダー塔。

でドップラーレーダーが利用される。すなわち、竜巻を含むシビアウェザーのナウキャスト及び降水監視がその設置目的である。旧式になった気象レーダーを一気にドップラーレーダー化するところもNEXRADとよく似ている(ただし計画達成期限はわからない)。

合肥市を中心とする安徽省は、揚子江と淮河の2つの大河を有し、省の南西部が山岳地帯であることから、大雨とそれによる被害が多い。このためもあってか、1999年夏にCINRADの1号機が同市郊外に設置された。

第3図のように、このレーダーは高さ114mのコンクリート塔の上に設置されている。合肥市中心部の高層建築によるビームカットを避けることや、できるだけ遠方まで監視できるように高いレーダー塔を設置したものだ。筆者がこれまでに目にしたレーダー塔としては最も背が高く最も立派なものであり、大げさにいえば万里の長城を思わせる大陸的発想である。エレベータで屋上に上がり、レーダー機器とレドーム内の直径7.3mのアンテナを見学した。心臓部であるクライストロンを除きレーダーのほとんどの部位が中国で製造されたとのことであり、中国気象局のドップラーレーダーにかけける意気込みが感じられた。NEXRADとほぼ同様のメニューのデータが出力される。わが国の空港気象ドップラーレーダーなどに比べると、信号処理機能はやや古い感じもするが、全体に仕上がりの良いレーダーに見えた。

レーダー塔の地上階付近には、安徽省気象台の予報現業室が設置されていた。気象データの送受信のためのサーバーや、数値予報・衛星・レーダーなどのデータを表示するパソコンが多数並べられていた。予報会報室では予報官が大型プロジェクトを使用して、ここでの業務概要を説明してくれた。予報作業はすべてパソコンの画面で行われているようで、紙の資料が一枚も見当たらない徹底ぶりは、114mのレーダー塔とともに、中国の気象業務の近代化政策を象徴するかのよう光景であった。

### 2.3 感想

このワークショップはアジア各国から業務用ドップラーレーダーの関係者が集まり、その基礎から応用までを相互に講義し合い学習するという、一種の研修会のような集会であった。小規模な集会であったため家庭的な雰囲気の中で率直な意見交換ができ、アジア各国におけるドップラーレーダーの利用の動向を知ることができた。アジアにおいても、ドップラーレーダーを本格的に気象業務に利用することを考え始めた国が増えた。

気象業務においてドップラーレーダーを利用目的は、

- ① 低層ウィンドシヤアの監視など航空気象業務で

の利用、

- ② NEXRADの主目的のように、竜巻など特に強い風を伴うシビアウェザーのナウキャスト、
- ③ これもNEXRADの目的のひとつであるが、雨量計観測網を補完することによる降水監視の強化(もちろんこれはデジタル化された通常型レーダーで可能)、
- ④ さらに、ドップラーレーダーの風データを数値予報の初期値として使用し、プロファイラや民間航空機の気象観測データなども取り込んだデータ同化によって、特に豪雨・豪雪をもたらすメソ現象に対する監視と予測を強化する、

の4点が考えられる。

香港ではその狭い地域特性をうまく利用して、2台のドップラーレーダーを、①と②の目的に有効に使い始めており、完成したばかりの日本製ドップラーレーダーに大きな期待を寄せていた。中国のCINRAD計画は米国のNEXRAD計画を範として、目的①②③を目指す雄大なレーダー観測網である。中国では一方でGAME/HUBEXなど研究方面での活動も積極的であることを考え合わせると、中国政府がドップラーレーダーの有効性を強く意識していることをうかがわせる。この国におけるこの分野での研究・応用両面の充実が予想される。

一方、かなりの数のドップラーレーダーを配置しているにもかかわらず、目的③に限った使い方をしており、ドップラー機能を十分には活用していないのではと思われる国もある。昨今、メーカーが気象レーダーをドップラー化して出荷することは日常化していることから、取り立ててドップラー機能を意識する必要はないともいえる。しかし一面では、気象業務におけるドップラーレーダーの利用に課題が残されていることの反映とも思える。マレーシアやシンガポールではすでに空港でドップラーレーダーを使用しており目的①は達成したが、両国の参加者から次のステップにつながるような話を聞くことはなかった。

はじめにドップラーレーダーありきだけでは、その利用にはおのずと限界が生じる。米国における厚い研究層・技術層は別格としても、ヨーロッパのCOST75(第3節参照)の活動などに見られるように、ドップラーレーダーを業務面で有効に利用するには、基礎研究と並んで運用やデータ解析などの応用技術の積み上げが避けて通れない。こうしたことを達成できるかどうかは各国の気象政策や経済状況に依存するこ

とは確かだが、最近日本の援助によってドップラーレーダーが設置されたモンゴルのように、大学と気象局が一体となって研究と応用の両面に取り組んでいる国もある(駒林, 1999)。

気象庁では、研究用にドップラーレーダーを導入して20年が経過した。その間1995年には空港気象ドップラーレーダーの展開を開始し、目的①を達成しつつある。一方、20台の通常型レーダーで構成されている一般気象用のレーダー網は、アメダスと共同することで、世界で最も精緻に目的③を達成した降水監視システムであると思う。最近この観測網を④の目的でドップラー化することが検討されているようだ。④については、世界的にもまだ議論が始まった段階である。ドップラーレーダーの弱点(観測範囲が狭いことや測定できる速度に限界があることなど)を克服するためのハードウェアや信号処理の改良、データの最適解析法・利用手段の確立(視線速度か風ベクトルかなど)、観測対象に適したレーダーの配置や観測モードの選択などが、検討し解決すべき課題であると思われる。

このワークショップは当初タイのバンコクで開催される予定であった。しかしアジアを襲った経済危機のため開催が危ぶまれ、そこを中国気象局が肩代わりし今回の開催まで漕ぎつけたそうである。ドップラーレーダーに関する国際集会在アジアで開催されるのは、筆者の知る限り今回が最初である。ドップラーレーダーに関しては実績が長いわが国において、このワークショップが開催できなかったものかと残念に思う。

### 3. MST9-COST76ワークショップ

この「International Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar-MST9 combined with COST-76 Final Profiler Workshop」は、MST

レーダーグループ<sup>1</sup>と COST76<sup>2</sup>が共同で組織し、フランス気象局などの後援で開催された MST レーダーを総合的に議論する国際研究集会である。2000年3月13日から6日間フランスのトゥールーズ市郊外にあるフランス気象局(METEO-FRANCE)内の国際会議センターで開催された。

#### 3.1 会議参加者

参加者リストを見ると、26か国から162名が参加した。その内訳は、ヨーロッパからフランス(31名)、ドイツ(12)、イギリス(10)、スペイン(5)、スウェーデン(4)、フィンランド(4)、スイス、オランダ、ポルトガル、オーストリア(各2)、イタリア、ギリシア(各1)、ロシア(1)、ウクライナ(2)、南北アメリカから米国(32)、カナダ(1)、コスタリカ(1)、ペルー(3)、ブラジル(1)、アジア・太平洋から日本(17)、台湾(5)、韓国(3)、インド(14)、オーストラリア(4)、ニュージーランド(1)、アフリカからエリトリア(1)である。日本からは、京都大学(10)、大阪電気通信大学、名古屋大学、神戸大学、郵政省通信総合研究所、三菱電機から各1名、気象庁(2)の計17名が参加した。

#### 3.2 開催目的と議題

ワークショップの開催目的は、MST9では MST レーダーに関する基礎研究・応用研究・技術開発・実用化試験などに関する最新の成果を発表し議論することである。COST76に関しては、参加各国が作業の進捗や技術開発の現状などを発表し、今後の課題などを議論することである。

ワークショップは次の9つのセッションに分かれる。セッション1では電波散乱過程と屈折率(口頭発表11件、ポスター10件)が議論され、以下同2中間圏・下部熱圏・電離層(同20, 22)、同3波動と乱流(27、

注<sup>1</sup>: 「MSTレーダー」とは中間圏・成層圏・対流圏を対象とした鉛直探査レーダーであり、気象の分野で使用される場合「ウィンドプロファイラまたはプロファイラ」と呼ばれる。MSTレーダーグループは、米国・ヨーロッパ・日本・インド・オーストラリアなどのMSTレーダーの研究者が作っているグループであり、国際ワークショップを定期的に開催している。1988年にはその第4回が京都で、1997年には第8回がインドで開催された。RASCの深尾昌一郎センター長は、このグループの運営委員のひとりである。

注<sup>2</sup>: COSTは、ヨーロッパ25か国による科学技術研究協力計画の略称である。科学技術を18の分野に分け、各分野でテーマと期間を設定し、ヨーロッパ各国が共同で研究調査活動を行っている。気象関係ではCOST75(先進的気象レーダーシステム)、COST78(ナウキャスト技術の開発)などが活動した。プロファイラの分野では、1987~93年に活動したCOST74では「気象予報を改善するためのプロファイラの利用」が検討され、その後を受けて「ヨーロッパの業務観測に利用するためのVHF/UHFプロファイラ及びその他の鉛直探査観測機器の開発」を検討するため、COST76が発足した。今回はCOST76の活動の中での最終のワークショップである。前回のワークショップは1997年にスイスで開催され、当時気象庁高層気象観測室にいた迫田優一氏(現同観測技術課)が出席し、二次曲面近似によるプロファイラデータの品質管理(QC)手法を発表した。後述の気象庁のプロファイラ網ではQCの一環として、この手法を採用することになっている。

11), 同4境界層気象学(9, 9), 同5降水と雲(7, 6), 同6総観一大規模気象学(12, 5), 同7プロファイラとその関連技術(19, 14), 同8実運用部門(11, 9), 同9MST常設ワーキンググループ報告である。

### 3.3 ワークショップの概要

会議初日は各運営委員, フランス気象局などの関係者のあいさつの後, セッション2と4, 2と5が並行して口頭発表された。2日目以降は残りのセッションの口頭発表が順次行われた。各セッションのポスター発表は2, 3, 4日目の夕方に行われた。各セッションの冒頭や休憩の後に30分程度の招待公演があり, それに続いて各発表者が壇上に立った。ここでは筆者の仕事に関連する対流圏関係のセッションに限って, その概要を報告する。なお, 発表者の敬称は省略させていただく。

#### ○セッション1 中立大気中の電波散乱過程と屈折率の不規則性

プロファイラの測定原理に関するセッションである。招待講演では, NOAAのMushcinskiがプロファイラの測定をレビューした。また, RASCに所属するフランスのLuceからは, プロファイラ観測によってtemperature sheetsといわれる非常に薄い(数m)気温逆転層を気球によって測定する試みが報告され, これに関連する報告が数件続いた。またMSTレーダーを干渉計として使う測風手法がレビューされた。

#### ○セッション4 境界層気象学

NOAAのAngevinnoのプロファイラによる境界層観測についてのレビューに続き, プロファイラやRASSによる境界層内の風・乱流・気温フラックスの分布, 境界層の日変化, オーストラリアでの前線の解析, スイスやポルトガルの複雑地形での観測と数値モデルの比較, 水蒸気の鉛直分布の見積もりなどが発表された。プロファイラだけでなくRASS, レーザー, 航空機を組み合わせた観測が今後活発化すると思われる。気象研究所の足立は, RASSを使用した重力流の観測事例を発表した。

#### ○セッション5 降水と雲

コロラド大学Williamsによるレビューに始まり, プロファイラを使った雨滴分布, 降水量測定, TRMMとの比較, 熱帯の降水タイプの比較, 絹雲の観測など, これまで気象レーダーの古典的テーマであった降水測定をプロファイラの研究グループが活発に行っている様子が披露された。VHFレーダーは降水粒子の落下速度と鉛直流とを分離して測定するので, 気象レー

ダーより精度よく降水量を測定できる可能性があるとのことだ。気象庁が設置するプロファイラ網は高層風の観測を第一の任務とするが, 将来は降水の鉛直分布についての情報を提供できる可能性があると感じた。

日本からは, MUレーダー, 1GHz帯プロファイラ, 3GHz帯プロファイラを利用した研究に関して, ポスターを含め5件(大阪電通大柴垣・通総研大野・RASC橋口・神戸大村田)の発表があった。

#### ○セッション6 総観一大規模気象学

招待公演ではNCARのParsonsが, プロファイラやレーダーなどを使った低気圧・前線の概念モデルの構築を紹介した。台湾の雷雲観測, プエルトリコArecibo大型レーダーとNEXRADレーダーによるハリケーンの観測, 北極の対流圏界面, 大気下層の水蒸気量の見積もりなど多彩なテーマで発表が行われた。RASCの宮本が発表したMUレーダーとRASSによる水蒸気の鉛直分布の計算は, 今後発展が期待される分野だと思った。RASCの手柴はMUレーダーなどによる台風の観測について発表した。

#### ○セッション7 プロファイラとその関連技術

京都大学の佐藤亨が議長を勤めたこのセッションでは, NOAAのLatatisからRASSの歴史についての招待講演があり, 日本の研究者がこの分野で大きく貢献してきたことをあらためて知った。インドからはMSTレーダー, ライダー, UHFレーダーなどこの分野を網羅する研究が行われていることが報告された。

2日目のセッションでは, NCARのCohnがプロファイラの信号処理について総合報告をし, これには気象庁のプロファイラ網を整備する上で参考となる情報が多く含まれていた。

干渉パターンによる風測定(Spaced Antenna Drift法), RASSによる気温と湿度の観測, フランスの1238MHzプロファイラ, RASSの測定精度や問題点, ファジー理論・wavelet変換・ニューラルネットなどによる信号処理, クラスタ解析による地形と風エコーの分離などの発表が続き, プロファイラにおける信号処理技術が依然発展段階にあることを示している。日本からはRASCの竹田・河野・古本が各種観測法による精度比較などを発表し, さらに三菱電機の若山は1.3GHzプロファイラについて発表した。

#### ○セッション8 実運用部門

招待講演では, NOAAのBenjaminが, NOAAプロファイラネットワーク(NPN)のデータを1時間ごとにメソモデルに取り入れるOSE(観測システム実験)

を紹介した。こうしたOSEでは、統計的評価とともに事例解析による個別の成績評価が重要だと強調した。データは水平方向の比較チェックを含む品質管理を行った後にモデルに入力される。プロファイラデータを取り入れることによって風速の予報値が改善された。一方、NOAAなどいくつかの政府機関が米国の太平洋岸を中心に展開しているUHFプロファイラ網の今後の利用計画について質問があり、気象現業での利用はこれからの課題だと答えてあった。ECMWFのBoutierは、招待講演で同じくNPNの観測データによるOSEを紹介した。

英国気象局からは、COST76の一環であるCWINDE計画（英国気象局がデータを管理しているヨーロッパのプロファイラ網）について報告があった。1997年に7台のプロファイラのデータをリアルタイムで配信することから始めて、現在では20台以上のプロファイラの風データと気象ドップラーレーダーのVAD法による風データを各国に配信している。プロファイラのデータは風の3成分とS/N比の4要素である。配信の手段はGTSによるBUFRコード（二進汎用気象通報形式）またはASCIIコードの気象電報と、WWWによる情報公開とが混在している。将来、WWWではラジオゾンデや航空機データも取り込むことや、数値モデルによる700 hPaの風も表示することが計画されている。CWINDEについてはポスター発表でも英国気象局から詳しく紹介され、気象庁のプロファイラ網にとっても参考となる情報が多かった。NOAAのAeronomy Lab.からは赤道付近に展開しているプロファイラ観測網の報告があった。

筆者は、気象庁が2001年度から運用を開始する25台の1.3 GHzプロファイラ網の展開計画を紹介した。1年の短期間で整備することや高密度の観測網であることに関して質問があった。ECMWFのデータ同化システムでは、1999年7月から米国のNPNのデータを使用している。ヨーロッパのCWINDEのデータを取り込むことも計画中であり、そのための実験を2000年に入って行った。オランダでは、格子間隔10 kmのメソモデル（気象庁のそれも10 km）にプロファイラデータを取り込むOSEを行っている。講演後の休憩時間に、1997、98年に実施された気象庁の関東地域メソ解析プロジェクトのOSEを発表者に紹介したところ、資料の送付を求められた。その他、オーストラリア、NASA、フランスから実運用に向けての実験などが紹介された。ドイツからは実運用におけるデータの品質

管理のあり方についての報告があった。

#### ○MST常設ワーキンググループ報告

MSTグループには5つのワーキンググループが常設されており、このワークショップ中に各グループが個別に議論し、最終日の全体会議でその内容が報告された。詳細は理解できなかったが、トピックスは次のとおりである。

##### ・システムの校正とMSTレーダーの定義

MSTレーダーの増加にともなう相互比較などによる測定値の精度の確保を議論した。気象レーダーとの比較では、反射強度に5 dBの差異が生じることもあるとの報告があった。測風技術・クラッター対策・パラメータの理論/モデル検討・その他研究技術の進歩にともない、MSTグループがWWWサイトを常設することが議論されたが、引き受け手は決まらなかった。

##### ・MSTレーダーの現業利用に必要な精度

データ配信やアーカイブ用にデータフォーマットを統一することが議論され、現在使用されているBUFRコード・NetCDFコードなどの情報を、今回のワークショップのExtended Abstractに掲載することとなった。気象庁のウィンドプロファイラ網が新しい動きとして話題にのぼった。

##### ・国際協力

電離層・重力波研究などでの国際協力について議論された。

##### ・MSTレーダーを使った遷移現象

流星や雷の国際共同観測が議論された。

#### ○プロファイラ製作会社

ワークショップでは3つのメーカーが展示及びポスター発表を行った。プロファイラの老舗である米国RADIANT社からは、パネル展示と航空気象業務への利用についてポスター発表があった。前述のように、三菱電機は京都大学RASCと共同で開発した1.3 GHzプロファイラについてポスター発表を行った。フランスのDegreane社は、第4図のように会議場の前庭に1290 MHzのプロファイラをデモ設置し、会議場内のパソコンにデータをリアルタイムで表示していた。5面のフェイズアレイアンテナを用意し、1枚を水平に、残り4枚を傾けて東西南北に配置するという経済的な設計であり、出力4 kWの大型送信機が特徴である。

#### 3.4 歓迎会・見学など

会議期間中、国際会議では定番のアイスブレイク（1日目、会議場内）・トゥールーズ市歓迎会（2日目、市



第4図 MST9-COST76ワークショップが開かれたフランス気象局の国際会議センターと、その前に展示されたフランス製1290 MHz プロファイラ。

庁舎)・バンケット(5日目、郊外のレストラン)があった。市の歓迎会では鏡の間でトゥールーズ市議会議長などの歓迎のあいさつや市の紹介、それに対するワークショップ運営委員の返礼を聞き、バンケットではフランス料理を食べながら会議関係者のあいさつを聞いたり、隣の席の人と歓談した。フランス人もかなりのあいさつ好きであった。トゥールーズ市はフランス南西部のピレネー山脈に近い人口約40万人の地方都市であり、中世は現在以上に繁栄していたとのことである。現在はエアバスやアリアンロケットを製造する工場が並ぶ航空宇宙産業都市でもある。

最終日の会議が終了した後、会議センターに隣接するフランス気象局の現業部門を見学した。フランス気象局は約3500名の職員で構成されており、パリに総務部門と観測管理部門の一部がある。トゥールーズでは1000名の職員が予報現業と研究開発に従事しており、今回のような国際研究集會も活発に開かれているようだ。計算機室では数値計算用に2代目のFujitsuスパコンが動いていた。ヨーロッパではECMWFの計算結果が各国気象局に配信され利用されているが、フランス気象局では独自の数値予報も行っており、国内の民間向けには同気象局の計算結果が配信されている。予報現業室ではゆったりとしたスペースの中で、10人ほどの男女の予報官が天気図解析などの作業に携っている様子をガラス越しに眺めた。

トゥールーズの気象局には最近まで45 MHzと1290 MHzのプロファイラが設置されていたが、1999年に

MAPのためイタリアに移設され、目にするのできたプロファイラは、前述のDegreane社のもの1台だけであった。

### 3.5 感想

この会議はこれまで別々に開催されていたMSTワークショップとCOST76ワークショップが共同で開催されたため、MSTレーダーの理論的研究から最新の技術開発さらに業務的利用まで、この分野全体を網羅する会議となった。プロファイラ1年生である筆者には、このワークショップの同窓会的な雰囲気にはやや戸惑いがあったが、会議終了近くには国内外の同業者と親しくなれてうれしかった。このワークショップに参加できたことは、この分野を概観し最新の情報を得るとともに、各国の気象機関の現状や今後の動向を知る上で、たいへん有益であった。会議中次のようなことを感じた。

- MSTレーダーの初期からの研究テーマである成層圏から中間圏より上空の研究は引き続き活発に行われている。
- 一方、対流圏を対象とする研究も急速に広まっており、業務用も含めたプロファイラの設置台数は、近い将来気象レーダーと肩を並べるかも知れない。
- 業務面でのプロファイラの利用に関しては、米国中西部の30数台の観測網NPNは安定して運用されているが、この先これを米国国土にまで広げるのかは決まっていない。ヨーロッパではCWINDE観測網が、ほぼ定期的にデータを配信している。データ配信フォーマットをBUFRコードに統一することを計画中だが、まだ実現していない。
- 気象庁が整備中のプロファイラ網は米国・ヨーロッパに続く広域の業務用観測網として、今後各国の注意を引くと思われる。国内外の関係機関や研究者と情報を交換し、国際的にも評価される観測網を作り上げることが、気象庁の責務だと感じた。
- プロファイラの技術開発は依然発展途上にあるようだ。信号処理やデータ処理に関して今後新しく技術が開発される可能性が高い。気象庁の観測網においても、今後開発されるであろう技術を取り入れてさらに進化できるよう、特にソフトウェアの面での柔軟性が求められる。
- 京都大学RASCはプロファイラ研究における国際センターのひとつであり、ここは世界各国との交流が盛んである。インドの研究陣も、MSTレーダー研究の重要な一角を占めているように見えた。会議に

は、台湾と韓国の大学研究者が参加していた。台湾では50 MHzのプロファイラによる研究活動が活発である。韓国気象庁は、1999年と2000年に1台ずつ1 GHz帯のプロファイラを整備するようだ。近い将来東アジアでも、国境をまたいだプロファイラ網が話題となるだろう。

なお、関連会議として2000年12月4～8日に、オーストラリアのAdelaideで「第5回 International Symposium on Tropospheric Profiling: Needs and Technology」が開催されることが通知された。

6日間続いた会議では、参加者の多かった米国と開催国フランスの研究者のリードが目立ったが、フランス人気質は特に会議中の昼食に反映されていたようにも思う。午前中のセッションでは議論が盛り上がり予定時間を超過し、昼食時間が短くなることが再三ではあったが、ワークショップ参加者用のブースが準備され気象局の食堂には、土地の料理とともにビールのサーバーが用意されていた。さらに各テーブルには赤白のワインのビンがごくふつうに置かれていた。これらに手を出すか否かは、当然ながら参加者各人の意思とアルコールの強さに依存していた。

## 謝 辞

2回の出張にご尽力いただいた気象庁観測部管理課と企画課国際室、さらに繁忙期にもかかわらず出張をお許しいただいた岩淵室長(当時)をはじめ高層気象観測室の皆さんに感謝いたします。資料をお借りした気象庁予報課牧原康隆氏、同観測技術課鈴木修氏、同数値予報課郷田治稔氏及び山田芳則氏に感謝します。トゥールーズでは、京都大学RASCの深尾昌一郎センター長や橋口浩之氏、郵政省通信総合研究所の大野裕一氏にお世話になりました。感謝いたします。

## 略字一覧

BUFR: Binary Universal Form for the Representation of meteorological data  
 CWINDE: Cost Wind Initiative Network Demonstration in Europe  
 COST: European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research  
 CINRAD: China Next Generation Weather Radar (WSR-98D)

ECMWF: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts  
 ESCAP: Economic and Social Development in Asia and the Pacific  
 GAME/HUBEX: GEWEX Asian Monsoon Experiment/Huaihe River Basin Experiment (アジアモンスーンエネルギー水循環観測研究計画/中国淮河流域観測計画)  
 NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration  
 MAP: Mesoscale Alpine Experiment  
 MS radar: Mesosphere, Stratosphere and Troposphere radar  
 NCAR: National Center for Atmospheric Research  
 GTS: Global Telecommunication System  
 NetCDF: Network Common Data Form  
 NEXRAD: Next Generation Weather Radar (WSR-88D)  
 NPN: NOAA Profiler Network  
 OSE: Observation System Experiment  
 OSF: Operational Support Facility  
 RASC: Radio Science Center for Space & Atmosphere (京都大学宙空電波科学研究センター)  
 RASS: Radio Acoustic Sounding System  
 TCS: Typhoon Committee Secretariat  
 TDWR: Terminal Doppler Weather Radar  
 TRMM: Tropical Rainfall Measuring Mission  
 TSU: Technical Support Unit  
 WMO: World Meteorological Organization

## 参 考 文 献

- 駒林 誠, 1999: モンゴルで気象指南. 気象新聞, 49.  
 高橋 劭, 川野哲也, 田尻拓也, 伊藤きよ枝, 1998: アジアモンスーン降水機構の研究, 日本気象学会秋季大会講演予稿集, A364.  
 古川武彦, 1998: 米国気象サービス事情 (1), 気象, 42(6), 4-11.  
 吉崎正憲, 上田 博, 藤吉康志, 渡邊 明, 坪木和久, 小司禎教, 加藤輝之, 二宮洗三, 大野裕一, 茂木耕作, 前坂 剛, 瀬古弘祖, 2000: 東アジアにおけるメソ対流系と豪雨に関する国際会議の出席報告, 天気, 47, 569-574.