

## 第21回レーダ気象会議に出席して (II)

藤原美幸\*

### はじめに

私ごとになりますが、このたびカナディアン・ロッキーの観光旅行を計画しましたので、ついでにカナダで開かれる第21回レーダ気象会議に20~21日の2日間だけ出席いたしました。エドモントンの空港からのリムジンバスの中で電波研の中村健治氏と逢い、日本からの出席者は2人だけとわかりました。中村氏は殆ど会場に詰めて出席しておられましたが私は観光気分も手伝って、知人を探して出たり入ったりでした。会議はかなり活気に満ちて討論なども盛んだったので、帰国後、気象学会に簡単な報告をしようと相談し、この原稿を書くことになりました。私の分担のセッションの内容についてはごく簡単に紹介し、あとがきとして会場で聞いた話をもとに米国レーダ気象界のトピックをお伝えします。

### 1. 各セッションの概要

#### 1.1. セッション1 Convection and Precipitation-I

このセッションは観測方法が主で、R.C. Srivastava *et al.* (シカゴ大) は、スコールラインの後方にひろがったかなと云をドップラレーダで観測し、単一ドップラのデータ処理方法 (EVAD 法と VAD 法) を MDOP (Multi-Doppler) 法と比較し、得られた垂直流から、スコールライン後方の発散を描き出している。全体としては最下層の弱い上昇流域をのぞいて Zipser の GATE のモデルと似ているが、最下層は蒸発冷却よりも力学的な Overturning の効果が大きいだろうと述べている。

R.J. Donaldson, Jr. (レキシントン社) *et al.* はシビヤーストームがメソサイクロンと関係が深いことから、エコー対の回転運動からその発生を予見して突風、トルネード、雹などの警戒に役立つ単一レーダの利用方法を提案している。

また最近、降雨量のレーダ推定法の研究分野でエコー全容量と全雨量との関係がとり上げられている。全雨量容積のエコー面積の時間積分の比で平均降雨強度  $\bar{R}$  というものを定義して、これらが両対数プロットで1に近い係数の直線にのると言われているが、A.A. Doneaud *et al.* (SDSMT, S. ダコタ) は、これを半乾燥地帯の N. ダコタでどうなるかを追試している。この他反射強度から推定した降雨容積及びエコーサイズの統計やヘルシンキ大学での前線性降雨の大型プロジェクトの中間報告などの発表があった。

#### 1.2. セッション2 Convection and Precipitation-II

このセッションでは、前セッションに続いてスコールラインに力学方程式の関与した研究と電光の研究である。

F. Roux *et al.* (CNET, フランス) は2台のドップラレーダから準コプラン方式でスコールラインの風の出し、それから逆に温・圧場を出して、地上観測網データとの比較ではかなりよく合っている。

T. Gal-Chen (オクラホマ大) と R.A. Kropfli (NOAA ボルダー) は境界層の熱力学的性質を論じ、MDOP 法は晴天乱流の測定にも使えると結論している。

次に M.L. Weisman *et al.* (NCAR) は Klemp-Wilhelmson の3次元対流モデルを使ったストームのシミュレーションを発表している。マルチセル・ストームがトルネードを伴う危険なスーパーセルに発達するとエコーに鋸歯状や弱い区域 (WER) の特徴が現れる。WER (Weak Echo Region) や BWER (Bounded Weak Echo Region) は強い上昇流の持続する場所である (結果を観測事実と比較中)。

ストームの発達終局がマルチセル、分裂したスーパーセル、単一の大きなスーパーセルになる違いは、周囲の垂直シアーによるという観測側からの指摘がある。J. B. Klemp *et al.* (NCAR) は6種のシアーを与えた3次元数値実験を行って、その依存性を再現している。

\* Miyuki Fujiwara, 気象大学校講師・日本気象コンサルテングカンパニー嘱託、研究委嘱顧問

E.J. Zipser *et al.* (NCAR) は熱帯性スコールライン (GATE) のかなとこ雲領域の豪雨中に, B.B. より上の層では弱い上昇流, 下の層では下降流の構造をもち, 上層の層状雲中で降水が発達するメカニズムを指摘した。

その他, 電光とエコーパターンの関係を述べた論文もあった。

### 1.3. セッション3 Convection and Precipitation-III

このセッションも引き続きシビヤーストームの研究である。K.R. Knupp (コロラド大) は, モンタナ州の COOPE 観測網 (レーダ8台を含む) のドップラデータ解析の中間報告である。交互制御型ソフトウェア (CEDRIC) を使い, ストーム内3次元の風の場を描き出している。C.A. Leary *et al.* (テキサス技大) は別の研究用観測網 HIPLE (High Planis Cooperative Experiment) 内のレーダ (非ドップラ) 上をゆっくり通過した MCC (Meso-convective complex) を, NOAA の GOES-E の赤外線と併せて解析し, 熱帯性スコールラインと酷似した構造を見出している。

この他, 中国の大気物理研 (北京), 気象研 (上海) から非ドップラレーダで気球を追跡し航跡上の上昇流を測定する試みが提出されている。

H.B. Bluestein *et al.* (オクラホマ大) と D.E. Fitzjarrald (NASA, アラバマ) は共同でレーダの及ばない雷雨周辺の風の場を測定する為の航空機搭載ドップラライダーの試験観測を報告した。2秒毎にビームの方位角を40°シフトする方法で2台のライダーと機能をねらったもの。結局大きなサイドローブと低いノイズ比の為5kmの観測距離しか得られなかったが有望な方式であったとのべている。

最後は R.B. Wilhelmson (イリノイ大) と Klemp (NCAR) が協同で, NCAR の3次元対流モデルを使い, オクラホマのスコールラインのレーダと数値モデルの比較をした。進行方向には40kmの周期的境界条件を用い, 各セルの北上速度や他の諸特性もよく説明できた。今後40kmを200km位に伸ばし, スコール前線後方のメソ循環をシミュレートしたいと述べている。

### 1.4. セッション10 Hurricanes

日本から提出した神原 他 (気象研) の一編の他, 2編はマイアミの AOML (Atlantic Oceanographic and Meteorological Lab.) からのものであった。ともに航空機の尾部 (Tail) レーダ (後述) による貫通観測である。1つは F.D. Marks Jr. と R.A. Houze, Jr. (ワシントン大) の共同研究でハリケーンの eyewall の中の風, 垂

直流, 発散, 反射強度の3次元分布を描いている。これは方向の異なる2航跡から3次元データを得るので, 従来の多くの航跡上の値を合成する直接測定法よりも分解能が飛躍的に向上する。その結果, 1本とされていた eye wall が内部バンド, サブバンドの2本に分かれていて, それに対応する発散域や垂直流域が表現されている。

もう一つは反射強度解析である。eyewall は upshear 方向に傾斜し, 最強強度の所にも B.B. が観測された。

日本からの論文は, 藤原が代読した。T8124号が房総沖を通過した際の中心付近の強い降雨帯の構造を解析したものである。「興味ある解析」, 「中緯度低気圧化が降雨の集中性と関連があるのでは?」というコメントがあった。

### 1.5. セッション15 Analysis Technique of Doppler Data

殆どドップラレーダデータによる風解析の技術的な問題である。マルチドップラ技術が進んでいる現在も単一ドップラ技術で精力的に基礎的な研究が続けられているのは後で述べる NEXRAD のためであろう。マルチドップラレーダの主な問題は格子点の代表値を決めるための編集方法 (特に加重平均法), データの客観的な unfolding である。注目してよいのは, 一方で一般供与の目的で処理ソフトがパッケージ化されていることである。このセッションでは日本から1編青柳二郎氏 (気象研) の単一ドップラ・レーダによる風測定法が提出された。

### 1.6. セッション16, 17 Boundary Layer-I, II

この中の全論文 (12編) はシカゴ大学 T.T. 藤田博士指導の JAWS (Joint Airport Weather Studies) の観測解析報告であった。特に, 積雲からの吹き下ろし (down burst) が地表で, 小地域の強い吹き出しとなって広がって行く現象の各過程と, 航空機離発着の危険性の観測事実とが次々と9編の論文で報告され会議のハイライトでもあった。質疑討論も活発で, 会場内では, 「一寸したショーだ」と顔を見合わず光景も見られた。

### 1.7. セッション18 Boundary Layer-III

航空機搭載用ライダードップラレーダによる晴天乱流の観測で, 5編あったが, そのうち2編は海陸風前線 (その中の一編は柳沢氏他 (気象研) によるものを藤原代読) であった。

## 2. 最近米国レーダ気象界のトピック—NEXRAD について

会場にはかつて東京、台北、フィリピン等に台風の国際共同観測で滞在したことのある H. Bogin 氏が出席していた。氏は現在、カンザス市の NWS (National Weather Service) シビヤーストーム予報センターのデータシステムの責任者で、いわばレーダ技術利用者代表の立場である。イリノイの WS からは CHILL レーダ開発の主任でレーダ工学専門の E.A. Mueller 博士が出席していた。この両者から聞いた話をもとに Next generation's radar, NEXRAD 計画について紹介したい。というのは、今回のレーダ会議で見た活発で層の厚い研究活動のテーマや内容など、この計画を併せ考えるとき一層よく理解されると思われるからである。

現在、NWS の WSR-57 レーダ網は既に更新の時期を過ぎ、現在保守さえ困難になっている。一方、大学や州立国立研究機関によるドップラレーダとその利用技術はここ10年来著しい進歩をとげ、Bogin 氏の言葉を借りれば「一年半ごとに開かれるこのような活発なレーダ気象会議は NWS とは縁のない研究コミュニティだけのもの」となってしまった。デジタルエコーの客観解析、ドップラレーダによるシビヤーストーム内の3次元循環の描出などが可能となっているのに「NWS は依然として PPI, RHI スコープを手書きやマイクロフィルム影像で解析している。歴代大統領と同様にレーガンも研究には金を出すが NWS には渋い。レーダの更新も、日本や EC と違って130カ所もあるので、大蔵省は財政難を理由に更新を認めないのだ。」云々と「NWS 関係者はばやき」続けて来た。

「大学や研究機関は、1976~1979年間に手持ちドップラレーダを持ち寄ってオクラホマで大掛かりな協同観測を行った。そしてこれがリアルタイムでトルネードの検知と警戒に成功した為 NWS の立ち遅れに対し、住民からは強い不満や要望が寄せられたが、それでも大蔵省は技術レベルの違う気象官署で同じ効果が上がる保障はないと難色を示した。」結局、商務省、国防省、運輸省の協同の5年計画に計画をグレードアップして初めて認められたという。予備的な共同研究、高度利用委員会を発足させ、開発要項、ワーキンググループ、運用計画などが次々と決められていった。この計画が NEXRAD 計画である。

NEXRAD のハード的な面では現在既に3台のプロトタイプが平行して開発中である。2台はオクラホマの

NSSL レーダと、シカゴ大学、イリノイ WS 協同開発の CHILL レーダで、3台目は NCAR で設計中のものである。最終的な仕様はまだ決まっていないが、Sバンドで直径約10mのアンテナ、ビーム幅1°以下、探知距離400km、ドップラ速度測定距離220km、ピーク出力0.5メガワット、最小受信強度-3.5dBで、各レーダには専用の大型計算機が付く。この計算機のRAMは2MB以上で専用DISK2基をもち、大型のアルゴリズムを内蔵することになる。それは1, 6, 24時間の面積雨量の計算と、エコー影像とドップラ速度のデータ処理、更に、客観解析をリアルタイムで行う為である。解析の出力には各種エコー影像の現況とその2時間後への外挿図、雨量予想の他に、危険なトルネード、雹、突風などの探知と移動方向、速度と警戒区域の判定などが含まれる。

電送先は各気象官署、FAA(連邦航空局)の出先各機関は勿論、放送関係、研究機関、大学、私立気象サービス業などで凡そ12端末に自動電送される。それによる受益者は前述の3省関係となっているが、施設が気象局(NWS)に属するので、結局利用の主導性は気象局に移るものと期待されている。この計画は科学技術面だけでなく、レーダの運営面からみても challenging なるものであるという。ハードの上で、データ取得速度と処理方法、完全な地形クラスターの消去、雨量への自動較正変換装置、プログラミング自由度の確保などが要求されている。進歩した今日のマイクロ電子工学によればハードはそれ程困難な問題ではないであろう。問題はソフトの面である。降水、突風、トルネード、雹など災害的諸現象の客観解析法ははるかに困難な問題である。その為に特別な Advisal Committee も発足している。これは NSF の研究費配分にも強い影響力を及ぼすことになる。

このように見てくると、初めに述べたように、レーダ気象会議で発表されている各論文のテーマ、問題意識、研究推進の型もこの計画遂行の線に沿ったものであるように理解される。例えば中村氏の報告にもあるように、現在 CHILL レーダを使って偏波度を取り入れた雨量測定精度向上の為、精力的な研究がオハイオ大学で続けられているが、レーダ雨量の研究は一時は過去のテーマとなっていたのである。これが NEXRAD にとってプライマリーに重要テーマになった。更にまたストームの研究でも現象の特徴のパラメーター化の試行が多いがこれも明らかに NEXRAD 計画に沿った問題意識と思える。方法的には航空機レーダ、地上観測網などの大型

施設の共同利用が多い。共同利用は施設に止まらずプログラムパッケージや、ソフトウェア迄におよび、その供与や借用が、しかも全く異系統の研究組織間で頻繁に行われている。

余談になるが、私が1975年頃マイアミの NHRL を見学した時、そのひとつのセクションであった航空機部門が独立した NOAA の研究用飛行機観測施設に衣替えし、古い DC-6 を廃棄して P-3 の改造機を導入していた。5年後にはこの飛行機に尾部レーダが搭載され、現在では大学や研究機関の共同利用施設として幅広く活用されている。元来、米国では日本と違い NSF が巨額の研究基金を握っていることからそのマネジメントを通じて大型施設の協同利用が進んでいる。その上 NEX-RAD 計画推進の成果のひとつに省庁間の協同の実績が挙げられていることから、今回のレーダ会議にみられるような共同研究の特徴が目立つのは当然かも知れない。

話は前後するが、AOML (NHRL を改組した組織) の尾部レーダについてひと言つけ加えておこう。レーダ

は 3 cm ドップラで P-3 機の胴体尾部を延長して取付けられている。パラボラは飛行機の進行方向と平行な回転軸の回りに回転させ飛行空間をスパイラルに輪切りにするように走査する。このデータは地上の他のレーダと組み合わせると 2, 3 百 m 位の細かい格子空間の風の分布が得られ、また自分自身のデータでも 2 方向に飛行することにより、(その時間差の移流効果分だけ分解能を犠牲にすることになるが) 同様な風の場合が得られる。データ処理を精確に行うため、アンテナの回転軸を偏流と関係なく慣性航法装置で常に進行方向に一致させている。かなり精密な工作で、はじめ自前のメカニックでプロトタイプ製の装備をしたが結局 4 年間を空費し、最後は P-3 メーカーに特注したという裏話を聞いた。AOML の空港ショップには B-29 や DC-6 に台風観測用装備やレーダの取り付けをしてきた伝統があり、名うてのメカニックが揃っていた筈である。これらレーダはすべてカラー表示であって他の研究発表も殆どカラースライドであった。会場は文字通りカラフルで印象的であった。