

第23回 レーダー気象会議に出席して*

石原正仁・榊原 均・田畑 明**

1. はじめに

アメリカ気象学会主催の23回レーダー気象会議 (Conference on Radar Meteorology) が昨年9月22日から26日まで、米国 Colorado 州 Snowmass で開催され、気象研究所から私達3名が参加した。この会議についての内容と印象を報告する。

レーダー気象会議は1947年の Massachusetts での第1回会議以来ほぼ1年半の間隔で開催されており、レーダー気象だけでなく雲物理学、雲物理などの分野も含み、数多くあるアメリカ気象学会主催の会議の内でも「老舗」である。今秋には、40周年を記念した会議が Boston で開かれるそうである。開催規模やテーマの多様さから見て、国際雲物理会議と並び、この分野を代表する会議と言えるだろう。今回は同学会主催の雲物理会議(4年ごとに開催)との共催である。これら2つの会議には関連するテーマが数多く含まれるので、開催者にとっては運営の簡略化が図れることで、参加者にとっては広範囲のテーマに一度に触れられることで、今回の運営方法は有益である。

Snowmass は Colorado 州のロッキー山中にあるアメリカ随一のスキーリゾート Aspen, のすぐ隣りにある閑静なスキー場である。日本では珍しい黄色一色の紅葉に染まった山並みを眺めながら、州都 Denver から4発の高翼プロペラ機に乗って1時間足らずで到着した。層積雲の雲底付近を揺れながら飛ぶと、NCAR の研究グループらしき乗客がさっそく山岳波の話始めていた。Snowmass ではオフシーズンの客寄せのためか、ゲレンデ周辺のホテル群に隣接して立派な会議場が建てられていて、会議はそこで5日間にわたって開かれた。9月下旬とは言え標高4,000m級の山々に囲まれた土地だけに、会議2日目に降り出した雨はすぐに雪に変わり、

20 cm を越える積雪が会議参加者を会議場に缶詰めにするという思わぬ効果を発揮した。

2. 会議の概要

会議は参加者数約450名、発表件数294件という大規模なもので、厚さ6cmの3分冊の予稿集の重さには会議終了後の旅行期間中悩まされた。諸外国からの発表は、毎回数多いカナダ(12件)を筆頭に、フランスと日本(8)が続ぎ、イギリス、フィンランド(4)、西ドイツ、イタリア(3)、イスラエル(2)、スイス(1)の順であった。日本からは気象研究所と電波研究所から各3件、気象衛星センターから1件、京都工芸繊維大学と京都大学から1件の発表があった。出席者は、気象研の私達3名、電波研の中村健治と藤田正晴さん、京都工芸繊維大の若杉耕一郎さん、土木研究所の渡部憲司さんであった。また米国在住のシカゴ大学の藤田教授、アラスカ大学の竹教授、ユタ大学の福田教授、ハワイ大学の高橋教授が参加された。

会議は表1のように28のセッションに分かれ、レーダー気象6セッション49件、雲物理6セッション48件、ジョイント16セッション197件という内訳であった。レーダー気象と雲物理のセッションはパラレルセッションで行われた。294件の発表の内、178件が口頭発表に、116件がポスターセッションに割りふられた。

レーダー気象の分野に限れば本会議での観測解析部門の特色は、研究対象が積雲スケールからより大きなMCCやMCSと言われるメソスケールシステムへ移行しつつあること、ドップラーレーダーで求めた風の分布から気圧や温度場を求める手法(Retrieval)が応用され始めたこと、マイクロバーストが航空機の運航に関する実用研究として引き続き議論されていることなどであった。測器部門では、研究用ドップラーレーダーはすっかり定着し、実用化の問題としてNEXRAD(Next Generation Radar)が注目され、VHF/UHFプロファイラー(Wind Profiler)が新顔として登場し、偏波レ

* Reports on the 23rd Conference on Radar Meteorology at Snowmass, Colorado, USA:

** Masahito Ishihara, Hitoshi Sakakibara, Akira Tabata, 気象研究所.

第1表 会議の内訳

Session	
1	: Wind shear detection and forecasting (R)
2	: Nucleation and microphysics (C)
3	: Clear air radar measurements (R)
4	: Warm clouds (C)
5	: Radar studies of precipitation I (R)
6	: Scavenging and chemistry I (C)
7	: Quantitative measurement of precipitation (R)
8	: Chemistry II (C)
9	: Convective clouds I (J)
10	: Convective clouds II (J)
11	: Analysis techniques and applications (JP)
12	: Wind shear and microburst I (J)
13	: Wind shear and microburst II (J)
14	: Cloud systems I (J)
15	: Cloud systems II (J)
16A	: Precipitation spectra (JP)
16B	: Boundary layer and stratocumulus (JP)
16C	: Hurricane studies (JP)
16D	: Melting studies (JP)
17	: Cloud systems III (J)
18	: Orographic storms (J)
19	: Instrumentation, techniques and technology (JP)
20	: Atmospheric electricity I (J)
21	: Atmospheric electricity II (J)
22	: Aggregation and riming (C)
23	: Airborne/spaceborne radar measurements (R)
24	: Entrainment and mixing (C)
25	: Radar studies of precipitation II (R)

R はレーダー気象, C は雲物理, J は合同, JP は合同ポスターセッションを表す。

ーダーが根気良く議論されていた。

初日、何のセレモニーもなく始まった会議は、毎日午前8時30分から午後5時まで1件12分程度の口頭発表が続き、期間中昼食時に2回、夕食時1に回のポスターセッションが行われた。研究成果を12分間程度で450名の聴衆を前にして英語で発表することは、私達にとってはかなり困難な作業である。筆者のひとりには前夜のホテルでの特訓にもかかわらず、雷雲の観測結果の発表の際、図中の南西の方角を指して南東と言ってはばからなかった。しかし、英語国民ではなくとも、フランス人の女性研究者は原稿を読みながら実に分かり易い発表をしたのには関心した。またフィンランドのやはり女性研究者は、新しく建設されたドップラーレーダーの紹介をユーモアたっぷりに行い、満場の拍手を浴びていた。

ポスターセッションは広いスペースで食事をとりながらのんびり行われた。その際ビール、ワイン等の軽アルコール飲料が出たことには驚いた。ポスターセッションには発表内容を知ってもらえる人の数に限りがあるという欠点がある。しかし、興味を持ってくれる人とは(拙ない英語でも)十分に議論ができるという一大特徴があり、発表者の働きかけ次第では、その筋の権威者と言われるような人の意見も聞くことができる。ポスターは発表の半日位前から会場に貼り出されたので、おもしろそうな発表は事前に目を通すことができた。日本の気象学会でも筑波の大会から導入されると聞き、大いに賛成である。ポスターセッションで発表した私達の台風降雨帯の観測結果については、マイアミのAOML/Hurricane Research Divisionの研究者達と討論することがで

きた。

3. 各セッションの概要

25のセッションすべてを網羅することは困難である。

ここでは、私達が出席したレーダー気象とジョイントセッションについて紹介する。

セッション 1. Wind shear detection and forecasting

ここではトルネードの発生の目安となるスーパーセル型雷雲内のメソサイクロンとよばれる低気圧性循環の1台のドップラーレーダーによる検出と、マイクロバーストのナウキャストにドップラーレーダーを使うための実用化実験 CLAWS 計画が発表された。前者は NEXRAD 計画に関連し、後者は連邦航空局 (FAA) が独自に開発を進めている 5 cm 波の空港用ドップラーレーダーの運用のための実験である。マイクロバースト発生にはいくつかの前兆現象が認められ、航空機への通報は人の手を介するとうまく行くが、計算機による自動処理がこれからの課題である。

セッション 3. Clear air radar detecton

初期には成層圏、中間圏の波動の観測を目的として建設された VHF/UHF レーダーは、ここ数年来対流圏の観測測器としてもその地位を固めた観がある。その一つである京都大学の MU レーダーは世界的に最高レベルのレーダーである。米国では WPL/NOAA と Aeronomy Lab./NOAA がこの種のレーダーの開発を進めており、対流圏観測に絞った場合 Wind Profiler と呼ばれることが多い。数年のうちに中部平原に30台が展開され、最終的には70台となる予定である。また、西ドイツやフランスでも運用されており、台湾では今年5、6月に梅雨前線を対象に行われる TAMEX (Taiwan Area Mesoscale Experiment) 計画に備えて導入した。このセッションでは、Wind Profiler の観測精度が議論された。安定層の傾きや、5~15 km の波長の波動が水平風の算出精度に影響する。

セッション 5, 25. Radar studies of precipitation

I, II

ここでは、偏波レーダーが集中的に議論された。NCAR, NSSL/NOAA, カナダ, フランス, 西ドイツ, イギリスから発表があった。2偏波(水平と垂直偏波)や円偏波を使って降水粒子の同定や雨滴の粒径分布の推定

を行っている。特に hail (雹) の検出に力が注がれているようだ。米国のグループは航空機による観測結果と比較して成果を挙げているが、アンテナのサイドローブやパターン mismatching が測定上の問題点であると指摘している。日本では昨年、土木研究所に 5 cm 波の2偏波ドップラーレーダーが建設され、降雪と降雨の判定に使われるとのことである。成果が期待される。

セッション 7. Quantitative measurement of precipitation

レーダーによる雨量測定はレーダー気象学の古典的テーマである。減衰法で雨量を求めるとき、鉛直流が見積り誤差に大きく影響することや、2偏波、雨滴計、雨量計を使った総合観測などが報告されたが、このテーマの決着はなかなか着かないようである。電波研究所から人工衛星からの測定を目指した航空機搭載の2波長レーダーによる測定のテスト結果と、ミリ波帯のレーダーと放射計を使った雨滴粒径分布の測定が発表された。

セッション 9, 10. Convective clouds I, II

ここでは、雷雲やスコールラインに関する発表がほとんどである。1985年に米国の中部平原で行われた Pre-STORM という特別観測の結果、円形のセルから線状エコーへの転移、降水を伴わない Cu の発達と重力波との関連、気圧場の分布によるセルの分裂に関する理論と観測結果との比較、雹の trajectory に関する研究、anvil 部分の観測、雷雲内の“obstacle flow”, スーパーセルとマルチセル内の渦度の分布の違い、等を論じている。ほとんどの発表が、複数のドップラーレーダーや航空機観測のデータがもとになっていて、データの豊富さにいつもながら驚かされる。今回は特に、ドップラーレーダーで求めた風の3成分を運動方程式に代入して気圧と温度場を求める手法 (Thermodynamic retrieval) によって、力学的構造の考察を行う例が増えている。フランスのグループは2次元 cloud モデルとドップラーレーダーで求めた運動場を組み合わせ、熱帯スコールラインの微物理過程の考察 (Microphysical retrieval) を行っていた。気象研究所からは、関東地方に夏期発生した線状の雷雲とマルチセル型の雷雲の2台のドップラーレーダーによる観測結果が発表された。

セッション 11. Analysis techniques and applications

これは昼食時を利用した2時間のポスターセッションで、40の発表があった。いくつか興味ある発表を挙げる。WPL/NOAAはチャフと2偏波ドップラーレーダーを使って降水雲内と外の流れの場やエントレインメントの状況を求めたり、偏波ライダー、マイクロ波放射計、2偏波ミリ波ドップラーレーダー等の各種の測定器を組み合わせて雪雲内の雲水量を測定して、氷晶の形成と関連づけていた。NEXRADに関しては、全国展開されるドップラーレーダーが生み出す各種の“products”とそれらを計算するためのアルゴリズムの概要、レーダー雨量の補正にカルマンフィルターを使う試み、RADAP-IIといわれる雨量測定アルゴリズム、降水システムを追跡するアルゴリズム等のテスト結果が発表された。気象衛星センターからはGMSとデジタルレーダーのデータを多項式回帰で降水強度を求める試みの投稿があった(小佐野慎悟ら)。ドップラーレーダー一般に関しては、1台のドップラーレーダーから求めた風の動径成分から、風の3成分を計算する試みや、メソスケール数値モデルの初期値にドップラーレーダーやプロファイラーのデータを使う場合の問題点が議論された。フランスのグループは、前述のように、2台のドップラーレーダーで求めた風の場から降水雲内の雲物理的な変数を求めるretrievalの手法の開発に力を入れている。

セッション 12, 13. Wind shear and microburst I, II

このセッションでは、マイクロバーストの提唱者であるChicago大学の藤田教授が座長を務めた。いくつかのグループは、氷晶過程を取り入れた数値モデルでマイクロバーストの発生機構を調べ、降水粒子のLoading, melting, 蒸発の効果と比較していた。1985年の夏からAlabama州Huntsvilleで、FAA, MTI, North Dakota大学によって行われている地上で降水を伴うマイクロバースト(wet microburst)の特別観測の速報もさっそく行われた。昨年の夏には同地で、MISTやFLOWSと呼ばれる大規模な特別観測が実施されている。マイクロバーストに関しては、理論、研究観測、実用化実験が同時進行している感があり、米国のこの分野にかける熱意が伝わって来た。

セッション 14, 15, 17. Cloudsystems I, II, III

ここは、いわゆるmeso- β convective systemを対象としたセッションである。熱帯スコールラインの数値モ

デルや、対流をexplicitに表現するメソスケールモデルと、それをパラメタライズしたモデルの比較が発表されていた。比較的活動の弱いメソシステム内の循環が上昇流中の加熱と降水粒子のmeltingや蒸発による冷却によって維持されている例を豊富な観測結果から示していた。特に夜間発達するMCS(Mesoscale Convective Systems)を対象にした前述のPre-STORM計画の概要と速報が報告された。また中緯度のスコールラインの後面の層状の雲域は新しいテーマである。Summer MONEX期間中ベンガル湾上空で観測された層状雲内の降水粒子についても報告された。Washington大学のグループは、これまであまり例のない温暖前線のドップラーレーダーによる観測結果を、フランスのグループは寒冷前線のドップラーレーダーによる特別観測について報告した。

セッション 16A. Precipitation spectra

雨滴や雹の粒度分布に関するセッションである。京都市芸繊維大と京大から、50MHz帯のMUレーダーが降水域と非降水域の両方からの散乱があることを利用して、雨滴の粒径分布を直接的に求める興味ある方法が提起された。

セッション 16B. Boundary layer and stratocumulus

このセッションでは、主にドップラーレーダーによる境界層の観測結果が報告された。興味あるものとして、Californiaの海岸近くの山と沖合の島にはさまれた地形に多量のチャフを散布し、2台のドップラーレーダーで高分解能の風の観測を行い、数値モデルとの比較を行っていること、フィンランドの海上に発生するロール状の雲列、Michigan湖に発生するopen-cell型とバンド状の降雪雲の観測、昨年2、3月に東部海岸で行われた低気圧の特別観測GALEの際のチャフを使った海上の境界層の観測、が挙げられる。

セッション 16C. Hurricane studies

このセッションでもドップラーレーダーが有効に利用され、台風/hurricaneのメソスケールの構造が明らかにされつつある。気象研究所から台風8514号の中心近くの降雨帯(eyewall)の2台のドップラーレーダーによる観測結果が示された。ground-baseのドップラーレーダーによる台風のeyewall観測例としては最初のものである。これを除くと、ほとんどHurricane Research

Division/AOML/NOAA のグループの 3 cm ドップラーレーダーを搭載した WP-3D 機による観測の独壇場である。このグループは、eyewall の構造や水収支、周辺降雨帯の境界層内の流れ等に関心を持っていて、積極的に観測を続けている。航空機の機動性とドップラーレーダーの観測能力には、改めて驚かされた。

16A~16D は夕食時のポスターセッションだったので、ゆっくりとポスターを眺めたり、説明を聞く時間的ゆとりがあった。

セッション 18. Orographic storms

ここでは、Sierra Nevada と Colorado で行われた増雪効果をねらった cloud seeding の実験についての雲物理的成果が報告された。また、Utah で行われた一連の Weather Modification Fields Projects は、5 cm と 8.7 mm のドップラーレーダーと 2 チャンネルの passive radiometer による雪雲の観測である。特に、後者の 5 cm レーダーと radiometer を使った水蒸気フラックスの観測が興味深かった。

セッション 19. Instrumentation, techniques and technology

昼食時のこのポスターセッションでは37の多岐にわたる発表があった。数値モデルもテクニックの一つに位置づけられていて、セッションのうちの5つは微物理過程を含んだ2次元、3次元の cloud model であった。高橋教授の提唱によって1985年に Hawaii で行われた Joint Hawaiian Warm Rain Project に関連して Particle measuring system (PMS, いわゆる Knollenberg) による雲粒と雨滴の観測結果が示された。また、PMS の測定限度と補正法について述べた発表もあった。気象研究所から、MTI の信号処理における long-linear 変換にともなう誤差についての投稿(青柳二郎)があった。1970年以来活躍した CHILL Radar の信号処理系が一新され、NCAR, CP-2 と同格の2周波、2偏波ドップラーレーダーとなった。西ドイツからは、特に偏波特性を充実した DFVLR の 5 cm ドップラーレーダーが紹介された。

セッション 20, 21. Atmospheric electricity I, II

米国では、毎年の落雷による死者数はトルネードやハリケーンによるそれを上回るそうで、このセッションに関連した研究は盛んである。野外観測と室内実験による

降水粒子の帯電については古典的で未解決の問題であるようだ。ハリケーンの中にも lightning が観測されその後の deepening と関連しているという報告があった。NSSL/NOAA の lightning mapping system を使い、発達した雷雲内の lightning の位置を、2台のドップラーレーダーで得た風の場から retrieval によって求めた気圧、温度、雲物理量の上に重ねて、雷雲を総合的に理解しようとする試みは興味深い。

セッション 23. Airborne/spaceborne radar measurement

ここでは、最近重要性を増した航空機搭載ドップラーレーダーと将来を展望した衛星搭載ドップラーレーダーについて発表された。特に目を引いたのは、NCAR の大型観測機 Electra に 3 cm ドップラーレーダーを取りつけるという計画である。2つの平面アンテナをある角度を持たせて取りつけることで、1回の飛行で dual mode の観測が可能となる。これは1990年までに完成する。また、NOAA に所属する2台の WP-3 機の1台にはドップラーレーダーがすでに取り付けられているが、残りの1機にも3年以内に装備されると聞いた。

4. おわりに

レーダー気象の仕事をしている私達にとって、この分野の世界の流れとその先端を見た、ということで会議への参加はたいへん役に立った。レーダー気象学と一口に言ってもこのように幅の広いものなのか、と驚かされた。米国の研究者、技術者の層の厚さは、言われ尽くされたことである。しかし考えてみると、米国の研究の隆盛は人の数だけに負っているのではなさそうだ。

それは、一貫した合理主義の思想に起因しているようだ。メソ気象の分野に限れば、災害を起こす現象をまず名指しにし、その構造を知るために必要な測器を開発し、特別観測を実施し現象を丹念に観察する。そうやって作られた概念モデルは、理論や数値モデルによって確立され、予報、警報の質を向上させる。この道筋のひとつでも欠けると、目的の達成は容易ではない。新しい知識の導入は必ず新しい測器の開発とその有効的な利用に係わっている。今回の会議では、プロファイラーや航空機搭載ドップラーレーダーがその例だろう。日本でも、この道筋が早く確立されることが必要だろう。

会議4日目の夜に参加者が一同に会した夕食会があった。親しくなった HRD の人達とバーベキューを食べ

ていると、舞台では挨拶が手短かに終わり、country and western の歌と演奏が始まった。陽気なアメリカ人はすぐ輪になったりペアになって踊り始めた。外国人は遠巻にして手をたたいていたが、次第に踊りに溶け込んでいった。よく見ると踊りに加わらない内気なアメリカ人もいた。外は雪が降っていたが、会場の熱気は夜11

時になっても冷める気配がなかった。

謝辞 筆者のうち、石原は科学技術庁長期在外研究員として、NSSL/NOAA と CIMMS (Cooperative Institute for Mesoscale Meteorology Studies) に滞在中、CIMMS の援助によってこの会議に出席した。

Third International Symposium on Refined Flow Modelling and Turbulence Measurements (第3回 流れのモデル精度向上化と乱流測定に関する国際シンポジウム)

1. 会議の目的

高速計算機の急速な発展と数値解析手法の向上によって各分野で流体現象の数値解析が数多く行われており、数理モデルの精度向上化に鋭意努力がされている。

本シンポジウムは、パリ、アイオワに引き続き、海洋、気象、土木、建築、原子力、機械、など学際的分野の研究者・技術者により、流体現象の数値解析手法ならびにモデルの入力条件となる流れの測定を論議するもので、エネルギー、環境、木土工学、海洋・気象、都市工学など流体現象に関係する多くの問題の解決に貢献しようものと考えます。

主催 「第3回 流れのモデル精度向上化と乱流測定に関する国際シンポジウム」組織委員会
国際水理学会 (International Association for Hydraulic Research)

後援 日本学術会議 水力学・水理学研究連絡委員会、日本海洋学会、日本気象学会・他

2. 会期 昭和63年7月26日(火)~28日(木)

3. 開催場所 日本都市センター

東京都千代田区平河町 2-4-1

4. 会議の主題 乱流および熱輸送のモデル化、数値解析手法の進歩、大気・水域環境における分散・

成層流、都市・建築環境における流れ、原子炉容器内の熱流動、密度噴流による混合、河川・開水路の流れ、土壌・岩盤中の地下水移行、波の変形、流れの可視化、乱流測定

5. 会議の構成

一般応募論文の発表 約100件

基調講演 3件

パネルディスプレイ 約20機関提出予定

アブストラクト(500語)締切日 昭和62年11月15日

最終原稿締切日 昭和63年6月1日

Proceedings 発表論文を Proceedings にまとめて発行します。

参加費(論文集、その他を含む) 35,000円

(学生は 15,000円)

6. シンポジウムの申込み方法

参加希望の方は葉書に、氏名、勤務先、連絡先住所、電話を明記してお申込下さい。応募用紙 (Bulletin No. 1) をお送りします。

宛先 〒270-11 千葉県我孫子市我孫子 1646

電力中央研究所 我孫子研究所

和田 明