

音波による大気及び海洋のリモートセンシング

国際シンポジウムに出席して*

福島 圓**

まえがき

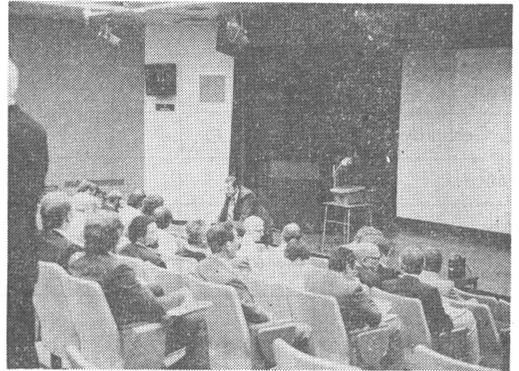
音波による大気及び海洋のリモートセンシング国際シンポジウムが、昨年6月22日から25日までカナダのカルガリ大学において開催された。シンポジウムの目的は、音波による大気及び海洋のリモートセンシングにおける最近数年の成果を討論し批判しようというものである。対象としては、基礎的研究、技術、装置は勿論のこと、このほか環境問題への応用も含まれている。

1. シンポジウムの概要

4日間にわたるシンポジウムの概要は第1表でおおよそ察知できると思う。

開会セッションはカルガリ大学副学長Dr. P.J. Kreugerの歓迎の辞で始まり、ついでNOAAのDr. C.G. Littleから音波によるリモートセンシングの現状と重要性を指摘した座長所感が述べられた。最後にNOAA/ERL/WPLを退職してColorado大学でしばらく教鞭をとることになったDr. E.H. Brownから、“大気音波探査と海中音波探査との類似性”と題した興味深い総合講演がなされた。ここでは講演者の一大労作“大気音響学の進歩”(Brown and Hall, 1978)に収められている図表が数多くスライドに映写されたので、筆者の鈍いヒヤリングをかなり補ってくれた。

つづく各セッションのうち、次の4セッションでは総合報告が発表された。すなわち、(2A, 2B, 2C)音波によるリモートセンシング装置と技術ではオーストラリア、メルボルン大学I.A. Bourne教授、(3A, 3B)微気象ではフランス環境物理研究センターCRPEのA. Weill教授、(4A-B)海洋中における流体の変化過程



会場 Boris Roubakine Recital Hall (C 119, Calgary Hall, The University of Calgary)

に対する音波探査ではWoods Hole海洋研のM.H. Orr氏、(7B)環境科学におけるソーダ観測ではペンシルベニア大学のD.W. Thomson教授によってそれぞれの分野での研究動向が紹介された。このほか、2Aから7Bセッションまで合計32の論文が発表された。グループ報告6Aセッションでは、それぞれの領域から11の講演(●印)がなされ、8セッション報告者会議では4の報告(+印)、すなわち、装置と技術について、米国アルゴンヌ研のR.L. Coulter氏が総括報告を行い、カナダ大気環境局AESのW. Clink氏とB.W. Kerman氏及びメルボルン大学I.A. Bourne教授が補足的コメントを述べた。気象研究についてはローマ大学のG. Fiocco教授、海洋研究については米国ボトマックのM. Schulkin氏、公害研究についてはカナダAESのB.W. Kerman氏がそれぞれ総括報告を発表した。

シンポジウム参加者は10カ国にわたり、約50名であるが、アブストラクト集によるとソ連及びスイスから各1件の申し込みがなされていた。発表件数における大気と海洋との割合は3対1ぐらいである。全般的に米国の寄与が大きいのは従来通りであるが、米国以外からの発

* Report on International Symposium on Acoustic Remote Sensing of the Atmosphere and Oceans.

** Madoka Fukushima, 郵政省電波研究所。

第1表 シンポジウム概要

セッション	22 (月)				23 (火)			24 (水)				25 (木)		
	1	2A	2B	2C	3A	3B	4A-B	5A	5B	6A	6B	7A	7B	8
USA	■ ■	○	○		○	○	○ ○ ○ ○	○ ○	○ ○	● ● ● ●		○ ○ ○	○	+ +
Canada	■			○			○		○	●			○ ○	+
Australia			○							●			○	
Japan			○							●				
W. Germany			○											
France					○	○				●	□			
Italy				○		○				●				+
Sweden								○		●				
S. Africa		○												
India									○	●				

- 1 Opening session
 2A, 2B, 2C Acoustic remote sensing instruments and techniques
 3A, 3B Micrometeorological studies
 4A-B Acoustic remote sensing of fluid processes in the oceans
 5A, 5B Mesoscale studies in the atmosphere
 6A Group report
 6B Calibration and standardization of instruments--- Workshop
 7A Acoustic remote sensing in the oceans
 7B Sodar based measurements for environmental studies
 8 Raporteur session

表に相対的比重が増大してきているのを目のあたりにして、隔世の感がした。なお、このシンポジウムで発表された論文はすべてこのシンポジウムの Proceedings に収録されている。

2. シンポジウムの背景

このシンポジウムの開催準備は関係者の間でかなり前から進められていたようである。シンポジウムのホスト役、カルガリ大学の T. Mathews 教授から筆者へ顧問委員会のメンバー就任が要請されたのは、一昨年4月のことである。

ここで本シンポジウムの背景を振り返ってみることにする。音波レーダ開発の経緯は、筆者による“ソーダ観測

の現状”(福島, 1975)などに記してある。最初に音波レーダを開発した L.G. McAllister 氏の報告が JATP 誌に発表されたのは、1968年のことである。その後、この大気音波探査技術は、急速に進展しながら、世界各地で応用されるようになった。このような情勢のもとに、第1回の Workshop in Atmospheric Acoustics が1972年 Boulder で、次いで第2回は1973年 Oklahoma で開催された。これは正確に言えば大気音響学研究会というべきであるが、大気音波探査研究集会(福島, 1973)と名づけた。今回のシンポジウムの背景をなす音波探査研究会一覧に電波研の寄与を添えたものを第2表に示す。なお、対象を大気だけでなく海洋を含めるようになったのは、1979年(7) Salt Lake City 以後である。

第2表 音波探査研究会一覽.

	開催年	会 議 名	備 考
(1)	1972	Workshop in Atmospheric Acoustics (Boulder)	速報送付
(2)	1973	Workshop in Atmospheric Acoustics (Oklahoma)	論文発表
(3)	1975	Workshop in Atmospheric Acoustics (Toronto)	論文送付
(4)	1975	URSI XIIIth General Assembly (Lima) Session on "Theory and results of the lower atmosphere by acoustic methods"	総合報告 発表
(5)	1976	Workshop in Atmospheric Acoustics (San Diego) ASA, Special Atmospheric Acoustics Sessions	論文送付
(6)	1977	Workshop in Atmospheric Acoustics (Denver)	—
(7)	1979	Workshop in Atmospheric Acoustics (Salt Lake City) ASA, Acoustic Remote Sensing Sessions	—
(8)	1981	International Symposium on Acoustic Remote Sensing of the Atmosphere and Oceans (Calgary)	論文発表

3. 電波研からの発表

今回のシンポジウムにおいて、電波研からの発表は、セッション2Bでの“可搬型ラスレーダ”とセッション6Aでの“日本における大気音波探査の現状”の2件である。

“可搬型ラスレーダ”は、福島ら(1980)が開発した445 MHz ラスレーダによる高度200~300 mまで、ときに600 m位までの気温高度分布の実時間測定の実状、ラスレーダ測定に及ぼす風の影響、ラスレーダ反射電波のスポット状集束特性の報告に加えて、890.5 MHz 上層風ラスレーダの予備の実験結果、すなわち、6×6台の受信機及び受信アンテナ群による反射電波強度集束像追跡方式による高度300 m位までの風向風速高度分布測定結果を報告したものである。

ラスレーダは、数百mまでの気温あるいは風向風速の高度分布をたかだか数秒の音波伝搬時間内で測定する新しい測器であるので、ブラウン管上に数秒で伸びてゆく温度曲線の実時間表示データなどを映写時間5分の16ミリ映画にして説明を行った。

二、三の質疑応答はあったが、従来不明確であったラスレーダ測定の不安定性の要因として、風の影響による音波波面の水平移動をラスレーダ反射電波集束像として捕捉した映画による説明であったので、大方の理解と共鳴が得られたようだ。こんなわけで、この日の夕刻のパーティでは電波研の発表が今日のハイライトとまで言って

くれた人もいる程であった。また、カナダ AES の W. Clink 氏は、“装置と技術”について総合報告をした I. A. Bourne 教授に対して、彼の講演に日本の寄与が欠落していたことを指摘してからかっていた。低層大気中の気温のリモートセンサは現在のところ、ラスレーダが最有望であるので、カナダ、アルバータ州環境局の H.S. Sandhu 氏らのように、電波研で開発したラスレーダについて詳細資料が欲しいとか、市販されるまで何年かかるかなど、相当な関心をもった人達もいた。

“日本における大気音波探査の現状”については、電波研はじめ、日本国内各研究機関でのここ数年間の進展をまとめて予稿として提出しておいた。内容は、電波研でのラスレーダ開発、及び逆転層による UHF TV 波 117km 通路における電界上昇、を初めとして、公害資源研における音波レーダ利用による大気境界層研究、電力中研におけるドブラ音波レーダの長期性能評価試験、気象研におけるドブラ音波レーダ開発計画、京大防災研における簡易型ラスレーダ開発実験などに加えて、電波研で開発した音波レーダ性能較正法の説明を述べたものである。6Aセッション4番目の登壇で、前述のような大気音波探査関連研究項目のカタログ的報告に加えて、後半では新しい音波レーダ性能較正法について詳しい説明を準備していた。しかし、講演者急増のため持時間は半減されてしまい、後半については途中で時間切れの赤ランプ点滅のこともあって、要旨は述べたつもりであるが、ど

ここまで理解されたか心残りである。しかし、6 B “装置の較正と標準化”セッションにおいて、司会の A. Weill 教授から音波レーダ較正法について発言を求められたので、追加説明をしておいた。なお、音波レーダ較正法については、当方の提案した標準反射体（コーナレフ）利用による方法より、気温変動強度の直接測定値との比較に大方の関心と興味が集中していたようだ。

なお、最終セッション 8 装置と技術に関する報告では、I.A. Bourne 教授が、補足的コメントとして、気温高度分布が確実に測定できるのは RASS だけであるので、電波研からの発表を高く評価しながらも、装置に費用がかかり過ぎることが難点であると指摘していた。RASS と並べて E.H. Brown and R.J. Keeler (NOAA) による“音波による気温のリモートセンシング”の可能性を検討した報告に対しては、音波レーダの延長線上という安易性から、大いに期待されるという評価を与えていた。これは、多重周波数のパルス音波を使用して、単一もしくは複数の層における温度測定ができる Echometer についての説明と、約 50 m の高度及び 450 m の高度における気温の時間的変化測定例とを示したものである。Echometer は、音波の媒質中での位相変化を検出するので、大気中の温度だけでなく海中での測定にも応用できる。

4. トピックス

シンポジウムにおける主なトピックスをセッションごとに選択して列挙しておく。() 内の数字はアブストラクト番号である。

(2. 3) 音波による温度のリモートセンシング
E.H. Brown and R.J. Keeler (米国, NOAA)

前節参照

(2. 5) 可搬型ラスレーダ
M. Fukushima *et al.* (日本, RRL)

(3. 2) ソーダ利用の微気象
D.W. Thomson (米国, ペンシルベニア大学)

気象変量高度分布に及ぼす海岸断崖効果を究明するため、1978 年夏デンマーク、リソで実施された米-デンマーク共同実験データをもとにして、ソーダから得られた C_T^2 値と乱流測定からの C_T^2 値との比較、及び C_T^2 プロファイルと境界層スケーリングを用いた AMTEX, GATE 等いくつかの実験結果の検証を報告している。

(3. 3) ドブラ音波レーダ利用による大気境界層内ブリューム特性

O. Taconet (フランス, CRPE)

大気境界層内における対流活動及び対流セル構造の 3 軸ドブラソーダによる研究で、混合層のモデル化及び日出後の逆転層上昇現象に対して妥当な情報を提供している。

(4. 7) 海底から探査した海面高度及びサーモクライン層変化

D. Randolph (米国, Rhode Island 大学)

Florida 海峡の海底に設置したソナーと圧力計による、超音波伝搬時間と圧力変化とから表題の測定を行った結果の報告で、6~10日周期が見出されている。

(4. 8) FLIP からの多量周波数ドブラソナー測定
R. Pinkel (米国, Scripps 海洋研)

海洋上部における内部重力波に伴う速度場についての新しい知見が紹介されている。

(5. 1) 複雑な丘陵環境における音波の屈折集束

D.W. Thomson (米国, ペンシルベニア大学)

表題の測定を行ったところ、期待値以上の音波強度を示すところが多く、acoustic ducting 効果を示唆するものである。

(5. 3) コンコルド飛行中に発生する超長波音波から成層圏の風系と気温分布の研究

L. Liszka (スウェーデン, キルナ地球物理研)

5,000 km 以上離れたところで、コンコルド飛行は検知可能である。音波の到来角、位相速度を 4 点観測から導出して、成層圏風系を解析している。

(5. 7) CHINOOKS 開始時期における気温及び風速の Turbulence

S.K. Aggarwal, S.A. Leelananda and T. Mathews (カナダ, カルガリ大学)

表題のような極端な気象状態における音波レーダネットワーク観測結果の解析である。ロッキー山脈越えの CHINOOKS (フェーン現象による温風) が下層の寒気を覆う際、その境界面には波動が発生して境界面遷移層内で C_T^2 値が異常に増加する。

(7. 5) 市販のドブラ音波レーダによる風速測定の USER 経験

D.D.J. Netterville (カナダ, シンクロード社)

ドブラ音波レーダ XONDAR, Model 600 風向風速計について信頼性、保守作業等を実動 2 年間の期間にわたって集約したものである。

(7. 6) ALBERTA OIL SANDS 地域における音波レーダ測定

F. Fanaki (カナダ, 大気環境局)

逆転層出現監視を主目的に実施した音波レーダ測定データをとりまとめたものである。

(7. 7) オーストラリア電力産業における音波レーダの使用

I.A. Bourne, O. Mace, P. Best and M. Kanowski (オーストラリア, メルボルン大学, ブリスベン発電所)

1978年11月以来, 低風速時における発電プラントからの汚染物質排出過程, 局所的循環過程解析のため, 3軸ドブラ音波レーダによるルーチン観測を実施した結果の報告で, 音波レーダについて user からのコメントが含まれている。

5. あとがき

最後に, 二, 三の印象を記しておきたい。まず, 大気汚染への応用を扱った7Bセッションにおいて, ペンシルベニア大学の D.W. Thomson 教授は, その総合報告の中で, 次のように音波レーダの積極的な応用を提唱していた。すなわち, 石炭燃焼の発電プラント周辺における大気環境規準規制に伴う SO_2 濃度制御について, 気象状態に応じて硫黄分の異なる燃料を切り替えて使用するシステム, SCS を採用するのが最も経済的と評価できる。どの発電所でも, SCS の採用により週5万ドル以上の燃料費節約になると見込むことができる。SCS は, 一般に得られる気象データに加えて音波レーダ観測データを, プリウムモデル, 逆転層モデルを併合した拡散モデルに入力して, 燃料切替制御を行うという計画である。混合層高度測定の場合, 従来の気象観測塔では何としても測定高度が不足するが, ドブラ音波レーダは十分なデータを提供する能力をもっている。また, 音波レーダでは気温高度分布の絶対値は求められないが, 安定度を推測するには十分である。ただ, 音波レーダの効果的利用を妨げているのは user-oriented の大気汚染対策スキーム

が確立されていないからであると述べていた。このように, user を意識した応用研究が二, 三にとどまらず散見されていた。

なお, 音波レーダネットワークの実際面での利用は進展していないが, 大気境界層研究には, 例えば, サンフランシスコ湾岸地区, カルガリ地区, ペンシルベニア中央部, あるいは西部ノースカロライナ等々で成果を挙げている。

また, 今回のシンポジウムでは大半が中堅または新進気鋭の研究者で占められていたが, 紅一点, フランス, CRPE から Taconet さんという若い女性が出席していた。一昨年, 3軸音波レーダによる対流性セル構造に関する論文 (These de 3e class) を送ってくれていたが, 著者が女性だとは夢にも思わなかった。セッション3Aをはじめ, シンポジウム夕食会, コロムビア氷河遠足と, いずれも彼女の存在が花を添えていた。なお, 今回のシンポジウムには, 電波研のラスレーダ製造, 性能評価実験に協力された日本無線株式会社の石井洋右氏が同行した。

追記 今回に続く第2回シンポジウムは, 明年1983年8月29日から9月1日までの4日間, ローマ大学で開催されることになった。

文 献

- Brown, E.H. and F.F. Hall, Jr., 1978: Advances in atmospheric acoustics, Rev. Geophys. Space Phys., 16, 47-110.
- 福島 圓, 1974: 1973年大気音波探査研究集會に出席して, 天気, 21, 257-262,
- , 1975: ソーダ観測の現状, 日本音響学会誌, 31, 458-462.
- , 秋田錦一郎, 増田悦久, 1980: ラス・レーダ (電波音波共用探査装置) の開発, 電波研究所季報, 26, 555-567.