

1973年大気音波探査研究集会に出席して*

福 島 圓**

1973年11月5日～7日の3日間、大気音波探査研究集会在米国 Oklahoma 州 Norman にあるオクラホマ大学で開催された。会場はオクラホマ大学キャンパスの最南部にある OCCE (Oklahoma Center for Continuing Education) の中心的施設 Forum Building で、この建物は大小の会議室をその中心部と A, B, C の三つのコーナーに配置した六角形のユニークな設計の建築である。周辺には外来者用に大小の個室を備えた宿舎 Sooner House を始め、職員、学生および外来者のための Restaurant などが具合よく配列されており、落ち着いたキャンパスの雰囲気とともに静かに暖かく迎え入れられた感じであった。

今回の Workshop は 1972 年 7 月 6 日、7 日 Boulder で開かれた第 1 回の Workshop の最終討論の際、第 2 回は 1 年ないし 1 年半後に開催するのが適当であるということと、次回はオクラホマ大学の Gene Walker 教授が host 役を負って 1973 年の適当な時期に Norman において開催されることが決められていた。そんなわけで Prof. Walker からの 7 月 20 日付の最初の Announcement では前年 Boulder での第 1 回の Workshop の成功のあとをうけて第 2 回を開催する。joint host はオクラホマ大学、College of Engineering と NASA, Aerospace Environment Division それに NOAA/ERL/WPL の三者として、日程は、第 1 日 Theory and Application, 第 2 日 Hardware and Development, 第 3 日 Meteorology and Monitoring とする。また原則として午前は formal paper で 1 件 45 分、午後は informal paper で 1 件 15～20 分とし、lively floor discussions をしたいというものであった。予定というものは兎角狂い勝ちなものである。日程の案配は全然くずされてしまった。また formal paper, informal paper の区別はなくなり、総じてだしものは小粒という感じであった。ただこの Workshop は活発な討論をするという一項だけは活かされていたよ

うに思う。つづいて届けられた 10 月 5 日付の Announcement では 30 名以上の出席予定者のほか 20 名以上の“maycome”出席希望者があることと米国からの主な発表予定者 7 名の題目のほか海外からの発表予定者として、電波研：筆者、AAEC (オーストラリア原子力委員会)：G.H. Clark, トロント大学：R. Bennett, ハンブルグ大学：G. Stilke と並べたてるなどして目下出欠を考慮中の人達に参加を呼びかけていた。さらに 10 月 22 日付 letter では出席者数は 50 名以上に膨れたことと 11 月 5 日、6 日、7 日の暫定的日程表が送られてきた。実際、蓋を開けてみると、出席者総数は 68 名で内訳は大学関係 27 名、国立準国立機関 33 名、民間会社 8 名で国別では米国 60 名を筆頭にカナダ 3 名、英国、オーストラリア、フィンランド、スイス、日本各 1 名であった。

出席者は所属機関を書き入れた名札を胸につけ、その上各自の席にも大きな名札を立てているので暫くするとかなりの人達を覚えることができる。中には飛行機の航跡中の Vorticity 測定などの予算を握っている FAA のお役人風の人達もいれば、会場近くに自社の Sounder を持込んでその売込みをやっている Sales Engineer 風の人達まで種々雑多なのが印象的であった。なお単に情報集めに専心しているといった感じの人達もいて、それぞれの講演のあとしつこい質問をして異様な雰囲気醸し出すこともあった。1 年前の 1972 年 IUCRM Colloquium 出席者の Dr. Richter と Dr. Gage に会う。Gage さんは IUCRM で安定成層中で臨界 R_i 数近くの数種の安定度領域における shear flow についての理論的検討結果を報告していたが、話の序でに最近、電波研の田中浩君によって stratified shear flow のなかでの有限振幅擾乱の数値実験がなされたことを紹介しておいた。彼は第 1 日夕方のカクテルパーティーの席上、ニクソン大統領の impeachment について、日本での反響を聞いてきたので、一頃日本の三大新聞のいずれもかなりの紙面を割いて報道していたことを話してみたが、それだけでは満足しないで前のお前の意見はどうだとたまたまかけてきたので私は conservative な考えの持主だから米国

* Report on 1973 Workshop in Atmospheric Acoustics

** M. Fukushima 郵政省 電波研究所

第1表 1973 Workshop in Atmospheric Acoustics

AGENDA

1973年11月5日, 6日, 7日

-
- 第1日 8:00~9:00 登 録
9:00 開会挨拶
(Dr. W.R. Uptegrove, Dean of Engineering)
-
- 第1日 9:15~12:00 1st Session Instrumentation I: Dr. G. Walker (座長)
(A 1) F. Hall (NOAA/WPL), "Status of Acoustic Echo Sounding at NOAA/WPL"
(A 2) E.J. Owens (NOAA/WPL), "Design and Construction of a Portable Monostatic Echo Sounder"
(A 3) R.C. Bennett (Toronto U.), "Acoustic Radar at the University of Torlonto"
(A 4) G.H. Clark (AAEC), "The Acoustic Sounding Research Program of the Australian Atomic Energy Commission"
(A 5) J.D. Parry (NOAA/NWS), "An Operational Acoustic Sounder and its Practical Applications in Forecasting"
-
- 第1日 13:00~17:00 2nd Session Instrumentation II: Dr. F. Hall (座長)
(B 1) L. Watson (Oklh. U.), "Bird Migration Study"
(B 2) M. Fukushima (RRL), "Sodar Probing of the Ordered Motions in the Atmosphere"
(B 3) W.T. Cronenwett (Oklh. U.), "Operation at the WKY-TV Site"
(B 4) J.W. Wescott (NOAA/WPL read by F. Hall), "Operation of a Sounder in a High Mountain Valley in Winter"
(B 5) A.F. Zahrai (Oklh. U.), "Acoustic Radar Receiver"
(B 6) R. Morton (Oklh. U.), "Timer for Acoustic Sounding Systems"
(B 7) P. Russell (SRI), "Vorticity Measurement"
-
- 第2日 8:00~13:00 3rd Session Meteorology I: Dr. D. Beran (座長)
(C 1) E.H. Brown (NOAA), "Theoretical Approaches to Acoustic Echo Sounding"
(C 2) J.H. Gaynor (NOAA/WPL), "Flux and Vorticity Measurements with a Sounder Array"
(C 3) D.W. Thomson (Pen. State U.), "Analysis and Simulation of Acdar Signal Phase Fluctuation"
(C 4) J. Richter (NELC), "Observation at Wallops Island"
(C 5) R. Inman (Oklh. U.), "Meteorology"
(C 6) E.L. Miller (Argonne National Lab), "Acoustic Sounding in Metromex"
-
- 第2日 13:00~17:00 4th Session Meteorology II: Dr. R. Inman (座長)
(D 1) A. Kjellass (NOAA/WPL), "Gravity Wave Velocity Measurements with a Sounder Array"
(D 2) W.D. Neff (NOAA/WPL), "Observations on Scattering: Theory Application and Experimental Verification"
(D 3) C.C. Easterbrock (Calspan Corporation), "Detection and Measurements of Artificially Generated Thermal Plumes"
(D 4) L.J. Griffiths (Colo. U.), "Application of Signal Processing Techniques in Acoustic Echo-Sounding Systems"
(D 5) E. North (Stanford Center for Radar Astronomy), "Radio Acoustic Sounding System for Measurement of Temperature and Other Atmospheric Parameters."
-
- 第3日 8:00~12:00 5th Session Meteorology III: Mr. D. Parry (座長)
(E 1) P.B. MacCready, Jr. (Aero Vironment Incorp.), "Application of the AV Monostatic Acoustic Sounder"
(E 2) B.E. Holmgren (Coll. Alaska), "Acoustic Sounding of Inversions in Interior Alaska"

- (E 3) R. J. Greenfield (Pen. State. U.), "Boundary Layer Temperature Profiles Inferred from Refractive Transmissions of Sound"
- (E 4) M. Teufel (Pen. State U.), "Long Baseline Bistatic Acdar Measurement at 200 Hz"
- (E 5) W. Nater (ETH Honggerberg HPP), "Application of Sounder for the Detection of Gravity Wave"
- (E 6) M. Balsler (.....), "Wind and Vortex Sensing by Acoustic Doppler Radar"

第3日 13:00~16:00 6th Session Doppler: Dr. W.T. Cronenwett (座長)

- (F 1) D.W. Beran (NOAA/WPL), "Acoustic Doppler Wind Measuring: Present Status, Future Potential"
- (F 2) A.P. Stansbury (KMS Industries, Incorp.), "Instrumentation for Acoustic Doppler Ranging"
- (F 3) G. Walker (Okh. U.), "Techniques to Determine Doppler Velocity"

の歴史上かつて無かったことを起こすべきではないといっておいた。この答に不満にさらにニクソン大統領に対する攻撃をするので、それは higher level の市民の意見ではないのかといったら悲観的な顔をしていた。何しろ会計年度途中で政府職員の数を減員する政策を出したり、科学研究費を大幅に削減するなど米国内の研究機関で生活している連中が集まっての世間話は必ずニクソン大統領を目の敵のようにしていたのを思い出した。

今回の Workshop 運営の裏方の苦勞話は知る由もないが registration fee 10ドルで、出費について目立つものはカクテルパーティーと各 session 中途のコーヒープレイクのサービスとルーズリーフ12枚入りのペーパーホルダの配布だけのようだった。もっともテキパキした2人の初老の秘書のほか会場での雑用はオクラホマ大学の若手のほか NOAA/ERL/WPL の Hall さんの研究室は technician を含めて殆ど総出で参加していたので host 側の何人かは見えないところで立働いていたようである。この Workshop は基金がないから出席旅費補助の funds は皆無で日本政府(科学技術庁)から唯一人金銭的に何の負担も感ずることなく出席することができたのは初めての経験で、気楽な気分を味えて幸せであった。

余談はさておき、配布された日程表をもとに講演の取消し、飛入りを整理したのが第1表である。これによって今回の Workshop の全容動向を察知することができよう。なお筆者の聞きえたところのトピックスを拾い上げてそれらの概要を紹介したいと思う。

(A 1) NOAA/WPL における音波探査研究の現況
(F.F. Hall: NOAA/WPL)

1台のモノスタチックソーダつまりもっとも単純な音波探査装置を用いて、1971年末から1972年3月にかけての4か月間の連続測定を通常のラジオゾンデ観測地点

で行った。両者から得られる逆転層の発生高度を19例について検べたところソーダ観測から得られる逆転層の高度はゾンデ観測から得られるものに較べて若干低くなる傾向にあることが確かめられた。この研究は NOAA/WPL と EMSU (Environment Meteorological Support Unit) と共同して実施したものである。

ドップラソーダを利用して Pibal 観測に代るような高度1kmまでの上層風連続観測装置が略々完成し、デンバー国際空港の滑走路近傍に設置して最終的な調整を行っている。これは master sounder 1組と bistatic-mode の受信機2組を組み合わせたもので使用周波数は大気伝搬損失を考慮して比較的low周波の1KHz、出力は1KW(電氣的)、直角2方向に水平距離約1km離れたところに受信アンテナが固定して配置されている。送受信とも開口径約3mのホーン-レフレクタ型アンテナで開口面が丁度、周囲の地面と同一レベルになるよう地中に埋設されている。高度1kmまで約30m毎30点の高度における3方向のドップラ風速の平均から U, V を算定する。各点の風向風速はすべてミニコンで処理され、観測時刻、諸元ならびにミニコンで算定された5分間平均の風速プロフィールは空港管制室内のブラウン管上に図式表示され必要に応じてハードコピーをとる仕組みになっている。この平均時間5分はかなりの実際テストの結果決められた模様であった。

ソーダ観測 Tropogram から一見してプリュームの存在を知ることができるが、このような場合における Flux, Vorticity, 発散の算定をレーザ光シンチレーション測定と組み合わせて行う試みに成功した。

また、ソーダの探知能力の絶対的較正のため150m観測塔頂部に取付けた電波反射器同様のコーナーレフレクタを使用して略々満足する結果を得た。それからソーダケース-サウンダと呼ばれる取扱い簡便な可搬型ソー

ダ試作の紹介が行われた。

(A 2) 可搬型モノスタックソーダの設計と試作
(W. J. Owens: NOAA/WPL)

小型可搬型ソーダで装置の電気回路部分は Mark II と略々同様で、直径約 1.3m のパラボラアンテナは 3 個に分解、格納できるようにしている。このアンテナ部分と送受信機ならびにミニファクシミルレコーダはそれぞれアルミ箱に収納されるように出来ており 2 箱の総重量は約 40kg で取扱いの簡便さを誇っている。

(A 4) AAEC における音波探査研究計画 (G. H. Clark: オーストラリア原子力委員会)

シドニーから 120 哩の Jervis Bay における 6 カ月間のソーダ観測 Tropogram を 30 分毎に区切って 14 種の類型別分類を試みたものである。ソーダはメルボルン大学物理学教室提供のもので使用周波数は 1,300Hz、観測高度は 4,500ft である。類型別分類と観測時の気象状態とを関連づけるための充分な back up の気象観測がなされていないが風向風速の観測から推定される turbulence との関連、層状エコーの上昇下降に伴う地上風速の状況などを調査したところを報告している。

(B 1) 鳥の移動の研究 (L. Watson: オクラホマ大学電気工学教室)

この一見、奇妙な表題のソーダ観測は数週間という相当長期間の連続観測中の孤立した異常エコーの発見から始まるのであるが、数羽の鳥からのエコーであることの確認は 2 名の観測者ならびに写真撮影で客観性をもたせていた。使用したソーダは探査距離: 300~1,500m、使用周波数: 1,500Hz で直径約 3.5m のパラボラアンテナはサーチライトの架台のようなものに設置され任意の方向に向けられるようになっていた。

(B 2) ソーダ観測より見出されるプラネタリー境界層内の Ordered Motions (M. Fukushima: 電波研)

電波研におけるコンクリートパラボラアンテナを使用した固定式ソーダ観測概要を報告したものである。観測結果のうち、いくつかの典型的なソーダエコーパターン、2 周波数による同時観測あるいは層状エコーと低層ゾンデ同時観測結果についての説明を行ったのち、1 年間の連続観測結果を概観してソーダエコーから見られるプラネタリー境界層の構造は充分混合された乱流状態ではなくて、かなりの部分 Ordered Motions によって支配されていることが推定されることを結論としたものである。

この論文は back up の気象観測データが乏しいことからかあるいは遠来の客にはさっさと話をさせてゆくりカクテルパーティーに招待しようというためかどうか分らないが Meteorology の session ではなくて Instrumentation の session に入れられていた。討論ではソーダ観測を日常の天気予報業務に早く応用したいと言っていた NOAA, National Weather Service の Parry さんから観測地、東京の概観的な気象状態の説明を求められるところから始まった。あれこれ、やりとりがあったが Parry さんの追求に対しては司会の Hall さんが貴方は東京で天気予報をやりたいのかという茶目気のあるとりなして終止符を打つこととなった。

(B 3) WKY-TV 実験場におけるソーダ観測 (W. T. Cronenwett: オクラホマ大学電気工学教室)

1971年夏から WKY-TV 放送塔に隣接する実験場で実施しているソーダ観測の概要ならびに将来計画についての報告である。地上高 500m という巨大な放送塔を利用して 5 カ所の高度における微気圧変化計観測を併用して重力波研究を計画している。現用のソーダは使用周波数: 1,500Hz、電気的出力: 150W、受信機帯域幅: 50 Hz、アンテナは直径約 3.5m のパラボラでサーチライトの架台のようなものに設置されている。2 台独立のセットを用意しており 2 周波数観測にも意欲をもっていた。

(C 2) サウンダ (ソーダ) アレイによる Flux と Vorticity の測定 (J. E. Gaynor: NOAA/WPL)

Boulder WPL の近くの広大開闊な Table Mountain 実験場の中で斜辺の長さ約 500m の二等辺直角三角形の 3 頂点に配置したソーダ観測からは高度約 600m までのブリュームなどの現象を常時監視するほかドップラ風速より鉛直風速変動、エコー強度から気温変動を測定する一方、三角形の各辺を水平伝搬路とするレーザ光のシンチレーション測定から各辺を横切る水平風速が算定できることを組合せた実験でブリュームのサイズが 400~700 m と求められたほか、平均時間が数秒から数分の Heat Flux, Momentum Flux それにこのような小空間における Vorticity、収斂発散が初めて算定されたことを示し、ソーダあるいはレーザといった最新技術の応用としては優れた着想のように思う。

(C 4) ワロップス島における観測 (J. Richter: NELC)

晴天時の対流現象の力学研究を目的として 1973 年 10 月下旬に実施された総合観測である。参加機関は Naval Electronic Laboratory Center (NELC) と Johns

Hopkins University, Applied Physics Laboratory それに NOAA, National Weather Service である。観測装置の主なものには NELC の FM-CW レーダ (波長: 10 cm, 空間的分解能: 1 m, アンテナビーム幅: 4度), NOAA, NWS のソーダ, ワロップス島追跡ステーションの大型レーダ 3 台それに飛行機搭載の温度・湿度・大気屈折率および静電場測定装置で飛行機観測は高度間隔 200ft 毎の水平飛行によって行われた。観測後、数日しか経っていないので Richter さんはスライドもなしで報告したのち、これら各種の観測結果の相互間には何等矛盾するところがなかったとだけ述べていた。いずれ重厚な論文発表があることを期待させるものである。

(D1) サウンダ (ソーダ) アレイによる重力波速度の測定 (A. Kjelaas: NOAA/WPL)

1972年7月8日コロラド州南東部にある Haswell 実験場において夜間逆転層より上の層状エコーに見られた波動についての解析である。主な観測データは三つのソーダ Tropogram と気象観測塔の上部, 下部, その他数点に設置した微気圧変化計記録でソーダ観測および微気圧計観測から求めたいくつかの重力波パラメータはかなりの程度一致するという結果が得られている。すなわち一例では波長, 周期, 移動速度, 移動方向はそれぞれ, 3.5km と 3.6km, 368秒 と 365秒, 9.7ms^{-1} と 10ms^{-1} および 336° と 370° である。またソーダ観測から得られた wave の平均高度は 300m, 振幅は 175m である。これらの解析から接地性逆転層はそれより上の層の波動によって影響されることが明らかにされた。

(D2) 散乱理論の応用と実験的検証についての観測 (W.D. Neff: NOAA/WPL)

1972年 Haswell 実験場における観測結果の解析である。まず 150m 気象観測塔に設置した温度差計観測から求めた温度変動構造関数の定数 C_T とソーダ観測から求めた C_T とがかなりの精度で一致すること, ついでソーダ観測で平均時間30分の C_T^2 高度分布は略々高度の $(-4/3)$ 乗に比例することを見出している。それからパルス幅: 20msec (空間的分解能: 約 3m) のソーダ 2 台を用いて, 鉛直上方と斜方向との同時観測から波動の進行方向に対して直角方向で送信ビームの照射位置を適当に選定することにより層状エコーの波動の厚みの場所的变化を観測することができて, しかもこれが流線計算結果から予測されるものと一致することを検証している。

(D3) 人工的に発生させた Thermal Plumes の検出ならびに測定 (C.C. Easterbrock: Calspan

Corporation)

1972年7月8日さる空軍基地においてなされたプルームの境界測定についての報告である。バーナーの列を風上から風下へ50m間隔で7列配置して点火した上でソーダとライダーでこの人工的プルームの上方の境界を測定した。風上側では当然プルームの上限は低く, 中央から風下側にかけて略々一定高度75mであることが分った。

(D5) 気温ならびに他の大気パラメータ測定のための RASS: 電波音波探査装置 (E. North: Stanford 電波天文センター)

RASS すなわち強力なパルス音波 (低周波) 送信装置で上空に空気の粗密を使用レーダ (VHF 帯) の波長の $1/2$ 間隔で人工的に作り, これをトレーサとして反射エコーのドップラ周波数をレーダで探査する装置である。この装置を利用して高度 3,000m までの風速気温プロファイルを算定する試みに成功しラジオゾンデ観測とよく合致する結果を得ている。ただしホーン-スピーカアレイを downward に設置してその反射波を上空に打上げるという音響変換器の入力に 3~5 kW を必要とするので, これによって生ずる騒音が不可避という欠点の問題になっていたようだ。

(E1) AV モノスタック-ソーダの応用 (P.B. MacCready, Jr.: Aero Vironment 会社)

自社の移動式ソーダの紹介である。アンテナ直径 1.3 m で記録計を含めた全重量僅かに 40kg である。使用周波数: 1,600Hz, 送信出力: 35W (電氣的), 送信パルス幅とそれに対応して受信機帯域幅はそれぞれ 3 種類可変で, また送信パルス繰返し周期は 6 秒, 12 秒の 2 種類を切換えて使用する。これを使用すれば逆転層を始め飛行機航跡の Vortex の検出なども可能という説明 (宣伝) がなされた。この Vortex に対してはソーダ使用波長の $1/2$ のスケールの turbulence による後方散乱として説明するのは不可であるというコメントがあった。

(E2) アラスカ内陸における逆転層の音波探査 (B.E. Holmgren: アラスカ大学)

アラスカ内陸における逆転層研究の報告である。観測はソーダを始め, 50m 気象観測塔に設置した超音波風速気温計それに係留気球による風速プロファイルと気温プロファイルである。解析はかなりの項目にわたっていたが, 下層ジェット状風速プロファイルと波動状ソーダエコーとがよく対応することを見出していた。

(E5) 重力波検出のためのソーダの応用 (W.

Nater: ETH Honggerberg HPP)

アルプス越えの南風がスイスにもたらすフェーン現象に伴う重力波検出のためにソーダを応用した報告である。このようなフェーン現象の場合はアルプスを越えた上層の気流の風速： 20ms^{-1} ，気温： 20°C ，湿度： 25% に対して下層に滞留している部分では風速： 0.5ms^{-1} ，気温： 0°C ，湿度： 95% となることも珍らしくないという。このように性質の異なった空気の境界にはシャープな急変層が形成され、波長 $500\sim 1,000\text{m}$ 程度の K-H wave が見られるという。ここまでの報告ならば誰も異論はない筈であるが、このような K-H wave による気圧変動と“頭痛”との相関が認められて、このような場合には毎日、300人の被験者を対象にした調査が行われたことに言及したので、さまざまなコメントが提出された。最後に NELC の Richter さんが、そのような重力波を検出するならば何等かの方法で直接測定を試みてはどうかというコメントに対しては、そんな大きな予算はどこから出せるのかという答えに一同爆笑となって終りとなった。

(F 1) ドップラソーダによる風速測定：現況，将来

見通し (D.W. Beran: NOAA/WPL)

デンバー国際空港滑走路わきに設置されたドップラソーダについての報告が繰り返された。そのなかで (A 1) Hall 氏の報告に付加された主なところは Master Sodar と二つの受信装置だけでは高度 1km の全領域について満足な結果が得られず低高度探査のため補助送信装置 (0.1kW) を直交する 2 辺それぞれの中点に設置することによって解決したことである。

つづいて、将来の都市計画に採用すべきソーダ観測網について述べていた。直径 10 哩位の架空都市をおよそ 4 象限に分けて、複合工業地帯は第 1 象限の一部分に限定しその近傍には Tristatic Sodar System を第 2, 第 3, 第 4 象限にはそれぞれ Bistatic Sodar, Bistatic Sodar, Monostatic Sodar を配置するというものである。ただし第 2, 第 3 象限の一部の地形は第 1, 第 4 象限に較べていくらか高い台地と仮定するというあたりになると、とんと理解できなかったが、大気汚染監視システムの一部としてソーダ観測網を採用することは比較的安価で有効であろうということには全面的に賛意を表す。