

1976年オーストラリアで実施された 乱流計測器の国際比較観測¹⁾

光田 寧² 佐橋 謙³ 花房龍男⁴
文字信貴⁵ 塚本 修⁶

1. はしがき

大気乱流や大気拡散の研究には気象要素の瞬間的な値に関する知識が必要であり、一般の気象観測用測器をそのまま用いることはできない。そして、そのような目的を満たすものは特殊な計測器であるため商業的に販売されているものは少なく、各国の研究者は独自の立場で計測器を開発し使用しているのが現状である。しかし、それらはいずれも測定原理や特性において異なったものであるため各研究者の発表する観測値を直接比較検討することが困難なことが多く、この面の研究の国際的交流に大きな障害となっている。これから述べる乱流計測器の国際比較観測 (International Turbulence Comparison Experiment; ITCE) は、この点を克服すべく計画されたもので、現在各国で用いられている研究用計測器の相互比較観測を行ない、各国で独立に開発されまちまちの特性を持っている乱流計測器による観測結果を、統一的に比較可能なものにする根拠を得るための努力をしようというものである。これは、国際機関によって決議された一連の研究計画に従ったものであり、今回オーストラリアで行なわれたものはその第3回目当たる。

この計画に関連した第1回目の国際共同観測は1968年にカナダの Vancouver で、また第2回目は1970年にソ連の Tsimlyansk で各々実施されている。今回は、1976年9月末から11月上旬にかけて実施され、日本からも初めて正式に参加することができたのでここにその報告をしたい。

2. 今日までの経過について

今回の ITCE に至るまでの経過は次のようなものである。すなわち、1966年に京都で開催された IAMAP と IAPSO の合同会議の際に開かれた Air-Sea Interaction Commission の席上で、接地気層の乱流特性の観測結果を含む論文において各々の測定器の差あるいは解析方法の差によって結果が大きく異なってくるものがしばしばあることが指摘され、この問題を国際的な協力の下に本格的に解決するために努力を行なうことの必要性が認められその実行が決定された。この時のこのような議論の背景には、それに先立って行なわれたいくつかの個別の比較観測の結果からこのような問題点が明らかになってきたということがあったわけである。すなわち、1965年の夏には、光田および花房らが京都大学で開発したパルス方式の超音波風速温度計を持って日米協力事業の一環として渡米し、J. Businger を中心にワシントン大学で開発された位相差方式の超音波風速計との比較観測を行ない、風速および温度変動のスペクトル、コスペクトルについてはかなり良く一致しているが絶対値についてはかなり差のあることが見出された (Businger *et al.*, 1969)。続いて1966年には、オーストラリアに出かけたワシントン大学のグループがその超音波風速温度計とオーストラリアの CSIRO で開発された Evapotron および Fluxatron と比較するための観測を行なった (Businger *et al.*, 1967)。これによれば、Evapotron と Fluxatron の測定値はかなりよく一致したが、それらの値と超音波風速温度計を用いて得たフラックスの値とは2倍も違うという結果が得られた。

このような個々の比較実験の積み重ねという経過をたどって先に述べたように Air-Sea Interaction Commission による国際的な共同研究の提案となったわけで、その最初の事業は、2年後の1968年にカナダの Vancouver においてカナダ (UBC) の主催の下に行なわれることになった。これが第1回目の ITCE に相当するもので、超

-
- 1) International Turbulence Comparison Experiment in Australia 1976.
 - 2) Y. Mitsuta, 京都大学防災研究所
 - 3) K. Sahashi, 岡山大学教育学部
 - 4) T. Hanafusa, 気象研究所
 - 5) N. Monji, 京都大学防災研究所
 - 6) O. Tsukamoto, 京都大学防災研究所

音波風速温度計および抵抗線温度計の比較観測が, Vancouver 近くの入江の海上のプラットフォームを用いて行なわれた (Miyake *et al.*, 1971). この時測器を持って参加した国は, カナダ, 米国, ソ連の3ヶ国であったがそれ以外に, ドイツ, オーストラリア, 日本からそれぞれオブザーバーが参加した. 日本からは光田が参加したのみであったが, カナダ側の使用した測器は日本製のものであった. この時に, 西側の研究者は初めてソ連の超音波風速計を見ることになり簡単なセミナーが開かれたりして交流の実は大いにあった. 解析の結果によると, 風速の鉛直成分については良い一致が見られたが, 風向方向の成分についての差が予想外に大きく, したがって風向方向成分と鉛直成分とのコスペクトルには差が顕著に見られることがわかった. その後, 各々がその経験に基づいて改良を行ない, 特に風向方向の測定においては感部自身が作った乱れを測定することのないようにする努力が払われた.

そして, 第2回目の国際比較観測は2年後の1970年の夏, ソ連の Tsimlyask の平原で実施された. これには, ソ連から2次元の超音波風速計と抵抗線温度計, カナダからは前回と同じく3次元の超音波風速温度計(日本製), オーストラリアからは Fluxatron が参加し, 草地上での主として運動量輸送の比較観測が行なわれた. その結果, 今回は, 超音波風速計相互間のスペクトル, コスペクトルの形まで良く一致したが, Fluxatron の測定結果はその応答特性に感部の機械的制約があるため高周波領域で減衰が大きくなることがわかった. しかし, 絶対値の較正の結果は全てが13%以内で一致していた (Tsvang *et al.*, 1973).

この第2回目の結果, 超音波風速計による運動量の測定については一応満足な結果となったと判断されるに至ったが, その他の感部にはまだまだ問題が多いので第3回目の観測をオーストラリアが中心になって行なう計画がたてられ, 1975年10月に東京で開催された JOC 第11回会議では GARP の一環として作業を進めることが承認された. 期間は1976年10月~11月とし, 前2回の観測では主として風速および温度の測定器についての相互比較が行なわれてきたが, 今回は今までに行なわれていなかった湿度変動の測定に重点をおいた観測が行なわれることになった.

このような歴史的背景をふまえて, 1975年秋にオーストラリアの CSIRO 大気物理部長の Dr. G. Tucker より各国の研究者に第3回目の相互比較観測の招待状が

配布され, 日本には光田宛に送付された. この回からは事前の交渉があり日本も参加のための努力をすることとなった. 日本からの正式な参加は初めてであったが, 光田を代表者とした研究グループを作り日本学術振興会の国際共同研究事業の援助を受けて参加することが可能となった.

また, この回から GARP の一事業になったこともあって ITCE (International Turbulence Comparison Experiment) という名前が付けられた.

この ITCE の主たる目標は, 準備委員会の書類によれば次に示すとおりである.

(1) パワースペクトル, クロススペクトル, 分散, 共分散を含む n 次のモーメントを評価することにより, 風速3成分, 温度, 水蒸気の乱流変動を測定する測器の比較.

(2) いろいろな高度で異なった温度成層条件の下で, 運動量, 熱, 水蒸気の乱流輸送量の系統的測定を行なう.

(3) これらのデータから, 接地気層での相似則における普遍関数の統一的な形を求める.

3. 比較観測の概要

このように, 1年前に出された招待状に基づいて1976年10月の本観測に備えるべく各国で準備が始められたが, 日本からの参加ははじめてであり, 観測者に多くの機械を持って国外へ観測旅行に出た経験が十分でなかったこともあって, 本観測に先立って1976年2月に文字と塚本がオーストラリアに渡り, CSIRO で観測の詳細についての打ち合わせ, 観測器材の輸送方法の調査などを行なうと共に, 日本において従来から用いており AM-TEX においても多くの観測班の使用した熱電対乾湿度計を持参して CSIRO の赤外線湿度計と比較するという予備的な観測を行なった. この旅行の成果を基にして, 本観測に向けて最終的な準備作業を進めた. そして, 本観測には 岡山大学の佐橋をリーダーとして, 気象研究所の花房, 大阪府立大学の文字, 京都大学防災研究所の塚本の4名が観測班を作り参加することになった.

オーストラリア以外の国からの参加は日本以外に, 米国, ソ連, カナダの諸国であり, 他にオブザーバーとしてフランスからの参加があった. 観測は, その主要な目的である測器の比較観測を Core Experiment として, 総合的な観測の行なわれる機会を利用して研究を進めようとする各種の観測から区別した. したがって, 観測全体としての参加者は40名程度であり, そのうち Core

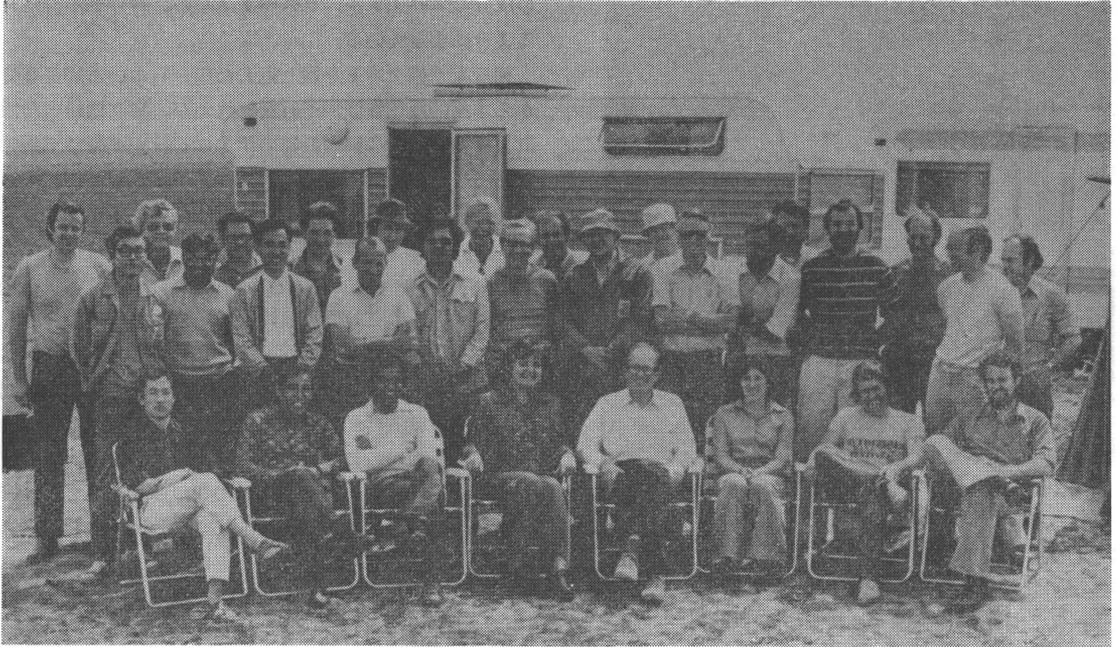


写真1 ITCE 参加者による記念写真

Experiment に関係していたのは20名くらいである(写真1参照)。この国際共同観測に対するオーストラリア政府の援助は多大なものであり、ホストグループとしてのデータ処理装置や観測塔のための費用をはじめ、Core Experiment への外国からの参加者に対する滞在費の補助、滞在中の医療費の負担、器材の通関に関する便宜の供与等有形無形の配慮がなされている。

各国の観測班は、1976年9月27日までに Melbourne 南郊の Aspendale にある CSIRO 大気物理部門に到着し、そこで約1週間にわたって各自が持って来た観測器材の点検・調整を行ない、また協同観測についての最終的な打ち合わせを行なった。観測の場所は、Melbourne から北へ約300km 離れた Deniliquin の近くにある Conargo という小さな田舎町(第1図参照)にある牧草地が選ばれていたが、観測準備もほぼ整い現地へ移動する直前になって、先発し現地準備作業を進めていたグループからテスト中の発電機からのスパークが原因で火が枯草に燃え移り現場の大半が焼け野原になったというニュースが入った。そのために信号ケーブルなどの多くを焼き、観測準備が2日ほど遅れた。

結局、Aspendale を6台の車と2台のトラックで出発したのは10月6日の朝であった。約4時間のドライブの後、site に到着すると周囲は全く何の障害物もなく、見



第1図 観測現場(Conargo)および CSIRO Division of Atmospheric Physics (Aspendale) 付近の地図。

えるのはただ地平線だけという日本ではほとんど考えられないような大平原で、それがかなりの範囲にわたって焼け野原となっていた。宿舎は Deniliquin にとり毎日車で30分ほどかけて site まで行くわけであるが、最初の仕事は中途半端に焼けた site では roughness に不均一が生じるため、風上側をさらに数 km にわたって同じ

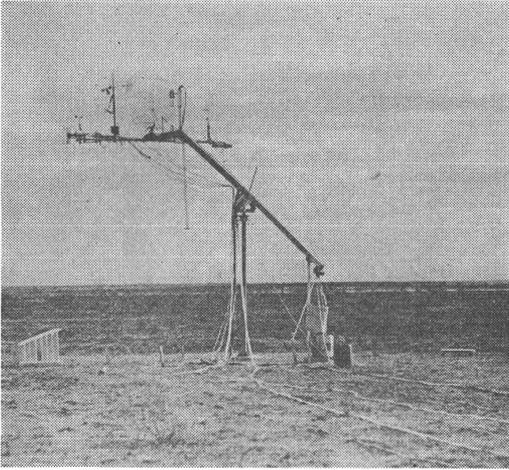


写真2 パンタグラフマストによる Core Experiment

ように焼いてしまおうということであった。そのためトラックの後に火種をつけて故意に火事を起こすために走り廻った。siteには何本もの観測塔が林立し、またいくつものキャラバンを観測室として使用し、電源は4~5台のディーゼル発電機が用いられた。Core Experiment用には二つのキャラバンが割り当てられ、日本グループは米国 (Washington 大学)、カナダのグループと観測室を共にし、他の一つにはオーストラリア、ソ連、米国 (Argonne National Laboratory) のグループが入った。Core Experimentの詳細については後で述べるが、各国から持参した各種の測定器を2本のパンタグラフマスト上に設置し、高度4mの位置に固定して観測を行なった(写真2参照)。この時期の主風向はSWと考えるとマストはそれに都合の良いよう設置されていたが、風向が変わることもあるのでそれに応じてある程度は回転させ測器の配列が風向にほぼ直角になるように調整した。ここから観測用キャラバンまでの約50mの間にケーブルをはり、キャラバン内に置かれた計測装置により得られた各々の信号は再びケーブルでコンピュータキャラバンに送られ、ここで計算機のAD変換器に接続することにより、real time, on-siteの処理が行なえるようになっている。1回の比較観測を行なう観測時間は約33分間であった。この間、各国の測定器からのチャンネルのアナログ信号が33 cycle/secのサンプリング速度でAD変換され磁気ディスクに収録されると同時に、簡単な乱流統計量(平均値, 標準偏差, 共分散)が計算され直ちにプリントアウトされるシステムになっている。さらに観測終了後、ディスクのデータを再生すれば数時間で任意

の成分のスペクトル、コスペクトルのプロットが得られるようになっている。

何度も予備テストを繰り返した後、いよいよ10月8日から本格的な比較観測が行なわれたが、観測開始当初は計算機の故障や各国の測器の出力の不統一や調整不備等があつて結果の発表に手間どることが多かったが、後半は順調に行なわれ、観測の合間に結果についての議論が十分行なえるようになった。10月21日~23日は中休みをとって Melbourne に戻り、各自思い思いの休日を過ごした。ちょうど10月22日は今世紀最後の皆既日食の日に当たり Melbourne 市内は大ききわぎであった。後半は10月25日から始まり10月31日まで行なわれ、全観測期間を通じて合計52回の比較観測を行なうことができた。

なお、日食の時に接地気層内に生じる現象を観測したいものだと思つたが、不幸にしてこの期間は地方の行事と重なつたため現地で宿舎がとれず Melbourne に戻って中休みを取らざるを得ないことになつたのは残念であつた。

観測終了後は11月4日まで現地の取り片付けを行ない、Aspendale に戻つて観測結果およびその解析の方法についての討論などを行なつた後、11月12日に解散し各自帰国した。

4. Core Experiment

今回の ITCE の Core Experiment に対する各国の参加状況およびその測器の概要は次のようなものである。順序は国名のアルファベット順とする。

4.1. オーストラリア

CSIRO の Division of Atmospheric Physics の副所長である Dr. A. Dyer が実質的なこの観測の責任者であり、全期間現地に滞在し直接指揮をとつた。それ以外に、J. Garratt, R. Francey, P. Hyson, G. Grauze 等 AMTEX に参加した人達が観測に当たるとともに、Division of Environmental Mechanics より drag plate の Dr. F. Bradley また lysimeter の Dr. I. McIlroy 等も参加し、その他多くの技術者も含めて Core Experiment の他に mean profile や保留気球等の観測も行なつていた。Core Experiment に用いられた Fluxatron は AMTEX の時に使用したものと同一であり、感部はギル型風速計(風の鉛直成分)、6杯風速計(風の水平成分)、ビード型サーミスタ温度計および赤外線湿度計(波長 2.7 μ m)である(写真3参照)。これらの感部からの信号は、コンピュータのAD変換器に入ると同時に Fluxatron 本来の処理回路にも入れられ約5分毎に乱流

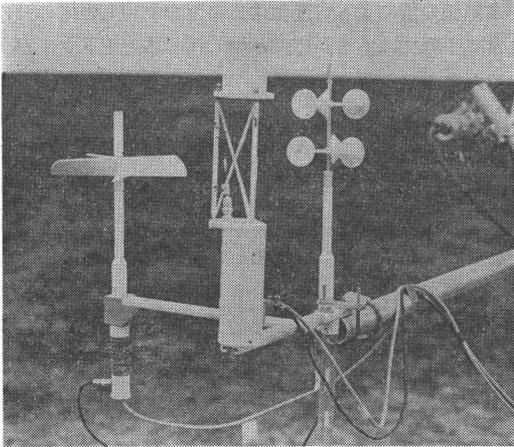


写真3 オーストラリアグループの Fluxatron 感部。

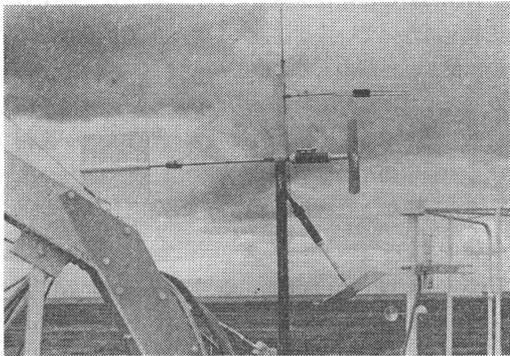


写真4 カナダグループの測器。

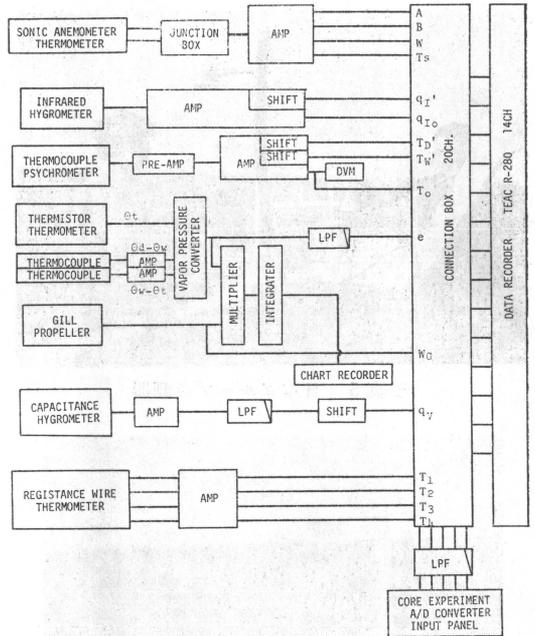
フラックスと乱流特性値が記録されるようになってい
る。drag plate は直径91cm のものを2台用意し、風向
によって使い分けていた。

4.2. カナダ

University of British Columbia から Dr.M. Miyake
が、ギル型風速計2台と矢羽根を組み合わせて常に風に
向くように回転させて水平風速と鉛直風速を測定し、こ
こに熱電対乾湿計を組み合わせたものを持って参加した
(写真4参照)。彼は、観測の方はもっぱらワシントン
大学の F. Weller にまかせて主に各国の間のまとめ役と
して活躍していたが観測前半で帰国した。

4.3. 日本

先にも述べたとおり、日本からは、佐橋、花房、文字
塚本の4名が参加し、日本側としても日本の測器につい
ては独自に解析ができるようにデータレコーダを持参し
て記録をとった。観測のブロックダイアグラムは第2図



第2図 日本の観測グループの行なった比較観測のブ
ックダイアグラム。

に示すとおりである。

3次元の超音波風速温度計は今回初めて観測に用いら
れた新しい型式のもので、従来のものと異なる点は同一
の送受波器を送波と受波を切り換えて使用するワンヘッ
ド方式を採用したこと、パルス伝播時間差および時間
和をアップダウンカウンターを用いてデジタル演算方式
によって求めていることの二点である。これに伴って、
感部がずっとすっきりして流れを乱すことが少なくなる
と共に、二つの音響経路の長さの差に起因した誤差が
なくなって零点のドリフトがさらに少なくなると共に、計
算方式の改善による総合特性が向上し測定誤差が旧式に
比べて非常に小さくなっている。新型の第1号機であ
ったが幸いにしてほとんど故障なく動作した。

熱電対乾湿計は、AMTEX 以来使用しているタイプ
であるが今回のような非常に乾燥した(乾湿球差は時に
は10°Cにも及ぶ)場所での使用は初めてであったため、
湿球への水の補給の点と周囲が焼け野原になってゴミが
多く湿球の汚れの点で気を使った。動作はかなり安定し
ているが他の湿度計に比べて応答速度の遅い点に問題が
ある。この点については現在詳細に検討中である。

赤外線湿度計は、スパン 35cm で水蒸気の吸収帯とし
て 1.62μm、非吸収帯として 1.87μm を用いたもので電

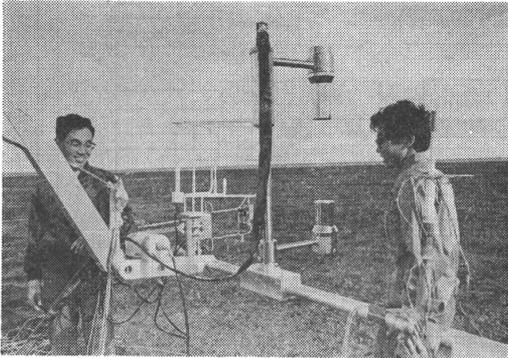


写真5 日本グループの測器

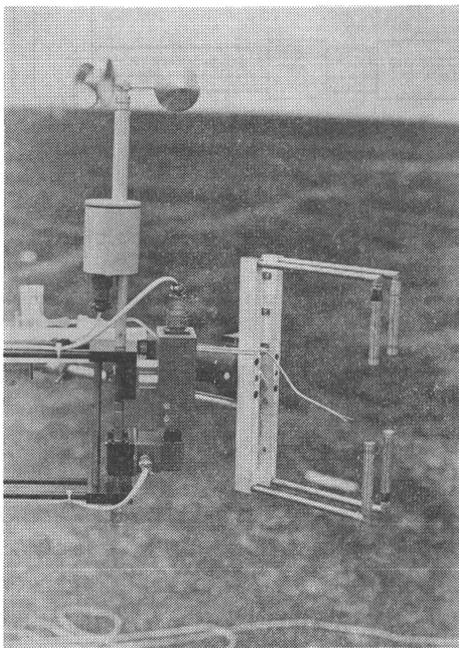


写真6 米国 (Washington 大学) グループの測器。

気的な自動平衡方式を用いて 10Hz までの湿度変動と絶対値が測定できるようにしたものであるが、これも新しい型になっての第 1 号機 (京都大学の赤外線湿度計としては第 3 世代) であり、最初の本格的な野外観測であったためまだ問題が残っており背景光の影響を強く受けていつでも測定できるという状態ではなかった。この点については現在改良中であり、近いうちに実用に耐えるものにまで改善できると期待される。

容量型湿度計は、感部に Vaisala 社製の polymer の薄膜を用いてこれを金属の電極ではさみ、この電気容量

が水蒸気の量によって変化することを利用したもので、非常に手軽ではあるが感部が少し汚れるとドリフトが大きくなるという欠点がある。

前述の熱電対乾湿計は、乾湿球の値の記録から別に計算機でデジタル処理する際に湿度を計算するものであるが、この操作までもアナログ的にやってしまうと試みた装置を日本側ではもう一台用意した。これも熱電対乾湿計 (佐橋, 1977) であるが、湿度変動が組み込んだ計算回路で直接得られるという点では便利であるが動特性の点で問題が多少残る。なお、この装置はギル型風速計と組み合わせて簡単に顕熱、潜熱の乱流輸送量が得られるようになっている。写真 5 にこれらの測器の様子を示す。

これらの計測器の他に、何組かの抵抗線温度計を用いて温度変動の空間分布を測定する観測も同時に行なわれた。日本側の測器は他国のものに比べほとんどのものが全天候型になっていて耐候性に対する配慮がなされているのに反し、外国のものには観測の度毎につけたり外したりしなければ維持できないものが多いという点が印象的であった。もっとも、これは日本の気候条件が変わりやすく実験室的な測器を野外に持ち出しただけではうまくいかないということにもよるのであろう。

4.4. 米国

University of Washington の Dr. J. Businger のグループから技術者の F. Weller と大学院学生 B. Shaw が、新型の 1 次元の超音波風速温度計 (Phase Lock Loop 方式)、3 杯風速計、熱電対乾湿計、抵抗線温度計、紫外線湿度計 (Lyman- α 湿度計) を用いて観測を行なった (写真 6 参照)。この超音波風速温度計は Weller 自身が開発したもので、位相差方式と Phase Lock Loop を組み合わせたもので非常に単純な回路で構成されている。感部はコンデンサマイクロホンを用い、スパンは 10cm でまだ 1 次元のしみしかできていないが風の鉛直成分の測定に用いていた。紫外線湿度計は、波長が 1215.6Å の紫外線 (Lyman- α) の水蒸気による吸収を利用したもので、米国の ERC 社から市販されているものを改良したものである。この湿度計では絶対湿度の測定は不可能であるが、スパンが 1~0.25cm と非常に狭いこともあって湿度変動については精度良く測定されているとのことであった。しかし、安定性および吸収率の検定などの点において問題は残されているように感じられた。また、寿命の短いことも一つの欠点である。

米国のもう一つのグループは、Argonne National

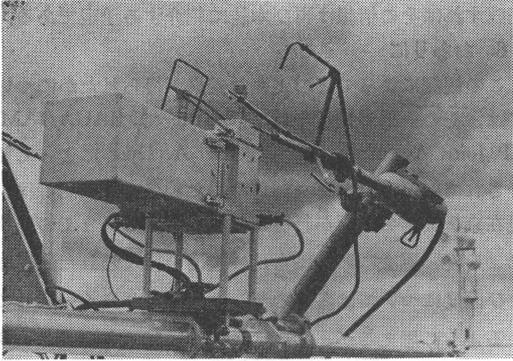


写真7 ソ連グループの測器

Laboratory の Drs. P. Frenzen, B. Hicks, M. Wesley の3人であった。用いた測器は、ギル型風速計、紫外線湿度計、抵抗線温度計および非常に小さな6杯風速計とギル型風速計であった。

4.5. ソ連

Dr. L. Tsvang を中心として、大気物理研究所から B. Koprov, Y. Volkov, L. Elagina および技術者の V.

Gorschkov の5名が参加した。用いた測器は、位相差法を利用した超音波風速温度計（スパン10cm）、赤外線湿度計（スパン20cm）および抵抗線温度計であった。超音波風速計の感部は、最初1968年に持って来たものよりは大きくなっており変換器にはコンデンサマイクロホンをを用い、できるだけ感部が風の場に影響を与えないように工夫されているが、本体の方は相変わらず真空管方式であった。L. Elagina の担当する赤外線湿度計は、1962年に論文が発表されて以来注目的であったがそれ以後かなりの改良が加えられていた。波長は、2.6 μ m の水蒸気の吸収帯と 2.0 μ m の非吸収帯を用いていたがこのような光学的湿度計の最大の欠点である太陽光線の影響を取り除くという点ではまだ改善の余地が残されており、条件の悪い時には感部の上に日よけをつけて観測を行っていた。写真7にこれらの測器の様子を示す。

4.6. その他

オブザーバーとして、フランスの Province 大学から Dr. F. Resch が観測の前半だけ滞在した。そのほか、オーストラリアの大学から2~3の観測の参加があり、それぞれの測器をトラックで持ち込んで各々塔を立て

第1表 比較観測に参加した各国の乱流計測器

国名	風速計	温度計	湿度計	その他
オーストラリア	6杯風速計 [AU] ギル型風速計 [AW]	サーミスタ温度計 [AT]	赤外線湿度計 [AQ]	Drag Plate Lysimeter
カナダ	ギル型風速計 (水平) [CU] " (60°) [CW]	熱電対温度計 [CT]	熱電対乾湿計 [CQ]	
日本	超音波風速計 [JU] [JV] (3次元) [JW] ギル型風速計	超音波温度計 熱電対温度計 [JT] 抵抗線温度計	赤外線湿度計 熱電対乾湿計 [JQT] 容量型湿度計 水蒸気圧変換回路付 熱電対乾湿計 [JQA]	
米国 (Washington 大学) (Argonne National Laboratory)	3杯風速計 [WU] 超音波風速計 [WW] 6杯風速計 [IU] ギル型風速計 [IW] Pressure Sphere Anemometer	熱電対温度計 [WT] 抵抗線温度計 抵抗線温度計 [ITF] サーミスタ温度計 [ITB]	Ly- α 湿度計 [WQ] 熱電対乾湿計 Ly- α 湿度計 [IQ]	
ソ連	超音波風速計 [RU] [RV] (3次元) [RW]	抵抗線温度計 [RT]	赤外線湿度計 [RQ]	

[] 内は各測器の略号

て観測を行っていた。また、観測の途中には CSIRO の全国組織の管理的立場にあり現在 Monash 大学に移った Dr. C. Priestley, Division of Atmospheric Physics の所長である Dr. G. Tucker らが見学を訪れた。

Core Experiment に参加した各国の乱流計測器の一覧表を第 1 表に示す。

5. 資料整理

この観測の特色は、その資料整理のやり方にあると思われる。この作業は Dr. A. Dyer を中心とした CSIRO のグループにより進められているものである。先にも述べたとおり、記録は一括して CSIRO のコンピュータによって行なわれ、その速報的な結果は全員がオーストラリアにいるうちに配布されたが、本格的な解析は原記録から問題点を解決しながら改めて進められている。そして、その中間的に得られた結果は全てコピーされてオーストラリア側の意見を付して各研究者に送られ、各研究者はそれに対する意見を送り返す。するとそれに基づいて改善した結果をまた送ってくるという方法を繰り返すのである。このような Newsletter はすでに No. 7 まで進んでおり、最初はいろいろな問題の含まれていた結果も次第に合理的なものになってきた。そして、データ収録および解析における問題はまず無くなったといえるところまで進んでいる。さらに、オーストラリア側はこのような郵便による意見の交換の他に、A. Dyer あるいは F. Bradley という主な研究者自らが各参加者のところを順廻し詳細な点についての議論を行なうという方法をとっている。これにより、各観測者の意見が直接その解析に反映されるようになっている。日本には、Dyer が 1977 年 10 月に、また Bradley が 1978 年 6 月にそれぞれ来訪している。この解析に対するオーストラリア側の努力にはわれわれは大いに学ばねばならないものがあり、信頼できる結果を得るためにはどうしてもこれだけのことが必要なだろうと思われる。

Dr. F. Bradley からもたらされた情報によれば、解析を近く終了するので最終報告を数百頁のものにまとめて出版する予定であるとのことであり、マイクロフィッシュ等の手段により Core Experiment として得られた全ての資料が一般に公開されることになると思われる。接地気層の観測結果としては、米国の AFCRL による Kansas の観測とはまた異なった意味でユニークなものであり重要な基礎的資料となるものと思われる。これが

完成すればその情報は再び本誌に紹介する予定である。

6. おわりに

この観測によってどのような成果が得られたかについては、その一部が 1977 年秋の Seattle での IAGA/IAM-AP Joint Assembly の席上で Dr. A. Dyer によって紹介されている。日本グループの得た独自の観測記録は、現在京都大学で解析が行なわれている。これまでの結果によると、過去においても比較観測の行なわれた風速および温度については各国のデータはかなり良く一致しているように思えるが、湿度変動については各測器により値がかなりまちまちで今後さらに検討する必要がある。また、計測器そのものにも改良を加えてゆく必要性が痛切に感じられた。本観測に基づいた研究の成果は、今後次第に各研究者から報告されることになるであろう。

最後に、本観測の遂行に当たって協力をいただいた Dr. A. Dyer を初めとする CSIRO の Division of Atmospheric Physics の方々に感謝すると共に、日本国内において協力していただいた多くの人々にここで謝意を示したい。なお、この研究は日本学術振興会・国際共同研究費によって行なわれたものである。

文 献

- Businger, J.A., M. Miyake, A. J. Dyer and E.F. Bradley, 1967: On the Direct Determination of the Turbulent Heat Flux near the Ground, *J. Appl. Met.*, 6, 1025-1032.
- Businger, J.A., M. Miyake, E. Inoue, Y. Mitsuta and T. Hanafusa, 1969: Sonic Anemometer Comparison and Measurements in the Atmospheric Surface Layer, *J. Met. Soc. Japan*, 47, 1-12.
- Miyake, M., R.W. Stewart, R.W. Burling, L.R. Tsvang, B.M. Koprof and O.A. Kuznetsov, 1971: Comparison of Acoustic Instruments in an Atmospheric Turbulent Flow over Water, *B. L. M.*, 3, 228-245.
- 佐橋謙, 1977: アナログ手法による乾湿計からの水蒸気圧の計算回路, 日本気象学会春季大会講演予稿集, 158-159.
- Tsvang, L.R., B.M. Koprof, S.L. Zubkovskii, A. J. Dyer, B.B. Hicks, M. Miyake, R.W. Stewart and I.W. McDonald, 1973. A Comparison of Turbulence Measurements by Different Instruments Tsimlyansk Field Experiment 1970, *B. L. M.*, 3, 499-521.