

「大気境界層観測の計測器及び計測技術 に関する短期講座」に出席して

塚本 修*・伊藤芳樹**

1. はしがき

1983年8月8～12日、米国コロラド州ボルダーにおいて、アメリカ気象学会主催の“Short Course on Instruments and Technique for Probing the Atmospheric Boundary Layer”という講座が開かれた。参加者は総数60名、日本からは筆者2名であった。プログラムを第1表に示す。内容は乱流計測からリモートセンシングに至るまで多岐にわたっており、各観測法の一般的な測定原理から幅広い応用例に至るまで多くの内容を含んでいる。ここでは各講演の概要について簡単に紹介する。

2. 講演の概要

1) 観測戦略について

J.C. Wyngaard (NCAR)

まずプラネタリー境界層と、乱流の概念について、次に測定における一般的な問題、主に①時間的・空間的分解能、②Taylor 仮説の適用性、③障害物による流れの場の変形（特に乱流場について）、④信号の Cross talk、⑤間接測定、⑥フラックスの測定、⑦観測時間と精度の問題、について話された。

まず、プラネタリー境界層を、“地表面に隣接した乱流領域”と定義し、境界層の日変化、つまり昼間の混合層の発達から夜間の安定層の成長について解説された。乱流の概念については、平均場と乱流場との分離、および種々の平均のとり方、さらに乱流場を扱い易くするための重要な三つの条件が示された。それは定常性、水平方向の一様性、局所等方性、である。局所等方性に関連しては種々の乱れのスケールの定義が話された。

次に①時間・空間的分解能について、時定数をもった

ローパスフィルターの使用による変動の減衰、および空間平均操作（径間平均および体積平均、など）による変動振幅の減衰について、種々の例を用い定量的説明がされた。④Cross talk の問題について、風速の u 成分（風向方向）と w 成分（鉛直方向）を測定する場合に、風速計の軸が傾いていると相互に影響を及ぼし合う問題、および熱線風速計の風速と温度の Cross talk の問題の説明があった。⑤間接測定の問題に関しては、例えばモン・オブコフ相似則を用いて風速、温度のプロフィールから運動量、顕熱の輸送量を求める方法、音波レーダーによる C_r^2 の大きさから顕熱輸送量を求める方法が紹介された。しかし、これらはいずれも基になる相似則の精度が問題であるとの注意があった。⑥輸送量の測定については、必ずしも風速の鉛直成分と輸送される物理量の時系列の細かいサンプリングによる共分散の測定をする必要はなく、サンプリングの時間間隔を大きくすることが可能、場合によっては風速鉛直成分の正負で分類して輸送量を得ることもできることが説明された。⑦観測時間と精度の問題について、ある精度 $e = \sigma / \langle f \rangle$ を得るために必要な観測時間は、 $T = 2\tau \langle f \rangle^2 / (\langle f \rangle^2 \cdot e^2)$ で表せるとの説明があった。ここで $\langle f \rangle$ はアンサンプル平均値、 $\langle f \rangle$ はアンサンプル平均値からのばらつきの rms 値、 σ は時間平均値のばらつき、 τ は観測される気象要素の積分スケールである。例えば平均風速の測定については $\langle f \rangle^2 / \langle f \rangle^2$ は σ_u^2 / \bar{U}^2 で表せる。

2) タワーでのプロフィールとフラックスの測定

J.C. Kaimal (NOAA)

鉄塔での測定高度について、50m以下の境界層では勾配が大きいのので最低三高度 (logarithmic) での測定が必要なこと、50m以上については構造はほぼ混合層高度で決まるので間隔はリニアでよいことが説明された。例えば Kaimal らが運営している BAO (Boulder Atmos-

* Osamu Tsukamoto, 京都大学防災研究所.

** Yoshiki Ito, 海上電機(株).

第1表 講演題目と講演者.

Observational Strategies.....J.C. Wyngaard
Flux and Profile Measurements from Towers in the Boundary Layer.....J.C. Kaimal
Fine-Scale Measurements of Turbulent Velocity, Temperature and Humidity in the Atmospheric Boundary Layer.....C.A. Friehe
Aircraft Measurements in the Boundary Layer.....D.H. Lenschow
Aerosol Measurements.....R.F. Pueschel
Visibility Measurement Techniques.....W. Vizee & R. Lewis
Gaseous Tracer Technology and Application.....W.F. Dabberdt & R.N. Deitz
Lidar Measurements of Boundary Layer Variables.....R.L. Schwiesow
Radar Remote Sensing of the Clear Atmosphere-Review and Applications.....R.B. Chadwick & E.E. Gossard
The Use of Pulsed-Doppler Radar in Studies of the Planetary Boundary Layer.....R.A. Kropfli
Acoustic Remote Sensing.....W.D. Neff & R.L. Coulter

pheric Observatory) では 10, 22, 50, 100, 150, 200, 250, 300m の各高度で測定している。

鉄塔で用いられる風速, 温度, 湿度の各測器については“応答の遅い”測器と“応答の速い”測器とに分けて説明された。応答の遅い測器とはプロフィールの測定のためのもので, 精度を重視し, 時定数は10~60秒程度のもので, 応答の速い測器とは較正值の長期にわたる安定性はなくてもよいが, 時定数が小さく, 応答の遅い測器と並行して用いられれば変動振幅を較正できるものを指す。

“応答の遅い”風のセンサー

風杯型, プロベラ型および風向測定のための矢羽根がこれに属する。風杯型については変動風速に対する非線形の応答と鉛直成分に対する感度のために生じる5~10%の“回りすぎ”の問題が重要である。一方, プロベラ型は回りすぎの問題は少ないが, 風向に正対しない場合には cosine 型の応答からのずれまでを考慮した補正をしてやる必要がある。

“応答の速い”風のセンサー

古くから用いられているのは熱線風速計であるが, 野外で用いる場合には, 大気中の汚染物質による較正值の変化, およびこわれやすさということから, 特殊な用途以外にはあまり用いられない。最近では主として超音波風速計が用いられている。注意すべきことは, 超音波風速計は通常 20cm の径間平均の風速値を計測するので, 例えば風速変動のパワースペクトルの内, 慣性小領域の最初の1オクターブを減衰なしで測定するには地上から5m以上の高さに設置する必要がある。輸送量の測定の場合には3m程度以上の高さに設置した方が良く考え

られる。その他に安価に風速変動を測定する計器として drag anemometer など考案されているが, 応答は超音波風速計よりも遅く, 精度も劣る。

“応答の遅い”温度センサー

プロフィールの測定に必要な温度の精度は 0.05°C , 感度は 0.01°C 程度であり, 最も信頼できるのは水晶温度計である。精度はやや劣るが比較的安価にできるものは白金抵抗温度計である。熱電対は絶対値の測定のためには精度の高い基準温度が必要であるが, 温度差測定には好都合である。サーミスタは linearity と安定性が悪いためあまり用いられない。どの測器を使用しても重要なことは radiation shield と通風をいかにうまくやるかということである。

“応答の速い”温度センサー

これには白金抵抗, 熱電対, サーミスタ, 超音波温度計がある。細い白金抵抗線は最も応答は速いが, 野外で長期間用いると汚染物質が付着してしまう。超音波温度計は風速の場合と同様の径間平均の効果と湿度の影響がある。

“応答の遅い”湿度センサー

風速, 温度に比べると測定はむずかしい。精度と長期間の安定性の点では露点計が最も適している。反射面の清掃をうまく行えば精度は露点温度で $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 程度は得られる。しかし高価であるために, 一般には乾湿計が用いられる。温度測定の場合にも述べたように radiation shield と通風をうまく行い, 湿球のぬらし方に注意する。他にいくつか吸湿性センサーも市販されているが, 精度はあまり良くない。

“応答の速い”湿度センサー

最も簡単なものは $Ly\ \alpha$ 湿度計である。Buck (1983) は従来の光源を改良して、分光特性を向上させ、さらに寿命を大幅に長くすることに成功した。しかし、変動の振幅は絶えず別の湿度計で校正する必要がある。一方、水蒸気の吸収帯と非吸収帯の2波長を用いた赤外線湿度計も用いられている。 $Ly\ \alpha$ に比べると吸収が弱いため、長い光路長 (0.2~1.0m) が必要で構造もかなり複雑になっている。また microwave refractometer は屈折率の測定値から温度測定のために比湿を測定するものであるが、最近ではあまり用いられていない。

次に鉄塔がプロフィールや輸送量の測定に与える影響について述べられた。鉄塔の風下側にできる wake の領域を除くと、充実率0.2~0.3程度の鉄塔では鉄塔の水平スケールの1.5倍程度のアームを出す必要がある。また輸送量に与える影響については Wieringa (1980), Dyer (1980), Wyngaard (1981) らの研究がある。

最後に BAO で行っているデータ処理および保存について説明があった。まず0.05Hz以下の低周波成分については10秒平均の時系列で収録し、0.01~5Hzの高周波変動については20分毎に実時間でFFTにより得られるスペクトルの情報を収録している。これにより、データをいくらかでも圧縮して膨大な量になるのを防いでいる。

3) 微細スケールの風速、温度、湿度の乱流の測定

C.A. Friehe (California 大学)

前節は乱流計測でも輸送量を得る程度のスケールの議論であった。ここではさらにに微細な1m以下(周波数では1Hz以上)のスケールの変動の消散率を求めるような場合の計測器について紹介された。

風速変動の測定には定温度型熱線風速計が用いられている。線としては普通白金またはタングステンの直径5 μ 程度のものが用いられ、非常に切れ易いので、通常は実験室で用いられる。これを野外で用いる場合には種々の問題が起こってくる。第1に較正時と測定時との気温差による誤差の問題で、Bearman (1971) によるとタングステン線の場合、7°K気温が上昇すると、平均風速で10%、 σ_u で2%の過少評価になる。第2に大気中では風向変動がかなり大きいことがあるので、I型プローブの場合には熱線を鉛直に立てて用いれば問題はないが、X型プローブでは熱線またはサポートの風下に別の熱線がくることになり、誤差を大きくしてしまう。第3に大気中の浮遊物による熱線の汚染の問題がある。汚染物質

が付着すると較正值も変化し、応答も悪くなり、測定に大きな影響を及ぼす。

温度変動の測定には白金抵抗線が用いられるが、細いものでは0.25 μ という直径のものもある。周波数応答は例えば直径0.625 μ の抵抗線の新しいものは風速10m/s以下で2~6kHzまで応答するが、古くなり色々のものが付着してくるとその限度は0.5~2kHz程度にまでなってくる。また抵抗線のサポートとの熱伝導の効果により0.1~1Hzの低周波成分に誤差が生じる。これは抵抗線の長さとの比を1000以上にすると防ぐことができる。また野外で用いる場合には熱線風速計の場合と同様に抵抗線への付着物の影響があり、特に海洋上では海塩があるので注意が必要である。抵抗線に海塩が付着すると、高温下では凝結をおこす。これが湿度の変動に伴って見かけ上 cold spike または hot spike として現れる。これは清水で洗浄すれば元に戻るが、20分程度放置すると再び付着してしまう。

湿度変動の測定については風速、温度に比べ、立ち遅れが報告された。細線を用いた乾湿計は空間分解能は満足できるが周波数応答が不十分であり、 $Ly\ \alpha$ および microwave refractometer は逆に空間分解能をあげることができない。また赤外線湿度計は主として輸送量測定のために用いられ、空間的にも時間的にも満足できない。乾湿計は、Shaw・Tillman (1980) が応答の補正について述べているが消散領域にまで適用するには限界がある。また $Ly\ \alpha$ 湿度計は、ブリアンプを改良すれば周波数10kHzまでは応答することが確認されているが、光源および検知器の径がかなり大きいため、光路長を短くしても空間分解能の向上には限度があり、またプローブによる流れの場の変形が大きくなってしまふ。

4) 航空機観測

D.H. Lenschow (NCAR)

航空機観測の利点は何といってもその機動性にある。つまり、短時間に境界層全体の構造を把握することができるということである。しかしその反面、航空機自身の運動の補正を行う必要があるし、また高速で飛行することにより、空気の圧縮性や断熱昇温を考える必要も生じてくる。また長時間連続観測はできないので、地上からの別の観測で必要に応じて補う必要がある。

まず風の測定は最も複雑なもので、航空機で測定できる対気速度から航空機の移動速度(対地速度)を差し引く。それに航空機の姿勢は絶えず変化しているため、地上に固定した座標系に対するヨーイング角、ピッチング

角、およびローリング角の三つを測定しておく必要があり、また別に航空機に対する相対的な風向（迎角および side slip angle）も必要となる。

対地速度の測定で最も一般的なものはジャイロによって安定化されたジンバルの上に三軸の加速度計を載せた慣性航法装置（INS）である。精度は悪くなるが、それ以外にもドブラー効果を用いるもの、電波航法（オメガ、LORAN-C など）なども用いられる。対気速度の測定には、主にピトー管が用いられる。ただ通常のベルヌーイの定理による方法では真の対気速度は求めることはできず、周囲の気温や飛行速度（マッハ数）も考慮する必要がある。一方、飛行方向と直交方向の成分については水平ベーンおよび鉛直ベーンを用いることにより測定することができる。これには可動型と固定型とがあるが、固定ベーンの方が応答は速い。また、半球に圧力測定孔をいくつかあけ、各孔の圧力差から風向を求める方法もある。これらの測器はいずれも機体の影響を受けないよう、機体の前方にブームを出して設置する必要がある。

気温の測定は、地上で測定する場合と大差なく、温度センサー自身は応答の速いものであればよい。ただし、断熱昇温の効果を補正する必要がある。流速が大きいため、例えば飛行速度が 100 m/s の場合、約 5°C の断熱昇温があり、この大きさは飛行速度の自乗に比例する。また細い抵抗線を用いるので大気中の浮遊物（氷粒および水滴を含む）が線に当たらないような工夫も必要である。これらの心配のいらぬ放射温度計測の方法も研究されているが、未だ実用化の域には至っていない。

湿度の測定は、温度測定の場合のような補正は必要なく、地上観測と同様に空気をとり入れて測定すれば良い。測器としては露点計が最も一般的であるが、変動測定用としては Ly α 湿度計または microwave refractometer が用いられる。

最後に、各種気体の濃度分布および輸送量の測定にも航空機が用いられることが多くなっており、最近では炭酸ガスやオゾンの輸送量測定が可能となったこと、NO、CO、SO₂ などについても近いうちに輸送量測定ができる可能性があることが述べられた。

5) エアロゾルの測定

R.F. Pueshel (ARL/NOAA)

この講演ではまずエアロゾルに関連した言葉 (Aerosol, Dust, Droplet, Fly Ash……など) の定義から始まり、次にエアロゾルの採集法についての説明がなされた。空気を採集する方法としては等速吸引 (isokinetic sampling) と呼ばれている風向方向に置いたチューブで風速と同じ速度で空気を吸い込む方法が最も良い。この空気中からエアロゾルを分離採集する方法は、①粒子の慣性を利用した方法、②フィルター法、③コロナ放電を用いた静電的方法、④遠心力を用いる方法、⑤沈着による方法、⑥温度勾配を用いる方法、がある。これらについて詳細な解説がされた。採集されたエアロゾルを分析する方法として、①個々の粒子を分析する光学あるいは電子顕微鏡による方法、②Electron Probe による化学組成や大きさ、形状などを調べる方法、③中性子放射化分析法、④蛍光X線法、⑤原子射出/吸収法によるパルク的な分析の方法などが述べられた。

その他エアロゾルによる光の散乱係数を測定するための積分型ネフロメーター、エアロゾル粒子が帯電していることによる電気伝導度や電気的移動度の測定法、最後には粒径分布の関数形についても報告された。

6) 視程の測定

W. Viezee (SRI)

R. Lewis (NOAA/NWS)

視程は昼間においては相対的に暗い対象物が、夜間においては集光していない光源が肉眼で認め得る最大距離で定義される*。これをもっと定量的に表すには、昼間では大気の減衰係数を用いるか、ある距離においた見かけのコントラストで表す方法をとる。また、夜間においては、光源の強さ、光源までの距離などから定量的に決めることができる。昼間視程と夜間視程との比較のため、例えば光源を25カンデラとすると、悪視程時には後者は前者の約3倍であり、視程が良くなるにつれて両者の差は小さくなり、視程16マイル以上では前者の方が大になる。

視程を測定する測器としては、まず遠方の光源の受光強度を測定する Telephotometer と、これを改良した Vertically Scanning Teleradiometer がある。またビデオカメラを用いた測定方法がある。次に大気中での光の前方/後方散乱や、減衰を利用した種々の視程計についての比較観測の結果が紹介された。従来の NBS 型を改良した Tasker Transmissometer は4マイル以下では標

* 日本における夜間の視程の定義は、昼間と同じ明るさにしたと仮定した場合に目標を認めることのできる最大距離である（気象庁：地上気象観測法）。本講座の定義はこれとは異なる。

準として信頼できること、また Skopograph Transmissometer は NBS 型と高い相関をもっており、保守が容易であること、EG & G 207 型は視程が良い場合に信頼でき、Videograph は降雨のない時には他の測器と良く一致するということがあった。いずれにしてもおのおのの測器はその測定原理（前方/後方散乱、減衰）のみならず、光源の波長や光学系がおのおの異なっているため、これらの特性を充分考慮した判断が必要となってくる。

7) ガス・トレーサ技術とその応用

W.F. Dabberdt (SRI)

R.N. Dietz (Brookhaven N.L.)

ガス・トレーサの技術は最近10年間に急速に発展し、現在では数mから1000m以上のスケールの現象に対しても応用されている。トレーサガスとしての条件は、沈殿しないこと、反応しないこと、バックグラウンド濃度が低いこと、工場などで用いられていないこと、検出が容易であること、無害であることなどの条件がある。現在用いられているものは SF₆、Halocarbons、Perfluorocarbon Compounds (PFCs)、Deuterated Methane などである。そしてこれらの放出速度 Q は次のようにして決めれば良い。

$$Q = 1.33 \times 10^5 (m^2) X_{peak} \cdot U$$

ここで $X_{peak} \geq 100 \cdot \text{Max}(Xb \text{ kg}, C_{min})$ 、 U は平均風速、 $Xb \text{ kg}$ はバックグラウンド濃度、 C_{min} はガス検知器の最小感度である。

サンプリングの方法について地上で行われる方法 (Whole Air Sampler と Adsorbent Sampler) と、気球や航空機を用いて上空で行う方法について、さらに分析法については実験室で行う方法と現地で実時間的に行う方法について説明された。

またガス・トレーサ技術の応用については、大気拡散の測定、中・長距離の輸送現象、発生源の強さの推定、建物の中への浸透など、特に拡散パラメータの決定に重点をおいた解説がされた。

8) ライダー観測

R. Schwiesow (NOAA)

後に述べるレーザーおよびソーダーが電波および音波をおのおの用いてリモートセンシングを行うのに対してライダーは光を用いるリモートセンシングの測器である。また一口にライダーといっても非常に多種多様で、単に大気境界層観測のみならず成層圏あるいは海洋の探査にも用いられるものもある。ここではそれらについて

は扱われず、まずライダーの基礎知識から始めて、最近の種々の応用について述べられた。

ライダーから射出された光は大気中の分子やエアロゾルといった散乱体によって後方散乱を受け、ライダーシステムに帰って来る。散乱光は散乱体に関する情報を含んでおり、また光路に沿っての減衰から、光路に沿った空間の様子も知ることができる。まず、光の減衰は吸収と散乱とに大別される。吸収は、さらに波長による吸収の差の大きい分子による吸収と、差の小さいエアロゾルによる吸収とに分けられる。散乱は、散乱角と波長の関数である微分散乱断面積 $\sigma(\theta, \lambda)$ と、後方散乱係数 $\beta(\lambda)$ で表すことができる。散乱についても吸収と同様に、波長依存性の大きい分子によるものと、波長依存性の小さいエアロゾルによるものとに分けられる。そして分子による後方散乱にはレイリー散乱、ラーマン散乱、共鳴散乱の3種類がある。レイリー散乱は最も重要なもので散乱係数は λ^{-4} に比例する。これに対しラーマン散乱の波長依存性はレイリー散乱と同じであるが、その強さは $1/50$ 以下でしかも散乱体に特有の周波数のシフトが起こる点が特徴的である。

また、ライダーシステムについても述べられた。波長は赤外から紫外にいたるまで種々のものがあり、応用面によって異なっている。望遠鏡は普通、光源側と受光側とに用いられ、多くはニュートン型反射鏡である。検知器は光源の波長にもよるが、多くはフォトダイオードやフォトマルチプライアーが多く用いられている。

次にライダーの応用面について報告された。まず、エアロゾルの後方散乱の測定はライダーで最も古くから行われているもので、雲の水・氷の判別や対流セルの追跡などに用いられる。風速の鉛直分布を得る方法には、ドブラー効果を用いる方法の他に、後方散乱係数の非一様性から推定する方法もある。またラーマン散乱と differential absorption を用いた気体成分 (水蒸気など) のプロファイルの測定、および温度分布の測定も可能である。

9) レーダーによるリモートセンシング

R.A. Kropfli (NOAA/WPL)

R.B. Chadwick (NOAA/WPL)

パルスドブラーレーダーや FM-CW レーダーを用いた晴天大気の大気遠隔測定法について講演された。晴天大気の大気観測としては、昆虫や鳥などの自然界のトレーサ、人工的にまかれた chaff、ブラッグ散乱を引き起こす大気中の屈折率変動などがある。レーダーの周波数は測定高

度、分解能、目標の種類、乱流スケールなどを考慮して決める必要がある。目安として、VHFは成層圏以上の高度の屈折率変動を目標とするもの、UHF~SHFは対流圏の屈折率変動をとらえるもの、Xバンドは昆虫やchaffなどの小物体を目標とするものに用いられる。

これらのclear-air radarは空港における危険な風の状況の検知や航空路の選定への応用、鳥や昆虫の研究にも利用できるものである。特に大気境界層の研究においては、屈折率変動パラメータ(Cn^2)などの測定や2台のドブラーレーダーによる2次元風分布の測定、および円錐状の走査と仰角の変化を組み合わせることによって、風速変動の分散や共分散、エネルギー消散率などの乱流変動量の測定に利用することもできる。またFM-CWレーダーを用いることにより、1~2km以下の下層大気を数mの分解能で測定し、波動や渦の微細構造を探ることも可能である。

10) 音波レーダーによるリモートセンシング

W.D. Neff (NOAA/WPL)

R.L. Coulter (A.N.L.)

講演内容は、①音波探査の理論(主として音波散乱)、②音波探査レーダーの気象学的解釈(主としてファクシミリ記録の解釈)および③ドブラー風速測定方法、であった。

②について、対流条件下では地表で熱せられた気塊の上昇によるthermal plumeの形成がエコーパターンとして認識できる。またエコー強度すなわち温度変動構造定数(C_T^2)やドブラー算出された σ_w より、混合層高度や地表面での顕熱輸送量を推定することも可能である。一方、安定条件下では、逆転層の鉛直方向への拡がりによってエコーパターンは変化するが、強い接地逆層や気温プロファイルの変曲部からのエコーがファクシミリ記録により検知できる。関連して地表面での冷却率を与えてエコーパターンをモデル計算することも紹介された。

また③ドブラー風速の測定に関しては、Rotor法(Zero Cross法)、Complex Covariance法、FFT法(スペクトル平均)、FFT法(ピーク検出)の各種の周波数検出法について、実際の受信信号をもとにノイズの影響評価を行った。これらの検出法にはおのおのの特徴があり、システムの用途によって使い分けが必要になると思われるが、この影響評価によると、FFTによるスペクトルピークの検出による方法は、SN比が低い場合にもノイズの影響を比較的受けにくいとされている。

また水平風速の測定に比べて鉛直風速(w)とその標準偏差(σ_w)の測定はやや難しく、平均化時間と大気の状態により、20 cm/s程度の不確かさがあるとされている。

3. Boulder Atmospheric Observatory (BAO) と Portable Automated Mesonet (PAM II)

この講座の中日に半日かけて近郊の施設を見学した。このうちNCARのResearch Aviation Facilityについては4)で測器について述べたので、ここではBAOとPAM IIについて簡単に紹介する。

まずBAOは、大気境界層観測のために建設された300mの塔で、前述の各高度に測器を設置できるアームがある。各高度には超音波風速計、プロプラ型風向風速計、水晶温度計、露点計が設置してあり、他の測器も必要に応じて設置できる。またリモートセンシングのための種々のレーダーも塔の周囲に配置されており、これまでに種々の共同観測がなされて成果をあげている。

PAM IIは、メソスケールの気象現象の解明のために作られた地上気象観測網で、PAM IIの前身であるPAM Iは1976~1982年に種々の研究に用いられた。PAM IIはこれを改良し、衛星を利用した、風速(水平二成分)、気圧、温湿度、雨量の測定をするリモートステーションを各地に配置し、データは気象衛星GOESを通じて実時間で基地に送られる。PAM Iでは観測網の配置に制約があったが、PAM IIでは衛星通信の利用によってこの制約は解消された。リモートステーションは、手軽に持ち運びでき、個々にマイクロプロセッサを内蔵していて、センサーの追加、交換、処理方法の変更などにも容易に対処できる。また消費電力はできるだけ小さくしてあり、電源はバッテリーと太陽電池を組み合わせたもので充分である。今後リモートステーションは100箇所以上に増設できるように計画されており、きめ細かな観測網が展開されるものと期待される。

4. 講座に出席して

以上、簡単ではあるが本講座の主な部分についての概要について述べた。詳細については、この講義録が近くアメリカ気象学会より出版される予定であるので参照していただきたい。

この講座を通じて感じたことは、測器に関してはやはり信頼度の高い湿度計の開発が遅れていることと、レーダーを中心としたリモートセンシングの技術が非常に進んできており、今後ますます進展してゆくものと考えら

れるということである。米国と日本を比較すると、研究者、技術者の層の厚さと研究費の額に雲泥の差があると考えられるが、日本でも可能なものについては情報をどんどん取り入れて独自に開発を進めてゆく必要性を感じた。

文 献

- Bearman, P.W., 1971: Correction for the effect of ambient temperature drift on hot-wire measurements in incompressible flow, *DISA Information*, 11, 25-30.
- Buck, A.L., 1983: The Lyman-alpha absorption technique for fast humidity measurement, *Pre-*

- print of Fifth Symposium on Meteorological Observation and Instrumentations, April 11-15, 1983, Tronto, Ont., Amer. Met. Soc. 314-320.
- Dyer, A.J., 1981: Flow distortion by supporting structures, *Boundary Layer Met.*, 20, 243-251.
- Wieringa, J., 1980: A reevaluation of the Kansas mast influence on measurements of stress and cup anemometer overspeeding, *Boundary Layer Met.*, 18, 411-430.
- Wyngaard, J.C., 1981: The effects of probe induced flow distortion on atmospheric turbulence measurements, *J. Appl. Met.*, 20, 784-794.

日本気象学会誌 気象集誌

第II輯 第62巻 第4号 1984年8月

- 楠 昌司：現実的な地形が入った順圧モデル大気の応答と定常解の多重性の可能性
- 増田善信：地上気圧変化量を用いた σ -面上の水平流および鉛直流の変分法による解析
- T.N. Krishnamurti, K. Ingles, S. Cocke, T. Kitade and R. Pasch: 全球スペクトルモデルによる低緯度の中期予報について II. 地形及び物理過程を考慮したイニシャリゼーションの効果
- 横山辰夫・田中 浩：二波長レーダーで観測される融解中の雪片の微物理過程 第I部 モデル計算に基づく測定の原理
- 横山辰夫・田中 浩・中村健治・阿波加純：二波長レーダーで観測される融解中の雪片の微物理過程 第II部 二波長レーダー法の応用
- 内野 修・高橋克己・田端 功・穂田 巖・岡田芳隆・内藤恵吉：エル・チチオン火山噴火雲の筑波 (36.1°N) でのルビーライダー観測および福岡 (33.6°N) の紫外ライダーとの比較
- 中澤高清・青木周司・深堀正志・田中正之：富士山山頂における大気中の二酸化炭素濃度

要報と質疑

- 村上正隆・孫野長治：雲粒とその残渣粒子の大きさの関係について
- 増田耕一：FGGE 期間中の非断熱加熱率の見積もり：予備的結果