

# ボールドラーでのWMO ドブソンオゾン分光光度計の国際相互比較

宮川 幸治\*

## WMO/GAW Intercomparison of Dobson Ozone Spectrophotometers in Boulder, USA

Koji MIYAGAWA

### Abstract

The WMO/GAW intercomparison of Dobson ozone spectrophotometer was held from 7 to 30 September 2004 at the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) in Boulder, USA. During the intercomparison, the Asian standard Dobson No.116 was compared with the world standard Dobson No.83 in collaboration with the ozone group at the Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory (CMDL) of NOAA where the world Dobson standard is maintained. The purpose of this event was to calibrate total ozone measurement as well as the improvement of umkehr measurement for vertical ozone profile. The first comparison measurements of total ozone were carried out in the morning hours on 9 September. The error of No.116 was 0.0 percent when referred to the total ozone of 300 m atm-cm, which proved no substantial calibration shifting occurred from the old factor determined three years before at Mauna Loa in Hawaii. The internal optics of No.116 was generally in good condition though a dirt spot was found on a mirror. The right-side mirror was replaced with a German quartz-coated mirror provided by CMDL. After the mirror replacement optical adjustment and instrument maintenance of No.116 were performed. The final comparison of total ozone was carried out on 17 September and the new calibration factor of No.116 was determined. Umkehr comparison measurements for evaluating the characteristics of vertical ozone profile by Dobson spectrophotometer were tried several times during the period, and two sets of ozone vertical profiles were obtained. ECC ozonesonde was also launched twice on 15 September when one of the umkehr measurements was successfully completed. The comparison result of umkehr and ECC ozonesonde measurements will be utilized as a reference for evaluating the Dobson umkehr measurement. The Asian standard Dobson No.116 was upgraded to the new automatic Dobson system of Windows version in 2001. During this intercomparison all the measurements and lamp tests were processed in fully automatic mode using the Windows comparison programs of the new system.

### 1. 背景

オゾン層保護のためのフロン規制が世界的に実施され、大気中のオゾン層破壊物質の濃度はほぼピークを過ぎ、今世紀中頃にはオゾン層の回復が予測されている。世界気象機関(WMO)は、全球大気監視(GAW)の下でオゾン層等の監視や観測を定めており、オゾン観測の精度維持と良質なデータがより一層求められている。GAWでは世界オゾン観測網の精度維持のためにドブソンオゾン分光光度計(以下、ドブソン分光計又は測器と記す)の世界準器との比較観測を少なくとも3年に1回実施するよう勧告(第40回WMO執行理事会)されている。気象庁はドブソン分

光計のアジア地区準器を保有し、アジア地区の地区校正センター(WCC)を2002年に設置するなど体制の強化を行った。このWCCの役割の一つにアジア地区のドブソン分光計の校正(RDCC)があり、気象庁はその責務を担っている。アジア地区準器は、2001年に米国ハワイ島で実施された国際比較へ参加した。今回、3年を経過した高層気象台所有のドブソン分光計 No.116は、WMOからの要請を受け、米国・ボールドラーでの国際相互比較に参加することになった。また、1996年(3月、9月)、2003年に国際相互比較が日本のつくば(当台)で3回にわたって実施され、アジア・太平洋諸国のオゾン測器相互比較(Evans *et al.* : 1998, 2004a, 志村ほか : 1997)で、我が国が指導的な役割を果たした。さらに、平成17年度に計画されている同様

\*高層気象台 観測第三課

のアジア地区オゾン相互比較では、アジア地区内のオゾン観測の精度維持と向上のために、全球大気監視(GAW)計画に対し大きな国際貢献を果たすことが期待される。これらの事業は、南極を含む国内のドブソン分光計のオゾン観測精度維持のためにも重要となる。一方、これまで実施できなかったオゾン反転観測の総合的な比較については、NOAAの全面的な協力により、今回の機会を利用して測定改善のための相互比較と共同研究が併せて実施された。

### 国際比較への参加状況

アジア地区準器 No.116 は、1977 年以降ほぼ 3 年毎に世界準器との比較校正に参加し、継続して地区準器の精度維持が図られている(宮川：1996, 1999, WMO：1996)。我が国が参加したドブソン国際相互比較を以下に示す。

表 1 我が国の国際相互比較への参加状況

実施年	開催地	測器の数
1977	米国・ボールダー	9
1984	オーストラリア・メルボルン	5
1989	米国・ハワイ(マウナロア)	2
1992	米国・ボールダー	5
1995	スイス・アローザ	18
1998	米国・ボールダー	4
2001	米国・ハワイ(マウナロア)	2
2004	米国・ボールダー	4



写真1 1999年に現地点に移転された米国海洋大気庁(NOAA)

## 2. 比較地ボールダーの環境

米国コロラド州ボールダーはアメリカ大陸の中西部に位置し、海拔 1200m から 2000m の立地条件にあり高地トレーニングで有名な場所でもある。町の中心にはコロラド大学や多くの研究機関の施設があり、人口は 10 万人ほどで活気に満ちた町である。WMO ドブソン分光計の国際相互比較は、米国海洋大気庁(NOAA)の施設を利用して行われた(写真 1)。NOAA の庁舎は、1999 年に旧庁舎から 5 km ほど西の米国大気研究センター(NCAR), 国立標準技術研究所(NIST)などの多くの研究所が集まる、地球観測を行うにふさわしい環境へ移転された。海拔 1630m の高地で西にロッキー山脈の尾根を抱えた自然環境豊かな地に施設がある。WMO オゾン国際相互比較は、NOAA 気候監視診断研究部(CMDL)のオズングループの Robert Evans 氏らを中心に行われた。研究施設への出入りは厳しいセキュリティ管理がなされており、毎日パスポートと訪問先のチェックを受け Visitor 証明を得る必要があった。一月以上滞在する場合は、事前の登録が可能でセキュリティーカードが発行される。

## 3. ドブソン分光計の校正体制

### 3.1 世界準器の維持管理と検定

WMO では 1980 年に米国のドブソン分光計 No.83 を世界準器と定め、NOAA/CMDL が絶対検定と測器の精度維持を行っている。1972 年に初めてラングレー法(LPM; Langley plot method)によるドブソン分光計の絶対検定がハワイのマウナロア観測所の施設で行われた。LPM は、毎年夏の 6 月～8 月の 8 週間に半日の連続した測定が行われる。データセットはオゾン全量が増加または減少している場合に修正される。結果は各波長組への大気外定数(ETC; Extraterrestrial constant)補正として適用される。No. 83 の現検定定数は、1993 年 7 月 16 日の目盛り付けに基づいて決定されており、ラングレー法による 2003 年までの誤差が±0.5%の範囲であることが確かめられている(Evans *et al.*: 2004b)。この目盛り付けの値は、NOAA の第二準器 No.65, 地区準器 Nos.116, 105 and 64 などへ移されている。絶対検定値の定数決定は、測器同士の同時観測により行われる。

今回、マウナロア観測所から特別にボールダーへ世界準器が移され、アジア地区準器の校正のためにオゾン全量と反転観測の総合的な比較が行われた。

### 3.2 世界のドブソン校正ネットワーク

世界のオゾン全量の校正ネットワークは、NOAA の世界準器 No.83 を絶対基準として、第二準器 No.65 と 3 台の

地区準器を中心に構築されている。第二準器は、世界準器と少なくとも 2 年毎に比較校正され、南米とアフリカ地域、アメリカ国内の現用器の校正に利用される。また、No.64, No.65 は、2004 年のエジプトでの校正でクロスチェックが行われ良好な結果を得ている(Evans *et al.* : 2004a)。アジア地区準器 No.116 は、アジア地区・太平洋諸国に対しての校正と日本国内の現用器の校正のために利用される。アジア地区・太平洋諸国の校正では、中国、韓国、フィリピン、インド、パキスタン、タイ、イラン、モン

ゴルを対象として 10 台の現用ドブソン分光計がある。また、現在世界のドブソン観測網では、世界準器を頂点として 90 台以上のドブソン分光計が校正の対象になっている(図 1)。

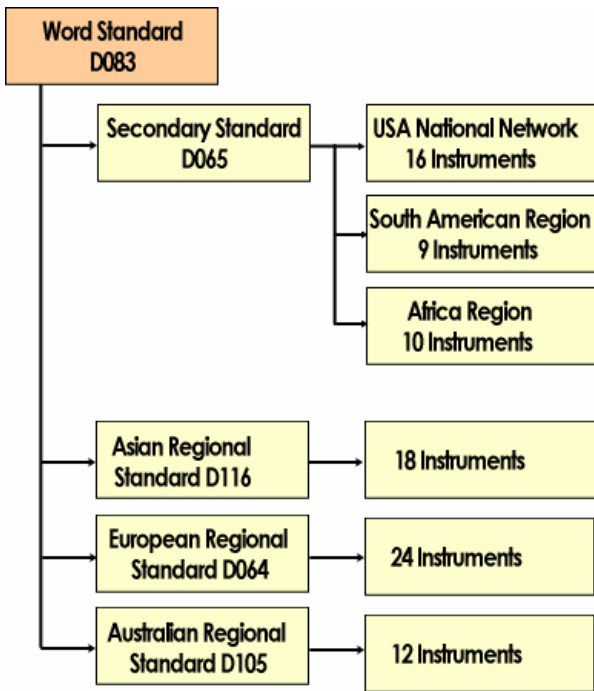


図 1 世界のドブソン分光計の校正ネットワーク

#### 4. アジア地区準器の校正準備

##### 4.1 実施期間と参加者

ボールダーでの測器相互比較は、2004 年 9 月 7 日～9 月 30 日の期間に実施された。この相互比較には、日本のアジア地区準器 No.116 と NOAA が管理している世界第一準器 No.83, 第二準器 No.65, ボールダーの現用器 No.61 の 2 カ国 4 台が参加した(表 2)。

期間中のさまざまな観測やデータ処理には、CMDL のオゾングループである Robert Evans 氏, D. M. Quincy 女史, B. Walsh 女史が主に対応された。また、反転解析に関しては、Petropavlovskikh 博士(NOAA/SRRB : Surface Radiation Research Branch), オゾンゾンデ, エレクトロニクス関係のそれぞれの担当者に対応して頂いた。

表 2 国際相互比較の参加国

測器 No.	参加国	参加者
83	米国・ボールダー	Robert Evans
65	米国・ボールダー	Robert Evans
61	米国・ボールダー	Robert Evans
116	日本	Koji Miyagawa

##### 4.2 測器輸送の事前準備

アジア地区のドブソン分光計は、完全自動化された測器として移動可能な唯一のシステムである(Miyagawa : 1996, 1997, 2004)。日本から米国までの輸送では、カルネ制度を利用した一時輸出入による免税扱いの手続きを行った。輸送する全てのパーツリストを作成し、シリアル番号と価格表などを付して申告を行う。この手続きには約 1 ヶ月要した。空港税関では、リストに基づき内容の確認が行われるが、今回は測器や付属品へ影響がなく実施された。輸送品は、ドブソン分光計本体を納めた専用ケースと自動制御用付属機器、各種ランプ点検装置などを含め全体で 4 ケース、約 400kg である。

自動制御システムは、2001 年のハワイでの国際比較に先だって更新された Windows 版である。今回は、太陽光を取り込むためのサンディレクターを自動化して持ち込んだ。

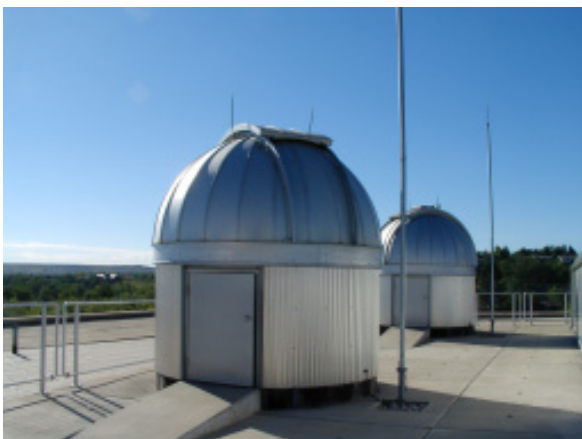


写真 2 NOAA 屋上に設置されたドブソン分光計の専用ドーム

左)日本のアジア地区準器の観測に利用 右)ボールダー現用器



写真3 屋上ペントハウスの観測準備室での測器のランプ点検作業など

#### 4.3 比較観測の準備

測器の組み立て調整は NOAA の最上階にある準備室を借りて行われた。オゾン観測の比較では、屋上に設置されたドブソン分光計専用の観測ドーム施設一基を利用させて頂いた(写真2)。太陽光の取り込みは、必要なドームの窓を手動で調整して行う。ドーム内は空調設備があり測器の温度変化による影響を避ける効果があった。

#### 4.4 各種ランプによる結果と高度補正

ボールダーの標高は、つくばの標高に比較して約1600m 高いことからドブソン分光計の高度補正が必要になる。ボールダーの平均気圧は、約 832hPa で水晶プリズムの屈折率が大きく変化する。数回行った水銀ランプ点検では、 $-1.4^\circ$  の波長(Q)ズレが認められた。高度補正のため、この点検結果を基に各波長組 A, C, D に対して温度係数を乗じた新 Q 表を作成した。新 Q 表を用いての標準ランプ点検では、ランプ 4 個の結果がつくばの点検値と概ね一致しており、測器の輸送等による特性の変化が無かったと判断された。

#### 4.5 電源その他

今回持ち込んだ測器およびその付属品は、概ね良好に動作した。米国の商用電源は AC115V, 50Hz を使用しているので、前回のハワイでのトラブルを避けるため 100V 仕様の付属品などは電圧変換器を通して供給した。

### 5. 相互比較の結果

今回の相互比較では、国際準器 No.83 と我が国の

No.116, 第二準器 No.65, 更にボールダー現用器の最大 4 台の同時観測が行われた。大気路程  $\mu=3.5\sim 1.15$  の間で、ほぼ連続した観測が午前中を通して行われた。午後は、太陽光度が  $30^\circ$  以下になると西側のロッキー山脈の陰に太陽が入るために観測ができない。ただし、反転観測には影響しない。

#### 5.1 現状の比較

現状の比較観測は、前回の 2001 年に実施したハワイでの比較較正からどれだけ測器の特性に変化が生じたかを確認することにある。今回の比較結果は以下のとおりである。

比較日 : 2004年9月9日 午前  
 基準測器 : 世界第一次準器 No.83  
 標準ランプ点検 : 結果の補正を含む  
 比較測器 : アジア地区準器 No.116 は、自動制御システムによる

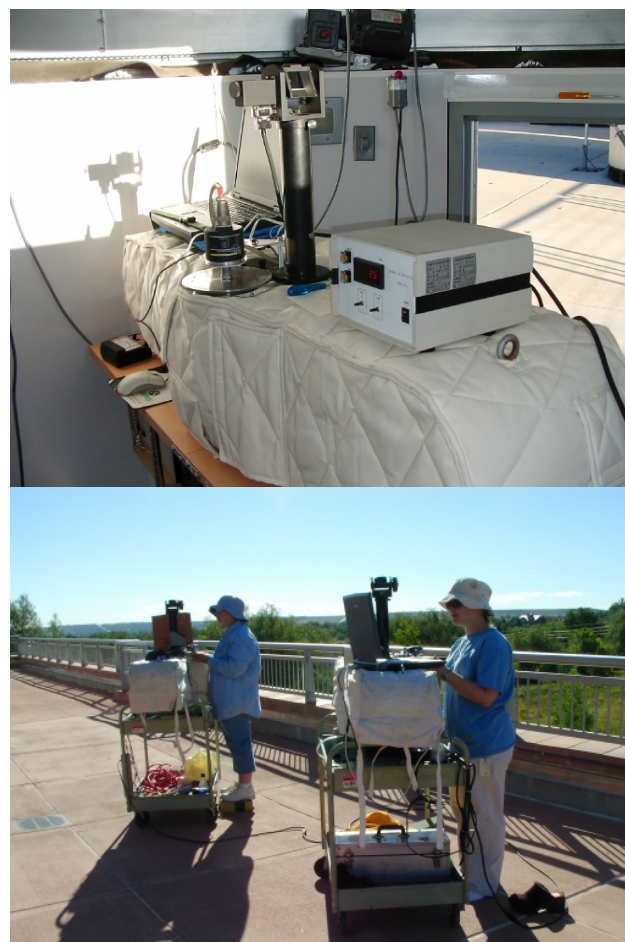


写真4 2004/9/9 のオゾン全量の相互比較  
 上) 観測ドームでのアジア地区準器 No.116  
 下) 第一準器 No.83(右)と第二準器 No.65(左)

キャリブレーションデータ：

- N 表はハワイの 2001 年 9 月の相互比較に基づき決定。
- Q 表は 2001 年 9 月を基にボールドーでの高度補正を各波長組に対して行い作成。
- 標準ランプの基準の値は、2001 年 9 月のハワイの相互比較から決定した値を使用。

比較結果：

$d_{Na}$ : -0.3  
 $d_{Nc}$ : 0.0  
 $d_{Nd}$ : -0.3  
 $d_{Nad}$ : 0.0

各波長の  $d_{Na,c,d,ad}$  は、大気路程  $\mu=1.15\sim 3$  における平均的な N 値の基準器との差を示す。オゾン全量値 300m atm-cm に換算したときのオゾン全量に対する誤差は、その平均的な差が 0.0%であった。誤差の許容範囲は通常 1% 以下としているが今回は全く誤差がない理想的な結果を得た。更に各波長組についても殆ど差がない理想的な結果であった。なお、最近行われている地区比較では、その半数近くが誤差 0.5%以下という好結果が得られている。

## 5.2 光学系の状態

アジア地区準器 No.116 の自動制御システムは、2001 年 3 月に Windows 版への移行を行い前回のハワイでそのシステムの精度が確認されていたが、今回の結果で改めて自動化の効果が確かめられた。自動制御システム関係を除き現地で実施された測器保守の内容は、以下のとおりである。

- 第一分光ミラーに目視で確認できるスポット状の汚れがあった。汚れの場所は、実際の光路からずれたところにあった。この汚れを持ったミラーは、ドイツで特別に再加工された反射面に水晶コーティング処理されたものに交換された。
- 第一分光ミラーの交換に伴い、スリット調整を繰り返して実施した。
- 内部の光学系の光学楔などは僅かな汚れを持っていた。
- ミラー交換に伴う標準ランプ点検の結果は、A,C,D 波長組で基準値からそれぞれ -2, -5, -4 のシフトを示した。
- ツーランプ点検による光学楔の濃度勾配の点検を実施したが、オリジナルのテーブルに対して僅かなずれであった。この点検結果は、最終比較で検定データとしてテーブル補正された。
- Q レバーは、回転軸が堅くなる現象が見られたため分解清掃し、高真空グリースを僅かに塗り取り付けた。

- スペクトルランプ点検を実施したが、オリジナルの値と比較し殆ど差が見られなかった。
- 測器保守の後の 2004 年 9 月 17 日に全量比較観測を行った。ボールドーの南で山火事があり比較の後半から正午にかけて煙が上空を通過した。しかし、比較の結果には煙の効果が直接影響していないように思われた。

## 5.3 最終の相互比較

光学系の保守後に実施された最終比較の結果は以下のとおりである。

比較日 : 2004 年 9 月 17 日 午前  
 基準測器 : 世界第一次準器 No.83  
 標準ランプ点検 : 結果の補正を含む  
 キャリブレーションデータ :

標準ランプ点検の結果を使用

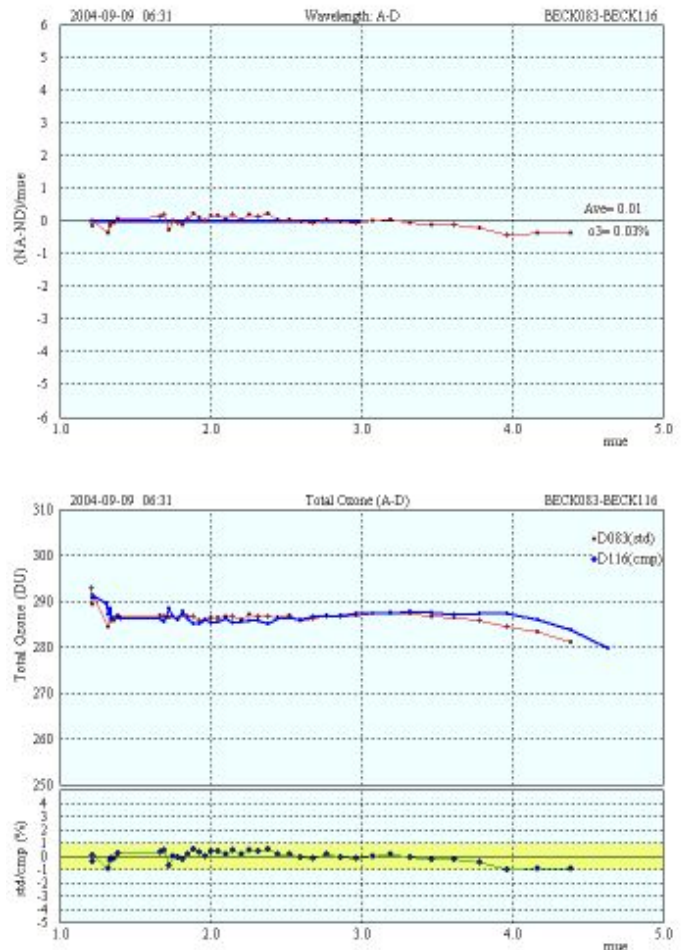


図2 9月9日午前の最初の比較結果  
 (上) NA-ND の差で大気路程  $\mu$  に対する関係を示す。  
 (下) AD 組によるオゾン全量とその基準器との差(%)を示す。

比較結果：

$$d\_Na : -0.33$$

$$d\_Nc : -0.44$$

$$d\_Nd : -0.84$$

$$d\_Nad : +0.51$$

この結果は第一分光ミラーの交換と光学系の清掃に伴う変化を示す。この差は、RN 表への補正值として加えられ、アジア地区準器のオゾン全量を基準測器の値に一致させた。

## 6. 反転観測の測定改善

反転観測の測定改善には、測器毎の誤差評価と反転解析のためのアルゴリズムの改訂が含まれる。測器毎の誤差が何故起こるのか、Evans らは測器の特性をさまざまな視点で調査している。例えば分光プリズムの材質の違いが内部散乱に差を持つこと、光学楔の特性とその検定誤差、スリット関数の特性など、複雑な要因がある。

### 6.1 比較の重要性

反転観測によるオゾン鉛直分布の測定データは、成層圏上部での塩素等によるオゾン破壊の状況を詳細に把握する上で重要な役割を果たす。反転観測は、1950 年代からの長期データベースを持っており、フロン規制の効果でオゾン回復の時期がいつであるのか、高度 40-45km 付近の第 8 層に着目したトレンド解析が盛んになされてい

る(Reinsel : 2002, Petropavlovskikh *et al.* : 2000, 2001, 2004)。しかし、従来の反転観測のデータ処理では、測器による固有の特性の違いが結果に大きく影響を及ぼすことが明らかになっており、その補正方法の確立と共にオゾンプロファイルの基準化が緊急の課題となっている。研究者によるさまざまな解析がなされているが、トレンド解析では、誤差評価がとても重要な要素になっている。Petropavlovskikh *et al.*(2004), Miyagawa and Hirose(2004)は、測器間の特性を詳細に解析するための相互比較と新たな処理方法の検討を進めており、今回の相互比較ではその最前線における多くのデータと情報を得ることができた。

### 6.2 相互比較

反転観測の測定改善のための比較観測には、世界第一準器 No.83, 第二準器 No.65 及びアジア地区準器 No.116 更にボールダー現用器 No.61 の 4 台の測器が参加した。また、基準のオゾンプロファイルを詳細に解析するために、一日 2 回通常型と水蒸気型の ECC 型オゾンゾンデが飛揚された。反転観測の相互比較では、1 分毎に A, C, D 波長組の測定が各測器同時に行われた。No.116 と No.61 は、完全自動制御された測器であり専用のプログラムを使って測定が行われた。

早朝 5 時に準備に入り、日の出前 15 分頃から測定を開始した。期間中に 4 回の反転比較を試みたが、その中で 2 回のデータが利用可能となった。9 月 15 日の比較は大気

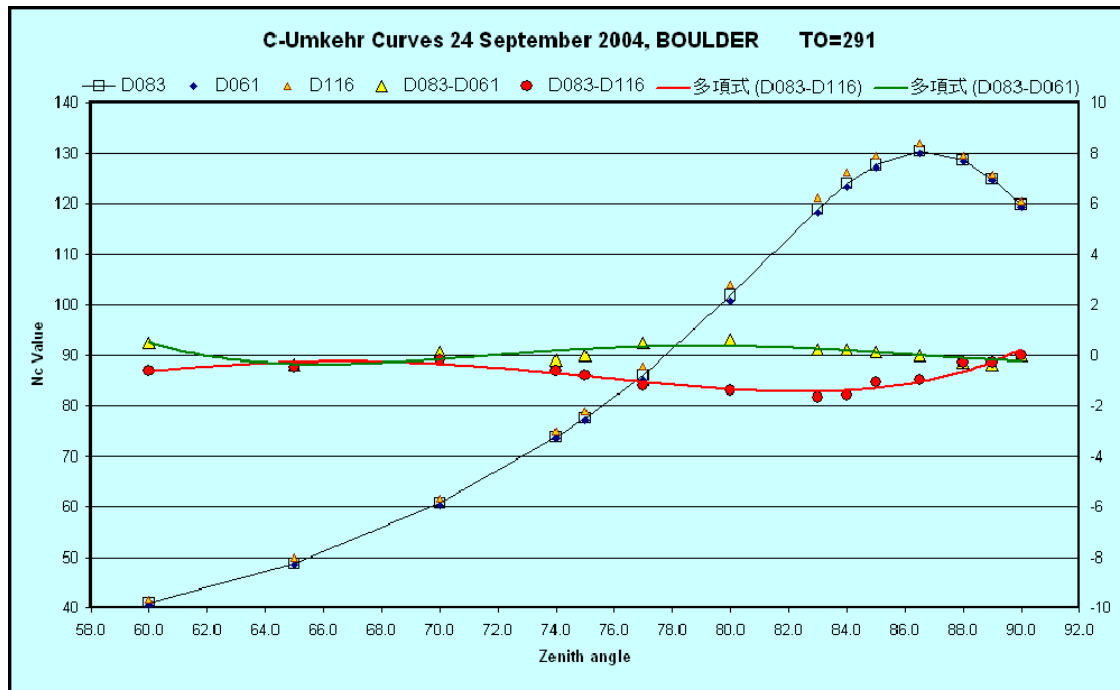


図3 9月24日午前の反転観測 N 値の比較事例 (左軸 : No.83 を基準とした差)

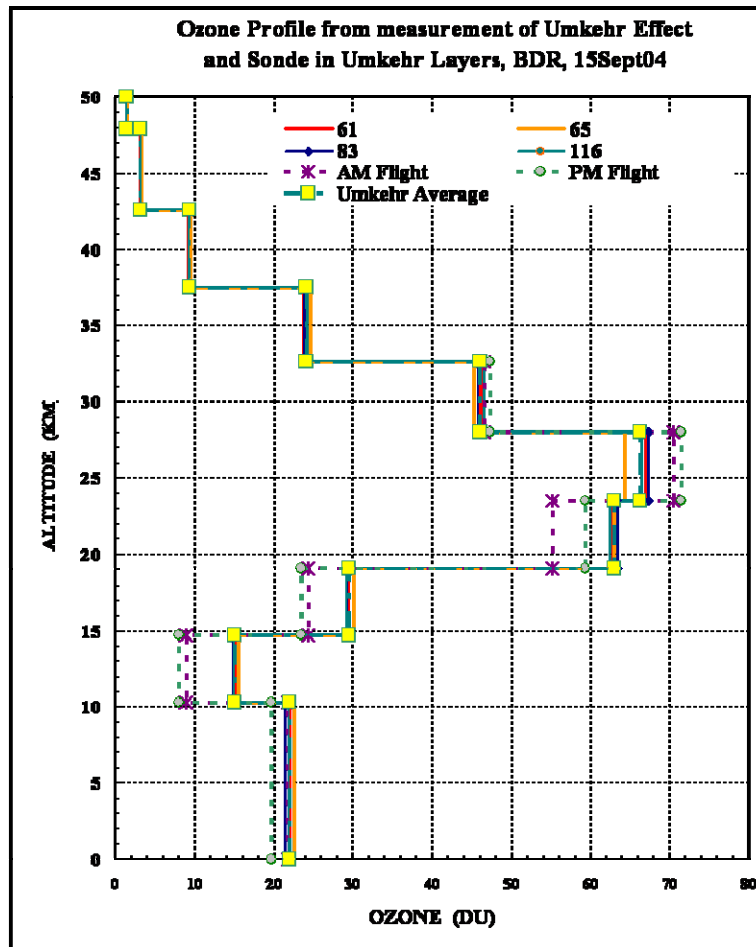


図4 9月15日午前の反転観測とオゾンゾンデ観測の比較結果  
値は暫定解析によるオゾンプロファイル (Evans氏による速報解析結果を使用)

状態がとともよく、測定値の修正を必要としなかった。9月24日の比較では、雲の通過による反転カーブの修正を必要とした。反転観測を行う世界の多くのGAW地点では、手動による測定が行われている。このため観測者の測定誤差を想定し、波長設定で $\pm 2^\circ$ の誤差を与えて第二準器により試験データの取得が行われた。このずれによる誤差はN値で最大4となり、オゾンプロファイルへ与える効果が10%以上と見積もられた。

### 6.3 反転解析アルゴリズムの改訂

反転観測のデータ解析では、NOAAのPetropavlovskikh博士らの専門家によって解析アルゴリズム改訂のための研究が行われている。現在の反転解析アルゴリズムは、UMK1992版(Mateer and DeLuisi: 1992)であるが、オゾン全量に依存した仮定16層のモデルで処理されている。

Bojkov *et al.*(2002), Kosmidis *et al.*(2000)らは、Reconstruction of Vertical ozone distributions from Umkehr estimates

(REVUE)で各層の緯度による季節依存性をアップデートし、Forward modelの改訂がなされた。さらにPetropavlovskikh, Bhartia, DeLuisiらは、UMK2004版としてオゾン全量への依存性のない仮定と各種テーブルのアップデート(標準プロファイル、波長の強度比変換、内挿なし)、Inverse modelのエラー解法の改善などを進めており、まもなくこのアルゴリズムへの移行がなされる予定である。

### 6.4 相互比較の結果

反転観測の相互比較について、図3に9月24日午前の反転観測N値の測定曲線とNo.83を基準とした場合のNo.116, No.61の差を示す。No.116のN値の差は、太陽天頂角 $83^\circ$ 付近で最も大きく約-1.5である。9月15日午前の最初の比較結果においても、概ね同様であった。

オゾン鉛直分布について、図4に9月15日午前の反転観測とオゾンゾンデ観測による比較結果を示す。反転プロファイルの解析にはUMK1992版を利用した。両測器で



写真5 反転観測と同日に行われたECC型オゾンゾンデの飛揚風景(上)と飛揚前準備室でのデータ収録準備

飛揚場所は、NOAA から5kmほど南西にあるNCARの観測施設の一部である。飛揚時間帯にはNCARの学生などの見学があり、その対応がJohnson氏によりなされている。

得られるオゾン量は仮の値である。2回のオゾンゾンデの結果を見ると、午後の飛揚で第4層のオゾン量が増加していることが分かる。反転観測による各層毎のオゾン量は、4台のドブソン分光計でほぼ同じ値が得られた。反転観測とオゾンゾンデ観測のプロファイルと比較すると、第2,3層でやや大きな差が見られた。第6,7層では、概ね一致した。

天頂角特性やオゾンプロファイルの詳細については、今後NOAAによる専門家会議での報告や研究発表、WMOレポートへの最終的な報告などが検討されている。これに併せて、アジア地区準器の特性試験及び比較データの解析を今後行う予定である。

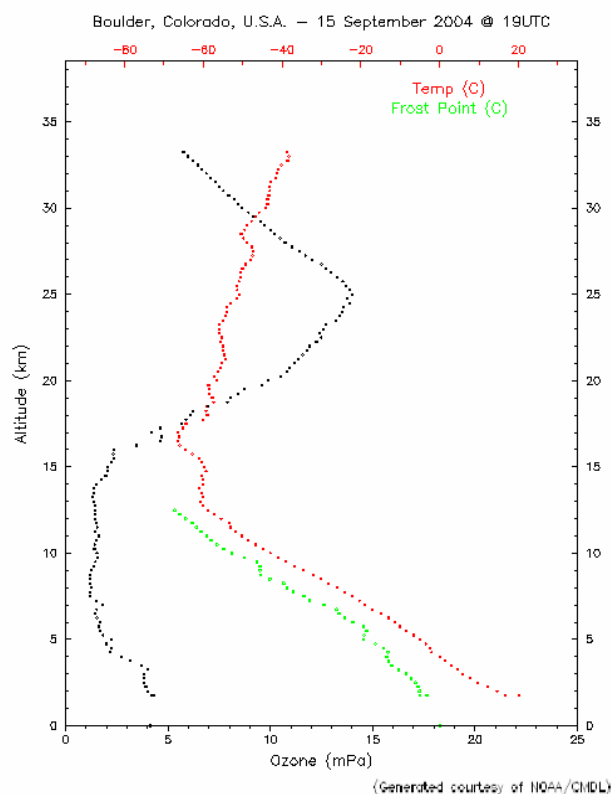


図5 9月15日のオゾンゾンデによるオゾン鉛直分布

この図はCMDLのWebサイトのオゾンゾンデ結果を利用した。

## 7. おわりに

### 7.1 コメント

アジア地区の準器 No.116 は、NOAA の屋上に設置された予備のドブソン観測ドームを利用した。この空調設備の整った施設を利用したことにより、測器は長時間の比較に対して温度が安定に保たれ波長調整への影響が抑えられる効果があった。最初の比較において、オゾン全量の誤差が全く見られず、アジア地区準器としての精度維持及び自動化の効果と改善を実感した。しかし、自動制御システムによる測器の自動化は、特に可動部分の改善が必要であることが指摘されており、今後Qレバーや光学楔の可動部分の材質を耐摩耗性のルーロン加工品へ移行するなど検討が必要である。

## 7.2 自動制御システム

日本の自動制御システムは2001年にWindows版への移行が実現した。制御の安定とソフトウェアの共通化などが推進され、プログラムの汎用性と迅速なデータ管理が可能になった。世界のドブソン観測ネットワークでは、日本と米国で完全自動化した設備により観測が行われている。しかし、米国での自動化は高価な装置を用いるため導入できる地点が全体の半分ほどである。日本の自動制御システムは、米国でも好評で滞在中に多くの方々が見学を訪れた。ドブソンの第一人者でもあるWalter D. Komhyr博士、NASA、NOAA関係者など、開発を行ったものにとって大きな励みであった。Windows版のソフトウェアについては、特に反転観測プログラムの品質チェック機能やオゾンプロファイルを視覚的に瞬時に表示できるシステムなどが注目された、さらに、今回移動用に開発したツーランプ自動点検装置は、その点検の苦勞を知るものにとって画期的なシステムであり、ひとときわが関心が高かった。

自動化のソフトウェアに関しては、自動化されていないGAWステーションでも利用可能であることから、ソフトウェアの配布及び著作権などを含めて今後検討される。

## 7.3 観測施設

ドブソンの観測場所として日本では、沖縄と鹿児島で専用のオゾン観測用ドームが整備されている。高精度で測定可能なドブソン分光計は、測器温度により測定波長の微調整が行われるが、空調設備のない屋外での長時間測定によって測器内部の温度が大きく変化する。このような急激な温度変化は、測器に歪みを生じ観測誤差をもたらす場合がある。米国のドブソン観測ネットワークでは、多くの地点で専用の観測ドームを持っており、我が国でも同様な観測施設の整備を今後期待したい。特に高層気象台はアジア地区校正センターとして、高精度の観測を行うためには是非導入したいものである。

## 7.4 反転比較観測

今回は反転観測の測定改善のための特別な比較プログラムが生まれ、世界準器との詳細な同時比較データを取得することができた。CMDLでは反転観測の比較に併せてECCゾンデが飛揚された。これを日本の反転観測への大きな期待と受け止めると共に大きな責任を感じた。この結果は、我が国の過去の反転データの補正や評価のみならずGAWのステーションにおける基準反転プロファイルを確定するための基礎データとする作業でもある。反転比較観測は天頂に雲がない晴天下において、日の出前の準備に始まり太陽天頂角60°まで連続して行われる。期間中の後半は天気が悪い日が多く、途中から雲に覆われ中止するなど思うようにデータをとることが出来なかった。しかし、今回の目的である反転比較プロファイルが2回得られ、更に最新情報に関して意見交換ができたことは大きな成果であった。

## 謝 辞

今回の国際相互比較に際し、測器の輸送、外国出張に関する手続きおよび予算等ご支援ご協力いただいた関係各位に感謝すると共に、環境気象課、オゾン層情報センターの方々にお世話になりましたことを深く感謝いたします。滞在中は終始お世話頂いたRobert Evans氏に心より感謝すると共に、比較観測や多くのサポートを願ったD. M. Quincy女史、B. Walsh女史に感謝いたします。

また、編集委員会からの依頼によって本稿を校閲され、種々ご助言やご教示を頂きました査読者並びに編集委員の皆様にあわせてお礼申し上げます。

## 引用文献

- Bojkov, R. D., Kosmidis, E., DeLuisi, J. J., Petropavlovskikh, I., Fioletov, V. E., Godin, S., and Ch. Zerefos (2002) : Vertical ozone distribution characteristics deduced from 40,000 re-evaluated Umkehr profiles (1957-2000). *Meteorol. Atmos. Phys.*, **79**, Issue 3-4, 127 - 158.
- Evans, R. D., Quincy, D. M., Komhyr, W. D., and G. L. Koenig (1998) : Results of four international Dobson spectrophotometer intercalibrations held since 1992. *Proceedings of the XVIII Quadrennial Ozone Symposium in Italy in September 1996*, **Vol.2**, 899 - 902.
- Evans, R. D., Carbaugh, G. L., Oltmans, S. J., Quincy, D. M., O'Neill, M., Clark, M., and U. Koehler (2004a) : Results of international Dobson spectrophotometer intercalibrations held since 1996. *Proceedings of the XX quadrennial ozone Symposium in Kos Greece 2004*, **1**, 532 - 533.
- Evans, R. D., Carbaugh, G. L., Oltmans, S. J., Walsh, B., Quincy, D. M., O'Neill, M., and M. Clark (2004b) : Dobson calibration scales and application to network instruments. *Proceedings of the XX quadrennial ozone Symposium in Kos Greece 2004*, **1**, 534 - 535.
- Kosmidis, E., Bojkov, R. D., DeLuisi, J.D., Petropavlovskikh, I., Thuissen, D., and C.S. Zerefos (2000) : Re-Evaluation of raw Umkehr data. *Proceedings of the Quadrennial Ozone Symposium in Sapporo in 2000*, **1**, 498 - 499.
- Mateer, C. L. and J. J. DeLuisi(1992) : A new Umkehr inversion

- algorithm. *J. Atmos. and Terr. Phys.*, **54** (5), 537 - 556.
- Miyagawa, K.(1996) : Development of automated measuring system for Dobson ozone spectrophotometer. *Ozone Symposium in Italy in 1996*, **2**, 951 - 954.
- 宮川幸治(1996) : スイスアローザで行われた WMO ドブソンオゾン分光光度計の国際相互比較. 高層気象台彙報, **56**, 7 - 14.
- Miyagawa, K.(1997) : Development of an automated system for the Dobson ozone spectrophotometer. *The Geophys. Maga. Series 2*, **2-1**, 77 - 107.
- 宮川幸治(1999) : ボールダーにおける WMO ドブソンオゾン測器相互比較 1998. 高層気象台彙報, **59**, 29 - 36.
- Miyagawa, K.(2004) : Upgraded automatic Dobson ozone spectrophotometer with Windows PC for ozone observation network in Japan. *Proceedings of the XX quadrennial ozone Symposium in Kos Greece 2004*, **1**, 579 - 580.
- Miyagawa, K. and Y. Hirose (2004) : Re-evaluation of long-term Dobson Umkehr N-data by intercomparison. *Proceedings of the XX quadrennial ozone Symposium in Kos Greece 2004*, **1**, 581 - 582.
- Petropavlovskikh, I., DeLuisi, J., and D. Theisen (2000) : Detection of Shifts in the Umkehr N-value Radiance Records. *Proceedings of the Quadrennial Ozone Symposium in Sapporo in 2000*, **1**, 585 - 586.
- Petropavlovskikh, I., Theisen, D., DeLuisi, J. J., Bojkov, R. D., and E. Kosmidis (2001) : On shifts in the long-term Umkehr radiance records and their influence on retrieved ozone profiles. *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 255 - 258.
- Petropavlovskikh, I., Evans, R. D., Carbaugh, G. L., Millard, E., Stubi, R., and U. Koehler (2004) : Towards a better knowledge of Umkehr measurements: a detailed study of data from ten Dobson intercomparisons. *Proceedings of the XX quadrennial ozone Symposium in Kos Greece 2004*, **1**, 594 - 595.
- Reinsel, G. C.(2002) : Trend analysis of upper stratospheric Umkehr ozone data for evidence of turnaround. *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 91(1 - 4).
- 志村英洋・上野丈夫・廣瀬保雄・田森俊彦・宮川幸治・伊藤真人・能登美之・高尾俊則・寺坂義幸(1997) : アジア・太平洋地域オゾン国際比較実施に関する報告. 高層気象台彙報, **57**, 7 - 16.
- WMO(1996) : Report of the tenth WMO international comparison of Dobson spectrophotometers (Arosa, Switzerland, 24 July - 4 August 1995). *WMO Global atmosphere watch*, 108pp.