

アジア地区ドブソン分光光度計の国際相互比較 2006

宮川 幸治*・赤木 万哲**

Dobson Regional Intercomparison for Asia in Tsukuba, Japan (DIC-T2006)

Koji MIYAGAWA and Kazuaki AKAGI

Abstract

Worldwide ozone layer monitoring and trend detection are now being conducted by combining ozone observations from the ground surface, ozone sondes and satellites. Of these, total ozone observation with Dobson ozone spectrophotometers at surface stations has provided the most basic data for atmospheric ozone and environmental research. Long-term and quality total ozone records by Dobson spectrophotometers worldwide are utilized in the WMO/GAW program for the most reliable and accurate evaluation of the status of the ozone layer. For this reason, the WMO/GAW recommends regular comparison of Dobson instruments every four years to ensure the uniformity and consistency of global ozone measurements.

The Japan Meteorological Agency maintains the Regional Standard of Dobson instruments in Asia and held the Dobson Regional Intercomparison for Asia at the Aerological Observatory in Tsukuba from March 6 to March 24, 2006. This event was sponsored by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport and funded by the Official Development Assistance (ODA) of the Japanese Government. Participants came from India, Iran, Pakistan, the Philippines and Thailand, and experts from the US National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) and the Czech Hydro-Meteorological Institute (CHMI) attended. Participating instruments were inspected, cleaned, and adjusted to an accuracy of 1% as targeted by the WMO/GAW program. During the intercomparison, participants were provided with practical training in instrument maintenance and learned skills of various instrument adjustments to cope with minor hardware failures. Data processing software developed at the Aerological Observatory was offered as well and was expected to be a useful tool for helping the participants to avoid human error in data processing of measurements. In the workshop held during the last half of the intercomparison, each participant presented a country report, a NOAA expert lectured on the GAW ozone monitoring network and the calibrations structure, the importance of ozone monitoring was actively discussed, and participants exchanged information.

1. 背景

気象庁は、オゾン層観測の国際的な観測体制である WMO/GAW 計画の中で、アジア地区におけるドブソンオゾン分光光度計(以下、ドブソン分光計と記す)の較正センターとして地区準器を維持するとともに、アジア・南西太平洋地区の品質保証科学センター(QA/SAC)として当該地域でのオゾン層観測の指導的な役割を担っている。

GAW 計画では、ドブソン分光計によるオゾン層観測の観測精度を維持するために、4年毎の観測機器の較正を推奨しているが、アジア地区は開発途上国が多いことから各測器の較正は十分に行なわれていない状況にあり、

同計画のオゾン科学助言委員会でも、アジア地区の比較観測を早急に行うよう指摘がなされていた(Evans *et al.* : 1998, 2004)。こうした状況の中で平成17年度、国土交通省国際協力予算が確保されたことから、ドブソン分光計の国際比較観測を我が国で実施することになった。

アジア地区のドブソン較正センター(Regional Dobson Calibration Centre; RDCC)及び QA/SAC の活動として高層気象台では、ドブソン分光計を運用する対象国に対する較正及び技術的指導、高度化のための技術協力などを気象庁と共に積極的に行っている(Table 1)。アジア地区センターとして実質的な初の活動である 1996 年の「アジア・太平洋地域オゾン国際比較」では、旧運輸省予算により 7ヶ国を招聘し、3月と8月の2回に分け比較が実施された

*高層気象台 観測第三課 **気象庁 オゾン層情報センター

Table 1 The activity for Asia and the Pacific region.

Date	Activities (a) Country (Instrument), (b) Budget, (c) Place
March 1996	International Workshops on Ozone Observation in Asia and the Pacific Ocean (IWOAP-I) (a) Philippine (D052), Thailand (D090), Korea (D124), India (D112) (b) ODA (c) Tsukuba, Japan
September 1996	International Workshops on Ozone Observation in Asia and the Pacific Ocean (IWOAP-II) (a) China (D075), Pakistan (D100), Malaysia (B090) (b) ODA (c) Tsukuba, Japan
March 2003	WMO/GAW Regional Intercomparison of Dobson Spectrophotometers for Asia (a) China, Kunming (D003), China, Xianghe/Beijing-National Standard Instrument (D075) (b) China (c) Tsukuba, Japan
March 2004	WMO/GAW Regional Dobson Spectrophotometer Quality Assurance/Science Activity Center (QA/SAC) for Manila, Philippines (b) JMA (c) Manila, Philippines
November 2004	Intercomparison of Dobson Spectrophotometers at Yonsei University in Seoul (a) Korea (D124) (b) Korean Meteorological Administration (c) Yonsei University, Korea
August 2006	Installation of Automation system to Dobson Spectrophotometer at Yonsei University in Seoul (a) Korea (D124) (b) Korean Meteorological Administration (c) Yonsei University, Korea

(志村ほか：1997). その後、ドブソン分光計の国際比較に関しては、全ての経費を原則自国負担として 2001 年以降に参加の呼びかけを行ってきた。1996 年以降 7 年が経過した 2003 年 3 月につくばで中国の測器 2 台と 2 名の参加者により国際比較を行ったが、その他の多くの国々のドブソン分光計は、予算的な事情により長期間比較・較正が行われていなかった。このためデータの品質にも影響を与えることが懸念され、QA/SAC 活動の一環として現地調査を 2004 年 3 月にフィリピン・マニラに対して実施した(宮川・Hannagrace：2005)。韓国延世大学では、2004 年 11 月オゾン観測 20 周年を記念した国際オゾンワークショップを同大学において開催した。延世大学では、このワークショップに併せて韓国のオゾン観測の精度維持を図るためのドブソン分光計の較正を気象庁に依頼した。アジア地区の RDCC の役割として高層気象台では、初めて基準測器を国外へ移動して較正を行った(宮川ほか：2005)。また、同大学のドブソン分光計に対しては、オゾン観測の高度化のための技術支援として、高層気象台で開発したドブソン分光計自動化システムの技術移転を、韓国気象庁の支援の下で 2006 年 8 月に実施した。

その他、関係各国に対しては、電子メールを利用した様々な技術的フォローアップ処理を現在も継続している。

2. 比較実施に向けて

アジア地区ドブソン分光計国際相互比較を円滑に遂行するため開催に先立ち次の諸準備を行った。

(予算)

アジア地区ドブソン分光計国際相互比較は、平成 17 年度の国土交通省国際協力予算の政府開発援助(ODA)関連予算で行われた。5 ヶ国の参加者の旅費及び外国からの測器輸送、国内の受け入れに関する諸手続、比較観測及びワークショップ実施に関する予算上の手続き等については、国土交通省の委託を受けた(財)日本気象協会が行った。

(事前準備)

高層気象台では、つくばでの比較観測の実施に向けて、以下の多岐にわたる事前準備作業を気象庁オゾン層情報センターと連携しながら、約半年間の準備日程の中で行った。

(1) 参加対象国へのコンタクト

アジア南西太平洋地区では 9 ヶ国でドブソン分光計によるオゾン観測が実施されているが、参加のためのコンタクトは、国内準器が既に較正されている国や政府開発援助(ODA)対象国を除いた国を対象とした(Fig.1)。対象国

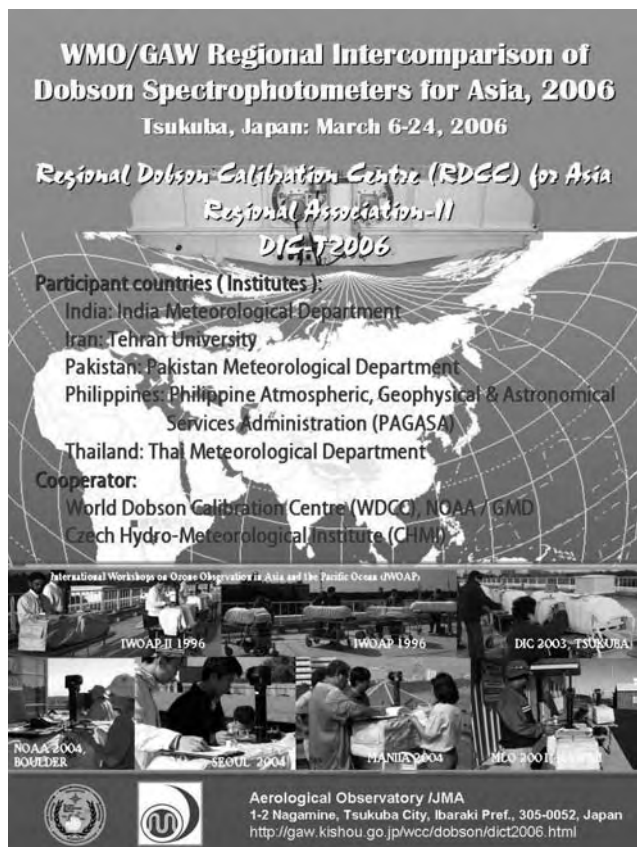


Photo. 1 The campaign poster for Dobson intercomparison of Asia.

への折衝は、予算が確定していない中で参加の意志確認等の手続きから始めた。

(2) 測器の状況や観測の状況，測器定数の確認

事前に測器の状態や修理状況，観測の種類，測器の点検状況とその結果，測器の定数などアンケート形式により情報収集を行った。これらの結果は，事前の準備作業へ反映させることができた。

(3) 測器の輸送に関する手配と輸送手続き

特殊な精密光学測器の輸送では，梱包から輸出入時の税関手続きの際の対応など，測器に細心の注意が必要であり，事前に技術的な説明などを対象国や業者に対して行った。これらの輸送全般に関しては，委託業者を通して参加国への手続き等が実施された。

(4) 比較場所および点検場所の準備

ドブソン分光計の比較は，庁舎屋上のオゾン観測室西側付近を主に利用して行った。風が強くて危険な場合などはオゾン観測室の南側を利用した。

(5) 参加者の招聘手続き

委託業者を通して，参加国への連絡と旅行手続き等が行われた。

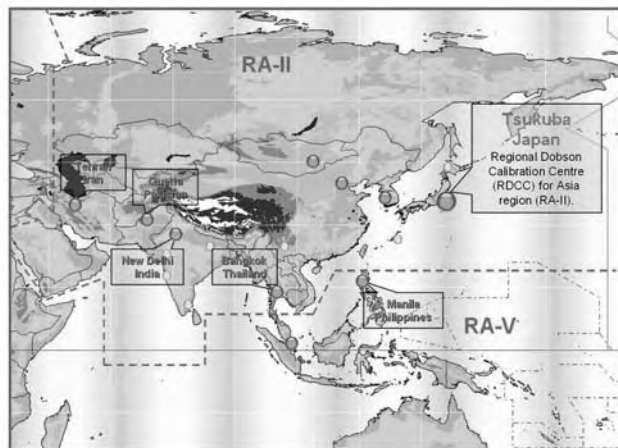


Fig. 1 Regional Dobson calibration center for Asia and Regional Association.

(6) 滞在中の宿泊の手続き

滞在期間中は，高層気象台から近い場所にある外国人研究者向けの宿泊施設を利用した。仮予約等の手続きを数ヶ月前から行った。

また，測器の点検や保守，データ解析などは，庁舎 3F の研修室を利用した。研修室には観測用の電源設備が備わっていないため，ランプ点検時の大きな電力(50A 程度)に耐えることが可能な電源工事を予め行った。

(7) 生活面の準備

つくば市内のレストランやスーパーマーケットなど長期滞在に必要なとされる資料などを準備した。また，研修室には，台内の冷蔵庫を借用しミネラルウォーター，お茶やコーヒーなど簡単な飲み物を準備した。昼食については，近くの研究所の食堂を利用したが宗教上の理由で食事制限のある参加者は手弁当が主であった。

(8) ウェブサイトの立ち上げと案内ポスターの作成

気象庁の WCC/RDCC 英語版ホームページには，同キャンペーンのための各種アナウンス情報のサイトを立ち上げた (<http://gaw.kishou.go.jp/wcc.html>)。また，比較観測に向けての案内ポスターは，英語版のものを手作りで作成した(Photo.1)。ポスターは大判サイズで印刷して庁舎内など必要な場所へ掲示した。これらの掲示ポスターは，比較終了後に希望する参加者にプレゼントした。

(参加者とオゾン専門家)

今回の国際比較には，フィリピン，タイ，パキスタン，イラン，インドの 5ヶ国から 5名が参加した。参加者と持ち込まれたその国の基準測器は，Table 2 の通りである。また，比較校正および測器光学特性，技術的な総合評価，

Table 2 National Dobson spectrophotometers and their operating participants. D116 is the Regional Standard Dobson Instrument.

Instrument	Operator / Station
D052	Mrs. Hannagrance Cristi Manila, Philippines (Philippine Atmospheric Geophysical & Astronomical Services Administration)
D090	Mrs. Duanchai Uraiwan Bangkok, Thailand (Thai Meteorological Department)
D100	Mr. Saifullah Shami Quetta, Pakistan (Pakistan Meteorological Department)
D109	Dr. Majid Mazraeh Ei Farahani Tehran, I.R. Iran (Tehran University)
D112	Dr. Sunil Kumar Peshin New Delhi, India (India Meteorological Department)
D116	Full automation Tsukuba, Japan

Table 3 Ozone expert controlled by the Scientific Committee.

Experts / Controlled by the Scientific Committee
R.D. Evans Scientific Director of DIC-T2006 Head, the World Dobson Calibration Centre, NOAA/ESRL/GMD, Boulder, Colorado, USA
Karel Vanicek Expert in Dobson data Quality Control and evaluation, CHMI, Czech Republic
Martin Stanek Expert in Dobson repair and optical alignment, and data processing Regional Dobson Calibration Centre – Europe, CHMI, Czech Republic
Koji Miyagawa Technical Director of DIC-T2006, Regional Dobson Calibration Centre for Asia, JMA, Tsukuba, Japan

データ解析, 報告書作成に至る全てを担うため, 米国の世界オゾン校正センターから 1 名, オゾン SAG 委員長を含むチェコからの 2 名, 併せて 3 名のオゾン専門家の協力を得た (Table 3). ホスト役でもある高層気象台は, 比較期間中 8 名の方の対応とつくば滞在における生活面の支援を併せて行った.

3. 比較観測の実施

アジア地区ドブソン分光計国際相互比較は, 2006 年 3 月 6 日(月)から 3 月 24 日(金)の日程で実施された.

比較観測では, 主に以下の共通する作業および指導を実施した.

- (1) 専門家による点検, 測器の修理と調整.
- (2) 太陽直射光観測を利用して, 参加した比較測器とアジア地区準器(D116)との同時観測により現状の校正状況を決定する.
- (3) それぞれの測器で必要な新たな測器定数を確定する.
- (4) 現地で観測データを処理するためのプログラムの管理に関する共通認識と参加者へのドブソン分光計によるオゾン観測の操作に関する指導.

3.1 測器の点検調整

参加国 5 台の測器に対する点検と修理および精密光学系を中心とした様々な調整は, Table 3 のオゾン専門家によって実施された. 参加国の主な測器の現状, 点検と調整, 及び修理状況は, 以下のとおりである. また, 分光用の光学くさびの濃度勾配を検定する 2 ランプ(2-lamp)点検は, 全ての測器を対象に各波長組(A,C,D 波長組)に対して, 現状と最終調整後のそれぞれ 2 回以上行った. これらの点検は, 一つの波長組の点検のために通常 3~4 時間を要する(Photo.2).

(フィリピン; D052)

初期点検の結果, 光学系の状態に問題を持っていたために, 最初の比較観測では正常な観測が難しかった. 従って, その後の比較まで数日間にわたり光学系の点検調整および修理などを必要とした. 主な作業は, 光学系全般の点検調整, 清掃, 光学ミラーの交換, 回転セクター関係の調整点検, 標準ランプ電源ユニット及びハロゲンランプ交換を併せて実施した. 光電子増倍管の直前のコバルトフィルターは, 高湿にさらされたためにその役目を全く果たしていない状態にあったことから, 新しいフィルターに交換した.

(タイ; D090)

初期点検では, ランプ点検および比較観測を正常に行うことができた. しかし, 比較観測中に突然動作不能に

なるなど不安定な問題を持っていた。これらの主な原因は、様々なパーツの点検を数日間にわたって行った後の調査によって電子系等の老朽化によることが判明した。光学系の全般の点検調整、清掃、光学ミラーの交換、回転セクター関係の調整点検、標準ランプ電源ユニット及びハロゲンランプ交換を併せて実施した。

(パキスタン ; D100)

初期点検のランプ点検および比較観測で発見された輸送時の軽微な故障については修理を行い、正常化させた。最終的な光学系全般の点検調整、清掃、回転セクター関係の調整点検を併せて実施した。

(イラン ; D109)

初期点検では、輸送時にサンディレクターのプリズム破損及び測定波長組切り替えロッドの曲がり等があり、交換修理した。その後のランプ点検および比較観測は、正常に行うことができた。最終的な光学系全般の点検調整、清掃、回転セクター関係の調整点検、標準ランプ電源ユニット及びハロゲンランプ交換を実施した。

(インド ; D112)

初期点検では既に電子系統にトラブルを持っていたため、観測不能であった。様々な調査と点検を試みながら原因確定まで数日間を必要とした。これらの調査の過程では、電子部品を交換する必要があるが、また予備部品のない旧 US タイプのアンプなどはその調査に困難を伴った。最終的には高層気象台で開発した最新タイプの電子機器と同等の機器に全て更新した。これらの更新作業にはおよそ 2 日を要した。比較観測ではサンディレクターに問題を持っていることが専門家グループによって明らかになった。最終的な光学系全般の点検調整、清掃、回転セクター関係の調整点検、標準ランプ電源ケーブル交換を併せて実施した。

加国の測器と共に基準となるアジア地区準器 D116 も同じく並べて、同時比較を行った(Photo.3)。アジア地区準器は、移動式の太陽追尾機能を持った完全自動化システムであり、特別比較観測プログラムを利用して制御した。

最初の比較観測は、電子系統に故障を持っていたインドを除き 4 台の測器を対象に 2006 年 3 月 8 日に実施した。その後、3 月 11 日、14 日、15 日、16 日、17 日、18 日と期間中に合計 7 回の比較を実施し、各国の較正に利用した。比較観測の後半では、限られた日程の中で較正作業をいかに効率よく進めるかが専門家によって判断される。最終的に太陽直射光の比較観測が測器定数確定のために必要となるが、保守に時間が費やされる中で専門家の適切な判断により、WMO が規定している 1%以下の精度に

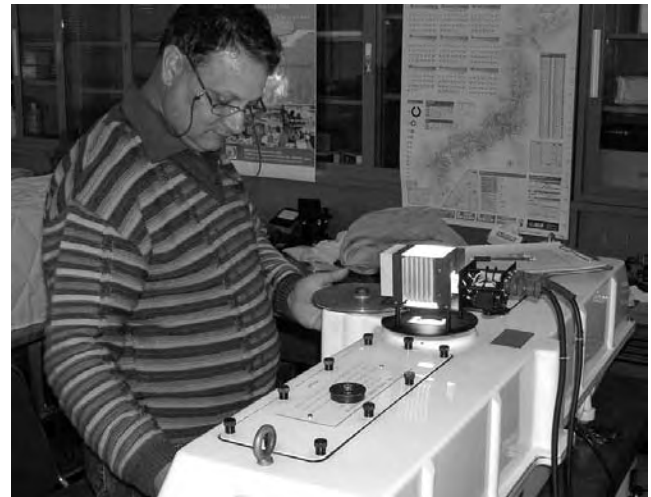


Photo. 2 Thickness inspection of the optical wedge using two lamp check equipment.



Photo. 3 Total ozone intercomparison observation was performed under expert's guidance. (Instruments are the Philippines, Thailand, India, and Asia regional standard Dobson from left-hand side).

3. 2 相互比較と定数確定

比較観測の実施期間中は、測器の安定性を監視する目的で毎日ランプ点検を行った。アジア地区準器(D116)との比較観測は、各国の参加測器に対して現状の定数確認と最終の定数確定のため、少なくとも 2 回以上行った。比較観測は、太陽直射光観測を連続して半日または 1 日取得することが必要である。

比較観測の当日は、実際の比較開始時刻より 1 時間以上前にランプ点検し測器状態の確認等の準備作業が必要のため、前日に天気予報を確認した上で比較観測の実施の有無を決定した。比較観測が実施される場合、早朝 6 時前後の日の出前に宿泊ホテルを出発し、夕方 7 時頃まで約 13 時間連続の作業になる。比較場所の屋上には、参

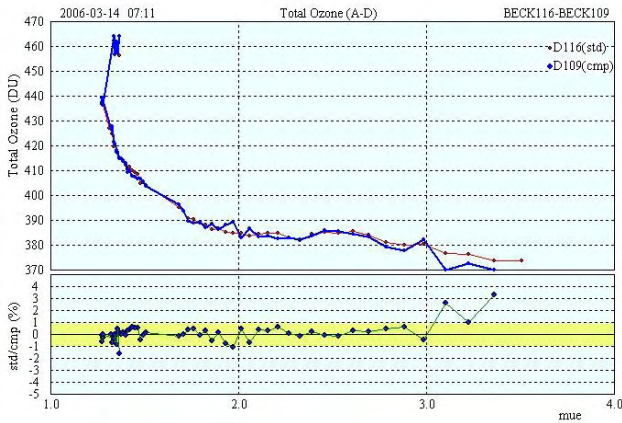


Fig. 2 Results of intercomparison by the direct sun between D116 and D109.

Total ozone variation in the morning March 14, 2006 in relation to solar zenith angle (mue). This time series shows a sudden increase of total ozone in a short time, providing rare example in international Dobson intercomparison.

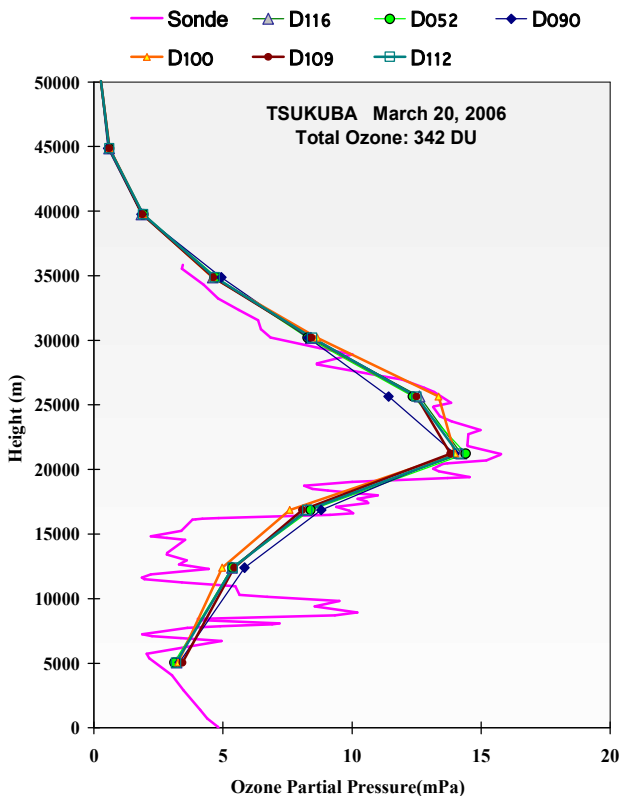


Fig. 3 Comparison results of ozone profile by Umkehr and ozone sonde observation.

収まる較正を予定された日程の中で全ての測器に対して行うことができた。

ここでは一例として、3月14日午前の比較観測において、オゾン全量の急増現象が捉えられたアジア地区準器(D116)とイラン(D109)、インド(D112)の4分毎の時間変化の結果を示す(Fig.2にD116とD109の比較を、口絵2にはD116とD112の比較を示す)。この日の比較観測は、D109とD112に対する最終比較較正のために実施したもので、アジア地区準器D116を基準として平均1%以下の差でオゾンの急増現象が両測器で見事に捉えられていることが確かめられた。オゾン専門家の多くの比較観測の経験の中でもこのような連続した比較観測においてオゾン急変を観測した例は少なく、貴重なデータである。この現象では、大気路程(Mue)2~1.2(8:30~11:00)の2時間余りで約20%のオゾン量が増加した。また、OMI衛星による日本付近のオゾン全量分布の解析により、高緯度からの高濃度オゾンがつくば上空へ一気に南下したことが判明した。口絵1で示すようにオゾン濃度勾配がつくば付近で南北に対して著しく大きくなっている。午後4時の定常のオゾン全量観測では、485DUで更に10%余り増加した。この現象は主に対流圏から下部成層圏でのオゾン量の増加によることがその前後の反転観測のオゾン鉛直分布から明らかになった。

連続的に行うアジア地区準器との比較観測では、参加測器5台が必ずしも同じ状態でないため、屋上で5台一斉に並べて行う機会がなかった。終盤に実施した比較の口絵4は、オゾン全量観測の観測トレーニングを兼ねて行われた5ヶ国5台の同時比較測定の様子を示す。観測した結果により個々の器械についてオゾン全量を計算し、測定定数の最終確認を行った。

3.3 反転観測と観測トレーニング (反転比較観測)

天頂散乱光を利用して行われる反転比較観測は、日程の後半である2006年3月20日午後、全ての参加測器5台とアジア地区準器により実施した。当日は、午前の反転比較観測のために早朝から準備していたが天頂が雲に覆われ中止した。午後は、雲がなかったが平均10m/sを超える強風となり、屋上での比較が危険な状態であった。このためオゾン観測室の南側付近に全測器を移動して行った(Photo.4)。反転観測から得られたオゾン鉛直分布を比較するため、観測第二課の協力を得てオゾンゾンデ観測を午後3時に行った。しかし、飛揚直後に信号が停止するトラブルが発生した。このため急遽2時間後に2回目の特別飛揚をする準備を行い、17時45分に放球し、正常

なオゾン鉛直分布データを取得できた。

Fig.3 は比較測器 5 台とアジア地区準器及びオゾンゾンデ観測によるオゾン鉛直分布を示す。ドブソン分光計 6 台の結果は第 1 層の対流圏から第 7 層までを示すが、概ね各測器共に良く一致した結果であった。オゾンゾンデ観測との関係では、30km 以上でややオゾンゾンデ観測が低いオゾン量を示した。なお、オゾン鉛直分布の結果は、オゾンゾンデ観測は改訂アルゴリズムを用い、反転観測では新アルゴリズム Ver.8(UMK04 版)を利用して計算を行っている。

これらの反転比較観測は、アジア地区準器を含む各測器の天頂散乱強度比の系統誤差を検証することを第一目的としているが、更に反転観測の測定技術を高め相互理解を深める役割もある。



Photo. 4 Comparison observation of Umkehr was performed in the cold and strong wind in the afternoon.



Photo. 5 The presentation was held by participants in the workshop.

(観測トレーニングと処理ソフトウェアの提供)

ドブソン分光計による基本的なオゾン観測については、WMO の操作マニュアル(Komhyr: 1980)により詳細な原理と観測手順などが記述されている。通常のオゾン全量観測で最も重要な波長選択や感度設定など手動観測によるエラーを極力減らすための観測技術が専門家によって指導された。このような国際比較観測を利用して、実際の操作手順を確認・理解しながら行うトレーニングは、参加者の技術向上に最も効果的な方法の一つである。また、観測ソフトウェアの操作手順とデータファイル管理に関しては、チェコ版と高層気象台版がある。チェコ版については開発者でもある Martin 氏によって説明が行われた。これらの二つのソフトウェアは各国の実情にあったものを選択して利用することになる。高層気象台で開発されたプログラム "WINDOBSON" は、英語対応版でオゾン全量観測と反転観測、ランプ点検、データファイルの管理などを行うものであり、2006 年に WMO により世界各国のオゾン観測での利用を公式に認められたソフトウェアである。これを参加国に対して提供した。今回は日程の関係でソフトウェアの紹介を行った程度である。処理ソフトウェアを現地で自由に操作するためには、今後多くの時間とフォローアップを行っていくことが必要である。

3.4 ワークショップの開催

実施期間の後半では、参加国によるカントリーレポートの報告と議論を行った。この報告会では、事前にパワーポイントで準備して頂いた参加国のオゾン観測に関する現状や解析結果、ステーション紹介など、30 分程度の発表を行った(Photo.5)。引き続き、米国 Evans 氏からの最近の GAW の活動と役割について、約 1 時間の講演が行われた。この講演では特に、オゾン観測の較正体制や GAW としての役割、地区較正センター(RDCC)の活動など、最新情報の報告が行われ活発な意見交換がなされた。

4. おわりに

本事業は、アジア・太平洋地域内でオゾン全量観測を実施している国々から観測担当者を招聘し、気象庁の保有する高いオゾン全量観測技術の提供等を行い、アジア地区での観測の精度向上を図ることを目的として実施した。本年度は、アジア地域 5 カ国から 5 名を招聘すると同時に、当該 5 カ国で使用されているドブソン分光計を気象庁高層気象台に移送して、当台を会場に国際相互比較観測やワークショップを実施した。

比較観測では、各国の測器によるオゾン全量観測値を、

アジア地区準器の観測値を基準として、WMO/GAW 計画の品質目標である 1%以内の精度に調整することができた。また、ドブソン分光計の各種機器調整、観測方法及びデータ処理に関する技術研修を通じて、これらの技術を参加者に理解して頂くことができた。

さらに、ワークショップでは、各参加者が、高精度のオゾン観測を継続することの重要性を確認することができた。これにより、アジア地域でのオゾン層の現況が正確に把握され、さらに各国でオゾン層破壊防止に係わる意識の向上と対策の推進が期待される。

今後これらに対する技術的な支援を継続することが、気象庁の GAW への貢献の一つでもあり、また信頼できる観測点としてデータ解析にも利用可能になると考える。

謝 辞

この国際事業の計画と実施に向けて、予算面及び委託先である日本気象協会との連絡・調整など多大な努力をされた気象庁地球環境・海洋部環境気象管理官及び同オゾン層情報センターの関係官に感謝いたします。高層気象台の総務課及び観測第三課を中心とした関係官には、比較実施に向けた待ち受け設備関係と様々な支援協力をいただいた。本稿をまとめるに際して、有益な意見を頂きました高層気象台長、観測第三課の廣瀬保雄課長に感謝すると共に、編集委員会からの依頼によって本稿を校閲され、種々の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

- Evans, R.D., D.M. Quincy, W.D. Komhyr, 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*, **2**, 899 - 902.
- Evans, R.D., G.L. Carbaugh, S.J. Oltmans, B. Walsh, D.M. Quincy, M. O'Neill, and M. Clark (2004) : Dobson calibration scales and application to network instruments. *Proceedings of the XX quadrennial ozone Symposium in Kos Greece 2004*, **1**, 534 - 535.
- Komhyr, W.D.(1980) : WMO global ozone research and monitoring project (Operations handbook - ozone observations with a Dobson spectrophotometer). *WMO report*, **6**, 1 - 126.
- 宮川幸治・Hannagrace F.Cristi (2005) : WMO/GAW のフィリピン・マニラにおけるオゾン観測の現状. 高層気象台彙報, **65**, 89 - 92.
- 宮川幸治・Jhoon Kim・Hi Ku Cho (2005) : 韓国・延世大学でのドブソンオゾン分光光度計の較正. 高層気象台彙報, **65**, 93 - 98.
- 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.