

韓国・延世大学でのドブソンオゾン分光光度計の較正

宮川 幸治*・Jhoon Kim**・Hi Ku Cho**

Intercomparison of Dobson Ozone Spectrophotometer in Yonsei University, Korea

Koji MIYAGAWA, Jhoon Kim and Hi Ku Cho

Abstract

At Yonsei University in Korea, the ozone observation using Dobson ozone spectrophotometer is the 20th year since the commencement in 1984. The international ozone workshop (Joint International Workshop on Ozone and ILAS-II Science Team Meeting), which commemorated the 20th anniversary of ozone observation in Korea, was held at Yonsei University in November 2004. Associating with the workshop, Yonsei University performed the instrument calibration of Dobson No.124 for maintaining the measurement accuracy of ozone observation. The intercomparison of Dobson in Seoul was the first trial performed by shipping the traveling reference Dobson calibrated by the Asian regional standard No.116 in Japan. The Dobson No.124 is maintained at Global Environment Laboratory, Yonsei University and the result of ozone observation is reported to the World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre (WOUDC). In the Dobson intercomparison at Yonsei University, comparison measurements, instrument maintenance, in-depth lamp tests, and the technical study were carried out during the two weeks. Finally, the Dobson No.124 was adjusted to an accuracy of less than 1 percent in total ozone comparing with the traveling reference. As in this case in Korea, on-site Dobson calibration by traveling reference instrument and the expert avoids possible characteristic shift of the comparison instrument due to transportation. Additional merits are the best-suited technical advice offered through the survey on the site environment, personnel, operation practice and data handling, as well as the information sharing of the latest technology among the participants. The practical discussion and strategy in accordance with the needs of the site is the key to successful station updating.

1. 背景

気象庁では、世界気象機関(WMO)が進める全球大気監視(GAW)計画に対する責務として、アジア地区における世界較正センター(WCC)、品質保証センター(QA/SAC)が2002年度に設置された。このWCCの役割の一つとしてオゾン全量に関する品質管理、地区内の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)のオゾン較正(RDCC)がある。高層気象台は、ドブソン分光計のアジア地区準器 No.116 を保有し、定期的に WMO オゾン国際比較に参加して、国内外のオゾン観測地点の精度維持と技術的な指導に努めている(宮川：2002a)。さらに測定精度の向上を目指した測器の改良開発などを行っている。アジア地区の国際相互比較は、これまで1996年(志村ほか：1997)と2003年の3回にわたり実施されたが、中国

を除いた多くの対象国は1996年以降比較較正がなされていない。韓国では、ソウル市の延世大学において1984年にGAWステーションとしてドブソン分光計 No.124 によるオゾン観測を開始した。それ以降、現在まで継続してオゾン全量観測と反転観測が行われている。測器の較正は、2000年にオーストラリア・メルボルンにおいて実施され、以後4年経過しており、測器定数の変化と観測機器の老朽化が顕著に見られるようになった。

今回、延世大学の要請に応じて、高層気象台が維持管理するアジア地区準器と延世大学の測器との比較較正を初めて国外で実施することになった。必要な経費は、GAW地点を運営する韓国気象庁(KMA)が負担した。気象庁(JMA)としては、GAWに対して大きな貢献をすると共にRDCCの責任と第二地区較正センターの役割を果たすことになる。比較較正の手順としては、当台の基準器を韓国へ輸送し、延世大学で測器 No.124 との同時比較観測を行い、更に測器の保守と点検、データ解析および技術指

*高層気象台 観測第三課 **韓国・延世大学(Yonsei University, Korea)

導を併せて実施する。

2. 韓国におけるオゾン観測の経緯

2.1 国際オゾンワークショップの開催

延世大学でのオゾン観測は、1984年にドブソン分光計による観測を開始して以来20年目を迎える。2004年11月2日～3日の期間、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が同大学において開催された。参加者はオゾン及びILAS-IIのサイエンスチームのメンバーで、約50名の研究者が議論を交わした。記念講演では、韓国のオゾン観測の現状と成果、また最近のオゾンホールやオゾン層破壊の実態とフロン規制の効果など、最新情報の発表がなされた。延世大学・地球環境研究室のJhoon Kim教授は、ホスト役として今回のプログラム全般を計画された。IRAS-IIによる衛星から得られた全球オゾンの解析とアルゴリズムの改善など、他の観測結果と併せた解析成果についてさまざまな議論がされた。このワークショップと併せて、韓国のオゾン観測の精度維持を図るための較正が引き続き実施された。

2.2 オゾン観測の経緯

韓国では、1984年にドブソン分光計No.124が英国から購入されWMOによる較正を行った後配置された。WMO/GO₃OSのオゾン観測地点は、緯度：37.57N、経度：126.95E、オゾン地点番号252として、ソウル市中心の延世大学に設置され、Cho教授を中心として開始された。オゾン観測開始に先立って、つくば(館野)の高層気象台において約一ヶ月間オゾン観測に関する基本的なトレーニングと技術指導が行われた。1986年2月からは反転観測によるオゾン鉛直分布の観測が開始され、それ以降継続した観測が行われている。観測されたオゾン全量と反転観測の結果は、日々WOUDCへ報告されている。ドブソン分光計は、日本のような自動化(Miyagawa:1997,2004)若しくは半自動化が行われていないため、全ての観測と点検を手動で行っている。韓国気象庁(KMA)では、1994年以降ブリューワー分光光度計(#95)による国内のUV等の観測(Pohang)の強化を行い、またECC(mode15A)型オゾンゾンデ観測、オゾンライダー観測(Anmyeon)など新たな観測も開始されている(Fig.1)。また、同大学では1997年からブリューワー分光光度計(#148)によるUV、SO₂等の観測も併せて行われている。

2.3 較正体制

延世大学におけるドブソン分光計の較正は、1984年の開始以降、1991年の米国NOAAでの比較、1996年つくば

でのアジア・太平洋地域オゾン国際比較(IWOAP)への参加、1999-2000のオーストラリア・メルボルンでの比較、今回の韓国での比較と、合わせてこれまで4回行われた。

2.4 オゾン観測体制と観測環境

延世大学の地球環境研究室では、Jhoon Kim教授の下で7名の大学院生が定常的なオゾン観測と測定データの整理、解析などを行っている。オゾン全量観測は、午前午後の1日2回、太陽高度30°(大気路程 $\mu=2$)付近において太陽直射光と天頂光を用いて行っている。また、オゾン鉛直分布を得るための反転観測は、天頂に雲がない晴天時、午後のみ行っている。反転観測は、手動で行われ、指定された14点の天頂角付近において数点測定し、それらの測定点を平均化する方法で観測点が決定されている。観測環境と測器の保管に関して、延世大学の地球環境研



Photo. 1 Southward view from the ozone observation place on top of the college roof (Seoul city).

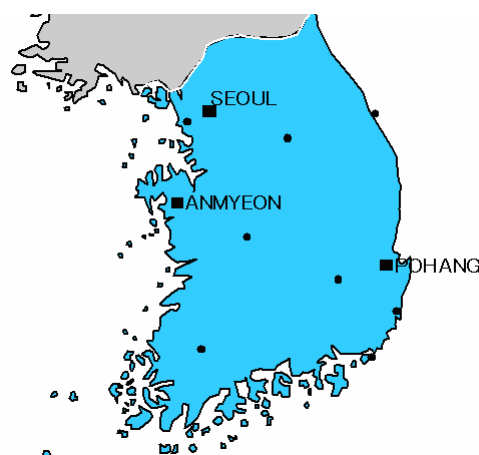


Fig. 1 The ozone and ozone rider observation stations in Korea.

究室では、校舎7階の屋上(Photo. 1)に観測用ペントハウスを持ち、そこが通常の測器保管場所になっている。観測時は、移動式の台車によって屋外へ10m程移動して行われる。

3. 比較に関する準備

ドブソン分光計の較正は、準器を用いた自然光による同時比較観測によって行われる。事前準備は、主に電子メールを利用して行われた。日本と韓国は、時差がないために急ぎの連絡に対して翌日に持ち越すことが少なく、この点では双方で効率よく連絡ができた。

3.1 比較準備と日程

比較に際してのさまざまな準備は、Jhoon Kim, Moon, Kyung Jung 両氏及び韓国側輸送業者と高層気象台側で主に検討され、技術的な点や必要経費、測器の輸送、測器の状態、必要なパーツに関すること、問題点などを中心に4ヶ月程前から準備が開始された。故障部品については、当台の予備品や特注加工などを準備した。日程は、国際オゾンワークショップに併せて2004年11月1日から14日までの2週間である。通常の比較では3週間程度必要であるが、幸い天候に恵まれ期間内に目的を達することができた。

3.2 測器の輸送

つくばからソウルまでの測器の輸送は、全て韓国側の予算で処理されるため、指定された韓国側の運送業者と連絡をとり、いくつかの輸送方法について検討がなされた。しかし、高価な精密光学測器は総重量が200kg以上に及ぶため予定された予算を大幅に超えることになり、

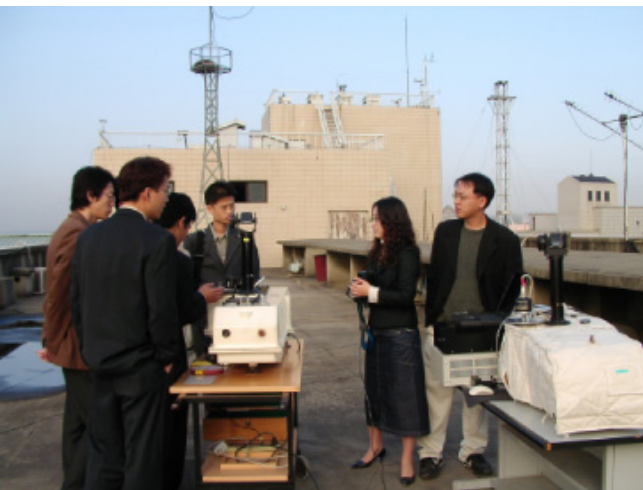


Photo. 2 Preparation of Dobson comparison observation by graduate students.

必要最低限の点検装置と付属品に限定することになった。また、輸出入に関して、通常免税扱いのカルネを利用するが、今回は手数料等の節約を図るため、その手続きをとらなかった。その代わりとして、試験研究のための一次的な輸出入であるインボイスの申請をした。しかし、この方法は必ずしも免税されることにならない。今回の輸送では、ソウル税関で全ての輸送パーツの開梱と内容の確認・点検が行われ、さらに課税されることとなった。また、日本への輸入時において、同様に内容点検と課税を伴うことが想定されたため、事前に運送業者への説明と税関資料等を用意した。輸送品は、本体とその付属品を専用輸送ケース2個口としたが、それぞれ精密光学測器と電子機器である。税関による個々パーツの点検では、幸い開梱に伴う特性の変化や破損品が無く、目的を達することができた。

3.3 参加者

比較較正には、地球環境研究室の教授2名とその大学院生7名が対応した(Table 1)。

4. 測器の較正

移動準器は、アジア地区準器 No.116 と複数回の同時比較を行い、多くの結果を基に詳細な解析によって検定がなされている。また、準器 No.116 との反転同時比較観測を行い、A,C,D 波長組における測器の特性比較を行っている。移動準器として自動化された(宮川:2002b)測器が持ち込まれた。

4.1 初期の状態

延世大学の測器は、観測を正常に行うことがやや困難な不安定な状況にあった。その原因は回転セクター部の固定ねじの緩みに伴い波長選択に誤動作を生じたことに

Table 1 List of Participants

Professor Jhoon Kim	ドブソン責任者
Professor Hi Ku Cho	ドブソン責任者
Moon, Kyung Jung	観測関係チーフ Graduate
Lee, Hee Choon	Graduate
Lee, Yun Gon	Graduate
Yoon, Jong-Min	Graduate
Hong, Hyun Kee	Graduate
Park, Yun Hee	Graduate
Jang Yu Ree	Graduate
Koji Miyagawa	較正に関する責任者

よる。初めに回転セクター部を取り外して点検調整を行い、機能を正常に戻した。

初期の比較観測は、2000年に実施したメルボルンでの較正後の測器の特性変化を確認することにあつた。その結果は、以下のとおりであった。

- ・比較日：2004年11月4日 午前
- ・基準測器：移動準器(自動化制御システム)
- ・比較測器：Dobson No.124
- ・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：
 - ✓ N表はメルボルンの2000年3月の結果から決定した。
 - ✓ 標準ランプの基準値は、2000年3月のメルボルンの相互比較で決定した値を使用。
- ・比較結果：
 - ✓ 各波長の基準N値との差は、大気路程 $\mu=1.5\sim3$ の平均値として、各波長で太陽高度の依存性が見られた。 $\mu=2$ 付近を除いて誤差は2%以上であった。

4.2 測器保守とランプ点検

ドブソン分光計 No.124 の保守として、主に以下の作業を実施した。初期の比較結果では、太陽高度角への依存性が顕著に見られたため、その原因となる光学アライメントの調整をランプ点検により繰り返し行った。

—測器保守の詳細—

- ・破損した波長切り替えロット(Short/Long)の交換
- ・乾燥空気送風装置の更新、測器のガスケット交換
- ・ツーランプ点検用補助ランプの取り付け
- ・光電子増倍管のボックスの加工
- ・左右の分光ミラー点検とアライメント調整、分光プリズム反射面の処理
- ・回転セクターのモータと回転機構の点検調整、測器温度計のデジタル型への更新
- ・光電子増倍管への高圧アッテネータースイッチの交換など

ランプ点検は、通常行われている標準ランプ点検と水銀ランプ点検の他に、光学楔の汚れを確認するツーランプ点検を行った。ツーランプ点検装置は、日本で1980年代に製作されたタイプのもので、現在日本では使用されていない。この装置の操作は、専門家のもとで操作方法を習得することが必要であるが、これまでその機会がな



Photo. 3 Thickness inspection of the optical wedge using the repaired two lamp check equipment.

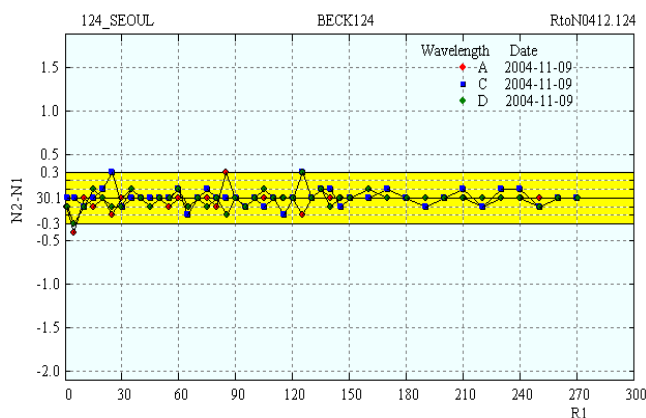
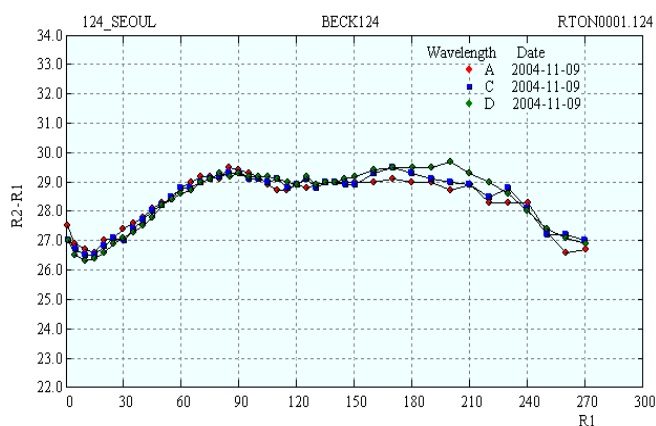


Fig. 2 Thickness characteristic curve of examined optical wedge in two lamp check.

Axis of abscissa: R-dial value of optical wedge. Top: Thickness characteristic of optical wedge to doubled light intensity. Lower: N-value corresponding to the top.

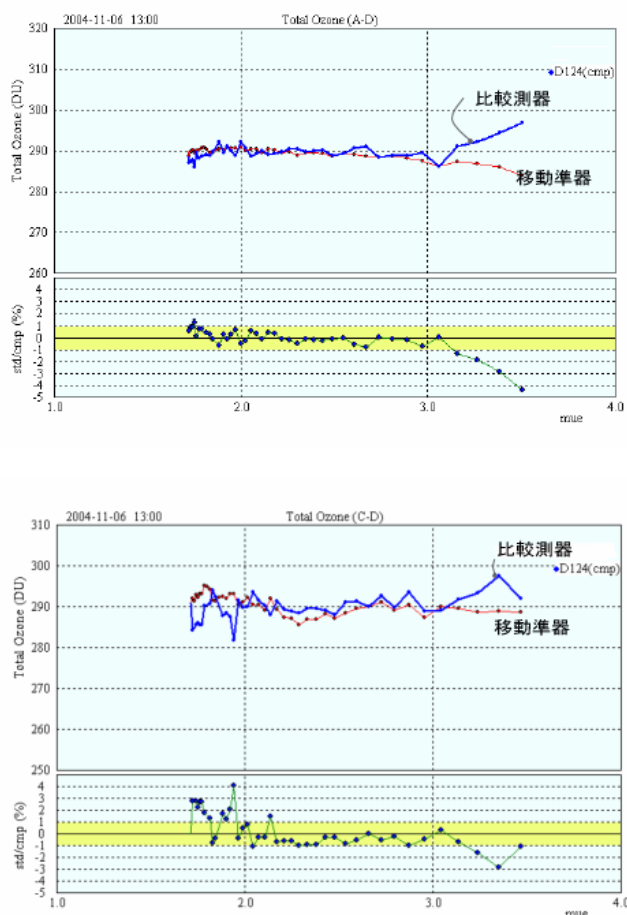


Fig.3 The total ozone in the last comparison and the relationship to an solar angle (μ) are shown.
 Top: By the AD wavelength. Lower: By the CD wavelength.

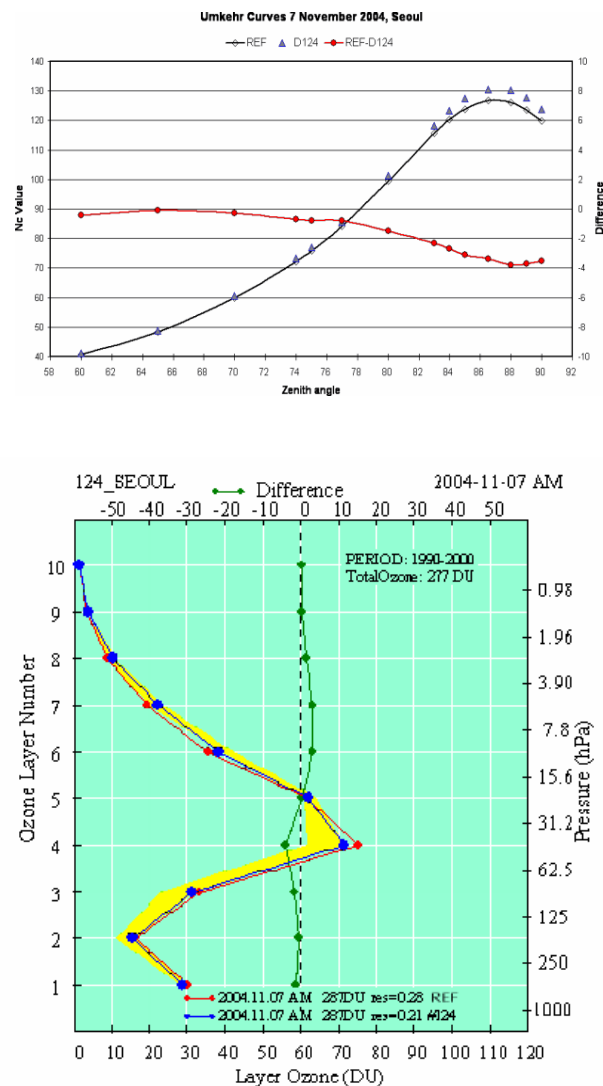


Fig. 4 The result of a Umkehr comparison.
 Top: Umkehr curve of measured N-value. Lower: refracted ozone vertical profile.

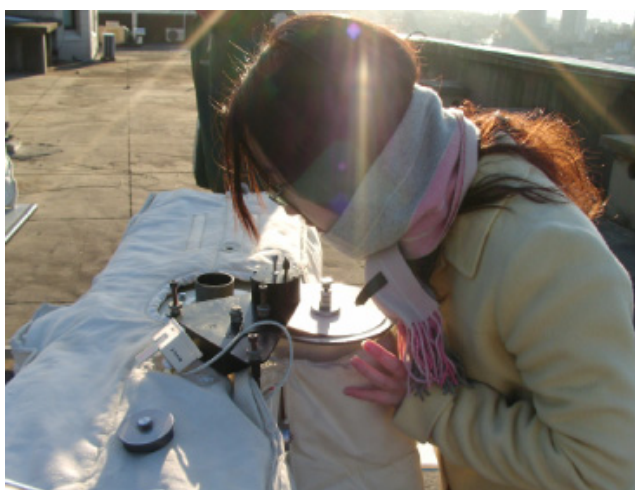


Photo. 4 Comparison observation of Umkehr was performed at early morning subfreezing.

く理解されていなかった。また、装置にも不備が見られた。これらの点については、今回その不具合パーツを購入し修理した上で初めて現地での点検が可能となった。そのツーランプ点検による結果は、現状のテーブルに対して僅かな差を持っていた。この差は、最終比較において反映させる検定結果として採用された。ツーランプ点検は、一組の波長に要する点検時間が3~4時間に及ぶ最も労力を要する作業の一つである。また波長点検は1日一波長組ずつA,C,Dそれぞれについて行った。

4.3 最終の相互比較

光学系の調整後に行った相互比較は2004年11月6日午前に行い、オゾン全量については、ほぼ理想的な結果を

得ることができた。移動準器に対して、平均的なオゾン全量の変動は 0.1%程度であり、各波長組の太陽高度角特性についても光学調整によって差が解消し、適正な状態になった。その後、2回行った比較 8 日と 12 日は、太陽面に雲が多く通過したものの 6 日の結果とほぼ同様であった。

4.4 反転観測の比較

延世大学では 1986 年以降継続した反転観測が行われており、その評価のための比較観測を行った。移動準器との同時比較では、期間中に何度か試み 2 例のデータを得ることができた。光学系を調整する前の現状比較は、悪天候のため実施出来なかった。測器の調整後に行われた 11 月 7 日と 12 日の比較は、何れも雲の通過による修正を必要とした。測定された反転観測結果は、一次的な処理において移動準器と比較し概ねこれまでの系統的な傾向を持つ結果であった。詳しくは、前回の 1996 年につくばで行った IWOAP によるアジア地区準器との比較結果を含めて今後より詳細に解析する予定である。

4.5 その他

今回の比較較正を通じたその他の記すべき事柄として、オゾン全量の過去データについては、測定された太陽高度角に応じた若干の見直しが必要なこと。測器の保管場所から観測場所への移動では、距離が多少離れており、移動時に屋上面の凹凸に注意が必要なこと。観測データの処理プログラムは、日本の「Windobson 2004」を提供したこと等が挙げられる。

5. おわりに

今回の韓国での比較較正は、全ての経費が韓国側によって手配されたが、限られた予算であり測器の輸送に関して双方で多くの調整がなされた。また、正式文書の手続きでは、韓国気象庁(KMA)と日本の気象庁(JMA)でぎりぎりまで調整が行われた。延世大学の地球環境研究室では、定常的な観測がKim教授とCho名誉教授の下で7名の大学院生によって維持されている。オゾン観測の技術習得には一般的に2年以上かかるとされる。2~3年で学生が入れ替わるという悩みはあるものの、観測手順のマニュアルが整備されしっかりと引き継がれている。日本の移動準器は完全自動化されており、観測を担当する学生からは測器の近代化を強く希望する声が聞かれたことが印象的であった。また、オゾン観測のデータ処理では、「Windobson 2004」が効率

的かつ視覚的なソフトウェアであることから提供を求められた。測定精度の向上と共にデータ処理の迅速化は、オゾン観測ネットワークに大いに貢献するものと考えられる。

今回は、日本の準器を外国へ輸送して行う初めての試みであった。通常つくばで行われる地区比較では、経費的な面から各国の代表 1 名が参加して行われる。しかし、国外でのオゾン観測は、多くの人それぞれ専門を分担して行われていることが多く、今回のように現地調査を含めてより詳細な技術指導を実施できることの効果はとても大きいと言える。このような比較較正のやり方について、限られた経費での測器輸送や税関による手続きなど、一つの道筋ができたと考えられる。今後は韓国におけるオゾン観測の更なる発展のため、測器の自動化および観測施設の充実を期待したい。

謝 辞

韓国気象庁(KMA)の支援を得て、今回初めて地区基準器を現地に持ち込み、比較較正を無事実施できたことは、延世大学と気象庁による多くのサポートによるものと思います。今回の現地較正に際して、外国出張に関する手続きや韓国気象庁(KMA)との調整などでお世話になった国際室の関係各位、環境気象課、オゾン層情報センターの方々にも深く感謝いたします。また、滞在中は公私共にお世話頂いた Jhoon Kim 教授、Cho 教授、比較観測で多くのサポートを頂いた 7 名の大学院生の方々に心より感謝致します。

引用文献

- Miyagawa, K.(1997) : Development of an Automated System for the Dobson Ozone Spectrophotometer. *The Geophys. Mag. Series 2*, **2-1**, 77 - 107.
- 宮川幸治(2002a) : マウナロアにおける 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, **62**, 27 - 44.
- 宮川幸治(2002b) : ドブソンオゾン分光光度計の新自動制御方式. 高層気象台彙報, **62**, 27 - 44.
- 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.
- 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.