

ドブソン分光光度計の自動化ウィンドウズシステムの高度化 —コンパクト PCI 制御方式への移行—

宮川 幸治*

Upgrading of Automated Dobson Spectrophotometer Windows System —Transition to Compact-PCI Controlled System (WINDOBSON 2006)—

Koji MIYAGAWA

Abstract

An advanced system of automated Dobson ozone spectrophotometers utilizing compact PCI successively began routine operation in the GAW ozone observation network (Tsukuba, Seoul, Sapporo, and Naha) in June 2006. The first domestic version of an automated Dobson system in the DOS environment was developed at JMA's Aerological Observatory in 1994. This was followed by an upgraded Windows version in 2000, which realized high adaptability to the latest Windows PC and a flexible data handling system by taking full advantage of the Windows interface. The newly developed current version of an automated Dobson system (WINDOBSON 2006) was designed to be universal and has been converted into an international version by adopting a compact PCI for hardware control on Windows XP and language-independent programs in data processing, display and output. In March 2006, the Japan Meteorological Agency began providing the data processing programs of the new system to the GAW ozone community at the request of WMO. These programs are expected to be useful tools for ozone data processing even at manual operating Dobson stations. The whole automated system was installed on the Dobson site at Yonsei University in response to a request from the Korean Meteorological Administration (KMA) in August 2006.

1. はじめに

ドブソンオゾン分光光度計(以下、ドブソン分光計または測器と記す)によるオゾン観測は、地球環境を高精度かつ長期的に把握する全球大気監視(GAW)の基礎となる重要な観測のひとつである。世界のオゾン観測ネットワークでは、現在約 100 台のドブソン分光計が操作され、世界オゾン紫外線データセンター(WOUDC)へその観測データが蓄積されている。

ドブソン分光計の長い歴史の中で、多くの国々では手動操作による伝統的な観測を続けている。取得されたデータは、WMO/GAW が提供するソフトウェアなどを利用してオゾン量に換算され、さらに統計処理や WOUDC へ報告が行われている。しかし、得られるデータには、様々な誤差や計算ミスが含まれる可能性があり、手動観測によるデータ処理の品質には限界がある。オゾン観測の自動化は、高品質な観測データの提供と迅速なデータ処理、

観測の効率化を目指すものであり、今後益々重要になる。このような自動化システムは、GAW のオゾン観測網において米国と日本が中心であり極めて少ない。今回開発した自動化システムの特徴は、自動制御の基本となるハードウェアの拡張バス規格に Compact PCI 規格を採用し、国際規準に準拠することにより汎用性を更に向上させたことである。ハードウェア規格の統一は、サポート体制を含めて多くの GAW オゾン観測点での導入を容易にするものと期待される。

2. 開発の経緯

観測開始以来 50 年目となる我が国のドブソン分光計によるオゾン観測では、観測技術や測定精度の維持・向上を図るため、情報・電子技術の進歩と共にこれまで種々の改良が施されてきた。1994 年には、ドブソン分光計の自動化システムが初めて導入され、オゾン全量観測、反転観測及び、測器の各種ランプ点検を含む全ての手動操作がコンピュータによりプログラム化された自動制御が

*高層气象台 観測第三課

実現した(Miyagawa : 1996, 1997). この自動化は、国内の札幌、つくば、鹿児島、那覇及び昭和基地へ順次導入され、自動化システムによる観測網を世界に先駆けて構築した。

その後、導入から 6 年を経過し、制御用ノート型パーソナルコンピュータ(以下、パソコンと記す)は、屋外での過酷な観測環境や 24 時間稼働に伴う老朽化により故障が出始めた。また、一方でパソコンの急速な高性能化に伴って、1994 年の導入以来使われてきた NEC 製の OS(オペレーティングシステム)である MS-DOS が姿を消し、マイクロソフト社の OS を搭載した Windows パソコンへと大きく情勢が変化した。このような情報技術の変遷に対応した自動化処理を行うため、1999 年に Windows 95 搭載の汎用ノート型パソコンによる新制御方式とソフトウェアの開発を行った。制御方式は、ノート型パソコンの 32 ビット CardBus スロットを利用して、インターフェース社の C-BUS(Compatible Bus)拡張ユニットへバスブリッジを行い、各 I/O モジュールへアクセスするものである。この制御方式による観測は、2000 年(平成 12 年度)に高層気象台で開始され、順次国内のオゾン観測官署へと導入した(宮川 : 2002)。

インターフェース社の C-BUS 拡張ユニット方式では、Windows 95, 98/Me の OS において、各 I/O モジュールへのデバイスドライバがサポートされてきた。しかし、Windows XP 以降の OS では、それらのサポート体制が打ち切られると共にこれらの製品の生産も順次終了する予定である。このため、これまでの二度の大きな改善と高度化を踏まえて、長期的なサポート体制と汎用性を重視した自動化システムの構築を行った。新自動化システムは、1994 年から利用してきた各 I/O モジュール、測器の駆動系、ドライバユニット、各種ハードウェアや電子パーツ等そのほとんどを最新の電子部品に移行する大規模な更新である。制御方式は、最新の Compact PCI の拡張ユニットと CPU モジュール、拡張 I/O モジュールを組み合わせたものである。今回の開発では、様々な基本制御の開発、個々のパーツの特性試験・評価、試験運用など多岐にわたる作業を 2005 年から開始し、2006 年 6 月につくばで初めて定常観測に導入した。

3. ハードウェア

ドブソン分光計の様々な操作を自動制御するためには、測器の基本的な光学系に影響を及ぼさない配慮と高精度化を目指した設計が最も重要となる。今回の開発の大きな特徴の一つとして、ノート型パソコンを利用せずに CPU モジュールを搭載した Compact PCI による制御方式

を取り入れたことである。Compact PCI とは、PCI バス(Peripheral Component Interconnect bus : 米国 PCISIG が規定化)を工業製品に応用することを目的として、米国が策定したバス規格であり、高い信頼性を有している。ノート型パソコンによる制御方式を止め、ユニット搭載の CPU モジュールを採用することで以下の効果が期待できる。

- ・ CPU クロック関係のスペックが安定供給される。
- ・ メモリやリソース不足によるリスクがない。
- ・ 長期サポート体制が期待できる。
- ・ 安定した制御方式が可能になる。

また、高速処理可能な Windows XP 搭載により、リモートデスクトップ機能を利用することが可能となり、遠隔ログインによる操作・監視を簡単に構築することができる。

3.1 ハードウェア構成

ドブソン分光計を制御する自動化装置は、主に CPU モジュール搭載のコンパクト PCI ユニット、3 軸モータ制御のためのモータコントローラ、測器本体に設置するモータコントローラ駆動ユニット、測器内部の各種電子系で構成される(Fig. 1)。

1) コンパクト PCI ユニット

Compact PCI ユニットは、インターフェース社のコンパクト PCI・CPZ シリーズによる 3.3V 信号環境を用いた以下のユニットと CPU モジュール、I/O モジュールの組み合わせで構成される(Fig. 2)。CPU モジュールには、OS として Windows XP を搭載し、観測に必要とされる各種アプリケーションプログラムのインストール及び観測データ等の保存を行う。アナログ信号の A/D ボード、D/A ボードと測器内部電子系との接続アサインを Fig.3 に示す。

システムユニット(CPZ-U04R33SK)

5 スロットタイプのシステムユニットで、システム 1 スロット(CPU モジュール)、ペリフェラルボード 4 スロット(I/O モジュール)まで組み込みが可能である。

CPU モジュール(CPZ-PM16C3F)

Pentium M プロセッサ、高速 1.6GHz、メモリ 512MB の PC/AT 互換 CPU モジュール及び、記憶媒体として HDD40GB を搭載する。OS は Windows XP Pro. SP2 をインストールし、周辺 Peripheral として基本的な CRT, Key board, Network 関係を構築する。

A/D ボード(CPZ-3135)

16 ビットのシングルエンド 16 チャンネルのアナログ入力を持つ高精度な AD 変換ボードである。各チャンネル設定は以下である。

- Input range: Bipolar $\pm 5V$, $\pm 10V$
- CH1: PMT ($\pm 5V$)
- CH2: Synchronizing signal ($\pm 5V$)
- CH3: Temperature ($\pm 5V$)
- CH4: Humidity ($\pm 5V$)
- CH5: Zenith Sky Cloud Detector ($\pm 10V$)
- CH6-16: Spare ($\pm 5V$)

D/A ボード(CPZ-3351)

12 ビット DA 変換の 8 チャンネル出力を持つボードである。各チャンネル設定は以下である。

- Output range: Uni polar 0V~10V
- CH1: PMT Attenuate Control
- CH2: Close of Skylight
- CH3: Open of Skylight
- CH4: Wedge Calibration Unit (100VRef)
- CH5: “ (S4 Lamp)
- CH6: “ (Lamp House Shutter)

CH7: Remote of Standard lamp PS

CH8: Remote of Sun azimuth tracking

モーションボード(CPZ-7405M)

4 軸のパルスモーションコントローラボードで、互いに独立した動作が可能である。各チャンネルへのアサインは以下である。

- CH1 (X-axis): Stepping motor for Q1-lever
- CH2 (Y-axis): Stepping motor for Q2-lever
- CH3 (θ -axis): Stepping motor for R-dial
- CH4 (Z-axis): Encoder for R-dial

デジタル I/O ボード(CPZ-2723)

32 点フォトカプラ入力と 32 点高電流オープンコレクタ出力を持つデジタル入出力ボードである。このボードは自動制御サンディレクタユニットに対して、プリズム角度の制御を行う (Fig. 4)。入出力ビット設定は以下である。

- INI-16bit: Prism angle Input for Sun director
- OUT1-16bit: Prism angle Output for Sun director

Dobson Control System

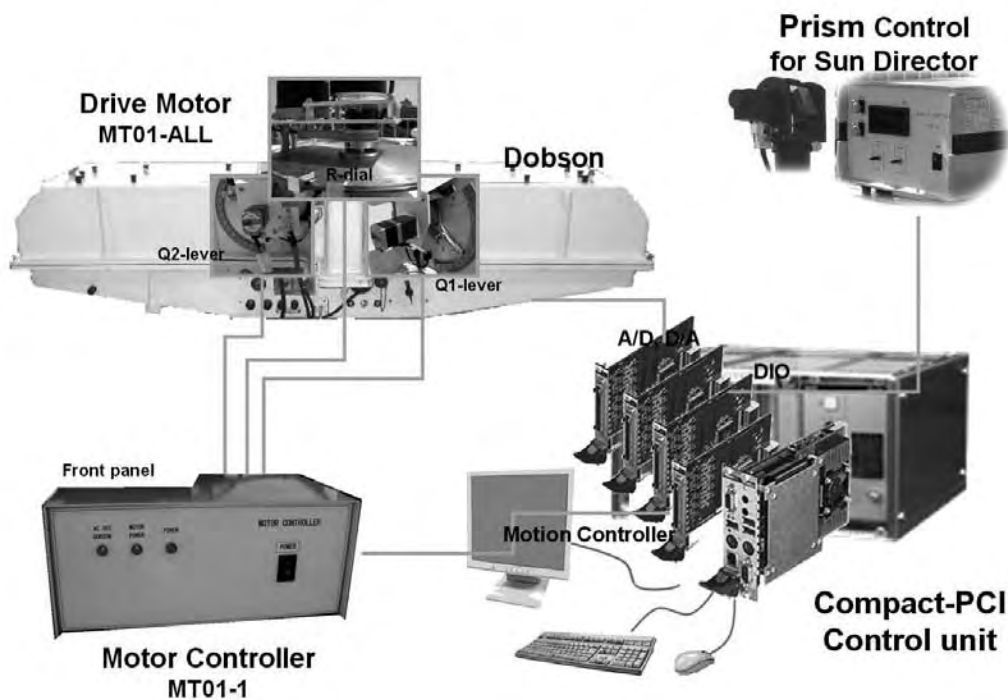


Fig. 1 Block diagram of signal flow using compact-PCI control of automated Dobson system.

Compact PCI Control unit

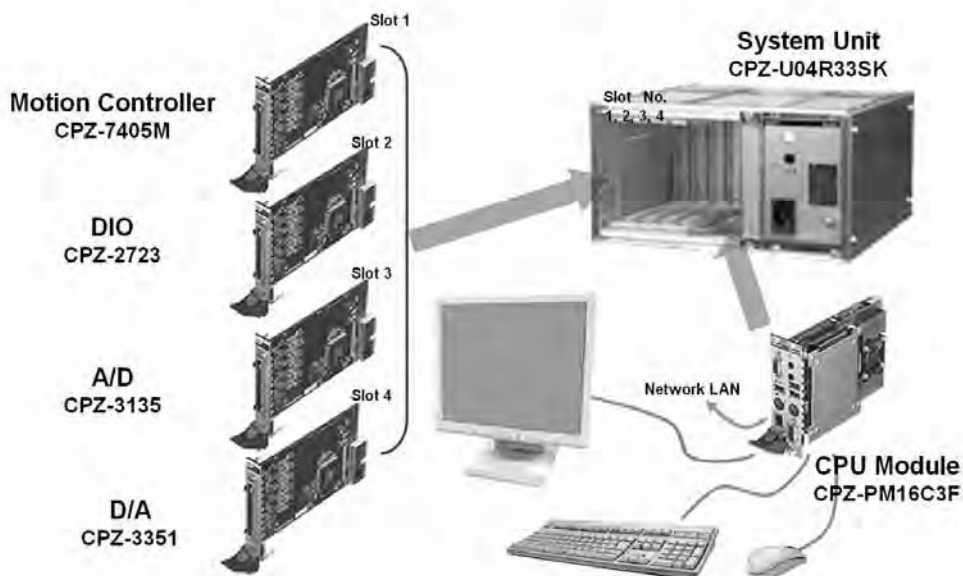


Fig. 2 Block diagram of compact-PCI unit using CPU module and I/O modules.

A/D, D/A

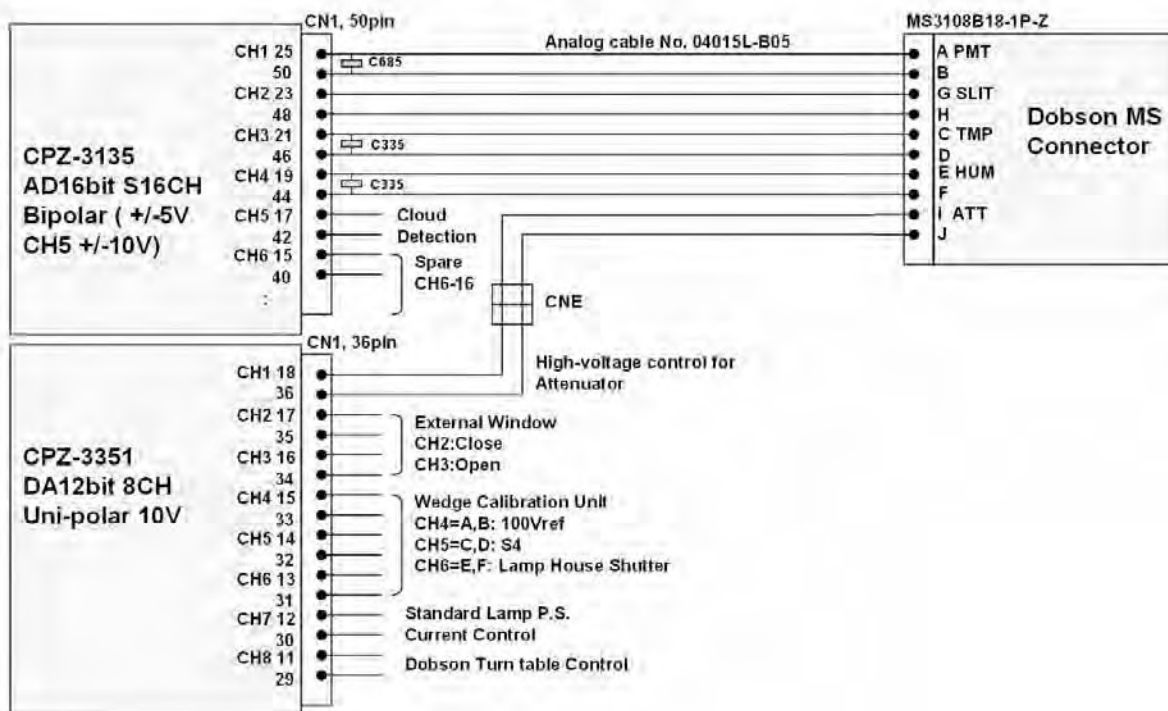


Fig. 3 Connector assignment of analog signal (A/D and D/A).

DIO

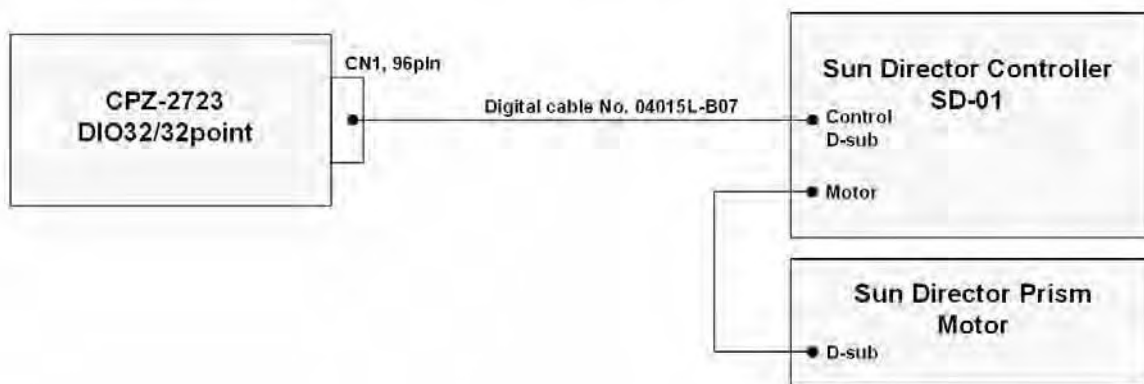


Fig. 4 Block diagram of digital input/output.

Motor Controller

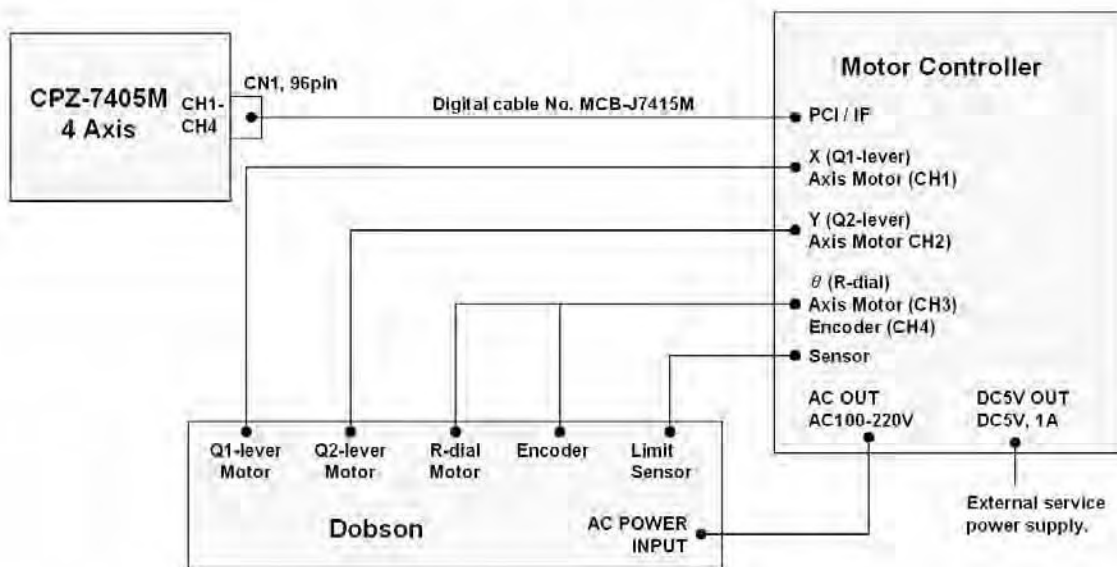


Fig. 5 Block diagram of motor controller.

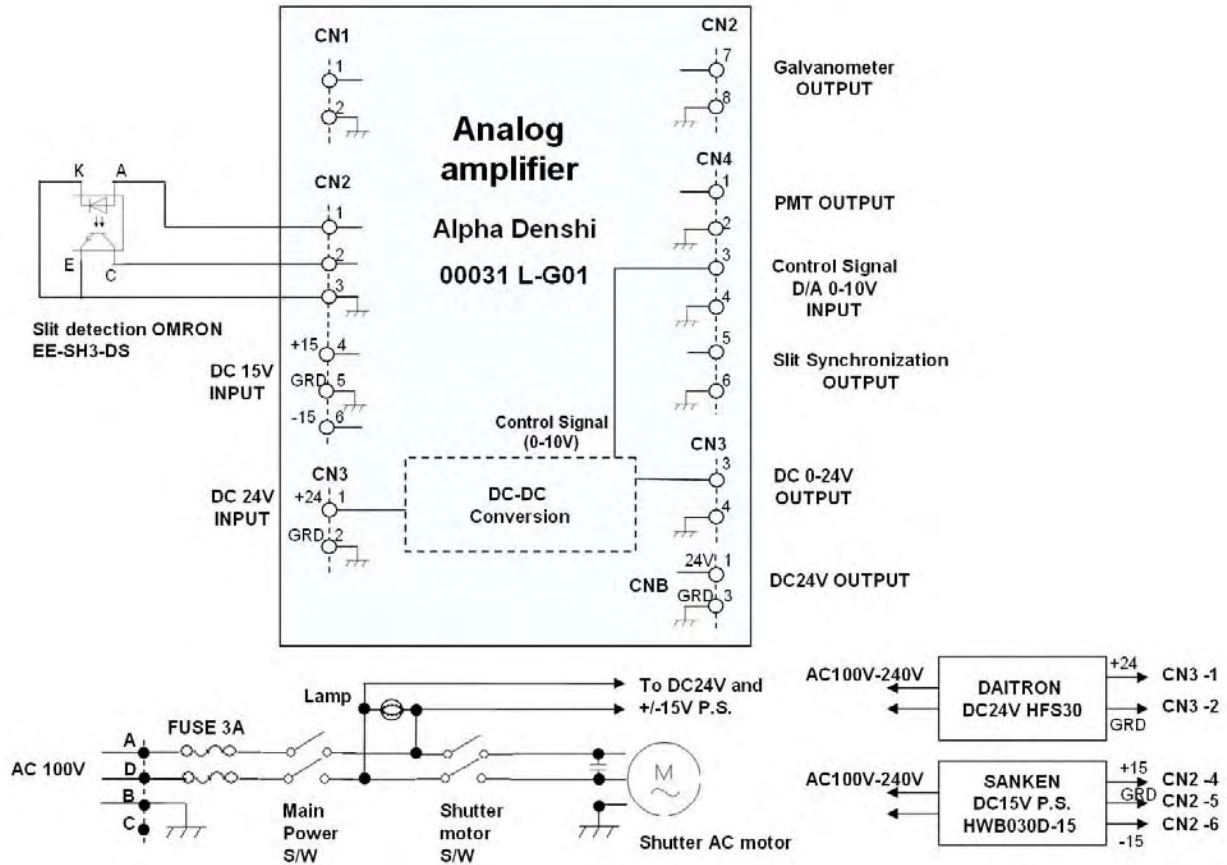


Fig. 6 Main electronic systems for automated Dobson.

2) モータコントローラ(MT01-1)

モータコントローラは、モーションボード(CPZ-7405M)と 1 対 1 のデジタルケーブルで接続されており、モータ制御パルス信号によって 3 軸分のモータを駆動できる専用ドライバユニットである。このユニットは、モータドライバとその供給電源で主に構成されている。また、モーションボードの汎用出力信号を利用して、ドブソン分光計への供給 AC100V 電源をリモート ON/OFF できる機能を持っている(Fig. 5)。入出力関係は以下である。

- X-axis (Q1): 5-Phase Stepping motor 0.72/1Step
- Y-axis (Q2): 5-Phase Stepping motor 0.72/1Step
- θ -axis (R-dial): Stepping motor
- AC100V Output: AC100V3A ON/OFF for Dobson
- DC Power supply

3) モータコントローラ駆動ユニット(MT01-ALL)

モータコントローラ駆動ユニットでは、測器本体の主

要な駆動部分及び角度検出部分に対してモータユニット、リミット・原点センサ、インクリメンタルエンコーダが設置される。

Drive motor for Q1 and Q2 lever

波長選択のための Q1, Q2 レバーを 0.1°以上の精度で設定するステッピングモータを Q レバーの直前に設置する。2 相のオリエンタル製のモータは、小型軽量、定電流型の高トルクを実現する。

Drive motor and Encoder for R-dial

強度比の測定 R ダイアルを 0.1°以上の精度で設定するためのステッピングモータ及び測定 R ダイアルの絶対角度を 0.1°以上の精度で取り込むためのインクリメンタルエンコーダは、測定 R ダイアルの軸周りに設置されている。

Origin and Limit detector

Q レバー及び R ダイアルのステッピングモータが目的の角度へ移動するためには、角度位置

原点及びリミット位置を検出できるフォトセンサ検出器が必要であり、それぞれの位置に設置されている。

4) 測器内部の各種電子系

測器内部のアナログアンプ、温湿度センサ変換器及び電源等の接続系統図を Fig. 6 に示す。

アナログアンプ

光電子増倍管(PMT)からの測定微電流は、アナログアンプで約千倍に増幅されたあと、検流計に出力され、そのアナログ出力が取り出される。同アンプには、スイッチング電源によるノイズ対策及び若干のゲイン増のための改良が施された。また、測定される光の強さに応じてPMTの感度を適正にコントロールするため、その供給電源 DC1000V 電圧を D/A ボードの 0~10V 制御信号により 0~24V の DC-DC 変換を行う機能がある。アンプ規格は以下である。

Type No. 00031 L-G01, Alpha Denshi

温湿度センサ変換器

Fig. 7 の温湿度センサ変換器は、測器内の温度と湿度を監視するために分光部右側に設置されている。サーミスター変換器は、サーミスターの抵抗変化を 1~3V の変換電圧として取り出す。変換電圧(V)から温度(T)への換算は、次式の多項式により計算する。このサーミスター変換器は、仮にユニット交換が行われても温度変換係数に影響を与えない Fig. 8 の特性を持っている。湿度センサ変換器は、静電容量型の湿度センサを用いており、相対湿度 0~100% に対して 0~1V の変換電圧として取り出す。

$$T = 2.8198V^3 - 14.786V^2 + 50.959V - 51.771$$

DC 電源

測器内部には、スイッチング電源 2 台と光電子増倍管用の高圧電源を含めて 3 種類の DC 電源がある。ノイズ対策として、スイッチング電源では最もリップルノイズの少ない 3~5mV 以下のタイプを採用した。高圧電源は、小型 3W 高圧安定化直流電源の BELLNIX 製を用いている。

SANKEN DC±15V HWB030D-15

DAITRON DC24V HFS30

BELLNIX HA-1P-3000

3.2 測定分解能 (Resolution)

波長選択用の Q1, Q2 レバー及び測定 R ダイアルの角度は、通常 0.1°単位で取り込みが行われる。今回採用したステッピングモータは、小型軽量で低速・高速時の滑らかな移動が特徴である。Q1, Q2 レバーの基本ステップ角として、理論的な分解能を 1 ステップ 0.025°で設定した。測定 R ダイアルの角度分解能は、インクリメンタルエンコーダの 1 回転 6000 パルス性能に対応する 0.06°である。Q1, Q2 レバー及び R ダイアルのステッピングモータ及び R ダイアル値の取り込みエンコーダの規格性能と分解能を以下に示す。

1) Q-lever

Motor

Oriental Motor : PK223PA-SG36

2 Phase 0.05deg/step

0.95A / 2.8 ohm

Driver Step: Half

Q-lever resolution: **0.025deg/step**

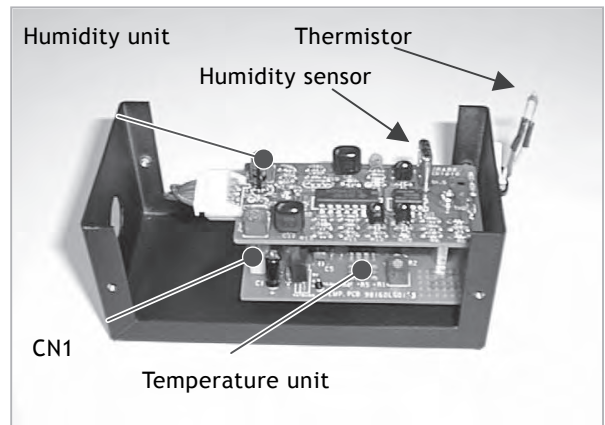


Fig. 7 Conversion unit of temperature and humidity.

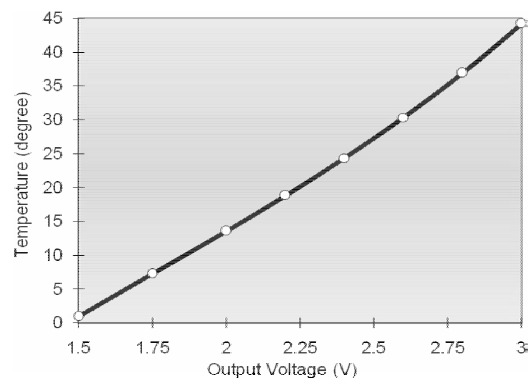


Fig. 8 Characteristic curve of output voltage and temperature.

2) R-dial

Motor

Sanyo Denki : 103H6501-7041
 2 Phase 0.72deg/step
 DC 0.75A
 Driver Step(RSW1=6) : 1/10
 Gear Ratio = 10:26 (0.38)
 R-dial Motor resolution:
 $0.72/10 \times 0.38 = 0.028 \text{deg/step}$

Encoder (Incremental)

Omron : E6D-CWZ2C
 12V, 6000 P/R
 R-dial Encoder resolution: **0.06deg/P**

3.3 測器への設置及び調整

測器本体への設置に関して、特に以下の点に配慮した。

1) モータノイズ対策

測器本体にステッピングモータを設置すると、モータの誘導電流による影響で微弱な高周波ノイズが発生する。発生したノイズは、光電子増倍管の微弱な信号と共にアナログアンプで増幅され測定値に取り込まれる。これを防ぐ対策として、測器本体とステッピングモータ間に樹脂の絶縁シートを置く処置をとった。この対策による効果は、特に S/N 比の影響を受けやすい反転観測時の日没や日の出頃に顕著である。

2) モータ設置とその調整等

自動化システムは、測器の定期的な較正や保守のために測器と共に輸送できることが必要である。特に測器本体に設置されたモータコントローラ駆動ユニットは、ステッピングモータやエンコーダを容易に取り外すことができ、更に調整が簡単であることが必要になる。測定 R ダイアルの角度検出エンコーダは、インクリメンタルタイプのため、原点位置をその都度検出するための絶対角度を決定する原点センサを持っている。この調整は設置時に一度行えばよく、取り外しても再設定の必要がない。しかし、測定 R ダイアルとステッピングモータは、タイミングベルトによりリンクされており、取り外しに際して張り調整がその都度必要になる。

3) S/N 比の関係

A/D ボードで取り込まれるアナログ信号、特に光電子増倍管からの μV 信号は、電源ノイズ、1)のモータノイズ、IC 部品など様々なノイズ源からの影響を受け、それらがアナログアンプで増幅される。Fig. 9 は、光電子増倍管の信号をアナログアンプで千倍に増幅した後、A/D ボードを

経由して取り込まれた 10ms 毎の信号電圧の時間変化を示す。これは測器へ光を全く取り込まない状態での結果である。バックグラウンドノイズの変動幅はおよそ 0.5mV であり、これはアナログアンプで増幅される前の信号の $0.5\mu\text{V}$ 以下の微弱なノイズに対応する。実際の測定では、適正な光電子増倍管の感度設定とした場合、測定 R ダイアルを仮に 0.5° 変化させると約 3mV 変化する。さらに実際の信号取り込みでは、積分処理によって高周波のノイズが平均化されるためにほぼ 0V となり、高 S/N 比での信号取り込みが可能になる。

4. ソフトウェア

C-BUS 方式から Compact PCI 方式にハードウェア仕様を移行したことで、各種 I/O モジュールへのアクセス方法が変更されたため基本ソフトウェア関数を全面改定した。また、基本ソフトウェア関数を利用する新規制御プログラム及び保守点検プログラムについても、制御関数の改訂とアルゴリズムの見直し改善を併せて行った。

Windows 版のプログラム開発言語は、ボーランド社の C++Builder 6 (Professional) である。独自開発した全ての観測プログラムは、その画面对応およびメッセージ、印刷物などを OS の何れの Windows 言語に対しても対応できる英語版とした。なお、観測プログラムは、新規制御プログラム及び保守点検プログラムを除き下位の OS (Windows 98/Me) でも引き続き利用可能である。

4.1 セットアップ

Pentium M プロセッサ搭載の CPU モジュールでは、システムユニットのシステムスロットへ実装してシステム

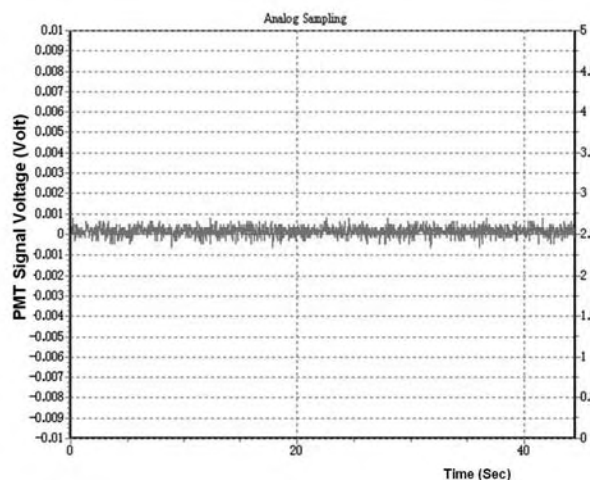


Fig. 9 Background white noise of photo multiplier tube (PMT).

を起動する。BIOS セットアップメニューに従って、Windows XP Professional(以下、Windows XP)及びディスプレイアダプタ、ネットワーク等の周辺機器をインストールする。更に I/O モジュール 4 種類の各種ボードに対応したドライバーをセットアップメニューに従ってインストールする。これらの状態は Windows のデバイスマネージャによって確認できる(Fig. 10)。

対応する Windows XP 言語は、英語版、日本語版、韓国版で確認済みである。また、2007 年の Windows Vista への対応も可能であり、今後観測プログラムの Windows Vista 対応版を検討する予定である。

4.2 基本ソフトウェア

基本ソフトウェア関数は、4 種類の I/O モジュールに対して直接アクセスする最も基本となる制御関数である。例えば、アナログ入力ボード(A/D 変換)においては、Windows XP アプリケーションから DLL をダイナミックリンクし、API をコールすることにより制御が可能になる。Windows の基本的なライブラリでは、インターフェース社のダイナミックリンクライブラリをインポートし、制御の基本ソフトウェア関数をアルゴリズムに従って作成した。16bit の A/D 変換では、サンプリング条件の設定により±5V(CH5 は±10V)の場合 0.15mV(0.3mV)の分解能で入力できる。サンプリングのタイミングは、様々な制御においてサンプリングの完了を待って行う、同期処理サンプリング(FLAGSYNC)の設定方式を用いた。アナログデータの電圧(V)への変換は、測定 1 件の 16bit データのサンプリング (Sampl)を±5V の測定レンジ(Rang)で行う場合、以下の式で取り込まれ電圧値に換算される。

$$V = \text{Sampl} * \text{Range} / 2^{16} - 5$$



Fig. 10 Status of I/O modules by Windows device manager.

作成した基本ソフトウェア関数は、主に以下のプログラムである。

- CPZ-3135 AD 変換データの入力関数, AD 変換の移動平均データの入力関数
- CPZ-3351 DA 変換データのアナログ出力関数
- CPZ-7405M モーションによるシングルステップ移動関数, 加減速・一定速・減速などの関数, 高速移動関数, 原点移動関数, リミット移動関数
- CPZ-7405M モーションによるインクリメンタルエンコーダのカウント処理関数
- CPZ-7405 汎用出力を利用したドブソン本体の電源 ON/OFF 関数
- CPZ-2723 デジタル I/O によるサンディレクタのプリズム角度制御ユニットとの 16bit データの入出力関数

4.3 プログラム実行手順

インストールした各種観測プログラムは、以下の手順でファイル参照が行われ実行される。ここでは一例として、つくばの観測データを用いたオゾン全量観測の過去参照プログラム(ttl_table.exe)を実行した場合の流れを示す(Fig. 11)。

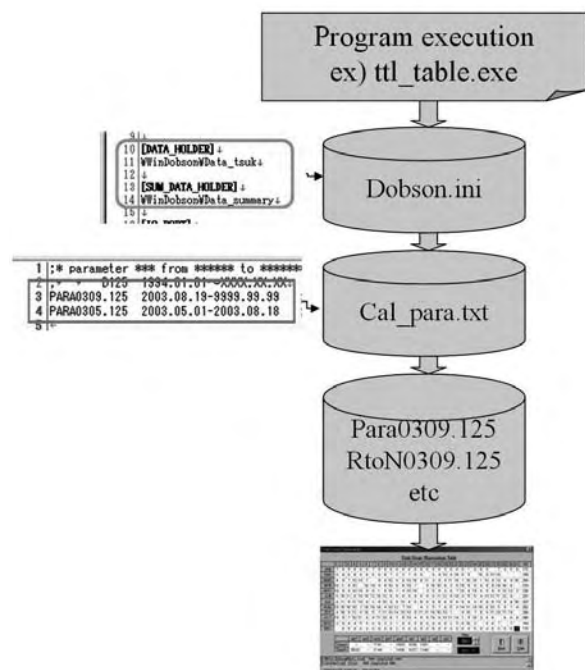


Fig. 11 Example of Program execution process for past total ozone data reference.

Table 1 List of observation program and observational data.

Configuration of files**Programs for observation**

C:¥WINDOBSON¥PROGRAM¥

--DOBSON. INI	Initialization file
¥EXE¥	
--TTL_NEW_XP. EXE	Control for total ozone observation
--TTL_TABLE. EXE	Past processing for total ozone observation
--TTL_PAST. EXE	Sub program of past processing for total ozone observation
--TTL_PRINT. EXE	Print out of total ozone observation
--UMK_NEW_XP. EXE	Control for Umkehr observation
--UMK_PAST. EXE	Past processing for Umkehr observation
--UMK_PRINT. EXE	Print out of Umkehr observation
--UMK_PROFILE. EXE	Analysis of ozone vertical profile for Umkehr observation
--CMP_NEW_XP. EXE	Control for comparison
--CMP_PAST. EXE	Past processing for comparison
--CMP_ANL. EXE	Analysis for comparison
--MER_NEW_XP. EXE	Control for Mercury lamp test
--MER_PAST. EXE	Past processing for Mercury lamp test
--STD_NEW_XP. EXE	Control for Standard lamp test
--STD_PAST. EXE	Past processing for Standard lamp test
--WED_NEW_XP. EXE	Control for Wedge calibration test
--WED_PAST. EXE	Past processing for Wedge calibration test
--VIEW. EXE	Real-time monitor for Umkehr observation
--VIEW. TXT	Setup file
--MONTH. EXE	Calculation of monthly statistics
--MAINT_XP. EXE	Maintenance of automation
--RECAL. EXE	Recalculation of ozone observation
--CREX06. EXE	CREX transmission to GTS for representative total ozone
--NET_TIME. EXE	Time correction by network
--FILE_ETC. EXE	Output of various data
¥UMK_PROFILE¥	Umkehr Vertical Profile Ver.4 (UMK92)
--DECODEV5. EXE	Quality control and station batch initialization
--MK2V4CUM. EXE	C-Umkehr inversion algorithm (Version MK2V4A 1992)
--UMKCAL. BAT	Batch for quality control and C-Umkehr calculation
--UMKCAL_REV. BAT	Batch for quality control and C-Umkehr calculation (Includes the revision of N-value)
--CU_DATA. TXT	Input data of Umkehr N-value
--CU_DATA_REV. TXT	Input data of Umkehr N-value
--UMK_NREV_ALL. TXT	Correction of N-value
--UMK_NREV_ins. TXT	Correction to N-value for total ozone (ins: Dobson number)
--OUT1. TXT	Profile output file 1
--OUT2. TXT	Profile output file 2
--OUT3. TXT	Profile output file 3
--STNINDEX. DAT	Station parameter for profile calculation
--UMK04CAT. BAT	Batch for C-Umkehr (UMK04) calculation
--UMK04CAL_REV. BAT	Batch for C-Umkehr (UMK04) calculation (Includes the revision of N-value)
¥UMK_PROFILE04¥	Umkehr Vertical Profile Ver.8 (UMK04)
--UMK04. EXE	Newly updated C-Umkehr inversion algorithm using Ver.8
--UMOUT. TXT	Profile output file
¥REPORT¥	
--REPORT. EXE	Copy of data files
--COPY. BAT	sub file
¥SCHEDULE¥	
--PJ_SCDL. EXE	Schedule program for ozone observation
--INIT_FILE. TXT	Station information
--BYE. WAV	Wave file
--CALL_TTL. WAV	Wave file
--CALL_UMK. WAV	Wave file
¥OTHER¥	
--OZN_SCDL. EXE	Output of Ozone observation schedule
--STATION. TXT	Station information

Table 1 Continued.

Data files

C:¥WINDOBSON¥DATA_name¥yyyy¥	
IMAGES¥CHK¥--	Inspection images temporary holder
¥TTL¥--	Total ozone images temporary holder
¥UMK¥--	Umkehr images temporary holder
OBS_DATA¥	Observation holder
--TTLyymm.stn	Total ozone
--UMKyymm0.stn	Umkehr
--STDyymm.stn	Standard lamp test
--MERYymm.stn	Mercury lamp test
--DOCyymm.stn	Maintenance
PRI_DATA¥	Primary holder
--T0yymmdd.stn	Total ozone
--UMyymmdd.stn	Umkehr
SUMMARY¥	Summary holder
--K0_yymm.stn	K0-11 form
--CT_yymm.stn	Total ozone Canada form
--CU_yymm.stn	Umkehr Canada form
--yyyymmdd.dobson.beck.ins.xxx.csv	Total ozone CSV form
¥CMP_DATA¥	Comparison
¥CREX¥	CREX holder
--CREXyymmdd.stn	
¥TEMP¥	Work file and backup data
¥INFORMATION¥	Station Information
--PARAyymm.ins	Station parameter
--RTONyymm.ins	RN table
--DNO_yyyy.ins	AD correction value of standard lamp
--DNO_CDyy.ins	CD correction value of standard lamp
--ZB_COEF.ins	Polynomial of zenith sky observation
--UMK_STD.TXT	Polynomial of the Umkehr curve reference
--WEATHER.TXT	Table of weather
--GTS_FORM.TXT	CREX form parameter
--GTS_TIME.TXT	CREX time parameter
--OBS_NAME.TXT	Observer

Summary data files

C:¥WINDOBSON¥DATA_SUMMARY¥	
--TTL_REF_MON.TXT	Monthly average of total ozone
--TTL_REF_DAYost.TXT	Daily average of total ozone
--TOTAL¥TTL_yyyy.DAT	Daily representative of total ozone
--UMK_REF_MONost.TXT	Monthly average of Umkehr

Where: name=station name(four characters), yyyy=year, yy=year(two characters), mm=month, dd=day, stn=station name(Three characters), ost= Ozone station number

- (1) "¥Windobson¥program¥exe¥ttl_table.exe" を実行する。
- (2) "¥Windobson¥program¥dobson.ini" 初期設定ファイルを読み込みデータフォルダー及び統計フォルダーを参照する。
- (3) "¥Windobson¥data_tsuk¥information¥cal_para.txt" では、処理日に対応した観測データ処理に必要な地点情報ファイル名を得る。
- (4) その地点情報ファイル名から必要な地点情報を取り込み、オゾン全量観測の過去データ処理が可能になる。

4.4 ファイル仕様

ディスクファイルには観測プログラムフォルダー及び観測データフォルダーを作成し、その下位フォルダーに必要なデータを保存する。例えば地点名つくばの2006年の場合、"¥WINDOBSON¥DATA_TSUK¥2006"となる。Table 1 にファイル仕様として、観測プログラムフォルダー及びデータフォルダー、統計フォルダーの詳細を示す。新規のデータフォルダー作成では、保守点検プログラム"maint.exe"を12月に実行することにより必要な階層が自動作成される。

4.5 観測プログラム

各観測及び点検プログラムは、新規の制御(New)と過去の点検(Past)用の二つのモジュールに分けられる。過去モジュールの実行は、自動化システムのハードウェア制御を必要としないため汎用 Windows コンピュータで可能である。主な観測プログラムとして、オゾン全量観測、反転観測、水銀ランプ点検、標準ランプ点検、ツーランプ点検、比較観測、測器の保守、月統計処理などに対して約 30 のモジュールがある。ここでは、以下のモジュールについて、その機能の一部と特徴を述べる。

1) 新規オゾン全量観測

通常サンディレクタ操作とそのスポット調整は手動で行うことになる。その他の操作は、全て観測手順に沿って自動制御が行われ、その結果が各種グラフで表示される。しかし、自然現象を正確に観測するためには、観測中の雲の状態の変化や降水等を監視し自動設定される PMT 感度の微調整なども必要に応じて行うことが重要である。理論計算で得られる太陽直射光のオゾン全量観測では、誤観測または感度不足の測定に対して、品質管理アルゴリズムにより観測者へ警告メッセージを発する機能を持っている。

2) 新規反転観測

新規の観測では、観測者が測器の向きを調整する操作を除き全ての手順が自動的に行われる。複雑な手順と長時間を要する反転観測は自動化によって効率化され、更に測定精度の向上と、詳細な測定情報の取得が可能となる。反転観測の補助的な機能として、観測の予約と天窓

の開閉のためのリモート制御を持っている。これを利用することにより事前の予約が可能であり、感雨センサと連動させることで更なる自動観測が可能になる。測定された観測データは、過去データ処理プログラムから起動される反転計算の導出アルゴリズムによってオゾン鉛直分布に変換され、各層のオゾン量がグラフで表示される。オゾン鉛直分布の導出アルゴリズムは、Petrovskikh *et al.* (2005)によって開発された最新の Ver.8 (UMK04版)と従来の Ver.4 (UMK92)による処理が可能である。また、測定データを品質管理するために再評価するアルゴリズムを搭載しており、高品質なデータ処理結果を取得することが可能である(Miyagawa and Hirose : 2004)。

5. GAW オゾン観測網への国際貢献

GAW のオゾン観測網を維持・発展させる観点から、ドブソン分光計の自動化システムは、オゾン観測の操作を容易にするばかりでなく、短期間での技術習得を可能にすると共に手動観測のエラーを軽減するものである (Photo. 1)。

国外への自動化システム技術の移転に関しては、1994 年の最初の自動化以降多くの要請や問い合わせがあったが実現まで至らなかった。しかし、2006 年 8 月に初めて韓国延世大学へ自動化システムの技術提供が行われた。また、自動化システムで開発されたプログラムは、WMO 標準データ処理プログラムとして GAW のオゾン観測網で利用することが可能なことから、WMO からの要請を受けて提供を開始した。

これらの国際貢献は、気象庁(JMA)の GAW に対する大きな貢献であると共に、地区ドブソン校正センター(RDCC)の責任として観測データの品質向上に資するものであり、また QA/SAC 業務の推進につながる。

5.1 延世大学への自動化システムの移植

韓国延世大学では、1984 年にドブソン分光計によるオゾン観測が開始されて以来、現在まで継続して行われている。2006 年 8 月、GAW 地点を運営する韓国気象庁(KMA)の要請に応じて、延世大学が維持管理するドブソン分光計に、今回開発した自動化システムの技術を移植した。必要な全ての経費は、KMA が負担した。

延世大学では、アップグレードに必要な準備とパーツ購入などを 2 年計画で行った。前年度に測器内部に必要な改造部品と制御ユニットやモータ駆動制御系を準備され、2 年度に CPU モジュールとシステムユニットや各種ボードなどが手配された。ドブソン分光計のアップグレードは、オゾン観測が実施されている延世大学の地球環

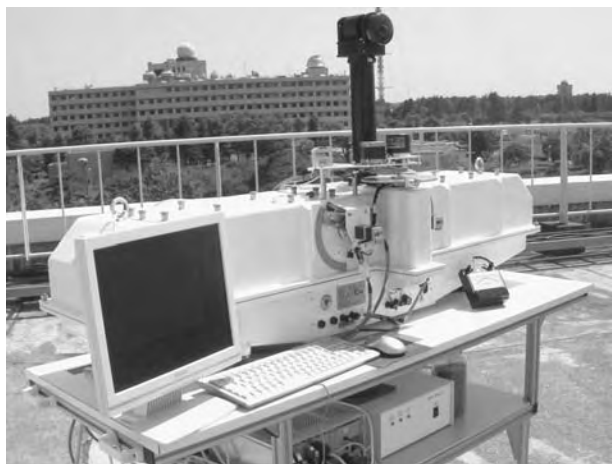


Photo. 1 Upgraded Dobson system with Windows XP.

境研究室で約 2 週間の日程で行った。日程の前半では、ドブソン分光計の高度化のための付属品機器の組み込み及び光学系の点検・調整、制御ユニット各種ボードのセットアップ、駆動モータ制御系の測器への取り付け、ソフトウェアのインストールなどを実施した。後半では、自動化システムの総合的な動作確認と補正テーブルの作成、システム詳細、自動化の観測手順と原理など、操作実習及び研修を行った。

延世大学のドブソン分光計は、同研究室の大学院生によって主に維持管理されているために、自動化システムの導入は測定技術の改善と迅速なデータ処理、品質管理へ与える効果が大きく、データ品質の飛躍的な改善が期待される(Photo. 2)。

5.2 WMO 標準データ処理プログラムの提供

WMO/GAW では、ドブソン分光計のオゾン観測網で利用する標準的なデータ処理プログラムを推奨している。1994 年、チェコの Martin Stanek 氏によって開発された処理プログラムは、現在 "Dobson V3.01, DobsTool V1.5" として提供が行われ、多くの GAW ステーションで利用されている。

高層気象台で開発したドブソン自動化システムのデータ処理プログラム(WINDOWBSON)は、自動化システムを持たない GAW 観測網でも利用可能な観測プログラムツールとして、長年の研究開発にもとづいて作成したものである。これらのデータ処理プログラムの提供については、WMO/GAW におけるドブソン分光計のオゾン観測網の標準的なデータ処理プログラムとして WMO 事務局長から

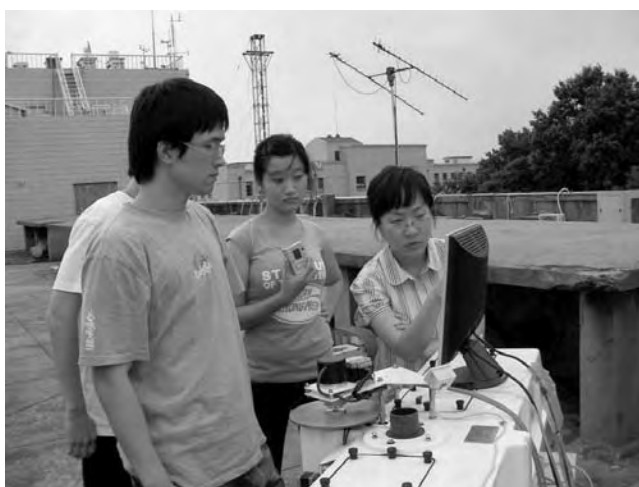


Photo. 2 Ozone observation at Yonsei University using upgraded Dobson System developed by JMA.

気象庁長官宛に以下の提供依頼があり、2006 年 3 月に承認がなされた。

"Standardized Processing of WMO/GAW Global Ozone Dobson Observations (6 Mar 2006) "

WMO/GAW におけるドブソンオゾン観測ネットワークの標準的なデータ処理プログラムとして、GAW オゾン観測網で利用するために気象庁では、以下の GAW/RDCC ウェブサイトを立ち上げ所定の手続きによって利用できる体制を整備した。

<http://gaw.kishou.go.jp/wcc/dobson/windobson.html>

このデータ処理プログラムが扱える観測データは、通常オゾン全量観測とオゾン鉛直分布を測定する反転観測の二種類であるが、更に測器のランプ点検の状態を管理する多くのツールについても必要に応じて提供される。

6. まとめ

高層気象台では、1994 年にドブソン自動制御方式の最初のバージョンを国内向けに開発し、その後 2000 年に Windows 版への改訂で汎用性を高めた。今回の 2006 年版の開発では、Windows XP に対応させたコンパクト PCI 制御方式に移行し、より一層の汎用化を進め国際的に提供できるシステム環境を完成させた。2006 年 6 月つくばで最初に定常観測への導入が行われた。その後、韓国延世大学(同年 8 月)、札幌(同年 10 月)、那覇(同年 12 月)へと導入され、開発測器でもあった移動準器を含めて 5 台のドブソン分光計の更新を完了した。これらの測器は、現在オゾン観測のために順調に運用されている。

データ処理の画面对応では、全て英語版仕様として作成されている。これらのソフトウェアは、ドブソン分光計が自動化されていない GAW オゾンネットワークにおいても利用可能であり、更に反転観測のオゾン鉛直分布処理プログラムは、オゾン専門家の解析ツールとしての利用も期待される。

延世大学では自動化システムを導入したことにより、高水準の観測環境が完成した。今後も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網としてデータ解析にも大いに貢献するものと考えられる。

謝 辞

本方式の定常観測への導入に際しては、観測第三課、国内オゾン官署並びに延世大学などから問題点などを指

摘して頂き初期のトラブル回避のために大いに役立てることができました。気象庁地球環境・海洋部環境気象管理官付オゾン層情報センターの関係官には、必要な予算確保及び技術的なサポートを頂き感謝いたします。観測第三課廣瀬保雄課長、査読者並びに編集委員の皆様にご助言やご教示を頂きました。あわせてお礼申し上げます。

引用文献

- 宮川幸治(2002): 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.(1996): Development of automated measuring system for Dobson ozone spectrophotometer. *Ozone symposium in Italy in 1996*, **2**, 951 - 954.
- Miyagawa, K.(1997): Development of an automated system for the Dobson ozone spectrophotometer. *The Geophy. Maga. Series 2*, **2-1**, 77 - 107.
- 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., P.K. Bhartia, and J. DeLuisi (2005): New Umkehr ozone profile retrieval algorithm optimized for climatological studies. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L16808.