

8 地上用偏光分光放射計による地球大気の光学的特性の抽出 Investigation of atmospheric optical properties using ground based photo-polarimetric technique

高島 勉

宇宙開発事業団・地球観測データ解析研究センター
Tsutomu Takashima, NASDA/EORC

衛星は海がどんなに荒れていても、また寒冷的な南北極域でも、定刻どおり、地球全域を観測出来る点が優れているが、衛星機器は大量生産出来ず高価で、開発するには少なくとも10年位必要である。一旦打ち上げてしまうと、不具合が生じても梯子を付けて修繕する事も出きない。そのため必要とするデータをどのような機器によって、どのように取得するのが良いのかを重ねて吟味する必要がある。これは打ち上げ前でも、打ち上げ後でも同じである。例えば米国大気海洋庁が打ち上げている気象衛星「ノア」の時間経過に伴う機器劣化の問題は、衛星運用を次の衛星に移管してからもデータ解析が続いている。

本年夏わが国が打ち上げた地球観測プラットフォーム技術衛星(ADEOS)は8つのセンサーを搭載し大気、海洋、地表を観測する事等を目的とした衛星である。データ処理に伴う最適アルゴリズム開発、機器検証等国际協力の元で可能になった。機器の中には今回初めて衛星に搭載される地表反射光観測装置(POLDER)もある。この放射計は校正装置を装備していないので、同時に搭載される海色海温走査放射計(OCTS)の支援が不可欠である。データプロダクト抽出には、それぞれの機器の特徴を生かした複合機器利用という見地から取り組む事になる。協調と迅速性が特に要求される。

従来先にも述べた様に衛星搭載機器開発は、

綿密な地上観測に基づく機器の改良、航空機やゾンデによる上からの観測を基盤として実施されるのが通常の流れであるが、ADEOS衛星搭載POLDERによる偏光観測は大気~地表(海洋)系の細かい且つ独立な情報を提供するものと期待されているものの、そのための複雑さも一方で混入しているのが現状である。今回打ち上げられたPOLDERの様にちょうど写真を撮る様に地球からのデータを記録する手法と米国航空宇宙局が計画している走査方式等があり、まだ効率的な方法が固まった訳ではない。

地上からの検証用に開発された偏光分光放射計によって、ネバダ砂漠、西太平洋、気象研究所等で観測したデータを基に期待される点と問題点を述べる。

1. はじめに

大気中に浮遊しているエアロゾルは、太陽放射の散乱や吸収、熱赤外放射により、大気~地表(海洋)系の放射収支に大きな影響を及ぼす一因となると考えられている。間接的にも雲の生成及び発達に関しても、雲核として重要な役割を担っている。衛星から地表面観測する場合エアロゾルによる散乱吸収により、地表面からの情報を衛星に伝達する時不確実にする一因にもなっている。即ち大気補正の問題として適切に評価しなければならない。更にエアロゾルは環境問題でも重要な要因である。これまで太

陽放射の大気中の雲、分子、エアロゾルによる散乱光や直達光の観測から光が地上に到達するまでにどの程度大気中で吸収散乱されるのかを推定する試みが地上や航空機搭載機器により測定され、更に衛星による観測も試みられてきた。例えば、米国気象衛星「NOAA」搭載「AVHRR」放射計により海洋上の大気エアロゾルの光学的厚さの地図が1987年から定期的に世界に配布されている。しかしエアロゾルの生成起源、輸送の複雑さからまだ第一世代の情報としての認識を得るにとどまっている。エアロゾルの空間分布、放射特性を一層精密に全球規模で求める事が急務である。このため従来の手法に加えて新しい観測法に期待が集まる理由はここにあるものと思われる。例えば紫外域、赤外域の観測、偏光観測等である。特に偏光観測はこれから打ち上げられる衛星にその機器が搭載されているので、一層期待されている。ここで偏光観測は放射輝度観測とは追加独立した情報を提供する。

2. 観測機器

大気中のエアロゾルの光学的特性を抽出する目的で、太陽、天頂によって決まる面即ち主観測面内で、太陽から90度離れた方向の偏光度及び放射輝度を測定する。機器は偏光分光放射計(MSR 7000, オプトリサーチ製)である。概念図をFig.1に示す。入射した散乱光を偏光子を90度回転させて、平行及び垂直成分を測定する。光学ケーブル、回折格子に導く為、一旦偏光した入力の偏光を解消する。瞬時視野角は $\pm 1^\circ$ 、波長400~1000nm、検知器として、400~650nmは、photo-multiplier、650~1000nmは、siliconである。しかしgainを切り替えたテストの結果photo-multiplierは800nmまで観測可能である事が解ったので、検知

器切り替えは以後800nmで実施した。半値幅は $\pm 5\text{ nm}$ 、観測間隔は1nm。1回走査するのに約1分必要である。4回連続観測するのに約15分必要で、時々暗電流を計測するが、波長400~800nmでは通常最大値が15、平均すると約

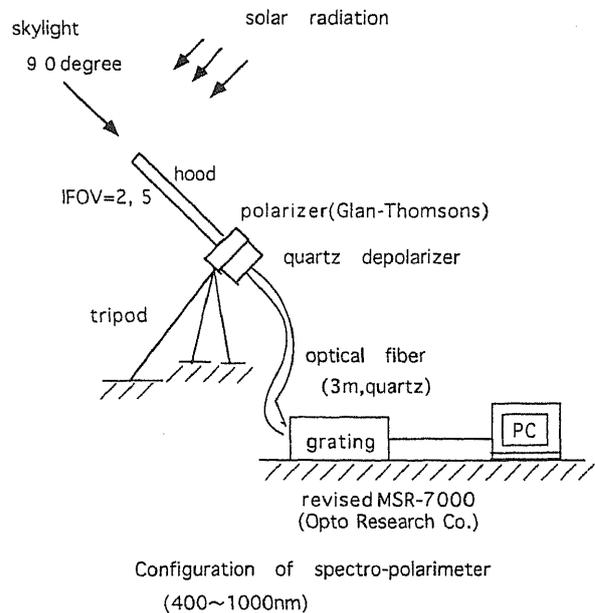


Fig. 1 Configuration of spectro-polarimeter

5程度である。波長800~1000nmでは1~2程度である。4回の平均値を表示した。

3. 観測結果

Fig. 2aは埼玉県鳩山町にある宇宙開発事業団地球観測センター(NASDA/EOC)で、1996年1月30日午前10時30分に観測した例である。晴天でところどころ雲片があるが、観測方向付近では、雲は認められなかった。検知器としてphoto-multiplierを波長650nmまで使用した(Fig.2a)。Fig.2bはsiliconである。Figs.2aと2bで、下とその上の実線はdigital count numberで、各々地平線に対して平行、垂直な偏光成分である。左縦軸にdigital count numberを示す。校正してないが、放射輝度に

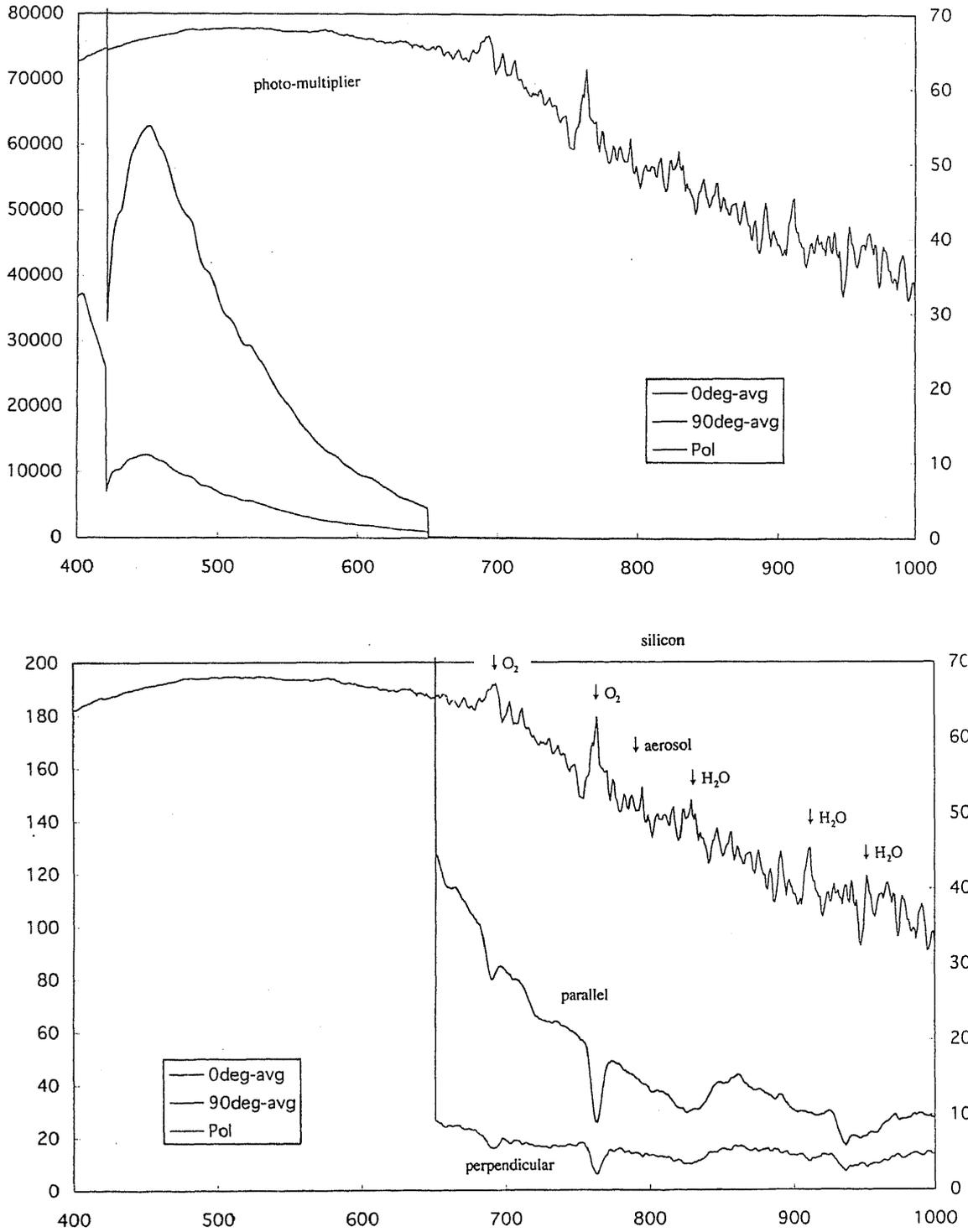


Fig.2 Polarization degree in 90 degree away from the sun in the principal plane and the digitalcount number of parallel and perpendicular polarized components at the corresponding direction. NASDA/EOC, Jan.30, 1996. Clear atmosphere with scattered broken cloud. The above and below figures shows the photo-multiplier and silicon as detector at 400-650 nm and 650nm-1000nm, respectively.

対応しているものと考え。波長と共にやや凸凹しているのは、太陽の Fraunhofer lines の為と考える。参考の為 Fig.3a,3b に大気外太陽放射照度を示す¹。Fig.2bは波長 650~1000nm では検知器として silicon を使用した結果である。右縦軸に digital count number を示す。平行、垂直な偏光成分が波長により減少しているのは、大気中の酸素、水蒸気等による吸収の為と思われる。Fig.2a,2b に偏光度を示す。波長が 650nm 位まで滑らかに変化し、550nm 辺りで極大値 68%を示す。近外赤域には、LOWTR AN-7 中緯度帯夏モデルの大気ガスによる吸収バンドの位置を入れた。波長の増加と共に概して偏光度が減少している。エアロゾルが無く地表面の反射率が無視出来る程小さい場合は背景にある分子散乱の効果が大きくなり、この場

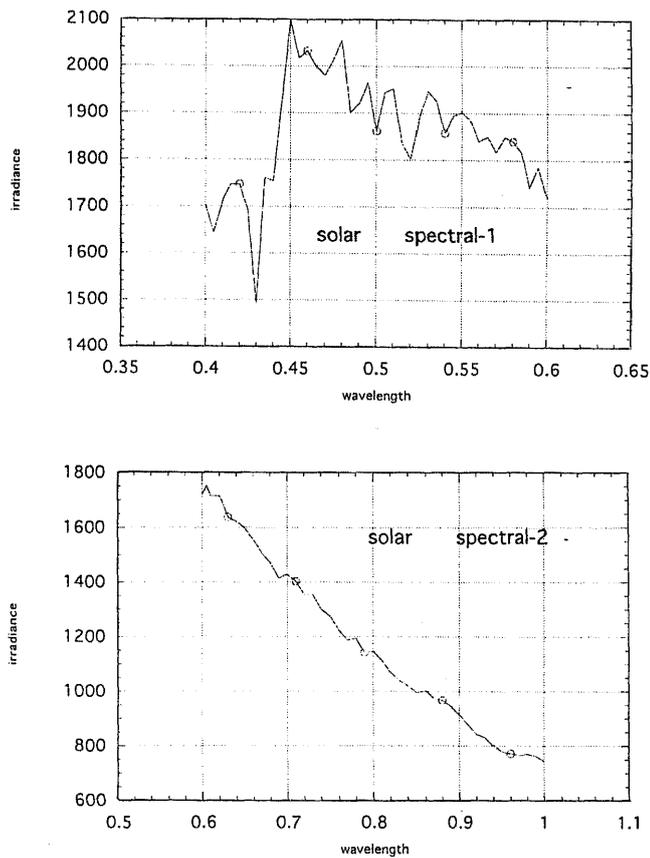


Fig. 3 Extraterrestrial solar irradiance

合は偏光度は波長と共に増加する。本観測方向は分子散乱による偏光度が最大になる方向に対応している。今回は地表面反射特性の波長依存性が不明ではあるが、エアロゾルによる偏光度が分子のそれに比べて小さく、且つ波長に比較的依存しないものであると仮定すれば、観測結果を説明する事が出来る。エアロゾルは球形粒子とするとやや大きい粒子かと思われる。地表面の影響が少ないと思われる海洋での観測結果を Fig.4a, 4b に示す。神戸商船大学深江丸

K7241501-04, 07-08

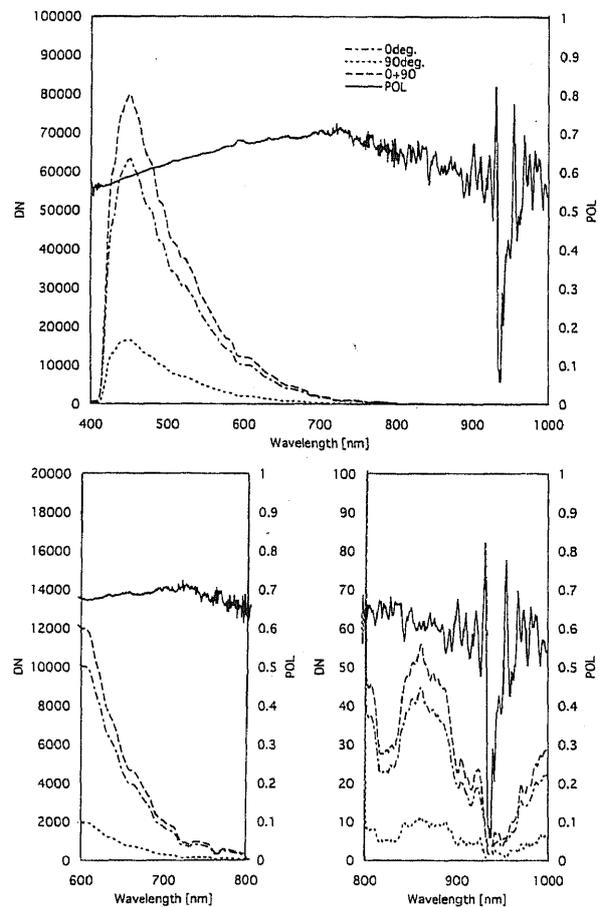


Fig.4a The same as Fig.2, but for the ocean off west Kyushu island on July 24.

の船上で、1996年7月23日~8月1日にかけて四国沖~九州沖の海域で観測を試みた。図は観測の一例で九州沖のデータである。各々7月24

日午後3時、25日午前9時に取得した。上図は観測データ全体を示し、下図は600~800nm, 800~1000nmの領域を解りやすく強調したものである。共に快晴で、雲片があったが観測方

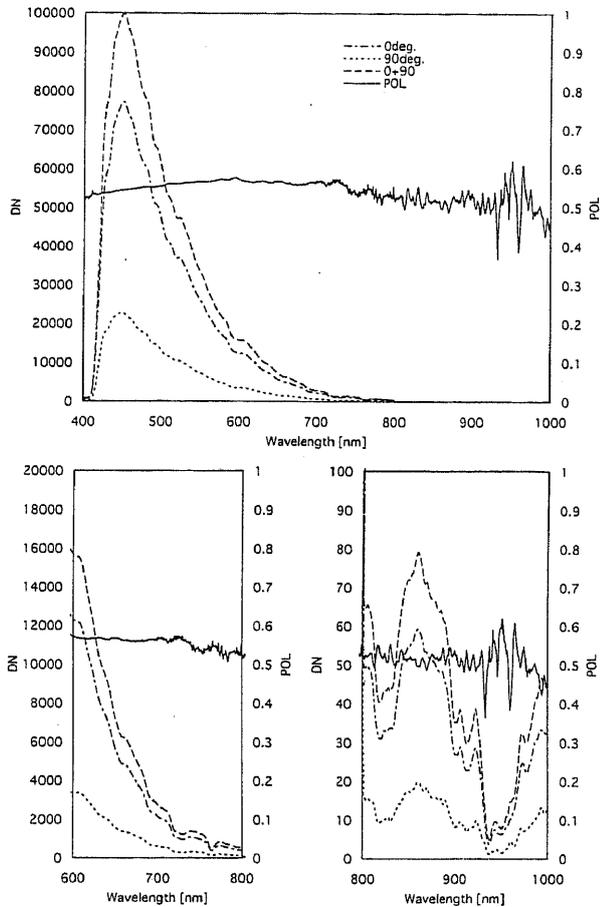


Fig.4b The same as Fig.2, but for the ocean off west Kyushu island on July 2b.

向付近には無かった。 Fig.4aでは偏光度は波長と共に増加し700nm付近で極大値70%を示し、その後波長の増加と共に減少している。600nmに小さい凸凹があり930nm付近の水蒸気吸収帯での変化が激しい。400~600nmで偏光度がFig.2aに比べてやや小さい。Fig.4bでは波長による変化が少なく、全体として、偏光度は60%以下である。600nmに小さい凸凹がある。1996年6月EOS-AM1搭載ASTER機器の検証の一環として、ネバダ州の砂漠で、大気、

地表の観測が行われた。Lunar Lake(標高1750m), Railroad valley(標高1430m)は乾燥した粘土層で、表面の反射率が高く、Lunar Lakeでは450nmで20~30%で波長と共に増加し700~1000nmでは約50%に至る。Railroad valleyは地表面の反射率はやや低いと聞いている²。観測日は雲も無く快晴であった。Fig.5a,5bは各々6月1日午前9時20分Lunar Lake,6月7日午前10時Railroad valleyの例である。いずれも波長の増加と共に偏光度は概して減少している。偏光度は53%以下である。大気は清浄と思われるが、地表面からの強い反射光が影響して、偏光度を減少させたものと考えられる。

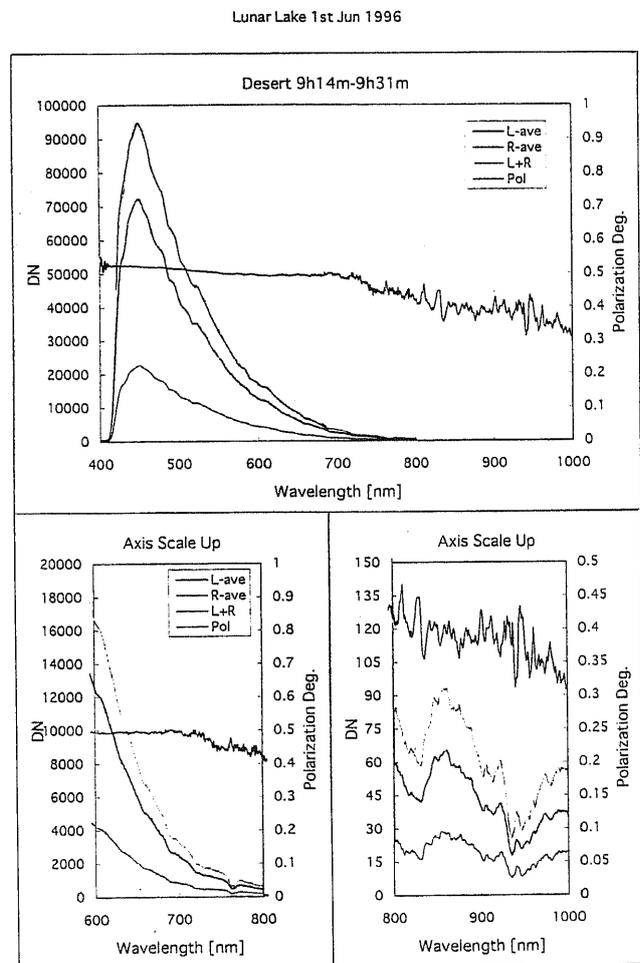


Fig.5 The same as Fig.2, but for the Nevada desert. (a) Lunar lake & (b) Railroad valley

4. 比較観測

1996年5月15,16日つくば市にある気象研究所別棟屋上にて比較観測を実施した。いずれもOpt.Research Co.社製のポータブル型偏光放

データで快晴であるが、雲片があった。Fig.5bは5月16日のデータで曇り空の為UNIVとMSR7000の比較のみ実施した。Fig.5aではMRIの偏光度は第1～5チャンネルはMSR-

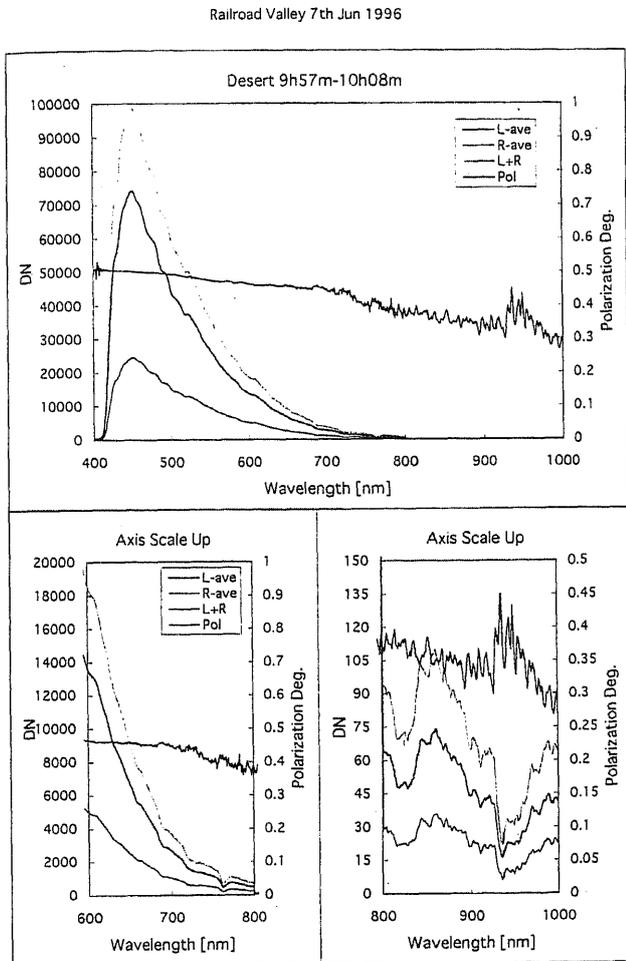


Fig. 5b Railroad valley

射計(FPR1000)である。気象研究所所有(MRI)はハワイマウナロア山頂にて校正した。近畿大学所有(UNIV)はMRIをコピーした機器である。6チャンネルあり、ADEOS衛星搭載POLDER,OCTSのチャンネルに対応して制作され、中心波長と半値幅は、444nm(17.6nm), 490nm(17.8nm),564nm(22.9nm),673nm(17.9nm),766nm(37.5nm),& 863nm(43.2nm)である。MRI (●), UNIV (▲)の偏光度をMSR7000のデータに書き入れた。Fig.6aは5月15日の

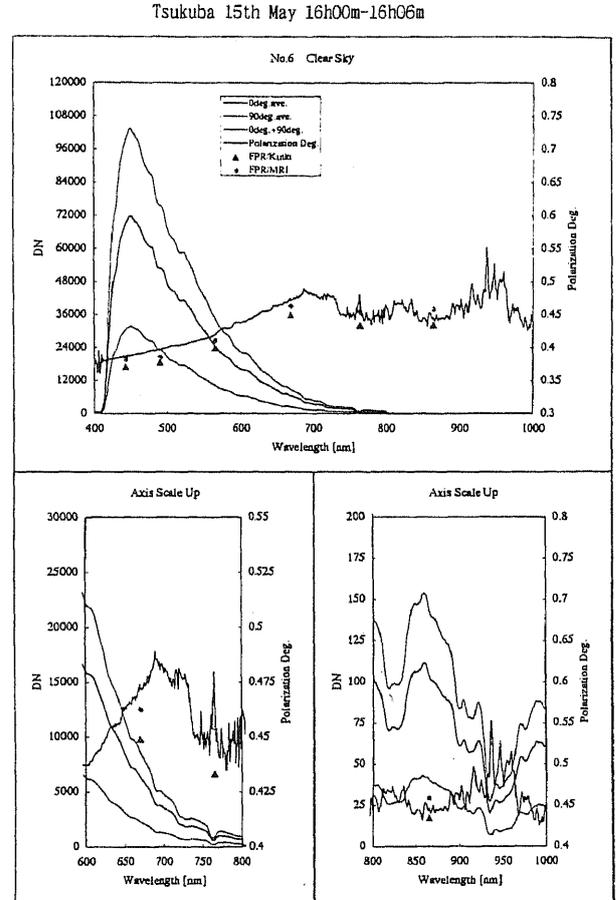


Fig. 6a The same as Fig.2, but for the Meteorological Research Institute on May 15, 1996.

7000に比べて数%小さい。第6チャンネルは逆に数%高い。波長と共に変化する様子は一致している。UNIVの偏光度はMRIに比べて1～2%低い但未だ機器校正は済んでいない。幸いにも偏光観測には時間的に機器が安定していれば、校正の必要性が余り無いと考えられる。Fig.6bではUNIVの偏光度はMSR7000に比べて1～2%低い、第6チャンネルはやや高くなっている。

5. まとめ

多目的用野外分光放射照度計を、大気散乱光の偏光度及びその方向の放射輝度を測定出来るように改造して、大気中エアロゾルの光学的厚さ、粒子の大きさ等の抽出可能性を探った。他のポータブル型偏光放射計との比較観測から機器はその目的の為使用出来る事が解った。

Tsukuba 16th May 12h00m-12h06m

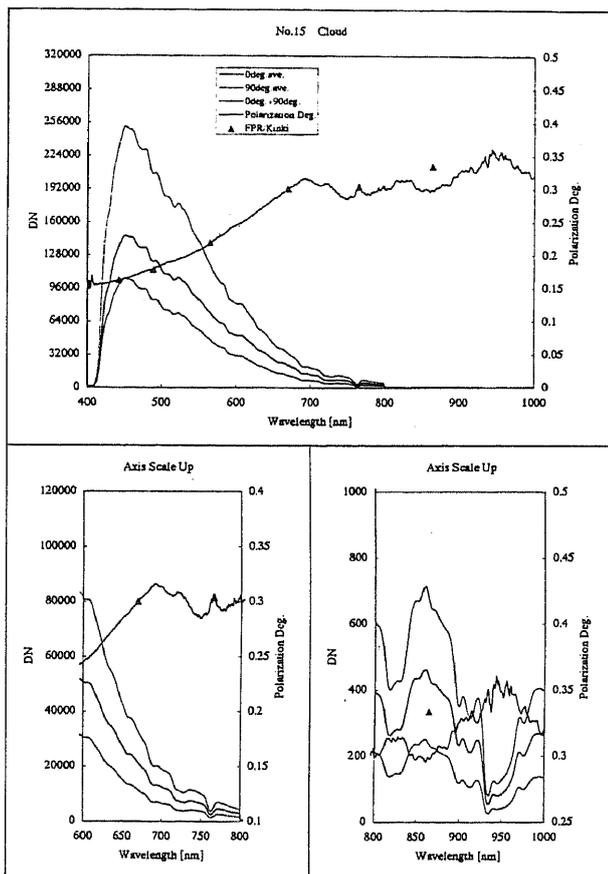


Fig.6b Meteorological Research Institute on May 16, 1996. Overcast condition.

6. 謝辞

本観測計画については、気象研究所増田一彦氏の協力により実施された。

本機器改造及び観測にあたり NASDA/EORC 前里卓、リモートセンシング技術センター赤池勝明、中島康裕、ERSDAC 町田晶、神戸商船大学石田広史氏を初め多数の方々にお世話になりました。

references

1. Iqbal, M., 1983: An introduction to solar radiation. Academic Press, 390pp.
2. S. Tsuchida, 1996, Private communication