

可搬型コロナグラフによる太陽周辺のミー散乱光強度の観測

田中伸幸, 木挽俊彦, 斉藤守也, 篠田一也, 入江 誠

(2002年3月29日受理)

Observations of the Mie Scattered Light Intensities around the Sun with a Portable Coronagraph

Nobuyuki TANAKA, Toshihiko KOBIKI, Moriya SAITO, Kazuya SHINODA, and Makoto IRIE

Abstract

Measurements of Mie scattering intensities around the Sun have been carried out by using a 5 cm coronagraph at (1) Chichijima, Ogasawara Islands, (2) Shiiba, Miyazaki prefecture, (3) Kitadaito Island, Okinawa, (4) Hateruma Islands, Okinawa, and (5) Saku Island, Aichi prefecture. Although our observations were limited in time for only a few days, the results indicate that the solar corona may be observable even at an altitude of 1,000 m or less (for example at Shiiba, Miyazaki) where the intensity of scattered light is eventually less than $100 \mu I_0$ (here I_0 is the intensity of the solar disk center, and μI_0 means $I_0 \times 10^{-6}$). Comparison among the tested sites is difficult because the measurements were done in various seasons in the year, and monitoring over longer time period is necessary to derive definite conclusions. However, the sites where the scattered light intensity is stable and less than $100 \mu I_0$, could be a good site for the observations of the Sun considering the transparency of the sky.

1. はじめに

本プロジェクトは、大気散乱光強度の計測から、シーイングの一つのパラメータである透明度を定量的に測定する事と、乗鞍コロナ観測所以外でのコロナ観測の可能性を調べる事の2点を目的としている。大気散乱は、散乱する物質の大きさが、波長に対して小さい場合は、レーリー散乱であり、それより大きい場合はミー散乱による。通常、ミー散乱の方がはるかに大きな強度の為、太陽周辺の明るさを計測した場合は、主にミー散乱を計測している事になる。そこで我々は、比較的標高の低い場所においても、都市部等の大気汚染等のエアロゾルの影響が小さいと思われる離島や、都市部と離れかつ火山灰等の影響が少ない標高の比較的低い山間部等では、透明度が比較的高く散乱光レベルも低いであろうという仮説の元に、いくつかの観測点を設定して、不定期ではあるが実際に散乱量の測定を試みた。

2. 装置の概要

この目的のために作成した装置は、有効対物径が 5 cm、焦点距離 1,500 mm のコロナグラフである。オカルティング・ディスク(太陽光球の遮光用円盤)の中心部を貫通させて、0.1% 透過率の ND フィルタ 4 枚によって減光した太陽光球中心の明るさを参照(以後リファレンス光という)できるようになっている。約 5000 から 9000 の観測波長域の観測ができるよう設計したが、主に 5303

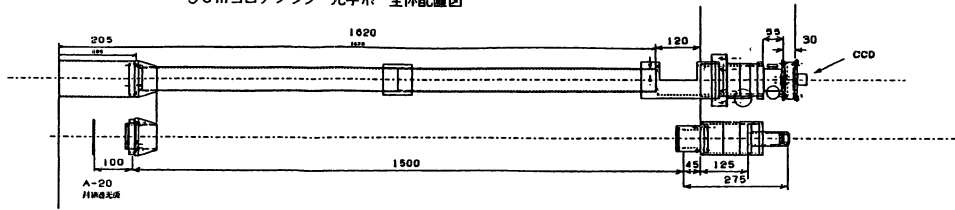
の2つの光学干渉フィルタを使い、民生用モノクロ CCD とイメージプロセッサ、制御用 PC で構成した画像取得システムによって太陽周辺の空の明るさ情報を記録する。観測されたデータは、8 bit であるが、リアルタイムにイメージプロセッサで数百フレームを積算(データを見ながら、適当な大きさのデータになる様に調整する)させて、16 bit データとし、輝度情報ダイナミックレンジを増し、かつ暗いレベル(主にリファレンス光)の S/N 比の改善を図った。

光学系の概要を、図1に、本装置のシステム概念図を図2に、調査観測風景の例を図3に示す(佐久島小中学校の校庭内にて)。なお、5 cm コロナグラフは、リファレンス光を得るために1次焦点距離を長く設計してあるが、望遠鏡は対物レンズ部と鏡筒部と1次焦点(ディスク格納)部、カメラ焦点部、フィルタ格納部等に分解ができ、接続部はねじ込み式を採用する事で、機動性を確保して、どこでも調査観測ができるように工夫したポータブルタイプの観測装置である。

3. 本装置の性能検定

コロナグラフによる実視観測においては、太陽光球中心の明るさの10のマイナス6乗値を基準単位(以後太陽光基準単位 = μI_0 として記述)として使用しており、太陽リムからある高さでの空の明るさを計測している。この単位で計測することでコロナグラフによるコロナの観測が可能

5cmコロナグラフ 光学系 全体配置図



5cmコロナグラフ 組立図(鏡体部) 鏡筒-CCD

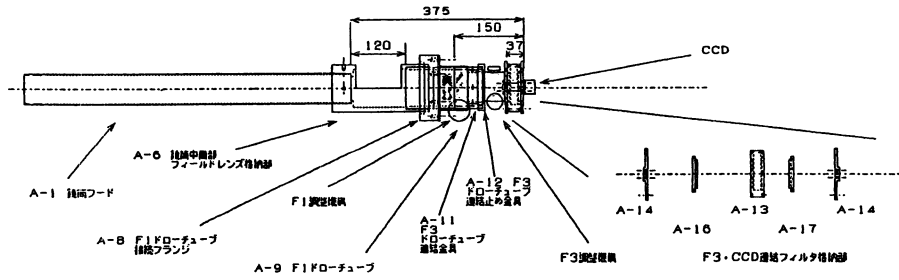


図 1

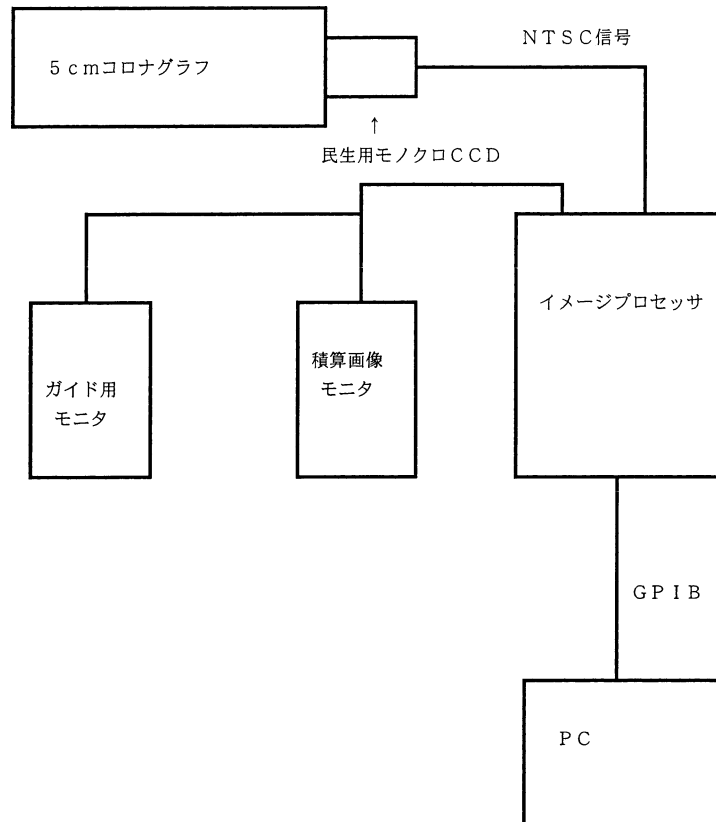


図 2



図 3

であるかどうかを経験的に判断できる．従って，乗鞍コロナ観測所での観測値とのデータの比較が重要であり，また本装置のコロナグラフとしての性能の妥当性を知る上でも，乗鞍の口径 25 cm コロナグラフを用いた分光観測により，5 cm コロナグラフの較正を行う事が重要である．検定実験の方法は，5 cm コロナグラフを乗鞍に持参して，25 cm コロナグラフと同時観測によっておこなった．この際，25 cm コロナグラフは，約 400 秒角の範囲で分解能 4 秒角のラスタースキャンをおこなった． μI_0 による明るさの強度を求めると共に光球中心も観測し，その値と比較することで，25 cm データとの差を本装置の固有補正值として採用した．25 cm の観測結果と 5 cm の観測結果を μI_0 単位でグラフ化したものが図 4 である．上のグラフが波長 5303 付近で観測した空の明るさを高さ 164 秒角から 360 秒角までプロットしたグラフであり，下のグラフが 5 cm コロナによる空の明るさである．画像データから太陽中心を推定してガイドのズレを求めて，25 cm のデータとの観測領域を合わせてある．散乱光強度の減衰率が違うのは，太陽中心光をリファレンスするために，オカルティング・ディスク中心にリファレンス光用の光路がある為に“リオの絞り”（コロナグラフの光学系の特徴として，光学系の内部散乱によるゴーストの影響をこの絞りによってカットしている．）の位置に中心の絞りが無い為に，オカルティング・ディスク周縁の明るさが増えていると推定している．そこで，平均値を使用して比較し，その量を観測装置の固有値として，5 cm コロナグラフの固有補正值を 0.72 とした．

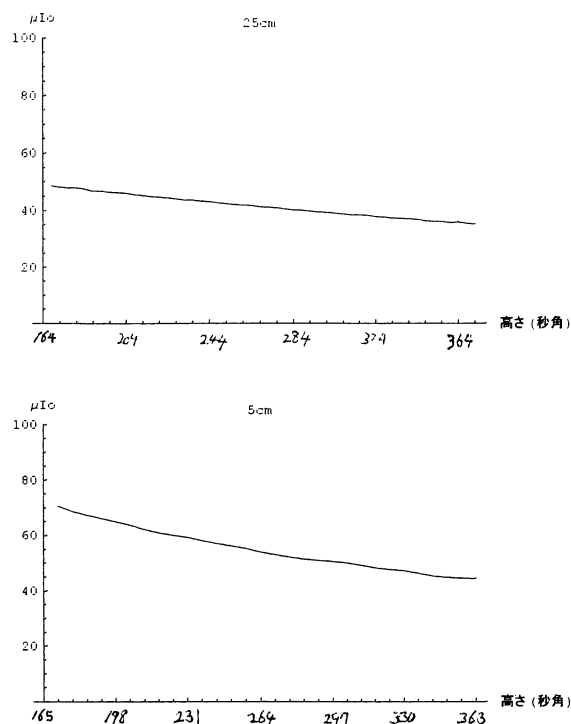


図 4

```
skyg1["c:\\test\\hateruma\\000719\\", "c5g00006_3", "d5g00007_3"];
```

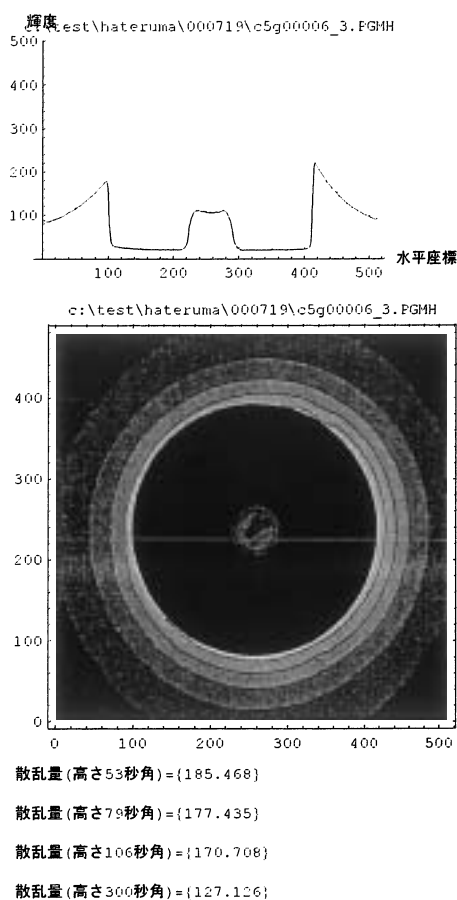


図 5

4. 観測結果と結論

本プロジェクトでは、小笠原諸島父島（宇宙開発事業団衛星追跡基地、標高約 240 m）、宮崎県椎葉村民家（標高約 800 m）、沖縄県北大東島（村営宿泊施設、標高約 30 m）、沖縄県波照間島（町営星空観測センター、標高約 60 m）、愛知県一色町佐久島（小中学校、標高約 10 m）で観測した。観測データはイメージプロセッサの画像保存用のローカルフォーマットから PGM 形式にて、フォーマット変換後（新しい観測プログラムでは、直接 PGM 形式のファイルを生成する。）に、Mathematica で解析をおこなう。解析をおこなう観測データは、画像データに対応するダーク画像データがある場合はダーク補正を実行し、ダークデータがない場合は、オカルティング・ディスク部の明るさをダークとみなして、その値を使用して補正をおこなった。解析処理は、リファレンス光部分領域の平均値を使用して全画像データを割り算したデータを等高線グラフと画像中心位置のライン・プロファイルを出力して μI_0 単位のデータを生成し、オカルティング・ディスクのエッジ情報から高さ 53 秒角、79 秒角、106 秒角、300 秒角のそれぞれを計算出力するようにした。解析時には、二つのグラフ情報を元に、観測データの妥当性（データとして使えるかどうかの可否）をチェックしたものを使用した。図 5 に Mathematica

で作成した関数モジュールで解析した解析ウィンドの出力例を示す。上のグラフが画像中央付近の μI_0 分布の水平断面グラフで、下が観測画像の μI_0 等高線グラフである（この二つのグラフで、データの妥当性の判断をする）。また、ディスクのエッジ位置を自動計算してエッジからのそれぞれの高さを出力する。計算出力した高さ 53 秒角、79 秒角、106 秒角、300 秒角のそれぞれの散乱光強度のデータを時系列的に並べたグラフが図 6 以降である。観測データは、限られた日数の中で、晴天に恵まれないと観測できないなので制約があるために、系統的なインターバルでのサンプリング観測ができない事と、観測した日数が少ない為に統計処理等ができないが、今後されるであろう調査観測によるデータの蓄積を期待して、得られた観測データの解析結果を本論文に掲載する事にする。各観測点でのデータを比較できるように、縦横のスケールを統一した。しかし、観測した期間が別々であるために単純な比較ができないのは言うまでもないが、通常の太陽の観測においては、標高が低く $100\mu I_0$ 以下で時間的に平坦な場合（例えば、図 17 の波照間の 000721 のデータの様な場合）は、シーイングパラメータとしての透明度の評価としては、優良な区分に入るものと思われる。また、観測結果として注目すべきは、本プロジェクトの仮説を裏付ける様な椎葉村の観測例から、標高 1,000 m 以下であっても、コロナを観測できる可能性

可搬型コロナグラフによる太陽周辺のミー散乱光強度の観測

父島 観測 990225

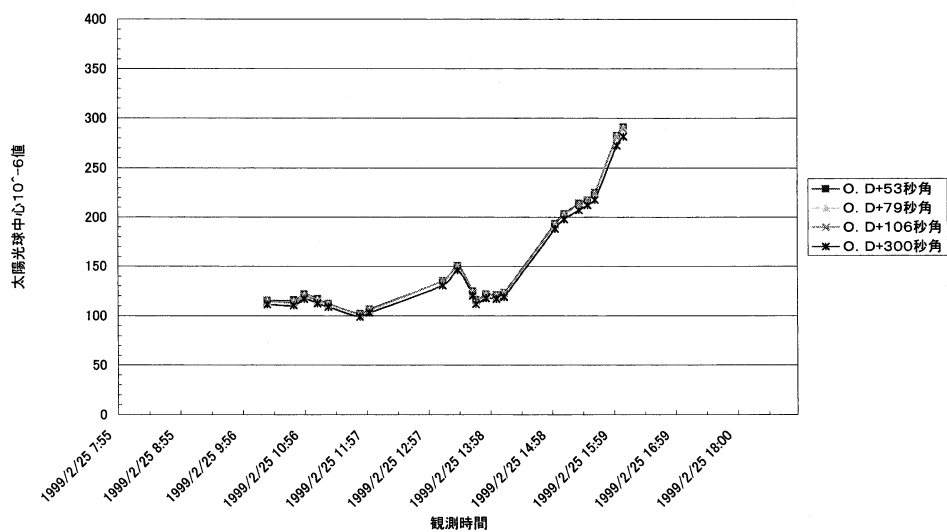


図 6

父島 観測 990226

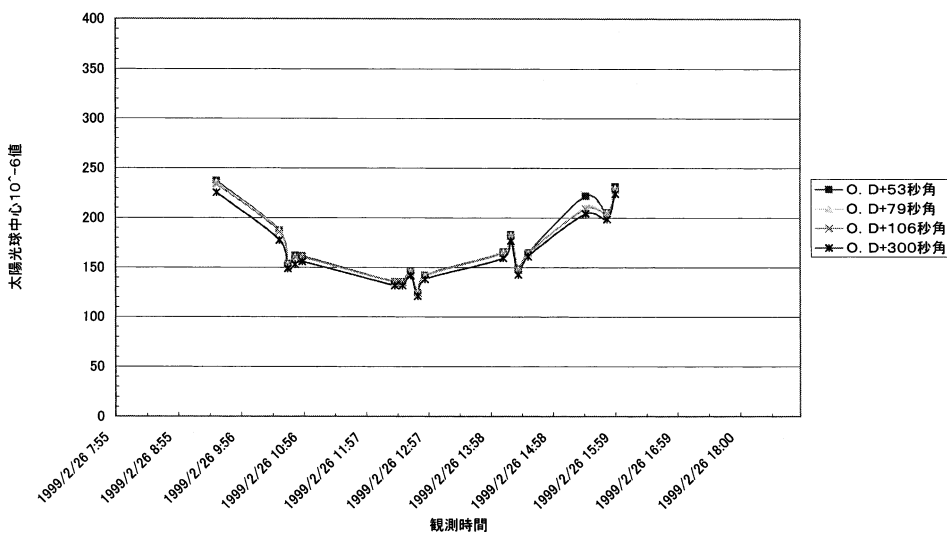


図 7

父島 観測 990227

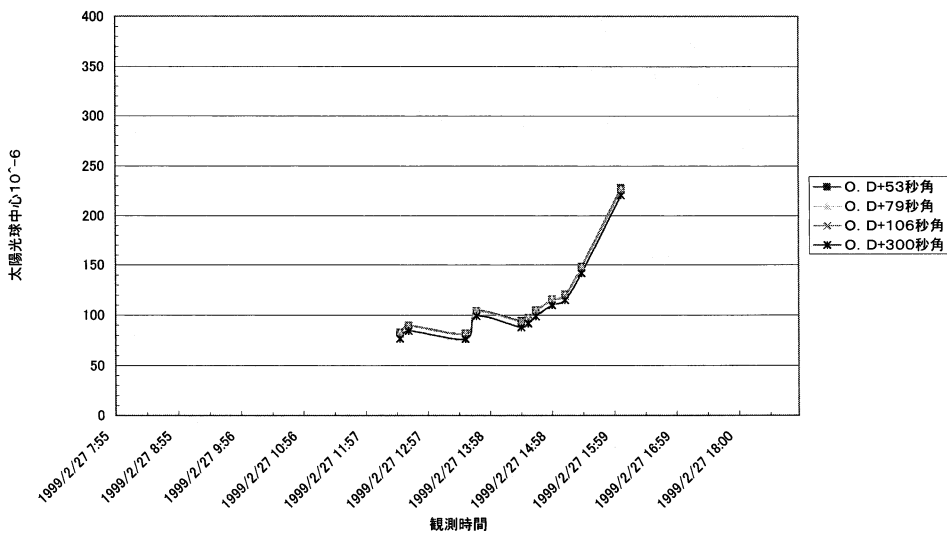


図 8

田中伸幸・他

父島 観測 990228

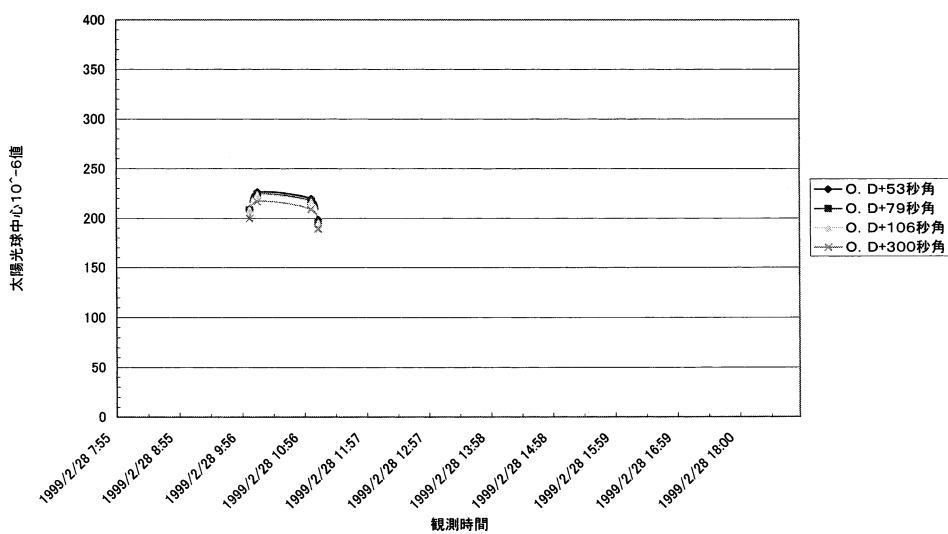


図 9

父島 観測 990301

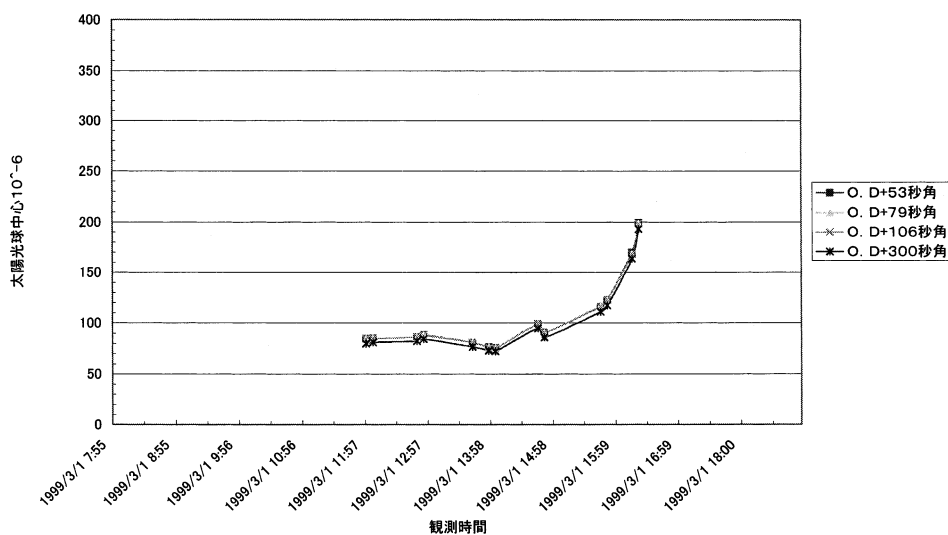


図 10

父島 観測 990302

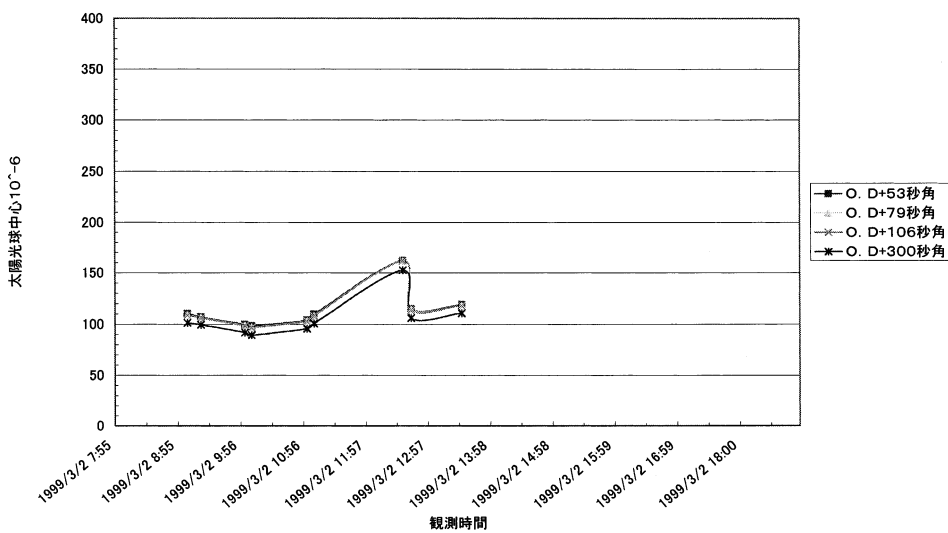


図 11

可搬型コロナグラフによる太陽周辺のミー散乱光強度の観測

椎葉村 観測 990316

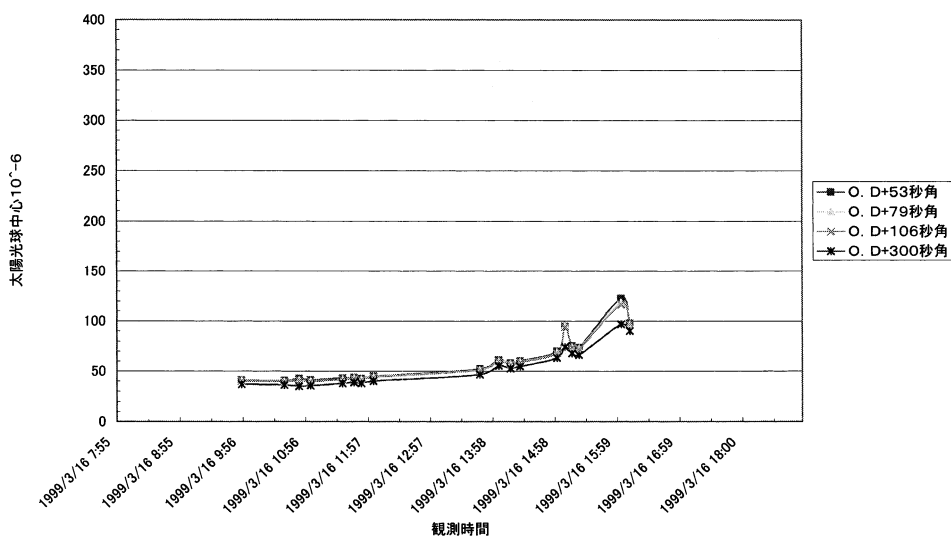


図 12

北大東島 観測 000314

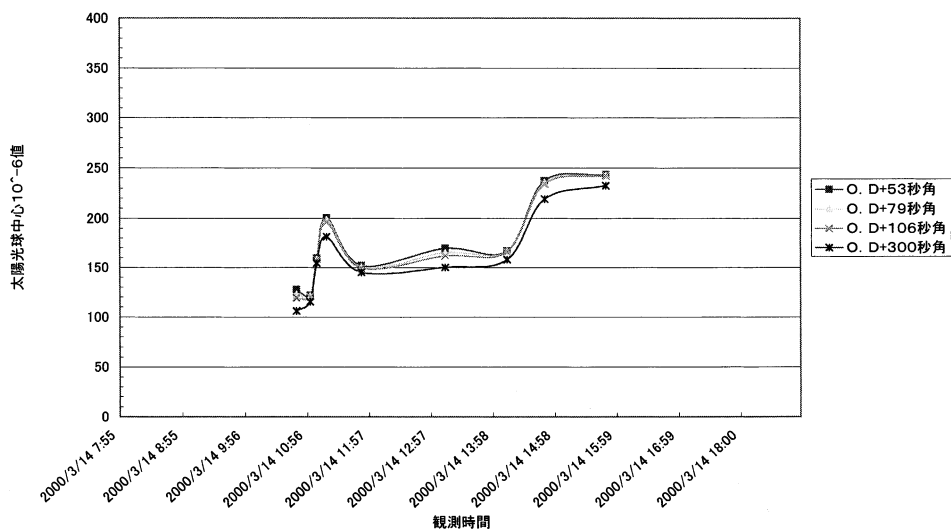


図 13

北大東島 観測 000315

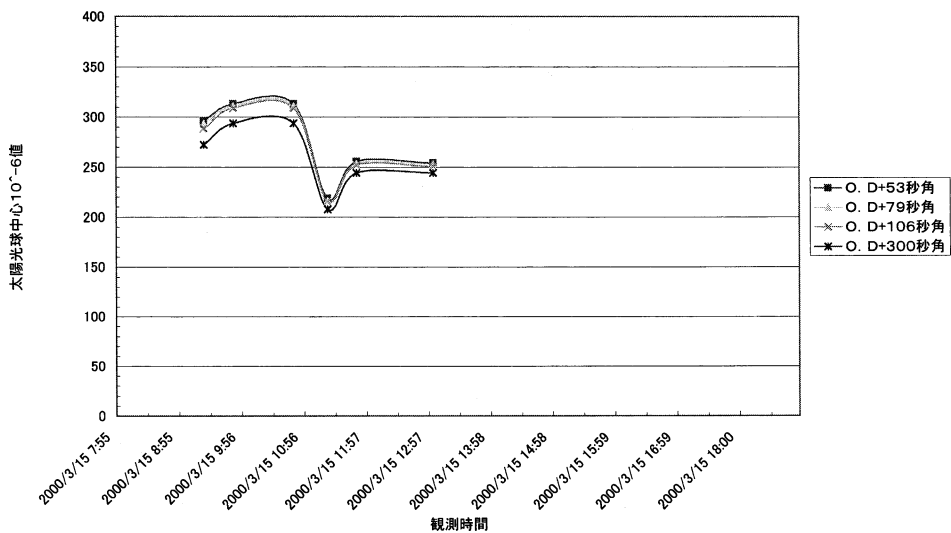


図 14

田中伸幸・他

波照間島 観測 000719

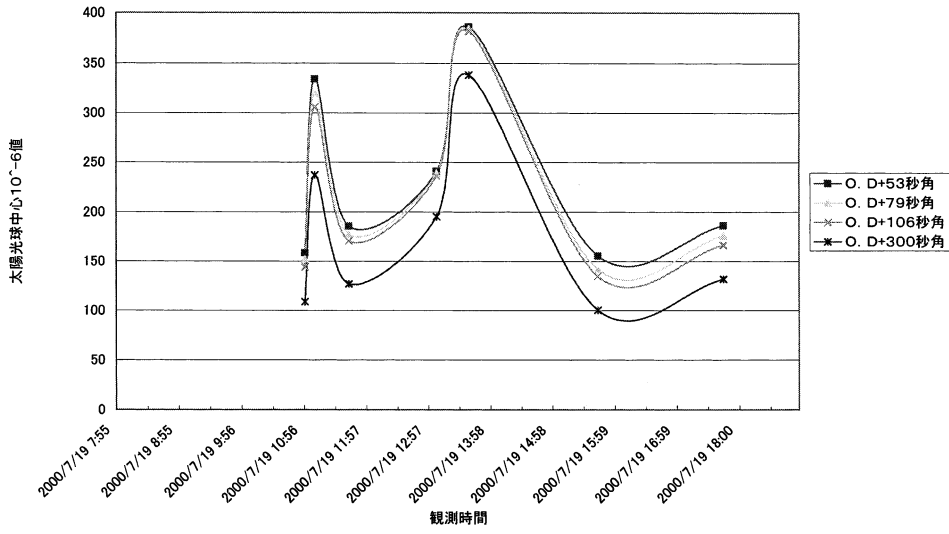


図 15

波照間島 観測 000720

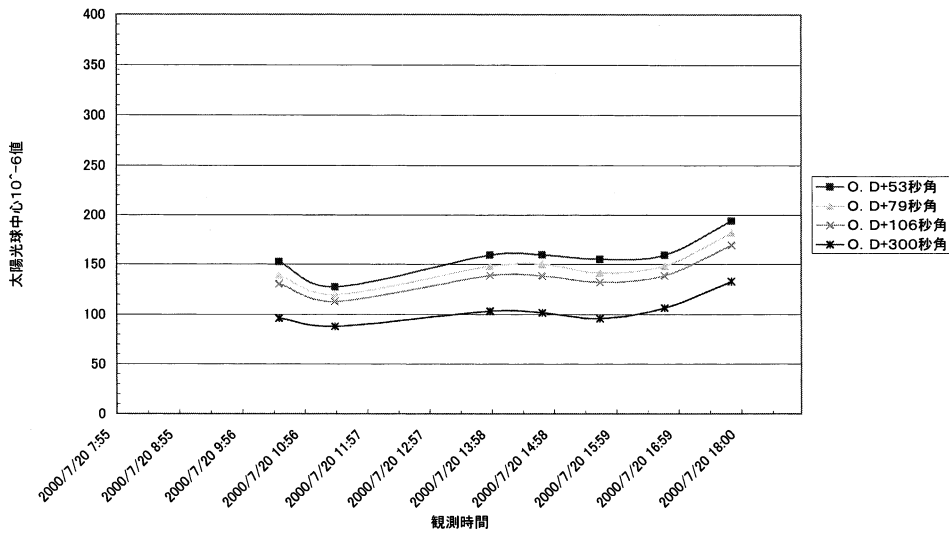


図 16

波照間島 観測 000721

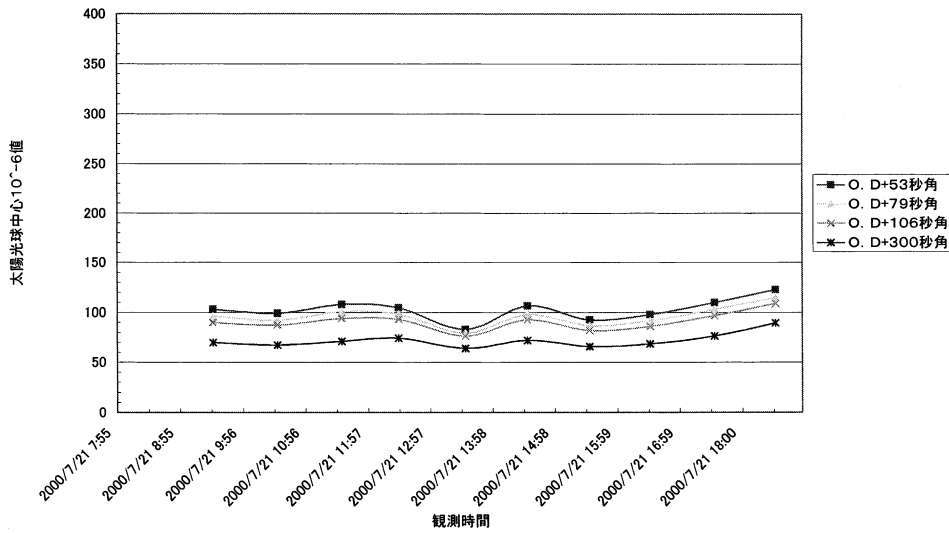


図 17

可搬型コロナグラフによる太陽周辺のミー散乱光強度の観測

乗鞍 観測 000921

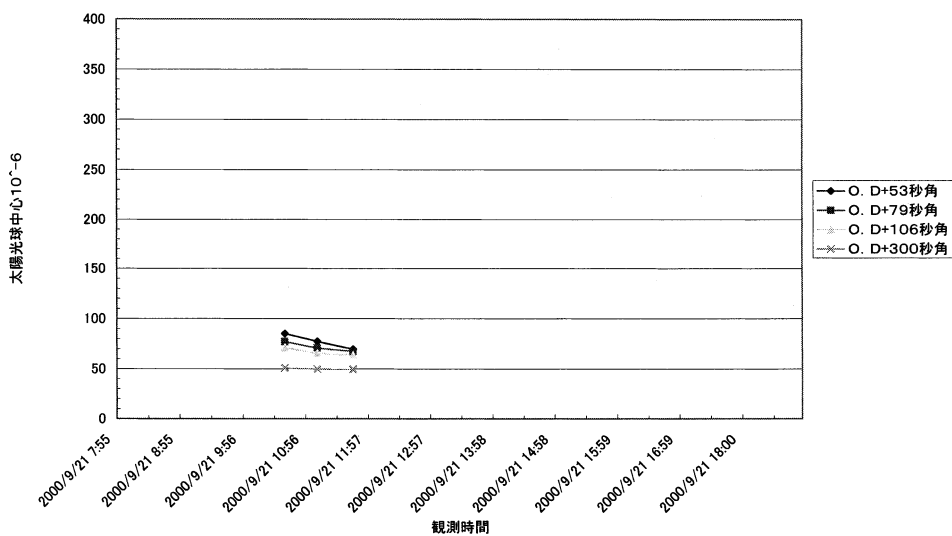


図 18

三鷹(テスト) 観測 020124

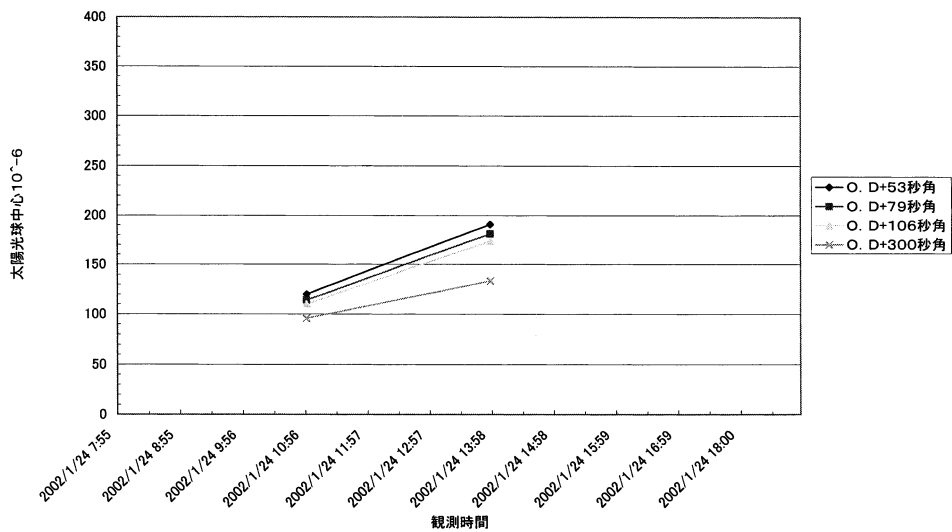


図 19

佐久島 観測 020201

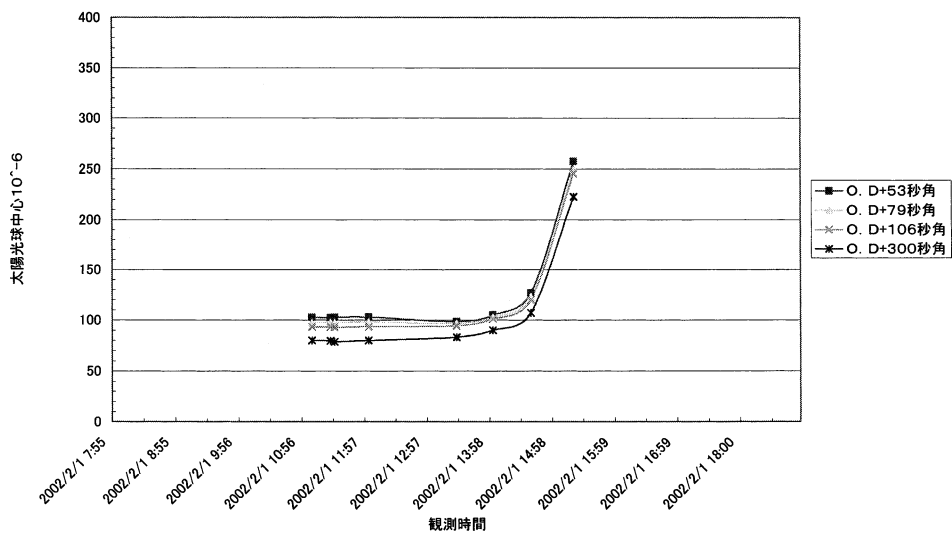


図 20

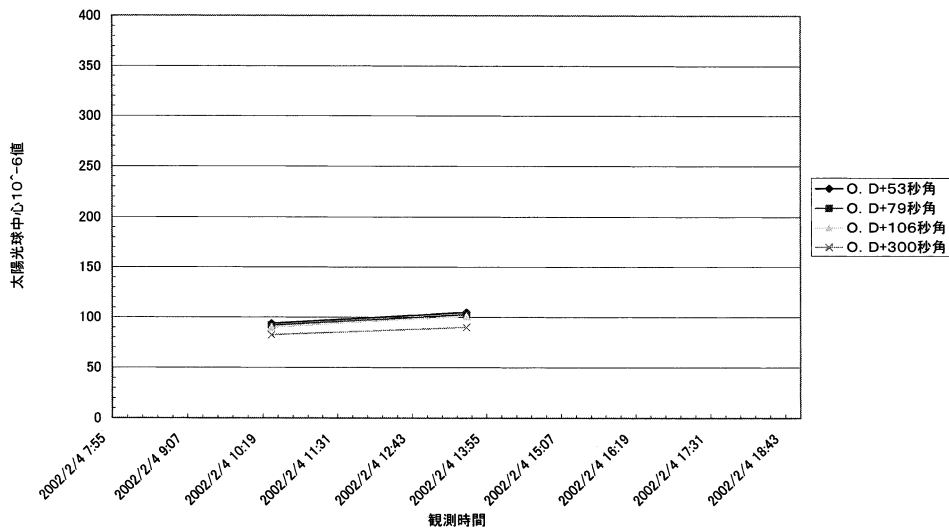


図 21

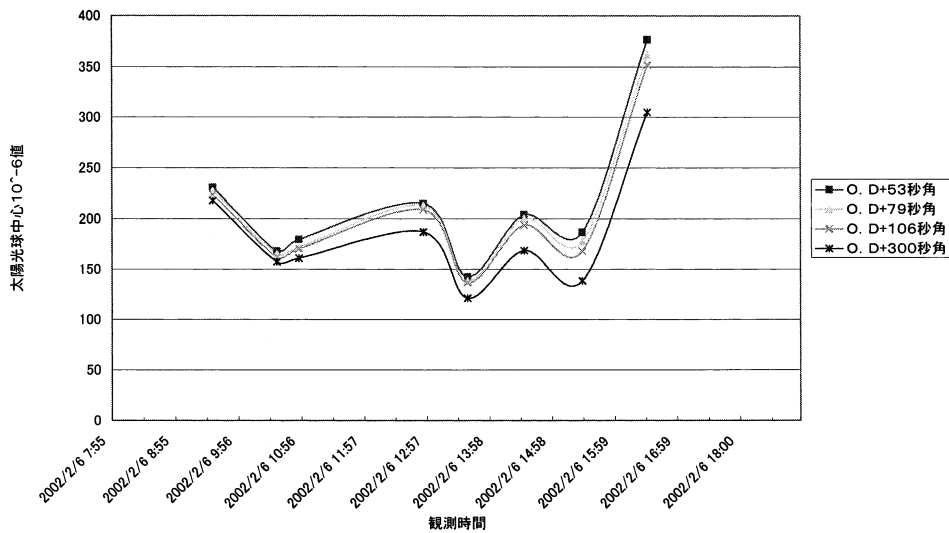


図 22

があることがわかる。冬期の観測条件を考えると、降雪がなく快晴が続く標高 1,000 m 程度の場所に絞って継続的な調査観測をおこなう事も必要であると思われる。

なお、図 6 から図 11 が (1) 小笠原諸島父島 (宇宙開発事業団衛星追跡基地, 標高約 240 m) であり、図 6, 図 11 が快晴, その他は晴れ時々曇りの時の観測データで、午後は総じて白っぽい空だった。図 12 が (2) 宮崎県椎葉村民家 (標高約 800 m) であり、調査観測期間中雨が続き唯一快晴になった時のデータである。図 13 から図 14 が (3) 沖縄県北大東島 (村営宿泊施設, 標高約 30 m) で、観測期間中雲の通過が多く、晴れ間を狙って観測した。また、もやがかかったような白っぽい空が全観測期間に渡って見られた。図 15 から図 17 が (4) 沖縄県波照間島 (町営星空観測センター, 標高約 60 m) で、図 15 は晴れの時のデータで、(3) や (1) の時と同様に白っぽい空であった。その他のデータは、快晴の時のデータであり、澄んだ空になった。

図 20 から図 22 が (5) 愛知県一色町佐久島 (小中学校, 標高約 10 m) であり、観測期間中は、晴れ時々曇りで、全期間に渡って白っぽく、空の色が刻々と変化するのが目視でわかった。図 18 が (6) 乗鞍コロナ観測所内、図 19 が (7) 三鷹キャンパス内の解析結果である。

5. これからの計画

地上における太陽面観測に適するであろう $100 \mu I_0$ 以下で時間的に安定した場所 (例えば、梅雨明け後の波照間島) を選定したあとは、シンチレーションを定量的に計る観測システム (=シンチレーションモニタ) を開発する事によって、シーイングのもう一つのパラメータを確定し、最適な観測地かどうかを決定できると考える。我々の今後の調査観測に関しては、例えば波照間については継続的に透明度とシンチレーションの両パラメータに関して観測する必要があると考えている。また、国内での機動的観測について

十分そのノウハウ（調査機材を機動的に展開できる為の機材の設計から、機材発送、機材調達、機材の設営等）を蓄積してきたわけで、今後は特に国外の比較的標高の高いところ、例えば 2,000 m 以上の晴天率に恵まれる地域に関しても、調査をする必要があると思われる。

謝 辞

我々の調査観測においては、地方公共団体、宇宙開発事

業団等のご協力を得て、それぞれの施設内を借り電力等の提供を得ながら実施してきた。また、本プロジェクトを立ち上げるに当たっては、5 cm コロナグラフの一部の機械工作について天文機器開発実験センターの西野氏にお世話になった。また、プロジェクト遂行するにあたっては、同僚諸先輩の有益なアドバイスがあった。この場を借りて、関係者各位にこころより感謝を申し上げる。