

太陽観察用各種フィルタ類およびその代用品の透過率測定

天文教育普及研究会 世界天文年プロジェクト ワーキンググループ

太陽フィルタ測定チーム（*）

1. はじめに

2009年7月22日、日本で46年ぶりの皆既日食が見られる。日食が近づくとつれ、一般に市販されている日食観察グラスや、それらの代用品として使われる下敷き、モノクロフィルムなどの安全性の質問が多数寄せられた。そこで、天文教育普及研究会、世界天文年プロジェクト・ワーキンググループ内の有志で太陽フィルタ測定チームを立ち上げ、各種フィルタの透過率を測定し、その遮光性についての安全性を検証した。

ここで、安全な太陽観察のための遮光性については、B. R. Chou (1981)の数値；可視領域（380nm から 780nm）で0.003%以下、近赤外領域（780nm から 1400nm）で0.5%以下⁽¹⁾を安全の目安にした。これは、「長時間の観察でも目にダメージを与えない」ことを基準に算出した値である。ただし、この目安を超えるものに対して安全性がないとはいえないし、この目安以下であれば絶対安全だと保障するものではない。

なお、日食メガネの安全性は遮光性だけではないことに注意しよう。ここでいう「安全」とは、フィルタの安全性（遮光性、眼科専門医師による評価、耐久性）とフレームの安全性（形状、耐久性）の両方を意味している。

このレポートでは、日食グラスの各種フィルタの透過率を測定し、可視領域から近赤外領域での遮光性について報告する。特に、本測定の重要なポイントは赤外領域の透過率が安全性の目安（0.5%以下）を満たすかどうかである。実際の日食観察のとき、可視領域の透過率が高いフィルタでは眩しく、長時間観察を続けることはできないだろう。一方、赤外線は人間の目では見えないので、アクリル製の下敷き（黒や赤、緑などの濃い色）のように可視領域の透過率が低くても赤外領域の透過率が高いフィルタなどでは、眩しくないため、長時間日食観察を続けてしまう可能性がある。しかし、この赤外線はその熱で目に回復不能なダメージを与えてしまう事がある。それゆえ、フィルタの近赤外域での透過率には十分注意が必要である。特に今回測定した下敷きなどは、赤外線の遮光性がほとんどないため、太陽観察に使用すると大変危険である。

（*） 大西浩次（長野高専）、高橋 淳（水海道一高）、篠原秀雄（蕨高）、
松尾 厚（山口県立山口博物館）、齋藤 泉（栃木県子ども総合科学館）、
大川拓也、小野智子（国立天文台）

2. 測定法

各種フィルタの透過率の測定は、世界天文年プロジェクト・ワーキンググループの太陽フィルタ測定チームが、国立天文台先端技術センター・オプトショップの分光光度計 SolidSpec-3700（島津製作所）を使用して行った。測定に使用した分光光度計は、可視領域で PMT（光電子増倍管）、近赤外領域で InGaAs 検出器を使用した高感度低ノイズの計測器である。しかし、太陽観察用フィルタは、可視領域の透過率が 10 万分の 1 程度と低いため、この分光光度計を使用しても、直接測定では精度限界に近く、測定ノイズが大きい。そのため、(1) 透過率が高いフィルタに対しては直接測定、(2) 透過率が低いフィルタに対しては ND400 フィルタを比較参照試料として測定することで、紫外領域から可視領域、近赤外領域までの全領域の透過率を約 6 桁にわたるダイナミックレンジで得ることができた。

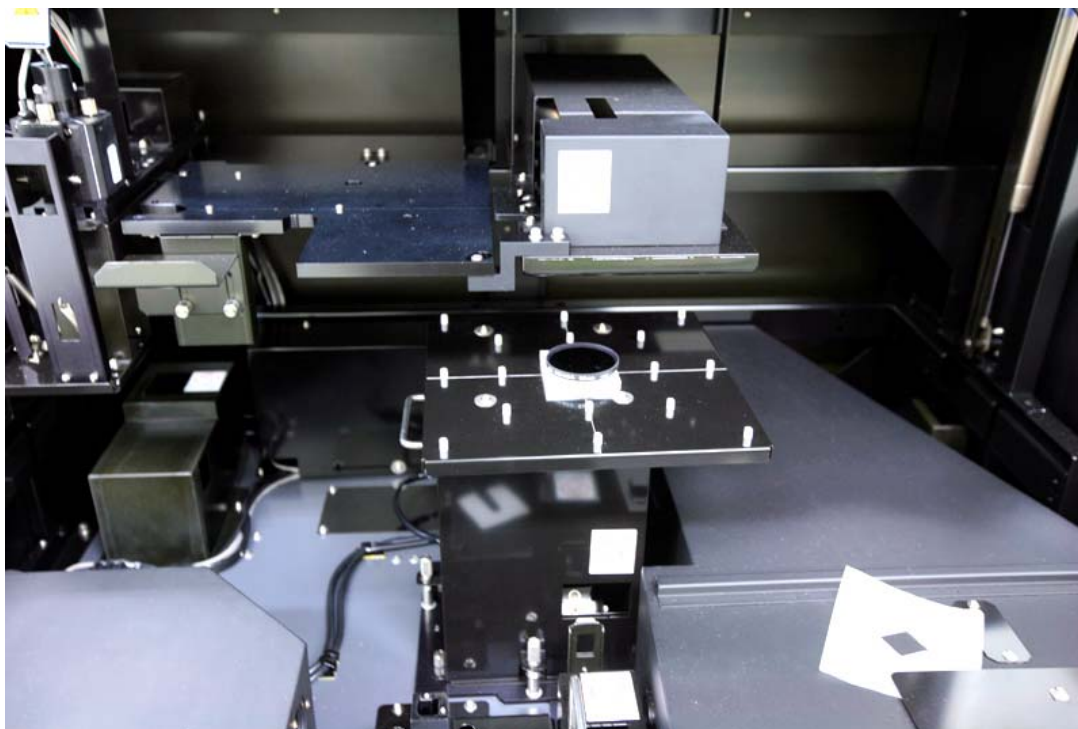


図1 SolidSpec-3700 試料室、
ND400 を比較参照試料として測定（ND400 の測定の様子）

3. 測定結果

3.1 ビクセン日食グラス

ビクセン日食グラス 透過率(%) (Solidspec3700, NAOJ)

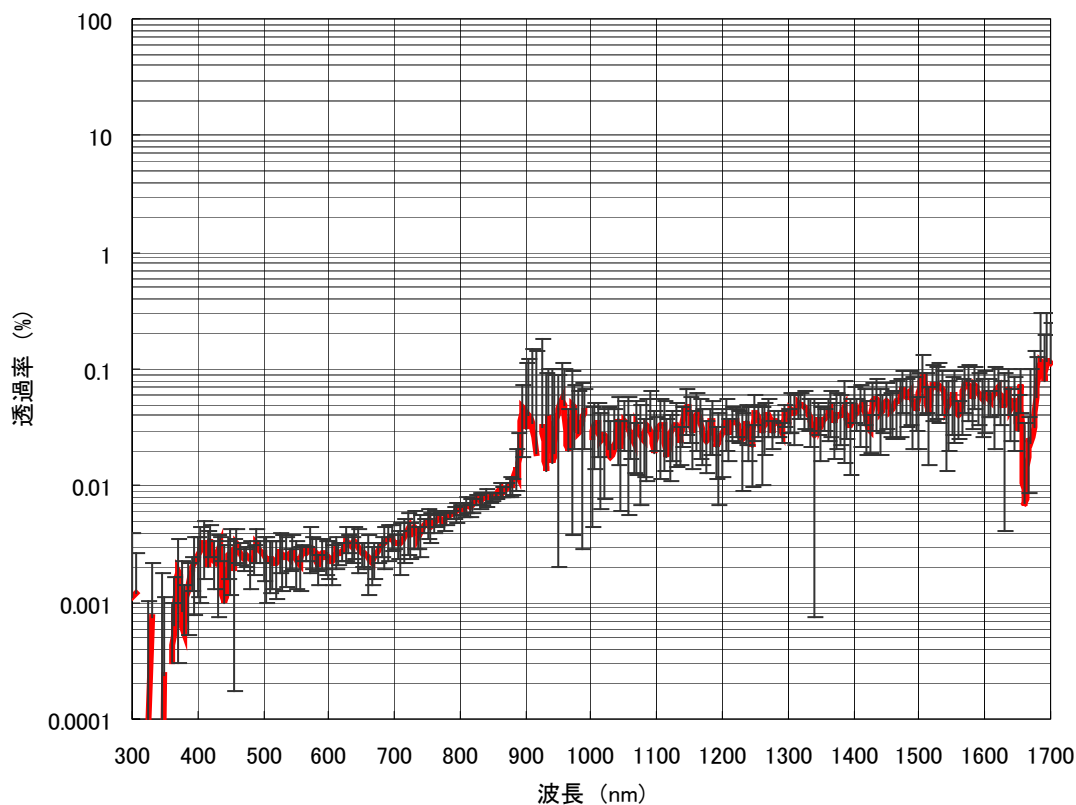


図2 ビクセン日食グラスの透過率

ビクセン日食グラスの透過率は図2のようになる。ビクセン日食グラスのような透過率の低い試料の測定では、S/Nを上げるために、ND400フィルタを比較参照試料として測定を実施した。ND400フィルタを10回、ビクセン日食グラスを7回測定し、これらのデータより、ビクセン日食グラスの透過率の平均値と分散を求めた。図2のエラーバーは分散の標準偏差(1シグマ)を表示している。分散の標準偏差を誤差とすれば、400nm付近や検出器の切り替え(950nm)付近の相対誤差(標準偏差÷測定平均値)が、50%から100%と大きくなるが、それ以外は比較的小さい。

このグラフから、ビクセン日食グラスの遮光性は、紫外領域、可視領域、赤外領域のいずれも安全性を満たしていることがわかる。なお、以下の各種日食用フィルタの透過率の測定精度は、ほぼ、このグラフの標準偏差くらいと考えてよい。

3.2 ND8、ND400 フィルタ

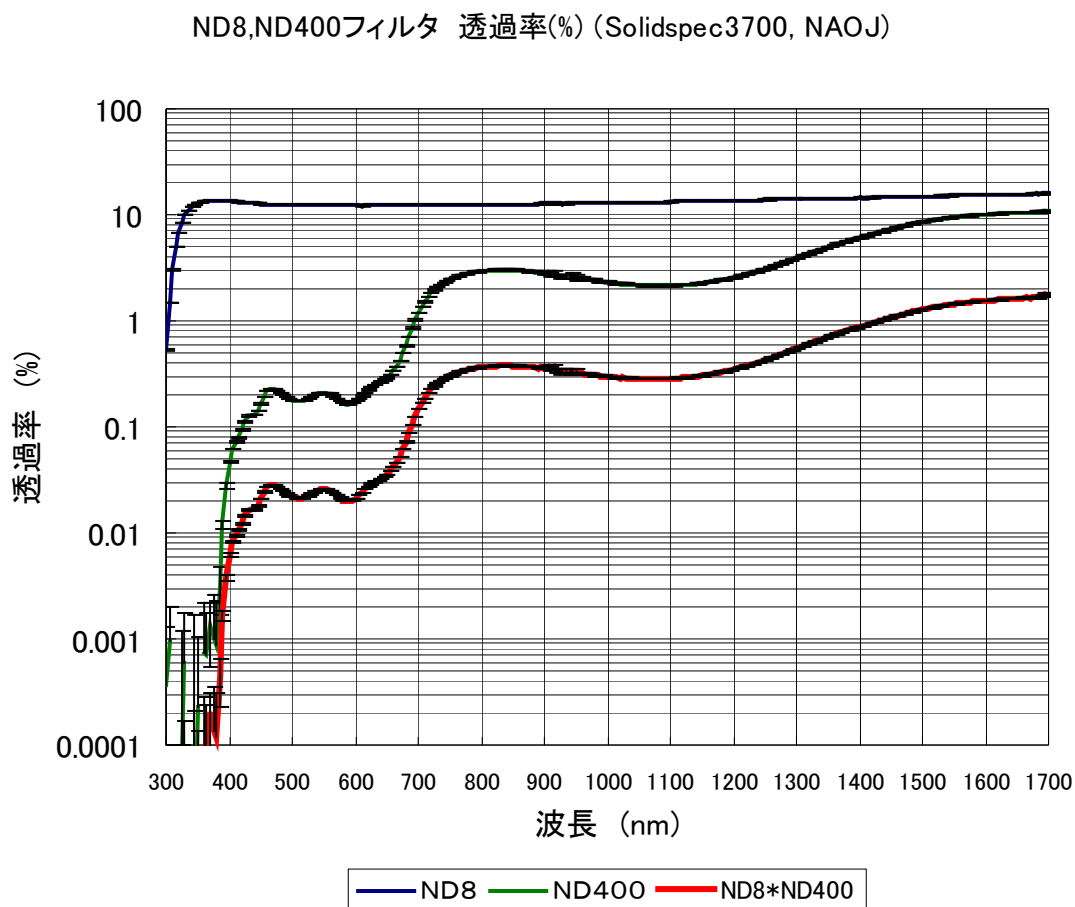


図3 ND8,ND400 フィルタの透過率

ガラス製のND8フィルタ、ND400フィルタの透過率をそれぞれ5回、10回測定した。図3は、それらの平均値とその分散(標準偏差)をND8フィルタは青線、ND400フィルタは緑線で示した。エラーバーは、それぞれの分散の標準偏差(1シグマ)である。400nm付近や検出器切り替え(950nm)付近の相対誤差は5%程度、それ以外では1%以下である。ND400フィルタは、近赤外領域の透過率がやや高く、可視領域の長波長側(700nm付近)の透過率が高いことに注意が必要である。

図3の赤線はND8フィルタとND400フィルタを重ねた場合の透過率のグラフである。遮光性として、可視領域、赤外領域のいずれも安全とは言えない。なお、ND8を2枚とND400を併用すると、可視の長波長側(600nm-700nm)では、安全性の目安を超えているが、それ以外は目安内である。しかし、フィルタのメーカーにより、性能の違いや、個体差があるので、この結果だけで、NDフィルタの安全性を判断することはできない。

3.3 下敷きの例(大変危険)

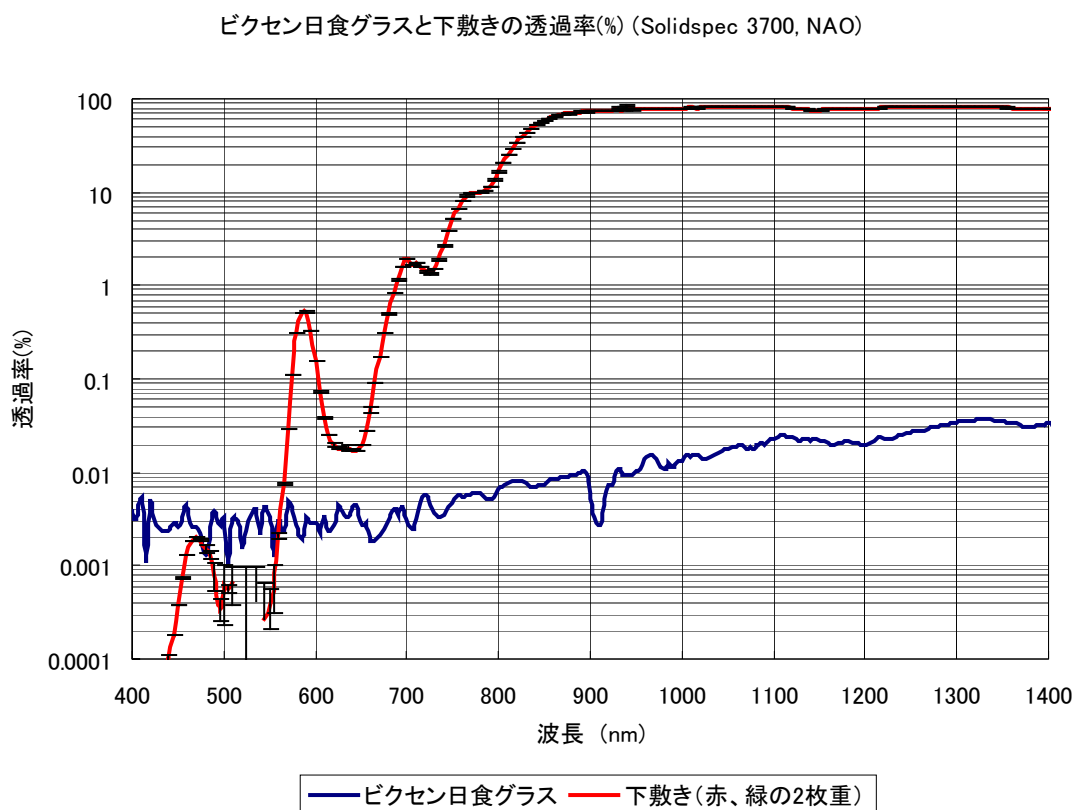


図4 下敷き (赤、緑の2枚重ね) の透過率

太陽フィルタ測定チームで黒い下敷きを探したが、以前見られた可視光で太陽光が減光されるような下敷きは見つからなかった。そのため、この代替りとして、赤色と緑色の下敷きを2枚重ねてみた。すると、可視光においては十分な減光が得られ太陽を見ることが可能であった。図4の赤線は、赤、緑の下敷き2枚重ねの透過率を示している。比較のため、ビクセンの日食グラス(青線)のグラフも載せてある。

赤と緑の下敷きを2枚重ねるとまぶしくなく太陽が見えるが、赤外線がほぼ透過しているので非常に危険である。日食網膜症など、目に障害を受ける危険性が高いので、下敷きでの太陽観測は絶対に避けるべきである。

3.4 ビクセン日食グラス (アルミ蒸着のあり、なし)

ビクセン日食グラス(アルミ蒸着あり、なし)透過率(%)

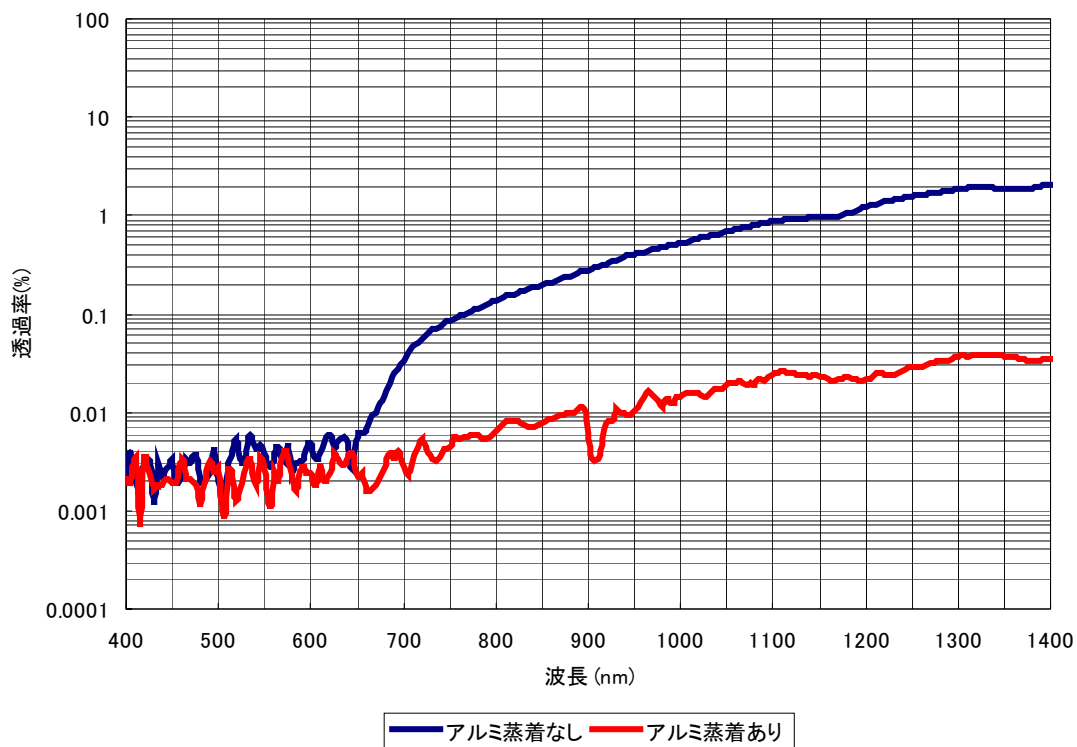


図5 ビクセン日食グラス(アルミ蒸着のあり、なし)による透過率

ビクセン日食グラスのフィルタ前部にはアルミが蒸着してある。このアルミを特別にはがした試料を測定してみた。近赤外領域での透過率が高くなり、安全性が保障できなくなる。このように、日食グラスは傷をつけると遮光性が落ち危険である。観察の前に傷の有無を確認することが大切である。実際のビクセン日食グラスでは、簡単にアルミをはがすことはできない。

3.5 モノクロフィルム

現像されたモノクロフィルムは、以前は日食グラスの代用としてよく使われてきた。このモノクロフィルムは現像プロセス（現像液、現像時間、温度）によって、濃度が変化する。今回の測定試料は、現像液としてD-76を使用し、各フィルムの標準現像時間で現像している。それゆえ、これはあくまで参考資料として見てほしい。

図 6a はコダック、図 6 b は、富士フィルムの合計 6 種類の透過率を測定してみた。結果は、近赤外領域は安全な領域だが、T-MAX400 を除いて標準的現像では可視領域の透過率が高すぎると考えられる。

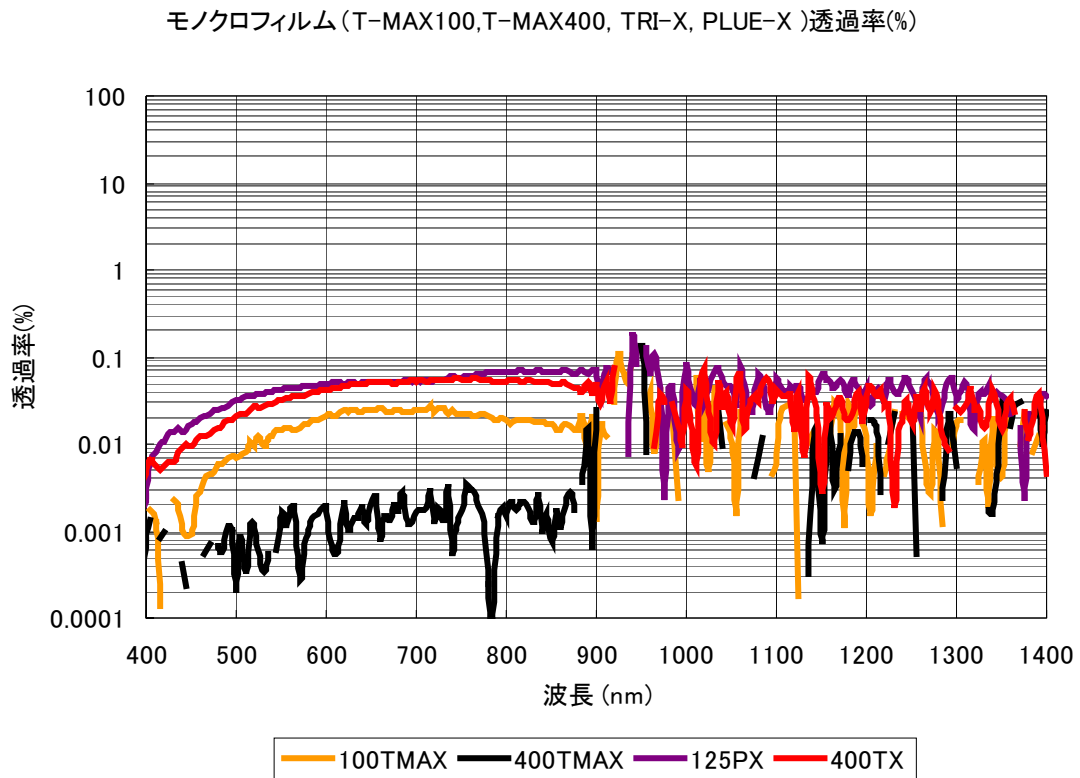


図 6a モノクロフィルム 1 コダック T-MAX100(100TMAX), T-MAX400(400TMAX), TRI-X(400TX)、PLUS-X(125PX)

モノクロフィルム(ネオパン100、400)透過率(%)

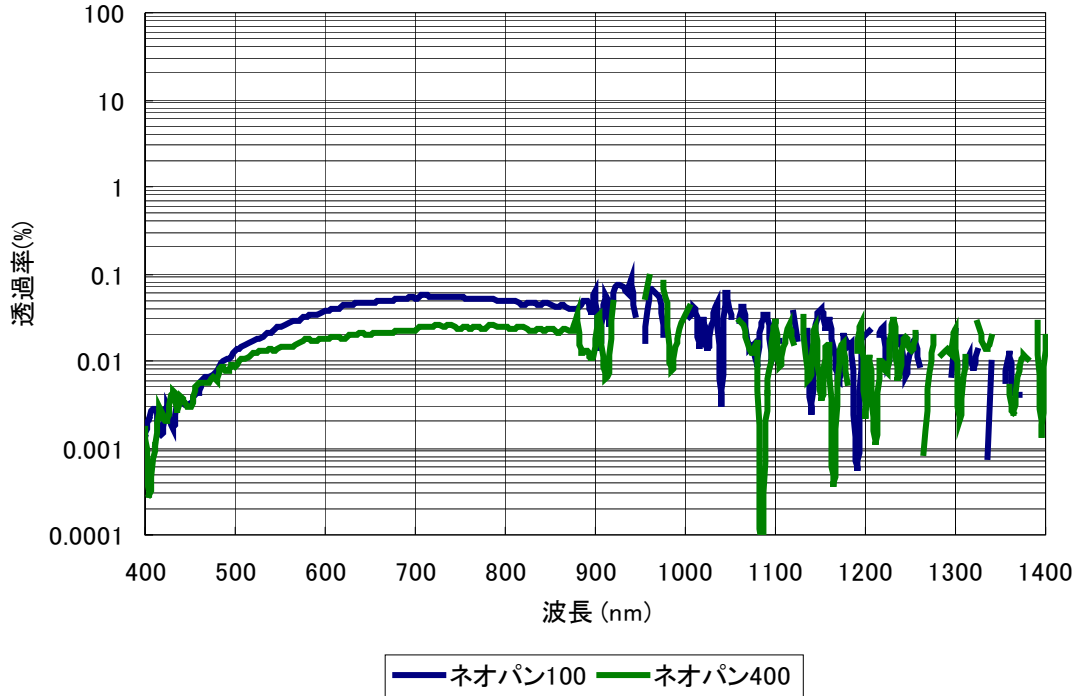


図 6 b モノクロフィルム 2 富士フィルムのネオパン 100ACROS, ネオパン 400PRESTO

3.6 バーダー・プラネタリウム(Baader Planetarium)太陽フィルタ

バーダー・プラネタリウム社の太陽フィルタは各社の日食グラスのフィルタとして採用されている。このフィルタには、眼視用と撮影用がある。図 7 の緑線はバーダー太陽フィルタ (眼視用)、赤線はバーダー太陽フィルタ (撮影用)、青線はビクセン日食グラスの透過率のグラフである。眼視用はビクセン日食グラスと同様に紫外領域、可視領域、赤外領域のいずれも安全である。一方、撮影用は、可視領域で安全な目安より 1 桁から 2 桁ほど高い値であり、眼視用 (日食メガネ) に使用すると大変危険である。なお、このフィルタは薄い金属薄膜フィルムなので、ピンホール (小さな穴) や破裂に注意が必要である。

日食フィルタ透過率(%) (Baader(眼視用)、Baader(撮影用)) (Solidspec-3700, NAOJ)

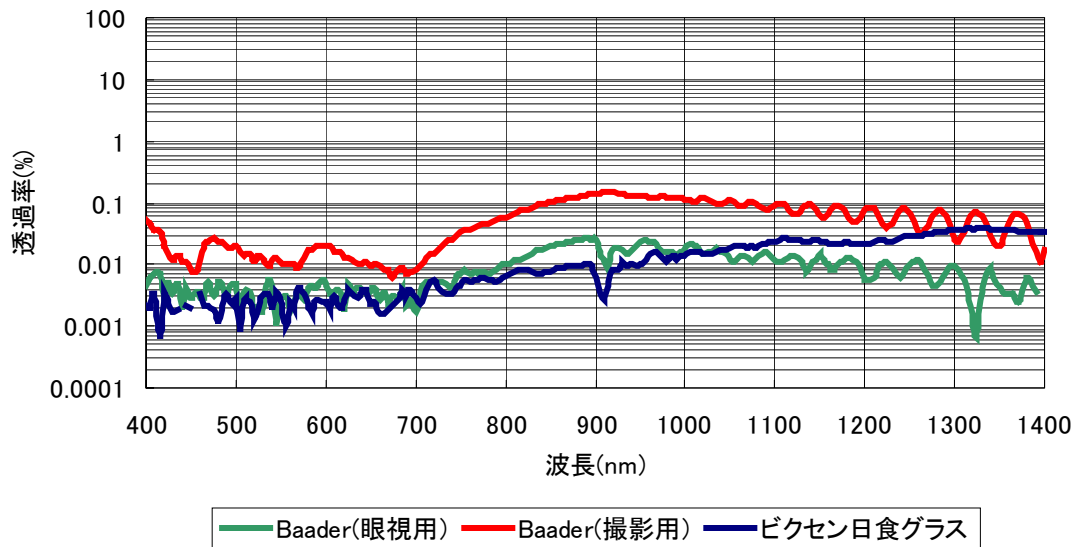


図7 バーダー太陽フィルタ (眼視用、撮影用) とビクセン日食グラス

3.7 各種日食フィルタ

各種市販日食フィルタの透過率測定の結果を図 8a, b, c, d (AからI) のグラフにまとめた。

日食メガネとして、金属薄膜フィルムタイプのうち、バーダー太陽フィルタと同様の性能を持つフィルタを使っているものをフィルタ1、別の性能を持つものをフィルタ2とした。同様に、溶接メガネ用ガラス、あるいはその同等規格品によるものをフィルタ3、遮光性プラスチックをフィルタ4とした。今回測定したこれらいずれのフィルタも、遮光性は、ほぼ安全なレベルであることがわかる。

日食フィルタ	記号	販売会社	製造メーカー	商品名
ビクセン日食グラス			ビクセン(株)	ビクセン日食グラス
バーダー太陽フィルタ(眼視用)			Baader Plantarium社	アストロソーラー(眼視用 ND-5)
バーダー太陽フィルタ(撮影用)			Baader Plantarium社	アストロソーラー(撮影用 ND-3.8)
金属薄膜フィルタ1	A	アイソテック(株)		太陽日食観察メガネ
	B	スターゲイズ(有)		直視用日食めがね
	C	国際光器(株)マゼラン	サウサンドオクス光学	日食観望用グラスSEV
金属薄膜フィルタ2	D	星の手帖社	SODAP-SOBOMEX社	太陽観察用めがね
	E			
溶接用遮光ガラス	F (学校教材)	アーテックほか		太陽グラス
	G			溶接用遮光プレート(遮光度番号13)
遮光性プラスチック	H (学校教材)	はくぶん		学研「日食観測ガイド」(付属めがね)
	I (学校教材)	アーテックほか		アーチ型太陽観察メガネ

表1 各種日食フィルター一覧

各種日食フィルタ1 透過率(%) (Solidspec-3700, NAOJ)

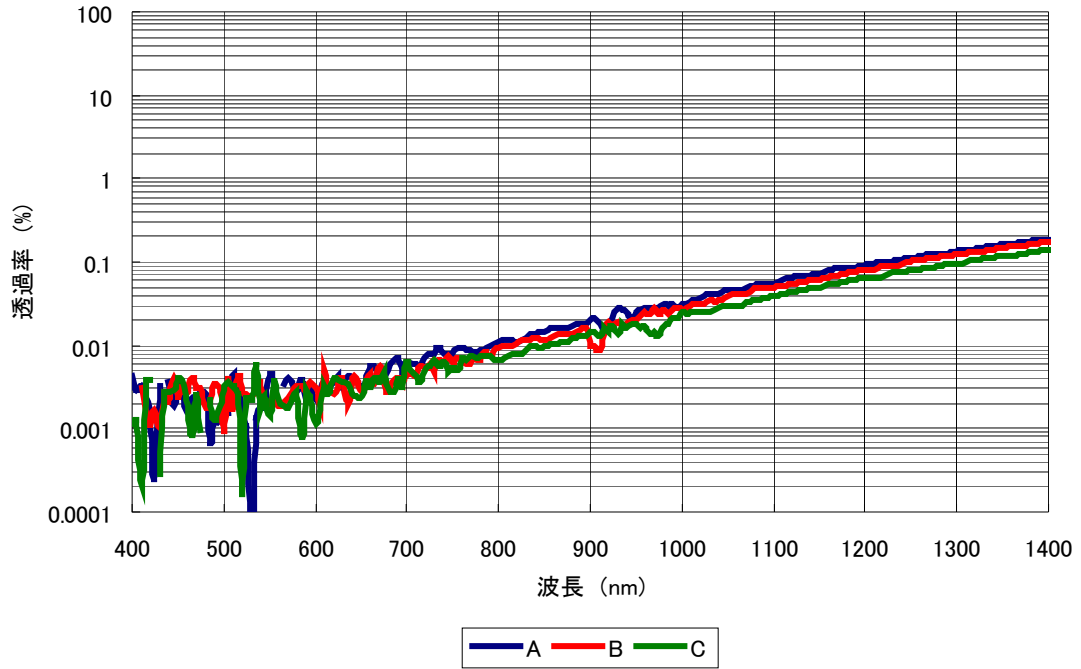


図 8a 各種日食フィルタ 1 (金属薄膜フィルムタイプ)

各種日食フィルタ2 透過率(%) (Solidspec-3700, NAOJ)

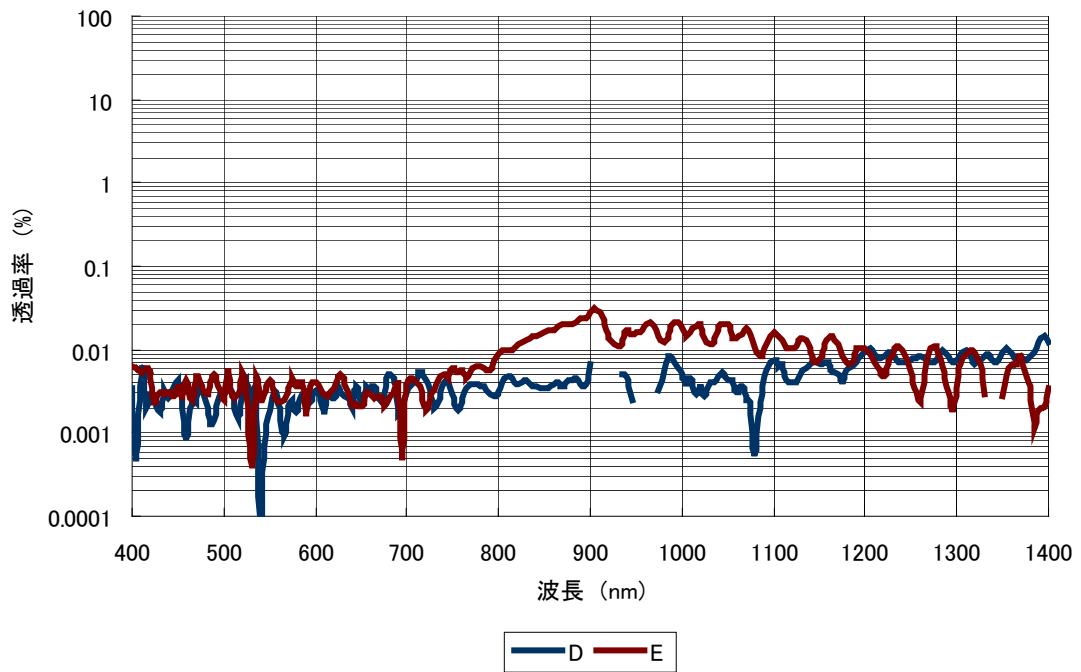


図 8b 各種日食フィルタ 2 (金属薄膜フィルムタイプ)

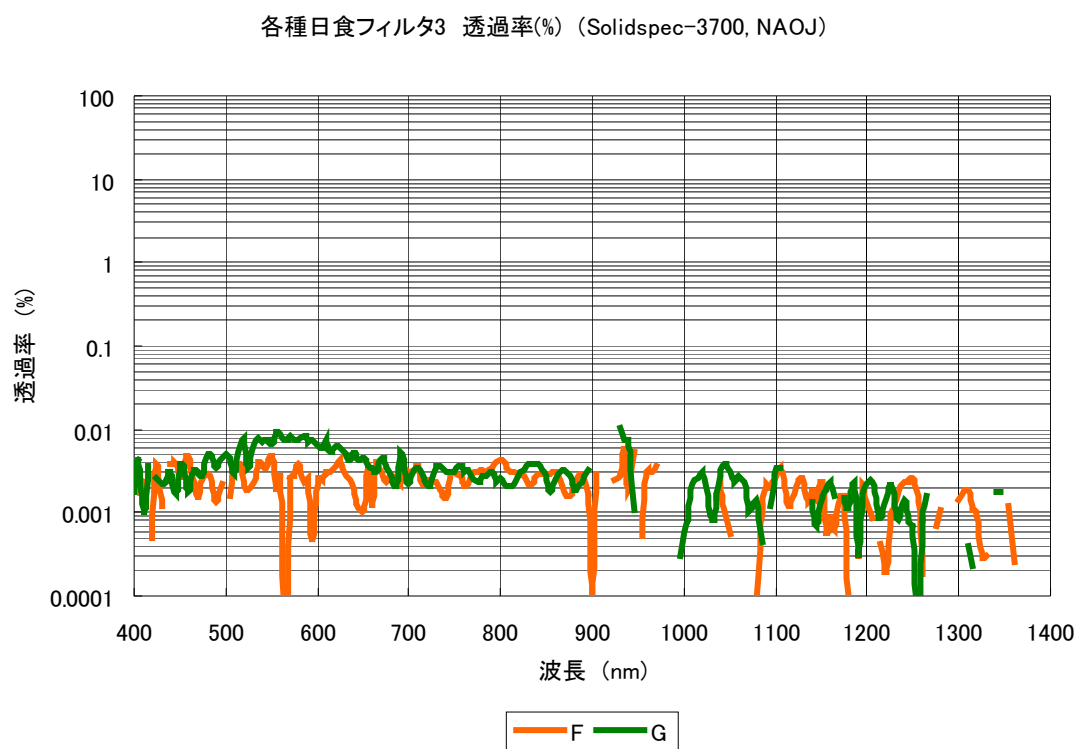


図 8c 各種日食フィルタ 3 (溶接メガネ用ガラスタイプ)

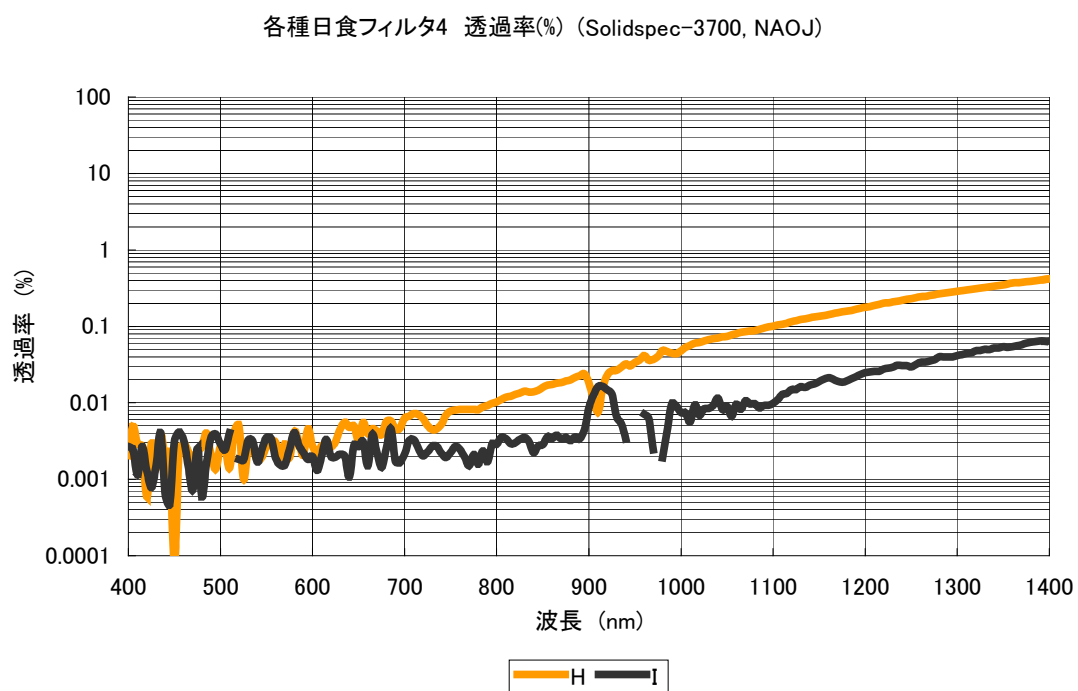


図 8d 各種日食フィルタ 4 (遮光プラスチックタイプ)

4. 終わりに、

IYA 日本委員会の推奨する「日食グラス」をはじめとする各種日食グラスの遮光性を確かめた。同時に、下敷きやNDフィルタやモノクロフィルムなどの代用品の透過率を測定した。これらの結果、今回測定した市販の日食グラスは、おおむね遮光の安全性が確認できた。一部、可視領域でやや透過率が高い製品も見受けられるので、長時間連続の観測は避けるべきである。また、かつて代用品として用いられていた下敷きなどは、可視領域は透過率が低くても、近赤外領域はほとんど透過するので非常に危険であることが確認できた。

今回の測定で協力いただいた国立天文台先端技術センターの三ツ井健司さんに感謝する。なお、本測定は、国立天文台先端技術センターの施設利用プロジェクト「太陽観測用フィルタの透過性能の測定」（P I 齋藤 泉）による。

参考

(1) 太陽観察の肉眼への影響を詳しく記述したものとして、以下の文献を参考とした。

1. Chou, B. Ralph, 1981, Safe Solar Filters. Sky&Tel, August, 119-121.
2. Chou, B. Ralph, 1998, Solar Filter Safety. Sky&Tel, February, 36-40.
3. [Chou, B. Ralph, Observing the Eclipse - Eye Safty And Solar Eclipses.](#)