

皆既日食機上観測の魅力と課題

2015年 6月 14日

塩田 和生

目次

- 1) 私が日食フライトに期待したこと
- 2) 参加した日食フライトの概要
- 3) 撮影結果の紹介
- 4) ゴースト・フレアの原因と対策の考察
- 5) まとめ(日食フライトの魅力と課題)

過去の皆既日食フライト

日本の日食ファンが参加した、過去の皆既日食フライト^(注)

- 1976 オーストラリア上空 (豪州の方が手配)
- 1988 小笠原近海上空 (小型チャーター機)
- 1990 フィンランド (コプテック、個人手配、米国SE社)
- 1992 ウルグアイ沖上空 (米国SE社、他)
- 2003 南極上空 (豪州CT社、NHK)
- 2009 西南諸島上空 (小型チャーター機、NHK、他)
- 2010 タヒチ近海上空 (PTS)

1968年以来、皆既日食は30回ぐらいあったうちの7回で、参加者が数名ということも多く、日食フライト経験者は少ない

注:これらの日食フライトの大半は、日食情報誌のバックナンバーに体験記などが載っています

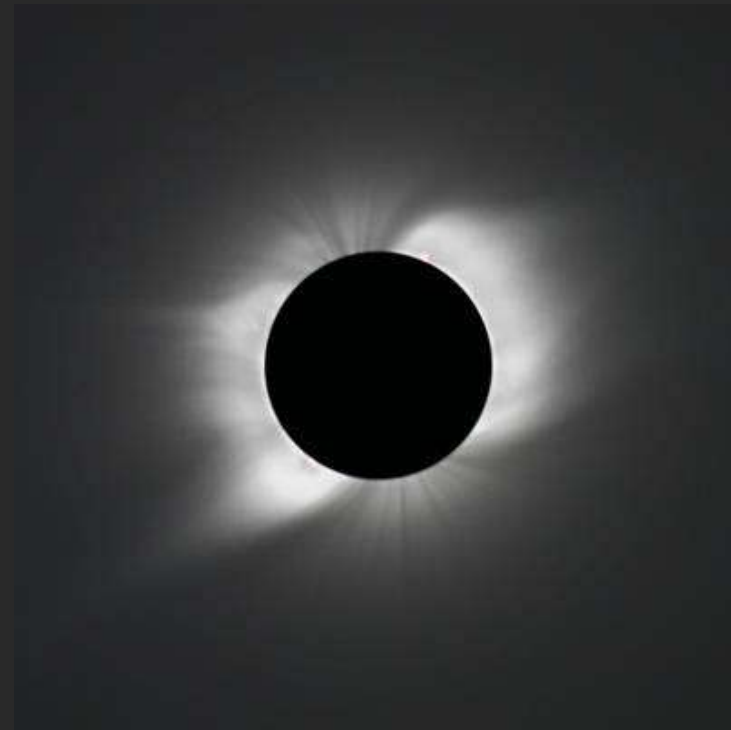
皆既日食フライトが少ない理由

- ◆ 雲の上に出られるのはいいが、窓が小さく視界が限られる
- ◆ 窓越しではいい写真が撮れないのではないか

しかし、G.Schneider氏のHPの写真を見て、一度は参加しようという気に



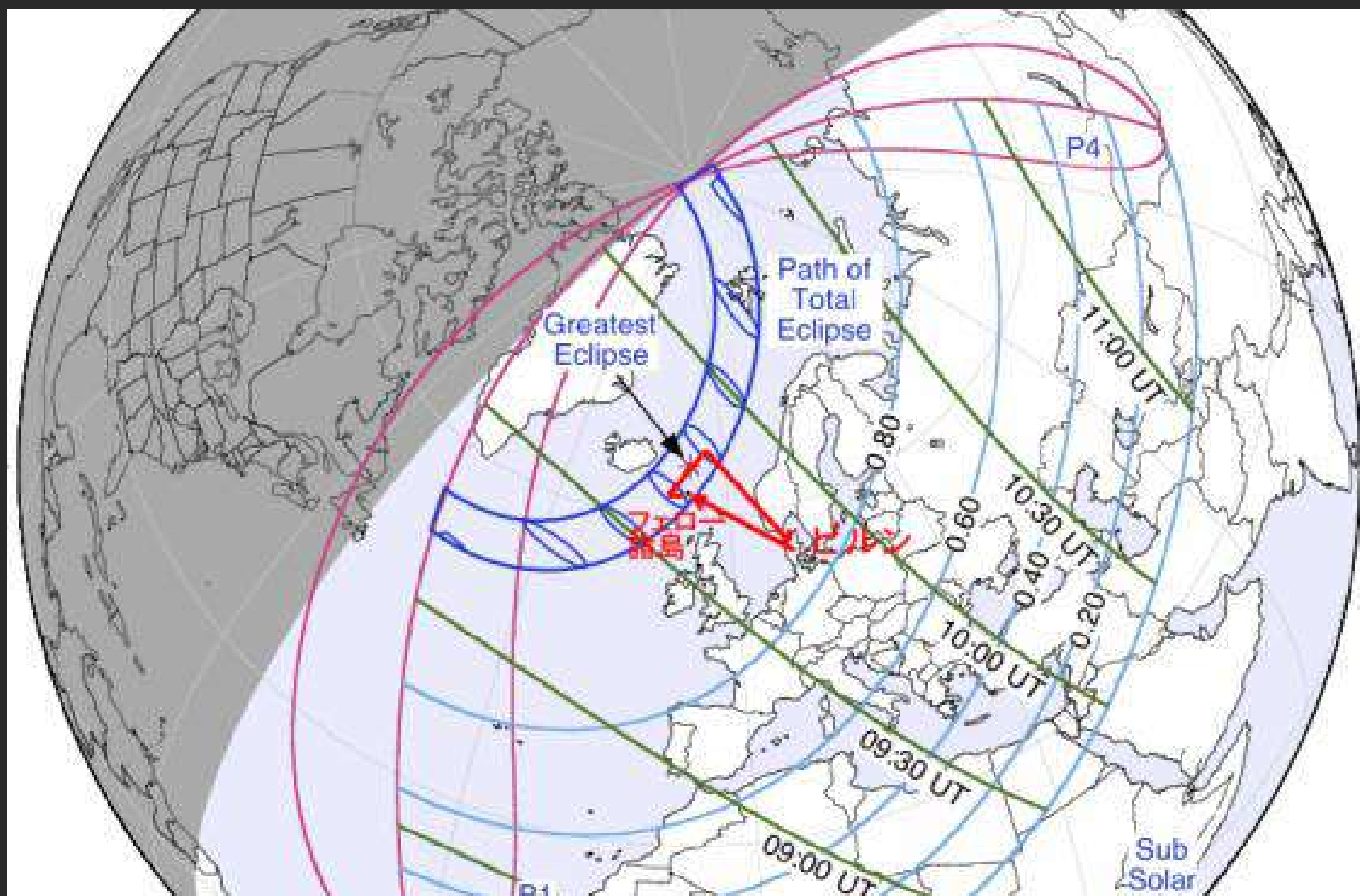
2008日食フライトで撮られた月の影
(D. McGlaun and G. Schneider)



2008日食フライトで撮られたコロナ
(Bill Kramer and G. Schneider)

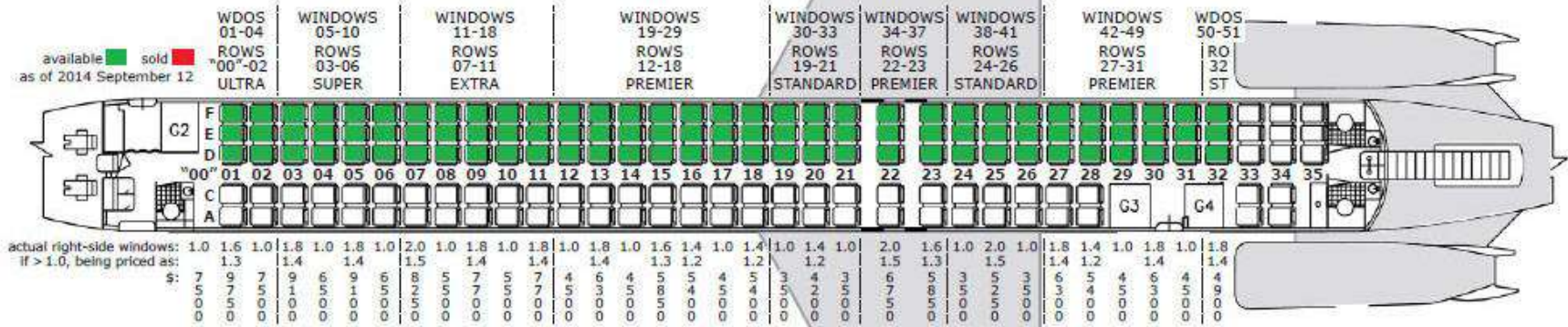
私が参加した日食フライト

米国のT.E.I.Tours主催のツアー(デンマークのビルンに集合・解散)
フェロー諸島に立ち寄り、晴れていたなら陸地での観測も選択可能



搭乗した飛行機

マクダネル・ダグラス MD-83



日食当日のスケジュール

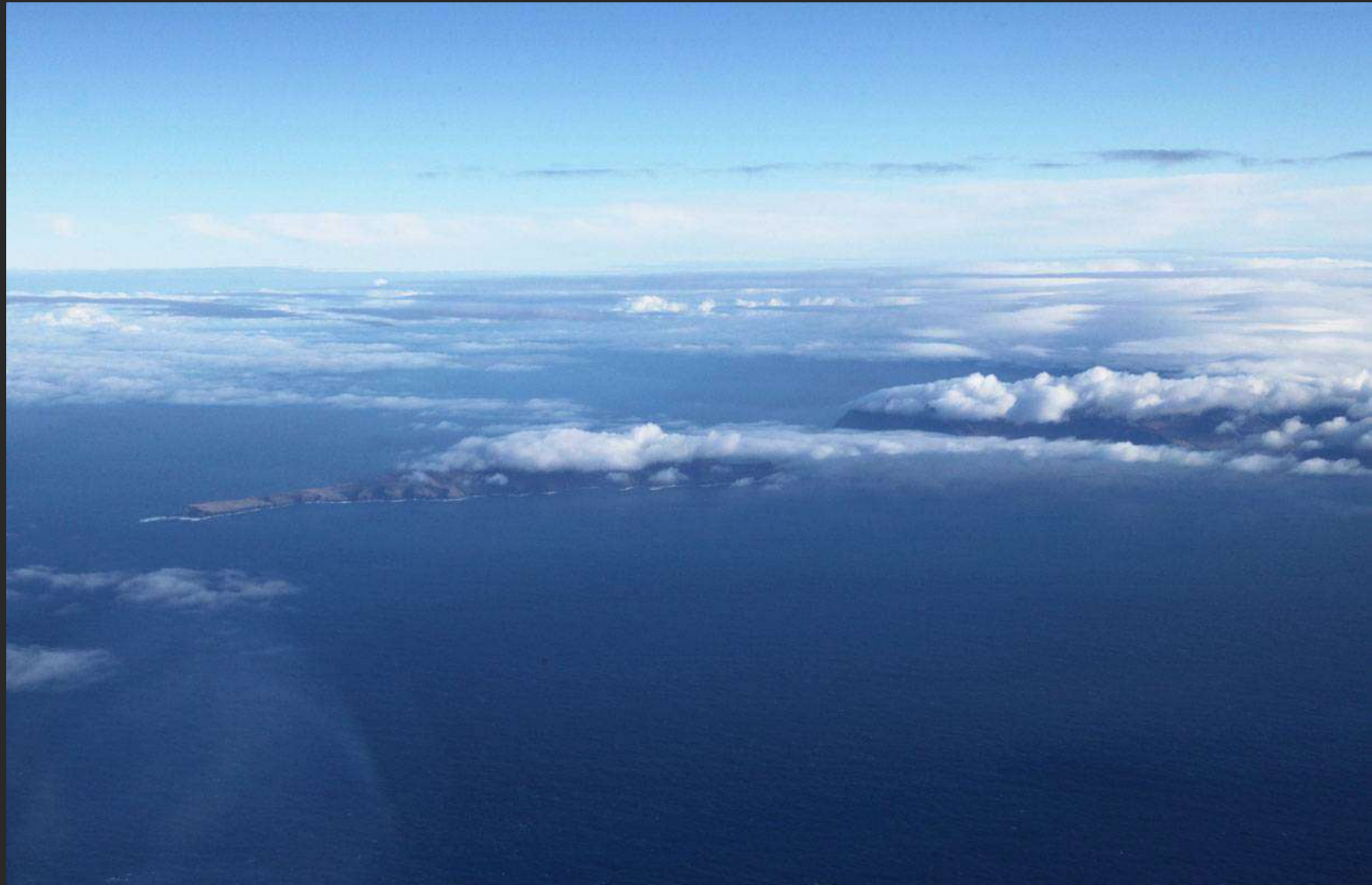
4:00(+1)	空港でチェックイン
5:00(+1)	ビルンを出発
6:05(UT)	フェロー諸島着
9:07(UT)	フェロー諸島から離陸
9:29(UT)	水平飛行に
9:42(UT)	第2接触
9:46(UT)	第3接触
12:30(+1)	ビルンに戻る

結局、全員が機上観測に



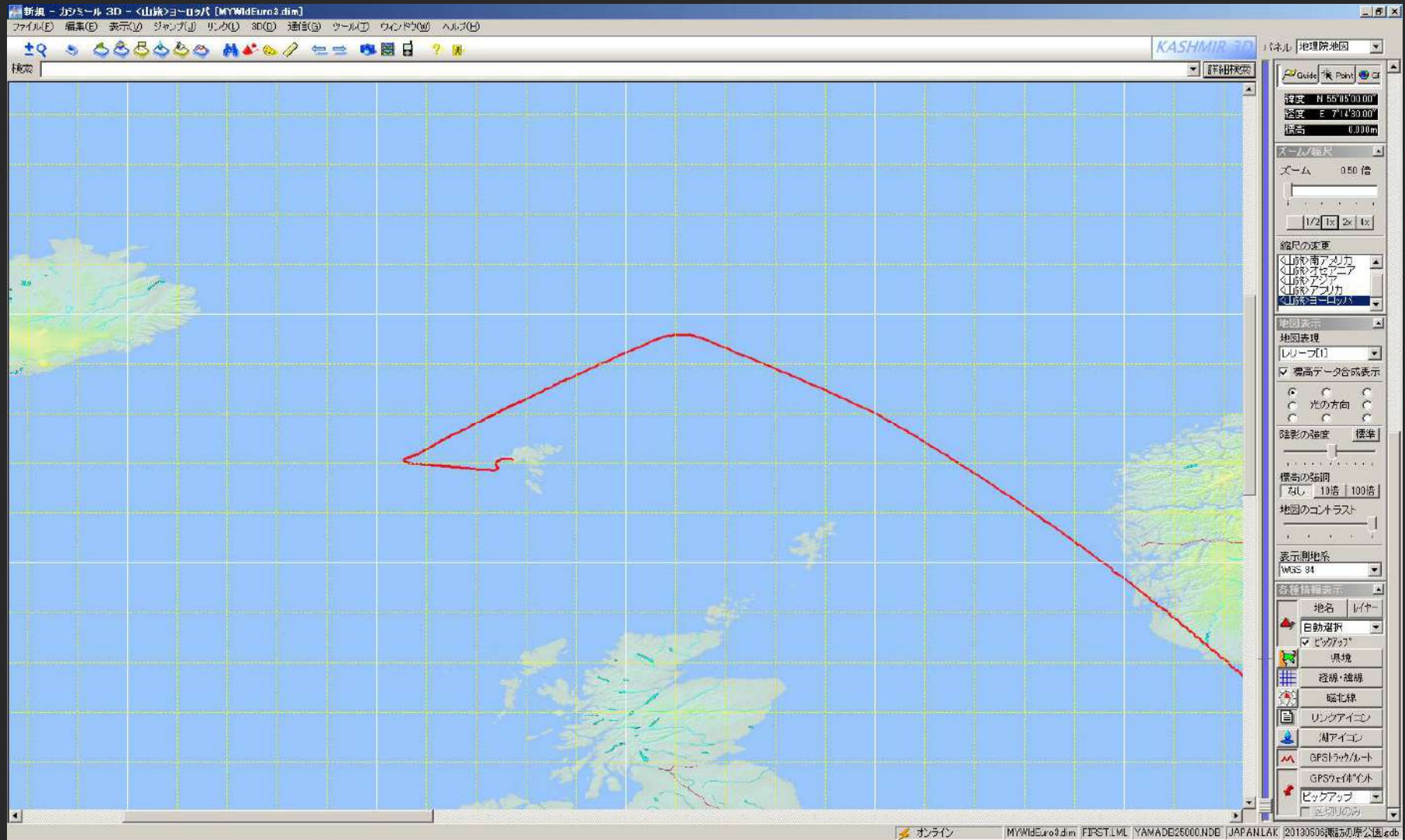
フェロー諸島から飛び立つ前の集合写真

フェロー諸島から飛び立つと



フェロー諸島は低い雲に覆われていた。しかし、僅かな晴れ間はあった。

飛行記録



GAMIN OREGON450 のトラックログ

機材のセットを終えたところ



私のカメラの固定方法



反対側の窓に吸盤で取り付けたGoPro

窓の汚れと結露について

今回乗った飛行機は、右側の窓は汚れが少なかった。

特に私の窓は、新品のような感じで結露も起こらなかった。

(セブンネットの日食フライトでは傷と結露に悩まされた話を聞いたが)

日食フライトの大ベテランG.Schneider氏によると、

新しい機体のフレッシュな窓ほど、傷が少なく滑らかなので結露も起こり難い。結露を防ぐには、エアコンの設定も重要。

MD-83は古い機種だが、窓ガラスは取り替えていたのかも知れない

皆既数分前の光景



眼下には雲海、ゴーストを見ると欠けた太陽の形が分かる

皆既直前の光景 (T2-2s)



ダイヤモンドリングと、雲海の右側から押し寄せる黒い影
(Photoshopでゴーストを消した画像)

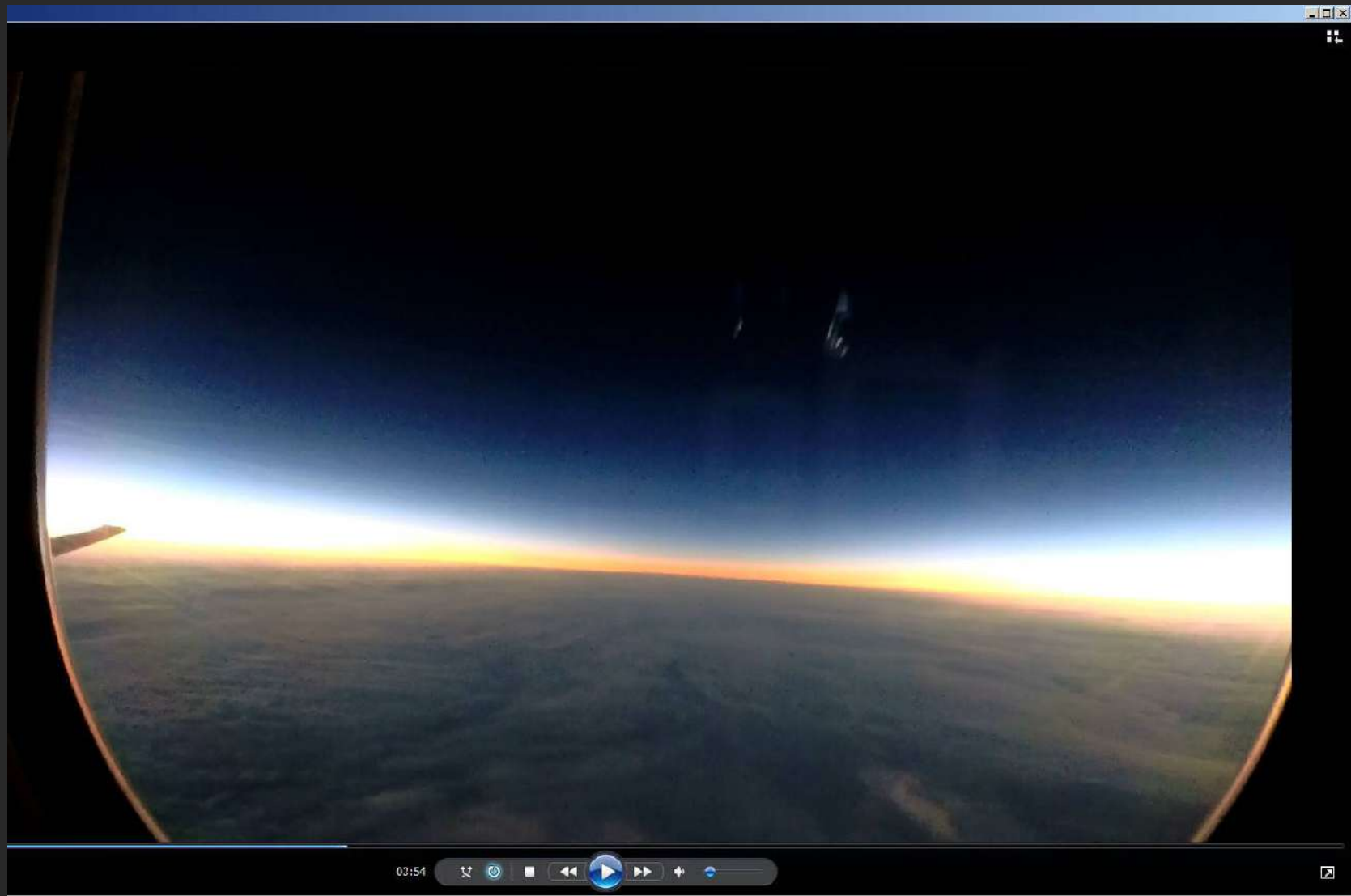
皆既中の光景 (T2 + 18s)



食甚頃の光景 (Tmax-14s)



反対側の窓からの光景



GoPro HERO3+ で撮影した動画の1コマ

本影錐の見え方の説明図



Solar Eclipse Maestro – Xavier M. Jubier (<http://xjubier.free.jp>)

皆既後半の光景 (T3-28s)



皆既終了後の光景 (T3+13s)



皆既継続時間は、直下の地上より1分弱長かった (2' 45" → 3' 40")

過去に撮られた月の影との比較



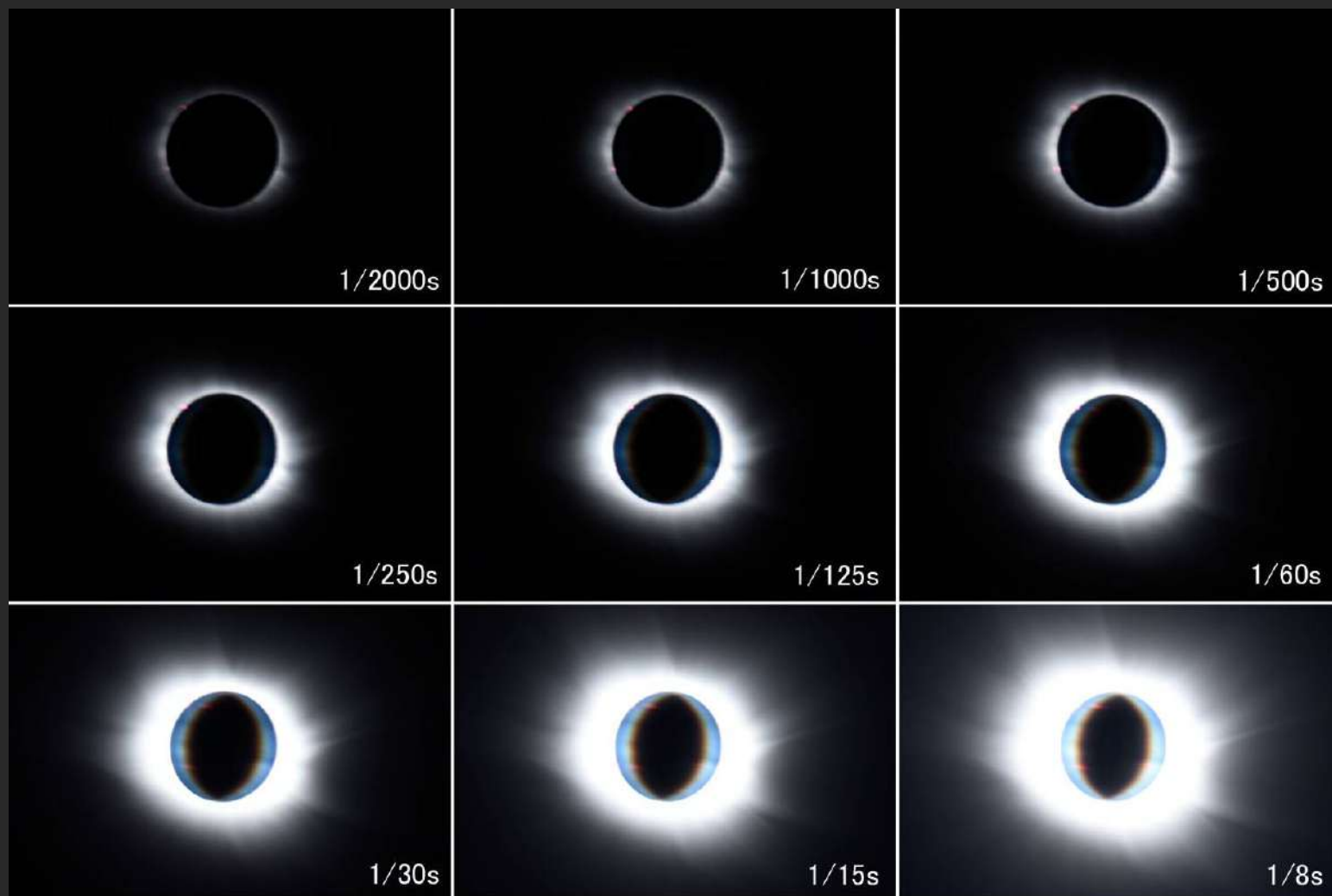
2008日食フライトで撮られた月の影
(D. McGlaun and G. Schneider)



今回私が撮った月の影

今回見えた月の影は、過去の例より鮮明だったようだ

コロナの拡大撮影結果



Total Solar Eclipse from MD-83(T.E.I.Tours) 2015.3.20 9:44(UT) NikonD810 400mmF5.6(80-400mmZoom) K.SHIOTA

ゴースト・フレアが強くて、露出が長いと猫の目のように写った

コロナの画像処理結果



流線の広がり再現できたが、像が甘い(ゴースト・フレアの影響)

何故、G.Schneiderさんの画像のように撮れなかったのか？

ゴースト・フレアの原因と対策の考察

広角レンズで写した時のゴースト

窓ガラスには、傷も結露もなかったが、ゴーストは出てしまった

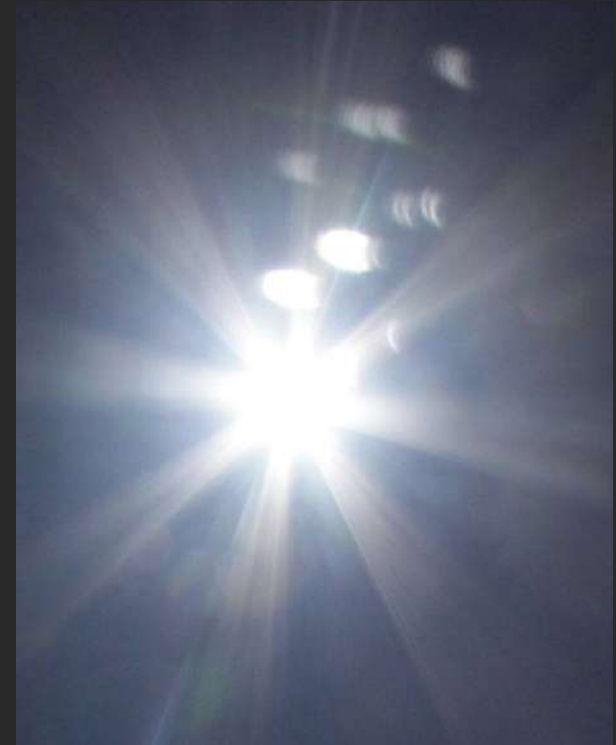
皆既中



ダイヤモンドリング時



部分食中



3群のゴースト像が見える
1つはコロナの近くで輪郭はっきりしている
2つは少し離れて多重像に見える

3群のゴースト像の外側に、
更に薄いゴースト像が見える

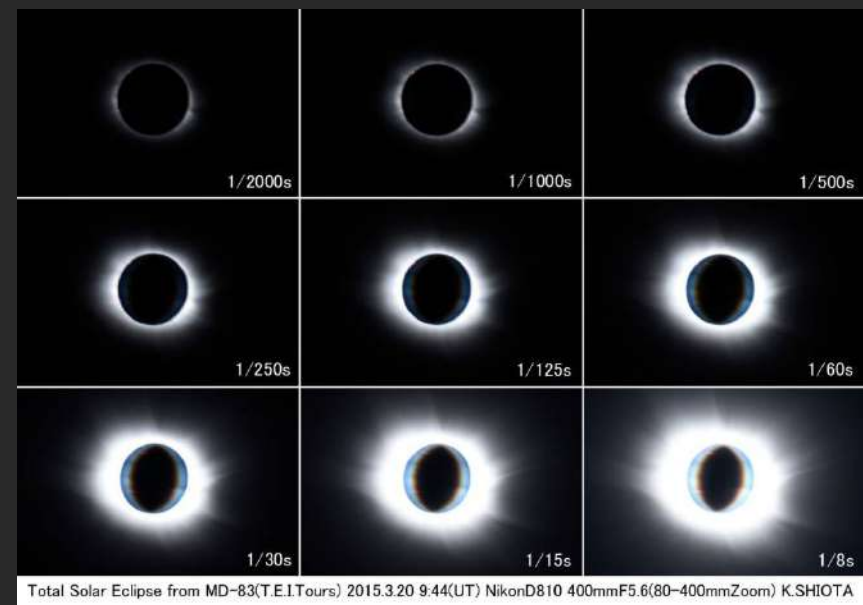
ゴースト像の明るさ

ゴーストの部分の拡大



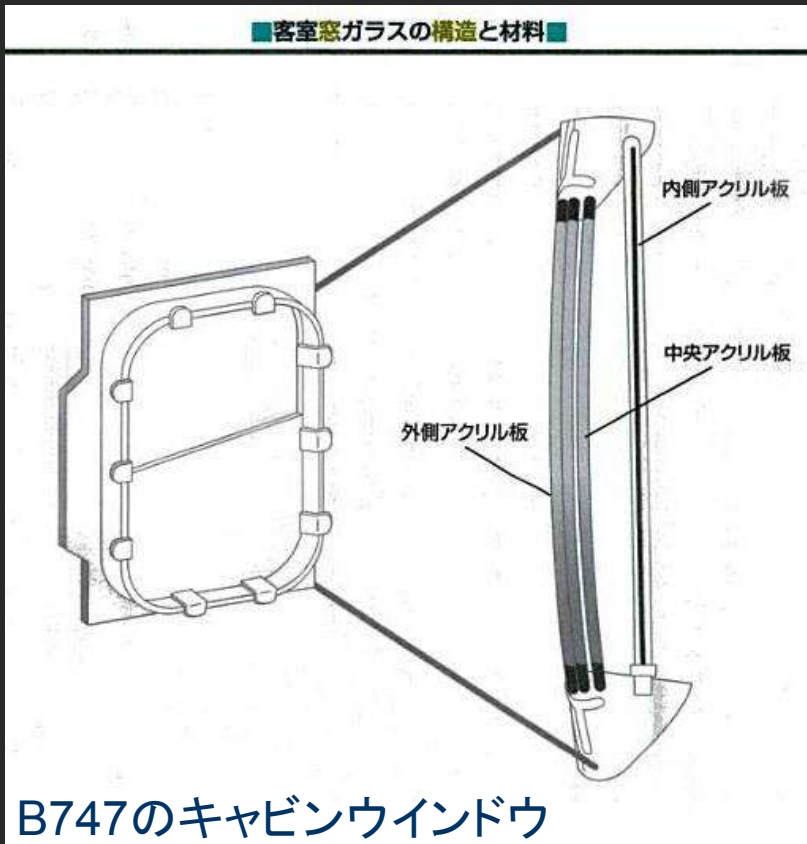
ゴースト像の明るさは
主画像の1/500ぐらい

多段階露光の写真と比較すると



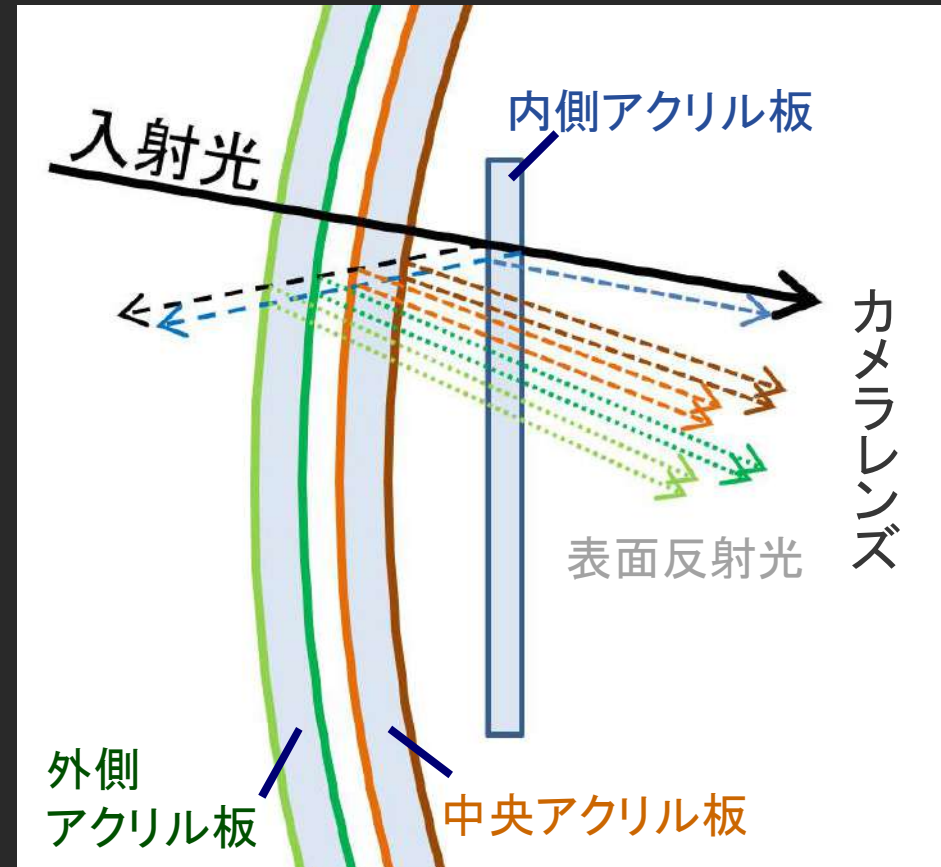
広角撮影時のゴーストの原因の考察

窓ガラスは亚克力板3枚



航空実用辞典より

アクリルの屈折率は約1.5
→表面反射率は4% (1/25)



内側亚克力板で反射した光(光量1/25)が、内側・中央・外側亚克力板で再び反射してできる3群の反射像(光量は1/625)が、広角レンズのゴースト像の主要因

望遠レンズで写した時のゴースト・フレア

400mm望遠レンズで撮った画像に現れたゴースト・フレア



コロナは猫の目のように写った



部分食もぼけて
両側に虹が写った



ダイヤモンドリングでは、
彩層はぼけてダイヤモンドの
両側に虹が出た

望遠レンズで写した時のゴースト・フレアの拡大

拡大してみると、像が多重になっている



多重像の方向が違うのが気になるが...

望遠撮影時のゴースト・フレアの原因の考察

何故、像が多重になるのか？

想定される原因 → 複屈折



方解石の複屈折

※アクリルガラスも、ポリマー主鎖の配向や、成形時の応力の作用で、複屈折を起こすという

しかし近年複屈折を減らす方法の研究が盛んになっているようだ

何故、両側に虹が出るのか？

想定される原因

→ 多重反射による干渉？

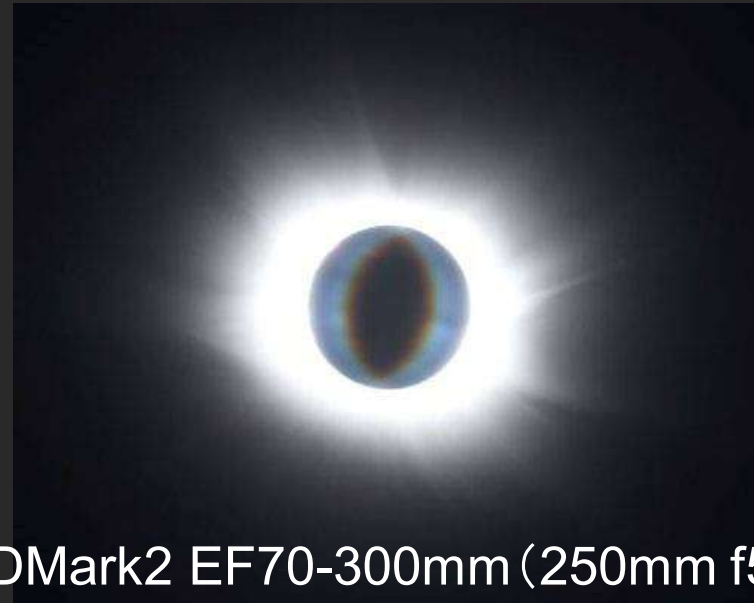
虹の方向がほぼ水平になる理由がよくわからない

他の飛行機から撮った画像も調べてみたくなった

ゴースト・フレア比較(増田さんの画像 vs 塩田の画像)



Masuda(B737-800) CANON EOS7DMark2 EF70-300mm (250mm f5.6)



Shiota (MD-83) Nikon D810 AF-S80-400mm(400mmF5.6)



ゴースト・フレア比較 (G.Schneider氏の画像 vs 塩田の画像)

G.Schneider (B737-800)



Nikon D3000 + 300 mm f/5.6 VR

G.Schneider (B737-800)



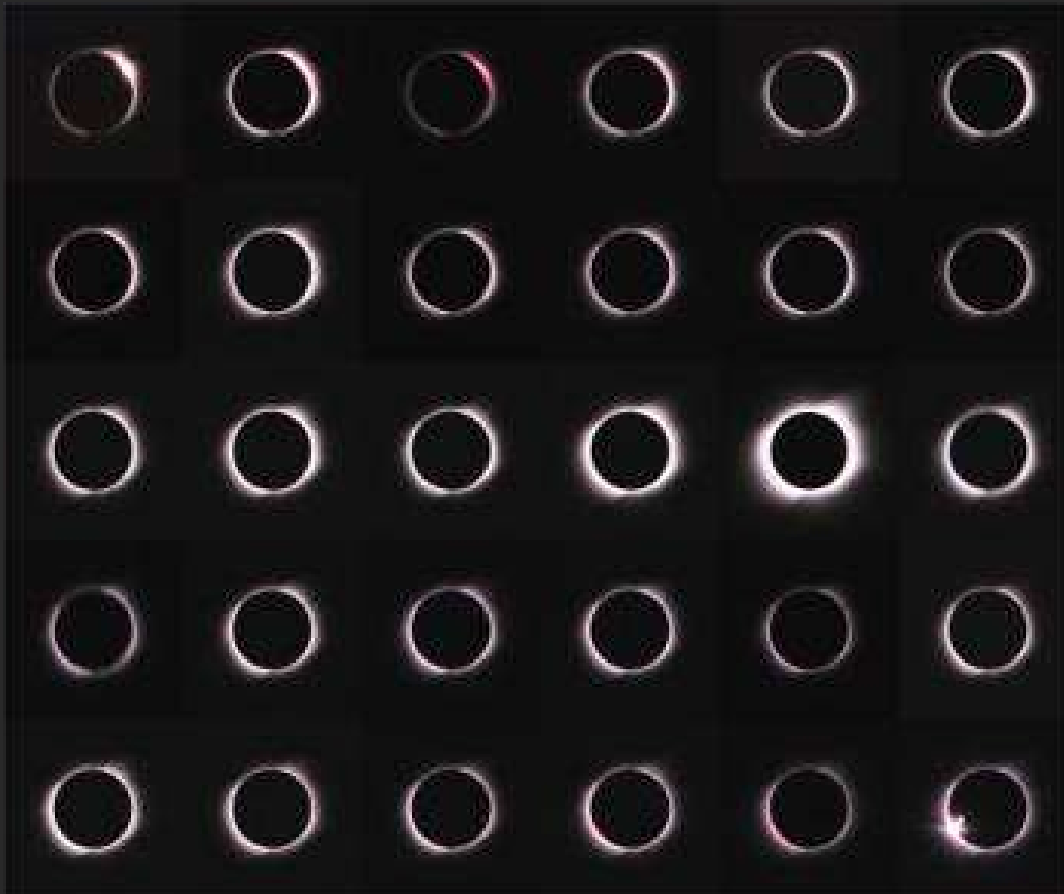
Shiota (MD-83)



Shiota (MD-83)



ゴースト・フレア比較 (G.Schneider氏の2008画像)



2008日食フライトで撮られた画像
飛行機は、A330-200
(Glenn Schneider)



虹やゴーストは見えるが軽微

Xavier Jubier氏の日食フライト画像(1)



ビジネスジェットFalcon7X



Falcon7Xから撮ったコロナ
弱いゴーストは見られるが、ボケや虹は見えない

http://xjubier.free.fr/en/site_pages/solar_eclipses/TSE_20150320_pg02_Eclipse.html

Xavier Jubier氏の日食フライト画像(2)

広角レンズでの撮影でも、ゴーストが少ない



http://xjubier.free.fr/en/site_pages/solar_eclipses/TSE_20150320_pg02_Eclipse.html

コックピットの窓から
撮った動画らしい

Falcon7X



MD-83



ダイヤモンドリング時の
ゴースト比較

Xavier Jubier氏の日食フライト(4)

- Xavier氏にメールを出して、ゴーストに関して質問したところ、
- ・ゴーストの原因は、光学系の配置や複屈折などが関係すること
 - ・Xavier氏は、事前に窓の光学特性を測定して観測に臨んだとのこと
 - ・更に、Falcon7Xの窓ガラスのメーカー(サンゴバン社)も教えてくれた

Home > Saint-Gobain Sully > Who we are

SAINT-GOBAIN SULLY

SAINT-GOBAIN SULLY

WHO WE ARE
WHAT WE DO
HOW WE WORK »
NEWS
LINKS
HOW TO FIND US

AEROSPACE

RAILWAY

ARMOURED VEHICLES

MILITARY VESSELS

CONTACTS

A world of opportunities awaits you.

Saint-Gobain Sully
Who we are

Saint-Gobain Sully is the daughter company of Saint-Gobain Group - a worldwide leader in construction and habitat markets.

For more than three centuries Saint-Gobain Group has been providing the whole world with innovative solutions. As one of the top 100 industrial groups, Saint-Gobain continues to deploy its technological know-how, often in partnership with the most prestigious universities and laboratories. Present in 65 countries Saint-Gobain has 190,000 employees and 14 research centers. Strategy of the company is built around innovations and research. As a matter of fact, the research budget rose to € 400 million in 2010 from € 312 million in 2004 resulting in exceptional development of product portfolio - 20% of Saint-Gobain products did not exist five years ago.

For more information about Saint-Gobain Group, please follow the link: [WWW.saint-gobain.com](http://www.saint-gobain.com)

Located in Loire Valley, in the very centre of France, Saint-Gobain Sully has been providing the world with state-of-the-art high performance glass solutions for aerospace, railway, armored vehicles and navy for the last 50 years.

By harmonizing the three century experience of Saint-Gobain Group with the unique expertise of the best engineers and business people employed, Saint-Gobain Sully defines, develops, manufactures and distributes transparencies of highest quality used in transports throughout the world.

Being innovative, professional and a long-term partner to world transport leaders provided Saint-Gobain Sully with many awards received from its clients. "Cost of Ownership Trophy" is first and the only award ever given to Airbus supplier.

70% of Saint-Gobain Sully sales come from export.

<http://www.saint-gobain-sully.com/aerospace.php>

Saint-Gobain社のHPには、自社製品の光学特性の良さをアピールする記述があった

日食フライト機とゴースト・フレアの出方の関係

日食画像がチェックできた飛行機を比較すると、

機種名	製造時期	窓ガラスメーカー	ゴースト・フレア
MD-83	1984～	?	非常に多い
B737-800	1997～	?	セブンネット機: 多い G.Schneider: 少な目?
A330-200	1997～	Saint-Gobain	少ない
Falcon7X	2005～	Saint-Gobain	非常に少ない?

但し、HPで調べた画像はゴースト・フレアをレタッチ済かもしれない

新しい機種ほど、ゴースト・フレアが少ないようだ
特に、Saint-Gobain社の窓ガラス使用機は少ないようだ

ゴースト・フレアを減らす対策

1) 日食フライト機の窓ガラスを替えてもらう

→ 2003南極日食の時、NHK取材班は石英ガラスに替えた

2) 光学特性のいい窓ガラスを使っている機体を選ぶ

→ Saint-Gobain社の窓ガラス？

3) 日食フライト機は、なるべく新しい機種・機体を選ぶ

→ 使用年数が増えると、傷が増え結露も起こりやすくなる

4) 事前に日食フライト機に乗って、テストしてみる

→ 輝度差の大きい被写体(太陽や三日月など)を試写する

まとめ(日食フライトの魅力と課題)

日食フライトの魅力:

- 1) よほど高い雲がない限り、天気の心配をしなくて済む
- 2) 雲海に映る月が移動していく様子は感動的
- 3) 空が暗く、コロナが非常に明るく見える
- 4) 飛行機が月の影を追いかけるので、皆既時間が伸びる
- 5) 快適な気温と行き届いたサービスを受けつつ観測できる

日食フライトの課題:

- A) 小さな窓のため、見える範囲が限られ、窮屈な姿勢になる
- B) 写真撮影では、ゴースト・フレア対策が重要

終わり