

特集**日食中の明るさについての考察 その1**

大越 治（日食情報センター）[1]

1. はじめに

2012年5月21日の金環日食は、悪天候に阻まれたところもありましたが、雲の切れ目からリングが見られたところも含め、非常にたくさんの方々に感動を残して終わりました。この日食の前の数ヶ月間、マスコミをはじめ、たくさんの一般の方々が日食の話題で盛り上がったのですが、その中でいくつか、すっきりしない事柄がありました。その一つが「日食中の明るさ」についてです。

私自身、十分に考えがまとまっているとは言えませんが、時がたつと記憶も薄れ、問題意識も薄れてしまうので、自分に対するメモのようなつもりで本稿を書いてみました。

2. 日食中は暗くなる？

日食中は、たとえ一部分であっても太陽が月に隠されますから、光源である太陽の明るさは低下します。そして、それに伴って地上の明るさも低下することは当然です。しかし一体どれだけの明るさが減るのか、いや、それよりもその明るさの変化をどのように感じるのか、そこが問題でした。まずこの問題の背景を考えてみましょう。

まず一つは、金環食を体験した人の数が少ないこと。少し前からの日食ブームにより、海外に日食を見に出かける人の数も増え、近年は毎回千人を超えるようになっていきます。しかし、そのほとんどは皆既食が目的であり、金環食のためにわざわざ海外まで出かける人はまだ少数です。そのため、5月21日以前の日本には、皆既食経験者の数より金環食経験者の数の方がはるかに少ないという状況がありました。

もう一つは3年前の日食報道です。2009年7月22日の皆既日食では、薩南諸島を皆既帯が通るとともに、日本全国で部分食が起きました。残念なことに、薩南諸島をはじめ多くの（一説によると3万人を超える？）方々が遠征した中国も天候には恵まれない所がほとんどでした（図1）。そのため、皆既帯からの報道（主にテレビ報道）として「真っ暗になった」という言葉がくり返し流れたのを覚えておいでの方も多いことでしょう。



図1 曇った時の皆既中の様子

2009年7月22日種子島にて。森友和撮影。

一方では、全国で見られた部分食について、明るさに触れた報道はほとんどありませんでした。そのため、「日食では太陽が隠されるので真っ暗になる」という誤解が広まっていたのです。そのため今年の初めころまでは、「懐中電灯の用意が必要ですか？」とか、「登校時間に真っ暗になると交通事故が心配だ。」などの懸念が少なからず聞かれました。

私が参加していた2012年金環日食日本委員会では、目の安全を守ることが目的の一つにありましたので、日食の最中でも太陽は非常

にまぶしいこと、決して真っ暗にはならないことなど、主にマスコミ向けの資料（2012 年金環日食日本委員会のサイトにある <http://www.solar2012.jp/brightness.pdf> を参照）を作ったこの誤解を解くための活動も行ってきました。ただ、マスコミは往々にして断定的な、あるいは極端な言い方（書き方）をすることがあるため、果たしてこのような情報提供の仕方が適切だったかどうかについては、十分検討・反省する必要があります。

3. 日食中の明るさを決めるもの

まず、一旦今回の金環日食を離れて、日食一般の明るさを考えてみます。最初に皆既食の話をしてみましょう。

今、「日食では太陽が隠されるので真っ暗になる」というのは誤解だ、と書きました。では、「日食」ではなく「皆既食」と直せば正しいのかというと、それも違います。皆既食では太陽がすべて月に隠されますが、コロナが見えています（図 2）。コロナ全体の明るさはほぼ満月に近いので、一般的には皆既食中の明るさはほぼ満月の夜の明るさに近い、と言えるかもしれません。ただ、皆既中は後で述べるように月の本影外からの光が加わるので、実際には満月の夜より明るくなります。

なぜ「一般的」などという回りくどい言い方をするかというと、話はそれほど単純では

ないからです。私は今までに 21 回の皆既食を経験していますが、それぞれの皆既食中の明るさは大きく異なっています。一番暗かったのは 1990 年 7 月 22 日の皆既食で、言うまでもなくこの時は曇られました。ほぼ「真っ暗」状態です[2]。また、コロナは見られたものの 1976 年 10 月 23 日の皆既食も雲が多く、カメラ操作に懐中電灯が必要でした[3]。逆に一番明るかったのは 1991 年 7 月 11 日の皆既食で、印刷物の細かい文字や腕時計の秒目盛りを読むのにまったく不自由しないほどの明るさでした[4]。この日食は皆既継続時間が 6 分を超える大日食（2009 年の 1 サロス前）で、地上に投影される月の本影も大きく（と言うことは、本影外から入り込む光が少ないと思われたので）、皆既中はかなり暗くなる可能性も考えられていたのですが、結果はまったく違っていました。

皆既食中の明るさを決める要素はいったい何なのでしょう。皆既食中の地上に届く光は、コロナの光と皆既帯の外（部分食が見えている地域）から回り込む光です。このうち、コロナの光は太陽活動の強弱によって多少の変化があります。皆既帯の外から来る光は、コロナの光のように直接やって来るのではなく、地球大気によって散乱された光です。

皆既食を経験した方は、地平線（水平線）近くの空がオレンジ色に染まっていたのをご覧になったことでしょうか。あれは、図 3 のように皆既帯の外（部分食が見えている地域）

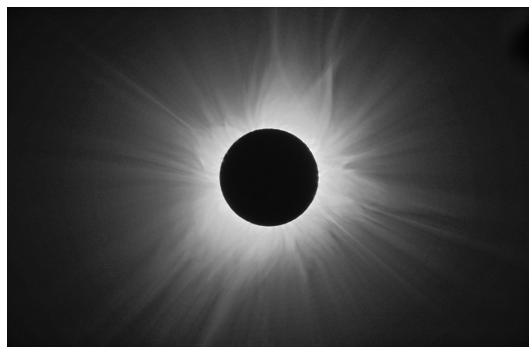


図 2 コロナ

コロナの明るさは太陽から離れると急激に弱くなり、太陽に一番近いところと太陽直径分離れたところを比較すると、およそ 1000 倍も明るさが違う。コロナ全体の明るさはほぼ満月の明るさに近い。2002 年 12 月 4 日、ボツワナにて、筆者撮影。

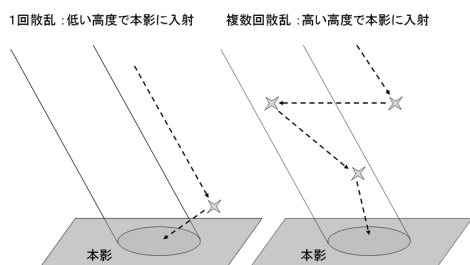


図3 本影に入り込む散乱光

皆既帯に差し込む光には、コロナの光のほか、部分食の地域からの光の散乱光がある。低空からの散乱光は1回散乱で、上空からの散乱光は複数回散乱されて入り込む。

に射した太陽光が、空気中の分子によって散乱され、厚い大気層を通り抜けて来るために夕焼けと同じように赤みを帯びるのです。また、皆既中に上空を見ると深い青色の空が見えます。コロナの拡大写真では周囲が黒く表現されることが多いのですが、決して黒い空ではありません。上空からやって来る光も部分食が見えている地域に射した太陽光が元ですが、こちらは上空の薄い大気の中で複数回の散乱を受けるため、通常よりも青みがかった色になると考えられています。

以上は太陽光が大気分子で散乱される場合（レイリー散乱）を考えた場合ですが、大気中に微粒子が浮遊している場合は、ミー散乱を考えなくてはなりません。ミー散乱は波長に依存しないため、太陽光がミー散乱を受けると空は白っぽくなります。実は前述の1991年7月の皆既日食のほぼ1ヶ月前、フィリピンのピナツボ火山が500年ぶりの大噴火を起こし、大気中に大量の微粒子を放出していたのです。

皆既食中の明るさを決める要素は、

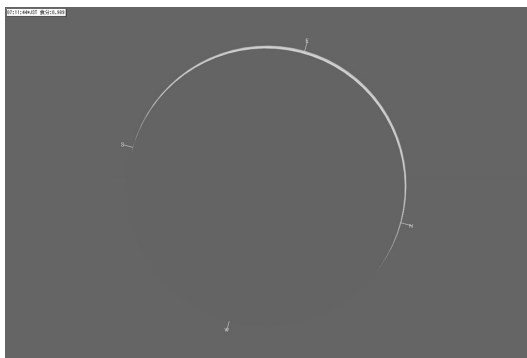
- ① コロナの明るさ、
- ② レイリー散乱によって入り込む散乱光、

③ ミー散乱によって入り込む散乱光、そして
④ 雲、です。私の経験から影響の大きさに順位を付けると、④>③>①=② となります。①と②の大小関係は微妙で、今のところ私にはよく分かりません。はっきり言えることは、明るさを決める最も大きな原因は圧倒的に天候だということです。雲が出れば確実に暗くなります。2009年の「真っ暗報道」の原因は厚い雲が出たせいなのです。

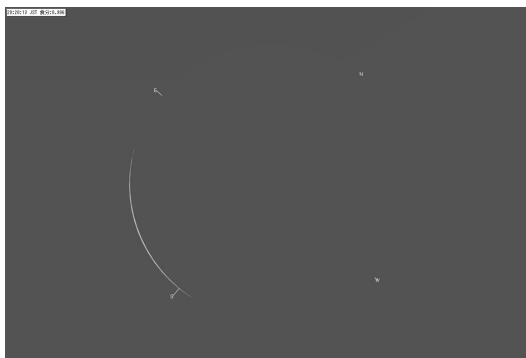
では話を金環食に移しましょう。

金環食の場合、①はコロナの明るさではなく、リング状に見えている光球面の明るさになります。この明るさは皆既食の時のコロナとは桁違いに明るく、また金環食の規模によって大きく変わります(図4)。金環食ではその規模により、リングが見えている時間(金環継続時間)は数秒~12分もの違いがあります。継続時間が30秒程度以下の(リングが細い)金環食の場合、明るさは比較的皆既食に近い変化をします。1999年2月16日の金環食(継続時間36秒)や2002年6月10日の金環食(同30.5秒)では、はっきりと日食独特のNDフィルターを付けて風景を見るような雰囲気があり、「暗くなった」「皆既に近い!」という感想も多くありました。しかし、1分を超える金環食では、明るさの雰囲気は皆既食とかなり違ってくるように感じます。確かに光量は落ちるのですが、「暗い」と言うには抵抗があります。言葉の使い方についてはまた後(その2)で述べます。以上は快晴かそれに近い場合の例です。

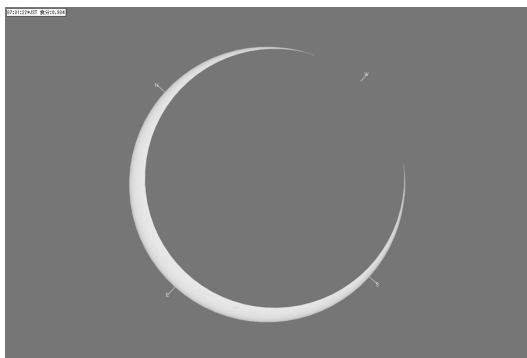
雲が出た場合はどうでしょう。2009年1月26日の金環食(継続時間6分14秒)は、かろうじてリングは見えましたが厚い雲(雨雲)が空を覆い、地上ははっきりと「暗く」なりました。1998年8月22日(同2分7秒。出ている光球面は2009年より少なく、光球面の明るさは暗いはず。)はベタ曇りで薄暗くはなりましたが、2009年の時のような暗さに



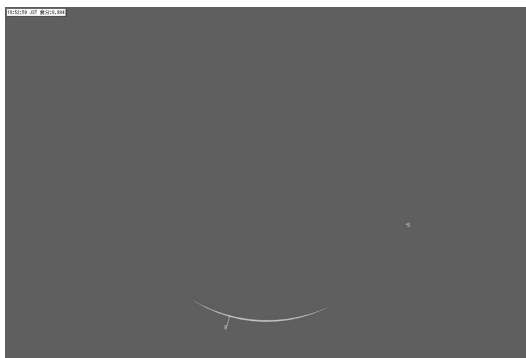
2005 年 4 月 8 日 パナマ・プラヤコロナド



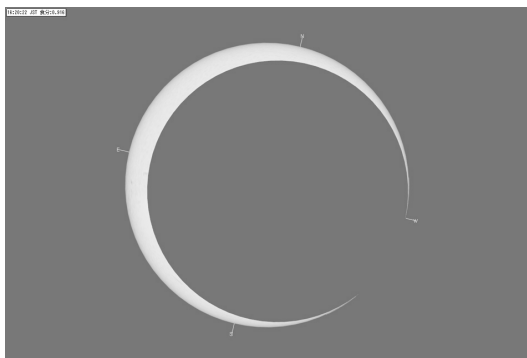
2008 年 8 月 1 日 中国・西安



2012 年 5 月 21 日 日本・調布



2009 年 7 月 22 日 日本・悪石島



2010 年 1 月 15 日 モルジブ・パラダイス島

はなりません。やはり金環食の場合でも、地上の明るさに一番影響を与えるのは天候（雲の厚さ、量、分布）と言えるでしょう。

4. 日食中の明るさとは？

ここまで特に断りなしに「日食中の明るさ」という言葉を使ってきました。この言葉を見

図 4 第 2 接触 30 秒前の光球

一口に金環食と言っても、継続時間の違いによって露出している光球面の量は違ってくる。図は 2005 年 4 月 8 日（パナマ・プラヤコロナド、16 秒）、2012 年 5 月 21 日（日本・調布、4 分 59 秒）、2010 年 1 月 15 日（モルジブ・パラダイス島、10 分 34.6 秒）、いずれも第 2 接触の 30 秒前のようす。参考に 2008 年 8 月 1 日（中国・西安、1 分 31 秒）と 2009 年 7 月 22 日（日本・悪石島、6 分 17 秒）の皆既食 30 秒前も示す。皆既と金環の違いは非常に大きいことも分かる。エクリプスナビゲータ（Astro Arts）で作成。

て、読者の皆さんが思い浮かべたものは、果たして同じものでしょうか。改めて「日食中の明るさ」とは何を指すのかを考えてみます。

日食中の明るさの変化を測定する場合、数値を求めるときの多くは照度計を使います。その際、照度計の受光面を太陽に向けて測定する場合があります。また、地面に照度計の受光面を上向きに置いて測定する場合があります。前者はいわゆる法線照度を、後者は水平面照度を測定していることになりますが、これらは果たして「私たちが感じる日食中の明るさ」を測定していることになるのでしょうか。もちろん法線照度や水平面照度の値は、それはそれできちんとした測定値です。しかし、私たちを含めて一般の人が「日食で暗くなった」「日食でも暗くはなかった」という時の明るさを示す値と同じものかどうか、ということです。

私たちが日食による明るさの変化を感じる時、目で周囲の風景を見ることによってその変化を感じています。太陽の方を向いたり(欠けた太陽をじかに見たり)、地面に寝転がって真上の空を見たりしているわけではありません。多くの場合まっすぐ立って、(太陽の方ではない) 水平方向を見ているはずです。その時に感じる明るさ、つまり、自分の目が向いている方向の明るさが、私たちに「日食中の明るさ」として感じられるのです。

このように考える時、日食中の明るさに影響を与える要素が、前述の①～④のほかにもう一つ考えられます。それは〈周囲の環境〉です。前に、私が経験した日食中の明るさはそれぞれ大きく異なっていた、と書きましたが、同じような条件の日食でも、「どういう場所で観測したか」によって明るさの感じ方がずいぶん違うことがあるのです。

5. 周囲の環境による照度の違い

「どういう場所で観測したか」によって明るさの感じ方が違う、というのは、あくまで「私の経験による私の感じ」です。本当にそうなんだろうか？ ということで実験です。

ほぼ快晴の日を選び、周囲の環境の違う場所で図5のように照度を測定しました。ほぼ快晴の日を選んだのは、雲が多いとその分布や移動によって条件が変わってしまうからです。

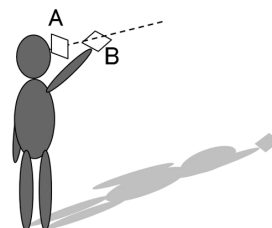


図5 目で見えた方向の照度を測定する

ほぼ快晴の日に、周囲の環境が異なる場所で照度を測定した。その際、太陽に背を向けて立ち、照度計の受光面を自分の目の高さに置く。方法Aは受光面の法線を目の向いている水平方向に向け、方法Bは受光面の法線を真上に向けた。

目で感じる明るさを測るため、照度計は目の高さに置き、受光面の法線を視線方向に向けました(方法A)。これで、目に入る光と同じ光を照度計で受けることになります。比較のため、通常の水平面照度を測る時と同じように、受光面の法線を真上に向けた測定(方法B)も行いました。結果を表1と図6に、また、測定した場所の写真を図7に示します。

照度測定値
使用器具 2012/6/26 ほぼ快晴
ケニス DX-100 照度計(方法A、Bとも単位はLux)

	時刻	方法B	方法A	備考
1	10:14	85900	4980	草地(周囲にまばらに樹木)
2	10:17	88100	13100	交差点(アスファルト・横断歩道塗装)
3	10:20	87000	8910	土・草(まばら)
4	10:23	89300	20100	コンクリ(クリーム・薄緑塗装)
5	10:28	85000	5760	草地(野球場、少し離れた所に樹木)
6	10:30	90200	8250	砂地(ほぼ黒色)
7	10:35	91200	8290	建物の間(片方の建物の壁面に直射日光)
8	10:38	88300	7470	駐車場(片面が建物・壁面は日陰)

表1 周囲の環境による照度の違い

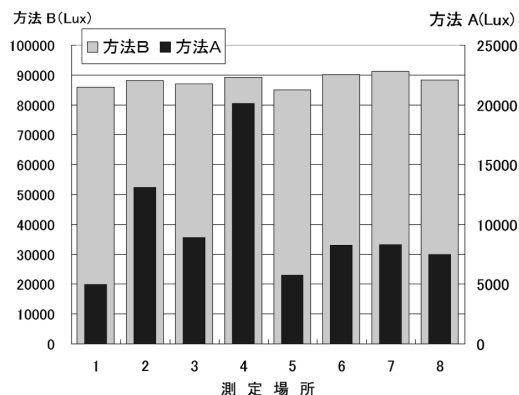


図6 周囲の環境による照度の違い

図7 測定した場所



場所3 (土と草)



場所1 (草地)



場所4 (コンクリート)



場所2 (交差点)



場所5 (草地・野球場)

この結果から、照度は周囲の環境に大きく左右されることが分かりました。方法Bではいずれも受光面に直射日光が当たっていて、

どの場所でもそれほど大きな違いはありません。ただ、場所1や5のように少し離れた所に樹木がある場合や、場所7のように直射日



場所 6 (砂地)



場所 7 (日なたの壁の横)



場所 8 (駐車場)

て、あるいは地面のようすがどうなっているか等によって、同じ太陽の下にいるにもかかわらず大きく違ってくるのです。

金環食の場合、明るさを決める要素を

- ① 露出している光球面の明るさ、
- ② レイリー散乱によって入り込む散乱光、
- ③ ミー散乱によって入り込む散乱光、
- ④ 雲、
- ⑤ 周囲の環境、 とすると、影響の大きさに順位を付けるなら、④>⑤≥①>③>② となるのではないのでしょうか。

(その 2 に続く)

文 献

- [1] 日食情報センターは、1978 年に設立されたボランティア組織で、主に日食のために海外遠征するアマチュアのため、「日食情報」誌の発行や勉強会・発表会などの開催を通じて様々な情報提供を行っている。
- [2] フィンランド日食紀行 (1991)
フィンランド日食観測隊 発行
- [3] オーストラリア日食観測報告 (1976)
東京理科大学天文研究部
オーストラリア日食観測隊 発行
- [4] ハワイ・メキシコ皆既日食観測報告 (1991)
東京理科大学天文研究部日食観測隊 発行

光に加えて壁面からの反射光がある場合は多少の違いが見られます。しかし、方法 A では場所によって照度に 4 倍もの違いがあります。つまり、私たちが普通に立って周囲を見た時に感じる明るさは、周囲に何があるかによっ

大越 治