

特集

日食中の二重の影について

渡會兼也（金沢大学附属高等学校）、田崎文得（京都大学宇宙物理学教室）

1. はじめに

5月24日の本会メーリングリスト（以下MLと略す）で日食中の影が二重になるのは何故か？という投稿がありました。口火を切ったのはダイニックアストロパーク天究館の高橋進さんですが、ちょうど写真を整理していた筆者も同じ疑問を感じていたので便乗して投稿させていただきました。

高橋さんが投稿されたのが15時4分。そこから次々にコメントがついて2時間あまりでほぼ議論が収束し、著者はほぼ理解に達しました。インターネットのすごさを改めて感じた次第です。ここではMLでの議論と補足を行い、影のでき方についてまとめたいと思います。

2. 問題の写真

MLではファイルサイズの大きな写真を送るのが憚られたので解像度の悪い写真を送りましたが、もう一度その写真を紹介します(図1)。本校で行われた観察会で、ある生徒に「先生～影がもやもやしている～なんで？」と言われ、私はとっさに「多分、光源が球対称じゃないから影のでき方も変わるんじゃないか。」と答えたのですが、確信がなく、調べる必要があると思って撮影したものです。

MLに質問を投稿したのち、共著者の田崎から日食前後の影の様子について非常にインパクトのある写真が送られてきました(図2)。日食中で柵の影がもやもやするだけでなく、完全に影が二重に見えているではありませんか！



図1 本MLに投稿した日食時の影の写真（7時34分）

生徒の足はピン트가合っているが、影はピンボケのように見えている。

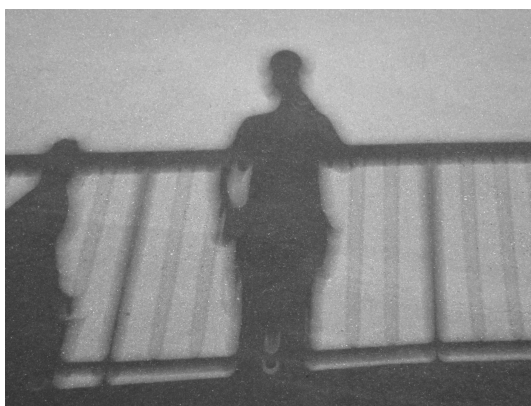


図2 田崎が京都で撮影した日食中の影の写真（7時40分頃）

ポールが二重になっている。

インターネットで「日食 二重像」というワードで検索をすると、ブログで写真を公開されている人のサイトがヒットしました。全国でも多くの方がこのような現象を観察されたのではないのでしょうか。

3. ML での議論

ここでは ML での議論を時系列にまとめます。以下、メール冒頭の挨拶は省き、敬称略させていただきます。また、渡會のコメントは[]で表します。

[tenkyo:04929]

高橋@ダイニクアストロパーク天究館

すみません、教えていただきたいのですが。

今回の金環日食で滋賀県米原市の 8 校の小・中・高校の生徒 600 人で限界線の観測をしたのですが、その時の感想に複数の学校の小学生が「影が二重になった」と記録していました。

確かに太陽という光源がリングになれば影が二重になるのは理屈に合っていますが、0.5 度のずれによる影の差というのがわかるものでしょうか？またこうした現象はこれまでから見られているものでしょうか。すみませんが教えていただけると助かります。よろしくお願いします。

[tenkyo:04930]

渡會@金沢大学附属高校

先ほどの高橋さんの投稿と同様の現象がこちらでも起こっています。

ML で申し訳ないのですが、写真(122kb)を添付します。(ファイルサイズはもっと大きいのですが、縮小したので見にくいかもしれません) 写真情報の生徒の足はピントが合っているのですが、影はぶれているように見えます。

二重になっているかまでわかりませんでしたが、生徒は「影がもやもやしている」と騒いでおりました。

私もどなたかご存知の方に教えていただきたいと思います。よろしくお願いします。

[tenkyo:04931]

鳴沢@西はりま天文台

今回の日食（佐用はカチューシャですが）、実は私は棒の影の長さの測定をしました。

（今回一番下を向いていた天文屋だったと思います）。一連のメール興味深く拝読しました。

たしかに影は二重になっていました。薄い影が外側に 1.2 cm ほど伸びていました。

影の長さ実測値から日食が起きていない場合の予測値を引いたところ、たいへん興味深いグラフが描けました。それはまた別の機会でご報告させてもらいたいと思いますが、解釈に困っているところもあります。どなたか他にも影の長さの測定をされた方はいらっしゃいませんか？

どこかでそういうことをしたという話を聞かれた方はいらっしゃいませんか？

学校でもじつに簡単にできる実験ですので、今度（特に朝や夕方の日食時）は、ぜひやってみたらいかがでしょうか？

[tenkyo:04932]

浜根@ぐんま天文台

観察会中に撮った写真の影に改めて注目してみたら、たしかに「変な影」になっていました。

原因は、

- ・食が深くなると光源がなくなる（欠けた部分ができる）ことにより、これに対応する半影がなくなって、シャープな影が部分的に現れる（金環の時はこうならないことに注意）

- ・面光源であれば、点光源の集まりと考えたときの個々の光源が作る半影の重なりが本影の周囲に見えるが、食が深くなると線状の光源が作る半影のみになる。このために、半影が"薄く"なるから、と考えられないでしょうか。2つの効果が相乗して。

とすれば、ほんとうは影がぶれるのではなく、いつもはあるはずの半影が部分的になくなったり、"妙に薄くなり"ので違和感を覚えるのだ、と。

[tenkyo:04933]

福江

高橋さま、みなさま

福江です

いいですねえ、晴天で見られた人は；

#ピンホールぜんぜんできなかった（泣）

0.5 度の角度で 2m 先のずれは、1.7 cm ほどになります。

認識できる長さですね。

線光源になる効果が大きいのでしょうかねえ。

見たかったなあ・・・

[渡會]

このコメントは、太陽の大きさが原因だと仮定すると影のずれがどれくらいのサイズで見えるかを見積もるためのものです。一応、計算の意味を説明します。0.5 度は太陽の視直径（見た目のサイズ）で、このサイズの光源で作り出すことができる影のずれの最大値を x とします。物体から地面に投影された影の位置までの距離を $2m$ とすれば $x = \text{半径} \times \text{視直径} = 2.0[m] \times (2\pi \times 0.5^\circ / 360^\circ)[\text{rad}] = 0.0174m$ (1.7cm) となります。影のずれは大体この程度になるため、目視でも十分に判別できるだろう、ということです。

[tenkyo:04934]

大島@岡山

光源がリング（あるいはつながりかかった三日月）状なら、当然そのような影になります。実験で確かめるのも簡単で、リング状の蛍光灯で、棒でも人でも照らしてできる影を見て下さい。ただし、ランプ部以外に反射した光が出ないように、光を通さない紙（ダン

ボールなど）でシェードや中央の白い部分を隠して、純粹にリング光源にする必要があります。

[tenkyo:04935]

浜根

あ、「影がもやもや」の方に気を取られていました。二重の方か…。

リング状の光源がすぐに用意できなくても、天井に複数の灯りがあるところなら、ちよいと工夫して影を作ってみれば重複することはすぐにわかりますね、はい。あとは、福江さんのコメント通りだと思います。

[渡會]

この時点で私は議論がほとんど収束した、と感じました。よって、渡會が以下のメールを送りました。

[tenkyo:04936]

渡會

みなさま

渡會です。

返信ありがとうございます。

大体わかりました。非対称な光源のせいですね。

今、気が付きましたが細長い蛍光灯の下にいる自分の影を見たら「もやもや」していました！

つながった気がしました。笑
ありがとうございます。

その後、上の議論に関連した成果や投稿が 2 件ありました。

[tenkyo:04942]

船越@ハートピア安八天文台

日食時の影が変わることについては、2009 年の日食で小学生向けの科学研究の題材にし

たことがあります。曇りで満足な結果は出ませんでしたが、影のぼやけ具合が変化することは写真に撮れました。皆既日食のときには、金環のようにリングが少し途切れた「C」型にはなりませんので、影は二重ではなくボケたままです。食の進行によって点光源に近づく主に東西方向の影はシャープになります。食の最大の時間帯では、シャープな影とボケた影の位置関係が回転します。

この日食時の影の簡単な観察装置は、2010年、仙台市天文台で行われた JAPOS の年会の集録 (35 ページ) に写真が掲載されています。また、昨年東京理科大で行われた金環日食シンポジウムでは、観測機器の展示やポスターでの観測内容の紹介をさせていただきました。

[tenkyo:04944]

鳴沢

当日の記録写真を見直したら、少し わかりやすい物があったので、ご参考までに。指でピンホールをつくって投影した時のものです。

<http://www.nhao.jp/%7Enarusawa/oseti/ka ge-v.jpg>

これは下記 URL の図のように実験したもののなので、福江先生の計算とまあコンパラですね。

ちなみに、手前の指でピンホールを作っている人物は、この会ではおなじみの坂元氏です。

<http://www.nhao.jp/%7Enarusawa/oseti/ka ge-hoge.jpg>

天文台共有の写真なので、何かにご利用希望の方はご連絡下さい。

++++++以上

ML にもあったように、こういったことは我々の身の回りでも起きていたのです。例えば、長細い蛍光灯の下にできる影は常に二重になっています。これが日食とつながるということに気が付いたときは、うれしさのあまり、ML に投稿してしまいました。今思えば自分のメールが恥ずかしい限りです…。

4. 影のでき方

図で影のでき方について考えてみます。光源が 1 つの場合は、図 3 の上のような影ができます。光源を 2 つにすると影が重なる場所に本影ができ、重ならない影は半影となります。これが影にコントラストができる原因です。光源をさらに増やせば、非対称な光源と同じ効果になるので、光源の各場所からの寄与を考えると本影と半影とのコントラストが大きくなっていきます。また、影がもやもやする方向は光源の伸びている方向と一致します。図 1 は金沢の最大食のときであり、光源が横に伸びた形（光源の下半分が欠けた形）でした。

図 2 のような完全な二重の影になっているのはどういう状態なのでしょう。まず、二重の影のずれを見積ります。図 2 の撮影者から影までの距離が約 5.2m であったので、影のずれは約 $0.045\text{m}=4.5\text{cm}$ となります。図 2 中の縦の棒間距離が 15cm 程度なので、ほぼ一致しています。つまり、二重の影はまさに太陽の大きさによる影響であると言えます。影のでき方についてですが、図 4 のように 4 つの光源が棒を照らしたときにできる影を見ると、光源の位置関係によっては、本影が薄くなるような状況が生まれます。このとき、本影が 2 か所にできます。図 2 の写真の時は、光源がほぼ金環であったため図 4 の状況と似ていることがわかります。

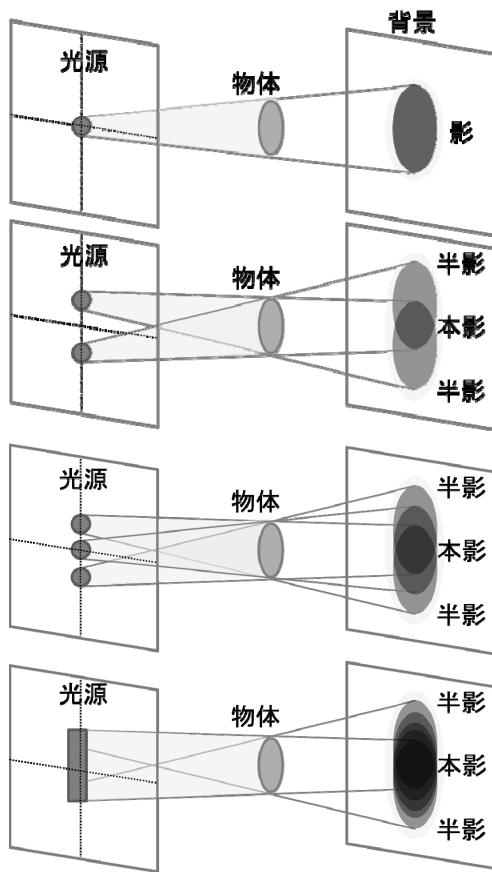


図3 影のでき方のイメージ図
光源が増えていくと本影と半影のコントラストが明瞭になる。

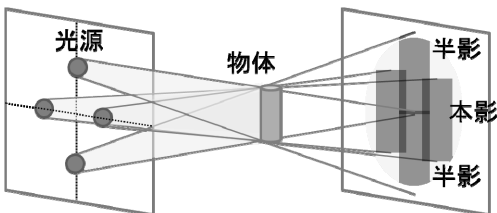


図4 棒状の物体が作る二重の影のでき方
光源の形によっては、本影が2本できる場合がある。

これらの現象はやはり、光源が一定の広がりを持っていることが原因で起こると考えられます。

5. 最後に

日食本体に注目が集まるのは当然のことですが、こういった日食に関連した現象にすぐに気が付くのはやはり“子ども”や“学生”ではないでしょうか（自分一人で観測していたら気が付かなかった）。観察会を行うことで私自身も新たな発見があり、企画をしてよかったと感じています。

実のところ、この原稿は編集長の作花さんから今回の ML での内容をまとめて欲しい、という依頼があり執筆させていただきました。これからも ML で有意義な議論・情報交換が行われることを期待します。

最後に ML でコメントをいただいた皆様に感謝します。

参考資料

[1] 天文教育普及研究会メーリングリスト
tenkyo:04929, tenkyo:04930, tenkyo:04931
tenkyo:04932, tenkyo:04933, tenkyo:04934
tenkyo:04935, tenkyo:04936, tenkyo:04942
tenkyo:04944

渡會兼也（金沢大学附属高等学校教諭）

田崎文得（京都大学宇宙物理学教室）