

投稿

ピンホールカメラで金星の満ち欠けは写るのか

中野 英之（桐蔭横浜大学、早稲田大学教師教育研究所）

1. はじめに

ピンホールカメラ（図 1）は針穴写真機ともよばれ、箱に穴を開けただけの構造であるため、工作も容易で、古くから理科の実験教材や自由研究のテーマとして扱われてきた。

ピンホールカメラには、次のような特徴が見られる[1]:

- ① 遠近全てにピントが合うこと。
- ② 望遠、広角効果があること。
- ③ 特有の柔らかい自然な写真ができること。
- ④ 短波長紫外線、超軟 X 線などレンズを通過しないものでも写すことができること。

また、ピンホールカメラで使用するピンホールの径には、最適口径があることが知られており[2]、ピンホール径は小さいほどシャープな像が得られるわけではない。最適口径に関する理論を説明するためには、光の波動性を深く理解することが必要であり、易しいものではない。

ピンホールカメラの原型とも言えるカメラ・オブスキュラが日食観測に使用されていたように[3]、現在、天文分野におけるピンホールカメラの利用は、日食等の太陽観測に限られると思われる。太陽以外の天体の場合では、ピンホールカメラを使用する利点はほとんどないといえるだろう。

一方で、超高感度で即写性に優れたデジタルカメラの普及により、フィルムや印画紙などの感材を用いていた時代には行うことができなかった新たな試みもチャレンジできるようになってきた。

当時、筆者の研究室の学生であった今村は、ピンホールカメラで月面のクレーターを撮影した報告がないことに着目し、京都教育大学

屋上の 29 cm 反射赤道儀に同架した焦点距離 4 m 超のデジタルピンホールカメラで月面のクレーターの撮影に成功した。この成果は日本写真学会誌に原著論文として掲載された[4]。簡単な実験ではあるものの誰も行ったことのない試みであったためか、天文関係でも注目され、SNS 上でも「面白い記事があった」と評判になった[5]。

今村・中野[4]が焦点距離 4428 mm のピンホールカメラで撮影に成功したアルザケルクレーターは、視直径が約 50" である[4]。月のクレーターの撮影に成功した後には他の天体に目が向くのは自然な流れである。視直径 50" は、最大光輝を過ぎた頃の金星の視直径に等しい。筆者は次の目標として、ピンホールカメラで金星の満ち欠けを撮影できないか興味を持ち、チャレンジすることにした。

次の撮影の機会は 2025 年の 2 月から 3 月初めである。本稿を執筆している 2024 年 12 月段階ではまだ時間的な余裕があることから、人工金星を用いた予察的な実験を行うことにした。

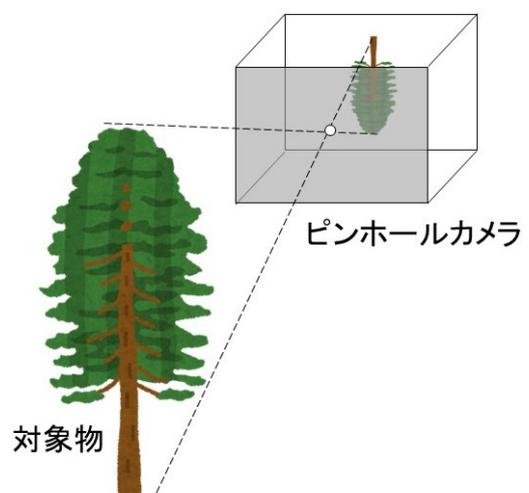


図 1 ピンホールカメラの構造

2. 実験方法

今村・中野[4]が作製したピンホールカメラの焦点距離は約 4 m であったので、解像力を上げることを狙って、その倍の焦点距離が 8 m のピンホールカメラを作成することにした。なお、本稿ではピンホールからカメラの受光素子までの距離を便宜的に焦点距離と呼ぶ。図 2 のような方法でピンホールカメラを用いて人工金星を撮影した。撮影は横浜市青葉区の桐蔭横浜大学敷地内で人通りの少ない日曜日に行った。

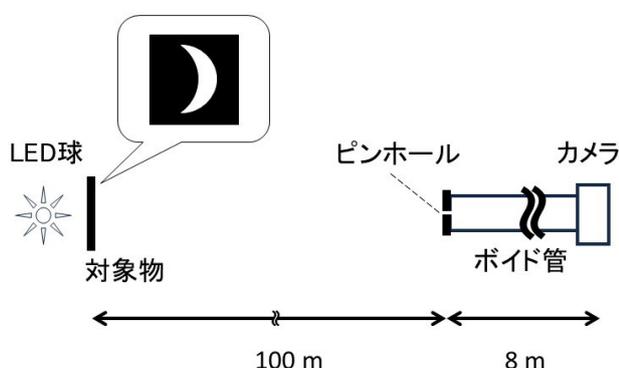


図 2 実験の方法

ピンホールカメラの筒本体は、内径 5m、長さ 2 m のボイド管を 4 本接続して作製した。ボイド管の内部はあらかじめ墨汁を用いて黒く塗装した。

ピンホールの最適口径を d 、焦点距離を f 、光の波長を λ とすると、ピンホールの最適口径は次式[1]で与えられる。

$$d = 1.56 \times (f \cdot \lambda)^{0.5} \quad (1)$$

焦点距離を 8000 mm、光の波長を 550 nm とすると、 $d = 3.27$ mm と算出できる。空き缶を加工して平らにしたアルミ板に太さ 3.2 mm のドリルの刃で穴を空けてピンホールを作製した。ピンホールは、中央に 5 mm 程度の穴を空けた塩化ビニル製の排水口用の蓋に接着させた上で、ボイド管の先端に装着した。

人工金星（対象物）は、黒く塗った工作用

紙を加工して作製した。金星の視直径は最大光度を過ぎた頃が約 50"、最大離角の頃が約 25" である。ピンホールから 100 m 離れた位置に対象物を設置することを考えると、視直径が 50" と 25" における金星の直径は、それぞれ、2.43 cm と 1.21 cm となる。直径 2.43 cm の金星を 100 m 先に置くと、最大光度を過ぎた頃の金星の視直径と等しくなるということになる。この大きさになるように、黒く塗った工作用紙に金星の見かけの形を書き込み、カッターナイフで金星の見かけの形を切り抜いて対象物を作製した。対象物を背後から LED 電球で照らして、人工金星とした。屋外でコンセントから電源を得ることができなかったため、ポータブル電源を用いた。

図 3 に使用した対象物を示す。図 3 の A-1 と A-2 は実際の金星の大きさに対応したものである。対象物が小さすぎて形を捉えることができなかった場合のことも考え、視直径が現在の 2 倍となった場合の対象物も用意した (B-1、B-2)。

カメラは Canon EOS D6 ボディを使用し、カメラボディはビクセン製の T リングを用いてボイド管に装着させた。シャッターは B (バルブ) を使い、リモートコントローラーを用いてシャッターを切った。

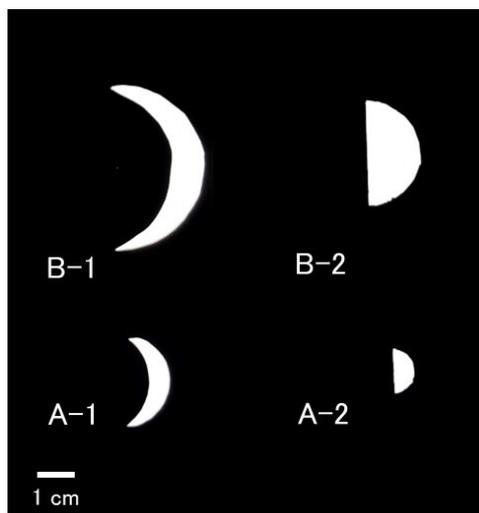


図 3 工作用紙を切り抜いて作製した金星

3. 実験の結果と考察

実験の様子を図4に示す。このタイプの実験は、焦点距離が長くなるほど対象物からカメラまでの光軸を合わせることが困難になるが、ピンホールを貼り付けた塩ビのキャップを外して状態で、点灯しているLED球がカメラ側から覗いた状態で真ん中に見えるようにボイド管の位置を調整すると比較的スムーズにいった。今回のような実験では、迷光が入ることが大敵なので、夜間に行うことが望ましいが、暗いとどうしてもボイド管の微妙な位置調整を行うことが困難になる。今回の実験では、ボイド管の内部を黒く塗装したり、ボイド管の接続部分を黒色の布テープで接着させたり、撮影時にカメラ全体を黒い布で覆ったことも功を奏して、迷光による悪影響はほとんど見られなかった。

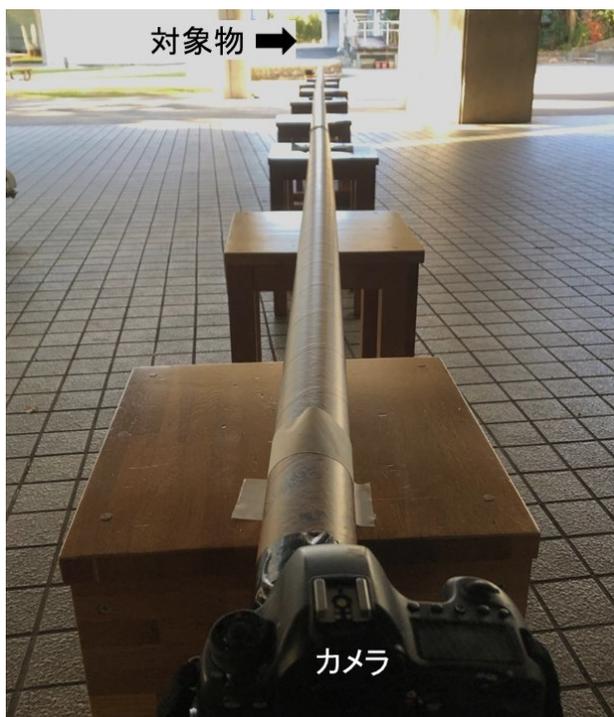


図4 実験中の様子

最大光輝を過ぎた頃の金星を模した対象物(A-1)を撮影したところ、図5のように、円ではなく、上下にやや伸びている様子は分かるものの、三日月状のはっきりとした形状

を捉えることはできなかった。最大光輝を過ぎた三日月状の金星を焦点距離が8mのピンホールカメラで捉えることは困難であることが分かった。視直径のより小さい対象物A-2では形を捉えることは更に困難であると考え、実験を断念した。金星の満ち欠けを捉えるには大幅に長い焦点距離を持つピンホールカメラを用いる必要があることが分かった。



図5 対象物A-1の撮影結果

金星の視直径が2倍になった場合に、金星の満ち欠けを捉えることができるのか検証するために、対象物B-1とB-2を撮影した。その結果を図6に示す。



図6 対象物B-1、B-2の撮影結果

金星の視直径が2倍になると、最大光輝を過ぎた頃の三日月状の金星を捉えることができるとともに(図6,B-1)、最大離角の頃の半月上の金星の姿も何とか捉えることができることが分かった(図6,B-2)。

では、図6で得られる金星像を得るにはどのくらいの焦点距離のピンホールカメラが必要になるのだろうか。図6の金星像と同じサイズで捉えるためには、焦点距離が倍の16mのピンホールカメラが必要になる。問題は分解能がどの程度向上する見込みがあるのかという点である。今村・中野[4]によると、ピンホールカメラの分解能(r)と焦点距離(f)には、次のような関係があることが実験により明らかにされている。

$$r \text{ (秒)} = 2500 \times f^{-0.5} \quad (2)$$

(2)式で明らかのように、分解能は焦点距離の $-1/2$ 乗で改善される。(2)式を用いると、焦点距離が8mの分解能と16mの場合の分解能は、それぞれ、 $27.95''$ と $19.76''$ と求まり、16mの場合には分解能で30%程度改善される。ちなみに、視力1.2のヒトの目の分解能は $50''$ である。焦点距離が16mのピンホールカメラであれば、最大光輝前後の満ち欠けの様子は捉えることは理論的には可能であろう。

ピンホールカメラで金星を捉えるには、日周運動を追尾する必要があるため、シーロスタットを用いるか、赤道儀に同架する必要がある。シーロスタットを使用することができれば、ピンホールカメラを平地に固定できるので操作性は格段に向上するだろう。しかし、は大型の平面鏡の入手が困難で尚且つ高価であるため、この案は断念した。今村・中野[4]が大型赤道儀に同架できたピンホールカメラの焦点距離は4m程度が限界であったように、16mのピンホールカメラを大型の赤道儀に同架することも現実的ではないだろう。焦点距離が16mのピンホールカメラを赤道儀に

同架するためには、いかに赤道儀に同架できるコンパクトなカメラを作製できるのかが鍵となる。そこで、反射望遠鏡用の斜鏡を複数枚用意してN字型に光路を曲げた、 N° 光学系ピンホールカメラがおぼろげながら設計図として頭に浮かんでくる(図7)。カメラの長さが2.2-2.3m程度であれば、焦点距離15m程度のピンホールカメラを作製することができそうである。6枚の鏡を用いるため、光量が50%程度に減光されてしまうことや、光軸合わせがやや難しいという難点はあるものの、この方法が最も現実的のように思われる。

図7を参考にして試作した長焦点ピンホールカメラを図8に示す。カメラには1.2mm厚の合板を用いたため、カメラの重量は15kg程度と重くなってしまったが、ビクセン製のサターン型赤道儀のような小中型の赤道儀にも同架することができた。迷光が入りやすいなど、多くの課題はあるが、この光学系をベースに改良を重ね、来たる金星の最大光輝を迎えたい。

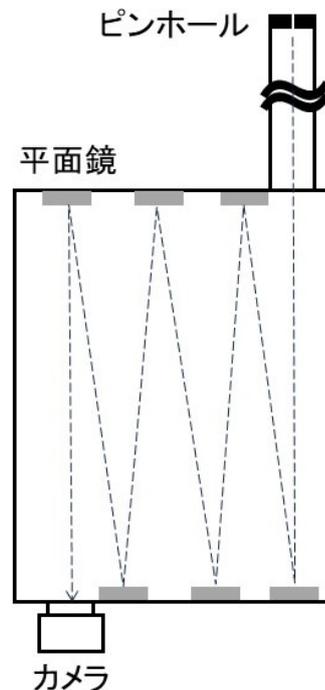


図7 考案した N° 光学系ピンホールカメラ



図8 試作した超長焦点ピンホールカメラ

4. おわりに

金星の満ち欠けをピンホールカメラで撮影する。これは、実は多くの方が試行実験を試みた経験があるテーマだと思われる。ただ、このような実験に取り組んでみると、やってみないと分からないテーマの奥の深さを知ることになる。同時に、世の中には簡単なことであるが、誰もやったことがない研究テーマがまだまだたくさんあることにも気が付く。

誰もいないと思われていた日曜日のキャンパス内でピンホールカメラの実験をしていると、どこからともなく何人もの人が現れては、いったい何をしているのかと質問を受けた。よほど面白く実験をしていると思われたのであろう。いくつになっても自分がワクワクして他人も豊かにできる、そんな探究活動を続けていきたいものである。

謝辞

本実験を行うにあたり、桐蔭横浜大学スポーツ健康政策学部の学部生の中嶋敦君には、ボイド管内の塗装や、ピンホールの作製で協力をしていただきました。これらの支援に謝意を表します。

文献

- [1] 牧野正恭 (1976) 「光の波とピンホールカメラの最適口径」, 科学の実験 **27**(6), 17-24.
- [2] 熊崎勝 (1997) 『ピンホールカメラは楽し！だれでも写せる“針穴写真”入門』, 風媒社:114.
- [3] 三位信夫 (2003) 「ピンホール現象に始まる写真の歴史」, 日本写真学会誌, **66**(6): 524-526.
- [4] 今村智陽・中野英之 (2018) 「ピンホールカメラの分解能に関する実験的研究～月面クレーターを捉えることのできるピンホールカメラをつくる～」, 日本写真学会誌, **81**(1):48-52.
- [5] ムササビ WAT01 氏のブログ「ムササビの星空ノート」2018年3月5日配信, <https://ameblo.jp/ic2177/entry-12357776741.html>, 2025年1月10日参照.



中野 英之