

- 8. 物質の密度と質量の再概算(2 日目)
: 一部省略
- 9. まとめと考察(2 日目) : 一部省略
- 10. 付録 : 省略
- 11. 謝辞 : 一部省略
- 12. 参考文献 : 一部省略

1. 使用した道具

PE 画像 60 枚 定規
フリーの画像処理ソフト「GIMP」
概算時間は 2 日間で 7 時間程度

2. 望遠鏡の能力

口径とタイプ: 75[mm] の屈折式
焦点距離: 500[mm]
フィルタ: H α 、半値幅は 0.7Å
アフォーカス補正レンズ付き撮像(動画)
装置

3. 太陽の構造及びプロミネンス噴出

太陽面のどこでフレアや CME が発生するかという問題は、実はどこでプロミネンスが発生するかという問題と同義である。

CME が発生すると、地球では磁気嵐が発生し、電波障害、通信障害の原因となる。これを予知しようとする試みが宇宙天気予報である。PE の速度と放出量を知ることが、どの程度の脅威が迫ってくるかを計算する基礎になる。よって PE は、私たちの生活に密接に関係した、非常に重要な天文現象である。

7. 速度の再概算(2 日目)

速度は 1 日目と同じく 1.60×10^5 [m/s]、放出された物質の質量は 2.8×10^{14} [g] となった。

昨日は、PE の際に太陽表面の現れた小さな「ダマ」を使って移動距離を求めた。しかし PE は、ループ状の物質の全体が動いているから、その全体を使わなければならないと考えた。そ

こで $t=0$ [min] から $t=2$ [min] の画像 5 枚を、無料の画像処理ソフト「GIMP」を使用し、太陽の色を変えながら重ねあわせ、PE の形を円形と考えた。円形の PE が移動した距離から、速度を概算した。速度を概算するために使用した合成画像を、図 4 として示す。

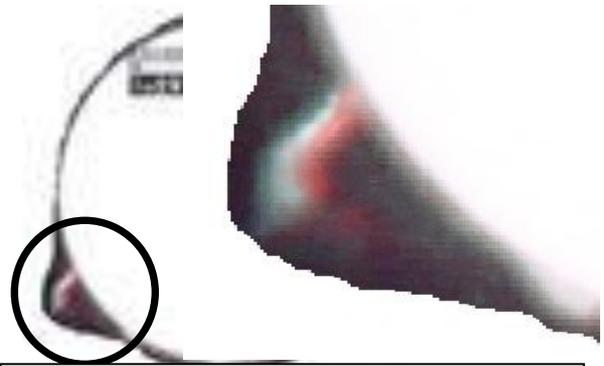


図 4. 速度の再概算のための 2 分間、5 枚分の合成画像。太陽の色を変えながら重ねあわせ、PE の形を円形と考えた。

PE の運動を今は 2 次元でのみ考えている。このように画像を合成し、PE を円形と考えた。

$t=0$ [min] のとき、太陽表面から円殻の内側までは 12[mm] であり、実際の距離に直すと 4.80×10^4 [km] となった。

2 分後の画像で、PE の太陽表面から外側までは 18[mm] で、実際の距離は 7.20×10^4 [km] となった。しかし、このままでは PE の厚みが過大となる。

PE の厚さは 1.2[mm] で、実際は 4800[km] であった。差分の 2.40×10^4 [km] から引くと、この PE は 2 分で 1.92×10^4 [km] 移動したことが分かるから

$$\frac{1.92 \times 10^4 [km]}{120 [s]} = 160 [km/s] = 1.60 \times 10^5 [m/s] \text{ である。}$$

8. 物質の密度と質量の再概算(2 日目)

太陽表面の圧力は、0.1 気圧である^[2]が、このままでは使えない。圧力を太陽表面からの距離ごとに下げなければならない。太陽の圧力は、表

面から 3000[km]で 6 桁下がっている^[5]。それと同時に太陽表面から 3000[km]以上のところでは圧力が一定に近づいている。よってここでの圧力を計算に使えるのではないかと考えた。プロミネンスはコロナ中での現象であり、図 2 より光球面から少なくとも 2000[km](彩層の厚さ)離れている。

PE を円とした時、太陽表面から円殻の内側までは 12[mm]であった。すると実際の距離は 4.80×10^4 [km]となった。これが $t=0$ [min]の PE の位置であり、 R_1 とおく。

PE の太陽表面から外側までの距離は 18[mm]であり、実際の距離に直すと 7.20×10^4 [km]となった。これが $t=2$ [min]の PE の位置であり、 R_2 とおく。

PE は幅 6[mm]の円殻となった。この体積を概算する。体積を V とおくと

$$V = \iiint f(R)R^2 dR d\theta d\Phi$$

$$= \int_{R_1}^{R_2} R^2 dR \int_0^{2\pi} d\Phi \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin\theta d\theta$$

$$= \frac{2\pi}{3} [R_2^3 - R_1^3]$$

4.80×10^4 [km]と 7.20×10^4 [km]を[m]にして代入しなければならない。よって

$$= 5.50 \times 10^{23} [\text{m}^3]$$

これが円殻の体積である。

太陽表面での圧力は 1.3×10^4 Pa であり^[4]、太陽表面から離れると急激に圧力が下がる。プロミネンスが存在する領域では 6 桁下がり 1.3×10^{-2} [Pa]^[5]となる。これを圧力 P とおく。

したがって、PE の密度 ρ は

$$\rho = \frac{P}{v^2}$$

$$= \frac{1.3 \times 10^{-2}}{(1.60 \times 10^5)^2} [\text{kg/m}^3]$$

$$= 5.08 \times 10^{-13} [\text{kg/m}^3]$$

と求まる。したがって PE の質量 M はこれに体積をかけて

$$M = (5.08 \times 10^{-13}) \times (5.50 \times 10^{23})$$

$$= 2.79 \times 10^{11} [\text{kg}]$$

$$= 2.8 \times 10^{14} [\text{g}]$$

これは今回使用した文献値「 10^{15} g」と 1 桁しか違わない。

9. まとめと考察(2 日目)

今回のプロミネンス放出の重さは 10^{14} [g]となった。 10^{15} [g]^{[1][2]}は CME が放出する平均の質量だから、今回の放出が小規模ならば、1 桁くらい下がるだろう。そして時々ニュースになる大規模な CME だと、平均から増えるだろう。

もし今回の結果が正しかった場合、計算は簡単だから、中学生、高校生にもできそうである。

ただし、教えることが多いかもしれない。プロミネンスや CME の太陽物理、観測装置、PC やそのソフトウェアの扱い、文献探し、解析学などである。特に解析学は少し時間がかかるかもしれない。積分で計算する上での長所は、円でなくても計算できることである。今回は半円だから式はこのような形になったが、楕円でもできるはずである。もし中学生で積分が無理であれば、距離の代入の部分だけ使えばよいだろう。

単位の換算も大変である。太陽の諸定数は、[dyn]や[erg]で書かれているし、文献値も、文献ごとで単位が違う。そのため次の 2 点を生徒にさせなければならない。

(1)単位の換算表^[5]を見ながら、必要な単位の換算して代入する事。

(2)はじき出した値の単位は一体何かを生徒自身に考えさせる事。

しかし、PE について考える事は CME について考える事と同義であり、現代の太陽物理学の根幹である。よって定量的な太陽観測の基礎と

して有効である。天文台のサマースクールなどで可能だろう。

有効数字は基本3桁のはずだが、質量の概算時の文献によって、そこだけ変わるだろう。

10.付録

多くの方からアドバイスにより、徐々に書き直すことができた。その内容は当然レポートの本文に混ぜられなから、付録としてまとめさせて頂いた。

[1]題名の変更：省略

[2]答え合わせの方法：省略

[3]誤差の評価：省略

[4]太陽風の扱い：一部省略

[5]質量の増加の議論の方法：省略

[6]基礎方程式：省略

[7]見当違い：一部省略

[4] 太陽風の扱いについて。今回の概算では、太陽風の影響は無視できるだろう。

高速と低速の太陽風は、加速が開始される太陽表面からの距離が異なるからである^[8]。太陽風による加速は、CME になってから働く。

[5]CME の質量の見積もりを行う時は、コロナグラフを使用するのが一般的である。CME が写っている画像から、発生直前のコロナの明るさを差し引く。そして残った過剰な明るさ (excess brightness) の強度から CME の質量が計算できる^[7]。

計算した対象が SOHO 衛星で観測され、結果が以下のウェブサイトに挙げれば、質量の増加を議論できる。今回のような計算手法は「height-time measurement」と呼ばれる。NASA の CDAW のデータセンタ

<http://cdaw.gsfc.nasa.gov/>

の SOHO/LASCO CME Catalog に今回の PE ないし、PE のデータが載れば、答え合わせができるだろう。

[7]見当違い

これはまず、2次元であるから、プロミネンス噴出の傾きが、観測者から見て斜めに噴き出していた場合、実際より小さく見えるだろう。質量の計算も、時間差を使うより、1枚の画像でもできるはずである。画像が荒いから、ピクセルごとの誤差を出すべきである。

11.謝辞

PE のデータを快く提供してくださった防府市青少年科学館と、これの作成に、休日にもかかわらず付き合ってくれた友人の国安正志様に、心から感謝致します。

12.参考文献

[1]

桜井隆・小島正宜・小杉健郎・柴田一成[編]
シリーズ現代の天文学 10 巻『太陽』
日本評論社 2009 年

[2].

柴田一成・上出洋介[編著]
『総説・宇宙天気』
京都大学出版協会 2011 年

今回は要約のため、多くの部分を省略しています。このレポート（ようなもの）の完全体（？）を、以下の場所に、以下の名前で置いています。ご覧頂けましたら幸いです。

<http://yahoo.jp/box/cPpWWN>

PE 概算今度こそ完成。配布用.pdf