

投稿

小口径望遠鏡を用いた太陽の5分振動の検出

～米子高専科学部の研究紹介～

竹内彰継（国立米子工業高等専門学校）、

林原真史（国立米子工業高等専門学校 電気情報工学科 4年）

1. はじめに

最近のアマチュア天文家のレベルの向上はめざましい。観測機材の性能と画像処理技術の両者の向上により、筆者（竹内）が大学院生であった1980年代に大望遠鏡で観測された画像と匹敵、あるいは凌駕する画像が天文雑誌の投稿コーナーににぎわしている。

一方、1980年代の観測に匹敵する画像が得られるということは、当時第一線で行われていた研究がアマチュアの手でも実行できるということを意味している。そこで、筆者は米子高専科学部員に当時行われていた研究テーマを与え、本校の小口径望遠鏡（図1）で天体を観測・解析させている。[1][2]



図1 米子高専の3連太陽望遠鏡と科学部員
今回の観測で用いたのは3連望遠鏡の中央の1本のみ。

その流れで、2012年度は太陽の5分振動の検出という研究テーマを与えた。具体的には、太陽光球の明るさの時間的・空間的变化を調べるために、明るさの変動のパワースペ

クトルを $k\omega$ 図上にプロットさせた。このとき、 k は水平方向の波数で ω は角振動数である。その結果、太陽の5分振動に特徴的な「リッジ構造」の検出に成功した。

本研究では特殊な観測装置や解析手段は使用していない。したがって、普通の高等学校の天文部でも実施可能な研究テーマである。しかし、リッジ構造の検出には多少の注意が必要であった。そこで、以下では単なる研究報告ではなく、リッジ構造を検出するための注意点についても詳しく紹介する。本稿が高等学校などで天文部を指導する顧問の先生方の参考になれば幸いである。

2. 太陽の5分振動とは？

2.1 太陽の5分振動とは？

太陽の表面は約5分の周期で上下方向に振動している。これは、太陽の「5分振動」と呼ばれる現象で、数千km四方の領域がほぼ同じ位相で約1km/sの速度振幅で振動している[3]。5分振動の研究は1970年代に飛躍的に発展し、それが太陽の対流層に閉じ込められた音波モードの固有振動であることが明らかになった。[4]

2.2 何を観測し、何を示すか？

5分振動は主に分光器を用いた速度場の観測で検出されている。しかし、5分振動は音波モードの振動であり温度変化も伴うので、光球面の明るさの変動を観測して検出した例もある[5]。そこで、(当時本校では適当な分光器が使えなかったこともあり、)明るさの変動を観測して5分振動を検出することにした。

ところで、5 分振動は太陽の固有振動である。そのため、水平方向の波数 k と角振動数 ω は勝手な値をとることができず、図 2 の様なリッジ構造をとることが知られている。そこで、本研究ではこのリッジ構造の検出を目指した。

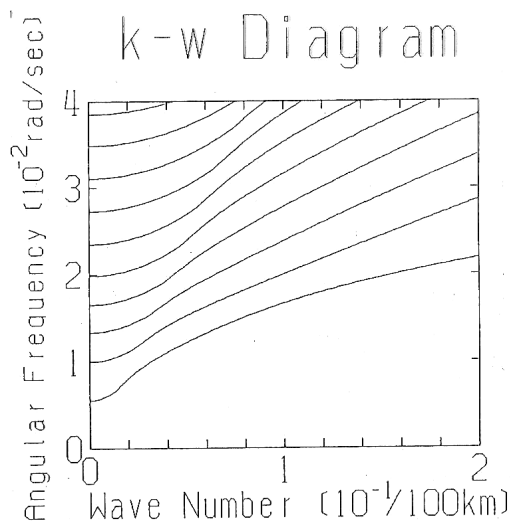


図2 5分振動の $k\omega$ 図上でのリッジ構造の模式図

横軸が水平方向の波数 k で縦軸が角振動数 ω であり、図中の曲線がリッジ構造である。5 分振動は太陽の固有振動であるため k と ω は勝手な値をとることができず、 $k\omega$ 図上に特徴的なリッジ構造があらわれる。

3. 観測

観測は 2012 年 6 月 6 日（金星の日面通過の日!!）に行った(図 3)。観測には口径 80mm、焦点距離 910mm のアクロマート屈折望遠鏡の直接焦点を使用した。

このとき、対物レンズの前面に ND400 フィルター2 枚、ND8 フィルター、ND4 フィルター、PO-1 フィルター（緑色）、R60 フィルター（赤色）を装着して減光した。なお、

PO-1 と R60 は減光だけではなく、アクロマートレンズの色収差を除去するために装着した。

撮像はビットラン社製冷却 CCD カメラ BJ41L で行い、露光時間を 0.01 秒、時間間隔を 60 秒として 100 コマ連続撮像した。さらに、観測時にダーク、フラット、フラットダークを 10 コマずつ撮像し、それらを平均してダーク・フラット処理を行った。

撮像データは画像が 100 コマあるので、画像 $\times$ 100 コマの三次元配列として IDL を用いて解析を行った。

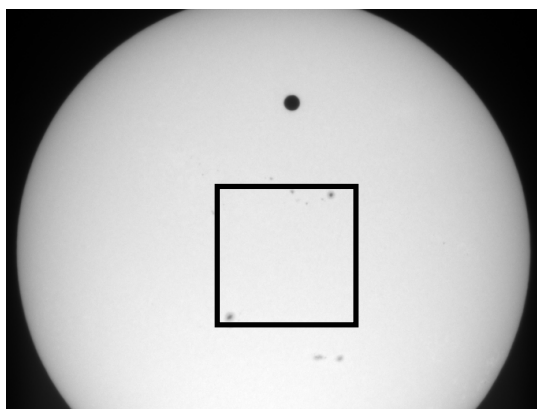


図3 解析に利用した太陽画像の一コマ
中央上に見えているのは日面通過中の金星で、暗いしみは黒点である。解析では、周縁部での 5 分振動の波長のゆがみを避けるために、太陽の中心付近の正方形領域のデータのみを使用した。

4. 解析

太陽面は球面である。したがって、太陽の周縁部では 5 分振動の波長が動径方向に縮んでしまう。そこで、波長の動径方向の縮みが 10% 以下になるように、画像の中央部分（図 3 の正方形領域内部）のデータだけ抜き出して解析した。なお、正方形領域の一辺の長さは太陽面上で 42 万 km となった。この

とき、正方形領域内の黒点を利用した「相関追跡法」によって、望遠鏡のガイドエラーと太陽の自転の影響を補正した。

ところで、正方形領域の各ピクセルを時間方向に一次元配列として抽出したところ、すべてのピクセルの明るさが同様の時間変動を示していることがわかった。正方形領域のサイズは粒状斑の大きさ（～千km）や5分振動の波長（～数千km）より十分大きい。したがって、この変動は（観測当日は快晴であったが）大気の透明度が微妙に変化したことが原因と考えられた。そこで、時間ごとに各ピクセルの明るさを正方形領域内の明るさの中央値で割り算し、大気の透明度の変化を補正した。

続いて、最小二乗法を用いて各ピクセルの明るさの変動に時間の2次関数をあてはめ、それを引き算することにより変動の直流成分を除去し、5分振動が顕著にあらわれるようにした。

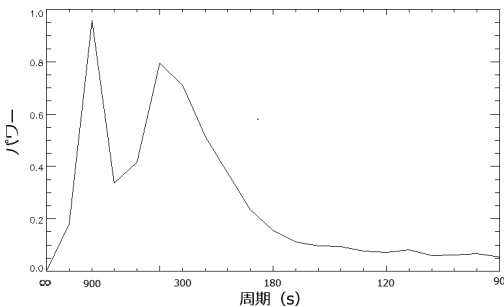


図4 明るさの時間変動のパワースペクトルを正方形領域全体で積分したもの
明らかに周期5分の位置にパワーのピークが見られる。周期15分のピークは対流によるものと考えられる。

その後、時間方向にフーリエ変換を行い、各周波数での明るさのパワーを正方形領域内で空間方向に積分し、正方形領域全体のパワースペクトルを作成した（図4）。図4より明

らかに周期5分の振動が存在している。なお、周期15分にもピークがあるが、これは対流によるものと考えられる。

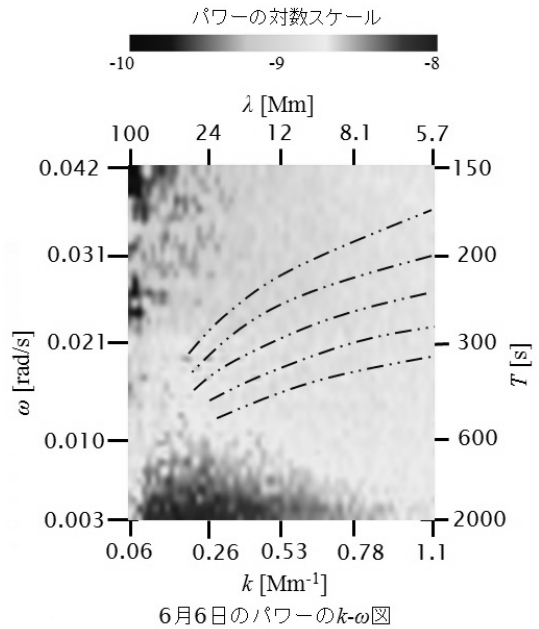


図5 明るさの変動のパワースペクトルを k ω 図上にプロットしたもの

図より5分振動に特徴的なリッジ構造（2点鎖線）が見えており、5分振動が検出できたといえる。

5. 結果

図4のパワースペクトルには明らかに5分周期のピークがあらわれている。そこで、これが5分振動を表すものか確認するためにパワースペクトルを $k\omega$ 図上にプロットした。

具体的には、時間方向にフーリエ変換したものを x 方向、 y 方向にも同じようにフーリエ変換を行い波数平面でのパワースペクトルを作成し、それを $k\omega$ 図上にプロットしなおした。作成した $k\omega$ 図をみると、撮像時間が60分と短かったため ω 方向の解像度が悪いがリッジ構造（図5の2点鎖線）が確認できる。このことから5分振動が検出できた

といえる。

6. まとめ

小口径望遠鏡で太陽の明るさの場所的・時間的変動を観測し、そのパワースペクトルを $k\omega$ 図上にプロットして、5 分振動に特徴的なリッジ構造の検出に成功した。

本研究では特殊な観測装置や解析手段は使用していない。したがって、普通の高等学校の天文部でも実施可能な研究テーマである。ただし、リッジ構造は非常に淡く、データを解析する際には以下の注意が必要であった。

- ① 太陽面が球面であることによる 5 分振動の波長のゆがみを避けるため、太陽の中心部分のデータだけを使うこと。
 - ② 黒点を利用して、相関追跡法でガイドエラーや自転の効果を補正し、太陽面に固定された領域を選び出すこと。
 - ③ 観測日が快晴でも大気の透明度は微妙に変化している。時間ごとに解析画像の明るさの中央値で規格化し、大気の変化を補正すること。
- 観測データに 2 次関数をあてはめて、それを引き算することにより変動の直流成分を除去すること。

米子高専科学部では今後ともこのような研究活動が続けていく予定である。そして、天体を観測し、データを解析することによって何らかの物理量を得る喜びを学生たちに体感させていきたい。

文 献

- [1] 平田佐保子、原明亜矢子、森次奈津子、阿部勝世、高見直道、田中立造、竹内彰継、2003、「太陽彩層光度の極一赤道差の検出の試み」、米子高専研究報告、No.39、p.12

- [2] 大脇秀捷、加川庸一、川上優太、久古貴将、笹谷航、富田拓也、波多野瑤、林原真史、竹内彰継、2012、「 $H\alpha$ 線による黒点の 3 分振動の検出」、米子高専研究報告、No.48
- [3] 平山淳編、現代天文学講座 5、『太陽』、恒星社厚生閣発行
- [4] 尾崎洋二、(1979)、「太陽の 5 分振動」、日本物理学会誌、第 34 巻、第 6 号、466-472 頁
- [5] Nishikawa, J. et al. (1986) 'Detection of Solar Five-Minute Oscillations through White-Light Intensity', PASJ, 38:277

竹内彰継

林原真史