

太陽黒点データアーカイブの活用

山口慎太郎、小野寺幸子(明星大学)、大辻賢一(情報通信研究機構)、萩野正興、桜井隆、篠田一也、西田和樹(国立天文台)、鴨部麻衣、石井貴子、一本潔(京都大学)

概要

太陽の黒点スケッチは多くの教育機関やアマチュア天文家によって行われてきた。この黒点観測から太陽活動周期や緯度分布の時間変化(蝶形図)などが発見され、また確認されてきた。これらのデータが散逸しないために、アーカイブシステムの構築が必要である。ここでは京都大学花山天文台で行われてきた黒点スケッチを例に、太陽データのアーカイブ化とそのサイエンスへの活用について報告する。

1. はじめに

太陽黒点観測データは 1610 年のガリレオによる観測以来、世界中で数多くの研究機関やアマチュア天文家によって取得されてきた。現在では、この太陽黒点観測のデータはベルギー王立天文台にある SIDC/SILSO(Solar International Data Center/)に集められ、統計処理されている(Clette)。一方で、日本国内でも多くの黒点観測のデータが取得されているが、SIDC/SILSO のようなシステムが見られないのが現状である。これらの貴重なデータが散逸しないようアーカイブシステムを構築しなくてはならない。そんな中でも、小規模な国内における先行事業として、国立天文台太陽観測科学プロジェクト、京都大学附属花山天文台の太陽観測が挙げられる。これらの地上太陽黒点観測データをそれぞれの機関のデータサーバーに蓄積し、web で閲覧できるように公開している(桜井、鴨部(技術シンポ))。

このように取得され、蓄積されたデータの研究や教育への活用に焦点を当てることも重要である。太陽黒点に関する先行御研究として、Berdyugina (2003)や Raphaldini(2023)の行った太陽活動経度の研究が挙げられる。Berdyugina はグリニッジ天文台の 1874 年から 2001 年の黒点スケッチによるデータを用いて太陽黒点は約 180 度離れた経度に出現する傾向にあることを見いだした。一方で、Raphaldini は太陽観測衛星 SOHO/MDI と SDO/HMI で観測された磁場のシノプティックマップを用いて、太陽活動経度の低緯度におけるドリフトを見いだした。これらの研究は太陽を含む恒星におけるダイナモ問題を解くカギになると考えられている。

ここで重要なのは観測機関で単発的に処理されているシステムを見直し、さらに分野横断的に、すなわち太陽分野だけでなく恒星物理のデータとして、活用できるサービスが必要であると考ええる。

2. 太陽黒点データアーカイブに関する事例

ここでは国内における太陽黒点観測データについて国立天文台太陽観測科学プロジェクトと京都大学理学研究科附属天文台でのアーカイブ事例について紹介する。

2.1 国立天文台 太陽観測科学プロジェクト

国立天文台では、太陽フレア望遠鏡や新黒点望遠鏡などの観測装置で取得された、1910 年代から現在までの様々な太陽観測画像・データをアーカイブし、web サイトで公開している(桜井、)。ここでは、国立天文台三鷹キャンパスの第一赤道儀室の 20cm 赤道儀望遠鏡(通称八吋)にて 1938 年から 1998 年

に国立天文台で行われてきた黒点スケッチを挙げる。これらのスケッチは低解像度（ 885×885 pix の jpg ファイル）と高解像度（ 3500×2500 pix の gif ファイル）の 2 種類でスキャンされデジタルで公開されている。このデータ容量は累計で約 46GB である（図 1）。国立天文台での太陽黒点観測は CCD カメラで撮像し、そのデータから黒点を自動検出する新黒点望遠鏡に引き継がれている。新黒点で得られたデータ容量の累計 1998 年から 2023 年の期間で約 390GB である。

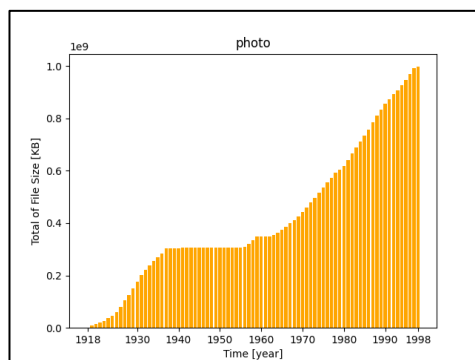


図 1 データ容量の推移

2.2 京都大学理学研究科附属天文台

花山天文台で行われている太陽黒点スケッチによる観測は、ザートリウス望遠鏡のガイド望遠鏡を活用して行われ、本研究で用いたデータは 2004 年 8 月 1 日から 2023 年 12 月 31 日まで 3031 日間のものである。ここで 2020 年から観測日数が急増しているが週末の公開が始まり、土曜日と日曜日の観測が行われるようになったからである。観測された黒点スケッチはスキャンされその画像の jpg ファイルはスケッチから求められた各黒点群の位置表 csv ファイルとともに web 上で公開されている。

一方、飛騨天文台では 2016 年に SMART 望遠鏡に SDDI（全面像速度場装置）が新設された（一本, Otsuji et al. (2016)）。ここでは京都大学で開発された狭帯域チューナブル・フィルター(Hagino et al.(2015), 木村)を用いて太陽全面を $H\alpha$ 線($6562.8 \text{ \AA}$)とそのウィング ($-2.0 \text{ \AA} \sim +3.5 \text{ \AA}$) を観測している。データ量の推移を（図 2 右）に示す。この期間の容量は累積で約 2.5TB である。ここで、我々が特に注目しているのは $+3.5 \text{ \AA}$ のデータである。これは $H\alpha$ 線の吸収から離れた連続光域の波長を観測したもので、太陽光球像が取得している。このデータに対して国立天文台で作られた黒点の自動スケッチのプログラムを応用して、解析する準備を行っている。

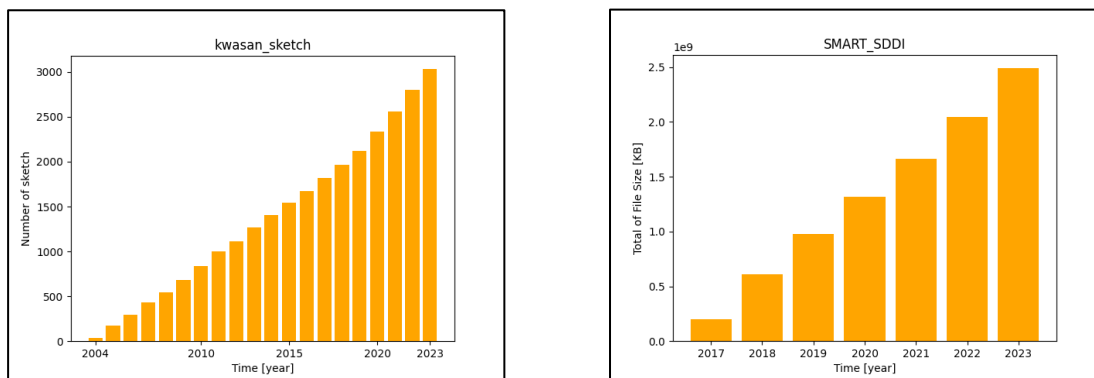


図 2 花山天文台観測日数の推移（左）、飛騨天文台データ容量の推移（右）

3. アーカイブデータの活用例

黒点の出現緯度に関しては『蝶形図』として良く知られている。これは太陽の活動周期が進むと黒点の出現緯度が中緯度から低緯度に向かって近づく傾向を表している。この傾向をもとにバブコックは太陽ダイナモの標準モデルを構築したと言われる。この緯度分布と同様に、黒点が発生する経度にも傾向があると言われている。Raphaldini(2023)は太陽観測衛星で得られた磁場のシノプティックマップを用いて Hovmöller ダイアグラム (stack plot) を作成し、活動経度に関して詳細な調査を行った。その結果、低緯度に出現する黒点の黒点は太陽の自転に対して早くなる傾向（順行）を示し、中緯度帯では自転に対して遅くなる傾向（逆行）を報告している。このような黒点（磁束管）の出現位置が太陽に限らず、他の恒星の黒点でも同様に振舞うのであれば、同じ物理法則（ダイナモ機構）に従ってその磁場を維持していると考えられる。実際に太陽と同様の磁気活動が対流を持つさまざまな冷たい星で観測されている (Berdyugina, 2005)。

我々は花山天文台の太陽黒点スケッチデータから求められた各黒点群のキャリントン経度を用いて、第 24 太陽周期の黒点群の出現経度について周期解析を行なった (山口, 2023)。ここでは、各黒点群の出現経度に対する活動領域被覆率 (0~1) を定義した。例えば、この被覆率が 0.2 の場合、緯度範囲 10 度分のうち、2 度分に黒点群が存在することを表している。この被覆率を用いて、太陽サイクル 24 の極大期の Hovmöller ダイアグラムを作成した (図 3)。ここで横軸がキャリントン経度(0-360 度)、縦軸がキャリントン回転番号 (時間) を表している。Raphaldini(2023)の結果と同様にキャリントン回転の数回にわたって低緯度での出現経度の順行が持続されていることがわかった。またこの順行は太陽が約 0.5[度/回転]の運動として現れ、黒点群が自転に対して先行する経度に出現することがわかった。

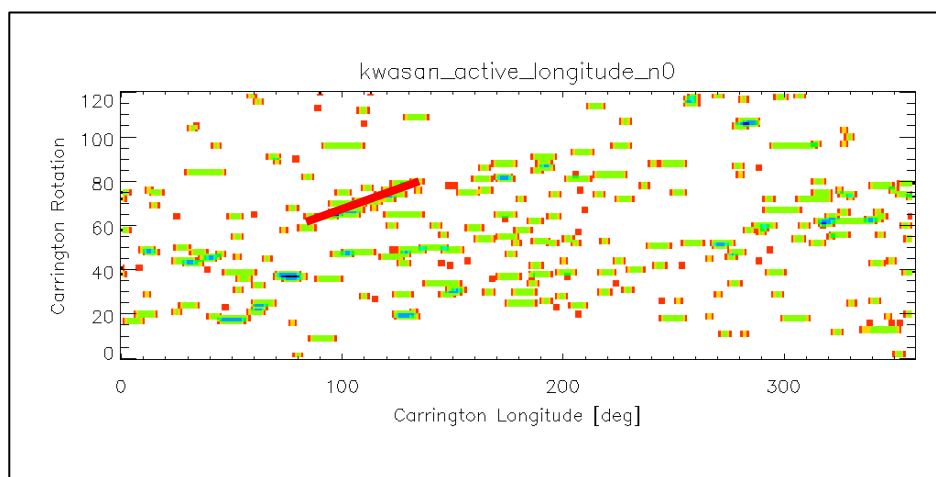


図 3 キャリントン回転ごとの経度分布（北緯 0~10 度）

4. 議論

宇宙のタイムスケールと人類のタイムスケールを比較したとき、人類が観測したデータは非常に少ない。貴重な観測データを散逸させないためには、アーカイブ化が不可欠である。観測が行われた場所、日時、関与した研究者、観測目的などの情報を残すことが重要であり、例えば太陽の画像だけを保管しても、観測当時の詳細な記録がなければその意味は薄れてしまう。

データを蓄積すると容量も増える一方である。画像データを軽量なメタデータに変換することが望ましい。例えば、黒点の位置や星表カタログなどの情報はテキストファイルに保存することで、データの蓄積

を効率的に行うことが可能である。データの保存に関して、時間分解能や空間分解能、波長分解能なども検討し、適切な解像度で保存することが求められる。

一方で、デジタルデータだけではなく、実際のフィルムや乾板などのデータを残す努力が必要である。これは、すでに論文などになっている当時の解析方法を再現することができ、またその手法が正しかったかどうか確認することができる。しかし、このようなアナログデータ保存には保存スペースの確保、経年劣化、適切な環境整備の問題が存在する。今後もサイエンスに使用できるデータを保管していくためには、これらの課題に対処し、効果的な保存方法を検討する必要がある。

5. 参考文献

- [1] Berdyugina, S. V., and Usoskin, I. G. , A&A 405, 1121-1128, 2003
- [2] Berdyugina, S. V., Living Rev. Solar Phys., 2, 8, 2005
- [3] Hagino, M., Ichimoto, K., Kimura, G., Nakatani, Y., Kawate, T., Shinoda, K., Suematsu, Y., Hara, H., Shimizu, T., In: Advances in Optical and Mechanical Technologies for Telescopes and Instrumentation, Proc. SPIE 9151, 91515V., 2014
- [4] Ichimoto, K., Ishii, T. T, Otsuji, K., Kimura, G., Nakatani, Y., Kaneda, N, Nagata, S., UeNo, S., Hirose, K., Cabezas, D., and Morita, S., Solar Phys., Volume 292, article number 63, 2017
- [5] Raphaldini, B., Dikpati, M., and McIntosh, S. W., ApJ, 953, 156, 2023
- [6] 鴨部麻衣, 仲谷善一, 玉澤春史, 西田圭佑, 大辻賢一, 野上大作, 柴田一成, 有本淳一, 萩野正興, 第 38 回天文学に関する技術シンポジウム 2018 集録, 2018
- [7] 木村剛一, 一本潔, 萩野正興, 仲谷善一, 上野悟, 篠田一也, 原弘久, 末松芳法, 清水敏文, 第 35 回天文学に関する技術シンポジウム 2015 集録, 2015
- [8] 桜井隆, 国立天文台ニュース, 272, 36-37, 2016
- [9] 山口卒論
山口慎太郎, 小野寺幸子, 鴨部麻衣, 萩野正興, 日本天文学会 2023 秋季年会 M15b, 2023