

世界屈指の安定観測で太陽活動復元へ貢献 ～川口市立科学館所蔵の40年間の太陽観測記録の分析から～

国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学大学院高等研究院/宇宙地球環境研究所の早川 尚志 特任助教らの研究グループは、川口市立科学館（埼玉県）、国立天文台、ベルギー王立天文台（ベルギー王国）らとともに、川口市立科学館に保管されている過去40年の太陽観測記録を分析しました。

その結果、同館所蔵の太陽観測記録は、(1) ベルギー王立天文台の黒点相対数・太陽長期観測世界データセンター（SILSO）が把握したものよりも分量が多いこと、
(2) 全ての観測が、川口市立科学館の同一人物の観測記録であること（世界でもかなり稀な事例である）、
(3) 世界各地の長期黒点観測者のデータと比べても、世界屈指の安定性を誇ることを明らかにしました。

太陽黒点観測に基づく黒点相対数^{注1)}は、直接観測ベースでの太陽活動の長期変動を復元する上で、過去数世紀にわたる情報を提供し得る非常に貴重なデータです。

近年の研究では、太陽活動の復元には、個別観測の較正などの問題、復元結果が必ずしも一致するとは限らない問題がありました。その問題を克服するために重要なことは、個別観測者による均質性の高い観測データです。

同館の観測記録は、その世界屈指の安定性から、現在進行中の過去数世紀の太陽活動の再較正の試みに大きく寄与する可能性があります。また、同館のオリジナルの黒点スケッチ記録は、太陽活動の長期変動のみならず、短期的な宇宙天気現象の理解にも寄与し得る可能性が期待されます。

なお、この黒点スケッチ記録は、川口市立科学館のWEBサイトで公開しました。この研究成果は、2022年12月26日午前0時（日本時間）付イギリス科学雑誌「Geoscience Data Journal」オンライン版に掲載されました。

【研究背景と内容】

太陽は、人類にとって最も身近な天体であると共に、地球にとっての最大規模のエネルギー源の一つでもあります。そのため太陽活動の長期変動は、地球環境や地球気候への影響、太陽面爆発の理解など、様々な科学議論にとって必要不可欠な指標になります。幸いにも、太陽は 1610 年以來、断続的に望遠鏡観測が続けられてきた存在です。当時から現代まで数多の科学者が太陽を観察し続け、連綿と続く彼等の観測は、人類史上でも最長の科学実験の一つとして、Nature 誌の特集記事に取り上げられたほどです (Owens, 2013)。

過去の太陽活動は、黒点相対数 (Relative Sunspot Number) や黒点群数 (Sunspot Group Number) で各々1700年、1610年から復元されていますが、その根底となるのが先人の太陽観測記録です (Clette *et al.*, 2014; Muñoz-Jaramillo & Vaquero, 2019)。このような計量指標は、近年の太陽電波強度など、様々な科学指標と補完的に、太陽活動の長期変動を明らかにしており、太陽活動の物理機構、地球環境への影響などについての議論の基礎となってきました。

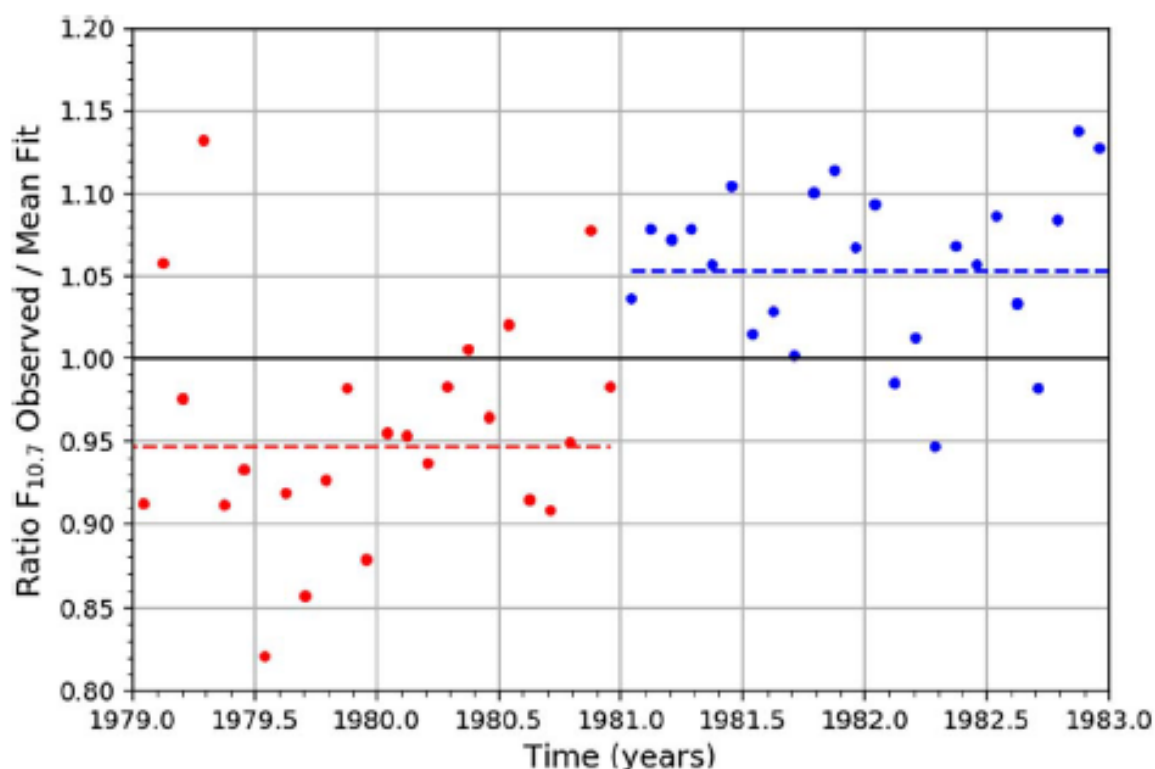


Fig. 24. Monthly ratios between the observed monthly mean $F_{10.7}$ flux and the proxy value derived from the linear fit over the entire interval 1947–2015 (Table 4). The dashed lines correspond to the global fits on the entire half-series before and after 1980.

図 1: 二つの太陽活動指標 (太陽電波 (F10.7) 強度観測と黒点相対数) の比率の変動 (Clette, 2021, JSWSC, 11, 2; CC BY 4.0)。Clette (2021) は 1980 年頃に両者の比率に変化が生じているとしている。

しかし、近年の研究で、太陽活動の復元にあたり、個別観測の較正など、問題点も少なからず浮かび上がってきたのもまた事実です。近年の新データの追加、既存データの改訂、較正手法の発展を受け、2014年以降、黒点相対数や黒点群数は本格的に改訂が施され、これまでの太陽活動の長期トレンドも含め、再検討が進められてきました (Clette *et al.*, 2014; Usoskin *et al.*, 2016; Chatzistergos *et al.*, 2017; Muñoz-Jaramillo & Vaquero 2019)。一方、太陽活動の復元結果は複数指標や個別指標の各版で必ずしも相互に一致するとも限らないようです (図 1)。このような問題点は、特に 1900 年以前の太陽活動の復元について顕著ですが、20 世紀以降についても、1950 年頃、1980 年頃など複数の箇所で、個別復元の齟齬 (Svalgaard *et al.*, 2016; Lockwood *et al.*, 2016; Clette & Lefèvre, 2016)、太陽電波強度観測との間の齟齬 (Clette, 2021) が報告されてきました (図 1)。

この問題を克服する上で重要なのが、個別観測者による均質性の高い観測データです。黒点観測記録を取りまとめる、ベルギー王立天文台の近年の研究では、シフト制で交代する専門機関の観測所の観測結果より、同じ人間が、同じ観測機材で、長期間観測を続けた際の観測結果の方が、長期的にも短期的にも観測データが安定することも分かってきました (Mathieu *et al.*, 2019)。一方、個別観測者のデータや背景情報の中には、科学コミュニティ (特にベルギー王立天文台の黒点相対数・太陽長期観測世界データセンター (以下、SILSO)) に、その詳細がこれまで共有されて来なかったものも少なくありません。

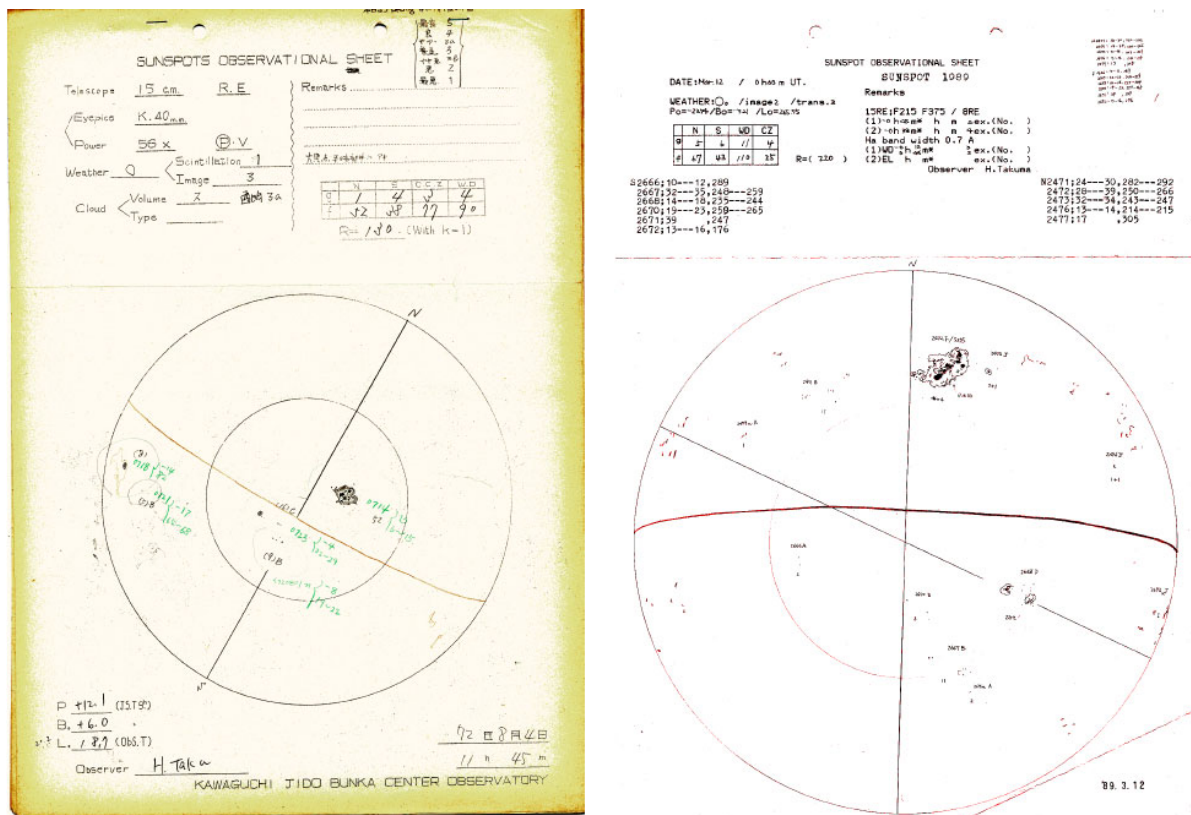


図 2 : 川口市立科学館に保管される黒点観測記録群。左は 1972 年 8 月 4 日、右は 1989 年 3 月 12 日のもので、巨大な太陽嵐を起こした太陽黒点の様子をよく捉えています (川口市立科学館提供)。

本研究では、川口市立科学館に保管されている黒点観測（黒点スケッチ、ログブックなど：図2）について調査し、多角的に分析を行いました。その結果、川口市立科学館所蔵には、実に1972年5月から2013年3月に至るまでの1万枚以上の黒点スケッチが残されており、その分量はSILSOが把握したもの（1981 - 2010）よりもかなり多いことが明らかになりました。



図3：太陽黒点スケッチを記録する詫間等氏の様子（清水1983, p. 16より）

この観測記録の重要性は、観測期間の長さだけではなく、安定性にあります。SILSO側での理解と異なり、黒点スケッチの全ての観測は、川口市立科学館の詫間 等 氏（図3）お一人の手で成し遂げられた偉業であり、それ故に、データの均質性が高いことも重要です。同館の観測記録を調べると、詫間氏は、川口市立児童文化センター時代（1972年5月～2003年3月）には、一貫して15cm屈折望遠鏡を利用し（ただし太陽の投影サイズは1976年1月、1985年6月に2回ほど変化）、川口市立科学館に移られてから（2003年4月～2013年8月）は、同館の20cm望遠鏡を使って来られたことも明らかになりました（図4）。

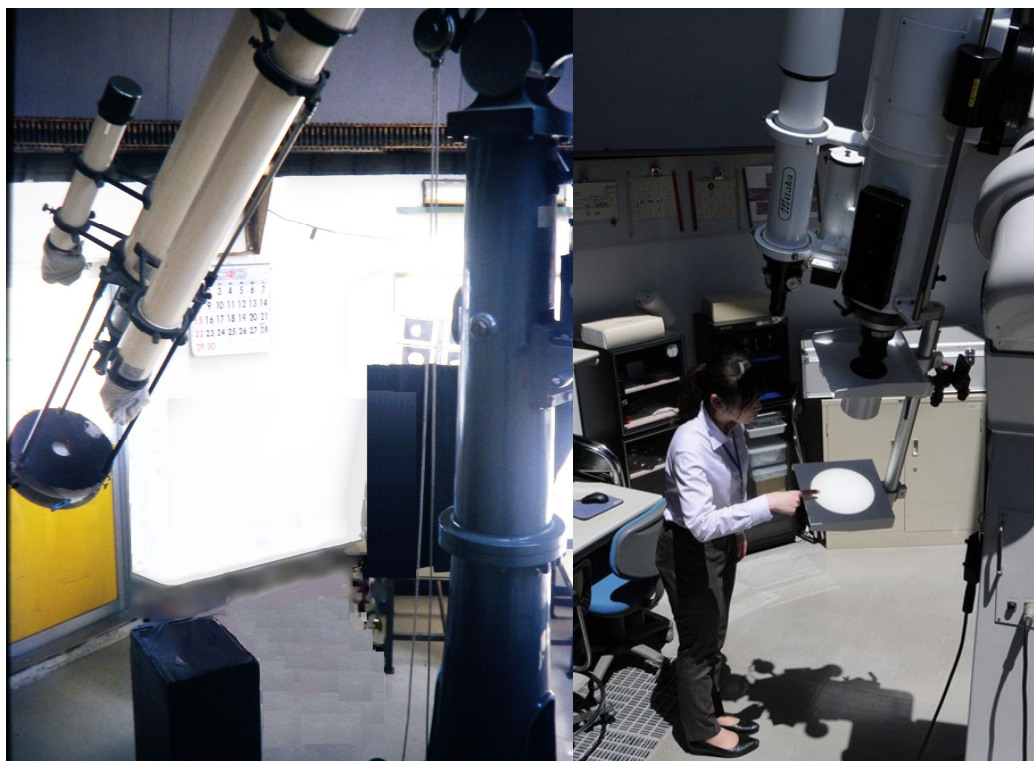


図 4: 詫間等氏の利用した望遠鏡。左が、川口市立児童文化センター時代に利用した 15 cm 望遠鏡。右が、川口市立科学館時代に利用した 20 cm 望遠鏡（川口市立科学館提供）。

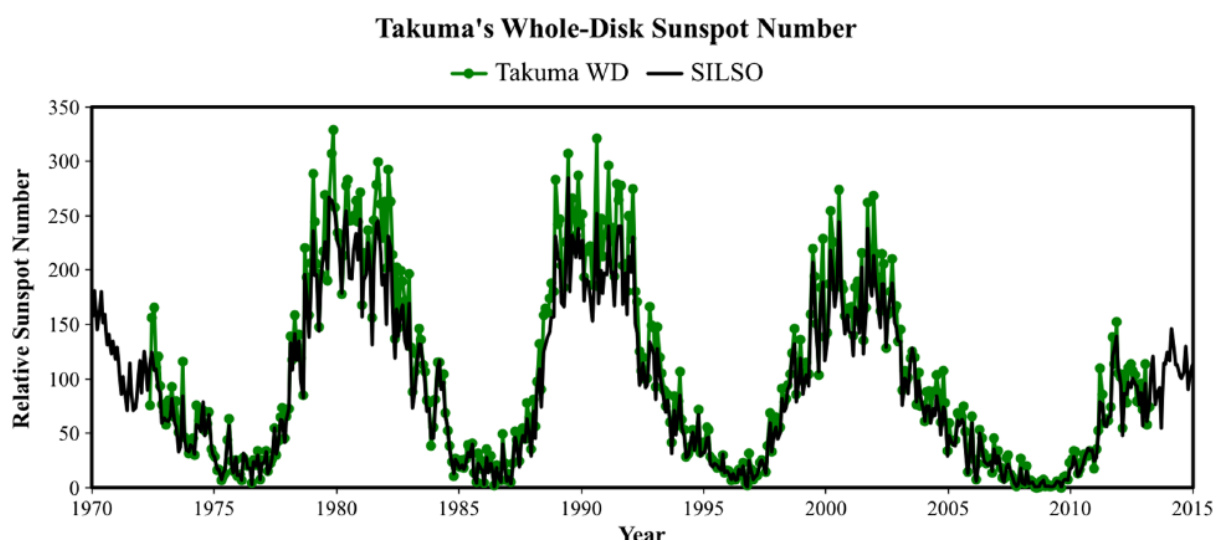


図 5: 1970 – 2015 年にかけての詫間氏による太陽黒点相対数（緑曲線）と SILSO の国際黒点相対数（Version 2）（黒曲線）

川口市立科学館のように、40 年にも及ぶ長期観測を行いながら、観測人員、観測地、観測人員、観測機材をほとんど替えずに観測を続けて来られたことは、世界でもかなり稀な事例です (Clette *et al.*, 2016)。川口市立科学館の詫間氏の観測データはこれまで、SILSO による黒点相対数復元には用いられてきませんでした (Clette *et al.*, 2016)。本研究では、互いに独立な両者のデータを 1972 – 2013 年にわたって比較しました (図 5)。

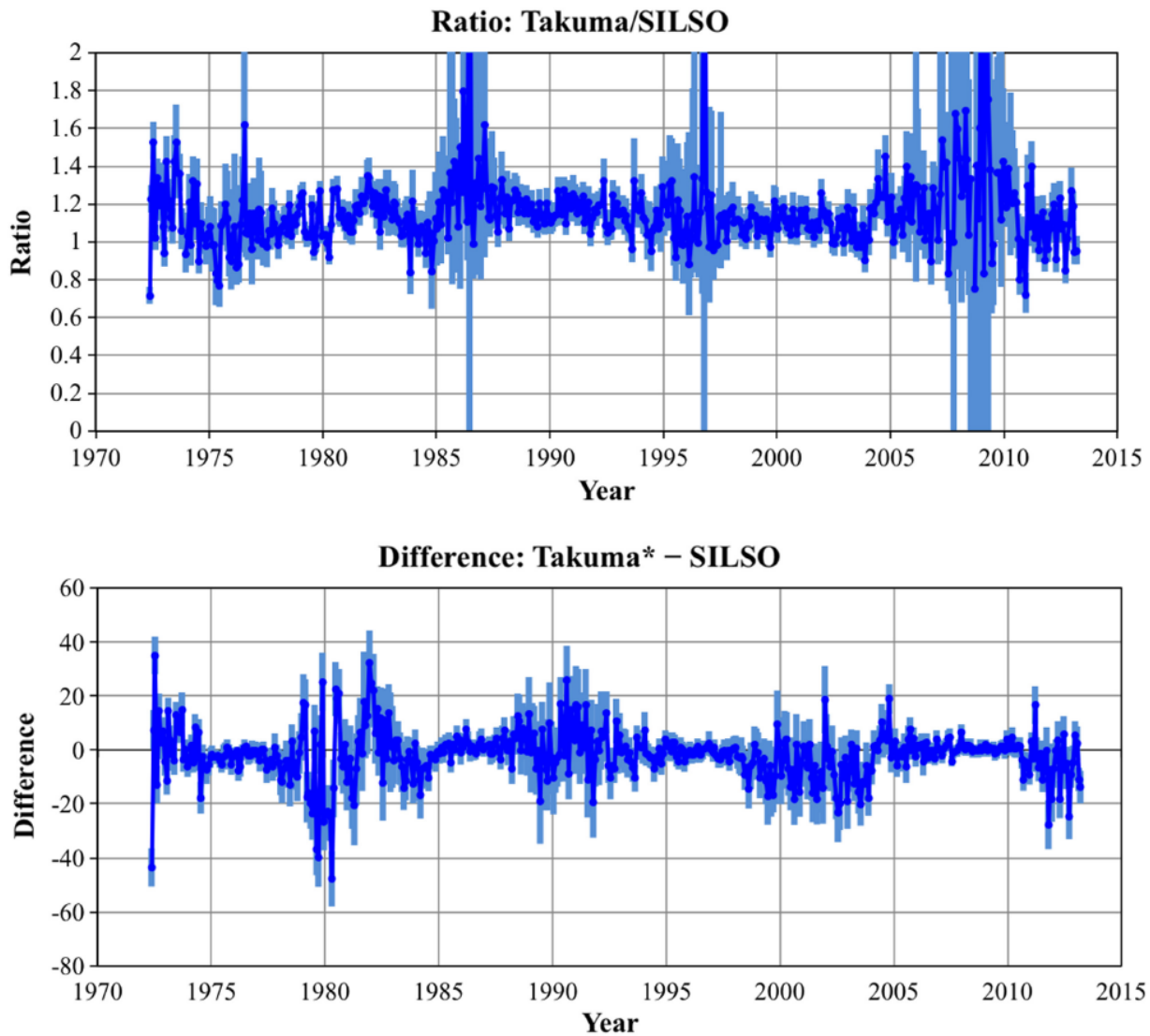


図6：詫間氏による黒点相対数とSILSO国際黒点相対数（Version 2）^{注2）}の比較。上のパネルは、両者の比率の変動を示している。下のパネルは、詫間氏に補正值（1.16）をかけた際の両者の差を示している。薄青色の部分は各々の誤差幅を示している。

その結果、詫間氏の観測結果は40年間、国際黒点相対数（Version 2）に対し、ほぼ 1.16 ± 0.23 の比率で安定して推移していることが判明しました。詫間氏の観測データが、SILSOの国際黒点相対数（Version 2）に対してやや不安定になっている箇所は、そもそもの黒点相対数の分母が小さくなる太陽活動極小期か、太陽面の投影サイズや観測値に変化があったタイミングかの周辺に対応することもわかりました。その上で、詫間氏の観測結果にこの補正值をかけたデータは、SILSO国際黒点相対数（Version 2）に対して誤差幅の範囲でほぼ等しいことが明らかになり、詫間氏の観測結果がいかに安定しているかを如実に可視化する結果となりました（図6）。

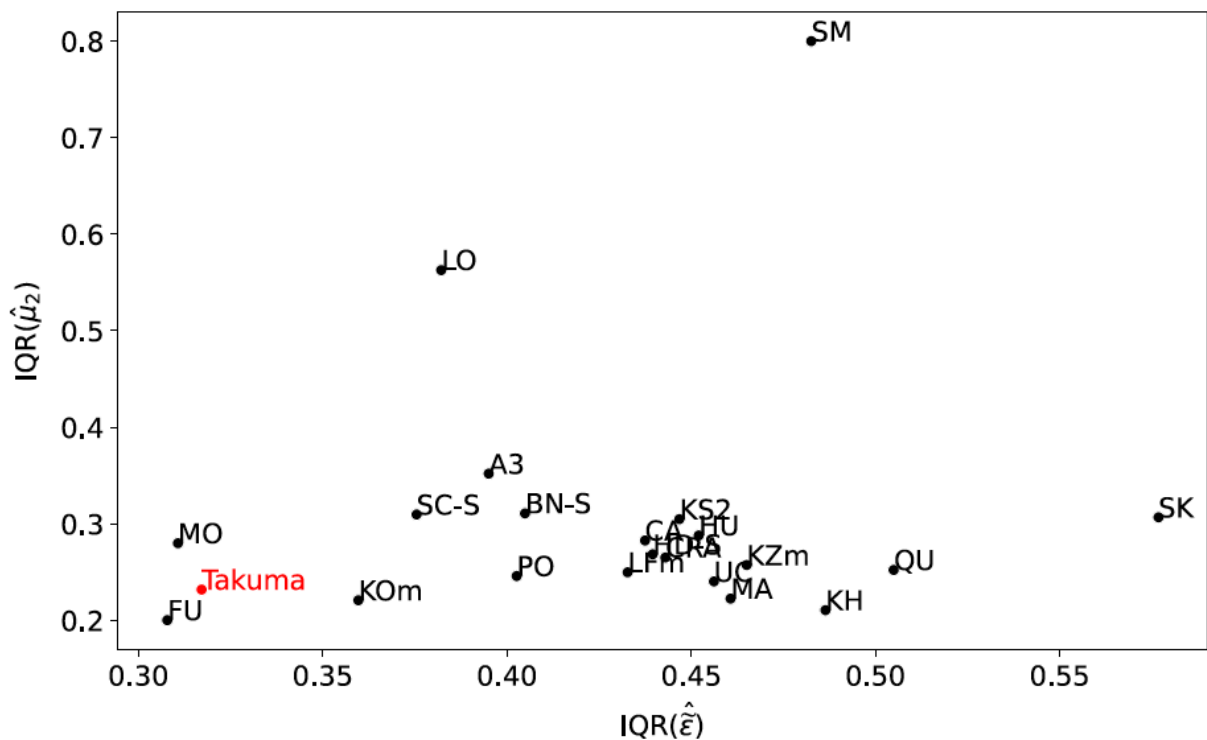


図 7 : 川口市立科学館の詫間氏の観測データ (Takuma) の安定性と、SILSO の国際黒点相対数の参照データに用いられている、他の長期観測者のデータの安定性との比較。縦軸が長期の安定性、横軸が短期の安定性を示し、数値が小さいほどデータが安定していることを示している。例えば、MO, FU, KOM, LO, UC は各々望月氏、藤森氏、小山氏、ロカルノ観測所 (スイス)、ベルギー王立天文台の観測データを示している。

詫間氏の観測データの安定性は、世界各地の長期黒点観測者のデータと比べても特筆すべきものです。本研究では、Mathieu *et al.* (2019) の手法に従い、詫間氏の観測データの安定性を長期安定性 (縦軸)、短期安定性 (横軸) の観点から、SILSO の国際黒点相対数の復元に用いられている世界各地の長期観測者のデータの安定性と定量比較しました。その結果、詫間氏のデータは世界屈指の安定性を誇り、短期安定性の観点からは、ベルギー王立天文台、小山ひさ子氏や藤森賢一氏 (いずれも本邦の個人観測者)、長期安定性の観点からは藤森氏や望月悦育氏 (いずれも本邦の個人観測者) に伍することが明らかになりました。

本論文での研究成果は、ベルギー王立天文台が 2016 年に公開した国際黒点相対数 (Version 2) と符合し、その近年の改訂を大きく支持するものです。また、近年指摘された SILSO の国際黒点相対数 (Version 2) と太陽電波強度観測の 1980 年頃のズレについても、最新研究 (Clette, 2021) と同様に、SILSO の国際黒点相対数 (Version 2) の側の安定性を支持する結果となりました。

手動による黒点スケッチ観測を引継ぎ、2010 年 9 月より運用している自動スケッチ観測のデータを含め、川口市立科学館で取得された全ての黒点スケッチ記録は同館の WEB サイトにて公開が進められ、この程公開が完了しました。

(http://www.kawaguchi.science.museum/astro_room/solar_data/index.html)

また、2003 年に運用を開始した太陽表面の磁場を観測する「マグネトグラフ」を含む 6 連式太陽望遠鏡による多波長のフィルター観測のデータも併せて公開され、科学コミュニティのみならず興味ある方はどなたでもアクセスできるようになっています。

この成果は、一人の長期太陽観測者の成果から、それが例え近年の観測結果であっても、太陽活動の長期変動について科学コミュニティがいかに多くを学び得るかの好例といっても過言ではありません。詫間氏をはじめ、小山氏、藤森氏、望月氏といった、長期太陽観測者のデータの安定性は、ベルギー王立天文台のデータなどと並んで、世界でも屈指のものということも明らかになりました。このような個別観測者の記録から、太陽活動の長期変動の指標が構築されていることを考えると、今後太陽活動を追跡していく上でも、現代観測機材による計測と並んで、個人観測者が果たすべき役割は少なくないと言わざるを得ません。継続は力なり。今日思い立って始めた観測も、不屈の意志で数十年続けることができれば、将来長期の科学観測の基礎の一角を構築する日が来ることもなくはないのかも知れません。

この研究は、2021 年度から始まった科学研究費助成事業・若手研究（21K13957）他の支援のもとで行われたものです。

【用語説明】

注 1) 黒点相対数 :

太陽の磁場活動を評価する指標で、太陽面の可視半球上に現れる黒点群の数 (G) と個別黒点の数 (F) について、黒点相対数を R とした時、 $R = G + 10F$ で定量化したもの。19 世紀にスイスのルドルフ・ウォルフが考案して以来太陽活動の定量評価に用いられている。

注 2) 国際黒点相対数 (Version 2) :

複数の個別観測者の黒点相対数に各観測者の補正係数をかけて算出される太陽活動の定量評価指数。当初はチューリヒ天文台で計算されていたが、1981 年以来その計算はベルギー王立天文台に引き継がれている。2014 - 2016 年にかけて国際黒点相対数の再較正が行われ、現在は第二版 (Version 2) が同天文台から公開されて太陽活動の長期指標に用いられている。一方、個別観測記録の再検討、較正手法の改良も近年進んでおり、国際黒点相対数の再較正は今なお進行中である。

【論文情報】

雑誌名 : Geoscience Data Journal

論文タイトル : Sunspot observations at Kawaguchi Science Museum: 1972 -2013

著者 : 早川尚志 (名古屋大学), 鈴木大輔 (川口市立科学館), Sophie Mathieu (ベルギー王立天文台), Laure Lefèvre (ベルギー王立天文台), 詫間等 (川口市立科学館), 日江井榮二郎 (国立天文台)

DOI : 10.1002/gdj3.158

URL : <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/gdj3.158>