

## 歴史文献から明かされるダルトン極小期の太陽活動 ～太陽活動低調時の物理的な活動メカニズムの究明の手がかりに～

国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学高等研究院・宇宙地球環境研究所の早川 尚志 特任助教、今田 晋亮 講師（研究当時：宇宙地球環境研究所、現：東京大学大学院理学系研究科教授）らの研究グループは、国立天文台、オーストリア科学アカデミーなどとの国際共同研究により、ウィルテン修道院（オーストリア）の太陽黒点<sup>注1）</sup> 観測記録を検討し、19世紀初頭の「ダルトン極小期」<sup>注2）</sup>の太陽黒点が南北半球に現れ、17世紀後半～18世紀初頭の「マウンダー極小期」<sup>注3）</sup>の太陽黒点と、大きく異なる挙動を示していたことを新たに発見しました。

「マウンダー極小期」の黒点はほとんどが南半球に集中し、太陽コロナ<sup>注4）</sup>のストリーマー<sup>注5）</sup>もほとんど見えなくなっていたと考えられる一方、「ダルトン極小期」の太陽黒点やコロナ構造の様子についてはこれまでよく分かっていませんでした。

本研究は、現代観測よりも太陽活動が低下した際、太陽黒点が実際にどのような挙動を示すかが実際の観測記録から実証されたとともに、太陽活動が例外的に低調になった時期の物理的な活動メカニズムの究明の足がかりになると期待されます。

本研究成果は、2021年9月16日付で米国科学雑誌「The Astrophysical Journal」オンライン版に掲載されました。

本研究は、2021年度から始まった科学研究費助成事業・若手研究（21K13957）と基盤研究（S）（20H05643）の支援のもとで行われたものです。

## 【ポイント】

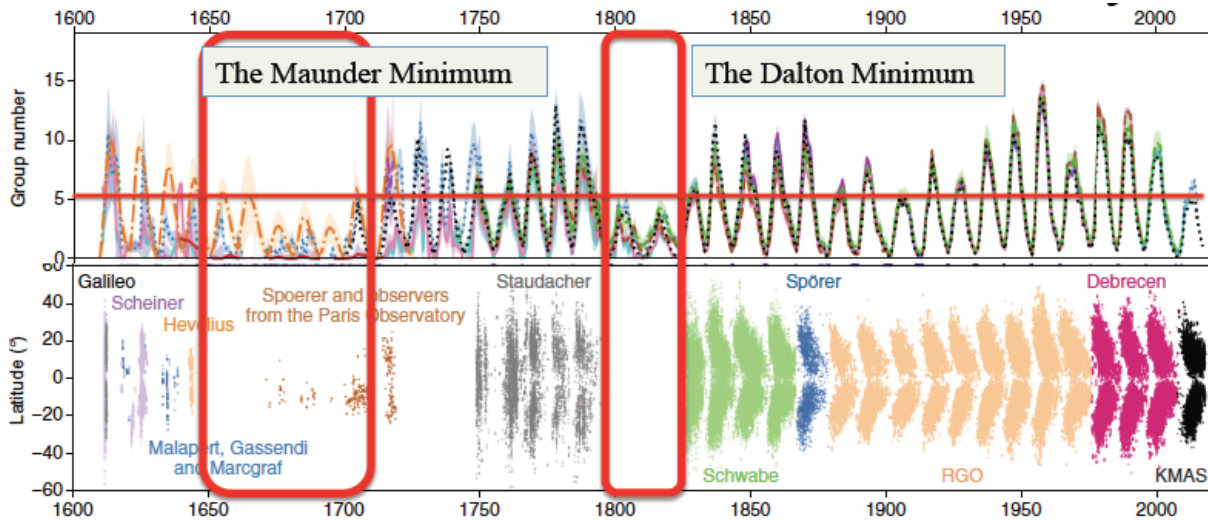
- ・ ウィルテン修道院（オーストリア）所蔵のプラントナー<sup>注 6)</sup>の太陽黒点観測記録（1804-1844）を分析。
- ・ ダルトン極小期の黒点分布が南北半球に広がっており、黒点分布が南半球に集中していたマウンダー極小期と大きく異なっていたことが判明。
- ・ ダルトン極小期に太陽コロナのストリーマー構造が残存していたのに対し、マウンダー極小期にコロナのストリーマー構造が消失していたとされる対照性と符合。
- ・ 本研究は、太陽活動が例外的に低調になった時期の物理的なメカニズムの究明の足がかりになると期待。

## 【研究背景と内容】

長期の太陽活動の変化は、気候変動の要因の一つとして近年注目を集めています。現状太陽活動は低調になり続いており、これ以上太陽活動のレベルが低下すると、「マウンダー極小期」（1645-1715）や「ダルトン極小期」（1797-1827）といった太陽活動の極めて低調だった時期と同じ水準に落ち込む可能性さえ議論の対象になっています（*e.g.*, Upton and Hathaway, 2018, *GRL*, 45, 8091-8095; Kitiashvili, 2020, *ApJ*, 890, 36）。

このような太陽活動が長期的に低調になった時期は、いずれも地球気候の寒冷になった時期と重なり、両者の関係はこれまで議論の対象になる一方（*e.g.*, Lockwood, 2009, *Proc. R. Soc. A.*, 466, 303–329; Parker, 2013, *Global Crisis*, New Haven; Anet et al., 2014, *Clim. Past*, 10, 921–938; Owens et al., *JSWSC*, 7, A33）、同時代の太陽活動の具体的な様相を示す太陽黒点群数の復元は研究毎に食い違っており、実際の太陽活動の程度は必ずしも明らかではありませんでした（図 1; Muñoz-Jaramillo and Vaquero, 2019, *Nature Astronomy*, 3, 205-211）。

具体的に、「マウンダー極小期」には太陽黒点の出現頻度が劇的に低下し、そのほとんどが南半球に集中し（図 1）、太陽コロナのストリーマーもほとんど見えなくなってしまっていたと考えられています（*e.g.*, Eddy, 1974, *Science*, 192, 1189-1202; Usoskin et al., 2015, *A&A*, 581, A95; Riley et al., 2015, *ApJ*, 802, 105; Muñoz-Jaramillo and Vaquero, 2019）、もう一方の「ダルトン極小期」での太陽黒点やコロナ構造の様子は、当時の観測記録の残存状況などから必ずしも明らかではありませんでした。



Muñoz & Vaquero 2019

図 1: 過去 410 年間の太陽活動の復元 (Muñoz-Jaramillo and Vaquero, 2019, Nature Astronomy, 3, 205-211; Figure courtesy of Andrés Muñoz-Jaramillo, the SouthWest Research Institute)。「ダルトン極小期」黒点群数(上)は「マウンダー極小期」や「ダルトン極小期」には低調になっていたものの、復元毎に大きく食い違っている。また下図では太陽黒点の座標が示されており、「マウンダー極小期」では黒点が南半球(下側)に集中する一方、今までの知見では特に「ダルトン極小期」の黒点座標の情報が欠落していたことが分かる。

そこで今回、「ダルトン極小期」の太陽活動を同時代観測から明らかにすべく、オーストリアのウィルテン修道院(Stift Wilten)に保管されていたシュテファン・プラントナー(Prantner)の1804-1844年の太陽観測記録の手稿を、名古屋大学、国立天文台、オーストリア科学アカデミーの国際共同研究のもと、初めて原本準拠で調査・検討しました。

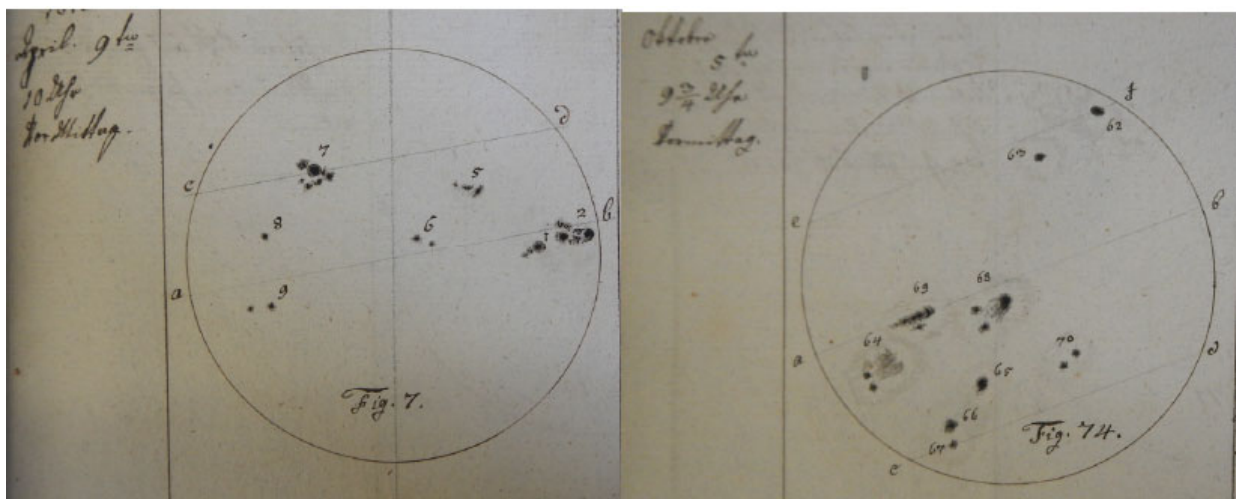


図 2: プラントナーによる「ダルトン極小期」の黒点スケッチ: 1816年4月9日と1816年10月5日 (MS A07 03 07, f. 16 and f. 27b; © the Stiftsarchiv Wilten)

その結果、黒点が南半球に偏在していた「マウンダー極小期」(図 1) と対照的に、「ダルトン極小期」には黒点も数こそ少なくなっていたものの、南北両半球に出現していたことが確認されました(図 3-4)。この結果は、同チームによる黒点観測の検討結果 (Hayakawa et al., 2020a, ApJ, 890, 98)、「ダルトン極小期」の最中の 1806 年にアメリカで見た皆既日食の記録でコロナのストリーマー構造が残存していたこと(図 5 : Hayakawa et al., 2020b, ApJ, 900, 114) と併せ、「ダルトン極小期」と「マウンダー極小期」の差異を強調するものです。このことから、従来同列に語られることもしばしばあった「ダルトン極小期」と「マウンダー極小期」は本質的に性格の異なるものだったことが明らかになった形になります。

Prantner's Sunspot Group Number in 1804 – 1844

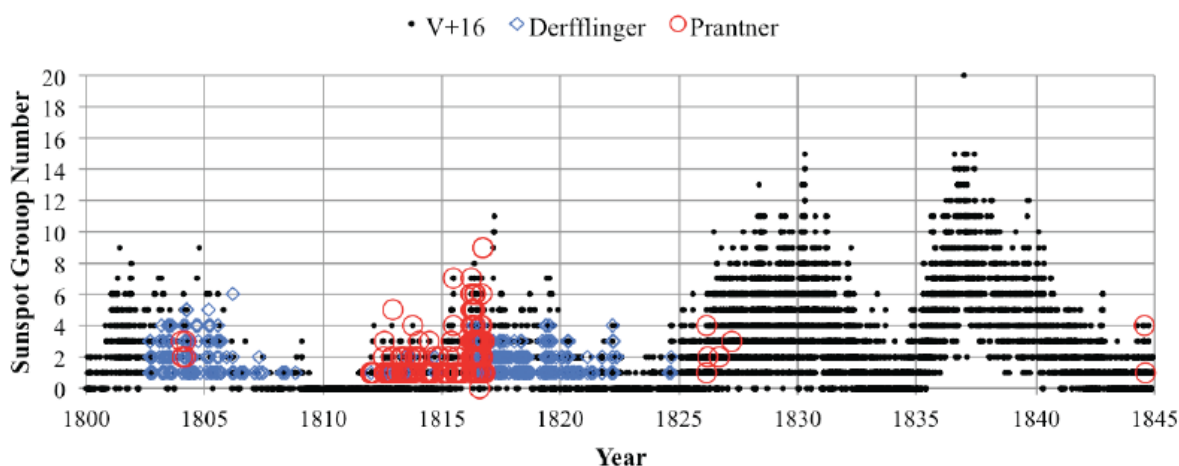


図 3 : プラントナーの観測記録から導出された黒点群数 (縦軸)。黒点群数は太陽活動の指標になる (Hayakawa et al., 2021, ApJ)。

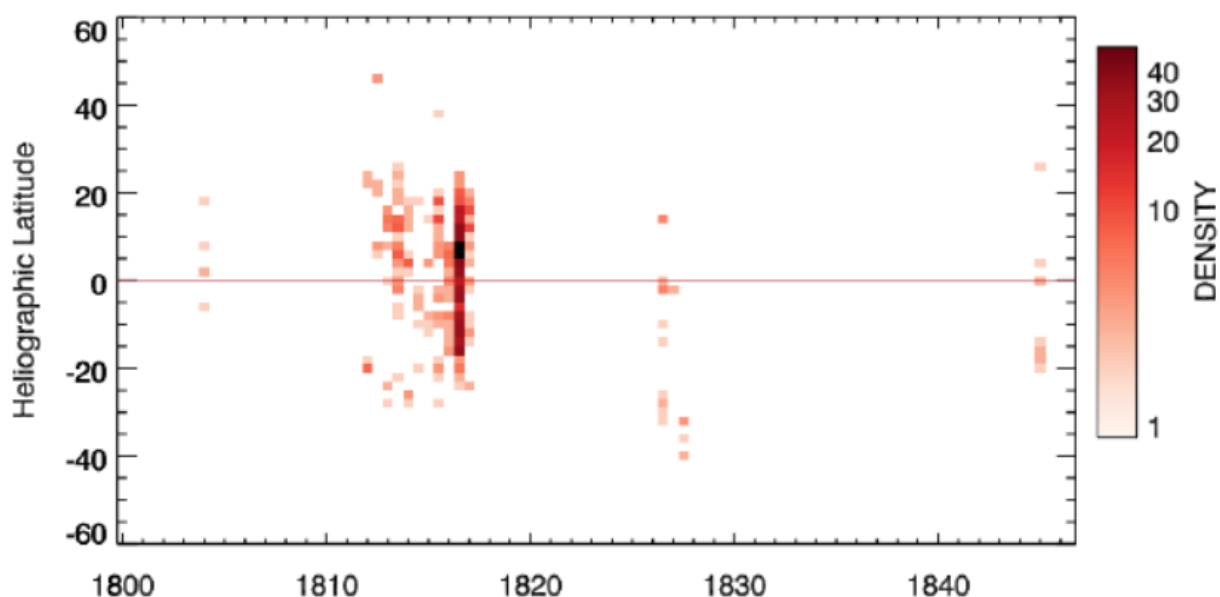


図 4 : プラントナーの記録から導出された「ダルトン極小期」の黒点座標。図 1 で「マウンダー極小期」の黒点座標が南半球に集中していたのと対照的に、本研究の成果から「ダルトン極小期」では両半球に太陽黒点が現れていたことが分かる (Hayakawa et al., 2021, ApJ)。

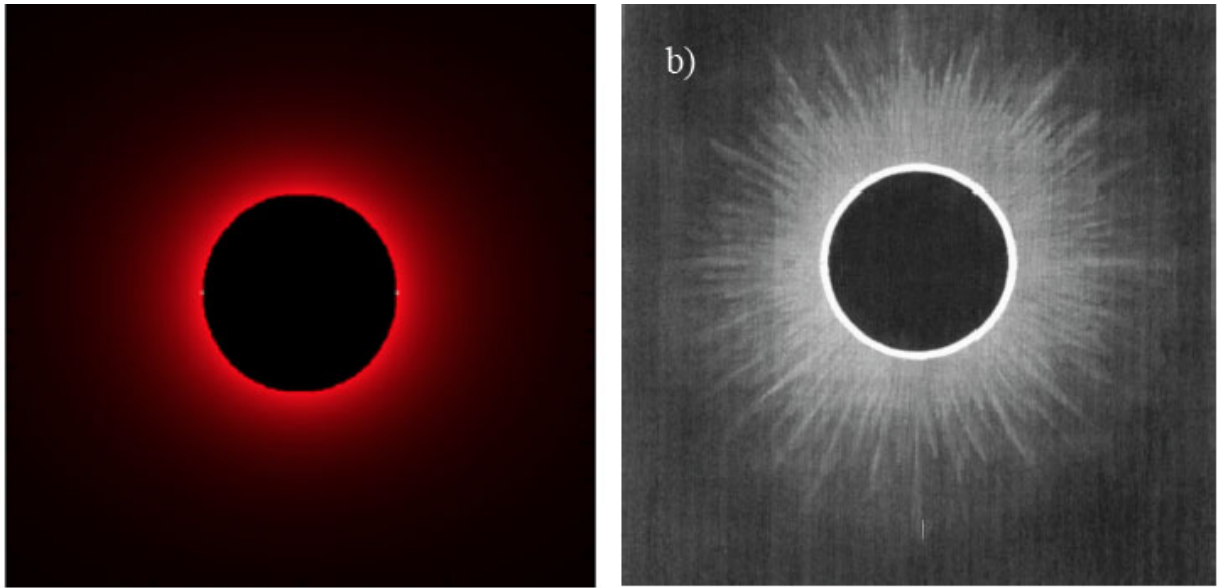


図 5 : 「マウンダー極小期」のコロナ構造の復元図（左 : Riley et al., 2015, ApJ, 802, 105; Figure courtesy of Pete Riley, Predictive Science Inc.）と「ダルトン極小期」の最中（1806 年）に観測されたコロナ構造のスケッチ（右 : Hayakawa et al., 2020b）。

### 【成果の意義】

本研究では、現代観測（1900～）で観測された太陽活動レベルよりも更に太陽活動のレベルが低下していたと考えられる「ダルトン極小期」の太陽活動の様子を明らかにしました。その結果、当時の太陽黒点群の出現数、出現分布の様子が明らかになり、1645～1715 年頃の太陽活動の「マウンダー極小期」と対照的な挙動を示していたことが初めて明らかになりました。本研究では、現代観測で知られている程度よりも太陽活動が低下した際、太陽黒点が実際にどのような挙動を示すかが実証されたのみならず、太陽活動が通常の 11 年周期とは別に特に低調になった時期の物理的な活動メカニズムの究明、更にそのような時期での地球環境への影響の評価の基礎のための足がかりになることが期待されます。

### 【用語説明】

注 1) 太陽黒点 :

太陽表面に数千ガウス程度の磁場が表出し、周囲に比べて比較的溫度が低くなる関係で暗く見える領域。磁場を共有する黒点の集団は黒点群として括られる。黒点群と個別黒点の出現個数は太陽の磁場活動の指標として用いられる。

注 2) ダルトン極小期 :

1790 年代～1820 年代にかけて太陽活動が極めて低調だったとされる時期。太陽活動の程度は恐らく「マウンダー極小期」よりも活発だったと考えられるが、既存の研

究では太陽黒点群数の復元が一致せず、太陽黒点の分布も様子が分かっていなかった。

注3) マウンダー極小期：

1645～1715年にかけての太陽活動が極めて低調だったとされる時期。この時期にはほとんど黒点が現れなくなり、現れた黒点も太陽の南半球に集中したと考えられるが、実際の太陽活動の程度については依然複数の復元があって解決を見ていない。同時期の気候寒冷化との関係も議論の対象になっている。

注4) 太陽コロナ：

太陽外層を取り囲む100万度以上の高温外層気体。その温度のためコロナ中の原子の多くは電離してプラズマ状態になっている。皆既日食の際、地上から肉眼でも観測されるものには、太陽光がコロナ中の電子に当たって散乱する部分（K-corona）と周辺のダストに当たって散乱する部分（F-corona）などがあり、前者は太陽外縁の磁力線伝いにストリーマーとして広がりやすい。

注5) ストリーマー：

太陽コロナの内、太陽表面から伸びた磁力線の閉じられたループ構造。この中に電子がトラップされ、その分輝度が高くなる。皆既日食時に視認されることが多く、その拡散太陽活動周期（～11年）のフェーズに応じてその広がり方が変化する。

注6) プラントナー：

Stephan Prantner（1782-1873）。現オーストリアのティロル地方に生まれ、インスブルックやウィルテンの周辺でプレモンテ修道会士として活躍。数学や自然科学を学び、後年ウィルテン修道院にて数学や物理学を教えた。その生涯の間、太陽観測や気象観測など、多くの観測記録を残している。

### 【論文情報】

雑誌名：The Astrophysical Journal

論文タイトル：Stephan Prantner's Sunspot Observations during the Dalton Minimum

著者：早川尚志\*, 采女昇真\*, Bruno P. Besser (オーストリア科学アカデミー), 伊集朝哉 (国立天文台), 今田晋亮\* (\*名古屋大学)

DOI：10.3847/1538-4357/abee1b

URL：<https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4357/abee1b>