同時代観測記録から見るダルトン極小期

早　川　尚　志

〈名古屋大学宇宙地球環境研究所 / 高等研究院　〒464–8601 名古屋市千種区不老町〉

e-mail: hisashi@nagoya-u.jp

太陽活動は通常の「11年周期」とは別に，より長期の変動を見せることがあります．マウンダー極小期やダルトン極小期はその好例です．一方，このような異常期は体系的な現代観測が始まる以前に起こっており，その様相は必ずしも明らかではありません．果たして当時の文献は当時の太陽活動をどう記録していたのでしょうか．本稿では，そもそもダルトン極小期がなぜそう名付けられたか，ダルトン極小期での太陽黒点群数や太陽黒点座標の挙動はどうなっていたのかについて，同時代の歴史的観測記録に基づく最近の研究成果を御紹介します．

1.　はじめに

太陽黒点観測は人類史上最も古くから継続されている定量観測の一つと言われています [1]．1607年にケプラーがカメラ・オブスキュラで，そして1610年にハリオットが望遠鏡で太陽黒点の観測を始めてからはや4世紀以上，先人たちの積み上げてきた太陽観測は人を，場所を，そして機材を変えて今日も営々と続けられています [2–4]．

このような太陽活動の観測記録は長期的な太陽地球環境の変動や地球への影響を考える上で極めて重要です．特に，太陽活動周期24（2009–2019年）は過去100年で最も黒点数の振幅が小さく，太陽活動がこれ以上低下すると，いわゆるダルトン極小期（1790–1820年代）のような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されていました [5, 6]．

興味深いことに，このように太陽活動が長期的に低調になった時期は，いずれも地球気候が寒冷化した時期と重なり，両者の関係はこれまで議論の対象になってきました [7, 8]．一方，図1に見る通り，1900年以前の太陽活動の様相については不明なところが少なくありません．

例えば，マウンダー極小期（1645–1715年頃）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が，具体的に太陽活動がどの程度低調になったかは議論の分かれるところです [2, 9–12]．

これはダルトン極小期も同様です．当時の太陽活動の具体的な様相を示す太陽黒点群数の復元も研究ごとに食い違っており，その様子は必ずしも明らかではありませんでした．また，ダルトン極小期当時の太陽黒点の分布についてはこれまで具体的にわかっていませんでした（図1）[12]．

このような問題の背景には，ダルトン極小期当時の生の太陽観測記録の多くが未公刊のままで，その詳細が科学コミュニティから満足にアクセスできていなかったことがあります．そこで本報告では，天文月報の誌面をお借りして近年のダルトン極小期の太陽観測の再検討の様子の概略をお伝えしたいと思います．

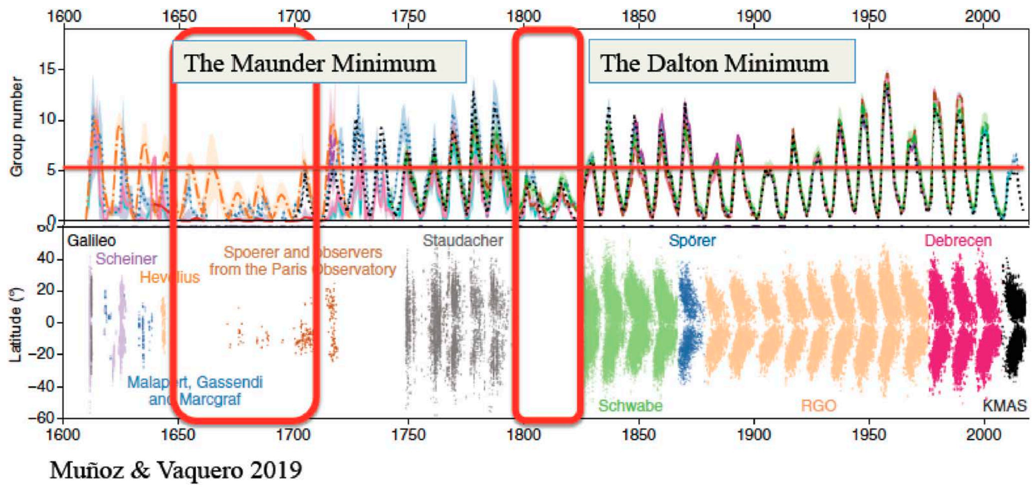

図1　過去410年間の太陽活動の復元．[12] に修正加筆したもの．ダルトン極小期黒点群数（上）はマウンダー極小期（1645–1715）やダルトン極小期（1797–1827）には低調になっていたものの，復元ごとに大きく食い違っている．また下図では太陽黒点の座標が示されており，マウンダー極小期では黒点が南半球（下側）に集中する一方，特にダルトン極小期の黒点座標の情報が欠落していたことがわかる．Springer Nature: Nature Astronomy [12] より許可を得て転載．

2.　ダルトン極小期の太陽黒点観測

そもそもダルトン極小期とはいつのことでしょう．通常ダルトン極小期とは，1790年代から1820年代にかけて太陽活動が特に低調だった時期を指します．例えばこの時期，イングランドではジョン・ダルトン（John Dalton: 1766–1844）がオーロラの観測を行っていました．そう，化学の教科書でお馴染みのダルトンです．彼はこの時期にオーロラの出現頻度の顕著な減少を捉えていました．1978年にヨセミテで開催されたSolar Terrestrial Coupling Conferenceでもこの時期の太陽活動が話題になり，サム・シルヴァーマンはジャック・エディやジョージ・シスコーなどとの議論を踏まえ，この時期をジョン・ダルトンの名に因んでダルトン極小期と名付けることを提案しています [13]．

ダルトン極小期当時の長期の太陽黒点観測データの内，黒点群数と黒点座標の両面から近年検討が進んだのは特に旧ハプスブルク帝国はクレムスミュンスターのデルフリンガー（Thaddäus Derflinger），同ウィルテンのプラントナー（Stephan Prantner），旧プロイセン王国はグラッツ（現ポーランド領クウォツコ）のフォン・リンドナー（Karl Christian Reinhold von Lindener）の三名の観測記録群です [14–16]．本研究では，彼らの観測の手稿を各々クレムスミュンスター修道院，ウィルテン修道院，ヴロツワフ大学の文書館にて複写・撮影し，その分析を行いました．

図2にお示しするのはウィルテン修道院文書館所蔵のプラントナーの黒点観測記録の手稿からの抜粋です．例えば1816年当時にはプラントナーはライヒェンバッハ製の4フィート望遠鏡を用い，太陽面を正立像で写していたことが彼自身の手稿から分かっています．同様の分析から，デルフリンガー，プラントナー，フォン・リンドナーは各々，倒立像，倒立像（1802–1815）と正立像（1816–1844），倒立像にて太陽像を描いていたこともわかってきました [14–16]．

3.　ダルトン極小期の太陽黒点群数

このようなダルトン極小期の観測記録を検討するにあたり重要なのは黒点群数です．太陽表面に

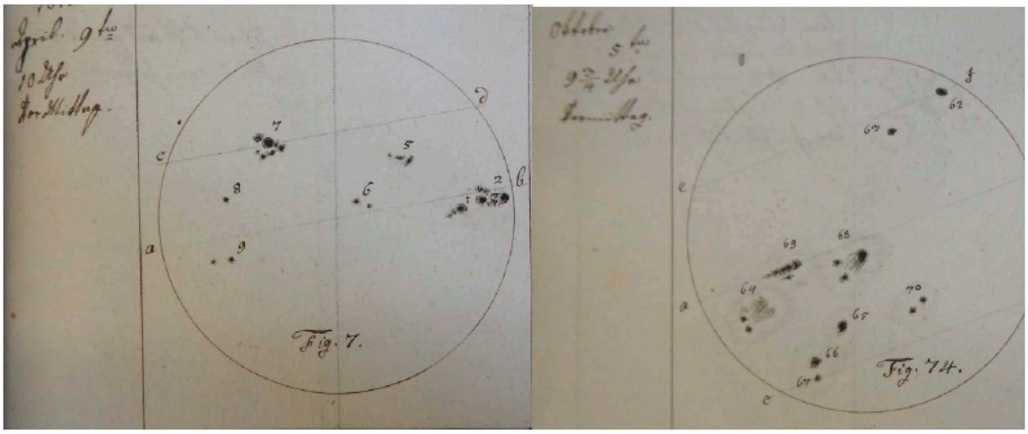

図2　プラントナーによるダルトン極小期の黒点スケッチ：1816年4月9日と1816年10月5日（MS A07 03 07, f. 16 and f. 27b; ©the Stiftsarchiv Wilten）．[14] より再録．

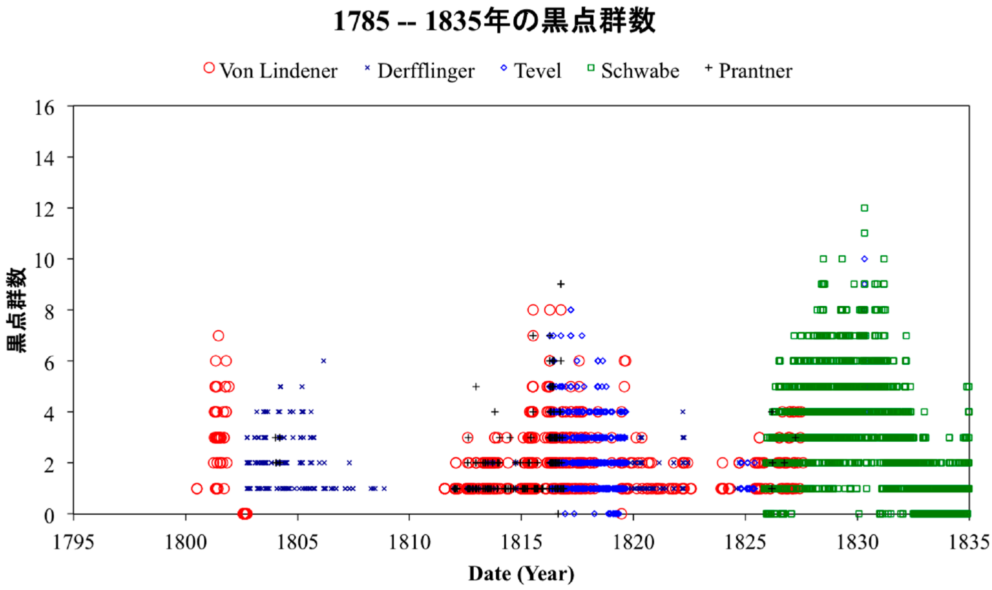

図3　ダルトン極小期周辺での長期観測者の黒点群数（縦軸）．黒点群数は太陽活動の指標になる．本記事に特に関連深いデルフリンガー，プラントナー，フォン・リンドナーに加え，テヴェルとシュワーベの黒点群数も示した．[16] より改変．

浮上する磁場の様子を近似すべく，過去の黒点記録についてチューリヒ天文台の黒点群の分類に従い，黒点群数のカウントが進行しています．図3に示すように，ダルトン極小期周辺でもデルフリンガー，プラントナー，フォン・リンドナーに加え，オランダのテヴェルやシュワーベの黒点群数が近年の研究から新たに再検討されています [17, 18]．

重要なのは新たなデータの導出だけではありません．先行研究での誤読の修正も同様に，あるいはそれ以上に重要になってきます．例えばデルフリンガーの観測記録については，先行研究で黒点スケッチのない太陽高度観測が無黒点日として扱われてきました．しかし，実際にデルフリンガーの観測記録を見てみると，そもそもデルフリンガーは

このような場合に必ずしも無黒点日であることを明示していません．それ以前に，太陽高度観測と黒点群数の記述は互いに独立している様子さえ伺えます．例えば1818年7月24日，26日に同じ黒点群が見えているのに，25日はスケッチがないために無黒点日扱いされていました．前後で同じ黒点群が見えているのに，間の25日だけ綺麗さっぱりその黒点群が消えるのはいかにも不自然です．このような誤読は黒点相対数の収集，編纂，較正を行ったルドルフ・ウォルフ本人がクレムスミュンスターの原典記録にアクセスできず，伝聞式に情報が歪んでしまったことに起因しています [14]．

また，このような手稿は言及されていることがあっても，必ずしもその原典が検討されているとは限りません．プラントナーの観測記録がその好例です．ウィルテン修道院の文書館には，1994年5月13日付でダグラス・ホイトからウィルテン修道院のフリッツ・シュタイネッガーに宛てられた書簡が残されています．そう，かつて過去4世紀の黒点群数データベースの大元になったHoyt & Schatten論文 [19] の筆頭著者の彼です．ダグラス・ホイトはそのデータベースでプラントナーのデータを全容不明としながら含んでいましたが，この書簡からはプラントナーの手稿の原典にアクセスできず，ウィルテンの関係者経由で間接的にデータを得ており，そのデータも黒点群数と個別黒点数の混同があったことがわかります．今回のプラントナーの記録の「再」検討は原典ベースの検討としては初めてのものになります [14]．

このような事例から，ダルトン極小期当時の長期の黒点観測記録の手稿を原典ベースで再検討することの重要性がわかります．その検討結果を1日単位で示したのが図3です．太陽活動周期5–7（1798–1833）の様子がおおよそ見えてくる他，ダルトン極小期でも黒点群数が9にも到達していたことがわかります．このような様子は太陽黒点群数が極めて少なかったマウンダー極小期の様子とは対照的です [20–22]．

また，各観測者の黒点群数の一年平均値を示したのが図4です．デルフリンガー，プラントナー，

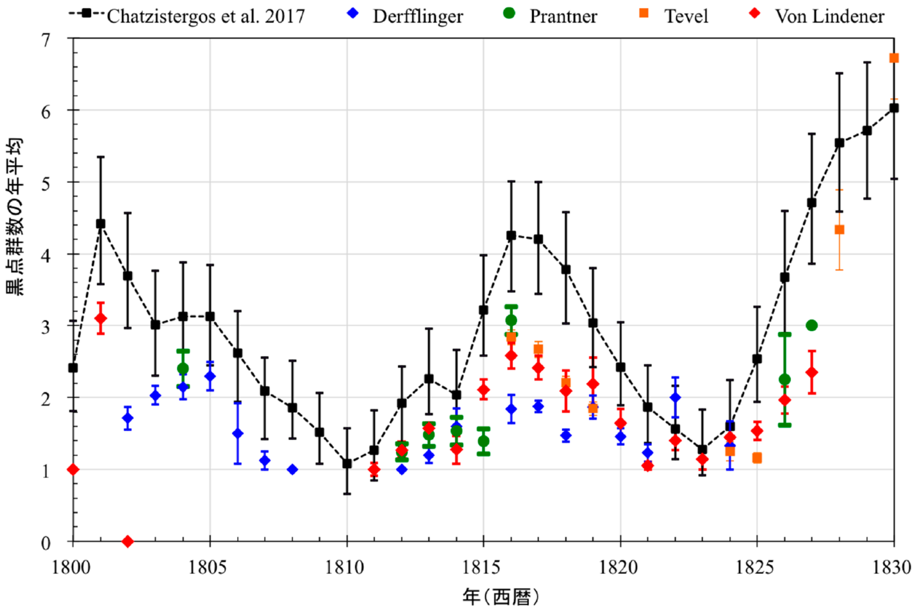

図4　ダルトン極小期周辺での長期観測者の黒点群数の一年平均値（縦軸）．図3同様，本記事に特に関連深いデルフリンガー，プラントナー，フォン・リンドナーに加え，テヴェルとシュワーベの黒点群数も示し，Chatzistergos et al.（2017）による黒点群数復元値とも比較した．[16] より改変．

フォン・リンドナーの黒点群数はおおよそ誤差幅の中で一致します．一方，一致しない箇所も見受けられます．1816年がその好例でしょう．実際にはこの当時の観測記録を見ると，プラントナーはこの年83日も観測を行っており，同年5–6, 10月などデルフリンガーの観測がない時期に太陽黒点群数が少なからず増大していた様子を捉えています．このことから，黒点群数の較正を行う際，年平均の単純比較だけでは思わぬ落とし穴に嵌る可能性があり，1日単位での比較 [23] も重要になることもわかります．

4. ダルトン極小期の太陽黒点座標

太陽黒点群数と同様かそれ以上に重要なのが太陽黒点座標の分布です．マウンダー極小期には太陽黒点座標が南半球に大きく偏るなど [24, 25]，現代の太陽活動周期から想像しにくい状況も発生していました．一方，図1に示す通り，ダルトン極小期の太陽黒点座標はつい最近までよく知られておらず，両者の関係は不透明なままでした．

近年の研究では，ダルトン極小期について，デルフリンガー，プラントナー，フォン・リンドナーの三観測者の記録から黒点座標を導出しています．第2節で述べたように同観測者の太陽面の方角を求めた後，観測日が連続するものについては黒点群の動きから，観測日が孤立したものについては観測時刻の記述から黒点座標を求めています．

このような検討の結果，ダルトン極小期当時には南北両半球に黒点群の分布が確認され，黒点群がほぼ南半球にしか現れていなかったマウンダー極小期 [22, 23] とは大いに様相が異なるものであることも明らかになってきました．

また高緯度側での黒点群の観測のタイミングから，太陽活動周期の始まりを従来よりも精密に求めることも可能です．デルフリンガーやフォン・リンドナーの記録から太陽活動周期7は1822年6–7月には始まっていた可能性が浮上しています [14, 15].

5. おわりに

以上，本稿では，近年のダルトン極小期の太陽観測記録の再検討の様子を紹介しました．本研究

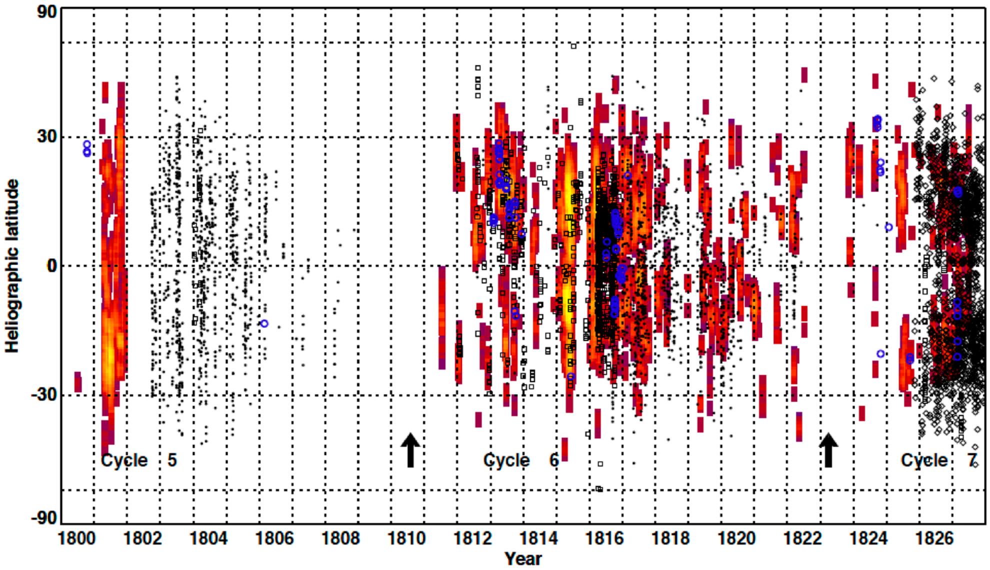

図5 ダルトン極小期周辺での黒点座標の復元．デルフリンガーは黒点，プラントナーは黒四角，シュワーベは黒菱形，フラウジェルグは青丸，フォン・リンドナーは密度分布で提示されている．[14] より再録.

の内容から，ダルトン極小期での黒点群数が原典ベースで大幅に改訂され，新たに黒点座標が復元されたことが見えてくるかと思います．このような検討結果はダルトン極小期においても太陽活動周期を割と明確に示し，黒点群数を最大で9まで報告し，黒点群が南北半球に分布していた様子も明らかにしています．

このような内容は黒点群がほぼ現れず現れても南半球に集中していたマウンダー極小期と対照的です．マウンダー極小期にコロナのストリーマー構造が見えなくなっていたのに対し，ダルトン極小期にはコロナのストリーマー構造が明確に見えていた事例を思うと [11, 26, 27]，どうやら両者の見せる太陽活動の様相は相当違ったようです．このような差異はダルトン極小期とマウンダー極小期の両者の根本的な差異を強く示唆しているのかもしれません．ともあれ，未だ過去の太陽観測の調査は道半ばです．引き続き各国の文書館を発掘・精査して過去の太陽活動の様子を明らかにすることで，より長期での太陽の時期活動が明らかになっていくことでしょう．場合によっては今現在の過去の太陽活動についての「常識」が新たな文献調査から塗り変わる可能性もあるかもしれません．今後の調査が待たれます．

謝　辞

本研究はJSPS科研費21K13957，名古屋大学宇宙地球環境研究所所長リーダーシップ経費，名古屋大学高等研究院 若手新分野創成研究ユニットの助成をうけたものです．

参 考 文 献

[1] Owens, B., 2013, Nature, 495, 300
[2] Clette, F., et al., 2023, SP, 298, 44
[3] Arlt, R., & Vaquero, J. M., 2020, LRSP, 17, 1
[4] Hayakawa, H., et al., 2024, ApJ, 970, L31
[5] Upton, L. A., & Hathaway, D. H., 2018, GRL, 45, 8091
[6] Kitiashvili, I. N., 2020, ApJ, 890, 36
[7] Anet, J. G., et al., 2014, Climate of the Past, 10, 921
[8] Owens, M. J., et al., 2017, JSWSC, 7, A33
[9] Eddy, J. A., 1974, Science, 192, 1189
[10] Usoskin, I. G., et al., 2015, A&A, 581, A95
[11] Riley, P., et al., 2015, ApJ, 802, 105
[12] Muñoz-Jaramillo, A., & Vaquero, J. M., 2019, Nature Astron, 3, 205
[13] Silverman, S. M., & Hayakawa, H., 2021, JSWSC, 11, 17
[14] Hayakawa, H., et al., 2021, ApJ, 919, 1
[15] Hayakawa, H., et al., 2020, ApJ, 890, 98
[16] Hayakawa, H., et al., 2023, JSWSC, 13, 33
[17] Carrasco, V. M. S., 2021, ApJ, 922, 58
[18] Arlt, R., et al., 2016, MNRAS, 433, 3165
[19] Hoyt, D. V., & Schatten, K. H., 1998, Solar Phys., 179, 189
[20] Usoskin, I. G., et al., 2015, A&A, 581, A95
[21] Vaquero, J. M., et al., 2015, A&A, 577, A71
[22] Hayakawa, H., et al., 2024, MNRAS, 528, 6280
[23] Chatzistergos, T., et al., 2017, A&A, 602, A69
[24] Ribes, J. C., & Nesme-Ribes, E., 1993, A&A, 276, 549
[25] Hayakawa, H., et al., 2021, ApJ, 909, 166
[26] Hayakawa, H., et al., 2021, JSWSC, 11, 1
[27] Hayakawa, H., et al., 2020, ApJ, 900, 114

The Dalton Minimum, as Seen from Contemporaneous Observational Records

Hisashi Hayakawa
Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464–8601, Japan

Abstract: Apart from regular 11-year cycles, the solar activity shows longer modulations, as exemplified with the Maunder Minimum and the Dalton Minimum. However, they took place significantly before our systematic “modern” observations and do not allow us to easily quantify their behaviors? What did contemporaneous documents record about the solar activity at that time? This article introduces recent studies on how the Dalton Minimum came to be named, and how sunspot group number and sunspot positions behaved during the Dalton Minimum on the basis of contemporaneous archival records.