

歴史文献による太陽活動研究の現状と展望

早川尚志¹, 玉澤春史², 河村聡人³, 磯部洋明⁴, 岩橋清美⁵, 藤原康德⁶, 片岡龍峰⁷

Surveys for Pre-modern Solar Activity with Historical Documents: Their Present Conditions and Future Prospects

HAYAKAWA Hisashi, TAMAZAWA Harufumi, KAWAMURA D. Akito, ISOBE Hiroaki,
IWAHASHI Kiyomi, FUJIWARA Yasunori, KATAOKA Ryuho

キーワード：古天文学，太陽活動，極端宇宙天気，正史，オーロラ

1. はじめに

本稿では，太陽活動の研究における歴史文献の活用について，その研究の現状と展望を紹介する。近年の研究で太陽型星が従来知られるフレアの最大規模を遥かに上回る「スーパーフレア（superflare）」を起こしうることが判明し，太陽活動の歴史は再び注目を浴びつつある。従来知られる観測史上最大のフレアは後述のキャリントンフレアで，そのエネルギー規模は $X45 \pm 5$ クラスであったが（Cliver & Dietrich 2013），この 10 倍以上のフレア，即ち「スーパーフレア」が，太陽と同系列の G 型星にて観測され（Maehara et al. 2012; Shibayama et al. 2013），この事例が太陽活動にも当てはめられることが議論された

（Shibayama et al. 2013）。このような巨大フレアは数百年に一度のスパンで発生することが求められている（Maehara et al. 2015）。

しかし，このような頻度のイベントを探索するには，近代観測の歴史は十分とは言えない。太陽フレア観測の歴史は 150 年程である。その最古の観測は 1859 年のキャリントン・

¹ 京都大学大学院文学研究科

² 京都大学大学院花山天文台

³ 京都大学大学院花山天文台

⁴ 京都大学大学院総合生存学館，京都大学宇宙総合学研究ユニット

⁵ 国立国文学研究資料館

⁶ 総合研究大学院大学

⁷ 総合研究大学院大学

⁸ 国立極地研究所

イベントで、同時に観測史上最大の太陽フレアであるとされ、ハワイやカリブ海、日本は和歌山など、低緯度でもオーロラの観測事例が報告された (Carrington 1859; Loomis 1859-65; Kimball 1960; Shiokawa et al. 2005; Green & Boardsen 2005)。太陽活動自体の近代観測はもう少し長く、17 世紀初頭のガリレオ・ガリレイによる黒点スケッチまで遡り、400 年ほどの歴史を持つ (Gallilei 1613; Zolotova & Ponyavin 2015)。

それ以前の太陽活動を遡って研究する為に、従来取られてきた手法が放射性同位体比の検討である。年輪中の C14 や極地氷縞コア中の Be10 等がこうした研究手法に用いられている。長期の太陽活動については、極地氷縞コア中の Be10 の同位体の変化に基づき、Steinhilber et al. (2009) が 9300 年分の単位面積・単位時間辺りの全波長太陽放射 (TSI: Total Solar Irradiance) を示している。しかしこの解像度は約 30-40 年で、短期的な太陽活動の変化を調べる際は更なる精査が求められる。Miyake et al. (2012; 2013) は屋久杉中の C14 同位体比の 750-1021 年の変遷を年単位で調べ、775 年と 994 年に顕著なピークを発見した。しかしこうした研究手法はあくまで年輪のように年毎に形成されるものの中で年単位の放射性同位体比の変遷を見る手法をとるため、原理上それ以上の解像度を持ち得ないという問題があった。そこで本稿では以下に、従来の主要論文の成果を紹介しつつ、歴史文献による太陽活動のサーベイの現状と展望について示す。

2. 歴史文献に拠る研究とその蓋然性

太陽活動は歴史文献上、肉眼黒点と低緯度オーロラの観測という二つの形で記録され得る (Eddy 1980; Vázquez & Vaquero 2009)。黒点は太陽活動と共に増減し、太陽活動の盛んな時期には肉眼で確認可能な太陽黒点が現れる (Hathaway et al. 2002; Svalgaard & Schatten 2016)。一方、オーロラは通常極地で観測されるが、非常に強い磁場の乱れを伴う太陽風が地球の磁気圏と反応した際、低緯度で見えることがある。この際、オーロラは大規模なオーバルを描き、相互に離れた数地点で同時観測される場合もある。

これは上述のキャリントン・イベントの際に低緯度のハワイやパナマでもオーロラが観測されたことから明らかである。Carrington (1859) は 1859 年 9 月 2 日に巨大黒点の観測中に史上初の白色フレアを目撃し、それと同時期に世界各地でオーロラが観測されたことに言及した。Loomis (1859-65) はこの指摘を受け、1859 年 8 月 28 日～9 月 4 日について世界中からオーロラ観測と磁気異常の事例を募り、その関連を議論した。Kimball (1960) はこの際のオーロラの観測地の磁気緯度の情報を整理し、9 月 1-2 日のオーロラ観測地点は南北両側で磁気緯度にして 23°まで観測されたことを指摘した。Green et al. (2006) は加えて北米の新聞記事や航行記録を検証し、Green & Boardsen (2006) はこれを受けて各日のオーロラ観測地の磁気緯度情報を整理し、オーロラ観測帯が磁気緯度にして 8 月 28-29 日で 25°ま

で、9月1-2日で18°まで下っていたことを検証した。Cárdenas et al. (2015) はこれに加え、パナマの Montería での関連記録を紹介した。

3. オーロラ・黒点カタログと太陽活動の長期変動

このような肉眼黒点や低緯度オーロラの研究は早くも19世紀から行なわれてきた。Fritz (1873) は主に西欧の事例を中心に北半球のオーロラ観測事例を、Boller (1898) は南半球のオーロラ観測事例を蒐集し、当時知られていたものの一覧表と簡便なドイツ語での紹介を行なったが、同時に参考文献の示し方が不十分で一部原典に遡れないものも少なくなかった。

その欠を補うべく、20世紀に入って新史料も加えたオーロラ観測の事例の紹介が進められた。Link (1962) は聖書の時代から1600年に到るまでの古代・中世西欧のオーロラ記録を蒐集し、その原文共々紹介し、Fritzの研究を修正した。Stothers (1979) はギリシア語・ラテン語古典史料中のオーロラ記録を蒐集し、各記録の観測年、用語、出典を明示した。

こうした調査は西欧のみならず、世界各地で行なわれた。Wittmann & Xu (1987) は世界各地の黒点記録を渉猟し、前165年に至までの包括的なカタログを作成している。Vyasotsky (1949) は1600年までのロシアの天文記録をオーロラ・黒点まで含めて包括的に調査し、Basurah (2006) はイラクからイベリア半島に至るアラブ世界のオーロラ記録を蒐集し、紹介に供した。Stephenson et al. (2004) はこのような記録が古くバビロン天文日誌の前567年3月12/13日の *akukūtu* の雉にまで遡ることを検証している。

しかし何と言ってもこのような天文記録が体系的に残されたのは東アジアである。前近代、中国の文化的影響下にあった東アジアでは天人相関説の発想から肉眼黒点やオーロラを含む天変地異の観測に政策決定の指標や予兆を求めていたので、専門家による体系的な天文観測が行われていた。

日本の文献はいち早く注目され、神田 (1933; 1934; 1935) は「赤氣」をオーロラ用語として関連記録を前近代の史料中に渉猟した。武者 (1937) は神田の研究で手薄だった近代のオーロラ用語を集めて紹介した。これらは中央気象台 (1939; 1943) の気象史料集にも収録され、Matsushita (1956) の手で世界に紹介された。Nakazawa et al. (2004) は1150年～1859年の「赤氣」を11個蒐集し、科学的な解釈を加えた。前後して近年、近世史料の調査が進み、大崎 (1994) が1600年以降の「赤氣」を含む天文記録を蒐集している。渡辺 (2007) は更なる新史料を交えて近世の日本の天文記録の増補を行っており、完成版の刊行は日本の古天文学の進展に大いに裨益することが期待される。

中国の文献はその体系的な観測に拠って特徴付けられる。慶松 (1967a-b) は中国のオーロラ記録の特徴を紹介すると共に、いくつかの用語を検討した。Keimatsu (1970-76) はこ

のような東アジアの歴史文献がその相対的に客観的な記録様式も相まって科学研究に適していることを指摘し、「夜間の発光現象全て」を収録したオーロラ・黒点のカatalog論文を各記録の原文に英訳をつけて刊行したが、著者の急逝により1130年で中断され、以降は概略が示されるのみである。Yau et al. (1988; 1985) は黒点記録を蒐集すると共に、慶松の研究に含まれていた「流星」や「星隕」のような別の記録を排して、よりオーロラとしての蓋然性の高い記録を蒐集し直し、各記録について観測日に英訳を附して紹介した。Willis et al. (1996a) は中国地方志の黒点記録を1863~1918年の間の17個について西欧の黒点スケッチと比較している。これに前後して斉藤・小澤(1992)は五代期(~960年)までの中国の天文記録を蒐集し、雑象の項に「赤氣」等のオーロラ関連記録を収録した。Xu et al. (2000) はこうした記録も含む中国の天文史料を再精査し、原文に英訳をつけて刊行している。このような研究は中国本土でも行われ、北京天文台(1988)がオーロラ・黒点を含む各種天文史料を蒐集し、莊(2009)がこれを増補している。これらの研究はふんだんな地方志の利用でもって特徴付けられる。Hayakawa et al. (2015) はこれらの研究の研究に基づき「氣」「雲」「光」の用語で以て基準を定め、宋(960~1279年)の正史『宋史』をサーベイし、中世温暖期や994年の天文イベントとの関連を検証した。この際、近年整備が進んだデータベースで以て史料のクロスチェックが行なわれ、従来研究で問題になっていた記録の遺漏を減じた。Hayakawa et al. (2016a) はこうした語に加えて「白虹」の語がオーロラを指しうる場合のあることを実証している。Hayakawa et al. (2016b, submitted) や Kawamura et al. (2016, submitted) はこれも踏まえた上で同様の手法を元・明(1261~1368年, 1368~1644年), 清(1616~1911年)にも用い、各々の時代の太陽活動の長期変動との関連を精査している。

韓半島についてはYang et al. (1998)が高麗や李朝の正史のオーロラ記録の紹介を行ない、Lee et al. (2004) はこれを踏まえて1779年に到るまでのCatalogを刊行し、太陽活動の長期変動との比較を行なっている。

4. 個別史料と極端宇宙天気現象

初めに概述した近年における放射性同位体比等の研究の進展はこうした歴史文献による太陽活動調査に新地平を開いた。このような研究は太陽活動の大まかな変化を数順延の解像度で数千年分示したのみならず(Steinhilber et al. 2009 等), 一部年代において一年刻みの放射性同位体比の変化を示すことを可能にし、特定年代での極端宇宙天気現象の存在を示唆するに到った(Miyake et al. 2012; 2013 等)。

既に述べたキャリントン・イベントは割愛するとして、近代においては史料状況の改善による大幅な研究の進展が見られる。Willis et al. (1996b) は1770年の大規模オーロラを南

北半球でのオーロラ同時観測として紹介し、Nakazawa et al. (2004) は日本の史料で以て、Kawamura et al. (2016, submitted) は中国と西欧の同時観測で、各々このイベントを活写している。Willis et al. (2007) は 1840-1911 年の中国・日本のオーロラ記録を蒐集し、各々を科学的に検証した。Willis et al. (2009) は 1640 年の南半球最古のオーロラ観測記録を取り上げて検討を行っている。Carrasco & Vaquero (2016) はまた John Flamsteed の黒点スケッチ (1672~1703 年) を検討し、1705 年にキャリントン・イベント以前の白色フレアの記述を発見したとしている。Lockwood & Barnard (2015) は歴史文献のみならず、1705~1950 年の新聞や科学記事の蒐集を行なって 2 万以上の記事を集め、各地点の磁気緯度を再建することで、過去のオーロラオーバルの再現を行なっている。Riley et al. (2015) はマウンダー極小期の黒点、オーロラ、日蝕の観測と当時の太陽活動による地上の放射性同位体比の増減を論じ、極小期の太陽磁場について包括的な分析を加えている。

ガリレオの黒点観測以前の極端宇宙天気現象について特に注目を集めるのが先述の Miyake et al. (2012; 2013) にて指摘された 775 年、994 年の極端宇宙天気現象である。特に前者の起源を巡って同時代史料が大々的に搜索され、古天文学は俄に活況を呈した。Neuhäuser & Hambaryan (2014) は当該イベントについて太陽フレア起源説に疑問を示し、同時代の世界各国の史料の調査を始めている。Neuhäuser & Kunitzch (2014) は 775 年にアッバース朝下で観測された彗星について報告し、Chapman et al. (2015) は同時代の中国の記録の、Neuhäuser & Neuhäuser (2015) は同時代の西欧、中東の記録を蒐集して当該イベントにきれいに相当する記録がないことを示している。Stephenson (2015) は当該イベントと 994 年のイベントについて科学的に分析した後、近傍の年代の史料を提示している。また、これ以降の年代について、オーロラがその発生の際、全球規模でオーバルを描く特性を活かし、Willis & Stephenson (1999) が東アジアにおけるオーロラ同時観測の事例を検討していることも特筆に値しよう。

このような古天文学の流れは日本国内でも興隆を見せつつある。昨年度総研大・学融合研究公募事業で「オーロラと人間社会の過去・現在・未来」(代表 片岡龍峰) が採択され、Aurora 4D Project (<http://www.aurora4d.jp>) が始動された。同プロジェクトの一環で既に日本各地の古典籍・古文書から新発見のオーロラ記録が報告されている。また、その一環として市民参加型の史料調査も企画されている。既に今年 3 月に立川の国文研で開催された「古典オーロラハンター」では市民に参加を呼びかけた上で日本の典籍史料の再読が行なわれ、早速神田 (1933; 1934; 1935) のカタログに未収録の記録が既知の典籍から発見されている (片岡・藤原 2016)。このような研究への市民参加は研究の現場に従来なかった巨大なマンパワーをもたらし、特に従来膨大な文献量に災いされて研究の進んでこなかった中世以降のオーロラ・黒点記録の悉皆調査をなし得る可能性を萌芽せしめるものである。しかし一

方で、歴史文献の読解に際して専門的訓練が重要となることも改めて再確認される結果となった。用語論が確定しきらない現状で、専門的知識なしで史料を読解した場合、参加者は研究者に思わぬ教示を与える一方、遺漏や無関係情報の混入、記録の誤写・誤読とは決して無縁ではなかった。このような困難を解決するためには専門の歴史研究者・天文研究者と参加する市民との間で双方向的な情報共有が必要となることが改めて浮き彫りとなったといえよう。

5. まとめ：問題点と展望

以上、歴史文献による太陽活動の研究について主要論文を紹介しつつその現状を瞥見した。当該分野は放射性同位体比研究の手法の発展により、新局面を迎えつつある。歴史文献の利用はキャリントン・イベント以前のみならずガリレオの近代観測以前の極端宇宙天気の実態究明を可能にする点で極めて有用であると言えよう。

しかし依然残された問題は少なくない。まず、前近代の観測者はオーロラを「オーロラ」と認識して観測していない点が上げられる。オーロラのメカニズムが究明されたのは 18 世紀以降のことであり、それ以前の史料については「赤氣」のような語であっても必ずしもオーロラと一対一対応しないことを注意せねばならない。

そのためオーロラ用語はオーロラであるための必要条件であっても十分条件とはなり得ない。そのようなオーロラ用語についての議論は西欧で Link (1962) や Stothers (1979)、東洋で神田 (1933) や慶松 (1967a-b)、Hayakawa et al. (2015) や Hayakawa et al. (2016a) が知られるが、依然議論は尽くされておらず、如何なる語をオーロラ用語と見做すかの確たる合意が共有されているとはいいがたい。用語論を確定させないカタログ作成は常に恣意的な記録選択の危険性をはらまざるを得ない。

こうした史料の引用に際し、出典の頁数を示さない引用が少なくない。理系の雑誌論文と違い、史料の分量はしばしば膨大で、ともすれば不適切な引用の末に問題の原史料への遡及が困難になっている場合が少なくない。こと写本史料を扱う場合、ことはより困難であるが（頁数が記入されていないものなど）、少なくとも刊本を扱う上では準拠した刊本を明かした上でその頁数を明記すべきであろう。

長期変動を扱う際は特に注意が必要である。史料毎にオーロラ・黒点の記事の採録基準が同じとは限らず、時代毎に史料の残存状況は大きく異なるからである。実際 15 世紀にグーテンベルグの許で開花した印刷技術が 16 世紀の宗教改革期に普及して行くにつれ、西欧の史料数は激増し、Link (1962) を引く Keimatsu (1976) での見かけ上の 16 世紀のオーロラ観測数は前世紀の 4 倍近くになっており、素直に太陽活動の盛衰を示す数字と取ることはできない。そのため異なる性質の史料の接続、集成は太陽活動の長期変動を論じる上で

は極めて危険であると言えよう。

当該研究の展望は、大きく史料収集とその検討に二分することができる。近年のデータベース整備等に伴い、史料へのアクセスが簡単になった今、未発見のオーロラ・黒点記録の発見の可能性は飛躍的に高まりつつある。既に述べた通り、国内では国立極地研究所、国文学研究資料館、京都大学の連携下で Aurora4D Project も始動され、今やこうした史料調査は市民も参加できる段階に達しつつある。加えて国内には未読の文書群も少なくない⁹。その中にオーロラ・黒点記録がなお存在することは渡辺（2007）の成果とその後の進展を見るに明らかである。ことは何も国内に限らず、世界各国の史料についても同様のことが言えよう。

また、新出史料の科学的検討もまた新たな学問上のフロンティアとなりつつある。文献史料は放射性同位体比の検討に拠る科学データを補正し得るし、解像度の高い科学データは文献の記録の真偽を裏付けることができよう。今後、このような歴史文献と放射性同位体比のサーベイが相乗効果をもたらし、過去の太陽活動を明らかにして行くことが期待される。

太陽活動の歴史は過去に留まるものではない。一定メカニズムで動く恒星たる太陽でかつて起こったことはまた起こりえるからである。歴史文献は太陽活動の過去だけでなく、その将来についても新たな視座を供することができよう。

謝辞

本研究は以下にあげる様々な支援を受けている。

- ・総合研究大学院大学 学融合推進センター 学融合研究公募事業「オーロラと人間社会の過去・現在・未来」（代表 片岡龍峰）
- ・文部科学省特別経費プロジェクト 「宇宙開発利用を担うグローバル人材育成のための宇宙学拠点の構築」

参考文献

- Basurah H (2006) J Atmos Sol Terr Phys 68:937–941.
- Boller W (1898) Gerlands Beiträge zur Geophysik, 3: pp56-130; pp550–609.
- Carrasco VMS, Vaquero JM (2016) Solar Physics, first published online.
- Carrington RC (1859) Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 20: 13-15.

⁹ 新出史料の扱いは無論注意を要する。特に各種写本の利用に際しては所蔵機関の定める規則に従うことが求められる。

- Chapman J, Neuhäuser DI, Neuhäuser R, Csikszentmihalyi M (2015) *Astron. Nachr.*, 88: pp789-804.
- Cárdenas FM, Sánchez SC, Domínguez SV (2015) *Advances in Space Research*, 57: pp257-267.
- Cliwer EW, Dietrich WF (2013) *J. Space Weather Space Clim.* 3, A31.
- Eddy (1980) The ancient sun: Fossil record in the earth, moon and meteorites; Proceedings of the Conference, Boulder, CO, October 16-19, 1979. (A81-48801 24-91). Pergamon Press, New York and Oxford: 119–134.
- Fritz (1873) *Verzeichniss Beobachteter Polarlichter*, Wien.
- Gallilei G (1613) *Istoria e Dimostrazioni Intorno Alle Macchie Solari e Loro Accidenti* Rome, Roma.
- Green J, Boardsen S (2006) “Duration and extent of the great auroral storm of 1859”. *Advances in Space Research* 38 (2): 130–135.
- Green J, Boardsen S, Odenwald S, Humble J, Pazamickas K (2006). “Eyewitness reports of the great auroral storm of 1859”, *Advances in Space Research* 38 (2): 145–154.
- Hathaway DH, Wilson RM, Reichmann, EJ (2002) *Solar Physics*, 211 (1): pp 357-370.
- Hayakawa H, Isobe H, Kawamura AD, Tamazawa H, Miyahara H, Kataoka R (2016a) *PASJ*, 68 (3): 33
- Hayakawa H, Tamazawa H, Kawamura AD, Isobe H (2015) *EPS*, 67:82.
- Hayakawa et al. (2016b) *PASJ*, submitted.
- Kawamura et al. (2016) *PASJ*, submitted.
- Keimatsu M (1970) *Ann. Sci. Coll. Liberal Arts, Kanazawa University*, 7:1-10.
- Keimatsu M (1971) *Ann. Sci. Coll. Liberal Arts, Kanazawa University*, 8:1-14.
- Keimatsu M (1972) *Ann. Sci. Coll. Liberal Arts, Kanazawa University*, 9:1-36.
- Keimatsu M (1973) *Ann. Sci. Coll. Liberal Arts, Kanazawa University*, 10:1-32.
- Keimatsu M (1974) *Ann. Sci. Coll. Liberal Arts, Kanazawa University*, 11:1-36.
- Keimatsu M (1975) *Ann. Sci. Coll. Liberal Arts, Kanazawa University*, 12:1-40.
- Keimatsu M (1976) *Ann. Sci. Coll. Liberal Arts, Kanazawa University*, 13:1-32.
- Kimball DS (1960) A study of the aurora of 1859. Scientific Report No. 6, University of Alaska, No. 6.
- Link F (1962) *Geol Sb* 10:297–392
- Lockwood M, Barnard L (2015) *A&G*, 56: 4.25-4.30.
- Loomis E (1859) *Am. J. Sci., Second Series*, 29, 84: pp385-408.
- Loomis E (1860a) *Am. J. Sci., Second Series*, 29, 85: pp92-97.
- Loomis E (1860b) *Am. J. Sci., Second Series*, 29, 86: pp249-265.

- Loomis E (1860c) Am. J. Sci., Second Series, 30, 88: pp79-94.
- Loomis E (1860d) Am. J. Sci., Second Series, 30, 90: pp339-361.
- Loomis E (1861a) Am. J. Sci., Second Series, 32, 94: pp71-84.
- Loomis E (1861b) Am. J. Sci., Second Series, 32, 96: pp318-331.
- Loomis E (1865) Annual Report of the Smithsonian Institute: pp208-248.
- Maehara H, Shibayama T, Notsu S, Notsu Y, Nagao T, Kusaba S, Honda S, Nogami D, Shibata K (2012) Nature 485: pp478–481.
- Maehara H, Shibayama T, Notsu Y, Notsu S, Honda S, Nogami D, Shibata K (2015) EPS, 67:59.
- Matsushita S (1956) JGR, 61 (2): 297–302
- Miyake F, Masuda K, Nakamura T (2013) Nat Commun, 4, 1748.
- Miyake F, Nagaya K, Masuda K, Nakamura T (2012) Nature: pp240–242.
- Musha K (1939) “Japanese Aurora Records [本邦極光史料]”, Weather and Climate [天気と気候] 6: 334-337 [in Japanese]
- Nakazawa Y, Okada T, Shiokawa K (2004) EPS, 56: e41-e44.
- Neuhäuser R & Hambaryan VV (2014) Astron. Nachr. 88: pp789-803.
- Neuhäuser R, Kunitzch P (2014) Astron. Nachr., 88: pp789-800.
- Neuhäuser R, Neuhäuser DI (2015) Astron. Nachr., 88: pp789-812.
- Riley P, Lionello R, Linker JA, Cliver ED, Balogh A, Beer J, Charbonneau P, Crooker N, De Rosa M, Lockwood M, Owens M, McCracken K, Usoskin I, Koutchmy S (2015) The Astrophysical Journal, 802:105.
- Shibata K, Isobe H, Hillier A, Choudhuri AR, Maehara H, Ishii TT, Shibayama T, Notsu S, Notsu Y, Nagao T, Honda S, Nogami D (2013) PASJ, 65 (3): 49
- Shibayama, T, Maehara H, Notsu S, Notsu Y, Nagao T, Honda S, Ishii TT, Nogami D, Shibata K (2013) Astrophysical J Suppl 209: 5.
- Steinhilber F, Beer J, Fröhlich C (2009) Geophys. Res. Lett., 36.
- Stephenson FR, Willis DM, Hallinan TJ (2004) A&G, 45 (6): 6.15-6.17.
- Stothers R (1979) Isis, 70: 85-95.
- Suzuki H, Chino H, Sano Y, Kadokura A, Ejiri MK, Taguchi M (2015) EPS, 67:107.
- Usoskin IG (2008) “A History of Solar Activity over Millennia”, *Living Rev. Solar Phys.*, 5, 3.
- Vázquez M & Vaquero JM (2009) *The Sun Recorded Through History*, New York.
- Willis DM, Davda VN, Stephenson FR (1996a) Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society, 37: pp189-229.
- Willis DM, Stephenson FR (1999) Annales Geophysicae, 18: pp1-10.

Willis DM, Stephenson FR, Fang H (2006a) *Annales Geophysicae*, 25 (2): pp417-436.

Willis DM, Stephenson FR, Singh JR (1996b) *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 37, pp733-742.

Willis DM, Vaquero JM, Stephenson FR (2009) *A&G*, 50 (5): 5.20-5.24.

Wittmann AD & Xu ZT (1987) *Astronomy and Astrophysics Supplement Series* 70: pp83-94.

Yang HJ, Changbom P, Goo PM (1998) *PKAS*, 13: pp181-208. (in Korean)

Zolotova NV & Ponyavin DI (2015) *ApJ* 800:42

大崎正次 (1994) 『近世日本天文史料』 東京.

片岡龍峰, 藤原康德 (2016) 「古典オーロラハンター：新しい市民参加型研究の可能性」『ふみ』 6: 8-9.

神田茂 (1933) 「本邦に於ける極光の記録」『天文月報』 26: 204-210.

神田茂 (1934) 『日本天文史料』 東京.

神田茂 (1935) 『日本天文史料総覧』 東京.

慶松光雄 (1967a) 「中国の極光史料とその世界的価値-上-」『史林』 52(2), 62-93

慶松光雄 (1967b) 「中国の極光史料とその世界的価値-下-」『史林』 52(3), 14-55

莊威風 (2009) 『中国古代天象記録的研究と応用』 北京.

北京天文台 (1988) 『中國古代天象記録総集』 南京.

武者金吉 (1937) 「本邦極光史料」『天気と天候』 6, 334-337.

渡辺美和 (2007) 『続・近世日本天文史料 (暫定版)』 私家本.