

歴史書に眠る太陽活動1000年の再検討

玉澤 春史¹・早川 尚志²
河村 聡人¹・磯部 洋明³

〈¹ 京都大学理学研究科附属天文台 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町〉

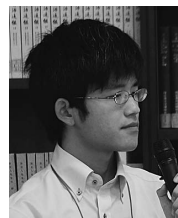
〈² 大阪大学大学院文学研究科 〒560-0043 大阪府豊中市待兼山町 1-5, 京都大学大学院文学研究科, 日本学術振興会特別研究員 DC1〉

〈³ 京都大学総合生存学館 〒606-8306 京都市左京区吉田中阿達町 1, 京都大学宇宙総合学研究ユニット〉

e-mail: tamazawa@kwasan.kyoto-u.ac.jp



玉澤



早川



河村



磯部

歴史書の中には古来さまざまな天文現象が記録されており、これを観測データとして扱うことで望遠鏡観測以前まで含めた長期記録として扱うことが可能である。太陽活動に関するものも、肉眼黒点や低緯度オーロラの記録は長期変動の指標として扱われてきたが、近年の極端宇宙天気研究の発展により、過去のある特定期間における太陽活動現象に関する記録があるかが特定年代での太陽活動の解釈を左右する場面が増えてきている。過去の太陽活動が年輪や氷床コアなどの科学データから判明する一方、歴史記録は特定の発生イベントを観測日時や観測地点も含めて伝えており、その再検討は急務である。その中でも特に中国諸王朝の正史は当時の専門家による長期にわたる連続観測に基づく定点観測史料として貴重である。本稿では、このような中国正史における黒点・オーロラ記録を再検討しその結果と展望の一端を紹介する。

1. 「最大」の太陽フレア

太陽フレアは太陽系内最大の爆発現象であり、太陽表面、黒点近傍で発生する。1回のフレアで開放するエネルギーは 10^{29} – 10^{32} ergであり、水素爆弾の10万個から1億個分に相当する。爆発現象が地球に影響を与えることもあり、爆発に伴うコロナ質量放出が地球に衝突し、地磁気を乱すことでオーロラなどを発生させる。

近代観測史上最初、そして最大の太陽フレアは1859年にイギリスのキャリントンが黒点スケツ

チ中に観測した通称「キャリントンフレア」である¹⁾。このときハワイやキューバなど、およそオーロラのイメージが起こらない低緯度地域でもオーロラが観測されている²⁾。

では、それ以上の巨大なフレアはこれまでに起きたのだろうか。太陽フレアは自然界のエネルギー解放現象であるから、最大どのくらいのエネルギーが開放されるかという疑問が出るのは物理としてごく自然である。太陽に関する近代観測は、ガリレオによる17世紀初頭の黒点観測に始まるが、それでも400年分のデータがあるだけで

ある。では、数百年に一度程度の低頻度かつ大規模なフレアの発生頻度やその実態はどのように考えるべきだろうか。

これについて、従来知られている太陽フレアよりも大きなエネルギー解放である「スーパーフレア」にまつわる研究が、特にここ数年加速的に進んでいる。その中でも重要な研究成果が2012年に相次いで発表された。京都大学理学研究科附属天文台の研究チームは太陽型星の起こすフレアを多数観測することにより、自転速度の速くない太陽型星でもスーパーフレアが観測されたことを報じた³⁾。

京都大学のグループの発表直後、名古屋大学のグループは年輪に含まれる炭素14含有比の1年解像度の変化を測定し、西暦775年付近⁴⁾、および994年付近⁵⁾に全地球規模の炭素14含有比変動の痕跡を見つけたことを報じた。従来炭素14含有比は長期変動の指標として使われてきたが、この二つの急変は従来型の長期変動では説明しにくいものだったため、その原因についてさまざまな推測が行われている。その中の有力な仮説が巨大太陽フレアによるものである。

巨大なフレアが生じたのであれば、出発点としての巨大黒点や地磁気との反応の結果生じた低緯度オーロラが見られるはずである。この年代は近代観測の始まる数百年前になるが、幸いにして歴史文献のカバーする範囲内にある。上述の京大チーム周辺でも、スーパーフレアの研究が本格的に始まる前から、歴史文献を調査する可能性については、半ば冗談も含めて会話には上っていたのだが、従来の天文学・宇宙物理学の研究者にさまざまな言語を読みこなせるような者は誰もいなかったのである。

当時、筆者の一人である玉澤も、アルバイト先や知り合いの集まりで会った人がいろんな言語が使えると聞くと、「昔の記録にそういったものないでしょうか」と思い出したときには質問していた。その中で「多分できますよ」と答えたのが本

研究の重要人物である、共著者の早川である。そのときはお互いに「まあ隙間の時間にこそこそやってみましょう」程度の認識だった。

2. 長期変動指標としての過去記録

筆者らが文献調査をする以前からも天文学「史」ではなく文献を「観測記録」として扱った天文学の研究は存在している。わかりやすいのが彗星の研究だろう。太陽活動に関しても歴史文献を使った研究は存在している⁷⁾。ただし、専ら長期変動に関する内容である。

太陽黒点には年によって現れる個数に差があり、11年ごとに増減を繰り返す周期が知られている。ガリレオ・ガリレイ以来の400年に及ぶ黒点観測期間の中には、ほとんど黒点が現れなかった時期もあり、そのときの地球での気温低下との関係を含めて議論の対象になっている。低緯度オーロラについてもEddyをはじめとする先学の研究があるが、歴史文献のサーベイはやはり長期変動を焦点に行われたものである^{5),6)}。

オーロラや黒点の記録は量の大小こそあれ、世界各地に広がっているが、こと長期変動に関しては中国の記録が使われることが多い。われわれの研究もこの中国の正史からスタートした。これにはいくつかの理由がある。

第一に、中国の天文記録では比較的長期間、当時の「専門家」による連続記録が残っている点である。そもそも中国には専門の観測官がおり、歴代の皇帝に天の異変を伝えることが職務の一つであった。したがって、これらの記録は長期間を比較的一定してカバーしており、同一史料内での天文記録の採録基準がある程度一定であると思われる。長期変動との比較に適する。

第二に、このような観測は当然皇帝のお膝元、すなわち首都近郊で行われることが多かった点である。このことから、特に明記のない限り観測は首都近郊で行われたと想定され、観測地点の位置情報がはっきりしていることを意味する。

さらにこれらの記録ではおおむね観測の年月日
が与えられ、加えてオーロラの場合だと色、方
角、時間まで記述されていることもある。

このように観測日時、観測地、オーロラの場合
はその挙動、といった情報がそろっていること
は、当該記録を科学的に考察する際非常に有用で
ある。実際にどのような記録が残されているの
か、この場に例を挙げてみよう。

宣和元年七月戊午夜、赤雲起東北方、貫白氣
三十餘道。(宋史天文十三1314)

オーロラと思わしき記述に比べ、黒点に関する
記録は少ないが、それでも多少は残っている。

元豊…二年二甲寅、日中有黒子如李、至癸亥
散。(宋史天文五1087)

このように日時や方向などの情報がわかっている
ものは観測記録として価値が高い。また、通常
オーロラが見えない緯度での観測記録、あるいは
専門の望遠鏡がなかったと思われる中での肉眼で
の黒点観測記録は、それだけ極端な規模の磁気
嵐、黒点の出現を示している。そのような規模の
磁気嵐が現在発生した場合、現代社会のインフラ
に及ぼす影響も少なくあるまい。

この、極端な磁気嵐やそれを引き起こしうる巨
大黒点・巨大太陽フレアの研究は個別現象の研究
が重要であるが、当然のことながらそのようなイ
ベントは少なく、どうやって情報を引き出すかが
問題になる。特に、極端な太陽活動現象が、地球
にどの程度影響を与えたかを判断するためには、
日時のはっきりしている低緯度オーロラの記録が
重要であり、当該時期にオーロラが観測されたか
否かは、一連の自然現象の解釈を大きく左右す
る。

このように近年の極端宇宙天気研究の進展によ
り、歴史記録は、従来の長期変動の指標としてだ

けでなく、個別現象の観測データの一つとしても
扱われるようになってきており、より綿密な再検
討が求められているのである。

3. 基準作成：中国正史の再サーベイ

自然科学側からの再サーベイの要請の一方で、
近年の人文科学側の進展も本研究の遂行を容易に
した。

従来の研究は膨大な史料を自ら読み取り、該当
する箇所を書き写すということをやってきたので
ある。当然書き写しの際にもミスは生じうるし、
見落としもありえるだろう。また、今も昔も人文
科学の研究は個人研究が主体であった。個人研究に
よるということはすなわち、自然科学・歴史学ど
ちらか一方からの史料検討となってしまうことも
多く、一定の視座を見落とす可能性をはらんだも
のであった。複数分野の専門をもつ人間が同時に
検討することでこれをクリアすることが初めて可
能になる。

近年、一部の歴史文献については、それまでの
所蔵目録から、各ページを画像で公開したり、手
書き文献を活字化したりして、専門家以外でも
(意味はともかく)読める形式にした「翻刻」版
のデジタルテキスト化、さらにはデータベース化
が進められている。このような「デジタル・
ヒューマニティーズ(人文情報学)」といわれる
分野の進展により、歴史文献は従来よりアクセス
しやすくなり、また語句検索も容易になった。

本稿で紹介している中国正史における記録も、
台湾の中央研究院で公開している「新漢籍全文」
を利用し、たとえば低緯度オーロラを指すとされ
る「赤氣」を入力すれば比較的容易にキーワード
検索が可能である。この検索結果を刊本史料とク
ロスチェックすることで、該当記録の見落としの
リスクが段違いに少なくなる。実際にいくつかの
先行研究で見落とされていた記録が発見されてお
り、このデータベースによる検索の力の寄与は大
きい。

また、近年の「異分野融合」「学際融合」の掛け声のもと、以前に比べこのような研究に対して多少なりともやりやすくなったという背景もある。筆者らの所属する京都大学でも、2008年に天文学・宇宙物理学を含めた部局横断型の組織として宇宙総合学研究ユニット（通称宇宙ユニット）が設立され、ここに人文・社会科学系の教員も参加しており、異分野間の研究者同士が接する機会が多くなった。従来より異分野連携研究の風通しが良くなりつつあるのは確かである。

この研究プロジェクトについても、当初共著者の早川により中国正史に対して試験的に上記オンラインデータベースと刊本の照合作業が行われたのだが、京大宇宙ユニットを通してその結果を知ったもう一人の共著者である磯部の後押しにより、さらなる細かな検討や論文執筆へと向けて、急速に研究が動き始めた次第である。顛末の一部は巻頭言で磯部が書いているので詳細は割愛する。

4. 各時期の特徴

中国正史によるオーロラ・黒点記録サーベイの論文化は細かい史料検討が済んだ順番に投稿しており、本稿執筆段階で西暦580年以降のものが投稿、受理されている^{8),9),10),11)}。ここでは時代の古いものから記録とともに紹介する。なお、各節に記されている年代は記録についての年代であり、一部王朝自体の存続年代とはずれがあることをあらかじめ断っておく。

4.1 隋・唐・五代十国の時期 (581-959)⁸⁾

この時期については三宅氏による775年付近の炭素14同位体比の年変化の異常増加の報告に触発され、すでにさまざまな報告がなされている。年輪については他の樹木、北半球だけでなく南半球の樹木の調査、また氷床コアに含まれるベリリウム10などの調査も行われている。文献に関する調査も同様であるが、775年イベントに直接関連すると思われる記述は現時点では見つかってい

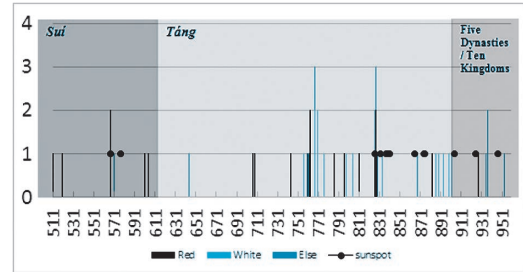


図1 隋・唐・五代十国の時代のオーロラ・黒点録推移。背景色の変化は王朝の交代を表す。

ない。筆者らはこの時代について、隋書、舊唐書、新唐書、舊五代史、新五代史のサーベイを行った（図1）。

これらの正史によると合わせて42例のオーロラ記録がこの400年間にある。後述の宋代と比べると大分少ないが、そもそも低緯度オーロラ自体が頻繁に見られる現象ではないのでさして問題あるところでもない。

ガリレオ以前の太陽活動は、炭素14同位体比の変化に基づいて黒点数変動が復元されており、そこからやはり極小期と思われる時期が指摘され、特に640年から710年までの期間は名前こそついていないが、太陽活動が低下していた時期として指摘されている⁶⁾。この期間については、オーロラおよび黒点の記録は見つからなかった。記録がなかったからといって現象そのものがなかったとは言えないのだが、一つの観測的事実として重要だろう。

図1では三つの時代のグラフを一緒にしているが、これは歴史研究者とのやり取りのうへの産物である。史料が違えば編纂基準も違うのであるから、同じグラフに掲載するのは抵抗がある。これはある意味もっともで、天文学でいえば、同じ波長で観測したといえども異なる望遠鏡、人工衛星で観測したものを区別なく同列に並べるのと似たようなものであり、避けるべきであろう。一方で経年変化を見るのは必須で同一軸には載せたい。いろいろ試した末、背景色を変更するというこ

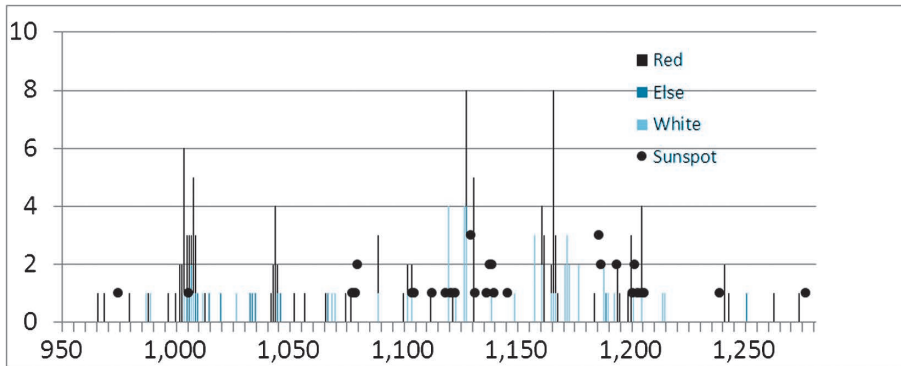


図2 宋代のオーロラ・黒点記録推.

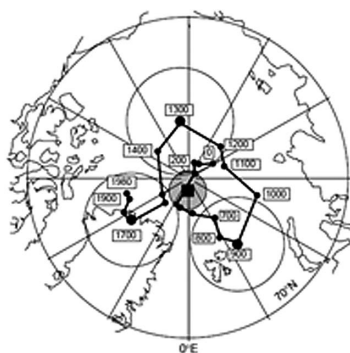


Figure 1.9 Positions of the north geomagnetic pole over the past 2000 yr. Each data point is the mean geomagnetic pole at 100-yr intervals; numbers indicate date in years A.D.; circles about geomagnetic poles at 900, 1300, and 1700 A.D. are 95% confidence limits on those geomagnetic poles; the mean geomagnetic pole position over the past 2000 yr is shown by the square with stippled region of 95% confidence. Data compiled by Merrill and McElhinny (1963).

図3 Robert F. Bulter, 1992 より、北極側の磁極移動の様子¹²⁾.

でひとまず妥結している。

4.2 宋の時期 (960-1279)⁹⁾

この調査期間の初期は994年付近の炭素14増加が報告されているものの、他の年輪測定は774年付近の事例に比べ少なく、また歴史文献の調査についても同様にそれほどされてきていない。

一方で、西暦1000年を過ぎて宋代に入ると、300年近い長期間を単一王朝がカバーし、その記録も他の時期に比べて量を増す(図2)。前述のとおり本来は史書ごとに行うべきサーベイが、ここでは約300年という長期にわたる一定数の記録があり、そのまま区分することなく取り扱うことができるのである。

なぜ記録数が増大したのかは、人文学的に依然

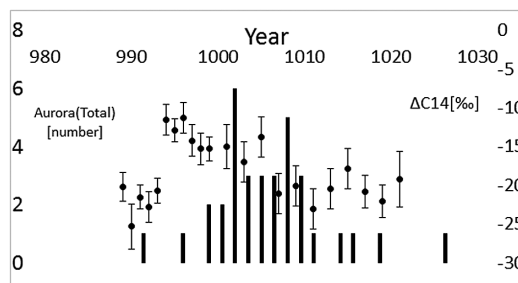


図4 994年付近のオーロラ観測記録数と年輪中炭素14の変化.

議論を要する。ここでは地球物理側からの理由を記すのにとどめる。図3は北極側の磁極の経年移動を示す¹²⁾。今回の研究では低緯度オーロラのサーベイを企図しているが、これはすなわち、低磁気緯度でのオーロラ観測事例のサーベイを行っていることを意味する。

磁極は長期間の間に動いており、その時々での磁気緯度も一定ではない。宋の時代付近、つまり1000-1300年頃を見てみると、磁極は現代に比べてずっと東アジア寄りである。つまりこの時期の東アジアは現在よりもオーロラが見えやすい環境だったといえる。

ではMiyake et al.⁵⁾で指摘されている994年イベントの付近はどうだっただろうか。長期変動の研究からはこの時期はOortの極小期(1040頃-1080年頃)や中世の極大期(1100頃-1250年頃)の少し前の時代に当たる。地磁気の磁極は最も東

アジア側に傾いていた頃に当たる。

図4に示したように、1000年頃からオーロラ観測記録が増加している。一方で994年付近に該当しそうなオーロラ観測記録は、中国正史には見受けられない。同時期の韓半島や西欧で立て続けにオーロラが見られていることから、当時オーロラ帯の南限や天候の影響などの議論が待たれる。

前出の774年付近と合わせて、「非常に巨大なフレアは太陽活動のどのような時期に起こりうるか」という疑問にもつながる。

4.3 元・明の時期 (1261-1644)¹⁰⁾

西暦1000年付近をピークに磁極は東アジアから遠ざかり、当時の中国の磁気緯度は低緯度に向かうが、それに呼応するようにオーロラの記録数

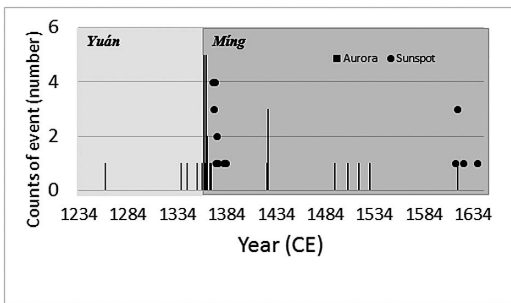


図5 元・明時代の記録数変化。背景色変化は王朝の交代による。

は減少する(図5)。王朝ごとの記録方針の差も重なっているだろうから一概に比較は難しいのもまた事実で、元史には全くなかった黒点の記録が明史に突然記録されるようになるなど、自然科学、歴史学の両面からの検討が必要である。これらの時代を長期変動の観点から見ると、Wolf極小期(1280頃-1350年頃)、およびSpörer極小期(1450頃-1550年頃)がこの時期に含まれ、Wolf極小期の終わりごろにオーロラ、黒点の記録が集中しており、一方でSpörer極小期のあとにも黒点記録が見られる。

4.4 清の時期 (1613-1876)¹¹⁾

清王朝の時代、日本では江戸時代に入るこの時期はいわゆる地方志や実録・起居註など残存記録数が飛躍的に増える時期である。そのままデータを収録してオーロラや黒点の観測記録を単純積み上げすると、この時期に見かけ上太陽活動が飛躍的に活発になったことになってしまう。そこでわれわれはこの弊害を避けるべく、使う史料もそれまでと同様、いわゆる「正史」の稿本としての『清史稿』のみをサーベイ対象とし、西欧の記録との同時観測、各記録との月齢比較等を行った。

清代を通した記録は図6のとおりであるが、この時期はマウンダー極小期およびダルトン極小期を含んでいる。この間、通常低緯度オーロラに該

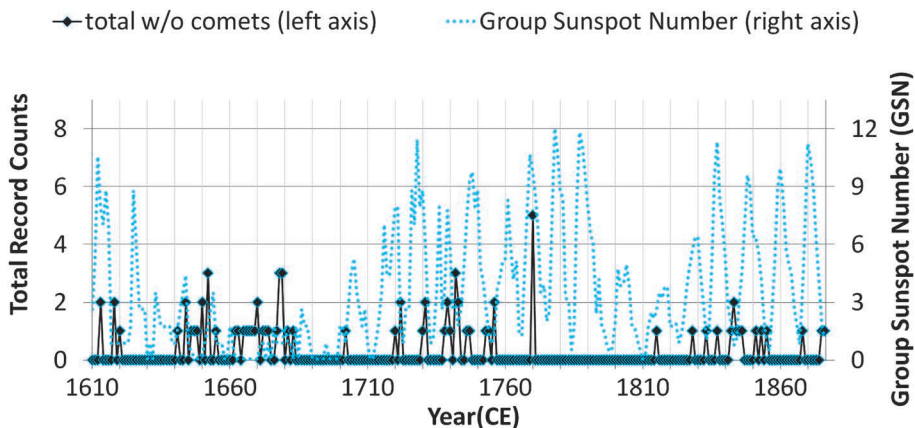


図6 清代の記録の推移。点線が黒点相対数。

当する赤気ではなく、白気について、マウンダー極小期の期間でさえ僅かながら記録が見受けられる。この事実はさらなる精査を要するものの、太陽活動停滞期にどのような極端イベントが起こりうるかに示唆を与えるものである。

ただし、この「白気」という単語が曲者である。まず、通常低緯度オーロラが赤で示されるのは、その発生する高さが上空200 km程度であり、より低緯度で見えやすい、ということからである。しかし、非常に大規模な磁気嵐ではこの常識が覆る可能性がある。キャリントン・イベントの際、世界各地でオーロラが観測されているが、低緯度であっても白を含め赤以外のオーロラが記録されている。一方で記述からは彗星などと混同しやすいものもあり、他の彗星記録などから除外していく必要がある。また、この研究を最初にセミナーで発表したとき、共著者の河村から「月光由来のものを含んでいるのではないか」との指摘があった。非常に空気が冷たいときは大気中の水分が凍り、屈折してさまざまな大気光学現象を引き起こす。太陽由来のものが多いが、条件によっては月由来のものもありうるのである。これを切り分けるには月齢を計算し、月光の影響を評価する必要がある。最初に指摘した河村が、それ以来暦の再チェックを担当してきている。清代については欧州の彗星記録なども参照し除外した後でもなお、新月付近、つまり月由来の大気光学現象とは考えにくいものが記録に含まれることを指摘している。

5. 縦軸から横軸へ：今後の展開

中国正史を使った作業は、基軸づくりである。先行研究もなくはなかったが、長期の科学データや月齢との比較をもって自然科学と歴史学の専門家が集って議論し、またキーワードサーベイの基準を明示した意義は大きい。ではこの研究をもとに歴史天文学はどのように展開できるのだろうか。

まずは他地域の記録との照合である。前近代の記録は中国に限らず残っているが、中国ほど体系

的に記録していたわけではなく、場合によっては象徴的に書かれていることも少なくない。そうなるさまざまな言語・地方・時代を専門とする歴史の研究者と一緒に研究する必要がある。この研究を始めた当初は少ない人数でやってきたのだが、いろいろな縁で協力してくれる人も増えてきた。ほかの言語といえば本特集で執筆している三津間氏が楔形文字やシリア語の記録を精査して協力してもらっているし^{13), 14)}、日本の歴史文献は国文研の岩橋氏を中心としてさまざまな時代の文献を入手、精査してもらっている¹⁵⁾。

また、個々のイベントの検証も課題である。992年付近で言えば早川による他地域の検証が行われているし¹⁶⁾、非常に大規模なイベントだと思われるものについても手を付け始めているが、これもさまざまな地域専門の研究者との協力が必須である。確からしさが高まれば、年輪や氷床コアの、より精度の高い調査を依頼することになるだろう。

一方で、これまでは歴史研究者の研究資源を使った自然科学研究であり、おもに歴史研究者にこちらの領域に協力してもらっているが、その逆、自然科学側から歴史研究側へのフィードバックも可能かもしれない。研究のスタイルから成果の出し方、評価のポイントなど全く研究文化が違い、実際に形にするには時間がかかるだろう。それでも継続的に研究を進めていくことでどこまで可能か挑むこともやり始めたものの責任である。

本研究はこれまでの研究と違い、とにかく多分野の研究者・学生が同じ史料に向かって対面し検討することを繰り返して行ってきた。そこには当然研究文化の差もあり、論文化やデータの取り扱い方などで激しい議論をたくさん繰り返すことになる。相手の研究文化を尊重しながら進めていくうえで、通常ではあまり得ることのない経験をさせてもらっている。

謝 辞

学生二人の思い付きで始めた研究が、複数の論文を出版するまで大きな話になったのも、通常なら止めるかもしれない場面でなぜか止めずに進める人々がたくさんいたのが幸이었다。これは大学の中でもそういった研究を奨励する雰囲気が盛り上がりつつあったことが大きい。予算のあてなど全くないなかスタートしており、常にどこから研究費を回すか考える日々だが、「面白いのだし予算獲得などのバックアップは上のものがやるべきだ」といってさまざまな予算源にアプローチしてもらっている皆様に、この場を借りて感謝申し上げる。

本稿の内容は以下のさまざまな計画より支援いただいている: 京都大学宇宙総合学研究ユニット「宇宙学拠点」、京都大学「知の越境」融合チーム研究プログラム (SPIRITS) (2013, 2017), 京都大学学際研究着想コンテスト2014 京都大学生存圏研究所生存圏科学萌芽研究, 生存圏ミッション研究, 総合研究大学院大学学融合推進センター学融合共同研究, 科研費JP15H05816, JP70183796, JP17J06954, JP16H03955.

参考文献

- 1) Carrington R., 1859, MNRAS 20, 13
- 2) Loomis E., 1860, Am. J. Sci. 30, 339-361
- 3) Maehara H, et al., 2012, Nature 485, 478
- 4) Miyake F, et al., 2012, Nature 486, 240
- 5) Miyake F, et al., 2013, Nat. Commun. 4, 1748
- 6) Eddy J. A., 1977, Sci. Am. 236, 80
- 7) Stephenson F. R., Yau K. K. C., Hunger H., 1985, Nature 314, 587.
- 8) Tamazawa H., et al., 2017, PASJ 69, 22
- 9) Hayakawa H., et al., 2015, EP&S 67, 82
- 10) Hayakawa H., et al., PASJ, 2017, in press
- 11) Kawamura AD, et al., 2016, PASJ 68, 7
- 12) Butler, R. F., 1992, Paleomagnetism: magnetic domains to geologic terranes. (Blackwell Scientific Publications, Boston), Chapter 1
- 13) Hayakawa H., et al., 2016, EP&S 68, 1
- 14) Hayakawa H., et al., 2017, PASJ 69, 2
- 15) Hayakawa H., et al., 2016, PASJ 68, 99
- 16) Hayakawa H., et al., 2017, SolPhys 292, 12

Re-Survey of Records of Sunspots and Aurora Candidates in Historical Documents to Understand Solar Activity for 1000 Years

Harufumi TAMAZAWA¹, Hisashi HAYAKAWA², Akito KAWAMURA¹ and Hiroyuki ISOBE³

¹*Kwasan and Hida Observatories, Kyoto University, Oiwake-cho, Kitashirakawa, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan*

²*Graduate School of Letters, Osaka University, 1-5 Machikaneyama-cho, Toyonaka, Osaka 560-0043, Japan*

³*1 Nakaadachi-cho, Yoshida, Sakyo-ku, Kyoto 606-8306, Japan*

Abstract: Various astronomical phenomena are recorded in historical documents and they can be studied as long term record by treating them as scientific observation data. Concerning solar activity, the records of giant sunspots and low latitude aurora were treated as indicators of long-term solar variation, however, due to the development of the extreme space weather research in recent years, the historical records have also to be reviewed as a kind of observational data in case studies. In this paper, we will introduce research on the review of long-term Chinese records by using historical-survey system in the field of digital humanities, which can be the basis of future studies in this field.