

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 12 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23501247

研究課題名(和文)古記録における天気ならびに植物季節的記述を用いた気候復元手法の確立

研究課題名(英文)Climate reconstruction using weather and phenological records from old documents

研究代表者

青野 靖之 (AONO, Yasuyuki)

大阪府立大学・生命環境科学研究科(系)・准教授

研究者番号：40231104

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：気象観測が始まる前に書かれた多くの古い日記を調査し、その中の開花や紅葉に関する記録を調査した。その結果から花見が行われた日をヤマザクラの満開日、観楓があった日をカエデ類の紅葉日として、前者から3月、後者から10月の平均気温の9～19世紀にわたる変化を推定した。京都の3月平均気温は10世紀前半で現在より暖かったこと、太陽活動が不活発な4つの時代には気温が現在より3℃程度低下したこと、京都の10月の気温も3月とほぼ同様な推移を示したこと、京都と江戸におけ3月平均気温の推移同士には互いに遅れ・進みが認められず、上記の傾向は日本全体で見られた可能性が高いことが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Phenological data of cherry blossoms and of maple trees autumn tints were acquired from investigation of the old diaries, which were kept in the period before starting of modern meteorological observations. These data were compiled as some phenological data series and were applied to reconstructions of temperature changes over the medieval and early modern periods. The March temperature reconstructions, deduced from cherry blossom phenology in Kyoto, showed a warm period in the 10th century and four cold periods of 1330-50, 1520-50, 1670-1700 and 1825-30. The secular change in spring temperature at Kyoto followed solar variation. The October temperature change, deduced from phenological data for autumn tints in Kyoto, was similar to spring temperature change. For Edo (Tokyo), March temperatures were also estimated and the change in reconstructions showed strong synchronization with those reconstructed at Kyoto.

研究分野：農業気象学

キーワード：植物季節 気候復元 気候変動 京都 太陽活動 文献史料 開花 紅葉

1. 研究開始当初の背景

近年では、温室効果ガスの濃度上昇の問題も相まって、気候変動に関する将来予測が注目されている。それらの予測に際して、過去の長期にわたる気候変動の特徴や性質を知ることが重要である。しかしながらこれらについてはまだ不明な点が多い。

日本を含む東アジアから東南アジア地域は、太陽活動の盛衰と気候変動の相関が高い地域である(Waple *et al.*, 2002)。加えて、日本の場合は近代気象観測が開始される前の時代についても、古日記をはじめとする文献史料が多く残存しており、それらからは毎日の天気、ならびに植物の開花や紅葉などの植物季節現象に関する情報が得られる。こうした情報による気候の定量的な復元は基本的に可能な上、データの性格上、年代についても極めて正確に特定できる。以上から日本は、太陽活動が永らく気候変動に及ぼしてきた影響について、文献史料を使った精緻な気候復元結果を基に評価することが可能な数少ない地域といえる。

2. 研究の目的

本研究の目的は日本に現存する日記などの古記録(文献史料)に残された天気ならびに開花・紅葉などの植物季節に関する記録から、古気候の復元手法を確立し、その復元結果を検証するものとした。

植物季節現象は、特定の季節における気象条件(主として温度)の影響が蓄積した結果生じるので、その発現日は季節ごとの気候条件次第で早くも遅くもなる。気候復元手法として植物季節に関する古記録の適用について徹底的に取り組んだ研究はほとんどなかった。また、これまでの気候復元研究では年平均や冬または夏半年単位で平均された気候条件の復元が中心であり、月別気温が別個に復元・相互比較されたことがなかった。季節ごとの気温変動の特徴の違いや位相のずれなどが明らかになれば、太陽活動などが東アジアの気候変動にもたらす影響のメカニズムの解明に繋がると考えられる。

本研究では、主として植物季節現象に関する記録を気候復元に用い、日本の長期的な気候変動の特徴を調べた。また、その特徴の地点・季節による類似点・相違点をあきらかにすることが可能かを検討した。

3. 研究の方法

主として、史料文献が多く現存する京都について、古日記から植物季節現象に関する記録を収集し、それらが記された日付をもとに季節ごとの気温推移を復元した。これらの日付については収集後に現行暦に換算・整理し、データベース化した。本研究ではヤマザクラの満開日(花見・花宴などの開催日を含む)から3月平均気温、またカエデ類の紅葉日(観楓が行われた日を含む)から10月平均気温を復元した。加えて初夏に見られるいくつかの植

物季節現象の発現日を用いた気温復元の可能性についても検討した。

また、復元結果の空間的代表性を検討する目的で、江戸(東京)におけるヤマザクラの満開日を同様の方法で調査し、江戸における復元結果を京都のものと比較・検討した。

復元の対象とした年代は、京都の場合には9世紀から現在まで、また江戸の場合には、17世紀から20世紀初頭までとした。得られた復元気温の推移について、東アジアの気候を大きく左右するとされる太陽活動の盛衰の推移(Solanki *et al.* (2004)による太陽黒点数の推移)と比較・考察した。また、異なった地点・季節に関する復元結果同士について、その類似点や相違点を考察した。特に異なる2つの気温の復元値同士で相互相関分析を行い、相互の遅れ・進みや類似性などについて定量的に明らかにし、考察した。

4. 研究成果

(1) 京都において書かれた古記録からヤマザクラが満開の状態にあったとみられる日の記述を収集し、それをヤマザクラの満開日のデータとして整理し、京都における3月平均気温の復元に適用できる形に整備した。未調査のものも含め史料調査を行い、既往研究(Aono and Kazui, 2008 など)でまとめたデータをあわせて植物季節データを再編集した。収集されたデータは西暦812~2010年の期間中にヤマザクラの満開の状態を表すものが286年分、花見や花宴に関するものが453年分、サクラの枝の進上・献納に関するものが30年分、サクラに関する和歌・詩歌が読まれたことに関するものが39年分、このほかフジやヤマブキの満開記録から推定されたヤマザクラの満開日がそれぞれ11年分、3年分見いだされ、データの総数は822年分にのぼった。このようにして世界でも類をみない長期にわたる植物季節現象の累年データを作成することができた。このヤマザクラの満開日の推移は比較的緩やかな変化傾向を示すものであったが、150~200年の周期できわめて遅くなる時期が繰り返し現れた(図1(C))。

(2) 京都のヤマザクラの満開日データを、サクラの開花予想で使われるモデルを応用することにより3月平均気温へ読み替えた。気温の復元誤差はRMSEで0.1であった。復元された3月平均気温は、都市温暖化の影響を差し引くと、10世紀において最も高かった。その一方で、14世紀以降には、150~200年ごとに四度にわたって現在より約3も低い5前後への低下を繰り返した。この気温低下は、太陽黒点数が極端に少なくなった極小期と明らかに対応していた。たとえば西暦1320~50年代の低温期にはウォルフ極小期(1280~1340年)、1510~50年代の低温期にはシュペーラー極小期(1420~1570年)、1660~1700年代の低温期にはマウンダー極小期(1645~1715年)、さらには1810~30年代の低

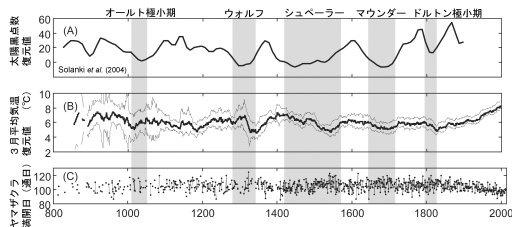


図1 (A) Solanki ら (2004) による太陽黒点数復元値、
(B) 本研究で明らかにした京都における3月平均気温復元値 ($\pm 95\%$ 信頼区間)、
(C) 本研究でまとめた京都におけるヤマザクラの満開日の推移

温期にはドルトン極小期(1490~1820年)がそれぞれ対応していた。以上から、太陽活動に対する日本の気候変化に対する影響の大きさがうかがえた(図1(A)および(B))。

(3) 京都における3月平均気温の復元値の推移を、約200年周期の変動を伴った太陽黒点数の推移と比較すると、気温の推移の方が太陽活動に対して最大数十年の気候応答の遅れを持っていることが明らかになった。図1(B)に注目すると、5つのうち4つの太陽活動極小期の後半や直後に気温推移が底を打つのがわかる。また、太陽黒点数のいわゆる約11年変動の周期の長さや京都の気温との解析を行った結果、太陽黒点数の短期的な変動に対して3月の京都の気温は10~20年程度の応答の遅れを伴う可能性があることもわかった。

(4) 京都における紅葉に関する記録を古日記の調査から得られた紅葉日のデータを基に10月平均気温の推移を復元した。京都について10~21世紀の期間中に合計504年分のカエデ類の紅葉日のデータを収集し、積算気温モデルを応用して10月平均気温を復元した。15世紀以降のデータから連続した気温の復元推移が得られ、なかでも15世紀における低下傾向、19世紀初頭の低温期の存在、20世紀における急激な昇温傾向が特徴的であった(図2)。10月の気温復元値に対して3月の気温復元値の推移の方が7~18年の遅れを持っていることも相互相関分析から明らかになった。この結果は、太陽活動に対する気候応答の遅れの幅には季節による違いが存在し、秋季の気温の太陽活動に対する応答の遅れは、春季のそれよりも小さい可能性があることを示唆するものであった。

(5) 京都における気温の復元結果の空間代表性を検証するために、京都に次いで古日記などの文献史料の残る江戸についてヤマザクラの満開日を用いた気候復元を行い、復元推移を京都におけるものと比較・解析した。西暦1601~1905年の期間中、合計207年分の満開日のデータが得られた。このデータをもとに京都と同様の方法で気温を推定した結果、17世紀末や19世紀初頭に3月平均気温の4~5への低下が見られた(図2)。これら2つの寒冷な時代は太陽活動における顕著な極小期(それぞれマウンダー極小期、ドルトン

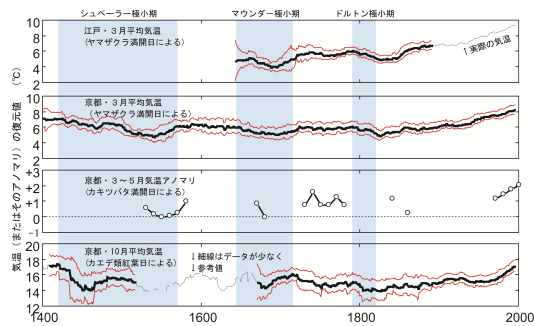


図2 ささまざまな植物季節現象から復元された気温(または気温偏差)の推移

極小期)に対応したものであり、京都の春季気温の変化でも共通に見られた。江戸と京都の気温推移には統計的に有意な相関があった($r=0.74, p<0.001$)。また、双方の推移には互いに遅れ・進みが全く認められないことも相互相関分析から明らかになった。以上から、太陽活動の盛衰に対応して、春季の気温が日本の広い範囲で同様の推移を示したことがうかがえた。

(6) 京都において初夏に見られる植物季節現象を用いた気候復元の可能性を模索した。京都において書かれた古記録から、カキツバタの満開日、イワナシの成熟日、ヤマモモの成熟日の記述を収集し、この気候復元への適用を試みた。しかしながらデータ数がヤマザクラの満開日やカエデ類の紅葉日に比べてかなり少なかったことにより、精度の高い気候復元はできなかった。ただし、カキツバタの満開日からは初夏を含む3~5月の18~19世紀の気温推移が、ヤマザクラによる3月平均気温の復元結果とほぼ同様の特徴を持った推移を示すことが明らかになった。また、史料から得られたイワナシの成熟日は、植物季節データとしては極めて質の高いものであり、初夏の気候変化の指標として応用できる可能性があることも示唆された。

(7) 本研究の解析により、日本の気温変動は太陽活動の盛衰とかなり同期しながら推移していることが明確になった。ただし、太陽活動の盛衰に対する気候応答の遅れについては季節による違いがあり、春季の方が秋季よりも遅れの幅が大きい可能性が示唆された。太陽活動に対する気候応答の遅れは太平洋やインド洋に面した地域で発生するのに対し、ユーラシア大陸内陸部ではほとんど検出されない(Waple *et al.*, 2002)。すなわち、気候応答の遅れは、海洋の影響によって発生した可能性がある。その場合、応答の遅れの季節による違いを解析することにより、日本の気候変化に影響をもたらす循環場の季節による入れ替わりに関する手がかりになると考えられる。太陽活動が気候システムにもたらす影響の解明のためには、応答の遅れの季節による違いに関して、より精緻な評価がこの先必要と考えられる。

<引用文献>

Aono, Y. and Kazui, K., 2008: Phenological data series of cherry tree flowering in Kyoto, Japan, and its application to reconstruction of springtime temperatures since the 9th century, *Int. J. Climatol.*, **28**, 905–914.

Solanki, S. K. *et al.*, 2004: Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years. *Nature*, **431**, 1084–1087.

Waple, A. M. *et al.*, 2002: Long-term patterns of solar irradiance forcing in model experiments and proxy based surface temperature reconstructions. *Clim. Dyn.*, **18**, 563–578.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

Aono, Y., 2015: Cherry blossom phenological data since the seventeenth century for Edo (Tokyo), Japan, and their application to estimation of March temperature. *Int. J. Biometeorol.*, Vol. **59**, 427–434 (査読有).
DOI: 10.1007/s00484-014-0854-0

青野靖之・谷 彩夏, 2014: 古記録中のカエデの紅葉記録から復元した京都の秋季気温の推移. *生物と気象*, **14** 巻, 18–28 (査読有).
DOI: 10.2480/cib.J-14-023

青野靖之, 2013: 京都の桜満開日記録による歴史時代の気候復元. *歴史地理学*, **267** 号, 48–52 (査読有).

青野靖之, 2012: 植物季節の長期変化と気候変化. *地球環境*, **17** 巻, 21–29 (査読有).

[学会発表](計9件)

青野靖之, 中・近世の秋季と春季の気温にみる気候応答の季節差. 日本時間学会第6回大会, 保健医療経営大学(福岡県みやま市), 2014年6月8日.

青野靖之, 京都における秋季に対する春季の復元気温推移の時間遅れ. 日本農業気象学会近畿支部2013年度大会 大阪府立大学I-site なんば(大阪府大阪市), 2013年11月30日.

青野靖之・谷 彩夏, 春季・秋季の植物季節が示した京都と江戸の気温推移と太陽活動. 日本地球惑星科学連合2013年大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉県千葉市), 2013年5月20日(発表者両名が病欠のため, セッションコンピナーによる代読発表).

青野靖之, サクラの開花データを用いた江戸における春季気温の気候復元. 日本地理学会2013年春季学術大会, 立正大学熊谷キャンパス19号館(埼玉県熊谷市), 2013年3月29日.

青野靖之, さまざまな植物季節が示した気候変化と太陽活動. 第3回「太陽活動と気候変動の関係」に関する名古屋ワークショップ, 名古屋大学エコトピア科学研究所(愛知県名古屋市), 2013年2月26日.

青野靖之, 春季から夏季の植物季節記録と気候変動. 日本農業気象学会近畿支部大会2012年度大会, 大阪府立大学学術交流会館(大阪府堺市), 2012年12月1日.

青野靖之, 文献史料から得られた京都の初夏の植物季節記録. 日本時間学会第4回大会, 立教大学池袋キャンパス8号館(東京都豊島区), 2012年6月10日.

Aono, Y. and Tani, A., Change in temperature reconstructions deduced from plant phenologies recorded by Japanese historical archives, and its correspondence with solar variation. The 2nd Nagoya Workshop on the Relationship between Solar Activity and Climate Changes, 名古屋大学野依記念学術交流会館(愛知県名古屋市), 2012年1月16日.

谷 彩夏・青野靖之, 史料文献中の紅葉の記録を用いた京都における10月の気温推定. 日本農業気象学会近畿支部2011年度大会, 大阪府立大学学術交流会館(大阪府堺市), 2011年12月3日.

[図書](計1件)

青野靖之, 古記録における天気ならびに植物季節の記述を用いた気候復元手法の確立 - 研究成果報告書詳細版, 2014年発行, 266p.

[産業財産権]

出願状況(計0件)

[その他]

<http://www.envi.osakafu-u.ac.jp/atmenv/aono/KyoPhenoTemp4.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

青野 靖之 (AONO, Yasuyuki)

大阪府立大学大学院・生命環境科学研究科・准教授

研究者番号: 40231104