

歴史気候学研究の現状と展望

— 歴史気候記録と古気象観測記録のデータバンク構築に向けて —

三上 岳彦*・財城真寿美**・平野 淳平***

- I. はじめに
- II. 歴史気候学の資料・データと研究手法
 - (1) 資料とデータ
 - (2) 研究手法
- III. グローバルスケールでみた気候変動の地域差
- IV. 日本の古気象観測記録とデータレスキュー
- V. 日本・アジア気候データプログラムJCDP
- VI. おわりに

I. はじめに

地球温暖化を中心とする気候変動問題が国際的な関心を集めるとともに、関連する研究機関・プロジェクトや研究者の数も増加の一途をたどっている。しかしながら、日本では気候変動研究の大半が20世紀後半以降の観測データ解析ないしはGCM等による温暖化予測と影響評価研究であり、19世紀以前の歴史時代のデータを用いた歴史気候学的研究はデータ取得の困難さと解析手法の遅れもあって、研究者の数はきわめて少ない。また、歴史気候データを年代別・地域別に集計・公開し、国内外の関連研究者が自由にアクセスできるようなデータバンクの構築も必要となろう。

一方、過去の気候変化やメカニズムを解明するために、再解析や地上観測にもとづく全球規模の様々な気候データセットの整備が進められているなか、さらにその基盤となる地

域ごとの長期気候データの整備と、その解析を行うプロジェクトがヨーロッパ諸国を中心に盛んに行われている。特に欧米諸国では、古い気象観測記録が紙媒体のまま劣化してしまう前に、デジタル化を行い、科学的に解析可能な状態に残すことを“Data Rescue (データレスキュー)”と呼び、EU諸国ではイギリス気象庁が、アメリカでは海洋気象局 (NOAA) が率先して進めている¹⁾。

日本では、これまで気象庁 (JMA) による公式観測開始 (1870年代) 以前の気象データが得られず、過去の気候を知るには古文書天候記録や樹木年輪などの代替資料から推定する以外に手段がなかった。また、他の東アジア諸国の公式気象観測は長くても最近100年程度、東南アジアになると第二次大戦以降に限られる。そこで著者らは、長崎 (出島) をはじめ、東京・横浜・大阪・神戸や水戸、函館での観測記録を収集し、補正均質化と品質管理を行ったデータベースを作成した (例えば、Können et al.²⁾, 財城ほか³⁾, Zaiki et al.⁴⁾)。さらにこれらの気象観測記録データを一般に公開し、共有する目的で、ウェブサイト (Japan-Asia Climate Data Program) を開設した。

本稿では、歴史気候研究を気候復元研究と古気象観測データ研究に大別し、前半では古日記等の天候記録にもとづく気候復元研究について述べ、後半では公式の気象観測記録が得られる以前の古気象観測記録の存在とその

キーワード：歴史気候学、気候復元、データレスキュー、小氷期

データベース化について述べる。最後に、歴史時代から現在の気象観測時代までの長期的な気候変動研究の将来展望について考察する。

Ⅱ. 歴史気候学の資料・データと研究手法

歴史気候学は過去2000年間に及ぶ歴史時代の気候変動を、古い文書記録や観測記録から明らかにし、現在の気象観測記録と連結させることにより、その長期傾向や周期性を検出することをめざす。さらに、長期的な変動や周期性、極端現象のメカニズムを解明し、将来の気候予測に役立てたいという側面がある。用いる史料やデータの多くは過去からの記録として各地の図書館や資料館、寺社、個人宅等に長期間保存されてきた紙ベースのものが主体となるが、劣化・紛失したものも多く、貴重な気候代替資料 (proxy) のデータベース化が急務と考えられる。したがって、

歴史気候学の研究遂行と進展には、日本だけでなく世界各地に眠っている膨大な量の歴史気候資料を発掘 (発見) し、その電子ファイル作成とデータバンクへの保存・公開が重要である。

(1) 資料とデータ

まず、研究に必要な資料とデータについて考えてみよう。前述のように、歴史時代の気候変動研究において用いられる資料・データは全国各地に多数残されているが、その中で17世紀以降の江戸幕藩体制下で毎日記録された藩日記類の天候記録は、場合によっては300年間に及ぶ長期間の連続的な気候資料として世界的にも希有な proxy 文書記録と言える。

一例として、弘前藩日記に記載された毎日の天気記録を示す (図1)。この日記には、

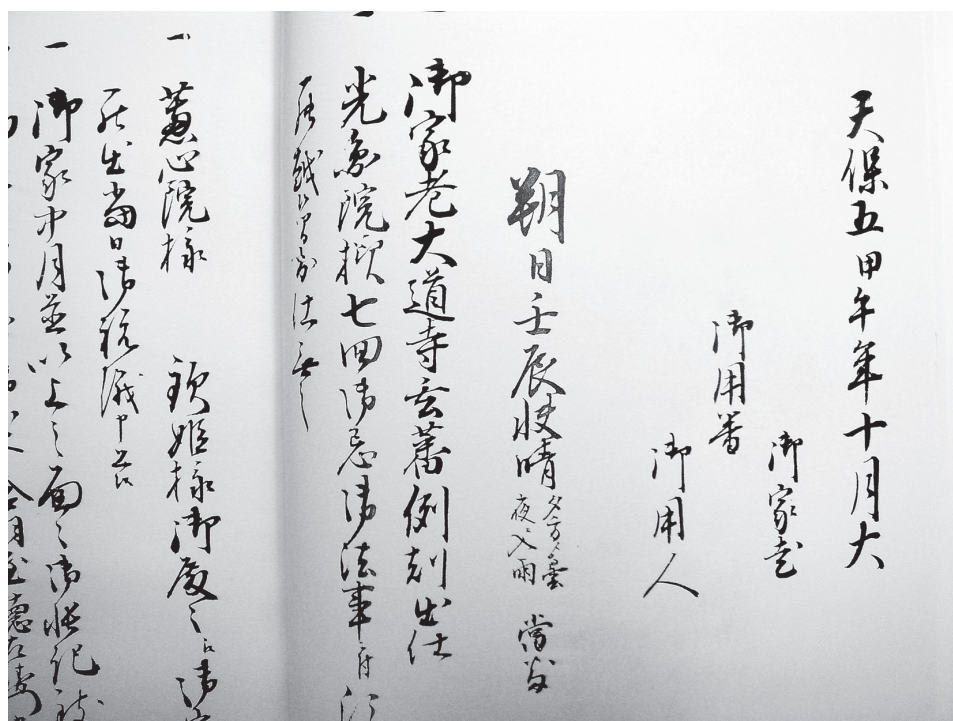


図1 日記に記載された天気の記録例

「弘前藩日記」(弘前市立図書館所蔵)。

1661(寛文元)年から1864(元治元)年まで、200年以上にわたって、ほぼ毎日の天気は克明に記録されている。ここに例示したのは、天保5年10月1日(新暦1834年11月1日)の日記で、日付の下に「快晴、夕方より曇、夜に入り雨」と記載されている。藩日記だけではなく、寺社の日記や農事日誌、旧家に残る代々の日記など、筆者らの研究グループでは、長年にわたって各地の日記天候記録を収集整理し、データベース化した上で、天気地図の公開等を行ってきた⁵⁾。

また、古気象観測記録についても、気象庁による公式気象観測の開始される1872年以前にさかのぼって、1820年代から断続的ではあるが1850年代まで続く長崎・出島における気象観測記録(主に出島に駐のオランダ人医師らによる)をデータベース化してきた。さらに、大阪、横浜、水戸など各地の日本人による非公式気象観測記録の収集とデジタル化が行われており、19世紀以降に関しても、気象庁の公式観測とは別に、1840-50年代の中国英字新聞記載の中国沿岸気象観測記録⁶⁾、明治期(1870~80年代)の灯台気象観測記録(未発表)、太平洋戦中期(1940年代)の東アジア・気象観測記録⁷⁾などの記録収集とデジタル化が試みられている。

日記の天候記録以外にも、湖の結氷記録や桜の開花・満開日の記録が連続的に500年以上残されており、特に後者は過去1000年間に及ぶ長期間の記録として、3月の気温復元に用いられている⁸⁾。

(2) 研究手法

現在の気象観測データは、観測点の移動や観測機器・観測時刻の変更等に考慮すれば、ほぼ均質で信頼できる数値データとしてそのまま研究に用いることができる。また、気象庁の公式観測によらない気象データであっても、時間・空間的に補完することで新たな研究成果を生み出す可能性が高い場合には、適

切な補正・均質化を行うことで有効活用ができる。ここで言う有効活用とは、公式気象観測データと非公式気象観測データを連結して長期的な連続データとして活用可能という意味である。

一方、藩日記の天候記録のようなproxy文書記録の場合は、そのままでは現在の気象観測データと連結させることはできない。そこで、何らかの方法で定性的な天候記録を定量的な気象数値(気温、降水量など)に変換(読み替え)する必要がある。このような変換(いわばAD変換)の手法は確立されていないが、多くの場合、特定の天気出現特性と気温等の気象数値との相関関係を現在の気象観測データを用いて統計学的に求め、気象観測記録の得られない歴史時代の天気出現特性から回帰式(多くの場合、単回帰)を適用して算出する方法がとられている。

一例として、東京における日記天候記録から夏季気温の長期変動を復元した研究成果を紹介する(Mikami⁹⁾, Zaiki et al.¹⁰⁾, 三上¹¹⁾)。東京八王子市で1721年以降、代々にわたって連続的に記載された「石川日記」の7月における雨天日数と東京の7月平均気温の間には統計的に有意な負の相関が認められたので、両者の関係を一次回帰式にして18世紀前半以降の7月平均気温を復元した(図2)。このグラフから、歴史的な飢饉の頻発した1780年代(天明年間)と1830年代(天保年間)は、いずれもその前後に較べて低温であったことがわかる。また、幕末の1850年代前後の気温も高かったことがわかる。復元期間(1721-1940)と観測期間(1876-2010)の両者は40数年間の重複があるため、復元した気温と観測気温の差異を確認できる。移動平均した気温は大局的に整合しており、推定誤差(約1℃)を考慮しても、ほぼ的確に長期変動を表現していると言える。ただし、7月以外の月に関しては相関があまり高くないため、気温推定には使えない。

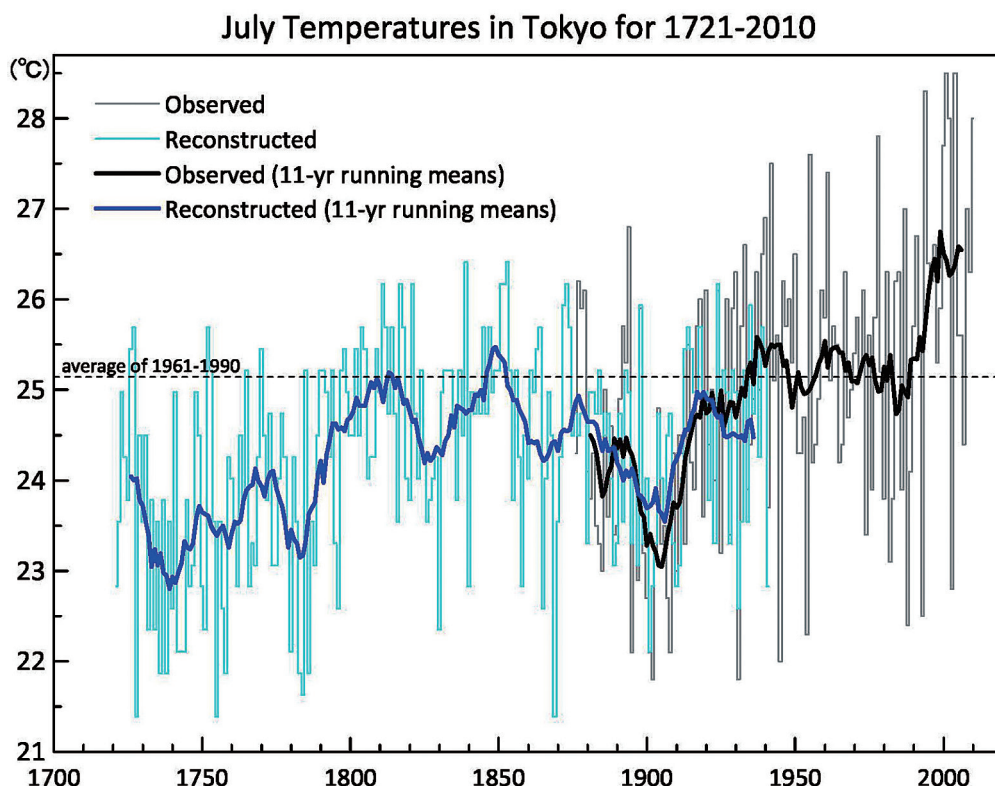


図2 東京における18世紀以降の7月平均気温の変動

青線：日記（八王子「石川日記」）天気記録からの復元値（1721-1940）
 黒線：気象庁観測記録（1876-2010）
 太線は、11年移動平均値。

冬季の気温推定には、降雪率が有効である。これは、日記に記載された「降雪」に関する記述に着目し、観測時代において全降水日数に対する降雪日数の割合と冬季気温の関係をもとに一次回帰式を求め、歴史時代の降雪率から冬季の平均気温を算出する方法である¹²⁾。

Ⅲ. グローバルスケールでみた気候変動の地域差

歴史気候学研究の主要な対象時期として、「中世の温暖期」(Medieval Warm Period)と近世の「小氷期」(Little Ice Age)が取り上げられるが、IPCCの報告書(第3次、4次、5次)等では、その時空間的広がりに関して

限定的とする記述が目立っている。もともと、英国の歴史気候学者Lamb博士による西暦800年以降の中部イングランド気温変動曲線では、12-13世紀を中心とする中世の温暖期と15-19世紀の小氷期が明瞭に表現されていたが、IPCCの第3次報告書で“ホッケースティック”曲線と揶揄された過去1000年間の地球平均気温では、ほぼ直線的に下降してきた気温が19世紀後半から急激に温暖化に転じたことが強調された。しかし、この図もIPCC第4次評価報告書では複数地点の復元曲線を重ねて表現した“スパゲッティ”曲線に置き換えられている。

複数地点の気温曲線は一見バラツキが大きいかようにも見えるが、16-19世紀における

「小氷期」の寒冷化がグローバルスケールで出現したことを明瞭に示している。ただ、年々から10年スケールでは地域差が大きいことも表しており、比較的地域差の小さな「中世の温暖期」とはやや異なる気候変動特性を示唆している。小氷期以降で、比較的グローバルな気候情報の得られる18-19世紀で、欧米と日本の夏季気候が明瞭に異なった年として、1783年（天明飢饉年）と1816年（欧米で夏の無い年）を挙げておきたい。

1783年は、日本では「天明の飢饉」で東北地方を中心に多数の餓死者が出たことで知られるが、凶作のきっかけとなった夏季の低温をもたらしたとされるアイスランド・ラキ火山や浅間山の噴火は、ヨーロッパではむしろ暑い夏を引き起こした¹³⁾。一方、1815年のインドネシア・タンボラ火山の巨大噴火による成層圏エアロゾルは、北半球を広く覆い、翌年の1816年、欧米では「夏の無い年」と言われる大冷夏をもたらしたが、日本ではむしろ暑い夏であったと推定されている¹⁴⁾。このような年々変動は主に半球大気循環パターンの異常と密接に関連しているが、歴史時代の気候変動を議論する場合には、こうしたグローバルスケールの気候アノマリ（偏差）についても考慮して議論する必要がある。

IV. 日本の古気象観測記録とデータレスキュー

日本で気象庁による公式の気象観測が開始されたのは、1872（明治5）年の函館気候測量所（現在の函館地方気象台）であるが、それ以前にも、長崎・出島においてオランダ人医師らが1820年代から断続的に気象観測を行っていた¹⁵⁾。

さらに、これまでの調査によって、19世紀の日本については、7地点（東京・横浜・大阪・神戸・長崎・水戸・函館）の気象観測記録の存在が明らかとなり、それらの観測データの収集とデジタル化によるデータレスキューが完了している（図3）。

長崎におけるオランダ人医師らによる気象観測は、当時の医学教育の一貫として学んだ気象学の影響があったと思われる。また、東京・大阪で日本人の天文学者によって行われた観測は蘭学の影響を受けていた。また、開港以降の横浜・神戸・函館での気象観測は、軍事的な要素が強い。水戸の商人による気象観測は、穀物価格と天候の関係を見出すための観測であったようだ。

まず、前述の観測記録（主に気温と気圧の観測値）の数値を入力したのち、単位を現行のもの（摂氏（℃）、ヘクトパスカル（hPa））に変換する。なお、当時使用されていた単位としては、列氏や華氏（温度）、イギリスインチやフランスインチ（気圧）などがある。さらに、観測時刻や観測回数、観測地点の高度の差によって生じる月平均値への影響を均質化した。この際、日本人による観測は不定時法によるものが多いため、時間の変換が必要となる。均質化後には、最近の気象庁データとの比較によって異常値を判別し、データのクオリティチェックを行った。

整備された気温データから、特に幕末期の関東（横浜・東京・水戸）において、顕著な温暖年があったことが分かった（図4）。一方で、同じ時期の函館では、寒冷な傾向が卓越していたことが明らかとなった。また、気圧データ等から当時の気圧配置を復元する試みもなされている¹⁶⁾。

V. 日本・アジア気候データプログラム JCDP

これまで本研究で収集・整備してきた気象観測データに加えて、歴史文書に含まれる天候記録データなど、日本およびアジアの気候に関するデータを集めて、一般に公開・共有する目的で、ウェブサイト（Japan-Asia Climate Data Program : <http://www.jcdp.jp/index.html>）を開設した。図5に、本サイトの表紙ページを示す。データのアクセスには制限を設けず、またデータ形式はテキストやエクセルの

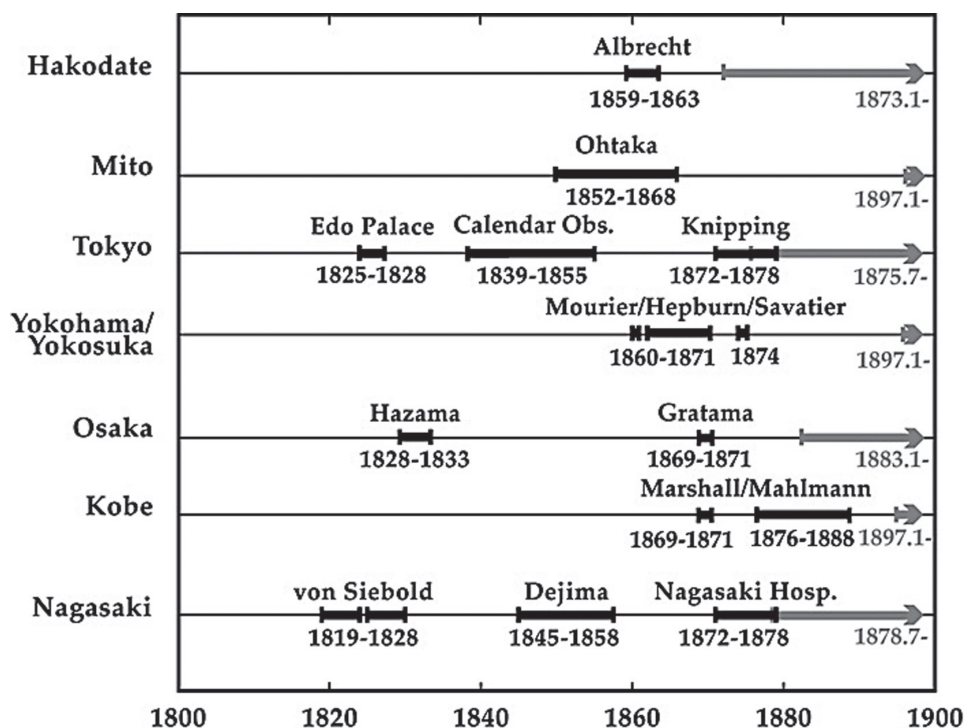


図3 データレスキューが完了している19世紀の日本各地における気象観測記録
灰色で示した地域と期間は、気象庁の官署データを示す。

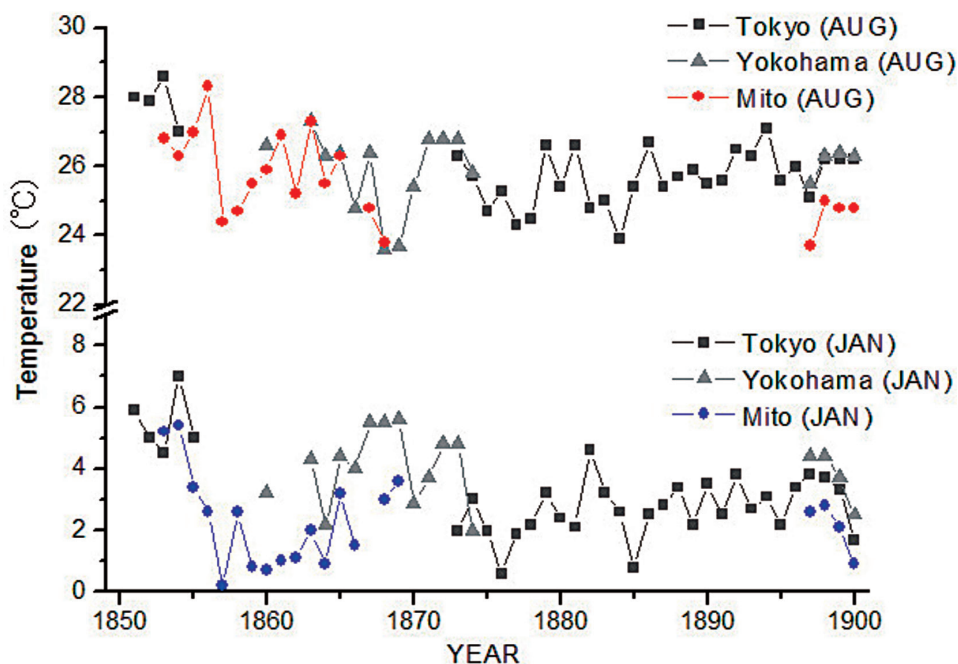


図4 1850-1900年の水戸、東京、横浜における月平均気温変動
上：8月，下：1月

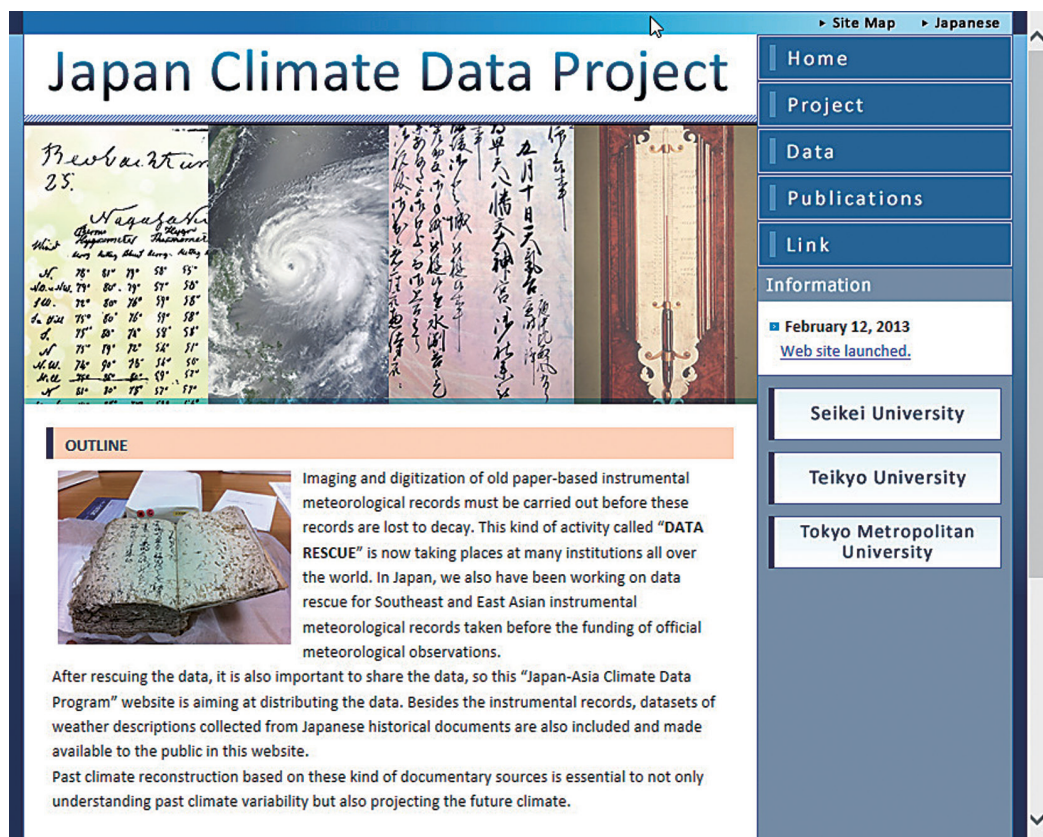


図5 JCDPウェブサイトの表紙ページ

ままなので、すぐに科学的な解析が可能である。直接公開できないものや、他の研究者が所有しているものについては、許可が取次第、リンクを貼っていく予定である。これにより、海外の歴史気候学やデータレスキューに関わる研究者が当サイトを通して、日本で行われてきたデータレスキューや歴史気候学の成果にアクセスできるゲートウェイとなることを目指す。

VI. おわりに

自然環境・人間環境に多大な影響をおよぼす気候変動の地域性やメカニズム解明、将来予測の精度向上には、長期にわたる気候・気象データが必要不可欠である。本稿では、日

本を中心とした東アジアにおける過去200年の気候変動解明にむけ、定性的な歴史天候記録に基づく定量的な気候復元に関して述べるとともに、19世紀以降の気象観測記録を国内外で追跡調査し、補正均質化によって近年の気象データとの比較・解析を可能にする「データレスキュー」の最新動向、およびそれらの気候データを一般に公開・共有する場として開設するJCDPについて紹介した。

今回述べた19世紀の日本における気象観測記録以外にも、東アジアや東南アジア地域には、多くの気象観測記録が紙資料のまま残っており、これらの「データレスキュー」を急ぐ必要がある。さらに、デジタル化された気象データを一般に公開・共有することで、歴

史気候研究が多様に発展していくことが期待される。

2012年8月にチェコ共和国のプラハで、第15回国際歴史地理学会大会が開催され、その1セッションとして“歴史気候学・気候歴史学”セッションが設けられた。実質4日間のセッションで、40数件の研究発表があり、興味深い発表と活発な議論で盛会であった。このセッションの最終日に、オーガナイザーでチェコ・ブルノ大学のRudolf Brazdil教授を会長とする歴史気候学の国際組織International Society for Historical Climatology/Climate History (ISHC) の設立が承認され、歴史気候学の国際共同研究をめざす基盤作りが動き始めた。筆者の一人(三上)も3人の副会長の一人として日本を中心とする東アジアの地域代表の役目を担うことになった。本号に掲載された一連の論文が、歴史気候学進展の第一歩となることを期待したい。

(*帝京大学, **成蹊大学,
***防災科学研究所)

〔注〕

- 1) 財城真寿美「新用語解説『データレスキュー』」。天気58, 2012, 173-175頁。
- 2) Können, G.P., Zaiki, M., Baede, A.P.M., Mikami, T., Jones, P.D. and Tsukahara, T. “Pre-1872 extension of the Japanese instrumental meteorological observation series back to 1819”. *J. Climate*, 16, 2003, pp.118-131.
- 3) 財城真寿美, 塚原東吾, 三上岳彦, Können, G.P. 「出島(長崎)における19世紀の気象観測記録」地理学評論75, 2002, 901-912頁。
- 4) Zaiki, M., Können, G.P., Tsukahara, T., Mikami, T., Matsumoto, K. and Jones, P.D., “Recovery of 19th century Tokyo/Osaka meteorological data in Japan”. *Int. J. Climatol.*, 26, 2006, pp.399-423.
- 5) 吉村 稔(本号掲載論文)。
- 6) 塚原東吾(本号掲載論文)。
- 7) 小林 茂・山本晴彦(本号掲載論文)。
- 8) Aono, Y and Kazui, K. “Phenological data series of cherry tree flowering in Kyoto, Japan, and its application to reconstruction of spring-time temperatures since the 9th century”. *Int. J. Climatol.*, 28, 2008, pp.905-914.
- 9) Mikami, T. “Climatic variation in Japan reconstructed from historical documents”. *Weather* (U.K.), 63, 2008, pp.190-193.
- 10) Zaiki M, Grossman M, Mikami T. “Document-based reconstruction of past climate in Japan”. *PAGES news*, 20-2, 2012, pp.82-83.
- 11) 三上岳彦「気候変動と飢饉の歴史—天明の飢饉と気候の関わり—」地理科学67, 2012, 121-128頁。
- 12) 例えば, 平野淳平・大羽辰矢・森島 済・三上岳彦「山形県川西町における古日記天候記録にもとづく1830年代以降の冬季気温の復元」地理学評論85, 2012, 275-286頁。
- 13) Schmidt, A., Thordarson, T., Oman, L.D., Robock, A. and Self, S. “Climatic impact of the long-lasting 1783 Laki eruption: Inapplicability of mass-independent sulfur isotopic composition measurements”. *Jour. Geophys. Research*, 117, 2012, D23116.
- 14) Mikami, T. “The climate of Japan in 1816 as compared with an extremely cool summer climate in 1783”, in Harington, C.R.ed., *The year without a summer : World Climate in 1816*. Canadian Museum of Nature, 1992, pp.462-467.
- 15) 前掲2), 3)。
- 16) Zaiki, M., Können, G.P., Kimura, K., Mikami, T., and Tsukahara, T. “Reconstruction of historical pressure patterns over Japan using two-point pressure-temperature datasets since the 19th century”, *Climatic Change*, 95, 2009, pp.231-248.

Historical Climatology: Present Status and Future Prospects toward the Construction of Databank for Historical Climate Records and Old Meteorological Instrumental Data

MIKAMI Takehiko*, ZAIKI Masumi** and HIRANO Junpei***

A present status and future prospects of historical climatology will be discussed. The data and methods for scientific research on historical climatology should be examined carefully in terms of their reliability and methodology for climatic reconstructions. There exist various kind of proxy documentary series of historical data in Japan, among which continuous records of daily weather descriptions in old diaries since 17th century have been used for summer temperature reconstructions in Tokyo and for winter temperature reconstructions in Nagasaki (SW Japan) and Yamagata(NE Japan).

Old meteorological instrumental data observed in Nagasaki by Dutch medical doctors during 1820s-1850s, and meteorological observations in several cities (Tokyo, Yokohama, Osaka, Mito et al.) by Japanese people are also valuable and effective for studying long-term climatic variations in Japan. Recently, efforts for searching and digitizing old instrumental data in East Asia, such as Chinese coastal meteorological data in 1840s-1850s on News Papers and Light House meteorological records in 1870s-1880s, have been attempted

Regional difference of climatic variations in global scale would be important when we discuss the Medieval Warm Period and the Little Ice Age. Although year-to-year temperature anomalies in hemispheric scale often show opposite signs, such as in the summer of 1783, 1816 and 2003, decadal to century time scale variations might have been synchronized. We have a very few historical climatologists in Japan as compared with those in European countries. One of the objectives of this special session is to give opportunities to the participants for realizing the importance of Historical Climatology.

Imaging and digitization of old paper-based instrumental meteorological records must be carried out before these records are lost to decay. This kind of activity called “data rescue” is now taking places all over the world. We have recovered instrumental temperature and pressure data for several locations in Japan from the 19th century, a period for which no instrumental records were believed to exist. The recovered data were collected by Dutch, German, French, British, American and Russian visiting Japan and also by Japanese astronomers trained by the Dutch at the time. The data allow extending the beginning of the instrumental record back from 1872 to 1819. The recovered temperature and pressure data were converted to modern units and digitized into computer readable form. The pressure data were corrected for temperature, height, and gravity where needed. The temperature data were homogenized to compensate for changes in recording location. Then, both data sets were homogenized to account for varying observation schedules.

After rescuing the data, it is also important to share the data, so we are setting up a website called the “Japan-Asia Climate Data Program” to distribute the data. Besides the instrumental records, datasets of weather descriptions collected from Japanese historical documents will also be included and made available to the public. We hope that our activities will help stimulate research on past climate reconstructions using this type of data. Also past climate variations reconstructed from the old meteorological records partly enable us to discuss the “Little Ice Age” especially with regard to regional differences and the magnitude of the cold.

(*Teikyo University, **Seikei University, ***NIED)

Key words: historical climatology, climatic reconstruction, data rescue, Little Ice Age