

11-16世紀の日本の気候変動の復元

田上 善夫

Reconstruction of Climate Variation of Japan from 11th to 16th Century

Yoshio TAGAMI

E-mail: tagami@edu.u-toyama.ac.jp

Abstract

The purpose of this study is to reconstruct the climate variation in Japan in the first half of the second millennium. For reconstruction, daily weather record around Kyoto from the 11th century to the 16th century are used to calculate the snowfall ratio of winter and the rainy day ratio of summer. Next, regression analysis is applied on the present weather and temperature record and based on the result, the temperature changes of winter and summer are estimated. Furthermore, the influence of a climate variation is examined. The main results are as follows: 1) Winter temperature fell gradually from 1001 to 1600. Especially in 1090s, 1160s, 1260s, 1330s, 1380s and 1460s, there were substantial falls. 2) Summer temperature was rising toward the second half of the 13th century, and began to fall toward 1600, with substantial falls in 1140s, 1450s, 1560s and a remarkable rise in 1270s. 3) In the 15th century or the 13th century, the Medieval Warm Period changed into the Little Ice Age. Winter temperature of the 12th century may be higher than that of the present, and it may be lower in the 15-16th centuries than that of the beginning of the 19th century.

キーワード：気候変動，気候復元，中世温暖期，小氷期，京都

keywords：Climate variation, Reconstruction of climate, Medieval Warm Period, Little Ice Age, Kyoto

I はじめに

近代気象観測が開始された19世紀半ば以前について、さまざまな代替記録を用いて気候変動が復元されてきた。およそ二千年紀の後半には、世界的に寒冷な気候の現れた小氷期が含まれる。日本では近世の江戸時代にあたり、代替資料も比較的豊富なため、詳細な復元が行われてきた。

江戸時代でも遡るほど、得られる代替資料の種類や量は限られる。そのため復元された結果は、時間的精度や空間的密度が粗くなる傾向がある。さらにそれ以前の二千年紀前半となると、資料の量がより少なくなり、質的にも災害や相観などのような時間精度の粗い資料しか得られなかった。

二千年紀前半についての気候復元を総合して、以下のようにまとめられている。すなわち中国では、厳しい寒冷が12世紀，13世紀後半，14世紀前半にあり，日本では12世紀前半にあった。およそ東アジアでは12世紀，14世紀，15世紀後半，16世紀は寒冷であったとみられる（吉野正敏，1983）。この

ことは，とくに二千年紀後半の近世小氷期に先立ち，早ければ12世紀のころから寒冷化が始まっていたことを示している。

災害の中でもとくに旱魃との関連が考えられる祈雨儀式について，国の中央で行われた多くの記録がある。祈雨の様式には，神祇，仏教，習合などがあるが，それらが最も盛んであったのは10世紀前半で，10世紀後半には低下した後，11世紀前半にやや増え，11世紀後半からさらに12世紀には低下した（田上善夫，2013）。このことは上述のような東アジアでいわれる12世紀の寒冷化と調和している。ただし，祈雨の行事が行われるのは夏季が中心であり，また様式も変化しているように，その示すものについての検討が必要である。

14世紀以降には，12世紀以来再度の寒冷化が示されてきた。東アジアでは日本と中国の気候災害の変動は，14世紀後半から15世紀にかけて類似している。複合的災害は，とくに1440年代と1480年代に多く発生した。この日本と中国を中心とする東アジアでの年々の気候災害には，とくに南北の地域間

で対照的な分布が示されることが多い。この気候災害分布にもとづき気候変動を復元すると、14世紀末と15世紀半ばは乾燥傾向で、15世紀初めと15世紀末は湿潤傾向である。湿潤期間には火山活動の影響があり、太陽活動の低下したシュペラー極小期に対応している(田上善夫, 2015a)。このように気候災害にもとづいて復元した場合、とくに15世紀には明瞭な寒冷化が存在したものとみられる。

さらに日本の災害記録から、16世紀初めの30年間では、15世紀末から続いて冬季・春季の寒冷化と夏季の湿潤化、温暖化があった(田上善夫, 2015b)。そのため、15世紀末からのとくに冬季を中心とした寒冷化は、その後も継続したものとみられる。このように二千年紀前半について、気候災害史料にもとづいて、気候変動の概要が明らかにされている。ただし期間は連続せず、季節的な推移などを含め、詳細は不明な点が多い。そのためこれまでに指摘されているような、千年紀末からはじまる欧州での「中世温暖期」、また二千年紀後半での近世小氷期への移行のようすは判然としない。二千年紀前半は、文書資料が量的に制約が大きいことが復元に支障をきたしているが、移行の詳細が不明なことは、日本や東アジアのみならず、グローバルな気候変動の復元にも支障をきたしている。

二千年紀前半の気候変動が不明であることは、気候分野のみならずさらに隣接諸分野の研究の進展にも支障をきたしている。たとえば中世日本史からは、気候変動の基礎的な事実や、気候変動との事実関係の確定の不足が指摘されている。この期間においては、微地形の形成史などにもとづいて、土地利用や自然環境の克服過程などの研究が進められてきたが、自然科学の諸データの時間・空間スケールや、精度などにはばらつきがあり、気候変動も結果の一致が見出されていないため、とくに10年、50年での議論は困難とされている(水野章二, 2009)。すなわち地形的な変化により、社会的にも大きな影響がおよぼされるにしても、その変化はやや長期的なものであるため、より短期的な変動の分析には対応できない。

こうした関連分野での分析を可能とするためには、とくに16世紀以前の日本での気候変動の復元を進める必要がある。これまでに気候変動の復元に用いられてきた年輪や花粉、また災害などの代替資料からは、前述のように復元された変動の時間精

度は粗くなる。それに対して日記に記された天候記録は、時間精度が高く、これまでも冬季の降雪率、夏季の降水日率などとして、近世以降の小氷期の気候復元に多く利用されてきた。二千年紀前半には資料に大きな制約があったが、天候記録を気候変動の復元に適用して詳細な復元結果が得られれば、グローバルかつ長期の気候変動の分析が可能となる。さらに、関連分野においても気候変動との関係から有効な分析を行うことが可能となると考えられる。

II 資料と方法

1. 資料の性質

前述のように、近代気象観測開始以前の気候変動復元に用いられてきた代替資料に、年輪、湖水結氷、桜花宴、初・終雪日などがある。それらの代替資料から復元される気候変動には、さまざまな時間的、空間的スケールがある。時間スケールからは、分解能の粗いレベルでは季節や年、細かなレベルでは日や月となる。また空間スケールからは、狭いレベルでは地点や局地、広いレベルでは総観規模となる。現在用いられている多くの代替資料は、時間的には季節/年のものであり、また空間的には地点/局地のものである。

これよりさらに、時間的には精度を高め、空間的には拡大して気候復元が行われるならば、それらの理解が容易となり、また隣接分野における気候変動との関連の分析も、効果的に進められることが考えられる。日記に記された天候記録は、時間的には最も精度が高い。ただし、その資料を広域において等質的に得ることは困難であり、文化的な中心地に偏らざるを得ない。そのため従来用いられてきた気候災害史料などにくらべ空間的には限定されるが、時間的な精度が高く連続性が高いことから、当該地域を中心として気候変動、また関連事象に関して有効な分析が行えるものと考えられる。

2. 文書史料

上述のように、時間精度の高い記録は、文書史料から得られ、とくに日記から抽出された日々の天候が有効である。江戸時代以前については、天候記録は早くから利用されてきたが、気候復元は断片的なものにとどまっていた。近年、11世紀から16世紀の多数の日記から抽出された天気記録が、水越によ

り一連の『古記録による天候記録』としてまとめられた(水越允治, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014)。

この時代における災害史料を年代記としてまとめたものは多数ある。ただし災害であるため時間的には季節レベルが中心であり、また特定の期日に限られる。それに対してこの時代の毎日の記録をとりまとめたものはなく、上記が初めてのものである。

収集された天候記録の出典は、多くが刊本であるとされている。天候記録は世紀ごとにまとめられ、11世紀から16世紀が6巻に分けられて刊行されているが、記録の収集や整理の方法は一貫している。出典である日記の数は、16世紀に153、15世紀に195、14世紀に195、13世紀に259、12世紀に217、11世紀に112であり、それらには重複が含まれるが、延べ1131篇があげられている。

天候が記録された地点は、大部分が京都である。ほかに奈良、伊勢、鎌倉などでの天候記録が収集されている。各巻で年月ごとに、現在の京都市域について、名称のアイウエオ順に日記が並べられ、各1月分の天候が記される。次に京都に近い地域から順に日記が並べられ、各1月分の天候が記されている。また記録者が移動中であった場合には、その地名が記されている。

京都以外の地域の日記からの天候記録は、京都での天候記録を補完するものとして、利用が考えられるが、その数は少なくかつ連続しない。そのためここでは、京都の当時の市街地で記録されたと考えられる記録のみを用いる。

日記中の旧暦の日付は、グレゴリオ暦に換算されている。日付ごとに天気が出典での記述のままに記載される。そのため、天気には分類やコード化はされていない。さらに14世紀以前については、季節に関連する記事も添えて記載される。また、関連して天気状態を示す天文現象、地震・火災・疫病、さらに雨乞、晴乞などの記事も記されている。

3. 毎日の天候記録からの復元

観測時代においても、天候記録の分析の際には、各天候の出現率などが求められた。降雪日数の降水日数に対する比として、「雪日数比」が提唱され、東京の観測記録から、明治16(1883)年から昭和8(1933)年の51年間について、月別に集計された。降水日とは日降水量0.1mm以上のため、降雪があっ

ても降水とは認められない日もあり、この雪日数比は100%を超えることがある。雪日数比は、気温が上がると下がるはずだが、12月と3月を較べた場合、3月の方が雪日数比は高く、気温もまた高くなる。これは3月には低気圧が太平洋を通過し、降雪がもたらされることによるため、と考えられた(藤原咲平・長岡和歌子・佐々木隆子, 1935)。

その後この雪日数比は全国の17地点について、明治39(1906)年から昭和10(1935)年の30年間の、11月から4月の月別に分析されている。同緯度で較べると、雪日数比は日本海側より太平洋側の方が高く、これは降雪の少なさによると考えられた(田口龍雄, 1939)。

ただし上述の2例では、雪日数比は、気候変動を復元するための代替資料としてではなく、気候要素からは表せない気候状態を知るために用いられている。逆にみるならば、ひと月ごとに求められた雪日数比と、各月の平均気温との関係は全国一律ではない。両者の関係に季節や地域により差異があることは、天候記録から気候を復元する際には、季節や地域ごとに、相関関係などを求める必要性を示している。

さらに歴史時代の天候から気候変動を復元するために、東京の旧浅川町上栲田で享保六(1721)年から昭和15(1940)年に記された、石川家日記が分析された。毎日の天候は、晴天、雨天、雪天との記載と、それらに加えて驟雨雪、入夜雨などの記載も含むものに分類された。その出現数が月別に集計され、1721-1800、1801-1900、1901-1940年の3期間が比較された。その結果19世紀は晴天が多く、雨天が少ないが、このことから19世紀には冬は寒く、夏は暑かった可能性が指摘された(田口龍雄, 1951)。このように気象の器械観測が開始される以前の時代に遡って、240年間の天候記録から気候変動の存在が明らかにされた。ただし、晴天が多いことから寒冬と暑夏を推定した場合、通年では寒暖が相殺されることになるため、小氷期であったとしても、明瞭な低温は示されないことになる。

さらに大分県臼杵市の御会所日記より、享保十(1725)年から明治2(1869)年の天候記録が抽出され、12、1、2月の降水日数、6、7月の降水日数、7、8月の曇天日数について、それぞれ10年ごとの経年変化が示された。それより冷夏が1750年代、1780年代、1810年代にみられることが明らかにさ

れた(斎藤将一・服部徳一, 1970)。先には災害や湖水結氷などの記録から、世紀単位やそれより長い期間で発生起日などが比較されて、気候変動の存在が明らかにされた。上記で指摘された3回の冷夏期は大飢饉の発生期にも対応しているが、日々の天候記録から10年程度の期間での気候変動が明らかにされるようになって、気候変動と気候災害の発生には密接なかかわりのあることが示されたといえる。

こうした公的日記は、江戸時代には各地で記されており、弘前藩での日記などでは寛文元(1661)年から慶応三(1867)年の月別の降水頻度(%)の経年変動が分析されている。現在の降水日数と日最高気温との間には、高い負の相関があることから、降水頻度の経年変動は気温変動を示すと考えられた(前島郁雄・田上善夫, 1982)。降水頻度と気温の負相関はとくに冬季に高いが全年で示され、そのため毎日の天候記録により、季節のみならず月ごとの気温変動の復元が可能となった。

4. 二千年紀前半の天候の分析

上述の藩日記のような長期的な記録から、江戸時代の気候復元が多数行われてきた。江戸時代より前にも、同様にして日記の天候から、気候変動の復元が進められてきた。

ただし江戸時代より前の日記は、主に個人により記されて、記述の仕方もさまざまである。また、個人の日記は著者の生存期間となるため、藩の公用日記に較べて、その期間は短い。そのため、気候復元に用いる際には、それらの間にあるさまざまな差異を確認しておく必要がある。

降雪率による復元の検討

降雪率とは、雪日数/(雨日数+雪日数)とされる。降雪率は6h, 14h, 22hを較べた場合では、6hが多少大きい程度で、記録される時刻による差は小さいとされている(山本武夫, 1967)。ただし先述のように雪日数比には季節による差が現れる以上、日変化の中でも時刻による差異の影響は無とは言えないことが考えられる。

また、日記を記した者は貴族が中心であるが、ほかにも寺院の僧侶なども日記を記している。近衛正家の日記である後法興院記と、三条西実隆の日記である実隆公記の、記された期間が重複する1483年から1499年について、12, 1, 2月の降雪率が比較されている。前者の降水記録数は後者の2.03倍ある

が、降雪率は前者が0.477、後者は0.446とほぼ同じとなる(山本武夫, 1983)。個人により観察には精粗の差があるが、降雪率としてみた場合には、雨と雪との間で相対化されるために、個人差の影響は少ないとされる。

雪日数比は、地域により差異が現れた。京都周辺では降水原因には差がないと考えられるが、市街地の内外などでの降雪率への影響が考えられる。京都周辺の降雪日率は1893年から1897年には、向日0.563, 伏見0.551, 醍醐0.653, 田中0.610, 京都0.620, 太秦0.705である。郊外ではやや高く、南では低くなる。ただし二条城の北の田中、京都御苑内にあった京都ではほぼ同じであり、古日記の記された多くの地点もその付近と仮定された(山本武夫, 1983)。

降雪率を求めるには、初雪から終雪に至る11月から3月の5ヶ月間が対象となりうる。この間には降雪は、冬型の気圧配置および太平洋岸低気圧などの際にもたらされる。対象期間を、12月から2月の3ヶ月間とすることにより、降水要因として冬型気圧配置にしぼることができる。また対象の時刻も全日ではなく、日記の記載される日中とすることで限定が可能である。また地域的には京都の市街地を主な対象とすることで、影響を除くことができると考えられる。個人による記述の差も、雪および雨に対しての感度は特定の個人において同等であることを前提とすれば、比率をとることにより、解消されることが考えられる。

復元の結果

平安時代に京都で記された日記である、小右記や御堂関白記をはじめ、看聞御記、実隆公記、後法興院記、^{でんりやく}殿暦・後二条師通記、玉葉、明月記、円太暦などを用いて、11月~3月の降雪率が分析された。降雪率の場合には、小右記と御堂関白記による982-1019年には低く、看聞御記による1416-1444年や実隆公記による1474-1533年には高い。また15~16世紀について、さらに康富記、親長卿記、言継卿記、言経卿記などを加えて降雪率を分析しても同様である(山本武夫, 1967, 1970)。これらから15世紀初頭は厳寒であることが示されるが、15世紀前半は小氷期であり、16世紀末にかけて気温は2.4℃上昇したと推定された。さらに、15世紀の看聞御記は伏見宮貞成親王が京都の南の伏見において記しており、南の方でも降雪率が高いことから、15

世紀初頭の寒冷は確実とされた(山本武夫, 1983)。

このように、およそ11世紀の温暖に対して15世紀は寒冷であるとされ、とくに15世紀前半の厳寒が強調されている。それらは欧州の「中世温暖期」や近世小氷期に対応することが考えられる。ただしこれらの個人による日記の間で降雪率が比較されているが、記述された期間のずれにより降雪率には差異が生じており、また日記の得られていない不連続な期間が残されているため、この間の気候変動は明らかではない。

夏季降水日率

京都の天候からの気候復元が、主として降雪率からなされたのは、割合を示すことでより客観的な復元が可能であり、また京都は冬季に降雨と降雪の境界地域にあたり、わずかな寒暖の変動が降雪率の変動に明瞭に反映されるためである。ただし気候復元が可能なのは冬季に限られるため、夏季をはじめ他の季節の気候復元には、降雪率以外の方法が必要となる。先述の天候が抽出された日記からは、冬季以外では降水日が気候復元の大きな指標となる。およそ降水日が多いほど、気温は低下することが知られている。

降水日の集計において、日記に天気の記事がない場合、行動から無降水と考えられる日は降水日から除かれた。後法興院記(1465-1505年)の、5~9月の降水日数の平均は66.0日、殿暦(1101-1118)では23.7日、玉葉(1170-1191)では37.5日である。後2者は著しく大きく、12世紀は15世紀後半にくらべて乾燥と推定された(山本武夫, 1983)。

上記の復元結果は、冬季と同じように平安時代の温暖と室町時代の寒冷とに結びつく。ただし冬季では雨日数と雪日数にもとづき、比率には観察の個人差が解消されていたが、降水の観察や記録には個人差が大きく、とくに資料数が少ない場合には比較は困難なため、気候復元に適用するには検討が必要である。

III 天候記録による気候変動の復元

1. 冬季の降雪率の変化

冬季の気候復元のために、水越による一連の『古記録による天候記録』に掲載された天候記録を用いる。天候はさまざまに表現されているが、雪と雨を示すものを抽出する。霰みぞれの日や、雨と雪の両方が記

された日は、雪として集計する。ただし降水でも、霰などは強い対流によりもたらされ、寒暖との関係が不明なため集計からは除く。

京都での降雪は、11月から3月にかけて出現する。前述のように、東京では3月の雪は太平洋側の低気圧によりもたらされ、降雪率と気温との関係は2月以前とは異なっている。太平洋側の低気圧や冬型気圧配置の影響は、京都でも東京と同様であるため、冬型低気圧の卓越する12月から2月を対象とする。

また諸日記からの天候記録の合計数は、年により大きな変動がある。そのため、雪や雨の数は各年の前後5年を含めた計11年間を合計し、1年ごとにずらして求めていく。この11年合計雪日数と11年合計雨日数から求めた降雪率は、その年の前後11年間での平均にあたる。またこの値にもとづき、51年間の移動平均も求める。これら11年平均と51年平均の、600年間の変化を示す(図1-a)。

この11世紀から16世紀の間では、降雪率は初期には25%ほどであったのが、末期には50%ほどとなり、およそ2倍に増加している。すなわち気温としてみれば、大きく低下したとみられる。とくに11世紀後半、14世紀前半、15世紀後半の低下が著しい。一方12世紀前半、14世紀後半は相対的に上昇している。

またこの降雪率には大きな変動がみられ、寒暖の変動が大きかったことが推定される。とくに14世紀から15世紀前半にかけて変動は大きい。一方15世紀後半から16世紀には、変動はやや小さくなる。

2. 夏季の降水日率の変化

夏季の気候復元のために、降水日率を求める。夏季として、6, 7, 8月の3ヶ月を対象とした。この期間は梅雨から盛夏にかかるが、梅雨はもちろん、盛夏期間でも、降水日が継続するようであれば昇温は妨げられ、晴天日が続けば高温となるためである。ただし、盛夏期間における夕立は、対流活動の盛んな日にあたるが、降水は著しい昇温を解消するために、ここでは夕立も降水日から区別していない。一方冬季と同様に、霰などは降水から除いている。各年の降水日率の計算には、冬季と同様に前後5年づつ計11年の合計値にもとづいて求めた。51年移動平均も同様である。この降水日率の、1001年から1600年の変化を示す(図1-b)。

夏季の降水日率の変動は、冬季の降雪率にくらべて、その値自体は小さいが、気温の変動がより小さいことを示すわけではない。降水日出現率は、11世紀前半にきわめて高い期間があるが、急に低下して11世紀半ばには20%台となる。その後小規模な変動を繰り返すが、12世紀前半にはしばしば50%を超える。12世紀後半から13世紀前半には30%台で変動するが、13世紀後半には急に低下し1270年代には最も低く10%台となる。14世紀以降16世紀にかけて、変動を繰り返しながら徐々に上昇していく。ただし、1450年代には一時的に著しく上昇し、また1560年代にもやや上昇する。

すなわち、降水日率を気温の変動としてみると、この11世紀から16世紀には、徐々に降温したものとみられる。著しい低温が11世紀初め、12世紀半ば、15世紀半ば、16世紀半ばに存在した。一方とくに高温であったのは、11世紀後半と、13世紀後半である。

またこの夏季3ヶ月の降水日率の変化は、前記の冬季3ヶ月の降雪率の変化とは、相反する傾向がある。寒暖に置き換えて示すと、11世紀後半や13世紀後半は寒冬－暑夏であるのに、12世紀半ばは暖冬－冷夏にあたる。現在でも日本付近では、前者の関係はラニーニャのときに出現することが多く、後

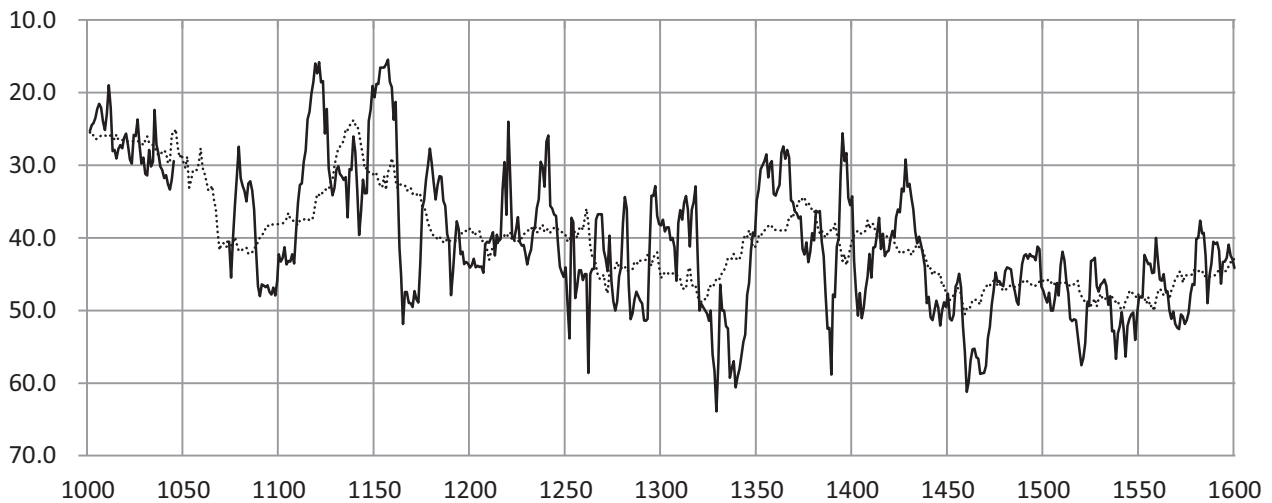


図 1-a 冬季降雪率の変化 % 京都12-2月, 1001-1600年

実線：11年移動平均，点線：51年移動平均。1046-1072年は史料が少数のため、11年移動平均の描画を省略。降雪率の増加は、気温の低下にあたりと考えられるため、縦軸の目盛は上下を逆になっている。

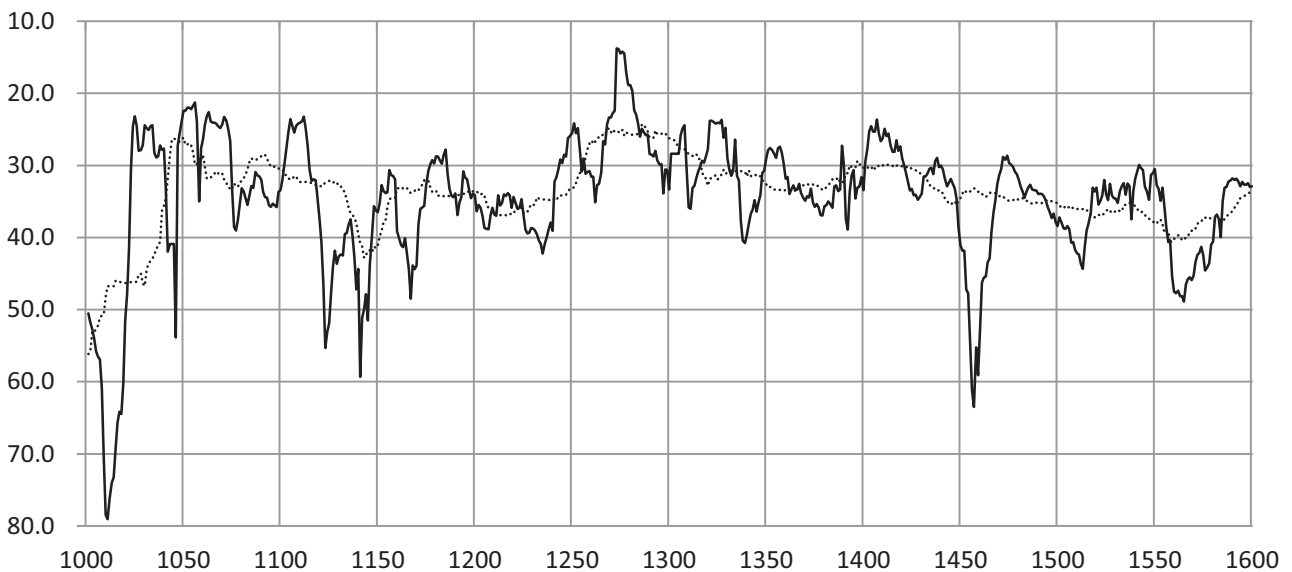


図 1-b 夏季降水日率の変化 % 京都6-8月, 1001-1600年

実線：11年移動平均，点線：51年移動平均。冬季と同様に、降水日率が高いときには、気温が低下したと考えられるために、縦軸の目盛は上下を逆になっている。

者の関係はエルニーニョのときに出現することが多い。そのため、二千年紀前半という期間、あるいは「中世温暖期」や小氷期の期間内においても、冬と夏が同様に温暖あるいは冷涼という関係は、とくに短期間内においては出現しないことが考えられる。ただし、15世紀半ばには、寒冬と冷夏が対応している。とくに長期間で見た場合には、全年を通じて低温傾向、あるいは温暖傾向の期間は存在する。長期的にはエルニーニョとラニーニャのそれぞれの卓越期間は、エルニーニョの場合は冷涼期に、ラニーニャの場合は温暖期に対応するといわれている。

3. 変動の周期性

上述のように冬季降雪率と夏季降水日率には、長短の周期での変動がみられる。それぞれの変動について、フーリエ解析を適用することにより、周期性を明らかにする。

その結果、冬季降雪率には、256.0年、128.0年、64.0年、39.4年、34.1年、19.7年などで、振幅のピークが現れる。なかでもおよそ40年の周期での変動に特色がみられる(図2-a)。

また夏季降水日率の場合には、102.4年、36.6年、28.4年、24.4年、19.7年などに振動のピークが現れ、また64.0年にも弱いピークが現れる(図2-b)。

夏季は冬季と、周期性に相異がある。ただし、およそ20年付近と64年付近に、共通したピークがみられる。これらのうち前者は、太陽の黒点周期にかかわるもの、また後者は大気-海洋系にある、数十年周期の変動にかかわることが考えられる。

IV 降雪率・降水日出現率と気温の関係

1. 現在の気象記録からの検証

前記の降雪率および降水日率は、もともと名義的、不連続的な天候記録にもとづいている。これらはさらに気温などのように数量的、連続的な変動が復元されることにより、現在との比較やグローバルな分析が可能となる。降雪率および降水日出現率から、気候要素の変動が復元されるには、両者の関係が確認され、さらに変換するための適切な方法が必要である。以下、京都における両者の関係および変換方法について検討する。

観測時代以前には無論適切な気温記録は存在せず、降雪率と気温との関係を確認するために、現在の京都の天候および気温の観測資料を用いる。すなわち気象庁により公開されている、過去の気象記録から、天候資料の得られる1967年から2015年の、京都を対象とする。天候として、日中(06時~18時)の天気概況と、夜間(18時~翌06時)の天気概況を用いる。気温に関して、月平均気温、日最高気温の月平均、日最高気温の月平均を用いる。

ここでも前記と同様に冬季を、前年の12月と当年の1、2月とする。その間の雨および雪の日数を集計し、それより降雪率を求める。また夏季は6、7、8月として、降水日出現率を求める。日中の天気概況と夜間の天気概況が異なる場合には、雪>雨>晴の順に優先するとして上位のものを抽出する。

2. 京都の冬季降雪率と気温の変化

降雪率を求めるために、天気概況が雪、また雨の場合について抽出する。なお降水には霰(雹)が含ま

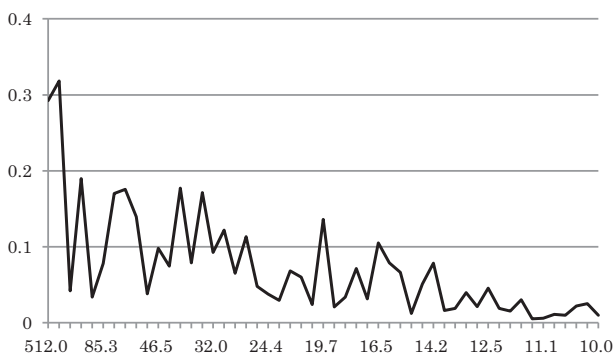


図2-a 冬季降雪率の振幅スペクトル

解析には11世紀から16世紀の期間で1081-1592年(512年間)を対象にし、技術計算製作所の高速フーリエ変換プログラムを適用した。

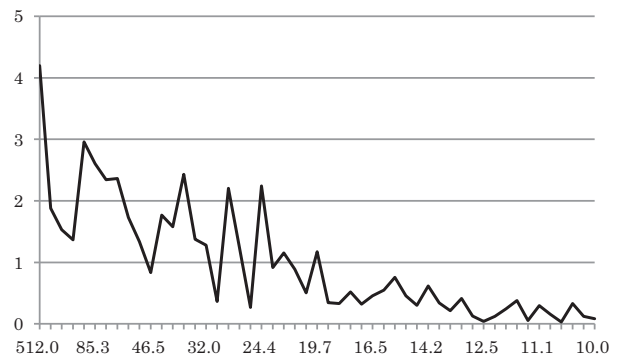


図2-b 夏季降水日率の振幅スペクトル

図2-aと同様

まれるが、それらのもたらされる天候状況と気温のかかわりが不明のために除く。この雪と雨の日数から、降雪率を求める。

次に降雪率と、気温に関して月平均気温、日最高気温の月平均、日最低気温の月平均、の3者との関係を分析する。まず降雪率と気温3者の変動を、それぞれの11年の移動平均とともに示す(図3-a)。

降雪率の変動は、各気温の変動と、1965年以降においてよく対応している。この冬季の降雪率と3種の平均気温との関係を、相関係数により示す。降雪率との相関係数は、日最高気温で-0.7831、平均気温で-0.8055、日最低気温で-0.7167である。すなわち降雪率は、平均気温と最も大きな負の相関を示し、日最高気温とはやや小さく、日最低気温ではかなり小さくなる。このことには、晴天日の夜間の放射冷却による降温がかかわると考えられる。

ここで、観測時代では日中および夜間で、全日の観測が行われているのに対し、歴史時代は基本的に記録者が活動している日中を中心としている。そのため、日中の天候から降雪率を求め、相関係数を求めると、日最高気温とは-0.8062、日平均気温とは-0.8140、また日最高気温とは-0.7496となる。

図中の11年移動平均曲線では、この期間ではいずれの平均気温も上昇する傾向がみられる。それに対して、降雪率の変動はやや異なり、1990年前後に最も低下、すなわち高温を示している。ただし年々の降雪率の変動幅はきわめて大きく、15%から70%まで変動する。すなわち極端な年の存在が移動平均値に大きな影響をもたらすため、降雪率と気温の変動の差異は有意なものか否かは不明である。

3. 京都の夏季降水日率と気温の変化

夏季の降水日率と、日最高気温、平均気温、日最低気温の変化を示

す(図3-b)。この夏季の降水日率と平均気温の変化には、類似性がみられる。降水日率と各平均気温との相関係数は、日最高気温で-0.6341、平均気温で-0.5917、日最低気温で-0.4136である。

冬季の降雪率の場合と同様に、日記での天候の観察は日中を主にしていると考えられる。そのために降水日率を日中の天候記録だけから求めると、相関係数は日最高気温との間で-0.6652となる。

降水日率の場合、とくに日最高気温との負の相関が大きい。一方日最低気温との相関は小さい。これは、晴天日には日中は昇温する一方、夜間は放射冷却により降温することが影響すると考えられる。また平均気温も、最高気温の場合とほぼ同様の大きな負の相関がある。

1965年以降の11年移動平均からは、平均気温が

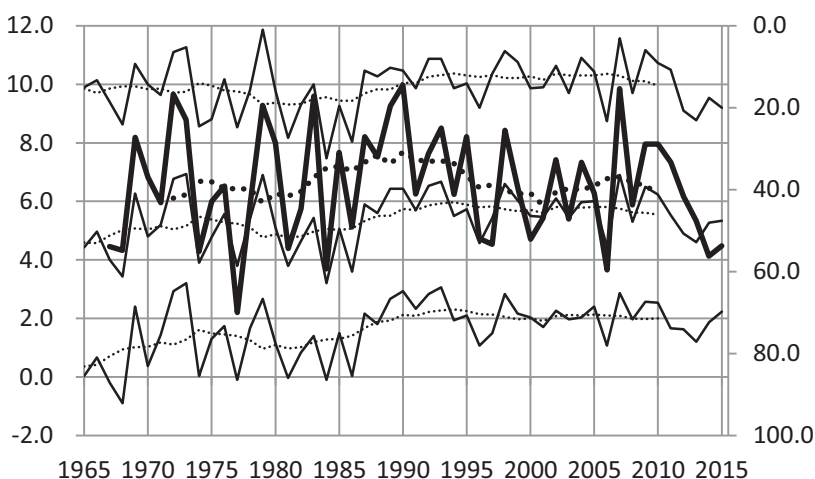


図3-a 京都の冬季降雪率と気温の変化 (1967-2014年)

実線：降雪率 細線：気温 点線はそれぞれの11年移動平均 右目盛：降雪率%，左目盛：気温℃ 降雪率の目盛は上下を反転させている

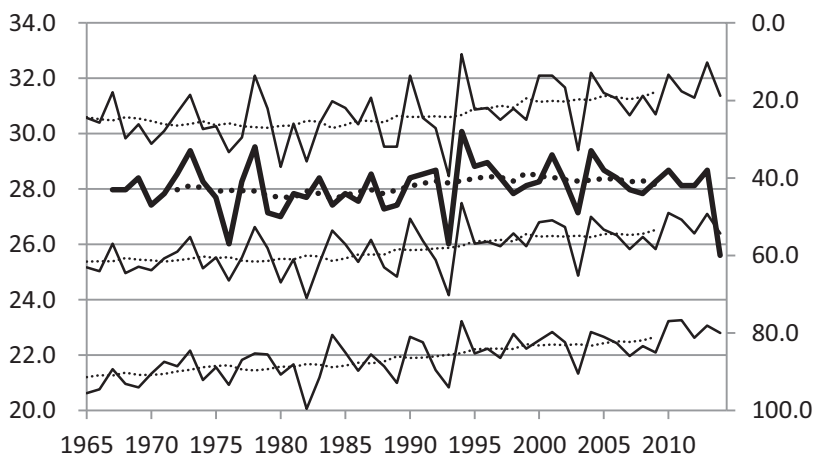


図3-b 京都の夏季降水日率と気温の変化 (1967-2014年)

実線：降水日率 細線：気温 点線はそれぞれの11年移動平均 右目盛：降水日率%，左目盛：気温℃ 降雪率の目盛は上下を反転させている

上昇するとともに、降水日率は低下している。すなわち、降水日率は50年ほどの期間での変化をよく示している。

4. 観測時代の京都の気温変化

冬季

前記のように、対象としている京都では、1965年以降において昇温が続く傾向がある。この背景には地球温暖化があるが、このおよそ50年間の変動が、長期間の変動においてもつ意味を検討する。天候記録は得られないが、気温の観測記録のある1880年以降の京都の、冬季3ヶ月の日最高気温、平均気温、日最低気温の変化を示す(図4-a)。

記録の得られるこの135年間には、冬季気温の上昇は大きい。とくに1945年以降の上昇が著しく、1990年代以降には最高となる。ただし日最高気温、平均気温、日最低気温の変化には、大きな差異がある。日最低気温は最も上昇しており、1880年代と現在との差はおよそ4.0℃となる。一方日最高気温の場合には変動が大きく、1900年代にも高温となる時期があり、必ずしも上昇しているとはいえない。

降水には日変化があり、日最低気温の出現する、早朝ないし夜間に降水が多い。日最低気温の昇温が平均気温に比べて大きいことにより、降雪率の変動が気候変動を過大に表す可能性がある。

夏季

夏季の日最高気温、平均気温、日最低気温の135年間の変化を示す(図4-b)。夏季にもこの期間内での平均気温の上昇がみられる。ただし冬季と異なり、20世紀初めには一時大きな低下がみられる。

この夏季にも冬季の場合と同

様に、日最低気温で最も大きな上昇があり、20世紀の100年間で上昇幅はおよそ3℃に達している。ただし冬季と異なり、日最高気温も明瞭な上昇がみられ、2000年以降に最高に達している。日最高気温では、降水に日変化があるにしても、日中の降水が記録されているのであれば、気候変動の復元に有効であると考えられる。

5. 気温の変化の推定

冬季

前記IV-2節でとりあげた天候記録の得られる1965年以降について、降雪率を気温に変換するた

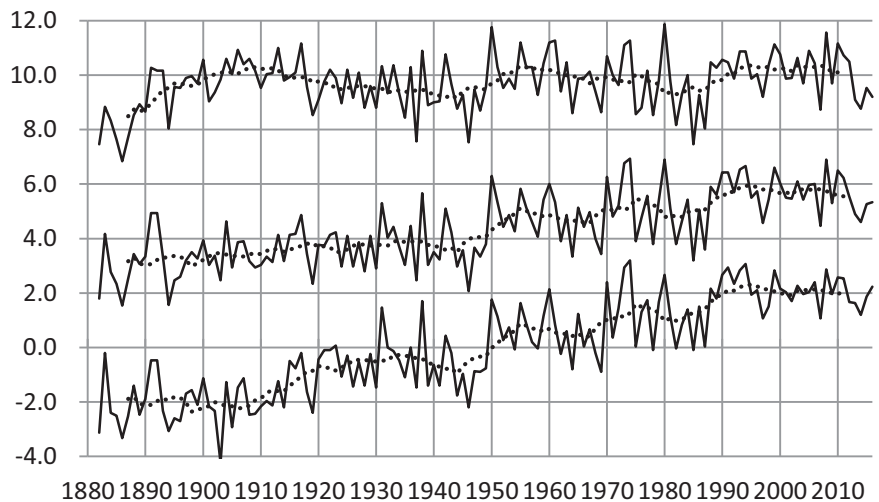


図4-a 京都の冬季気温の変化 (1881-2014年)

上より日最高気温の月平均、月平均気温、日最低気温の月平均 点線は11年移動平均

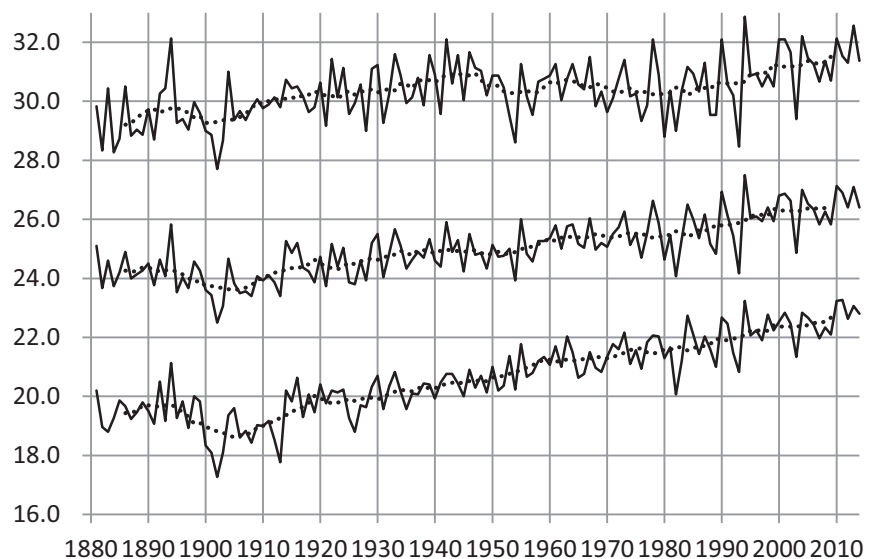


図4-b 京都の夏季気温の変化 (1881-2014年)

上より日最高気温の月平均、月平均気温、日最低気温の月平均 点線は11年移動平均

めに、両者に直線回帰分析を適用する。冬季気温を T_w 、降雪率を S_r としたとき、それぞれの平均気温ごとに、最小二乗法により直線回帰式が得られる。ただし、日最低気温、また日平均気温には1880年以降に昇温がきわめて大きく、これは都市化の影響が大きいと考えられることから、日最高気温での推定を行う。また相関の高い日中の天候だけを対象とした場合について回帰分析を行うと、以下の式が得られる。

$$\text{日最高気温 } T_{w\max} = -0.0506 S_r + 11.8687$$

ここでは、現在の天気概況と、諸日記に記された天候とが同等であることを前提として、現在の記録から得られた上記の式を、11世紀～16世紀の記録から得られた降雪率に適用する。すなわち、日最高気温での回帰式を、降雪率にあてはめる。1001年から1600年の降雪率から、気温を推定し、その変化を示す(図5-a)。なお11世紀半ばは資料が少ないためグラフを描いていないが、前後の期間と大きな差異はないとみられる。

同図より京都の冬季気温は、二千年紀を通じて低下が続いている。二千年紀前半には、12世紀に高く、16世紀には下降している。最も低下したのは14世紀の前半である。一方、観測時代においては、20世紀以降において、急上昇している。

夏季

冬季と同様に、天候記録の得られる1965年以降について、降水日率を気温に変換するための単回帰式を求める。京都の観測資料より、夏季気温を T_s 、降水日率を P_r とするとき、それぞれの平均気温ご

とに、最小二乗法により、直線回帰式を求める。降水日率は日最高気温との場合に相関が大きく、かつ日最高気温には都市化の影響が小さく、さらに日中の天候だけを対象にした場合に相関が大きいことから、日最高気温と、日中の天候からの降水日率との回帰分析を行う。それより得られる回帰式は以下である。

$$\text{日最高気温 } T_{s\max} = -0.1073 P_r + 34.5169$$

夏季においても冬季の場合と同様に、観測時代の資料から得られた回帰式が、二千年紀前半にも適用できることを前提とする。1001年から1600年の降水日率を、日最高気温での回帰式に適用して、気温を推定する(図5-b)。

その結果、二千年紀において、気温は11世紀より徐々に低下していたことが示される。とくに12世紀と16世紀には、夏季気温は低下していた。とくに、11世紀初め、12世紀半ば、15世紀半ばには顕著な降温があったことが、明らかである。20世紀以降には、平均気温は急速に上昇している。

6. 藩日記からの気温変化の推定

古日記

1600年以前の天候記録からの復元と、1881年以降の観測記録をつなぐ期間について補足する。近世の江戸時代については、多数の研究者の協力により藩日記などから天候記録が得られており、1994年の吉村 稔編のデータベース、PCD6に格納されている。ここでは弘前の『弘前藩庁日記(1661-1867)』、鯖江の『間部家文書(1725-1870)』、京都も『妙法

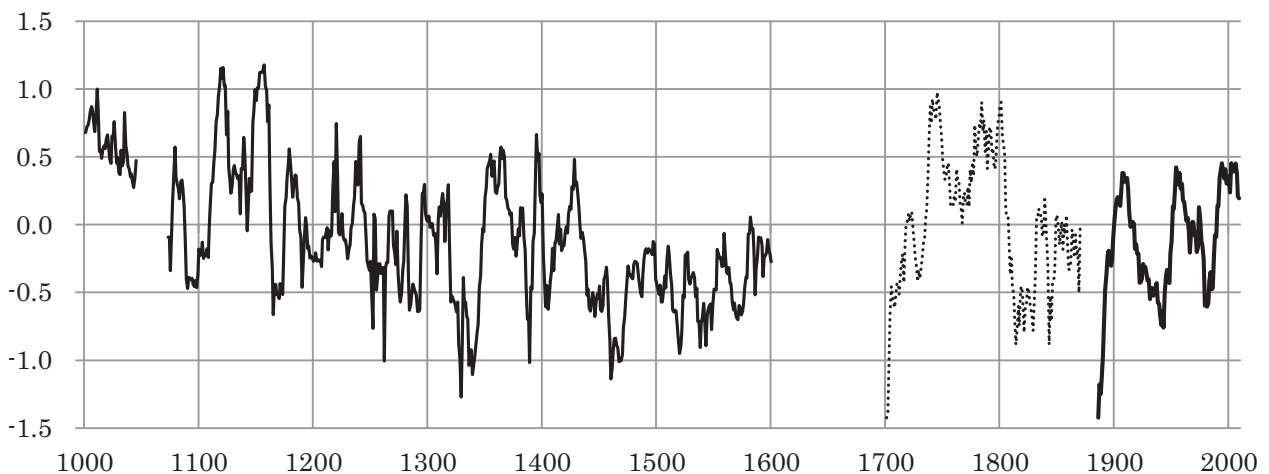


図5-a 降雪率から推定された冬季気温の変化 (12, 1, 2月)

細線：京都の降雪率からの推定(1001-1600)、点線：鳥取の降雪率からの推定(1701-1871)、実線：京都の観測値(1881-2014)。縦軸は1986-2014年の日最高気温の月平均値からの偏差(°C)

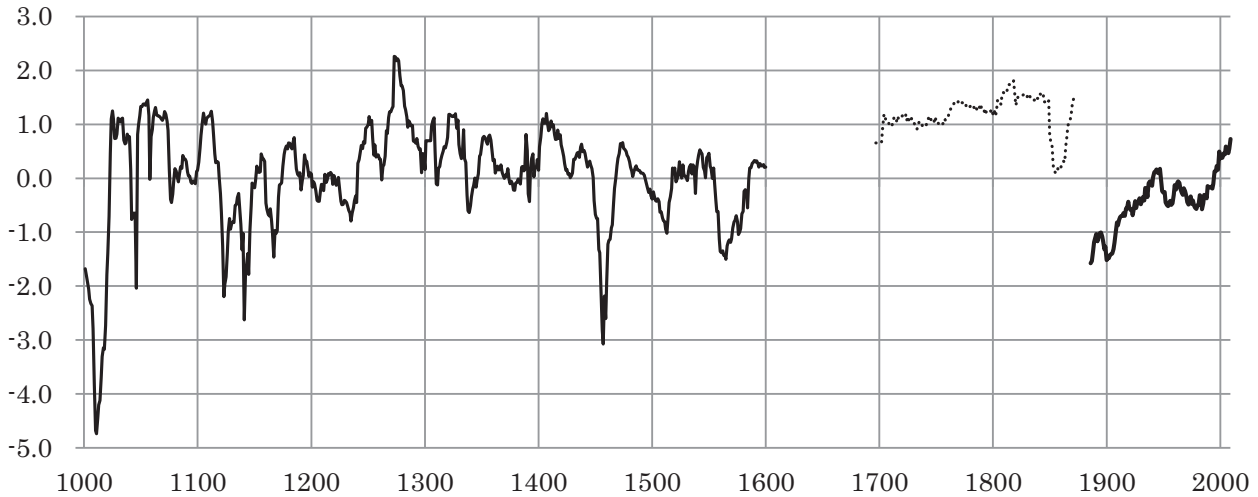


図5-b 降水日率から推定された夏季気温の変化（6, 7, 8月）

細線：京都の降水日率からの推定（1001-1600），点線：鳥取の降雪率からの推定（1701-1871），実線：京都の観測値（1881-2014）。縦軸は1986-2014年の日最高気温の月平均値からの偏差（℃）

院日次記（1694-1746）』，鳥取の『鳥取藩大目付日記他（1697-1871）』を用いる。

これらの4地点の中で，京都とは鳥取と弘前の記録期間が重複する。降雪率は1720年代における上昇傾向が一致する。また鳥取，鯖江，弘前の3地点では，鳥取と鯖江で相関性が高く，18世紀後半に上昇している。絶対値では京都，鳥取，鯖江，弘前の順に高くなる。変動（係数）の大きさは，その逆となる。このように京都の降雪率は，気温の変動をとくに明瞭に示している。

観測期間での気温推定

現在の観測記録を京都，鳥取，福井（鯖江の代替），弘前について比較すると，京都の冬季平均気温は，他の都市より著しく上昇している。おもに日最低気温の著しい上昇による。

夏季平均気温も京都では他の都市にくらべて上昇が著しい。ただしその差は1970年代頃に最大に達した後，他の諸都市と変化とはおよそ平行的である。京都での変動に最も近いものとして，鳥取の1967年以降の天気概況を用いる。日中の天候からの降雪率と日最高気温の相関係数は -0.5958 である。また日中の天候からの降水日率と日最高気温との相関係数は -0.4437 である。

そのため鳥取での日最高気温と冬季の降雪率の間で回帰分析を行うと以下である。

$$T_{wmax} = -0.0563 Sr + 11.5998$$

同様に鳥取での日最高気温と夏季の降水日率の間で回帰分析を行うと以下である。

$$T_{smax} = -0.0615 Pr + 31.6694$$

上記の直線回帰式を，18世紀から19世紀の鳥取の降雪率，降水日率に適用することにより，気温変動を推定した。復元された気温を現在との偏差で示し，IV-5節での図に補足する。

その結果，冬季の降雪率にもとづく気温偏差は18，19世紀にも大きな変動を示す（図5-a）。一方，夏季降水日率からの気温偏差は，安定して高い状態にある（図5-b）。夏季の場合にやや異常な高温の継続が示されるが，鳥取での日記においては雨天の記述は非常に少ない。冬季には降雪と降雨との間で相対化されるが，夏季には降雨自体の記録の偏りが考えられ，方法への検討を必要とする。

V 11-16世紀の日本の気候変動の検討

1. 他の代替資料からの復元との比較

本論で対象としたような千年紀におよぶ気候変動の復元は，使用される資料は限られ，また地点も限られている。そのために復元された気候変動は，必ずしも確実なものではなく，またそれらの間には相異があった。本論でも京都という局地における変動の復元であるが，日々の天候という高い時間精度の資料に基づいているため，短期間の変動も示していることが期待される。そのため，従来の主要な気候変動の復元結果と比較することにより，その信頼性について確認する。

年輪

1970年に伐採された樹齢1866年の屋久杉の年輪が，10年輪ごとに分割されて分析されている。1744

年以前の大気中の二酸化炭素の炭素同位体比は一定と仮定し、屋久杉の炭素同位体比は主に気候（気温）変動により変化したとして分析された。その結果、西暦610年から700年、1580年から1700年には、過去2000年の平均から約1.5～2℃ほど気温が低下し、一方700年から1200年には1℃ほど気温が上昇したとされた（北川裕之・松本英二，1998）。

すなわち飛鳥時代と江戸時代初期には寒冷であったが、奈良・平安時代には温暖であった。このことは天候から復元された長期間での変動の傾向と一致している。また図からは二千年紀の前半では、11世紀に気温が急昇、12世紀末には急に下降、13世紀初めには急昇、14世紀には最も低下し、15世紀はその末に最低となることが示されている。このことは、かつていわれたような15世紀前半の厳寒とは異なっている。

湖水凍結

諏訪湖では冬季に御神渡という、湖水の結氷に基づいて起こる現象が知られており、15世紀以来の記録が残されている。御神渡に関連して、結氷期日と気温との直線回帰式が求められ、それにもとづき、冬季（12・1月）の平均気温が推定されている。1444年から1994年では、1600年代初頭が最も寒冷で、気温は現在よりも1.5℃低かった。1480年代、1540年代は比較的温暖で、20世紀の平均に近かった（三上岳彦・石黒直子，1998）。

16世紀前半には比較的温暖であったとされるが、天候からの復元では、この16世紀前半の温暖は明瞭ではない。このことは、京都と諏訪の相異もかわるが、それ以上に凍結期と降雪期の寒暖の地域的相異がかかわることが考えられる。

観桜期日

桜花はしばしば気候変動の指標とされてきた。桜の歌は、日本書紀の允恭記（5世紀半ば？）より、みられる。奈良時代末成立の万葉集中には、桜花の歌が42首収められ、とくに平城京周辺の山桜や、自宅の庭に植えた桜が詠まれた。平安京でも、貴族の邸宅に山桜が移植された。桜は万葉集では「咲く」美が讃嘆されたが、古今集（延喜五（905）年成立）では「散る」ものとして捉えられるようになった（佐田公子，2010）。桜は開花から満開まで一週間ほどかかり、また散るまでにはさらに一週間ほどかかるので、桜花に関して期日が記されていたとしても、こうした捉え方の変化が影響を与えることが考

えられる。

平安京の紫宸殿前庭の桜は、仁明天皇（833-850）の頃に枯れた梅に代えられたものという。鎌倉時代には、伊豆から湘南に自生するオオシマザクラに、近畿地方のヤマザクラなどが交雑して、今日のサトザクラの大部分が生まれた（小笠原左衛門尉亮軒，2010）。梅は比較的温暖な地に生育するため、その枯死には寒冷な気候がかかわっていた可能性もある。一方で桜は比較的冷涼な地にも生育し、後世にわたって広く鑑賞の対象になったことが考えられる。

吉野では、桓武天皇の病氣平癒により、蔵王権現の神木としての桜が供養された。中世初頭から花供の峰入りがされ、桜の植樹にもつながる。金峯山寺蔵王堂では、花供恒懺法会はなくせんぼうまがおこなわれている。また、東大寺の桜会は承和十三（846）年にあり、また天平勝宝八（756）年の法華会も桜会と考えられている。桜の下で法華経が講じられるのは、多くの人が死にさそわれるとされる三月十八日の頃で、桜が死と結ばれて畏れられ、美を称えられた。また蓮花から桜花へうつったものと考えられている（中西進，2010）。

花を愛でる、酒を酌み交わす、多くの人々が集まる、ことは世界各地にあるが、それらが同時にあるのは日本の花見だけという。貴族は奈良では渡来した梅を愛でたが、平安では土着の桜のもとで宴をした。農民は春山入りで冬の神を送り、田の神を招き、花で豊凶を占った（白幡洋三郎，2010）。修験の金峯山寺での花供、仏教の東大寺での桜会、貴族の花宴、農民の春山入りのように、桜花は諸々の信仰体系にわたって、また貴賤を問わずに人々と結びついていった。このように、桜花には広く関心が集まっており、その行事の記録は、気候復元のための貴重な資料となる。

ただし、時代や地域により、開花期日には相異が生じる。日本の桜には、琉球列島のカンヒザクラ、温帯のオオシマザクラ、ヤマザクラ、エドヒガン、冷温帯のオオヤマザクラ、エゾヤマザクラがある。ソメイヨシノは、10℃以下の低温日が150日を超えると開花が遅れるが、八丈島や種子島では低温日が100日に満たない温暖年には満開にならない。3℃の温暖化があると東京付近でも開花が遅れだす（永田洋，2010）。このように、著しく昇温した場合に開花が遅れることは、開花が遅く冷涼とされてきた期間がむしろ高温である可能性もある。気候変動

の復元に用いられてきたのは、おもに京の宮中での花宴の記録であるが、顕著な温暖年には遅れの生じる可能性があり、復元に支障となることも考えられる。

太陽活動とのかかわり

放射性炭素¹⁴Cの生成率から、太陽活動が推定されている。太陽活動が活発化したときには温暖となつて、氷河は後退してオーロラの発生数も増える。温暖であったのは12世紀と16世紀の頃であり、寒冷であったのは7世紀、15世紀と17世紀の頃である(桜井邦明, 1998)。

このように太陽活動からは、12世紀は温暖、15世紀は寒冷、16世紀は温暖とされるが、天候記録からの復元とは、おおよそ対応している。ただし冬季と夏季とでは復元結果が異なるため、太陽活動と気候変動の関係はやや複雑である。

2. 気候変動とその影響

二千年紀前半での環境変動

寒暖の変動は、農業生産への影響を通して社会にも影響をおよぼす。人と自然の関係の枠組みは、(1)長時間持続する国郡制的秩序、(2)ある程度長く維持されたうえで集中的に変化する、開発・水利や集落立地、(3)短期間に変化する地震や水害、のレベルに整理される。(1)は三角州・扇状地の地形帯、(2)は自然堤防・旧河道などの微地形、(3)は氾濫や噴火の堆積の極微地形、のレベルが対応する(水野章二, 2006, 2009)。このように人と自然の関係を、時間の長さのレベルに分けるなら、二千年紀前半の期間には、(2)の中間的レベルでの変動の影響が顕著にみられる。

すなわち地形発達からみたとき、弥生時代前期～中期前半に形成された段丘面と、10世紀末～12世紀初頭に形成された段丘面に分けられる。降水量増大にともない河川浸食力が増加して、段丘面上は高燥化し、一方現氾濫原面には洪水が集中して三角州・自然堤防が形成された(水野章二, 2009)。天候記録の収集された京都周辺では、100年オーダーでの変動からは、10世紀末から12世紀に大きな変化があった。それはまず気候的な変動があり、水文の変動を伴い、さらに地形的環境の大きな変動につながるとみることができる。

11世紀後半から12世紀には気温が高く、旱害が多い一方水害も多く、さらに畿内周辺には多くの集

落が成立した。反対に15世紀後半から16世紀には、寒冷化による生産条件の悪化により、凶作飢饉が頻発したといわれる(水野章二, 2006)。すなわち気候・水文・地形で顕著な環境変動のあった頃には、同時に人々や社会においても、大きな変動が生じていた。

環境変動の影響

上記の環境と社会の変動との間には、さらに関係性が認められる。平安時代末期の琵琶湖の湖底遺跡は、水面の低下を示している。近江では11世紀から12世紀に成立の遺跡が全体の7割を占め、大和盆地でも12世紀前後に水資源の集約的利用システムが構築された。これらは乾田化の進行と二毛作の発展、畠地への転換と荒野の増加、溜池の造成や用水施設の改修を示す。一方、15世紀後半から16世紀には、琵琶湖の内湖が成立ないし拡大し、また愛知川の新三角州の形成が進んだ(水野章二, 2009)。

11世紀から12世紀には段丘形成と高燥化のように、景観的にも大きな変化が現れた。一方15世紀から16世紀には琵琶湖の湖岸線の後退という大きな景観の変化が起きた。この両期間での景観、環境変動は、いずれも降水量の変動にもとづいている。一方そのような環境変動は生産システムの変化につながっている。11世紀から12世紀は平安時代末期であり、武家政権の成立に向かう。一方15世紀から16世紀は戦国時代であり、江戸幕府の成立に向かう。気候変動ないし環境変動が、生産活動の変化に結びつくのであれば、さらにそれらが社会体制の変化に向かった可能性がある。

VI おわりに

本論では、日本の第二の千年紀の前半の気候変動の復元を目的とした。そのために、まず従来の研究における、復元のための方法について、検討を行った。その結果、詳細な復元のために、文書資料は有効であった。とくに天候記録から、時間精度の高い復元ができることを確認した。そのため気候復元のための資料として、11世紀から16世紀の、京都周辺での毎日の天候記録を用いた。それより、冬季の降雪率と夏季の降水日率を求めた。現在の天候記録と気温観測記録を回帰分析し、得られた直線回帰式をそれに適用した。それにより、11世紀から16世紀の冬季と夏季の気温の変動が推定された。さらに

気候変動がおよぼした影響について、若干の検討を行った。その主な成果は、以下の通りである。

- 1) 京都では冬季の降雪率から、1001年から1600年にかけて、気温は徐々に低下したとみられる。
- 2) とくに1090年代、1160年代、1260年代、1330年代、1380年代、1460年代に大きな気温の低下があった。
- 3) 夏季には13世紀後半に向かって気温が上昇した後、1600年に向かって低下したとみられる。
- 4) 気温の低下は1140年代、1450年代、1560年代に顕著で、一方1270年代には著しく高温となった。
- 5) 15世紀あるいは13世紀に、「中世温暖期」から小氷期に推移したとみられる。
- 6) 12世紀の冬季には、現在以上に高温であった可能性がある。
- 7) 15世紀から16世紀の冬季には、19世紀初め以上に寒冷であった可能性がある。

なお本論では上述のように、気温の推定に1967年から2015年の、降雪率・降水日出現率と平均気温との直線回帰式を用いている。これは日記に記された天候と、気象観測による天候が等質であることを前提としている。

また、ここでは気候要素として気温のみを対象にしたが、降水量の変動もきわめて重要である。そのため観測時代において、気温変動と降水量変動の関係が確立されることが重要である。

さらにこれまでの検討により、日記の記録者の個人的な差、京都市内での居住地の位置、またデータ数の多少は、大きな影響はないとした。ただしとくにデータ数の少ない期間では、特定の日記により結果が左右されることから、詳細な結果を得るにはなお検討が必要である。また水越による多数の文献の渉獵の結果、膨大な天候記録が収集されて、利用できる史料はほぼ網羅されたと考えられるが、なお資料の希薄な期間が残されており、今後ともなお多くの史料の収集が試みられる必要がある。

謝辞

本研究での基本となる天候記録は、水越允治三重大学名誉教授の御提供による。貴重な文献を多数御恵贈いただいたことに感謝申し上げる。なお本研究を進めるにあたり、科研費基盤研究(C)26350400

『古気候データベースの構築による中世気候異常期の気候変動の解析』を使用した。

文献

- 藤原咲平・長岡和歌子・佐々木隆子(1935):東京の雪日数比に就いて. 天気と気候, 2(7), 12-14.
- 北川裕之・松本英二(1998):屋久杉年輪の炭素同位体比変動から推定される過去2000年間の気候変動. 気象研究ノート, 191, 1-13.
- 前島郁雄・田上善夫(1982):中世・近世における気候変動と災害. 地理, 27(12), 33-43.
- 三上岳彦・石黒直子(1998):諏訪湖結氷記録からみた過去550年間の気候変動. 気象研究ノート, 191, 73-83.
- 水越允治(2004):『古記録による16世紀の天候記録』東京堂出版, 669p.
- 水越允治(2006):『古記録による15世紀の天候記録』東京堂出版, 748p.
- 水越允治(2008):『古記録による14世紀の天候記録』東京堂出版, 373p.
- 水越允治(2010):『古記録による13世紀の天候記録』東京堂出版, 528p.
- 水越允治(2012):『古記録による12世紀の天候記録』東京堂出版, 496p.
- 水越允治(2014):『古記録による11世紀の天候記録』東京堂出版, 458p.
- 水野章二(2006):中世の災害. 北原糸子編『日本災害史』吉川弘文館, 85-158.
- 水野章二(2009):『中世の人と自然の関係史』吉川弘文館, 344p.
- 永田 洋(2010):桜の開花の仕組み(資料). 永田 洋・浅田信行・石川晶生・中村輝子編『さくら百科』丸善, 224-259p.
- 中西 進(2010):桜と信仰. 永田 洋・浅田信行・石川晶生・中村輝子編『さくら百科』丸善, 166-172p.
- 小笠原左衛門尉亮軒(2010):江戸以前の桜. 永田 洋・浅田信行・石川晶生・中村輝子編『さくら百科』丸善, 196-199p.
- 佐田公子(2010):桜と詩歌. 永田 洋・浅田信行・石川晶生・中村輝子編『さくら百科』丸善, 173-179p.
- 斎藤将一・服部徳一(1970):大分県の気候変動. 天気, 17(7), 29-36.

- 桜井邦明 (1998) : 過去2000年にわたる太陽活動の長期変動. 気象研究ノート, 191, 107-114.
- 白幡洋三郎 (2010) : 花見, 桜とさまざまな花から生まれる「祭り」. 永田 洋・浅田信行・石川晶生・中村輝子編『さくら百科』丸善, 180-185p.
- 田上善夫 (2013) : 気候災害・防災祈願と古代・中世の気候変動. 歴史地理学, 55(5), 23-38.
- 田上善夫 (2015a) : 小氷期初期の東アジアの気候変動. 富山大学人間発達科学部紀要, 9(2), 97-116.
- 田上善夫 (2015b) : 小氷期中期の日本列島の気候復元. 富山大学人間発達科学部紀要, 10(1), 1-13.
- 田口龍雄 (1939) : 雪日数比に就いて. 海と空, 19(10), 17-23.
- 田口龍雄 (1951) : 18世紀, 19世紀に於ける武蔵野の天候記録-石川家の『諸色覚日記』について-. 天文と気象, 17(7, 8), 25-27.
- 山本武夫 (1967) : 歴史の流れに沿う日本とその周辺の気候の変遷. 地学雑誌, 76, 115-141.
- 山本武夫 (1970) : 日本に於ける15世紀16世紀の気候の変遷. 気象研究ノート, 105, 325-332.
- 山本武夫 (1983) : A.D.1~1600年の日本(西南日本京都)の気候変化. 気象研究ノート, 147, 61-73.
- 吉野正敏 (1983) : 世界と日本の古気候. 気象研究ノート, 147, 3-19.

(2015年10月20日受付)

(2015年12月 9 日受理)