歴史時代の気候復元

— 特に小氷期の気候について —

前 島 郁 雄*

Reconstruction of the Little Ice Age Climate

Ikuo MAEJIMA

I. 序

1890年代から1940年代へかけての気候の世界的温暖化が、近年寒冷化へと移行し、気候に対する人為的影響が論じられるようになって、気候変化に対する関心は今や各方面で高まりつつある。半世紀前には、歴史時代の気候が現代の気候と異なっていたか否かについて論争が交わされるほど、過去の気候についての知識は乏しいものであった。しかし、近年歴史時代の気候の復元が急速に進むにつれて、最近1000年間の気候の実体は漸やく明らかになりつつある。

気候の歴史にしたがえば、気候はたえず変化しているものであり、それは人為が加わることは独立した自然の現象であるということが、現在では認められるようになった。この変動の大きさとタイムスケールを明らかにすることは、人間社会の諸計画の立案に際して不可欠であり、また、人為の気候への影響の程度を知るためにも、自然の変動の実態を明らかにしておくことが望まれる。また一方、提案されている気候モデルを吟味するためにも過去の気候データが必要である。このようにしてわれわれは将来の気候像を展望することができる。

世界ですぐれた気候史料を提供できるのはヨーロッパと東アジアである。その分析の結果、過去1000年は氷期以降としては気温、降水量の大きな変動を経験した時期であることが知られるようになった。900～1300年のいわゆる中世の温暖期とそれに続く1550～1850年の寒冷期が地球規模で存在したことはほとんど疑いをいれない事実である。後者の寒冷期には山岳氷河や海水が最終氷期以降最も発達したことが確実で、これは小氷期 Little Ice Age の名で呼ばれる(たとえば LAMB 1972)。そしてこれに続く温暖化の極は今世紀の前半にわれわれが経験したところのものである。

歴史時代の気候変動のタイムスケールと地理的パターンを明らかにすることはとくに重要な問題である。大気現象の時間・空間のスケールの対応は当然気候変動においてもみられるはずである。現在、変動の時間スケールについてはかなり解明されてきたが、地球規模でその同時性を議論するにはデータの不足が障害となっている。ヨーロッパの豊富な材料に対応させることが可能なのは日本と中国のそれである。日本では、近年気候学者の協力により、気候史料の発掘とコード化への試みが行われている(吉野 1982, 1983)。また、近年における歴史時代の気候復元の研究はいちじるしく学際的性格をおびつつあり、気候学者、気象学者のほか、歴史学者、考古学者、植物学者、化学者、天文学者、地質学者、地理学者、人類学者などが加わっており、史料と資料の吟味、気候復元の方法にいちじるしい進歩がもたらされているのが特徴である(たとえば OESCHGER 1980, ROTBERG and RABB 1981, WIGLEY, INGRAM and FARMER 1981, SMITH and PARRY 1981 など)。

* 東京都立大学理学部地理学教室 Department of Geography, Tokyo Metropolitan University

本稿では近年における多くの成果にもとづき、とくに小氷期の気候復元を中心としてのべたいと思う。

II. 気候復元のための資料と方法

後氷期から歴史時代にかけての気候を復元するための資料にはさまざまなものがある。文書が存在しない時代については花粉、海水準、氷碛粘土、植物遺体の C^{14} 年代、年輪、氷河堆積物などが、あるものは単独に、あるものは組合せて用いられる。

歴史時代の最も重要な資料は気候状態を直接、間接に記録した古文書である。ただヨーロッパでは17世紀半ばには近代的气象観測が一部で始まっており、日本はこれより200年以上遅れているので、歴史時代という呼び方は定義のしかたが難しいが、ここでは器械観測以前の時期とすることにする。

天候の記述がある古文書の中でも、器械によらないが定期的観測を記録したものは利用価値が高い。その中には風向や風の強さを記したものがあり、これは総観気象学的観点からみてとくに意味がある。ヨーロッパではオックスフォードにおける MERLE (1337—44年)、チューリヒにおける HALLER (1545—76年)、スウェーデン (当時はデンマーク) のヴェーン島における TYCHO BRAHE (1582—97年)、カッセルにおけるヘッセン領主 HERMANN 4 世 (1621—50年) などの連続した天候記録は当時の気候復元に役立っている。また、チューリヒ近郊の毎日の記録 (1683年以降) は器械観測時代に接続して、17世紀以降の気候復元の役立てられている (PFISTER 1978, 1980)。この種の記録の1つとして、三條西実隆の日記の天候記事を用いて1500年を中心とした室町時代後期の気候が論じられた (MAEJIMA 1966, YAMAMOTO 1971)。弘前藩庁の日記に記載されている天候記事 (1661—1867年) は、その連続性、その記事内容の詳しきからみても、恐らく世界でも一級の資料価値をもつものと思われる (MAEJIMA *et al.* 1983)。これを用いて日本の小氷期の時代区分が試みられ (前島・田上 1983, Maejima and Tagami 1983)、他の地点との天候の共時的分布を用いてある年の天候推移を復元する試みがなされている (MAEJIMA and KOIKE 1976, 谷治・三沢 1981, 三上 1982 a 1983 b)。後者は当時の循環の季節の特徴を復元しようとするもので、最近における手法の細密化の傾向を示している。

それより一層直接的なのは歴史時代の天気図の作成であり、北東大西洋域の1588年の夏の60余日の天気図 (DOUGLAS *et al.* 1978) と1781—1786年のヨーロッパと北東大西洋域の天気図 (KINGTON 1980) が得られている。このような成果の積重ねは、過去の気候の近代気象学的理解に役立つ所が大である。

間接的に過去の気候を示す材料は最近では代用データ proxy data とよぶことが多い。これには作物の豊凶、年貢・租税の記録、植物・作物季節、氷河の動き、湖海の凍結、年輪成長量、洪水・高潮の発生などがある。これらの材料は、時間的にも空間的にも断片的であり、しかも観測時代と同様の精度での分析が期待できない難点をもつが、ヨーロッパでは近年これらを用いた、慎重かつ詳細な研究が進められている。ブドウの収穫期日は春から秋 (3—9月) の気温の平均状態と相関が高いことを利用して、15世紀以降の夏の天候史が詳論されている (LADURIE 1971)、アルプスの氷河のスケッチ、写真類から各時期の氷河の消長を復元した研究 (LADURIE 1971, ZUMBÜHL 1980)、作況などをこれと関連させてスイスの最近450年の気候を復元した研究 (PFISTER 1975, 1980) などはその代表的なものである。年輪年代学のない年輪気候学的な研究はアメリカ合衆国のアリゾナ大学を中心として発展させられた。この方法は半乾燥地のような気候の地域では乾燥・高温と湿潤・低温が年輪成長量と相関がよいとされており、大きな成長量は後者の条件の下で起る。合衆国西部については1500年以降について気候変動の実態が明らかにされ、気温や気圧の分布まで復元することが試みられている (FRITTS 1976, 1979, HUGHES *et al.* 1981)。しかし、東アジアやヨーロッパのような湿潤気候下での年輪と気候の関係はまだ不明な部分が多く、今後の研究にまたねばならない。

間接的材料からの気候復元には、当然のことながら、その材料が指示できる気候特性を確定できること、また、複数の材料による同一地域でのクロスチェックが不可欠であり、このような成果の蓄積にもとづき、

気候変動の空間パターンの復元へと進むことがこれからの課題である。このようにして過去1000年程度の気候変動の理解が進めば、将来100—200年の気候の予測に重要な基礎を与えることになる。

III. 小氷期以前の気候

紀元前5000—3000年にその最盛期となった、いわゆる Climatic optimum または Hypsithermal とよばれる温暖期以降現在に至る間に、いくつかの温暖期と寒冷期が繰返し起ったが、この紀元前の温暖期の水準に再び達することはなかった。それに次ぐ温暖期が中世に出現したものである。

北西ヨーロッパと中部ヨーロッパではこの温暖期のクライマックスは1150—1300年頃に起った。東ヨーロッパ、グリーンランドではそれは1世紀ほど早く、1200年頃にはスイス・アルプスも含めて、夏は多雨、冬は寒冷へと向いはじめた。しかし、この寒冷化はのちの小氷期のものほどではなかった。中世の温暖期にはイングランド南部でのぶどう栽培の記録が Domesday Book (1085年) その他にある。グリーンランド近海では北緯70°までの海域に980—1200年の間には流氷はまったくなかったが、それ以降急速にその出現回数が増大する。この温暖期にはヨーロッパの中位山地やアルプスでは森林限界は現在より100—200m 高い位置にあり、氷河はいくつかの地点については、現在の位置より後退していたことが知られている。諸種の証拠から、この時期の気温は、イングランド中部では、1900—1950年の平均気温より、0.5—0.8°

C、小氷期の1550—1700年より1.2—1.4 °C 高かったと推定されている (第1図)。日本でも10—12世紀は同様に温暖期で、現在より2—3 °C 高かったということがいわれている (山本 1976)。

1300年以降、気候はかなり気まぐれで大きな変動を示し、小氷期へとかなり急速に移行する。この移行期にはイングランドや北海沿岸で暴風頻度の増大による高潮発生記録が多く、西ヨーロッパ各地に洪水と干ばつ、暖冬と寒冬など相反する極端な天候がしばしば発生している。高潮発生に対する気候学的な説明として、温暖期による海水準の上昇と、北極海の冷却が始まって偏西風が強まったことの2つが合わさったためとされる (LAMB 1977)。ヨーロッパにおけるぶどう畑の拡張は1300—1310年には休止し、1310年代には3度も不作に見舞われ、飢饉、人口減少、農家の離村などが相次いだ。1430年代もまた特異な期間であり、寒冬・暑夏が相次いで発生した。それは、スカンディナヴィア上に高気圧が発達することが異常に多く、これに対してアイスランドはこの高気圧の西側に位置したため南風の頻度が高く温暖な様相を呈した結果、東西方向の天候差が増大したことに

第1図 中部イングランドの平均気温の経年変動
(50年平均)
(a) 全年平均 (b) 7—8月の平均
(c) 12—1—2月の平均 (LAMB 1968)

よると考えられる。

他方、スコットランドでの耕地の後退は、この時期の気温の急な低下と関係があることが歴史地理的手法で明らかにされた (PARRY 1978)。その理由としては、作物の成育期間の短縮がまずあげられる。それは1400年には3週間に及び、17世紀には1300年以前より5週間も短くなったと推定されている。また、蒸発の減少のため土壌水分が増加し、湖沼・湿地の面積が増大したことも、もう1つの理由とされる。

IV. 小氷期の気候

それ以前の期間にくらべて、小氷期には記録が豊富になり、ヨーロッパのみならず、北米、東アジアでも寒冷な気候が支配したことを示す証拠が多い。

イギリスではテムズ川の凍結は900—1400年代までは10年に1.16回の割合で発生したにすぎないが、1550年代、1600—1700年代にはそれが6倍に急増したことによっても、16世紀からの急激な寒冷化を知ることができる (SCHNEIDER 1976)。すでにふれたカッセル、チューリヒ、ヴェーン島の記録は、16世紀後半から17世紀前半にかけて冬の気温が今世紀前半より1.5—2.0°C低かったことを示している。ヴェーン島の風のデータから、当時はデンマークでは東ないし南東風が冬季に卓越していたことが明らかで、この事実は、現在のヨーロッパの大気循環に関する知見によれば、スカンディナヴィア上空にブロッキング高気圧が停滞する顕著な循環の偏りを示唆するものである (FLOHN 1949)。

アルプスの氷河の動きは、氷河の質量収支を詳しく検討した結果によれば、5—9月の正の気温の積算値と最も高い相関を示す (HOINKES 1971)。また、ある氷河の前進・後退には、1年だけでなく数年間の夏の天候条件が関わりとされる (ZUMBÜHL 1980, PFISER 1978)。この意味で、古くからの観察・観測記録のあるアルプスの氷河はヨーロッパの小氷期およびその前後の気候を復元する上で重要な指標となる。

アルプスの氷河の前進は16世紀の後半に始まった。その後300年の間に氷河は前進・後退をくり返したが、最も前進したのは、1600, 1640, 1680, 1770—80, 1820, 1850年である (HEUBERGER 1968)。1850年頃の前進はとくに顕著であり、この後1955年頃までかなり急速な後退がみられる。1770—80年の氷河前進期と気候の関係は次のように明らかにされている。1764—77年には、夏についていえば、29カ月中3カ月が高温・乾燥であったにすぎず、降水頻度の材料のみがある残りの13カ月を含めても、最大で6カ月 (14%) がそのように判定されるにすぎない。氷河の前進はこの冷夏にやや遅れて始まった。240種以上のスケッチ・絵画類から1750年以降の詳細な氷舌の長さの変動を求めた結果によれば、前進の開始は1768年

第1表 小氷期を中心とする気候の時代区分 (BRYSON and PADOCH 1981)

大 区 分	中 区 分	区分の境界	細分の境界	気 候 の 特 徴
Post Sub-Atlantic	Modern	現 在 1915—1920	1915—	温暖, 1945±がその極
	Neo-Boreal		1885	冷涼, 北半球
			1820	温暖, 北半球
			1765	一般に寒冷, 北半球
		1720	温暖	
	Pacific	1550	1600	非常に寒冷, 1600—1630, 1670—1720, 北半球
			1400	気温の急激な低下, 特に北大西洋
	Neo-Atlantic	1150—1200	1000	} 温暖, 北大西洋 } やや冷涼, 北米—北大西洋
700—750		} 中世の温暖期		

第2表 日本の小氷期の時代区分
(MAEJIMA and TAGAMI 1983 に一部加筆)

時代区分			気候のタイプ
現	代	現在 1880	温暖
小 氷 期	第3小氷期 (寛政・天保小氷期)	1880	1880 } 寒冷
			1850 } 非常に寒冷
			1820 } 寒冷
		1780	1780 }
	第2小間氷期	1780	温暖
		1740	
期	第2小氷期 (元禄・宝永小氷期)	1740	1740 } 寒冷
			1720 } 非常に寒冷
	第1小間氷期	1690	温暖
		1650	
期	第1小氷期 (元和・寛永小氷期)	1650	非常に寒冷
		1610

第2a図 弘前における月別降水頻度の経年変動
(冬季, 11年移動平均, 前島・田上 1982)

平均気温と逆相関を示すので、多雨期は低温、少雨期は高温を意味することになる。両要素の関係をを用いて200年間の気温変動の幅を推定すると冬に約 6°C 、夏に約 4°C となり、現在と同様のオーダーの値で

で、1778—79年にクライマックスに達している (ZUMBÜHL 1980)。この傾向はフランス・アルプス、東アルプスの多くの氷河の動きと調和している。すでにのべたように、ぶどうの収穫期日による夏の天候史は詳細に復元されているが、ここでは省略する。そのほか多くの成果にもとづき、小氷期前後の時代区分を行ったものの抜すいを第1表に示す (BRYSON and PAD-OCH 1981)。

一方、日本における小氷期の存在はすでに指摘されてきたが、その詳細についてはなお不明な点が多かった。弘前藩庁日記の天候記録の分析は17世紀後半から19世紀前半へかけての200年の気候変動を明らかにしてくれる。毎月の降水頻度の経年変化には明瞭な変動が認められる (前島・田上 1983, MAEJIMA and TAGAMI, 前島・田上 1982)。それらの中、冬季と夏季の変動曲線を第2a図と第2b図に示す。これらとそれ以前の気象災害の発生回数にもとづいて、日本の17世紀以降の気候の時代区分を第2表に示した。主にヨーロッパの資料にもとづいた第1表にみられる気候変動の位相と日本のそれとはかなりよく調和しているといえる。すなわち、小氷期中に詳しくみれば両地域とも3つの寒冷期を認めることができる。

器械観測時代のデータによると、降水頻度は冬、夏ともに平

第2b図 同 (夏季 前島・田上 1982)

中国においても近年歴史時代の気候変動の研究が多くなり、とくに小氷期については近い将来対比が可能な状況になると思われる(吉野 1980)。また、ソウルにおける1770年以降の200年にわたる標準化された降水量データ (HAHN 1970) も、日本、中国の成果と同時に論じられるようになれば、東アジアの小氷期の気候像は一層鮮明なものとなる。

V. むすび

以上、近年における歴史時代、特に小氷期の気候復元に関する研究成果を紹介してきた。ここで特筆されるのは、学際的研究が進められてきたことにより、従来より精度が高い気候史の復元が可能になったことである。また一方、確実な過去の気候像を得たことで歴史学者たちは過去の歴史的事実の解釈への新しい視点をもつことにもなった。このようにして、気候史の復元は学際的研究に最もふさわしいテーマの一つといえるであろう。学際的研究が一層進んで、過去の気候変動の時間スケールと空間スケールの関係が明らかにされ、これに基づいて近い将来の気候が予想できるようになることが望まれる。

主要文献

- BRYSON, R. A. and PADOCH, C. (1981) : On the climates of history. in : ROTBERG, R. I. and RABB, T. K. (eds.) : *Climate and History. Studies in Interdisciplinary History*. 3-17.
- DOUGLAS, K. S., LAMB, H. H. and LOADER, C. (1978) : *A Meteorological Study of July to October 1588 : the Spanish Armada Storms*. *Climat. Resear. Unit Resear. Publ. No. 6*, Univ. of East Anglia.
- FLOHN, H. (1949) : Klima und Witterungsablauf in Zürich im 16. Jahrhundert. *Vierteljahrschr. d. Naturforsch. Gesellsch. Zürich*, 94, 28-41.
- FRITTS, H. C. (1976) : *Tree Rings and Climate*. New York, 567p.
- , LOFGREN, G. R. and GORDON, G. A. (1979) : Variations in climate since 1602 as reconstructed from tree rings. *Quatern. Resear.*, 12 18-46.
- HAHN, S. D. (1970) : On the precipitation records in Seoul for 200 years long. *Ann. Rev. Korean National Committ. for IUGG*. 9-21.
- HEUBERGER, H. (1968) : Die Alpengletscher im Spät- und Postglazial. *Eiszeitalter u. Gegenwart*, 19, 270-275.
- HOINKES, H. (1971) : Über die Beziehungen zwischen der Massenbilanz des Hintereisferners

ある。さらに平年値(30年平均値)における変動の幅は約 1.5° ~ 2.0° Cと推定され、江戸時代にあつては30年ほどの期間にかなりの変動があつたものと思われる。

日本では小氷期に飢饉が多発した。天明、天保の飢饉が中でも有名である。これらの時期の夏の天候推移の特徴がくわしく求められ、当時の天候推移の年による変動の大きいことが明らかにされ、総観歴史気候学ともいべき分野が築かれつつある

(三上 1983a, 1983b, 谷治・三

- (Ötztaler Alpen, Tirol) und Beobachtungen der Klimastation Vent. *Ann. Meteorol. N. F.*, 5, 259-264.
- HUGHES, M. K., KELLY, R. M., PILCHER, J. R. and LAMARCHE JR. V. C. (eds.) (1982) : *Climate from Tree Rings*. London, 223p..
- KINGTON, J. A. (1980) Daily weather mapping from 1781. *Climatic Change*, 3, 7-36.
- LADURIE, E. Le Roy (1971) : *Times of Feast, Times of Famine*. New York, 426p..
- LAMB, H. H. (1968) : *The Changing Climate*. London, 236p..
- (1972) : *Climate, Present, Past and Future. Volume 1*, London, 613p..
- (1977) : *Climate, Present, Past and Future. Volume 2*, London, 835p..
- MAEJIMA, I. (1966) : Some remarks on the climatic conditions of Kyoto during the period from 1474 to 1533 A. D.. *Geogr. Rep. Tokyo Metropol. Univ.*, 1, 103-111.
- and KOIKE, Y. (1976) : An attempt at reconstructing the historical weather situations in Japan. *Geogr. Rep. Tokyo Metropol. Univ.*, 11, 1-12.
- 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.
- (1983) : 日本の小氷期の気候について——特に1661年～1867年の弘前の天候史料を中心に——, 気象研ノート, 147, 81-89.
- MAEJIMA, I. and TAGAMI, Y. (1983) : Climate of Little Ice Age in Japan. *Geogr. Rep. Tokyo Metropol. Univ.*, 18, 91-111.
- , NOGAMI, M., OKA, S. and TAGAMI, Y. (1983) : Historical weather records at Hirosaki, northern Japan, from 1661 to 1868. *Geogr. Rep. Tokyo Metropol. Univ.*, 18, 113-152.
- 三上岳彦 (1983 a) : 1780年代の天候分布. 気象研ノート, 147, 91-97.
- (1983 b) : 日本における1780年代暖候期の天候推移と自然季節区分. 地雑 92, 105-115.
- OESCHGER, H., MESSERLI, B. und SVILAR, M. (Hrsg.) (1980) : *Das Klima : Analyse und Modelle ; Geschichte und Zukunft*. Berlin, 296S..
- PARRY, M. L. (1978) : *Climatic Change Agriculture I and Settlement*. Folkstone, 214p..
- PFISTER, C. (1975) : *Agrarikonjunktur und Witterungsverlauf im westlichen Schweizer Mittelland*. *Geogr. Bernensia* G2, 229S..
- (1978) : Historical weather observations and climatic measurement. *Arctic and Alpine Resear.* 10, 253-256.
- (1980) : The climate of Switzerland in the last 450 years. in : *Geography in Switzerland*, *Geogr. Helv.* 35-5 (Special Iss.), 15-20.
- ROTBURG, R. I. and RABB, T. K. (eds.) (1981) : *Climate and History. Studies in Interdisciplinary History*. Princeton, 280p.
- SCHNEIDER, S. H. (1976) : *The Genesis Strategy : Climate and Global Survival*. New York, 419p..
- SMITH, C. D. and PARRY, M. L. (eds.) (1981) : *Consequences of Climatic Change*. Dept. Geogr. Univ. of Nottingham, 143p..
- 谷治正孝・三沢明子 (1981) : 天保飢饉前後の気候に関する一考察. *Sci. Rep. Yokohama Natl. Univ. Sec. II*, 28, 91-107.
- YAMAMOTO, T. (1971) : On the climatic change in XV and XVI centuries. *Geophys. Mag.* 35, 187-206.
- 山本武夫 (1976) : 気候の語る日本の歴史. 東京 245p.
- 吉野正敏 (1980) : 最近の中国における気候変化の研究. 天気, 27, 523-543.
- (1982) : 世界気候プログラムにおける日本の古気候復元計画 I. 筑波大気候学気象学研報 5.
- (1983) : 世界気候プログラムにおける日本の古気候復元計画 II. 筑波大気候学気象学研報 8.
- WIGLEY, T. M. L., INGRAM, M. J. and FARMER, J. (1981) : *Climate and History. : Studies in Past Climates and Their Impact on Man*. Cambridge, 530p..
- ZUMBÜHL, H. (1980) : *Die Schwankungen der Grindelwaldgletscher in den historischen Bild- und Schriftquellen des 12. bis 19. Jahrhunderts*. *Denkschr. d. Schweiz. Naturforsch. Gesellsch.* 92. 279S..