

気候変動（1）  
—1600年から2010年までの記録の見直し—

Climate Change Part1  
Review of the Temperature Time Series from 1600 to 2010

松本 治彦\*  
Haruhiko Matsumoto

**要旨：**最近、温暖化予測に関する信頼性の問題が議論となっている。2000年以降の実際の気温が予測に反して低下しており、その信憑性が疑われている。また、現在も含めた過去の気温観測の問題点も指摘されている。そこで本研究では、過去の観測データを詳細に見直した。その結果、小氷期には温暖期よりも急激な温度上昇期もあり、単調な寒冷化でなかったことがわかった。また観測データより20世紀温暖期の温度上昇は、全球平均では不確定性を考慮すると0.3～0.6℃と幅の広いことがわかった。さらに小氷期、温暖期とも十年から数十年の周期性があり、これが実際の人々の生活に影響を与えていたことがわかった。また、気温計測の問題点もいくつか浮かび上がってきた。これらの結果からGCMの性能を高めるために、過去データに無理やり合わせる方法は、未来予測で大きな誤差を生む恐れがある。

また今後、数十年周期レベルでの大気や海洋の振動メカニズムを解明することが温暖化予測の向上には必要である。

1. はじめに

W.J. バローズは著書「気候変動—多角的視点から」の中で、次のように述べている。『気候変動が日常生活にますます重要な影響を及ぼすようになった現在では、過去の気候変動を解明し、将来の変動を予測することも可能になっている。したがって、気候変動のすべての側面を捉えなおす時機として、今が最適である』。

IPCCの第4次報告書の中では、過去100年間に地球の平均地表気温は0.7℃上昇したとしている。地球の温度は過去150年間ぐらいは、温度計で測定している。ただし、世界の全地点で測られているわけではない。これは、過去に存在しているデータを最大限に使い、あとは統計的に推定し出てきた数字である。

気候変化を予測するGCMの有用性は、気候の自然変動をどれだけ再現できるかによって決まる。GCMを数世紀にわたって動かしモデルの気候がどれだけ変化するかをみる。したがってGCMの性能は、過去の気候変動をどれだけ正確にとらえているかがカギとなる。

しかし最近、地表気温観測の問題点が指摘されている。地上2mでの観測値の妥当性と、観測環境の劣化である。地上2m測定は気温変化を過大評価するとの指摘があり、上昇を割り引いて考えるべきとしている。

測定環境に関する劣化は、例えばアメリカの現場報告によると誤差が1℃以下の環境良好な観測点は10%程度しかない。特に問題なのは基準となる田舎観測点の劣化である。住居のそばに自動観測器を置いた結果、廃熱の影響や駐車場の影響などを受

\* 宇部フロンティア大学人間社会学部福祉心理学科教授

け、ミクロな都市化が進んでしまっている。日本の観測点でも誤差が大きいと指摘されている。

さらに、海上の測定にもさまざまな事情から誤差が指摘されている。

そこで本研究では、1600年頃から2010年までの気温の記録を詳しく調べ、実態の把握を試みた（主に、W.J. バロウズの著書「気候変動—多角的視点から」を参照した）。

## 2. 最近の気候変動とその要因

### 2.1 2008年の気温は21世紀で最も低い

全球の平均気温は1970年代半ば以降はほぼ一貫して上昇している。しかし1998年をピークにこの十年間は横ばいないし低下し、2008年の気温は21世紀に入り最も低い。この変動は、IPCCが予測する気温上昇と隔たりが拡大している。IPCCは気温が2000年～2025年に十年間あたり約0.2℃ペースで上昇すると予測している。しかし、実際には最近十年で約0.2℃下がっている。

気温低下の原因は、海の自然変動の影響が考えられる。太平洋で十年ごとに水温が上下する太平洋十年規模振動（PDO）という現象が知られている。PDOの高温・低温期は、平均気温の上昇・下降期とほぼ連動している。2000年前後にPDOが高温期から低温期に切り替わったと見られ、前回のPDO低温期は1970年代半ばまで約30年続いた（項目7でも補足説明している）。今回も同じ規模で低温期が続くと、2030年ごろまで平均気温が上がらない可能性がある。

また、最近の気候変動は寒冷化との関係で太陽活動の「異変」も注目されている。米航空宇宙局（NASA）は2008年9月、「太陽活動が約50年ぶりの静かさ」と発表。その後も太陽活動は静かな状態が続いている。太陽の日射量の変化のほか、太陽磁気の変動が地球の気候に与える影響への関心が高まっている。

さらに、北極域の寒気が蓄積や放出を繰り返す「北極振動AO（項目7でも補足説明）」も注目されている。1970～1990年に北極振動は寒気蓄積のパターンとなり、それ以降は放出パターンが目立つ。1970年代後半以降、地球平均気温の上昇ペースが上がり、2000年ごろからはほぼ止まったのは北極振動の影響が大きい。温暖化ガスによる気温上昇は、この効果を除けばもっと小さくなる可能性がある。図1は、2000～2025年のIPCCによる予測値と実際の気温を示している。

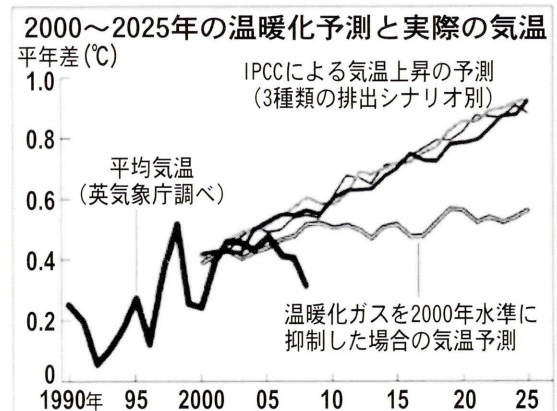


図1 IPCC予測値と実際の気温  
(日経2009.2.2記事より転載)

### 2.2 太陽活動の異変

太陽活動がこれから数十年間、弱まる可能性が指摘されている。活動の活発さを示す太陽の黒点がほとんどなくなる「太陽活動極小期」が訪れることを指摘している。太陽活動は平均11年の周期で強まったり弱まったりすることが知られている。しかし、この周期は時折、乱れることがある。黒点の記録から、900年～1200年ごろに太陽活動が活発な時期が続いた後、活動が弱い極小期が4回にわたって訪れた。極小期は30年くらいから100年以上とまちまちである。17世紀後半の「マウンダー極小期」は、北半球で寒さが厳しい時期だったことが知られている。19世紀に4回目の極小期が過ぎてから、比較的活発な時期が続いていた。しかし、直近の太陽活動では周期に乱れが生じている。1996年から黒点数が減り始め、増加が認められるようになったのは2009年半ばで、13年近くもかかっている。過去のデータからみると、11年周期のリズムが崩れて周期が延びると、次か、その次の周期の後、極小周期を迎える。2010年6月現在、黒点数は再び増えつつあり、太陽は新しい活動期に入っているが、現在の周期が今後、どうなるのか注目する必要がある。

国立天文台と米航空宇宙局（NASA）の研究グループは2012年5月31日、太陽の活動がここ20年で次第に低下していることが分かったと発表した。電波望遠鏡の観測結果などを解析し、太陽活動の指標となる電波の強さが全体的に低下傾向にあった。今後もこの傾向が続く可能性があり、過去に地球が寒冷化した時期と似た状況になるかもしれない。

### 3. 小氷期の再評価

17、18世紀に凍結したロンドンのテムズ河の川面で雪祭りが開かれたのは、当時の冬はそれ以降よりも非常に寒かったという証拠であると長い間考えられていた。しかし、それを非常に寒い冬が数年あっただけとも解釈できる。また、1831年に撤去された旧ロンドン橋が川の水流を緩める堰の役目を果たしていたという事実をどう捉えるのか。当時は堤防がなく、したがって川は現在よりもずっと幅が広がったことと、工場からの排熱がなかったことなども要因となって、テムズ河は寒い天候下では現在よりも凍りやすかった。計器計測の記録を慎重に調べると、当時の冬は現在よりも平均 $1^{\circ}\text{C}$ 寒かったことが明らかになった。それは、雪祭りの記録から考えられる変動よりもずっと小さい。

1659年から中央イングランド (CET) では機器による温度測定が残っている (図2)。これをみると (aは夏季半期、bは年平均値、cは冬季半期の気温を示している)、CETの時系列は1690年代の異常低温、特にその10年間の寒冷な晩春を示している。同等に顕著なのは1690年代から1730年代にかけての急激な温暖化である。40年弱の間に、小氷期の底から20世紀の最も温暖な数十年に匹敵する気候 (約 $1^{\circ}\text{C}$ 上昇) に変化している。この温暖な期間は1740年の異常な寒さ (1年で約 $3^{\circ}\text{C}$ 下降) で終わり、特に1年の冬半期はより寒冷な状態に逆戻りした。その後150年ほどは、顕著な傾向はみられ

ない。18世紀中期以降の他のヨーロッパの都市の様々な時系列は、同様な傾向を示している。また、1850年ごろから冬期は明らかに温暖化しているが、年平均値は20世紀半ばになるまで特に上昇を示していない。このように、小氷期からの脱出は、ヨーロッパでは1年の冬半期に集中しておこっている。

もっと大きな特徴は、数十年規模の変動である。すなわち、1810年代の寒冷な夏は、1770年代後期から1780年代前期、また1800年頃の暑い夏と対比される。同じ数十年規模の変動はもっと最近のデータにも現れる。1880年代と1890年代は頻繁な寒い冬によって特徴づけられる一方、1880年代と1910年代は寒冷で湿潤な夏が多くなった。

世界の他の地域でも同様な現象が現れている。このデータから、16世紀から19世紀にかけては、単調で寒冷な時期ではなかったということがわかる。

### 4. 20世紀の温暖化の再評価

19世紀後期からの地球温暖化の証拠は主に測器による記録から得られる。図3は1861年から1994年までの年平均陸上気温と海面温度を組み合わせた記録で、1961年から1990年と比較しての偏差である。aは北半球、bは南半球、cは全球である。この期間に、年平均、全球平均の地表面温度は $0.62^{\circ}\text{C}$ 上昇している。しかし、不確かさが $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$ であることから、19世紀後期からの地表面付近の全球の温暖化は、 $0.3 \sim 0.6^{\circ}\text{C}$ 上昇との合意もなされている。

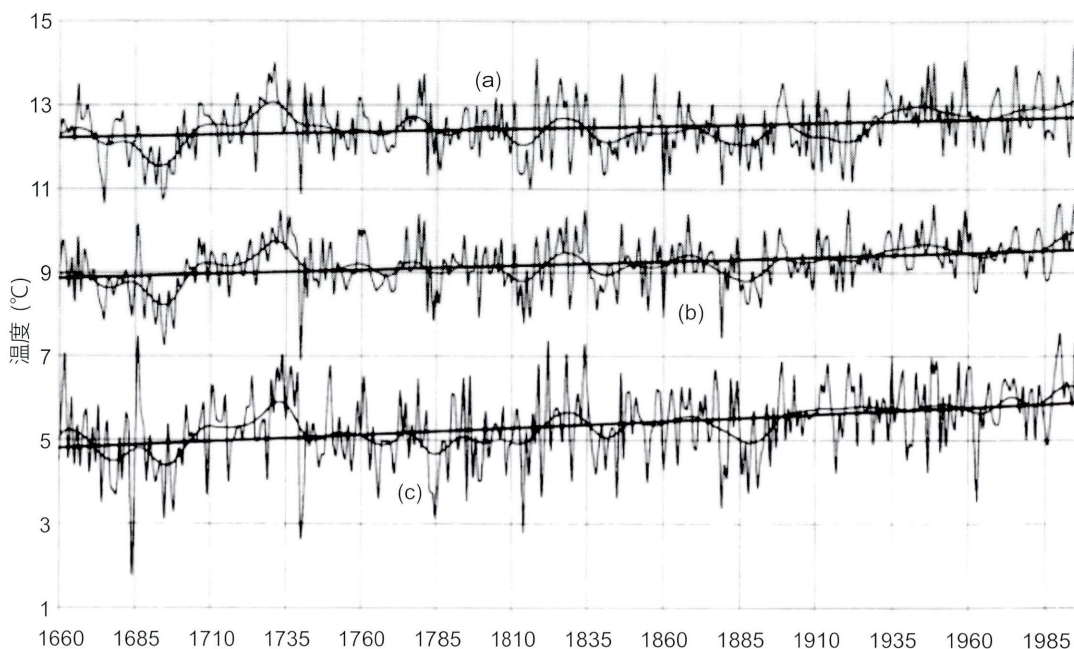


図2 中央イングランドの温度記録 (「気候変動—多角的視点から」より転載)

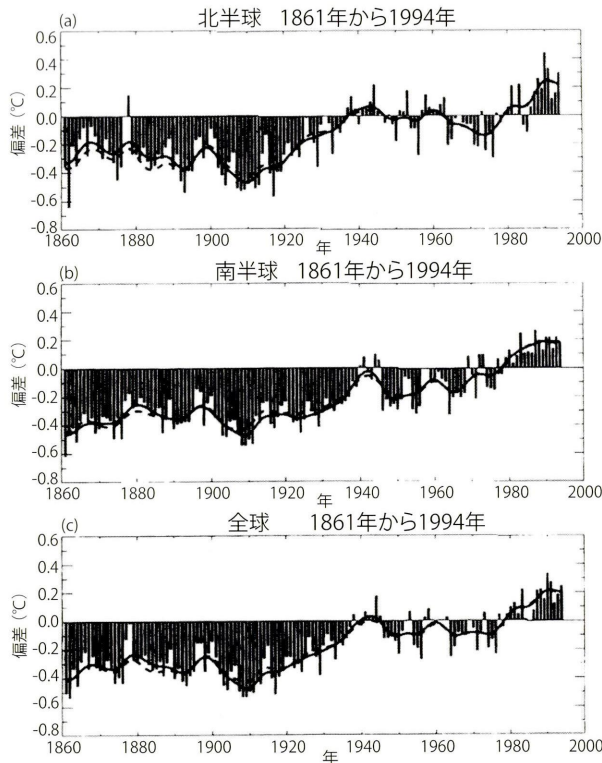


図3 1861～1994年の気温変動  
 (「気候変動—多角的視点から」より転載)

データを詳細にみると、北半球よりも南半球のほうが上昇が少しだけ大きい。最も温暖な年はすべて1990年代である。20世紀の最大の温暖期は1925年～1944年、1978年～1997年のそれぞれ20年間である。これらの時期に全球の気温はそれぞれ0.37℃、0.32℃上昇している。しかし前述したように、この最大の温暖期の気温上昇は小氷期と言われている期間のうち1690年代から1730年代の40年弱で約1℃上昇よりも緩やかである。またこれら二つの温暖期を挟んで特に北半球では、寒冷な時期がある。南半球では温暖化の傾向はもっと緩やかで連続的である。20世紀の温暖化は、例外的に低温の影響を受ける地域の寒冷化と、もっと小規模に例外的に高温に影響を受ける温暖化も伴っていた。最近数十年は、日中の最高気温よりも夜間の最低気温がより急激に上昇してきた。1950年から1993年にかけて、温度の日較差は10年につき0.08℃減少した。全般的に見て、20世紀に全球的に極端な天候や気候変動が増加したという明確な証拠はない。

5. 計測の問題点

5.1 機器による気温測定の問題

図4は木製のシェルターに設置されたアルコール温度計から、プラスチック製のシェルターに設置さ

れたサーミスターへの、変更前と変更後の温度の平均偏差を示している。

このように計測機器の変更時には、慎重な補正が必要になることがわかる。

また、現代の測定は、一定条件下で行われているが、以前の観測の多くは、一定でない条件下でおこなわれている。したがって、信頼のおける時系列データを作成するには、各地点での歴史的な測定記録の詳細を丹念に調べなおす必要がある。

さらに、以前の観測は街の近辺で行われていたが、街が発展するにつれて、都市ヒートアイランドを形成し、気温上昇の原因が複雑化している。

例えば、図5は山形市と小国町の100年間の気温の推移を示したものである。これを見ると、小国町では100年間、ほとんど気温上昇していないことがわかる。一方、山形市は同期間に約1.5℃上昇している。このように、都市化しているか否かで気温の変動は全く違う。

海水面温度の測定では、1940年と1941年では

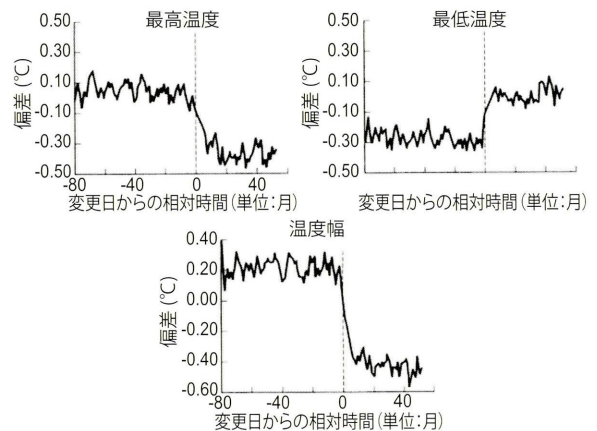


図4 木製とプラスチック製のシェルターに設置されたアルコール温度計とサーミスター温度計の偏差  
 (「気候変動—多角的視点から」より転載)

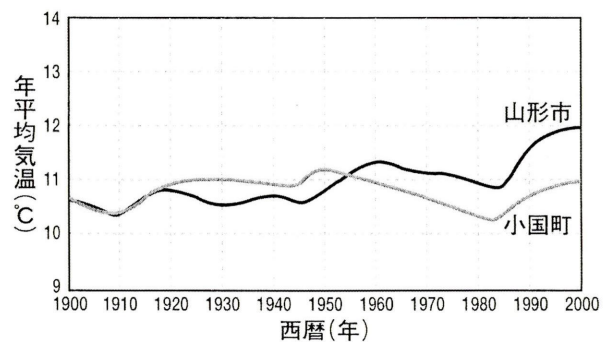


図5 山形市と小国町の100年間の気温推移  
 (近藤「温暖化は進んでいるか」より転載)

0.5°Cの急激なジャンプがあった。最近、その原因が測定方法の変更であることがわかった。それは、キャンパスのバケツの使用から、エンジンへの流入口で温度測定することに代わったのが原因である。これらの補正を約8000万の観測に施すと、木のバケツが使われていた1856年での±0.13°C、キャンパスのバケツが一般的であった1940年での±0.42°Cまで上昇する。

さらに、海水面温度の測定には、地理的観測網の空白地帯がある。最近の数十年を見ても南緯45度以南の南氷洋のデータは存在しない。海洋が地球表面の71%を占めていることを考えると、これは大きな問題点である。

## 5.2 プロキシ計測による気温評価

計測の理想はある場所で、ある時間におけるある気象学的パラメーターの正確な測定によるべきである。そうすれば十分な計測で、時間とともに気候がどのように変化してきたのかの状況を得ることができる。しかし実際には、計測はこの目標を達することはほとんどありえない。現代の機器計測においてすら欠測はあり、それは過去に遡るにつれてさらにひどくなる。したがって、地球の歴史のほとんどにおいては、木の年輪、氷床コア、湖や海の堆積物などの代替記録媒体を使った間接的な（プロキシ）計測に依存しなければならない。

しかし、このようにあらゆる記録源を利用したとしても、記録には大きな欠測が生じる。

ほとんどのプロキシデータは一つの気象パラメーターの直接的な測定であることはない。

例えば、樹木の年輪の幅は、生長期だけの温度と降雨の関数であるだけでなく、以前の季節の降雨によるかもしれない、土壌水分量にも依存している。樹木がその気候限界付近で生長している場合のみ、

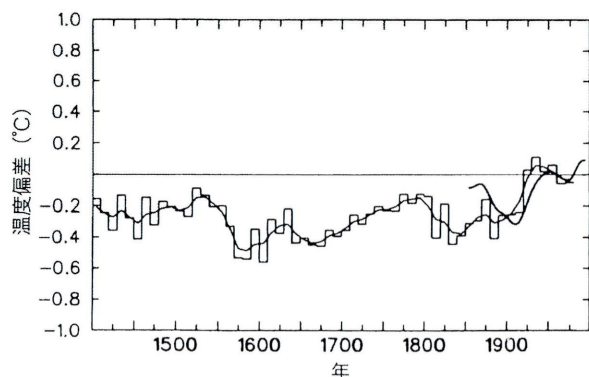


図6 北半球における10年平均夏季温度指数  
(「気候変動—多角的視点から」より転載)

生長のほとんどは、1つのパラメーター（例えば夏季の温度）に帰着できる。

図6は北半球における10年平均夏季温度指数である。記録は北米、ヨーロッパ、アジア東部の計16個のプロキシ夏季温度データの平均を基にしている。平均値は1970～79年の夏季温度、太線は測器データによる北半球の最近の夏季温度（陸上と海上）の偏差を示している。19世紀中期の記録はプロキシデータと測器データでは大きく異なっている。

## 6. 気温の周期変動

新田教授の論文(1993)では、図7に示すように1880年から1990年までの全球平均気温データについて長期トレンドを引いたのちに、13か月移動平均した気温偏差と30年以上のフィルターを適用して取り出した気候変動を描いている。図をみると、これが気温変化のベースを示していると考えられる。上段の図をみると1885年と1975年を谷として、1940年を山とする一つの波が読み取れる。下段の図は、それを裏付けている。1970年頃を谷として上がり出して、同じ位相で繰り返されると考えると、2020年ごろがピークで以後は下降となる。ただし実際には人為的な影響も加わるので複雑になる。

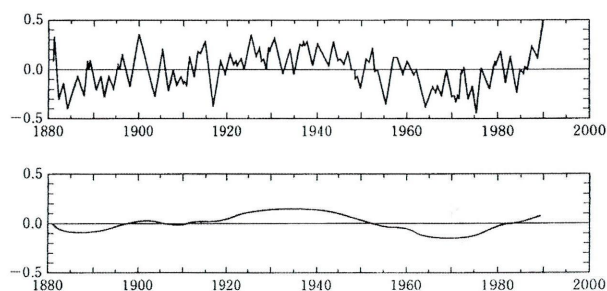


図7 長期トレンドを引きフィルターをかけた気温変動  
(新田・吉村(1993)より転載)

## 7. 海洋と連動した数十年周期の気候変動

海洋の変動は様々な過程と連動しているので、それだけ独立して考えることはできない。たとえば、熱帯の長周期の雲量変動は海洋が吸収するエネルギー量に影響し、海氷面積の変動は極域で冷たい密度の高い海水が深海へと沈降する速度に影響を及ぼす。さらに、高緯度域の降水量や蒸発量が一定方向に変化するのも同様の効果を持つ。このような

変動は低緯度域で上昇する冷たい海水の温度に影響を与えるまでには数十年から数世紀もかかるので、それらは長周期の気候変動を生み出す可能性を持っている。

しかし、最も重要なのは大気状態の変動によって海表面の状態が変動し、それが再び大気の状態パターンに影響を及ぼす可能性である。この大気と海洋間でのフィードバック過程が振動的変動を生じさせる原因であり、気候変動の周期性あるいは最近の約100年間で観測された気候変動の大部分を引き起こす主な原因となっている。

最も顕著な大気海洋フィードバック過程は太平洋で生じている。それは Gilbert Walker 卿が 1920 年代に南方振動 (SO) と名付けた「太平洋で気圧が高いとき、アフリカからオーストラリアにかけてのインド洋で気圧が低くなる」という現象である。また、これと連動している海洋の現象がエルニーニョとラニーニャである。海洋での現象は南方振動と密接に関係しているので、熱帯域で生ずるこのような大気海洋変動をエルニーニョ南方振動 (ENSO) と呼んでいる。

熱帯でのこれらの変動が持つ空間的スケールと最近の数十年における地球温暖化が ENSO の振る舞いと密接に関連しているという事実から、高緯度でも ENSO に伴う変動が同様に発生しているはずである。しかし、今のところ高緯度への影響はそれほど明瞭には現れていない。

北大西洋では、よく理解されていないもう1つの振動現象がある。18世紀以降、グリーンランド西部が暖冬の年には、北ヨーロッパは厳冬になる傾向があるという事実から、この振動現象の存在が知られるようになった。1920年代に Gilbert Walker 卿は、このシーソーパターンをアイスランドと南ヨーロッパの間の気圧差を用いることで定量化し、

この振動現象を北大西洋振動 (NAO) と名付けた。1870年以降、NAOは数年から数十年の時間スケールで顕著に変動していることがわかっている。

1980年代中ごろ以降の地球温暖化傾向の大部分は、北半球における暖冬傾向と関連している。実際、1935年以降、NAOに伴う変動によって北緯20度から90度までの冬季における平均気温の変動の約3分の1を説明できる。NAOが自然の気候変動の中で卓越するのかをより詳しく理解することが、20世紀の地球温暖化の原因を説明するためには必要である。

世界の他の地域でも大気海洋相互作用がこれらと同様の長周期の気候変動を引き起こしている可能性がある。北極から南極までの世界各地で多くの「振動現象」が明らかになってきている (図8は北極振動に伴う海面気圧の偏差を示している)。これ

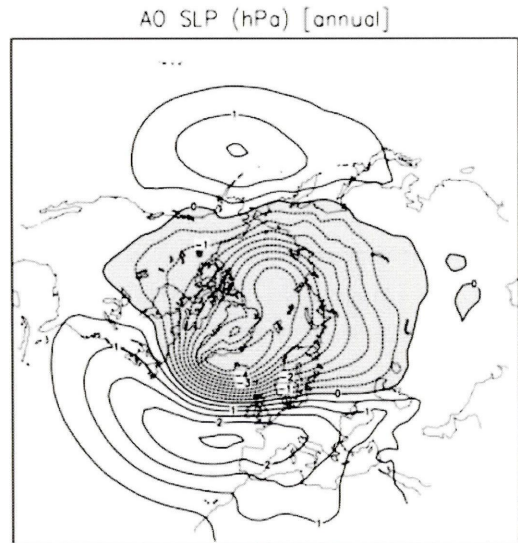


図8 北極振動に伴う海面気圧偏差  
(線の間隔は0.5hPa, 気象庁ホームページより転載)

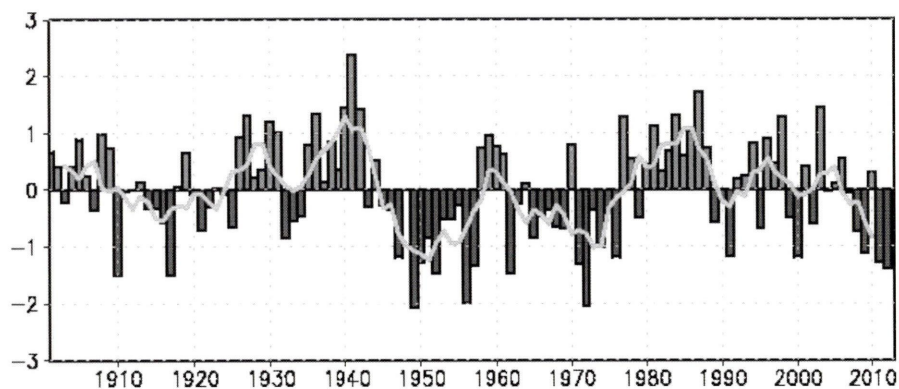


図9 PDO指数の時系列 (1901年~2012年、棒グラフは指数の冬季平均値、実線は5年間移動平均値、気象庁ホームページより転載)

らの振動現象の中で最も大きなものが太平洋の中に存在している。太平洋が持つ大きさと両半球の対称性は、長周期の大気海洋結合変動が存在するためには都合がよい。数十年変動の振幅は熱帯東部太平洋域よりも北太平洋域で最大となる。また、それはニュージーランド海域での低温偏差と、南太平洋の東部海域での高温偏差パターンを伴う南半球の海面水温変動とも関係して変動している。数十年太平洋振動 (PDO) として知られているこの変動は、ほぼ 20 年の周期をもつが、50 年から 60 年といったより長周期の変動成分も存在する可能性がある。

図 9 は PDO 指数の時系列 (1901 年～2012 年 2 月) であるが、2012 年 1・2 月の指数は -1.4 である。10 年以上の長い周期の変動に注目すると、PDO 指数は 1980 年代はおおむね正の値 (北太平洋中央部で海面水温が低い状態) で推移していたが、1990 年代以降は数年の周期で正負を繰り返し、最近の数年は負の値が多くなっていることがわかる (気象庁ホームページ、太平洋十年規模振動指数の変動より抜粋)。

## 8. 海洋観測の現状

現在の海洋観測体制はエルニーニョに対するものは整っているが、海洋全体での観測はほとんどされていないといっている。海が広いことを我々は忘れていて、よく、海は月ほどわかっていないという語呂がはやったことがあるが、その当時から大して進歩していない。

海がため込む熱量は、大気の約 1000 倍。かりに海水全体が 0.01℃分の熱量を大気に放出すれば、気温は 10℃も上昇する。海のわずかな変化が気候に大きく影響する。

だが、海の観測は容易ではない。人工衛星で観測できるのは海の表面だけである。海中は測器を下して観測するほかないが、広い海に観測船を多数出すのは資金的な面から難しい。そこで 2000 年から始めた世界規模の Argo (アルゴ) 計画に注目したい。海中を漂流する自動測定装置 (アルゴフロート) が、10 日間隔で深さ 2000 m まで潜って水温や塩分を測定する仕組みで現在、約 3500 台が稼働している。

前述のように海洋と大気とが連動していることを考えると、これからのデータ集積で新たな事実、より正確な予測ができる。すでに 2011 年から日本近海で実施した観測で、直径数百 km という巨大な渦が時々発生し、海水を混ぜて生物活動を活性化していることがわかってきた。しかし、海の観測は始

まったばかりで、まだ謎が多い。今後、海の環境変化を地球規模で明らかにする必要がある。

## 9. まとめ

小氷期の見直しでは、

- ・温暖期の気温上昇よりも急激な上昇期があり、16 世紀から 19 世紀は単調で寒冷な時期ではなかった。
- ・数十年規模の変動の多さが目立っている。
- ・小氷期からの脱出はヨーロッパでは冬半期に集中しておこっている。
- ・1850 年ごろから冬期は明らかに温暖化、しかし年平均値は 20 世紀半ばまで上昇していない。

20 世紀の温暖期の見直しでは、

- ・最大の温暖期は、1925 年～1944 年、1978 年～1997 年のそれぞれ 20 年間。これらの時期に全球の気温は 0.37℃、0.32℃上昇している。
- ・しかし、これらは小氷期のうち 1690 年代から 40 年弱の間で約 1℃上昇したイベントよりも緩やかである。
- ・最近数十年は、全球で気温が上昇しているが、日中の最高気温よりも夜間の最低気温が急激上昇している。
- ・全般的に見て、20 世紀に全球的に極端な天候や気候変動が増加したという明確な証拠はない。
- ・19 世紀後期からの地表面付近の全球の温度上昇は、0.3℃から 0.6℃ (測定の不確定性は ±0.15℃) である。

両者のデータからは、全体的に明確な寒冷化も温暖化の傾向も見られない。

また、観測に伴う誤差の問題については、

- ・シェルターの素材によるもの
- ・温度計の種類によるもの
- ・一定条件下で観測していないこと
- ・海水面温度では、測定方法の明らかな違いがある
- ・地理的観測網の空白地帯などの問題が明らかになった。

したがって、信頼のおける時系列データの作成には、各地点での歴史的な測定記録を丹念に調べなおす必要がある。

以上のことから、GCM の性能を高めるために過去データに無理やり合わせると、未来予測で大きな誤差が生じる恐れがある。

また、今回の見直しで明らかとなった大気と海洋の十年から数十年の周期変動に関するメカニズムの解明が必要である。特に海の観測は始まったばかり

で、まだ謎が多い。

**参考文献**

気候変動—多角的視点から—、W.J. バローズ (松野太郎監訳)、Springer、2003.

やさしい気象教室、島田守家、東海大学出版、1997.

e-mail 討論 地球温暖化：その科学的真実を問う、

赤祖父俊一・伊藤公紀・丸山茂徳・江守正多・草野完也、エネルギー・資源、Vol.30、No.1、2009.  
氷床コアによる過去の気組成変動の再現、青木周司・川村賢二・中澤高津、雪氷、Vol.64、N0.4、365-374、2002.