

「地球温暖化」と環日本海の気候・環境変化

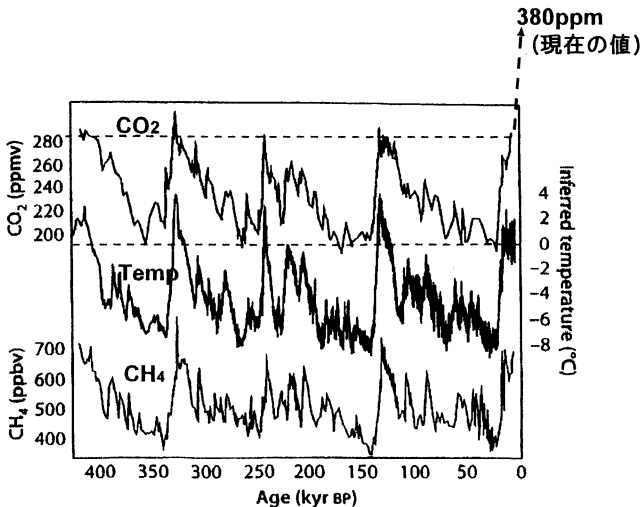
安成哲三（名古屋大学地球水循環研究センター教授）

「不都合な真実」をどう理解すべきか？

「地球温暖化」の議論がかまびすしい。特に、昨年発行されたIPCC（気候変動に関する政府間パネル）第4次報告書と、アル・ゴア米国元副大統領の書いた「不都合な真実」を対象として、IPCCとアル・ゴアがノーベル平和賞を受賞するという事態で、「地球温暖化」は、社会の多くの人たちに現実のものとして、国際的にも国内的にも受け止められつつある。いっぽうで、人間活動による「地球温暖化」は、まだその科学的根拠はなく（弱く）、最近の地球温暖化はあくまで気候の自然変動の範囲である、という反「地球温暖化」キャンペーンも衰えはみせていない。本屋に行くと、このような反「地球温暖化」論の本も含め、「地球温暖化」に関する解説書の多さに驚く。「地球温暖化」派の根拠は、CO₂などの温室効果ガスの増加傾向と地球全体の気温の増加傾向が、とりわけ、二〇世紀に入ってからの上昇傾向が大まかに対応しており、特に最近二〇年程度の全球的な気温の上昇傾向は、過去一〇〇年程度の観測データに照合しても、自然変動とは考えにくいなどを、その根拠にしている。また、最新の気候モデルによる二〇世紀の再現傾向が、観測事実とよく対応していること、そして、これら

のモデルが、温室効果ガス増加の効果を入れたこれらのモデルが一〇〇年後には、二〜四℃程度の全球平均気温の上昇の予測をしていることなども、「地球温暖化」の大きな根拠となっている。一方、反「地球温暖化」派は、気温の上昇傾向と温室効果ガスの増加傾向は、よくみると、あまり合っていないこと、長い地球の気候変動の歴史をみると、現在程度の気温上昇は、自然変動としても十分考えられること、再現や予測の根拠になっっている気候モデルは、まだまだ不完全なものであり信用するに足りない、などを主な根拠としている。

ここでは、「地球温暖化」是非論を改めて展開するつもりはないが、是非論の前提となるべき厳然たる事実を指摘したい。それは、地球気候は、過去約八〇万年間、氷期と間氷期が、約一二万年周期で繰り返されてきたことである（図一）。この図で分かることは、この氷期サイクルでは、寒冷期が八〜一〇万年続いた後、温暖期（間氷期）は、せいぜい二、三万年しか続いていることである。約一万年前に、最終寒冷期が終わり、気候は急激に全球で一〇℃程度も温暖化した。約八〇〇〇年前の温暖な気候で海水準が上昇した「縄文海進」とよばれる時期以降、変動幅の非常に小さい温暖期が基本的に続いているといえる。この時代に私たち人類は農業を「発見」し、定住化をしつつ、現在の文明を築いていった。



図一 南極氷床コア（ポストー）から得られた過去四〇万年のCO₂、CH₄、T（気温）変動（Petit et al. 1999）
CO₂濃度の一八〇ppmと二八〇ppmラインを点線で示す。また、現在のCO₂濃度（三八〇ppm）もプロットされている。

言いかえれば、現在の人類活動のさまざまなインフラは、最終氷期以降、長く見積もってもざっと一万年程度、産業革命以降の「近代化」以降に限れば、せいぜい二〇〇年程度の気候・生態系の環境を前提として成り立っているということである。人間の生活に必要なのは、石油・石炭のエネルギー以前に、水と食糧である。食糧は、過去数千年間の農業の発展（あるいは革命）に依存しているわけである。農業の発展と人類の定住化は軌を一にしている（西田、二〇〇七）。この間、当然、干ばつや飢饉など、幾度となく人類は経験してきたわけであるが、そのキッカケとなっている気候変動（あるいは変化）は、古墳時代の寒冷期や中世から近世の「小氷期（Little Ice Age）」にしても、全球年平均気温にしてせいぜい一、二℃前後である。このような変動は、氷期サイクルの大変動に比べると、「ゆらぎ」的な変動であり、後氷期のきわめて安定した地球の気候の時代でのできごとなのである。農業はもちろん、安定した地球生態系の持続を前提に発展してきたわけであり、「地球温暖化」の議論は、このような数千年にわたる農業革命と産業革命を保障してきた地球の気候が果たして変わりつつあるのか、あるいは変わる可能性が今後十分あるのか、という視点を抜きに、すべきではない。その意味で、やはり気になるのは、過去約八〇万年間、氷期サイクルに対応して一八〇、二八〇ppmのあいだで規則正しく変動してきたCO₂のレベルが、図1に見られるように、過去一〇〇年ですでに三八〇ppmのレベルに達していることである。大気中の温室効果ガスの増減が氷期サイクルに対し、大きな役割を果たしていたとすれば、近年の急激な温室効果ガス増加は、非線形な気候システムに対す

る引き金となつて、予測不可能な大変動や急激な変化をきたす可能性は否定できない。

この問題にも関連するが、現在の「温暖化」問題で、賛成派も反対（懐疑）派も、もつと議論をすべき問題は、温室効果ガスの増加により、気温ではなく、降水量をふくむ水循環がどうなるか、なりつつあるか、ということであろう。水循環は物理的な過程であり、気候モデルにも組み込まれているが、その過程は複雑であり、まだまだ未解明な部分がある。したがって現在の気候モデルで再現・予測される水循環には、大きな不確定さをまだまだ残したままであり、研究者間やモデル間での予測のばらつきも極めて大きい。水蒸気は最大の温室効果ガスであり、人間活動によるCO₂などの温室効果ガス増加が、水蒸気をさらに増加させ、温暖化を加速する方向に働くか、それとも雲の形成促進などを通じて、温暖化の抑制に働くか、このような物理過程の定性的・定量的な見積もりはまだきちんとできていない。人為起源の温室効果ガスの増加が、どの程度、「地球温暖化」を引き起こすかは、これらのガスの増加が水蒸気量や雲量の変化への程度寄与しているかにかかっているといても過言ではない。地球気候システムにおける水循環のしくみのより正しい理解は、私たち人類を含む生命にとっての地球の未来を考える場合、きわめて重要かつ緊急の課題である。

雪と海流がつくりだした環日本海的环境

さて、前置きが長くなったが、環日本海の現在の環境に戻ろう。北陸地域を合

む日本海側の気候は、冬の季節風の吹き出しとそれに伴う大量の降雪・積雪で特徴づけられる(図2)。日本海側の積雪は、春から夏の融雪を通して、この地域の豊かな水資源を保証し、日本海側の豊かな植生と米に代表される伝統的な農業を維持してきた。また、後で述べるように、日本海の豊かな水産資源を保障している海の生態系の維持にも大きな役割を果たしている。では、いつ頃から、このような冬の気候は、どのように形成されたのだろうか。

まず必要な条件は、もちろん日本海の成立である。近年の地質学、地史的研究は、約一五〇〇万年前、新生代第三紀後半、新第三紀とよばれる時代に日本列島の回転、折れ曲がりにより形成されたことを示している。しかし、豊かな水産資源を含む現在のような日本海になるためには、日本海が対馬海峡の存在により暖流が流入し、しかも冬季の大陸からの寒気の吹き出しによる表層水の冷却で鉛直混合が活発となり、海洋底層が酸化状態になっていることが重要である(Tada, 1994)。即ち、南(と北)が海峡で開いた海であること、冬季には大気により十分冷やされることが、豊かな日本海のために必要な条件である。この条件は同時に、日本海上の冬の大気に十分な水蒸気と熱の供給をもたらし、日本海側の地域に大量の雪をもたらす条件ともなっている(小泉、二〇〇三・蒲生、二〇〇三参照)。

冬のシベリア高気圧に代表される大陸の寒気団はいつ頃から形成されたのか。これに密接に関わるユーラシア大陸でのテクトニックな変動が、チベット高原の成立である。インド亜大陸とユーラシア大陸の衝突によって形成されたチベット

高原は、アジアの気候を大きく変えるきっかけにもなっている。夏のアジアモンスーンも冬の東アジアのモンスーン(に伴う寒気団の吹き出し)も、この高原の上昇とともに形成されてきたことが、大気海洋結合気候モデルによる最近の私たちの研究で明らかになってきた(Abe et al., 2003; 2004など)。チベット高原の上昇の時期についてはまだ多くの議論があるが、上昇の開始は一〇〇〇〜二〇〇〇万年前頃、現在の高さに達したのは、五〇〇〜一〇〇〇万年前頃と推定する研究が多い。とすると、おそらく数百万年前頃、即ち、第三紀の末の比較的温暖な気候が卓越した時期に、降雪を伴う冬の日本海側の気候がすでに開始されたとも推定される。もちろん、冬季に雪となるためには、冬季の気温低下が必要である。約一〇〇〜二〇〇万年前頃に始まった第四紀には、全球的に非常に寒い氷期と現在のように暖かい間氷期の繰り返しが一〇万年程度の周期で繰り返されており、日本海の海洋・気候もこの全球的な気候変動のサイクルに大きく影響されてきた。氷期には日本海の水位が低下し、海峡が閉じて湖になったため、無酸素状態の還元的な海洋環境となり、一部の凍結も含めた冷たい日本海となったため、冬季における大気への水蒸気や熱の供給が不十分で、日本海側の雪は極端に少なくなつたと推定される。一方、間氷期には、海面の上昇、酸化的海洋環境、暖流の流入などにより、現在のように大雪がもたらされる環境が形成されたはずである。冬季の降雪・積雪を可能とする低温は、全球的な寒冷化傾向が進行していた第四紀になってはじめて実現したとすると、第四紀中の間氷期に、現在と同様な日本海側の大量積雪を伴う気候が出現したとも考えられる。

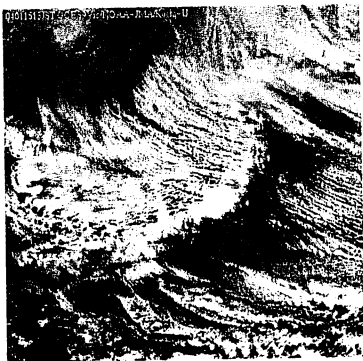


図2 大陸からの寒気団からの典型的な季節風の吹き出しと降雪雲の気象衛星GMSからの可視画像(二〇〇四年一月十五日) 高知大学提供

図3は、横軸に世界各地の冬季（一月）に積雪のある寒冷地域の気温、縦軸に降水量を取ったダイアグラムである。このダイアグラムをひと目みてわかることは、積雪気候の地域は、大きくわけて、非常に低温だが降水（降雪）量の少ない地域（北海道型）と、比較的高温だが降水（降雪）量の多い地域（北越型）に分かれることである。北越型に代表される日本海気候の地域は、多降水量で高気温の部分に集中している。例えば高田は月降水（降雪）量四〇〇ミリに達するが気温は二〇℃程度である。三〇℃の気温の線が点線で示されているが、北越型の気候は、この三〇℃線付近で縦に並んでいる。降水は三〇℃を超えると雨になってしまうため、暖冬で三〇℃を超えてしまうと、雪にならない、あるいは雪そのものも降水量も減る、いわゆる「暖地積雪」型気候である。注目すべきは、このような積雪気候帯は、世界でも北陸（北越）しかない、ということである。言いかえれば、月平均気温が二〇三〇℃と高く、しかもどか雪が降るところは、地球上でもこの日本海側しかない。これは環日本海の気候を特徴づける重要なポイントである。温暖化により、気温が上がり、冬季の季節風も同時に弱まると、積雪も降水も同時に減少し、非常にドラスティックに変わる可能性がある。

「地球温暖化」が大陸での寒気団と東アジアでの冬のモンスーンを弱めているとすると、日本海側での降雪をもたらず仕組みそのものも弱まり、気温も三〇℃以上となり、降雪・積雪は大幅に減少あるいは消滅してしまう。一九八〇年代後半からの暖冬による北越地域の急激な積雪の減少はまさにこの連鎖で起こっている。積雪の減少は、日本列島の水資源の枯渇に直接に影響してくるだけでなく、積雪

まとめると、現在の環日本海の気候・海洋・生態環境が維持される一つ大事な条件は、対馬暖流の流入である。これは基本的には高海面あるいは間水期の海洋環境に対応している。もうひとつの条件は、冬季の北西季節風（寒気）の吹き出しである。対馬暖流で暖かい日本海上では、暖かいために蒸発量が多く、それが日本列島の雪のもとになっているわけである。暖流がないと大雪も降らないのである。これらの条件が、約二万年前の寒冷な氷期が終わりを告げ、間水期が開始されて以降、数千年から一万年間持続することにより、現在の環日本海周辺の海と陸の生態環境が形成されているのである。

「地球温暖化」に脆い環日本海環境
 現在、全球的な「地球温暖化」が進んでいる。日本海側も、シベリア寒気団の弱まりに対応して一九八〇年代後半以降、冬の季節風が弱まり、積雪は急速に減少している（川田、二〇〇三）。ここで、日本海側の雪の気候の維持と変動の重要な特性について指摘したい。

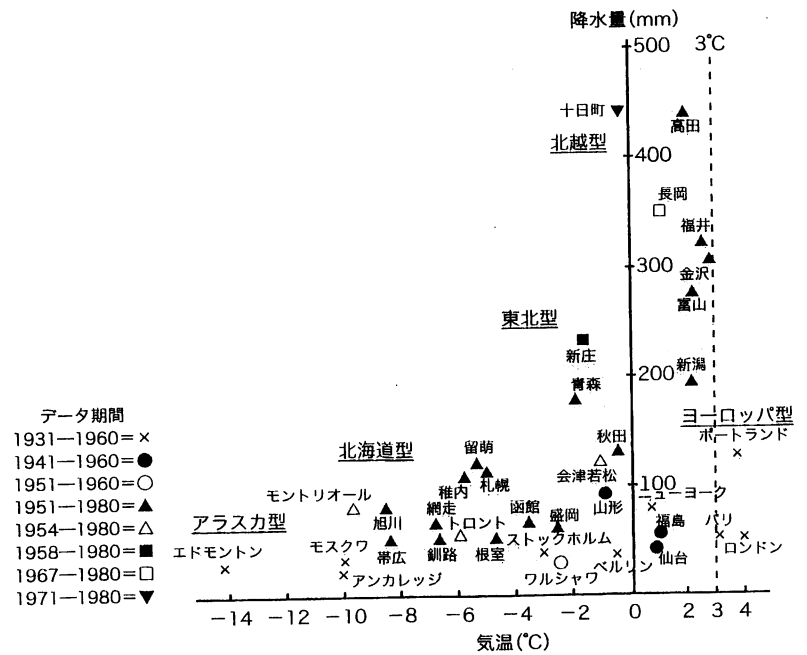


図3 世界の積雪地域における冬季（一月）気温と積雪（降水）の関係（原田ほか、一九八八）

を前提とした日本海側の陸上生態系や水田稲作農業にも大きな影響を与えてくる。東北・北越地域を覆うブナ林や針葉樹林は、冬の深い積雪が維持・生存に重要な役割を果たしているという指摘が多く、温暖化による積雪域の減少は、森林生態系を危うくする可能性が大きい。森林生態系の破壊は、当然、水資源と農業へ負の連鎖として影響することになる。

温暖化に伴う変化は陸上だけに限らず、日本海的环境にも現れる。温暖化で冬の吹き出しが弱まると、海を冷やすという側面も弱くなってしまふ。この傾向が続けば、先に述べた日本海の鉛直混合と、それによる酸化状態の海を維持しているメカニズムが弱められてしまふ。実際、日本海盆の二〇〇〇～三〇〇〇メートルの深層水の溶存酸素濃度は、観測のある一九三〇年代以降、減少し続け、二〇〇〇年頃には、三〇年代の八〇％以下になっており、このままでは三〇〇年後には無酸素環境になると予想されている（蒲生、二〇〇三）。このように、継続的な地球温暖化が日本の気候・生態系環境の変化として最も顕著に現れるのは、陸と海も含めた環日本海地域であることは論をまたないであろう。

気候変化に脆い(?) 人類文明

私たちが、現在享受している日本の自然とそれを前提にした農業・経済システム、そして文化は、冒頭でも述べたように、後氷期とよばれる、寒い氷期が終わったあとのたかだか一万年から数千年の比較的安定した気候と生態系を背景に成り立ってきた。もちろん、その中に気候のゆらぎはあり、人々はそのゆらぎに耐

え、あるいは適応しつつ暮らしてきた。例えば八〇〇〇年前の縄文海進の時代には、現在の日本の人口の大部分が集中している関東、濃尾、大阪などの平野はすべて海（湾）であり、縄文人はその海岸を移動しながら、集落を作って生活していたことが、貝塚分布などからわかっている。しかし、その後の（ゆらぎとしての）寒冷化と海岸の後退に伴って出現した沖積平野を利用して、農業と定住化が進み、近代の産業活動は、さらに大都市圏をその上に発達させ、現在に至っている。現在の「地球温暖化」が、人類活動のせいではなく、そのような気候の自然のゆらぎに伴ったものであったとしても、八〇〇〇年前のような海進（海面上昇）が起これば、現在の日本の経済活動と社会は、ゆらぎの時間スケールにもよるが、壊滅的か、さもなければ大打撃を蒙ることになる。人類活動の拡大による「文明化」は、おなじ気候のゆらぎに対しても、非常に脆い社会システムを作り出していることになる。そして、このような太平洋沿岸に連なる大都市圏の水と食糧を支えてきたのが日本海側の雪を前提とした水資源と農業だという構図が見えてくる。「地球温暖化」が人間活動によるか否かの議論もさることながら、人類が作り上げた現在の生存基盤システムが、いかに気候変動・変化に対し、脆い状況になっているかの評価と対策をこそ、早急にすべきではないか。ましてや、図1のCO₂増加で示唆されるような、ゆらぎを超えたカタストロフィックな気候変化の可能性が否定できないなら、なおさらである。現在、環日本海で起こりつつある気候・環境変化は、その警鐘を鳴らしているように、私には思えてならない。

〈参考文献〉

- Abe M., A. Kitoh and T. Yasunari. An Evolution of the Asian Summer Monsoon Associated with Mountain Uplift -Simulation with the MRI Atmosphere-Ocean Coupled GCM-. *J. Meteor. Soc. Japan*, 81, 909-933. (2003)
- Abe M., T. Yasunari and A. Kitoh. Effects of Large-scale Orography on the Coupled Atmosphere-Ocean System in the Tropical Indian and Pacific Oceans in Boreal Summer. *J. Meteor. Soc. Japan*, 82-2, 745-759. (2004)
- 蒲生俊敬 日本海深層循環系の成立と現状 小泉格編「日本海学の新世紀」の循環する海と森」 p.218—229 (2003)
- 川田邦夫 雪氷学から見た環日本海水循環 小泉格編「日本海学の新世紀」の循環する海と森」 p.230—242 (2003)
- 小泉格 循環体系とつづの環日本海域 小泉格編「日本海学の新世紀」の循環する海と森」 p.205—217 (2003)
- Tada, R. Paleogeographic evolution of the Japan Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 108, 487—508. (1994)
- 西田正規 人類史のなかの定住革命 講談社学術文庫 p.268 (2007)