

地球温暖化の影響量評価とその対策

大 嶋 和 雄¹⁾

1. はじめに

地球規模での気候変動長期予測は、世界的な食糧需給に大きく関係するため、これまでも国際的な重要研究課題となってきた。そして、「気候変動についての長期予測は、過去から現在に至る気候変動の原因が解明された時に、初めて可能となる(地球大気研究計画 GARP, 1976)」というのが、関連研究者間での共通見解となっている。したがって、気候変動の原因及びその因果関係も解明せずに、地球温暖化の主要原因を二酸化炭素などの温室効果ガスだけに特定するのは、科学的な態度とは考えられない。また、温暖化による環境への影響評価も行わずに、その対策技術開発のみ猪突猛進するのは、科学的にも、経済的にも賢明な選択とは考え難い。仮に、二酸化炭素濃度の増大が地球温暖化の主要原因であるとしても、地球的規模での二酸化炭素収支と、その循環系での変動幅に対応する温室効果の影響予測を行った上で、悔いを残さない持続的な対策技術を採用しなければならない。

IPCC(気候変動に関する政府間パネル, 1990)は、現状の二酸化炭素放出量をそのまま続けて行けば、2100年には大気中の二酸化炭素濃度は600ppmに達し、それによって平均気温は3℃上昇すると共に、海水準は約60cm上昇すると予測した。この変化量は、日本列島の縄文海進期(5~6千年前)のそれよりも小さい。したがって、縄文海進期の環境条件を正確に復元し、それを根拠として、地球温暖化が起った場合の環境影響を事前に評価することが可能である。火山噴火や地震の災害防止計画として、火山噴火や地震発生を止めてしまおうと考える人はいないであろう。ましてや、自然現象としての規模が桁違いに大きな地球温暖化を、人為的に制御できると考えるのは楽観的に過ぎるのではなからうか。この地球的規模での環境変化に対応するためには、環境変化の実態を把握し、その中で持続的に発展する社会の基盤整備計画を提言する事こそが肝心である。そのためには、現在の

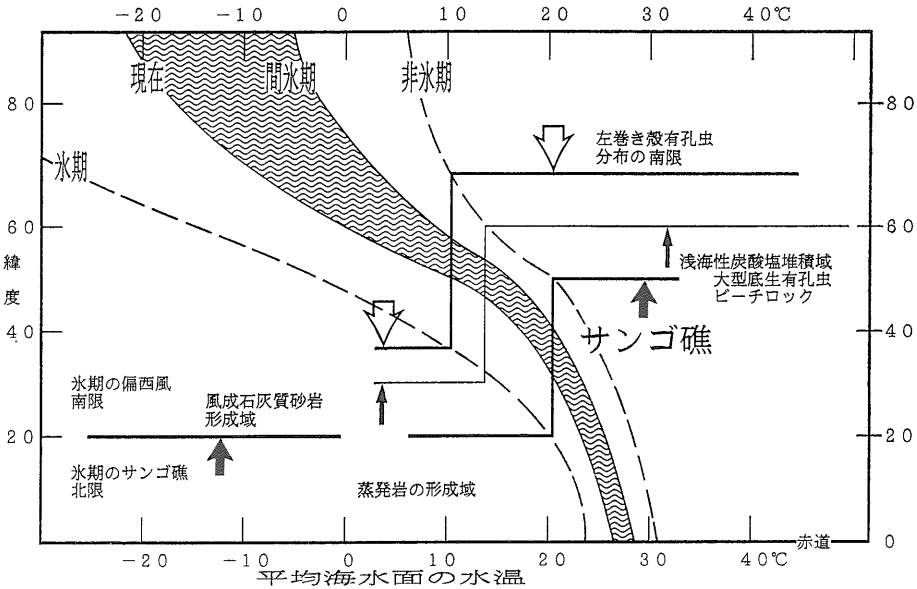
地球気候が本当に温暖化に向っているのか、それとも1970年代に騒がれたように寒冷化しつつあるのか、そのどちらかを科学的に立証する必要がある。

北海道のオホーツク海沿岸に分布する海岸地形及び堆積物には、地球温暖化によって起ると予想される高海水準及び沿岸水温上昇の記録が数多く残されている。このオホーツク海沿岸の完新世(1万年前から現在まで)貝殻層及び地形発達的地質学的意義については、湊・陶山(1950)が最初に注目した。湊(1952, 1954)は、後水期海進の高海水準は完新世初期(1万年~7千年前)にあって、その後の海水準低下過程で、オホーツク海沿岸の網走湖はアサリ海峡→カキ海湾→シジミ湖→ヌマガイ湖へと、その生態環境を変遷させてきたと推論したのは有名である。しかし、赤松(1969)、大嶋(1971, 1976, 1980)及び大嶋ほか(1966, 1972)は、オホーツク海沿岸湖沼及び周辺完新統の調査研究から、完新世当初の海水準は-45±5mにあって、現海水準に達したのは7千年前、縄文海進最盛期(5千年前)には4±1mに達した事を明らかにした。そして、海水準上昇と共に沿岸水温も上昇していた事を、現在のオホーツク海沿岸には生息しない暖海性貝類の分布から評価した。この様に、オホーツク海沿岸域は、完新世の気候変動の影響が顕著に記録された地域として注目されてきた。

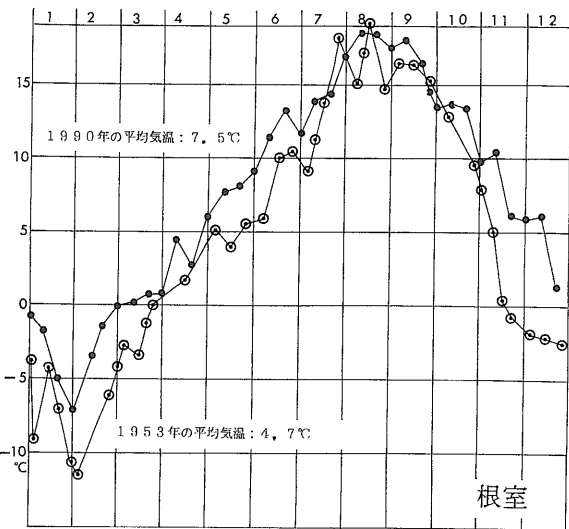
地質調査所ではオホーツク海沿岸域において、「古環境解析による地球温暖化に伴う沿岸環境の影響評価に関する研究」(環境庁地球環境研究総合推進費, 平成2~4年度)を実施している。平成2年度は、根室海峡に突き出した野付崎砂嘴を対象として、その地形発達、地質、貝化石及び植生変遷についての調査研究を行った。特異な景観として有名な野付崎のトドワラ(トドマツの原生林)が、近年、立ち枯れが激しく、その原因は地球温暖化による海面上昇又は地盤沈下による海水の影響とされているが、本当の原因は不明である。オホーツク海沿岸の地形発達や生態系変遷についての調査研究結果は、来世紀に起る

1) 地質調査所 首席研究官

キーワード：地球温暖化, 第四紀, 降水量, 海水準変動, 日本列島



第1図 北半球の氷期，現在，間氷期，非氷期の水温分布曲線。波線部が地球温暖化で予測される気温上昇の範囲



第2図 北海道根室市の年平均気温変動状況

と予測される北西太平洋沿岸域の海水準上昇による環境影響評価の基礎資料となる。本課題は、「地球圏—生物圏国際協同研究 (IGBP)」の「古環境変遷の研究 (PAGES)」の一部として、地質調査所北海道支所、名古屋大学圏科学研究所の松本英二教授及び北海道開拓記念館の赤松守雄博士との共同研究として進めている。

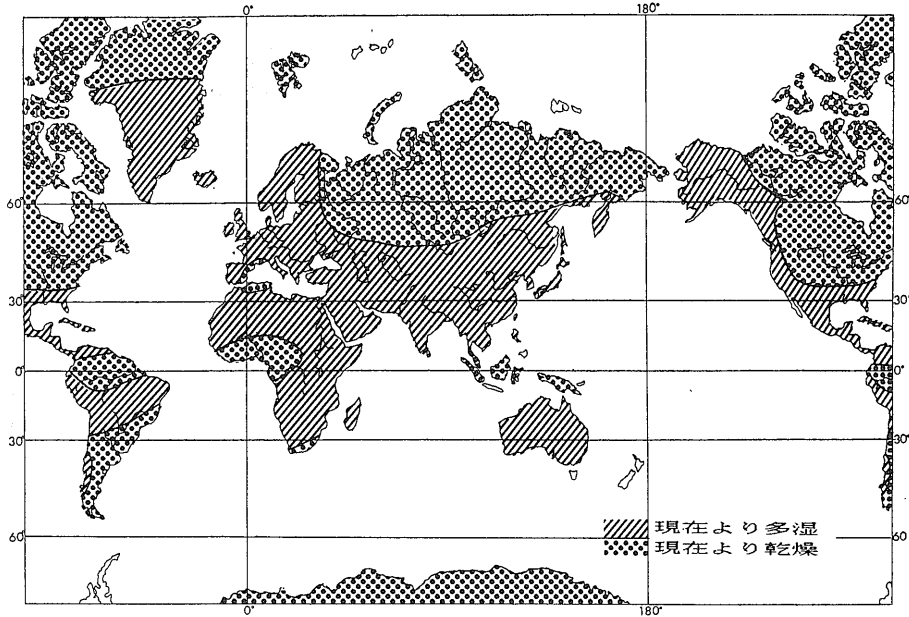
2. 地球温暖化による環境影響

2.1. 表層海水温の変化

1991年9月号

地球規模での気候変動は、話を分かりやすくするために、地球上何処でも、同じ様な変化が起るかの様に説明されている。しかし、実際の気候変動は、それほど単純ではない。たとえば、温暖な第四紀前半の非氷期，第四紀後半の氷期，間氷期及び現在の海洋表面水温分布を，生物群集や堆積物資料から作成してみると，各気候帯(緯度にはほぼ対応)によって，その変化量は著しく異なっていた事に気がつく(第1図)。氷期でも，熱帯域の水温変化は小さく，サンゴ礁が形成されていた。サンゴ礁の発達に必要な最低水温20℃以上の海域は，氷期と非氷期とでは緯度にして30度も移動したのである。また，低水温域に生息するある種の左巻き殻有孔虫の分布は，最大40度近くも移動してきた。21世紀に起ると予測される海洋表面水温(ほぼ沿岸気温に対応)の変動は，現在と間氷期曲線との間に求める事ができる。それによると，赤道域では2℃以下，北極圏では15℃もの水温上昇が推測される。北極圏で15℃も気温が上昇すると，氷山が融けて海面上昇の原因にならないかと心配される。現在の北極圏にはグリーンランドを除いて，大きな陸地が分布していないので，南極のような厚く発達した大陸氷河(氷床)を見ない。したがって，オンザロックの氷が全て融けても，グラスからウィスキーが溢れ出ることがないように，北極海の海中に浮ぶ氷山が全て融けたにしても海水準上昇には殆ど影響しない。

オホーツク海沿岸の縄文時代前期(約6000~5000年前)の貝塚には，現在の同地には分布しないハマグリ，シオフキ，アカニシ等の暖海性貝類が多産する。これら貝類の生息適水温は6~28℃，産卵水温は20~24℃にある。



第3図 ヒブシサーマル期と現在の土壌水分状態の比較

流氷の漂着する現在のオホーツク海沿岸水温の変動幅は、0～20℃にある。すなわち、冬季の沿岸水温0℃は、暖海性貝類の生息適水温以下となる。だが、夏季の水温は、産卵水温20℃を越えることは少ないが皆無ではない。したがって、冬季の生息適水温以下となる環境が、暖海性貝類の生息にとっての致命的な条件になったと推定される。縄文海進期のオホーツク海沿岸水温は、現在よりも冬季には6℃以上、夏季にも数度は高かったと推定される。また、1990年の北海道根室地方は、測候所観測開始以来の温暖な年で、その平均気温は7.5℃(過去30年間の平均気温5.8℃)に達した(第2図)。寒冷であった1953年(平均気温4.7℃)に比較してみると、冬季の温暖化は顕著であるが、夏季の気温上昇は見られない。この関係は、縄文海進期においても、夏よりも冬の方がより温暖であったという傾向と類似するものと推測される。また、地球温暖化によって、早魃被害が多発するのではと心配されている。果たして、本当にそうなのだろうか。少なくとも、古気候研究から復元された完新世の高温期は、気候最良期(climatic optimum)とも呼ばれる様に、現在よりも北半球地域は多湿で、植物生産の大きかった時代である(第3図)。そして、北半球の高緯度地域は、氷河が残っていたので乾燥気候にあった。いずれにしても、効果的な地球温暖化対応策を決定する前に、地域的かつ季節的な気候変動幅を正確に把握する必要がある。

2.2. 海水準の変化

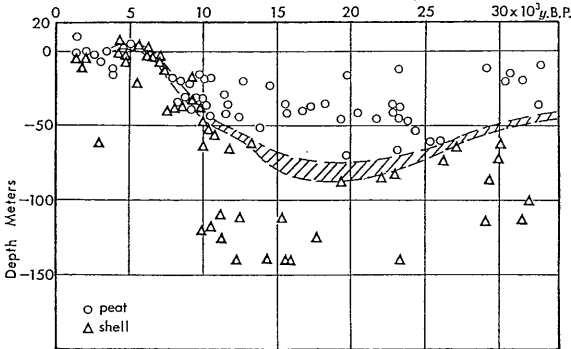
地球上の海洋は全て連結しているので、海水準は何処

でも同一水面にあるものと直感的に考えられる。しかし、潮汐干満差によっても海面の高さは、時間と場所によって大きく変動している。また、氷期に厚い氷床で覆われていたスカンジナビア半島や北米のハドソン湾沿岸陸域では、後氷期に氷床が融けて陸地が氷の荷重から解放されると、海水準上昇よりも陸地の隆起速度の方が大きいいため、海岸線は沖合へと後退していった。厚い氷床の荷重によって押え込まれていた海岸では、氷期が相対的に高海水準で、間氷期には陸地の隆起によって低海水準となる。このような第四紀海水準変動の実態が明らかになるにつれて、地球上同様であると考えられてきた海水準変動の地域性が、注目されるようになってきた。現在では、地殻の粘弾性体的特徴と大陸氷床荷重の影響関係から、最終氷期以降の世界的な海水準変動は、7つの地域に区分されている(Clark & Lingle, 1979)。日本列島周辺の氷河性海水準変動は、日本列島の自然環境及び動植物分布を支配する重要な条件となってきた。1970年代に始った地質調査所の大陸棚調査研究によって、海水準変動及び日本列島の島々を分断する海峡形成史が明らかにされてきた(第1表、第4図)。

日本列島周辺の氷河性海水準変動の規模は、大陸棚外縁深度-140mと海岸段丘標高20mの間に求められる。大陸棚の形成時期は、大陸棚を浸食する氷期の谷地形や海峡の形成よりも古い事は明らかである。また、外縁周辺海底から採取された哺乳動物化石群が生息していた年代から、日本列島が大陸と陸続きであったのは10万年前以前で、その当時の海水準は-110±10mも低下してい

第1表 海峡形成史

地質時代	絶対年代	海水準	形成された海峡	分断された島	
完新世	5,000	+3 ± 1 m	関門海峡	本州と九州	
	7,000	0	備讃瀬戸	本州と四国	
	8,500	-30 ± 5	五島灘	九州と五島	
更新世	最終氷期	12,000	-45 ± 5	種子島海峡 鳴門海峡 宗谷海峡	種子島と屋久島 四国と淡路島 北海道と樺太
		16,000	-60 ± 5	隠岐海峡	本州と隠岐
		18,000 20,000 70,000	-80 ± 5		
	間氷期		-100 ± 5	対馬海峡 大隅海峡	九州と対馬 九州と種子島
			-110 ± 10	津軽海峡 朝鮮海峡	本州と北海道 大陸と本州陸塊
氷期	150,000	-130 ± 10			
更新世中期			奥尻海峡 佐渡海峡 宮古水道 トカラ海峡	北海道と奥尻島 本州と佐渡 沖縄と宮古島 沖縄とトカラ島	



第4図 第四紀後期の海水準変動
縦軸は試料採取深度 (m), 横軸は年代 (千年)

たと推定できる。北海道を除く日本列島は、約10万年前以前に大陸から分断され、最終氷期(約2万年前)の海水準低下-80 ± 5 mでは、大陸と陸地接続することはなかった。北海道がアジア大陸(樺太経由)から分断されたのは、海水準が-45 ± 5 mに上昇した約1万2千年前以後である。そして、国後島など北方領土4島が、北海道から切り離されたのは約6千年前である。このような陸地の分断過程(海峡形成史)は、日本列島固有動植物の地理的分布を支配している。

-80 ± 5 mから+4 mまで、海水準を大幅に上昇させ
1991年9月号

た海水は、何処から供給されたのであろうか。古くは、漠然と南極大陸の氷床融解水に求められていたが、12万年前の間氷期にも、南極大陸の氷河は融けずに存在していた事実が明らかにされたので、この仮説は否定される。現在は、北半球のシベリア、スカンジナビア半島及び北米に発達していた氷床の融解水に求められている。そして、縄文海進で4 mも上昇した海水準が現在の位置に低下したのは、その後の氷河の発達ではなく、地殻の粘弾性体的性質によって、ゆっくりと海底地盤が沈降したためと考えられる。また、海水準は最終氷期以後一様の速度で変動したのではなく、-80 ± 5 m、-60 ± 5 m、-45 ± 5 m及び4 ± 1 m海水準で数千年間の停滞期を挟んでいたと推定される。そして、1万年前から7千年前までに起った海水準上昇速度 $45\text{m}/3,000\text{年} = 15\text{mm}/\text{年}$ は、21世紀末までに起ると予測される変動値よりも大きい。一方、5千年前以降現在に至る海水準変動速度は、 $4\text{m}/5,000\text{年} = 0.8\text{mm}/\text{年}$ と比較的安定している。この安定した海水準が、本当に変動するのであろうか。

仮に、海水準が1 m上昇すると、縄文海進時のように関東平野の大半は水没するかに大騒ぎされている。しかし、縄文海進時に関東平野の奥深くまで海水が侵入したのは、氷期に形成された深い谷や河川跡が埋積されずに残されていたからである。縄文海進を経験した

関東平野は、そうは簡単に水没するものではない。

一方、首都圏でのゴミ処理用埋立地の不足は、深刻な状態にある。その上、首都圏での持続する経済発展の基盤として、21世紀までに約1,000km²の土地利用需要の手当が必要とされている。この開発対象となる土地の多くは農地であり、その内のかなりが水田である。この用地変更される水田面積を400km²、その造成高を3mとすると12億m³の土砂が必要となる。現在、東京都区部での廃土砂量は4千万m³/年、沿岸都市域では6千万m³/年も発生している。この廃土砂を利用して、海水準上昇への対応及び地盤改良工事を行うことによって、ゴミ埋立て用地の確保も可能となる。海水準上昇という不可抗力に対して、都市の基盤整備を行う事こそ、積極的な対応策ではなかるうか。仮に海水準上昇が起らないとしても、0m地帯の治水防止や快適な都市空間の建設となつて、無駄な工事とはならない。

2.3. 動物群集への影響

2.3.1. 陸生動物群への影響

日本列島の島々に分布する動物群には、それら動物群の生息する島の歴史が古い程、固有化の進んだ動物種が見られる。Blakiston (1883) は、北海道にはヒグマ、オオカミ、ヤマドリ、シマフクロウ等の樺太やアジア大陸北方系の動物種が生息しているのに対して、本州にはツキノワグマ、ニホンオオカミ、キジ、ライチョウ等の固有種が生息し、日本の動物分布は津軽海峡を境にして二分されることに注目した。この事実から、北海道や樺太が共に大陸と連結していた古い時代にも津軽海峡は存在し、北方系動物は津軽海峡(ブラキストン線)で南下を阻まれていたと推定した。その後、数多くの生物分布境界線が提唱され、それらの境界線の重要度について論争されてきた。徳田(1941)は、日本列島動物相の形成過程を東アジア産ネズミ類の系統分類学的研究から考察し、それまでの生物地理学的境界線論を総括すると共に、日本列島の形成史についても言及した。徳田(1941, 1969)の推定した相対的な海峡形成順序は、大嶋(1980, 1990)の海底地形・堆積物の調査研究結果から求めた海峡形成史と殆ど一致する。

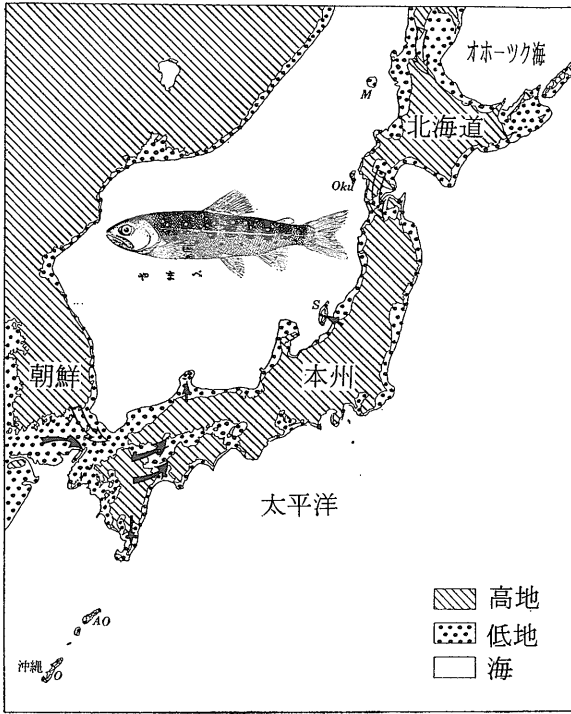
海峡形成史からも明らかのように、琉球列島の形成は30万年前以前の更新世中期にさかのぼり、本州陸塊(本州・四国・九州の接合体)の形成は10万年前以前の最終間氷期に、北海道の形成は1万年前の完新世に入ってからである。したがって、琉球列島の動物群は島となつてから、最低3回以上の氷期・間氷期の気候変動を経験し、固有の群集を形成してきた。琉球列島に分布する原始的な毒蛇ハブ類、イリオモテヤマネコ、リュウキュウイノシシ、アマミノクロウサギ、リュウキュウシカ、ヤンバ

ルクイナ等は、何れも生きている化石と云われる程の固有種である。一方、本州陸塊には、リス氷期からリス〜ウルム間氷期初期に大陸から渡ってきた動物群が、間氷期・氷期の気候変動に対応して、高山型と低地型に、その生息域を分化させていった。日本アルプスなどの高山には、氷期に渡ってきたライチョウ、カモシカ、ヒミズが、その後の温暖期に移り住んだ。また、低地には間氷期に渡ってきたニホンザル、イノシシ、タヌキ、モグラが分布している。ニホンザルはオナガザル科の仲間で、間氷期に渡来してきた頃は、タイワンザルと同じ様に尾が長かった。しかし、ウルム氷期の寒冷な気候を本州陸塊で生抜く中で、尾は短く、尻は赤くなったが絶滅だけは免れた。そして、サルの中でニホンザルだけが、雪の中での生息を可能にしている。本州陸塊動物群の祖先は、地球温暖化で予測される以上の気候変動の中で進化した、生き抜いてきたのである。それに対して、北海道に生息するヒグマ、エゾシマリス、ナキウサギ、キタキツネ、エゾイタチ等の北方系動物群は完新世の高温期しか経験していない。もし、気候温暖化が完新世のそれを超えるならば、北海道の動物群へ影響を与えるかもしれない。しかし、避暑地としての高山域が、北海道中央部には広がっているのだから、その絶滅を心配する必要はないであろう。これらの気候変動の中を生き残ってきた動物群の遺伝子や生態に、気候変動対応の術が記録されている。

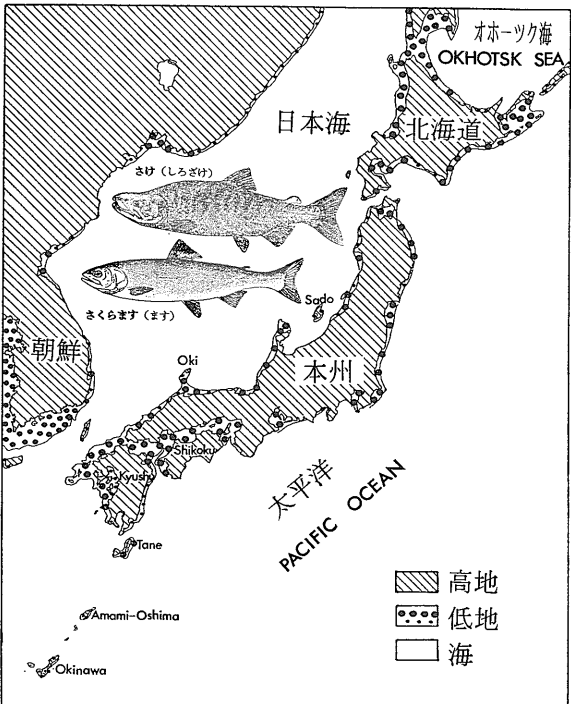
2.3.2. 海生動物への影響

日本列島沿岸の縄文海進期と現在とでは、海流の勢力消長によって、その環境が大きく変動してきたことは、北海道沿岸の貝類群集組成変化からも述べたが、東京湾館山付近でもサンゴ礁が形成されるほど温暖化の進んだ環境となっていた。また、第四紀中期以降の日本海では、それ以上の環境変化が繰り返されてきた事が、日本海の代表的な魚であるサケ属の進化から読み取れる。

サケ科の祖先は、第三紀初期(5千万年前)まで、全て淡水魚であった。その代表はイワナ属で、太平洋・大西洋に広く生息していた。その後、大西洋沿岸には、大西洋サケの祖先に当たるニジマス属が出現した。ニジマス属は北半球の温帯地方に広く分布しているが、何故か、日本海と東シナ海沿岸域には分布していない。おそらく、ニジマス属が、北大西洋側からベーリング海峡を越えて北太平洋に侵入し、アリューシャン列島からカムチャッカ半島・オホーツク海沿岸へと繁殖地を広げていき、日本海沿岸へも侵入してきたに違いない。それは、第三紀末の日本海古地理図から、日本海と太平洋とは現在よりも大きな海峡によって連結していたという状況証拠から推定される。それなのに、ニジマス類が現在の日本海に



第5図 リス氷期 (15万年前) の古地理
日本海の湖時代



第6図 最終氷期 (2万年前) の古地理

分布していないのは何故だろうか。その理由として、日本海に侵入したニジマス群は日本海が太平洋から隔離されると、低温・低塩分という特殊な環境下 (第5図)で、北太平洋のニジマス類とは異なった独自の進化を遂げて、サケ属の祖先を形成していったためと考えられる。サケ属の中でサケ (しろざけ) に最も近いと見られるサクラマス *Oncorhynchus masou* (河川型はヤマベ) は、日本海の特産種である。また、ニジマス属に近いと考えられるアマゴ *O. rhodurus* (湖沼陸封型はビワマス) の分布は西日本に限られる。このような分布の特徴から、特殊化した環境の日本海に隔離されたニジマス類が、アマゴ-サクラマス型の魚に進化し、さらに、その一部からサケの祖先が派生したのであろう。その後、サクラマスの祖先は、日本海が再び外海と接続すると太平洋へと回遊し、何回もの気候変動を経験する過程で冷水に対する適応性を獲得して、比較的短期間に著しい種の進化を遂げた (第6図)。したがって、サケ・マス類は、長い生物の進化史においては極めて新しい仲間、現在も進化の途上にある魚と言える。サケ属は、氷河時代の厳しい水温や地形変化などの環境条件を生き抜く中で、したたかな能力を身に付けてきた。その一つが、サケ属の、淡水中でも海中でも成長できる能力である。すなわち、海に下って成長するサケ科の魚には、成熟するために、必ずしも海水環境での生活経験を必要としないものもある。海に下ってサクラマスにならずに、淡水中で一を送るヤマベは、その例である。日本海のサケ・マス類が短期間に大きく成長するのは、サケは北太平洋を、サクラマスは日本海を回遊する間に、豊富な餌を摂る事ができるからである。これと同じ関係が、北海道に分布するイワナ属のアメマスとオシヨロコマの生活史にも見られる。溪流魚として釣人に人気のあるイワナは、サケ属の祖先系であることは既に述べたが、このイワナの宝庫である北海道知床地方には、体表に赤い斑点をもつオシヨロコマと、白い斑点を持つアメマスとが分布する (石城, 1984)。北海道でのイワナの分布は、札幌近郊の空沼岳中腹にある万計沼のような山奥の湖沼や河川上流域には陸封型のオシヨロコマが、河口域から中流域には降海型のアメマスが分布する。しかし、知床半島に限っては、河口から上流までオシヨロコマが分布している。この知床半島に生息するオシヨロコマには、沿岸域ではあるが海に下るものもある。何故、知床半島のオシヨロコマだけが、生活域を広く利用しているのであろうか。それには生態的な問題だけでなく、知床半島付近の古地理が深く関係していることが、野付崎の調査から推定された。第四紀の大部分において北海道と樺太とは陸続きで、オホーツク海と日本海とは遮断されていた (第5,6図)。さ

らに、国後島と北海道とも陸続きとなっていて、北海道のオホーツク海沿岸にはオショロコマの聖域が形成されていた。根室海峡が形成されて知床半島にアメマスが侵入したのは、縄文海進期に入ってからである。すなわち、野付崎と国後島との間の根室海峡に存在した野付地峡は、沿岸回遊魚の障壁となっていた事を示している。

日本列島の第四紀動物相を形成した基本条件は、第1に海峡形成や地峡分断などの地理的条件、第2が島々形成後の気温・降水量変化などの気候条件である。

3. 気候変動への対策

21世紀に起ると予想される気候変動の規模が、農耕生産が本格化した過去1万年間のそれ以下であるならば、地球上の生態系を根本的に変革させる心配はない。また、第四紀の気候変動は生態系に大きな影響を与えてきたが、海水準変動による海峡形成（大陸と島との接続関係）は、生物の地理的分布を支配してきた。もし、気候及び環境変動の未来予測が可能となった場合、その対策計画決定には4つの基本的な立場が選択できる。第1は、過去1万年間に起った程度の環境変化量なら何もしなくても良い。または、何か行動したくても、経済的に実行が不可能である（生生流転対応）。第2は、地球温暖化の原因は大気中の二酸化炭素濃度の増加であると断定して、i) 二酸化炭素の人工的、自然的吸収過程によって処理する（二酸化炭素処理対応）、ii) 省エネルギー技術によって二酸化炭素排出量を削減する（節約対応）、iii) 世界中の送電線を連結して、世界のエネルギー需給調整を行う（国際協調対応）。第3は、地球温暖化は不可避であるとして、温暖化時代に対応する農業生産及び海岸保全計画を、今から用意する（温暖化環境適応）。第4は、温暖化問題が顕在化する21世紀の世界人口は百億人を超える事を前提として、世界経済の格差解消に役立つ様な地球改造を行う（地球改造対応）。

3.1. 生生流転対応

2025年の世界人口は82億人に達し、その80%以上は経済発展を希求する開発途上地域の人々によって占められる。この場合、国際会議における20%以下の環境保護派の見解が、世界的なコンセンサスとはなり得ないであろう。したがって、二酸化炭素削減に有効な世界的な対応策は何一つ実行されない。しかし、変化量がIPCC予測程度であれば、被害は受けるがそれぞれの国によって対応できるであろう。現在でもサイクロンによるバングラデッシュの洪水被害、アフリカの旱魃、ソ連圏の飢饉などは、21世紀に予想される環境変動による被害よりも大きなものである。それでも、これらの国々の人口は着実

に増加している。これらの国が、環境変動に対応しようにも財政的、技術的基盤が無いため、生生流転対応に従わざるを得ない。

3.2. 根本原因解消対応

地球温暖化の本当の原因は何か、科学的には解明されていない。また、現在の地球気候は温暖化に向っているのか、寒冷化に向っているのかを判定するには、何を、何処で、何時、どの様に調査・観測すれば良いのかを明らかにするのが、当面の緊急研究課題となっている。はっきりしている事は、大気中二酸化炭素濃度はハワイのマウナロア山で観測開始以来、着実に増加している事である。そして、1990年の二酸化炭素濃度350ppmは、約10万年前の地球が温暖化し、東京山の手台地が海面下に沈んでいた間氷期の濃度280ppmよりも20%以上高くなっている。大気中二酸化炭素濃度が地球温暖化の原因であるならば、現在の濃度レベルを維持しても、もう手後の筈である。とにかく、国際世論に従って、二酸化炭素濃度削減が有効であると信じて対応する。

3.2.i. 二酸化炭素処理対応

大気中二酸化炭素の吸収域である海洋や熱帯雨林への吸収量及び吸収速度を増大させる技術開発を進める。化石燃料起源の二酸化炭素を、その大本である海洋生物や陸上森林に再生させる事によって、地球上の生物ストックを大きくする。仮に、地球温暖化が起らなかった場合でも、人と自然に優しい科学技術の開発として意義がある。

3.2.ii. 節約対応

我が国産業界は、2度のオイルショックを乗り切る中で、エネルギーの有効利用に関する世界的な先端技術を開発してきた。仮に、日本のGNP（国民総生産）当りの二酸化炭素排出量が国際的な基準として採用されれば、二酸化炭素濃度増加問題は解消する。しかし、この主張は日本経済体制のエゴイズムとして、国際的には受け入れられないであろう。日本のエネルギー利用技術の海外移転が望まれるが、それを受け入れる産業基盤が開発途上国には整備されていない。省エネは、自然に優しい基本的態度であり、この消極的に見える対応が地球再生に最も有効なのかも知れない。

3.2.iii. 国際協調対応

人間の生活リズムは、地球の自転による昼夜の時間帯によって支配されている。この昼夜の生産活動に対応するエネルギー需要量の差を利用した国際的な電力配送システムを確立する。そうすると、エネルギー発生用化石燃料資源消費量の数十%は儉約できるので、二酸化炭素削減目標は達成され、その上後世に対しても貴重な燃料資源が温存される。このシステムが構築されたなら、世

界平和は確実なものになるであろう。既に、EC 経済圏内及びカナダ・アメリカ合衆国・メキシコでは、この送電システムが実用化されている。

3.3. 温暖化環境適応

第四紀の気候変動の中で、温暖期は大多数の生物群にとって良好な生息環境を形成してきた。とくに、農業・牧畜生産を基礎とする人間社会は、温暖期に豊かな文明の花を開かせてきた。それに対して、寒冷期は飢饉、掠奪、革命、戦争及び難民発生と暗い時代の背景となってきた。人類及び生物群は、潜在的に温暖な気候条件を待望している。それなのに、温暖化気候では早魃や害虫被害が大きくなると、農業関連研究者が発言している。本当に、温暖化は農業生産にとってのマイナス要因なのだろうか。北海道と沖縄の農業生産効率及び人口密度を比較するだけでも、温暖化による災害増加説の根拠が薄弱なものだと判断される。温暖化によって、早魃被害が叫ばれているが、温暖なヒブシサーマル期（7～4千年前）のアフリカサハラ砂漠には緑野が広がり、チャド湖の水面は現在よりも広がった事が記録されている。そして、温暖化がまだ起っていない現在、アフリカその他の砂漠化が問題となっているのは、何故なのだろうか。

温暖化とは、地球的規模での気候格差が小さくなる現象である。それに対して、寒冷化とは地球規模での気候格差が大きくなる現象である（第1図）。したがって、農業の成立しない高緯度地帯にも、温暖化によって農業適地が拡大する可能性がある。心配される海水準上昇が1 m以下ならば、大阪・名古屋・東京の0 m地帯では、それ以上の地盤沈下を過去40年間に経験してきた。海水準上昇が起こると、起らなかつたら、水害の常襲する0 m地帯の改善工事は国家的な対応課題である。

3.4. 地球改造対応

世界人口が50億人で一定化するならば、これまでの対応策でも人類の生活環境は保障されよう。しかし、温暖化の起ると予測される21世紀の人口は、確実に百億人を超えている。これは空想ではなく、50年後の現実である。その場合のエネルギー及び食糧需要に対して、現在の地理的条件を前提として対応する事が可能なのだろうか。二酸化炭素問題は解決したが、人類の半数以上の人々が、その生活基盤条件を失ったのでは意味がない。そこで、人類がその生活環境の改善を科学的な対応に求めるとしたならば、どんな事が考えられるのだろうか。世界的な電力送電計画でさえもままならない現実を前に、以下の様な事を考えるのは、地質学者の空想に過ぎないかもしれない。

21世紀の人口増加と、その人口を支える産業活動は、確実に大気中の二酸化炭素濃度を増大させる。しかし、

地球温暖化と二酸化炭素濃度の増大は、植物の一次生産量増大にとって基本的に有利な条件である。この条件の下に農耕地が確保されるならば、21世紀の人口問題への対応も可能となる。そこで、考えられる地球改造計画案について検討してみたい。これらの案は、あくまでも科学的な想像であって、誰も、そのまま実現可能とは考えていないし、もし実現可能であったとしても、その前に充分な環境影響事前予測調査と、調査結果の採否には国際的な合意が必要な事は言うまでもない。

第1の案は、完新世の地球環境に最も大きく影響してきた北極海の永久浮氷群（氷山）の削除について、検討してみる。北極海を覆う永久浮氷の厚さは、夏の2 m弱から晩冬の3 m迄変化する。この浮氷の薄くなった時期に、シベリア開発用物資が砕氷船を先導させて運搬されている様子が、シベリア大紀行 TV プログラムの中で映し出されていた。もし、北極海から永久浮氷が消え去ったら、その周辺環境は根本的に変化するであろう。浮氷の消えた北極海の1月の平均気温は現在よりも10～15℃も上昇して、海面からの蒸発量が大きくなる。蒸発した水分は、多量の雪として北部カナダやヨーロッパに降り積もり、次の氷河時代開始の引金となるかもしれない。大陸に多量の水分が氷河として固定されることによって、1万年前の-45mまで海水準が低下し、ベーリング海峡は陸化する。当然、大陸棚は利用価値の高い平地となって出現する。これによって、地球温暖化、二酸化炭素濃度増大及び農耕地確保及び水ダムからの淡水供給と農耕条件が揃い、世界人口の倍増に対応することが可能となる。それでは、北極海の永久浮氷をどうしたら取り去る事ができるのだろうか。もし、温室効果によって地球温暖化が進んでいけば、北極海の浮氷は融解して行くかもしれない。この融解を助長させるには、いくつかの手法が考えられる。その一つは、浮氷上に太陽熱の吸収率を増大させる黒色粒子（火山灰やすす等）を散布することによって、融解を促進させる。その二は、ベーリング海峡にダムを造り、北極海から太平洋へ冷たい海水を落とし込む。そうすると、もう一方の側から大西洋の暖かい海水が流入して、北極海の表面水温が上昇するので永久浮氷は融解する。その三は、北極海へ流入するシベリア、カナダの大河川の流向を北流から南流に転流させることである。そうすると、浮氷の生成されやすい淡水の供給が減少するので、冬の浮氷形成量も減少して、浮氷が消える。北極海の浮氷は、ウイスキーに浮ぶオンザロックの氷の様に海水中に浮んでいるので、その全てが融解したとしても海水準上昇に大きな影響を与えない。また、浅いベーリング海峡（最大水深38m）は、1万年前の低海水準時には陸地であった。したがって、ベー

リング海峡にダムを造るという案は、地質学的には突飛な考えではない。この様な提案は、自然環境保護派の人々には苦々しく思えるかもしれないが、百億人を超える世界人口を支えるためにはやむを得ない事かもしれない。

毎年の様にバングラデッシュを襲うサイクロンの被害を、何とかして防ぐ事はできないのであろうか。サイクロンや台風の成長発達には、熱帯域の25℃以上の暖かい海水からのエネルギー供給が必要である。それなら、この暖かい海水を冷たい深海湧昇流で冷却するか、温暖水塊を分断することが有効と考えられる。そのために、外洋域の海山を利用してサンゴ礁を発達させ、海底地形を浅くする。そうすると、サイクロンや台風の発達を阻害すると共に、深海からの栄養塩の供給によって生物生産量が飛躍的に増大し、食糧供給に一定の役割を果す事ができる。サンゴ礁の発達機構を解明し、それを利用する事は熱帯多雨林の造林技術と同じくらい重要である。その他、砂漠に人工湖を造る構想(アクアネット)等いろいろなことが考えられる。地球環境は、生物活動に対応しながら変化してきた結果であって、この変化への対応努力を止めた生物は、絶滅を免れなかった事を地球の歴史は記録している。この環境変化を予測し、その変化を利用することによって、その大変革の影響を緩和し、他の生物の生存条件を保障する事が、地球システムの実態解明ができる人類の使命であらう。

4. まとめ

地球温暖化の主要原因は何であるか、現在は確実な事は分かっていない。もし、21世紀の温暖化が予測される程度の規模ならば、多くの対応策が用意できる。どの対応策を選択するかは、影響量の評価によって決定されるのであろう。その場合の基準として、子孫に環境負債を残さない、人と自然に優しい持続的な効果のある後悔しない対応策を選択したいものである。隋の煬帝の大運河工事、メソポタミア文明を支えた水路網、それよりは規模は小さいが弘法大師の満濃池を始めとする瀬戸内沿岸の貯水池、和氣清麻呂が計画した平安京、その何れもが千

年以上の長期にわたって利用されてきた。それに対して、エジプトのアスワンハイダム工事や、ブラジルのアマゾン河流域開発は、貴重な自然環境を破壊する以上の利益を人類に与えてくれているのであろうか。環境問題は、地球的視点で把握しなければならない。そして、各地域開発は、環境資源の有効利用と再生能力の保全に資するという基本的な立場から、21世紀の環境変動に柔軟に対応できる環境構造を整備するものでありたい。

参 考 文 献

- 赤松守雄(1969):北海道における貝塚の生物群集, 地球科学, **23**, 107-117.
- Blakiston, T. (1883): Zoological indication of ancient connection of the Japan islands with the continent. Trans. Asia Soc. Jap., **2**, 126-140.
- Clark, J. A. and Lingle, C. S. (1979): Predicted relative sea-level change (18,000 years B. P. to present) caused by late-glacial retreat of the Atlantic Ice Sheet. Quat. Res., **11**, 279-298.
- 石城謙吉(1984):イワナの謎を追う, 岩波新書.
- 湊 正雄, 陶山国男(1950):沖積世の問題, 地球科学, **3**, 77-92.
- 湊 正雄(1951):湖の一生, 福村書店.
- 湊 正雄(1954):後水期の世界, 築地書館.
- 大嶋和雄(1971):北海道サロマ湖の後水期の地史, 地質調査所月報, **22**, 615-627.
- 大嶋和雄(1976):洪積世末葉以降の海水準変動, 北海道考古学, **12**, 9-22.
- 大嶋和雄(1980):海峡地形に記された海水準変動の記録, 第四紀研究, **19**, 23-37.
- 大嶋和雄(1990):第四紀後期の海峡形成史, 第四紀研究, **29**, 193-208.
- 大嶋和雄, 渡辺 浩, 佐竹俊孝, 塩沢孝之, 小原昭雄, 丸 邦義(1966):北海道サロマ湖の生態学的研究, 北海道水産試験場報告, **6**, 1-32.
- 大嶋和雄, 山口昇一, 佐藤博之(1972):北海道クッチャロ湖畔の沖積統貝殻層, 地質学雑誌, **78**, 129-135.
- 徳田御稔(1941):日本生物地理, 古今書院.
- 徳田御稔(1969):生物地理学, 築地書館.

OHSHIMA Kazuo(1991): Environmental Impact Assessment Caused by Global Warming

<受付:1991年6月30日>