

「縄文海進」と地球温暖化に関する一考察

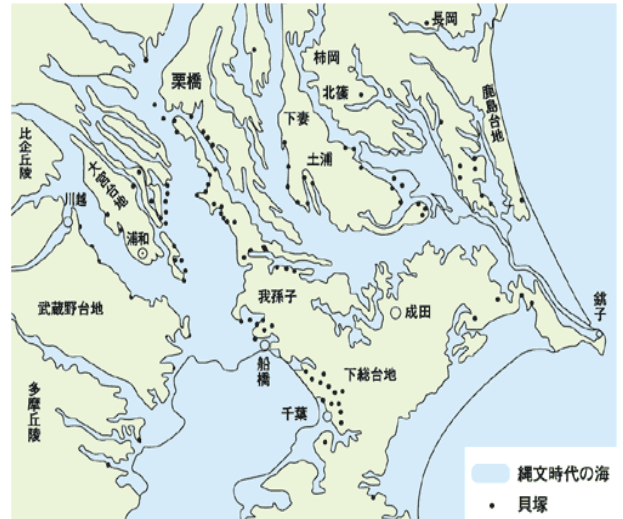
国土交通省 国土技術政策総合研究所

気候変動適応研究本部 副本部長 大平 一典

1. はじめに

人為的な CO₂ の排出に起因する地球の温暖化に伴う海水面の上昇への懸念が議論されているが、5千年程以前に海水面が現在よりも2～7mほど高く、海が陸地の奥まで入り込んでいた「縄文海進」と呼ばれる時代があった（図—1）。

工場も自動車も無く人間活動の地球への悪影響が皆無であった時代に、i) なぜ海面上昇が起こったのか、そして、ii) 「縄文海進」は再びやって来るのか、昨年出された IPCC の報告書と関連づけながら考えてみたいと思う。



図—1 5千年前の関東地方図

<※海面が10m高い場合の図>

2. 氷期（氷河期）

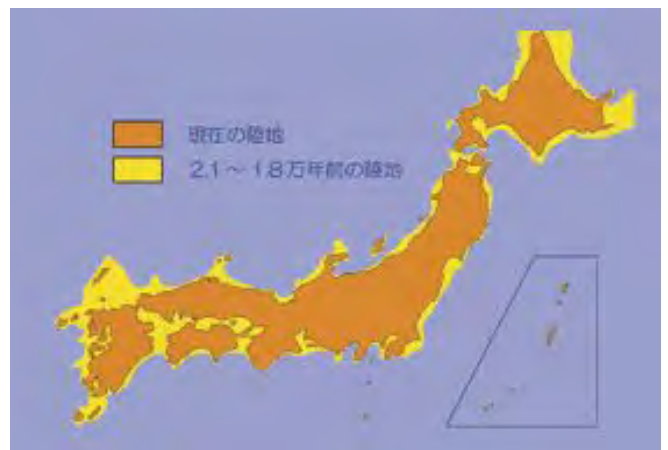
地球には、過去何度も氷期が訪れており、比較的良好に知られている新生代第四紀（180万年前～現在）だけでも主なもので4つの氷期があったと言われている。

直近のヴェルム氷期（7万年～1万8千年前）の海面は、今よりも140m（100、150mという記述もある）程低く、日本列島は、朝鮮半島・樺太を經由して大陸と地続きであったし、瀬戸内海も陸域であった（図—2）。

現在は、その後の間氷期にあたる時代である。

図—2 ヴェルム氷期の日本周辺の陸域図

年代		ヨーロッパ	北アメリカ
完新世		後氷河	後氷河
1万年前	後期	ヴェルム氷期	ウイスコンシン氷期
		間氷期	間氷期
13万年前	中期	リス氷期	イリノイ氷期
		間氷期	
	ミンデル氷期	間氷期	
	間氷期		
70万年前	前期	ギュンツ氷期	カンザス氷期
		間氷期	間氷期
200万年前		ドナウ氷期	ネブラスカ氷期
		ビーバー氷期	



3. 気候変化の自然起源

氷河期や間氷期といった地球規模での大きな気候変化はどのような原因で生じるのでしょうか？

図-3と図-4を比較すると、地球が太陽から受け取る熱量（放射フラックス）と密接に関係していると推測される。

図-4のような太陽放射フラックスの変化は、地球が太陽をまわる公転軌道と地球自身の自転の変動によって生じる。

■公転軌道の変化

現在の公転軌道は円に近いが、周期的に円軌道とやや扁平な楕円軌道を交互に繰り返す。この変動は10万年の周期をもつ。そろそろ楕円軌道に移ってもおかしくないという学者もいる。

■地軸の傾斜角

地軸は、24.5度～22.1度の間を4万1千年周期で変動するため太陽との距離が増減する。
（現在は、約23.4度）

■歳差運動

公道軌道面に対する自転軸の向きが変化する（コマの首振り運動）こと。この変化は、2万3千年と1万9千年の周期をもつ。

図-3 南極ボストーク氷床コアから得られた気温の記録

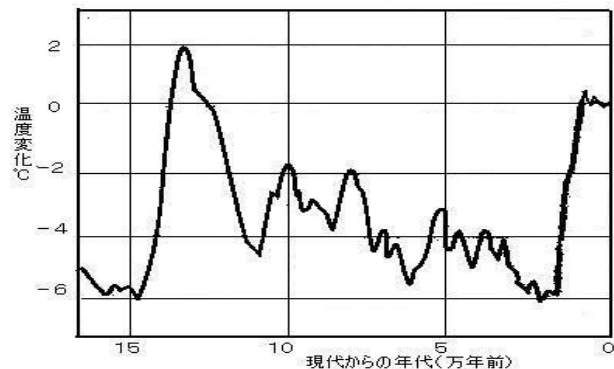


図3 南極ボストーク氷床コアから得られた気温の記録

図-4 北半球夏季の平均太陽放射の現在の値に対する偏差

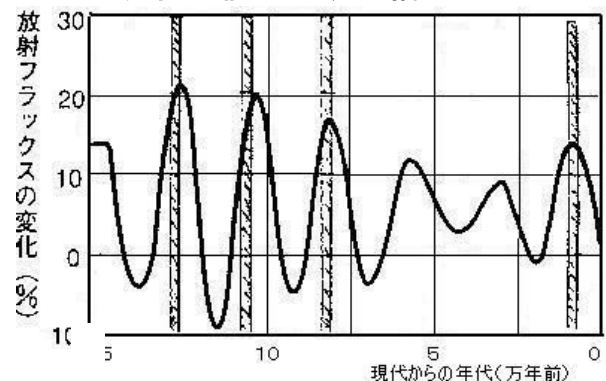


図4 北半球夏季の平均太陽放射の現在の値に対する偏差

以上のような関係については、最初に提唱した学者の名前を取って「ミランコビッチ（セルビアの地球物理学者）理論」というのがある。

【ミランコビッチ理論】

木星や土星の引力による地球の公転軌道の離心率（天体の軌道の円からのずれを表す指標）や地軸の傾きの変化によって、周期的に氷期と間氷期が訪れるという理論で、夏季、大陸が多い北半球の高緯度地帯の日射量が減少すると大陸氷河（氷床）が発達する。すなわち、夏季に日射量が減少すると雪がとけず残る。雪（氷床）は太陽からの日射を反射し地球にとどまる熱エネルギーも減少する。この循環が氷河（氷床）を更に発達させ、氷河期（氷期）が生じる。

国立極値研究所から、ミランコビッチ理論を強く支持する報告が出されている。

<http://polaris.nipr.ac.jp/~kouhou/news/news070823/>

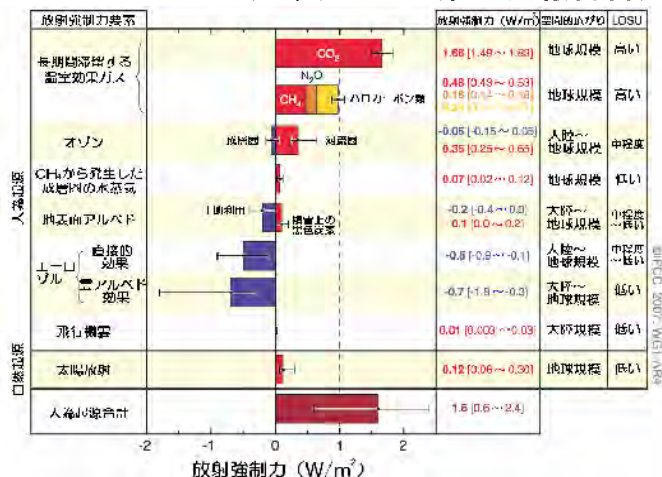
4. 気候変化の人為起源及び自然起源

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の報告書に気候変化の起源が記載（図-5）されているが、地球温暖化の原因とされるCO₂の影響は、太陽放射よりも格段に大きいものであることが示されている。

自然界でなら数千年オーダーで起きる変化が人為的な原因で百年オーダーの極めて短期間に起きてしまう。

地球の温暖化は、もはや避けがたい事態であることはハッキリしているが、このまま上がり続けるのだろうか？

図-5 気候変化の人為起源及び自然起源
(出典：IPCC 第4次報告書)



5. 「ヤンガードリアス期」と「深層海流」

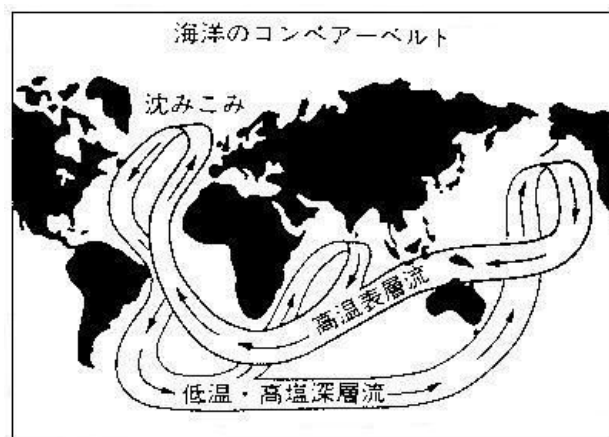
約1万1千年前、急激に気温が上昇した間氷期にあって北半球の高緯度地帯では、100年間で約6℃程急激に気温が下がり氷期に逆戻りした時期があった。これを、「ヤンガードリアス期」といい、約1千年続いた。この急激な変化は、「深層海流」と呼ばれる地球規模の熱エネルギー循環システムとの因果関係が深いと考えられている。

「深層海流」は、暖流であるメキシコ湾流が冷たく乾いた北極の大気によって、①水温が下がり、かつ、②海水の塩分濃度が高く（重く）なり、グリーンランド周辺で垂直に「沈み込み」、大西洋の深海底を南下して南極で沈み込んだものと一緒になり、インド洋や太平洋に至り上昇するものである。上昇した流れは、高温の海流となって再びグリーンランドや南極に帰っていく。

この循環が「温度調節装置」となって、極地の過度な寒冷化を防ぐなど地球の気温を（±2℃程度の変動はあるが）一定範囲に保つ役目を果たしている。

「ヤンガードリアス期」の急激な気候の変化は、氷河が融けてできた五大湖付近の超巨大真水湖が決壊して大量の真水がグリーンランド近海の大西洋に流れ込んだために海水の塩分濃度が薄くなり「深層海流」のエンジンと言える「沈み込み」が止まり、極地付近の気温が急激に下がったという説が有力視されている。その後、ある程度氷河（氷床）が発達したことで再び「深層海流」が復活し、寒冷期が終わった。

図-6 深層海流の模式図



海洋循環の模式図
(Broecker, et al., 1985: Nature, 315, 21-25)

さて、温暖化による北極周辺の気温上昇、さらには、極氷の融解による塩分濃度の低下が確認されているが、IPCCによると「深層海流」が止まることはないという。

急激な温暖化が続くのか？、それとも、その先には「沈み込みの弱まり」による高緯度地帯の寒冷化が待っているのだろうか？

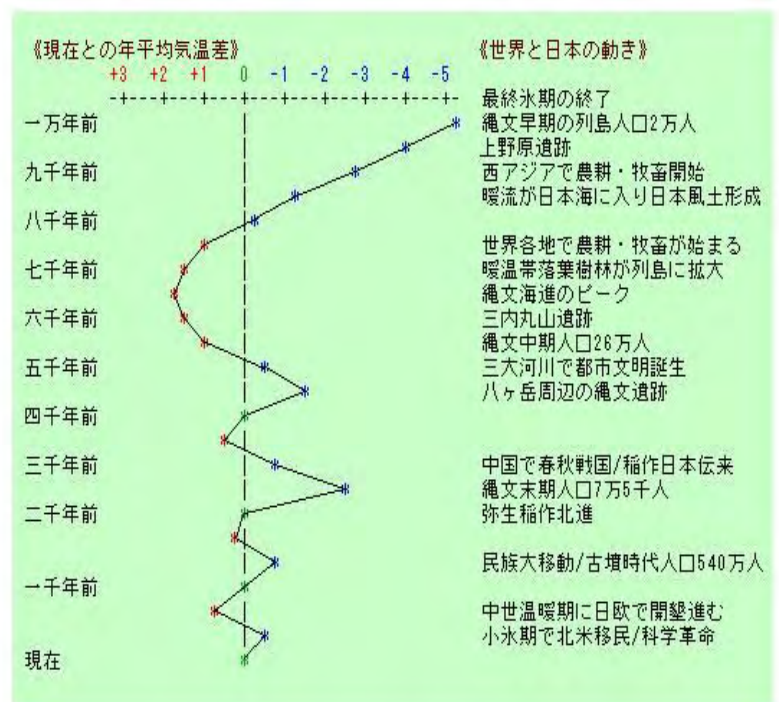
6. 気候最適期（ヒブシサーマル期）

古気候のシミュレーションによると、約1万年前に大気の循環に変化が生じ、モンスーンに伴う降水量の増加によって大陸内部が温暖化した。

その後も温暖化は続き、7千年～5千年前ころ、現在よりも気温が2～3℃高い温暖な気候が続いた時期があった。この時期を「気候最適期（ヒブシサーマル期）」と呼ぶ。

このころのアフリカ中央部、アラビア半島などは湿潤多雨の気候で、サハラ砂漠は森林や草原で覆われていた。エジプト、インダスなどの文明が発達したのもこの時期である。

図一七 過去1万年間の平均気温の変動



7. 「縄文海進」の日本

気候最適期（ヒブシサーマル期）には、千年オーダーの時間を経て氷河や氷床が融け、現在よりも海水面が5～10m高くなり、海岸線が内陸奥深くまで侵入した（図一八）。この時期の気温が高かった原因としては、太陽放射フラックスは約9千年前に最大に達したが、5千年前でも太陽からの放射が現在よりも4%程度多かったためと考えられている。黒点数から見た太陽活動も非常に活発であったらしい（樹木の年輪中の炭素14測定値などから推定できる）。

その後、「深層海流」など効果が表れるまでの時間スケールが数千年と長い（すぐには効果が表れない）地球規模での空調装置が機能し、寒冷期に移行したものと思われる。

この当時の花粉分布から推定した日本の気候は、北海道・東北の太平洋岸は温暖・乾燥で落葉広葉樹林が発達し、近畿以西の西日本では照葉樹林が発達していた。

この植生の違い（食料となる木の実の採集量や種類の差異による人口扶養力の違い）が、東日本でのみ大規模な集落が各地に出現した理由であると推定されている。

500棟を超える建物があった大集落とその周辺の多数の集落から構成され、約5500年～4000年前まで続いた青森県の「三内丸山遺跡群」は、今でこそ海岸線からかなり離れているが、「縄文海進」の時代には海のすぐ近くにあった。ここからは、マグロ・鯛・ひらめの骨や栗・クルミ・どんぐりなど海と森林の幸が発見されている。この遺跡では、4000年前以降の生活の跡は発見されないことから、このころの海岸線はかなり後退し、現在の位置に近かったとも考えられる。

8. 気候最適期（ヒブシサーマル期）後の寒冷期と民族移動

一時やや温暖となった時期もあるが、5000年～1500年くらい前（日本では古墳時代）の間の気候は、寒冷で降水量も増加した。この時期、日本海側の沖積平野には、雨を好む杉（年間降水量で1800mm以上）が非常に多く発達した。

民族移動はこの寒冷化がきっかけとなった？

- 【外国では】
- ・ 紀元前1500年ころ アーリア人のインド侵入
 - ・ 紀元前1200年ころ ドーリア人の地中海侵入
 - ・ 西暦 400年ころ ゲルマン民族の大移動

【日本では】

ある研究によると、7万5千人程度であった縄文末期の人口が、1000年後の古墳時代（西暦600年ころ）には540万人になったと推定しているが、これについて東大名誉教授の方が人口の膨張シミュレーションをしたところ、1000年間に150万人以上の渡来人が必要との結果を得たという。

9. 「小最適期」と「小氷期」

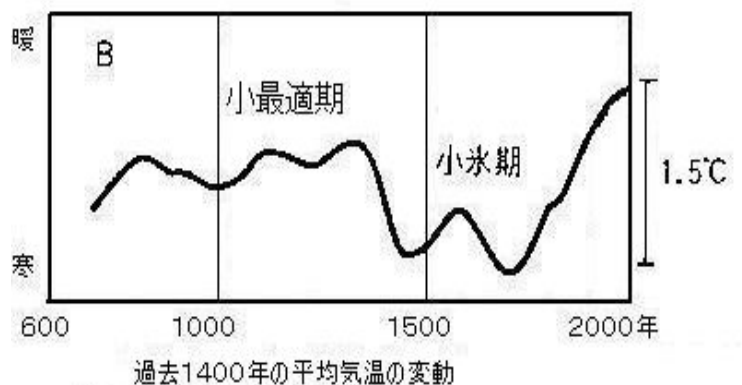
西暦800～1300年は、全地球的に現在と同じかやや温暖な時期が続いた。ヨーロッパでは1～2℃高かった。この時期を「小最適期」と呼ぶ。

西暦1400～1850年の間は、一転して寒冷な時期が続いた。江戸時代には、天明・天保など冷害による大凶作が起こっているし、隅田川や淀川が氷結したらしい。また、テムズ川（イギリス）やタホ川（スペイン）なども氷結したとのこと。

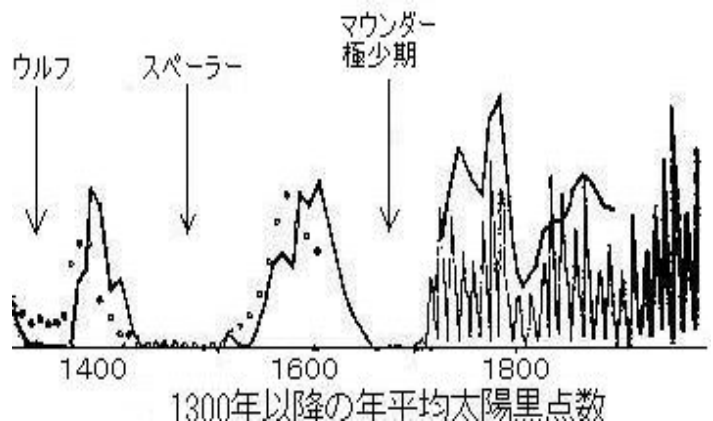
この時期は「小氷期」と呼ばれるが、世界的に同時に起きたものではないらしい。

因果関係は不明だが、小氷期と太陽の黒点数が少ない時期がほぼ一致している。黒点数が少ないことは、太陽活動が不活発であることを示すので、熱放射量が減少した or 太陽の磁気活動の減少が北極の気候になんらかの影響を与えたなど、理屈は別としてこの一致は気になる。

図－8 過去1400年間の平均気温の変動



図－9

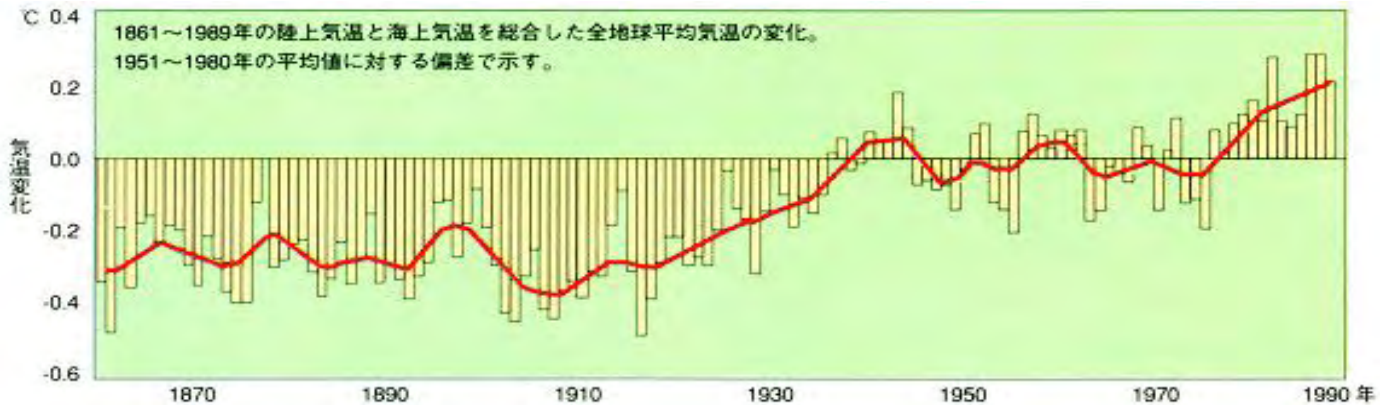


10. 最近100年間の気温変化

最近100年間の地球規模の平均気温の変化は、約0.6℃上昇。期間別に見ると、1910～1940年では、約0.6℃の上昇、1970年まではやや下がり気味だがほぼ横ばい、その後の30年間で約0.3℃の上昇となっている（図-10）。

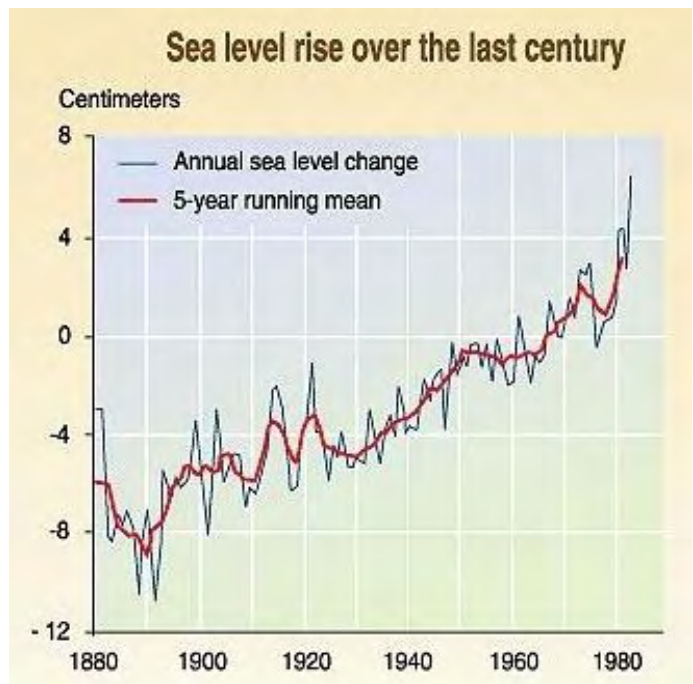
この温暖化に伴い、北極海ではほぼ九州の広さに匹敵する氷が毎年消えていることが、衛星を使った最近の調査で確認されている。

図-10 最近100年間の平均気温の変動



この気温の上昇に伴い、海面は10cm程度上昇している（図-11）。この10cmの内訳としては、熱膨張4cm、グリーンランド氷床2.5cm、南極氷床0cm、山岳氷河4cmと見積もられている。

図-11



【参考：氷床・氷河の融解について】

	全体積比率	全融解での海面上昇
南極氷床	90.6%	65m
グリーンランド	9.1%	7m
山岳氷河	0.3%	0.35m

アルプスやロッキーなどの山岳氷河は小規模で薄いことから気温上昇の影響がすぐに出るが、巨大で厚さが数キロメートルもある南極やグリーンランドの氷床は、巨大ゆえに気温上昇への応答が緩慢に出る。特に、南極は、海洋上の氷棚は崩壊して流出する（水面上昇には寄与しない）が、中心部では降水量や積雪量が増加し、むしろ短期的（数十年～数百年オーダー）には氷床が現在よりも成長するという説が多くの研究者がとっている見解である。

1 1. 近未来に「縄文海進」は再びやって来るか？

「縄文海進」をもたらした膨大な量の“水”は、いったいどこに行ってしまったのだろうか。一部は、地下水として大陸の地中に蓄えられていると考えられるが、“水”のほとんどは南極大陸や北極周辺のグリーンランドなどの陸地を覆う氷床となったことに疑う余地はないが、南極の氷床は地球温暖化が進んでも現在よりも成長するという多数意見の見解に立てば、再び「縄文海進」があるとすれば、グリーンランドの氷床が大規模に融解した場合である。この観点から、「縄文海進」の再来を考えてみる。

1) 図一七に見られるような気温の変動は、「深層海流」のような気球規模での空調装置、大気と海洋の間の炭素の循環システム、太陽からの熱放射量のなどが作用している地球規模での自然由来の気温調節機能があることを意味しており、その変動サイクルは千年オーダーの非常に緩慢なものとなっている。

2) これに対して、IPCCの第4次報告書が採用した14の「地球シミュレーター」のうちの多くは、比較的短期間で影響が発現する大気中の二酸化炭素などのガス濃度と気温の上昇（温室効果）との間の正の相関関係、そして、緩慢な影響を受ける太陽から受ける熱放射量と大気と海洋との間の熱交換、さらには、人為的な社会活動による二酸化炭素などの温室効果ガスの排出予測などを数式化（モデル化）して地球の気温上昇量を計算しているが、いずれのモデルも「深層海流」のような気球規模での空調装置や大気と海洋・陸域との間の炭素の循環システムは反映されていない。

この反映されていない点を捉えて「地球シミュレーター」の予測計算結果を否定する者がいるが、「地球シミュレーター」はここ10年以上にわたって多様な角度から検討を加えられてきており100年程度の比較的短期間の予測としては信用できるものとなっていると言える。

3) 主題である「縄文海進」の再来について言えば、海水面が数m程度上昇する「縄文海進」への道のりを我々が歩き始めていることは確実である。そして、自然由来の気温調節機能の働きが非常に緩慢なものであることから、大規模な火山噴火や隕石の衝突といったSFチックなクライシスでも発生しない限り、後戻りできない「臨界点」を超えるところまで地球温暖化が進行し、千年後には「縄文海進」と同様の事態に至る可能性がある。それどころか、地球温暖化の急激な進行によって数百年後には首都圏等の大都市圏が水没の危機に見舞われていても不思議ではない。

1 2. おわりに

二酸化炭素の排出量を現在時点より増やさないようにしても地球温暖化の進行とそれに起因する多くの悪影響から逃れることはできないが、排出量を削減することによって後戻りできない「臨界点」を超えないようにすることは可能かもしれないし、削減の努力は継続して進めることは当然である。同時に、いまだ認識度が低い、じわりじわりと脅威が迫り来る多くの悪影響への備えを怠らないことが必要不可欠である。