

気候変動と海面上昇

Climate change and sea-level rise

海面上昇化問題研究会 室蘭工業大学工学部 ○ 正 員 藤間 聡 (Satoshi Tohma)

(株)レアックス 許 成基 (Hu Sunggi)

北海道大学大学院 正 員 黒木幹男 (Mikio Kuroki)

アイドルエンジニアリング (株) 奥田英治 (Eiji Okuda)

1. まえがき

1988 年に WMO(世界気象機関)と UNEP(国連環境計画)によって設立された IPCC(気候変動に関する政府間パネル)は、科学的、技術的、社会科学的見地から、人為起源による気候変化とその影響、それに関する適応と緩和策についての包括的な評価報告書を 1990 年、1995 年、2001 年そして 2007 年の 4 回に亘って公表している。その第 4 次レポートは 2007 年 1 月から 5 月にかけて、第 1 作業部会報告書(地球温暖化の実態と今後の見通しについての自然科学的根拠)、第 2 作業部会報告書(温暖化の影響、適応そして脆弱性)並びに第 3 作業部会報告書(気候変動の緩和策)がそれぞれ作成され、2007 年 5 月の IPCC 第 26 回総会において採択された(これの統合報告書は 11 月に行われた第 27 回総会において承認・公開された)。筆者らの入手した報告書は第 1 作業部会報告書¹⁾だけでも 987 ページ(第 2 部会報告書²⁾は、976 ページ)にのぼる膨大なもので、その全体について述べることは難しくまたそれは本稿の目的ではない。

ここでは、IPCC2007 の第 4 次レポートに依拠しながら気候変動に伴って引き起こされる海面上昇とそれに関連する問題について若干の報告をしたい。

2. 気候変動と海面上昇に関する IPCC 第 4 次報告書の骨子

報告書によれば、「地球上の気候システムに温暖化が起こっており、その原因は人為起源の温室効果ガスの増加によるもの」とほぼ断定している。具体的には、図-1 に示すように過去 100 年間(1906~2005 年)に全球平均気温は 0.74°C 上昇したが、最近 50 年間の上昇量は過去 100 年のほぼ 2 倍になっており、近年になるほどその速度は増加しているとしている。更に、図-2 に示すように 1980~1999 年に比べて 2090~2099 年の平均気温は約 1.8°C ($1.1\sim 2.9^{\circ}\text{C}$)~ 4.0°C ($2.4\sim 6.4^{\circ}\text{C}$) 上昇し、そのときの平均海水面は図-3 から 18cm($18\sim 38\text{cm}$)~59cm($26\sim 59\text{cm}$) 上昇すると予測している。尚、気温や海水面の上昇に幅があるのは、それぞれに条件が付されているためである。例えば、気温が約 1.8°C 上昇するのは“環境の保全と経済の発展が地球規模で両立する社

会”での上昇量を、約 4°C 上昇するというのは“化石エネルギーを重視しつつ高い経済成長を実現する社会”での上昇量を見ているからである。報告書にはこのほかに、温暖化によって熱帯性低気圧の強度は強まり、積雪面積や海氷は縮小し、北極海における晩夏の海氷は 21 世紀末にはほぼ完全に消滅するとしている。

IPCC 第 4 次レポートには古気候学的側面からの検討も加えられている。それによれば、20 世紀後半の北半球の平均気温は、過去 500 年間の内のどの 50 年間よりも高かった可能性が高く、少なくとも過去 1,300 年間の内で最高であったとしている。更に、最終間氷期(約 125,000 年前)における世界の平均海面水位は 20 世紀に比べて 4~6m 高かった可能性が高いとしている。氷床コアデータによれば、この期間の平均気温は $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 高く、氷床の海面水位上昇への寄与は 4m 程度であったと見積もられている。

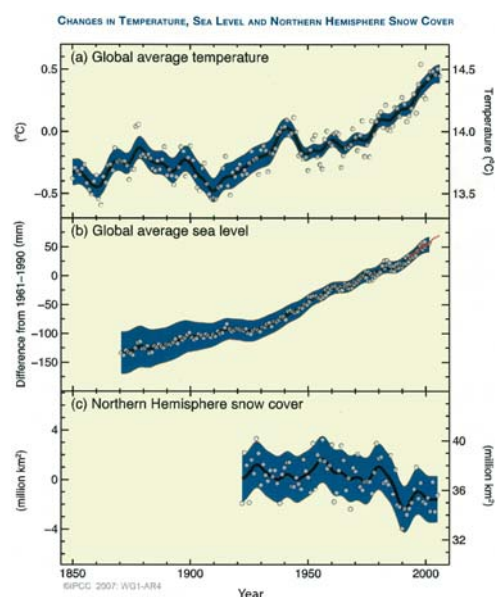
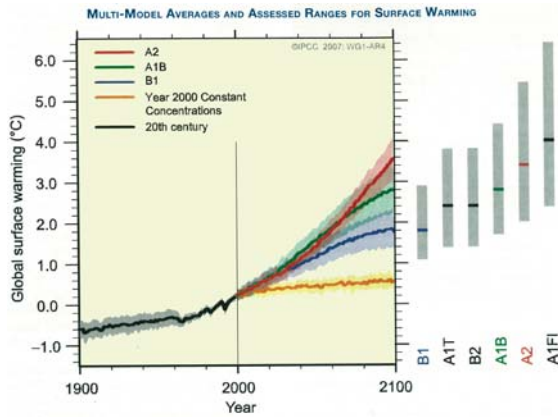


図-1 全球平均表層気温、検潮記録による全球平均海水面及び3~4月の北半球積雪地帯の変化



- B1 : 持続発展型社会シナリオ
 A1T : 高成長社会(非化石燃料重視型)
 B2 : 地域共存型社会シナリオ
 A1B : 高成長社会(各エネルギー源重視型)
 A2 : 多元化社会シナリオ
 A1F1 : 高成長社会(化石エネルギー源重視型)

図-2 異なるモデルによる地上平均気温の予測

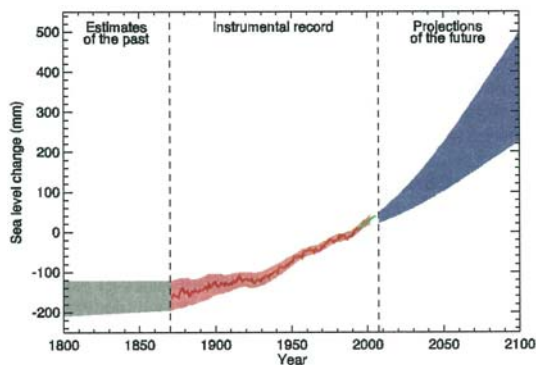


図-3 全球平均海面の過去・現在・将来
 (1980-1999 年平均からの偏差)

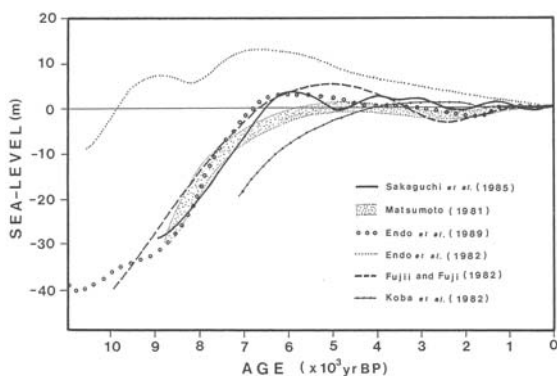


図-4 日本における完新世の海面上昇曲線⁶⁾

3. 日本周辺における完新世の気温上昇と海面上昇

日本周辺における過去の気候変動について若干述べる。周知のように新生代第四紀最上部更新世ウルム氷期に海面が最低水準まで下がって以降、気温の上昇に伴う大陸氷床や山岳氷河の融解によって海水準は上昇し始め、

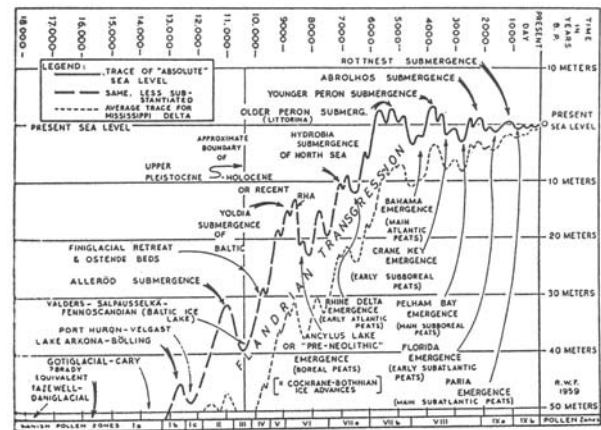


図-5 世界における完新世の海面上昇曲線¹⁾

図-4 及び 5 に示すように完新世の初め(1 万年前頃)には全世界的にほぼマイナス 40m 付近にあった³⁾。以後、8,200 年前後に海水準の上昇は一旦停滞するものの⁴⁾、継続的に上昇して 5~6,000 年前頃には現在よりも 2~3m 海水準が上がったことが各地で確かめられている(この間の上昇速度は毎年 1 センチメートル平均)。これを日本では縄文海進といっており、世界的には *Flandrian Transgression* と云われている。このときの海水準は、図-6 に示すように北海道で見ると地域によって異なるがオホーツク海側で 5m、太平洋岸では 4m そして日本海側では 3m 上昇していたことが、各地の堆積物の上面高度、海岸段丘と地形、自然貝殻層の分布などから推定されている⁵⁾。当時の気温については正確なことが分かっていないが、富良野で現在よりも平均 3.5℃ほど高かったとの推定が、花粉分析の結果から指摘されている(五十嵐八枝子氏、私信)。

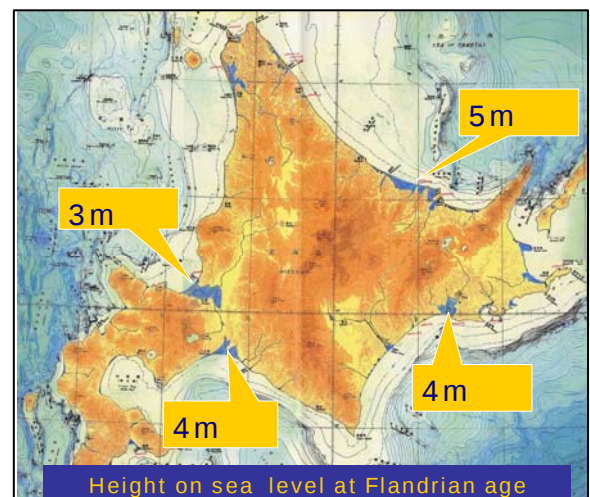


図-6 縄文海進期の北海道周辺海域の海水準

図-6 は、道内の海岸線周辺に分布する自然貝殻層、堆積物の上面高度そのほかのデータを基に作成したものである。ただし、海水準は陸地との相対関係にあるが、本図は陸地を不動のものとして作成している⁵⁾。

地質時代における全球的な気温上昇の原因については諸説があるが、IPCC の第 4 次レポートによれば図-7 に示すように、主として CO_2 の増加によるとしている。

図-7 は、 CO_2 と気候の関係を地質時代に遡って示したもので、上段、中段の図中の曲線と下段の図の棒グラフは、古土壌並びに植物プランクトン中の炭素同位体比、木の葉の気孔中の酸素同位体比、ホウ素の同位体比及び GEOCARB III による推定 CO_2 濃度を示す。上段の図によれば 3 億年前の大陸氷床の拡大は CO_2 濃度が極端に低いことによる。中段の図では 3,500 万年前頃に CO_2 濃度が白亜紀に比して低下したときに東南極氷床が拡大を始めた。また、中新世の中頃から後期にかけて西南極氷床が拡大し始めたが、これも CO_2 濃度の低下によるとしている。また、それ以前に比べて同じく CO_2 濃度が極端に低下した第四紀に氷期が現れている。この CO_2 濃度の変化は火山活動やケイ酸塩の風化作用の減少など構造的なところに原因があるとするものの詳細は今後の研究に俟たれる。

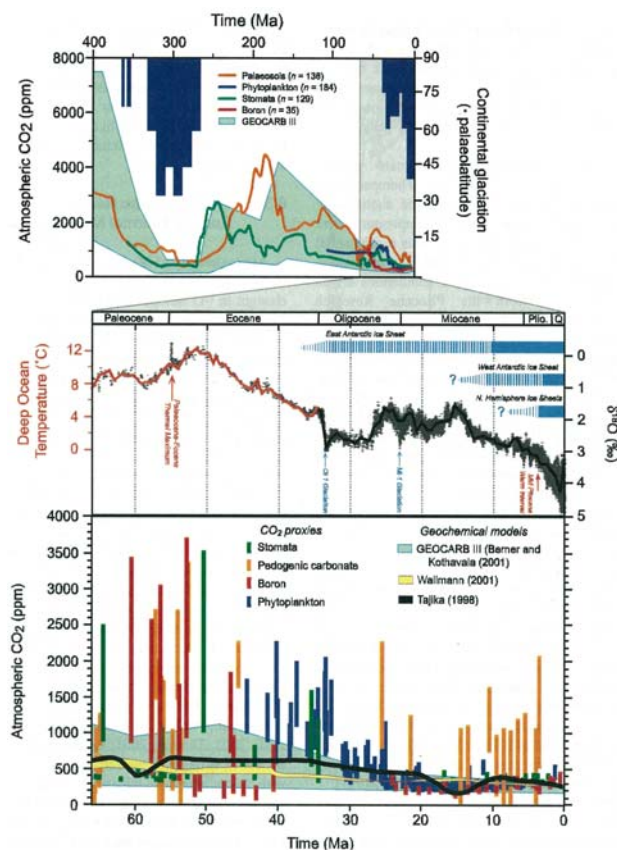


図-7 地質時代における大気中の CO_2 濃度と深海酸素同位体比

CO_2 増加の原因については、大規模な火山活動やそれに伴う地球規模の森林火災などが上げられる。尤も、数十万年から数百万年にわたって継続的に繰り返される大規模火山活動とそれに伴う気温の低下、それに引き続く CO_2 などの温室効果ガスの長期間にわたる滞留はともかく、森林火災などは CO_2 の一時的な増加にはなっても突発的且つ偶発的な事件と思われる、その持続性に乏しく

数十万年から数百万年にわたって高濃度の CO_2 を維持しうることには疑問がある。それよりも地球の公転軌道の離心率(約 10 万年周期)、歳差運動(約 23,000 年周期)それに黄道に対する地軸の傾き(21.5~24.5 度)の回復周期(約 4 万 1000 年)の一致および、太陽活動の活発化も含めた複合的な要因に IPCC2007 レポートに述べられている冷却化や地球の温暖化の原因を求めるべきであると思われるが、今後の問題として残されている。地球史上最近年の、後期更新世から完新世半ばまでには平均氷厚 2000 メートル以上のスカンディナヴィア氷床、北米大陸のローレンタイド氷床並びにコルディレラ氷床などの大陸氷床(合わせて $46.33 \times 10^9 \text{ m}^3$)が完全に消滅してしまうほどの高い気温が 1 万年ほど続いたことがある。これによって全球の海水面が最大 140m ほど上昇したことが知られている。それでは、この高温をもたらしたものは何であろうか。グリーンランド氷床コア(GRIP)の酸素同位対比記録によれば(図-8)、最終間氷期以降の過去 12 万年間(ウルム氷期の全期間)に 24 回のダンスガード・オシュガーサイクル(又は振動)⁷⁾と呼ばれる高温期があったとされる。ただし、この氷期の全期間を通じても全球平均気温はプラスになったことは無いと推定されている。したがって、この振動の原因はともかく、図-8 に示されるヤンガードリアス期以降の高温の原因についての詳細も現在のところ明らかにされていないのが現状である。本稿では気温上昇の原因についてこれ以上立ち入らないが、いずれ別の機会にこの問題について述べたい。

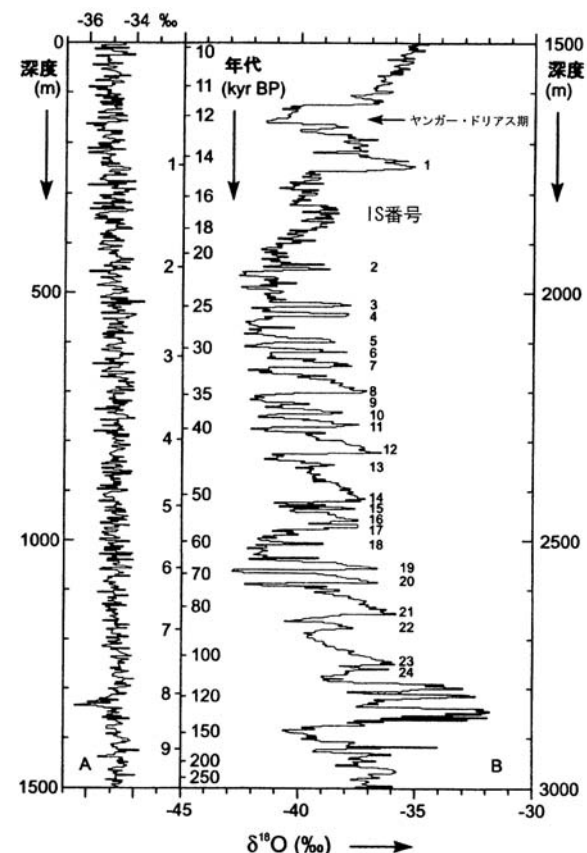


図-8 グリーンランド氷床コア(GRIP)の酸素同位体比記録

4.おわりに

海面上昇に我々はどのように対処すべきか

地球温暖化を含む気候変化によって、降雨が河川の流量や湖沼に直接影響(環境容量の増減)するようになる。たとえば、感潮域においては河川流量の変化と海面上昇にともなって、感潮域の形成位置や強度さらにそれらの季節変化によって感潮域の環境は著しい影響を蒙ることになる。また、気温上昇に伴って湖沼浅部の水温は上昇(溶存酸素濃度上昇)して温度(密度)成層は長期化する。一方湖底付近では、プランクトンの遺骸(デトライタス)が増加するために深部の溶存酸素濃度が低下し、結果的には無酸素状態が長期化して湖沼環境は破壊されることになる⁸⁾。

地球温暖化に伴って海水面は一体どのようなになるであろうか。

化石燃料を使い続けて高度経済発展を目指すシナリオによれば、図-3 に示すように 2100 年には海水面が最大 58cm 上昇するとされる(IPCC による A1F1 シナリオ)。現在、全国にゼロメートル地帯は 861km² あり、居住人口は 200 万人を超え、これの総資産は 56 兆円と試算される。仮に海面が 1m 上昇すると、氾濫域の面積は 2,340km² に増え、影響をこうむる人口は 400 万人を超え、失われる総資産は 109 兆円にのぼると言われる⁹⁾。確実に上昇するであろう海水面を下げる方法はないから(これ以上気温を上昇させないための方策はいくつか提唱されているが、筆者らは海面上昇に関する限りもはや手遅れと考えている)、さしあたってゼロメートル地帯の住民を高台へ移住させるか、防潮堤を高くするなどかなりの荒療治と巨額の手当てが必要になるが、果たしてそれは可能であろうか。北海道においても数箇所の地域はいきなりその影響下におかれると思われるが、それについての危機感は共有されているであろうか。

筆者らは、ゼロメートル地域などの低地帯の対策も含めて、2002 年から研究会を組織して各地を巡っては問題点の整理に努めている。それらの成果を含めて今後、逐次意見を公表したいと考えており、本稿をそれらの導入部としたい。

参考文献

- 1) IPCC WG I : The Physical Basis of Climate Change. p.987, 2007.
- 2) IPCC WG II : Impacts, Adaptation and Vulnerability. p.976, 2007.
- 3) Fairbridge, R.W. : Eustatic changes in sea level, in physics and chemistry of the earth 4, pp.99-185, 1961.
- 4) Rohling, E.J. and Palike H. : Centennial-scale climate cooling with a sudden cold event around 8,200 years ago. Nature, 434, pp.975-979, 2005.
- 5) Hu S.G., Okabe, K., Okuda, E., Nagaoka, D. and Hasegawa S. : Sea Level Rise in Hokkaido, Japan during Flandrian Transgression Age. Abstract on IAMAS Rep., 2005.
- 6) Umitsu, M. : Holocene sea-level changes and coastal

evolution in Japan. The Quaternary Research. 30, 187-196, 1991.

7) Dansgaard, W., Johnsen, S.J., Clausen, H.B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N.S., Hammer, C.U., Hvidberg, C.S., Steffensen, J.P., Sveinbjornsdottir, A.E., Jouzel, L. and Bond, G. (1993) : Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. Nature, 364, 218-220.

8) 花木啓祐 : 水環境への気候変化の影響と適応策. 河川、665, pp.45-49, 2001.

9) 三村信男 : 海岸域及び社会基盤施設への影響と適応策、河川、665, pp.40-44, 2001.