

地球温暖化と海面上昇

大森 信
東京水産大学教授

Recent climatic changes and problems concerning sea-level rise

M. Omori

二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガスの急増によって、地球が暖まるといわれている。全地球の平均気温が 1.5~4.5 上昇すると、海水が膨張したり、一部の地域で氷が溶けることで、海面が約 20~110 センチメートルも上昇するという報告がある。

人々は地球の健康管理の重要さに気がついて、昭和 40 年代の公害から今、第二の環境時代をむかえたような感がある。本当に海面は上昇しているのだろうか。私達が住む陸地はどうなるのだろうか。水位の変動に関して昨年出版されたユネスコのワーキンググループからの報告 (1990) をもとに、科学が把握している地球の様子を解説して、疑問に答えてみたいと思う。

1. 気温と水位

山の頂きとはちがって、波や潮汐で間断なく動いている海面の高さを測るのはたやすいことではない。水位の変動には多くの要因がからむので、真の時間的变化を知るには長い間の正確な観測と解析が必要である。海面の高さは絶対的な値ではない。陸地も海面も動いているから、相対的な値として測定される。水位は水が膨張したり、極地の氷が溶けたりす

ることによって変わるが、他の要因によっても上がったたり下がったりしている。変動の要因には地球全体でなく局所的なものが多いが、これまでの観測では水位が下がっているところも沢山みつがっている。

現在、気象は人工衛星や測候所、観測船で測定された膨大な資料を基に解析され、国家間で情報が交換されている。長い地球の歴史の過程で現在の気候の状況やこれからの気温の変化の速度を決定するには、まだ情報が不十分だが、この 100 年間、大気が温室効果ガスで徐々に暖まってきていることは確かである。二酸化炭素の濃度が工業化以前の値の二倍に達する年に近づいており、もはや、それまでの 1/4

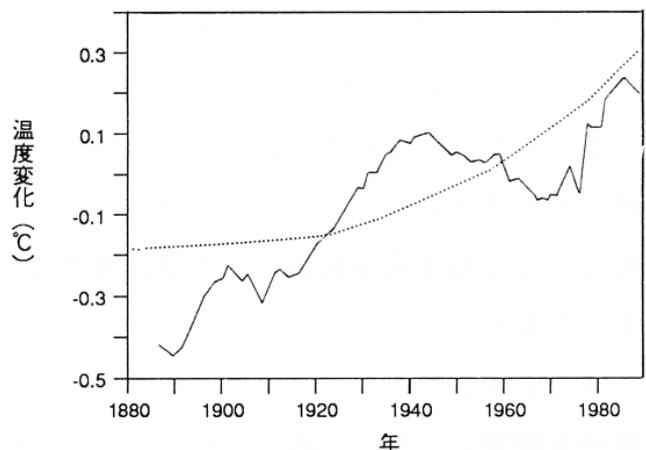


図 1 近年の地球の実測平均気温の変化 (実線) と温室効果による温暖化の影響の予告 (点線)。実測値の多くは北半球のもの。(Seitz, 1989 より)

が経過したといわれている。二酸化炭素の濃度が二倍になれば、地球の気温は 1.5~4.5 上がると推定されるから、現在は既に 0.5~1.5 上昇していることになる。

図 1 は、実際に北半球でこの 100 年間に全体として気温が 0.5 上昇したことを示している。しかし、変動の傾向は一定ではない。緑地の減少や人工的な排熱によって、大都市では局所的な高温が記録されている。例えば 30 年前の東京の最低気温の平均値は 10.8 であったのが、いまでは 12.0 に上昇した。東京ばかりでなく、札幌や大阪でも最低気温の上昇が著しい。しかし、これをもって地球の温暖化が進行していると言っては困る。なぜなら周辺の地域では横ばいか、むしろ下がっているからだ。

もっとやっかいなのは、この 0.5 の上昇の半分以上が、50 年前までに、つまり工業化初期の、まだ温室効果ガスが貯まる前に起きていることである。数年前まで、この温度上昇は西暦 1400~1880 年に終了した小氷期からの回復の結果とされていた。だから、この上昇をどのように解釈するか、まだ、はっきりした結論は得られていない。

一般に気温の変化は水温の変化に影響するから、海の温度も 100 年で 0.5 は上昇したであろうと言う考えが多い。しかし、変化について考える前に、測定の方法が近年大きく変わったことも考える必要があるだろう。今では多くの精度の高い自記記録計があり、人工衛星による観測も行われているが、私が大学院生の頃は温度計の目盛を読むのが普通であ

った。だから年に平均約 0.005 程度の変化が本物で、正確に測定できたかどうかは疑わしい。

1988 年 12 月から 1989 年 2 月までの間の海面の水温を過去 30 年の平均値と比較した世界気象機構 (WMO) の気象報告によると、この間に上昇・下降が 2 以上もあったのは、エルニーニョの影響が明らかな太平洋赤道域を除いて、ほんの小さな水域に限られている。水温の変動は気温のそれより安定しているから、気候の長期変動をとらえるには好都合である。1980 年代の中旬ごろに表面水温が年間 0.1 づつ上昇したという報告があるが、このような変化が起こった水域はモデル計算で予想されるところとは違って、しかもずっと範囲が小さかった。シミュレーションでは水温の変動は高緯度地方ほど顕著な筈であるが、実測では、その傾向はみられていない。

このように、現在のところは温室効果ガスによると思われる水温の上昇は確認されておらず、上昇はあっても別の要因によるものといえる。そうではあっても、しかしながら、地球の温暖化が海に影響をおよぼさない筈はない。私達科学者は叡智を集めて、その影響や海洋環境の変化の原因と過程を探らねばならない。

2. 水位上昇の幅

今から約 1 万年前に終わった氷河時代の間、海面は現在のそれより 100m 以上も低かった。サンゴ礁の発達を、この事実に基づいて説明したダーウィンの考えはあまりにも有名である。それでは、これから

温暖化がさらに進んで極地の氷が溶け出すとどうなるのだろう。南極西部の氷床が溶けるだけでも、世界の水位が約 5m 上昇するだろう、という推定が私達を驚かせたのは記憶に新しい。

南極のこの氷床は、しかしながら大部分が海面より下にあるから、そう速く溶けて流れ出すとは考えにくい。また、水温が上昇すれば蒸発量や降水量が増す筈である。雨は氷床の上にも降るから氷は厚くなる。だから氷床が溶けることで水位が上昇するか下降するかは、はっきりわからない。今のところ氷床の増減が水位の変化におよぼす影響は年間 ±1cm 程度とみられている。ごく最近の推定では、水位の上昇は当初予想された値より低く、西暦 2100 年に 60cm 位高くなるという説が多い (図 2)。

3. 水位を変動させるもの

相対的な水位の平均値を RMSL とよぶが、その変動幅は現在年間 1mm 位である。その変動に關与する要因には次 4 つがある。

- 1) 極地の氷床や山岳氷河の溶解、あるいは海水の膨張や収縮がもたらす海水容積の変化。
- 2) 沿岸の風や河川水の動きと外洋の大規模な風場の変化がもたらす海面の傾き。
- 3) 侵食や堆積物の圧縮、地下水の汲み上げ、あるいは沿岸域の地殻変動に伴う沿岸陸地の低下。
- 4) 大洋底の深さやジオイドの変動。

この内 1 と 4 は地球規模の水位の変動をもたらす可能性があるが、他はおおむね局所的な影響にとど

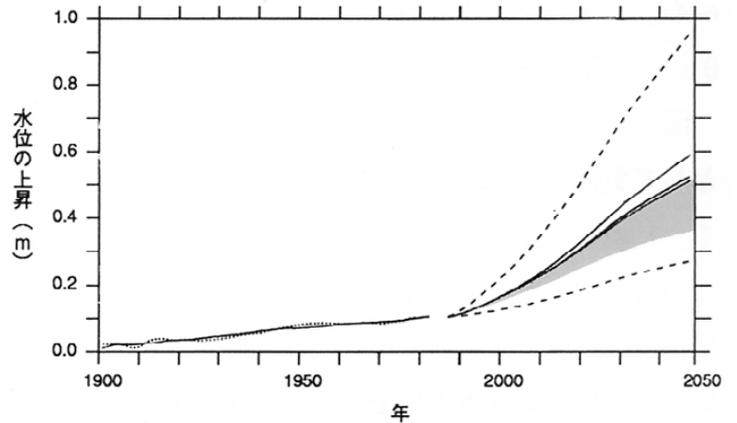


図 2 全地球の水位の変動。実測値と推定値。1990 年以後はいくつかの推定値と最大・最小値 (点線) を示す。(Unesco, 1990 より)

まる。従って RMSL の変化は場所によって異なるが、1965 年頃から多くの地域で上昇傾向にあることは注目してよい(図 3)。

ところで、私達は生物学的時間と地質学的時間の違いを知っていながら、それを感覚で把握しようとすると、しばしば混乱してしまう。地球の環境で短いとか速いとかいわれる変化の多くは地質学的時間での話であって、人間一人が生きている間というような短いスケールの話ではない。図 1 に示したように、たしかに 1970 年代後半から 80 年代にかけての地球は暖かかった。しかし、地質学的時間でみれば、地球は常に大きいスケールで変動を繰り返しているから、数十年位の間動きは短い振幅の一部に過ぎないのかも知れない。

過去数千年の間に、氷河は次第に少なくなり、その分の約 5×10^{19} kg の氷が主に北半球の海に流れ込んだと考えられる。海の面積は南半球の方が大きいから、地球の重心は陸地の多い北側に偏っている。だから北半球の海水が増えると海底の水圧が大き

なり、陸地では氷の溶けた場所だけ圧力が小さくなる。その結果ひずみがマントルに伝わり、マントルは氷が溶けた陸地側に流れて、その部分を押し上げる。海のほうでは、マントルが外側に移動するので海底が下がり、深くなる。Peltier and Tushingham (1989) の計算では、この動きで北米東岸ではこの半世紀の間に年間 2.4mm の海面上昇があったという。彼らはこれを温室効果が両極とグリーンランドの氷を溶かしたことによると考えたが、これが正しいとすれば、100 年後には北米東岸の水位は 2m 程高くなる。これは現在考えられている海面の上昇速度のほぼ最大値である。

これとは別に、水位がプレートの動きで変動するという考えがある。一つのプレートが別のプレートの下にもぐり込むところでは、たった 100km 位の間に陸地の押し上げと沈み込みが発生し、海面の高さは年間 2mm 位変化する。この現象は地質学的時間からみれば短い間の出来事だが、生物学的には永続的である。

次に、地殻の変動によらない水位の変化を考えてみよう。

大地は地層の間から水分が減ると、だんだんしまって硬くなる。その結果、比重が増すから地面は沈み、相対的に水位が上昇する。ベニスやバンコクの地盤沈下は地下水の汲み上げによる典型的な地盤沈下の例だが、石油の採掘でも同じことがおきる。バンコクの場合、水位は温室効果による推定上昇速度をはるかに越える規模で上昇し、西暦 2050 年には陸地は現在より 2m 以上も沈むと予想されている。

人為的な水位上昇は砂防ダムや灌漑施設などの土木工事によってもおきている。こうした工事によって海への土砂の供給が少なくなり、侵食にさらされた海岸は沈下しはじめる。アスワンハイダムの建設

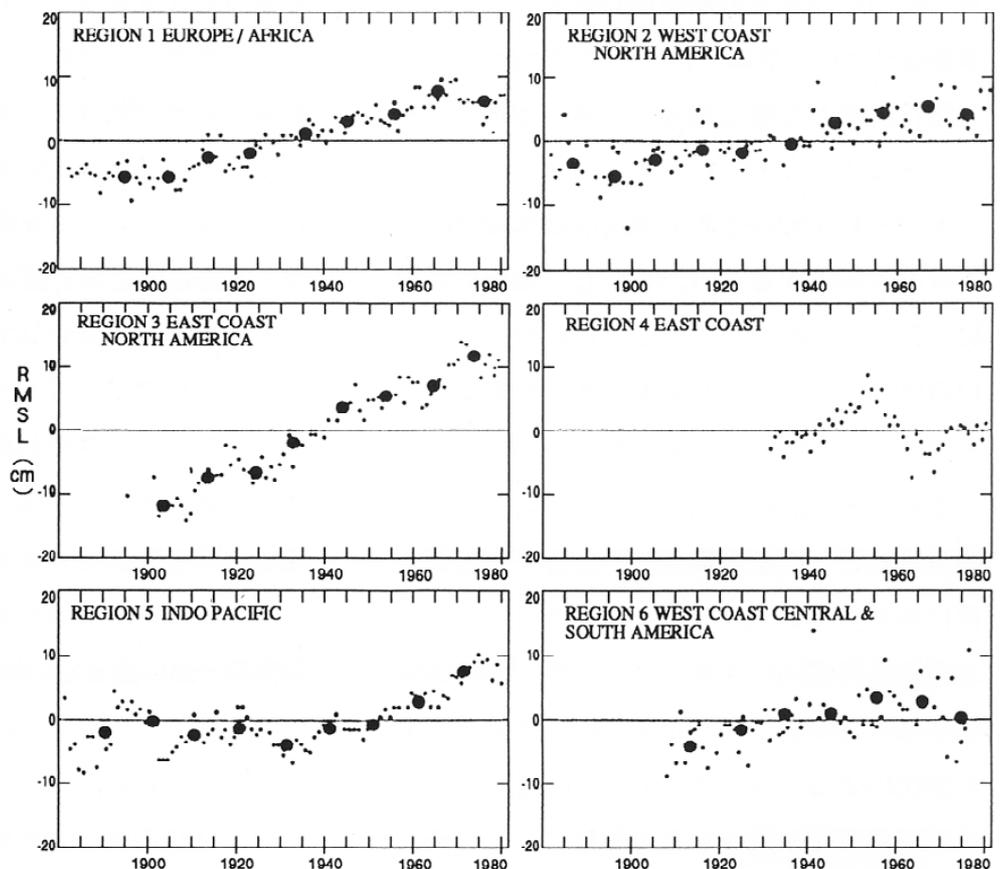


図3 潮位計で観測された各地の平均水位 (R S M L) の近年の変化。大きい黒点は5年間の平均値を示す。(Unesco, 1990 より)

に伴うナイル河口の地形の急変は最も有名な例である。

海水が暖まったり、塩分が低下したりすると、その部分の水の膨張のために水位が上昇する。これをステリック(立体)効果とよぶが、測定例も観測点も少ない現状では、それによる長期変動を正確に予想するまでには至っていない。

海水の膨張率は温度と圧力によって変わるが、概算では1ジュールの熱量で1トンの水を約 2.4×10^{-7} あたためることができるから、1㎡あたり1ワットの熱が加わると、ステリック効果による水位の上昇は年間1.5mmになる。二酸化炭素が二倍に増えたとき、水面1㎡あたり3~5ワットの熱が加わると考えられているが、それでも水位の上昇速度は年間数センチメートルにすぎない。しかし、海水の循環にはまだよくわかっていないことが少なくないので、ステリック効果が大きく影響することはないと言い切るのはちょっと不安だ。

これまでの説明で、多くの歯切れの悪さは残るけれど、温室効果ガスの影響が水位の上昇にまだ直接およんでいないこと、しかし、水位は上昇傾向にあること、また、水位の変動は様々な要因、即ち地殻の動きや海流などの変化によって地球規模で、また陸上の治水工事や都市化や洪水などの影響によって局所的におこっていることが明らかになった。従って、私達には水位の変動を正確に判定し、その原因を特定することが重要である。

4. これからの問題

もし、水位が100年間で1~2mも上昇したら何が起きるか、熱帯・亜熱帯の沿岸で考えてみよう。

第一の心配は、この地域に、多くの人口をかかえ経済問題で苦しむ発展途上国が多いことである。ここには、バングラデシュやキリバスで代表されるように、水位の上昇に対処する技術や資本を持たない人々が河口の低地や低いサンゴ礁の島に多く住んでいる。海面の高さは風や潮汐の作用で日常絶え間なく変化しているから、長い時間の僅かな真の上昇に気づく人々は少ないかも知れない。そして対策が遅れている間に、海面の上昇が津波や高潮や洪水と結びついた時、瞬時に大災害をもたらすことが考えられる。ちなみに低緯度地方では、この100年間に水位の上昇はあるが、下降はほとんど観測されていない。

海岸の植生の変化は用意に考えられる。低地の陸上植物のいくつかは死に、塩湿性植物帯やマングローブ樹林帯の陸側への移動が顕著になるであろう。ある場所では砂の移動と補給のバランスがくずれて、砂浜が急速に失われ、波による侵食が大きくなるかもしれない。沿岸水域での基礎生産力が上昇するか下降するかは、まだ予想できる段階ではないが、浸漬面積が大きくなるとアマモ場の生育やクルマエビ類の資源量が増えるという考えもある。サンゴ礁がどうなるのかについて述べられた報告にはまだ接していない。しかし、年間数ミリメートル程度の推移の上昇ならば、サンゴの成長速度はこれを十分カバーする能力を持っている。

海水や汽水のしみ出しや地下水への混入が住民の生活に悪影響を与えることは間違いない。殊に、限られた水に頼って暮らしている島嶼国の人々にとって、淡水の供給は大問題になろうし、沿岸の地力の劣化から農業生産にも影響がおよぶだろう。ここまで書いて、数年前訪ねたインド洋の宝石とよばれるモルジブの島びと達の生活が思いうかんだ。塩分が高く栄養の低いサンゴ砂まじりの小さな畑で、彼らは主食のタロイモを大切に育てていた。芋も葉も背長が悪く、他所で見たものとは比べものにならない程、小さかった。海面の上層はこの島びと達の歴史を根こそぎ変えてしまうだろう。

地球の問題は人類が解決しなければならない。Mercer (1978)、Hoffman ら (1983)、Houghton and Woodwell (1989) 等の論文が世間に警告を与えた地球温暖化による海面上昇の恐怖は、科学者の判断からは一応の落ち着きを得たように思う。しかし、結論はまだ得られていない。多くのあいまいさの原因は科学的調査の不十分さ、殊に長期にわたる観測資料の不足にある。私達が地球の診断をはじめたのはほんの100年位であり、46億年という地球誕生以来の気の遠くなるような歴史を考えると、手元のデータは未来を正確に予想するためには、あまりにも少なすぎる。

ともあれ、地球の温暖化と海面上昇の問題が広く世間の注意を喚起し、環境の保全への人々の関心が増したことはよいことであった。ずさんな開発とエネルギーの消費によって、森林を減少させ、赤土を

流してエメラルドグリーンの海を失うというような沖縄の今日的状況が、やがては地球全体の環境を損なう結果につながることを、みんなが知りはじめた。環境について考えることが、今後、正確で連続的な地球観測計画の推進や国際的な取組み、そしてそのための財政的支援に結びつけば好ましい。そうでなければ、傷みはじめた地球を救う道はない。

引用文献

- Hoffman, J. S., Keyes and J. G. Titus. 1983. Projecting future sea level rise : Methodology, estimates to the year 2100, and research needs. U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C., U.S.A. EPA230-09-007, 121pp.
- Houghton, R. A. and G. M. Woodwell. 1989. Global climatic change. *Scientific American*, 260 (4), 36-47.
- Mercer, J.H. 1978. West Antarctic ice sheet and CO₂ greenhouse effect : a threat of disaster. *Nature*, 271, 321-325.
- Peltier, W. R. and A. M. Tushingham. 1989. Global sea-level rise and the greenhouse effect : might they be connected? *Science*, 244, 806-810.
- Seitz, F., R. Jastrow and W. A. Nierenberg. 1989. Scientific perspectives on the greenhouse problem. George C. Marshall Institute, Washington, D. C., U. S. A. 37pp.
- UNESCO. 1990. Relative sea-level change: a critical evaluation. Unesco (COMAR) Working Group on mean sea-level rise and its influence on the coastal zone. Unesco Report in Marine Science, 54, 22pp.