

地球温暖化への再考

SATO, Norihito / 佐藤, 典人

(出版者 / Publisher)

法政大学文学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Bulletin of Faculty of Letters, Hosei University / 法政大学文学部紀要

(巻 / Volume)

49

(開始ページ / Start Page)

33

(終了ページ / End Page)

64

(発行年 / Year)

2004-03-02

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003041>

地球温暖化への再考

佐藤典人

I. はじめに

かねがね経験的ながら、四季が明瞭な中緯度に位置するはずの日本の季節推移のずれが気になっていた。果たせるかな2003年の日本の夏季はこの齟齬が巷間口にされるほど顕著であった。すなわち、7月末から8月にかけて太平洋高気圧の北方への張り出しが弱い一方、オホーツク海高気圧の勢力が持続したため、梅雨明けが判然としなかった。それに起因し例年に比べて低温や日照不足が北日本や東日本を中心に顕在化した。結果的に農作物に多大な影響が及んだことは申すまでもない。がしかし、9月に入ったら一転してこれが連日30℃を超える厳しい暑さとなったため、月遅れの盛夏の到来を実感させ、加えて台風の接近に伴う暖湿気流の流入もこれに相乗的な効果を招来する羽目となった。まさに遅すぎた夏の訪れであった。

いわゆるこのような「冷夏」は、気象庁がひとたび梅雨明け宣言をした後、その撤回を余儀なくされて話題に上ったあの1993年の夏以来⁽¹⁾およそ10年ぶりである。思い起こせば、この1993年には台風の日本への接近・襲来も多く⁽²⁾、不運にも鹿児島地方は甚大な被害を被った。

冬季や夏季のこのような季節推移のずれは、本来の寒さ・暑さが平年的な時期に現出しない結果ゆえの見かけ上の姿とも言える。2003年夏季に関して申せば、亜熱帯高気圧が増強しなかった半面、偏西風のブロッキング現象の発現が北の冷涼湿潤な高気圧を維持し、このような状況を招いたと換言できる。言うならば、その誘因は別にして大気の循環パターンに乱れが生じた⁽³⁾からに他な

らない。したがって日本と逆に例年以上に暑かったり、小雨で旱魃に見舞われた地域も世界にはあつてしかるべきである。

事実、2003年夏は日本で冷涼の一方、中国南部やバングラデシュ、インド、それにスリランカなどからは多雨の被害が報じられ、広域的な天候不順ぶりを伺わせた。さらに眼をグローバルな視野で世界へと転ずれば、欧州南部は夏前から高温の傾向を示し、スイスのジュネーブ（Genève）では6月の月平均気温が過去250年間で最高に達した⁽⁴⁾。さらにその余波も手伝ってかスイス南東部のグロノ（Grono）では、41.5℃（8月11日）と同国始まって以来の日最高気温を観測するおまけまでついた。ヨーロッパアルプスを抱える山間のスイスに限らず、フランス、イタリア、それに地中海を挟んで対岸のチュニジアなどでもこれと大差のない酷暑となり、ついには暑さで犠牲者を出すに至った⁽⁵⁾。喜色満面だったのはおどろ農家とワイン業者だけという冗談とも、本音ともつかない

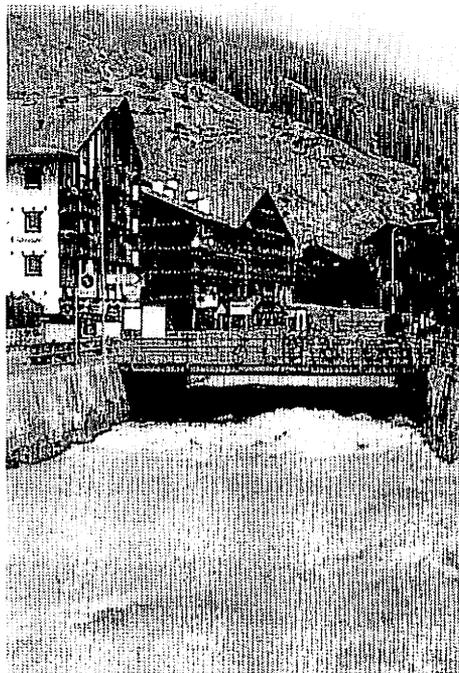


写真1 スイス南西部・ツェルマットの街を貫流する融氷水で増水したマッターフィスバ川。[2003年8月撮影]

話題が一時マスコミを攫ったのは、わずか半年前のことである。またこの欧州が前年の2002年夏に、100年ぶりの大洪水に見舞われたのも未だ記憶に新しい。さらに北米の太平洋岸でも2003年夏は近年にない好天の連続で、山火事が頻発したと聞く。

ところでこのような高温、とりわけスイスやフランスでの記録的な暑さは、ヨーロッパアルプスに懸かる山岳氷河の融解に当然ながら波及しないわけには行かない。それだけでなく近年、広く耳目を集めているいわゆる地球温暖化の影響で、世界的に氷河の消長が懸念されている折でもある。

案にたがわず、スイス南西部の

アルペンリゾートを代表するツェルマット (Zermatt) の街を貫流するマッターフィスパ (Matter Vispa) 川が、2003年夏には例年にもまして増水し、しかも氷河起源特有の本来のミルク色が濃い鼠色へと変じた (写真1参照)。ローヌ (Rhône) 川の源流に相当するこの川は、マッターホルン (Matterhorn : 4477m) やモンテ・ローザ (Monte Rosa : 4634m) の頂きに発するウンターテオドゥル (Unterer Theodul), ゴルナー (Gorner), フィンデルン (Findeln) などの氷河の融氷水を集めて流下する。しかるにマッターフィスパ川の2003年夏の流況からこれら氷河の融解・消長傾向を瞥見できる。

一方、同じスイスのベルナーオーバーランド (Bernern-Oberland) 地方に在る名峰ユングフラウ (Jungfrau : 4158m) にその源を発するヨーロッパ最長 (約24km) 氷河・アレッチ (Aletsch)⁶⁾ の近年の融氷、後退も地元では囁かれている (写真2参照)。

このような2003年夏にも表面化した世界的な天候不順の類いを、異常気象という名のもとに安易に語られ、加えてそれらすべての根源が地球温暖化現象に帰結するような受け止め方にはいささか疑問が残る。そこでこの地球温暖化現象に展望を交えつつ、若干の考量を試みる事が拙稿の狙いである。



写真2 世界遺産ながらもその後退が懸念されているヨーロッパ最大のアレッチ氷河。
[2003年8月撮影]

Ⅱ. 地球温暖化のシナリオ

今、手元に一冊の著書がある。これはつい先頃、欧米でベストセラーになった英訳書⁽⁷⁾だが、日本ではほとんど話題にもされていない書物である。しかし出版直後から欧米で、この本の内容が大変な論議を呼んだのは事実である。書名に“The Skeptical Environmentalist”と記されたこの書籍は、巻末に列挙された2930件余りの注記や文献を含み、全6章から構成されている大著である。著者はデンマークのロンボグ（B.Lomborg）という若手の統計学者である。なぜ統計学者が地球環境問題を言説するかは別にして、その内容は人口や食料の問題に始まり、大気汚染や水質汚濁、エネルギー、生物の多様性、それに地球温暖化など極めて多岐にわたっている。

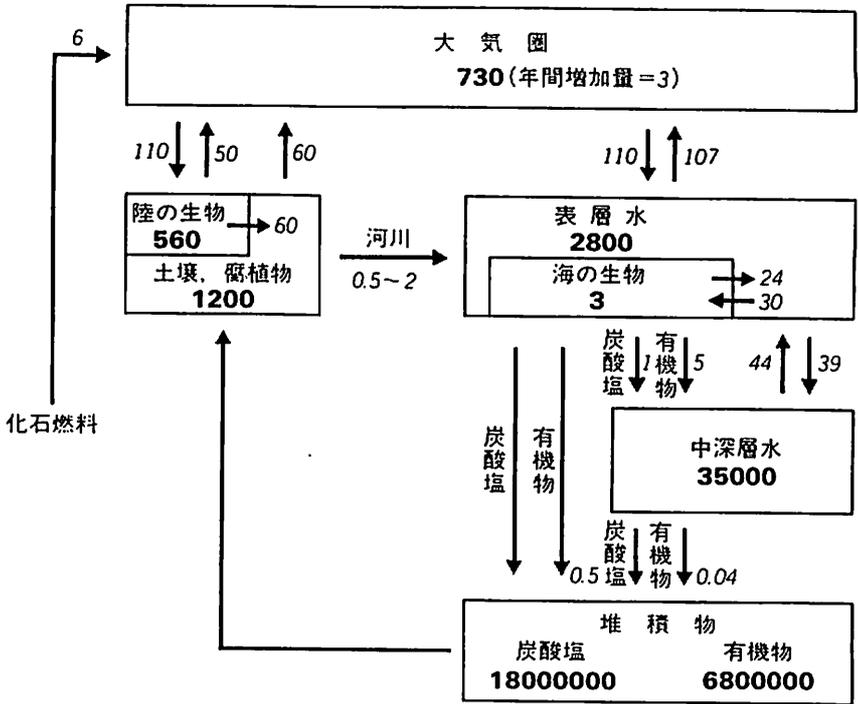
この書物が大きな波紋を呼んだのは、それこそこの書名から察知できるように“地球の環境問題は今日、世界的に喧しく騒がれているほど深刻な事柄なのだろうか？”という一つの懐疑的な問題提起を試み、この環境問題に一石を投じたからに他ならない。もっともここで彼の論点を詳述するのが本稿の主旨ではないので、これ以上の深入りは避けたい。が一方で、地球温暖化一つを取り上げてみても未だ不確実な要素の多いことも否定できず、それだけに現状では様々な観点からの主張が交錯する余地は大いにあり得る。

そもそもここで扱う地球温暖化の問題は、1983年に合衆国環境保護局が「大気中の炭酸ガスで地球が温暖化する」と銘打った報告書を公表したのに端を発している。以来、多くのマスコミは“地球上の氷河が解けて、いわゆるゼロメートル地帯は水没する”などと報じ⁽⁸⁾、にわかに世の危機感を煽る記事が紙上を飾った。その後、やや沈静化したかに思えたこの話題は、1988年に北米大陸を襲った大旱魃を契機に再び社会問題として浮上した。しかも情勢はそれに留まらず政治問題にまで進展したがため、世界気象機関（WMO）などはIPCC⁽⁹⁾（＝気候変動に関する政府間パネル）を発足させるに至った。しかも1996年のIPCCによる報告書には、2100年末に地球の平均気温が約2～3℃、海面水位は50cmほど、その時点よりも上昇すると記載されている。

釈迦に説法かと思われるが、敢えてこの地球温暖化のシナリオをここで再確

認しておきたい。地球をはじめとする太陽系の惑星は、太陽から短波放射（＝紫外線）を受けつつ惑星自身もその表面温度に応じた波長の電磁波、すなわち長波（＝赤外線）を宇宙空間に放出している。太陽系個々の惑星表面の温度は自ずと太陽との距離的遠近さを反映して決定される。結果として、比較惑星学的には極めて偶然に、地球表面は気体・液体・固体のいずれの相をも水分がとりうる温度環境を保持している。少なくとも地球に関しては1年を一つの時間単位として、この短波と長波のエネルギー収支を算定すれば、量的に均衡し、放射平衡が成り立っている。その際に地球表面から宇宙空間に放出される長波、つまり赤外線の量は -18°C に相当する。しかるに地球に大気がまったく存在しないと仮定すれば、地表面温度はこの -18°C を呈するはずで、この温度条件下だと海水は凍結するし、人間の居住とてかなり難しい。でも現実の地表面温度は $+15^{\circ}\text{C}$ 前後ゆえ、 33°C も高い温度となっている。この事実から大気は長波放射の吸収体を含有していると言える。水蒸気を筆頭に、その典型として挙げられるのが、いわゆる温室効果ガスと称される二酸化炭素（これ以降、 CO_2 と表記）、メタン、フロンなどである。だから今日、我々人間が地球上でおおむね居住可能な温度環境に在ること自体、すでに少なからず温室効果の恩恵に与っていると説明できる。

ところが19世紀に入って本格化した欧州での産業革命は、内燃機関の発明を通じてエネルギー資源としての化石燃料の有用性を明示した。それ以降、本来ならば地表面近傍における通常の炭素循環系（第1図参照）に組み込まれないはずの石炭や石油を我々は地中から掘り出し、今日まで大量に消費してきた。その燃焼に伴う CO_2 は自ずと大気中に排出されてきた。よって大気中の CO_2 濃度の経年変化は産業革命の浸透に歩調を合わせて急増しており、だからこその急昇が原因特定の何よりの証拠と指摘されもした。そればかりか CO_2 濃度の増大は更なる温室効果を助長するため、地表面温度は徐々に上がり、最終的には気候・気象現象へ何らかの影響が現れるはずである。その実例が豪雨や旱魃などの天候不順の多発なのではないだろうか。またさらに地球大気の昇温は融氷作用と連動し、とりわけ量的に影響力の大きい南極大陸やグリーンランドの氷床の融解は、海面上昇に直結すると危惧される。してみれば、標高の低い島嶼、なかんずく珊瑚礁起源の低平な島々は水没の危機に直面する一大事となり、



第1図 地球表面近傍における炭素の地球化学的循環とその量。

(図中の単位は、太字の存在量が 10^{15}g 、斜字体の移動量が $10^{15}\text{g}/\text{年}$ を示す。角括弧: 1989による)。

場合によってはこれが国家の存続を危うくする大問題¹⁰⁾へと連鎖し、非常事態ではないのか。さあ、大変だ！どうする？

多かれ少なかれ、これと似通った説明が地球温暖化の問題と仕組みに対する推論含みの一連のシナリオであろう。ここで敢えて“推論”としたのは、他にもないこの一連の説明には、いくつかの重要なながらも未確定で不明な要素が介在しているからである。

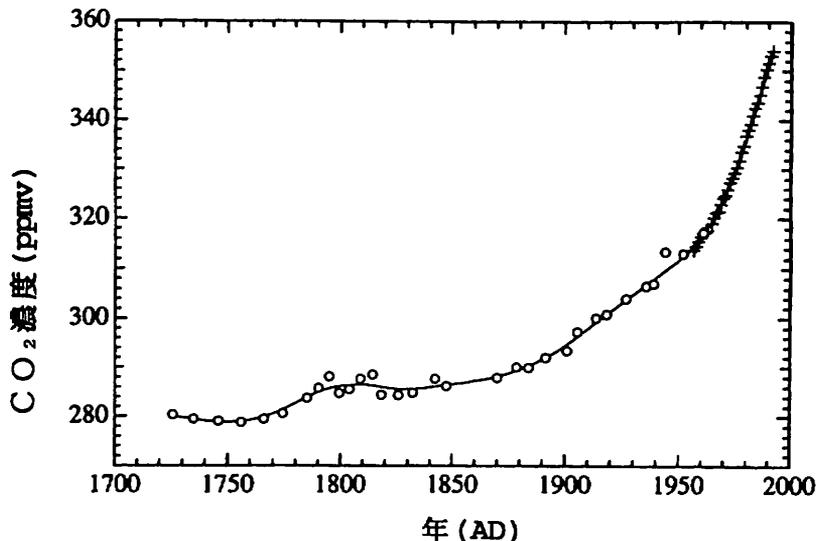
また我々人間の活動に伴う CO_2 の大気中への排出が、酸性雨の原因として指弾されている NO_x や SO_x と同一視され、その排出削減、ないし停止こそが解決の大前提であり、あたかもそれで事足りるかの如く受容されているきらいがある。果たしてそうだろうか。確かに雨水の酸性化は、その根源とされている

NO_xやSO_xの排出停止, つまりクリーンエネルギー車への転換や脱硫装置設置の義務化と併行し, 降水現象による汚染質の洗浄, 除去を通じて解消され, その点で大気汚染の問題と言えなくもない。がしかし, CO₂濃度の増大に伴う地球温暖化問題は, すでにこれまで排出されたCO₂が大気の放射収支をはじめとする地球大気のシステムを次第に変容させ, そこから醸成されるであろう新たなシステムがその後の地球大気を制御する可能性と連結する点で, 光化学スモッグや酸性雨などの単なる大気汚染問題とは根本的に違う⁽¹¹⁾一面を内包している。もっともこの事柄は, 新システム確立へ伝播する応答の時間的遅速を別にすれば, CO₂でなくとも人間の存在とその活動から発生する大気への影響物質の蓄積によっても生起しうる性格を帯びている。

Ⅲ. CO₂濃度の推移と地球温暖化

1. CO₂濃度変化の足跡

地球大気のCO₂濃度の測定は, 日本はもとより世界各地で実施されている。しかしいわゆる先進工業国の多くが位置する北半球中緯度や森林消失が叫ばれている低緯度でのその測定は, あまりに排出源に近接しているため測定値の代表性という点で疑義を唱えるむきもある。しかるに1958年の国際地球観測年(IGY)以降, 太平洋のほぼ中央に浮かぶハワイ島のマウナロア(Mauna Loa)山(4169m)で測った値を援用することが多い。それに依拠すれば, 産業革命前に280ppmvほどであったCO₂濃度が1958年に315ppmvとなり, 1990年時点で354ppmvに, そして最近では360ppmvを超えている。南極大陸での観測結果(第2図)もこれと同調し, 近年の急増ぶりがやはり極端である。結果的に日本上空の大気でもほぼこの濃度と一致していた(田中: 1989, T.Nakazawa et al., : 1993. 第3図)。これは年1.2~1.5ppmv程度の増加を教示し, 年間の化石燃料消費量の6割相当を説明している。ちなみに1958年~1990年の32年間に放出されたCO₂量は, およそ138億ギガtと推計され, これは濃度に換算して65ppmvと算定されるものの, 現実には前述のように39ppmv(=354-315ppmv), すなわち約60%の増加に留まっている。かくしてこの差分40%の行方がことさら注目される。

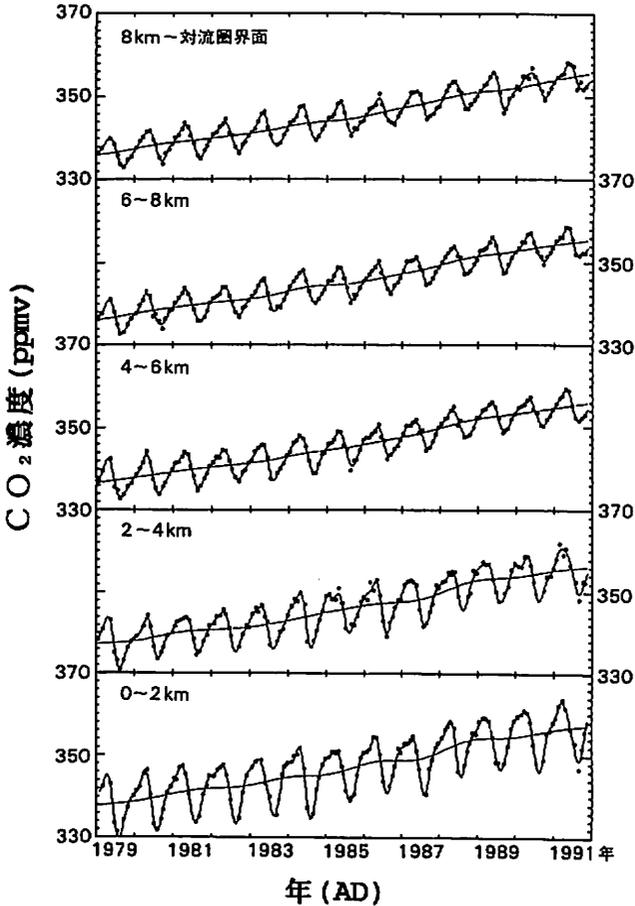


第2図 南極大陸沿岸部の地点で掘削された氷床コアから得られた過去250年間のCO₂濃度の変動 [図中の白丸].

(なお、図中の十字印は、南極点で1958年から実施している大気中のCO₂濃度の観測値である。青木：2003による)。

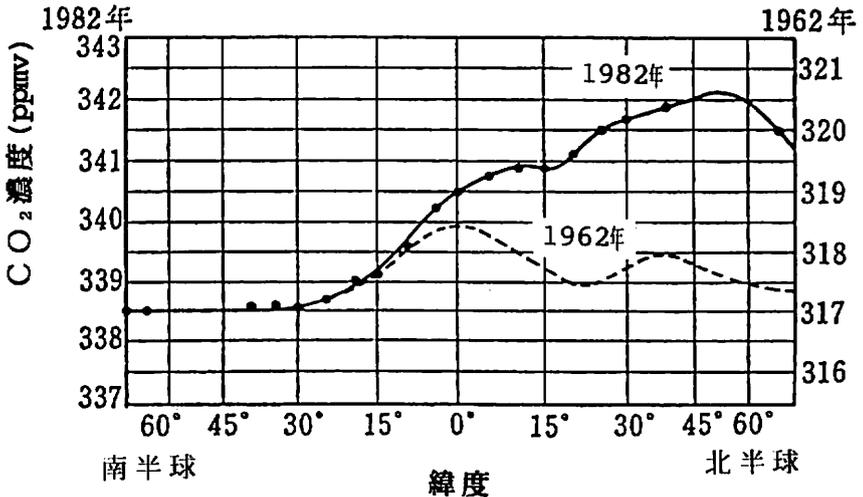
また緯度圏別に特定の年度間におけるCO₂濃度の変化に着目すると(第4図)、予想に違わず北半球中緯度で濃度は上昇している。その反面、南半球ではそれほど大きく変化していない。この事実は、CO₂濃度増大の主要原因が北半球中緯度に集中する先進諸国の産業活動に求められることを示唆している。

ところで地球大気における占有率が1%にも満たないCO₂濃度の増減が、地球大気の温度変化をいかに説明できるのだろうか。幸いにも南極大陸やグリーンランドを覆っている氷床のボーリングによって採取された深度別氷柱コアを融解させ、そこに封入されていた大気を検出して氷床形成当時の大気成分が分析可能となった。確かにその結果はCO₂濃度の増減と気温の上下動の間の正比例関係を物語っている(例えば、第5図)。つまり両者の因果関係の特定は別にしても、お互いがほぼ無矛盾的に変動している。またさらに一方的に昇温の道を辿ったり、止め処もない気温降下に陥ることもせず、ある振幅の中で周期性を伺わせる上下動の反復も図から読み取れる。これに加えて最近100年弱



第3図 日本上空の対流圏各高度別における大気中のCO₂濃度変化。
(Nakazawa et al. : 1993, Ⅲ中 : 1989による)。

のデータながら、気温と海水温の対応もおおむね整合的である。すなわち過去100年間に地球全体の地上気温の上昇量は約0.3~0.6℃で、それに呼応した結果と読める海面水位の上昇は10~20cmほどと説明されている (IPCC報告書 : 1991)。これらからCO₂濃度、気温、および海水温の3者間には、因果関係の厳密な作用方向やその順序、およびタイムラグは不明ながらも、ほぼ一致する対応関係の存在を垣間見れる。



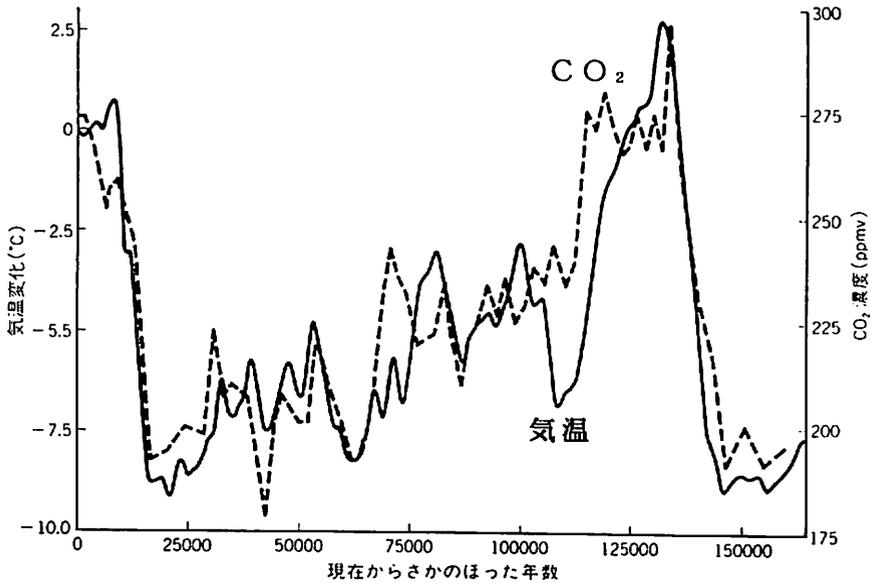
第4図 CO₂濃度の年平均緯度分布。

(ただし、図中の点線は1962年の値で右側の縦軸がその目盛り、実線は1982年の値で左側の縦軸がその目盛りを各々示している。高橋・岡本：1987による)。

しかしここで第5図を細見すると、近年のような高いCO₂濃度は、直近でおよそ13万年前にも出現している。この当時、地球上で化石燃料が使用されていないことは言わずもがなである。そうならば現代のような化石燃料に依拠した大量生産・大量消費・大量廃棄に象徴される人間活動が始動せずとも、地球大気中のCO₂濃度が今日並みに増大する可能性を予め地球自身は保有していると言える。これは明らかに人間活動への応答とは異なる次元で、地球大気中の温度とCO₂濃度との対応を規定している別の制御・調節機構の存在を暗示させる。つまりここには人為的影響とは無縁の、地球本来の自然変動とも表現できる気温変化が伺われる。

2. 近年のCO₂濃度急増の影響

前項で指摘したように地球大気中のCO₂濃度と温度との間には、そのいずれが原因で、どちらが結果かを別にすれば調和的な関係がある。また産業革命以後のCO₂濃度の急増も事実である。よってこのような急増は、過去の気温との整合性から推断して、少なからず地球大気中の昇温傾向を後押しすると思われる。



第5図 南極ポストーク基地での氷床コアから得られた気温【図中の実線】とCO₂濃度【図中の点線】との対応。

(なお、気温は南半球高緯度を代表しており、全球平均に試算し直すと気温変化の振幅は約半分になる。田中：1989による)。

その際、容易に識別できるのは地球上の氷河の動向であろう。

前掲のIPCCによる報告書でも“19世紀後半から氷河の消長、とりわけ山岳氷河のそれが目に付く”と言及している。この地球上の氷河面積はおよそ1600万km²と言われており (F. Wilhelm：1975)、そのほとんどはグリーンランドや南極大陸の氷床で占有されている。しかし、気温の上昇にいち早く反応するのは極地以外の氷河、つまり熱帯や温帯の山岳氷河である。実際、世界各地から報じられる氷河の動態を注視すると、極地以外の氷河の変動が多い。例えば、アラスカを代表する全長190kmに及ぶ巨大なベーリング (Bering) 氷河は、過去1世紀の間に10～12kmもその末端が後退し、およそ130km²の氷河が消失したと見積もられている。同じくアラスカのメンデンホール (Mendenhall) 氷河も今世紀に入って後退の一途を辿っている。だがアラスカの方の氷河が後退傾向を呈している傍らで、南部のハーバート (Harvard) 氷河やタク (Taku)

氷河は逆の前進傾向にあると言う (G. C. Wiles et al. : 1995 など)。

ヨーロッパアルプス最大の氷河であるアレッチ氷河 (写真2) は、観測開始の1850年以來後退を続けている⁽⁶⁾。けれども、アルプスの一部氷河では雪氷収支的にプラスと説明されているのも在り、全体的にはやや後退か、停滞気味と認識されている。世界的に見て氷河縮小の度合いが大きいのはヒマラヤや天山の氷河であり、それにカナダやパタゴニアなどの氷河が後続している。とくにモンスーンの吹送に絡み、夏季に降水の極大が現れるヒマラヤや中央アジアの氷河の消長が顕著⁽¹²⁾で、冬季に降水の多い地域の氷河の挙動とは趣きを異にしている。さらに近年、大きな関心を集めている ENSO (El Niño and Southern Oscillation) 現象との関わりから、NZ (ニュージーランド) 南島の温暖氷河⁽¹³⁾ (写真3) が、サザンアルプス山脈の東西で対照的な動きを示している⁽¹⁴⁾ (T.J.H. Chinn: 1995ほか) のは興味を呼ぶ。これに関してはいずれ稿を改めて詳細に



写真3 温暖化傾向に逆行し、近年前進へと転じている NZ 南島・西海岸のフランツヨセフ氷河。[1997年7月撮影]

報告したい (例えば、佐藤: 1999)。

しかしながら以上のような氷河の消長が、必ずしも気温上昇と一義的に対応するとは限らない。と言うのも温度上昇が多降水を招き、それ以前にも増して氷河を涵養する結果、氷河の成長や末端の前進を促す場合もあるからである。加えてまた“氷河サージ”と呼ばれる現象⁽¹⁵⁾もあり、氷河舌端の前進・後退のみで氷河の態様を説明しきれない側面もある。それでもなお、最近の世界各地における氷河の動向を概観すると (第1表参照)、一部の特異な地域を除き、多くの氷河が後退傾向にあるのは否めない。つまりこれは近年の気温上昇の兆候を説得的に語る

一つの事実と理解できる。ただし南極大陸やグリーンランドの氷床は、気温を典型とする気候変化へそれほど敏感に応答しているわけではない（若浜：1978）。ゆえに高緯度の氷床が気温変化へ反応するには、一段と長い時間を要

第1表 近年の世界各地における氷河の動向一覧（表下の欄外に参照した文献を明記している）。

地域	観測内容
北極とその周辺	過去30年間の氷河の体積は減少傾向。グリーンランドの東部と西部で急速に氷河が後退。スバルバル氷河の体積は減少。
アラスカ・カナダ	アラスカ湾に注ぐ氷河は後退傾向にある。ベーリング氷河は過去100年間に10～12km後退。
ヨーロッパ	アルプスでは、氷河の面積が1850年頃から30～40%縮小し、その体積は約50%減少した。その一方でアレッチ氷河やスカンジナビア半島の多くの氷河の最近の拡大で相殺され、過去30年間に関してはやや増加傾向にある。
中央アジア	1950年代から1980年代までに、氷河の約70%が後退し、15%ほどは前進し、その他はあまり変化していない。
熱帯山岳地域	氷河の後退が報じられているのは、エクアドル、ベネズエラ、ペルー、ニューギニア、東アフリカ（ケニアなど）である。
南米中・南部	ウプサラ氷河は過去60年間に約60m/年の割合で後退。過去40年間に南バタゴニア氷原の面積は約500km ² も縮小。ソレットやティンダルの氷河も縮小している一方で、ピオXI氷河の規模は拡大している。
ニュージーランド	多くの氷河が今世紀に後退し、タスマン氷河は約100m薄くなった。1980年代に入り西海岸の氷河の後退傾向が逆転して前進に転じている。
南極とその周辺	ドライバレーの氷河はとくに変化していない。南極半島の多くの氷河は後退傾向にある。周辺の島々の氷河も後退し、バード島の氷河は65%近く縮小した。

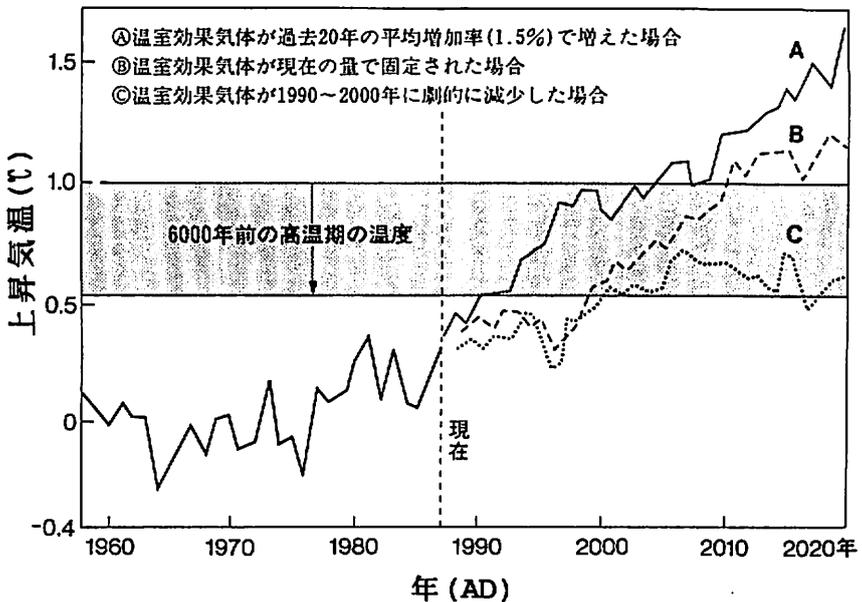
* C.Porter (1975), J.W.D.Hessell (1983), M.J.Salinger et al. (1983), F.B.Wood (1988), T.J.H.Chinn (1995), G.J.McCabe et al. (1995), G.C.Wiles et al. (1995), M.Aniya et al. (1997), M.B.Dyugerov et al. (1997), H.Rott et al. (1998), "Green-peace International" などによる。

することの現れと受け取れる。よって“地球温暖化＝気温上昇＝氷河融解＝海面上昇＝低地水没”と短絡的な想定をする場合の一つの陥穽がここに在る。

3. 温暖化のシミュレーション

ここでは将来的に果たしてどの程度のCO₂濃度の増大が、どれだけの気温上昇と海面水位変動を招来するののかについて考えたい。

この地球温暖化に伴う将来予測，すなわちシミュレーションには当然のことながらいくつかの前提事項が必要とされ，いわばこの仮定条件をもとに将来のシナリオが描画される。多々，耳にするのはハンセン（J.E.Hansen et al. : 1988）によって提示された1980年後半を起点にした将来予測である（第6図）。ここではA～Cのシナリオが想定されており，Aは温室効果ガスが直前20年間のトレンドのまま増大した場合，Bは温室効果ガスを基準とした1980年後半時点の排出量に固定した場合，そしてCは削減をより厳しくした場合の3通りである。



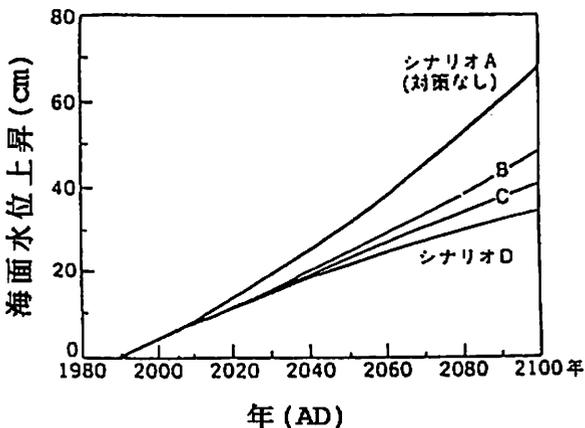
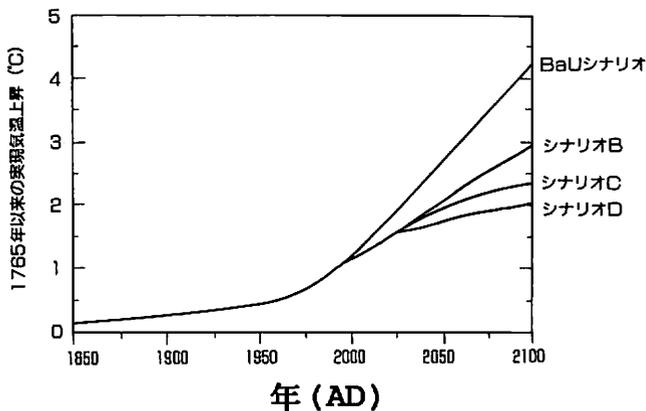
第6図 ハンセンのモデルによる気温変化予測。
 (J.E.Hansen et al. : 1988による)。

当然ながらAからCへと順次その昇温量は縮小する。

また時系列的な予測として、間々、例示されるのはIPCCの第一次評価報告書(1990)の内容である。それに拠れば、AからDまで4つのシナリオのもとに気温の将来的な変化予測が試算されている。第7図とともに説明を加えると、まず

シナリオA：21世紀末まで何も対策を講じない場合。

シナリオB：化石燃料のうちCO₂排出量の少ない天然ガスへ転換した場合。



第7図 IPCCによる全シナリオに対する気温変化予測 [上図] と海面水位変化予測 [下図]
(IPCC: 1990による).

シナリオC：2050年以降に再生可能なエネルギーや原子力エネルギーの利用を図り、温室効果ガス全体のCO₂濃度換算で2050年に現在の倍増となる場合。

シナリオD：2050年以降に再生可能なエネルギーや原子力エネルギーの利用を図り、温室効果ガス全体のCO₂濃度換算で2100年に現在の倍増となる場合。

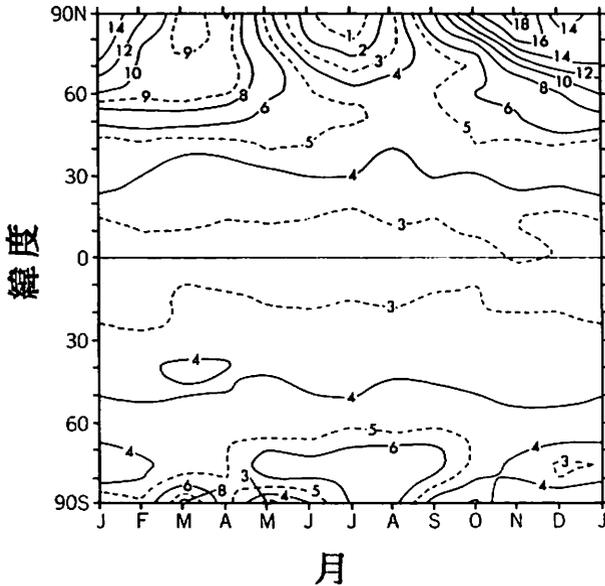
つまりシナリオA～Dの順に温室効果ガスの排出規制を厳しく講ずることになる。だから自ずと21世紀末時点での気温上昇量もシナリオAでもっとも高く、2000年をベースに対比すれば約3℃の昇温を示す一方、シナリオDになると同じく1℃程度の昇温と推定している。しかもほぼこれに比例して海面水位も上昇するとし、その値はシナリオAの65cmから同Dの35cmまでの変化幅と算定されている。これらの推計値は、既述した過去100年間の変化量と比較すれば、気温で約5倍、海面水位で同じく3倍ほどの上昇量となる。

これに対して米・科学アカデミー（NAS）などでは、CO₂濃度が現在より倍増した場合の最終的な昇温量は、 3.0 ± 1.5 ℃と予測している。また国際学術連合会議（ICSU）は雲の状態の変化を加味して、同じくその最終的な昇温量は 3.5 ± 2.0 ℃という値を提示している。

CO₂収支という別角度からのIPCC（1990）による計算では、CO₂の排出量71億t（＝化石燃料：55億t＋森林伐採：16億t）に対して、その吸収量は38億t（＝海洋：20億t＋植物の光合成：18億t）となっている。ゆえにその収支は＋33億tになる。これを濃度換算した上で算定すれば、 $+2.5 \sim 2.8$ ℃というもっとも確からしい最終昇温量に該当しているものの、この数値の客観性はいかほどであろうか。

ここまで述べた時系列的な気温や海面水位の将来予測と異なる視点からのシミュレーションとして、緯度と季節を縦横の座標にそれぞれ採った図がある（第8図）。これはCO₂濃度が現在の4倍に増えた場合をシミュレートしている。結果として、高緯度で、かつ冬季に昇温量が顕著であると識別でき、しかも南半球よりも北半球の高緯度でそれが著しい⁽¹⁶⁾。その半面、低緯度地域での昇温はさほど大きくない。

また温暖化傾向がこのまま推移した場合の現象面での影響予測にも関心が及



第8図 CO₂濃度を4倍に増加させた場合の緯度別・季節別の気温上昇推定値。

(図中の単位は℃である。真鍋：1985による)。

いは乾燥地域の拡大、変位などに因り穀物生産がやや落ち込むと推定されている。

また気温上昇に伴う海水の熱膨張や氷河の融解によって海面水位は上昇する。するとそれに付随して低湿な沿岸部では高潮や津波などの被害を被りやすくなる。世界的にはこの影響も多大であろう。事実、太平洋の島国・ツバルやキリバスでは潮の干満に伴う浸水域が以前よりも拡大し、ただでさえ狭隘な島々が海岸侵食の被害を受けて事態は日々深刻さを増している。

加えて気温上昇は海水温の昇温に反映するため、浅海底の珊瑚礁への悪影響を危ぶむ声もある。これは単に珊瑚礁の死滅に留まらず、海水中のCO₂吸収源としての可能性を消去することに繋がる。さらに海水温の上昇に伴って漁獲量の減少を懸念するむきもある。

しかしこの項で説明した数値的なシミュレーションや現象面での予測は、先に触れたように仮定条件、つまりいくつかのシナリオのもとに算定した結果で

ぶ。以下にそのいくつかを列記してみる。

まず、気温上昇によって寒冷地の耕作域がより高緯度側に拡大することである。これは一見、好ましいようにも思える。だが気温等に左右される果物の栽培適地も自ずと南北へのシフトを余儀なくされるであろうし、さらにその一方で熱帯や亜熱帯では高温化や気象災害、ある

ある。しかるにまずこれらのシナリオが現実と符節して履行されるか否かという懐疑を抱く。と言うのも1997年に合意をみたはずの『京都会議議定書』の遵守すら国家間の足並みが容易に揃わない⁽¹⁷⁾有り様だからである。かつまたシミュレーションで採用した項目個々の仮定内容や初期条件がどれほどの確なのかという難題もある。例えば、焼き畑や樹木伐採に因る植生の消失に関連し、植物の光合成作用で吸収されると見積もられる大気中のCO₂がどの程度左右されるのか、またツンドラ地域の昇温に追従する永久凍土の融解に伴って放出されるメタンガスの温室効果への影響はどうか、さらには大気・海洋間でCO₂がいずれのベクトルで、いつの時点で、何処で、しかも量的にどれくらい授受されるのかなどの無視しえない因子にもかかわらず、かなり不確定な要素がそのシミュレーションに包含されているのである。そうは申しても我々にはこのような数値計算の礎石となる前提条件や不確定要素の客観性と精度を地道に高めて、定量化を模索していくしか当面なす術がないのであるが――。

Ⅳ. 地球温暖化のシナリオへの反論

前述したように、近年における地球の平均的な気温変化とCO₂濃度との対応関係を眺めれば、おおよそ両者の間には比例関係が認められる。よって当面の、かつある程度の気温上昇は免れないであろう。しからば、このまま一方的に地球の気温は上昇し続けるのだろうか。地球表面を覆う水陸と大気間の錯綜した授受システムは、そんなに理路整然と線形モデル的に解明されるものだろうか。前掲の第5図に示された、人間が化石燃料を使用する以前の気温やCO₂濃度の経年的な上下動は、一体何を黙示しているのだろうか。

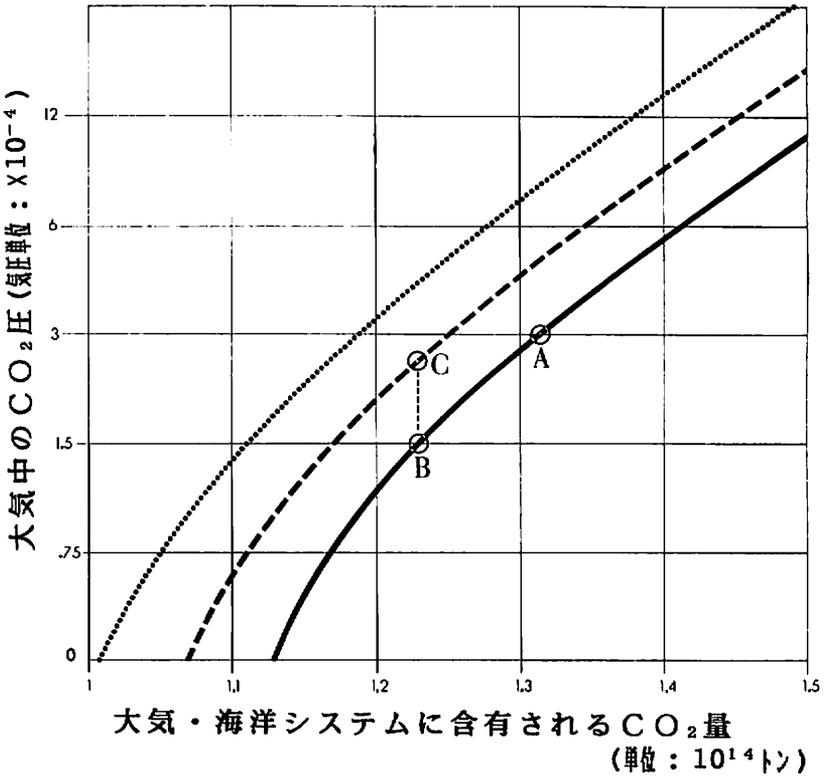
最近の比較惑星学の研究成果は地球をはじめとする太陽系惑星の誕生過程を生々しく再現してくれた。しばらくその教示内容に従ってその過程を追跡したい。

地球は微惑星や隕石との衝突・併合を繰り返しながら次第に大きな惑星へと成長した。当然ながらこの衝突・併合に伴って、様々なガス体や塵芥が地球の引力圏内に漂った⁽¹⁸⁾。また隕石には水分が含有されていると判明したため、衝突によって隕石から解放された水分が地球大気圏に蓄積した。これらはガス体

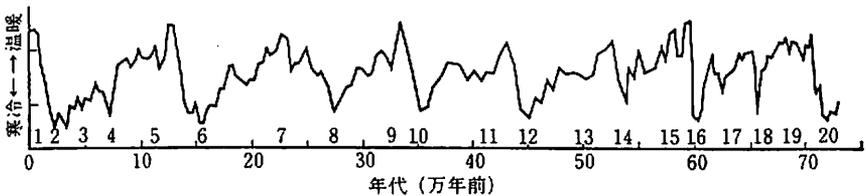
とともに大気の温室効果を促す方向に働くため、微惑星や隕石の衝突・併合に伴う熱と補完的に共働しあい、地球表面は“灼熱”の様相を呈した。ついには大気中の水分飽和に抗しきれなくて降雨が発生し、その結果、高温の地表に雨水が触れては気化し、また飽和して降雨が落下しては気化するという反復を経て、地表面温度の低下と海洋の出現が可能となった。と同時に温室効果ガスも降水と一緒に大気中から除去され海水へ取り込まれた。既述したように今日、太陽系の惑星で広大な海洋を抱えるのは、太陽との距離の遠近さの偶然性から地球のみである。

この比較惑星学の教える地球誕生過程を参照すれば、地球の気温上昇は少なからず海水の蒸発を助長させ、降水量の増大を招来する。これに付随して大気中のCO₂も雨滴に洗浄・除去され、最終的に海水に溶解するので大気中のCO₂濃度は下がると推定される。これは温室効果とは逆のシナリオゆえ、地球の気温低下を招くことに繋がる。よって止め処もなく一方的に地球の気温は上昇しない。

次に上述の内容にやや近似しているプラス (G.N.Plass : 1959) の研究に触れたい。第9図をもとに彼の考えを説明しよう。図中の3本の線は、X、Yの変数の関係において地球の海水量を現時点と比較してそれぞれ、不変=100% (実線)、5%減=95% (鎖線)、10%減=90% (点線) である場合の両者の関係を表わしている。今仮に現時点における縦軸・横軸の相互関係が点Aにあることから思考を開始しよう。もし今日の温暖化とは逆に、大気中のCO₂圧 (圧力換算) が7%下がったとすれば、実線上を下方に点Bまで移動することになる。大気中のCO₂濃度の減少は気温低下、つまり寒冷な氷期を招くので、氷河が拡大し海水が減る。となれば海水量の減少に直結するので、仮にそれが5%程度とするならば、点Bは横軸上の位置を変えないで鎖線上の点Cにシフトすることになる。この点Bから点Cへの変位は、縦軸ではCO₂濃度の増大を指し、よって温室効果が促進されて気温上昇となる。となれば地球は次第に暖かくなり、間氷期の到来に繋がって氷河が融解する。これは海水量の増加となるので、今度は縦軸上の位置を変えないで点Cが実線上の点A方向に乗り換えることとなる。結果的にこれは寒冷・温暖、つまり換言すれば、氷期・間氷期の周期的な反復を物語る。思考の始動を逆にしても同じである。これがプラスの理論に



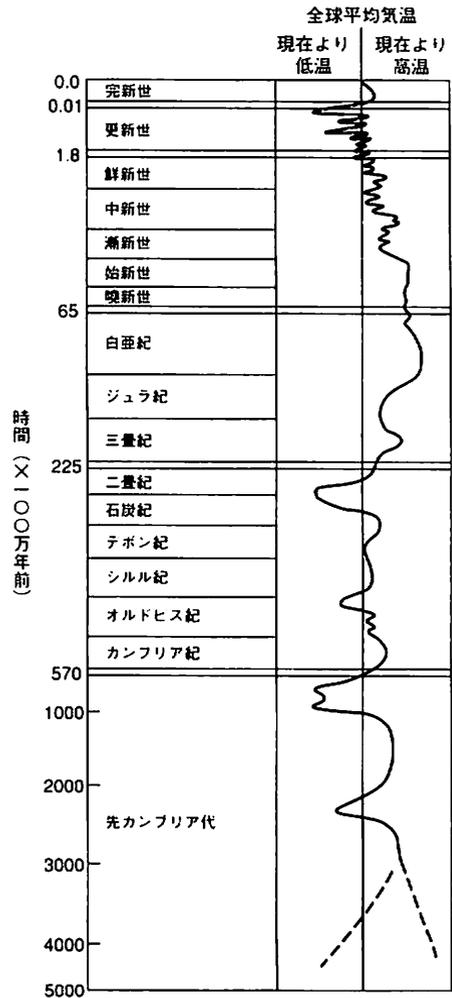
第9図 大気中のCO₂圧 [縦軸] と大気・海洋システム中に含有されるCO₂量 [横軸] との海水量別相互関係。
 (実線: 現在の海水量を100%とした場合, 鎖線: 海水量が現在より5%減少した場合, 点線: 海水量が現在より10%減少した場合)



第10図 氷河時代の気候変動 [海底コアから求めた相対値]
 (なお、図中の横軸の数字は寒・暖期の番号で、偶数が氷河期、奇数が間氷期を各々表わす。日本海洋学会編: 1991より間接引用)。

関する簡単な説明である。奇しくもこの一連の説明内容は、第10図や第11図に例示した過去の地球気温の周期的な上下動と整合しており、やはり地球の気温がひたすら昇温や降温の一途を辿るわけではないことを物語っている。

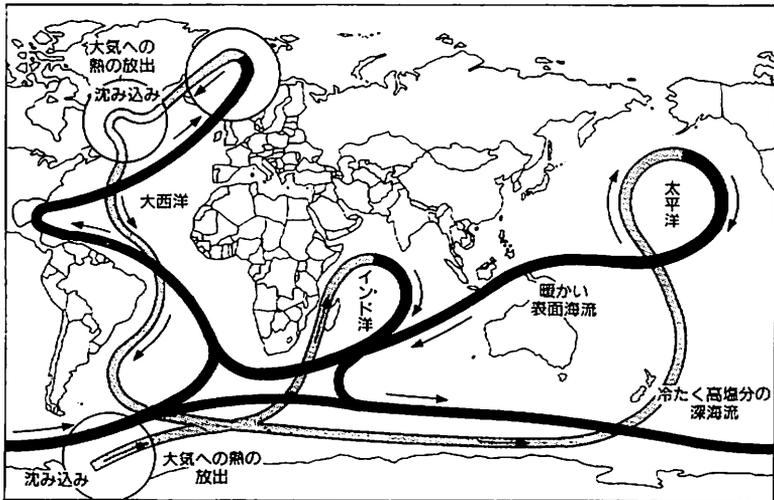
さらに今、机上に世界の海流の地図を広げるならば、大洋における表層海水の大規模な流れが目に入る。北半球の海流はコリオリ力の影響から時計回りの流向を示す。とりわけ日本海流⁽¹⁹⁾やメキシコ湾流(=単に“湾流”でも世界的に通用するこの海流は、ヨーロッパ沿岸では“北大西洋海流”と呼称される)は水量的にも大きな流れである。この湾流の行き着く先はどこだろうか。もちろんその一部はカナリア海流としてヨーロッパ大陸西岸を南下するであろう。だがそれだけでは水量的に均衡しない。暖流であるこの湾流は、実のところ高緯度への北上につれて⁽²⁰⁾低温な大気との温度差を拡幅するため蒸発作用が活発化し、次第に塩分濃度が高まって密度的に重くなる。よってその流れは深層に沈み込むと現在では判明している。しかも流れの行く手に当たる北部大西洋から北極海にかけては水深も浅く、その上グリーンランドの位置も関わって海域幅



第11図 地質時代の地上の平均気温。
(現在の気温からの相対的な偏差のみを示すもので、変化の絶対値は不確かである。S.H.Schneider : 1998による)。

が狭くなる。だから海中深く沈み込んだこの流れは、反転を強いられる。その後、底層を流れて南極海へと到達し、そこで南極海での同類の沈降流とも合流して、はるか遠くインド洋や太平洋にまで達していると説明されている。これがいわゆる第12図に示した“海洋コンベヤーベルト” (= 海洋熱塩循環) と称されているものである (W.S.Broecker : 1991)。

さてこの湾流の沈み込みが北部大西洋のどの辺であるのかに興味が寄せられる。通常、その位置は北緯50～60度のイギリス諸島からアイスランド近傍海域とされている。しかるに昨今強く懸念されている地球温暖化がこのまま進行すれば、より低緯度側に在る氷河から融解を始めると容易に推察できる。つまりカナダやグリーンランド南部の氷河からその融水が始動するであろう。最終的に大西洋へ注ぐこれら地域からの融水水は真水であり、比重的に海水より軽い。つまり北上する湾流の前方表層に真水の壁が形成される。かくして湾流は通常の海域まで北上できない⁽²¹⁾まま、普段よりも南方の海域で深層への沈み込みを余儀なくされる。恐らくその位置はバミューダ諸島近辺ではないかと推測されている。そうなると偏西風は冷たい融水水の漂う水域上を吹送する図式に



第12図 海洋コンベヤーベルト。
(IPCC : 2000. W.S.Broecker : 1991 などによる)。

なるので、風下側の欧州はかなりの低温・寒冷化に見舞われる⁽²²⁾と予見できる。すなわち欧州は地球温暖化で昇温どころか、まったく反対の冷涼な気候に席卷される。

このような結果から、地球温暖化の進行は世界の地域単位で注目すれば、必ずしも歩調を一にして同時に、同類の影響を被るとは考え及びにくい。だからこそ余計に地球温暖化の影響が波及する際の地域的差異＝地域性やその季節性という視座に立脚した思索の重要性が、益々、浮上してくる。

加えて上述の“海洋コンベヤーベルト”の連続性を思慮すれば、北部大西洋での異変が遠方の海域へ伝播する可能性をも否定できない。事実、先の北部大西洋における劇的な湾流沈み込みの変化が、過去にはるかアンデス山脈やNZの気候的急変時期とほぼ調和的に進行したとの指摘さえある（W.S.Broecker：1996）。加えてこの“海洋コンベヤーベルト”はおおよそ2000年程度で世界の大洋を周回すると判明している（小倉：1999）。そうなるならニーニャやエルニーニョ現象⁽²³⁾に絡む南米ペルー沖合での湧昇流の強弱やひいてはそれから派生するENSO現象も、この“海洋コンベヤーベルト”の一端の兆候として捉えるのもあながちの外れではない。また最近では太平洋のENSO現象に酷似した現象がインド洋でも現出している（＝ダイポールモード現象）と言明されており、益々、大気に対抗する“海洋版テレコネクション（＝遠隔結合）”の可能性とその波及的な影響⁽²⁴⁾を無視できない。

以上いくつか例示したように、地球温暖化現象は必ずしもCO₂濃度の増大イコール気温の上昇という単純な図式では捉えられない。ましてや個々の地域単位という細部への反応ともなれば、その季節性も含め、予測は極めて困難となる。かくしてこの温暖化問題への返答・即断には今少し慎重に臨むべきかと思う。たとえ当面のある程度の気温上昇は回避し難いとしても――。

V. むすびに代えて

思い起こせばインドの初代気象庁長官を務めたウォーカー（G.T.Walker et al.：1932）卿が、インドネシア周辺の気圧と遠く離れた南太平洋タヒチ島のそれとの負相関を言説し、南太平洋における東西の気圧のシーソー現象（＝この

南方振動，すなわち「ウォーカー循環」駆動の内容は，今日のENSO現象に連なる）の生起を見抜いた卓見に驚愕したのは，それほど遠い昔ではなかった。がしかし人間の自然解明に対する弛まぬ追究の矛先は最早その先方へと進捗している。今日この地球自然の姿やそのシステムの実態が徐々に，かつ着実に詳らかにされつつある一方，その事実を知るほどにつれ地球自然の奥行きの高さや間口の広さを痛感もする。それは無理からぬことであろう。と言うのもその誕生以来，46億という想像を絶する歳月を経るなかで確立してきたこの地球のある種精巧なシステムは，ほんのついこの間，この地球上に登場したに過ぎない人間の手で，いともそう易々と単純明快に解き明かされるほどの造りではあるまいから。

ここで述べた地球温暖化問題の影響予測における不確定要素は，①焼き畑や森林伐採に絡んだ地球上の植生のCO₂吸収量増減への検証，②大気・海洋間におけるCO₂授受の海域，プロセスとその量，およびその均衡の臨界条件，さらには③海洋熱塩循環（海洋コンベヤーベルト）の波及効果とその突発的異変の原因などに集約できる。これらの項目の推計精度が粗い段階で即断し，悪戯に右往左往するのはあまり賢明とは言えまい。幸いにして異常気象とは違い，気候変動に起因する大気環境の変化速度は，人間の寿命に対照すればいささか緩慢かと思える。この時間スケールに叶う長期的な観点に立って地道に対処することが人間の基本的なスタンスではなからうか。

そもそも人間は環境に影響を与えずしてこの地球上で生存することは不可能に近い。折々思うことは“本来，地球の自然とは人間や生物を含めた状況を指すのであろうか？”という疑問である。多分，地球の生物圏に一つのサブシステムとも表現可能な“人間圏”の登場によって，徐々に自然は消失したと思われる。ヒートアイランド現象の発現例を引用するまでもなく，人口の増加とて気候への影響の一側面を担い，しかも正のフィードバックを生物は被る。前世紀から顕在化したCO₂濃度の急増は，期せずしてこの事柄を人間に自覚させる契機を付与した。敢えて言い換えるならば，人間圏という新しいサブシステムの成立を端緒に現代社会の環境問題が生起していると目に映る。だからこそ努めて人間の驕りを排除し，その上で地球に対する『ガイアの発想』²⁵⁾（＝地球生命体）の堅持が，人間に課された喫緊の要事ではなからうか。

この拙稿は、2001年10月に宮城県高等学校教職員組合仙台南支部教育研究会（仙台市）に招かれて話題提供した発表原稿を基礎に加筆し、さらに2003年5月に千葉県高等学校教育研究会地理部会春季大会（千葉市）で講演した内容の一部をこれに加味したものである。双方の関係者各位にこの場を借りて厚くお礼申し上げる次第である。

注 記

- (1) 実は1998年夏にも気象庁は梅雨明け月日の特定が難しいとして観測史上初めてその宣言を断念した。とくに東北、北陸の天候不順が著しく、日照不足が深刻化した。しかし戦後最悪の冷害をもたらした1993年夏ほど極端な低温に見舞われることなく済んだ。
- (2) 1993年7月末には1週間に3個の台風が上陸して、まるで“台風ラッシュか”とマスコミで揶揄された。8月に入っても台風の襲来は留まらず、ついに9月上旬の台風13号によって甚大な被害を西日本は被った。
- (3) 米・シカゴ大学の D.Fultz et al. (1955) によって導入された回転水槽 (dish-pan) を用いた大気大循環の再現実験に拠れば、高低緯度間の温度差の変化に応じて、ロスビー循環 (= 偏西風の流れ) の様相が変わると判明している。
- (4) ジュネーブ (46° 12' N, 06° 09' E, 標高405m) における6~8月の月平均気温の平年値は、それぞれ
6月: 17.8℃, 7月: 19.9℃, 8月: 19.1℃であるが、
2003年の同じ期間の値は、それぞれ
6月: 24.3℃, 7月: 22.7℃, 8月: 28.9℃であった。
さらにまた月別日最高気温の従来の記録は、
6月: 35.7℃, 7月: 38.3℃, 8月: 36.5℃であるが、
2003年のそれは、それぞれ
6月: 36.0℃, 7月: 37.0℃, 8月: 38.0℃であった。
なお、上記の平年値は M.J.Müller (1982) に拠った。
- (5) フランス南部では日最高気温が40℃を超えて42.6℃にまで達した所もあった。普段そんなに暑くならないフランスなどでは、一般家庭にエアコンがあまり設置されていないこともあって、体力的に劣る老人の熱中症による犠牲が例年以上に多かったと報じられた (一部、2003年8月14日付/朝日新聞朝刊)。
- (6) スイス中央部の名山・ユングフラウから南流するこの氷河は、2001年12月に周辺の山々とともにユネスコから世界遺産に登録された。しかし、最近100年間で50~70mも薄くなったとベルン大学の研究者により指摘されている (一部、2003年6月23日付/読売新聞夕刊)。
- (7) 当初この書物は1998年にデンマーク語で出版されたものの、あまり脚光を浴びなかった。しかし2001年に英国・ケンブリッジ大学出版局が英訳して刊行した途端

に大変な反響を呼ぶに至った。

- (8) 例えば、1996年7月5日付／神戸新聞朝刊には“温暖化でアジア沈没？”という見出しをつけ、主に東南アジア各地での海面水位上昇に伴う影響を、アジア開発銀行の報告書の紹介を通じて警告している。
- (9) Intergovernmental Panel on Climate Changeの略。
これはWMOとUNEP（国連環境計画）との共催によって1988年に設立された政府間機関である。主たる設置目的は地球温暖化に関して各時点における最新の情報と知見を集約し、公表することにある。
- (10) IPCCの第三次評価報告書（2000）では、2100年までに平均海面水位が9～88cm程度上昇すると試算している。その要因としては、①海水の熱膨張、②南極大陸などの氷床の融解、③大気の流れの変化に起因する海水の吹き寄せ、などが想定される。現実には、南太平洋の島国・ツバルでは、潮の干満による浸水域が徐々に拡大傾向を示し、国民に他国への移住の是非を問うているものの、受け入れ国との調整があり、容易に解決できる問題ではない。
- (11) この点に関して類似の視点から木村（1990）も触れている。
- (12) 名古屋大学によるネパールを中心とした氷河の調査結果に拠れば、1958年と1992年の航空写真の比較を通して約6割の氷河が末端の後退を示し、前進したのは1割に過ぎなかった。また近年の氷河縮小の傾向は、大量の降雪と融解の見られる氷河ほど明瞭であると判明している（例えばM.B.Dyurgerov et al. : 1997）。つまりヒマラヤはモンスーンとの絡みから夏季に雪が降る特徴ゆえ、高緯度の冬季に降雪の多い山岳の氷河とその動向を異にし、融氷が激しい。この背景の一つとして、新雪は雨と違って太陽光のアルベド（反射能）を大きくさせ、氷の融解を遅延させる点が指摘される。
- (13) 氷河の動きに着目して、H.W.Ahlmann（1948）は温暖氷河と寒冷氷河にまず大別し、その上で後者を高緯度極地氷河と亜極地氷河に分類している（小林・阪口：1982）。NZの氷河は温暖氷河の典型例とも言え、氷体のどこでも氷河の被っている圧力下のもとで融解点に達する温度を呈している。NZ最高峰のクック山から西側へ下る写真3のフランツジョセフ氷河は世界の温暖化傾向に逆行して近年前進している。南緯42度付近に在りながら、この氷河の末端が標高300mという低所にまで流下しているのは世界的にも珍しい。
- (14) NZ南島の氷河の動態と南アフリカ周辺の乾湿との符合も明らかにされている（P.D.Tyson et al. : 1997）。これはつまり南半球中緯度上層の大気の流れ、具体的には偏西風の蛇行に伴う波数やリッジ・トラフの位置に関わっていると言える。
- (15) 短期間に氷河の末端が数キロメートルも前進する、言わば氷河の高速流出を氷河サーージと言う。このような異常前進は温暖氷河で生じやすいものの、寒冷氷河ですら発生すると近年では指摘されている。この原因として考えられるのは、氷河底面に融氷水が増えて地面との摩擦が減少したり、あるいは氷体内に水が多く含まれて粘性が減少した結果、その流動性が増大する点などである（若浜：1978）。

- (16) 雪氷が融解するとそれに覆われている場合に比べアルベドが小さくなり、日射が吸収されやすくなる。それゆえ雪氷に覆われた北半球陸域での温暖化の実効が大きく出現する傾向となる。しかし北半球での温暖化が顕著に進行するという予測には、この雪氷の影響に加えて、南半球高緯度における海洋の循環が、その海域の深度が北極周辺より大きいことからより深層にまで熱の運搬が及び、結果として海面付近での温度変化が小さく抑制されることに起因すると考えられる。
- (17) 足並みが揃わない理由を要約すると、①先進国間の路線が対立していること。②産油国はこれによって石油輸出量の削減を懸念していること。③CO₂などの温室効果ガスの排出に伴う気温上昇の推測が不確実で難しい点、などである。またIPCCによる最新の第三次評価報告書(2000)では、全地球的な気候変化の予測(2100年には1990年に比較して平均気温が1.4～5.8℃上昇すると指摘)もさることながら、地域的な影響予測などにも検討を加え、政策決定者への配慮も含めた報告に努めている。
- (18) このような原始大気に雷鳴のような放電現象を放つと、極めて単純なアミノ酸の生成をみると立証したのが、「ミラーの実験」であることは周知の事実であろう。
- (19) 日本海流(=黒潮)の運ぶ水量は約2220万立方メートル/秒であり、アマゾン川の流量の200倍とも言われている。またその運ぶ熱量は3800億キロカロリー/秒に相当している。メキシコ湾流も日本海流に匹敵する大規模な流れである(日高：1983)。
- (20) 間々、指摘されるようにヨーロッパが緯度の割合には冬季でも比較的暖かく、気温の年較差が小さい海洋性の気候を示すのは、とりもなおさずこの北上する暖流上を偏西風が吹送してヨーロッパ大陸に到達するからである。ノルウェー西海岸のフィヨルドが天然の不凍港として年間を通じて利用できるのもこの暖流のおかげであり、隣国スウェーデンのボスニア(Bothnia)湾側が同緯度で凍結するのは好対照をなす。
- (21) 1980年代の初め、ドイツ・ゲッチンゲン大学のハインリッヒ(H.Heinrich)は、北部大西洋の海底堆積物を分析して有孔虫類の甲殻が含まれる層と欠落する層の互層の存在に気づいた。これは表層から深層への酸素の搬入と中断に一致するとし、少なくとも8回のカナダ・ハドソン湾付近の氷河の融解から真水の侵入がこの海域にあったことを究明した(W.S.Broecker：1996)。
- (22) 試算の結果から、冬季のダブリン(Dublin)の気温は現在より5℃も下がり、北極圏に在るスピッツベルゲン(Spitzbergen)島付近の温度環境に変わると言われている。実際、氷柱コアの分析や過去の記録から寒冷期には同地で年平均気温が約7℃下がったことが把握されている。これは非常に大きな気温低下量である。
- (23) エルニーニョヤラニーニャ現象は、赤道太平洋の東西における水温差、つまり気圧差に起因する東風の強弱に応じて発現すると説明されている。しかし、これらは一旦、生起すれば正のフィードバック効果が働きその現象が持続するはずである。けれども現実には双方が交互に周期性を示して時系列的に現れているので、その機構

や始動の契機を含め未だ不明な部分が多い。

- (24) 最近、南極大陸から流下するロンネ棚氷起源の融氷水の混入に因り、深層海流へのその影響も注目されている（例えば2003年7月下旬に放映されたNHKTVの特別番組など）。
- (25) J.E.Lovelock (1984, 1989) に拠れば、この“Gaia”はギリシャ神話に登場する大地の女神に因んで命名したという。しかもこれへの定義を地球の生命圏、大気圏、海洋、そして土壌を包含した調節機能を有する一つの複合体としている。この考えは地球という惑星で生命の存続に最適な物理的・化学的環境を求めある種のフィードバックシステムの存在を意識したものだが、現段階では一つの仮説に留まっている。

参 考 文 献

- 青木周司 (2003) : 地球規模の二酸化炭素循環. 天気, 50-8, p610 ~ 615.
- 小倉義光 (1999) : 「一般気象学 [第2版]」. 東京大学出版会, 308p.
- 木村竜治 (1990) : 地球温暖化問題と地球空調システム. 科学, 60-12, p793 ~ 801.
- 桐生広人 (1999) : 「消える氷河」. 毎日新聞社, 189p.
- 小林国夫・阪口 豊 (1982) : 「氷河時代」. 岩波書店, 209p.
- 小宮山 宏 (1995) : 「地球温暖化問題に答える」. 東京大学出版会, 204p.
- 佐藤典人 (1999) : NZにおける近年の氷河の消長とその気候的背景. 日本地理学会発表要旨集, 56, p128 ~ 129.
- 高橋浩一郎・岡本和人 (1987) : 「21世紀の地球環境」. 日本放送出版協会, 225p.
- 田中正之 (1989) : 二酸化炭素濃度の変動. 科学, 59-9, p566 ~ 573.
- 角皆静男 (1989) : 炭素などの物質循環と大気環境. 科学, 59-9, p593 ~ 601.
- 鳥羽良明編 (1996) : 「大気・海洋の相互作用」. 東京大学出版会, 336p.
- 日本海洋学会編 (1991) : 「海と地球環境」. 東京大学出版会, 409p.
- 野崎義行 (1994) : 「地球温暖化と海」. 東京大学出版会, 196p.
- 原沢英夫 (2001) : 顕在化する地球温暖化の影響. 別冊日経サイエンス, 135, p8 ~ 16.
- 日高孝次 (1983) : 「海流の話」. 築地書館, 230p.
- 真鍋淑郎 (1985) : 二酸化炭素と気候変化. 科学, 55-2, p84 ~ 92.
- 山形俊男・升本順夫 (1999) : 海が気候を決めている?. 科学, 69-8, p706 ~ 713.
- 若浜五郎 (1978) : 「氷河の科学」. 日本放送出版協会, 238p.
- H.W.Ahlmann (1948) : Glaciological Reearch on the North Atlantic Coast. Royal Geographical Society, London, 83p.
- M.Aniya et al. (1997) : Recent Glacier Variations in the Southern Patagonia Icefield, South America. Arctic and Alpine Research, 29-1, p1 ~ 12.
- R.A.Bindschadler et al.著・本山秀明訳 (2000) : 南極の水が語る海面上昇のシナリオ. 日経サイエンス, Mar., p22 ~ 29.

- W.S.Broecker et al. (1985) : Dose the Ocean-Atmosphere System have more than one stable mode of Operation?. *Nature*, **315**, p21 ~ 25.
- W.S.Broecker (1991) : The Great Ocean Conveyor Belt. *Oceanography*, **4**, p79 ~ 89.
- W.S.Broecker 著・安富裕二訳 (1996) : 氷河期の急激な気候変動. *日経サイエンス*, Jan., p86 ~ 94.
- M.Budyko et al. 著・内嶋善兵衛訳 (1989) : 「地球大気の世界史」. 朝倉書店, 198p.
- T.J.H.Chinn (1995) : Glacier Fluctuations in the Southern Alps of New Zealand determined from Snowline Elevations. *Arctic and Alpine Research*, **27-2**, p187 ~ 198.
- A.G.Dawson et al. (2000) : Ocean-Atmosphere Circulation and Global Climate. *Geography*, **85-3**, p193 ~ 208.
- R.J.Delmas (1993) : A Natural Artefact in Greenland Ice-core CO₂ Measurements. *Tellus*, **45B**, p391 ~ 396.
- M.B.Dyrgerov et al. (1997) : Mass Balance of Mountain and Subpolar Glaciers : A New Global Assessment for 1961-1990. *Arctic and Alpine Research*, **29-4**, p379 ~ 391.
- D.Fultz et al. (1955) : A Note on Certain Interesting Ageostrophic Motions in a Rotating Hemispherical Shell. *J.Meteor.*, **12**, p332 ~ 338.
- N.D.Gordon (1986) : The Southern Oscillation and New Zealand Weather. *Mon.Wea.Rev.*, **114**, p371 ~ 387.
- J.E.Hansen et al. (1988) : Global Climatic Changes as Forecast by Goddard Institute for Space Studies Three Dimensional Model. *J.Geophys.Res.*, **93**, p9341 ~ 9364.
- J.W.D.Hessell (1983) : Climatic Effects on the Recession of the Franz Josef Glacier. *New Zealand J.of Science*, **26**, p315 ~ 320.
- IPCC (1990) : Climate Change - The IPCC Scientific Assessment. eds.J.T.Houghton et al.. Cambridge Univ.Press, 365p.
- IPCC (1996) : 第一作業部会第二次報告書. 気象庁訳, 大蔵省印刷局, 598p.
- IPCC (2000) : Special Report on Emission Scenarios. Cambridge Univ.Press, 599p.
- J.Leggett 著・西岡秀三/室田泰弘訳 (1991) : 「グリーンピースレポート/地球温暖化への挑戦」. ダイアモンド社, 442p.
- B.Lomborg (2001) : The Skeptical Environmentalist - Measuring the Real State of the World -. Cambridge Univ.Press, 515p.
- J.E.Lovelock 著・S.P.Prabuddha 訳 (1984) : 「地球生命圏 - ガイアの科学」. 工作舎, 296p.
- J.E.Lovelock 著・S.P.Prabuddha 訳 (1989) : 「ガイアの時代」. 工作舎, 388p.
- G.J.McCabe et al. (1995) : Relations between Atmospheric Circulation and Mass Balance of South Cascade Glacier, Washington, U.S.A.. *Arctic and Alpine Research*, **27-3**, p226 ~ 233.
- M.J.Müller (1982) : Selected Climatic Data for a Global Set of Standard Stations for Vegetation Science. Dr W.Junk Publishers, London, 306p.
- T.Nakazawa et al. (1991) : The concentration of atmospheric carbon dioxide at the Japanese

- Antarctic Station, Showa. *Tellus*, 43B, p126 ~ 135.
- T.Nakazawa et al. (1993) : Time and Space Variations of the Carbon Isotopic Ratio of Tropospheric Carbon Dioxide over Japan. *Tellus*, 45B, p258 ~ 274.
- J.Oerlemans (1997) : Climate Sensitivity of Franz Josef Glacier, New Zealand, as Revealed by Numerical Modeling. *Arctic and Alpine Research*, 29-2, p233 ~ 239.
- G.N.Plass (1959) : Carbon Dioxide and Climate. *Scientific American*, July, p1 ~ 9.
- S.C.Porter (1975) : Glaciation Limit in New Zealand's Southern Alps. *Arctic and Alpine Research*, 7-1, p33 ~ 37.
- H.Rott et al. (1998) : Climatically Induced Retreat and Collapse of Northern Larsen Ice Shelf, Antarctic Peninsula. *Inter.of Glaciology*, 27, p86 ~ 92.
- E.L.Roy Ladurie 著・稲垣文雄訳 (2000) : 『気候の歴史』. 藤原書店, 508p.
- M.J.Salinger et al. (1983) : Variations of the Stocking Glacier, Mount Cook, and Climatic Relationships. *New Zealand J.of Science*, 26, p321 ~ 338.
- S.Schneider 著・田中正之訳 (1998) : 『地球温暖化で何が起きるか』. 草思社, 273p.
- P.D.Tyson et al. (1997) : Circulation Changes and Teleconnections between Glacial Advances on the West Coast of New Zealand and Extended Spells of Drought Years in South Africa. *International J. of Climatology*, 17, p1499 ~ 1512.
- G.T.Walker et al. (1932) : *World Weather V*. *Memoirs of the Royal Meteorological Society*, 4-36, p53 ~ 84.
- G.C.Wiles et al. (1995) : Glacier Fluctuations in the Kenai Fjords, Alaska, U.S.A.. *Arctic and Alpine Research*, 27-3, p234 ~ 245.
- F.Wilhelm (1975) : *Schnee-und Gletscherkunde*. Berlin, 434p.
- F.B.Wood (1988) : Global Alpine Glacier Trends, 1960s to 1980s. *Arctic and Alpine Research*, 20-4, p404 ~ 413.

A Reconsideration of Global Warming

Norihito SATO

ABSTRACT

Today it is a matter of public interest as well as of concern that the temperature of the earth will warm up gradually. Also they say that the increasing temperature of our

earth's temperature until 2100 will be estimated at several degrees centigrade or the rise of its temperature will occur typically in the high latitudes of the earth in comparison with the low latitudes (Fig.6,7 and 8).

The researchers of environmental science have pointed out that the main cause of this phenomenon has been increasing the concentrations of atmospheric carbon dioxide (=CO₂) during the last century because we discharged many polluted substances through our industrial activities, that is, the increasing of fossil fuel combustion. As the same time as these activities, we have been emitting other gases, for example chlorofluoro carbons which have been well-known as the cause of the decreasing ozone layer over the Antarctic or the Arctic.

As a result, the "green-house effect" means that the atmospheric CO₂ can't reflect the short waves from the sun but can do the long waves from the earth, and finally the energy of radiation from the earth to the space will accumulate in the atmosphere.

Will this situation continue endlessly? I think that the global warming isn't simple as people are thinking. If we review the very long history of this earth, we can remember easily that the concentrations of atmospheric CO₂ won't increase simply. When we think about the history of this earth, we can be also reminded of the cycle of CO₂ connecting with the ocean, the atmosphere and the biosphere (Fig.1). In this cycle it is a very important factor, that this CO₂ is movable. Furthermore it is obvious that both the CO₂ in the atmosphere and in the ocean compare to that in the biosphere are movable easily along that cycle. Though we can know that the volume of CO₂ in the ocean is larger than other volumes of each substance, unfortunately we can't understand yet that the precise volume of CO₂ in the ocean as well as the maximum limit of its content. But at least the interaction of CO₂ exchange between the ocean and the atmosphere occurs very easily. Therefore the atmospheric CO₂ concentrations are becoming larger, the transport of CO₂ from the atmosphere to the ocean will be started at some stages. For this reason the atmospheric CO₂ concentrations will not increase simply like people think.

Here I will introduce one other explanation concerning this problem. If the temperature increases gradually, the glacier of mountain valley in low latitudes as well as the

continental ice shelf of Canada or the southern region of Greenland will be melted for the first time. For this melting phenomenon the cold water will pour into the North Atlantic Ocean. For this reason the “Gulf Current” which contains much salt relatively, will sink to lower latitudes by its high density than now because the wall of cold seawater will prevent this “Gulf Current” flowing northward like now (Fig.12). This means that the water temperature of the North Atlantic Ocean will drop compared to now. And the temperature of westerly wind over those latitudes will coincide with temperate zone, especially in Europe because of the leeward position of that cold seawater area, won't rise. Moreover we estimate this change will influence the current condition of worldwide range (Fig.12).

I don't intend to say that the discharge of CO₂ into the atmosphere is no problem. It isn't easy to interpret precisely the exchange of CO₂ between the atmosphere and the oceans after its release into the atmosphere. We must know more exactly about the system of nature of our earth as well as the fact that nature isn't so simple.