

6章 地球環境の変化と

温暖化の行方

- ◆ 猛暑に加えてヒートアイランド
- ◆ 国境を越えて広がる大気汚染、酸性雨
- ◆ 黄砂が中国大陸からやつてくる。
黄砂が異常に増えている
- ◆ オゾンホールと増える有害紫外線
- ◆ 火山大噴火は地球を冷やす日傘効果
火山灰が日傘効果
- ◆ 現在は穏やかで過ごしやすい間氷期
(気候変動の歴史)
- ◆ ほどよい温室効果と放射平衡
- ◆ 増えるCO₂ 地球温暖化の原因
エネルギーを使いすぎる人類
CO₂のゆくえと地球温暖化
(瞬消えたCO₂のゆくえ)
- ◆ 地球温暖化の現在の姿、100年後の姿
- ◆ 気候変動と文明の衰退、レバノン杉

◆ 猛暑に加えて

ヒートアイランド

地球温暖化によるとみられる日本全体の年平均気温が過去100年で1.1度上昇していますが、東京都心の大手町ではおよそ2倍の2.4度の急上昇となっています。さらに最近50年の最低気温の上昇スピードはおよそ4度というきわめて大きな上昇となっています。

東京や大阪のような巨大都市は、クーラー や暖房などで熱エネルギーをたくさん消費、コンクリートジャングルとよばれています。木々が少なく太陽で暖められやすく冷めにくく、大都市周辺の郊外と比べて気温が数度も高く、ちょうど都會が熱の島となって浮かんでいるように見えるというので「ヒートアイランド現象」と呼ばれています。

2003年のヨーロッパの熱波ではフランスのパリを中心歴史的な猛暑となりましたが、熱波に加えて都市のヒートアイランドが大きな役割を果たしたといわれています。この暑あによつて弱者の病死がおよそ1万5千人という大変な数となりました。04年の東京も、ついに猛暑とヒートアイランドで最高気温、最低気温の高い記録および真夏日の連続日数が百年の観測史上の新記録となつてしましました。このように今まで以上に高温化が進むと、巨大都市のしやく熱地獄がさらに進み、地上付近が夏の強い日差しで地面近くに熱せられて軽くなると、大気の状態がより不安定となり、不安定が解消するように、ちょっとしたキッカケでも上下を入れ替わります。湿った空気が上昇しだし、雲ができるで熱をだして暖まると軽くなつて浮力がつき、さらに上昇するとまた雲ができる

て上昇して…と激しい上昇気流が、ますます大粒な雨に成長させます。

風が弱く日中に気温が上がりやすい都心や、その縁にあたるところが雷雨発生の好条件となります。さらに太平洋高気圧の縁から湿った空気の流れ込んだときや、北から上空の寒気が入ると一段と激しい夕立ち、大雷雨に見舞われます。最近、雷を伴う集中豪雨の回数が増え、同時に1時間雨量が100ミリメートルを超すような異常な豪雨が発生し、東京の23区でも降雨記録がひんぱんに塗り替えられるようになつてきました。

さらにコンクリートやアスファルト舗装で降つた雨が地面の中に浸透せずに一気に川に流れ込み、東京を流れる神田川はふだんは細い流れですが、1時間雨量数十ミリメートルとなると、急激に水位が上がります。最悪の場合には溢れて地下街や地下鉄の駅に浸水する被害となります。人口の都市集中と巨大都市の高温化（ヒートアイランド）が、温暖化が進むとともにさらに災害の増加という追い打ちをかけられてします。

+++++

◆国境を越えて広がる

大気汚染、酸性雨

酸性雨とは、石油や石炭を工場や火力発電所、自動車などで燃やしたときに出る亜硫酸ガスや窒素酸化物が、雨や霧にとけて強い酸性となつて森林や建物に降りそそぎ被害を与えるとともに、人の健康にも大きな影響をおよぼす広い範囲に広がる公害です。

亜硫酸ガスなど酸性雨をもたらす大気汚染は国境を越えた公害です。アメリカ合衆国の北部からの汚染物質がカナダに流れ、カナダから五大湖周辺に戻るとい公害のキヤッチボールとなります。最近は中国大陆からの大気汚染物質がひんぱんに日本列島に襲来してきており、九州から北陸地方にかけて酸性雨が降っています。

中国大陸で硫黄分の多い石炭や重油を燃やした結果、大量に放出されたススや亜硫酸ガスが中国の都市を汚染するだけではなく、偏西風に乗つてはるばる日本に運ばれ、ついに04年には太平洋を越え、アメリカ大陸の東海岸まで届きました。硫黄分を分析をすれば、中東産の石油か、硫黄分の多い中国産かがわかり、汚染のものが中国大陆であることが突き止められるのです。

かつて日本は公害大国でしたが、法律で工場や火力発電所のから亜硫酸ガスを脱

硫装置というものを煙突につける義務付けて硫黄はほぼ全部とり除くようになりました。この面で日本は公害対策の優等生です。中国ではこの取組みが遅れ、酸性雨の大気汚染の深刻さがすすんでいます。

しかしながら目を日本に転じますと、自

動車の排気ガス公害などによる酸性雨や酸性霧とみられる環境破壊による森林の被害が、首都圏の周辺の山々で静かに深く進行しています。とりわけ神奈川県の丹沢のブナ原生林の被害は目を覆うばかりです。新緑から濃緑にかわる初夏の頃は、森がとても美しい季節です。その豊かな森が尾根筋の南斜面を中心に、直径1里^{注1)}を越えるあるブナの巨木すら立枯れて墓標のごとく天に向かって立っています。丹沢だけではありません。関東北部の日光国立公園の山々の南側の斜面の立枯れが目だっています。

森の木々が枯れる原因は、自動車の排ガスの中の成分が、雨や霧に取り込まれて酸性霧、酸性雨となつて降り注ぐことによると考えられています。なかでも酸性霧の酸の強さは酸性雨に比べておよそ10倍も濃い場合もあり、霧として長く空中に漂っているだけに被害をさらに大きくしています。広島県の三次（みよし）盆地の霧の海では、レモンの汁のような濃い酸性の

麓での霧の発生とともに汚染物質が取り込まれ、山の斜面を這い上がつて森に降り

かかり漂う。丹沢山地の南側斜面を中心とするブナの原生林の被害、三次盆地など、関東の周辺の山々の森林破壊をもたらしているのです。

酸性雨対策での教科書があります。かつて「黒い森」という名でドイツ人に愛され、心の故郷となつている美しい森、シユバルツバーレ、ドナウ河の源頭部に広がる針葉樹林の深い森が、酸性雨の影響で立ち枯れの危機に瀕していました。80年台の後半には被害を受けている木々が森全体の8割を超えました。墓標のごとく立ち並ぶ立枯れの木々を前に、「森を守れ、緑を取り戻せ」と地道な保護の活動が始まり、森の緑に回復の兆しが見え始めできました。守る、回復するという原点にもどることが近道の回答です。

+++++

注1) 亜硫酸ガス、硫黄酸化物
窒素酸化物などが、霧や雨に融けて酸性となる。

注2) PH（ペーハー）3は、酸とアルカリ性の度合いで、7が中性で、数字が小さくなるほど酸性が強く、PH3は濃い酸で、レモン汁くらいの酸性度。

◆黄砂は中国大陆から飛来 (黄砂が異常に増えている)

2004年の春、日本海側の地方に住む人々は、朝起きて驚きました。昨夜から降った新雪が白くなく黄色に濁っていたのです。中国大陆から飛んできた黄砂なのです。昔から「紅い雪」などとなる春を告げる自然からの風物詩でしたが、あまりの広い半で降り、また濃かつたのでニュースで報道もされるほどでした。

偏西風に乗つて春先を中心にして「黄砂」は、おもに中国黄河高原やゴビ砂漠、タフラマカン砂漠などで、砂嵐（ダストストーム）で舞い上げられた小さな、直径0・1ミクロン（注1）から数ミクロン黄砂が偏西風に乗つて日本にやつてくるのです。気象衛星の写真をみると、薄い雲のような黄砂の広がりが東シナ海や日本海を越えて広がつてくる有様が動画で見ることができます。

黄砂が発生しているゴビ砂漠や黄土高原に近い北京では、年を追つて黄砂の襲来が激しくなっています。02年には、濃い黄砂に日の光がさえぎられ、昼間でも電灯を多くつけてしまつたので電力が使われ電力供給が一気に悪化してしまうほどでした。呼吸器などへの影響もあり、隣りの韓国では小学校や中学学校で部、休校がでたほどです。またLSIなどの半導体

の製造する国でもホコリのような黄砂は大敵です。航空機の離着陸などいろいろな方面での黄砂の影響がでてきています。

年々ひどくなりが、日本における黄砂の観測のべ回数が99年に273回だったのが、2002年では1207回と激増しており、とくに2000年からは回数の増え方が速い。月別の飛来回数をみると一年中飛んできていますが、4月をピークに3月から5月までが圧倒的に多く、この回数と中国の黄砂が発生している内陸部の強風の回数とが見事に同じ変りかたをしています。強風によって舞い上げられた黄砂が飛んでくることが明らかです。中国大陆の内部の乾燥化と森林破壊や、土壤破壊など多くの原因が重なつてが急に進み、拡大の一途をたどつています。

空中に飛んでいる黄砂の観測はライダー（注2）という、大気中ヘレーザビームを飛ばして、分布を観測しています。高さ2kmから6kmの多く分布し5キロドル付近にピークが見られることが多い。最近の研究では、地球温暖化を抑える役割りとなる雲の発生の増加に必要な凝結核や氷晶核となつて、雲や雨をつくりだすタネとしての役割りもあり、変わつたところでは、栄養不足の沖合いの海の微生物にとつて、空から栄養塩やミネラルというエサを運んでもらつていています。

+ + + + + + + + +
注1）0・1ミクロン・1万分の1mm
注2）、ライダー・・大気中ヘレーザビームを飛ばして、その光が、火山灰や黄砂などの微粒子に当たつて反射してくる光を観測して、粒子の濃さや動きなどを図つてています。名古屋大学と筑波の環境研究所などのあります。大噴火で吹き上げられた火山灰も観測しています。

しかし、まだ黄砂が舞い上がって偏西風に乗つて飛来するしくみは、まだ十分に

◆オゾンホール

増える有害紫外線

南極の春の季節、美しいオーロラが空をかけめぐる下で、人間が自然を変えてしまった結果のオゾンホールが音も無く始まっています。オゾンホール」とは、春の南極上空に起きたオゾン層の大穴があくという異変のことです。^{注1)}

オゾン層とは、高度20kmを中心にはやわらかく包みこんで、太陽から降り注ぐ有害な紫外線から地球を守る透明な絹の服のようなものです。この服に日本の面積の18倍、南極大陸の広さとなるほどの大穴、オゾンホールがあいてしまって、それも1980年代から始まり年を追つてひどくなってきています。

発見のキッカケは1982年9月、南極昭和基地で観測していたオゾンの全量が3分2くらいに急減少していることからでした。当時、オゾン研究で越冬していた気象研究所の忠鉢さんは悩んでいました。しかし彼には執念で続けた極夜の期間の観測データがあり、南極で最も長く正確に観測をしてきた昭和基地の20年間のオゾン資料が手もとにありました。2年後に出た結論は、春の南極上空では、常識では考えられないオゾンの大規模な減少がおこっている」でした。そして人工

衛星で観測して「オゾンホール」ネーミングしたイギリスチームとともに、オゾンホールの最初の発見者となりました。

ナゾは、なぜ南極大陸上空だけに、「それも春だけにオゾン層が破壊されオゾンホールができるのだろうか?」の二つです。オゾンホールの主役は、クーラーなどに使われているフロンガス^{注3)}が大量に放出されたためです。このフロンガスが上空20kmのオゾン層まで昇つて、強い紫外線によって分解されて塩素が切り離されてオゾンが破壊されるのです。

ふだんこの塩素は活躍していませんでしたが、南極上空だけはシナリオが違いました。太陽が顔を出さない冬の南極上空の成層圏では、マイナス80°C以下の厳しい低温の雲ができる、その雲のなかに塩素が破壊されずとり込まれてしまうのです。そして季節は春、9月になると太陽の光がもどつてきますので、氷の雲の表面から塩素が切り離されてオゾンを破壊し始めるのです。オゾンホールが「南極上空の春」に限られている理由がこのためです。春が終わると、その年のオゾンホールも消えてしまします。しかし消える過程でオゾンが少なくなつた空気が空に広がり、中緯度でもオゾンが減っています。最近20年間でオゾンが減少による、紫外線が2割も増えました。

紫外線とは虹の七色の紫よりさらに波長が短く、人の目には見えない光です。ふ

だんは地球を取り巻くオゾン層で大半が吸収されますが、そのなかを有害な紫外線の一部が固いガードをかいぐつて地上まで届いてしまい日焼けやシミの原因となります。日焼けは、紫外線による皮膚の火傷である。さらにDNAを傷つけてしまう可能性もあります。紫外線の増加によって皮膚ガンなどの増加やブランクトンへの影響などが心配されています。

フロンはいまや悪役で放出をやめても数十年も影響が残るといわれています。人類に豊かな生活をもたらしたフロンガスが成層圏にまで昇つてオゾン層は、地球自らがオゾンを造りだして作った防護服のオゾン層を破壊しているのです。それも何十億年の時の流れの中で育まってきたオゾン層が、たかだか六〇年という一瞬の間のフロン放出で破壊を受けているのです。自然からの巧妙かつ皮肉な警告なのでしょう。

^{注1)}・オゾンとは、酸素が3つ付いた。

^{注2)}・オゾンの全量・

上空にあるオゾンを全て積算したもので、地上に持つてきました。昭和基地をはじめ、日本では札幌を始め4箇所で測定。オゾンホールの全体像は人工衛星から観測している。

^{注3)}フロンガス

・冷蔵庫の冷却やスプレー、クリーニングなどに使われていた大変優れたガスで、主に日本やアメリカ、ヨーロッパなどの先進国から大量放出されました。

◆火山大噴火は地球を冷やす

火山灰が日傘効果)

1991年6月、フィリピンのピナトゥボ火山（注1）が二十世紀最大規模といわれた大噴火を起こしました。大噴火によって、火山灰やエアロゾルとよばれる1ミクロンほどのチリのようなものが成層圏の高さ40kmの上空まで吹き上げられ、上空の風に乗って三週間かけて地球を回りながら、全世界の上空に広がりました。日本でも微粒子を捕らえることができるレーダー（ライダー観測）でとらえることができました。このときの吹き上がった量は史上最大規模で、薄く広がったチリによって貸与の光が散乱されて、赤というより赤紫色の黒ずんだ夕焼けが見られようになりました。また「シヨツブ環」（注3）という太陽の周りに日傘のような珍しい虹の輪のようなものも現れました。

世界中の上空を薄くおおつて長ければ1年も2年も浮んで、太陽からくる光線をさえぎり弱くしてしまいます。そのためちょうど強い日差しを避けるためにさす傘のようだとして、「日傘効果」といわれています。ピナトゥボ火山による大噴火のあと、青い空が異様に白っぽかつたともいわれています。これは上空に吹き上げられた粒子で太陽光線が散乱されたためです。日本でも太陽からの直接の光、直達日射とい

う）が、翌年の92年3月には20%も減り、チリで散乱の光が以前よりおよそ60%増加して補つてくれましたが、差し引き地上に降り注太陽からの日射量の合計（全天日射量）は数パーセントも減少しました。

世界中で日射量が減ったことは、地球にとって、とても大変なできごとです。熱の入りが合計で少なくなり、地球の平均気温が下がり、火山の大噴火が世界に異常気象を引き起こしてしまったのです。噴火の翌年の92年はアフリカ南部の大干ばつ、中東で低温、大雪や、93年の夏は、日本においては記録的な冷夏に見舞われ、平成5年8月豪雨」と呼ばれた集中豪雨をはじめ異常気象があい次ぎました。とくに平成5年の大冷夏で米が大凶作となつて、平成5年騒動」まで発展しました。またアメリカ大陸では冬に記録的な暴風雪、夏にはミシシッピ川が500年に一度の大洪水となり、世界各地で異常気象が相次ぎました。

古くは1783年、天明3年の浅間山の大噴火と、その後の2年続きで異常な冷夏となりました。このときはエルチチヨン噴火なみ大噴火で、夏でも冷たいヤマセが吹き、綿入れを着込むほど寒さになり米の収穫が激減しました。天明3年から4年にかけての大飢饉では、死者10万人とも100万人とも言われ、江戸時代、300年間における3大飢饉のひとつ、「天明の大飢饉」となつてしまつたのです。

このとき、ヨーロッパでもアイスランドのラキ火山が18世紀最大の大噴火をして、冷夏、異常寒冬、春先の低温という厳しい異常気象をもたらしていました。小麦が不作となり、さらにパンの値上げをきっかけにバスティーユ襲撃とフランス革命に歴史が流れていきました。大噴火で吹き上げられた噴煙による日傘効果が歴史を変えていったのです。

またピナトゥボ火山噴火による平均が下がった寒い地球は、生物活動が抑えられ、影響が取れた後には活動が以前に増して活発となり、二酸化炭素が吸収された。この結果、地球温暖化の原因となる二酸化炭素の増加が1年間だけ増加が止まり、その後またもとにもどりました。火山の大噴火が続けば、日傘効果で温暖化より寒冷化に振り子がもどることになるほど重大な事件なのです。

注1）フィリピン最大の活火山。1991年6月15日の大噴火で死者700人以上、噴出物は九州雲仙岳の噴火の数十倍。

注2）エアロゾルとは、火山噴煙の中に含まれている硫酸ミストなどの微粒子。1ミクロンは、1000万分の1ミリ。

注3）光がものの向こうに回りこむ減少。「ロッケンの妖怪」藻の現象ができる。「シヨツブ環」外側が赤褐色、内側が青色出できた虹のような色の環。

◆現在は穏やかで過ごしやすい

間氷期 気候変動の歴史

地球が誕生しておよそ46億年たちますが、現現在の地球は、1万2千年前から間氷期の温暖な時代にかかり、過去数百年の気候変動の歴史をみても、大変穏やかな暖かい気候となっています。

灼熱の大地が冷えて、30数億年前ころから生物が海のなかに現れ、2億年前には、現在の石炭となる大森林が茂り、6千5百万年前ころに全盛を誇った恐竜が突如として絶滅したあと、新生代と呼ばれる哺乳動物が全盛の時代となり現在に至っています。

この時代が始まつたころはまだ平均気温が、現在より10°Cくらい高く、およそ6千万年の長い時間をかけて、ゆっくりと気温が下がり続け、人類が現れた300万年前くらいにほぼ現在の平均温度に近づきました。ところが、およそ200万年前から極地に氷河や氷の大陸ができはじめ、氷期と間氷期という、温暖な時期と寒冷な時期が交互に繰り返されました。およそ1万年でひとサイクルとなり、すでに何度も繰り返されてきました。

現在は暖かい間氷期ですが、氷期のときはいまの、地球全体の年平均気温が4°Cから5°C程度も低い時代となっていました。なーんだ、4、5°C程度。たいしたこと

はない?」と思いつつですが、最も近い氷注¹では、いまから1万8千前のころが最も気温が低く、現在、厚い氷に覆われている南極やグリーンランドが、南に広がりヨーロッパや北米大陸も広い範囲で氷雪に覆われ、最も厚いところ2000m以上していました。注¹。

海水が蒸発して降り積もつた雪が解けずに氷河や南極の氷の大陸を厚くし、海水を真水にして積み上げたことになり、その分の海水が減り、いまと比べて100mも低いところに海面があり、当時の東京湾には、旧利根川が流れ込んで、深い谷をつくっています。当然、地球の平均気温の変動とともに、海面の高さも100m近く変動が10万年周期で、いっしょに変化しているのです。

この氷期と間氷期の繰り返しは、地球が太陽を回るときの橿円形をした公転している軌道のちょっとしたズレが約10万年周期で変わることや、回っているコマの回転の軸が首振りをするように、地球の自転軸の傾きが、約4万年でゆっくり首振りをしていくという、いろいろな周期が、重なつて起つてきていると説明がされています。注²。

その150年後の、1万750年前ころ、その崩壊によつて数十年という気候変動の歴史からみて一瞬にちかい短い期間で急に気温が上昇して、劇的に氷期が終わり温暖な気候となつたのです。北半球の深い海から赤道を越えて南半球を回つて再び北太平洋まで流れる地球規模の深い海のなかの大潮流に異変が起つたからと説明されています。

その後、紀元前4千年(6千年前)頃、現在では砂漠となつてゐるサハラ地方も雨がおおく、豊かな緑で覆われていました。いまより温暖でエジプト文明がさかんで、縄文時代の日本は暖かく、古墳時代は逆にやや寒く、穏やかで温暖な平安時代のあと、今から400年ほど前に小氷期と呼ばれる寒い時代ありました。それでも、ほどよい濃さのCO₂は変わらず、せいぜい平均気温が1°C以内のバランスがほぼ保たれていました。その世界がこのままでいけば、人類発生時代を超えて、今後100年で過去1千万年で最も高い気温になる可能性があることを歴史がしめしているのです。

+++++
注¹ 「ヴァイスコンシン氷期」いまから1万1千年前まで続いた最終氷期で、1万8千年前のころが最も気温が低い。
注² ミラコンヴィッチャ・サイクル

◆ほどよい温室効果と放射平衡

太陽の光にあたるとボカボカと暖かい
ように、地球は太陽からの光線で大変な熱
のエネルギーを受けています。その光線は、
雲や雪や海面などで30%が反射して宇
宙に戻ってしまいます。^{注1)}、残り70
%が地球を暖めます。

緯度や場所、夏や冬の季節で変わり、毎
日も昼も夜もあり、熱はめまぐるしくかわ
っていますが、低緯度から高緯度に向かっ
て熱が運ばれ、低緯度が熱くなりすぎない
よう、高緯度が冷たく成り過ぎないよう
に、地球の規模の大気や海洋の流れによる
かきませ効果が起こって、地球全体として
受けける光による熱と、地球から逃げてい
く熱、そして逃げる熱を途中の大気でカッ
トして保温するというしくみで、地球に出
入りする熱のエネルギーの合計が1年を
通しての收支が、絶妙に1つ、球の
全体の温度が不思議なほどよく温度が一
定に保たれています。

地球から逃げていく熱は、地球表面と地
球を包む大気などから放射冷却で昼も夜
も一年中続いているのです。
放射冷却で明日の朝は冷え込みが厳
しい」といわれてよう、放射冷却」と
は、地面でも人でも空気でも、自放射身の
もつ温度（絶対温度K）の4乗に比例して

の熱が放射されて自らは冷えていく現象
です。ストーブに近づくと暖かさを感じる
のは、高温の鉄から目に見えない熱線、赤
外線が熱を運んでくれるからで、スト
ーブは熱をだしてからは、冷えているので
す。加熱しないと暖かくならないのはその
ためです。体温の高い人は高いなりに低い
人も低いなりの温度で赤外線をだしてお
り、地球からも、地球を包む大気からも、
放射冷却で昼も夜も一年中、熱が逃げて冷
え続けているのです。

この逃げる熱を大気中で吸収して保温
をする役目が地球をつつみこんでいる大
気（空気）による温室効果です。地球の地
表面からは、年平均気温15度（^{注2)}）に
相当する赤外線を地面や海から出して放
射冷却で冷え続けます。その逃げる「赤外
線」を、大気中にある0.03%のCO₂やメタン、フロンなど微量ガス、水蒸気で
かなりの部分が吸収されています。一方で
太陽からの光、可視光線は大気を難なく通
過して地面を熱しています。すなわち地球
の大気は、ガラスのごとく光を通すのです

が、地球からの放射冷却でた赤外線を大
気は吸収するため、あたかも大気が温室の
ガラスの役割をして保温していることに
なります。このガラスの役割を「アーリーン
ハウス効果、温室効果」と呼んでいるので
す。

計算

してみると地球の地表面の平均気温は3
度も下がってマイナス18度の厳しい
寒さ、氷の世界となってしまいます。0.
03%のCO₂や水蒸気による33度の温
室効果は地球にとつてほどよい温室効
果」としてなくてはならないものです。太
陽からの加熱、放射冷却で逃げる熱、温室
効果による途中でのカットという、熱の出
と入りが全体で大変よくバランス保たれ
ています。これを放射平衡といいます。
まったく大気のない月や、地球の100
分の1の薄い大気の火星は、温室効果が働
かないか、働きが弱いので、昼と夜の気温
の差が大きくなり、地球の兄弟星の火星は
マイナス155度にもなります。一方、金
星は、90倍の濃い大気があり、その9
8%がCO₂なので、その温室効果で表面
温度が477°Cという猛烈な高温となっ
ています。過ぎたる温室効果なのです。い
かに地球が「ほどよい温室効果」で穏やか
でバランスの取れた素晴らしい惑星であ
るかがわかります。

^{注1)}反射率をアルベドと呼び、新しく降つ
た白い雪は100%近く、雲も同様に大きな値
となっています。地球全体での地表面での反射率、
すなわち地球の白っぽさを示すアルベドはおよ
そ30%でほぼ一定している。

^{注2)}15°Cは、絶対温度228度K

◆ 増えるCO₂

地球温暖化の原因
エネルギーを使いすぎる人類

穏やかな地球の気候は、海、空、大気)、陸と生物がつくり上げてきて、とてもよくバランスした世界を作り上げてきました。ところがCO₂が増えて、その「温室効果」から、地球を取り巻くフトンが厚くなつてしまい、地球の温度が上がって寝苦しくなつてしましました。すなわち、地球の「温暖化」とは、CO₂を地球のもつバランスのとれた柔らかな回復可能な量を超えて、過剰に大気中に放出した結果、「行き過ぎた温室効果」によって地球の平均気温が上昇することで、高温化による地球環境の悪化などさまざまな悪影響がでることです。

大気中のCO₂は増加しています。人類が出現して300万年、そのうち、何十回も厳しい寒さの氷期と温暖な間氷期を繰り返してきましたが、氷期の最盛期で気温が低かったころには、CO₂が180 ppmと少なかつたのですが、いまから1万年ほど前から始まつた最新の間氷期になつて、およそ280 ppmに増えたあと、ほぼ一定となつてきました。

ところが産業革命が始まつて以来300年で、CO₂が275 ppmから381 ppm(2001年)に増え、この20年では1年2 ppmの割合で増えるという、きわめて速いスピードで増えています。氷河期

の180 ppmから今の時代に変化する1万年かかつて増えたのに比べて最近のCO₂の増加はこの100倍から200倍のスピードとなり、さらにスピードを速めているのです。このペースで増え続ければ、2100年には2倍の700 ppmを越えて温暖化がさらに進むと予想されています。

地球上の六〇億人の人間が、石油石炭など化石燃料を燃やしてCO₂を放出してエネルギーを消費しています。1秒間に762トン、これは5万本の杉の木が1年間かけてCO₂を吸収するという大きな量となっています。人間を除く動物のエネルギー消費量は、象は象のみに、ねずみはねずみなりに、動物の大きさや体重の4分の3乗に比例しています。人間も動物であるので、本来ならば同じ線にのるはずですが、火を発明し、農耕を始め石炭石油などのあらゆるエネルギーを使い始め多く使うようになり、一人当たりほかの動物の同じサイズの動物と比較して、およそ63倍のエネルギーを消費するようになりました。標準体重である52キログラムの人間の場合、体重が4・4トンあるアジアゾウのみのエネルギーを使つているのです。

1970年ころから世界の経済・産業活動が急速に発展するにつれて、エネルギーの消費量が、10年で2倍の割りで急上昇しました。工業製品を作り出すエネルギーだけでなく、便利となつた車、クーラーな

どのエネルギー消費が、生活の向上とともに増え、とくにアメリカ、ヨーロッパ、日本が多くのエネルギーを使つてきたからである。さらに人口爆発がエネルギー消費の増加に加わったのです。

人類だけがこの300年間に、地中深くに溜め込まれた石油や石炭の化石燃料をほりだして、エネルギーとして使いはじめたのです。地殻変動や海、大気の総力を挙げて数億年以上の長い期間で自らで築いた薄い濃度のCO₂の0・03^{±1}に調節してきたのですが、「CO₂の過剰な放出」による、また「行き過ぎた温室効果」による地球温暖化、高温化をもたらしてきたのです。

◆ CO_2 のゆくえと地球温暖化

(瞬消えた CO_2 のゆくえ)

地球がますます高温となるとい地球温暖化は、石炭や石油を燃やした時にでる CO_2 が空氣中に増えて、その温室効果で気温が上昇することです。その CO_2 は空氣中に1万分の4（注1）程度含まれ、この微量な気体が温室効果には絶大な役割を果たします。石炭石油の燃やす量の増加とともに CO_2 が敏感に増え続けて、 CO_2 の連続観測が開始されて40年ほどになるが、毎年0・4%の割合で順調に増えていましたが、突然伸びが止まってしまった年がありました。それも日本やハワイなど世界規模でした。

石炭石油を燃やすのを止めてしまったわけではないので、空氣中に放出された CO_2 がどこかに忽然と消えてしまったことになります。海に吸収されたのだろうか。消えた CO_2 のゆくえ」のミステリーのカギを握っているのが、大噴火をしたフィリピンのピナツボ火山でした。

シナリオがこう考えられています。ピナツボ火山の大噴火で吹き上げられた噴煙が上空に漂い、太陽の光を遮る日傘効果で北半球が冷えた。気温に敏感な植物の活動が鈍り、呼吸でだす CO_2 の量が減ってしまった。海への吸収はあまり変わらず、出

る部分に加わる部分が小さく全体としては、増加が止まつてしまつた」という、植物が呼吸や活動を控えた結果というものです。火山噴火の影響は薄れて、一休みしたことから裏づけられました。

このように石油石炭を燃やして空氣中に毎年、 CO_2 の量として1000億トン（注2）が放出されていますが、そのうち正確に58²ppmが大気中に残つて濃度の上昇（1年2ppmの増加）の原因となつていますが、残る42²ppmは、海に解けたり、森林に吸収されたと推定されていますが、どうしても計算で足りない残りの差がでてしまっています。 CO_2 がどこかへ行方不明となつて沈み込んで消えてしまふと、いうので、「ミッシングシンク」とミステリースに呼ばれています。

海は CO_2 を1000倍も多く貯めることができます。海の中に溶け込、深海に閉じ込められ、海底にたまつたものが地球内部に炭酸カルシュームともぐりこんで、再び火山や風化ででてくるという、「 CO_2 の循環」が、まだまだ不透明な部分も多いのです。世界中に広がる森林に吸収され、植物の呼吸で出てくる量がどのくらいなのか、広大な海の役割はどうなのか、大きさの見積もり次第で将来の CO_2 の予測が大きく変わってしまいます。

炭素循環、 CO_2 の循環」の中で、海が最も大事で、最も不透明なことがおおい

のです。

① 海に CO_2 がどのくらい溶け込むか、② 今後もどんな量が解けるか？ 今後もどんな量が解けるか。④ 海と大気でどのような、相互作用、出し入れがあるのか？ ⑤ 海のなかの大循環（深海を含めて、南北半球と北半球の海がどうつながつて流れているのか？）といふ多くの不透明さが残されている。この循環の輪のなかで、海が最も重要だが、観測も理解もまだ十分とはいません。海を知らずして、気候変化は語れない」むしろまだナゾがおく、未来予測の最も不透明な部分なのです。

注1) CO_2 の濃度、空氣中に1万分の4、375 ppm

注2) 1000億トン・10ギガトン。

◆ 地球温暖化の現在の姿、

100年後の姿

現在を知り、未来の危うさを正確に知るために、正確さが増した地球球の姿をもう一度、整理して、100年後の予想した姿と比較することが必要となるでしょう。

○が現在、↓100年後)

気温

○平均気温は、20世紀に約0・6°C上昇した。

↓●21世紀末には平均が、1・5°Cから5・8°C上昇。緯度が高くなるほど気温上昇が大きく日本海側に雪が減る。低気圧は発達しやすく、竜巻、トルネード、集中豪雨が増える。変動幅が大きくなる。ヒートアイランドと加え、最高気温が上昇して夏の猛暑が増え暖冬が増える。

○上空の気温は、高さ8キロメートルまでの大気において、過去40年間上昇してきた。↑○数キロメートルより高い成層圏が冷えてきている。過去50年くらいの高層気球観測や気象ロケットの記録から)。

雪氷、氷河

○雪氷面積は減少している。氷河の先端が消えて後退している、ヒマラヤ、ヨーロッパアルプスの氷河が後退。グリーンランドや南極大陸の端でせり出している。氷棚が消えてきている)

↓●百年後は、山岳氷河が衰退もしくは消

える。南極大陸上は一時的にわずか増加、その後減少。

○地球の平均海面水位は上昇し、海面が10センチ程度) 海洋の貯熱量は増加した結果、膨張したためがおもな原因とみられる。

↓●100年後、9センチから80センチ以上昇。海に浮かぶ小国「モリジブ」が浸水の危機。ガンジス川など、いずれも大きな土地ですので、世界中で何千万人、何億人も住む「デルタ」が、洪水の危機と浸水の危機にさらされる。南極大陸

↓●氷の一部が崩壊すれば、もつと大幅な海面上昇もありうる。

気候変動

○気候変化はいろいろな面でも現れてい るが、いくつかもう少し詳しく見ていく。も見え見え(まだ明らかに変化とはいえない灰色の部分がある)。

↓●モンスーンやエルニーニョなど地球規模の異変異常が起こりやすく、長く続

温室効果・日傘効果

○人間活動によつて大気中に放出された温室効果ガス(主にCO₂、メタン、フロンなど)は温度を上げる役目を増加を続けている。

↓●CO₂が540から907 ppm 増加。

○エーロゾルとい大気中に浮かんでいる微粒子は、温室効果と逆に気温を下げる効果があるが、人為起源のエーロゾルは寿命が短い(長期の変動にどうかかわつて)いるか不明)。わかれ評価は今後。火山噴火が増加などしてこの見積もりで、根本的に予測がかかるかもしれない。

↓●温暖化を抑える日傘効果は、意見がわかれ評価は今後。火山噴火が増加などしてこの見積もりで、根本的に予測がかかるかもしれない。

○将来の気候予測するモデルの能力がスレーパーコンピューターとモデルの進化により、信頼性がましてきた。その予測シナリオでは、平均気温と平均海面水位の予測結果のすべてにおいて上昇することとなつていて。

○より正確な詳しい観測によると、最近50年間に観測された温暖化のほどんどは、人間活動によるもので、人類による

気候変化は、今後何世紀にもわたつて続くと見込まれる。

↓●降水量は地球全体で増えるが、地域差が大きく、洪水の頻発、大陸内部で旱魃など食料生産が不安定、エネルギーの分配を含め紛争の聞きと南北格差がもつと増大する。

注1) IPPC(政府間パネル) 2001年の最新報告をもとに、作成。

◆気候変動と文明の衰退、

エジプト王の『アレオパトラ』が、地中海のギリシャ沖を舞台にローマ軍と闘つたアクティウスの海戦^{注1)}は、およそ2千年前だった。ローマ軍を迎撃つクレオパトラ軍は、レバノン杉を内側に外側を厚い鉄板を張った大型のガリー船型戦艦を主力に500隻を揃えて磐石な構えで闘いに挑みましたが敗北しエジプト王朝が滅んだのです。

この闘いに登場するエジプトの船は、中東のレバノンの木材とギリシャの船大工で建造されたのです。現在の地中海沿岸の国々の姿から想像できないでしょうが、当時レバノンでは船材となるレバノンスギの巨木が供給できるだけの森に覆われていました。^{注2)}この時代から400年も前、かつてバルカン半島、ギリシャなどの国々にも大建築物の屋根を覆うことができる原生林があつたのです。その檻^{かし}の固い巨木で造った建造物の梁が、いまなお残っているというのに、豊かな森は失われ、肥沃な野は、土石の荒野と化してしまつたと、紀元前はるか昔のギリシャの哲人プラトンがなげていました。農耕活動とオリーブ栽培でギリシャのカシの原生林の豊かな森が次々と消えていったのです。ついでレバノン杉の原生林の姿は消え、パ

レスチナ問題や内戦の時にしばしば登場したレバノン・ベーカー高原には背の低い灌木で覆われ、赤茶けた姿しか写っていませんでした。狭い範囲だがこの地方でレバノン杉の復活をかけた植林が試みられていますが、肥沃な表土とともに消えた原生林の復活は、一度消えるとその復活は大変で、闘いに挑みましたが敗北しエジプト王朝が滅んだのです。

レバノン杉を伐採したエジプト王朝は、ナイル川の水位の上昇とともに繁栄と文明を築き、水位の低下とともに衰退するという自然に支配され、クレオパトラの死後ついには最終の水位低下とともに衰退してしまったローマの直轄領とされてしまいました。

自然に恵まれた肥沃の土地に文明が生まれ、農耕の繁栄とともに森林が消滅してしまった。古くはメソポタミア文明が、森の衰退とともに滅び、インダス文明も黄河文明など最古の古代文明も森の衰えとともに衰えていきました。

中国大陸の黄河が大きく蛇行している中流域のオルドス高原の丘の上には『涌松王』と呼ばれている樹齢およそ900年の老木が一本だけが森林破壊の果ての象徴のごとく残っていました。かつて騎馬民族のジンギスカンがヨーロッパまでの広大な国々を征服して世界をかけ抜けた時代には、このあたりでも豊かな森が残っていました。その豊かな森林は現在なく、砂漠とわずかばかりの草原地帯の表土がはが

れ、水による侵食で深く切り削られて、切り込まれている姿がそこにあります。

ドイツからフランス、イギリスもその昔、深い原生林で広くおおわれていました。小麦栽培と放牧、産業の進展で多くの森林が失われました。その中で日本は、温帯で多雨地帯にあったことと、古代から稻作が中心の農業が栄え、里山も含めて森林が保護されてきてため先進国の中では森林が残っている優等生なのです。

多くの国々で森林の衰退が続き、文明や生活を破壊し下流をおびやかしているのです。最近目立つ中国大陸の長江大洪水や華北の間伐も気候の長期変動とともに、森林伐採に原因があるといわれています。森林衰退が文明を衰えさせるという、数千年にわたる自然からの警鐘が続いているにもかかわらず、熱帯雨林などの急激な減少などが続いています。森林の復活が、温暖化対策とともに波及効果が大きく、未来への力がとなるのではないかでしょうか？

+++++

注1) 紀元前31年、

注2) レバノン山脈の奥にわずかに残るレバノンスギの森に残る巨木は、樹齢6千年、直径4m、周囲が13.5m