

環境と生命の相互作用

本会のホームページに引用してあるレイチェル・カーソンの言葉をここで繰り返すと、「この地上に生命が誕生して以来、生命と環境という二つのものが、たがいに力を及ぼしあいながら、生命の歴史をおりなしてきた。といっても、たいてい環境のほうが、植物、動物の形態や習性をつくりあげてきた。地球が誕生してから過ぎ去った時の流れを見渡しても、生物が環境をかえるという逆の力は、ごく小さなものにすぎない。」とある。

一体、地球が誕生してから、生命はどのくらい環境に変化を与えてきたのか、遠くさかのぼって見てみたい。そして、地球温暖化の問題を考える基礎となる事実を探ってみる。

地質時代初期の生命と環境

地球の誕生は今から約45億年前で、生命の誕生は約35億年前とされる。

タイムマシンで、生命が誕生した頃の地球に行ってみよう。既に海と陸に分かれてはいるが、陸では火山の活動が活発で、地上には動物はもちろん植物も見えない。強い紫外線が注ぎ、大気の主成分はCO₂である（酸素は現在の10億分の1しかない）。

太陽は小さく暗い（エネルギーは、現在の4分の3にすぎない。）にもかかわらず気温は38度Cもある。これは「暗い太陽のパラドックス」と呼ばれている。

「暗い太陽のパラドックス」の説明は温室効果ガスによる「超温室効果」というのが有力のようである。ガスが何であったかについて、「メタン+アンモニア説」と「CO₂説」があるが、いずれであるにせよ、「超温室効果」でパラドックスが生じたとすると、次のジレンマを生む。

たとえば「CO₂説」によると、始生代は現在の数百倍のCO₂濃度があったことになるが、この濃度ではその後太陽が25%も輝度を増した時、地球は超高温となってしまう。実際はそうならなかった。なぜ、ならなかったのか。

その答えは、大気からCO₂が減ったからであるというのが現在の仮説である。

CO₂が減った原因の説明の一つとして登場するのが、**生命の環境に対する影響による説明**である。次の「ガイア仮説」がそれである。

地球科学的過程による負のフィードバック（温暖化 水循環の活発化 炭酸水 鉱物風化 炭酸カルシウム・炭酸マグネシウム 堆積岩）によってCO₂が固定化されて、大気中から減った。

生物学的過程による負のフィードバック（「ガイア仮説」*1：植物プランクトンまたは藻類による光合成 炭酸カルシウムを含む死骸 堆積岩）によってCO₂が固定化されて、大気中から減った。

もし、この仮説が正しいければ、既に生命誕生の初期から生命による環境への影響はあつ

*1ジェイムズ・ラブロック、アン・マーキュリスらによって唱えられた。

たことになる。それが、生命の発展に不都合な地球の超高温化を防いだとすれば、影響力は決して小さいものではない。

年代決定の方法

ところで、地球史上のさまざまな出来事の年代を決定する方法はどのように変遷してきたのであろうか。本テーマとは直接の関係はないように思えるが、そうではない。色々な地層とそこにある化石の出来た年代を知ることが、過去に起こった色々な事象を知るためには不可欠なことである。そして、過去に起こった事象とその原因を知ることによって、初めて未来に起こるべき事象を予測することが出来るのである。

聖書法

17世紀中頃、北アイルランド大司教ジェームズ・アッシャーは、聖書に記された家系をもとに年数を計算し、天地創造の日を割り出した。これによると、全世界は紀元前4004年10月26日午前9時に出来上がったことになるという。

科学的方法

年代決定の科学的方法を、開発された順に列記すると次のようになる。

「地層累重の法則」 19世紀の相対年代決定法。地層ができた先後が決定できるだけで、絶対年代は分からない。

ケルヴィン卿の年代決定法 地熱勾配（地表を深く掘るほど温度が上昇する。）を調べることによって、地球が溶けた溶岩の固まりであった時から現在の状態まで冷えるに要する時間を計算した。地球の誕生を1億年前と計算した。（放射崩壊による熱の発生を知らなかった。）

放射年代決定法（放射性元素の本元素と娘元素の比率による）^{*2} 地球の誕生を約45億年前と正しく計算した。

放射性炭素年代決定法 20世紀中頃、ウィラード・リビーの発明した炭素の放射性同位元素の構成比率による、より精密な判定方法（動植物の死亡時の推定）^{*3}

酸素の歴史

35億年前は、上に述べたように大気中の酸素は僅少であった（現在の10億分の1）。その理由は、酸素は大気中でも海中でも反応性が高いので、鉱物の酸化に消費されてしまったのである。

初期の生命が作り出した酸素も海中の鉱物酸化に消費され、15億年くらいは大気組成を変えなかった。大気中に酸素がないために地表には強い紫外線がそそぎ、生命はそれに耐え得ないため、地上に生命は存在しなかった。

20億年前頃、酸化される鉱物も種切れになり、植物の生成する酸素は大気中に蓄積するようになった。そこで大気中にオゾンが生成されるようになり、紫外線を吸収するよう

*2ウラン 鉛は7億年と45億年、ルビジウム ストロンチウムは500億年の半減期

*3 動植物体内の炭素¹⁴Cの比率は死亡時から減少する。（崩壊によって）

になった。それまで海中に隠れていた生命は、紫外線が減少して安全になった地上へと発展し始めた。植物のみならず動物も植物の生産する酸素をエネルギーとして、海中だけでなく陸上においても発展することができたのである。これは、生命が酸素を生成することによって、自ら、その生存に適する環境を広げていったといえるのではないか。

10億年前頃には、動物は原核動物から真核動物、後生動物へと進化したことによって、より複雑な構造と機能を有することができるようになった。

環境の変化の影響

生命が環境に影響を与えた例は、上記の酸素生成の他にはあまり見られない。反対に環境が生命に与えた影響はいちいち例をあげるまでもなく、地球の歴史を通じて大きいものがある。先カンブリア紀末の大絶滅を始め、生命は何度も大量の種絶滅を被ってきたが(地質年代名は大絶滅を境にして命名されているといえるくらいである。)これは生命の活動とは関係のない地殻変動や小惑星衝突などの天変地異が原因である。

特に新生代に入ってから生命に対する影響の大きい環境の変化として、地球の寒冷化がある。中生代のはじめからの数億年は地球は比較的温暖な気候が続いていた(現在より寒冷な気候の時代はなかった。)ところが、第三紀の終わり頃(1500万年~2000万年前くらい)それまで他の大陸と地続きであった南極大陸が初めて分離した。地続きであった時は、そのことによって、赤道付近からの海流があり、南極は温暖に保たれ常緑樹や針葉樹が繁茂していた。ところが、他の大陸と分離されて以来、南極大陸の周囲を回る環南極海流が形成されたことによって南極は暖流の恩恵に浴することができなくなり冷えていった。400万年前頃には厚い氷河ができ、これによって海面は60メートル低下した。

大陸がほぼ現在の位置に納まると、非常に異なる気象帯が確立した(かつては赤道地帯の気候と極地地帯の気候とはそれほど違わなかった。)多くの生物の生息域が限定されるようになった。(つまり、種によって住む地域が一定の地域に限定されるようになった。)この時期に寒冷化に伴って種の数が増加したという(多様化した生息環境に応じて適応する種も多様化した。?)しかし生物(植物)の活動自体は弱まったのでCO₂濃度は減った。これによって寒冷化はますます加速した。(負のフィードバック)

200~300万年前から現在に至る第四紀になると、氷河期と間氷期が交代で到来する。周期は、短いときは4千年、長いときは10万年。現在は間氷期になって1万年経ったところである。

炭素の循環

地球温暖化に関係の深い温室効果ガス 二酸化炭素の要素である炭素の、地峡環境内での循環を見てみよう。

CO₂は大気の0.035%を占めるが、植物の光合成作用(太陽エネルギー+水+二酸化炭素=炭水化物+酸素)によって消費される。春から夏にかけて光合成は盛んになる。そのため北半球では、秋になると大気中のCO₂は3%低下する。南半球は植物が少ないため、植物の利用するCO₂の量は北半球の3分の1にすぎない。

二酸化炭素は、風化によっても消費されて減少するが、一方火山活動で補給される。

恐竜が跋扈していた白亜紀(1億年前)には、海面は今より250メートルも高かった。海嶺の火山活動が盛んであるため海盆に入る海水が少なく陸地にあふれていたと考えられている。極冠はもちろん、陸地も海面よりも太陽光を反射する。陸地が少なかった(現在の3分の2)ため、この時期は太陽エネルギーが多く蓄えられた。白亜紀には両極に氷がなかったことは確かとされている。気温は現在より10度高かった。北極圏でも広葉樹が繁茂し、ワニが生息していた。

この間、次のような正のフィードバックと負のフィードバックがかかったと考えられている。

正のフィードバック

盛んな火山活動による二酸化炭素の供給 大気温室効果 海面の上昇 海面面積の拡大
および極冠の消滅 太陽エネルギーの蓄積 気温上昇

負のフィードバック

高等植物や植物プランクトンの繁殖(化石燃料の蓄積) 二酸化炭素濃度の減少
気温上昇の抑制

70万年前から、グローバルな気候が明瞭なサイクルを示している。^{*4}

*4氷期/間氷期サイクルは、いわゆるミランコビッチ・サイクルによる南北それぞれの半球の日射量が増えるためというのが通説。

ミランコビッチ・サイクルとは、天文学・数学者のミリュージャン・ミランコビッチが唱えた理論で、氷期と間氷期が周期的に繰り返される原因を、長い時間での地球回転の変動に求めたもので、次の要素から成り立っている。

1つは「歳差」で、地球の地軸(自転軸)が“すりこぎ棒”のように揺らぐ運動。その揺らぎの幅は、大きいときには2万3,000年の周期で、小さいときには1万9,000年の周期で変動している。2つ目は「地軸の傾き」で、現在の地球は公転面に対して地軸が平均23.7度傾いているが、これが4万1,000年の周期で21.5度から24.5度の間を変動する。この変動は季節性を強調して、夏をより暑く、冬をより寒くする役割を果たすと言われる。3つ目が「離心率」で、地球が太陽のまわりを公転する軌道の形が、真円と楕円の間を10万年周期で変動している。現在の公転軌道は真円から少し歪んだ状態にあるが、そのために南半球が遠日点(太陽から最も遠い位置)に来て、南半球の冬は北半球の冬よりも寒くなっている。

これら3つの要素がすべて寒冷化の方向で重なると、北緯60度付近では夏の日射量が例年より20%ぐらい減ってしまい、それが氷期の始まる原因になると言われている。彼は夏季北半球高緯度帯での日射の減少は大陸氷床の形成に重要であるとした。夏季に日射量が減少すると、前の冬の雪が保存され易くなり、雪氷でおおわれた地域の高いアルベド(地球で反射された放射量と入射太陽放射量の比)は正のフィードバックをもたらし氷床の

1～2万年の間氷期の後、10万年の氷期がある。間氷期から氷期の最盛期までは、ゆっくり約8万年をかけて氷が蓄積され、氷期の最盛期が1万年ほど続いて最後に急速に(約1万年かけて)氷河が後退する。このサイクルは、おおむねミランコビッチ・メカニズムで説明できるとされている。なお、寒冷化が進むと、水の蒸発が少なくなって降雪量が減少、氷河の成長が止まることや、氷の重みで地盤が沈み、氷床が低くなって暖かい空気に触れるなど負のフィードバックもある。

地球の軌道は2万年、4万年、10万年の周期で変動するが、地球が受ける太陽放射の年間総量はせいぜい0.2～0.3%しか変わらない。しかし、緯度や季節よっての分配量は10%も変わる。

地球の誕生からの全地球の平均気温の変化は、図1・1のとおり。長期的に見ても、短期的に見ても、地球が寒冷化に向かっているように見える。

図2・3からは、地球の平均気温が今から16万年前から低下の傾向をたどってきたが、産業革命以降、二酸化炭素の増加とともに鋭い上昇に転じたことが示されている。

(図1・1と図2・3ならびに各図の説明は、スティーヴン・シュナイダー著・田中正之訳「地球温暖化で何が起こるか」草思社刊から引用。)

CO₂は、赤外線のかなりの部分を吸収するので、地表からの放射冷却を妨げる。(温室効果ガス) CO₂は産業革命以来20～30%増加した。21世紀の半ばには100%増えると予測されている。注目される温室効果ガスとして、メタン(CH₄)は産業革命以来150%増加した。^{*5}

今、世界中の氷が解けてしまったとして、海面は60メートルほど上昇する。

二酸化炭素の排出量から、今世紀の終わりまでに海面が50センチ高くなるというのが、いちばん確率が高いとしたシミュレーションがある。(確率は低いですが、数センチマイナスとなる、あるいは1メートル以上上昇するという予測も出た。)

結論的なことをいえば、これまでの歴史的な気候変化を調査した結果を参考に、未来の気候変化をシミュレートすることが一応出来るようになったけれども、まだ信頼するにたる予測に必要な歴史的事実の蓄積が不足、かつシミュレーション技術が未熟であるというのが現実のようである。

それでも、大気温暖化をおそれなければならない理由は、次のような点にある。

過去の気温変化は、短くても数万年、長くは数億年をかけた緩慢な変化だった。現在問題となっている変化は百年単位の急激な変化である。

ガイア説は、地球環境の変化には、負のフィードバックが働らいて変化を打ち消すと

形成の前進をまねくだろうと考えた。

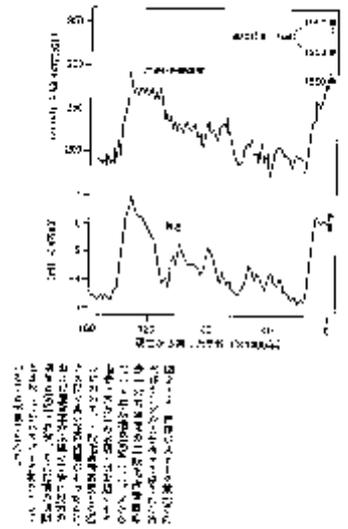
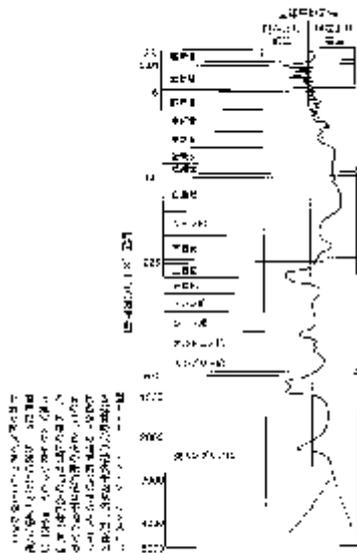
*5肥料

いう考えだが、常にそうなる普遍性があるとは思えない。むしろ、過去の例から見ても正のフィードバックがかかる（変化が増幅される。）ことの方が多い。

生物の生息分布は、短期間の変化には対応できない。（生息域を変える余裕がなく、絶滅する。）

生物には、僅かな環境変化にも耐えられない種もある。

以上



報告と討議の記録（山本利久）

大変貴重な資料、データを豊富に用いた報告となった。環境と生命は、論者によれば決して環境が一方的に生命に影響を与えたものばかりではなく、時として生命の存在が環境に大きな関わりを持ったこともあると主張しその相互作用を地球、生命の誕生時まで遡り、超長期のスパンで科学的に、地球温暖化に照準を絞り検証しようと試みている。更に植物が地球環境に大きな影響を与えている点を指摘しているなど、温暖化問題の背景を理解する上で極めて示唆に富み、参考になるものであった。

ただ近代科学の知り得たり、予見出来る範囲には自ずと限界があり、従って完全な地球と生命の相互作用の理解には尚課題が残る。今後の科学技術の進歩で更に不明確な関係が明らかになり、人類の地球環境を考える上での参考になることを期待したい。同時に論者による直近、並びに近未来に対する環境と生命の相互作用についての研究を期待したい。

報告後の参加者の関心事と視点：

- * 人間とその他種の関係；人類の生存のためには必要でない種の生存は絶対ではないか否かについて見解が割れた。
- * 地球規模の環境変化は人類に普遍的影響をもたらすか？

コメント（阿部哲夫）

- 1．法律の達人・松崎さんにこれほど自然科学の素養があり、その上、歴史的な展望の中でコトを論ずる関心が強かったというのは、嬉しい驚きでした。これだからヒトとのつきあいは止められないということでしょう。
- 2．何十億年に亘る大きな環境の変化と生命と関わりの話を聞いたとき、小生も、松崎さんの結論は、長い地球の営みからすれば、最近問題になっている程度の環境の変化などは大したことではない、もう少し気楽に行こうぜ。ということになるのだろうと思っていましたが、松崎さんの結論は、意外にも環境の小さな変化が極めて大きなインパクトを生命に与える、と言うものでした。小生は、今までの経験で、研究者とか調査担当者がその作業の過程で感じる感じこそが貴重、案外正しいことが多い、と思ってきました。松崎さんの今持っている結論を大事にしてください。我々の身の回りでも、ちょっとした小さな変化が、植物などの生命体に劇的な変化をもたらしているケースは数多くあります。