

# 「海はどうしてできたのか」壮大なスケールの地球進化史

藤岡換太郎著 講談社ブルーブックス

藤岡換太郎

1946年京都市生まれ。東京大学理学系大学院修士課程修了。専門は地球科学。海洋科学技術センター深海研究部研究主幹、グローバルオーシャンデベロップメント観測研究部長。海洋研究開発機構特任上席研究員を歴任、2012年退職。現在は神奈川大学、桜美林大学、放送大学などで非常勤講師。「深海 6500」に51回乗船し、太平洋、大西洋、インド洋の三大洋初潜航を達成。2012年に海上保安庁表彰。著書に「深海底の科学」(NHKブックス)「山はどうしてできるのか」(講談社ブルーブックス)など。

## 原始の海

昔から洋の東西を問わず「宇宙創成」についての様々な神話や伝説が生まれて来た。「旧約聖書」にも創世記という一章があって、神がこの世をつくる話が記されている。これによると、この世は僅か6日間で出来たそうである。翌日の7日目は神様がお休みになったそうで、安息日(Sabbath)と呼ばれている。大学で使われる「サバティカル」という言葉は此処から来ている。フランスの画家ゴーギャンが、タチヒで、人間の誕生から死に至るまでの歴史を一枚の画にしている。この絵の題名はこう付けられている。

「私達は何処から来たのか？ 私達は何者なのか？ 私達は何処へ行くのか？」これは人間にとって基本的な問いであると同時に、人間が科学を始めた目的の一つである。本書の「海のはじまり」もこの問いに一つの答えを与えることでもある。

地球は今から46億年前に出来上がった。そして海も地球史的な長さで見れば、地球が出来てからほどなくして誕生している。本書ではこの海の進化史を感覚的に捉える為に「地球カレンダー」という物差しを使って記述する。これは46億年を「一年」と置き換えて、各年代を「日付」で表す。つまり地球の始まりは「1月1日」、そして現在は「12月31日」の大晦日と言う事になる。46億年を「1年」と換算すると「1ヶ月」は約3億8000万年、「1日」は約1260万年、「1時間」は約53万年、「1秒」は約146年になる。

宇宙は約137億年前に「ビッグバン」と呼ばれる大爆発によって出来た (1)

とされている。最初の宇宙は、最も単純な元素である水素やヘリウム等から出来ていた。それらが多く集まって第一世代の星（恒星）が出来て行く。星は太陽ぐらいの大きさになると、その内部で巨大な原子炉のような核融合反応が起り、軽い元素から順々に重い元素が作られ、最も重い鉄までの元素がここで形成される。やがて星は膨張して赤色巨星となり、更に超新星となって大爆発が起り、鉄より重い元素が合成されて、宇宙空間に飛び散る。それらの星間にある物質は、再び集まってやがて第二世代の星をつくり出す。これ等の星はやや重い元素を含み、次に同様にして第二世代の星が爆発して、その残骸が集まって第三世代の星を誕生させる。私達の太陽は第三世代の星である。

太陽系の起源については様々な説があるが、現在では次のような考え方が主流となっている。

- ① およそ **46** 億年前、巨大な分子の雲が重力によって収縮を始め、周囲のガスを集めて回転する円盤を形成する。円盤の中心部には多くの物質が集まり、それらも又重力によって収縮して、原始太陽が形成される。
- ② 原始太陽の中心部の温度は既に **1500°** C以上になっている。やがて分子の雲や円盤状のガスは冷却し、その中の氷や固体の微粒子が集まって、直径 **10 km** ほどの微惑星が出来る。それは太陽の近い所では岩石が、太陽から遠い所では氷が主体となっている。
- ③ これ等の微惑星は衝突を繰り返しながら徐々に合体して大きくなって行き、やがて原始惑星が形成される。地球が出来た辺りの周辺では **100** 億個の微惑星が互いに衝突していたと考えられる。
- ④ 原始惑星はさらに衝突・合体を繰り返し、遂に **8** 個の惑星が出来上がる。この内、太陽に近い水星、金星、地球、火星は岩石から出来ていて、それらは地球型惑星、或は岩石型惑星と呼ばれている。

地球は今から **46** 億年前に太陽系の第三惑星として誕生した。その時期をどのようにして決めたのでしょうか？これは放射性元素の崩壊又は壊変の年代を尺度にして測定する「放射年代測定法」によって確立された。1 g のウランの半分の **0.5 g** が鉛になるには **45** 億年かかる。従ってウランを含む岩石を見付ければウランの重さと鉛の重さを測る事で、其の岩石の絶対年代が決められる。「隕石」を調べてみると最古の隕石の年代は約 **46** 億年であることが分かり、原初の地球は隕石が集合して出来たという考えが主流になった。そして地球の年齢は **45.5** 億年～**46** 億年と決まったのである。出来上がったばかりの地球には隕石が重爆撃のように振り続けていて、物が衝突した時には熱が発生する。それは非常に大きな熱で、地球はやがてその表面から溶け始める。 (2)

表面から 2000~3000 km ぐらいの深さまで溶けたと考えられている。地球の  $1/3 \sim 1/2$  に近い深さまでドロドロのマグマだったのである。それが地球の表面全てを取り巻いて「マグマオーシャン」を形成したと考えられている。マグマオーシャンこそが地球に出来た「初めての海」だったのである。

こうした考えは月の研究から生まれた。満月の日に月を眺めると、地形的に高い部分の白っぽい「陸」の部分形成している岩石は「斜長岩」と呼ばれる軽い岩石である。これは過って月がドロドロに溶けていた時、軽い斜長岩が表面に浮いて、後に固まったものと考えられる。つまり月には、過って「マグマの海」があったと考えられる。この考え方を地球にも応用したのが「マグマオーシャン」である。地球のマグマオーシャンは「コマチャイト」と呼ばれる黒緑色の岩石が溶けたものから出来ていたと考えられ、衝突した隕石が融解して出来たもので、地球内部のマントルを作っている「橄欖岩」と現在の海の構造を作っている「玄武岩」の中間成分を持つ岩石である。隕石が融解してコマチャイトになる温度は  $1600^{\circ}\text{C}$  ぐらいであることが実験的に確かめられている。そしてその後、地球の温度は下がって行き、極めて高温でしか存在できない岩石であるコマチャイトが存在していることが、原初の地球がマグマオーシャンの状態であった証拠になっている。又地球が成層構造になっている事もマグマオーシャンが存在した事の証拠になっている。こうして地球に最初の海が誕生したのである。地球カレンダーでは1月1日~1月12日までの間に当たると考えられている。この間「大気」と「陸」も同時に出来ている。隕石の中に含まれていたガスが衝突によって噴出して出来たのが「はじめての大気」である。所々冷えたマグマの溶岩の小島が「はじめての陸」なのである。

地球の唯一の衛星である月はどのようにして出来たのでしょうか？昔から月の成因として考えられたものは主に三つに分けられる。地球と月は「親子」であるという考え方。「兄弟」であるという考え方、そして「他人」であるという考え方である。「親子説」とは、月が地球から遠心力によってドロドロのマグマが宇宙に飛び出し固まって月になったというものである。そして飛び出した跡が太平洋だというのである。しかし地球の引力を超える力で物質が飛び出すには、地球がとんでもないスピードで回転して居なければならない。従って決定打とはなり得なかった。「兄弟説」は地球が出来たのと同じように微惑星が少なめに集まって出来たのが月であるというわけである。しかしアポロ 11 号が持ち帰った岩石の化学組織は、地球のマントルとかなり似ていることが分かった。つまり地球の一部分のみと似るという事は「兄弟」としては説明がしにくい。「他人説」とは宇宙空間を移動していた月が、たまたま地球の軌道に近づいた時に地球の引力に捕えられたというわけである。

この説も確率的には極めて低いと考えられている。1975年、ある斬新な仮説が誕生する。「ジャイアントインパクト説」である。地球が出来た頃の頃、火星ぐらいの大きさの星が地球に衝突したという考えである。衝突のスピードは時速10万kmと言われ、それによって地球の一部がもぎ取られ、衝突した星の方もバラバラになり、それらが地球の外側を取巻いているうちにやがて集合し月になったというのです。これは兄弟とも親子とも言える。又この説には、地球の自転軸が、23.4度傾いている事の理由も説明できる。そして地球に季節が出来たのである。1月12日の大事件はまさに地球滅亡の危機でもあったのである。誕生したばかりの月は、地球から約2万kmという近い所にあったが、現在では月と地球は約38万km離れている。その当時は、毎日2回大津波が海岸に押し寄せていたと考えられる。

では、マグマオーシャンというはじめての海から、水で満たされた海洋がどの出来たのか？それには様々な説がある。海洋の成立と陸や大気の成立、そして地球の内部構造の完成は殆ど同時期に、共通の原因でなされたと言う事が確かである。それは隕石の重爆撃やジャイアントインパクトがもたらした高温による始原物質の融解・揮発の後に起きた重力による物質の再配列であった。まず大気ですが、はじめての大気を「一次的大気」と言うが、それは太陽そのものの成分である水素やヘリウムが全てであった。そしてジャイアントインパクトによってそれらは宇宙空間に逃げ去ったと考えられている。「二次的大気」は、マグマオーシャンから生まれた火山活動によって、マグマがガスを放出する「脱ガス」という現象が起り、そのガスが徐々に上空に累積して、大気を形成したと考えられている。それは隕石の中に閉じ込められていたガスであった。その成分は現在の火山活動によって出てくる成分とよく似ている。しかし酸素はこの時の大気にはまだ含まれていない。火山から多くの供給を受ける二酸化炭素が圧倒的な比率を占めるようになる。この二酸化炭素は温室効果が高いガスで、それによって地球は十分に暖まって水（液体）で満たされた海が出来たと考えられている。水は宇宙からやって来た。隕石の中に水が含まれていたのである。太陽系の第三惑星である地球だけが太陽からほど良い距離に有ったため、水が液体の状態で存在し得たのである。そして37億年前、地球カレンダーでは2月9日、陸の温度が下がると、凄まじい量の液体が地表に降って来た。地球が100度Cにまで冷えた時点で、水は液体として最も多い物質になったのである。しかしこの海の成分は、二酸化炭素や塩酸などが溶け込んだ強烈な毒性を持つ海であった。

地球上の最古の化石はオーストラリアの西部、ノースポールという地域 (4)

で見つかっている。そこは過って深海の海底であった。直径数マイクロメートルの球状の化石ですが、細胞分裂の形跡が見られることから、生物と見て間違いがないと判定されている。最初はシアノバクテリア（藍藻）という光合成する原始生物と考えられていたが、その後日本人研究者たちが古細菌の一種ではないかとの異論を唱え、現在ではその考え方の方が有力である。この化石の年代は約 35 億年前のものとし、地球カレンダーでは 2 月 25 日を生命の誕生の日としている。誕生の理由は、有機物などが合成されて生命が出来る条件が整ったからだと言えるが、「どのようにして？」と言う事が一番解かっていない。簡単な有機物が原始大気から合成されることは、ユーレイとミラーの有名な実験から実証されている。フラスコの中に水蒸気を満たして循環させ、原始大気の組成に近いメタン、アンモニアなどを入れ放電を繰り返すと生命こそ生まれなかったが、簡単な有機物（アミノ酸や塩基など）が合成された。これが「生命の元」なのである。「生命」の条件の一つは、自分自身を「複製」出来ることとされているが、それを可能にする DNA がどのように合成されたのか未だに分っていない。又、有機物は、隕石や他の惑星にも存在するので、生命は地球ではなく宇宙空間で生まれたと考える学者もいる。「どのように？」という問題は、生命の起源がそもそも DNA なのか、RNA なのか、それともたんぱく質なのかといった「ニワトリと卵」の譬えにも似た議論が続いていて未だに結論が出ていない。では「どこで？」という問題は、深海底の熱水噴出孔のような場所であったと考える学者が多いようです。1977 年ガラパコス海嶺に潜っていた米国の潜水調査船が海底に金属の硫化物から成る煙突のような地形（チムニー）とその周辺に群がる奇妙な生物群を発見した。太陽の光が全く届かない深海で、彼等はどうして棲息できたのでしょうか？この秘密は、チムニーから吐き出される煙にあります。海水は海底の岩石の割れ目に入り込むと、岩石と反応を起こす。そして元の成分とは違った水に換わる。この水が地下へ染み込み地下深くにあるマグマの熱に温められて、超高温の「熱水」となる。熱水には地下のマグマに含まれているメタンなどのガスも取り込まれる。このような熱水が海底表面に運ばれ、チムニーから吐き出される。そこに含まれる硫化水素は猛毒であるが、バクテリアなどにとっては大好物で、それらの物質を使って化学反応を起し、そのエネルギーで栄養分としての有機物を合成している。そのバクテリアと共生する事で他の大型生物も栄養分を得ている。そしてそこには熱水生物群が集まり、熱水の出ない深海に比べ、生物の量は 1000 倍以上になる。この環境が、生命が発生した時の地球の環境と極めてよく似ている。生命が発生した当時、地球上には「酸素」は無かった。他の物質と結合した酸化物は多く存在したが、酸素だけが独立した状態ではなかった。これが生命にとって大変都合がよかったのである。 (5)

もし酸素があれば、ほとんどの有機物は酸素によって分解され酸化物となって生命を合成する事が出来なかったであろう。つまり地球に最初に誕生した生命は、深海底の熱水に棲息する酸素を使わない生物であった。これは地球カレンダーで言うと「2月25日」であった。

酸素が発生したのは、およそ27億年前、地球カレンダーで言えば「5月31日」の事である。酸素は大きなエネルギーを持っているので、当時の生物にとっては毒であった。海では、酸素は海水中に存在する鉄と結びついて大量の酸化鉄を海底に堆積して行く。そして海水中の鉄が除去されて、海水の組成は大きく変化する。大量の酸素が更に増加しやがて大気に移動し、大気の成分も変えていく。地球に酸素が多いのは、酸化に使われる分を補って余りあるほど作られるからである。酸素の発生とは、大量に酸素が作られる仕組みが確立されたと言う意味である。結論的に言えば、それは海の中で「生命」によって作られたのである。「2月25日」に誕生した生命は、「3月29日」に簡単なバクテリアに進化し、更に「5月31日」になると光合成をする生物であるシアノバクテリアが生まれる。光合成とは、水と二酸化炭素から太陽の光エネルギーを使って、酸素と炭化水素を合成する反応である。酸素は海に放出されると、海水に含まれる鉄と沈殿し「縞状鉄鋼層」という堆積物を形成する。当時の海は、宇宙から見るとマグマオーシャンのように赤く見えたことでしょう。人類にとって有用な鉄鋼の多くがこの時出来たと考えられる。海洋中に大量に放出された酸素はやがて大気中に出て行き、それによってオゾン層が形成される。二酸化炭素が無ければ酸素は出来ません。地球上の酸素は全て植物の光合成が賄っているからです。二酸化炭素と酸素はいわば「親と子」の関係にあり、微妙なバランスを取って現在に至っている。これを「動的平衡」と呼んでいる。そしてこの要に「海」があるのです。大気から陸へ拡散した二酸化炭素を雨水などによって再び地球内部へ戻してやる役目を海が担っている。この炭素循環が一巡するのには約50万年掛かると考えられている。

その後、地上から50kmほどの高さにオゾン層が形成され、太陽からの光のうち紫外線がカットされるようになる。生物は海水というバリアがなくとも陸上に棲めるようになった。そして藻類などの植物が陸に進出し、約4億年前に節足動物が陸上に現れる。そして海には魚類が出現し、その後魚類から両生類が派生した。それから数度の生物の大量絶滅を繰り返す。それは地球の寒冷化と隕石の衝突が原因と考えられている。しかしその原因は未だ確定していない。6550万年前、地球カレンダーで「12月26日」、現在のメキシコ・ユカタン半島に直径10kmの巨大な隕石が地球に衝突した。これによって巨大地震と (6)

巨大津波が発生し、衝突による火災で陸は火の海と化し、ほとんどの植物は燃えて煤が発生し、それによって太陽光が遮られて、地球は急激に温度が下がって2億年に亘って繁栄して来た恐竜が絶滅する。そして「12月27日」約4300万年前、南極から分れて北上を続けていたインド亜大陸が、ユーラシア大陸に衝突しヒマラヤ山脈を誕生させる。地球カレンダーの大晦日「12月31日、午後11時37分」、遂に地球上にホモサピエンスが登場する。そして「残り2秒」でイギリスに於いて産業革命が始まる。「残り1秒」で21世紀が始まったのである。

海は大気や陸、生物との共進化を遂げながら、悠久の時間の中でゆっくりと、大きな循環を繰り返している。気候の温暖化も寒冷化も、超大陸の分裂と形成も、生物の繁栄と絶滅も、海がそれぞれと連動して生まれる「循環」から成り立っている。海は循環しながら様々な形を変えている。今、私達が目にする海は、その内の一瞬の姿でしかない。

海はこれからも永久にこのままの姿であり続けるのか？これまでの地球史の中で海が消滅したという記録は残って居ない。しかし海はやがてなくなると考えている人達がいる。海の水が全て地球の内部に持ち運ばれてしまい、地球の表層に水が無くなってしまおうというシナリオである。大きな「鍋」である海洋はその底が抜けている。そこから水が漏れて地球内部に入っていくというのである。干上がった海には魚だけでなく全ての生物が生息できなくなる。地球はひび割れ、砂嵐が起り、地球全土の砂漠化が進み、水の循環が途絶え、雨が降らなくなり植物は全て枯れ死する。食べものが無くなり陸上の動物も死に絶える。地球誕生時には、多数の隕石の衝突によって地球は高温であった。その熱は火山活動によって、宇宙空間に放出され地球は徐々に冷却されていく。それでも地球が凍りつかなかつたのは、二酸化炭素の温室効果もあるが、もう一つは地球内部から暖められていたことが要因であった。その熱源は放射性元素の崩壊熱である。だが放射性元素は地球誕生時から比べるとかなり減っている。半減期、12.5億年のカリウムに至っては、最早1/4以下に減っている。マンツルの温度が下がると含水鉱物は、もっと地下深くにまで沈まないと分解しなくなり、遂に水はマグマを作って地表に戻れなくなる。つまり海水が地下深く没してしまうのである。これが海の終焉のシナリオである。今から約10億年後にその時が来ると言われている。海が消えた地球は生物の生存は望めない。それは今の火星のような星になると言う事である。私達の子孫は、この危機を高度な技術によって乗り切るかもしれない。何処かの星に移住するとか、地球自身を別の軌道に移動させることが可能になるかもしれない。幾つもの奇跡によって誕生し進化を遂げてきた太陽系唯一の「水の惑星」、海の恵みによる無数の命が生きるこの星は、地球カレンダーの「最後の23分」に現れたに過ぎない(7)

私達自身が作る環境破壊によって海の消滅を促進する事のないように切に願うものである。

#### コメントと感想

我々は「地球の終焉」を学んだ記憶がある。それは太陽の最後のシナリオである。太陽はその内部で、核融合によって水素からヘリウムを合成する。やがて水素は全て使い果たされる。その時太陽は赤色巨星となって、現在の1000倍にも膨れ上がり、その温度は1万度C以上にもなる。その巨大な火の玉は、すぐ外側を回る水星を呑み込み太陽の一部となる。次に金星が水星と同じ運命をたどり、とうとう地球にもその順番が回ってくる。それは今から50億年ほど先の事と考えられている。しかし本書では、その前に海が消滅すると言っている。それまでに10億年程の時間があると言っている。しかしそれ以前に、人類自身が原因となる地球温暖化による「水の枯渇」が予想され、又戦争等による核爆発による人類滅亡の危惧もある。宇宙の摂理はともかく、我々人類による地球環境破壊・破綻は何とか防がなければならない。

近未来についてのもう一つの海に関する視点は、日本の将来についての海底開発についてである。日本はエネルギー資源やレアメタル等の工業部品に使われる資源が乏しい。しかし幸か不幸か日本は回りを全て海に囲まれている。そして日本列島を含め、その海域はプレート境界部にある。このプレートのうち、収束境界（沈み込み帯）の部分に、海溝が存在する。日本海溝や南海トリフがそれである。それらは火山活動や地震活動を等の地学現象を頻発させるが、しかし一方では、金銀やレアメタルが存在する地域は、火山帯と完全にオーバーラップしている。沈み込み地帯に伴われた火山帯には、これ等の鉱床が出現する可能性が極めて高いのである。国の大量の借金、人口減、少子高齢化など日本の未来に暗い話が多い中で、日本近海の海底開発は、唯一とも言える明るい話であると言えよう。それにしても海洋開発は慎重にしなければならない。陸上における足尾銅山の二の舞になってしまう。しかも海は全世界に繋がっているからこそ慎重に開発しなければならない。