

# 地球の過去と未来

## 1、地球の誕生—有力な仮説にもとづいて

地球は46億年前に誕生した。銀河系の一角、太陽系内で微惑星の衝突・合体の繰り返しによって生まれた直径500km前後（現地球の1/10）の原始惑星が20個程できた。1千万年の後、互いの重力によって軌道を乱し始め、原始惑星同士が衝突、合体した。原始地球は原始惑星が10回にわたって衝突、合体し、40億年前までに今の形、大きさとなっていった。最後の衝突で飛び散った破片が集まって月が誕生した。

原始地球の誕生過程において、半径が現在の地球の約2割、1500kmくらいになると、質量増加→引力増加により、無数の微惑星が1~2km/秒というスピードで原始地球に衝突、高熱状態となり、微惑星中に含まれていた二酸化炭素や水、窒素などのガス成分が蒸発し原始地球のまわりを覆った。原始大気の誕生である。

微惑星の衝突エネルギーは熱エネルギーに変換され地球はさらに高熱化。地球の直径が現在の4割程度になると、この衝突エネルギーに水蒸気の大気による保温効果が加わり、直径が現地球の半分ほどまで成長したとき、地表の高温は岩石を溶かしはじめ、地球の表面はマグマ・オーシャンとよばれる厚いマグマの海と化した。

地表がマグマ・オーシャンで覆われている間も、上層300kmくらいのところでは水蒸気が凝結し雲ができ雨が降っていた。しかし、その雨は高温のため蒸発してしまい地表まで届くことはなかった。やがて微惑星の衝突がおさまると地球全体の温度が低下しはじめると、ようやく雨は地表に届くようになった。地表での最初の雨である。このできごとは現地球の9割ほどの大きさのときに起きたと考えられている。雨は地表を急激に冷やし固めていった。そして今まで大気中にたまっていた大量の水蒸気が一気に雨として地表に降り注いだ。こうして数百年後、海はできあがった。このとき火山活動により発生する塩素ガスが雲（水蒸気）に取り込まれ、塩化水素が発生、水に溶けて塩酸となり、この塩酸の雨が地上で川となり、岩石や土の中の塩酸に溶けやすいナトリウムやマグネシウムなどを大量に溶かし（中和）、低いところに集まりNaCl、MgCl<sub>2</sub>を含んだ海となった。

現在太陽系の中で液体の水を持つ惑星は地球=奇跡の星だけであるとされている。こうして「陸地と海からなる地球」は原始地球の誕生から1億年の時をかけて形成された。

## 2、大氷河期

その後、地球上では少なくとも4回の大氷河期があった。このうち3回の氷河期では氷が赤道まで覆いつくし全地球凍結（Snow Ball Earth）をきたした。最後（4回目）の6億4千万年前まで900万年間続いた最も厳しい大氷河期において、火山活動により大量に発生した二酸化炭素は凍結した海中に溶けることができず、大気

中に現在の 300 倍の濃度にまで充満し、温室効果により氷河が崩壊し、大氷河期は終結した。その後、地球上に初めて多様な多細胞生物が出現した（後述）。

氷河期の原因、発生機構には諸説あり決定的な理由は判明していない。

### 3、光合成微生物の大発生

38億年前、海中で最初の生命の兆候が現われる。23～20億年前、藍藻（シアノバクテリア）や植物プランクトンのような酸素発生型光合成微生物が誕生、水と二酸化炭素を吸収し酸素を発生するようになる。

6億4千万年前に4回目の大氷河期が終結し、大気中に充満した二酸化炭素の温室効果により温暖化（ $-50^{\circ}\text{C} \rightarrow +50^{\circ}\text{C}$ ）が進んだ。氷河の移動によって削られた地表のリンが大量に海中に流れ込み、それが一種の海中富栄養化状態を作り出した結果、酸素発生型光合成微生物が大繁殖し全地球を覆うばかりになる。その結果、6～5億年前には酸素が著しく増え、現在のように大気の20%を占めるに到る。大気中に充満していた二酸化炭素は大きく減少する。

光合成生物は光エネルギーを使って水と空気中の二酸化炭素から炭水化物（糖類：例えばショ糖やデンプン）を合成した。また光合成生物は水を分解する過程で生じた酸素を大気中に供給した。光合成＝炭素同化作用の収支式は以下の通りである。



高い酸素濃度がコラーゲン繊維（結合組織の重要な構成成分）の合成を可能とし、細胞同士の接着に利用され、単細胞生物の多細胞化が促進された結果、大型生物が誕生した。

酸素発生型単細胞生物の誕生から、硬い骨格を持った多細胞生物が多数現れるまでの期間を「原生代」と呼んでいる。

### 4、地球生命の興亡

5億8千万年前になると爆発的に多様な多細胞生物（エディガラ生物）が出現した。海中では三葉虫やシーラカンス、陸上では巨大トンボやゴキブリの全盛時代である。

2億5千万年前にこれら生物の大量絶滅が起り、実に生物の90%が消滅した。絶滅の原因について注目を集めている仮説は次の通り。この頃シベリアで巨大なマントルが上昇して膨大な量のマグマが噴出した事実が判明しており、そのマグマ噴出が多量の二酸化炭素を大気中に放出して温室効果を強め、地表の温度を著しく高めた。二酸化炭素は雨水に溶け込んで酸性雨を降らして陸上の植物を枯らし、光合成を妨げた。そのため酸素が欠乏し、陸や海で多数の動物が死に至った。

ここまでの時代を「古生代」と呼んでいる。



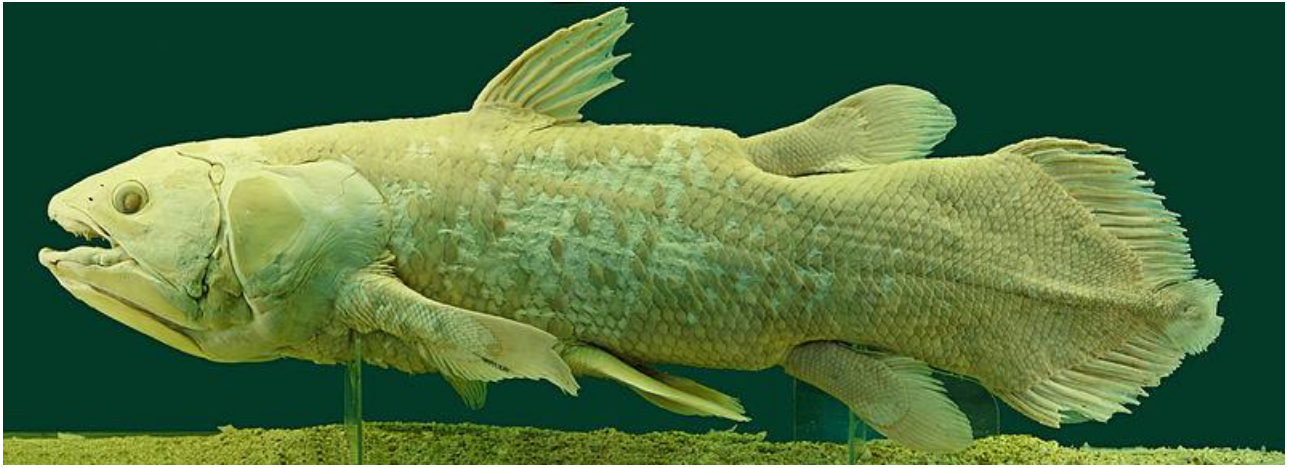
### 古生代 カンブリア紀 (約5億5千万年～5億年前) の海底

Crown Publishers Inc. 発行 'DINOSAURS' より転載

海洋が地球上のほぼ全てを覆い尽くし、動物の多様性が一気に増大した。これをカンブリア爆発と呼ぶ。非常に奇異な姿をした生物が多数発生した。この時期の生物群を総称して「カンブリアンモンスター」とも呼ばれる。

この生物群には、クラゲ状の「ネミアナ」、楕円形をしたパンケーキ状の「ディッキンソニア」をはじめ、直径数十cmにもおよぶ、かなり大きな多種多様な軟体性の生物が見られ、地球最古の多細胞生物ではないかと考えられている。

また三葉虫等の節足動物が繁栄した。多くは腐食生活者であるが、一部の種は捕食者である。1万数千種の三葉虫化石が発見されており群をぬいた多様性である。現在発見されている三葉虫の化石のうち、最も大きいものは全長60cmもあり、小さいものは1cmに満たない。頭部には複眼が左右に1対ある。



### シーラカンス

長らくシーラカンス目は全て絶滅したものと考えられていたが、南アフリカの北東海岸のチャルムナ川沖にて1938年、現生種の存在が確認され、学会および世界を騒然とさせた。

全長が3mに達する巨大な種も知られている。現生のシーラカンス2種はいずれも深海に生息し、魚やイカを捕食していると考えられている。



### 古生代 カンブリア紀のオパビニア (西田 巖 作画)

体長5cm前後、頭部の前面に5つもの眼を具えている。前方の一組の眼と1つの正中眼は三角形を作って配置されているが、斜め後方にはさらに2つ一組の眼がついている。この特異な後方2つの眼の基部には短いながら眼柄がついていて眼を心持ち持ち上げている。

それによって上方に 360 度近い視野を確保していたように見える。

また、頭部先端の下面にはゾウの鼻にも似た長くて柔軟な管状の器官を具えている。この管の先端には、ギザギザのついたカニのハサミまたはトングのような構造体が並んでいて、物を掴めるかのように見える。しかし、口はそこには無く、管の付け根の後ろに開いている。

この大絶滅でも辛うじて生き残った生物が再び進化をとげ、ご存じの恐竜時代が到来する。また哺乳類や鳥類の祖先も次々と出現した。6550 万年前に再び生物の大量絶滅が起こり、恐竜やアンモナイト、そして海洋表層と浅海に棲む動物の大半の種が絶滅した。

1980 年、米カリフォルニア大学の地質学者 W. アルバレスとその父でノーベル賞受賞者でもある物理学者 L. アルバレスらが大量絶滅の主原因を「隕石」とする論文を発表した。アルバレス父子は白亜紀末（約 6550 万年前）の地層（KT 境界と呼ばれる）で他の地層と比べ 20 - 160 倍に達する高濃度のイリジウムを検出した。イリジウムは、地表では極めて希少な元素（rare metal、希少金属）である反面、隕石には多く含まれる。その後 KT 境界は世界各地で発見され、この地層を境に恐竜を始めとして発見される化石の種類が激変していることが確認された。

大量絶滅の原因は直径約 15 km の巨大隕石（小惑星）の落下。場所はメキシコ ユカタン半島の北西端チクシュループで、直径約 200km、深さ 15~25km のチクシュループ・クレーターが現存している。落下地点の周辺はマグニチュード 11 規模の地震と大規模火災が発生し、海に落ちたために生じた津波は高さ 300m と推定される。さらに、衝突で巻き上げられた塵が成層圏に及んで漂い、数ヶ月から数年間太陽光線を遮り、植物など光合成生物の死滅に端を発し、生物全体の 70% が絶滅したと推測される。ここまでの時代を「中生代」と呼んでいる。

その後、ニッチ（niche、生態的地位）は哺乳類と鳥類によって置き換わり、現在 = 「新生代」の生態系が形成された。現地球上には 3 千万種の生命が存在している。



THE AGE OF REPTILES（爬虫類の時代） Yale 大学 Peabody Museum 壁画より

中生代 ジュラ紀（2億年～1億4千万年前）、白亜紀（1億4千万年～6千5百万年前）の恐竜。巨大化、特殊化が進み環境変化に対し極めて弱体化した。

左：ティラノサウルス－北米大陸に生存した肉食恐竜、体長約12m、体重約5トン

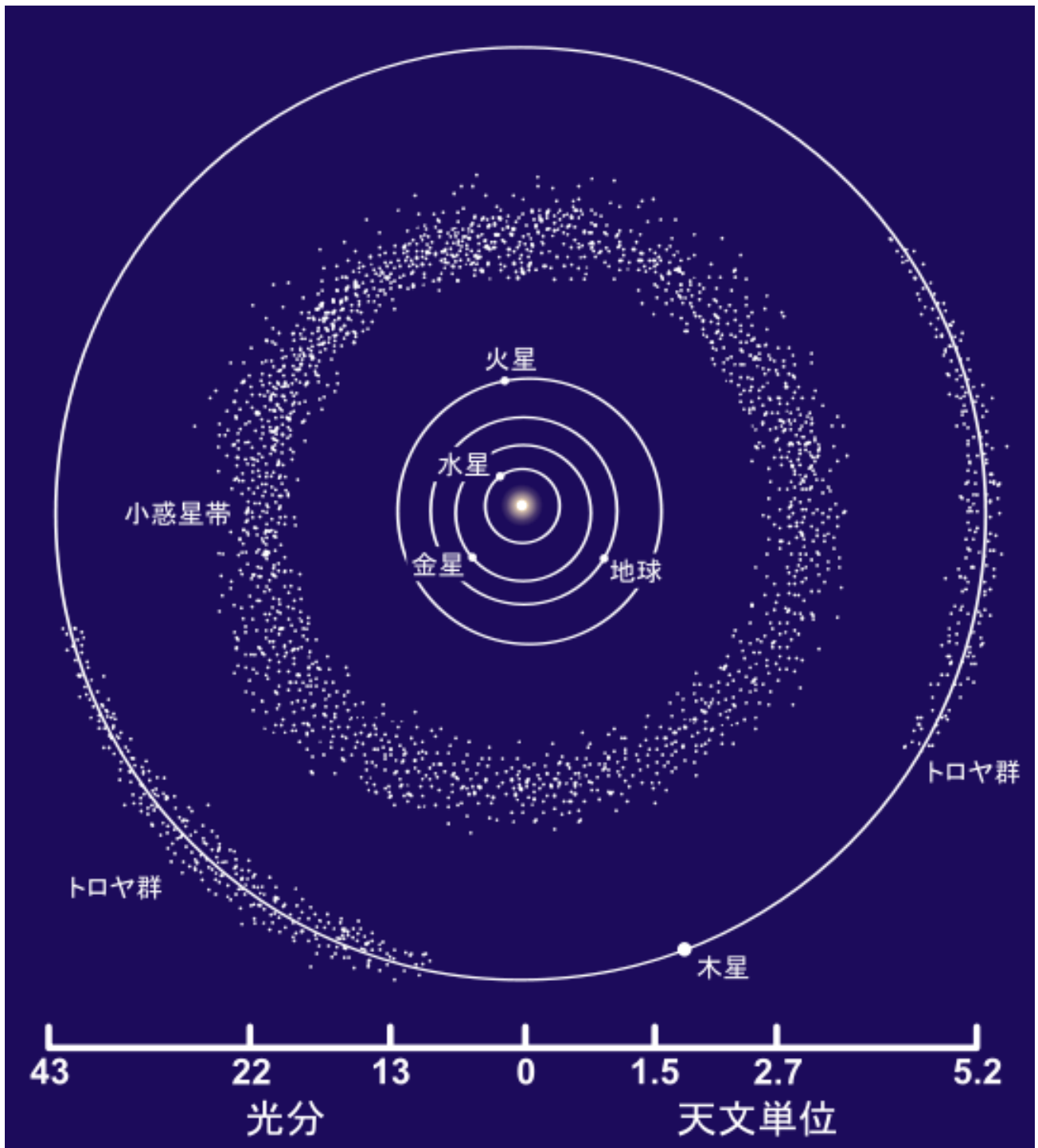
右：アパトサウルス－北米大陸に生存した植物食恐竜、体長約23m、体重約30トン

右端：ステゴサウルス－北米大陸に生存した植物食恐竜、体長約9m、体重約30トン

## 5、巨大隕石（小惑星）衝突と新生代の終末

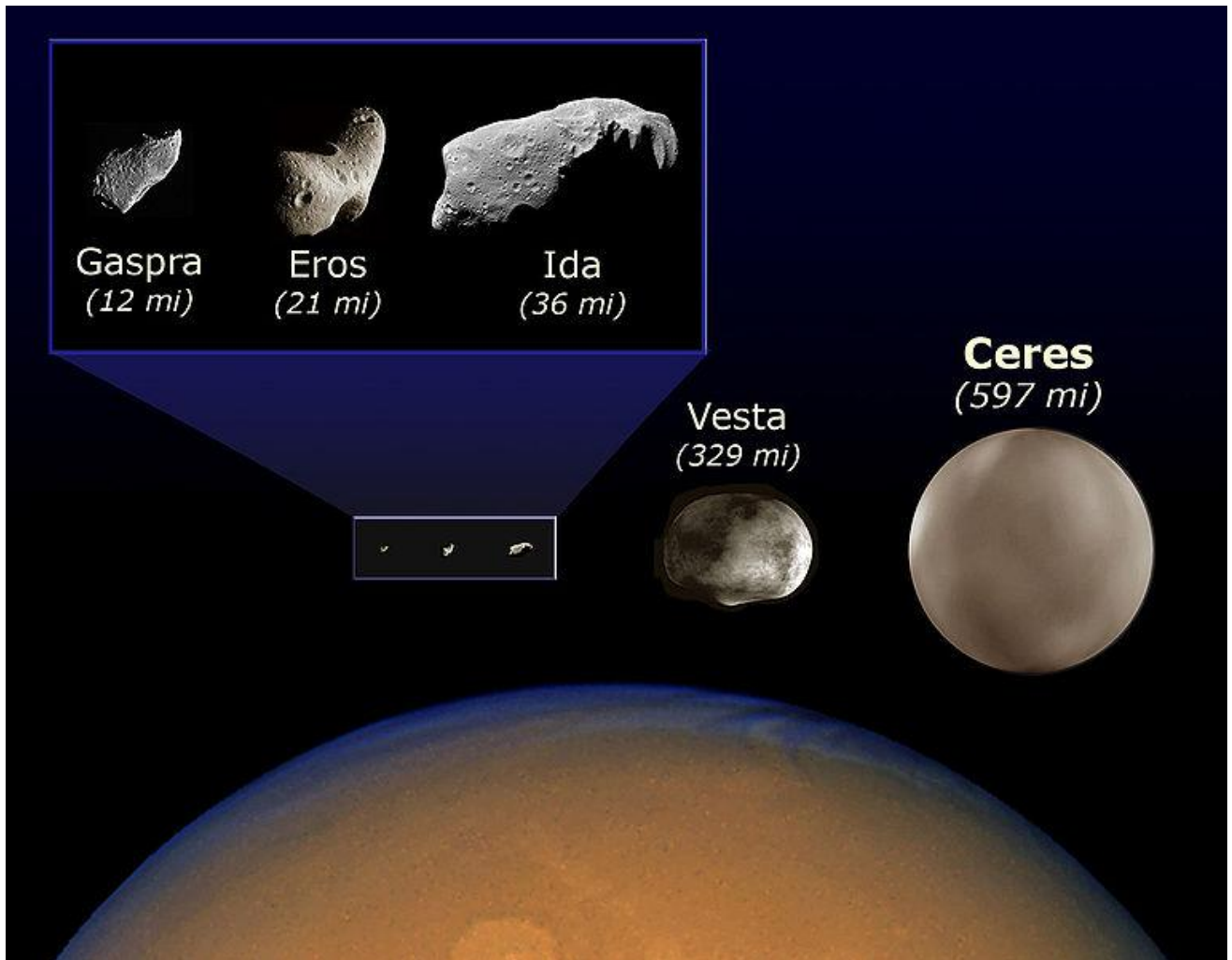
月の表面には数多くのクレーターがある。クレーターが隕石衝突でできたことは今では常識になっているが、アポロ計画によって月面の詳細な探査が行われるほんの30年ほど前までは火山起源説と隕石衝突説が拮抗していた。現在、月面隕石衝突は3時間に1回の頻度で観測されている。直径1km以上のクレーターが30万か所存在する。地球は月の81倍の質量、4倍の直径であるため、月面以上の頻度で隕石が飛来してくるはずである。ところが地球には大気というバリエーがあり、秒速、数km～数10kmの速さで落下する隕石は大気との摩擦熱で流星となり、直径30m以下の隕石は地表に達するまでに燃え尽きてしまう。また地表の3/4は海であるためクレーターが発見し難い。現存する巨大クレーターは180か所、最古のものはヨハネスブルグの南西120kmの位置にあるフレデフォート・ドーム。直径は約190km。20億2300万年前(古原生代。海中に微生物が生息していた時代)に直径10～12kmの小惑星が秒速約20kmで衝突したと考えられている。

太陽系内の惑星より小さな天体を小惑星（Asteroid）と称する。その多くは火星と木星の間の軌道を公転しているが、地球付近を通過するものも存在する。また、惑星や衛星のような球形をしているのはケレスなどごく一部の大型の小惑星のみで、大半は不定形である。ケレスは直径約1000kmであるが、直径500kmをこえるものは他に2個、直径250kmをこえるものでも十数個しかない。2012年5月現在、軌道が確定して小惑星番号が付けられた天体は329,243個にのぼる。直径1km程度、ないしそれ以下の小惑星は未発見のものが数十万個あると推測されている。地球付近を通過する可能性のある小惑星はNEA(Near Earth Asteroid, 地球近傍小惑星)といい、2012年11月1日現在で9252個が確認されている。米、欧、日を中心に世界に数多くの観測体制が敷かれている。



### 小惑星 Asteroid

小惑星は主として火星軌道と木星軌道の中間に分布する。このほか木星軌道上の太陽から見て木星に対して前後60度の位置にトロヤ群と呼ばれる小惑星の集まりが存在する。



### 小惑星の形と大きさ

近接探査が行われたガスプラ、エロス、イダ（中段左から中央、左上は拡大したもの）、唯一地球から肉眼で目視できるベスタ（中央右寄り）、小惑星帯では最大の天体であり、最初に発見された小惑星でもあったケレス（右）、そして火星（下）。小さな物ほど不規則な形状になっている。

*mi* (mile) : 1km は 0.6214 マイルに相当。ガスプラで 19km、恐竜絶滅時の巨大隕石（小惑星）直径は約 15 km。

歴史は繰り返す。「新生代」が巨大隕石（小惑星）落下で終末を迎える可能性を否定することはできない。恐竜帝国は 1 億 4 千万年続いたが、我々人類の誕生は 2 本の足で歩き始めたアファール猿人からでも 400 万年に過ぎず、例えば恐竜繁栄の期間を 1 年と置き換えれば、人類は生まれてまだ 10 日ちょっとということになる。だからといって人類も恐竜と同じように 1 億年以上繁栄できるという保証はない。

生物大量絶滅を来たす地球への直径 10km 級の巨大隕石（小惑星）の衝突の頻度は 1 億年に 1 度と見なされている。前回、6550 万年前の直径約 15km の巨大隕石衝突から、次の衝突は確率的には今から 3450 万年後ということにはなる。しかしこれ



はあくまで確率の話であり、近未来に巨大隕石が落下する可能性を誰も否定することはできない。

「小惑星が地球に近づいた段階で何らかの処置を行っても手遅れ。少なくとも地球落下の10年前に軌道修正処置をとる必要がある。ミサイルで迎撃する方法は、破片の数が増えて被害地域が広がる恐れがあるため現実的ではない」(2013/2/24 読売新聞、宇宙航空研究開発機構、吉川真准教授談)。

前項で述べたように直径数10km以上の小惑星はNASA(アメリカ航空宇宙局)、ESA(欧州宇宙機関、19か国が参加)をはじめ世界各国の天文台で常時観測されており、10年後に地球に衝突する可能性の高い小惑星を特定することはできる。ただし小惑星観測が始まったのは20年前であり、それ以前に観測できなかった小惑星が軌道を周回して再び地球周辺に近づく場合は現時点では予測できない。

一方小惑星の衝突を回避する有効手段は現在の科学技術では達成されていない。

ESAでは「ドン・キホーテ計画：現存するロケットを衝突させて軌道を変える方法」などの回避法が模索されているが、直径100m以上の小惑星には効果がないと考えられている。

NASAでは、ヤルコフスキー効果と小惑星軌道修正について検証が行われている。ヤルコフスキー効果は、自転する小惑星の表面が昼間、太陽によって暖められ、夜間には熱線を放射して冷却することから生じる熱放射量の差が微小な力を発生し、軌道が変化する現象を指す。表面を「塗装」して反射率を変えたり、太陽の光を小天体に集めて加熱するなど、ヤルコフスキー効果をつかって地球に衝突する可能性のある小天体の軌道を変更するというシナリオも考えうる。

上記のいずれも未だ研究段階にあり効果の大小はわかっていない。今世紀半ばには決定的な衝突回避技術が確立されるであろう、というのが大方の科学者の期待を込めた推測である。

## 6、地球の未来、生物の未来

地球は今から約50億年後に消滅する。正確には消滅するのは太陽。太陽の寿命はおよそ100億年と考えられ、現在の太陽は生まれてから50億年ほど経過している。つまり残り50億年で太陽は寿命を迎えることになる。寿命が近づいた太陽は現在の800倍にまで膨張し、次に収縮しながら冷えていき、最期は光を全く放たなくなる。その過程で地球の大気は無くなり、海は全て蒸発し、遂には膨張する太陽に地球は飲み込まれ消滅する。

太陽は1億年あたり1%程度放射力を上げていき、地球では7億年後くらいから海が蒸発によって失われ始め、10~26億年後の地球は金星のような高圧大気(金星の大気圧は90気圧、地表の平均温度465℃、金星の大気の96%は二酸化炭素)の惑星になると推定される。

地球の気候と気温は平均化するとほぼ一定に保たれているが、暑くなり過ぎて、

反転して今度は寒くなり過ぎるといふ上下振動を繰り返している。寒い方へ寄り過ぎると「氷期」となると氷河が成長し、暑い方に寄り過ぎると氷河が消えて温暖化する。数億年の長期スパンで見ると寒暖を繰り返しながら平均としては温暖化する。

現在の地球は氷河期にある。4000 万年前の南極の氷床の成長により始まり、300 万年前から起きた北半球での氷床の発達とともに規模が拡大した。最近の氷期（氷河期のうち、特に気候が寒冷で氷河が発達・拡大し、世界的に海面低下が生じた時期）は約 1 万年前に終り、現在は間氷期にある。

現在の氷河期が終わり（数百万年以上の後か）気温は 7~12℃上昇し、南極などの氷床、氷河が融けて、中生代のような温帯と熱帯だけの温暖な時期が到来する。その後さらに地球上の氷床、氷河が全て融けて、水面が上昇し、地球の表面がほとんど海に覆われ、海洋惑星となる可能性もないとはいえない。

トンボ、ゴキブリ、シーラカンスは 6 億年間その体形を保って生き残ってきた。地球温暖化が進み、海が蒸発し始める 7 億年後まで、人類は幾多の試練を乗り越えて生き残れる可能性はあるかも知れない。

未来の地球環境激変—小惑星衝突、大氷河期、海洋惑星化、さらには大気と海の消滅、地球消滅—にそなえて、人類の子孫は何らかの有効な手段を確立し、絶滅から逃れることができるのであろうか。

#### \*楽観論：

将来、生物が生息可能な（水や酸素の存在、光、気温、etc.）太陽系圏外の天体が見つかり、人類の子孫が短時日でその天体に移動することが十分に可能な時代が到来するのか。

太陽～海王星の距離は太陽～地球の 30 倍、光速で約 4 時間、宇宙ロケット（1 km/秒強）では 55 年。ただし宇宙無重力真空空間では、ロケットが噴射する限り、光速を限度に加速し続けると考えられる。

宇宙の中で生命が誕生するのに適した環境と考えられる天文学上の領域をハビタブルゾーン（habitable zone）「生命居住可能領域」と呼ばれる。多様な生物が存在する地球と類似する環境範囲内であれば、人類の移住、生命の発生やその後の進化も可能なのではとの仮説に基づく宇宙空間領域を指す。

NASA の系外惑星探査衛星「ケプラー」が 8 つのハビタブルゾーンに存在すると見られる太陽系外の惑星を発見。ケプラー-438b(470 光年彼方)、ケプラー-442b(1100 光年彼方)、ケプラー-452b (1400 光年彼方)、等。しかし地球から移動するには余りにも遠距離。

2016 年 5 月、ベルギーのリエージュ大学、天文学者チームの科学誌ネイチャーでの報告によると、ハビタブル惑星が 40 光年先に 3 つも見つかった。これらの惑星は太陽より小さく低温の恒星 TRAPPIST-1 の周りを周回しており、大きさや気温なども地球に近いものとされている。また恒星が小さいことから、生命の存在の可能性の重要な手がかりとなる大気の成分などより詳しい調査も可能とのことである。

\*悲観論、現実論：

間氷期と氷期は地球誕生以降 10 万年周期で繰り返されてきた。間氷期（温暖期）1 万年、氷期 9 万年のサイクルである。現在の間氷期が終わり、1 万年ないし 2 万年の後、再び氷期に入り、厚さ 3km を超える氷床が陸を覆うであろう。世界の大都市—ロンドン、パリ、ローマ、ニューヨーク、東京、は氷に覆われる。海水が凍り、海水面は 120m 以上低下する。その後、気温は 9 万年もの間 0℃を下回る。氷に覆われた陸地では植物が生きられなくなり、食料を失った草食動物が死滅、食物連鎖につながったあらゆる動物が消滅するであろう。そして何 10 億もの人間が地球から消えるであろう。赤道に近い地域に限っては緑が残り農作物も育つがその量は限られるので、住民は生き残るために本能的な行動、奪い合い、殺し合いをする可能性がある。

文明社会は崩壊し、天体観測、宇宙ロケット開発の進展は望むべくもない。ハビタブル惑星への移住は全く不可能。

若しかしたら、1～2 万年後の氷期到来より以前に、人類は自らが開発した破壊技術によって自滅するかも知れない。

G O D O N L Y K N O W S !

引用文献：

「地球の教科書」 井田喜明 岩波書店 2004-11-27

引用インターネット情報：

① <http://contest.japias.jp/tqj1998/10098/noframe/1.html>

「The Miracle Earth 奇跡の星～地球～」

② <https://ja.wikipedia.org/wiki/P-T%E5%A2%83%E7%95%8C>

「P T 境界」

③ <https://ja.wikipedia.org/wiki/K-Pg%E5%A2%83%E7%95%8C>

「K-Pg 境界」

④ <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%B0%8F%E6%83%91%E6%98%9F>

「小惑星」

その他、多数のインターネット情報から引用した。

S 3 5 年 卒 松岡謙一郎