

天文・宇宙あれこれ(89・11・22 東京分館)

高瀬文志郎(昭18理甲)

一 はじめに

私は昭和十八年、理甲を卒業し、大学は航空工学科へ入りました。ところが途中で終戦になり、飛行機産業はだめになって、方針変更を余儀なくされました。そこで天文学科に入り直したわけですが、その動機というのを強いて挙げれば、つぎのようなことでしょうか。

一つは三高時代、私は下鴨の北大路橋の近所に住んでいましたが、橋から南を見ると、糺の森が黒々と横たわっている上空一面に、季節の星座が見えました。当時は空襲に対する灯火管制で外が暗かったので、京都の夜空でも星がくっきりと見えたのです。冬の寒空のオリオン座などが一番印象に残っていますが、ともかく星の美しさに惹かれていたのでしょう。もう一つは、終戦直後に皆既月食があり、新聞に出た予報と寸秒たがわずに、宇宙のショーが刻々と進行していく

のを見て、天体現象のふしぎさと、それを計算し予報する正確さに感銘したことを憶えています。それに、飛行機も空、天文学も空という関連もあつたのかもしれない。

さて、今日の話「天文・宇宙あれこれ」について申しますと、天文学はもちろん自然科学の一分野で、きびしい数理の世界ではありませんが、その対象とする宇宙は、時として思いがけない美しさをかいまみせてくれる、叙情性豊かな世界でもあるということができると思います。一方、現代天文学が明らかにした天体や宇宙の生成進化のシナリオには、神話や聖書の天地創造の物語にも似た、壮大な叙事詩の趣があるといつてよいでしょう。そういう、天文・宇宙の叙事詩・叙情詩の側面もお伝えできれば、というつもりで、宇宙進化の話や、天体スライドの投影と説明を中心にし、導入として宇宙観の歴史の話から始めたいと思います。

(印刷の都合上、講演で示したカラスライドの天体写真は、その一部を選んで、モノクロ印刷で掲載しました。)

二 宇宙観の変遷

淮南子(えなんじ)という中国の古典には、宇宙の「宇」とは四方上下、「宙」とは往古来今(過去・未来・現在)をいうと書かれています。すなわち宇宙は、空間的・時間的な拡がりの全体を意味しているわけです。ところで、古代諸民族はすべて、自分たちの住んでいる場所が宇宙

の中心であるという、地域中心の宇宙観をもっていました。

紀元前七世紀から紀元二世紀にかけては、ギリシャ文明が花開いた時期でした。主知的なギリシャ人は、物事を科学的・実証的にとらえ、宇宙観もまた科学的・体系的なものに進展しました。その集大成がプトレマイオス（二世紀）の天動説ですね。これは地球が宇宙の中心にあり、日月・惑星・恒星のすべてがそのまわりを回るという宇宙体系でした。この天動説は、直感になじみ易いので、キリスト教がこれを教義として取入れたことが相俟って、その後千四百年もの間、人々は単純にこれを信じこんできたのです。

ところが、この考えを、まさに百八十度転回したのが、ポーランドの天文学者コペルニクスでした。惑星の複雑な天球上の動きや、それらの明るさの変化を説明するのに、地球が他の惑星とともに太陽を中心とした軌道上を回ると考える方が、天動説よりもずっと簡単で明快であるということに気づき、一五四三年になって、この新しい体系―地動説―を発表したのです。キリスト教の迫害にもかかわらず、一七世紀以降、地動説の正しいことが、つぎつぎと科学的に実証され、太陽中心と宇宙観がしだいに確立していきました。

イタリアのガリレオ・ガリレイは、望遠鏡を初めて天体に向けた学者ですが、その発見の一つに、木星のまわりを四個の小星（衛星）が回り続けている事実があります。彼はこのことを、地動説に対する当時の反論―地球が太陽のまわりを回るのが本当なら、地球を回る月は、後へとり

残されるはずなのに、実際は違うではないか—を封ざる論拠としたのでした。宗教裁判の判決を受けたあと、「それでも地球は動く」と喧いたという逸話は、たいへん有名です。

ついでイギリスの大科学者ニュートンは、空に月がかかるある夕方、リングの実が木から落ちて生じる遠心力で飛び去らないのも、リングが落下するのも、どちらも地球との間の引力がはたらくためである、というのが、この天才の頭にひらめいたインスピレーションだったのです。彼はこの万有引力法則を基にして、太陽のまわりの惑星・惑星のまわりの衛星の運動を数式的に表す、天体力学を大成しました。以上は一七世紀のことであります。

一八世紀の後半になって、イギリスの天文学者ハーシェルは、天体観測中偶然に、昔から知られていた土星よりも外側の軌道を回る、新惑星の天王星を発見しました。その後の観測データは、天王星の公転軌道が本来の楕円からかなりずれていることを示し、そのずれは内側を回る土星や木星による引力の影響を考慮しても、なお説明のつかない系統的なものであることが問題となりました。フランスのルヴェリエとイギリスのアダムスは、天王星のこのような運動の乱れが、天王星の外側にある未知惑星の引力によるものと想定し、未知惑星の位置や質量を算定すべく、複雑な天体力学の計算を行いました。そしてドイツの観測家ガルレは、通報された予測位置のすぐ近くに、まさしくその未知惑星、すなわち海王星を発見したのです。一九世紀半ばの、この海王

星の発見は、ニュートンの理論に基づく理論的探求のみごとな成果であり、世上「天体力学の勝利」と讃えられました。

天王星の発見者ハーシェルは、恒星の分布にも興味をもち、地球上の各方向ごとに、明るさ何等までの星が何個あるかという一大観測プロジェクトに挑戦しました。その結論として彼が導いたのは、星々は扁平な円盤状の有限な領域に分布しているという恒星系像であり、この体系はハーセルの恒星宇宙と呼ばれています。

一九世紀には星までの距離決定が可能になり、恒星宇宙の構造が立体的に把握されるようになりました。そして今世紀の一九二〇年、アメリカの天文学者シャプレイは、太陽系の所属する恒星の一大集合体系——いわゆる銀河系宇宙——の形と大きさを求めることに成功したのです。銀河系の全域は直径約一五万光年の球状空間に広がるが、その中の大部分の星は扁平な凸レンズ状の領域（ハーセルの恒星宇宙に相当）に分布している。そしてわが太陽は、銀河系の中心から三万光年ほど離れた場所に位置する一つの星にすぎない、というのが彼によって導かれた銀河系像です。こうして地球だけではなく、太陽もまた、人類の宇宙観の首座から去っていききました。

さらに一九二三年には、これもアメリカの天文学者ハッブルが、秋の夜空にかすかな光を投げかけるアンドロメダ星雲が、実はわが銀河系のはるか彼方にある、銀河系と同等な大恒星系であることを明らかにしました。その距離は、現在約二百万光年と見積もられています。銀河系や



アンドロメダ銀河（わが銀河系と同等な規模と構造をもつ
恒星と星間物質の大集合体系。距離は約200万光年。）

プレヤデス星団（和名すばる。若い星々の集団で、星の光がまわりのガスを照明し、全体が青白く光る。）



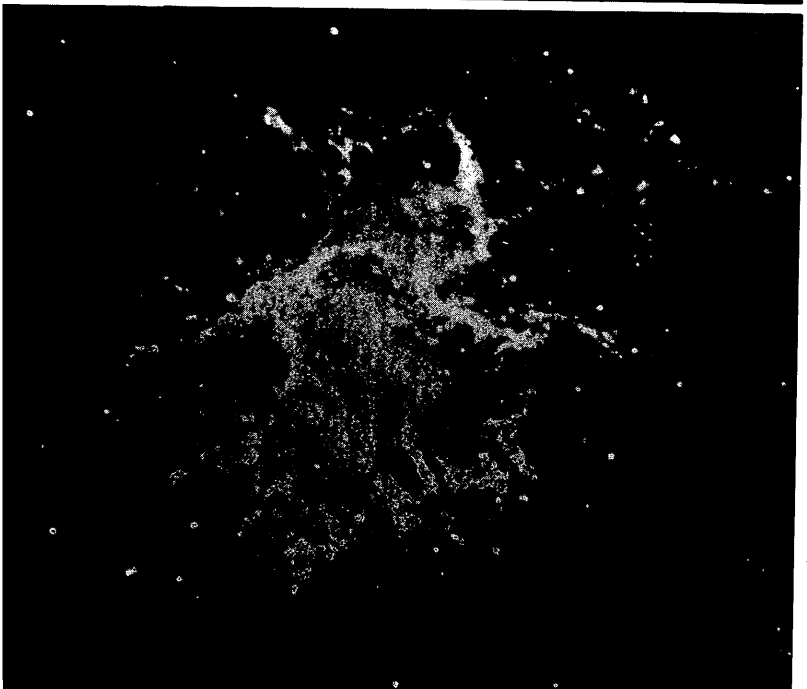
オリオン大星雲（生れたての星々が、その母胎であるまわりの星間雲を、明るく輝かせている代表例。）

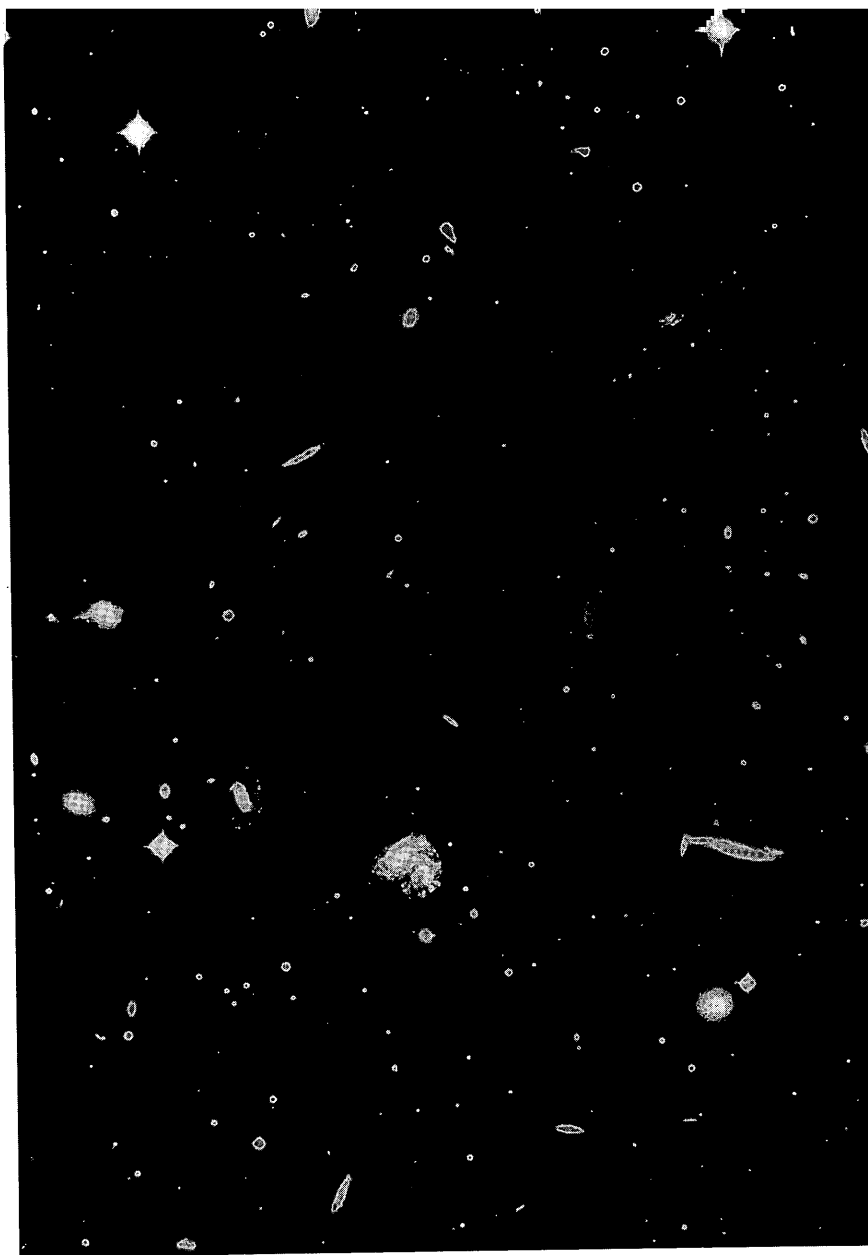


馬頭星雲（オリオン座。本来低温な星間雲が、明るい星雲を背景に、その形を影絵として示している。）



かに星雲（おうし座。大質量星の超新星爆発のあと、まわりに拡散するガスが光って見える星雲。）





ヘルクレス座の銀河団（さまざまな形をもつ銀河の集団で、距離は約4億6千万光年と推定されている。）

アンドロメダ星雲のような恒星の大集合体系を、現在では銀河と呼んでいます。大望遠鏡による観測は、これらの銀河が、大海に浮かぶ無数の島々のように分布しているさまを画き出しました。わが銀河系も、宇宙という大海の、ありふれた島々の一つにすぎないことがわかってきた、ということなのです。

幼児は誰も、自分が世のなかの中心にいます。それが成長とともに、自分をとりまく段階的な社会構造―家族・地方共同体・国・世界―を順に認識するようになっていくわけです。人類の宇宙観もそれに似た変遷を辿って現在に至ったのですが、それにしても宇宙観の幼児期―地球中心の天動説時代―は何と長かったことでしょうか。

一九五七年、人工衛星第一号のスプートニクが打ち上げられ、世はスペース時代に入りました。月へはすでに人が行き、火星と、木星・土星・天王星・海王星にもヴォイジャー号などの探査機が接近して、地上観測では到底知ることのできない、太陽系の新事実を次々と明らかにしています。また地球の大気圏外へ出ることによって、地表では不可能な、X線・赤外線などの波長域での観測ができるという可能性が開けました。この、いわばマルチチャンネルでの宇宙情報、人類の宇宙像解明にもたらす貢献は、まさに宇宙観の歴史に、一新紀元を画するものとなることでしょう。

三 宇宙の構成とそのスケール

宇宙を構成する天体としては、前節で述べた太陽系の諸天体・恒星・銀河などが挙げられます。そのほかに、星と星の間には、ガスや固体微粒子（チリ）から成る、いわゆる星間物質が分布しており、その密度は極めて希薄なのですが、所々やや濃くかたまつた部分があつて、これを星間雲と称しています。この星間雲のそばに高温の星があると、星間雲がぼんやりと光つて、星雲と呼ばれる天体として観測されるのです。なお恒星のグループを星団といい、銀河の小・中・大のグループをそれぞれ銀河群・銀河団・超銀河団といいます。これらの諸天体、とくに星団・星雲・銀河などには、まことに美しい姿のものが多く、それらは天文学の大きな魅力の一つとして見る人を楽しませてくれます。（講演では、ここでスライドを上映。）

ところで、わが地球は太陽系の中の惑星の一つであり、太陽は銀河系を構成する恒星の一つです。そしてその銀河系はまた、宇宙の大海の中の島々のように分布する多くの銀河の一つです。参考までに、地球を中央に置き、百倍ずつ縮尺を増して作った宇宙の地図を示してみました。これはまた、宇宙旅行者が地球をふりかえつて撮つた写真のシリーズ中、距離が百倍ごとのものを並べたアルバムと見ることもできます。この地図は宇宙の階層的な構造（構成とスケール）と、その中で地球の位置を、まとめて把握するのに好都合でしょう。図の最後の二つにある局部銀

河群・局部超銀河団という名は、わが銀河系が所属する、宇宙の一局所にある銀河群・超銀河団という意味でつけられたものです。

この地図のスケールを見ると、一万年から十億光年まで、百の九乗すなわち百京倍（京は兆の一百万倍）にわたっています。宇宙が、具体的な数字でどのくらい広大なのか、または私たちの地球がどのくらい微小なものなのか、を知るよすがとなるでしょう。

最近、ある一定天域内で、遠い銀河数千個の距離を測る一大観測プロジェクトが実施されました。その結果として銀河の空間分布についてのデータがまとまり、これによって、宇宙の中の、銀河の立体的な分布の状況がわかりました。その立体分布から初めて明らかになったのが、いわゆる宇宙の泡構造といわれるものです。泡構造というのは、石鹼の泡の膜面に相当する部分に銀河が分布し、その内部には何も無い空間が包み込まれている様子をたとえた表現です。宇宙がこのような大局的構造をもつことは、宇宙や銀河の生成・進化の議論に新しい問題を投げかけるものとして注目されているところです。

四 星と宇宙の進化

人間の歴史の時間スケールでは、星は永遠のものといえるかもしれませんが、宇宙の時間スケールではそうではありません。生物と同じように、星もまた、生まれ、成長し、老化し、そして

死滅していきます。現代の天体物理学が解明した星の一生のシナリオを、以下に紹介してみましよう。

まず星は前節に述べた星間雲を母胎として誕生します。星間雲が収縮してしだいに密度を増すとともに、重力エネルギーが光や熱のエネルギーに変わって、かすかに光り始めます。これが〈星の赤ん坊〉原始星の誕生です。

原始星はさらに収縮を続け、内部温度がしだいに上昇していきます。そして、中心温度が一千万度に達すると、星の主成分をなす水素がヘリウムに転換する核融合反応が始まります。中心部で発生した核エネルギーは、周囲のガスを加熱しながら拡散し、表面から放射されて、星は明るく輝き始めます。星が成人に達したといってよいでしょう。加熱された星のガスは熱運動によってガス圧を生じ、これが星の重力とつりあって、星は一定の大きさを保ち、明るさも表面温度も一定な、安定した状態で光り続けます。

しかし、星にもやがて老年期が訪れます。中心部では水素から転換したヘリウムがたまっていき、水素の核反応領域が外へ移動するとともに、星がふくらんで、巨星や超巨星といわれる大きくなって赤い星に移行していきます。星の中心部にたまったヘリウムの芯は、やがて収縮し、その重力エネルギーが芯を加熱して一億度に達すると、今度はヘリウムが炭素や酸素に転換する次の核反応が始まります。この先、星は急速に終末期に向いますが、その時期の変化は、星の質量の大

小によって違った様相を呈します。

まず質量が太陽の数倍程度以内の一般的な星では、やがて核反応の進行は終了します。つまりエネルギーの補給がとどえるので、それらの星は貯えられた余熱でしばらく余命を保ったのち、静かに消滅していきます。一方質量が大きい星の場合は、中心部にたまった炭素と酸素の芯の収縮が起こって、温度がさらに上がり、より重い元素への核融合反応が次々に進行して、エネルギーを発生し続けます。ところが鉄までできると、鉄はもはや融合反応を起こさず、逆に分解反応を起こしてエネルギーを吸収するようになります。その結果、星の芯では温度が急降下して、それまで重力を支えてきたガス圧が下り、星は陥没して一気に圧縮されます。一方、その反動で、星の外層部は爆発的に吹き飛ばされてしまうのです。これが超新星爆発という現象で、星は一瞬花火のように華麗な輝きを放って、その生涯を終わります。その際、それまで目立たなかった星が突然明るく輝き出し、あたかもそこに新しい星が生まれたように見えるので、新星や超新星と名付けられたのですが、実際は全く逆で、これらは星の最後の姿だったというわけです。

さて、極端に圧縮された星の芯は、中性子星と呼ばれる特殊な星になり、さらにもとの星の質量が特大であった場合、陥没した芯は限りなく縮み、いわゆるブラックホールになると考えられています。地球では、秒速十一・二軒以上で発射された物体は、地球の重力圏外へ去っていくのですが、ブラックホールでは、その超大重力のために、秒速三十万軒という高速の光でさえ星か

ら出ることができません。したがって外からこれを見ることは不可能なので、ブラックホールと呼ばれるわけです。ただし現在、ある間接的な証拠によって、その存在が知られています。

大質量星が超新星爆発を起こして、その一生を終えることは上に述べました。爆発した星の外層部は、星間空間に散布されて、ふたたび星間物質に還ります。還るといふのは、星を生成した原材料が、その星間物質だったからです。星間物質と星とは、こうして、仏教の言葉でいう「輪廻転生」を繰り返していくのです。

宇宙の初期に存在した物質は、元素の中で最も原子量の小さい水素とヘリウムだけでした。ところが、超新星爆発を遂げた星は、その生涯に核融合反応で作った、炭素や酸素、ないしは鉄までの重元素（原子量が大きい元素）も一緒に、まわりへ撒き散らすことになります。そこで星間物質はしだいに、それらの重元素で「汚染」されていくでしょう。星間雲からの星の生成は、宇宙の初期以来、たえず続いてきた営みです。そのうちの大質量星が次々に超新星爆発を起こし、星間物質中の重元素量はしだいにふえていくわけです。こうして重元素が混じった星間雲からも次世代の星の生成が続けられるので、世代の新しい星ほど、その初期成分中の重元素量が多いという結果になるわけです。

太陽が重元素を含んだ組成をもつことは、そのスペクトル分析からよく知られている事実です。ということば、太陽が第二世代以降の星であることを示しています。後述するように、太陽系は

今から約五十億年前（宇宙創成後約百億年）に誕生したことがわかっていますが、太陽に含まれる重元素は、かつて、超新星爆発を経て姿を消した大質量星の名残だということになるでしょう。地球や地球上の生物を作った材料も、太陽を作った材料と共通のものであったはずであり、したがって、私たちの体の中には、宇宙のどこかで、いつの頃か明るく輝いた星のかけらが混じっている、ということになるわけです。

星の進化から、今度は銀河や宇宙の進化に話を進めましょう。銀河研究の開拓者として著名なアメリカのハッブルは、一九二九年、遠い銀河ほど、その距離に比例した速度で、わが銀河系から遠ざかっているという事実を発見しました。この関係は、宇宙が全体として膨張していることを示す証拠である、ということで見目を集め、ハッブルの法則と名付けられました。（宇宙を風船に、銀河をその表面に描いた点々にたとえると、風船がふくらむにつれて、点々はお互いの距離に比例した速度で離れていきます。）

さて、最近の観測によれば、銀河の後退速度は、距離一億光年の銀河で秒速約二千光年、距離十億光年の銀河で秒速二万光年、という比例関係になっています。この割合でいくと、距離が百五十億光年の銀河の後退速度は、秒速三十万光年、すなわち光の速度に等しいことになります。光速で後退しながら光速で伝わってくる銀河の光は、決して観測者に届くことはありません。すなわちここに宇宙の地平線があるわけで、銀河系からこの地平線までの距離は、したがって百五十億光

年ということになります。

さきほど、膨張する宇宙を風船に、その表面に画いた点々を銀河にたとえる話をしました。ふくらんでいるこの風船の過去を辿ると、最初、風船は一塊のゴムであり、銀河はどれもくっつきあっていたことになるでしょう。その時点から宇宙は膨張を始め、銀河はしだいに離れていきました。その割合が膨張開始以来ずっと一定であったという単純な仮定をすると、上述のように、たとえば秒速二万光年（ V ）で後退している銀河の距離が、現在十億光年（ D ）です。そこで、膨張開始以来現在までの時間、すなわち宇宙の年齢は、距離 D を速度 V で割った値で与えられます。ここで一光年は約九・五兆光年、一年は約三二〇〇万秒であることに注意すると、宇宙の年齢は百五十億年という計算になります。

では百五十億年前、膨張開始時の宇宙はどんな状況だったでしょうか。仮定として、地球や太陽系の世界で成立つ物理法則は、いつでもどこでも普遍的に通用するものとしましょう。（事実、これは観測が及ぶ限りの範囲で正しいことが知られています。）そうすると、質量およびエネルギー保存の法則により、現在観測されている、莫大な、宇宙の諸天体の質量とエネルギー（光や電波などの放射）が、膨張開始時には、無限小の空間に閉じこめられていたことになります。したがって、それは極端な高密度と高温の世界でした。アメリカの天文学者ガモフは、これを宇宙火球と呼び、あるときそれが爆発的に膨張を始めた、というビッグバン説を、一九四八年に提唱

しました。一九六五年になって、宇宙は絶対温度が三度（摂氏マイナス二七〇度）の放射に満たされているという、いわゆる宇宙背景放射の存在が発見され、これが原始宇宙火球の熱放射の名残と解釈されて以来、ビッグバン説は広い支持を得るようになりました。百五十億年前のビッグバン以後、数十万年が経った頃から、星や銀河の形成が始まり、宇宙はしだいに現在見られるような姿に変わっていったと考えられています。その過程で、今から約五十億年前、わが太陽系が形成されました。この五十億年（もう少し正確には四十六億年）というのは、太陽系生成当時の「化石」といわれている多数の隕石について組成を調べ、放射性元素比量法という方法で、それらの形成年代を求めた結果に基づく値です。

地球も太陽や他の惑星とともに誕生しましたが、数億年後には早くも生物の出現を見たことが、化石の年代決定から推定されています。地球の太陽からの距離が、水を液体の状態に保ち、水の惑星となったことが幸いして、地球上には生物が繁栄して現在に至りました。金星や火星の大気は二酸化炭素が主成分ですが、地球ではこれが海水に溶けて石灰石となっています。海中にまず発生した藻類などの植物が、二酸化炭素を還元して酸素を放出し、それを呼吸する動物も発生しました。海中では生物に有害な太陽の紫外線が遮断されるので、生物が存続し進化していくことができます。やがて海中で飽和した酸素は陸上へ上がり、高層ではオゾンとなって、太陽の紫外線を遮ります。したがって、生物は陸上でも生存できるようになり、現在のような生物相が見ら

れるようになった、というわけです。

参考までに、宇宙年齢の百五十億年を一年とした縮尺時間を考えると、地球の生成は約四か月前となります。また今から約二百万年前とされている原始人類の出現は、この縮尺時間では、約一・二時間前にすぎません。これは大晦日の午後十一時前に相当します。人類が宇宙の一描に現われたのは、悠遠な宇宙の時の刻みの上では、ほんの一瞬前のできごとであったということを、多少とも実感していただければ幸いです。

ご清聴ありがとうございました。

(国学院大学教授)