

本田財団レポート No. 137

第 116 回 本田財団懇談会 (2011 年 1 月 25 日)

「地球の歴史と文明」

東京大学名誉教授

千葉工業大学 惑星探査研究センター所長

松 井 孝 典

財団法人 本田財団

講師略歴

松井孝典 (まつい たかふみ)

東京大学名誉教授
千葉工業大学理事 惑星探査研究センター所長



《略歴》

- 1946年 静岡県生まれ
- 1970年 東京大学理学部地球物理学科卒業
- 1976年 東京大学大学院理学系研究科地球物理学専門課程博士課程修了
- 1977年 NASA月惑星研究所客員研究員
- 1993年 東京大学大学院理学系研究科助教授
- 1999年 東京大学大学院新領域創成科学研究科教授
- 2009年 千葉工業大学惑星探査研究センター所長
東京大学名誉教授

《主な受賞歴》

- 1988年 日本気象学会堀内賞『大気と海洋の起源に関する新理論』にて
- 2007年 第61回毎日出版文化賞〈自然科学部門〉『地球システムの崩壊』新潮選書にて

《主な著書など》

- 1979年 『惑星探査と生命・惑星の表面』恒星社厚生閣
- 1981年 『パノラマ太陽系』講談社ブルーバックス
- 1982年 『青い惑星・地球』講談社ブルーバックス
- 1986年 『プラネットアース』ジョナサン・ワイナー 共著 旺文社
- 1987年 『水惑星はなぜ生まれたか』講談社ブルーバックス
『地球大紀行』NHK総合TV諮問委員・企画・監修・解説
- 1990年 『地球＝誕生と進化の謎』講談社現代新書
- 1995年 『150億年の手紙』徳間書店
- 1999年 『いま、いのちを考える』梅原 猛/河合隼雄 共著 岩波書店
- 2003年 『宇宙人としての生き方』岩波新書
- 2007年 『地球システムの崩壊』新潮選書 ほか多数

このレポートは、平成23年1月25日東京會館において行われた、第116回本田財団懇談会の講演の要旨をまとめたものです。

今日は一般の方への講演だろうと思って、パワーポイントも専門的なものはなるべく省くようにして用意してきたのですが、今控え室で参加者の方にお会いしたりすると、我々の仲間のような先生方もいらっしゃるのので、少しやさし過ぎるかと思っています。しかし用意したものは用意したものですので、そのまま話をさせていただきたいと思います。今日は地球の歴史と文明について話します。皆さんにとってはまったく違う時間スケールの話かと思われるかもしれませんが、実は重要な関係があるということをお話したいと思います。

自然科学者の「分かる」とは



図－1

〈図－1〉 その前に述べておきたいことがあります。私は自然科学者ということで、自然科学として分かったことを皆さんにお話するのですが、皆さんの中には自然科学者もいらっしゃるのですが圧倒的にそうではない方が多い。そうではない方々が「分かる」という言葉を使って言っていることと、自然科学者が「分かる」と言っていることは少し違うのだということを述べておきたいのです。私は東京大学を退官する前に、東京大学が実施した科学コミュニケーター養成プログラムの代表をしたことがあります。その時に科学の最先端の話国民の皆さんに伝える場合、何がいちばん問題なのかをいろいろ考えました。実はその時「分かる」という言葉の内容の違いが、科学者とそうではない人との間で曖昧なために、分かりにくくなっているのではないかということに気づきました。

科学者が「分かる」と言う時はどのような時か？認識とは、外界を脳の中に投影し内部モデルを作ることです。その内部モデルを用いて自然という対象を観測したデータを解釈し、これがその内部モデルで解釈できると「分かった」と表現するわけです。二元論と要素還元主義というルールに基づいて外界を脳の中に投影し、すなわち内部モデルを作って、そのモデルで外界のデータが解釈できる時に「分かる」という表現をするのです。私のこれからの話は基本的にそういう意味で「分かった」話をします。

しかし、皆さんが「分かる」と言う時には、二元論と要素還元主義に基づいて外界を投影し、

脳の中に内部モデルを作るといふことはされません。皆さんが経験したこと、あるいは人生、宗教なんでもよいですけども、今まで生きてきた中で、ある経験に基づいて内部モデルを作り、それに基づいていろいろ解釈して、聞いた話を理解しようとするわけです。その時にも「分かる」という言葉を使います。ここではそれを「納得する」という表現にしたいと思います。「分かる」と「納得する」とは違いがあるということです。まずそのことを前提にしてこれから話をしたいと思います。

今日は宇宙の話をするわけではありませんが、例えば宇宙の話をする時に、我々が宇宙を「観測する」といふことはどういうことか？例えば宇宙の始まりというような量子力学的な事象を観測するといふ時、その観測するといふ行為が、その後の歴史に影響を及ぼすといふことが考えられます。そういうことが「分からない」まま、宇宙の始まりがどういふようなことを、皆さん自分の体験に基づいた世界でそれを理解しようとする、変なこと、奇妙なことがたくさん起こります。そういうことですから、皆さんはどう「納得」しても結構ですけども、それと「分かる」といふことは違ふかもしれないといふことをあらかじめお断りしておきます。

地球の特徴はシステム

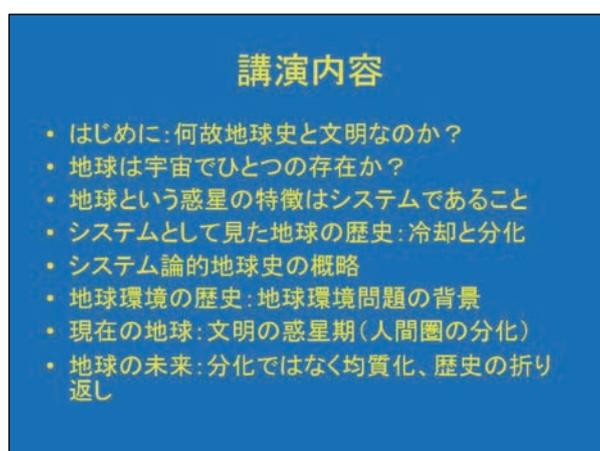


図-2

〈図-2〉 今日の私の講演は「地球の歴史と文明」です。最初にこのテーマ、なぜ地球史と文明が関係するのをお話します。最初にその概略を述べて、それからその詳細をお話しようと思います。まず地球はどんな天体なのかということですが、宇宙というスケールで見た時に、地球みたいな惑星が普遍的な存在なのかどうかという問いが重要です。太陽系の中で地球と似た天体があるのか、あるいは銀河系の中で地球と似た天体があるのか、そういう問いが地球という天体を考えようとする必要なのです。と言うのはこの世界に1個しかないのか、あるいは無数にあるのかで地球という惑星のイメージはまったく異なるわけです。まずそういうことを考えてみます。

地球をそのように考えた時に、地球という惑星の特徴は何なのか、ほかの惑星との違いはどこにあるのかを考えます。答えは実はシステムであるということです。システムといふのは何なのか？複数の構成要素から成り、その構成要素間の関係性と、その関係性を生み出す駆動力を特定すると、それぞれのシステムの特徴が分かります。

地球の場合、構成要素とは、コアとか、マントルとか、地殻という物質圏です。関係性とは何かと言うと、ものが循環するという事です。構成要素の境界を通じてものが流れたり、エネルギーが流れたりするということが関係性です。システムという見方で地球の歴史を眺めてみます。そうすると地球の歴史はとても簡単です。一言で言えば、エネルギーに注目すれば冷却しているのが地球の歴史です。ものに注目すると分化しているのが地球の歴史なのです。例えばコアとか、マントルとか、地殻とか、大気とか、海とか、こういう構成要素が何時、如何にして分化したかを述べるのが地球の歴史になるわけです。

5 段階の地球の歴史

そのように地球の歴史を見ると、実は大体5段階ぐらいに分かれます。ものに注目するのが分かりやすいのでそれを例にして紹介します。地球の物質圏がどうやって生まれてきて、それがどのように変化してきたのかに注目して地球の歴史を見ると、大体5つの時代に分けられます。そのように見ると、現代は地球の歴史の5番目の画期です。画期という意味は構成要素が新たに生まれたということです。物質圏としての構成要素が新たに生まれた。それが人間圏という概念です。これは私が十数年前から提唱している言葉であり、概念です。

人間圏を作って生きるという生き方を我々がした時に、地球システムは新たな時代に入りました。それが今、我々が文明と呼ぶ生き方です。我々が文明を築いて生きているということは、システム論的な地球の歴史の見方に立つと、人間圏という新しい構成要素が生まれた時代であって、したがって画期なのです。このようなことを認識しないと文明の問題に関するあらゆること、地球環境問題も、資源・エネルギー問題も議論できません。地球の歴史をものに注目して、その本質を言えば、分化です。

では未来はどうか？これまた簡単です。実は分化と逆で地球が均質化していくことなのです。現在はちょうど歴史の折り返し点です。地球システム論的には現在いちばん地球は分化した状態にあって、だから人間圏が生まれたという言い方もできます。これからの未来、人間圏が消滅し、生物圏が消滅し、今まで生まれてきた構成要素が次々と消えていくのが地球の未来です。このように考えると、地球の歴史と文明は密接な関係があるということになります。そのことについて今日はお話したいと思います。

太陽系にある 3 種類の惑星

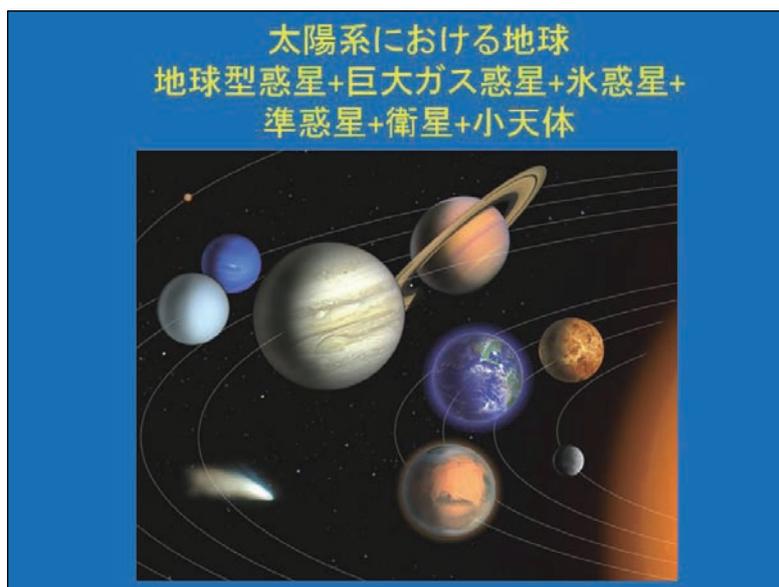


図-3

〈図-3〉 地球は宇宙の中でただ1つの存在か？を考えてみます。太陽系というスケールで見ると地球型惑星と呼ばれる惑星が4つあります。それ以外に衛星もあって、天体として地球と似た天体はいくつかあります。「似た」ということの意味ですけれども、それは皆、岩石からできているということが共通する特徴です。内側の方にあるこれらの惑星が地球型惑星と呼ばれる天体です。外側にある惑星、木星、土星ですがガスからできています。その外側にある天王星、海王星は氷からできています。太陽系というスケールで見ると、地球は地球型惑星と呼ばれる、似たような天体の中の1つに分類されるわけです。

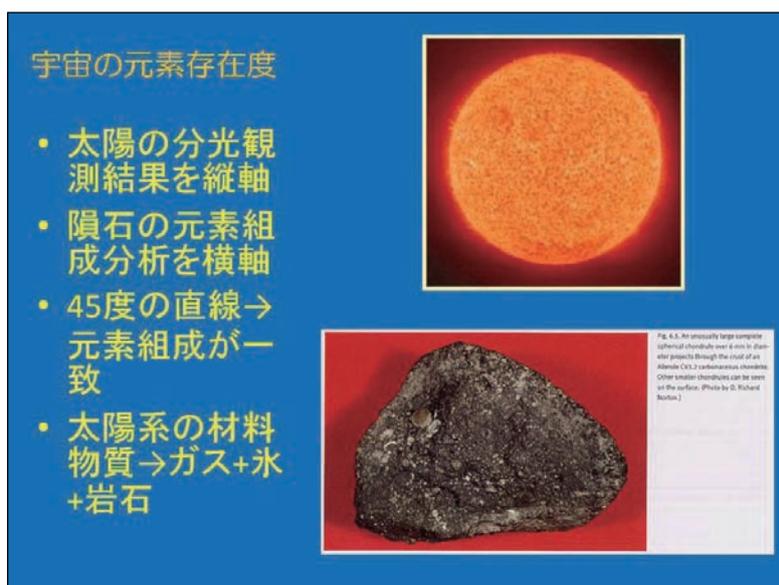


図-4

〈図-4〉 なぜ太陽系に3つの種類の惑星があるのか、これは簡単な理由です。宇宙の元素

存在度と呼んでいますが、太陽系の元素存在度が推定できます。これはどのように推定されるかと言うと、1つは太陽の大気のスเปクトルを分析する方法があります。光をいろいろな波長に分けてその強度を見るのがスเปクトルです。それからもう1つは、隕石が地球に降ってきますけれども、ある種の隕石を使う方法です。手にすることのできる物質を分析し、その化学組成を測定することができます。

太陽の大気の観測から得られる元素組成と、ある種の隕石、この場合は炭素質コンドライトですが、例えばアエンデ隕石を使います。この両者から得られる元素組成を、縦軸に太陽の観測データ、横軸に隕石のデータを取り、その図上に表示すると、ほぼ傾き45度の直線上に並びます。45度の直線上に並ぶことは、それぞれの元素の組成が1対1に対応しているということです。もちろん隕石は固体ですから太陽みたいなガスの塊とは多少違います。ガスが普通の状態のようなものは抜け落ちています。このように45度の傾きからずれるものもありますけれども、それはそれぞれ理由があることです。

それぞれの理由に基づいてそれを補正すると、太陽系を作っている元素組成が推定できるというわけです。太陽みたいな星は銀河系の中の星の半分以上を占めているわけですから、太陽の元素組成が銀河系の組成だと思ってもよいだろうし、ほかの銀河も似たような星の構成をしているだろうと思えば、宇宙の元素組成がそうでもよいということで、このように推定された元素組成を宇宙の元素組成と呼ぶのです。例えば宇宙の初めにビッグバンが考えられた時にも、元素に基づいたビッグバンの議論の時に使うのも、皆こういう推定から得られるデータを使うということです。これを使いますと、太陽系という条件下でどんな物質が生まれるか、これはマクロな意味の物質ですが、氷とか、岩石とか、ガスとかがどんなものか推定できるのです。太陽系の条件下でガスのままなのは水素とヘリウムです。そこで主として水素とヘリウムからできる惑星ができます。主として氷からできる惑星も作られます。同様に主として岩石からできる惑星も生まれます。これらの材料物質の量比を取ると、岩石のもとになるような元素組成が大体0.5%、氷になるような元素組成が1.5%、残りの98%は水素とヘリウムなので、ガスからなる惑星が圧倒的に大きいということになります。

地球にしかない花崗岩

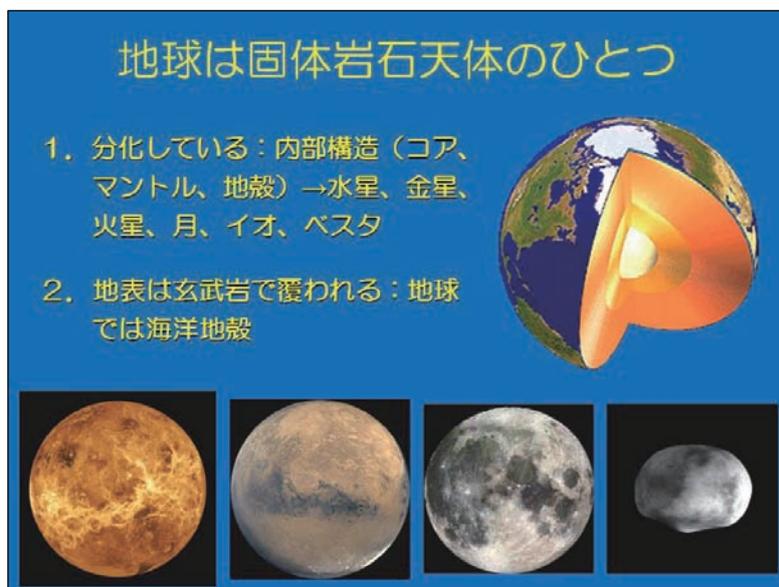


図-5

〈図-5〉 地球は岩石からなる固体惑星の1つです。特徴は固体からできているということと、分化しているということです。分化しているというのは、全体が均質な岩石から成るのではなく、重いものが中心にあり、軽いものが表面にあるような構造をしているということです。これは惑星だけではなく衛星、例えば月とか、イオとか、あるいは小惑星の中でも分化した小惑星があります。例えばこの図に示されているのは、直径500kmぐらいのベスタという小惑星です。ベスタは直径500kmくらいなのに、中心に鉄・ニッケル合金から成るコアがあり、マントルがあり、地殻があると分化した構造をしています。直径1万kmを超えるような地球みたいな惑星から、1,000kmに満たない小惑星まで、いずれも分化しているという特徴があります。もちろん分化していない小惑星もあります。それは小さいからとすることができます。

固体でできた惑星、衛星、それにベスタは地表が岩石で覆われているのですが、岩石の種類は大体玄武岩という岩石です。玄武岩と言うのは、火山が噴火して溶岩が流れ、それが固まったような岩石です。地球の場合だけは、大陸の地殻と海洋、海の下の地殻と岩石の種類が違います。海の下の地殻は玄武岩です。これに対して大陸地殻は主として花崗岩という岩石からできています。もちろん大陸地殻の上にも玄武岩はありますが、地表の大部分を占めるのは地球でも玄武岩です。

それに対し、他の地球型惑星とか、岩石衛星とか、分化した小惑星の場合にはすべて玄武岩です。逆に言うと、地球にしか存在しない岩石が花崗岩と呼ばれる大陸地殻を作る岩石です。これが地球の1つの特徴です。大陸地殻を除くと、岩石からなる固体惑星と言う意味では共通の点がいくつもあります。

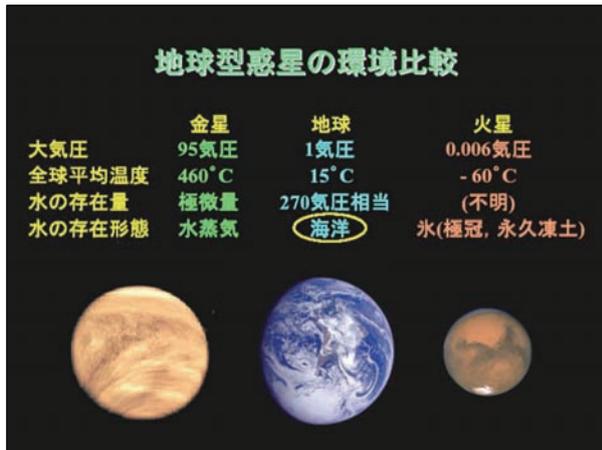


図-6



図-7

〈図-6〉〈図-7〉 地表環境になりますと、地球の場合には海があるということが、他の地球型惑星とまったく違うことです。衛星で海を持つような天体として、例えば表面に薄く氷が張っていますが、その下に海があるというエウロパみたいな例外もありますし、あるいは土星の衛星タイタンのように水ではありませんが、メタンの湖があるという天体もあります。海と似た液体状態のものがある天体はありますが、水の海がこれだけ大量に地表を覆っているのは地球だけの特徴になります。太陽系というスケールで見ると、岩石惑星という意味では地球と似た天体がたくさんありますけれども、地球にしかない特徴としてこのようにいくつか特殊性が挙げられます。その最たるものは何かと言えば生命がいて、我々がいるということです。このほかに、先ほど述べた海があるとか、大陸地殻があるとか、プレートテクトニクスと言いますが、表層の固体部分が水平に動く、こういうような地質活動をする天体は地球しかありません。地球にしかない特徴の最たるものは生命と文明ですが、それに加えて海であり、大陸であり、プレートテクトニクスということだろうと思います。

生命の起源論

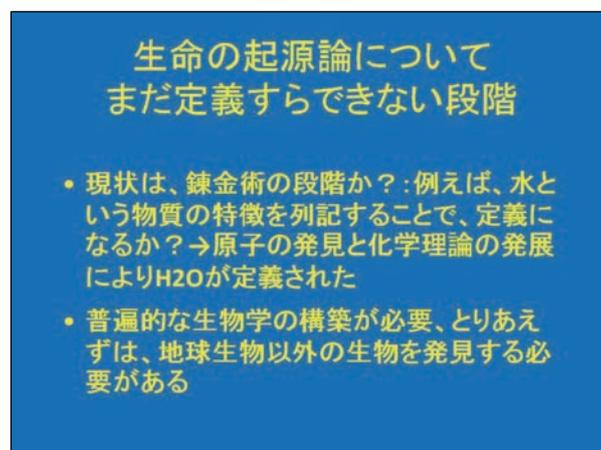


図-8

〈図-8〉 生命の惑星ということがいちばん大きな特徴だとすると、生命はどのようにして地球の上に生まれたのかということですが、これは現時点でまったく分かっていません。生命の起源

論はいろいろ提唱されていますが、科学的な意味で、本当に起源論と呼べるものがあるかと言われれば、現時点ではまったくありません。そもそも生命の定義すら我々はまだできていないのです。皆さん学問的に生物学はたいへんなレベルにあると思われるかもしれませんが、生命の起源という観点で見れば、生命はこういうものだと言う記述や、その特徴を述べることはできるのですが、生命とはなんぞやと定義できるかという定義ができていないのです。化学がまだ錬金術の段階の時に、水がどういう物質なのかということ記述することはできました。それと同じ段階です。しかし原子とか分子が発見され概念が提案され、あるいはなぜそれらが結合するのかとか、そういう理論が誕生する前に、水の定義ができたかと言えばできませんでした。水という物質の特徴を述べることはできましたけれども、それは定義ではなかったのです。まさにそういう段階です。したがって、生命の起源と進化という大問題を議論できるまでまだほど遠い段階なのです。生命の材料物質が、どういう無機的な反応によって作られるとか、という種類の議論があることはあるのですが、それはまだ生命の起源とはほど遠い話です。おそらくこれを画期的に進めることができるとすれば、宇宙において地球以外の生命が発見された時だろうと思います。その結果、初めて地球生命との比較ができるようになり、生命の普遍性とは何なのかという議論ができるようになります。現在の生物学は地球生物学であって、まだ起源論が展開できる段階ではありません。したがって地球がどうして生命の惑星なのか、これがいちばんの特徴と言いましたが、このことは今はまったく分からないとしか言えません。

地球生物学と普遍性

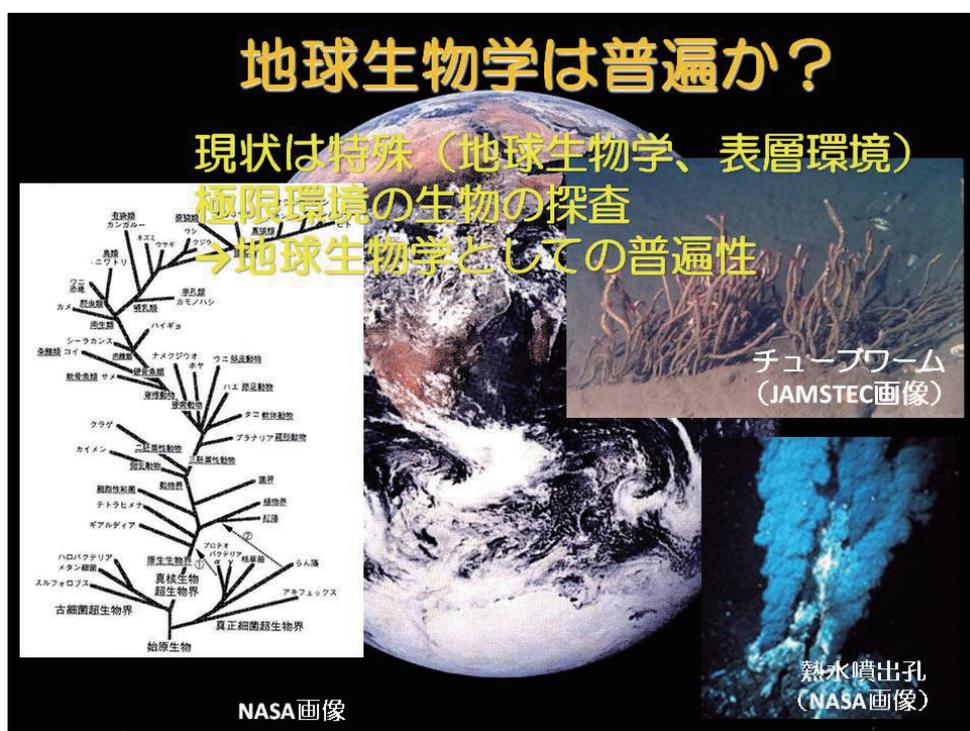


図-9

〈図-9〉 地球生物学と言いましたが、地球生物学としても普遍性があるのかということ実はそれすらまだありません。現在までに構築されている生物学は、基本的に1気圧の大気圧下で

平均気温が摂氏 15 度ぐらいのところにいる生物に関する生物学です。地球環境と言ってもとても幅広く、極限的な環境状態もあるわけです。そういうところにどんな生物がいるかは、1970 年代ぐらいから観測、あるいは探査が始まったような段階でして、まだ十分に知っているわけではないのです。極限環境の生物が地球上で調べ尽くされると、少し地球生物学としては普遍性ができるかもしれませんが、現状はまだそこにもっていないということです。

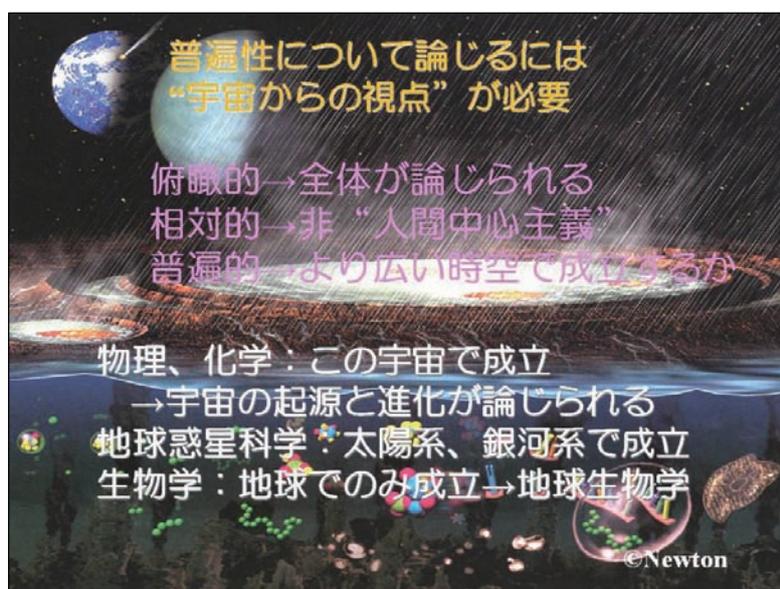


図-10

〈図-10〉 今、普遍性ということを強調しているので、普遍性について述べておきます。普遍性とは、時空を拡大し、その時空を拡大した中で、ある考え方とか、現象が成立する場合、その考え方とか現象に普遍性があると言われます。ギリシャ以来学問は普遍性を追究してきたわけです。20 世紀になって初めて、我々は銀河系の外の宇宙まで時空を拡大することができました。20 世紀は、物理学と化学とがこの宇宙で成立することを確かめた時代であると言ってもよいと思います。物理学と化学は少なくともこの宇宙では普遍性があるということです。ですからそれを用いてこの宇宙の起源と進化が議論できるということなのです。

高校で理科というと物理、化学、生物、地学になります。では地学には普遍性があるのでしょうか？20 世紀後半から惑星探査が始まり、21 世紀を迎える直前ぐらいから、銀河系の中で太陽系以外にも惑星や惑星系が見つかるようになりました。そういう意味では、ようやく地球惑星科学も多少の普遍性を獲得しつつあると言えます。そういう天体と比較し、地球を論じたり、太陽系を論じたりすることができるという意味で、ようやく普遍性に向けて多少踏み出したというのが現状です。一方、生物学はまだ地球でしか成立しません。普遍性にはまだ遠いということです。



図-11

〈図-11〉 ただし、この宇宙で成立したら普遍性があると述べましたが、果たしてそうでしょうか？この宇宙そのものが特殊だとしたら、本当に普遍性があるのかという議論を見直す必要があります。時空を拡大するという意味では、この宇宙で成立するからと言って普遍性があるわけではありません。まだ物理学も大統一理論、究極の理論には至っていないわけです。だけど面白いことに我々は、この宇宙の中にいる知的生命体にもかかわらず、頭の中ではこの宇宙の外側の議論もできるわけです。それはなぜでしょうか？最初に言ったように我々は外界を投影し、脳の中に内部モデルを作ります。その内部モデルに基づいて自然やそこで生起する現象を解釈し、整合性があれば理解したということになります。そういう意味では、脳の中の内部モデルとしては、この宇宙でない宇宙も論じられるわけです。このように考えると我々は、この宇宙が特殊であっても、普遍性について論じることができる、ということだろうと思います。そういう意味ではこの宇宙は1つである必要はなく、別にこの宇宙以外の宇宙がいくつあってもよいというのが今の宇宙論です。

1995年に発見された巨大ガス惑星

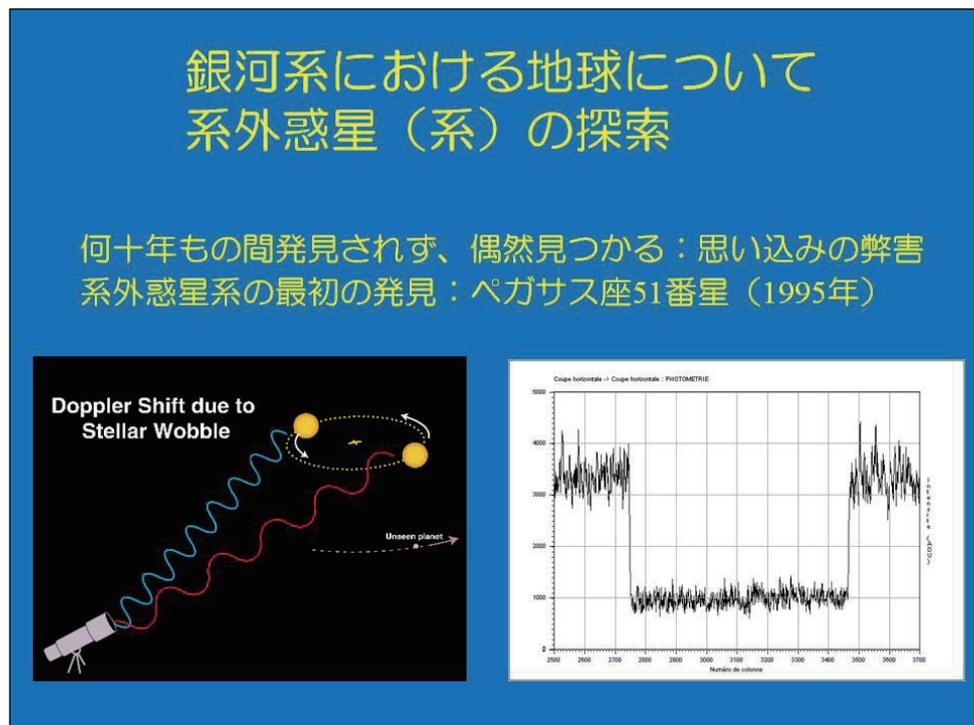


図-12

〈図-12〉 銀河系というスケールで地球に関し、今どんな議論が展開されているのかを紹介します。1995年に初めて太陽系以外で巨大なガス惑星が見つかりました。それ以前から30年ぐらい、ずっと人類は太陽系以外の惑星を求め探索を繰り返してきたのですが、それまで一度として見つかったことがなかったのです。それが見つかったのです。現在15年ぐらい経っていますが、もう1,000を越える惑星とか惑星系が見つかっています。まだそのほとんどは巨大ガス惑星ですが、惑星や惑星系をどのようにして見つけるのでしょうか？星の周りを惑星が回っていると、その惑星が中心の星を揺らします。その揺らすのを観測して周りに惑星があることを見つけるのです。

方法としては同じなのに、なぜそんなに発見が遅れたのでしょうか？太陽系しか知らない時には、我々が脳の中に描く内部モデルとしては、太陽系が惑星系のモデルです。例えば巨大ガス惑星が中心の星を揺らすと言っても、木星が太陽を揺らすようなことを考えます。そのようなモデルで考えると、10年以上にわたる長い期間観測をやって、初めて揺らぎが見えるようなことになります。そのような現象を見て初めて惑星だと判断できるわけです。

系外惑星について

- これまでの大多数は、巨大ガス惑星
- Hot Jupiter: 中心の星のすぐ近くをまわる
- Eccentric Planets: 偏心した軌道
- 標準的太陽系形成論では説明できない
- 続々発見されるので、最近では巨大ガス惑星の発見はニュースにならない
- 最近、地球に似た、地表に液体の水の存在する岩石惑星の発見がニュースになる: Gl581g

図-13

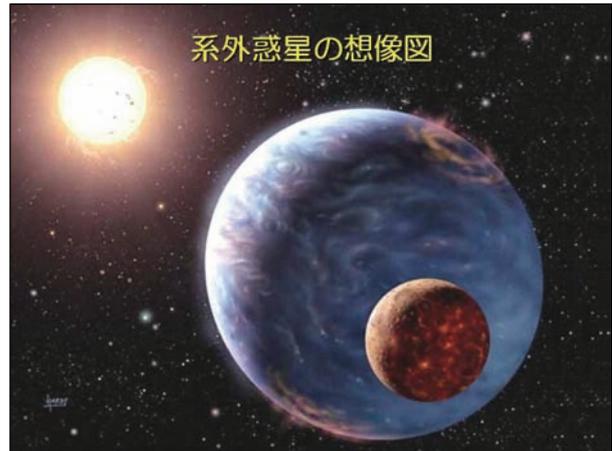


図-14

〈図-13〉〈図-14〉 実際に見つかったのは、木星みたいな巨大なガス惑星ですが、4日ぐらいで中心の星を揺らすような現象でした。想像できないくらいすぐそばを回っていたのです。こんなことは太陽系のモデルで考えたらあり得ないことでした。想定外のことだったので、それまで誰も見つけられなかったのです。このことは科学の発見とは何かということを考える上で示唆に富んでいます。先ほど述べましたように我々は脳の中に内部モデルを作って、それと現象との整合性があるかどうかということで判断、あるいは理解しているわけです。新しい現象を見つけても、常識（内部モデル）を優先し過ぎると、この観測はおかしいということで発見にはつながらない。新発見はそういう微妙な葛藤から生まれてくるわけで、このへんのバランスがそういう意味では面白いのです。

系外惑星としてこれまで見つかっているのは巨大ガス惑星、木星みたいなものが多いのですが、その軌道は太陽系とはまったく違ったものが多い。中心の星のすぐ近くを回っているとか、極端に偏心しているとかです。こういう発見は毎月何回といったくらい多いので、最近ではもうニュースになりません。最近のニュースはほとんどが地球と似た惑星が発見される場合です。つい最近ニュースになったのは地球と同じように、水を地表に持つ天体ではないかということでニュースになりました。

太陽系外で、液体の水を持っている可能性のある惑星が発見された

Gl581c

- てんびん座の方角。地球から20.5光年
- 地球の約5倍の質量(半径はおよそ1.5倍)
- 赤色矮星(Gl581)のまわりを約13日で公転
- 表面温度は-3°C~40°C
- 欧州南天天文台(ESO)のHARPSで発見(2007年4月25日)

図-15



図-16

〈図-15〉〈図-16〉 地球と似た系外惑星をスーパーアースと言いますが、最初に見つかった

たのが GI581C です。2007 年に見つかりました。去年大きなニュースになったのは同じ星のまわりの GI581G という惑星です。すでに地球と似た惑星という意味では、もう報告されている惑星系の中に新たに見つかった 1 つですから、そんな大きなニュースとは思えませんが、海を持つかも知れないということで注目されました。

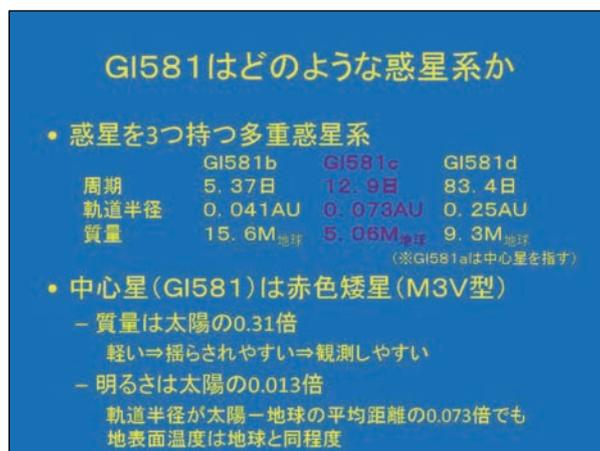


図-17

〈図-17〉 GI581 という星は太陽と違って、赤色矮星という種類の赤っぽい色の星です。太陽よりは少し小さな星です。中心の星が暗いわけですから、その周りに海を持つような地球型惑星を考えた時に、我々の地球よりずっと中心の星に近いわけです。

最初に見つかった GI581C は周期が 13 日ぐらいでした。その時に海を持つ惑星かもしれないと言われたのですが、軌道としてはハビタブルゾーンが一番内側に位置していました。ハビタブルゾーンと言うのは、海を持つ惑星が、中心の星の周りの、どのへんの軌道領域に分布するかという分布領域のことです。生命の存在する惑星を考える時の基本になっている考えです。

ハビタブルゾーンについて

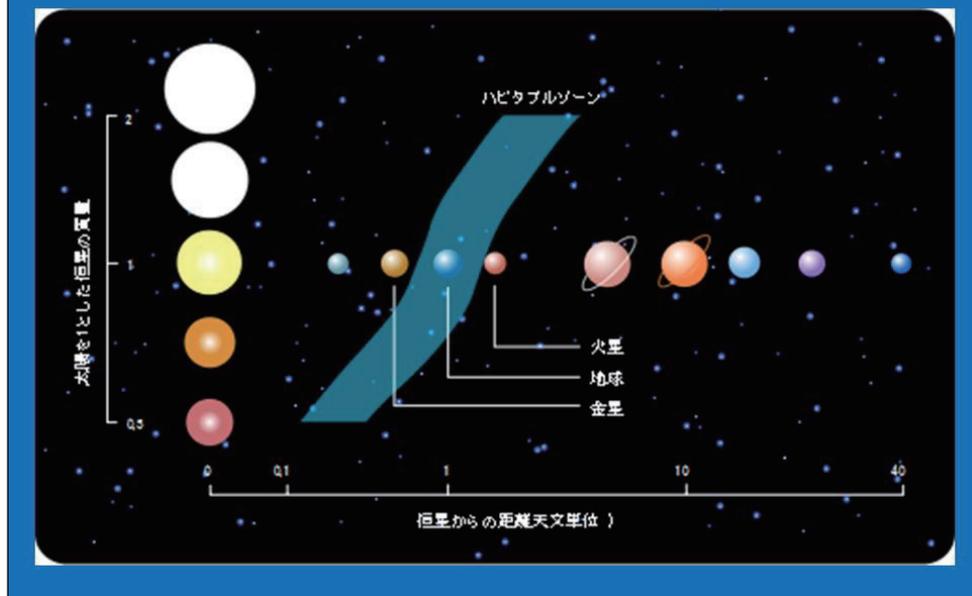


図-18

〈図-18〉 それは海がないと生命は誕生しないと考えられているからです。地球の生命の元素組成はそれを強く示唆しています。我々の体の元素組成と海の元素組成とは似ているのです。このことは海がなかったら我々は生まれないことを示唆します。地表に液体の水が存在することが少なくとも必要な条件だということです。そういう領域のことをハビタブルゾーンと言います。ハビタブルゾーンとは、水が液体で地表に存在できるような天体の存在領域のことです。それは中心の星の輝き方によって変わります。太陽みたいな星の場合だと、金星と火星の間でまさに地球の軌道付近です。先ほど紹介した G1581 みたいな星は、星の種類で赤色矮星と分類されています。

星の種類 ヘルツシュプルング・ラッセル(HR)図

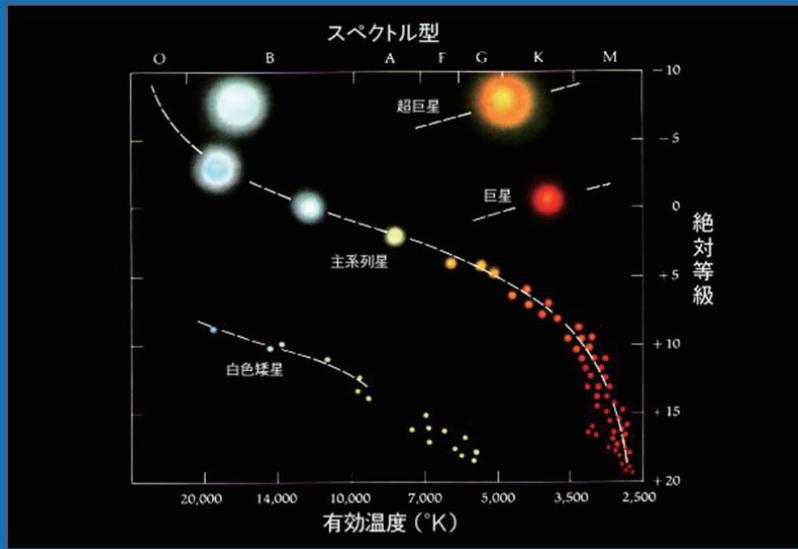


図-19

〈図-19〉 これはHR（ヘルツシュプルング・ラッセル）図と言います。点が集中しているのは主系列という星の集団です。主系列星カーブの下の方にある小さい赤っぽい星が赤色矮星です。赤色矮星は暗いわけですから、中心の星に近いところにハビタブルゾーンがあります。そのいちばん内側のエッジにあったのが Gl581C です。

グリーゼ 581g



太陽系から約20光年離れた、赤色矮星グリーゼ581の第四惑星。地球の3~4倍の質量を持ち、37日間で公転している。おそらく岩石でできた惑星であり、大気を持つために必要な重力を有している。

図-20

〈図-20〉 今度発見された GI581G は、ハビタブルゾーンの真ん中付近にある惑星です。可能性の高い場所で見つかったということで、ニュースになったわけです。今銀河系というスケールで、ようやく地球と似た惑星の議論ができるようになっていきます。私自身は生命の可能性のある惑星は、スーパーアースでなくてもいいのではないかと考えています。個人的に興味を持っているのは、私が勝手に名前を付けましたが、スーパータイタンです。前にも述べましたが、地球と似た銀河系の中の惑星のことをスーパーアースと言います。大体皆地球より大きいものですからスーパーアースです。これから論文を書こうと思っているのですが、私はスーパータイタンの方が、おそらく生命を持つ惑星として可能性が高いだろうと思います。これは氷と岩石から成る惑星で、土星の衛星タイタンを大きくしたような窒素大気とメタンの海を持つ惑星です。そういう惑星探しを始めたいと思っていますが、これは余談です。

構成要素と物質循環の関係性

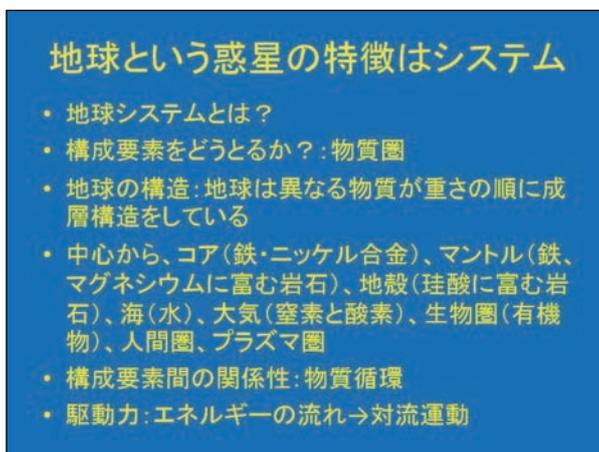


図-21

〈図-21〉 地球という星の特徴をいくつか挙げました。その特徴を一言で言うとシステムだということです。システムと言うのは構成要素が複数あって、その複数の構成要素間に関係性があるということです。地球の場合の構成要素は何なのかというと、地球を構成する物質圏です。コアとか、マントルとか、地殻とか、大気とか、海、生物圏などです。この間に物質循環があるということが、関係性があるということです。最初に述べたのは、地球にしかない物質圏であり、プレートテクトニクスというのは物質循環に関係します。地球がシステムであるために、海が長期的に安定に存在するという地表環境が維持されるのです。関係性を生み出すのが駆動力です。地表付近で言いますと駆動力は太陽の放射です。地球の内部ですと、基本的には地球が生まれた時に解放された重力ポテンシャルエネルギーです。それが熱になって溜まっている。それに加えて放射性元素の壊変によるエネルギーです。これがマントルとか、コアの中に対流運動を生み出しています。コアの中に対流運動が磁場を作り出し、マントルの対流運動がプレートテクトニクスに関係し、地表と地球の内部をつなぐ物質循環を作り出しています。これが地球システムと言うことです。

地球システム：箱モデル



図-22

〈図-22〉 地球をシステムとして見た時のモデルとして、我々がよく表現するのは箱モデルです。物質圏を箱のように描いて、その間のものの出入りみたいなものがどうなっているのかということで議論を展開します。いちばん分かりやすい例だろうということで私がよく使うのが、二酸化炭素の地表付近の循環です。

関係性の例 地球表層における二酸化炭素の循環

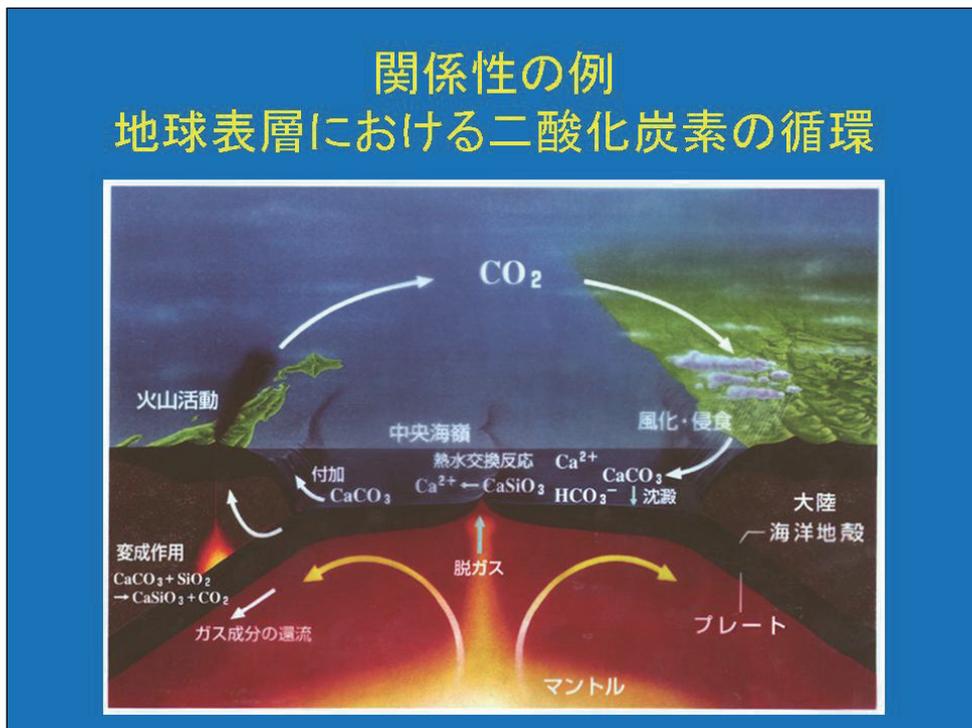


図-23

〈図-23〉 例えば大気中にある二酸化炭素は雨に溶け込んで降り、それが地表を浸食します。二酸化炭素が水に溶け込むと重碳酸イオンというものになりますが、岩石を浸食し、岩石を作っていたいろいろな陽イオンを溶かし込み、それらが海に流れ込みます。こうした各種のイオンが海の中で反応します。現在の地球上では海の中で生物がそれらを、例えば炭酸カルシウム (CaCO₃) に変えています。生物がいなくても、海の中でその濃度が増えれば炭酸カルシウムができるわけです。

このようにしてできた炭酸カルシウムは海底に沈殿します。海底はプレート運動によって動いていますから、海底に溜まった炭酸カルシウムは大陸の縁まで運ばれ、大陸地殻にくっつきます。それが石灰岩という岩石です。我々は大陸の縁にそういう岩石をたくさん見ることができるわけです。あるいは一部は地球の中に潜り込んでいきます。

プレートテクトニクスによると、海洋プレートは大陸プレートの下に潜り込みますから、海底の海洋地殻も一緒に潜り込んで行きます。炭酸カルシウムとケイ酸という砂と一緒に潜り込んでいって、周囲の温度が高くなるとこれらの物質は反応します。摂氏 700 度ぐらいになると反応し、炭酸カルシウムがケイ酸カルシウムという物質に変わるので。その時にいらなくなった二酸化炭素が放出され、火山ガスとして出てきます。

こうして再び大気中に戻ってくるわけで、これで CO₂ が 1 周したことになります。これが地球システムの関係性の一例です。要するに大陸と海と地殻とマントルの間を、CO₂ が循環しているということで、これは地球システムにとって重要です。というのは、地球がどうして海を持つ惑星なのかということの説明してくれるからです。

暗い太陽のパラドックス

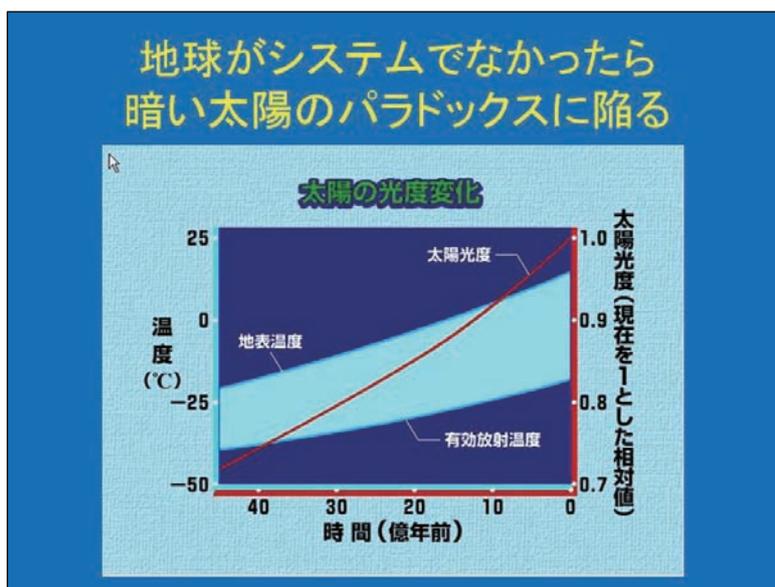


図-24

〈図-24〉 太陽という星は昔暗かったと考えられます。太陽は水素を燃やして輝いています。ということは昔の方が水素はたくさんあるわけです。水素が燃えると何になるかと言うとヘリウムになります。水素が燃料で燃えかすがヘリウムとなって溜まって来るわけです。ヘリ

ウムが溜まってくると、水素よりヘリウムの方が重いので太陽は縮むわけです。縮むと物理的には内部の温度が上がります。上がると水素の燃え方がよくなって余分な圧力を生み出します。その圧力が縮んだ分を元に戻すわけです。ということで太陽の大きさは変わりません。けれども内部の温度は上がります。すると水素が燃えるという核融合反応の効率がよくなります。そのために、年々歳々明るくなっていくことになります。その変化を図にしたのがこの図です。太陽光度は46億年前には今より30%ぐらい暗く、70%ぐらいの明るさしかなかったと推定されています。現在を1とすると、昔の太陽光度は0.7ということです。地球がシステムでなく、大気なら大気が独立して存在し、組成も変わらないとすると、太陽の明るさの変化に応じて地表温度がどうなるかが計算できます。それがこの図に書いてあるカーブです。太陽光度が暗くなっていけば、地表は冷たくなっていきます。現在の地球の平均温度、全球を一年間平均したものは、摂氏15度ぐらいですが、20億年ぐらい前にいくとその温度が0度になってしまいます。38億年ぐらい前にいけば-20度を切るぐらい低温になります。したがって海は存在できません。この計算が正しいとすると、地球の海はつい最近になって存在したということになります。

一方で、海はそれより以前から存在したことが知られています。地球の環境の歴史を記録した岩石でいちばん古いものは、38億年ぐらい前の堆積岩があります。これは環境を記した地球の古文書としてはいちばん古いものです。38億年前の岩石は、現在と同じように温暖で湿潤な地表環境でないとできないような岩石です。このことは、温暖で湿潤で海があるような環境が、38億年前にもあったことを示唆しています。そうすると、太陽が暗いと地表温度がこんなに下がるはずなのになぜ海があるのか、矛盾してしまうわけです。

この矛盾のことを暗い太陽のパラドックスと言います。太陽は暗いのに地球は暖かい、なぜだろうか、ということです。1972年にカール・セーガンがこの問題を提起しました。私はその頃、月や地球がどう生まれてきたかということの研究していました。私たちが発見したことは、月や地球が生まれる時はもともと熱かったのではないか、ということです。しかし、その頃は大気の起源は考えていなかったもので、この問題提起はそのままにしておきました。その後、大気の起源について新しいアイデアを思いつき、地球の形成過程をもう一度計算し直しました。すると原始大気の組成は今とはまったく異なることが分かりました。大気の組成も違うと言うことで、暗い太陽のパラドックスにならないという新しい考え方を提案したのです。しかし今風に説明すると、地球がシステムということで説明できます。図-23を参照下さい。

太陽が昔に遡って暗くなっていく時に、地球がシステムだと思えば、前の計算とどこが変わるのか？大気中の二酸化炭素量が変化していくのです。大気中からCO₂を除去する割合は、雨の量に関係しているわけです。CO₂は雨に溶け込んで除去されるわけですから、一方で、雨が降る量は地表温度によっているわけです。暖かければたくさん降るし、冷たければあまり降りません。太陽が暗くなって冷たくなっていくと雨が降らなくなります。すると大気中からCO₂を除去する割合は減るわけです。一方で火山活動を通じて出てくるCO₂の量は変わらないですから、大気中にCO₂は溜まるわけです。太陽が暗くなって雨が降らなくなると大気中のCO₂は増えるということです。そうすると大気の温室効果が増えます。そうすると地表温度が上がります。というわけで、太陽光の放射の減少に伴う温度低下を、二酸化炭素の温室効果で補う

ことができるということになります。このメカニズムで、太陽光度の変化によらず、地表温度はほぼ一定に保たれることが考えられます。これは地球がシステムである、ということの具体例です。地球という星は、太陽が暗いという外的環境が変わった時にそれに応答し、自らの地表環境を一定に保つようなメカニズムを持っているということです。

地球の形成過程

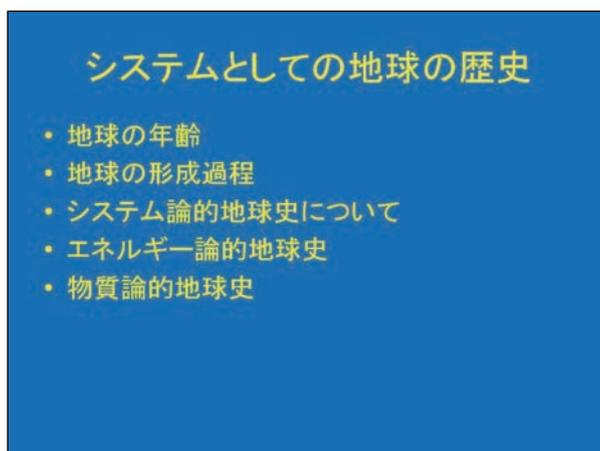


図-25

〈図-25〉 というわけで、システムとしての地球の歴史を考えてみましょう。一言で言えば、エネルギー論的には冷却です。冷却ということは、地球が生まれた時は熱かったということの意味しています。ではどうして地球が生まれた時に熱かったのか？地球が生まれた時に熱かったのか、冷たかったのか、この問題は1960年代まで、冷たいというのが学会の主流でした。1970年代ぐらいから1980年代にかけ、熱かったかもしれないと変わってきたのです。アポロ計画によって月が誕生直後、熱かったことが分かったからです。現在は地球が生まれた時は熱かったことになっています。次にそのへんの話をしていきます。

地球の年齢

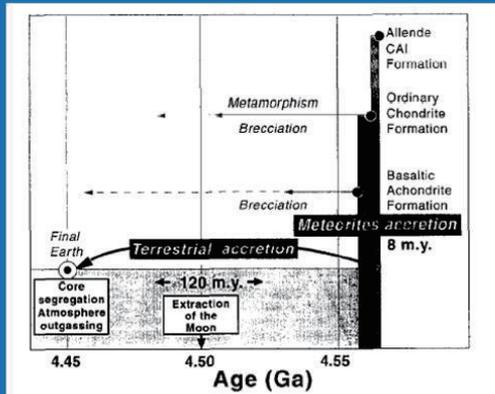


FIG. 10. Pb-Pb time scales for the accretion of the Earth and the meteorite parent bodies. The shaded areas underline the different time scales for the formation of the two major types of meteorite parent bodies (maximum 8 Ma) and for the end of accretion and the differentiation of the Earth (≈ 100 Ma). These periods are evaluated in respect to age of the Allende refractory inclusions that are considered as translating the formation of the solar system.

The solid lines for ordinary chondrites and basaltic achondrites indicate the variations of Pb-Pb ages that are younger than 4.565 Ga and that are interpreted as reflecting the U-Pb record of thermal events. The dashed lines indicate the larger time span for perturbation as recorded by the Ar-Ar systematics.

地球の誕生と
いう出来事を
定義する必要
同位体年代学：
例えば、U-Pb年代、
Hf-W年代など

Allegre et al. (1995)

図-26

〈図-26〉 まず地球が生まれたのはいつか、年齢の話です。結論から言うと 46 億年ぐらい前という言い方しかできません。地球という天体は地球型惑星としては大きいですから、生まれたということがどういうことなのか、それを特定しないと年代が定義できません。人間も同じです。受精し、最初の細胞が生まれたのと、赤ちゃんとして生まれてくる間には 10 か月ぐらいの差があるわけです。どちらかを言わなくては正確な年齢にならないというようなものです。地球も何をもって生まれたと言うかを定義しないと、44 億年前なのか、45 億年前なのか、45 億 5000 万年前なのかが議論できないのです。ここでそんな話をしているときりがないので 46 億年ぐらい前とします。

太陽系で最古の物質は分かっていて、この形成年代は四十五億六千五百何十万年前というぐらい正確に決まっています。これが先ほど紹介したアエンデ隕石という隕石の中にある白色包有物 (CAI)、この物質の年齢です。これが太陽系で最古の物質です。実は太陽系のカレンダーの元年は、アエンデ隕石の中の CAI の年代をもって 0 年と決めているのです。そこから何年経った時に地球が生まれたかという議論ができるということです。

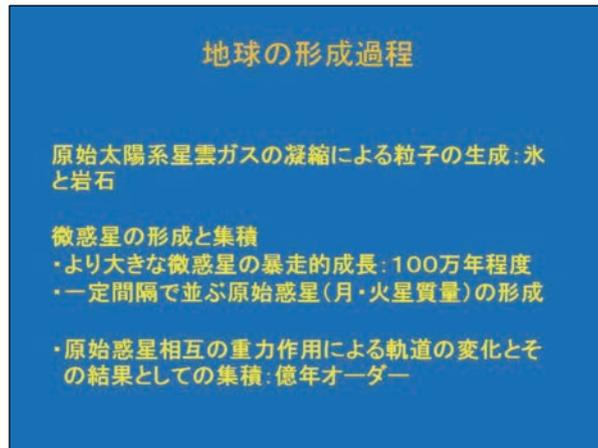


図-27

〈図-27〉 地球の形成過程は大ざっぱに言うと、材料物質の形成と、その集積という二段階に分けられます。原始太陽系青雲ガスがあって、それが冷えてくると氷とか、各種の鉱物が生まれてくるわけです。氷も鉱物と言えば鉱物でして、揮発性元素を中心とした物質です。高温では鉱物です。その中には金属も含まれます。氷と言っても水とか、アンモニアとか、メタンとか、何でもよいですけれどもそういうものが固化したものが氷です。

これらの粒子が原始太陽系青雲ガスの中に生まれ、ガスの中を漂っているのですが、次第にガスと粒子の分離が起こります。ガスの運動と粒子の運動は物理的に違うからです。ガスは圧力で支えられますけれども、粒子はそうではない。そのために、粒子は赤道面上に沈殿してきます。赤道面上の粒子の濃度が高くなると、粒子の引き合う力の方が太陽からの潮汐力、すなわちそれを引き裂こうとする力よりも強くなって、粒子が集まり微惑星と呼ばれる小天体が生まれます。その後は 10km ぐらいの微惑星が衝突を繰り返し、大きくなって惑星になるというのが標準的な太陽系起源論です。地球もそうやって生まれたのだろうということです。

最近は数値計算が行われるようになって、微惑星が生まれる時に、少し大きくなった微惑星がそのまますんなり惑星になるかということではなく、大体月とか、火星ぐらいの大きさの天体になって、例えば地球領域なら地球領域にそれが何十と並びます。何十と並んだ月とか、火星サイズの天体がさらに時間をかけ、集まって地球になるというのが地球の形成過程です。月、火星サイズの原始惑星は 100 万年ぐらいで生まれるのですが、これらの原始惑星相互の重力作用によって、本当の地球が生まれるまでには数億年のオーダーがかかります。

地球の生まれた年代は 44 億年かもしれない、45 億年かもしれないと言ったのは、最初に鉱物粒子が生まれたのを 0 年とすると、それから 100 万年で月とか、火星サイズが生まれるけれども、さらに大きな天体が生まれるまでに億年のオーダーの時間がかかるので、それがどのぐらいかかったのかはなかなか特定できないということです。いろいろな放射元素の同位体を使うと、コアとマンツルの分離はいつ頃起こったとか、大気が生まれたのはいつ頃とか、こういうことは議論できるのですが、地球という惑星がいつ生まれたのかという議論とは少し違うということです。

月の起源

地球・月系の角運動量と月の化学組成

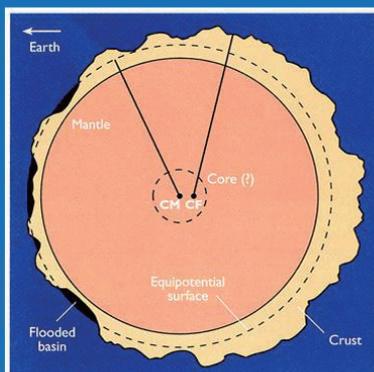


Figure 16. A schematic cross section of the lunar interior, which may or may not include a small metallic-iron core. The Moon's center of mass (CM) is offset by 2 km from its center of figure (CF), so an equipotential surface (which experiences an equal gravitational force at all points) lies closer to the lunar surface on the hemisphere facing Earth. Therefore, magmas originating at equipotential depths will have greater difficulty reaching the surface on the far side, accounting for the paucity of mare deposits there.

$L \sim 3.5 \times 10^{41} \text{ g cm}^2/\text{sec}$
 $P = 5 \text{ days}$
 平均密度: 3.344 g/cm^3
 慣性モーメント: 0.3931
 金属鉄: 地球 (25%)、
 月 (2-3%以下)
 揮発性: 地球の50分の1
 難揮発性: 地球に比べ1.5倍
 親鉄性: 地球に比べ少ない

図-28

月の起源: ジャイアント・インパクト

Smooth Particle Hydrodynamics (SPH)法による数値計算

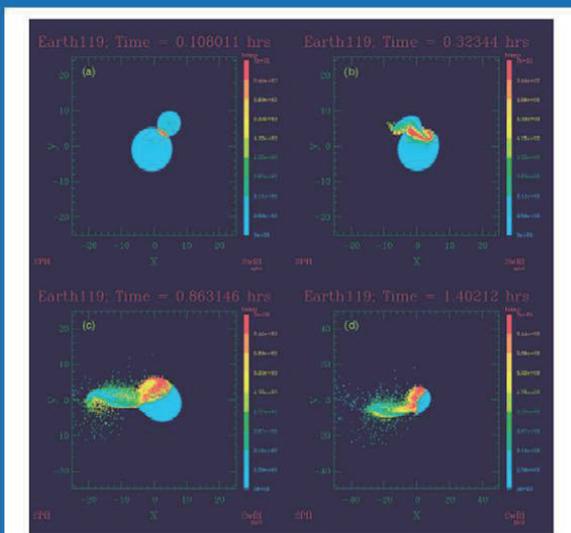


Fig. 2. Time series of an impact with $N = 60,000$, $\gamma = 0.13$, $\epsilon = 1000$, and $N = 0.730$. Times are shown in hours and color scale with particle temperature in degrees K; frames (a) through (d) are looking down into the plane of the impact, with particles with $T = 6440 \text{ K}$ shown in red. Distances are shown in units of 1000 km. Frame (c) is the final state viewed on-edge; here the temperature scale has been shifted so that red corresponds to $T = 9310 \text{ K}$.

(Canup, 2004)

図-29

〈図-28〉〈図-29〉 月は、まさに億年単位で月とか火星サイズの天体が集まって地球が生まれるという過程の、副産物として生まれたと考えられています。これは1つの数値計算の例ですけれども、原始地球に火星サイズの天体がぶつかって地球が割れ、周囲に吹き飛ばされた

破片から月が生まれる過程を示したものです。地球ができる時の最終的な段階では破局的な事件がいろいろと起こり得るのです。

システム論的地球史について

- その歴史を一言でいえば、「分化」と「冷却」
- 物質に注目すれば分化
- エネルギーに注目すれば冷却
- 誕生時の地球は熱かった



集積中 集積後

図－30

〈図－30〉 地球が生まれた時の熱的な状態はどうか。地球が生まれる前には、無数の微惑星が太陽の周りをぐるぐる回っているわけですが、そういう状態と、1個の地球になった時との状態では位置エネルギーが違います。このエネルギーの差、これは重力ポテンシャルエネルギーともいいますが比較ができます。どちらが高いかと言うと、無数の微惑星がばらばらで回っている時の方が高いのです。地球になった時の方が低い。この差に相当するエネルギーが、地球ができる時に解放されるわけです。

これがもし全部物質の加熱に使われると、どのくらいの温度になるか計算できます。1万度を超えるような温度になります。実際には地球の材料物質の比熱がどうかということで、2万度になったり、3万度になったりしますが、オーダーとしては1万度を超えるくらいです。そのうちのどのくらいが熱として本当に地球の中にとめ込まれるのかが重要です。こういうことはこんな単純な比較からはできなくて、詳細はいろいろ数値計算しなくてはなりません。

そのような計算を1984年にやり、その結果を『Nature』誌に2本の論文として発表しています。基本的には10～15%くらいは熱として内部に取り込まれる計算になります。1万5,000度だとすると1,500度ということです。すなわち地球が生まれた時には、岩石がどろどろに溶けるくらいに熱かった、という結論になるわけです。

分化について

- 揮発性物質(大気、海洋、生命)と難揮発性物質(固体地球)の分離: 衝突脱ガス大気形成と海の凝縮
- マグマの海における結晶分化作用→地殻、マントル、コアの分化
- コアの起源: top-down か bottom-up?

原始地球の大気と海の形成

1 隕石雲の衝突から大気が生まれる。

原始地球は、落下する隕石雲と地球との衝突によって、熱くなって溶けた状態が長続きする。そして、溶けた状態が長続きする。そして、溶けた状態が長続きする。そして、溶けた状態が長続きする。

2 地殻はマグマの海におおわれる。

溶けた大気は地球の表面を覆う。地殻の温度は十分に上昇する。そして、溶けた状態が長続きする。そして、溶けた状態が長続きする。そして、溶けた状態が長続きする。

3 重い地殻が形成されていく。

溶けた大気は地球の表面を覆う。地殻の温度は十分に上昇する。そして、溶けた状態が長続きする。そして、溶けた状態が長続きする。そして、溶けた状態が長続きする。

4 高温の海が残り過ぎ、蒸気できる。

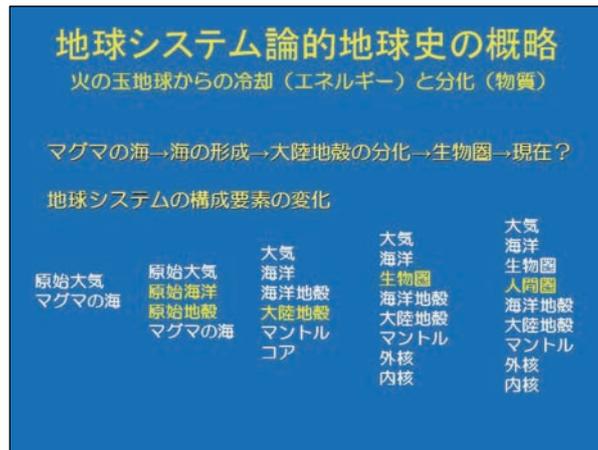
溶けた大気は地球の表面を覆う。地殻の温度は十分に上昇する。そして、溶けた状態が長続きする。そして、溶けた状態が長続きする。そして、溶けた状態が長続きする。

5 空が晴れ上がり安定態に入る。

溶けた大気は地球の表面を覆う。地殻の温度は十分に上昇する。そして、溶けた状態が長続きする。そして、溶けた状態が長続きする。そして、溶けた状態が長続きする。

図-31

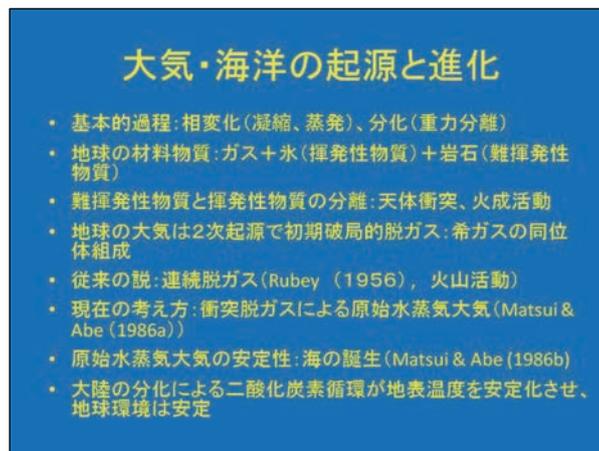
〈図-31〉 生まれた時は熱かったのだから、エネルギーに注目すれば、その後は冷却するのが地球の歴史です。どろどろに溶けているものが冷えてくれば、それぞれの温度圧力条件で固体となって析出します。それが物質の分化ということです。地球は熱い、一様な状態として生まれ、冷えるにつれ、例えばコア、マントル、地殻と大気、海に分かれてきたというのが歴史になります。簡単に言うとこれが地球の歴史なわけです。そうした分化に更に大気、海が分化して生命からなる生物圏が生まれるとか、生物圏から人間圏が分化するとかの分化が続き現在に至ります。このように考えると、地球の歴史は大体5段階ぐらいに分かれます。個々の分化の過程の詳細は省略させていただきます。



図－32

〈図－32〉 地球システム論的に地球史を概略すると、この図ようになります。マグマの海と呼ばれる、どろどろに溶けた状態から冷えると原始地殻が生まれ、原始大気から海が生まれます。原始地殻は海洋地殻のようなものです。マグマの海という段階から、原始海洋と原始地殻が生まれるのが最初の分化です。その後原始地殻から大陸地殻が分化します。その結果、海の上に顔を出す部分ができる。すると先ほど紹介したような二酸化炭素の循環が起こって、地球の環境は変わってきます。海が安定に存在するようになるとそこに生物が生まれ、特にシアノバクテリアと呼ばれるような生命が生まれると、それが光合成をし、むしろ生命の存在が地表環境を変えるようなそんな関係になるわけです。そうすると生物圏が定義でき、生物圏が生まれたこととなります。今我々は、生物圏から分かれ、人間圏を作って生きています。これが地球史のシステム論的な概略になります。地球の歴史は大ざっぱに見れば簡単なのです。個々の過程を細かく説明すると大変ですが、冷却と分化ということです。

原始水蒸気大気と海



図－33

〈図－33〉 大気と海洋の起源、進化論の歴史的な紹介は省略します。

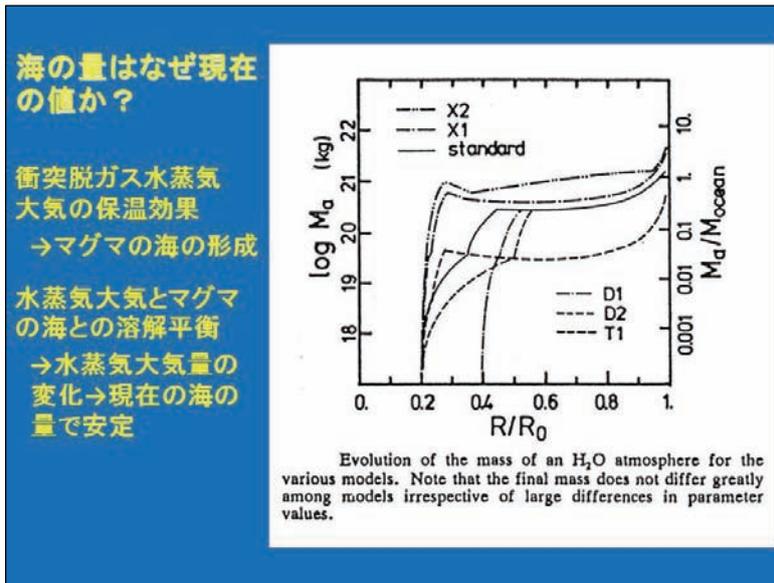


図-34

〈図-34〉 1986年頃に発表した論文の紹介をします。いちばん面白いことは、なぜ海の量が現在の量なのかに関することです。地球ができる時に溶けたマグマの海が地表を覆っていると、マグマの上にある原始水蒸気大気との溶解平衡により、大気中に残る水の量が決まるといふことです。それが今の海の量とほとんど一致するという面白い発見です。現在の海の量がなぜこうなのかということは、物理的には地球が生まれた時に、マグマオーシャンが地表を覆っていたことの結果というのが、我々の発見したことです。

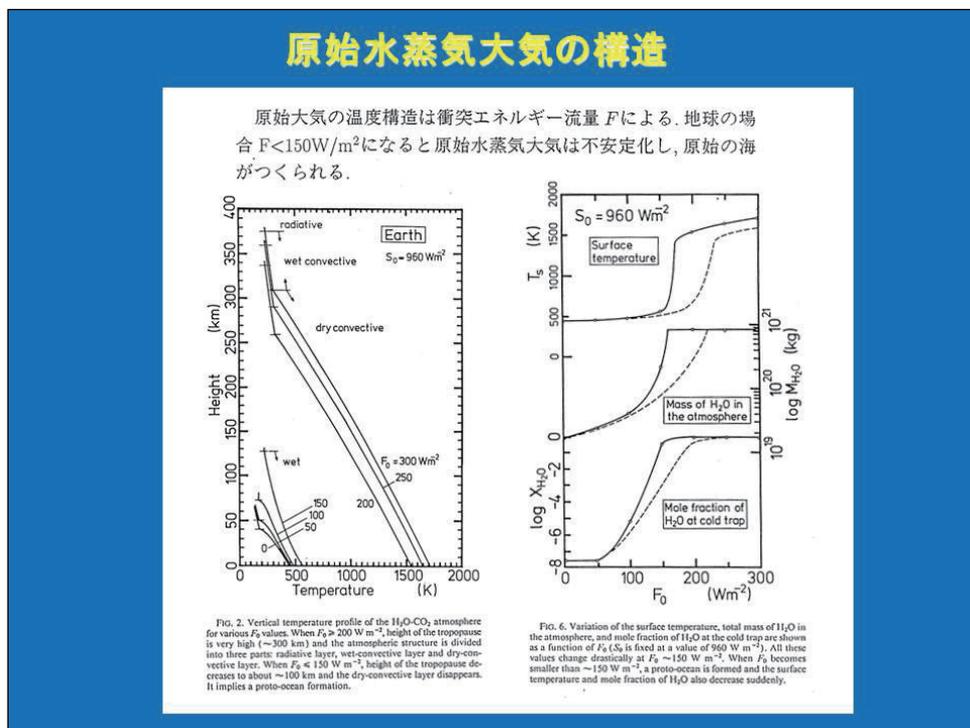


図-35

〈図-35〉 原始水蒸気大気がどのぐらい安定なのか、その大気がどんな構造をしているかも

計算できます。地球ができる頃までは原始水蒸気大気は安定に存在します。地球が現在くらい
 の大きさになると、原始水蒸気大気は安定に存在できません。なぜかと言うと、大気の下から
 熱が供給されないからです。原始水蒸気大気の構造は、下からの熱量の供給によって2つの安
 定状態があります。

1つは原始水蒸気大気が安定な状態です。もう1つは不安定で海ができてしまう状態です。
 この2つの状態ははっきり分かれていて、それは大気の下からの熱量によるのです。微惑星が
 集まる時に解放される重力ポテンシャルエネルギーの解放量が、 1m^2 あたり大体 150w がその
 臨界的な値です。その値を境に2つの状態に分かれます。原始水蒸気大気が安定な状態と、海
 が安定な状態とがそこで分かれます。その時に海が誕生するということになります。

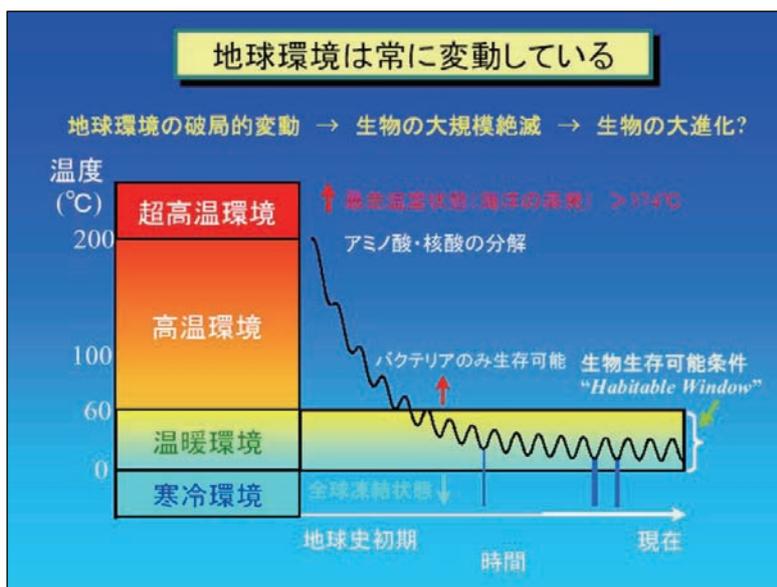


図-36

〈図-36〉 地球は生まれた時熱くて、それが冷え、現在の状態に変わってきました。長期的
 にはこういうトレンドなのですが、地表温度の変化としてみると、そこに細かないろいろな変
 動が重なっています。最近ではスノーボールアースと言う、とんでもないような地表環境があっ
 たと言われています。地球が全球凍結状態になるようなこともあったかもしれないというので
 す。今我々はこの図の右端にいて、これが今後どうなるかという議論をしています。それが地
 球環境問題ですが、時間がないのでこれも省略します。

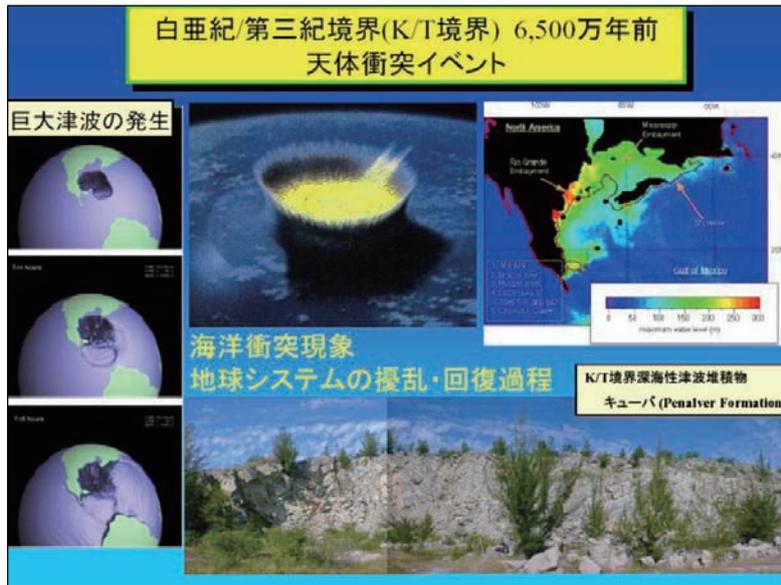


図-37

〈図-37〉 こうした変化に加えて、天体がぶつかって環境が変わるといことも起こります。それによって生物の大絶滅も起こります。

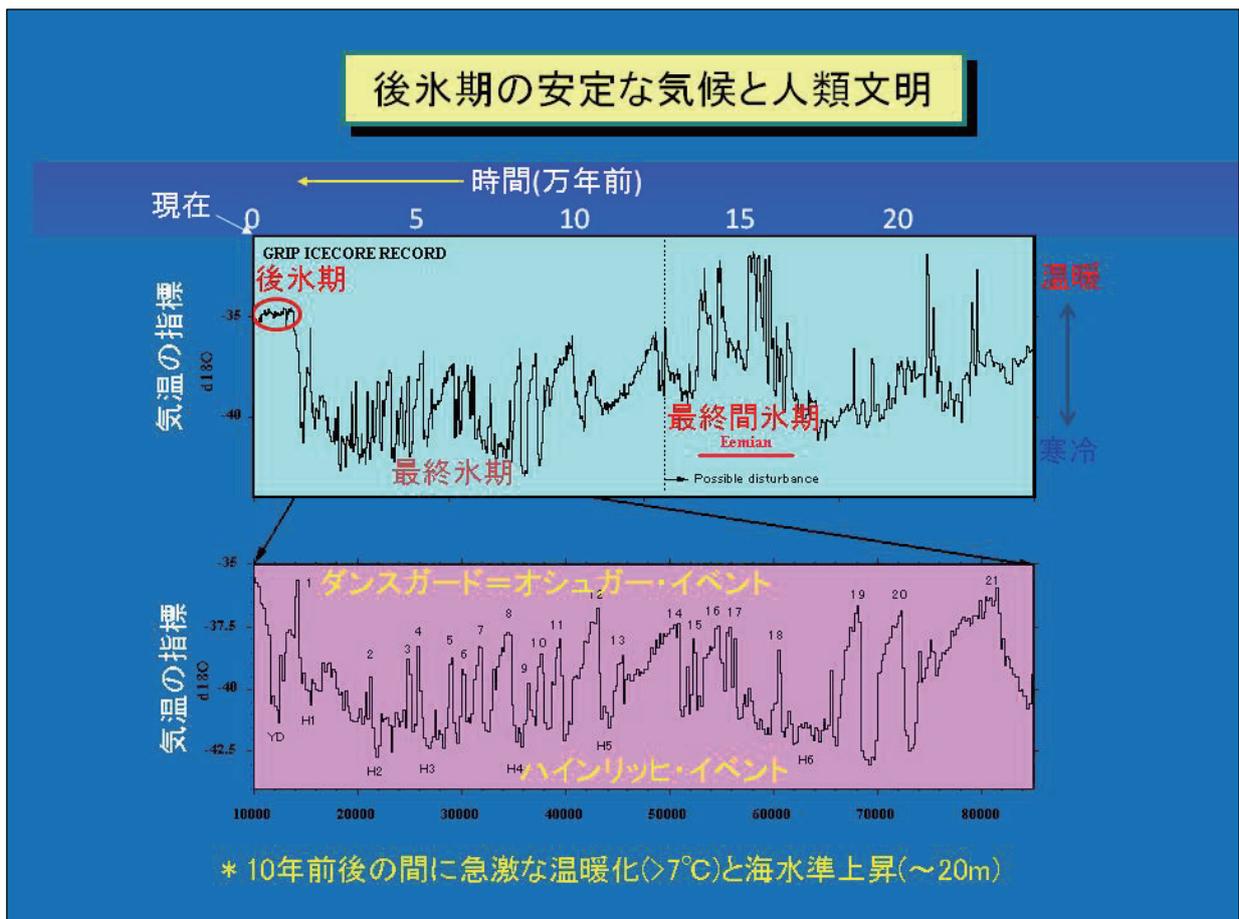


図-38

〈図-38〉 この図には 30 万年ぐらいの変化しか描いてありませんが、現在は 70 万年ぐらいのデータがあります。地球環境は現在、後氷期という状態で、温度が安定しているのが特徴です。それ以前は大きく変動していました。このような変化がなぜ起こるのかはよく分かっていません。地球環境は長期的トレンドとしてだんだん冷たくなっていくのだけれども、その間に温暖を繰り返す。その温暖の繰り返す周期と幅はさまざまに変わっていて、それがそれぞれどういう原因によっているのかは、今もって誰も分からないことです。特にはっきりしているのは、11 万年～12 万年周期での変動です。ミランコビッチサイクルと言われますが、これは地球の自転と公転運動に関係していると考えられています。

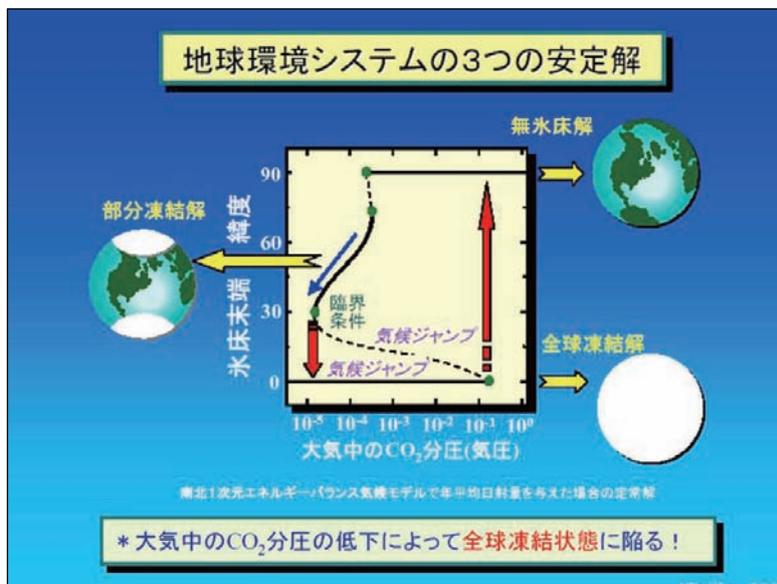


図-39

〈図-39〉 それ以前の何億年前にはこんな変動をしています。このぐらい期間と周期によって変わるということです。地球の気候がどういう安定状態にあるかというのは、気候システムを単純なエネルギーモデルで分析すると、今の CO₂ の量でも寒冷な状態にいたり、あるいは熱い状態にいたりという変化が起こり得るぐらい、気候システムとしては安定ではないのです。たえず変動していると思った方がよいということです。今我々が直面している地球温暖化の問題も、どちらにシフトするかはよく分からないということです。

生物圏から人間圏へ

現在の地球システムは、生物圏から人間圏が分化した段階にあります。地球システムが生命の惑星段階から文明の惑星段階に変わったということです。最後に、人間圏とは何かという話をします。

夜半球を見ると人間圏が見える



図-40

〈図-40〉 夜半球の地球を見ると、現在このように見えるわけです。光の海が見えます。これが人間圏です。大気存在は雲の存在を通して知ることができます。夜半球の光輝く海を通じて、我々が今、地球の上で存在している証拠が見られるということです。それを人間圏と呼ぶと言ってもよいでしょう。

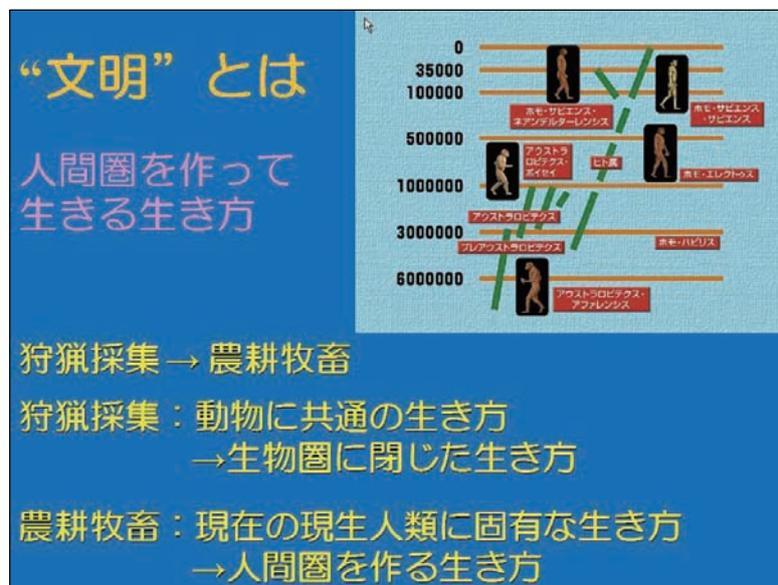


図-41

〈図-41〉 それがどういふことなのかと云うことですが、狩猟採集という生き方と、農耕牧畜という生き方を、地球システム論的に分析すると出てくるといふのが答えです。結論を言い

ますと、狩猟採集は全ての動物に共通の生き方であって、人類だけがやっている生き方ではない。これは生物圏の中の物質循環を利用する生き方だということです。食物連鎖に連なるとか、という言い方をしますが、まさにそれを表しています。農耕牧畜はそうした物質循環から飛び出した生き方です。これが現在我々が行なっている生き方です。

農耕牧畜という生き方では、例えば森林を伐採し、畑に変えるということを行ないます。森林を伐採し畑に変えた結果、地球システムに何が起こるか？太陽から入ってくるエネルギーの、どのぐらいが地表で吸収され反射されるか、この割合をアルベドと言いますが、このアルベドが変わります。森林と農地ではアルベドが違うのです。これはエネルギーの流れを変えることです。あるいは雨が降った時に大地を浸食する割合が違います。これは物質循環を変えているわけです。

地球システムという観点で見ると、農耕牧畜をすることは、地球の物質や、エネルギーの流れを変える生き方ということになります。それを箱モデル的に表すと、生物圏から飛び出して人間圏という新しい箱を作って生き始めたと分析できるのです。これが人間圏です。文明とは何か、自然科学者風の定義で言えば、人間圏を作る生き方だというのが答えです。現代という時代は我々が人間圏を作って生きている時代なのです。それは地球システムの構成要素を変えることですから、当然地球環境は変わるわけです。

これまでの地球の歴史を見ても、構成要素が変わった時、地球環境は大きく変わっています。例えば、大陸地殻が生まれた時、今風に言えば地球を汚染することが起こっています。大陸地殻が生まれた結果、海の中に大陸物質が流れ込むようになりました。それが海の中の塩分です。大陸地殻から流れ込んだ汚染物質を我々は塩分と呼んでいるのです。海は中和され、その時大気も現在のような大気になりました。あるいは生物圏が生まれた時には、酸素という分子が地表環境に溜まり始めました。酸素も汚染物質です。

ということで新しい構成要素が出現すると必ず地球の物質循環とか、エネルギーの流れが変わって、我々が今汚染と呼ぶような現象が見られるようになります。今我々が汚染を観測しているということは、逆に言うと、人間圏という新しい構成要素が出現したことを暗に意味しているわけです。地球環境問題を単なるロマンとか、感傷論とかで議論するのであれば別ですけども、きちんと科学的に議論をしようと思うと、我々はそういう存在ということを前提に議論をしなくてはならないということです。そのためには、我々は何者かを問わなくてはなりません。

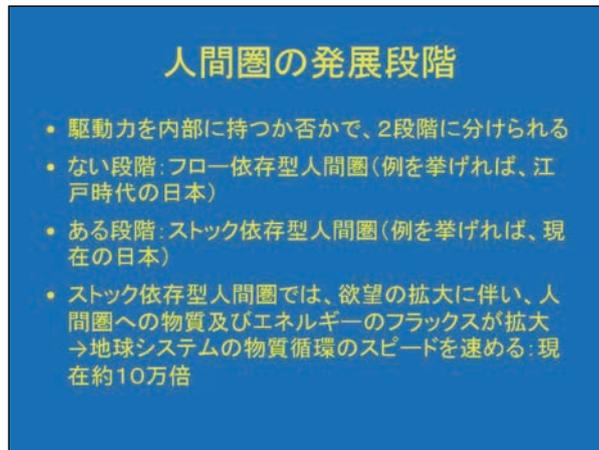


図-42

〈図-42〉 人間圏の発展段階を図に示します。大きく分けると、その内部に駆動力を持つか否かで2つに分けられます。現在は駆動力を持つ人間圏の段階であります。この未来は、我々が自らの存在をどのように考えるかによります。

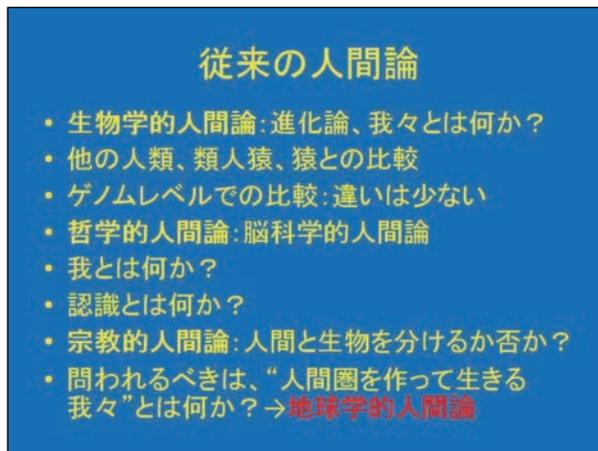


図-43

〈図-43〉 我々とは何か、これまでこれを考えるのに2つ立場があったと思います。1つは生物学的観点です。我々はホモ・サピエンスという人類であるとか、ネアンデルタール人がその前にいたとか、ホモ・エレクトスがいたとか、生物、あるいは人間と比較しながら我々とはなんぞやという議論があります。これは生物学的な人間論です。チンパンジーと我々との、遺伝子レベルでどのくらい違うのかという種類の議論も含まれます。

それ以外に、昔から人間についての議論として我とはなんぞやとか、認識とはなんぞやという議論があります。ギリシャ以来の哲学がそうです。これは哲学的人間論です。これまでの人間論は基本的にこの2つだったと思います。もちろん宗教も関係しています。宗教的人間論というものもあります。大きな違いは、人間を生物に含めるか、否かということで、キリスト教と仏教みたいな違いがあります。

新しい人間論を展開する

今、ここで私が新たに問題を提起したいのは、ホモ・サピエンスだけが人間圏を作って生き始めた、という事実を考えなくてはいけないということです。人類は1万年くらい前までは、生物圏の中の種の1つとして生きてきたわけです。人間圏を作ったという意味で、ホモ・サピエンスはほかの人類と違うのです。ホモ・サピエンスとは何者かという議論をしないとイケないということです。それは人間圏を作って生きる生き方を問わなくてはイケないわけですから、なぜホモ・サピエンスだけがそんな生き方を始めたのかという問題になるわけです。

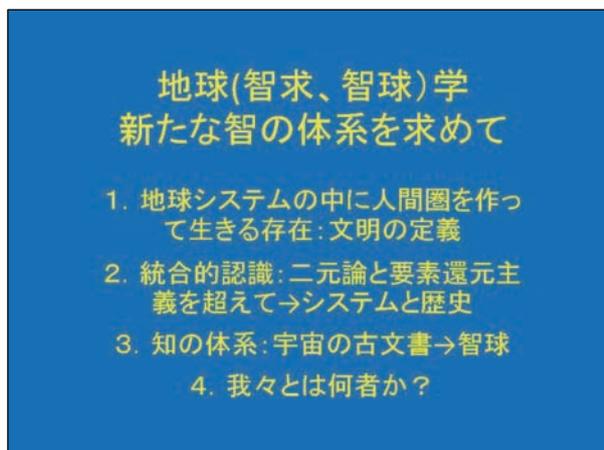


図-44

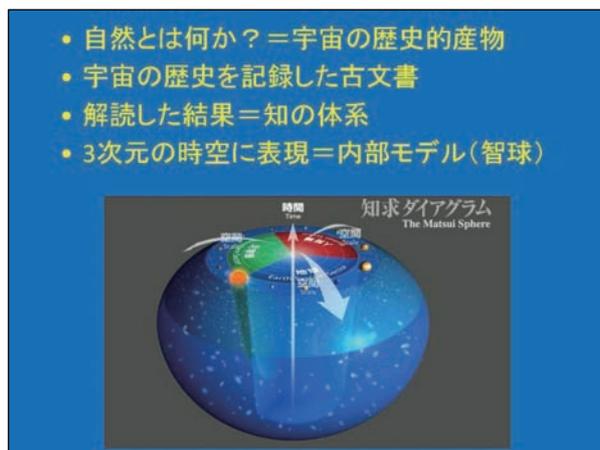


図-45

〈図-44〉〈図-45〉 その理由は2つ考えられると思います。1つはおばあさんの誕生です。生物学的な意味ですが、哺乳動物のメスは、子供を産める期間が限られています。その期間を過ぎて、10年、20年と生き続けるメスを「おばあさん」と呼ぶと、それはホモ・サピエンスにのみ存在します。他の人類にも存在しません。おばあさんの誕生により、人口増加という現象が起こったと考えられます。その結果、ホモ・サピエンスは人口問題に直面し、出アフリカをしたのです。そして食料問題を解決するために農耕牧畜を始めたと考えられます。もう1つは我々が言語を明瞭に話せるという事実です。その結果、我々は脳の中に外界を投影した内部モデルを作って、外界を認識するようになりました。その結果、人間圏を作って生きられるようになったわけで、そういう新しい型の人間論を展開しないと、文明とは何なのかということの本質的な議論はできないだろうと思います。新しい知の体系を求めようことを始めなくてはイケないということです。私はそれをチキュウ学と呼んでいます。新しい智の体系を求めると意味の「智求」と、脳の中に我々は投影してモデルを作っているわけですが、その内部モデルを智と球(スフィア)をかけて「智球」と呼び、ここで展開したような人間論のことを、地球学的人間論と呼んでいるのです。

地球の未来:均質化

- 人間圏の未来:我々の意思次第
- 太陽の一生:光度の上昇
- 地球システムの応答メカニズム
- 現在は歴史の折り返し点:分化から均質化へ
→現在の構成要素が次々に消滅する
- 生命の惑星であるのはあと5億年
- 海の蒸発はあと10億年
- 50億年後は地球の消失

図-46

137億年の時空スケールで文明を 考えることが必要

- 人間圏は安定な構成要素か？
- 新たな共同幻想を構築できるか？
- 地球の物質循環の速度に合わせられるか？
- 人間圏の構成要素をどうとるか？

図-47

〈図-46〉〈図-47〉 こういう新しい人間論を展開しないと文明の問題は議論できません。従来の生物学的人間論と哲学的人間論でいくら議論をしても、おそらく文明の問題は解決できないでしょう。地球システムと調和的な人間圏とは如何なるものか？そうした調和的な人間圏の内部構造とは？あるいはそのための内部システムをどう構築するのかという問題を、我々は新たに考えていかななくてはならないということです。人間圏を作る生き方という問題提起は、まさにそうした大きな問題につながっているということです。地球の歴史と文明という私の講演はこのへんで終わらせていただきたいと思います。ご静聴どうもありがとうございました。

〈MEMO〉

■ このレポートは本田財団のホームページに掲載されております。
講演録を私的以外に使用される場合は、事前に当財団の許可を得てください。

発行所 **財団法人本田財団**

104-0028 東京都中央区八重洲2-6-20ホンダ八重洲ビル

Tel.03-3274-5125 Fax.03-3274-5103

<http://www.hondafoundation.jp>

発行者 原 田 洋 一