

1

すべての始まり …銀河、太陽系の起源、地球の誕生 われわれはどこからきたのか (第1回)

放送大学・面接授業「地球史」 萩谷 宏

キーワード：ビッグバン、銀河、元素合成、原始惑星系円盤、微惑星、水

宇宙の大きさ

太陽系、銀河系、銀河団、宇宙の果て / 1光年という距離の単位

天体の観測：宇宙観の変遷

- ・星を見ること 光から得られる情報
- ・電磁波の性質 …ガンマ線、X線、紫外線、可視光線、赤外線、電波

宇宙の大構造

- ・恒星、恒星系、星団、銀河、銀河団、超銀河団 (泡状構造)

恒星の一生と元素合成

- ・宇宙の最初 (ビッグ・バン直後) に、水素とヘリウムの合成。
- ・恒星内部の核融合反応で、ヘリウムから鉄までの元素が合成される。
- ・超新星爆発の際に、鉄より重い原子核を持つ元素が合成される。

太陽系の起源

- ・太陽系内の情報 …惑星、衛星の表面の岩石、隕石 (小惑星の破片) から
- ・太陽系外の天体の観察 星間雲、原始星や原始惑星系円盤の観測

惑星の形成 (衝突の重要性)

微惑星の形成 微惑星の衝突・合体成長 クレーターからわかること

初期地球：地球が他の惑星と異なる歴史をたどった理由

水の存在 太陽からの距離 地球のサイズ

参考書：

- ・ビジュアル版 天文学への招待 村山定男・藤井 旭著 河出書房新社 ¥1600
- ・理科年表読本・太陽系ガイドブック 寺門和夫著、丸善 ¥2000
- ・地球化学 松尾禎士監修 講談社 ¥3900
- ・地球と生命の起源 酒井 均著 講談社ブルーバックス B1248 ¥1060

web：

- ・NHK ジュニアスペシャル <http://www.nhk.or.jp/sch/junior/> (解説と用語集)
- ・国立天文台 <http://www.nao.ac.jp/> ハッブル宇宙望遠鏡画像 <http://www.seds.org/hst/hst.html>

VTR：

- ・NHK ジュニアスペシャル#21 「はるかなる宇宙への夢」 VTR1
- ・NHK 映像科学館・宇宙のしくみ1 「太陽系の形成」
- ・NHK ジュニアスペシャル#1 「水の惑星・奇跡の旅立ち」 VTR1、2

2

酸素のない地球 …大気と海洋のおいたち われわれはどこからきたのか (第2回)

萩谷 宏

キーワード：初期大気、シアノバクテリア、ストロマトライト、縞状鉄鉱、酸素

酸素のない地球

22億年前より以前の時代、陸上で赤い酸化鉄ができない程度の酸素濃度。
誰が酸素の多い大気をつくったか？

初期地球の大気

原始惑星系円盤の段階 水素とヘリウムが大半 (太陽大気組成に近い)
衝突脱ガス+マグマ・オーシャン →水蒸気+二酸化炭素の初期大気
金星の大気、火星の大気

海洋の形成 …二酸化炭素の吸収・固定

液体の水…海洋の存在条件
海洋による二酸化炭素の固定 石灰岩の形成 …正のフィードバック

生命の起源

酸素のほとんどない環境で、化学進化の進行
おそらく海水中、高温環境 (熱水系?)
生命の条件：膜による外界との隔離、代謝、自己複製能力

初期地球の生態系

化学合成細菌 … 光合成+酸素放出するシアノバクテリアの出現
酸素を出す生物と、酸素を使わない生物の共存 …35億年前から?
ストロマトライトとは …シアノバクテリアがつくる層状に積み重なった生痕化石

地質の記録

オーストラリアで34.6億年前の生物化石? (最古)。南アフリカでもほぼ同じ年代。
生物起源と推定される炭素はグリーンランドの38-39億年前の地層から。
縞状鉄鉱の形成年代と酸素の放出との関係

標本：

縞状鉄鉱：38億年前・グリーンランド・イスア産
アエンデ(Allende)隕石：メキシコ・1969年2月に落下。炭素質コンドライト。初期太陽系の化石。

VTR：

- ・NHK ジュニアスペシャル#1「水の惑星・奇跡の旅立ち」
- ・NHK 映像科学館 地球の歴史1 VTR3「海の誕生」
- ・NHK 映像科学館 地球の歴史2 VTR1「生命の誕生」 VTR2「酸素と二酸化炭素」

参考書：

- ・生命と地球の共進化 川上紳一著 NHK ブックス
- ・大気のおいたち 秋山雅彦著 青木書店 1986 ¥1400

3

惑星科学 …月の地質が語る太陽系の初期史 われわれはどこからきたのか (第3回)

萩谷 宏

キーワード：アポロ計画、斜長岩、マグマ・オーシャン、ジャイアント・インパクト仮説

月面探査にいたる歴史

20世紀のロケットの発達、宇宙開発競争 月探査ミッション

月を調べることの意義：月は地球の過去の姿

初期のマグマオーシャンの存在 → 月には証拠が残存

月の化学組成の地球との類似点／相違点 → ジャイアント・インパクト説の根拠

野外調査の重要性

自然の中から事実や論理を読みとる能力 …高度に知的な作業で訓練が必要

見たものの価値を理解し判断し、それを正しく伝える訓練

VTR 視聴ポイント (月での野外地質学)「人類、月に立つ」(10)

石を調べて何がわかるか

…惑星科学における (野外) 地質学の意義 →アポロ計画後半の科学探査

「サンプルの存在する状況こそが重要」「石の語る言葉を学ぶ必要」

月の起源 (おいたち) を探る

マグマ・オーシャン中でつくられ、浮上した斜長石結晶の集合体=斜長岩

惑星形成期のマグマ・オーシャンの存在を証明する…44億年前の年代値 (最古 45.1 億)

月の「高地」の斜長岩には、月の創世時代の記録が残されていると期待されていた。

ドリル…地殻熱流量の測定 内部の温度分布 (地温勾配) を知るため。

地震波のデータと合わせて、月内部の構造が推定できる。→金属核がほとんどない

標本：

- ・玄武岩中のかんらん岩ノジュール (spinel lherzolite) (かんらん岩：地球の上部マントルを構成する岩石)

VTR：

- ・人類、月に立つ(10)「ガリレオは正しかった」

参考書：

- ・理科年表読本・太陽系ガイドブック 寺門和夫著、丸善 ¥2000
- ・隕石 宇宙からの贈りもの 島 正子著 東京化学同人 科学のとびら 29 ¥1600
- ・失われた原始惑星 武田 弘著 中公新書 1005 ¥580
- ・地球と生命の起源 酒井 均著 講談社ブルーバックス B1248 ¥1060
- ・月の科学 久城・武田・水谷編 岩波書店 1984 ¥3800 (絶版)
- ・人類、月に立つ (上・下) チェイキン著 亀井よし子訳 NHK出版 ¥2300
- ・「人類の月面着陸はあったんだ論」(山本 弘、植木不等式、志水一夫 他 楽工社)

4

多細胞生物の出現 …大気・海洋の酸素増加と進化

われわれはどこから来たのか (第4回)

萩谷 宏

キーワード：縞状鉄鉱層、真核生物、オゾン層、陸上植物、造礁生物

酸素のない地球から酸素の多い大気・海洋へ (補足)

縞状鉄鉱層(38～16億年前の海洋で形成)：酸素の少ない環境と酸素の多い環境の共存
…酸素の少ない環境で Fe^{2+} が水に溶解 → 酸素と出会って Fe^{3+} となり、沈殿。

酸素による他の影響：海水中の硫黄 S^{2-} から SO_4^{2-} へ (硫黄の酸化数-2 から+6 へ)

多細胞生物の出現

酸素濃度の上昇、真核細胞の形成 (細胞内共生説) …植物と動物の出現へ

細胞の機能分化…多細胞生物の出現 有性生殖の開始

エディアカラ動物群 …先カンブリア時代末 様々な殻を持たない多細胞生物

全球凍結事件 (雪玉地球) の意義

殻をもつ生物の出現

先カンブリア代末期の小殻生物 様々な外骨格の獲得 …化石の増加/地質時代区分

生物礁の形成 古杯類、サンゴ、ウミユリ

地球環境への影響 …氷床形成

脊椎動物の起源 魚類の出現

最古の魚類化石の発見 …5億3000万年前、中国で産出。(澄江動物群)

バージェス動物群 多様な形態の獲得、進化の加速?

脊索を持つ動物の化石の代表的なもの：ピカイア

オゾン層の形成と陸上への生物進出

酸素濃度が現在の 1/100～1/10 オゾン層の自動形成、紫外線の遮断…陸上進出可能

陸上植物の役割

森林の形成 土壌、昆虫、陸上生態系

大陸移動、山脈形成との関係 石炭と大気 …次回に

VTR :

- ・NHK ジュニアスペシャル#3 「残されていた原始の海」 VTR2
- ・地球大紀行 DVD 特典映像#3 「酸素が加速した生物進化」
- ・NHK ジュニアスペシャル#9 (生命) 「進化の不思議な大爆発」 VTR1, VTR2

参考書 :

- ・失われた化石記録 J・W・ショップ著 講談社現代新書
- ・カンブリア紀の怪物たち S・C・モリス 講談社現代新書

用語集 :

- ・<http://www.nhk.or.jp/school/junior/yougo03.html> ジュニアスペシャル#3 の用語解説。萩谷作成。

5

石炭と石油のできかた …森林形成とプランクトンの役割

われわれはどこから来たのか (第5回)

萩谷 宏

キーワード：化石燃料、陸上植物、オゾン層、植物プランクトン、大陸移動

脊椎動物の進化

最古の魚類、両生類の出現、爬虫類、哺乳類、鳥類…

化石燃料の意味するもの

炭素の貯蔵…地表での物質循環から除外したもの …生物の光合成活動の産物
化石燃料の消費…地表での炭素の流量の増大 二酸化炭素濃度増加 →地球温暖化

植物の上陸の条件

オゾン層の形成 紫外線のカット
地衣類…菌類とシアノバクテリアなどの共生
表皮、孢子、維管束 さらなる乾燥条件への適応…種子

森林の形成

森林システム 土壌形成、物質循環、生態系、水循環 …全く新しい世界を生む
何がどう違うのか？

石炭のできるまで

古生代石炭紀 (約3億年前) のシダ植物の大森林
陸上植物の出現、大陸衝突による大山脈の形成、巨大な湿地の形成、埋没と続成
地球環境への影響
大気組成の変化 二酸化炭素消費、炭素の埋没…酸素分圧増大 一方で寒冷化？

*化石燃料の消費→石炭形成の逆プロセス

二酸化炭素の放出 …地球温暖化問題
硫酸化物による大気汚染 脱硫装置の必要性

石油はどこでとれる

主要な油田の分布、地質構造の特徴、時代分布
白亜紀の海 …プランクトンの繁栄
大陸分裂と石油形成 …巨大な堆積盆地の形成

VTR：

- ・NHK「地球大紀行」特典映像#10「地球の資源」
- ・NHK ジュニアスペシャル#31「森林」

参考書：

- ・植物のたどってきた道 西田治文著 NHK ブックス 98
- ・石油はどうしてできたか 田口一雄著 青木書店 ¥2200-

6

恐竜の世界 …もうひとつの地球生態系

われわれはどこから来たのか (第6回)

萩谷 宏

キーワード：二足歩行、適応放散、大量絶滅、天体衝突

脊椎 (せきつい) 動物の出現と進化

古生代カンブリア紀に最古の魚類の祖先 (ミロクンミンギア)

両生類の出現、ひれから足へ。乾燥への適応、歩行能力、うろこから羽毛へ。

有羊膜卵、恒温性の獲得、卵生から胎生へ、乳腺の発達。

古生代の両生類、爬虫類

哺乳類型爬虫類とは?

脊椎動物の分類 頭骨が重要

恐竜の出現

三畳紀の生存競争を生き抜いたもの …三畳紀末の小惑星衝突

歩行様式の変化 水平型直立二足歩行

恐竜の時代の生物たち …爬虫類の適応放散

海の生物：アンモナイト、ベレムナイト、厚歯二枚貝、カキ、珪藻、…

白亜紀の海と陸 温暖環境の継続の理由

大気組成と気候変動 海陸分布 …海流系

石油形成、海洋無酸素事変 (OAE)

恐竜絶滅と天体衝突

衝突クレーター形成の影響 大津波、山火事、寒冷化

滅びたもの、生き延びたもの …絶滅は特別ではない

何度もあった天体衝突と大量絶滅

VTR：

- ・ディスカバリーチャンネル「恐竜再生」
- ・地球大紀行 DVD 特典映像#8「巨大クレーターの発見」

参考書：

- ・魚、陸に上る 魚から人間までの歴史 奥野良之助著 1989 創元社 ¥2800
- ・脊椎動物の進化 改訂第4版 コルバート・モラレス共著 築地書館 ¥12000

博物館

- ・国立科学博物館 (上野駅・公園口徒歩5分)
- ・神奈川県立生命の星・地球博物館 (小田原市・箱根登山鉄道入生田駅徒歩3分)

7

氷期の気候変動 …文明の成立と未来への警告

われわれはどこから来たのか (第7回)

萩谷 宏

キーワード：氷床形成、海面変動、気候変動、農耕と文明

(前回の補足)

何度もあった天体衝突と大量絶滅：滅びたもの、生き延びたもの …絶滅は特別ではない
地質時代とは？ 代・紀・世 と 界・系・統 命名の由来 生層序区分

氷で覆われた大地…現在の地球は寒冷 第三紀前半までは温暖だった

氷床 (大陸氷河) 南極、グリーンランドなど、淡水の3%：氷床の拡大縮小が重要。

山岳氷河 …氷床発達の種ともなる 氷期の認識…アルプスのモレーンで区分

第四紀の氷期 …氷床の成立 注：氷期 ice age ~~氷河期~~…学術用語ではない

氷期の記録 擦痕、モレーン、氷河地形などで目に見える

氷床コア、海底堆積物の記録 …気温や大気中の成分変動 (二酸化炭素濃度、酸素同位体)

ラブラドル氷床 少なくとも3回の拡大の痕跡：拡大と縮小 (消失) を繰り返す

ミランコビッチサイクル…地球の自転軸の傾き、公転軌道の離心率などの変化

太陽放射受光量の数万年単位の変動

古い地質時代の氷期…大陸配置と、大気組成の影響が重要。生物の関与。

古生代の氷期：造礁生物の発展 (シルル紀) と大森林の形成 (石炭紀) に対応

全球凍結イベント…先カンブリア時代末期 (約7.5-6億年前) …急速な生物進化へ

氷河性海面変動

氷床形成…陸上に大量の氷…海水が減少、最終氷期で130mの海面低下。

地形に影響 東京湾に古東京川の痕跡、東京の台地と低地のなりたち

気候変動が人類へ与えた影響

この6000年で文明が発達した理由／それ以前に文明が発達しなかったのはなぜか？

いま問題なのは、温暖化か、寒冷化か

北大西洋・グリーンランド沖での表層水の沈み込み…深層流の起点

深層流：気候の安定化に果たす役割が大きい。2000年で地球を一周

問題：温暖化により、北大西洋での氷山の融解増加…沈み込み量の減少…氷期へ？

VTR：

- ・NHK ジュニアスペシャル #6「氷河期襲来」
- ・地球大紀行 DVD 特典映像#8「気候安定装置の危機」

参考書：

- ・先史時代の自然環境 松島義章・前田保夫著 東京美術 ¥979
- ・モンゴロイドの地球5 最初のアメリカ人 大貫良夫著 ¥2600

キーワード：氷期、気候の安定化、海面変動、モンゴロイド、縄文文化

深層水循環の発見

北大西洋と南極海での沈み込み、北太平洋での混合・上昇
深層の栄養塩の輸送 湧昇流の漁場との関係

氷期-間氷期サイクル（前期の復習）

海流の熱輸送の重要性 深層水循環の停止と寒冷化

氷期の終了と人類の拡散

海面低下 →ベーリング海峡の陸化、氷床縮小とともにモンゴロイドの移動、拡散
わずか 2000 年ほどで、南米南端パタゴニア地域に到達

南北アメリカ大陸の大量絶滅

大型哺乳類の絶滅 …後氷期の環境変動の他、人類による狩猟の影響？
ユーラシアでのマンモスの絶滅と人類の捕食圧
生態系の保全の意味

縄文文化の特異性

森林との共存 狩猟、採集の他、栽培の可能性
日本の場合 何が砂漠化を防いだのか

後氷期の安定した気候と文明の開始

森林の伐採、土壌流出…砂漠化の進行
文明の継続期間の限界、中心地の移動

現代文明の課題

ヒトは罪深き生き物か？ …解決への遠い道のり
歴史（文明史、自然史）の理解の必要性

何から始めればいいのか 「知ることのあり方を問い直そう」

VTR：

- ・NHK ジュニアスペシャル#37 「深層海流二千年の大航海」
- ・NHK ジュニアスペシャル#38 「縄文 ～文明を守る穏やかな気候」

参考書：

- ・NHK スペシャル「海」 NHK 出版
- ・先史時代の自然環境 松島義章・前田保夫著 東京美術 ¥979
- ・

9

都市化のもたらすもの …第四紀の地質と地盤災害

放送大学・面接授業「地球史」 萩谷 宏

キーワード：間隙水、液状化、地盤沈下、土壌流出、文明による砂漠化

* 第四紀の地形形成

都市の発達 河口や海岸の平坦な地形 水運、陸上交通、航空路
日本の都市：特に第四紀完新世の、氷期後の海面上昇後に発達した低地の割合が大。
軟弱地盤の問題を抱える。

* 堆積岩の固結プロセス …続成作用

堆積 多くは水中で進行 → 碎屑粒子（レキ・砂・泥）のすき間は水が埋める
固結：圧密とセメント化
水抜けのプロセス…人為的な地下水面低下による急速な進行が地盤沈下
地震時の地盤の液状化や噴砂現象も同じこと

* 都市の抱える問題

都市の歴史 森林伐採→土壌流出、砂漠化・荒廃をもたらしてきた
現代の都市：大量の資源の消費、食料、燃料、廃棄物処理問題
被覆率の増加 地下水の供給低下／地下水の過度の利用…地下水位の低下、地盤沈下
気候への影響 ヒートアイランド現象、局地気象の変化、都市型洪水
建造物の影響 ビル風、日照問題、過密…火災に対する脆弱性

宿題：汚染とは何か？

大気、河川、海洋、土壌、地下水、農作物… それぞれの問題
水環境汚染：有機物の増加、化学物質の混入、病原性生物の存在
汚いこと、きれいなこと …土は汚いか？ 土壌の役割
江戸時代の都市のエコシステム 徹底したリサイクル
水洗便所の普及が河川を汚す？

「局所最適化の愚を犯さないために」

…システム全体を見わたすこと。時空間スケールを変えて現象を見る

VTR：

- ・地球大紀行#12 「太陽系第三惑星・46億年目の危機」
- ・素敵な宇宙船地球号#2007.1.14 「東京ふしぎ水探検」

参考書：

- ・東京の自然史 貝塚爽平 紀伊國屋書店 ¥1600
- ・地球 —この限界 綿抜邦彦 オーム社 ¥1400
- ・ワールドウォッチ研究所 地球白書 レスター・ブラウン編著 家の光協会
- ・環境白書 環境省