

第2回 (Y)

2. 地球を造る物質

2. 1. 太陽系の元素構成

テーマ1：地球はどのような元素でできているか？

太陽大気と始源的隕石である炭素質コンドライト (CI コンドライト) の元素存在比は一部を除いて良く一致 (図 27) (ニューステージ 29)

太陽系の元素存在度 (表 3 & 図 28)

→ 原子番号とともに低下, 偶数番 > 奇数番, Fe が多い

太陽系の元素存在度を高い順に 12 位まで並べると

H	2.79×10^{10}
He	2.72×10^9
O	2.38×10^7
C	1.01×10^7
Ne	3.44×10^6
N	3.13×10^6
Mg	1.07×10^6
Si	1.00×10^6
Fe	9.00×10^5
S	5.15×10^5
Ar	1.01×10^5
Al	8.94×10^4

<その原因を宇宙創成から読み解く>

2.2 宇宙の歴史

○ビッグバンによって宇宙が始まった 137 億年前

○宇宙 universe の誕生

big bang → proton + neutron から原子核の形成 → 温度低下 → 電子の捕獲 → 宇宙の晴れ上がり = この時の光が最も過去の光

○宇宙創生時の元素合成（宇宙創成から数分）：
主に H, He のみ. (Li, Be, B が不安定なため)

○その後の元素合成は星が担う（核融合反応）.

主系列星： $H \rightarrow He$, 赤色巨星： $He \rightarrow C, O$

太陽質量の3倍以上の星： $O \rightarrow Ne$

太陽質量の8倍以上の星： $Ne \rightarrow Mg \rightarrow Si \rightarrow S \rightarrow \dots \rightarrow Fe$

質量の大きい星の高圧の内部で核融合反応が進む。

○Fe より重い元素は超新星爆発により合成. これらが太陽系へ！

2.3 太陽系の形成と惑星間の元素分配

太陽系の形成 46 億年前 1 億年で完成

太陽系惑星の基本的特徴 → 現代的な太陽系形成論のシナリオ（図 11）

1. 太陽と惑星は 1 つの分子雲コアの重力収縮により 46 億年前に形成された.
2. 原始太陽を原始惑星系円盤と呼ばれる公転するガス円盤が取り巻いた.

Q なぜ円盤になるのか？

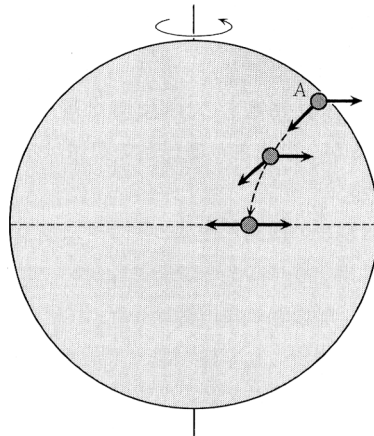


図 5.9 分子雲コアの収縮と原始惑星系円盤の形成. 図の A 点にあった気体塊が原始星に落下する様子. 回転している分子雲コアが角運動量を保存しながら収縮すると円盤ができる.

3. 円盤中で合体成長した塵が沈殿した薄い層が重力分裂し, 微惑星となった.
4. 微惑星は重力による衝突合体により, 次第に少数の原始惑星へと集積した.
(重力による衝突断面積増加: 図 12 → 惑星成長過程は暴走成長: 図 13)
衝突断面積の計算 (後述)

5. 巨大化した原始固体惑星に円盤ガスが落ち込んで木星型惑星を生成した.
(地球型惑星は, 内部からの脱ガスによって大気が形成されたが, 木星は原始太

陽系のガスが集まったもの)

暴走成長

重力の効果により、大きな微惑星がたくさんのチリを集めて成長した。

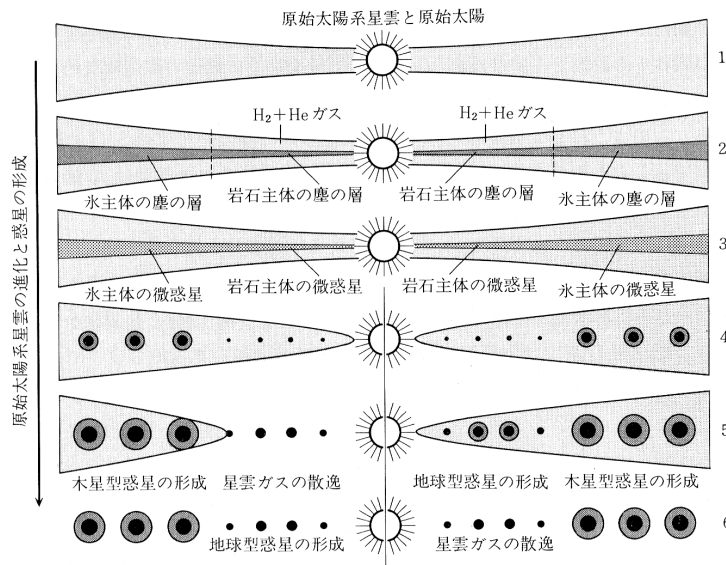


図 5.10 原始太陽系星雲の進化の概念図。上から順に、(1)受動的円盤になった直後の太陽系星雲、(2)塵の沈殿、(3)塵層の分裂による微惑星の形成、(4)~(6)惑星集積。下の2段は地球型惑星が星雲ガス散逸後に形成されるモデル(左)と、地球型惑星が星雲ガス中で形成されるモデル(右)に分けて示してある。

太陽系の惑星系 (表 1, 2)

- ・地球型惑星 (図 8) : 岩石／岩石と金属で構成。
太陽光によって星雲ガスの散逸が起きた
水星・金星・地球・火星・小惑星・月 (衛星)
- ・木星型惑星 (図 9) : 巨大ガス惑星。H, He 主成分, 中心に小コア。
太陽から遠いため H, He を失わなかった
木星と土星
- ・天王星型惑星 : 巨大氷惑星。主成分氷, H, He 大気は 10%程,
公転速度が遅いため十分に H, He を集められなかった。
天王星, 海王星

2.4 地球の歴史の中での元素の分配

◎地球の歴史 (図 14)

マグマオーシャン → 密度成層 (鉄は下へ、岩は上へ) → 表面温度の低下

→ 水蒸気が雨となって海洋が形成される

マントル対流 → マグマの形成 → 地殻構造の進化 → 陸地の形成

コア

Fe, Ni の金属で形成

固体の内核 液体の外核 境界は半径 1220km

外核内の対流によって地球磁場が出来ている

ダイナモ機構 ← 電磁流体力学

(ダイナモ=発電機)

- ・ 外核内部の液体金属の流動
- ・ 磁場中の金属の運動による起電力
- ・ 電流が流れによる磁場

マントル

マントルは固体の岩石から出来ている

下部マントルと上部マントル

マントル最下部の 200km は D'' 層と呼ばれている

マントル対流 (固体の流動) をしている (年間せいぜい 10 cm の速度)

マントル対流は地球内部の熱を地表に運ぶ働きをしている。

地殻

海洋地殻と大陸地殻

海洋地殻の厚さは 6 km 程度

大陸地殻は 30-60 km と場所によって違いが大きい

大陸地殻は上部地殻と下部地殻に分ける

最古の岩石 カナダ北西部の 40 億年前の片麻岩 (Gneiss)

2.5 生物進化

最古の生物化石 西オーストラリアの約 35 億年前のバクテリア様微化石

最古の真核生物 21 億年前のグリパニア (Grypania) アメリカ

Great Oxidation Event (大酸化事件) (ニューステージ 29)

24.5-20 億年前に大気中の酸素濃度が急上昇 (現在の 1%程度まで)

7-6 億年前にも大気中の酸素濃度が急上昇 (現在のレベル)

生物の進化: 原核生物 (バクテリア、古細菌) → 真核生物 (細胞核をもつ生物)
→ 生物の大型化 → カンブリア紀の生物爆発 5.4 億年前

地質年代区分 (主に生物の化石から区分) (NS 146-149)

太古代 Archean 40 億-25 億

原生代 Proterozoic 25 億-5.4 億

(ここまでを先カンブリア代 Precambrian と呼ぶ)

顕生代 Phanerozoic 5.4 億-

(古生代 5.4-2.5 億) 門 (phyla が全部でそろそろ)

(中生代 2.5 億-6500 万年)

(新生代 6500 万年-)

PT 境界、KT 境界で生物の大絶滅

ヒト

500~600 万年前: ヒトとチンパンジーが共通祖先から分化

250 万年前: *Homo* 属がアフリカに出現 (石器製作)

15~20 万年前: ヒト (*Homo sapiens*) が東アフリカに出現. 世界へ拡散.

Anthropocene 人類が地球に影響を与えている時代

APPENDIXS

衝突断面積と微惑星の成長

1) 準備

無限遠の場所にあった質量 m の物体が、半径 R 質量 M の惑星に落下するまでに失われる位置エネルギーは

$$\Delta I = - \int_R^{\infty} mg(r) dr = - \int_R^{\infty} m \frac{GM}{r^2} dr = \left[G \frac{mM}{r} \right]_R^{\infty} = - \frac{GmM}{R}$$

2) 衝突断面積

無限遠のちりが半径 R の微惑星に速度 v_0 、軸距離 r_0 で近づいてくるとする。

無限遠でのちりの角運動量は mr_0v_0 となる。微惑星の半径 R の位置での速度の方向が微惑星の半径方向と直角となれば衝突しないので、その時の角運動量は mRv_R となり、角運動量保存則により

$$mr_0v_0 = mRv_R$$

また無限遠の速度と半径 R の位置におけるエネルギー保存則により

$$\frac{1}{2}mv_R^2 - \frac{GmM}{R} = \frac{1}{2}mv_0^2$$

であるから

$$r_0^2 = R^2 \left(1 + \frac{2GM}{Rv_0^2} \right)$$

となる。衝突断面積は

$$S = \pi r_0^2 = \pi R^2 \left(1 + \frac{2GM}{Rv_0^2} \right)$$

となる、() の中の第2項が重力の効果である。