

第3回 (Y)

3. 地球内部を造る物質についてもう少し定量的に考える

3.1 地球の内部を知る手段

物理量を計測して調べる

- ・地震波
- ・電磁波
- ・重力

物質を合成

- ・地球内部の温度・圧力条件で物質を合成

地球や地球を回る天体の動きを観察して調べる

- ・慣性モーメント
- ・ジオイド (重力の等ポテンシャル面)

3.2 地震波による地球内部構造の推定

地震波 seismic wave

地震学 seismology

地球の内部を伝わる弾性波 (elastic wave) を用いて研究する学問領域

弾性体力学の応用分野

縦波 (P 波) と横波 (S 波)

縦波 (P 波), 横波 (S 波, 固体中のみ伝播) : 図 15, 16, NS68 ページ.

気体・液体中では, 横波は伝播しない. 波の速度: $V_p > V_s$

縦波と横波の伝播速度は、密度と媒質の固さに以下の関係がある

$$V_p = \sqrt{\frac{K + 4\mu/3}{\rho}}, \quad V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

いずれも「固さ」を現すパラメタ (弾性定数) で表現できる。

K は非圧縮率 (incompressibility)、 μ は剛性率 (rigidity)

固いものほど地震波の伝わる速度は速い

参考

K の定義 (incompressibility)

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dP} = \frac{1}{K}$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dP} = \frac{V}{m} \frac{d}{dP} \left(\frac{m}{V} \right) = -V \frac{1}{V^2} \frac{dV}{dP} = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dP}$$

つまり

$$K^{-1} = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dP}$$

K は圧縮しにくさを表す量であることがわかる。

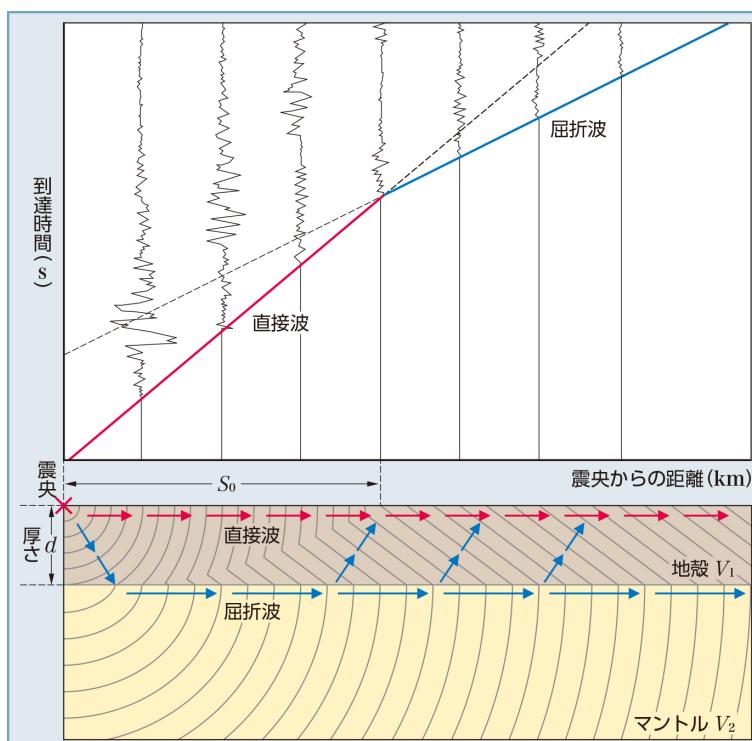
走時曲線（図 17, 18）

走時曲線から地球の内部構造を推定した。

走時曲線の描き方 (NL66)

平面の場合で考える

2層構造の場合、直達波と屈折波を考えるのが基本
下層を通ってきた屈折波が途中で直達波を追い越す



走時曲線から地下構造を知る

走時の傾きから速度を推定する。

地球内部を通る波の特徴 (NL68)

地震波の波線が下に凸となるのは、地球内部ほど地震波速度が速いから

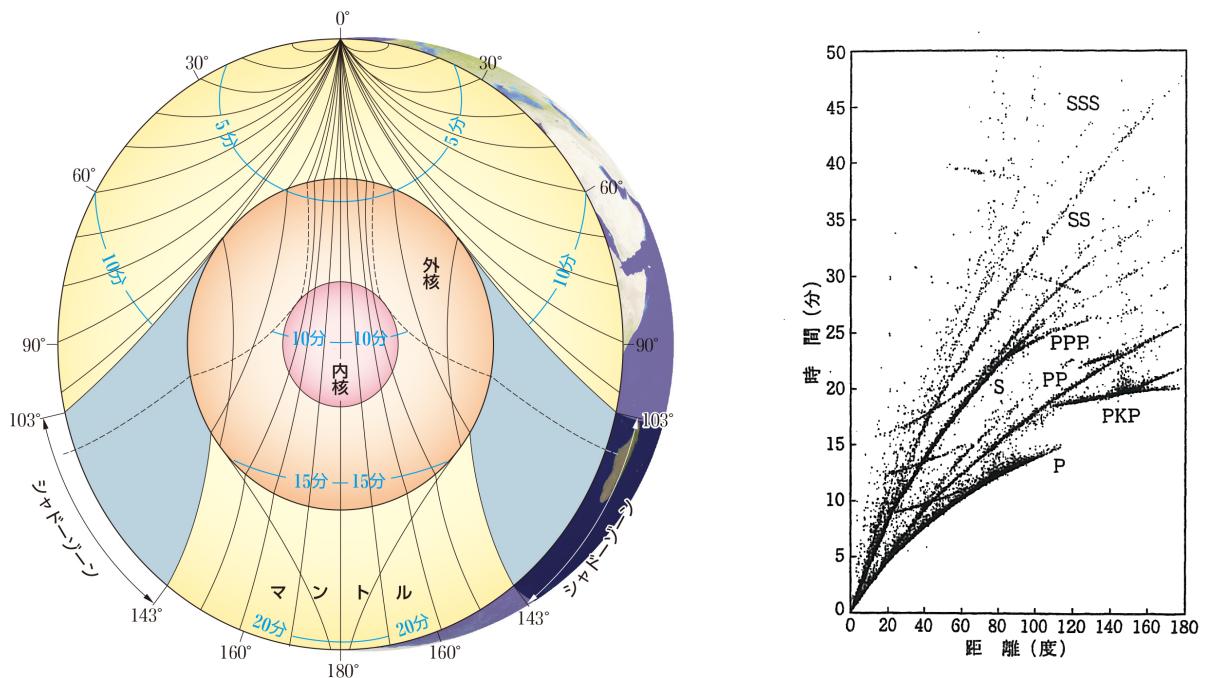


図 17 は地震波のうち、特徴的な波の到達時刻をプロットしたもの。

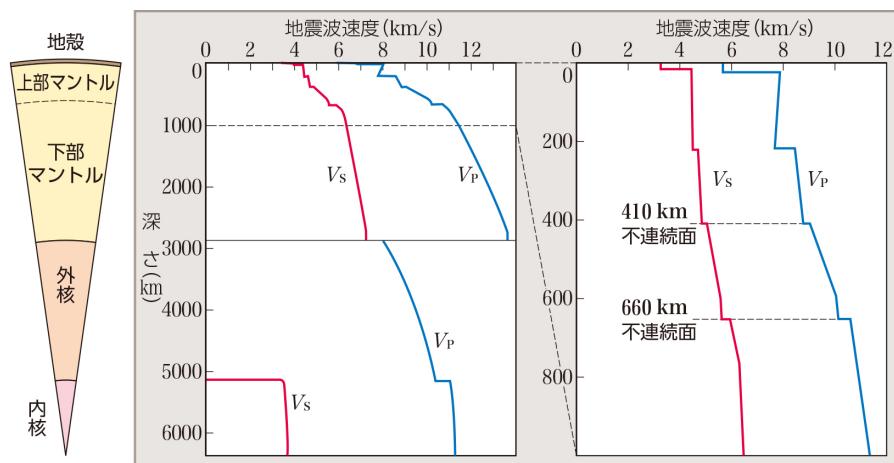
- P K P とは、どのような経路を通った波だと思うか?
コアの内部を通過してきた波

走時の解析で得られた地球の内部構造 (図 20、NS69 ページ)

外核は S 波は通らない。

Q. なぜ内核の S 波の速度がわかったのか?

A. 外核と内核の境界で P 波から S 波に変換されるから



3.3 地球内部を構成する物質からの考察

地球内部を造る主要な元素は

太陽系の元素存在度のうち固体となるものを多い順に

Mg, Si, Fe とその酸化物

Mg, Si は O と結びつきやすい,

Fe は (特に高温では) 酸化物よりは金属となる

地球全体の構成が宇宙の元素存在と同じと仮定

$Mg : Si : Fe : O = 1.1 : 1.0 : 0.9 : 23.8$

MgO の原子量は 40 (Mg は 24)

SiO₂ の原子量は 60 (Si は 28)

Fe の原子量は 56

→質量比を計算する (質量数×量比で計算する) と

$MgO : SiO_2 : Fe = 1.1 \times 40 : 1.0 \times 60 : 0.9 \times 56 = 44 : 60 : 50$

Fe の質量比は $50/(44+60+50) = 0.32$

これはコアの質量比と一致する

鉄のほとんどは金属としてコアへ. 残りはマントル (+地殻) へ

宿題： 地球とコアの質量は？

まず地球の質量は、万有引力の法則から

$$F = G \frac{mM}{R^2}$$

地表 $R = 6.4 \times 10^6$ [m] の場所における重力加速度 $g = 9.8$ [m/s/s] を使う。

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

なので、 $G = 6.67 \times 10^{-11}$ [m³kg⁻¹s⁻²] を利用して

$$M = \frac{gR^2}{G} = \frac{9.8 \times (6.4 \times 10^6)^2}{6.7 \times 10^{-11}} = \frac{9.8 \times 41 \times 10^{12}}{6.7 \times 10^{-11}} = \frac{4 \times 10^{14}}{7 \times 10^{-11}} = 6.0 \times 10^{24} \text{ [kg]}$$

コアの質量は図 20 を利用する。

(密度は、地震波速度と圧力から推定する。圧力について後述)

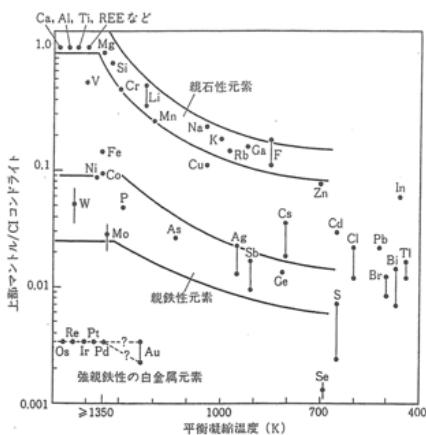
平均密度 ρ_c を 12000 [kg/m³] とすると

$$M_c = \frac{4}{3} \pi R_c^3 \rho_c = 4 \times (3.5 \times 10^6)^3 \times 1.2 \times 10^4 = 4 \times 43 \times 10^{18} \times 1.2 \times 10^4 \\ = 2.0 \times 10^{24}$$

となる。コアの質量は地球全体の質量のおおむね 1/3 となることがわかる。

その他の元素の振る舞い

親鉄性元素と親石性元素



○コアの組成: Fe-Ni 合金に軽元素 (H, C, O, S, Si) : 親鉄元素持ち去り (図 30)

○マントルの組成: 岩石 (主にケイ酸塩鉱物から成る)