

IV 地球物理学

以下の4問(IV-1, IV-2, IV-3, IV-4)のうちから2問を選択し, 解答せよ.

IV-1 (選択)

問題1 水平方向の幅に比べて厚さが薄い流体を考え, この流体は上下一様に動くこと仮定する. さらに, 線形化された運動方程式と連続の式は,

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} &= -g \frac{\partial \eta}{\partial x}, \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= -g \frac{\partial \eta}{\partial y}, \\ \frac{\partial \eta}{\partial t} + H \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) &= 0,\end{aligned}$$

である. ここで, t は時間, (x, y) は東・北方向の水平座標, (u, v) は東向き・北向き流速, H は静止状態の流体の厚さ, η は静止状態に相対的な水面の高さ, g は重力加速度である. この方程式系が波動解を持つことを示し, その波の伝播速度を答えよ. この波は重力波と呼ばれる波である.

問題2 津波は海洋を伝播する重力波である. チリ地震の際には, 日本から 17,000 km 離れた太平洋の反対側からの津波が, 日本に大きな被害を与えた. 簡単のために太平洋の水深を 4000 m, 重力加速度を 10 m s^{-2} とし, 重力波の伝播速度と, 距離 17,000 km を横断するのに要する時間 (単位は時間, hour) とを答えよ. 地球の回転の効果は無視できるものとする.

問題3 津波の被害は, 岬と入り江とで大きくなることが知られている. 入り江では, 津波による水流が集中するために被害が大きくなるが, 岬では異なる理由による. 岬で津波の被害が大きくなる理由を, 重力波の性質と関係付けて, 図を描くなどして分かりやすく説明せよ.

IV-2 (選択)

問題1 大気や海洋という地球流体の線形化された運動方程式は次のように書ける.

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} - fv &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x}, \\ \frac{\partial v}{\partial t} + fu &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y}. \end{aligned} \quad (1)$$

ここで, t は時間, (x, y) は東・北方向の水平座標, (u, v) は東向き・北向き流速, p は圧力, ρ は密度, f はコリオリパラメーターである. ただし上の運動方程式では, 密度の変化は小さいとして, 一定密度 ρ_0 を仮定している. 地球の角速度を Ω とすると, 緯度 θ でのコリオリパラメーターは $f = 2\Omega \sin \theta$ で与えられる.

(1)式において, 左辺第一項を無視する地衡流近似が成り立つための条件をスケール解析によって示し, 緯度 45° での条件を具体的な数値を用いて述べよ. この際, 東西・南北流速は同じ大きさを持つと仮定する.

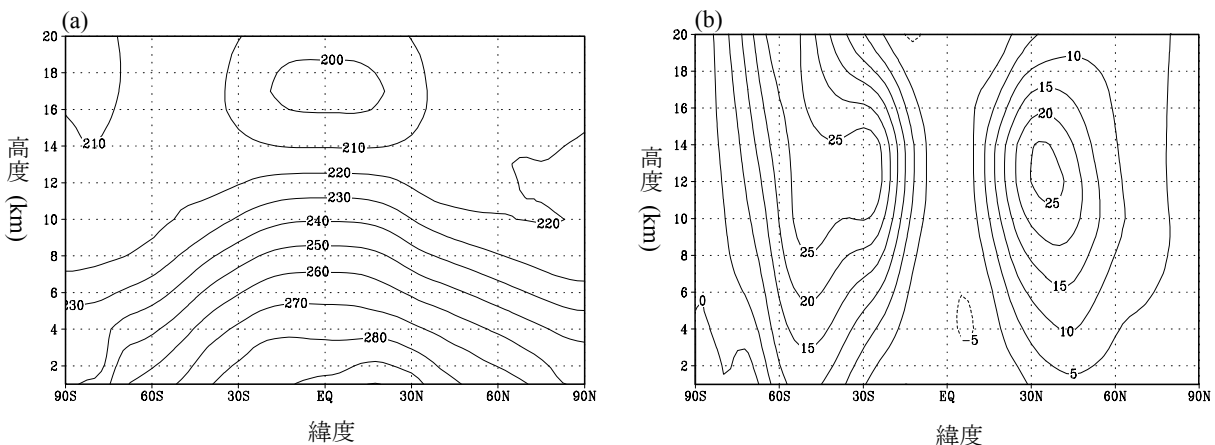
問題2 地衡流近似を行った(1)式と, 次の静水圧方程式

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g, \quad (2)$$

から, 地衡流速の鉛直方向の傾きを, 密度の水平方向の勾配から求める式を示せ. またこの関係をなんと呼ぶかを答えよ. ここで z は鉛直上向きの座標, g は重力加速度である.

問題3 地球大気の平均的な気温が下図(a)に示される南北の分布をとる理由と, その温度分布が下図(b)の東西風速分布とどう関係しているのかを, 次の用語を全て用いて, 250字以内で説明せよ.

太陽放射, ジェット気流, コリオリパラメーターの符号, 中緯度, 密度



(a) 平均的な気温(K)と, (b) 平均的な東向き風速(m s^{-1})の南北鉛直断面図.

IV-3 (選択)

地球内部の密度変化について考察しよう．密度を ρ ，断熱圧縮に対応する体積弾性率を K ($K \equiv \rho dP/d\rho$ ， P は圧力である) とする．地球の内部構造を調べる上で重要な量である両者の比は，地震学的に得られる量である P 波速度 V_p ，S 波速度 V_s から次のように求めることができる．

$$\frac{K}{\rho} = V_p^2 - \frac{4}{3}V_s^2 \quad (1)$$

また地球内部における圧力は，静水圧平衡の条件下では，

$$\frac{dP}{dr} = -\rho g \quad (2)$$

から決められる．ここで， r は地球中心からの距離である．これに関連して，以下の問題に答えよ．

問題 1 (1)，(2)を用いて，断熱条件下での密度変化 $(d\rho/dr)_{ad}$ を，地震学的に得られる量で示せ．ここで，添え字 ad は断熱的 (*adiabatic*) を意味する．

問題 2 下の文章は， $(d\rho/dr)_{ad}$ と実際の密度変化 $(d\rho/dr)$ との比

$$\eta = \frac{(d\rho/dr)}{(d\rho/dr)_{ad}} \quad (3)$$

について説明している．下記の文中の () に適切な語句を { } から選び，解答せよ．

$\eta=1$ のときは，(a) によって同一物質の (b) が変化している． $\eta<1$ の場合は，物質の密度は深さとともにそれ程 (c) ならない．その原因として (d) が考えられる．逆に $\eta>1$ の場合は，物質の密度は $\eta=1$ の場合に比べて，深さとともにより早く (e) なる．その原因として (f) が考えられる．

{密度，磁性，大きく，小さく，断熱圧縮 (膨張)，急な温度勾配，磁気の逆転，重力不安定，物質の相転移}

問題 3 地球内部の最上部マントル，マントル遷移層，下部マントル，外核，および内核のうち， η が大きく 1 からずれるところが 2 つある．その名前を示し，大きくずれる理由を 100 字以内で説明せよ．

IV-4 (選択)

地殻熱流量は地球の熱的構造を考えるときに重要な意味を持つ。その熱源に放射性物質の自然壊変が寄与している。大陸地殻においては上部ほどその発熱量が大きい。以下の問題に答えよ。

問題1 地殻内の深さ z での放射性物質の発熱量を、 $H(z) = H_0 e^{-z/D}$ と仮定する。定常で物質移動がないとすると、1次元熱伝導微分方程式

$$K \frac{d^2 T}{dz^2} = H(z) \quad (1)$$

を用いて、深さ z での温度 T を推定することができる。ここに、 D, H_0 は既知の定数とする。次の問1と問2に答えよ。

問1 地表($z=0$)での地温を T_0 とし、熱流量を Q_0 として、深さ z での温度勾配 (dT/dz) と温度を求めよ。

問2 地下深部からの熱輸送量がない場合に、 Q_0, D, H_0 の関係を示せ。

問題2 大陸地殻にくらべて海洋地殻の厚さは薄く、さらに海洋地殻を構成する岩石には放射性物質の含有量がきわめて少ない。それにもかかわらず、それぞれの表面での熱流量は、下図に示すようにほぼ等しい。その理由を100文字程度で説明せよ。

