

一、使用無人飛機由西向東飛行去量度東西方向的溫度變化；

(1) 若無人飛機速率為 200km/hr，量到的溫度變化變化為 4K/hr，溫度由西向東的變化(單位 K/100km) 可能為何? 同情形下若飛機速率為 100km/hr，則此無人機量到的溫度變化為何? 有何假設用於此計算? (5%)

(2) 若有兩架無人機分別以 100km/hr(甲機) 與 200km/hr(乙機) 速度向東飛行進行溫度量測，若甲機量到溫度變化為 4 K/hr，而乙機量到溫度變化為 6K/hr，假設所量度的大氣有空間變化(單位 K/100km)，也有空間均勻的溫度變化(單位 k/hr)。試問溫度由西向東的變化(K/100km) 可能為何? 空間定點時間變化(local change; 單位 K/hr) 為多少? (5%)

二、地球旋轉向量可以分解為和地表平行與垂直的兩個分量， $\vec{\Omega} = \Omega \cos \phi \vec{j} + \Omega \sin \phi \vec{k}$ ， ϕ 為緯度。

(1) 為何在氣象科學認為赤道上無科氏力? 為何大氣或海洋會有 β 效應? 為何只有和地表垂直的 $\Omega \sin \phi$ 重要? (5%)

(2) 以中緯度綜觀天氣系統對動量方程式進行尺度分析，討論羅士比數(Rossby number) 的意義。(5%)

三、考慮沒有平均壓力梯度力的海洋，可以導出 Ekman transport 如下：

$$\vec{M} = \int_{-\infty}^0 \rho \vec{V} dz = -\vec{k} \times \frac{K\rho}{f} \left(\frac{d\vec{V}}{dz} \right)_{z=0}$$

(1) 解釋上式的物理意義並討論南半球冰山移動和海面風向的關係。(5%)

(2) 解釋副熱帶北美洲、南美洲西側(大洋東側)的湧升流現象。(5%)

(3) 解釋赤道盛行風是東風或西風時的湧升流現象。(5%)

四、令地轉渦度平流為 VA(正渦度平流, $VA > 0$)，地轉溫度平流為 TA(暖平流, $TA > 0$)，

$$VA = -\vec{V}_g \cdot \nabla(\zeta_g + f), \quad TA = -\vec{V}_g \cdot \nabla\left(\frac{g}{\theta_0}\theta\right).$$

Quasi-geostrophic 模式的 tendency 方程及 ω 方程分別如下，

$$\left[\frac{1}{f_0^2} \nabla^2 + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{N^2} \frac{\partial}{\partial z} \right) \right] \frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{TA}{N^2} \right) + \frac{VA}{f_0}$$

$$\left[N^2 \nabla^2 + f_0^2 \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right] w = -\frac{\partial f_0 VA}{\partial z} + \nabla^2 TA$$

(1) 解釋 tendency equation 方程式各項意義。(5%)

(2) 解釋 ω equation 方程式各項意義(方程式的 $w > 0$ 為上升的運動)。(5%)

(3) 解釋何種情形 850 hPa 有暖平流卻沒有上升運動。(5%)

五、考慮 f 面淺水方程式的 Kelvin waves,

$$\frac{\partial u'}{\partial t} + g^* \frac{\partial h'}{\partial x} = 0, \quad f u' + g^* \frac{\partial h'}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial h'}{\partial t} + H \frac{\partial u'}{\partial x} = 0.$$

H 是基本場水深， g^* 是層化流體的重力。假設 h' 或 u' 波動解可以 Fourier series 展開，

$$\begin{pmatrix} u'(x, y, t) \\ h'(x, y, t) \end{pmatrix} = \sum_{k\omega} \begin{pmatrix} \hat{u}_{k\omega}(y) \\ \hat{h}_{k\omega}(y) \end{pmatrix} e^{ikx - i\omega t}$$

(1) 解釋 Kelvin wave 在 y 方向的特性尺度為 $\sqrt{g^* H / f}$ 。(5%)

(2) 解釋為何北半球 Kelvin waves 傳送方向必須為障礙物在其行進方向右側。Kelvin waves 如何繞行台灣?(5%)

六、若對任意變數 \bar{q} 代表緯向平均。 ψ 為南北剖面流函數， Q 為輻射淨加熱，其他變數如標準常用的意義，南北垂直剖面的環流方程可以導出如下

$$N^2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + f_0^2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = \frac{\partial}{\partial y} \left(Q - \frac{g}{\theta_0} \frac{\partial \overline{v'_g \theta'}}{\partial y} \right) + f_0 \frac{\partial}{\partial z} \left(-\frac{\partial \overline{u'_g v'_g}}{\partial y} \right)$$

(1) 以不同高度的天氣示意圖分別討論 $\overline{u'_g v'_g} > 0$ 和 $\overline{v'_g \theta'} > 0$ 的意義。(5%)

(2) 討論 $-\partial(\overline{u'_g v'_g})/\partial y > 0$ 和 $-\partial(\overline{v'_g \theta'})/\partial y > 0$ 的意義。(5%)

(3) 以次環流調節熱力風平衡觀點解釋南北垂直剖面環流方程式。(5%)

(4) 討論為何 Hadley cell 以及 Polar cell 是熱力直接環流，Ferrel cell 是熱力間接環流。(5%)

(5) 討論大氣三胞環流如何維持能量、動量與水氣的平衡。(10%)

七、討論斜壓不穩度能量的轉換，討論其不穩定波長，討論南北剖面角動量面和 θ 面的相對斜率大小與不穩度關係。(10%)