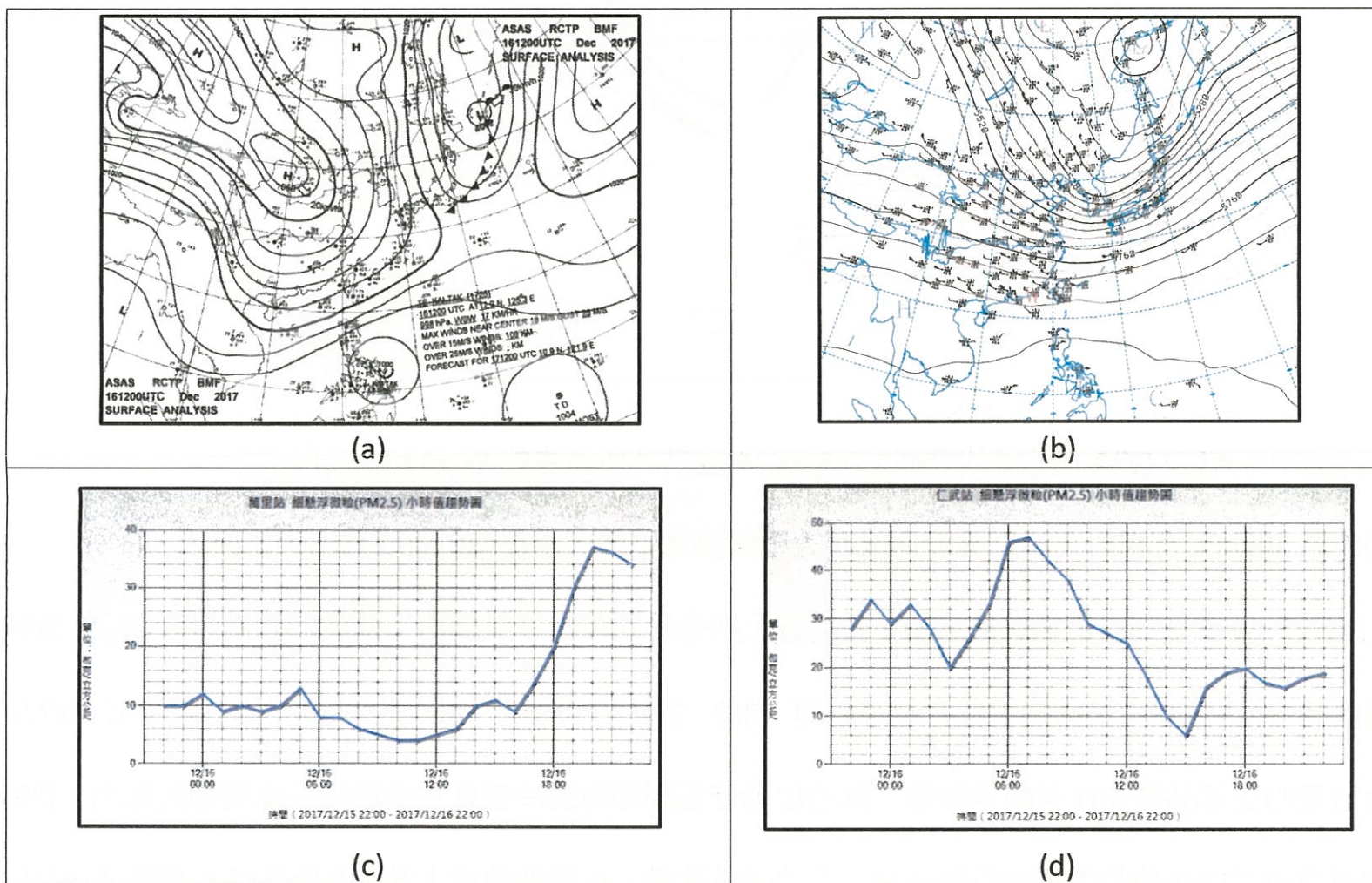


1. 2017 年 12 月 16 日，一波大陸冷高壓逐漸由大陸北方南移，日本受到東方海面一個發展中的溫帶氣旋影響，造成日本許多地方的暴風雪；而臺灣則因為冷空氣逐漸逼近、溫度迅速降低、各地的空氣品質也相對變差。下圖(a),(b)分別為為當天 12Z 的地面與 500-hPa 天氣圖；(c),(d)分別為環保署新北市萬里測站及高雄市仁武測站當天截至晚上 10 點 PM2.5 濃度的時間序列。請透過圖中的資訊以及大氣動力學的知識，回答以下問題：



影響日本的溫帶氣旋這種綜觀尺度的天氣系統，其變化大致滿足所謂的準地轉平衡 (quasi-geostrophic balance、簡稱 QG)。在 QG 的架構中，將地轉渦度平流定義為 VA、地轉溫度平流定義為 TA：

$$VA = -\vec{V}_g \cdot \nabla(\zeta_g + f)$$

$$TA = -\vec{V}_g \cdot \nabla\left(\frac{g}{\theta_0} \theta\right)$$

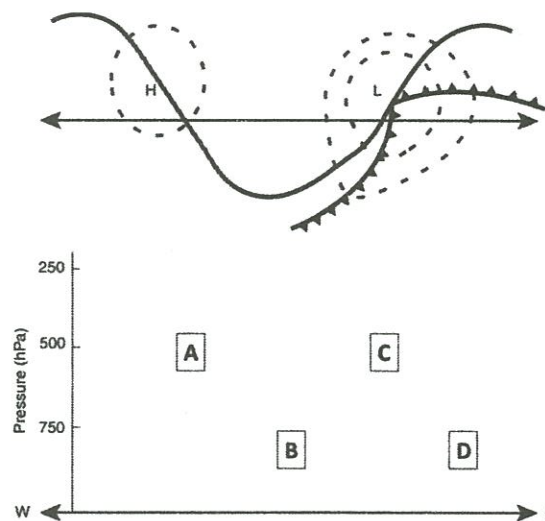
則 QG 架構下的趨勢方程式與垂直運動方程式可以分別寫作：

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

見背面

(1)請以渦度、溫度平流的變化，從方程式解釋次環流如何去調整中高層的渦度平流、及低層的溫度平流變化？(4%)

(2)將發展中的溫帶氣旋示意如下圖，實線代表 500-hPa 槽脊線、虛線代表地面高低壓、鋸齒線代表地面鋒面、箭頭代表東西方向：(4%)



請問圖中 A,B,C,D 位置分別受什麼樣的 VA 或 TA 控制？所產生的 W 為向上或向下？

(3)如果 500hPa 有相對正渦度平流而沒有等壓面高度下降，請從 QG 角度寫出可能原因。(3%)

(4)相較於日本受到溫帶氣旋的影響，臺灣當天則是受到強烈冷氣團南下造成的寒潮爆發影響。當寒潮爆發時，冷空氣往南移動的過程會越來越薄。同時，冷空氣伴隨境外移入的 $2.5\mu\text{m}$ 細懸浮微粒(PM2.5)，對台灣的空氣品質往往有嚴重影響。試由位渦守恆觀點討論冷空氣往南移動逐漸變薄的原因。(3%)

(5)萬里測站的污染物濃度受到境外移入污染源的影響、在傍晚快速上升。而境外移入的懸浮微粒則由北到南逐步影響台灣空氣品質。請回答仁武測站的 PM2.5 濃度反而在清晨最高的可能原因？(3%)

(6)當冷空氣影響移至臺灣南邊的時候，其厚度甚至可能會降至 100m 左右的尺度。假若懸浮微粒的下降終端速度僅受拖曳力影響如下：(3%)

$$V_s = \frac{2r^2\rho g}{9\mu}$$

其中氣膠密度 $\rho = 10^3 (kg \cdot m^{-3})$ 、氣膠半徑 $r = 1 \mu\text{m}$ 、空氣中 $\mu = 1.7 \times 10^{-5} (kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1})$ 。請估計臺灣南部懸浮微粒自邊界層頂落下的時間尺度。

(7)續上題，仁武測站的 PM2.5 濃度在清晨達到最大值之後，就快速下降，可能的原因為何？(3%)

2. 考量海洋沒有明顯水平壓力梯度的 Ekman 方程式， $\vec{V} = (u, v)$, $\vec{V}_g = 0$ ：

$$K \frac{d^2 \vec{V}}{dz^2} = f \hat{k} \times \vec{V}$$

定義海洋表面的風應力 stress 為 $\left. \frac{d\vec{v}}{dz} \right|_{z=0} = \vec{\tau}$ 。定義海洋的質量傳送率為：

$$m = \int_{-\infty}^0 \rho \vec{V} dz$$

(1)請證明北半球邊界層非地轉風質量傳送方向是地表風切 90 度向右。(3%)

(2)北極海表面吹東風時，冰山平均來說向哪個方向移動？在正常年時，赤道太平洋上盛行東風；反之，聖嬰年時赤道太平洋上則盛行西風（如下圖）。從 Ekman 傳送的觀點，在哪一種盛行風情況下赤道洋面會產生湧升流？為什麼？(3%)

3. 位溫(θ)是大氣科學當中既常用又特殊的狀態變數，其定義為：

$$\theta = T \left(\frac{P_0}{P} \right)^{R_d/c_p}$$

(1)一般來說熱空氣上升、冷空氣下降。高山上溫度通常較低，但為什麼高山上的冷空氣不會下沉到地面？(3%)

(2)若大氣垂直溫度變化具有非絕熱遞減率，請證明大氣重力位高度可表示為下式：(3%)

$$Z = \frac{c_p \theta_0}{g} \left[1 - \left(\frac{P}{P_0} \right)^{R_d/c_p} \right] \quad \text{當中 } \theta_0 \text{ 與 } P_0 \text{ 為海平面位溫與氣壓。}$$

4. 簡答：

(1)何謂 Rossby number？物理意義為何？(3%)

(2)何謂正常與異常高低壓？其力平衡為何？(3%)

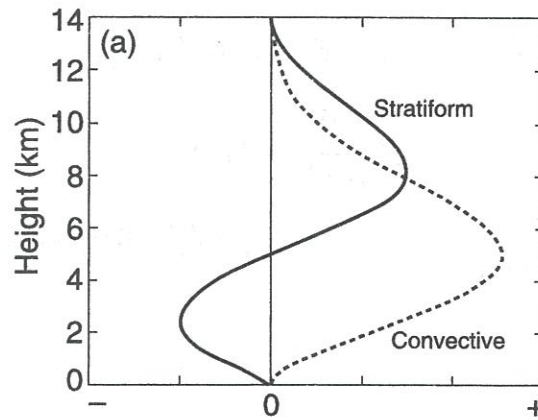
(3)何謂熱力風平衡？請畫出南北垂直剖面的示意圖。(3%)

(4) $\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial \overline{w'\theta'}}{\partial z}$ 此式物理意義為何？混合良好的邊界層 $\overline{w'\theta'}$ 垂直上如何分布？(3%)

(5)理想上在大氣中對流雲(convective)與層狀雲(stratiform)內的加熱隨高度變化如下圖(虛線表示對流

見背面

雲、實線表示層狀雲)。(3%)



在僅考慮垂直方向上渦度的情況下，請分別繪圖解釋在對流雲與層狀雲當中位渦變率可能隨高度的變化。

5.請推導出 Rossby wave 的相位速度頻散關係，並解釋其物理含義與特性。(10%)

6. 試解釋南北渦流動量及熱量輸送分別如何影響緯向平均的大氣環流。(10%)

7. 試以地轉調整觀點解釋颱風的加熱效率。(10%)

8. 請說明並解釋下列名詞之含義。(20%)

(1) 靜力不穩定 (2) 慣性不穩定 (3) 對稱不穩定 (4) 斜壓不穩定

試題隨卷繳回