

球面二維亂流探討

蔡禹明 郭鴻基

國立台灣大學大氣科學研究所

摘要

太陽系中的類木行星，即木星、土星、天王星和海王星，由可見光照片即可分辨出明顯緯向噴流的型態（圖一）。若能瞭解球面上緯向噴流動力上形成的機制，不僅能幫助我們進一步瞭解地球上的行星風系，其本身亦是一有趣的流體力學課題。

Rhines (1975) 提出 Rhines scale 的觀念。指出在 β plane 上的系統，成長到 Rhines scale 後，將感受到背景的位渦梯度，而激發 β Rossby wave 將能量從系統中帶走，系統的尺度因此無法再繼續成長。這個概念由 Vallis and Maltrud (1993) 以及 Huang and Robinson (1998) 的數值實驗得到證明。Vallis and Maltrud (1993) 同時指出，地球上的大氣及海洋中存在許多山脈地形，地形改變了周圍流體的厚度，進而造成位渦梯度，因此同樣也有 Rhines scale 存在，流體最終形成帶狀且平行於地形分佈的型態。Grose and Hoskins (1979) 在線性化的全球淺水模式中植入地形，以及理想化的緯向風，實驗結果發現在地形上方會出現負渦度，而在地形前緣會出現正渦度及 energy dispersion 的現象。

地球上平均每天有將近二個颱風。我們於是想要探討渦旋這種高渦度聚集的系統對於噴流的影響。初步的研究結果顯示，渦旋對於周圍的渦度分佈提供良好的組織能力，最終出現的帶狀渦度分佈區皆在渦旋的附近（圖二）；同時，在二維能量波譜的分析上，可明顯看出動能集中在緯向大尺度的結構（圖三）。這樣的結果顯示，地球上的渦旋可能對於盛行的行星風帶有增強的效應，這與 Ferreira and Schubert (1999) 的實驗結果相符合，但目前尚有許多問題仍需進一步研究。

在植入地形的實驗中，我們發現植入規則的地形（軸與經緯線平行的地形），有助於動能在較短時間內反串跌（inverse cascade）到大尺度。另外，地形與渦旋的附近，西風皆有增強的現象（圖四）。未來將進一步探討地形配置與波數間的關係，以及植入地形對於 passive scalar spectrum 的影響。

參考書目

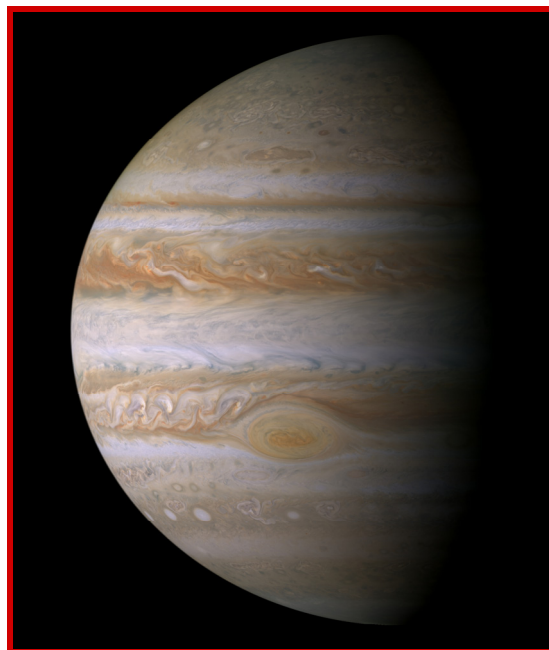
Ferreira, R. N., and W. H. Schubert, 1999: The role of tropical cyclones in the formation of tropical upper-tropospheric troughs. *J. Atmos. Sci.*, **56**, 2891-2907.

Grose, W. L., and B. J. Hoskins, 1979: On the influence of orography on large-scale atmospheric flow. *J. Atmos. Sci.*, **36**, 223-234.

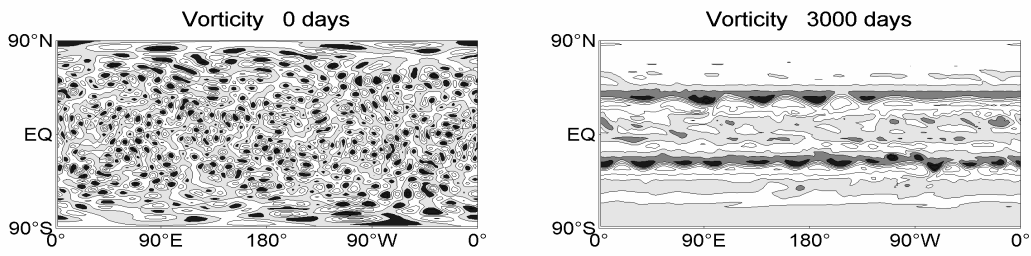
Huang, H.-P., and W. A. Robinson, 1998: Two-dimensional turbulence and persistent zonal jets in a global barotropic model. *J. Atmos. Sci.*, **55**, 611–632.

Rhines, P. B., 1975: Waves and turbulence on a beta-plane. *J. Fluid Mech.*, **69**, 417-443.

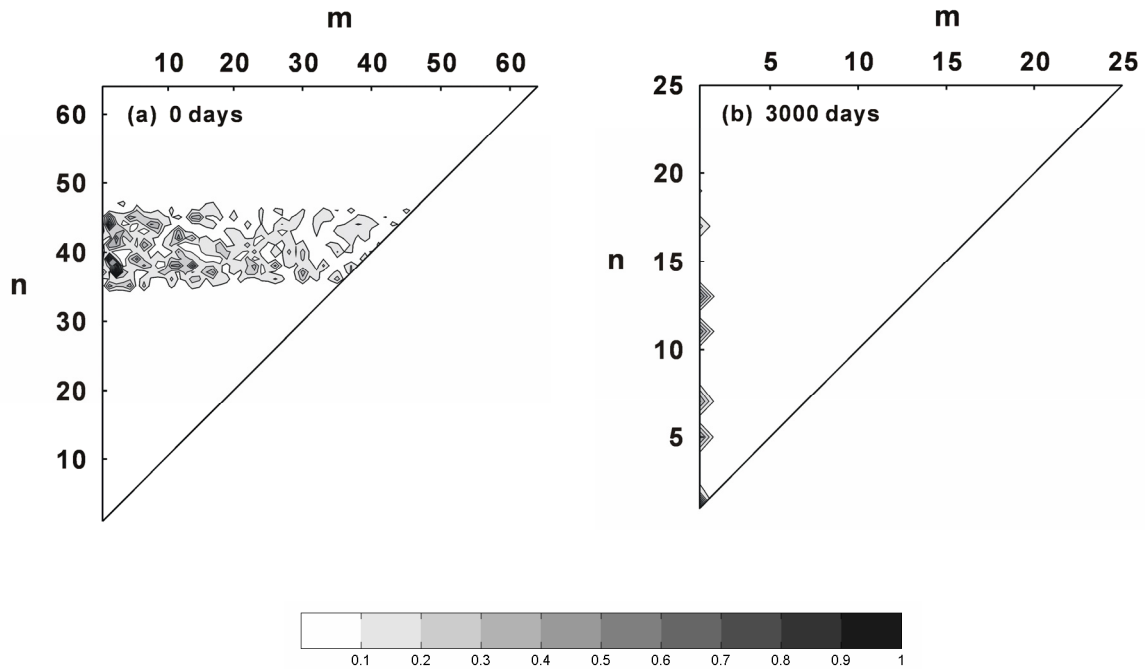
Vallis, G. K., and M. E. Maltrud., 1993: Generation of mean flows and jets on a beta plane and over topography. *J. Phys. Oceanogr.*, **23**, 1346–1362.



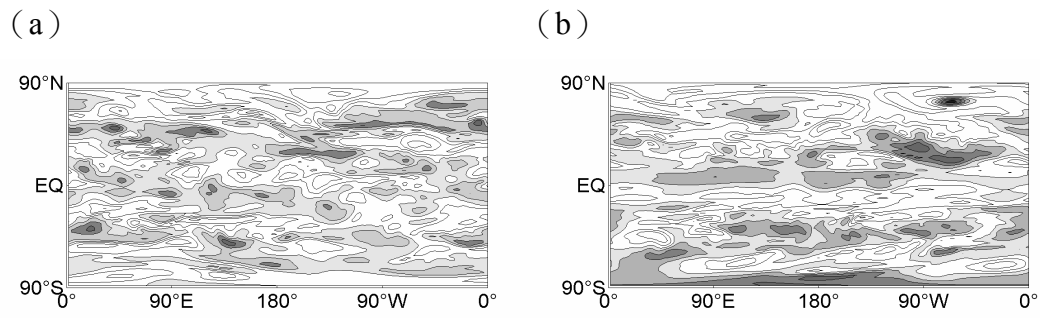
圖一 航海家 2 號 (Voyager 2) 在接近木星時所拍攝的照片，照片上方是北方。圖中清楚顯示木星表面緯向的噴流結構，以及位於南半球反時鐘旋轉的大紅斑。



圖二 植入二渦旋與亂流場之物理空間渦度場隨時間的變化。初始在 20°N ， 90°E 以及 20°S ， 90°W 的位置植入渦旋，積分3000天後，在南北緯20度的地方出現明顯帶狀的渦度分佈，並出現正壓不穩定的型態。



圖三 植入二渦旋與亂流場之二維能量波譜分析之結果。(a) 在 $n = 35 - 45$ 之間給能量，再植入二個渦旋之初始場的分析結果。(b) 為積分3000天後的結果，顯示能量最終聚集在數個最低緯向波數的緯向調和波中。



圖四 理想地形實驗積分 90 天後的物理空間渦度場。在沒有植入地形的實驗，如圖 (a)，所形成的系統尺度較小；在植入橫向地形的實驗，如圖 (b)，所產生的緯向渦度結構較紮實，強度亦較強。