

以 Himawari-8 影像製作彩色雲圖與推導大氣運動向量

周鑑本 張育承

中央氣象局四組

摘要

由於地球同步衛星 Himawari-8 較其前身 MTSAT-2 增加許多的觀測頻道，因此許多過去發展於具較多觀測頻道的繞極軌道衛星的技術，可轉用於 Himawari-8 的相似的觀測頻道上。其中較為有趣的技術是 RGB 三色合成影像技術，這個技術利用顏色的區分，可使觀察者比較容易的觀察到某些特定的物理參數。另外由於 Himawari-8 空間與時間解析度的提升，可預期的它可提供較精準的衛星大氣運動向量，因此也製作大氣運動向量，並將其疊加於 RGB 三色合成影像，同時提供更多的觀測資訊於一張影像中，以利天氣分析者的使用。

一、前言

地球同步衛星因其具大範圍高頻率的掃描特性，故其觀測所得的雲圖運用於天氣分析研判已有多年的歷史，例如中高緯度槽脊位置、鋒生、氣旋的分析、颱風的定位、或色調強化後判斷雲頂高度與對流發展。同時亦可用於物理參數之反演，如偵測霧區、判斷雲型態、海面溫度反演、衛星雲導風推導等。新一代地球同步衛星 Himawari-8 除了空間時間解析度增加外，觀測頻道亦增至 16 個；3 個可見光頻道、3 個近紅外線頻道、及 10 個紅外線頻道，因此除了可以持續用已往的技術外，尚可以引用已發展於其他多頻道繞極衛星的相關技術，增加新的運用產品，本文介紹 RGB 影像合成技術 (周 2017, Hillger 2008 與 Lensky et al. 2008)，產生使用者易於瞭解的彩色雲圖，並推導 Himawari-8 的衛星大氣運動向量，因為 Himawari-8 每次掃描間隔時間較其前身縮短，就理論上而言更適於衛星大氣運動向量的推導，因推導的基本假設包函：被追蹤的雲塊形狀在間隔觀測時間內沒有改變、高度不變等，很顯然的掃描間隔時間愈短，上述的假設較容易成立。希望藉著技術的發展，由 Himawari-8

觀測中提取有用的資訊，有助於天氣的分析研判。

二、方法與資料

首先我們以 RGB 三色合成影像中的“自然色”這項產品，說明製作 RGB 影像的方法：選擇 1.6 微米、0.86 微米及 0.64 微米的反照率(物理量)，先將其轉成紅(R)、綠(G)、藍(B)的色階影像，將影像的物理量轉為 0 至 255 色階的方法如下：

$$\text{色階} = 255[(\text{物理量} - \text{MIN})/(\text{MAX} - \text{MIN})]^{1/\text{GAMMA}} \quad (1)$$

其中 MAX, MIN, 及 GAMMA 可依不同需要而做調整，最後再將 R、G、B 三張色階影像疊加成一張彩色的影像產品，如圖 1 影像由左至右的過程。而會產生彩色影像的原因，則因如圖 1 中，R、G、B 三原色可依不同疊加比例產生任意的顏色。而其物理參數的凸顯則是因為所選頻道對不同物理現象敏感度不同所造成，以圖 1 為例：0.86 微米與 0.64 微米的可見光對冰雲及雪地的反射較強，因此綠及藍的色

階影像中，此處的亮度較亮，而 1.6 微米近紅外線頻道，對冰雲及雪地的反射較弱，因此在紅的色階影像中，此處的亮度較暗，在圖 1 中我們可以看到氣旋、鋒面及熱帶對流雲中，雲高發展較高而產生冰相雲的雲區，呈現上述的現象。在三原色疊加呈像中(圖 1)，我們可以看到綠、藍疊加而無紅色的結果呈現青色，因此同理我們可以在 RGB 合成影像中看到氣旋、鋒面及熱帶對流雲的地區呈現青色。而對於水雲這三個頻道的反射率相似，因此顯現白或灰色。而海面對三個頻道的反射率相似且甚小，故呈深灰(黑)色。對於植被區由於 0.86 微米的反射較其他二者為強，在陸上植被處顯示綠色。同樣的道理可以選擇其它不同的頻道及公式(1)中的參數製作 RGB 其它影像產品，凸顯各種物理參數。

至於求取大氣運動向量的方法，可回溯至 1960 年代(Fujita 1960)，後續的自動化(Ieese 1971)與相關技術改進與產品運用研究仍持續進行(Iean 2015 ; Oyama 2018)，在推導運動向量的方法中，首先以互相關法理論為基礎，以兩張連續的影像找出可被追蹤物(雲塊或水汽樣貌)的運動向量，互相關法使用的公式如下：

$$CC(m, n) = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{b_{i+m, j+n} - b(m, n)_{mean}}{\sigma_b} \frac{a_{i, j} - a_{mean}}{\sigma_a} \quad (2)$$

其中 $a_{i, j}$ 是連續影像中第一張影像上包含可追蹤物的 $M \times N$ 矩陣， a_{mean} 是矩陣 a 的平均值， $b_{i+m, j+n}$ 是連續影像中於第二張影像上與原先 a 矩陣位移 m, n 像元數的矩陣， $b(m, n)_{mean}$ 是矩陣 b 的平均值， σ_a 與 σ_b 是 a 與 b 矩陣的標準方差， $CC(m, n)$ 是任一對 a, b 矩陣的相關係數，當所有 $CC(m, n)$ 都計算出後，選取 $CC(m, n)$ 最大者，其 m, n 乘影像解析度即代表被追蹤物位移量，除以兩張連續的影像觀測時間間隔即為被追蹤物速度向量。接下來再指定這個向

量的高度，指定高度的方法，包括了等效黑體亮溫法，此法以被追蹤物的紅外窗區頻道亮溫比對大氣溫度的垂直剖面而來，這個方法適用於非透明的雲，至於半透明的雲，例如卷雲，則可採用水汽截斷法或二氧化碳分離法來求取雲高，低雲則可使用雲底法等，為更有效連結被追蹤像元與指定雲高像元，則可採套疊追蹤法或互相關貢獻法。本次實驗所用資衛星影像是於本局接收的向日葵 8 號衛星觀測資料，每張雲圖的影像皆為 2 公里水平解析度，求取大氣運動向量高度的溫度垂直溫度剖面，是由本局區域天氣預報模式所提供。

三、結果

首先展示 RGB 產品中的“日間雪-霧”於圖 2(a)中，這個產品選擇 0.86、1.6、3.9 微米影像微雲圖，分別作為其 R、G、B 影像。頻道 0.86 微米可用於偵測植被、氣溶膠，1.6 微米可用於分辨雲相(水、冰相)，3.9 微米可用於偵測低雲、霧、及森林火災。在圖 2(a)中，紅色的部分是積雪或海冰(紅色箭頭所指處)，比對圖 2(b)中的“自然色”產品，可以發現圖 2(a)中紅色部分，在圖 2(b)中為青色(紅色箭頭所指處)，這是因為“自然色”的產品可分辨出冰相、水相，故將地上的積雪與天上的冰雲同顯示為青色，而“日間雪-霧”產品可進一步提供分辨地上積雪/海上浮冰與天上冰雲的資訊，圖 2(a)中冰雲的顏色顯現為橘色。對於低雲或霧則顯現為黃色或白色。

我們將貝加爾湖附近的雪地的“自然色”與“日間雪-霧”及計算得到的“雪指數”分別放到圖 3(a)、(b)及(c)中加以比較，雪指數大於 0.6 的地區以黃色標示，它與“自然色”的青色部分及“日間雪-霧”的紅色部分吻合，事實上“雪指數”也是利用可見光頻道與近紅外頻道對冰雪敏感度的反差計算而來，而 RGB 影像的

製作也是依個頻道對物理參數的不同反應而來，只是其不同之處在於並無設定閾值來標示指定參數，而是以完整的影像顯示，使讀者有自行判斷的空間，但這也使其於定量研究時受到限制。

圖 4 顯示另一項 RGB 產品"可見光/紅外線"，這個產品只簡單的將低層雲顯示為黃色；高層雲顯示為白色，這 RGB 產品的動畫有助於分析高層雲與低層雲運動方向，可以用來分析垂直風切，我們將這項 RGB 產品疊加上由 Himawari-8 推導的衛星大氣運動向量，由圖中可以看出颱風的低層環流(青色與綠色向量)與黃色的雲區重疊，位置在台灣到菲律賓之間的東方海面上。而颱風的高層向外輻散氣流(紅色向量)大部分偏向西，從這張圖我們可以了解這個颱風(2017 年 08 月 19 日至 2017 年 8 月 25 日，天鴿)大致是隨高度向西傾斜的。圖 5(a)放大圖 4 颱風附近局部環流。另外圖 5(b)比對"深對流" RGB 影像，這個影像可以顯示出雲區的強對流地區，即黃色部分，同樣將衛星運動向量疊加其上，由圖我們可以發現強烈上升對流發生在颱風低層環流的西南側。因此 RGB 的影像疊加上同一時間推導的衛星運動向量，應有助於分析颱風的環流與對流結構。

四、結論與未來工作

本文以 Himawari-8 影像資料製作展示部分 RGB 三色影像產品，雖然 RGB 影像不是定量的反演產品，但與反演產品相比，它保留整張雲圖的影像，以顏色凸顯所要觀察的物理量，因此這項產品在分析大氣與地表的情況時，還可加上人員主觀經驗與知識判斷，當定量反演方法尚未十分精確時，可與定量反演產品互為佐執証。衛星大氣運動向量可用於分析中小尺度的大氣環流，瞭解大氣的動力結構，而許多 RGB 影像產品有助於了解雲系中的對流強弱、雲的相態(水雲/冰雲)、及雲粒徑大小或雲高等

與熱力有關的資訊，我們嘗試將此兩種產品疊加於同一影像中，提供觀察者同時掌握天氣系統的热力與動力結構。衛星大氣運動向量除了用於分析中小尺度的大氣環流外，也可用於數值預報資料同化系統中，改進數值預報的初始與預報場，這除需持續改進衛星大氣運動向量精確度外，亦需估算其誤差的大小，都是未來將進行的工作。

致謝

感謝四組秦新龍組長對本工作的支持，推導衛星大氣運動向量系統由周鑑本博士以 IDL 軟體發展完成。並感謝資拓趙俊傑博士將其轉為 FORTRAN 程式，交與菲律賓 PAGASA 來局研習人員 (MECO-TECO collaborative program under Volcano, Ocean, Typhoon and Earthquake (VOTE) Project)。

參考資料

- 周鑑本，2017: 同步衛星 RGB 三色合成氣團分析影像之製作與運用。中央氣象局自行研究發展專題。
- Fujita, T. 1968: Present Status of Cloud Velocity Computations from ATS-1 and ATS-3. *Space Research*, **9**, 557-570
- Hillger, D. W., 2008: GOES-R Advanced Baseline Imager Color Product Development, *J. Atmos Ocean Tech.*, **25**,853-872
- Lean, P., S. Migliorini., and G. Kelly., 2015: Understanding Atmospheric Motion Vector Vertical Representativity Using a Simulation Study and First-Guess Departure Statics. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **54**,2479-2500
- Lensky, L. M. and D. Rosenfeld., 2008: Cloud-Aerosol-Precipitation Satellite Analysis

Tool (CAPSAT), *Atmos. Chem. Phys.*, **8**, 6739-6753
 Leese, J.A., Novak, C.S. and Clark, B.B., 1971: An Automated Technique for Obtaining Cloud Motion from Geosynchronous Satellite Data Using Cross Correlation. *Journal of Applied Meteorology*, **10**, 118-132.

Oyama, R., 2018: Relationship between Tropical Cyclone Intensification and Cloud-Top Outflow Revealed by Upper-Tropospheric Atmospheric Motion Vectors. *J. Appl Meteor. Climatol*, **56**, 2801-2819

圖：

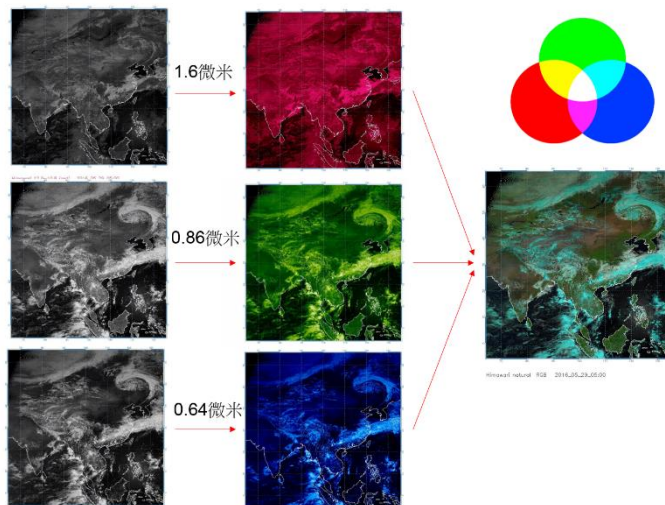
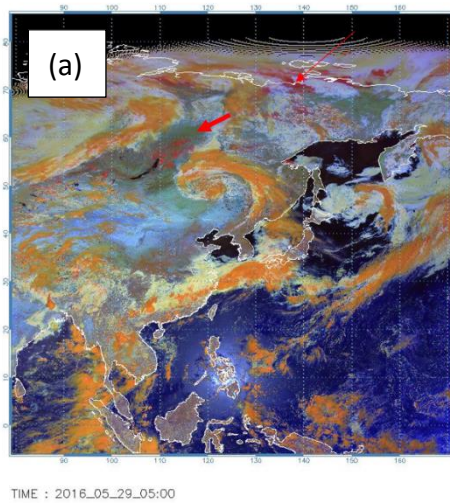


圖 1、RGB 影像的製作流程，由左至右。右上三原色色球，顯示疊加不同原色 產生不同的色彩。

Day snow-fog RGB



Natural color RGB

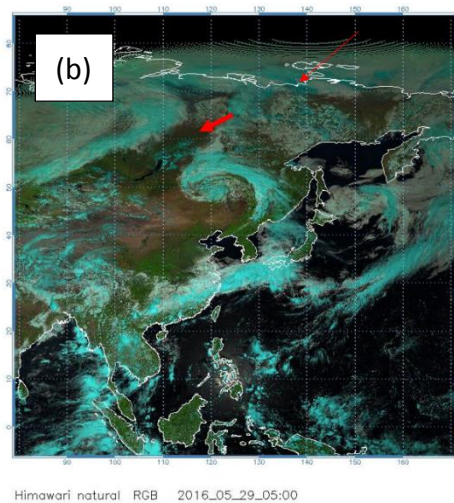


圖 2、(a)“日間雪-霧”與(b)“自然色”RGB 產品的比較。紅色箭頭所指處為地上積雪或海上浮冰。

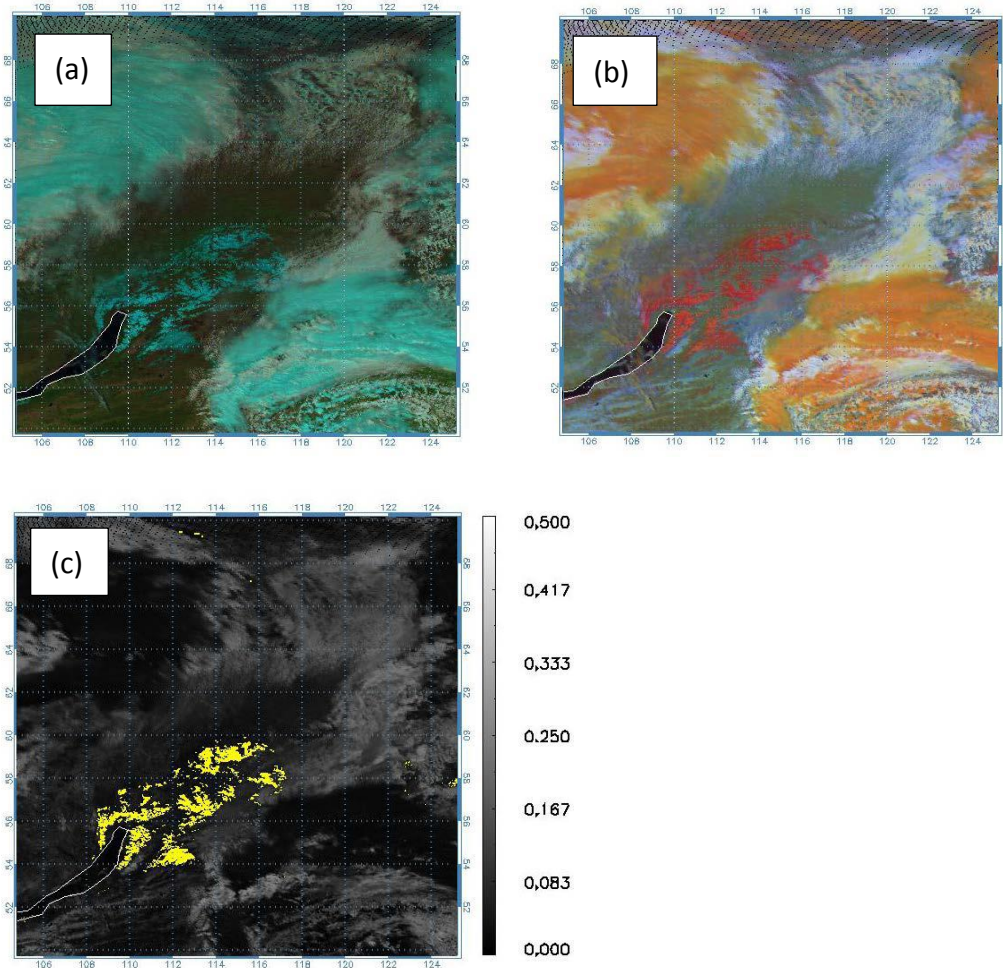


圖3、放大圖2中貝加爾湖附近的雪地的“自然色”與“日間雪-霧”影響並比較計算得到的“雪指數”，分別顯示於(a)、(b)及(c)圖。“自然色”影像中雪地與冰雲皆呈青色，但事實上仔細觀察可以發現冰雲較雪地平滑。而“日間雪-霧”更易分辨出二者。“雪指數”可將冰雪範圍明確指出，但似乎範圍較“自然色”與“日間雪-霧”為小，此時“雪指數”的閾值為 0.6，設定較寬鬆的閾值可改變“雪指數”的範圍。

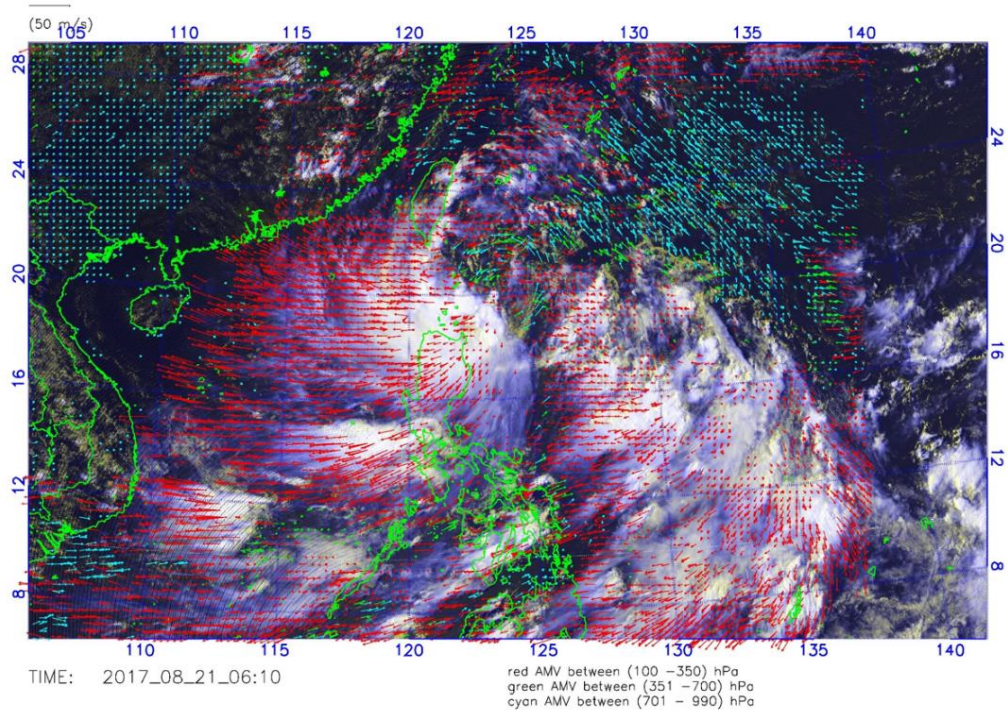


圖 4、"可見光/紅外線"RGB 影像，黃、白色雲分為低、高雲，疊加上同一時間衛星推導的大氣運動向量。

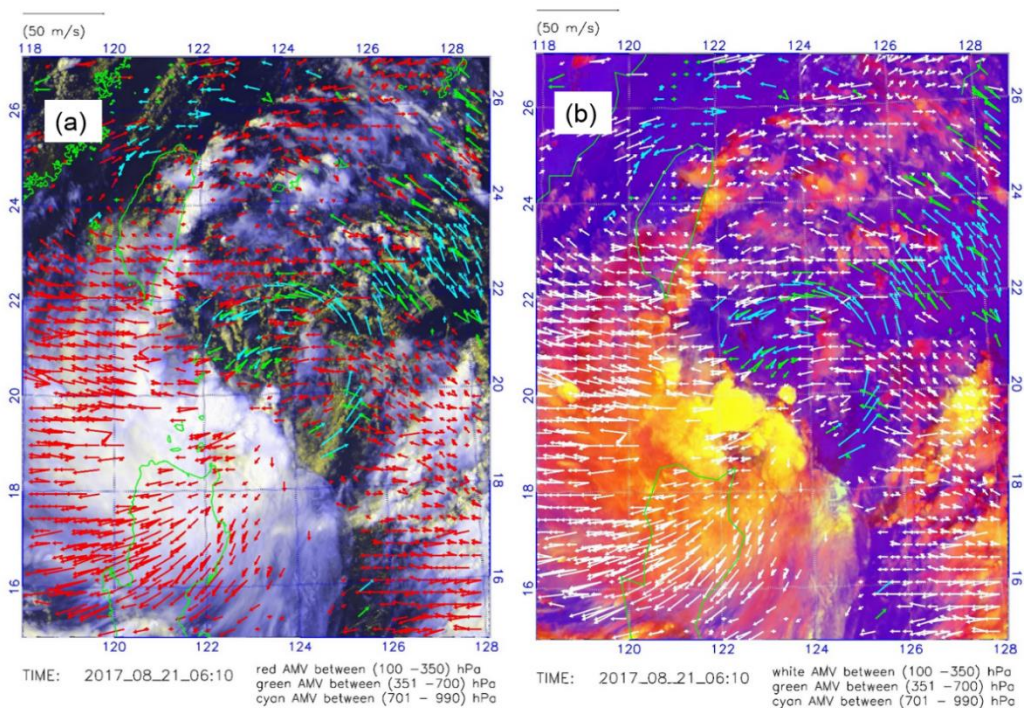


圖 5、(a)圖 4 中的颱風環流局部放大圖。(b)如(a)但為"深對流"RGB 的影像疊加衛星運動向量。因颱風向西傾斜，雲系只覆蓋於颱風部分環流地區，因此低層颱風中心的雲導風可被求出，如青與綠色向量所示。