

地球同步衛星之可見光及紅外線頻道衍生產品

章鶴群¹、Andrew K. Heidinger²、趙俊傑³、張拱祿¹

中央氣象局 氣象衛星中心¹

NOAA/NESDIS Center for Satellite Applications and Research (STAR)²

資拓宏宇國際股份有限公司³

摘要

地球同步衛星影像的使用，傳統上是判讀可見光和紅外線雲圖，由其明暗程度主觀的分辨雲之分布、雲之厚薄程度、雲頂高低，以及從兩者影像之間的差異來判斷其雲屬或天氣現象。The Clouds from AVHRR Extended (CLAVRx) processing system是NOAA/NESDIS與UW/CIMSS共同發展的雲分析系統，可以將前述的各項判斷數據化。衛星各頻道數據資料導入CLAVRx，產生各式雲的相關產品，利用這些產品能夠客觀分辨雲的各項特性，以輔助雲圖的判讀。本研究將展示CLAVRx處理地球同步衛星（MTSAT-2和HIMAWARI-8）資料所產生的各項雲產品，並說明其特性及應用方法。

CLAVRx的雲產品可分三類，一類是定性的分類，有雲遮（Cloud Mask）、雲類（Cloud Type）和雲相（Cloud Phase），對於分辨雲的屬性十分有幫助。一類是針對雲頂特性的定量估計，包含雲頂高度（Cloud Top Height）、雲頂氣壓（Cloud Top Pressure）和雲頂溫度（Cloud Top Temperature），可做為判斷對流系統發展情況，以做為天氣預報的參考。第三類是雲的物理和光學特性，雲放射率（Cloud Emissivity）、雲光學厚度（Cloud Optical Depth）和雲滴粒子有效半徑（Cloud Effective Radius），對於雲物理的研究有幫助。

關鍵字：地球同步衛星、可見光、紅外線、CLAVRx

一、前言

在進行天氣分析時，習慣上使用地球同步衛星資料影像做為判斷天氣系統位置、大小及強度的依據，因為衛星雲圖能夠顯示雲區的分布。從可見光和紅外線的衛星雲圖，判斷有雲或無雲，有時會發生誤判；使用可見光雲圖判斷雲，會因為雲層薄或透光，而誤判為無雲；紅外線雲圖也會因為雲頂溫度與地表溫度相近而誤判，靠近海面上的低雲不容易被看到，而在北方陸地在冬天會因為地表積雪溫度低而誤以為有雲。

從雲圖判斷雲屬和雲相，也會發生如前段所述的情況，能否正確判斷完全依照分析人員的經驗和知識。本研究所產制的雲產品將能提供相關的資訊做為分析人員的輔助資料，也可以做為大氣研究使用，有助於對大氣環境的了解。

二、CLAVRx 簡介

CLAVRx 全名為 The Clouds from AVHRR Extended processing System，是由 NOAA/NESDIS 和 UW/CIMSS 所發展（Heidinger 2012），原為了從 AVHRR 資料中取得雲的定量估計和定性分析產品，

後來經過多次改版和擴充，除了能夠應用在繞極衛星的儀器 AVHRR、MODIS、VIIRS，也能應用在傳統的地球同步衛星 MTSAT、COMS，和新一代的地球同步衛星 HIMAWARI 和 GOSE-R。

CLAVRx 的雲產品可分三類，一類是定性的分類，如雲遮（Cloud Mask）、雲頂相態（Cloud Phase 簡稱雲相）、雲類（Cloud Type）。雲遮可將雲分布和晴空區分出來，雲相是區分雲頂的相態是水、冰或過冷水，雲類則區分出各種雲屬，卷雲和近地表的低雲這些很難從雲圖上看出的屬性都能分辨，對於分辨雲的特性十分有幫助。另一類是定量的估計，有雲頂高度（Cloud Top Height）、雲頂氣壓（Cloud Top Pressure）和雲頂溫度（Cloud Top Temperature），可做為判斷對流系統發展情況的參考。第三類是雲的物理和光學特性，如雲放射率（Cloud Emissivity）、雲光學厚（Cloud Optical Depth）度和雲滴粒子有效半徑（Cloud Effective Radius），這些資訊對於雲物理的研究很有助益。

最新版本的 CLAVRx，已經夠適用於新一代地球同步衛星，有美國的 GOES-R 和日本的 HIMAWARI-8，本研究即使用日本 JMA 提供給氣象局的 HIMAWARI-8 的測試資料。

三、CLAVRx 產品

(一) 雲遮

雲遮為將衛星資料區分為有雲(cloudy)和晴空(clear)，其中有些不太容易分辨的部份可分為可能有雲(Probably-cloudy)和可能晴空(Probably-clear)。

產生雲遮的方法為計算雲機率 (Cloud Probability)，指觀測點上有雲的機會是多少，方法是與過去觀測的統計結果比較，決定有雲的機率 (Heidingr et al. 2012)。雲遮用文字來定義雲機率大於 0.8 則定義為有雲，低於 0.2 為無雲，0.2 到 0.8 之間再細分為可能有雲和可能無雲，圖 1 為雲遮產品。

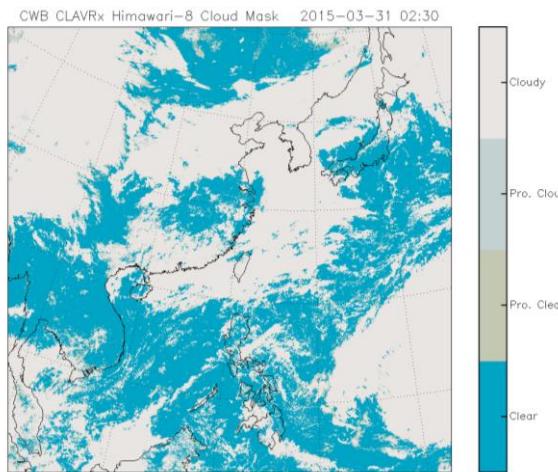


圖 1、由 HIMAWARI 的資料反演的雲遮，可分為四個等級，有雲(Cloudy, 灰白)、可能有雲(Pro. Cloudy, 淺灰)、可能無雲(Pro. Clear, 淡褐色)和無雲(Clear, 藍色)。

CLAVRx 的其他雲產品，都須使用雲遮，選取有雲的部份再進行計算，以減少計算時間，也可以減少誤判的機會。因此雲遮的功能對其他衛星衍生產品十分重要，例如要得到氣溶膠監測產品、大氣光學厚度或海表面的溫度，首要的步驟是要把有雲的部份剔除，只取晴空的部份反演；要計算雲導風則可以利用雲遮得知有雲的區域，以求得雲的移向及雲速。

(二) 雲相和雲類

CLAVRx 中依照雲頂特性分類的產品有雲相和雲類兩種。雲相區分水在雲頂的相態，方法是使用紅外線 $11\mu\text{m}$ 頻道的亮溫和近紅外線 $3.75\mu\text{m}$ 頻道的反照率大於 0.06 為水，小於 0.06 為冰的特性，將雲分為水、冰和過冷水三類 (Pavolonis et. al. 2005)，如圖 2 所示。

雲類從雲相中再細分成各種類型，加入紅外線 $11\mu\text{m}$ 和 $12\mu\text{m}$ 頻道的亮度溫度差及可見光 $0.65\mu\text{m}$ 的反照率這兩項條件，從冰雲中分出卷雲及雙層雲、厚冰雲及過衝雲，從水雲中再分出近地表的低雲，以及

保留水雲和過冷水兩項 (Pavolonis et. al. 2005)，圖 3 為雲類的產品。

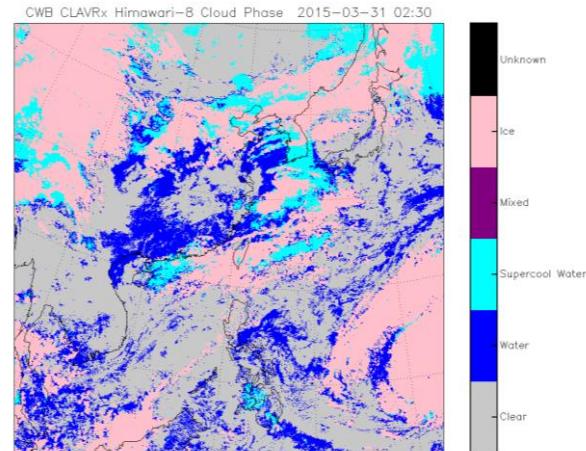


圖 2、使用 HIMAWARI 的資料反演的雲相，主要分為冰(Ice, 粉紅色)、過冷水(Supercool water, 淺藍色)、水(water, 藍色)，另有混合相態(Mixed, 表示冰水共存, 紫色)及晴空(Clear, 灰色)

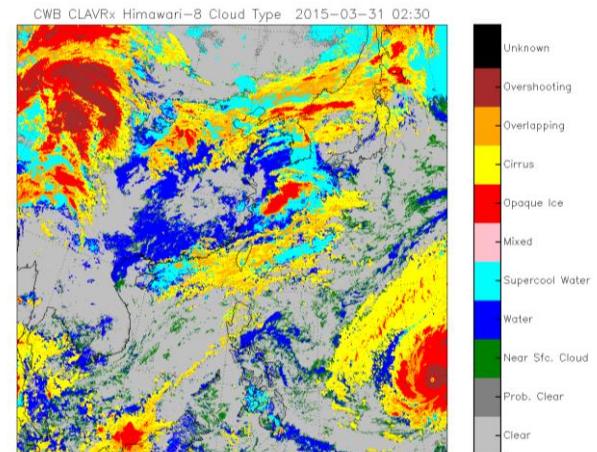


圖 3、雲類分為九類，晴空(Clear)、近地面的低雲(Near Surface Cloud)、水雲(Water)、過冷水(Supercool Water)、不透明冰雲(Opaque Ice)、卷雲(Cirrus)、雙層雲(Overlapping)及過衝雲(Overshooting)。晴空(Clear)和可能無雲(Probably Clear)分別用淺灰和深灰色表示。

(三) 雲頂高度、氣壓和溫度

雲頂高度 (Cloud top height)、雲頂氣壓 (Cloud top pressure) 和雲頂溫度 (Cloud top temperature) 這三項產品主要是靠紅外線頻道資訊求得 (Heidingre and Pavolonis 2009)。特別說明雲頂溫度有別於紅外線頻道的亮度溫度，是雲頂所在高度的實際溫度，若雲厚且結實，完全阻擋進下層紅外輻射向上傳遞，則衛星觀測的亮度溫度接近實際的雲頂溫度。若雲呈現半透明，地表的長波輻射穿透雲層，則亮度溫度會較雲溫度高。圖 4、圖 5 和圖 6 分別是雲頂高度、雲頂壓力和雲頂溫度的產品。

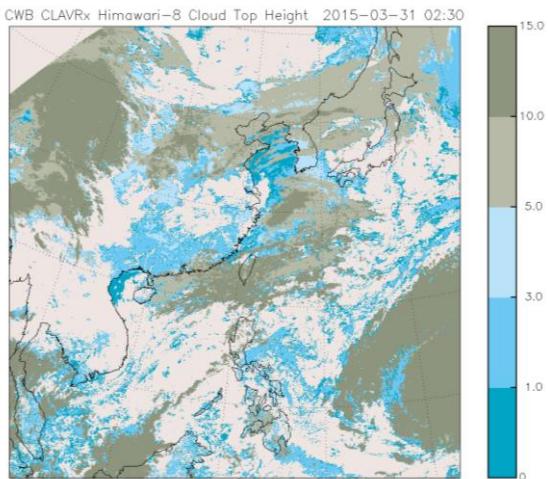


圖 4、雲頂高度 5 公里至 10 公里為淺綠，10 公里以至 15 公里以上為深綠，雲頂低於 5 公里則以藍色系表示。

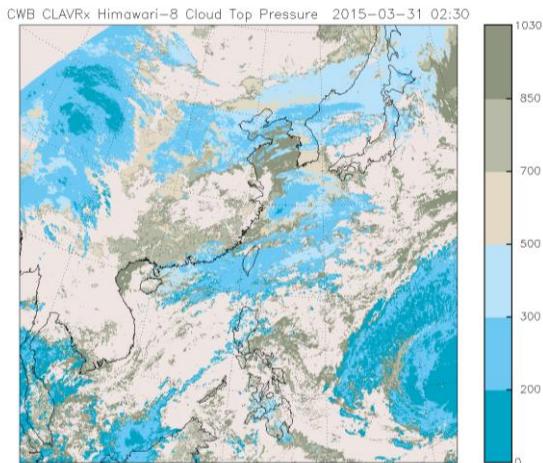


圖 5、雲頂氣壓高於 500hPa 為綠色系，低於 500hPa 為藍色系。

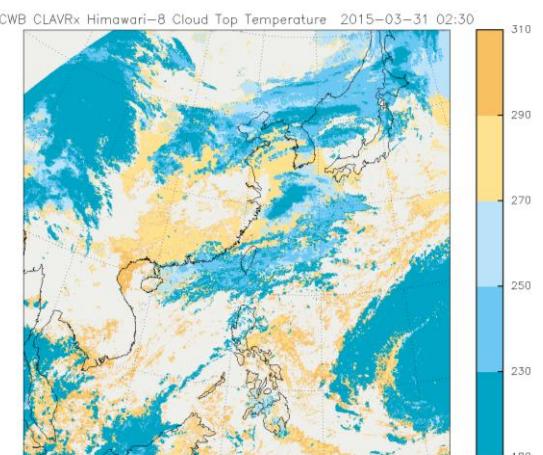


圖 6、圖為雲頂溫度，淺橙色是 270~290K (約 0~20°C)，橙色是 290K 以上，藍色系則為 270K 以下，溫度愈低顏色愈深。白色的部份為無雲的晴空。

雲頂高度、雲頂壓力和雲頂溫度可看出雲頂的起伏和梯度，能分辨高雲、低雲、層狀雲、對流雲，配

合雲相及雲類產品，可再依使用者需求再衍生出進一步的產品，例如：雲頂為過冷水區域的高度分布、低雲或霧的雲頂氣壓分布。

(四) 雲放射率、雲光學厚度

雲放射率 (Cloud Emissivity) 和雲光學厚度 (Cloud Optical Depth) 這兩項產品為 CLAVRx 的 Daytime Cloud Optical and Microphysical Properties 中所計算出的雲光學特性，雲放射率是指 $11\mu\text{m}$ 的放射率，一般不透明的雲放射率都在 0.7 以上，半透明的雲如卷雲，在 0.5~0.7 之間，晴空部份則都在 0.1 以下。光學厚度則是指可見光 $0.65\mu\text{m}$ 穿透雲時被阻擋掉的量，數值愈大表示雲愈厚，強烈對流發展的雲光學厚度明顯較其他的雲厚很多。

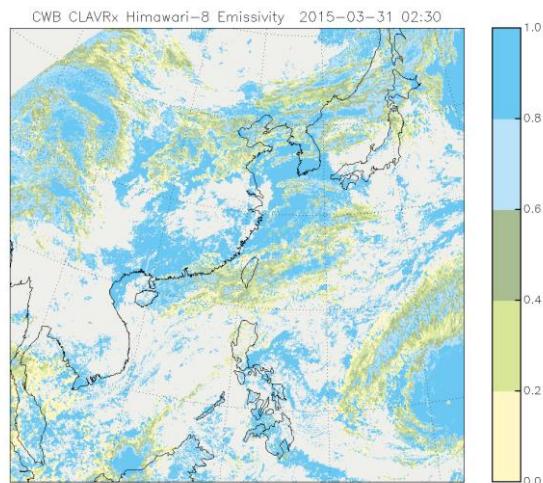


圖 7、雲放射率，藍色為放射率高於 0.8，淺藍色介於 0.5 和 0.8，淺黃色則是低於 0.2，白色的部份表示無雲。

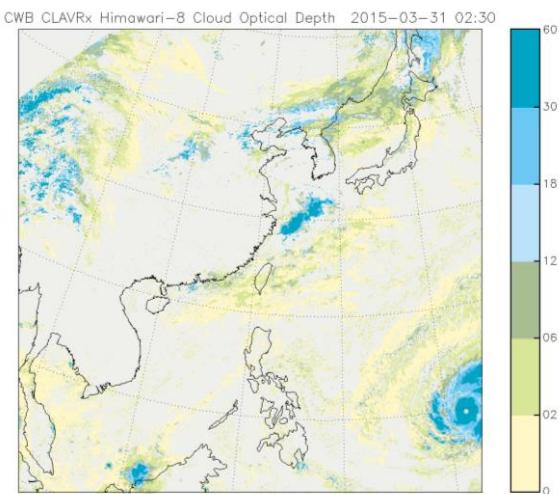


圖 8、雲光學厚度，藍色系為較厚的部份，綠色則表示雲較淺薄。

雲放射率和雲光學厚度這兩項產品為紅外線和可見光穿透大氣時的特性，可以想像成雲的濃密程度和雲的厚度，有助於雲物理研究。

（五）雲滴粒子有效半徑

雲滴有效半徑（Cloud Effective Radius）是 CLAVRx 中 Daytime Cloud Optical and Microphysical Properties 的一項屬性，用來代表區域內的雲滴粒徑大小，而雲滴粒徑的資訊對於氣候變遷的研究可能有助益，例如日照時數減少的原因可能是由於人為排放的懸浮微粒所產生對雲的影響，長時間分析雲滴影響半徑的變化，可能可以做為對這項研究的一個參考。

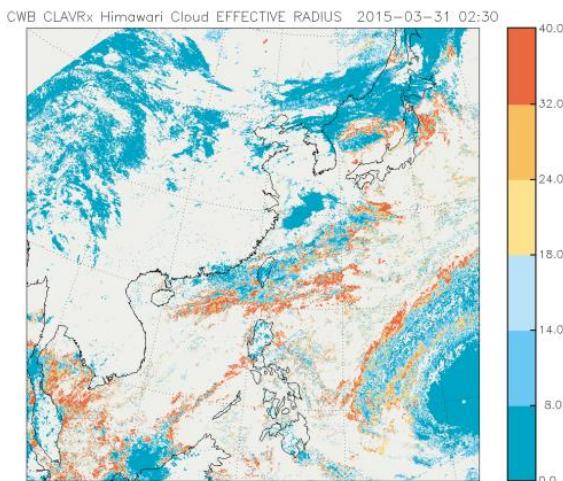


圖 8、有效半徑的單位是 micron，最大值是 40micron，白色的部份是晴空或無法反演的地方。

四、結論與未來工作

雲的定量及定性的分析產品，對於災害防治的監測、預警及通報並沒有像雷達資料或自動雨量站資料那麼的有幫助，所以對於業務有涉及災防的公務單位及如：水利署、河川局…等，或有即時天氣資訊需求的單位，如：台鐵、公路總局、高速公路管理局…等，用處不大，但是對於天氣現象的了解與分析能夠提供許多有用的訊息，對推廣普及科學、學術研究等，還是能有貢獻，特別是在資料同化的研究，說不定 CLAVRx 的產品做為衛星資料導入數值模式的媒介，能夠改善短期數值天氣預報的準確度。

未來的工作首要的工作是將所有的衛星資料應用於 CLAVRx 上，包含了繞極軌道衛星和地球同步衛星。重點是要應用於新一代地球同步衛星 HIMAWARI，即時的產生資料並且提供給相關人員應用，其次是建立適當的服務機制提供資料給學術和科研單位，做為學術研究及推廣教育之用，並且透過使用者的回饋，做為改善產品內容的依據，以提高精確度及減少誤差。

參考文獻

Heidinger, A.K. ,2012:The Clouds from AVHRR Extended(CLAVR) User's Guide. NOAA/NESDIS STAR.

Heidinger, A.K., and M. JPavolonis,2009: Gazing at Cirrus Clouds for 25 Years through a Split Window. Part I: Methodology. Journal of Applied Meteorology and Climatology,48,1100-1116

~.A. T. Evan, M. J. Foster, and A. Walther: 2012. A naïve Bayesian cloud detection scheme derived from CALIPSO and applied within PATMOS-x. Journal of Applied Meteorology and Climatology,51,1129-1143

Pavolonis, M. J., A. K. Heidinger, T. Uttal,2005,Daytime Global Cloud Typing from AVHRR and VIIRS: Algorithm Description, Validation, and Comparison. Journal of Applied Meteorology and Climatology,44,804-826