

應用Landsat 8衛星影像反演北京市區氣膠光學厚度

李國光 林唐煌 劉振榮
國立中央大學太空及遙測研究中心

摘要

應用衛星影像反演氣膠光學厚度(AOD)最廣被研究與應用的，莫過於中解析成像光譜輻射計MODIS的AOD產品，然而該項產品因空間解析之不足(10km)，在複雜的都市地表卻付諸闕如。而都會區之污染監測無論在空氣品質或區域氣候卻相當重要，因此本研究嘗試應用較高地面解析(30公尺)之美國Landsat 8影像之前四個頻道(藍光、藍光、綠光及紅光)求取都會區之AOD，其中第一個藍光頻道(波長0.433–0.453μm)是觀測AOD。Landsat 8每幅影像面積為170x185 km，涵蓋北京地區AERONET太陽輻射計(Sunphotometer)三個測站，Beijing、Beijing_CAMS及Beijing_RADI。本研究依據輻射傳遞方程式(Radiative Transfer Equation； RTE)反演北京市區四個頻道AOD，並以上述地面測站的觀測資料驗證反演準確性，結果顯示不同影像視窗大小如3x3(pixel)、7x7(pixel)至23x23(pixel)等及不同頻道，將造成各自的反演誤差。利用線性迴歸方程式求得各頻道最佳反演視窗大小，例如第一頻道選取3x3視窗，其衛星影像反演AOD與地面觀測AOD的迴歸相關係數r為0.98，第三頻道視窗大小則選擇11x11，相關係數r為0.97。

關鍵字：氣膠光學厚度、Landsat 8、AERONET、輻射傳遞方程式

一、前言

氣膠在近幾十年已成全世界關注的問題，它不僅是氣候變遷重要因子之一，同時也危害人們的健康。氣膠的組成複雜，在光學頻道上的反應也迥異且不易估算(Giles *et al.*, 2012)。衛星遙測反演AOD的方法有許多種，其最常用的密暗植被(Dense Dark Vegetation； DDV)法，則是依據輻射傳輸方程計算AOD(Holben *et al.*, 1992)。為了降低地表覆蓋物對衛星量測輻射強度的貢獻，在可見光波段反演AOD時選擇低反射率覆蓋物。然而，低反射率同時限制反演區域與反演的時間，冬季或稀疏的植被地區沒有足夠的植被覆蓋無法估算AOD，雪地以及沙漠等因其屬於高反射率的覆蓋物也不適合應用DDV法反演AOD(Borde *et al.*, 2003)，因此目前對於複雜的都會地區鮮有衛星反演的AOD產品。本研究將依據RTE推演在地表覆蓋物不變的條件下反演都市地區AOD。

二、研究方法

大氣中粒子的吸收與散射將影響衛星觀測的輻射強度。晴空下，改變衛星輻射強度主要是氣膠光學厚度 τ 。本研究方法反演視基於如下兩個假設。首先，在特定視窗大小條件下，衛星輻射強度隨時間和

空間改變。第二，大氣成分隨時間改變。Sifakis(1992)及 Retsats(2010)依據輻射傳遞方程式，假設地表為蘭氏面(Lambertian surface)，推導出下式反射率和 AOD 的關係。

$$\tau_2 = \left[\ln \left(\frac{\sigma_1(\rho^*)}{\bar{\rho}_1} \right) + \left(\frac{\tau_1}{\cos \theta_{v1}} \right) \right] \cos \theta_{v2}$$

式中 ρ^* ， $\sigma_1(\rho^*)$ ， $\bar{\rho}_1$ ， τ_1 及 θ_{v1} 分別為參考影像在特定視窗的反射率，反射率標準差(SD)，反射率平均值，AOD及衛星觀測角，方程式中下標2代表將被反演(目標)影像相對應的參數。方程式中 ρ^* ， $\sigma_1(\rho^*)$ ， $\bar{\rho}_1$ ，及 θ_{v1} 可由影像計算獲得， τ_1 則由衛星觀測時相對應於地面太陽輻射計的觀測。依據(2)式只要依據太陽輻射計的觀測，找一幅AOD<0.1的乾淨大氣當作參考影像即可求得 τ_2 。

三、研究資料

Landsat 8(大地衛星 8)是美國於 2013 年 2 月 11 日發射的地球觀測衛星，它是 Landsat 地球資源衛星計畫的第一

八顆衛星，為大地衛星資料的連續性任務 (Landsat Data Continuity Mission, LDCM)，是美航空太空總署(NASA)和美國地質調查局 (USGS) 的設計合作發射。Landsat 8 的再訪週期為 16 天，包含作業地表成像儀(Operational Land Imager, OLI)及熱紅外線感測器(Thermal Infrared sensor, TIRS)，OLI 具有九個頻道，包含可見光、紅外線至短波紅外線，空間解析度 30m；TIRS 有兩個熱紅外線頻道，空間解析度 100m 重新取樣為 30m，衛星影像南北長約 170km，東西寬約 185km。本研究應用 Landsat 8 的 L1 資料，選取雲覆蓋面積小於 10% 的影像進行研究分析，自 2013 年發射至 2015/07/01 計 14 幅影像。一般模擬軟體如 MODTARN 或 MODIS 的 AOD 反演僅針對綠光(550 μm)波段，本研究嘗試對第一頻道(0.43~0.45 μm ，氣膠觀測)、第二頻道(0.45~0.51 μm)、第三頻道(0.53~0.59 μm)及第四頻道(0.64~0.67 μm)依據前述方程式反演 AOD，若太陽輻射計觀測頻道無對應的衛星頻道則以 Ångström turbidity 方程式求 AOD 以便驗證反演結果。Landsat 8 的觀測方式為星下點(nadir)觀測，觀測角度為零，此特性明顯降低因不同軌道的觀測幾何與大氣混濁度造成計算的誤差。Landsat 8 北京地區的 path/row 為 123/32，影像範圍內涵蓋三個太陽輻射計測站，分別為 Beijing、Beijing_CAMS 及 Beijing_RADI，測站間最遠距離為 7.8km，一幅影像涵蓋三個測站利於演算結果的驗證，測站位置及影像覆蓋範圍請參考圖 1。



圖1 Landsat 8北京影像(紅色氣球為影像中心)及太陽輻射計三測站位置(黃色圖釘)。

四、結果分析與討論

都市地區地表覆蓋物複雜，不同的影像視窗大小反射率常有明顯差異，因此本研究將分析視窗自 3x3(pixel)、7x7(pixel)...至 23x23(pixel) 等，分析 AOD 反演結果。為

了瞭解可見光四個頻道反射率受 AOD 的影響，首先分析各個頻道顯反射率與 AOD 的關係。圖 2 為第一頻道顯反射率與 AOD 間的迴歸(regression)關係，圖中可知 R^2 最低為 RADI 的 0.75，最高為 Beijing 的 0.95，三測站的平均(site averaged)為 0.96。圖 3 為四頻道三測站隨不同視窗大小的反射率與 AOD 間迴歸關係，第四頻道紅光相關係數 r 為 0.81 最低，主因於波長較長的紅光較不受氣膠的影響，整體而言 11x11 的視窗大小較優於其它視窗的迴歸，由此可知 Landsat 8 可見光頻道適用於氣膠的反演。

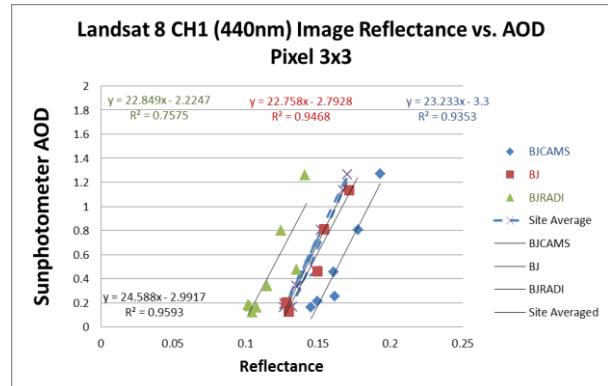


圖2 Landsat 8 第一頻道(440 μm)顯反射率與 Beijing、Beijing_CAMS 及 Beijing_RADI 三太陽輻射計測站 AOD 間迴歸關係。

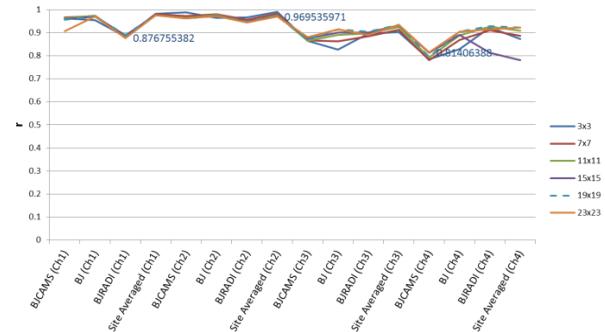


圖3 Landsat 8 四頻道三測站，隨不同視窗大小的反射率與 AOD 間迴歸係數。

本研究以 Beijing 測站為例，依 Sifakis 依據 RTE 觀念反演 AOD 獲得不錯的計算結果，圖 4 顯示四個頻道以 RTE 反演(實線)結果與觀測 AOD 的相關係數，除視窗 7x7 外，均較反射率(虛線)結果高，其中紅光的相關係數 0.96 改進最大，其次為綠光 0.97。視窗 11x11、15x15 及 19x19 間相關係數變化不明顯，為了方便省時可採取 11x11 視窗。一般而言，視窗越大影像涵蓋的地表覆蓋物越複雜，隨時間改變的可能性越高，例如建築物的增減，植被地區受季節的影響而生的榮枯變化，皆未列入探討。Landsat 8 正下方觀測的特性，降低了反演方程式中變數 $\cos \theta$ 的影響，因為當大氣混濁度增加時無法以簡單幾何計算 AOD。

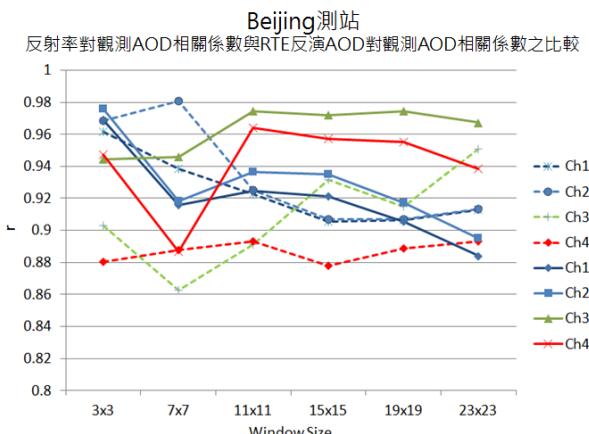


圖 4 Beijing 測站四頻道反射率及 RTE 反演 AOD 與測站觀測 AOD 間相關係數

致謝

使本研究得以順利完成，首先感謝太空及遙測中心提供之各項資源，以及科技部提供之研究經費補助(計畫編號：MOST104-2119-M-008-016)，謹特此深致謝忱。

五、參考文獻

Giles D. M., Holben B. N., Eck T. F., Sinyuk A., Smirnov A., Slutsker I., Dickerson R. R., Thompson A. M., and Schafer J. S., “An analysis of AERONET aerosol absorption properties and classifications representative of aerosol source regions”. Journal of Geophysical Research, VOL. 117, D17203, doi:10.1029/2012JD018127, 2012.

Holben, B., Vermote, E., Kaufman, Y. J., Tanré D., Kalb, V., 1992. “Aerosol retrieval over land from AVHRR data—Application for atmospheric correction”. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 30(2), pp. 212–222.

Hsu, N. C., Tsay, S. -C., King, M. D., Herman, J. R. 2004. “Aerosol properties over bright-reflecting source regions”. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 42(3), pp. 557-569.

Kaufman, Y. J., Wald, A. E., Remer, L. A., Gao, B. -C., Li R. -R., Flynn, L., 1997. “The MODIS 2.1- μ m channel-correlation with visible reflectance for use in remote sensing of aerosol”. IEEE

Transactions on Geoscience and Remote Sensing 35(5), pp. 1286-1298.

Retalis, A., Sifakis, N., 2010. “Urban aerosol mapping over Athens using the differential textural analysis (DTA) algorithm on MERIS-ENVISAT data”. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 65, pp. 17-25.

Sifakis, N., Deschamps, P-Y., 1992. “Mapping of pollution using SPOT satellite data”. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 58 (10), pp. 1433-1437.

