

# Himwari-8在大氣透射率與路徑輻射之解析與氣膠光學厚度反演之應用

孫達旻<sup>1</sup> 張淵翔<sup>1</sup> 張國恩<sup>2</sup> 曾聖凱<sup>2</sup> 林唐煌<sup>3</sup>  
遙測科技碩士學位學程<sup>1</sup> 太空科學研究所<sup>2</sup> 太空及遙測研究中心<sup>3</sup>  
國立中央大學

## 摘要

氣膠光學厚度(Aerosol Optical Depth, AOD)對於空氣品質的監測是個極為重要的參考指標之一。地球同步衛星Himawari-8(H-8)具有16個不同波段及每10分鐘高時間解析度之觀測資料，對於高時空變化空氣污染之監測應用相當適合。本研究針對H-8觀測資料配合多輻射傳輸方程法(Simultaneous Radiative Transfer Equation Method, SRTEM)，應用輻射傳送模式Second Simulation of a Satellite Signal in the Satellite Spectrum (6S)解析大氣透射率(transmittance)和路徑輻射(path radiance)，根據其結果反演目標區之AOD。本文首先以Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) 資料進行可行性分析，並以地面觀測(AERONET)和MODIS AOD產品為參考進行結果之評估。整體而言，個案的測試結果顯示，H-8資料在AOD之反演可行性極高，但部分地區仍有改善的空間。

關鍵字：氣膠光學厚度、Himawari-8、大氣透射率、路徑輻射、輻射傳輸方程

## 一、前言

近年來，氣膠議題廣泛受到全球各國的關注，科學家們發現氣膠不僅會對溫室效應及生態環境造成影響，甚至會對呼吸系統形成傷害。但AOD反演的過程相當複雜且不易估算，而現行普遍被大眾所接受的AOD產品為MODIS產品及AERONET(AERosol RObotic NETwork)觀測資料。MODIS衛星屬於太陽同步衛星，雖然具有高空間解析度，但一天兩次的觀測週期，無法即時且有效地監測高時空變動的空氣污染。而AERONET雖可以提供高時間解析度之資料，但受限於測站位置而無法提供區域分布之訊息。因此本研究嘗試利用地球同步衛星H-8觀測資料，根據SRTEM進行AOD之反演，並透過MODIS資料進行此方法之可行性分析，未來期望應用此方法於H-8每10分鐘之觀測資料，以便即時監測空氣污染。

## 二、研究資料

本研究中使用空間解析度為1km之MODIS藍光(470nm)進行可行性分析。H-8則使用空間解析度為1km之藍光(460nm)與綠光(510nm)進行測試。

### (一) MODIS

在可行性分析中使用MODIS顯反射率資料(MOD021KM)、地表反射率產品(MOD09)及雲遮罩產品(MOD35\_L2)進行SRTEM的計算。另外MOD09

產品內之路徑輻射資料及AOD 3km氣膠產品(MOD04\_3K)皆用於分析與比對本方法之反演結果。

### (二) Himawari-8

目前H-8尚未有地表反射率產品釋出，故本研究利用最小反射率技術建立地表反射率資料庫，並配合6S模式進行雷利校正。另外利用Cooperative Institute For Meteorological Satellite Studies (CIMSS) 中NOAA/NESDIS Operational Cloud Processing System : CLAVR-x 模擬得到H-8雲遮罩產品。

## 三、研究方法

### (一)多輻射傳輸方程法 (SRTEM)

太陽輻射能量會受到大氣與地表之吸收、散射及反射等交互作用影響，使得衛星所接收到的輻射能量與當初入射之太陽能量會有很大的不同。Kokhanovsky, A.A.等人在*Satellite Aerosol Remote Sensing Over Land* (2009) 一書中，將此物理現象以輻射傳輸方程(RTE)描述，如下式：

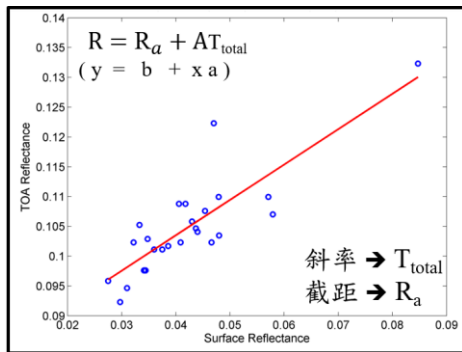
$$R = R_a + \frac{AT_1T_2}{1 - A\gamma}$$

其中，R為衛星所觀測之顯反射率； $R_a$ 為未受地表影響之大氣反射率，又稱為路徑輻射；A為目標處之地表反射率； $T_1$ 與 $T_2$ 分別為太陽至地表的總穿透率及地表至衛星的總穿透率； $\gamma$ 則是大氣的球面反照率。而一般來說，球面反照率與地表反射率之乘積項  $A\gamma$  幾乎遠小於1，另外再將兩段穿透率 $T_1$ 與 $T_2$ 之乘積以總穿透率 $T_{total}$ 描述之，因此可將式子化簡如下所示。

$$R = R_a + AT_1T_2$$

$$R = R_a + AT_{total}$$

SRTEM是假設在一視窗區內，例如5 x 5像素之視窗範圍，其路徑輻射( $R_a$ )與總穿透率( $T_{total}$ )皆為定值，亦可以說是在這範圍內之大氣成份並無變化。而不同像素分別有不同衛星顯反射率( $R$ )及地表反射率( $A$ )數值，即表示一視窗中有數個RTE，但只有 $R_a$ 與 $T_{total}$ 兩個未知數，因此可以利用聯立方程式的方法來求取 $R_a$ 與 $T_{total}$ 。其概念如同將視窗區內所有地表反射率及衛星顯反射率數值以一散佈圖表示，並擬合一條線性直線，其斜率即為 $T_{total}$ ，y軸截距則是 $R_a$ ，如圖(一)所示，同時此方程式即為最佳描述視窗區內大氣狀況的RTE。



圖(一) SRTEM求取 $R_a$ 與 $T_{total}$ 之示意圖

### (二) 穿透率與AOD

穿透率大致上可以分為兩種，一種為直接穿透率(Direct Transmittance,  $t_{dir}(\theta)$ )，另一種為漫射穿透率(Diffuse transmittance)，而二者所貢獻之總量則為總穿透率。根據比爾定律(Beer's Law)，直接穿透率可表示為下式， $\tau$  為總光學厚度， $\theta$  則為太陽天頂角或衛星天頂角。因此若將 $T_{total}$ 轉為  $t_{dir}(\theta)$ ，便可計算出AOD數值。

$$t_{dir}(\theta) = \exp(-\tau/\cos \theta)$$

為了求取直接穿透率與總穿透率間之關係，本研究根據6S使用說明(Vermote E.,1997)及6S模式，模擬及建立二者在不同天頂角與AOD情況下之關係式。在模擬過程中需考慮氣膠種類，然而目前尚無方法可事先得知確切的種類，因此本研究使用6S模式中差異最大的兩種氣膠種類，都市種類及生質燃燒種類，根據6S設定之單次散射反照率(Single Scattering Albedo, SSA)，其分別屬於強吸收種類與強散射種類。如圖(二)及圖(三)。根據這些關係式便可獲得兩種種類下之AOD。

### (三) 路徑輻射

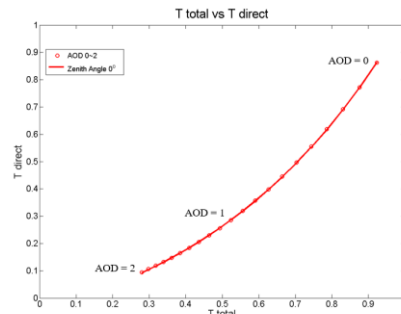
路徑輻射在衛星觀測的顯反射率中，屬於大氣方面所提供的貢獻量，其意味著此參數深受大氣成分與狀況影響，依據前小節所得到之AOD，配合6S模式可估算出其種類下之路徑輻射。而Kokhanovsky,A.A. 等人在 *Satellite Aerosol*

*Remote Sensing Over Land* (2009)一書中提到，路徑輻射可以用下列公式描述之。

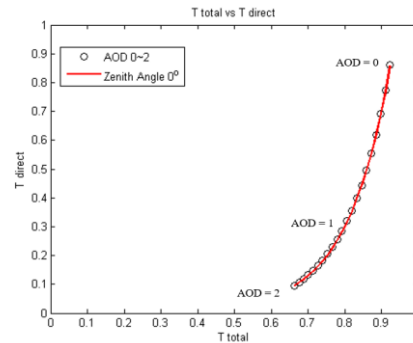
$$R_a = \frac{\omega_0 P}{4(\mu_s + \mu_v)} (1 - \exp(-M\tau))$$

$$R_a = \frac{\omega_0 P \tau}{4\mu_s \mu_v}$$

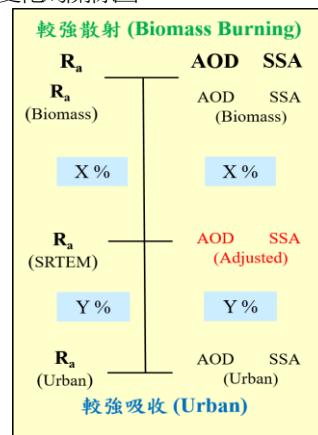
其中， $\omega_0$  為SSA； $P$ 為相位函數； $\mu_s$ 與 $\mu_v$ 為 $\cos(\theta_s, \theta_v)$ ， $\theta$ 分別為太陽與衛星之天頂角； $M$ 為 $\mu_s$ 與 $\mu_v$ 之倒數相加，從公式中可以發現，路徑輻射與AOD及SSA皆為正比關係，因此吾人認為可以先嘗試使用三種路徑輻射之間的線性比例，並應用於反演混合種類下之AOD甚至是SSA數值，其示意圖如圖(四)。



圖(二) 天頂角為 $0^\circ$ 時，都市種類之總穿透率與直接穿透率隨AOD變化的關係圖

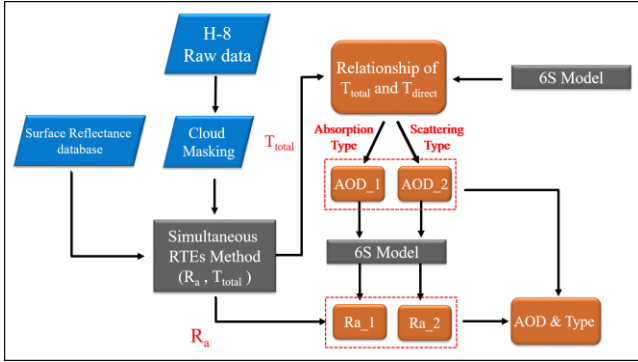


圖(三) 天頂角為 $0^\circ$ 時，生質燃燒種類之總穿透率與直接穿透率隨AOD變化的關係圖



圖(四) 根據不同路徑輻射間的比例，應用於估算AOD及SSA之示意圖

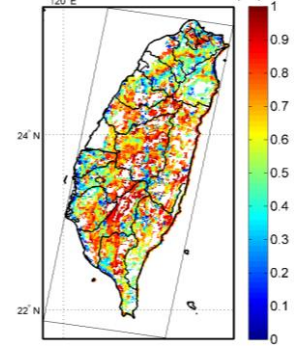
(四) 研究架構



圖(五) 本研究之流程圖

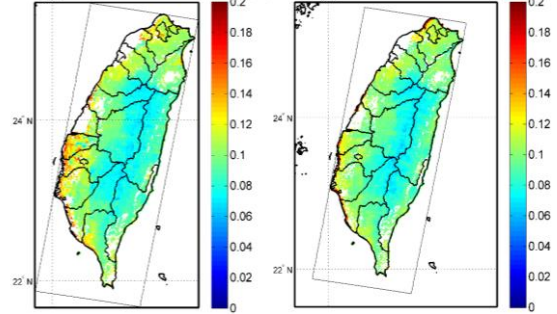
本研究架構如圖(五)所示，首先利用CLAVR-x 雲遮罩產品濾除受雲影響之地區，再透過SRTEM求取路徑輻射與總穿透率，並配合事前所建立之轉換關係式，將穿透率轉換為兩種氣膠種類下之AOD，並依據6S及SRTEM所得到的路徑輻射間之比例，對AOD進行調整，進而獲得混合氣膠種類下之AOD。反演結果與MODIS AOD產品及AERONET地面觀測站進行品質驗證。

MODIS SRTEM Tall (B)



圖(六) SRTEM之MODIS藍光(470nm)總穿透率 $T_{total}$

MODIS SRTEM path radiance (B) MOD09 path radiance (B)



圖(七) (左) SRTEM MODIS 藍光(470nm)路徑輻射之結果 (右) MOD09產品藍光(470nm)之路徑輻射之結果

四、結果與討論

MODIS與H-8可行性測試之日期皆為2015年11月17日0230UTC，研究地區為台灣本島，使用窗區之範圍為5km x 5km。

(一) MODIS資料之可行性測試及分析

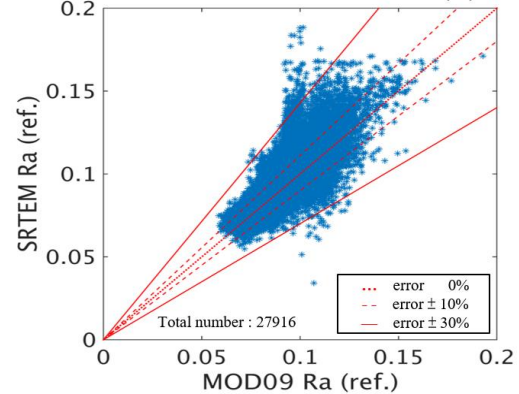
首先，MODIS資料應用於SRTEM所到的總穿透率及路徑輻射結果分別為圖(六)與圖(七)，然而MOD09中只提供藍光波段結果，因此MODIS測試方面以藍光(470nm)為主。

圖(六)顯示出，總穿透率分布較為不連續，有許多區域數值浮動地相當的大，尤其是台灣山區的部分。推測其原因主要為山區地形較為複雜，背陽面與正陽面錯綜複雜，導致山區有許多陰影部分，且山區地區較易形成雲，碎雲亦會造成計算上的誤差，以上原因皆會大大影響到總穿透率的推算，因此在本研究中，暫不考慮海拔高於500m山區地區。

從圖(七)可以發現，SRTEM的路徑輻射相當的連續，且空間分布與MOD09相比具有極高的相似度。若將其二者以一散佈圖表示，如圖(八)，可以發現兩者數值之誤差大致在正負30%以內。但整體而言SRTEM之路徑輻射結果，仍然有一定程度的可信度。

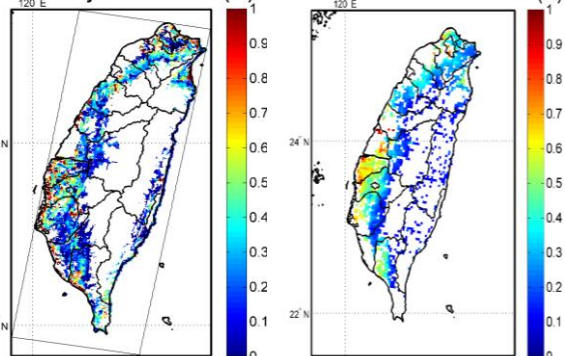
本研究方法反演的AOD與MOD043KM產品比較，如圖(九)，事件地區皆有呈現其分布狀況，但數值方面皆低估約0.1左右，有些地區甚至到0.3，圖(十)，造成AOD低估之原因，主要是因為總穿透率在計算時有高估之狀況，認為後續須針對穿透率之部分進行深入的探討與解析。

MOD09 vs SRTEM Ra (B)

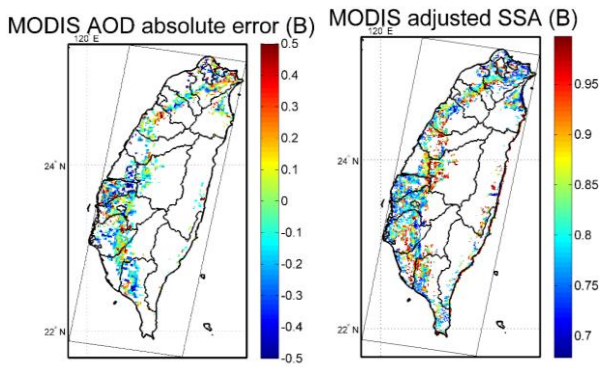


圖(八) SRTEM與MOD09之藍光路徑輻射之散佈圖

MODIS adjusted AOD (B) MOD04 3km AOD 0230 UTC (B)



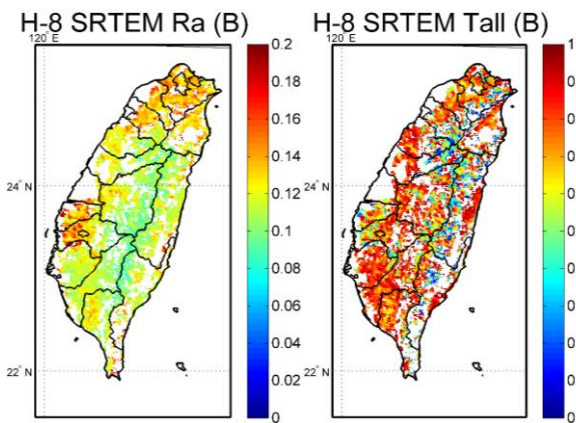
圖(九) 本研究方法應用於MODIS藍光上所反演之AOD結果與MOD04 3km之AOD比較。



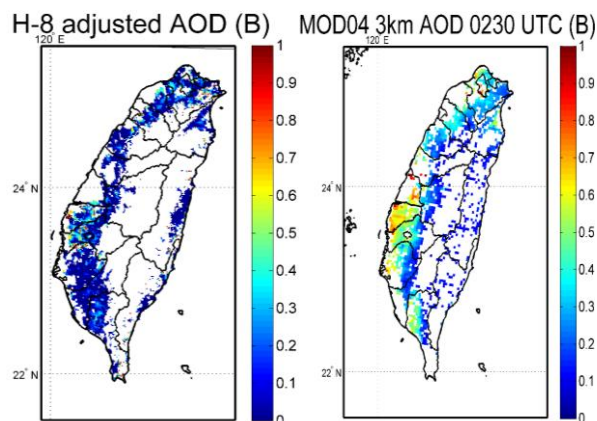
圖(十) (左)藍光AOD結果與MOD04 3km產品之絕對誤差  
(右) 根據本研究方法所估算之藍光波段的SSA

## (二) Himawari-8資料之可行性測試及分析

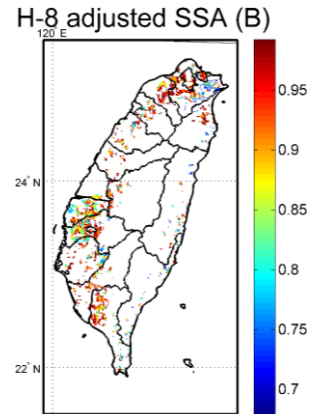
H-8在可行性測試及分析部分，同樣利用藍光波段(460nm)進行測試。而SRTEM之路徑輻射與總穿透率結果，如圖(十一)。其中路徑輻射同樣有相當連續之空間分布，但總穿透率結果也出現不連續及浮動很大等問題。



圖(十一) (左) SRTEM H-8 藍光(460nm)之路徑輻射  
(右) SRTEM H-8 藍光(460nm)之總穿透率



圖(十二) 本研究方法應用於H-8 藍光，所反演之AOD結果(左)與MOD04 3km之AOD(右)比較。



圖(十三) 根據本研究方法所反演的H-8 藍光波段之SSA

圖(十二)顯示出，高AOD的地區雖得以區分，但數值方面與MODIS相比皆低估許多，造成低估之原因與MODIS測試時相同，多項輻射傳輸方程所計算的總穿透率，有普遍高估的情形，因而造成後續在反演AOD時有許多誤差。

## 五、結論與展望

從MODIS及Himawari-8的可行性測試結果顯示出，SRTEM所計算出的路徑輻射之空間分布皆具有相當的連續性，且數值與MOD09產品相比雖有些高低估之地區，但整體而言相當的穩定；反之，總穿透率時常出現不連續之區域，其數值相對於路徑輻射而言較為不穩定，且總穿透率在計算時較容易受到碎雲及陰影之影響，使得後續反演AOD時有較大的誤差出現。

未來會對總穿透率進行較深入之分析及探討，以便改善其對於AOD反演之誤差，同時也會考慮從路徑輻射方面進行AOD反演。

## 六、參考文獻

- Kokhanovsky, A.A., et al. (2008) *Aerosol Optics*, Berlin : Springer-Praxis
- Kokhanovsky, A.A., and Gerrit de L., (2009). *Satellite Aerosol Remote Sensing Over Land*. Berlin : Springer-Praxis
- Vermote E., Tanré D., Deuzé J. L., Herman M., and Morcrette J. J. (1997) *6S User Guide Version 2*,
- 張國恩, (2010)。MTSAT-1R 衛星資料在東亞沙塵暴監測及氣膠光學厚度反演之探討。國立中央大學太空科學研究所碩士論文，中壢

