

台灣地區懸浮微粒光學厚度之衛星觀測與校驗

陳詠昌¹ 林博雄¹ 劉紹臣² 朱定中³

¹台灣大學大氣科學系

²中央研究院環境變遷研究中心

³美國太空航空總署

摘要

本研究利用台灣地區 AERONET(Aerosol Robotic Network) CIMEL sunphotometer 地面觀測網之觀測，得出台灣西岸都市懸浮微粒光學厚度(AOD)約是蘭嶼大氣的 1.3 到 1.8 倍之多。Terra 衛星 MODIS 輻射計對於同一時間和空間地點的 AOD 遙測則有低估之現象。CIMEL AOD 和 MODIS AOD 之相關分析顯示，台北、中壢、台南和蘭嶼等地的相關係數分別高達 0.68、0.79、0.63 和 0.99，越乾淨的地區兩種資料的相關程度也就越高，與先前歐美等地的研究結果相近。此外，在 MODIS AOD 和環保署地面 PM₁₀ 濃度資料相關分析上，發現台北和中壢兩地的相關係數都未通過 95% 信賴區間檢定，僅有台南以及這三處城市合併計算才通過信賴度檢定；欲透過衛星單一 pixel 資料來推估地面某一測點的 PM 質量濃度，仍需進一步透過不同天氣條件個案分析之整理分析。

Abstract

This study analyzed the aerosol optical depth (AOD) from AERONET CIMEL ground-base sunphotometers at Taiwan, and found that AOD in western coast cities were 1.3 to 1.8 times than Lanyu island. AOD

measurement from MODIS radiometer on Terra satellite had underestimated bias at the same places and the same times. The correlation analysis of CIMEL AOD and MODIS AOD showed that the correlations are 0.68、0.79、0.63 and 0.99 at Taipei, Chungli, Tainan and Lanyu sites. The clearer the site is, the higher the correlation of these two measurements. The result is consistent to previous studies. We found the correlations of MODIS AOD and EPA PM₁₀ aerosol density measurement didn't pass the 95% confident level, except Tainan site. Using satellite AOD pixel data to correlate with ground PM₁₀ aerosol density is weakened, and more cases study are necessary.

一、前言

懸浮微粒(Aerosol)的氣候變遷影響性仍又有極大不確定性(IPCC,2001)。King et al.(1999)在衛星遙測對流層懸浮微粒之的回顧文獻中，也指出 Aerosol 光學特徵值反演的空間解析度仍不足以滿足科學探索需求。NASA EOS 計畫中的 Terra 衛星所

攜帶的 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), 其空間高解析觀測資料啟開了區域性的 Aerosol 相關研究。Ichoku et al. (2002)和 Chu et al. (2020) 利用 NASA 的 AERONET(Aerosol Robotic Network; Dubovik et al.,2002) 地面 AOD(Aerosol Optical Depth)觀測資料和 MODIS 所觀測的全球和陸地 AOD_{550nm} 進行比較, 發現兩者在陸上和海岸地區的相關係數在 0.68~0.90 之間。王(2002)探討 MODIS AOD_{550nm} 資料和北京與港澳的地面懸浮微粒濃度 (PM₁₀)的相關性, 也認同兩種資料之間的一致性。

本文首先描述台灣地區(台北、中壢、台南、蘭嶼) AERONET 觀測網 CIMEL sunphotometer 儀器的地面 AOD 觀測資料特性(第二節), 然後分析地面觀測 AOD 的統計特徵, 及其和同地同時 MODIS AOD 的相關性, 探討 MODIS AOD 和台灣環保署 PM₁₀ 資料相關性程度, 檢驗衛星對於遙測台灣地區懸浮微粒空間分布的可用性。

二、資料來源與特性

本研究所採用的資料計有 (1)MODIS AOD_{550nm} 遙測資料, (2)CIMEL AOD_{500nm} 地面觀測資料和 (3)地面懸浮微粒濃度 PM₁₀ 等三大類別。MODIS 儀器裝載於 1999 年 12 月發射的 Terra 繞極軌道衛星, 其通過各地降交點時間約在 10:30 LST。MODIS 共有 36 個電磁波輻射頻道, 主要的遙測反演產品有懸浮微粒的物理與光學參數、雲的覆蓋量、大氣穩定度及雲的物理與光學參數, 本文引用的

MODIS AOD_{550nm} 資料是 NASA Goddard Space Flight Center (GSFC)2003 年新版資料品質檢定方法 (Kaufman and Tanre,1998)所處理過後的 Level-2 等級(空間解析度 10km)資料。地面 AOD 觀測方面, 中央大學太空及遙測研究中心首先於 1998 年在該中心頂樓架設 CIMEL sunphotometer, 中央研究院環境變遷研究中心(RCEC)則於 2001 年 2~5 月假 ACE-Asia 國際計劃開始於氣象局蘭嶼測站進行 CIMEL sunphotometer 觀測, 隨後持續在每年 9 月到隔年 5 月, 於台北氣象局測站和台南成功大學(後改在氣象局台南南區氣象中心)頂樓進行同步觀測。RCEC 這兩套 CIMEL sunphotometer 每 15 分鐘自動偵測是否有降水現象、太陽天頂角方位角度定位來進行太陽直射輻射量觀測。觀測資料每週經由網際網路回送 NASA Aeronet 伺服器, 和全球各地 CIMEL sunphotometer 採用一致的資料品質檢定流程後, 我們再採用中的 Level 1.5(濾除雲的影響) AOD_{500nm} 資料; Sunphotometer 硬體部分定期在每年 6~8 月回送美國 NASA/GSFC 進行儀器校驗。地面懸浮微粒 PM₁₀ 濃度資料方面, 是直接採用台灣環保署監資處資料品管後所公佈之數據。

在上述三種資料之間的比對分析中, 時間方面我們採用 Terra 衛星經過臺灣上空時間前後半小時時間區段, 空間方面則以地面觀測點為中心取下 50km*50km 範圍(衛星 pixels 為 5*5), 在這時空定位範圍內至少要有五筆 MODIS AOD_{550nm} 資料才視為有效樣本天數(Chu et al., 2002)。

三、結果與討論

表 1 為 2001~2003 年期間台灣大城市(台北和台南)、衛星城市(中壢)和海島(蘭嶼)的測點的 CIMEL 有效觀測天數,以及各波長 AOD 平均值和標準差。我們發現台南所觀測到的 CIMEL AOD_{670nm} 數值(0.46)略高於台北(0.42),中壢地區則僅為 0.34。如果以蘭嶼的 0.26 為環境背景參考值,那麼台灣西岸都市在 670nm 可見波段的懸浮微粒光學厚度約有 1.31(中壢)到 1.78 倍(台南)之多。台南 AOD 高於台北的理由,應該是受到高屏地區工業污染和冬春兩季天氣型態穩定所造成。雖然中壢 AOD 平均值不高,但是在 AOD 數值變異度卻高於台北和台南,顯示這一地區受到遠地污染物由西向東、或由北往南穿越台灣海峽伴隨綜觀天氣系統影響程度較其他兩城市顯著,高風速現象也造成中壢地區城市通風效率高於台北和台南。蘭嶼測站 CIMEL AOD_{500nm} 數值(0.37)高於南中國海衛星遙測平均值 0.28 (Higurashi et al., 2000),但是 MODIS AOD_{550nm} 數值(0.2)卻又偏低,顯然蘭嶼位於亞洲大陸季風下風處的大陸棚地帶,有較高機會偵測到大陸東岸城市和中南半島菲律賓等地生植燃燒(biomass burning)污染物長程傳送的現象,同時又有太平洋洋面乾淨氣團吹拂的機會。

圖 1 為台北、中壢、台南與蘭嶼的 CIMEL AOD_{500nm} 與 MODIS AOD_{550nm} 的比對結果,相關係數分別為 0.68、0.79、0.63 與 0.99,三處城市的相關係數大致和 Chu et al.(2002)所探討的地中海沿岸和美國東岸等海陸

邊緣城市的 AOD 相關值接近;較為特殊的是蘭嶼所測的 AOD_{500nm} 和 MODIS AOD_{550nm} 兩者的相關係數高達 0.99,可惜 2001 年 2~5 月 ACE-Asia 密集觀測期間,東北季風低層雲系和降水系統經常中斷蘭嶼 CIMEL 觀測,有效樣本數僅有 7 天,這一結果仍待更多觀測證實。表一也顯示 MODIS AOD_{550nm} 和 CIMEL AOD_{670nm} 數據較為接近(台北除外),而非 CIMEL AOD_{500nm};換言之,MODIS 對位於台灣西岸城市的 AOD 遙測反演有低估之趨勢,但地域之間 MODIS AOD 的相對大小在定性上是正確的。

我們進一步檢驗 MODIS 通過台灣上空期間遙測所得的 AOD 空間監測分布和地面 PM₁₀ 懸浮微粒濃度測量的相關性程度,表 2 為台北(17 處 EPA 測站平均)、中壢(4 處 EPA 測站平均)和台南(3 處 EPA 測站平均)和三處合併計算的有效資料比對筆數,和相關係數是否通過 95%信賴區間的一覽;結果顯示,台北和中壢兩地的相關係數都未通過 95%信賴區間檢定,僅有台南以及三處合併計算才通過信賴度檢定,這和王(2002)所討論的港澳地區單一測站 PM₁₀ 質量濃度和 MODIS 單一 pixel 觀測值有顯著相關的結論有所差別。我們認為 MODIS 資料品質檢定程式尚未定版之前,藉由衛星單一 pixel 資料來推估地面某一測點的 PM 質量濃度仍言之過早。未來我們將透過個案討論,來釐定哪些天氣條件下有利兩種觀測的一致性,哪些天氣條件下 MODIS AOD 觀測偏高或 PM₁₀ 觀測偏高。

參考文獻

- 王革新, 2002: MODIS 遙感氣溶膠光學厚度及應用於區域環境, 北京大學博士論文。
- Dubovik, O., B.N.Holben, T.F.Eck, A.Smirnov, Y.J.Kaufman, M.D.King, D.Tanre, and I.Slutsker, 2002: Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations, *J. Atmos. Sci.*, **59**, 590-608.
- Chu, D. A., Y. J. Kaufman, C. Ichoku, L. A. Remer, D. Tanre and B. N. Holben 2002: Validation of MODIS aerosol optical depth retrieval over land, *Geophys. Res. Letters*, **29**, MOD2-1~4.
- Higurashi, Akiko, Nakajima, Teruyuki, Holben, Brent N., Smirnov, Alexander, Frouin, Robert, Chatenet, Bernadette. 2000: A Study of Global Aerosol Optical Climatology with Two-Channel AVHRR Remote Sensing. *J. of Climate*, **13**, 2011 027.
- Ichoku, C., D. A. Chu and S. Mattoo, Y. J. Kaufman 2002: A spatio-temporal approach for global validation and analysis of MODIS aerosol products, *Geophys. Res. Letters*, **29**, MOD1-1~4.
- Kaufman, Y. J. and d. Tanre, 1998: Algorithm for remote sensing of tropospheric aerosol from MODIS. NASA report. ID: MOD04, pp85.
- King, M., Y. J. Kaufman, D. Tanre and T. Nakajima, 1999: Remote Sensing of Tropospheric aerosols from space: Past, Present and Future, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 2229-2259.

表 1：台灣各測點三種波長的 CIMEL AOD 觀測值統計分析結果(μ :平均數, σ 是標準差, N 是樣本數)。

	Taipei	Chungli	Tainan	Lanyu
CIMEL AOD _{670nm}				
	0.42	0.34	0.46	0.26
σ	0.24	0.24	0.22	0.16
N	98	280	134	27
CIMEL AOD _{500nm}				
	0.62	----	0.68	0.37
σ	0.33	----	0.34	0.23
N	98	----	134	27
CIMEL AOD _{440nm}				
	0.69	0.57	0.77	0.42
σ	0.34	0.36	0.37	0.26
	97	280	134	27
MODIS AOD _{550nm}				
	0.29	0.3	0.48	0.2
σ	0.16	0.20	0.22	0.14
N	233	304	253	121

表 2：臺灣地區地面 PM₁₀ 與 MODIS AOD_{550nm} 相關分析結果(R:相關係數, N 是樣本數)。

	R	N	R_95% confident level
Taipei	0.13	118	0.18
Chungli	0.15	143	0.16
Tainan	0.20	102	0.19
Total	0.23	363	0.10

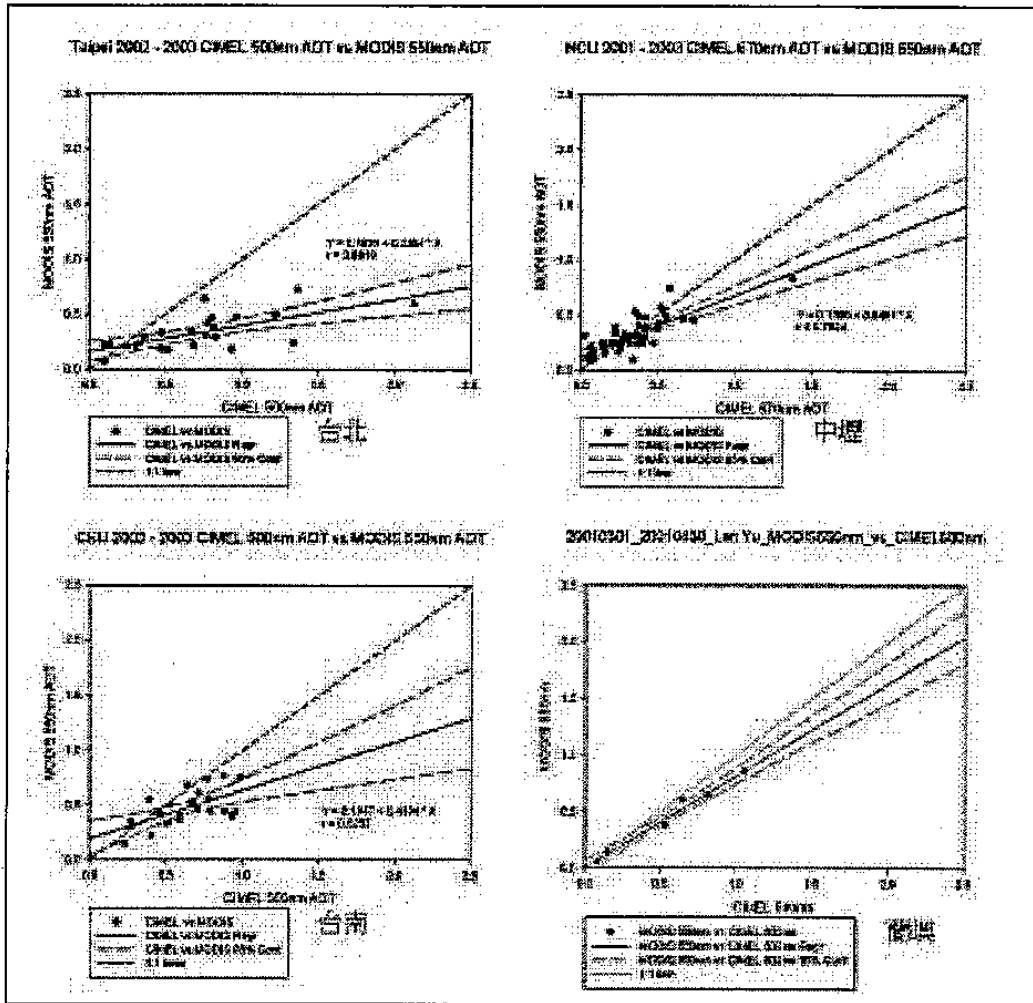


圖 1：各測站 CIMEL AOD_{500nm}(縱軸)和 MODIS AOD_{550nm}(橫軸)的比對結果(圓點)，對角虛線是 1:1 參考線，粗虛線是 95%信賴區間的界線。