

2010年3月21日影響香港的沙塵天氣的個案研究

劉心怡 蔡本良
香港天文台

摘要

2010年3月21日香港受到沙塵影響，黃昏時分，香港環境保護署在香港東區所錄得10微米以下的懸浮粒子(簡稱PM₁₀)的濃度開始急升，在午夜前東區所錄得的PM₁₀更上升至每立方米700微克以上，為1997年環保署開始監測PM₁₀的濃度以來最高紀錄。22日日間PM₁₀的濃度一直維持在每立方米600微克以上，本港的能見度在2000-3000米左右，到晚上才開始好轉。這種情況在香港並不常見。本文將簡述沙塵南下的過程，並討論運用PM₁₀及PM_{2.5}(即2.5微米以下的懸浮粒子)的濃度比，以分辨灰霾或是沙塵引致低能見度。

1. 引言

東亞的沙塵天氣多源自蒙古國戈壁、中國西北及華北各大沙漠(見圖一)。沙塵暴發生的條件包括地表性質(土質鬆軟、乾燥、無植被或草木生長及沒有積雪)及配合的氣象條件(強烈的地面風、大氣垂直不穩定及沒有降雨降雪)。沙塵暴大多發生在冬末到春季,其中以2至4月發生的頻率最高。沙塵暴發生後,比較重的沙粒很快便沈降到地面,在大氣中停留的時間比較短,大多只影響源頭或鄰近地區。但較輕的沙塵在大氣中停留的時間可以很長,甚至長達數星期。過去已有不少文章談到源自蒙古及中國西北地區沙塵暴的長程輸送,影響所及的地區包括台灣、韓國(文獻[1])、日本(文獻[2])、甚至遠達北太平洋及北美洲(文獻[3])。

雖然過去也曾發生過多次源自蒙古國及中國西北地區的沙塵影響香港的過案,但影響都比較輕微,公眾一般沒有察覺。在2010年3月21至22日香港受到沙塵影響,空氣中的懸浮粒子 PM_{10} 的數值上升至超過每立方米700微克,為1997年香港環境保護署開始監測 PM_{10} 的濃度以來最高。由於當時的能見度只有2000-3000米,觀測員需要斷定低能見度的成因。但經過長程輸送後,部分沙塵經已沈降或擴散,大氣中的沙塵比較稀薄,單靠肉眼很難分辨是沙塵、浮塵還是煙霞(灰霾)。一般要取樣作頻譜分析,再由成份斷定它的來源。由於分析需時,氣象觀測上很難應用。本文將簡述這次沙塵的南下過程,比較幾個沙塵模式在這個案的表現,並討論運用 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 的濃度比,分辨灰霾及沙塵。

2. 沙塵南下的過程

在3月18日下午,蒙古西部的高氣壓與中國東北的氣旋之間的緊密梯度產生強風,令蒙古國西部和南部先後出現沙塵天氣,並隨著該組天氣系統向東移動。3月19日,沙塵天氣開始侵襲中國西北部(圖二a)。及至20日,沙塵天氣影響的範圍進一步擴大至中國東北和韓國等地方

(圖二 b)，據報國內 16 個省（市、區）均出現了沙塵天氣，成為 2010 年最強的一次沙塵暴天氣過程，也是中國近年來最嚴重的一次沙塵暴。

在 3 月 20 日 18UTC，雖然沙塵暴已經移向日本，但沙塵天氣仍然影響著中國中部及東部，並因為受到位於東海高氣壓的推動而開始向南移動。同日 21UTC，台灣士林的 PM₁₀ 急升至每立方米 250 微克，同樣的 PM₁₀ 變化在三小時後亦在金門出現。這表示沙塵正急速地向南擴散並已經伸展至台灣。再往後三小時，即 21 日 03UTC，士林的 PM₁₀ 更進一步升越每立方米 1000 微克（見圖三（a））。儘管 PM₁₀ 的數值高企，受影響的地區的天氣並非十分惡劣，台北的能見度仍達 2000 米。

本港方面，3 月 21 日 07UTC 橫瀾島的東風開始增強。雖然普遍來講，東風的情況下本地能見度一般比較好，但這次剛好相反，東風增強後，橫瀾島的能見度由 06UTC 的 8 公里下降到 2000 米左右。09UTC，塔門的 PM₁₀ 急增至超過每立方米 320 微克。隨後東區、銅鑼灣和中環的 PM₁₀ 亦急速增長（圖四），本地的能見度也普遍下降至 2000 米左右。差不多同一時間，深圳寶安的 PM₁₀ 也急升。沙塵隨著東風往西擴散，12UTC 左右，澳門氹仔的 PM₁₀ 也急升至超過每立方米 220 微克，隨後多個小時 PM₁₀ 持續上升，最高更達至每立方米 710 微克，但當時能見度沒有明顯的變化。香港、深圳及澳門三地各站當中，以香港錄得的 PM₁₀ 最高，東區站在 18UTC 曾錄得 PM₁₀ 高至每小時 775 微克。

從美國國家海洋和大氣管理局（NOAA）HYSPLIT 模式計算的 3 月 22 日 00UTC 之反軌跡路線圖（圖五），可以看到 21 日抵達香港之氣團該是來自 3 月 20 日中國東北發生沙塵暴的地區。

3. 遙距監測

氣象衛星是監測沙塵暴的一個非常有效的工具。國家衛星氣象中心(NSMC)為 FY-2 系列衛星發展了一套應用於地球同步成像儀的微塵反

演算法 (DRAGI)。圖六是利用該反演算法在 FY-2D 的數據上推算出在 3 月 19 至 21 日發生沙塵暴地區的產品。由於該產品以顯示沙塵暴影響的地區作優化，不會顯示一些較輕微的沙塵天氣，因此未能顯示沙塵沿台灣海峽南移的情況。而且這個產品每天只在世界氣象組織的沙塵暴警告、諮詢及評估系統(WMO SDS_WAS)內發佈一次，要利用它在業務上追蹤較輕微的沙塵天氣及確定它的影響範圍會有一定困難。

其他的氣象部門或環保署也有發展以同步衛星為基礎的沙塵監測產品，例如台灣環保署基於的 MTSAT 衛星的塵負載 (Dust Load) 產品 (<http://dust.epa.gov.tw/dust/zh-tw/default.aspx>)。該產品約每半小時發出一次。圖七顯示 3 月 21 日 03UTC 的有關產品。雖然這產品有較高的時間分辨率，但亦因為以沙塵暴為優化目標的關係，令反映沙塵天氣的訊號不明顯，影響捕捉到沙塵向南推進的動向。

另外，天文台自發生 3 月的沙塵天氣事件後也開發了兩個使用 MTSAT 衛星多頻道數據的產品，去協助監測沙塵和火山灰。第一個產品是利用“紅外分裂窗通道溫差”(IR2-IR1)技術，由於相對非水氣凝結的微粒(如沙塵和火山灰)，雲的吸收在 IR2 比 IR1 強，因此在沙塵濃度較高的地區，(IR2-IR1)為正值。圖八顯示 3 月 21 日 03UTC 的有關產品。另一個產品是紅外沙塵差值指數(IDDI)，由於沙塵會對地表發射到空間的紅外信號產生衰減，造成衛星探测到的地氣系統亮溫降低，因此將最新的數值與前數天的平均值比對，差值大的便可能是受沙塵影響的地區。圖九顯示 3 月 21 日 03UTC 的有關產品。由於這產品要利用可見光的衛星雲圖，因此只有白天才可以製作有關產品。圖八及圖九顯示，這兩個產品也未能捕捉沙塵沿台灣海峽南移的情況。

在這次個案中，同步衛星都未能捕捉大氣中濃度較低的沙塵。MODIS 的真彩衛星影像則有一點啟示。圖十是 3 月 20 至 22 日的 MODIS 影像。影像中可以見到在 3 月 21 日 05UTC，台灣海峽有一層灰蒙蒙的東西覆蓋著，顯示沙塵正影響該區。但由於 MODIS 衛星每日只能提供一次

香港附近的影像，而且雲層很容易掩蓋其下的沙塵，因此它的用途非常有限。

4. 分辨沙塵與灰霾初探

當沙塵經過長程輸送到華南沿岸時，因為空氣中的沙塵濃度不高，折光的分別很少，天空不會像沙塵暴一般泛黃(文獻[4])，所以要用肉眼分辨沙塵和灰霾實在有相當困難。由於衛星影像未能全天候實時追蹤沙塵的擴散，而且除了台灣空氣品質站外，天文台沒有其他上游站的PM₁₀及PM_{2.5}數據，亦不能單憑天氣報告去監察沙塵天氣的移動，因此觀測員要斷定沙塵是否已經抵達香港，必須有其他的協助工具。

由於沙塵粒子一般比較大，雖然經過長程輸送，PM₁₀的含量仍是比較高。灰霾主要是由人類活動排放的物質所生成的，一般粒子比較小，與PM_{2.5}的關係較密切。因此我們嘗試利用PM₁₀與PM_{2.5}之比，分辨源頭。事實上，在3月21日沙塵到香港時PM₁₀急速上升，同期間PM_{2.5}亦有所上升，然而它的上升速度比PM₁₀低(圖十一)。令PM_{2.5}與PM₁₀的比率在期間內有一個明顯的下降，由原來的0.6至0.8下降至0.3以下，偏離一般水平。翻查過去幾個過案，發現沙塵影響香港時，PM_{2.5}與PM₁₀的比率一般在0.5以下。這個結論可作為一個實時分辨沙塵和灰霾的參考。

5. 影響本地的沙塵預報

互聯網上可下載五個沙塵暴預報模式的產品。不過，韓國氣象廳的預測在進行這項研究時不能再檢索，因此它並不包括在以下的討論。另外從新華網找到的國家氣象中心21日發報的未來三天沙塵濃度變化預報，在此也一併討論。圖十二a至e分別顯示從CUACE/沙塵模式(CMA)，沙塵濃度變化預報(國家氣象中心)，MASINGAR(日本氣象廳)，“沙塵暴預報模式”(國立台灣大學)和NAAPS(美國海軍研究實驗室)，除了國家氣象中心的預測外，所有產品的有效期皆為3月21日

12UTC。

CUACE /Dust 模式只預測在中國北部和西部的沙塵天氣。它並沒有預測沙塵天氣會影響中國東南部，這可能是因為預測濃度低於每立方米 200 微克的臨界值因而沒有顯示。國家氣象中心 21 日發報的未來三天沙塵濃度變化預報，預測沙塵僅僅到達台灣，不會影響華南沿岸。MASINGAR 則預測沙塵僅被東風帶到香港以東汕頭附近(圖 十二 c)。該預測與“沙塵暴預報模式”非常相似，尤其是每立方米 20 微克等高線的邊緣剛好停止在香港的東面(圖 十二 d)。NAAPS 是唯一的模式預測沙塵天氣相當接近香港(圖 十二 e)。但要指出，它預測地面的灰塵濃度約為每立方米 20 微克，遠遠低於實際的量的結果。

從上述探討可以看到，模式一般只可以提供一些沙塵天氣可能會接近香港的徵兆，但是預測表面塵埃的濃度卻比實際的觀測低得多。

6. 總結

在 2010 年 3 月 21 至 22 日在香港出現之低能見度天氣，相信與早幾天在國內出現的沙塵暴有關。由於沙塵經過長程輸送，濃度降低，令肉眼難以分辨低能見度天氣是由沙塵還是灰霾做成。同步衛星產品因以沙塵暴為優化目標的關係，令反映低濃度沙塵天氣的訊號不明顯，未能捕捉以至追蹤其影響範圍。而極軌衛星真彩圖像雖然有所啟示，但因為每天只能提供一次香港附近的影像，而且近地面的沙塵可能受雲層覆蓋而無法觀測，所以它的用途有限。觀測員要實時判別低能見度天氣是由沙塵還是灰霾做成，還是有一定難度。到達香港的沙塵儘管經過長程輸送，由於體積較大的粒子還未全面沉降，空氣中 PM₁₀ 的含量仍然比較高，而令 PM_{2.5} 與 PM₁₀ 的比率明顯較正常情況低，因此可以考慮利用 PM_{2.5} 與 PM₁₀ 的比率，作為一個分辨沙塵和灰霾的實時參考。但由於過去香港受沙塵影響的過案比較少，相關的指標還需要更多過案調教及驗證。

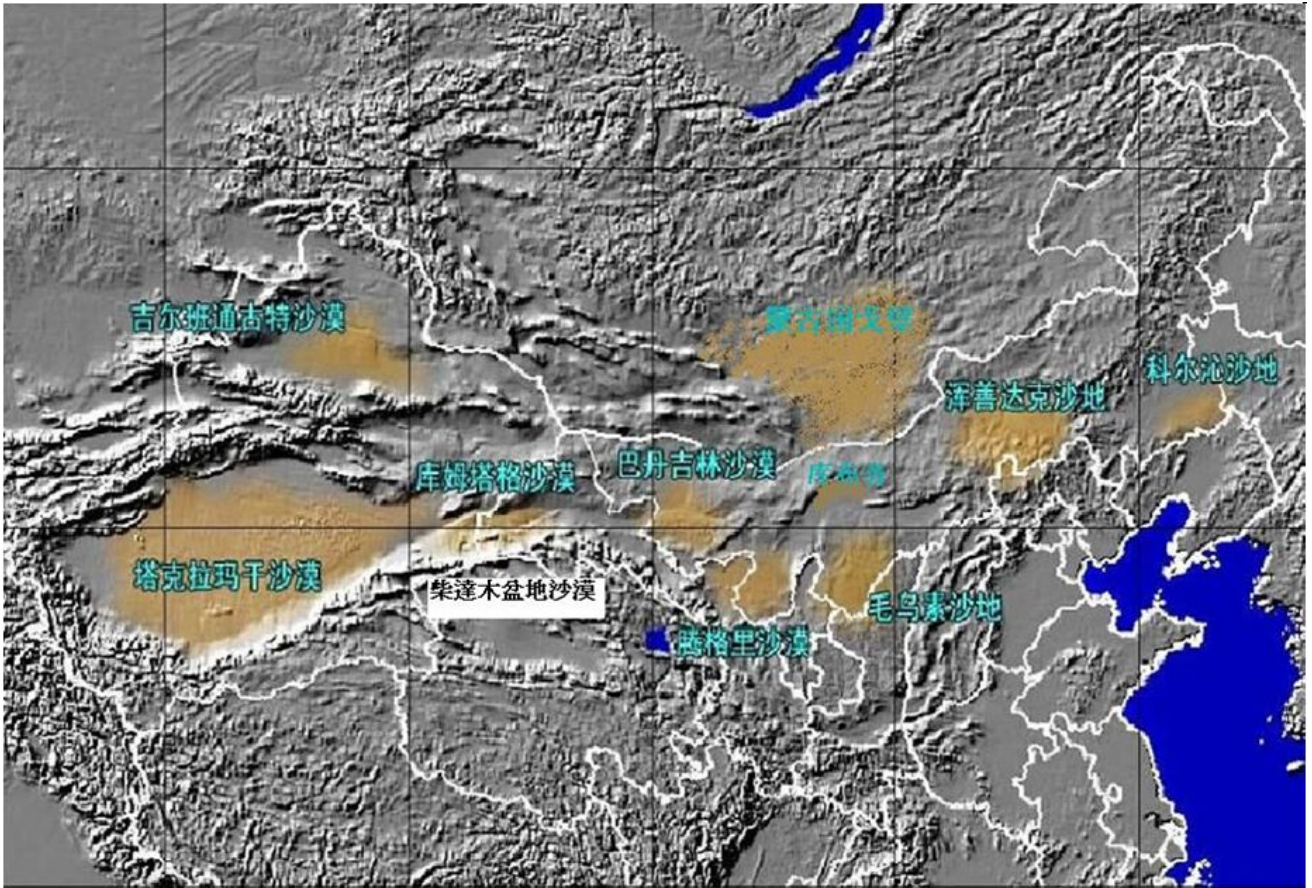
鳴謝

本文所用的 PM₁₀ 及 PM_{2.5} 數據，分別由澳門地球物理暨氣象局、深圳市氣象局及香港環境保護署提供，特此鳴謝。

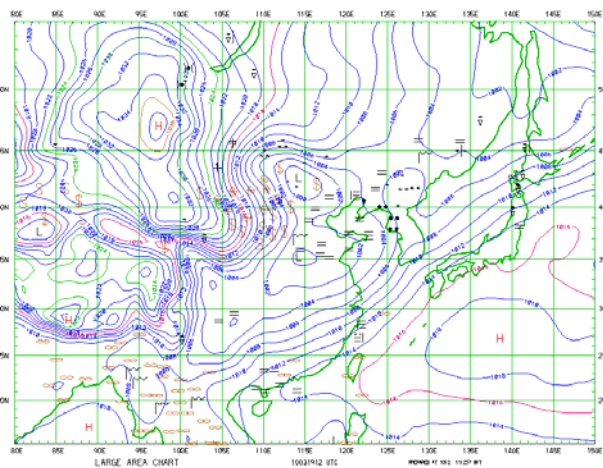
參考文獻

- [1] Chung, Y.S. and Yoon, M.B., 1996. On the occurrence of yellow sand and atmospheric loadings. *Atmospheric Environment*, **30**, pp. 2387-2397.
- [2] Zhou, M., K. Okada, F. Qian, P.M. Wu, L. Su, B.E. Casareto and T. Shimohara, 1996. Characteristics of dust-storm particles and their long-range transport from China to Japan - case studies in April 1993. *Atmospheric Research*, **40**, pp. 19-31.
- [3] Husar, R.B., D.M. Tratt, B.A. Schichtel, S.R. Falke, F. Li, D. Jaffe, S. Gasso, T. Gill, N.S. Laulainen, F. Lu, M.C. Reheis, Y. Chun, D. Westphal, B.N. Holben, C. Gueymard, I. McKendry, N. Kuring, G.C. Feldman, C. McClain, R.J. Frouin, J. Merrill, D. DuBois, F. Vignola, T. Murayama, S. Nickovic, W.E. Wilson, K. Sassen, N. Sugimoto and W.C. Malm, 2001. The Asian dust events of April 1998. *Journal of Geophysical Research*, **106** (D16), pp. 18317-18330.
<http://trs-new.jpl.nasa.gov/dspace/bitstream/2014/15739/1/00-1464.pdf>
- [4] 中華人民共和國氣象行業標準 QX/T 48-2007：地面氣象觀測規範 第4部分：天氣現象觀測。中國氣象局。

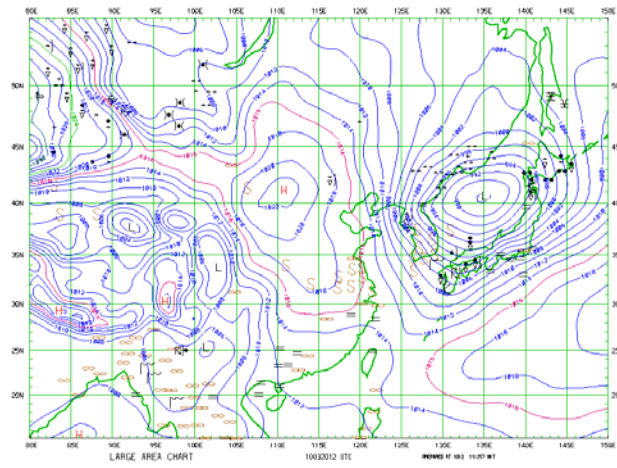
圖一 東亞沙塵暴的主要沙源地：渾善達克、毛烏素、庫布齊、蒙古戈壁、及我國西北地方沙漠等



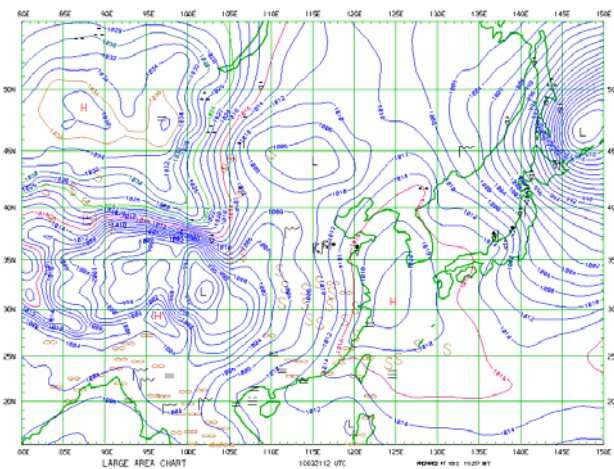
圖二 地面分析圖，受沙塵或灰霾影響的地區以褐色標示。(a) 3月19日 12UTC - 沙塵由戈壁一帶向東南擴散至內蒙、新疆、青海、甘肅、寧夏等地；(b) 3月20日 12UTC - 沙塵暴進一步擴散至韓國，但山東及江蘇地區仍受沙塵天氣影響；(c) 3月21日 12UTC - 沙塵繼續向南推進，中國東南沿岸地區報告受灰霾影響。



(a) 3月19日 12UTC

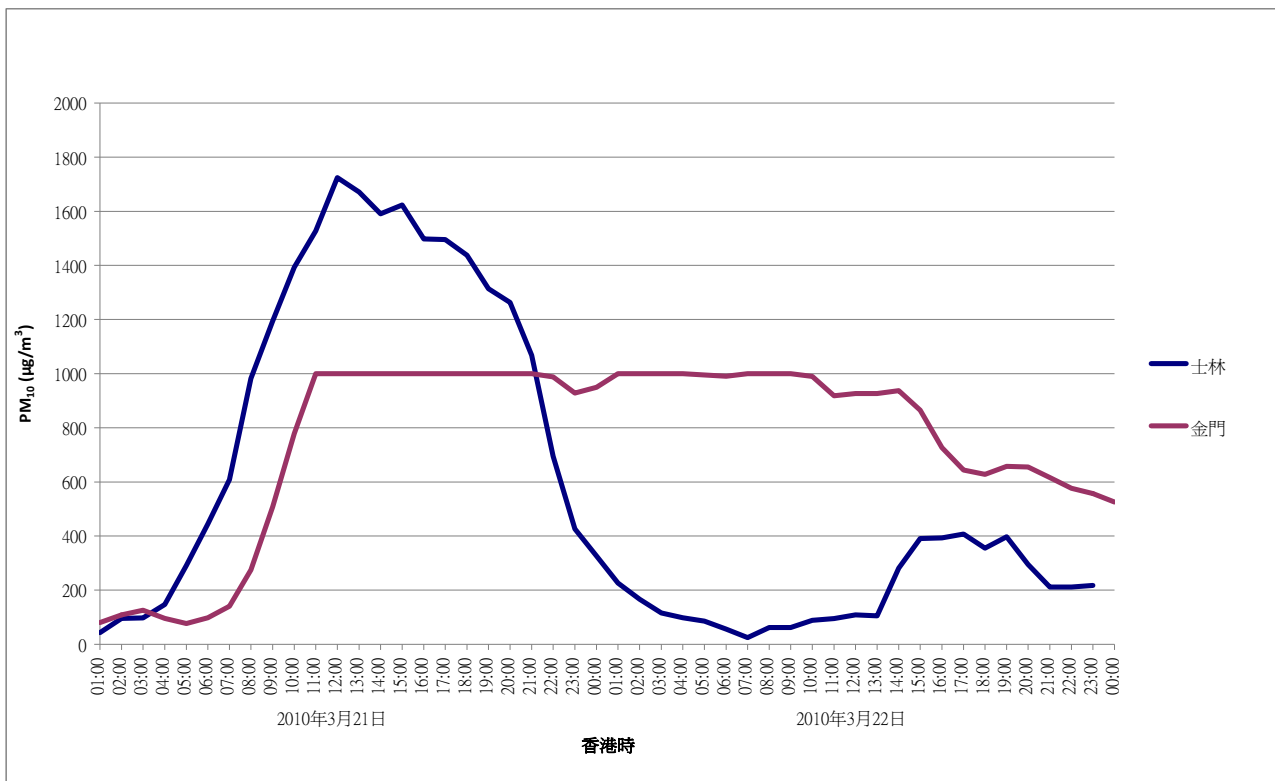


(b) 3月20日 12UTC



(c) 3月21日 12UTC

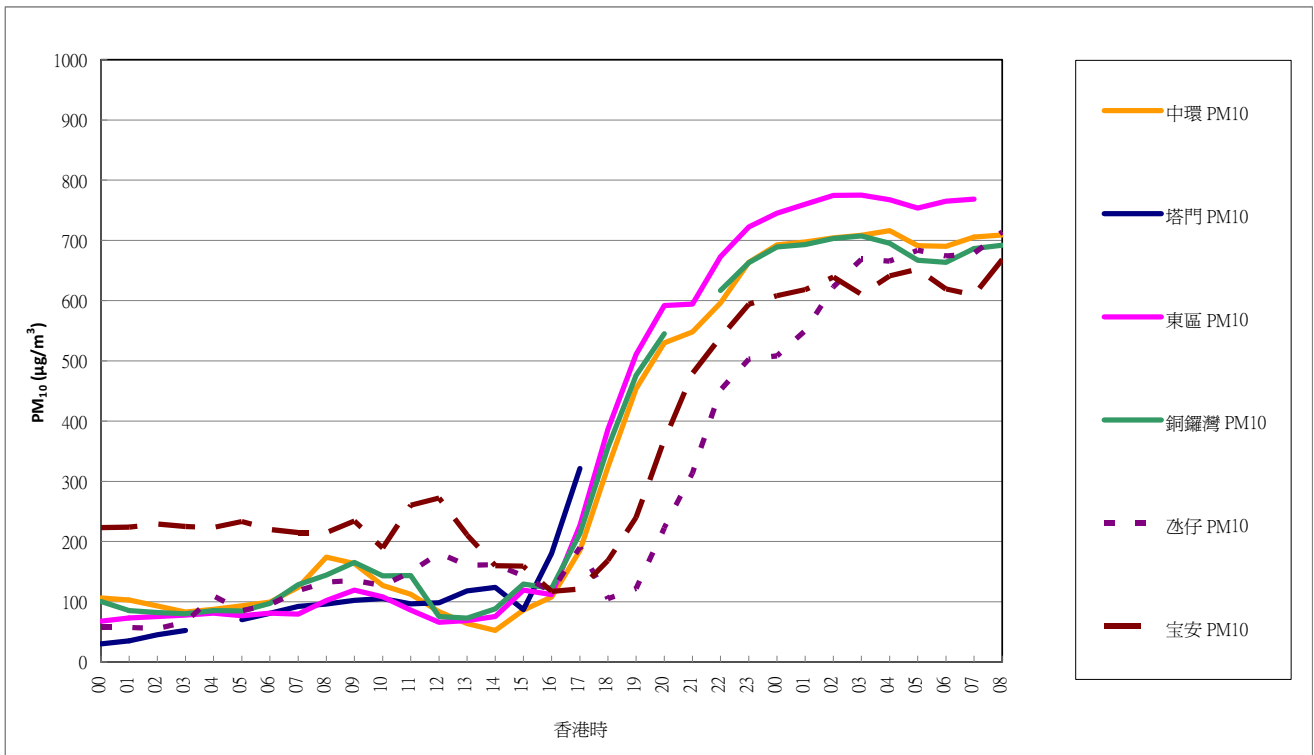
圖三 (a) 台灣士林及金門空氣品質站 PM₁₀ 的時間序列(台灣環保署空氣品質監測網站下載，未經品質驗證)。(註：香港時=UTC+8)



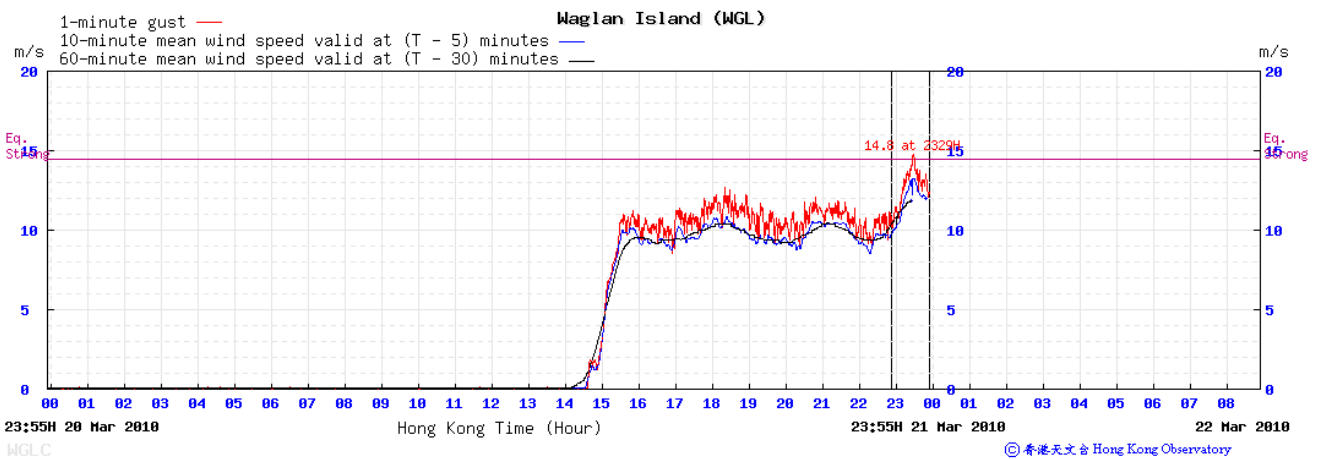
(b) 空氣品質站的位置



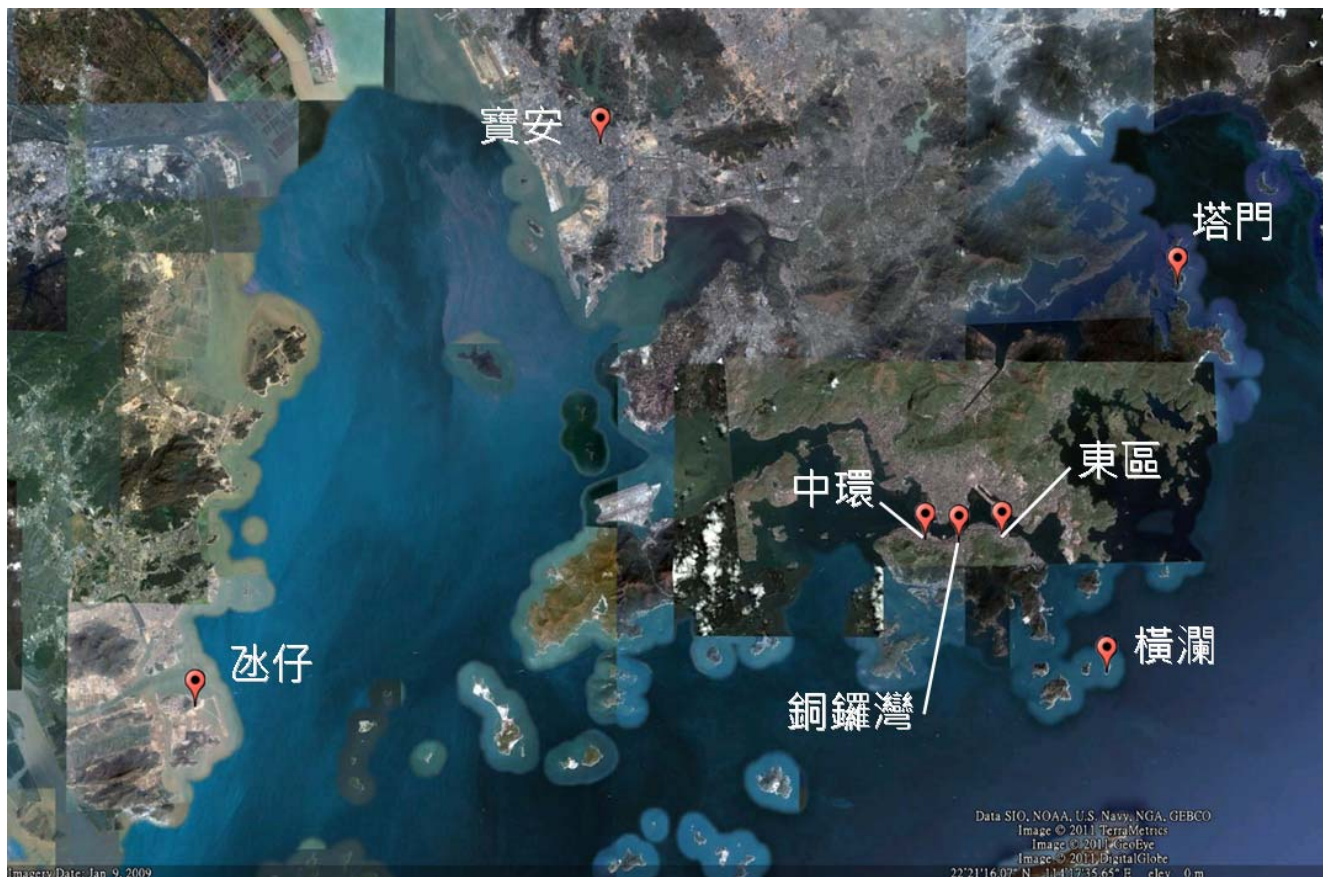
圖四 (a) 香港（環境保護署位於塔門、東區、中環及銅鑼灣的四個監測站）、澳門（氹仔）和深圳（寶安）的 PM₁₀ 時間序列。（註：香港時=UTC+8）



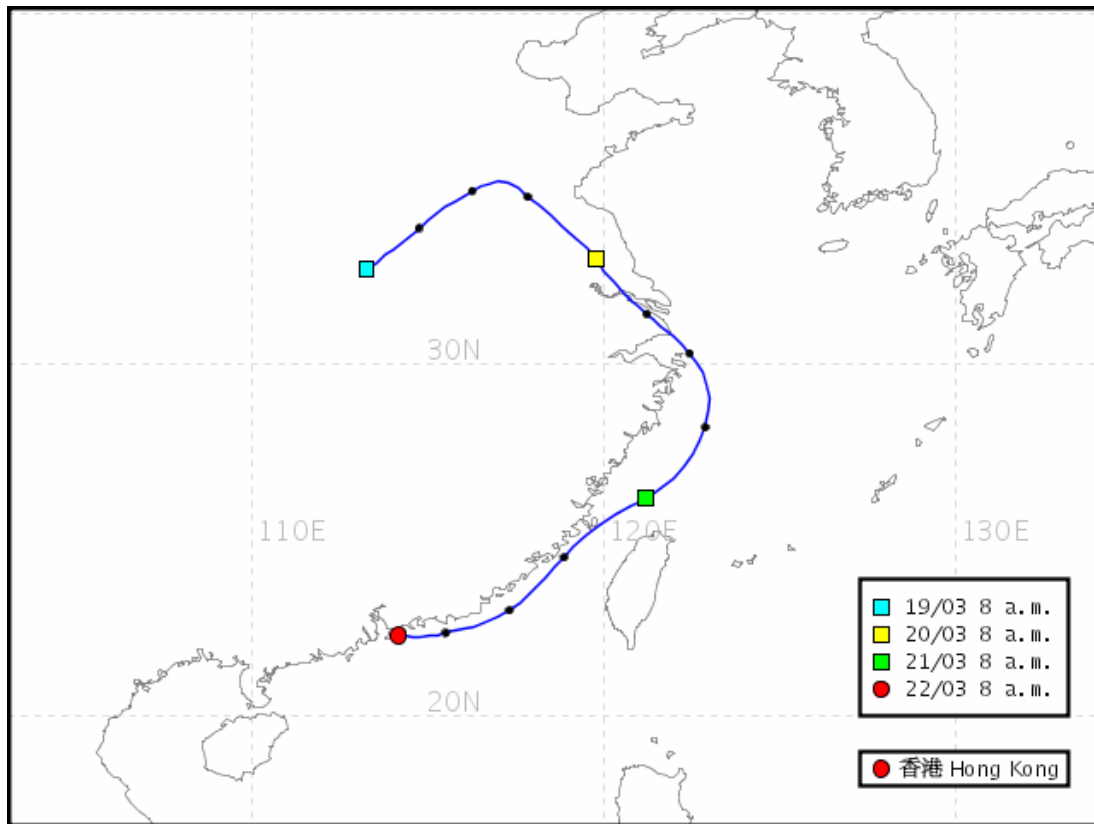
(b) 橫瀾島 1 分鐘陣風、10 分鐘及 60 分鐘平均風速的時間序列。（註：香港時=UTC+8）



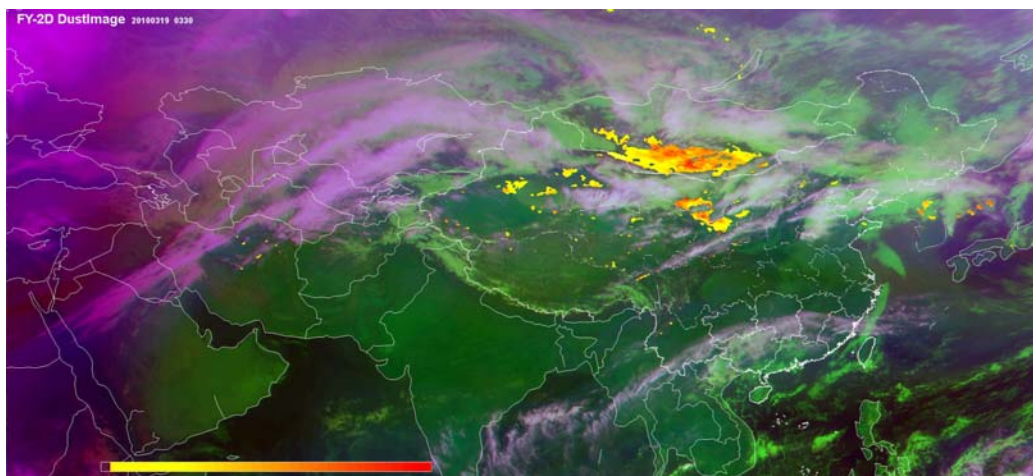
(c) 各監測站的位置



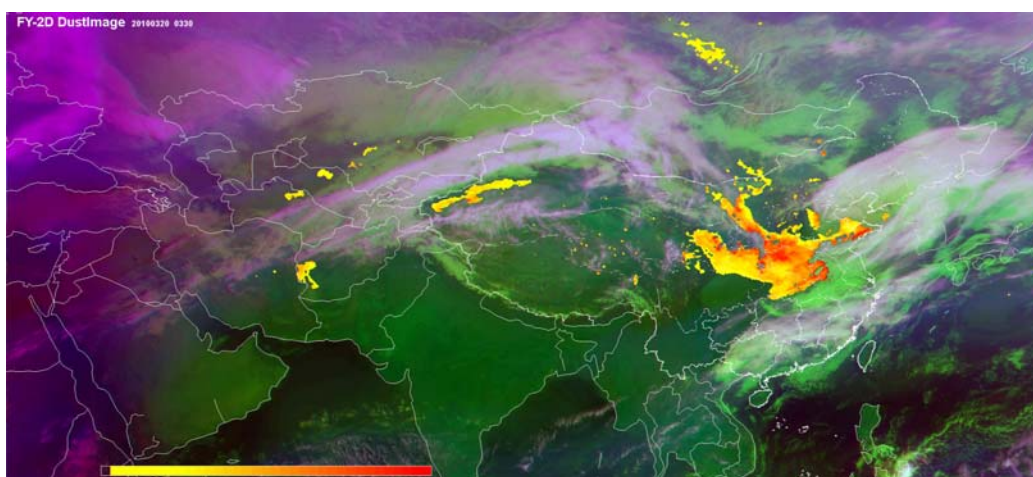
圖五 美國國家海洋和大氣管理局(NOAA)HYSPLIT 模式計算的 3 月 22 日 00UTC 之反軌跡路線圖。



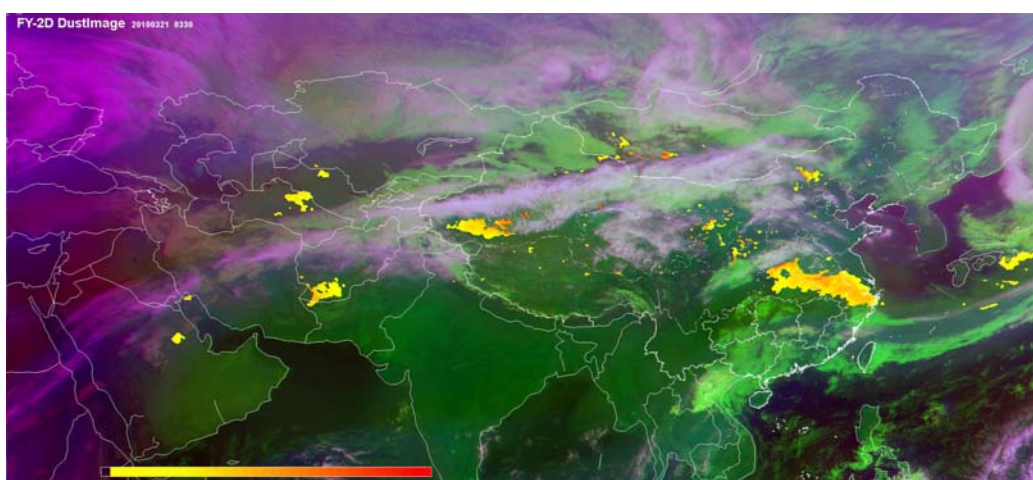
圖六 國家衛星氣象中心(NSMC)利用微塵反演算法(DRAGI)及FY-2D衛星資料，推算沙塵暴影響的地區。



(a) 3月19日 03UTC

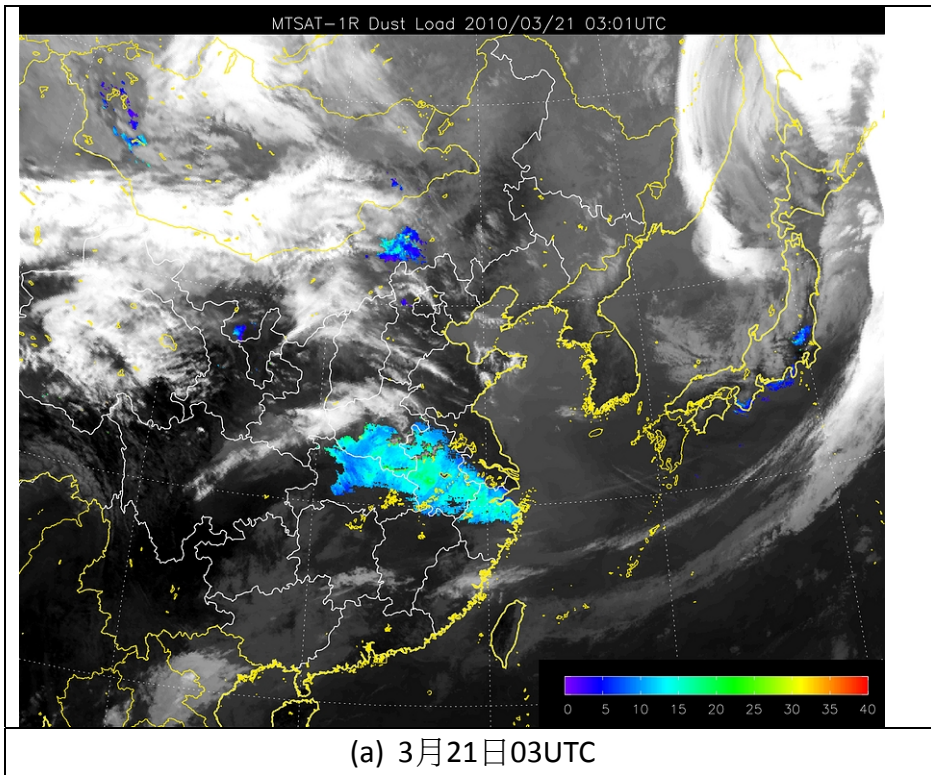


(b) 3月20日 03UTC

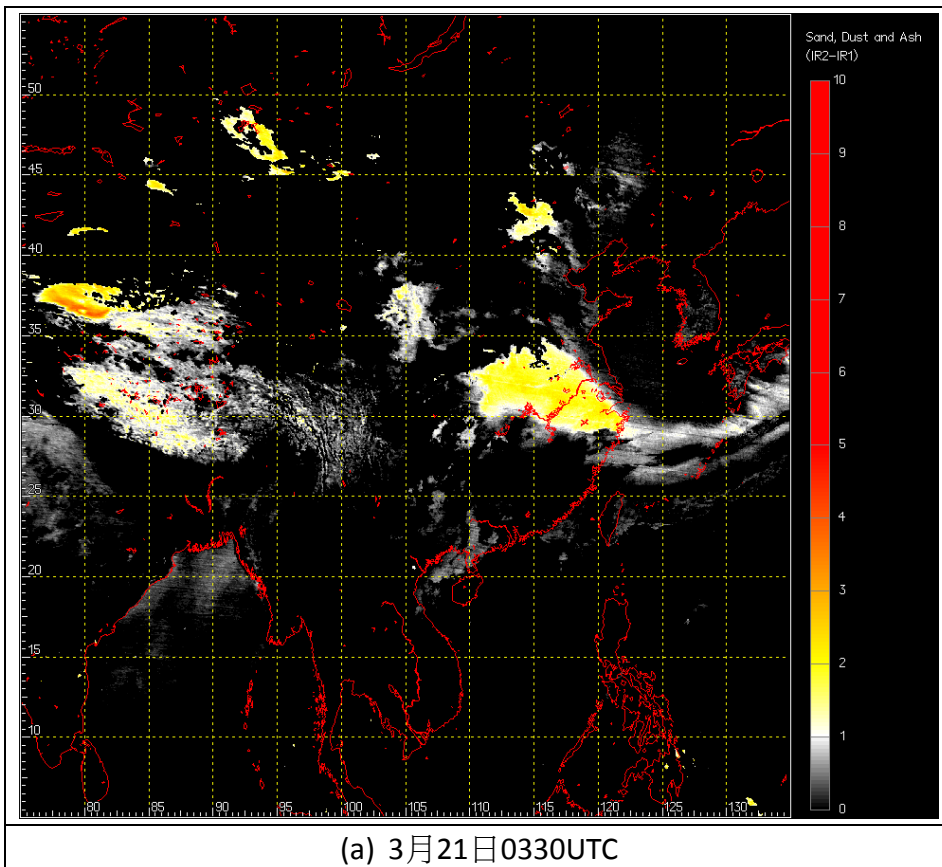


(c) 3月21日 03UTC

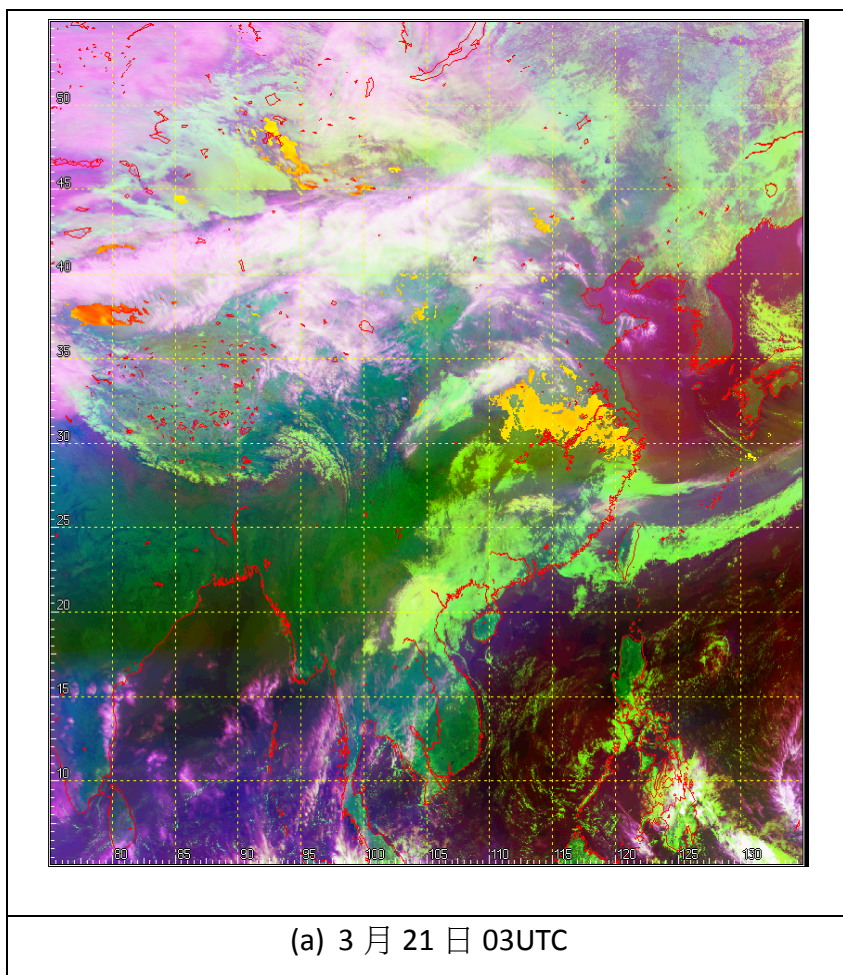
圖七 台灣環保署基於 MTSAT 的塵負載 (Dust Load) 產品。



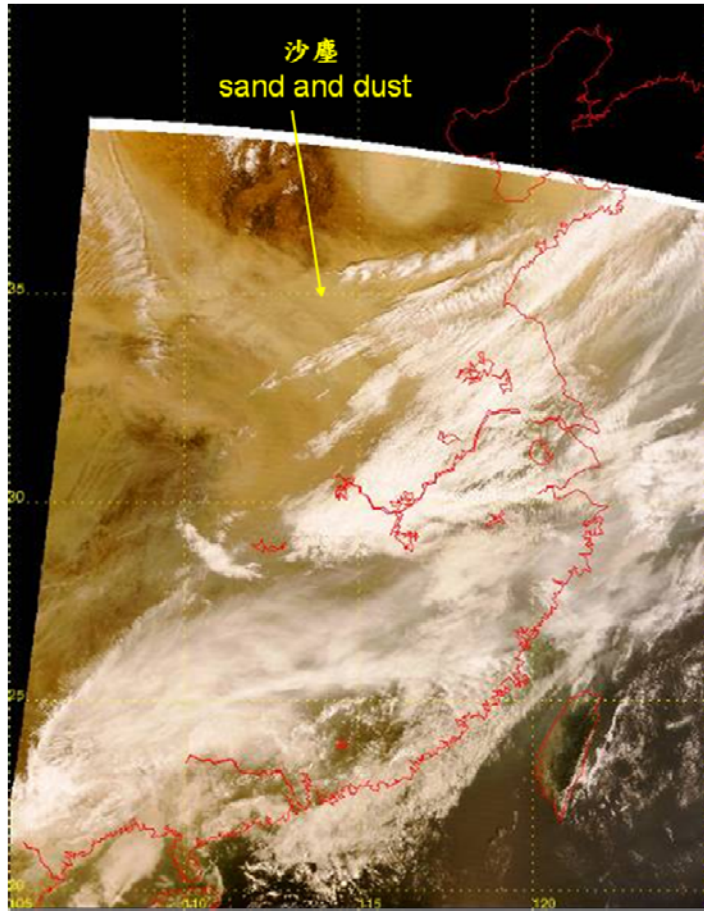
圖八 天文台利用”紅外分裂窗通道溫差”(IR2-IR1)技術,作用於 MTSAT 衛星資料的沙、塵和火山灰監測產品。



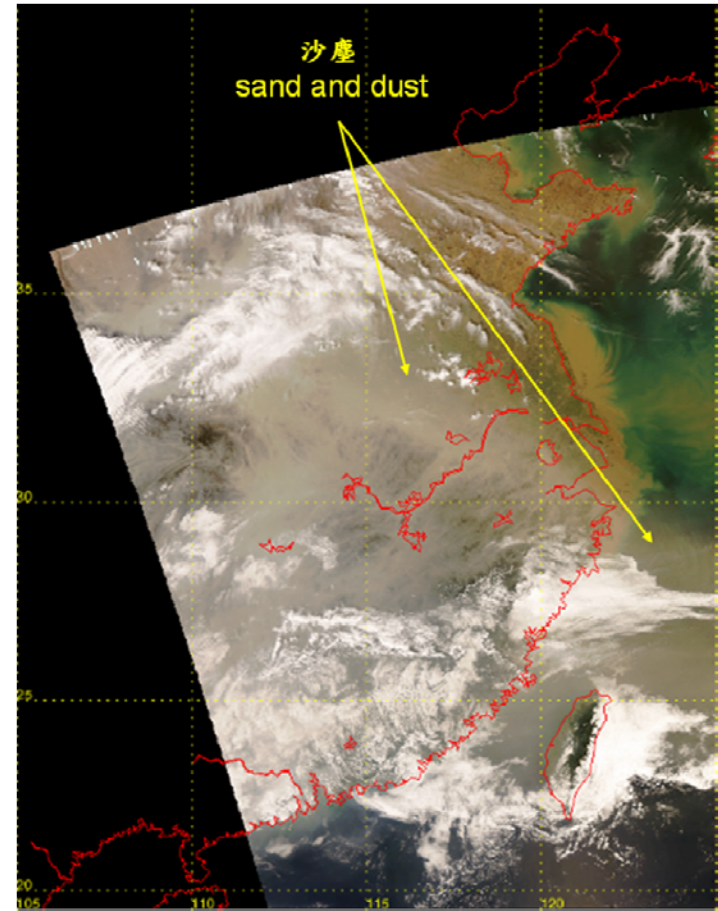
圖九 天文台利用 MTSAT 衛星資料製作的紅外沙塵差值指數(IDDI)產品。



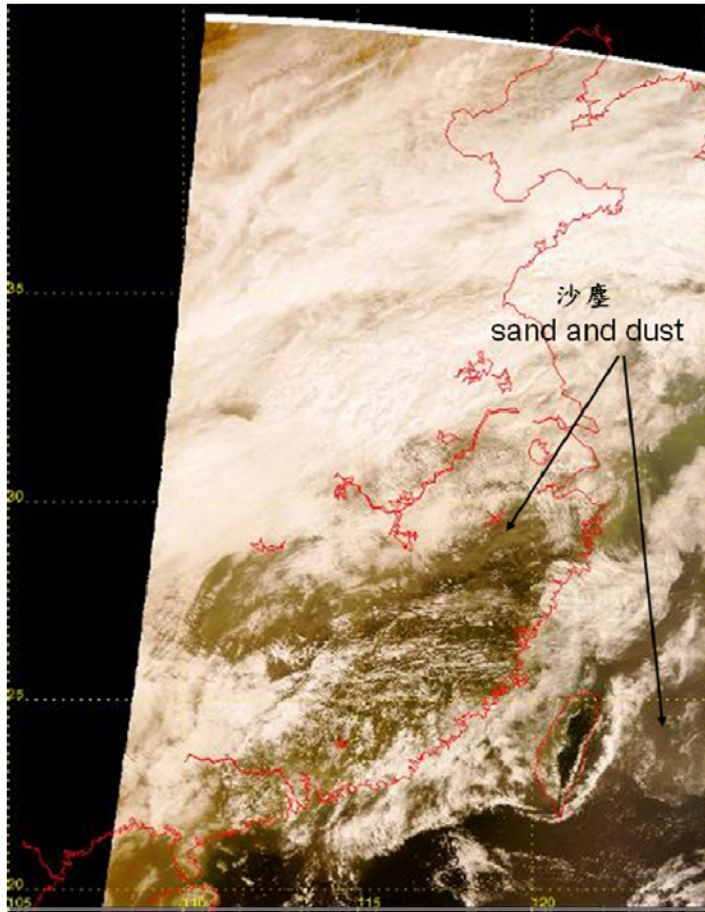
圖十 地球觀測衛星(MODIS)真彩圖像。



(a) 3月20日 0250UTC

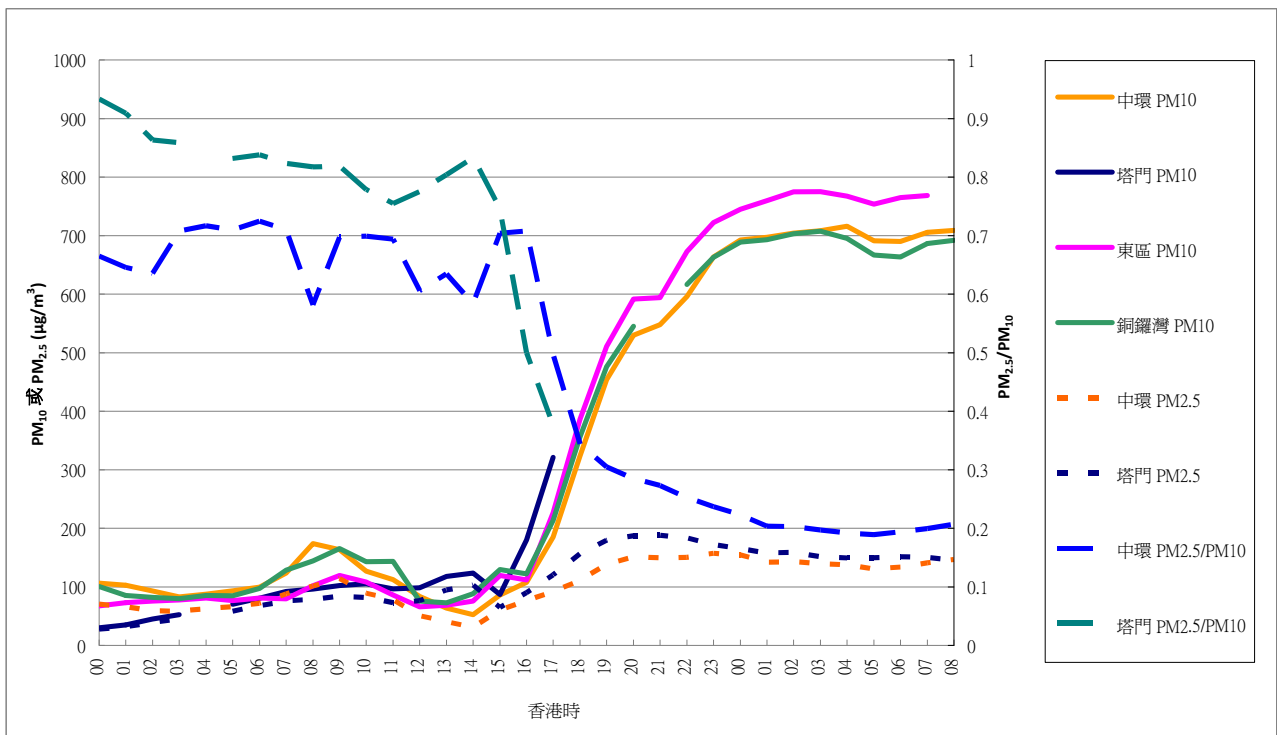


(b) 3月21日 0506UTC

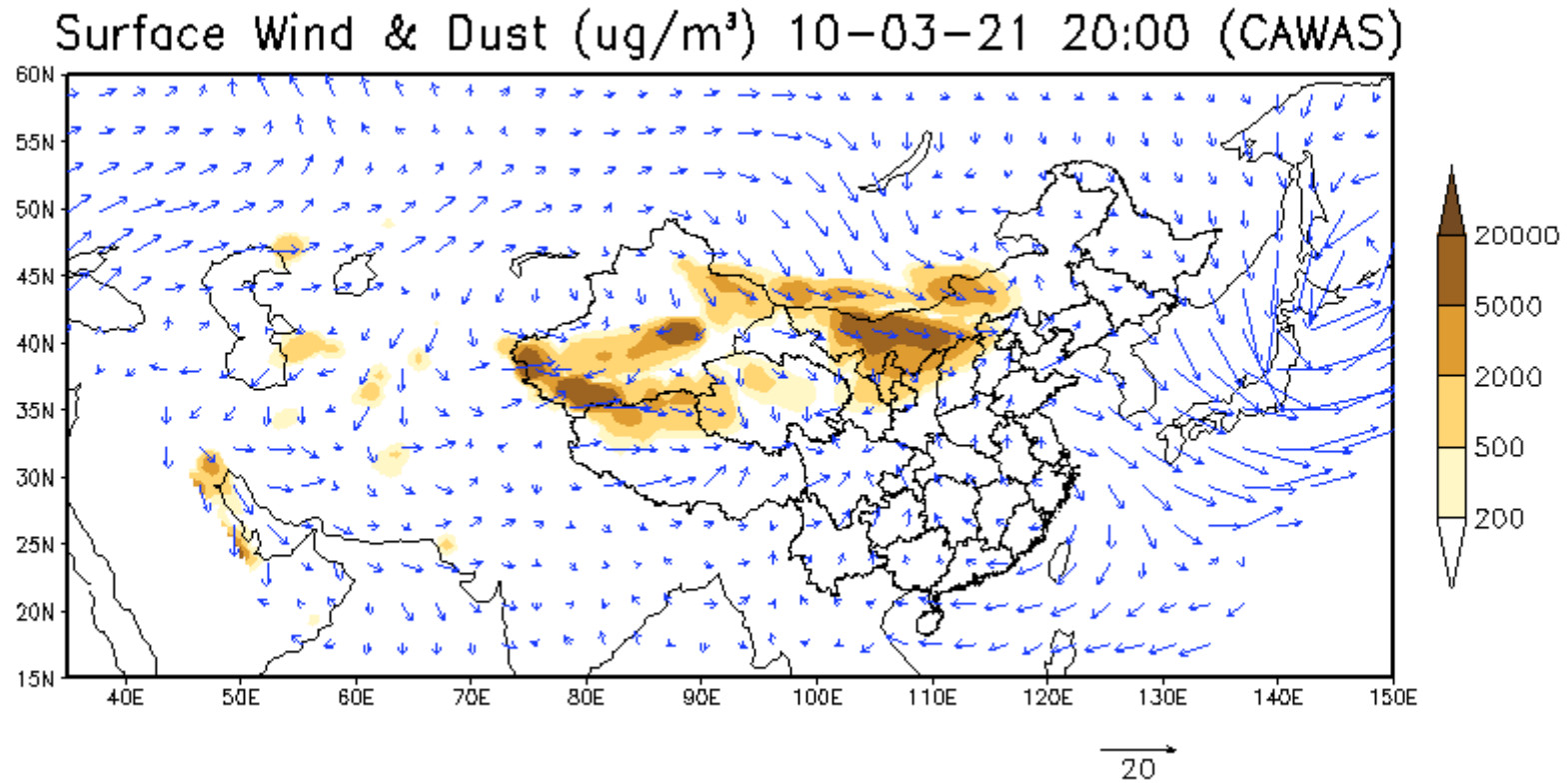


(c) 3月22日 0238UTC

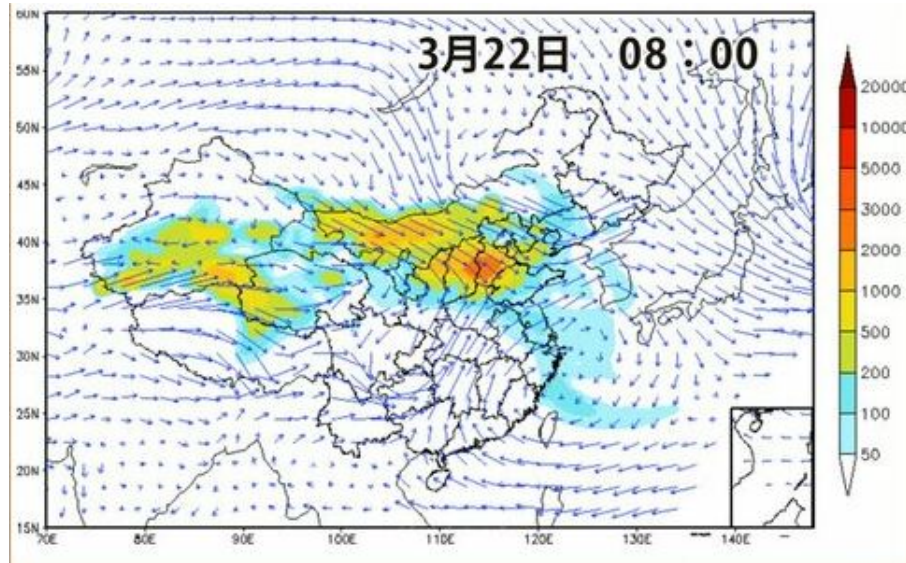
圖十一 香港環境保護署四個監測站（塔門、東區、中環及銅鑼灣）的 PM₁₀、PM_{2.5} 和 PM_{2.5}/PM₁₀ 之時間序列。（註：香港時=UTC+8）



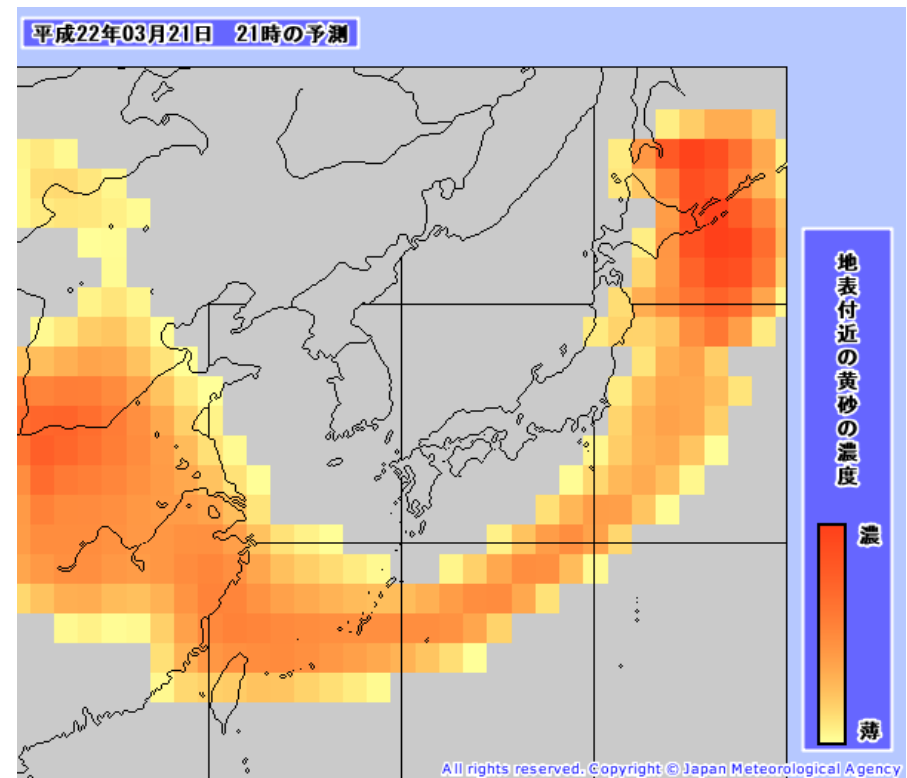
圖十二 沙塵暴預報模式產品。(a) CUACE /沙塵模式(CMA) , (b)沙塵濃度變化預報(國家氣象中心), (c)MASINGAR(日本氣象廳) , (d) “沙塵暴預報模式” (國立台灣大學) 和(e)NAAPS (美國海軍研究實驗室)



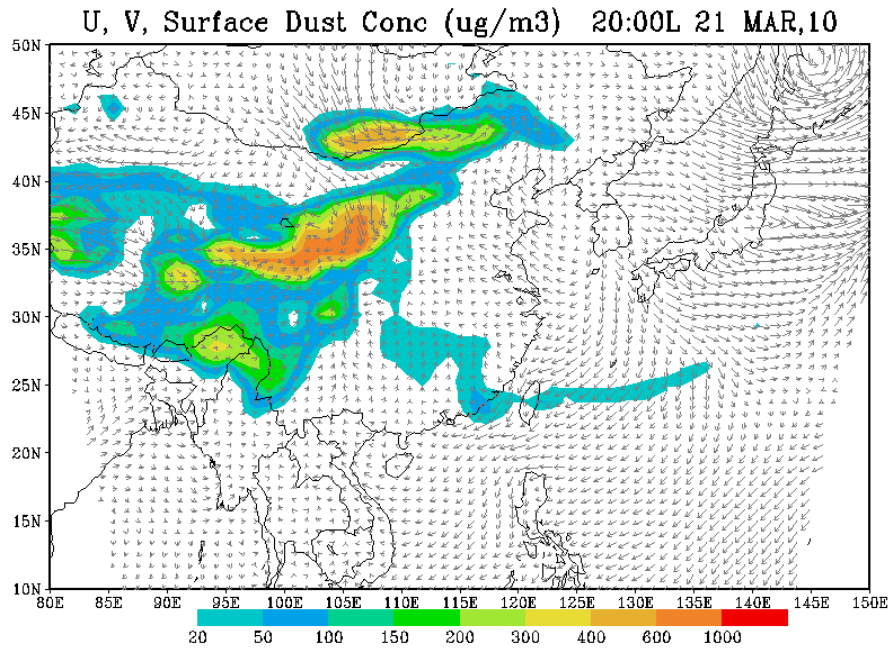
(a) CUACE /沙塵模式(CMA)



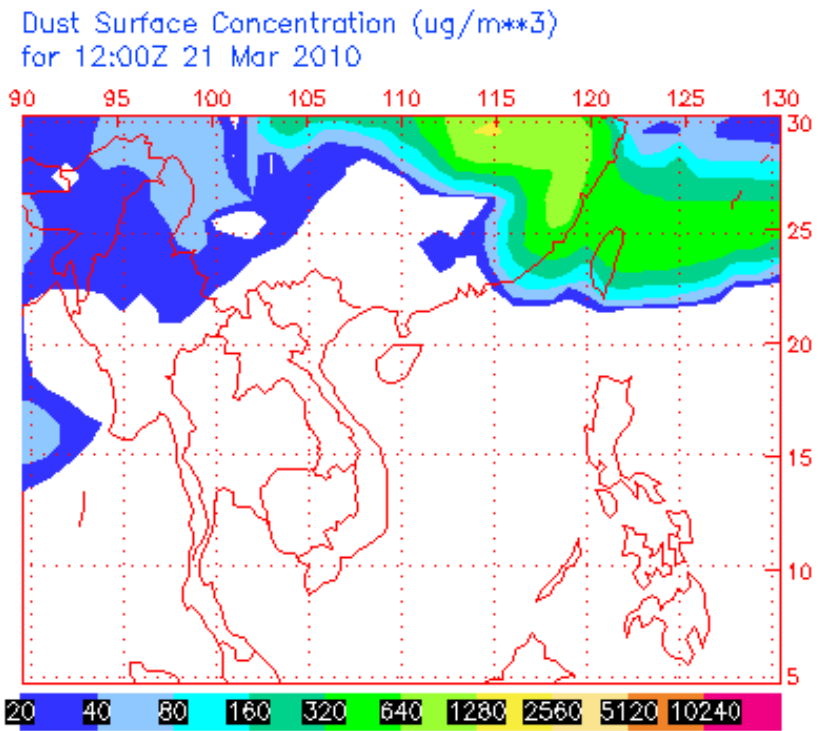
(b) 沙塵濃度變化預報(國家氣象中心)



(c) MASINGAR (日本氣象廳)



(d) “沙塵暴預報模式” (國立台灣大學)



Mar 21 14:30:55 2010 NRL/Monterey Aerosol Modeling

(e) NAAPS (美國海軍研究實驗室)