

利用氣溶膠光學厚度數據及數值天氣預報模式結果 預測能見度

蘇志權
香港天文台

摘要

能見度的高低直接受大氣中的氣溶膠濃度影響。現時的地球觀測衛星提供了氣溶膠光學厚度（AOD）數據，顯示地區的氣溶膠濃度分布，有助監測能見度情況。

本文初步探討利用衛星的 AOD 數據，結合數值天氣預報模式的風向風速結果來推導香港地區未來的 AOD 變化，繼而預測未來一天的能見度變化趨勢。本文展示這方法的一些應用結果，並討論這方法的一些限制。

Visibility forecast based on aerosol optical depth data and numerical weather prediction model output

C.K. So
Hong Kong Observatory

Abstract

Visibility is directly affected by aerosol loading in the atmosphere. Earth observing satellites nowadays provide data on the aerosol optical depth (AOD), enabling the depiction of aerosol distribution in a region. This facilitates the monitoring of visibility.

This paper explores the use of AOD data from satellites and wind data output from numerical weather prediction model to deduce the future variation in AOD value, with a view to predicting the trend in visibility in the next day. This paper presents some of the result based on this method and discusses certain limitation of this method.

利用氣溶膠光學厚度數據及數值天氣預報模式結果 預測能見度

蘇志權
香港天文台

1. 引言

香港位於華南沿岸，在秋冬季節經常受到較涼及乾燥的大陸氣流影響，大氣相對穩定，有利煙霞(即灰霾)的形成。煙霞出現時，大氣中懸浮粒子濃度較高，造成能見度下降(文獻[1])。天文台現時接收的美國太空總署地球觀測衛星上的中分辨率成像光譜儀(MODIS)的數據。該數據除了提供可見光至紅外光的影像外，還提供與大氣有關的產品，其中包括氣溶膠光學厚度(AOD)。AOD顯示空氣中的透明度，高數值的AOD表示大氣中懸浮粒子濃度高，能見度亦較低(文獻[1])。一些研究結果顯示AOD與PM₁₀(直徑在10 μm以下的氣溶膠顆粒物)數值有直接的關聯，可用作監測城市的氣溶膠分布情況(文獻[2])。

本文利用MODIS的AOD數據，結合數值天氣預報模式的風向風速結果，來推導香港地區未來的AOD變化，繼而預測未來24小時的能見度變化趨勢。本文展示這方法的一些應用結果，並討論這方法的一些限制。

2. 能見度與AOD的關係

氣象上的能見度是指大氣的透明度，一般定義為具有正常視力的人在當時的天氣條件下還能夠看清楚水平目標輪廓的最大距離。當出現降雨、霧、煙霞、沙塵暴等天氣過程時，大氣透明度較低，因此能見度較差。除了霧、薄霧及降雨等帶水點的氣象現象外，低能見度的情況多是由於大氣中的懸浮粒子吸收和散射可見光引起。MODIS的AOD數據是表示在波長550 μm

的氣溶膠光學厚度，數據的空間分辨率為 10 公里。

能見度與 AOD 的關係(文獻[4])可以用以下公式表示:

$$\text{AOD} = c_1 / V \quad \text{或} \quad V = c_2 \tau \quad \text{程式(1)}$$

V 是能見度 (米)， τ 是 AOD 觀測值的倒數(米)， c_1 及 c_2 是常數。公式表示能見度與 τ 成正比。

圖 1 是天文台能見度及對應 τ 值的散佈圖(文獻[6])。 τ 值是取自 2004 年 10 月至 2005 年 1 月期間覆蓋天文台的 AOD 數值，而天文台能見度則是與 τ 值時間最近的觀測數據。圖中顯示兩者的相關系數並不高，約 0.4。較弱相關的原因有三方面(文獻[7]): (1) MODIS 的 AOD 數據代表一個大於 10 公里乘 10 公里的空間平均數，而能見度是一個定點的觀測；(2) AOD 是代表衛星從太空向地面方向量度的氣溶膠總數量，而能見度則代表地面觀測點四周水平方向的最低能見度數值；(3)兩項數據的觀測時間並不相同。所以可以理解能見度與 τ 的相關系數較低。

雖然能見度與 τ 的相關較弱，但是兩者的變化趨勢大致相同。圖 2 是 2004 年 10 月至 2005 年 1 月的天文台每小時的能見度與期間的 τ 值能見度的序列圖(從文獻[6])，顯示能見度變化趨勢和 τ 的變化趨勢大致相同。這跟美國太空總署哥大德太空研究院(Goddard Institute for Space Studies)在 1999 年的一項研究結果相吻合(文獻[5])。利用回歸方程式，可計算出在 AOD 數值在 0.4 或以下 (τ 在 2.5 或以上)，能見度在 10 公里或以上。而 AOD 數值在 0.7 或以上 (τ 在 1.4 或以下)，能見度在 8 里或以下，代表低能見度。

利用以上 AOD 與能見度的關係，配合數值天氣預報模式的風向風速資料，可以推導出 AOD 的未來變化，繼而估計能見度的未來變化趨勢。下段詳細介紹這方法的應用。

3. AOD 的預測

接連數天的 AOD 圖像可以顯示高氣溶膠濃度區域的移動情況。一些觀察結果顯示氣溶膠大致隨著低層的風向風速而飄移。圖 3(a)至(c)是一個例子，在 2004 年 10 月 30 日 (圖 3(a))，香港吹東風，煙霞(黃色及紅色地區)處於香港西北面的珠三角一帶。當日香港的 AOD 數值少於 0.4，能見度在 10 公里以上。同時珠三角的 AOD 數值大於 0.7，而廣州的能見度則低至 2500 米。在 2004 年 10 月 31 日 (圖 3(b))，東風減弱，煙霞向南伸展，但仍在香港範圍之外。當時香港的 AOD 數值維持在 0.4 以下，能見度仍在 10 公里以上。當日廣州的 AOD 數約為 0.7，最低能見度只有 2000 米。在 2004 年 11 月 1 日 (圖 3(c))，轉吹北風，香港的 AOD 數值上升至 0.7，能見度亦下跌至 3000 米。

為了預測 AOD 的變化，我們利用了天文台的「業務區域譜模式」20 公里天氣數值的風向風速預測，並假設氣溶膠主要隨低層的風在水平方向飄移，而上下方向的擴散較少，則可利用風向風速預報來推算 AOD 的水平變化，繼而計算出香港上空的 AOD 的未來變化。在這裏，我們用 950 hpa 高度的風預測來表示低層的風，而不採用地面的風預測。主要原因是地面的風受地形影響較大，而 950 hpa 高度的風，受地形的影響較少，較能代表大範圍的空氣流動情況。以上述的個案為例，基於 2004 年 10 月 30 日上午 11 時的 24 小時風向風速預報，可計算出在 2004 年 10 月 31 日的下午 11 時的 AOD 的數值約為 0.24 (低於 0.4；表示能見度較好)，而到 2004 年 11 月 1 日的上午 11 時，AOD 的數值升至 0.86 (大於 0.7；表示能見度較低)。事實上，在 2004 年 10 月 31 日的下午 11 時，天文台總部的能見度在 10 公里以上，而在 2004 年 11 月 1 日的上午 11 時，能見度下跌至 6 公里，這跟上述預報相吻合。

4. 結合數值天氣預報模式預報能見度

天文台的「業務區域譜模式」(ORSM) 是一個 36 層及有 20 公里水平分辨率的區域譜模式，可以提供 42 小時的天氣預報資料，包括各標準層的風向風速的預報。利用 950hpa 高度的風向風速預報，結合每日的 MODIS 數據，可以推算未來 24 小時在香港範圍每小時的 AOD 預報圖像，並且計算出覆蓋天文台總部及香港國際機場的 AOD 數值變化，從而表示這兩地點的能見度變化。

為方便預報員的參考，AOD 預報圖像以動畫形式顯示，另亦顯示天文台總部和香港國際機場的 AOD 預報的時間序列，讓預報員了解未來 AOD 及能見度的變化趨勢(圖 4)。

5. 驗證表現

為了驗證 AOD 及能見度預報的表現，我們利用 2006 年 7 月至 10 月的數據，包括由 ORSM 風場推導的 AOD 值及實際在天文台總部及香港國際機場觀測的能見度。為方便比較，我們用上述 2 段中的 AOD 及能見度關係公式，從 AOD 值推算能見度值，再將能見度分為兩個級別，分別為：

- (甲) “低能見度”：能見度以在 8 公里以下 (AOD 大於 0.7)；
- (乙) “高能見度”：能見度高於或等於 8 公里 (AOD 少於或等於 0.7)

而實際能見度觀測值亦分為上述兩個級別。表 1 顯示比較結果，數據總數為 2976 對。探測概率(Probability Of Detection)及誤報率(False Alarm Ratio)分別為 73.6% 和 26.4%。顯示這個方法在預測能見度方面有一定的效用。

以下是一個個案，表明上述能見度預報的工具可提供有用的參考：在

2006 年 10 月 5 日香港吹東風，圖 5(a)是實際衛星觀測的 AOD 分布，顯示當天 06UTC 時煙霞(黃色及紅色地區)非常接近香港，但香港未受太大影響，能見度仍然在 10 公里左右。圖 5(b)顯示預測當天香港的 AOD 值在 12UTC 將上升至 0.7 以上，圖 5(c) 顯示 10 月 6 日在 06UTC 時香港的 AOD 值會回落至 0.4 以下。事實上，香港天文台的能見度在 10 月 5 日 12UTC 至 14UTC 下跌至 5000 米，較低的能見度(8 公里以下)隨後一直維持。直至 10 月 6 日 06UTC，能見度好轉至 10 公里。預報的結果與實況觀測非常吻合，表示能見度預報工具具有一定的參考價值。

6. 討論

上述預報的方法仍存在一定的限制:

- (甲) 這個方法以簡單的平流方法來推算未來 24 小時的 AOD 值和能見度變化，但這方法沒有考慮氣溶膠釋放源和擴散的過程，因此預測的 AOD 值和能見度與實際數值存在一定的誤差。
- (乙) 由於雲覆蓋的地方沒有 AOD 數據，而晚上亦沒有衛星 AOD 觀測，每天只有約 2 次的衛星 AOD 觀測，因此氣溶膠光學厚度數據並不多，時間間隔較疏。
- (丙) 數值天氣預報模式本身有一定的誤差，預報的風向風速可能跟實際的有偏差，影響了 AOD 的預測。

雖然如此，利用衛星的數據，結合數值天氣預報模式的風向風速結果，可以推導平流風帶來的 AOD 變化。結果可作為 AOD 未來變化的第一階估計，從而指示未來一天的能見度變化趨勢。從一些個案驗證顯示，上述能見度預報方法具一定的預報能力，可作為預報員的有用參考工具。

參考文獻

- [1] 李月嬋、翁忠海，2005：由煙霞引致香港能見度下降的分析，第十九屆粵港澳氣象科技研討會，中國，廣東陽江，2005 年 3 月 1-3 日
- [2] Wang, J. and S.A. Christopher, 2003 : Intercomparison between satellite-derived aerosol optical thickness and PM2.5 mass: Implications for air quality studies, *Geophysics Research Letters*, Vol. 30, No. 21.
- [3] 李成才、毛節泰、劉啟漢，2005：利用 MODIS 資料遙感香港地區高分辨率氣溶膠光學厚度，*大氣科學*，第 29 卷第 3 期 335 頁
- [4] Qiu., Jinhuan, 2002 : Broadband Extinction Method to Determine Aerosol Optical Depth from Accumulated Direct Solar Radiation, *Journal of Applied Meteorology*, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, Vol. 42, No. 11, pp. 1611–1625.
- [5] Solis, J., 1999 : Correlation of Aerosol Optical Depth with Weather Variables, *Institute of Climate and Planets*, NASA Goddard Institute of Space Studies.
- [6] So, C.K., C.M. Cheng and K.C. Tsui : Weather and Environmental Monitoring Using MODIS AOD Data in Hong Kong, China, *The First International Symposium on Cloud-prone & Rainy Areas Remote Sensing*, Chinese University of Hong Kong, 6-8 October 2005
- [7] Ichoku, C., D. Allen Chu, Shana Mattoo, Yoram J. Kaufman, Lorraine A. Remer, Didier Tanré, Ilya Slutsker and Brent N. Holben, 2002 : A spatio-temporal approach for global validation and analysis of MODIS aerosol products, *Geophysics Research Letters*, Vol. 29, No.12.

表 1：2006 年 7 月至 10 月 950hpa 風場推導的預測能見度和實際觀測能見度的關係表

		預報	
		高能見度	低能見度
實際觀測	高能見度	1947	656
	低能見度	130	243

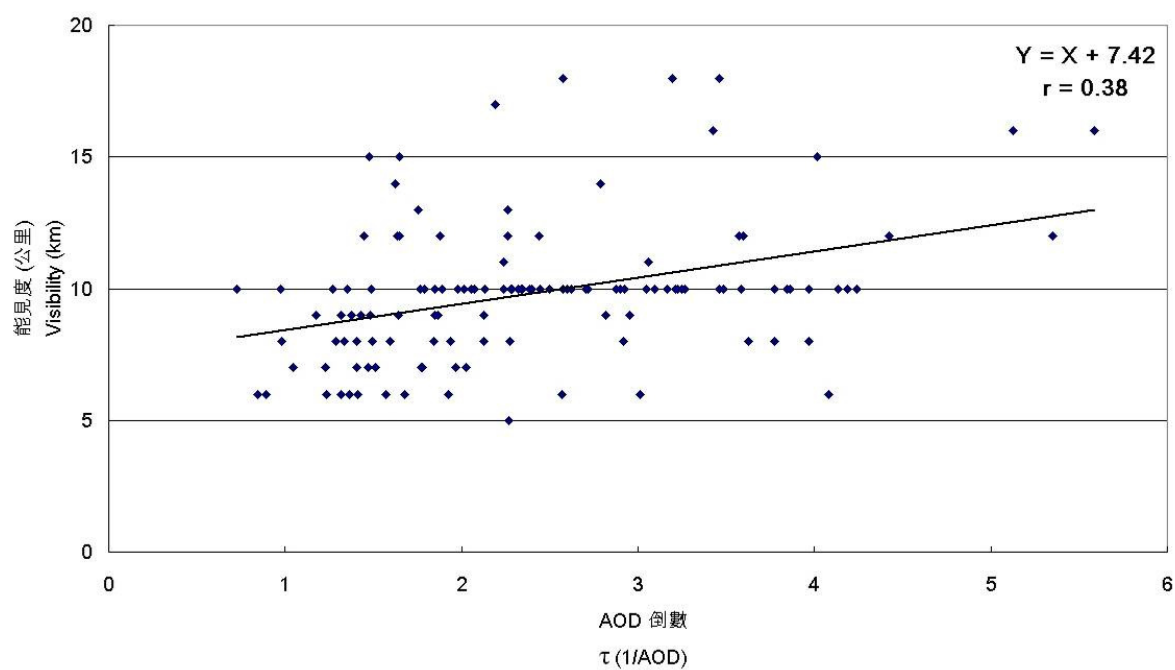


圖 1. 2004 年 10 月至 2005 年 1 月天文台能見度與 τ 的散佈圖

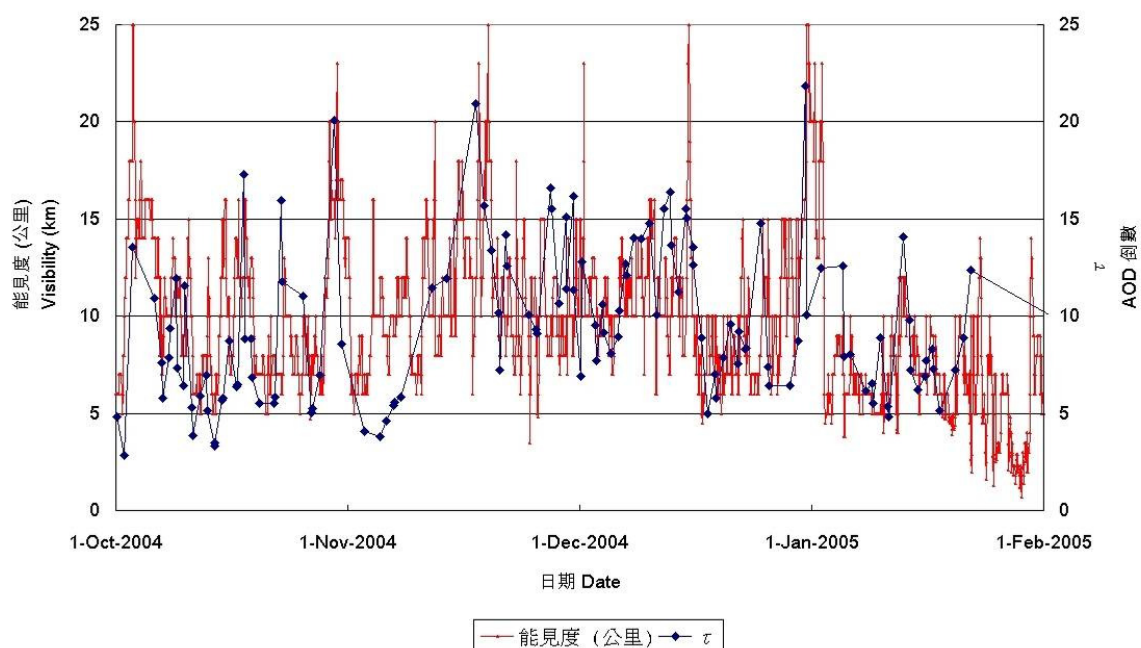


圖 2. 2004 年 10 月至 2005 年 1 月天文台的每小時能見度與 τ 的序列圖

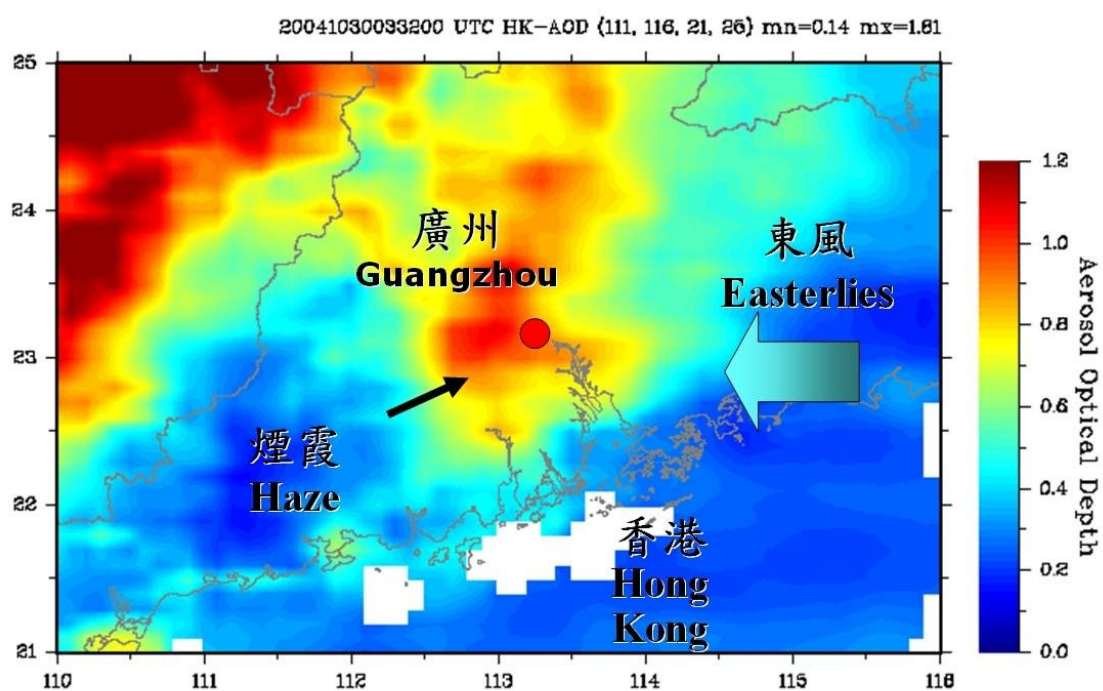


圖 3(a). 2004 年 10 月 30 日的 AOD 分布圖。香港吹東風，煙霞(黃色及紅色地區)在香港的西北方向

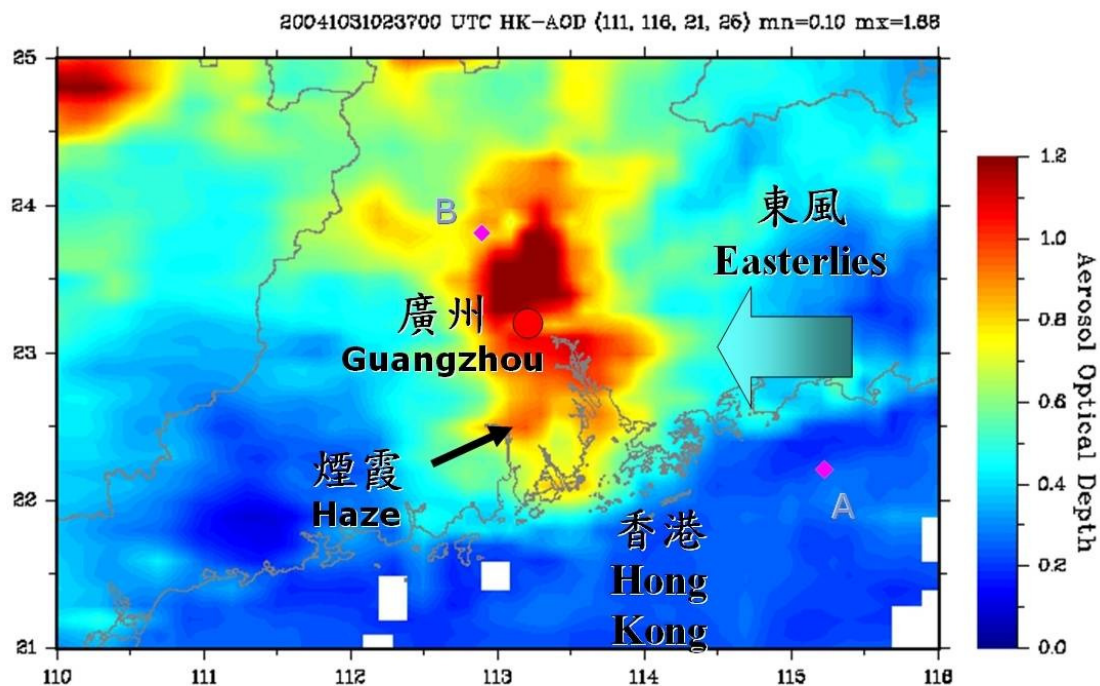


圖 3(b). 2004 年 10 月 31 日的 AOD 分布圖。東風減弱，煙霞(黃色及紅色地區)靠近香港。A 點是利用數值天氣預報模式的風場計算出在 10 月 31 日下午 11 時到達香港的像素，B 點是在 11 月 1 日上午 11 時到達香港的像素

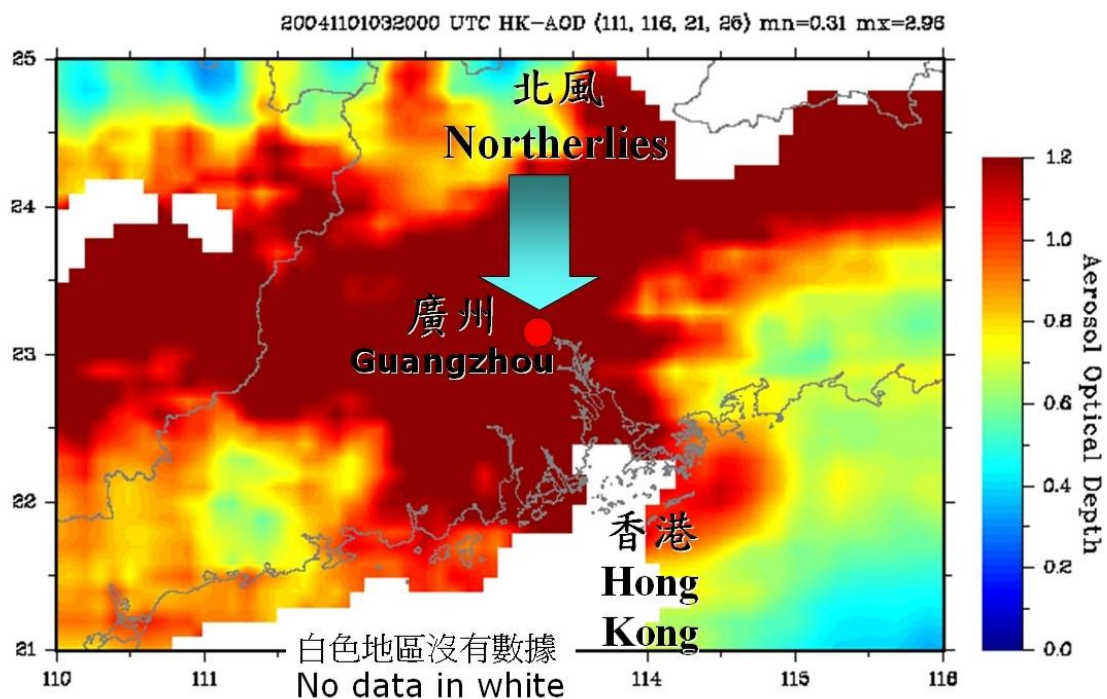
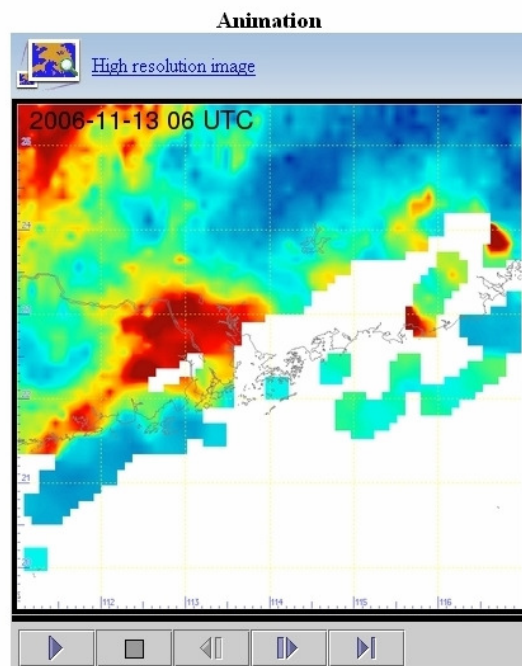


圖 3(c). 2004 年 11 月 1 日的 AOD 分布圖。香港的 AOD 值上升至 0.7，能見度下跌至 3000 米

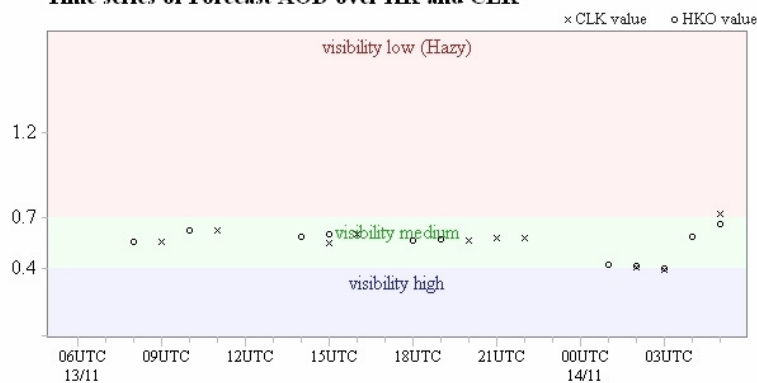
Visibility trend forecast based on AOD and NWP

24 hours AOD forecast (2006-11-13 06 UTC to 2006-11-14 05 UTC)

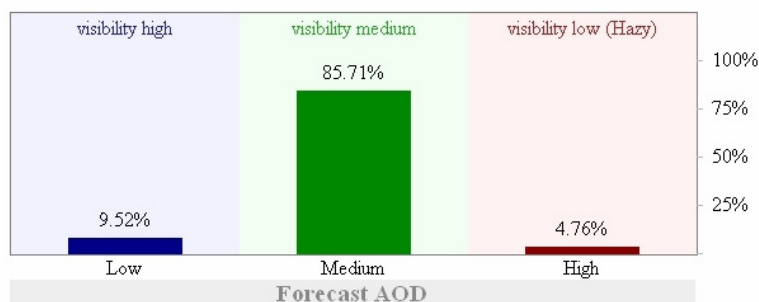
based on 950hPa wind advection



Time series of Forecast AOD over HK and CLK



Forecast AOD occurrence over HK



Summary

- Forecast AOD over HK: **0.38 - 0.71** (Visibility **LOW** to **HIGH**)
- Forecast max AOD: **0.71** => Visibility: **LOW**
- Number of hour with data: **11** (HKO), **10** (CLK)

圖 4. 預測 AOD 及能見度趨勢的顯示

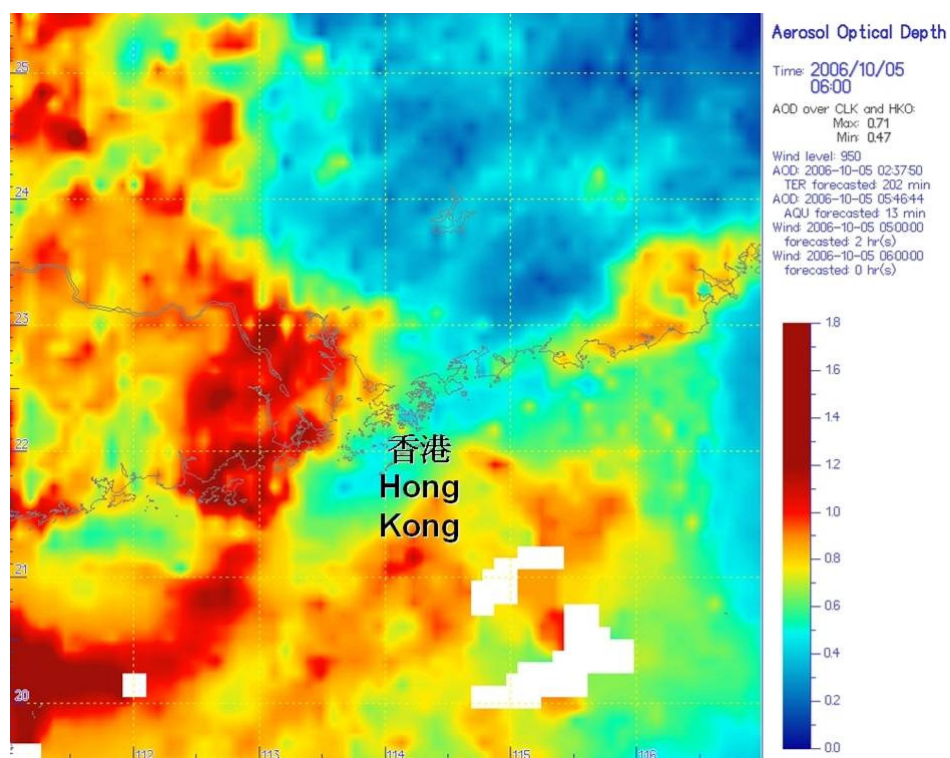


圖 5 (a). 2006 年 10 月 5 日 06UTC 的 AOD 分布圖

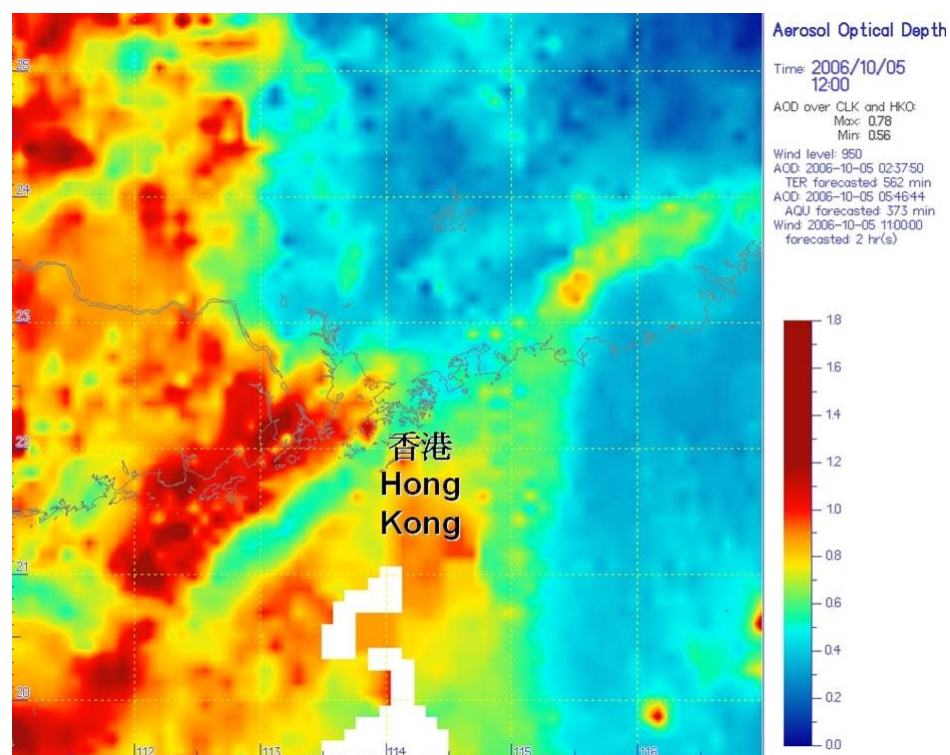


圖 5 (b). 2006 年 10 月 5 日 12UTC 的預測 AOD 分布圖

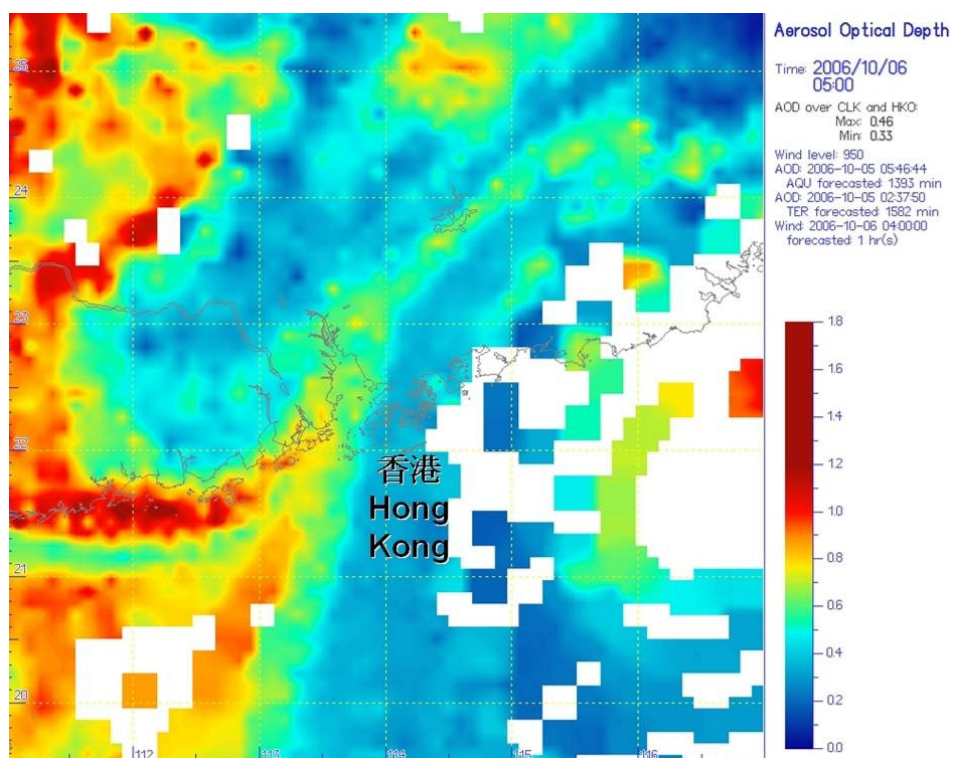


圖 5 (c). 2006 年 10 月 6 日 05UTC 的預測 AOD 分布圖