

科技部補助專題研究計畫成果報告 期末報告

雲霧事件、都市空氣污染傳輸與自然排放對於二次氣膠生成影響

計畫類別：個別型計畫
計畫編號：MOST 104-2111-M-040-001-
執行期間：104年08月01日至105年07月31日
執行單位：中山醫學大學公共衛生學系（所）

計畫主持人：張士昱

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：蔡羽貞
博士班研究生-兼任助理人員：陳瑤婕

中華民國 105 年 10 月 31 日

中文摘要：本研究自2016年3月15日至4月15日於金門地區利用新式現址空氣成分採樣設備 (Air Composition Measuring Equipment - In Situ 2100, ACME - In Situ 2100)量測逐時PM10中的水溶性離子組成。本研究目的為瞭解雲霧機制影響二次氣膠生成的可能反應機制與生成貢獻，以及大氣污染物在不同範圍相對濕度對於霾害發生的影響。

由逐時結果顯示在霧水量增加過程中硫酸鹽佔PM10比值也有增加的趨勢，隨著SO₄²⁻的遞增，前驅氣體SO₂同時呈現遞減的現象，表示霧期所提供的高濕環境可能為提供SO₂液相轉換生成SO₄²⁻的重要因子。硝酸鹽在霧事件期間的逐時分布則與NH₄⁺/SO₄²⁻有關，在Ammonium rich (NH₄⁺/SO₄²⁻>1.5)的情況下有較多的銨可與硝酸鹽形成二次硝酸銨，因此硝酸鹽成分增加，而在Ammonium poor的情況下則HNO₃增加，並且在霧發生期間海鹽成分Na⁺、Cl⁻與Mg²⁺均與霧水量趨勢有很好的變化。在高污染事件期間的氣流軌跡為大陸沿岸且接近地面傳輸較多的地面污染物至金門地區，且氣膠中NO₂⁻濃度在高污染期間明顯高於霧事件，代表鄰近污染經由光化反應所生成的二次氣膠對於空氣品質惡化有重要影響。研究結果亦顯示濕度越高各空氣污染物質對於形成霾事件的閾值則越低。

中文關鍵詞：霧、霾、相對濕度、二次氣膠、逐時量測、水溶性離子

英文摘要：The hourly measurement of inorganic soluble ions in PM10 aerosols were measured by the novel Air Composition Measuring Equipment (ACME - In Situ 2100) from March 15th to April 15th 2016 in Kinmen Island. The purposes of this study were to understand the influences of fog on the secondary aerosol formation and the impacts of air pollutants under the different ranges relative humidity on the haze formation.

The hourly measurements showed that the mass fraction of sulfate in PM10 was increased as the increasing of liquid water content of fog and the decreasing of gaseous concentrations of SO₂. It indicates that humid environment may be important for enhancing the heterogeneous reaction of sulfate formation. The nitrate concentrations were related to the ration of NH₄⁺ to SO₄²⁻ during the fog episode. The formation of particulate NO₃⁻ was associated with ammonium formation under the ammonium-rich conditions (NH₄⁺/SO₄²⁻>1.5). The HNO₃ was usually observed under the ammonium-poor conditions. Furthermore, the time serious concentrations of Na⁺, Cl⁻ and Mg²⁺ were positively correlated with the liquid water content of fog. During the high pollution episode, the air mass was from the near ground surface in mainland coastal areas, which transported more pollution to Kinmen. The concentrations of NO₂⁻ were higher during the high pollution episodes, which means the secondary aerosol formation in the nearby areas also strongly affected the air quality degradation. The results

also showed the thresholds of air pollutants for formation of the haze episode were lower under the high humidity conditions.

英文關鍵詞： fog, haze, relative humidity, secondary aerosol, hourly measurement, soluble ions

目錄

摘要.....	III
Abstract.....	IV
1. 前言.....	5
2. 研究目的.....	5
3. 文獻探討.....	5
4. 研究方法.....	7
4.1 採樣時間與地點.....	7
4.2 設備.....	7
4.2.1 大氣氣膠組成量測系統.....	7
4.2.2 雲霧採樣器 Fog monitor(FM-120).....	7
4.3 天氣狀況與霧事件定義.....	8
5. 結果.....	8
5.1 一般性描述.....	8
5.2 大氣污染物對於能見度的影響.....	9
5.3 霧事件的大氣化學反應.....	9
6. 結論與建議.....	21
6.1 結論.....	21
6.2 建議.....	21
7. 參考文獻.....	21

圖目錄

圖 1. 採樣地點，金門氣象站.....	11
圖 2. 採樣期間氣象條件逐時變化趨勢與霧事件定義.....	12
圖 3. PM ₁₀ 質量濃度與 PM ₁₀ 中水溶性無機鹽的趨勢變化.....	13
圖 4. PM ₁₀ 化學組成百分比趨勢.....	13
圖 5. 高污染事件期間 PM ₁₀ 主要離子與光照影響.....	14
圖 6. 高污染事件日的氣流軌跡.....	15
圖 7. 平常日的氣流軌跡.....	16
圖 8. 霧事件 Case I 的氣流軌跡.....	17
圖 9. 霧事件 Case II 的氣流軌跡.....	18
圖 10. PM ₁₀ 質量濃度在不同相對濕度環境與大氣能見度的關係.....	19
圖 11. 霧事件期間大氣氣相污染物與二次衍生性物質的形成機制.....	20

表目錄

Table 1. 不同相對濕度環境下，空氣污染物與能見度的相關性分析... 19	19
Table 2. 霾害形成的空氣污染物閾值.....	19

摘要

本研究自 2016 年 3 月 15 日至 4 月 15 日於金門地區利用新式現址空氣成分採樣設備 (Air Composition Measuring Equipment – In Situ 2100, ACME – In Situ 2100)量測逐時 PM₁₀ 中的水溶性離子組成。本研究目的為瞭解雲霧機制影響二次氣膠生成的可能反應機制與生成貢獻，以及大氣污染物在不同範圍相對濕度對於霾害發生的影響。

由逐時結果顯示在霧水量增加過程中硫酸鹽佔 PM₁₀ 比值也有增加的趨勢，隨著 SO₄²⁻的遞增，前驅氣體 SO₂ 同時呈現遞減的現象，表示霧期所提供的高濕環境可能為提供 SO₂ 液相轉換生成 SO₄²⁻的重要因子。硝酸鹽在霧事件期間的逐時分布則與 NH₄⁺/SO₄²⁻有關，在 Ammonium rich (NH₄⁺/SO₄²⁻ > 1.5) 的情況下有較多的銨可與硝酸鹽形成二次硝酸銨，因此硝酸鹽成分增加，而在 Ammonium poor 的情況下則 HNO₃ 增加，並且在霧發生期間海鹽成分 Na⁺、Cl⁻與 Mg²⁺均與霧水量趨勢有很好的變化。在高污染事件期間的氣流軌跡為大陸沿岸且接近地面傳輸較多的地面污染物至金門地區，且氣膠中 NO₂⁻濃度在高污染期間明顯高於霧事件，代表鄰近污染經由光化反應所生成的二次氣膠對於空氣品質惡化有重要影響。研究結果亦顯示濕度越高各空氣污染物物質對於形成霾事件的閾值則越低。

關鍵詞: 霧、霾、相對濕度、二次氣膠、逐時量測、水溶性離子

Abstract

The hourly measurement of inorganic soluble ions in PM₁₀ aerosols were measured by the novel Air Composition Measuring Equipment (ACME–In Situ 2100) from March 15th to April 15th 2016 in Kinmen Island. The purposes of this study were to understand the influences of fog on the secondary aerosol formation and the impacts of air pollutants under the different ranges relative humidity on the haze formation.

The hourly measurements showed that the mass fraction of sulfate in PM₁₀ was increased as the increasing of liquid water content of fog and the decreasing of gaseous concentrations of SO₂. It indicates that humid environment may be important for enhancing the heterogeneous reaction of sulfate formation. The nitrate concentrations were related to the ration of NH₄⁺ to SO₄²⁻ during the fog episode. The formation of particulate NO₃⁻ was associated with ammonium formation under the ammonium-rich conditions (NH₄⁺/SO₄²⁻ > 1.5). The HNO₃ was usually observed under the ammonium-poor conditions. Furthermore, the time serious concentrations of Na⁺, Cl⁻ and Mg²⁺ were positively correlated with the liquid water content of fog. During the high pollution episode, the air mass was from the near ground surface in mainland coastal areas, which transported more pollution to Kinmen. The concentrations of NO₂⁻ were higher during the high pollution episodes, which means the secondary aerosol formation in the nearby areas also strongly affected the air quality degradation. The results also showed the thresholds of air pollutants for formation of the haze episode were lower under the high humidity conditions.

Key words: fog, haze, relative humidity, secondary aerosol, hourly measurement, soluble ions

1. 前言

空氣污染程度與大氣條件已有相當多的研究已表示在不同的氣象因素對於氣膠的累積、擴散以及傳輸影響顯著，而”霧霾”一詞已為大氣污染嚴重時常被使用的關鍵字彙，且能見度為一般民眾用以判斷污染程度的主觀方法。本研究以大氣物理與化學的量測結果，分析氣膠化學組成造成能見度較差的”霾害”貢獻，以及”霧”所提供的高濕環境對於大氣化學反應關係。為探討三者間的交互關係，選擇研究地點為易發生霧現象且受到大氣污染嚴重的地區進行觀測實驗。

2. 研究目的

大氣污染物質會隨著時間與空間的變化而快速改變，傳統批次式以濾紙經長時間收集氣膠的量測方法無法提供探討污染傳輸快速變動所需的數據。本研究利用高時間解析的量測數據，評估雲霧事件發生對於二次氣膠生成的影響，未來可應用於模式中改善二次氣膠生成的模擬，雲霧亦提供大氣氣膠液相反應的途徑，故探討自然源及人為源氣膠與雲霧的交互作用，對於全球及區域氣候的探討與大氣化學的研究不僅可降低不確定性，同時亦可評估人為污染對於氣候變遷的可能影響。本研究的主要目的如下：

- (1) 瞭解雲霧機制影響二次氣膠生成的可能反應機制與生成貢獻。
- (2) 相對濕度與大氣污染物對於霾害發生的影響。

3. 文獻探討

大氣氣膠會直接或間接地影響入射到地球的太陽輻射，抵消影響地球溫室效應的氣體，同時也是雲霧及雲凝結核形成的重要媒介(Kawamura et al., 1996)。Stein 與 Lamb (2003)探討在光化反應下氮氧化物對於二次衍生硫酸鹽與硝酸鹽氣膠的生成影響，發現當大氣中氮氧化物濃度較低(通常為夏季期間)，此時自由基的生成速率較氮氧化物的排放速率高，氮氧化物可經由形成硝酸而自大氣中移除，大氣中所殘留超量的自由基可進一步形成過氧化物，高度氧化狀態的大氣環境有利於二次衍生硫酸鹽氣膠的生成。當大氣中氮氧化物濃度高(通常為冬季)，此時自由基的生成量不足以提供去除所有的氮氧化物，氮氧化物的累積導致大氣中過氧化物生成減少，二次衍生硫酸鹽氣膠因大氣環境氧化能力降低而不利於生成。其結果顯示氮氧化物的排放與太陽輻射通量的改變可影響大氣自由基的生成速率，進而影響後續二次衍生硫酸鹽反應途徑的進行。

張順欽和李崇德(2005)研究1994年至2003年台北市空氣品質監測結果，發現台北都會地區在高光化活性下，二次生成氣膠亦占PM₁₀重要比例。張順欽等(2005)分析環保署新莊超級測站資料顯示，強烈光化活性下二次氣膠增量相當顯著，二次氣膠高值發生時間約與O₃高值同時或落後1至2小時。在高臭氧污染事件日時，增加的二次氣膠濃度可佔PM₁₀的38%；或佔PM_{2.5}的48%。Chang

et al. (2010)收集 2002-2008 年台灣北部微粒超級測站資料，利用每日 $O_{3,max}$ 來進行分層分析，當每日 $O_{3,max}$ 大於 100 ppb 相較於每日 $O_{3,max}$ 小於 40 ppb 的 $PM_{2.5}$ 、EC、OC、 NO_3^- 及 SO_4^{2-} ，其濃度增幅分別為 124%、78%、72%、130% 及 127%，且 CO 濃度也增加 35%，此結果證明強烈的大氣光化學反應生成更多的衍生性氣膠。Zhang et al. (2014) 探討都市地區霧霾(haze-fog, HF)及非霧霾害時期(normal period, NHF)的氣象條件與氣膠化學組成特徵。氣象因子顯示 HF 期間為低溫、高相對濕度和邊界層高度較低的大氣環境，污染物較易累積。濾紙量測結果顯示，HF 期間的 $PM_{2.5}$ 平均濃度高達 $236 \mu g/m^3$ ，NHF 期間 $PM_{2.5}$ 平均濃度則為 $62 \mu g/m^3$ ，而陽離子和陰離子的比 (C/ A) 在 HF 時 (0.84 ± 0.07) 比在 NHF 期間 (1.16 ± 0.06) 顯著降低，顯示 HF 期間的氣膠偏酸性，而 OC/EC 則以 HF 高於 NHF 很多，二次有機碳(SOC)濃度，SOC/OC 在 HF 期間 ($60\% \pm 9\%$)，比在 NHF 期間 ($28\% \pm 10\%$) 時高。Kumar et al. (1998)在美國 Fresno 地區的冬季氣膠量測結果顯示二次衍生硝酸銨為 $PM_{2.5}$ 氣膠質量組成中佔有最大比例的化學物種，在都會區 $PM_{2.5}$ 氣膠質量組成中通常含有超過 50% 的二次衍生硝酸銨，在非都會區二次硝酸銨所佔比例甚至更高，在冬季因為充裕的氨氣與低溫有利於由氣相趨向固相反應，氣相的硝酸氣體約僅佔總硝酸鹽 10-20% 的比例。有機碳與元素碳在都會區大約佔 $PM_{2.5}$ 氣膠質量組成的 20-40%，但在非都會區 $PM_{2.5}$ 氣膠中的有機碳與元素碳比例略低。 $PM_{2.5}$ 氣膠中的其餘組成為硫酸銨與懸浮性塵土物質。在地表風速低、日照時數少、太陽仰角低與太陽輻射被雲與霧遮蔽下，雖然光化反應所產生的硝酸與臭氧反應速率較慢，但其所導致的二次衍生硝酸銨氣膠在廣達 $64000 km^2$ 地區皆出現濃度均一的高污染事件。

Wang et al. (2005)分析北京地區 2001-2003 三年的 $PM_{2.5}$ 逐日氣膠化學組成，多數離子分別在冬季與夏季有最高與最低大氣濃度，但與二次衍生氣膠相關的硫酸鹽與硝酸鹽在夏季與冬季皆有高值發生，其中發生夏季高值的原因為潮濕與強太陽輻射使得二次衍生氣膠轉換生成增加，冬季高值的原因則是因大氣擴散不佳的情況下燃煤增加導致 SO_2 排放不易移除，此一結果顯示二次衍生氣膠中硫酸鹽與硝酸鹽氣膠分別受到溫度與銨鹽分布的影響。亦有研究表示大氣處於相對潮濕的環境下，所量測到氣膠中含水率增加，因此氣態物質會在氣膠表面上進行異相反應進而形成鹽類，並增加氣膠質量(Chang et al., 2007)。

4. 研究方法

4.1 採樣時間與地點

本研究採樣地點位於金門氣象站(118°289'E；24°407'N，圖 1. 所示)，探討春季金門較易發生霧事件期間主要污染物特徵及污染物來源分析。金門與中國廈門僅相距 8 公里，金門本島內沒有大規模的工廠排放源，而在西南方 20 公里外有漳州電廠，主要污染來源為大陸污染傳輸；金門本島發展以觀光及畜牧業為主。

4.2 設備

4.2.1 大氣氣膠組成量測系統

自然環境的雲霧事件及都市地區人為傳輸的發生，僅為短短 2-3 小時的持續時間，在快速的化學反應之下氣膠組成量測必須以高時間解析度的分析來了解化學成分的形成過程，進而了解其機制對於大氣環境改變的影響。為此，現址式空氣組成量測設備(Air Composition Measuring Equipment - In Situ 2100, ACME – In Situ 2100)具有高時間解析特質，為本研究中主要的氣膠化學組成分析系統，此套系統改善自 2003 年所發展現址水溶性離子氣膠連續量測 (Chang et al., 2007)，量測物質包含 Cl^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 與 Ca^{2+} 共 9 種水溶性離子的 20 分鐘濃度變化。ACME – In Situ 2100 包含氣膠粒徑篩分單元、氣體捕捉單元(denuder)、氣膠成長捕捉單元與氣膠化學物種分析單元。在入口氣膠採樣流量為 16.7LPM 下，可依據量測需求選擇氣膠採樣入口的粒徑篩分器進行 $\text{PM}_{2.5}$ 或 PM_{10} 氣膠收集。採樣氣流先經由 denuder 收集氣相酸鹼物質後，採樣氣流通入氣膠成長捕捉器中，經由吸濕成長與過飽和成長，以慣性衝擊方式將氣膠自空氣中移除，氣態與粒狀樣品經由除泡過濾後注入離子層析儀。

4.2.2 雲霧採樣器 Fog monitor(FM-120)

Fog monitor(FM-120)量測項目為單粒子向前光散射(Single-particle forward light scattering)，可得知微粒參數包括微粒粒徑(Particle diameter)、粒子數濃度(Particle number concentration)、水含量(Liquid water content, LWC)、有效直徑(Effective diameter, ED)以及平均體積直徑(Median volume diameter, MVD)，粒徑量測範圍在 2-50 μm ，採樣體積為 1 m^3/min ，

4.3 天氣狀況與霧事件定義

採樣時間為 2016 年 3/17 至 4/14，採樣期間的風向、風速、溫度與相對濕度的趨勢變化如圖 2 (a)-(b)，3 月 15 日受到大陸冷氣團影響天氣條件為濕冷、氣溫偏低，16 日冷氣團減弱後溫度開始回升，風速由 15 日的 4 m/s 漸慢至 1 m/s，17~19 日風速較為穩定，約為 1~2 m/s，18 日晚間至 19 日氣象條件由北-東北風轉為南-西南風系統，且持續約 12 小時，19 日中午後為另一鋒面影響，氣溫由 18-20 °C 開始下降至 21 日約 10 °C，之後氣溫略有回升，但 23 日鋒面通過風速增強，24 日至 25 日受強烈大陸冷氣團影響，本次採樣期間的最低溫為 25 日的 10 °C。25 日起至 4 月 8 日為較穩定的氣象條件，溫度與相對濕度呈現日夜的變化，平均風速小於 3 m/s，偶有較高風速發生，4 月 8~14 日溫濕度無明顯日夜變化，相較於 3/26~4/7 的氣象條件，由圖中可見氣象場轉換頻率較高。

本文將採樣期間分為霧事件、高污染事件及平常日。依據 Fog monitor 量測結果每立方公分的空氣體積下含水量(Liquid water content, LWC)大於 0.01 g，且霧滴的 Median volume diameter (MVD) 大於 5 μm 視為霧事件，圖 2 (c) (d) 中，可見採樣期間 3/18 的中午至 19 日中午、4/5 日中午至 9 日、4/10 日的中午與 4/13 至 14 日均為霧事件發生期間，以霧低顆粒大小 MVD 分布及以及霧期的 LWC 將其區分為 Case I 及 Case II。Case I 的 MVD 分布為較小粒徑的霧滴，相對應的 LWC 約為 0.1-0.2g/cm³；Case II 的霧滴 MVD 則包含了較多的大粒徑霧滴，所挾帶貢獻的水量也較高。另外，採樣期間以環保署空氣品質-金門測站的 PM₁₀ 大於 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 期間為高污染事件。

5. 結果

5.1 一般性描述

在金門春季採樣期間氣膠水溶性離子組成的逐時趨勢呈現於圖 3，結果顯示水溶性無機離子趨勢變化與 PM₁₀ 質量濃度有一致的變化趨勢。霧事件在 Case I 以 NH₄⁺、NO₃⁻、SO₄²⁻、Cl⁻、Na⁺ 為增加物種；Case II 則以 SO₄²⁻ 增加為主，霧事件期間大氣含水量對於二次衍生性氣膠的生成有所差異，除了二次氣膠硫酸鹽與硝酸鹽外，海鹽成分 Na⁺、Cl⁻ 與 Mg²⁺ 均與霧的趨勢有很好的變化。高污染時期二次衍生性污染物在金門地區為重要的氣膠化學組成，塵土離子在傳輸間亦有明顯的趨勢變化。部分海鹽離子在高風速期間有明顯的增加趨勢，採樣前期與採樣中期發生高污染事件，且 PM₁₀ 最高濃度可至 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，比較平常日與高污染事件發生期間顯著增加的物種為 NH₄⁺、NO₃⁻、K⁺、Ca²⁺、SO₄²⁻，約增加 2-3 倍。探討在高污染事件期間光化學反應對於二次氣膠的生成機制中，圖 4 為 UVI (Ultraviolet INDEX) 與大氣氧化前驅物 O₃ 以及氣膠中主要的離子組成，O₃ 自 UVI 增加後呈現持續升高的趨勢，兩者間呈現明確的日夜變化，而在此期間氣膠中 NO₂⁻ 與 NO₃⁻ 則在 UVI 增加後開始下降，但在夜間有較為明顯的生成，且由 NO₂⁻ 與 NO₃⁻ 的變化可見在兩者之間濃度高值發生時間相差約 1 小時，此現象可能與二次衍生物的生成速率或大氣傳輸有關。NH₄⁺ 與 SO₄²⁻ 兩者的變化趨勢較

為一致，表示氣膠主要為硫酸銨鹽類，其較高的濃度發生於光化學反應較為強烈的每日上午 6 點至 14 點之間。

以逆軌跡分析採樣期間高污染事件與平日氣流軌跡，發現兩者的路徑均為東北來向，但高污染事件發生時路徑較為接近地面，故可將較高的污染物質傳輸至採樣地區(如圖 6. 與圖 7.)。圖 8. 為霧事件 Case I 3/18~19 的氣流軌跡，3 月 18 日中午 12:00 氣流軌跡由南方海面傳輸，夾帶豐沛的水氣造成金門起霧，晚上 8 點至 19 日的中午 12 點氣流軌跡經過中國大陸南方沿海地區，晚上 7 點時轉為東北方向傳輸，且經過中國大陸的陸地，將中國大陸的污染物質傳輸至金門地區，直到 3 月 20 日早上 10 點傳輸方向依舊為北方，使 3 月 19 日伴隨高污染事件發生。而霧事件 Case II (4 月 7 日) 如圖 9. 其軌跡方向在四段期間皆從南方海面傳輸，與 Case I 霧事件不同之處，本次傳輸期間並未經過中國沿海地區。

5.2 大氣污染對於能見度的影響

根據 Du et al. (2011)定義能見度連續四小時低於 10 公里且相對濕度小於 90%的情況下為霾發生期間。圖 10. 能見度與微粒質量濃度呈現指數關係，在相對濕度為 60-70%之間時，PM₁₀ 質量濃度高達 108.5 μg/m³時能見度低於 10 公里進而形成霾；而在相對濕度為 80-85%時，PM₁₀ 質量濃度僅需 52.2μg/m³則可形成霾，顯示不同相對濕度範圍 PM₁₀ 質量濃度對於能見度的影響有差異顯著。空氣污染會影響能見度的因子包括氣象條件、顆粒污染以及氣態污染，而顆粒污染 PM₁₀ 中主要的離子組成 NH₄⁺、NO₃⁻與 SO₄²⁻；氣態污染則以 SO₂ 以及 NO_y 為主，Table 1. 進行了不同相對濕度環境下，空氣污染與能見度的相關性分析。在不同程度的相對濕度範圍中各物質與能見度均為高度負相關，表示當污染物質濃度越高；能見度越低，且均達統計顯著，僅在相對濕度為 80-85%時，氣態污染為與能見度達統計相關，可能原因為在高濕的環境下，多數氣態污染物質已反應成氣膠相的二次衍生性物質，因此以顆粒污染物的成分對於能見度影響較高。進一步計算 PM₁₀、PM_{2.5}、二次衍生性物質與氣態物質在不同氣象條件下造成霾害的閾值(Table 2.)，比較 PM₁₀ 與 PM_{2.5} 對於霾害的貢獻，PM_{2.5} 濃度的增加較易形成霾的發生，且當濕度越高各污染物質對於形成霾事件的閾值濃度則越低。

5.3 霧事件的大氣化學反應

本節將霧事件期間逐時數據結果統整於圖 11. 中，利用硫化物與氮氧化物的氧化效率(SOR 與 NOR)以及 ammonium poor (NH₄⁺/SO₄²⁻ >1.5) 與 ammonium rich (NH₄⁺/SO₄²⁻ <1.5)的環境下，探討霧事件對於大氣氣相污染與二次衍生性物質間反應機制的影響。由圖 11. (a)與(b) NH₄⁺/SO₄²⁻的比值結果顯示，當 ammonium rich 的期間，NOR 結果為增加的現象，而 ammonium poor 期間則以 NO_z 濃度較高，表示大氣中銨的多寡會直接的影響大氣化學組成與反應，霧期當 ammonium poor 時未有多餘的銨與與氮氧化物進行反應，故以氣相物質 HNO₃ 為

主，NOR 值較低。霧對於硫酸鹽的生成貢獻由 $\text{SO}_4^{2-}/\text{PM}_{10}$ 比例增加的趨勢變化，可明顯見到與 LWC 的變化一致，表示霧期所提供的高濕環境可促使 SO_2 液相轉換生成 SO_4^{2-} 的，且 2 小時內即有明顯的生成增加。



圖 1. 採樣地點，金門氣象站

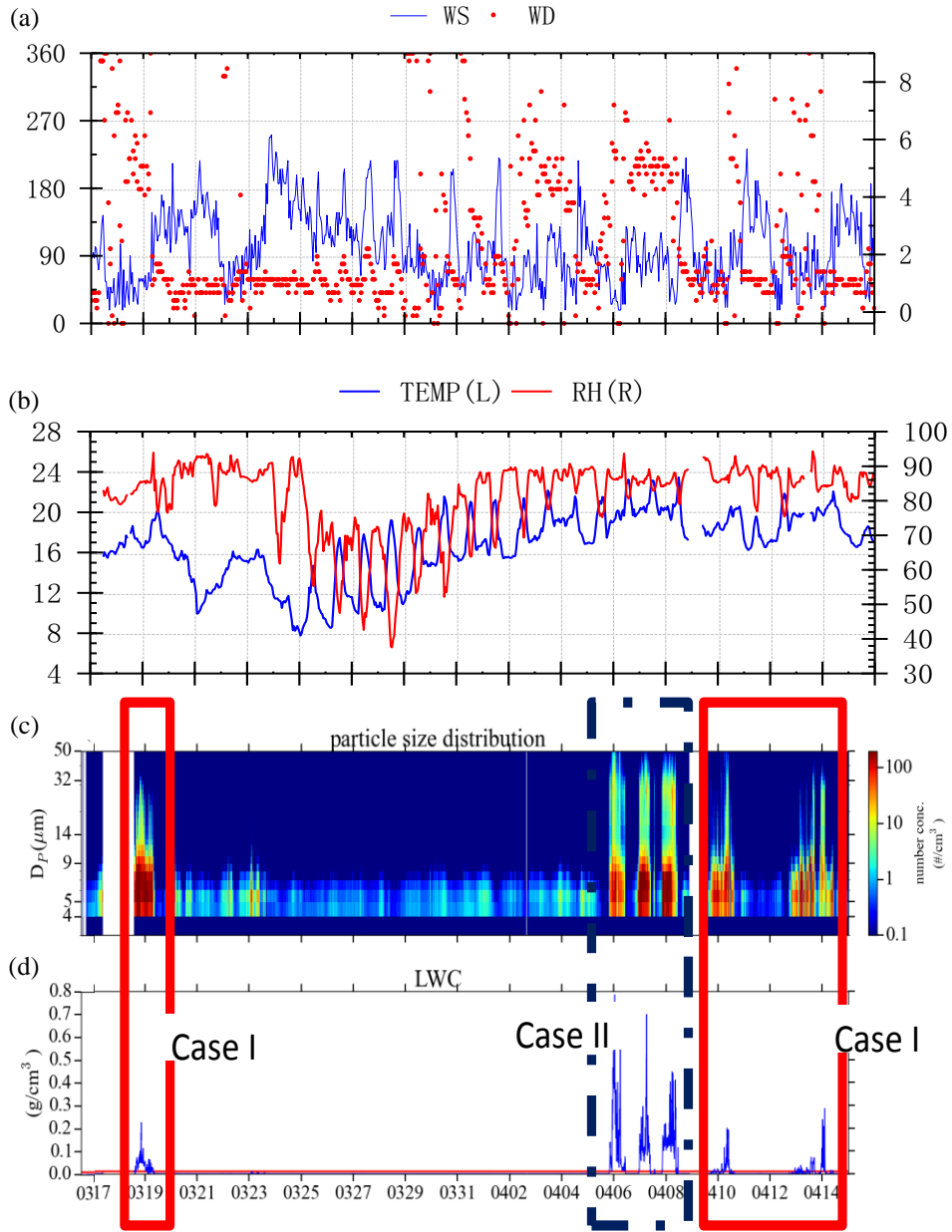


圖 2. 採樣期間氣象條件逐時變化趨勢與霧事件定義

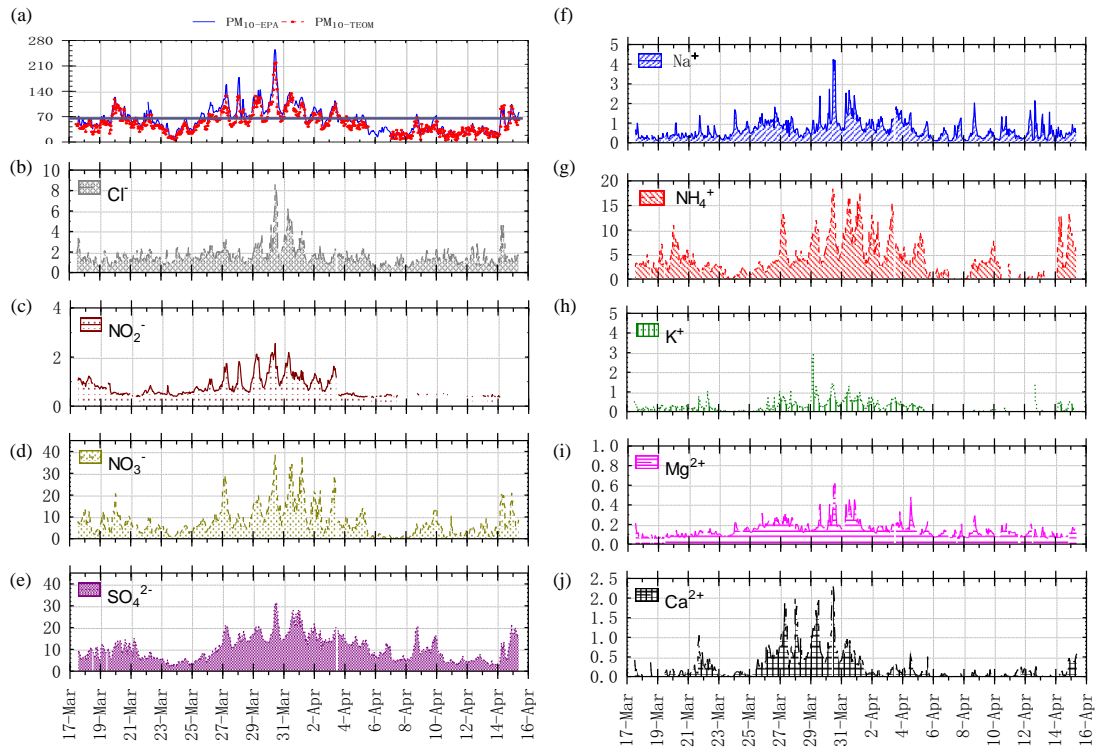


圖 3. PM₁₀ 質量濃度與 PM₁₀ 中水溶性無機鹽的趨勢變化

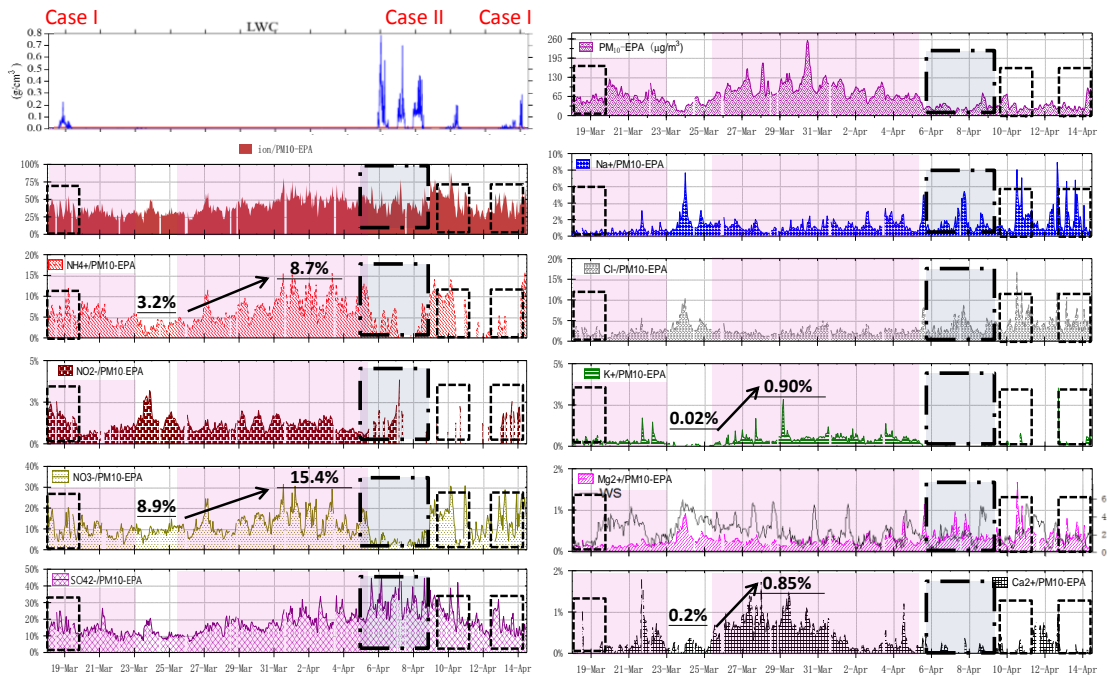


圖 4. PM₁₀ 化學組成百分比趨勢

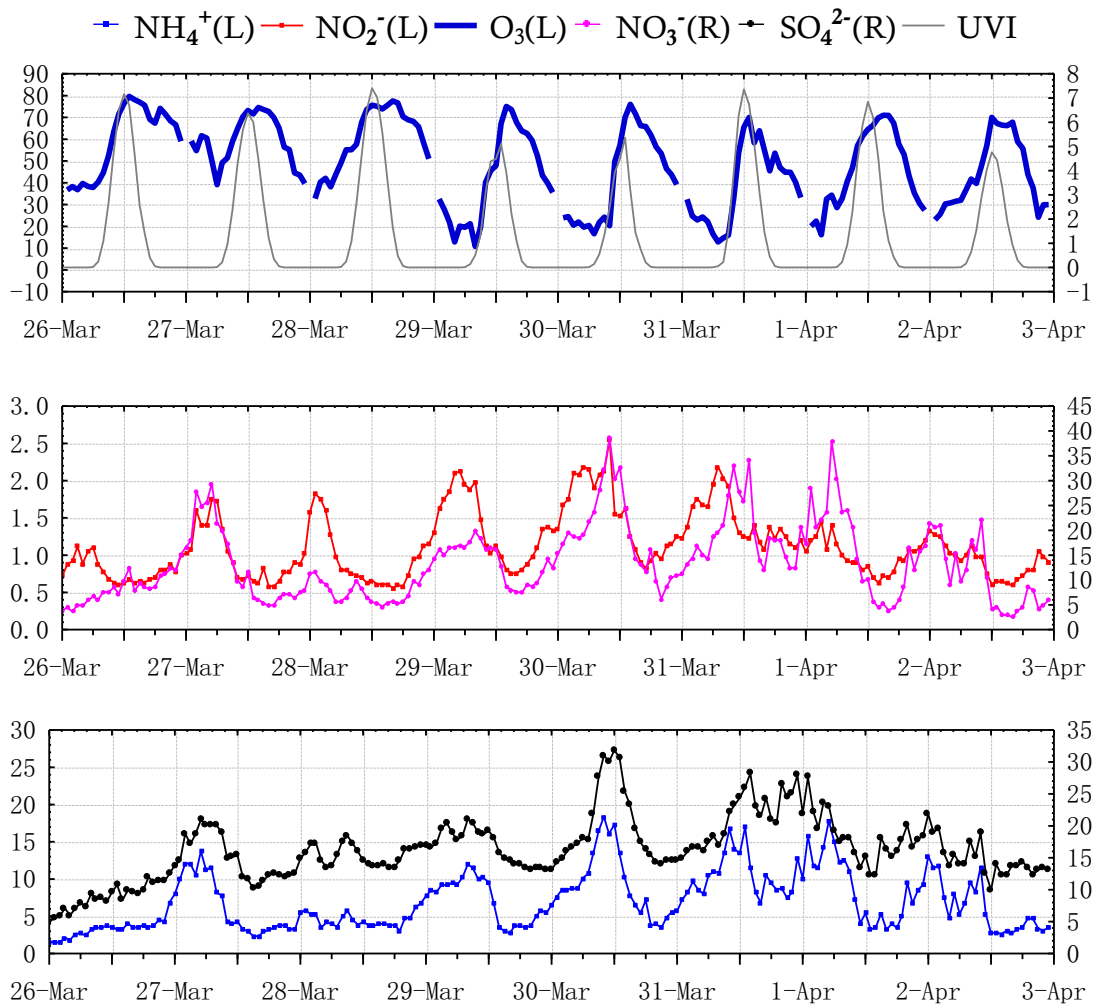


圖 5. 高污染事件期間 PM₁₀ 主要離子與光照影響

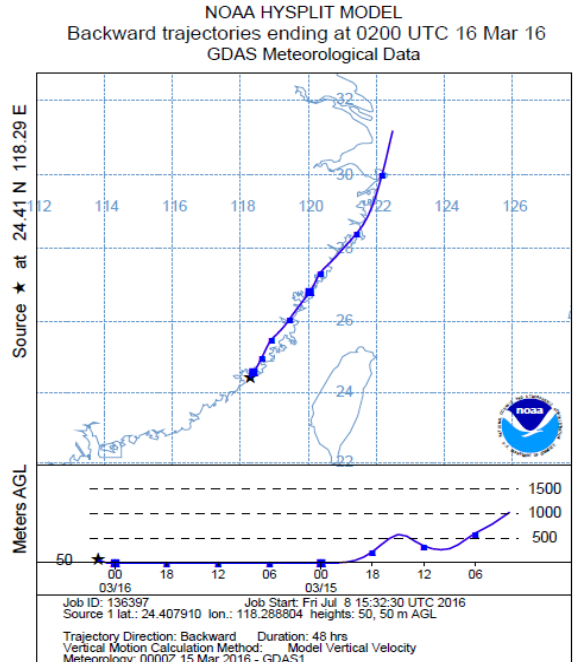
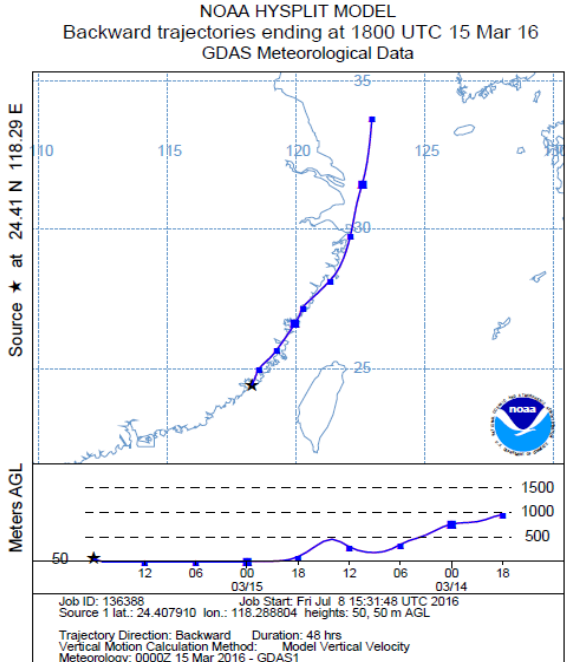
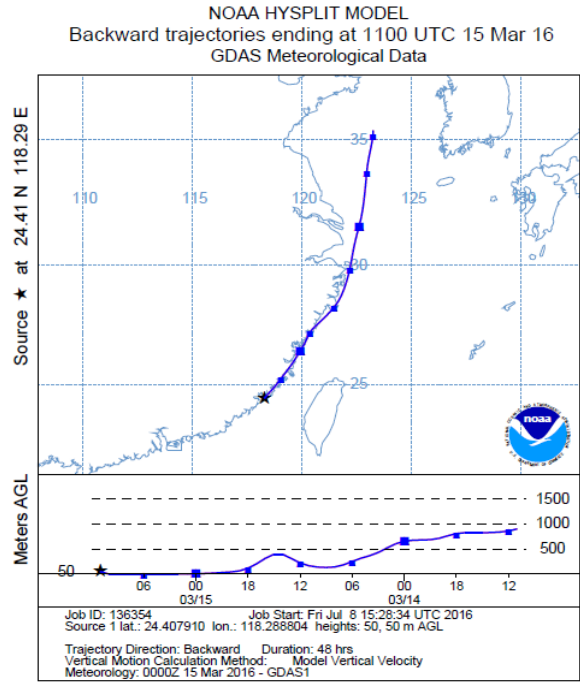
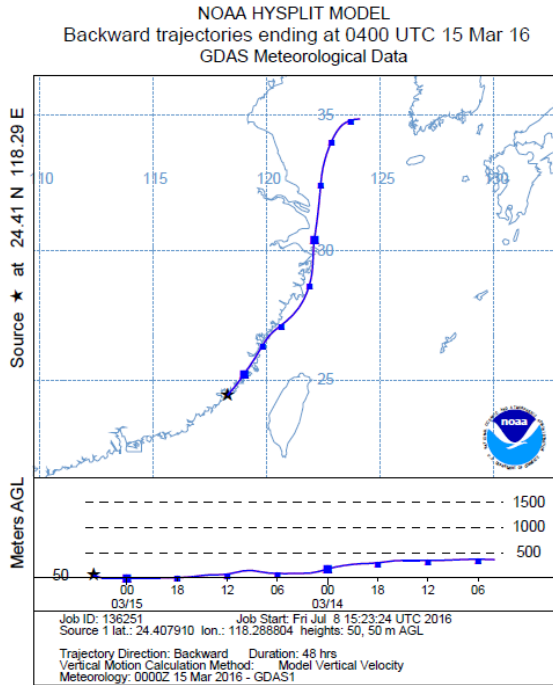


圖 6. 高污染事件日的氣流軌跡

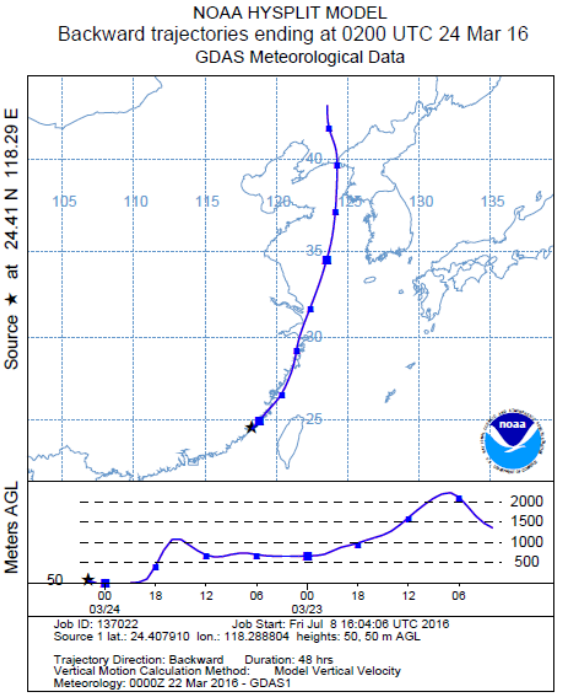
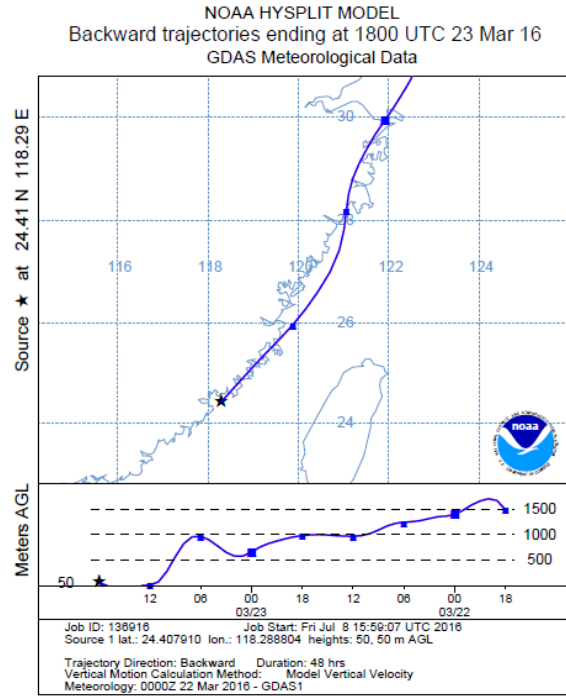
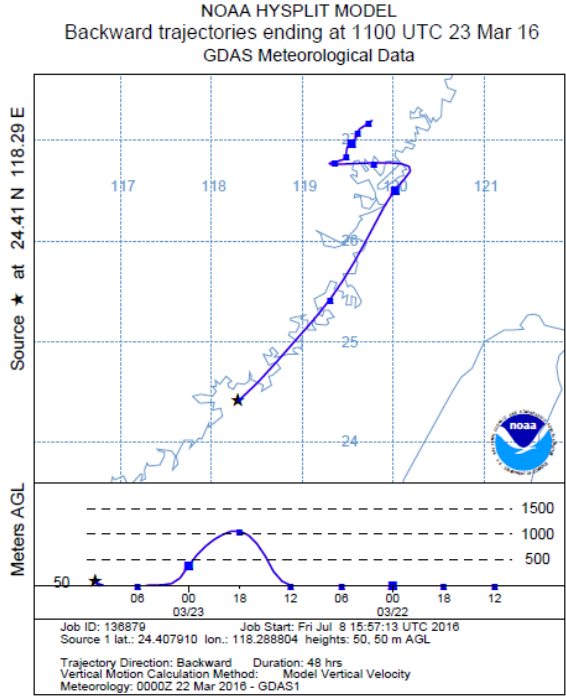
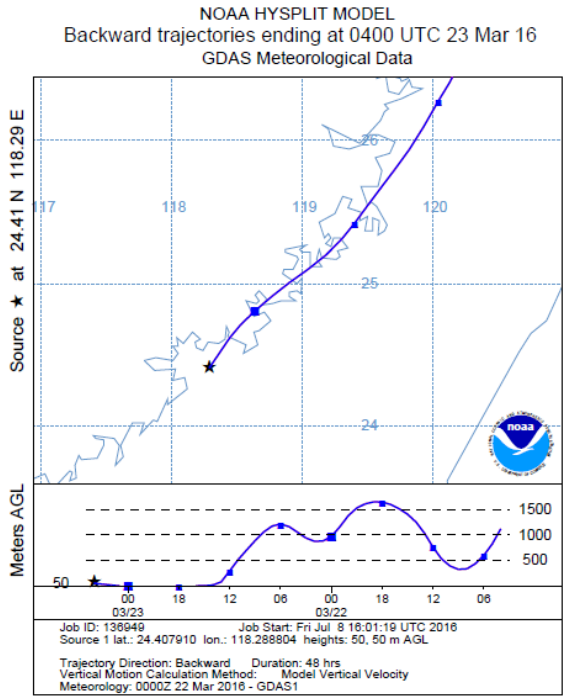


圖 7. 平常日的氣流軌跡

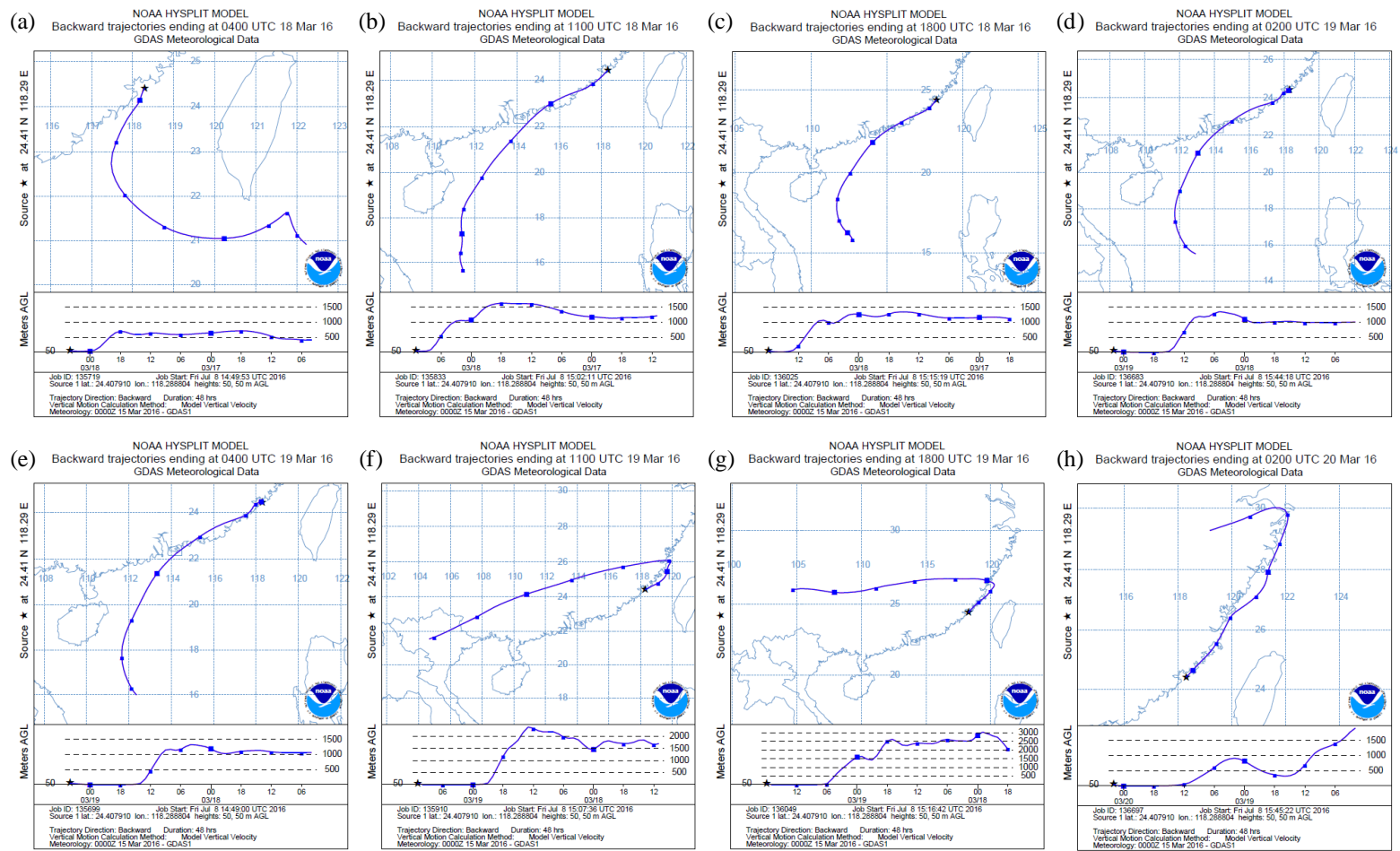


圖 8.霧事件 Case I 的氣流軌跡

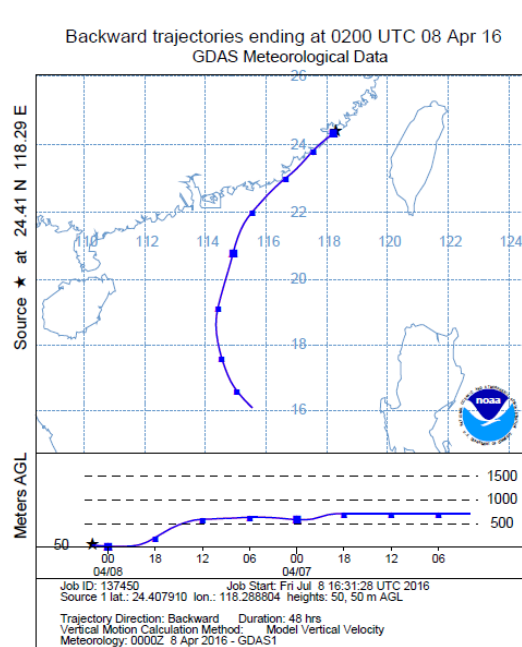
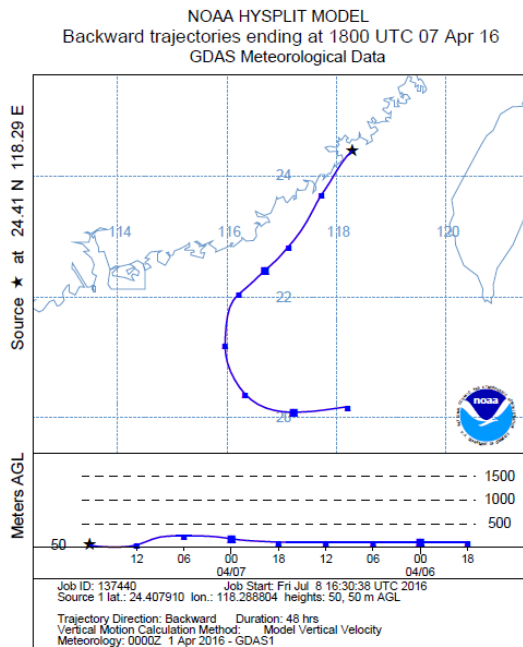
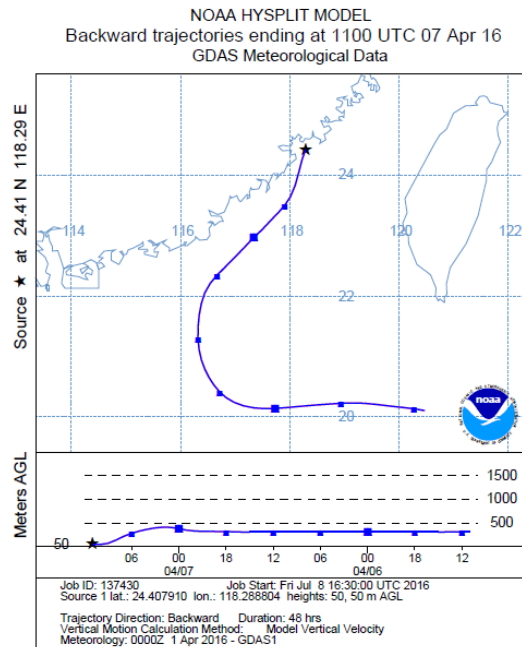
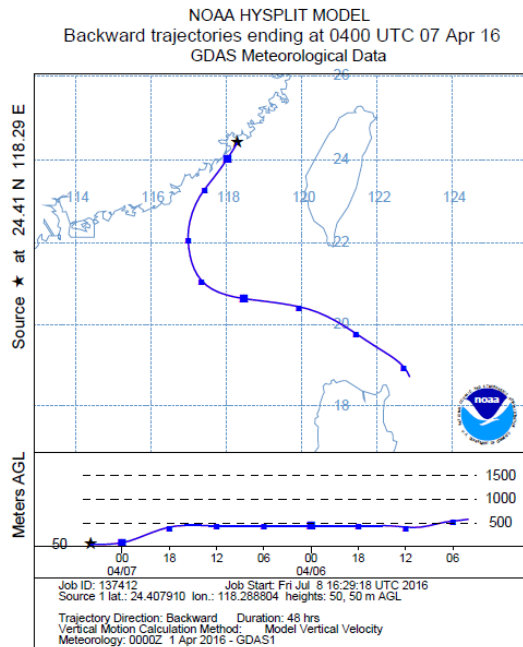


圖 9. 霧事件 Case II 的氣流軌跡

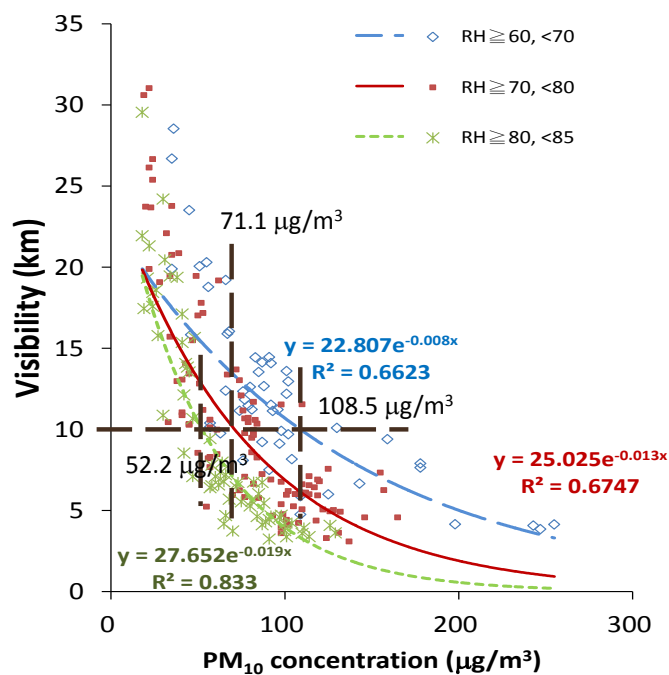


圖 10. PM₁₀ 質量濃度在不同相對濕度環境與大氣能見度的關係

Table 1. 不同相對濕度環境下，空氣污染物與能見度的相關性分析

RH(%)	60≤RH<70	70≤RH<80	80≤RH<85
NH ₄ ⁺	-0.77	-0.78	-0.80
NO ₃ ⁻	-0.75	-0.71	-0.74
SO ₄ ²⁻	-0.83	-0.77	-0.82
SO ₂	-0.62	-0.54	-0.21
NO _y	-0.57	-0.54	-0.03

Bold is $p < 0.05$

Table 2. 霾害形成的空氣污染物閾值

RH (%)	Threshold concentration		
	60≤RH<70	70≤RH<80	80≤RH<85
PM ₁₀ -EPA	103.06	71.11	52.16
PM _{2.5} -EPA	55.65	41.61	32.21
NH ₄ ⁺	6.66	4.17	2.59
NO ₃ ⁻	13.31	8.47	4.92
SO ₄ ²⁻	15.17	11.39	9.47
SO ₂	5.67	2.43	-1.27
NO _y	23.21	14.42	-0.03

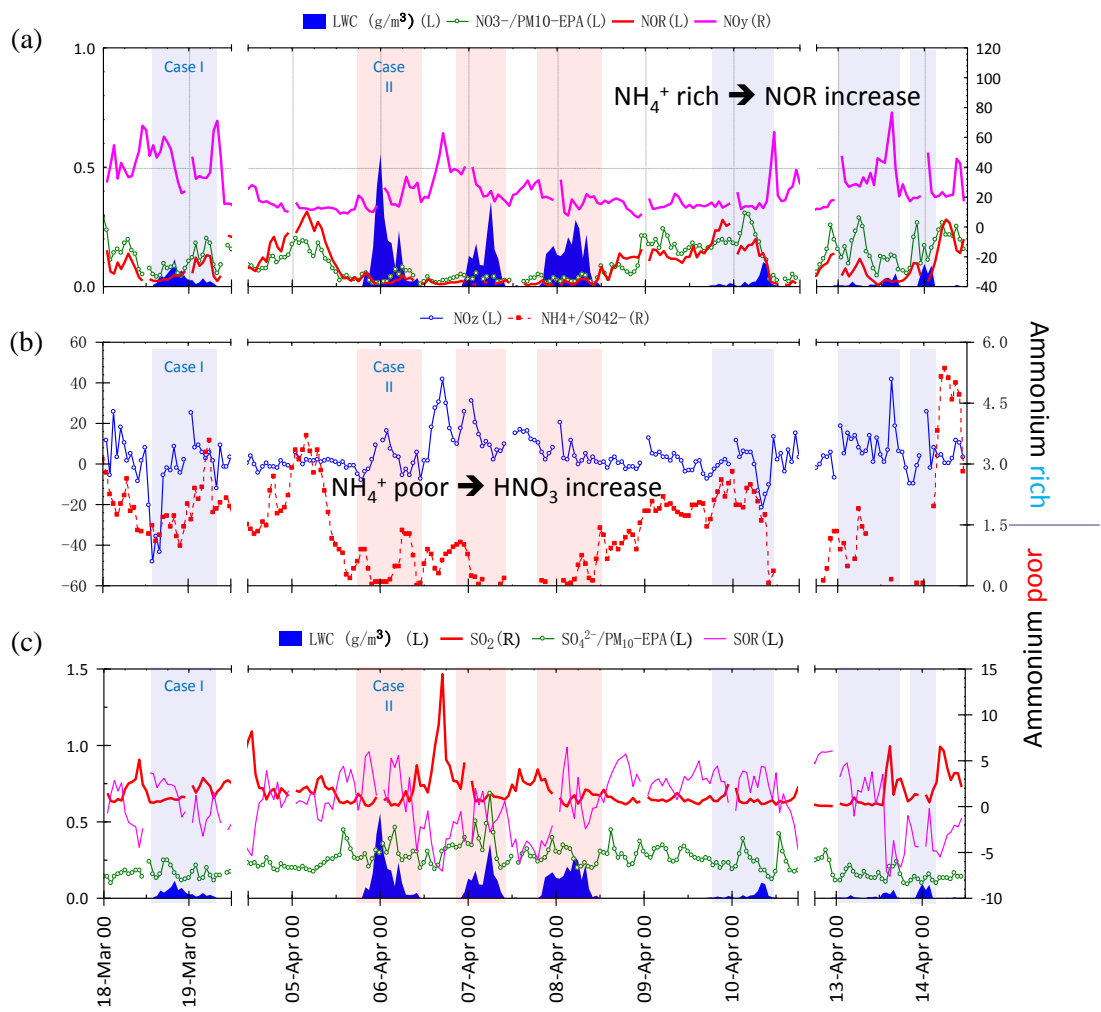


圖 11. 霧事件期間大氣氣相污染物與二次衍生性物質的形成機制

6. 結論與建議

6.1 結論

- I. 高污染時期二次衍生性污染物在金門地區為重要的氣膠化學組成，塵土在傳輸間亦有明顯的趨勢變化。部分海鹽在高風速期間有明顯的增加趨勢。
- II. 以逆軌跡分析採樣期間高污染事件來源，發現當氣流軌跡高度較為接近地面時，可將較高的污染物質由中國大陸傳輸至金門地區
- III. 在不同相對濕度的影響下，大氣污染物對於能見度的影響均不相同，若相對濕度大於 80% 以上時，PM₁₀ 高於 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 可促使霾事件發生的機率增加，且主要影響能見度的物質為二次衍生性氣膠，並 PM_{2.5} 影響較 PM₁₀ 高
- IV. 霧事件期間大氣含水量對於二次衍生性氣膠的生成有所差異，二次氣膠硫酸鹽與硝酸鹽以及海鹽成分(Na⁺、Cl⁻與 Mg²⁺)均與霧的趨勢有很好的變化。
- V. 大氣中銨的多寡會直接的影響大氣化學組成與反應，霧期當 NH₄⁺ poor 時無法與氮氧化物反應成硝酸鹽類，故以 HNO₃ 為主，NOR 值較低。
- VI. 霧期所提供的高濕環境為提供 SO₂ 液相轉換生成 SO₄²⁻ 的重要因子，以逐時分析結果 2hr 內即有明顯的生成。

6.2 建議

本研究分析氣膠中逐時無機鹽類，建議在後續研究中，可對霧水進行逐時化學組成分析及 pH 值的即時量測，並同時監測氣態物質在大氣中的變化，以了解氣態污染物與霧水的反應以及轉換為氣膠鹽類的過程。

7. 參考文獻

- Chang, S.C., Chou, C.C.K., Chan, C.C., Lee, C.T., 2010. Temporal characteristics from continuous measurements of PM_{2.5} and speciation at the Taipei Aerosol Supersite from 2002 to 2008. *Atmospheric Environment* 44, 1088-1096.
- Chang, S.Y., Lee, C.T., Chou, C.C.K., Liu, S.C., Wen, T.X., 2007. The performance comparison of the In Situ IC instrument and the continuous field measurements of soluble aerosol compositions at the Taipei Aerosol Supersite, Taiwan. *Atmospheric Environment* 41, 1936-1949.
- Kawamura, K., Sempere, R., Imai, Y., 1996a. Water soluble dicarboxylic acids and related compounds in Antarctic aerosols. *Journal of Geophysical Research* 101, 18721-18728.
- Kumar, N.K., Lurmann, F.W., Pandis, S.N., 1998. Analysis of Atmospheric Chemistry during 1995 Integrated Monitoring Study. Report No. STI-997214-1791-DFR. Prepared for California Air Resources Board, Sacramento, CA, by Sonoma

Technology Inc., Santa Rosa, CA.

Stein, A.F., Lamb, D., 2003. Empirical evidence for the low- and high-NO_x photochemical regimes of sulfate and nitrate formation. *Atmospheric Environment* 37, 3615-3625.

Wang, Y., Zhuang, G., Tang, A., Yuan, H., Sun, Y., Chen, S., Zheng, A., 2005. The ions chemistry and the source of PM_{2.5} aerosol in Beijing. *Atmospheric Environment* 39, 3771-3784.

Zhang, J., Chen, J., Yang, L., Sui, X., Yao, L., Zheng, L., Wen, L., Xu, C., Wang, W., 2014. Indoor PM_{2.5} and its chemical composition during a heavy haze-fog episode at Jinan, China. *Atmospheric Environment* 99, 641-649

張順欽、李崇德；2005。台北都會區二次氣膠增量推估之研究。2005 年第十二屆國際氣膠科技研討會，1-10。

張順欽、黃薇如、李崇德；2005。光化學反應生成二次氣膠個案研究。2005 年第十二屆國際氣膠科技研討會，626-635。

科技部補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2016/10/27

科技部補助計畫	計畫名稱: 雲霧事件、都市空氣污染傳輸與自然排放對於二次氣膠生成影響
	計畫主持人: 張士昱
	計畫編號: 104-2111-M-040-001- 學門領域: 大氣化學
無研發成果推廣資料	

104年度專題研究計畫成果彙整表

計畫主持人：張士昱			計畫編號：104-2111-M-040-001-			
計畫名稱：雲霧事件、都市空氣污染傳輸與自然排放對於二次氣膠生成影響						
成果項目			量化	單位	質化 (說明：各成果項目請附佐證資料或細項說明，如期刊名稱、年份、卷期、起訖頁數、證號...等)	
國內	學術性論文	期刊論文		0	篇	
		研討會論文		2		
		專書		0	本	
		專書論文		0	章	
		技術報告		0	篇	
		其他		0	篇	
	智慧財產權及成果	專利權	發明專利	申請中	0	件
				已獲得	0	
			新型/設計專利		0	
		商標權		0		
		營業秘密		0		
		積體電路電路布局權		0		
		著作權		0		
		品種權		0		
		其他		0		
	技術移轉	件數		0	件	
		收入		0	千元	
	國外	學術性論文	期刊論文		0	篇
			研討會論文		1	
			專書		0	本
專書論文			0	章		
技術報告			0	篇		
其他			0	篇		
智慧財產權及成果		專利權	發明專利	申請中	0	件
				已獲得	0	
			新型/設計專利		0	
		商標權		0		
		營業秘密		0		
		積體電路電路布局權		0		
		著作權		0		
		品種權		0		
其他		0				

	技術移轉	件數	0	件	
		收入	0	千元	
參與計畫人力	本國籍	大專生	4	人次	
		碩士生	2		
		博士生	1		
		博士後研究員	0		
		專任助理	0		
	非本國籍	大專生	0		
		碩士生	0		
		博士生	0		
		博士後研究員	0		
		專任助理	0		
其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)					

科技部補助專題研究計畫成果自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現（簡要敘述成果是否具有政策應用參考價值及具影響公共利益之重大發現）或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以100字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形（請於其他欄註明專利及技轉之證號、合約、申請及洽談等詳細資訊）

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以200字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性，以500字為限）

學術成就與技術創新方面：本研究利用高時間解析的量測數據，評估雲霧事件發生對於二次氣膠生成的反應機制，數據結果未來可應用於模式中改善二次氣膠生成機制模擬，降低大氣化學的研究不確定性。

社會影響：本研究於金門採樣期間，不時聽聞居民表示當地空氣品質良好，但實際的研究數據以及環保署空氣品質監測結果處處都顯示本地區深受大陸污染影響，表示在區域居民需增加相關空氣品質與健康危害宣導。此外金門地區常常受到霧鎖機場影響日常，未來若能加深對於霧形成機制的預報，可使民眾出入機場的同時避開霧期所帶來的不便。

4. 主要發現

本研究具有政策應用參考價值： 否 是，建議提供機關

（勾選「是」者，請列舉建議可提供施政參考之業務主管機關）

本研究具影響公共利益之重大發現： 否 是

說明：（以150字為限）