

107-027-7A72

MOTC-IOT-106-H2DB002a

船舶航行對沿岸及港域空污預 測模式之建立



交通部運輸研究所

中華民國 107 年 3 月

107-027-7A72

MOTC-IOT-106-H2DB002a

船舶航行對沿岸及港域空污預 測模式之建立

著者：吳義林、蔡德明、賴信志、張鴻良、

楊榮元、邱永芳、蔣敏玲

交通部運輸研究所

中華民國 107 年 3 月

107

船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立

交通部運輸研究所

GPN: 1010700178

定價 200 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立 / 吳
義林等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研
所, 民 107. 03

面 ; 公分

ISBN 978-986-05-5313-0(平裝)

1. 港埠管理

557

107001865

船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立

著 者：吳義林、蔡德明、賴信志、張鴻良、楊榮元、邱永芳、蔣敏玲

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.ihmt.gov.tw (中文版 > 中心出版品)

電 話：(04)26587132

出版年月：中華民國 107 年 3 月

印 刷 者：采峰實業有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 50 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：200 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組 • 電話：(02)23496880

國家書店松江門市:10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1 • 電話:(02) 25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號 • 電話：(04)22260330

GPN：1010700178 ISBN：978-986-05-5313-0(平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立			
國際標準書號(或叢刊號) ISBN 978-986-05-5313-0 (平裝)	政府出版品統一編號 1010700178	運輸研究所出版品編號 107-027-7A72	計畫編號 MOTC-IOT-106-H2DB002a
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：蔣敏玲 聯絡電話：04-26587128 傳真號碼：04-26560661	合作研究單位：財團法人成大研究發展基金會 計畫主持人：吳義林 研究人員：蔡德明、賴信志、張鴻良、楊榮元 地址：臺南市大學路1號 聯絡電話：06-2386764	研究期間 自 106 年 1 月 至 106 年 12 月	
關鍵詞：空氣品質、AIS、AERMOD 模式、CMAQ 模式			
<p>摘要：</p> <p>本研究結合 AIS 資料建置各港區與其相關活動之排放量資料，並進行模擬分析港埠相關活動對於臺灣沿岸地區與港區附近之空氣品質影響，尤其是區分一次原生性污染物與二次衍生性污染物之影響。內容共分為 AERMOD 模式即時推估與 CMAQ 模式歷史案例解析兩大部分；其中 AERMOD 模式為原生性污染物模擬，建置模擬範圍以臺中港為主，包含鄰近臺中市部分地區，藉以預報臺中港區污染物排放的影響；CMAQ 模式同時模擬原生性與衍生性污染物的影響，以環保署排放清冊 TEDS 建置之臺灣地區排放量為基礎，再以 AIS 搭配勞氏資料庫建置沿海區域之船舶排放量，以分析船舶排放空氣污染物對臺灣地區空氣品質之影響。</p> <p>研究結果顯示臺灣周遭海域船舶之平均每日 NO_x 及 SO_x 排放量分別為 3150 噸與 1580 噸。在臺灣地區五大港口排放影響方面，細懸浮微粒介於 0.31% ~ 5.88% 之間，最高為小港測站之 5.88%；8 小時平均臭氧介於 -11.13% ~ 1.45% 之間，最高為仁武測站之 1.45%；硫氧化物介於 0.67% ~ 33.5% 之間，最高為前鎮及復興測站之 33.5%；氮氧化物介於 0.29% ~ 25.1% 之間，最高為萬里測站之 25.1%。在臺灣周遭海域船舶之排放影響方面，細懸浮微粒介於 2.41% ~ 17.7% 之間，最高為潮州測站之 17.7%；8 小時平均臭氧介於 -31.6% ~ 8.08% 之間，最高為楠梓測站之 8.08%；硫氧化物介於 6.72% ~ 25.4% 之間，最高為萬里測站之 25.4%；氮氧化物介於 -0.08% ~ 53.5% 之間，最高為萬里測站之 53.5%。</p> <p>本研究成果可提供交通部、航港局與臺灣港務公司或環境保護署在研擬港埠及沿岸地區空污對策之參考，以建立綠色港口，使之符合國際海事組織(IMO)與歐洲海港組織(ESPO)規範，提升港口國際競爭力，並確保環境永續發展。另研究成果已藉由舉辦 1 次教育訓練進行推廣。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
107 年 3 月	252	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
<p>機密等級：</p> <p><input type="checkbox"/>密 <input type="checkbox"/>機密 <input type="checkbox"/>極機密 <input type="checkbox"/>絕對機密 (解密條件：<input type="checkbox"/>年 <input type="checkbox"/>月 <input type="checkbox"/>日解密，<input type="checkbox"/>公布後解密，<input type="checkbox"/>附件抽存後解密， <input type="checkbox"/>工作完成或會議終了時解密，<input type="checkbox"/>另行檢討後辦理解密) <input checked="" type="checkbox"/>普通</p>			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Establishment of Air Quality Forecast System at Kaohsiung Harbor			
ISBN(OR ISSN) 978-986-05-5313-0(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010700178	IOT SERIAL NUMBER 107-027-7A72	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-106-H2DB002a
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yung-Fang Chiu PROJECT STAFF: Min-Ling Chiang PHONE: (04) 26587128 FAX: (04) 26560661			PROJECT PERIOD FROM February 2017 TO December 2017
RESEARCH AGENCY: NCKU Research and Development Foundation PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yee-Lin Wu PROJECT STAFF: Der-Min Tsai, Hsin-Chih Lai, Hong-Liang Zhang, Rong-Yuan Yang ADDRESS: No.1, University RD., Tainan City 701, Taiwan, R.O.C. PHONE: 886-6-2386764			
KEY WORDS: Air quality 、 AIS 、 AERMOD 、 CMAQ			
ABSTRACT:			
<p>There are two major parts in this study. The first one is real-time forecasting system for primary pollutants at Taichung harbor and the second one is to estimate impacts of harbors and ships travelling around Taiwan on the air quality in Taiwan. The real-time forecasting system is for primary pollutants, especially for SO₂ and NO_x at the Taichung harbor and nearby area by using AERMOD. The comprehensive air quality modelings for five major harbors and ships around Taiwan are conducted by CMAQ to include both primary and secondary pollutants, like PM_{2.5} and O₃. The air pollutants emitted from ships are estimated by using AIS in both parts.</p> <p>This study has established the terrain, the meteorological input data, and the real-time emission data around Taichung harbor for AERMOD air quality dispersion model. The spatial increment concentration contours are automatical plotted from the output of AERMOD as well as the test file output.</p> <p>The emission inventory method for ship travelling around Taiwan has also been developed based the trajectory for each individual ship from AIS. The average daily emissions of NO_x and SO_x from ships around Taiwan are 3150 and 1580 tons, respectively. The impacts of air pollutants emitted from ships has been evaluated and the results show that their contributions to the concentrations of SO₂, NO_x, fine particle, and ozone (eight-hour average) are 6.72%~25.4%, -0.08%~53.5%, 2.41%~17.7%, and -31.6%~8.1%, respectively.</p>			
DATE OF PUBLICATION March 2018	NUMBER OF PAGES 252	PRICE 200	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立

目 錄

第一章 前言	1-1
1.1 研究動機.....	1-1
1.2 研究目的.....	1-2
1.3 研究內容與方法.....	1-3
第二章 文獻回顧.....	2-1
2.1 混合層高度之意義與重要性.....	2-1
2.2 擴散模式.....	2-3
2.3 AERMOD 模式.....	2-4
2.4 網格模式.....	2-6
2.5 WRF 氣象模式.....	2-7
2.6 Models-3/CMAQ 模式.....	2-9
第三章 研究方法.....	3-1
3.1 規劃執行流程.....	3-1
3.2 建置氣象資料.....	3-3
3.2.1 Pasquill 大氣穩定度.....	3-3
3.2.2 羅氏法推估混合層高度.....	3-5
3.2.3 混合層高度比較.....	3-7

3.3 建置地形資料.....	3-9
3.4 排放量推估.....	3-9
3.4.1 AIS 資料庫.....	3-11
3.4.2 勞氏資料庫.....	3-12
3.4.3 船舶排放量.....	3-13
3.5 建置即時推估系統.....	3-23
第四章 AERMOD 研究結果.....	4-1
4.1 臺中港附近高程地形之建置.....	4-1
4.2 混合層高度比較.....	4-2
4.3 日夜變化差異.....	4-6
4.4 季節變化差異.....	4-9
4.5 平均差異.....	4-12
4.6 即時推估系統執行結果展示.....	4-17
4.7 臺中港即時推估結果.....	4-18
第五章 CMAQ 研究結果.....	5-1
5.1 臺灣海域網格船舶排放量.....	5-1
5.1.1 排放量計算方式.....	5-1
5.1.2 2013 年 4 月 AIS 排放量.....	5-12
5.1.3 2013 年 10 月 AIS 排放量.....	5-15
5.2 WRF 氣象資料建置.....	5-18

5.3 CMAQ 模擬建置.....	5-23
5.4 CMAQ 基準年分析.....	5-25
5.5 CMAQ 臺灣五大港口影響.....	5-31
5.6 CMAQ 臺灣海峽船舶排放量影響.....	5-36
第六章 結論與建議.....	6-1
6.1 結論.....	6-1
6.2 建議.....	6-2
6.3 成果效益及應用情形.....	6-2
參考文獻.....	參-1
專有名詞對照表.....	專-1
附錄一 期中報告審查意見處理情形表.....	附錄一-1
附錄二 期末報告審查意見處理情形表.....	附錄二-1
附錄三 期末報告簡報資料.....	附錄三-1
附錄四 工作會議記錄.....	附錄四-1
附錄五 教育訓練簡報.....	附錄五-1
附錄六 CMAQ 臺灣五大港口影響.....	附錄六-1
附錄七 CMAQ 臺灣海峽船舶排放量影響.....	附錄七-1

圖目錄

圖 1.1 臺中港鄰近 EPA 空氣品質監測站位置圖	1-2
圖 2.1 混合層高度與垂直擴散係數之關係.....	2-2
圖 2.2 污染物擴散空間分布示意圖	2-4
圖 2.3 AERMOD 模式模擬流程圖	2-6
圖 2.4 Models-3 多層次網格示意圖	2-11
圖 2.5 Models-3/CMAQ 各模組之相關性	2-13
圖 3.1 計畫目標執行流程圖.....	3-2
圖 3.2 AERMET 氣象資料處理流程	3-3
圖 3.3 探空資料欄位	3-6
圖 3.4 地面資料欄位	3-6
圖 3.5 混合層高度計算比較示意圖	3-7
圖 3.6 混合層變化差異比較示意圖.....	3-8
圖 3.7 AERMOD 模擬高程地形示意圖.....	3-9
圖 3.8 排放量推估流程圖	3-10
圖 3.9 臺中港區經度座標回歸.....	3-12
圖 3.10 臺中港區緯度座標回歸.....	3-12
圖 3.11 模擬結果示意圖	3-25
圖 3.12 增量等值圖結果示意圖.....	3-26

圖 4.1 臺中港附近高程地形.....	4-2
圖 4.2 環保署測站混合層高度計算比較.....	4-4
圖 4.3 氣象局測站混合層高度計算比較.....	4-5
圖 4.4 逐時平均混合層高度(m).....	4-7
圖 4.5 逐時日夜變化差異比較.....	4-8
圖 4.6 逐月平均混合層高度(m).....	4-10
圖 4.7 逐月季節變化差異比較.....	4-11
圖 4.8 環保署測站平均混合層高度比較.....	4-13
圖 4.9 氣象局測站平均混合層高度比較.....	4-14
圖 4.10 環保署測站平均混合層變化比較.....	4-15
圖 4.11 氣象局測站平均混合層變化比較.....	4-16
圖 4.12 自動繪圖結果.....	4-17
圖 4.13 沙鹿測站 NO _x 推估結果.....	4-19
圖 4.14 沙鹿測站 SO ₂ 推估結果.....	4-19
圖 4.15 NO _x 推估結果與 EPA 測值比較.....	4-20
圖 4.16 SO _x 推估結果與 EPA 測值比較.....	4-20
圖 5.1 臺灣周遭海域.....	5-2
圖 5.2 AIS 船舶軌跡缺值示意圖.....	5-2
圖 5.3 船長 350m 之船舶航行軌跡.....	5-3
圖 5.4 依時間序列計算排放量.....	5-5

圖 5.5 IMO 編號 9330537 航行軌跡圖(2013 年 10 月)	5-7
圖 5.6 IMO 編號 9467299 航行軌跡圖(2013 年 10 月)	5-8
圖 5.7 臺灣周遭海域區間分布圖	5-11
圖 5.8 船舶軌跡與區間分布	5-12
圖 5.9 船舶軌跡推算排放量基準	5-12
圖 5.10 船舶排放量 2013 年 4 月推算結果	5-15
圖 5.11 船舶排放量 2013 年 4 月區域比例推算結果	15
圖 5.12 船舶排放量 2013 年 10 月推算結果	5-18
圖 5.13 船舶排放量 2013 年 10 月區域比例推算結果	5-18
圖 5.14 WRF 四層網格將影響臺灣天氣的環境條件均包含於模擬範圍	5-19
圖 5.15 基準年 2013 年 4 月細懸浮微粒模擬結果	5-27
圖 5.16 基準年 2013 年 4 月臭氧模擬結果	5-28
圖 5.17 基準年 2013 年 10 月細懸浮微粒模擬結果	5-29
圖 5.18 基準年 2013 年 10 月臭氧模擬結果	5-30
圖 5.19 2013 年 4 月五大港口合計影響	5-33
圖 5.20 2013 年 10 月五大港口合計影響	5-34
圖 5.21 2013 年平均五大港口合計影響	5-35
圖 5.22 2013 年 4 月臺灣海峽船舶排放影響	5-38
圖 5.23 2013 年 10 月臺灣海峽船舶排放影響	5-39
圖 5.24 2013 年平均臺灣海峽船舶排放影響	5-40

表目錄

表 2-1 本研究模擬模式採用的設定基準	2-11
表 3-1 Pasquill 大氣穩定度等級分類表	3-4
表 3-2 輻射量與日照強度關係表	3-4
表 3-3 環保署測站資訊.....	3-7
表 3-4 AIS 資料欄位	3-11
表 3-5 勞氏資料庫欄位名稱	3-13
表 3-6 船舶缺值預設表.....	3-15
表 3-7 輔助引擎缺值預設表	3-16
表 3-8 鍋爐缺值預設表.....	3-17
表 3-9 主引擎排放係數.....	3-19
表 3-10 輔助引擎排放係數	3-20
表 3-11 鍋爐排放係數.....	3-21
表 3-12 MDO/MGO 燃油校正係數.....	3-21
表 3-13 低負載校正係數.....	3-22
表 3-14 輔助引擎負載預設值	3-23
表 4-1 地面氣象觀測站資訊	4-3
表 4-2 推估數值與 EPA 測值比較百分比	4-20
表 5-1 AIS 資料 2013 年 4 月可用率	5-9

表 5-2 AIS 資料 2013 年 10 月可用率	5-10
表 5-3 船舶排放量 2013 年 4 月推算結果	5-14
表 5-4 船舶排放量 2013 年 10 月推算結果	5-17
表 5-5 本研究 WRF 模式模擬採用的設定基準.....	5-19
表 5-6 本研究模擬 WRF 模式採用的參數設定.....	5-20
表 5-7 各測站資料表.....	5-22
表 5-8 懸浮微粒之模式模擬性能評估規範	5-24
表 5-9 臭氧之模式模擬性能評估規範值	5-24
表 5-10 細懸浮微粒之模式模擬性能評估結果	5-25
表 5-11 臭氧之模式模擬性能評估結果(1/2).....	5-25
表 5-12 臭氧之模式模擬性能評估結果(2/2).....	5-25

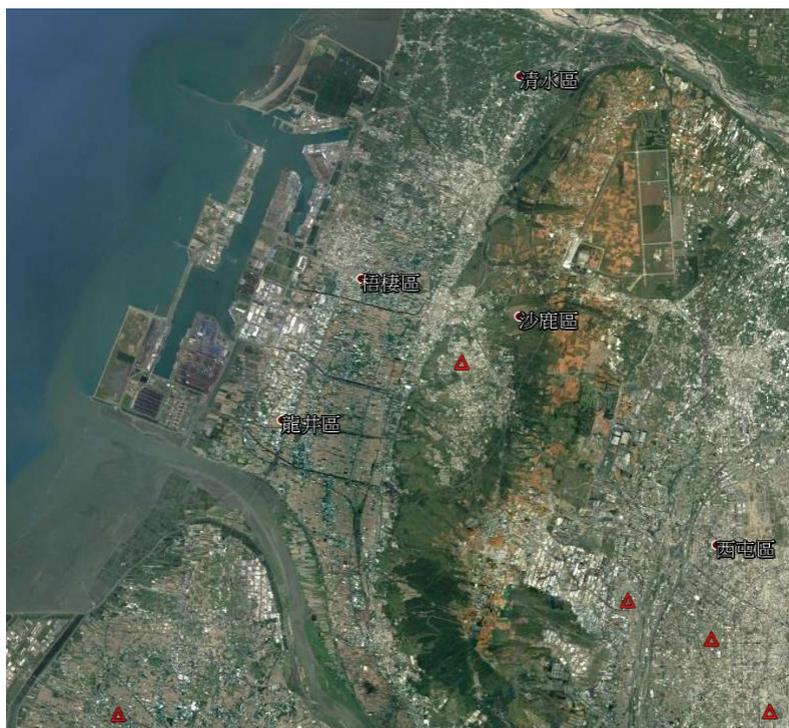
第一章 前言

1.1 研究動機

世界各國經濟活動互動頻繁且合作密切，其遠洋船舶肩負貨運或客運在國際間交流的重任，但伴隨而來的空氣污染物排放問題也愈形嚴重，再加上港口內運輸工具船舶、裝卸設備與重型卡車等污染排放問題，已不容忽視。

國內港埠地區空氣污染物排放，長期以來未被列入環保管制項目重點，但依據國內外研究顯示，港區空氣污染物排放量對該區域污染排放總量的佔比頗高，尤其是硫氧化物(SO_x)與氮氧化物(NO_x)最為顯著。根據環保署最新之全國空氣污染物排放清冊顯示港埠相關活動於 102 年之 PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO_x、NMHC 與 CO 排放量佔全國排放量之比例分別為 1.54%、2.66%、29.3%、7.91%、0.26%與 0.56%。故港埠相關活動排放之 SO₂、NO_x 與 PM_{2.5} 比例不可忽視，應分析其對臺灣空氣品質之影響，提供交通部、航港局與港務公司或環境保護署在研擬港埠及沿岸地區空污對策之參考

環保署監測項目僅針對一般需求或交通源而設，並非針對港區污染的影響，如圖 1.1，臺中港附近之環保署空氣品質監測站(紅色三角形)，由中間至右下測站依序為沙鹿站、西屯站、忠明站及崇倫站，而左下角則為彰化縣之線西站。另外，空氣品質監測車僅能定期監測，並無法如空氣品質監測站一般，提供長期且連續性的監測數據，因此較難以藉此判斷空氣品質的變化，也難以掌握各種不同天氣與氣候型態下的污染變化情形。故為達成臺中港成為國際優質港與綠色港口之目標，因應空氣品質之改善與緊急防制應變作業，極須建置臺中港區之即時空氣品質推估系統。



資料來源：google earth(本研究彙整)。

圖 1.1 臺中港鄰近 EPA 空氣品質監測站位置圖

1.2 研究目的

為提昇環境品質及維護國人健康，環保署於 101 年 5 月 14 日增訂細懸浮微粒(PM_{2.5})周界空氣品質標準之 24 小時值與年平均值分別為 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 與 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；而為了因應細懸浮微粒之管制，環保署於 104 年 11 月 17 日頒布「空氣品質嚴重惡化緊急防制辦法」部分修正。並於 105 年 8 月 5 日公告各縣市之空氣品質防制區劃分結果，結果為除了臺東縣以外，其餘所有縣市均為細懸浮微粒之三級防制區，亦即均未達細懸浮微粒之周界空氣品質標準，而各項管制措施已於 105 年 8 月 5 日開始生效；顯然空氣品質惡化已成為國內目前急待解決之重要課題。

因此，本研究的目的即在建立船舶航行對沿岸及港域空污預測模式，以提升國內港口的國際競爭力，並確保環境永續發展。

1.3 研究內容與方法

交通部運輸研究所(以下簡稱本所)港灣技術研究中心已建立，進行臺灣海域空氣污染估算等有關綠色海運的規劃與運作，100-103 年完成高雄港區空氣污染物排放清冊，104 年完成高雄港區建置空氣品質擴散模式 AERMOD(AERMIC Model)平臺，105 年完成高雄港區即時空氣品質推估系統，模擬高雄港區即時擴散現況及提供建置監測站位置建議，相關研究成果已供臺灣港務股份有限公司參考使用，要求所屬各分公司與營運處，落實港區節能減碳做法，並針對港區空氣污染問題，研擬具體可行措施，目前高雄、基隆及臺中港已取得歐洲海港組織生態港認證，成為亞太地區唯一具有取得 Eco-Ports 生態認證之港口。

AERMOD 模式為美國環保署 (United States Environmental Protection Agency, USEPA) 公告之最新煙流擴散模式，本研究使用 AERMOD 推估臺中港區原生性污染物的影響，利用建置完成之臺中港 AERMOD 模式模擬平臺，結合環保署 Open-data 之氣象觀測資料與本所之 AIS 即時船隻相關資料，建置臺中港區之即時空氣品質推估系統，用以模擬惰性空氣污染物於小區域(50 公里內)範圍之擴散情形，以精進深化臺中港綠色港口形象，使之符合國際海事組織(IMO)與歐洲海港組織(ESPO)規範，提升港口國際競爭力，確保港區環境安全。。

此外，本研究應用環保署之排放清冊(Taiwan Emission Data System, TEDS)的排放量資料與 AIS 推估臺灣海域之船舶排放量，同時透過氣象局 WRF 模式所提供之氣象風場資料，採 CMAQ 模式用來模擬臺灣海域船舶與基隆港、臺北港、臺中港、高雄港及花蓮港等主要港口之原生性與衍生性污染物對於臺灣本島的貢獻比例，並進一步規劃後續辦理 CMAQ 預報系統之需求內容。

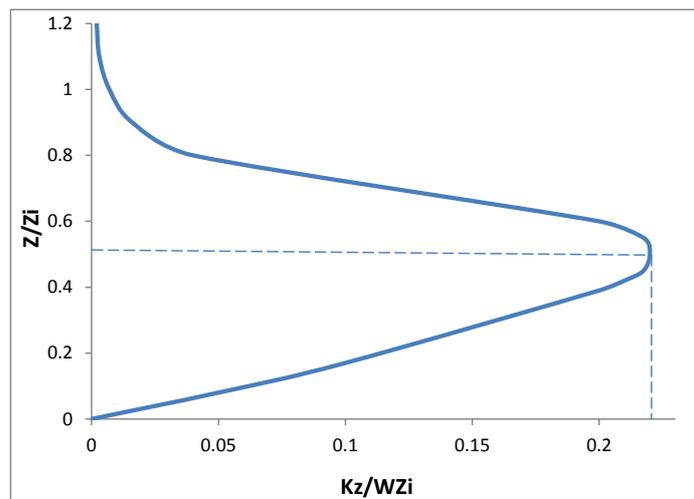
第二章 文獻回顧

2.1 混合層高度之意義與重要性

當污染物排入大氣邊界層(Atmospheric boundary layer, ABL)後，可經由大氣紊流的作用，在水平及垂直方向上逐漸擴散，若擴散的時間夠長及無沉降或移除等機制作用，則污染物最終可在大氣邊界層內完全混合。因此，在空氣污染的研究上，習慣將上述之大氣邊界層稱為『混合層』(Mixing layer)。此外，在穩定的大氣環境下，完全混合是很難達成的，此時『混合層』一詞的使用亦較大氣邊界層為佳，因為前者是強調混合的過程而非指結果。Seibert et al(2000)在關於最新混合層的回顧文章中，對於混合層高度作了如下之定義：『混合層高度，係指由地面往上至某一大氣層高度，任何被排入或捲入此高度範圍內之污染物或其他物質，可經由大氣對流或機械紊流作用，在大致 1 小時內擴散至此高度範圍內之其他地方』。因此，若將大氣邊界層僅定義為緊鄰地面紊流主控的高度範圍，則混合層與大氣邊界顯然是同義的。不過有時大氣邊界層有其他的定義，例如當其定義為夜間輻射影響的高度範圍時，此時混合層與大氣邊界層的高度是明顯不同的，在此情況下，大氣邊界層高度通常大於混合層高度。

混合層高度在不同的地區與時間均不相同，影響混合層高度變化的原因包含大氣水平傳輸及日照輻射所引起之對流作用，通常在晴朗無雲的夜晚，混合層高度達到最低，可能僅有數十公尺高，清晨以後因日照作用，大氣在垂直方向之對流增強，混合層高度亦逐漸升高，在午後大氣垂直對流到達最強時，混合層高度可上昇至 1000 ~ 2000 m，傍晚後因日照減弱及地表輻射冷卻作用，混合層高度會迅速降低。一年四季變化整體而言，普遍以夏天的日照對流最強，因此，若剔除陰天、降雨等影響，夏季之平均混合層高度相對其他季節會偏高；而冬季則因日照對流相對最弱，因此，平均混合層高度相對也最低。

混合層高度(Mixing height, MH)為空氣污染模式之重要輸入參數，混合層高度決定了污染物在垂直方向上可以擴散的最大高度，許多空氣品質模式的前處理都必須進行混合層高度的計算，例如傳統的高斯煙流模式，U.S.EPA(United States Environmental Protection Agency)之ISC((Industrial Source Complex))空氣品質模式(U.S.EPA, 1995)，其模式之輸入必須包括逐時之混合層高度資料，而模式內假設污染物僅能在混合層內擴散，無法穿越混合層高度，因此混合層高度之低估(或高估)將直接導致模式高估(或低估)污染物地面濃度；對於複雜之網格或軌跡空氣品質模式，混合層高度則是估算垂直擴散係數 K_z 之重要參數，垂直擴散係數為污染物在垂直方向上擴散之主要控制機制，一般之空氣品質模式，包括國內在使用之 TAQM(Taiwan Air Quality modeling, 張, 2001)、CMAQ(Community Multiscale Air Quality, 吳, 2001)、CAMx(Comprehensive Air Quality Model, 曠, 2001；陳, 2001)，其模式內部均假設 K_z 在混合層內具有一定的分佈特性。如圖 2.1 所示，在不穩定的大氣條件下，一般是假設在 1/2 混合層高度處，垂直擴散係數為最大，在此高度往上延升至混合層高度， K_z 由最大值下降至零；同理，在 1/2 混合層高度處往下至地面， K_z 值亦由最大值下降至零。由此可知混合層高度之估算錯誤，將致使空氣品質模式有關 K_z 值估算之錯誤，間接導致模式估算結果之誤差。



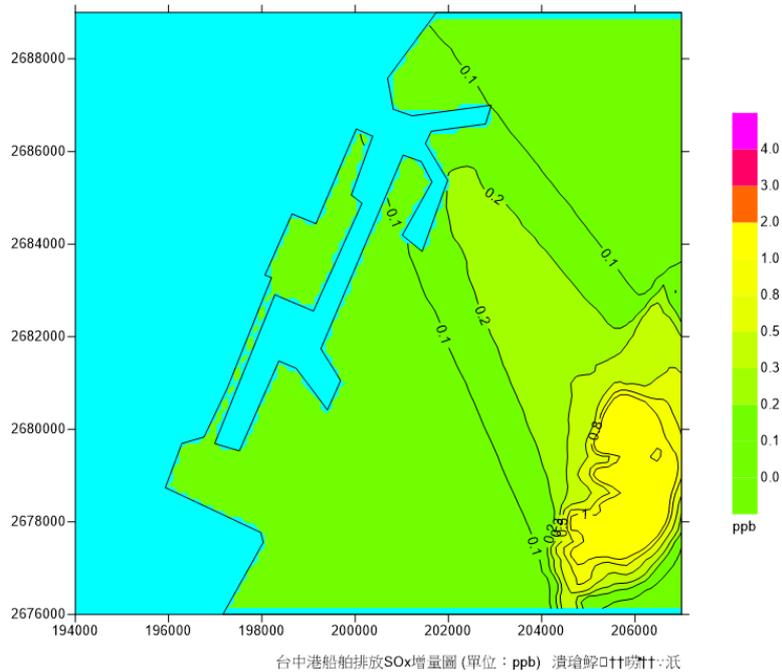
資料來源(本研究彙整)。

圖 2.1 混合層高度與垂直擴散係數之關係

2.2 擴散模式

高斯擴散模式常被使用於計算污染源下風處的濃度，通常應用在工業污染源的污染物擴散，可模擬區域內污染源之排放、擴散、傳送與沉降，藉此評估污染源與受體的關係；由於環境中的空氣污染物來源種類眾多，排放物種又多有重疊，因此國內外普遍作法皆為建立排放清冊，從源頭具體瞭解污染排放的比重。然而眾多的排放量中，不等同於對環境的影響比重，因為污染物從排放源排放到大氣後，會受到排放高度、氣流、風速、風向、溫度、濕度、地面輻射...等等各式各樣大氣條件的影響，造成污染物擴散、稀釋、移動或沈降。雖然可以建置空氣品質測站，取得最直接的影響數據，但是監測標的物種通常為最終產物，並無法釐清來源，因此亦無法知道這期間污染源造成的影響比重有多少。

模擬模式可針對區域特性模擬鄉村及都市的情況，模擬在不同環境、氣象條件及排放源強度下之空氣品質狀況。若要釐清污染源對環境的實際影響，可以間接使用模式模擬的方式進行。目前可行的方式有兩類，一為受體模式，另一為大氣擴散模式。其中受體模式是利用質量平衡的原理，必須先知道各主要污染源的排放特徵組成(Source Profile)。而大氣擴散模式除了以各污染源作為重要的推估依據外，還需代入各項大氣條件，以模擬污染源排出後擴散至環境中的情形，並呈現出污染物的空間分布情形。如圖 2.2 所示。



資料來源(本研究彙整)。

圖 2.2 污染物擴散空間分布示意圖

2.3 AERMOD 模式

1991 年美國氣象協會(AMS)及美國環保署(U.S.EPA)的科學家為了共同研究在地球表面上控制污染物的傳輸模式，組成了一個機構—AMS/EPA Regulatory Model Improvement Committee(簡稱 AERMIC)。初始的目標焦點放在估計工業污染源鄰近周邊(near field)的污染程度，並針對 ISC3 做為模式主體進行大規模修改，最後發展出 AERMIC Model (簡稱 AERMOD)。

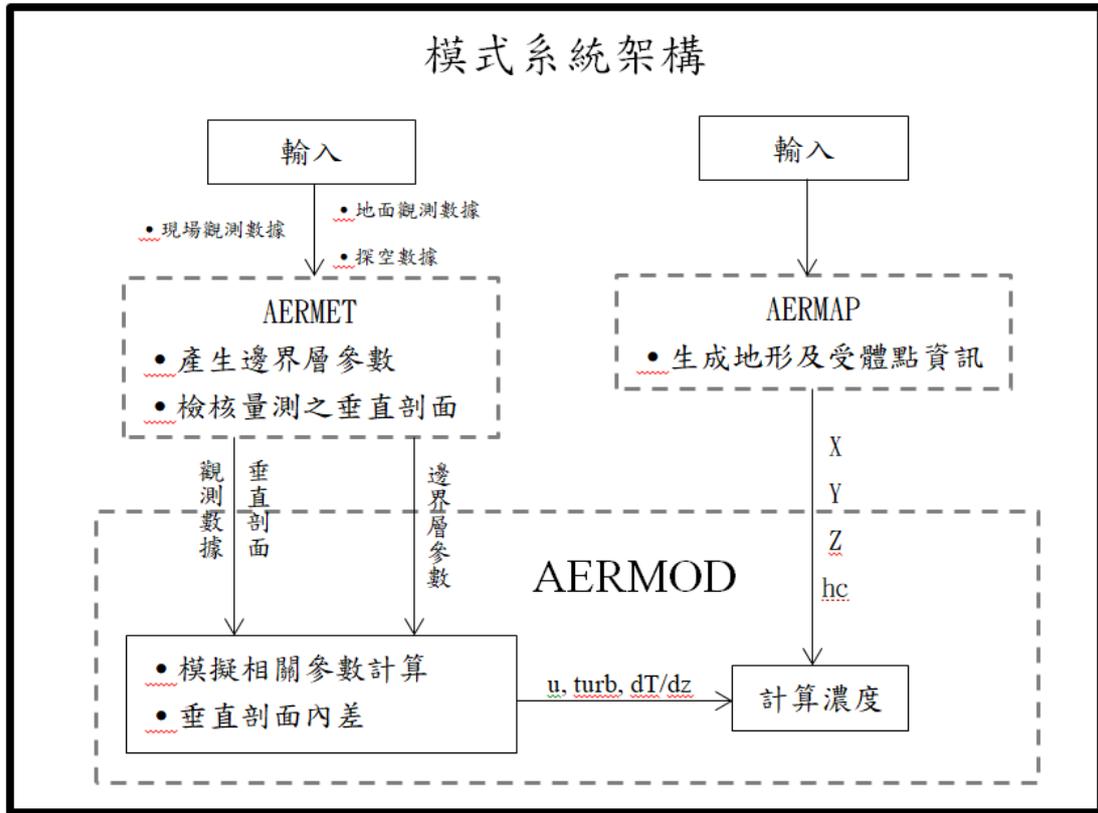
目前臺灣地區仍普遍使用 ISCST3 高斯擴散模式來模擬周界環境大氣污染物擴散分佈，為了改善 ISCST3 模擬出來有較大的誤差及在複雜地形上的模擬等，使用 AERMOD 模式可模擬出更準確的擴散分佈，AERMOD 模式在氣象資料與擴散模式方面上有很大的進步。其重要的特色列舉如下：

1. 可模擬行星邊界層內穩定及不穩定情況下的水平、垂直擴散分佈。
2. 在對流邊界層(CBL)內的三煙流模式。
3. 在對流邊界層(CBL)有效煙囪高度高於混合層的擴散分佈。
4. 可模擬受體點在複雜地形上的擴散分佈。
5. 可模擬污染物受建築物下洗作用的效應。

AERMOD 改善了 ISCST3 不足的地方，不論是在大氣煙流擴散的計算或煙流對地表特性的計算，都增加了不少新的概念和理論，其目的是為使新的擴散模式能較準確地模擬污染物的擴散情形。因此和 ISCST3 比較來說，AERMOD 包含了以下幾點較新或是已經稍加改進過的一些演算法：

1. 對流與穩定邊界層的傳輸。
2. 煙流跟浮力的關係。
3. 煙流穿透到較高層又反轉的機制。
4. 計算垂直風速剖面、紊流及溫度。
5. 都市夜晚混合層高度。
6. 處理所有地形表面到煙流及超過煙流上面的受體。
7. 建築物尾流影響。
8. 改進描寫基礎邊界層參數的方法。
9. 煙流彎曲情況。

AERMOD 模式模擬流程示意詳如圖 2.3。



資料來源：U.S.EPA，「AERMOD: description of model formulation」，2004(本研究彙整)。

圖 2.3 AERMOD 模式模擬流程圖

2.4 網格模式

空氣品質模式模擬在環境空氣品質分析及管理上扮演非常重要的角色。空氣品質模式模擬的主要工作在模擬污染物從排放源排出後，經過大氣的傳輸、擴散、轉化及沈降等過程後，到達周遭生活環境時的濃度。因此，空品模式模擬可用於針對既有環境污染來源的解析及政策管制成果的分析。

依據「空氣品質模式模擬規範」可將空氣品質模式分類為高斯擴散模式、軌跡模式及網格模式三種，其分類的考量依據與排放量的規模有關係，對於中大型規模排放量，其影響範圍及程度均較大，因此必須要考慮遠距傳輸的效應及光化學污染物產出對空氣品質的影響，因此必須使用較為複雜的軌跡模式或網格模式。

其中，網格模式(Models-3/CMAQ)是目前較完整的三維網格空氣品質模式之一，該模式以 One atmosphere 的概念模擬分析各種空氣污染物於大氣中的傳輸、反應與沉降等，所以包含了原生性與衍生性空氣污染物種，同時也包括了氣相、液相與固相的作用程序。

2.5 WRF 氣象模式

本研究採用 WRF 氣象模式來提供空氣品質模式所需的氣象初始場，WRF 是一套中尺度數值天氣預報系統，主要為同時滿足大氣研究和天氣預報上的需求，它具有兩個動力核心、數據同化系統和有利於平行運算與系統可延展性的軟體架構，此模式提供了廣泛的跨尺度氣象應用，從幾十米到幾千公里。WRF 的開發起始於 1990 年代後期，主要由美國大氣研究中心(NCAR)與美國海洋和大氣管理局(NOAA)之間的合作夥伴關係，美國氣象環境預報中心(NCEP)和當時預報系統實驗室(FSL)，空軍氣象局(AFWA)，海軍研究實驗室，奧克拉荷馬大學和美國聯邦航空管理局(FAA)共同研發。WRF 模式可以讓研究人員根據實際的數據資料(觀察、分析)或理想化條件來生成大氣模擬，WRF 模式提供天氣預報的靈活性與有計算效率的一個平臺，同時提供研究人員由在廣泛研究中心的開發人員所深入研究的物理、數值方法和數據同化。

WRF 的兩個動力核心是依據不同目的所設計，分別為 ARW (Advanced Research WRF)及 NMM (Non-hydrostatic Mesoscale Model)。兩者在 WRF 架構上是相同的，但所著重的地方不同。ARW 是由 NCAR 的 MMM(Mesoscale and Microscale Meteorology Division)所研發，靜力穩定模式能夠應用於理想個案模擬、參數化研究、資料同化研究、即時數值天氣預報與分析、颱風模擬、區域氣候研究、耦合模式應用及教學等，而 NMM 則由 NCEP 所研發，著重於非靜力穩定與即時預報，可應用於即時數值天氣預報與分析、參數化研究、耦合模式應用及教學等。相關更詳細之 WRF 模式介紹、動力架構與物理過程介紹可參考 Skamarock et al., 2008 等文獻。

WRF-ARW 主要之物理過程可分為微物理、積雲參數化、行星邊界層、地表過程與輻射。而 WRF-ARW 的資料處理流程為 (1) WPS (WRF Preprocessing System)、(2) FDDA (Four-dimensional data assimilation) (4) Post-Processing & Visualization Tools。

WPS 包含定義模式模擬範圍、網格層數、網格格點及地形投影法等，並將模式中各種不同的地理資料內插至模式網格的 geogrid，由其他區域模式或全球模式產生的 GRIB 格式氣象場，萃取出所需的氣象資料，並以較簡單的格式寫入另一暫存檔的 ungrib，及由 ungrib 所產生的暫存檔中，將氣象場內插至 geogrib 所定義的網格點，作為模式的初始場及邊界條件的 metgrid。WRF-DA 可將傳統或非傳統觀測的實際資料，納入 WPS 所建立的模式初始場，此外也可將實測資料與 WPS 所建立的初始場進行對比，建立較為符合實際情形或較佳的模式初始場，進而增加模式預報的準確度。ARW Solver 為 ARW 的主程式，由數個可進行理想個案模擬、真實資料模擬及數值積分之程式所組成，所有的動量、能量之物理或化學過程運算及時間、空間積分均位於此部分。Post-Processing & Visualization Tools 為 WRF 輸出資料的後處理過程，將模式的輸出結果經由內插後，轉換為可讓不同繪圖軟體所讀取的格式或利用 MET (Model Evaluation Tools)處理輸出結果，進一步進行對比驗證。

四維數據同化(Four-dimensional data assimilation(FDDA))是一種在模擬分析或觀測分析趨勢加入一個或多個診斷方程式，主要分為兩種網格納進法(Grid nudging)和觀測納進法(observation nudging)，網格納進法利用全球氣象資料的初始場資料和測邊界資料的分析場資料進行所有網格調整。觀測納進法主要是利用地面、探空、船舶等觀測資料加入模式初始場進行調整，調整過程將實際觀測的資料和解析度較粗的全球氣象資料進行時空的融合。

對於複雜的中尺度系統而言，WRF 氣象模式的模擬可彌補觀測資料上時、空解析度的不足，對於區域的預報有相當好的能力。經過在邊界層參數化，積雲對流參數化及四維資料融入等各方面的改進，目前此

模式已廣泛地被國內外氣象與空氣品質模式之模擬研究。Li 等人在美國德州的春季進行 WRF-CMAQ 模式研究垂直臭氧結構，在 WRF 模式模擬溫度和風場結果使用客觀分析(使用方法有相關係數, IOA, RMSE, 絕對值誤差, 偏差量), 其結果誤差表現良好(Li & Rappengluck, 2014)。其他文獻在東亞地區使用 WRF-CAM5 進行模擬評估氣象結果及 CO, NO₂, O₃, 再對污染物化學變化影響的溫度、濕度、風場和降水及雲變量等氣象因子進行解析, 統計與地面測站的觀測值誤差溫度在偏差量為-1.0°C, 水氣為 0.04g/kg, 風速在 0.3m/s, 降水偏差 0.4mm/day(He et al., 2017), Zhao 等人評估中國地區的 PM_{2.5} 來源, 使用了 WRF 及 CMAQ 氣象模式和空氣品質模式評估, 在 WRF 模式分析了風速、風向、溫度及濕度, 在溫度月平均充分被 WRF 模式所預測, 偏差(Bias)與絕對值誤差(GE)符合建議的性能規範(Bias 在 $\leq\pm 0.5$, GE 為 ≤ 2), 風速部份大致落在模式性能建議的標準(Bias 在 ± 0.5 m/s 內, RMSE 在 2m/s 內)(Wang et al., 2015), 顯示 WRF 模式可掌握區域大氣環境。

2.6 Models-3/CMAQ 模式

為同時分析原生性與衍生性空氣污染物之影響本研究選用之空氣品質模式為 Models-3/CMAQ, 此模式為美國第三代空氣品質模式的簡稱。此一模式之最大特色即在『一個大氣』(One-Atmosphere)的觀念。傳統的模式中, 大多僅針對單一物種或單相物種進行模擬, 例如 RADM2 (Regional Acid Deposition Model) 主要針對氣態之光化物種而 RPM (Regional Particulate Model) 則主要針對固態污染物進行模擬。然而實際的大氣中, 所有的物種均具有緊密的相關性, 例如與臭氧累積具有高相關性的 NO_x, 其最終產物為 HNO₃, 而 HNO₃ 實際上與酸沈降及懸浮微粒之硝酸鹽(nitrate)成分相關性甚高; 另一個與臭氧累積有關的 VOCs 物種, 在光化的過程中, 亦會產生有機碳的固態成分; 此外, 在氣固相轉換的過程中, 由於形成的粒狀物粒徑均甚小, 亦容易阻礙光線的行進而造成能見度的問題, 凡此均為一個複雜的大氣所造成。因此,

在白天主要由 OH 自由基所引發的光化反應機制中，不但可造成臭氧問題，亦與懸浮微粒、酸性沉降、能見度問題具有密不可分的相關性，Models-3 即是建立在一個大氣的架構上所開發的模擬工具，本研究之多污染物成分的綜合分析係以空氣品質模式 Models-3/CMAQ 同時模擬分析。

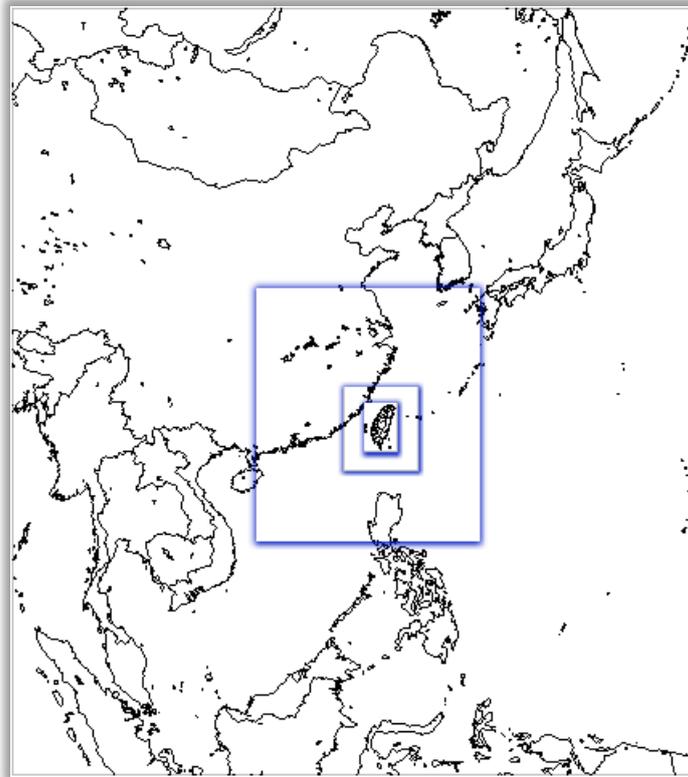
Models-3/CMAQ 為三維的空氣品質模式，屬於網格模式的一種，此網格模式的特色為使用多層次網格，模式中各網格之設定基準如表 2-1 所示，圖 2.4 為本研究之 Models-3/CMAQ 模擬分析的區域，其主要的模擬區域為 D4 區，網格大小為 3km*3km，而 D3 網格則為 9km*9km，至於 D4 區域的邊界濃度則以 D3 模擬之結果代入，此一網格規劃即為多層次網格。使用多層次網格具有相當多的優點，由於主要的模擬區域為 D4 區，其範圍雖然不大，然而為求模式結果的準確性，常需要擴大模擬區間，不過若擴大的模擬區間中，網格仍以 3km*3km 大小進行模擬，由於巨大的網格點將導致電腦計算時間的倍增，使模擬工作難以快速的完成，而缺乏模式的時效性。若使用多層次網格模式，則可將網格點簡化，且由於離模擬區域較遠的網格對於模擬區域的影響較小，因而加大網格大小對於模式的準確度不致造成影響，故可兼顧模擬時的 CPU 處理器時間及準確性。此外，Models-3/CMAQ 使用者介面為傳輸速度較快的 I/O API (Input/Output Application Programming Interface) 介面，對於模式所需資料庫的讀取與儲存均較傳統的三維模式快速。

Models-3/CMAQ 之主要運算核心稱為 Community Multi-Scale Air Quality(CMAQ) modeling system，整體 Models-3/CMAQ 之運作如圖 2.5 所示，經由 WRF 取得之氣象資料與 SMOKE 運算之排放量資料，最後均輸入 CMAQ 中，以進行化學機制之模擬。整個模擬工作可約略分為三大部分：

表 2-1 本研究模擬模式採用的設定基準

		Domain1	Domain2	Domain3	Domain4
大氣模式	Vertical Layer	45	45	45	45
	Grid Size	91 × 91	166 × 169	223 × 223	223 × 223
	FDDA	Yes	Yes	Yes	No
	Land use	20	20	20	20
	PBL	YSU	YSU	YSU	YSU
空品模式	Resolution	81 km	27 km	9 km	3 km
	Vertical Layer	6	15	15	15
	Grid Size	70 × 80	70 × 80	70 × 80	90 × 135
	Aerosol Mod	Aero6	Aero6	Aero6	Aero6
	Chemical	CB05	CB05	CB05	CB05

資料來源(本研究彙整)。

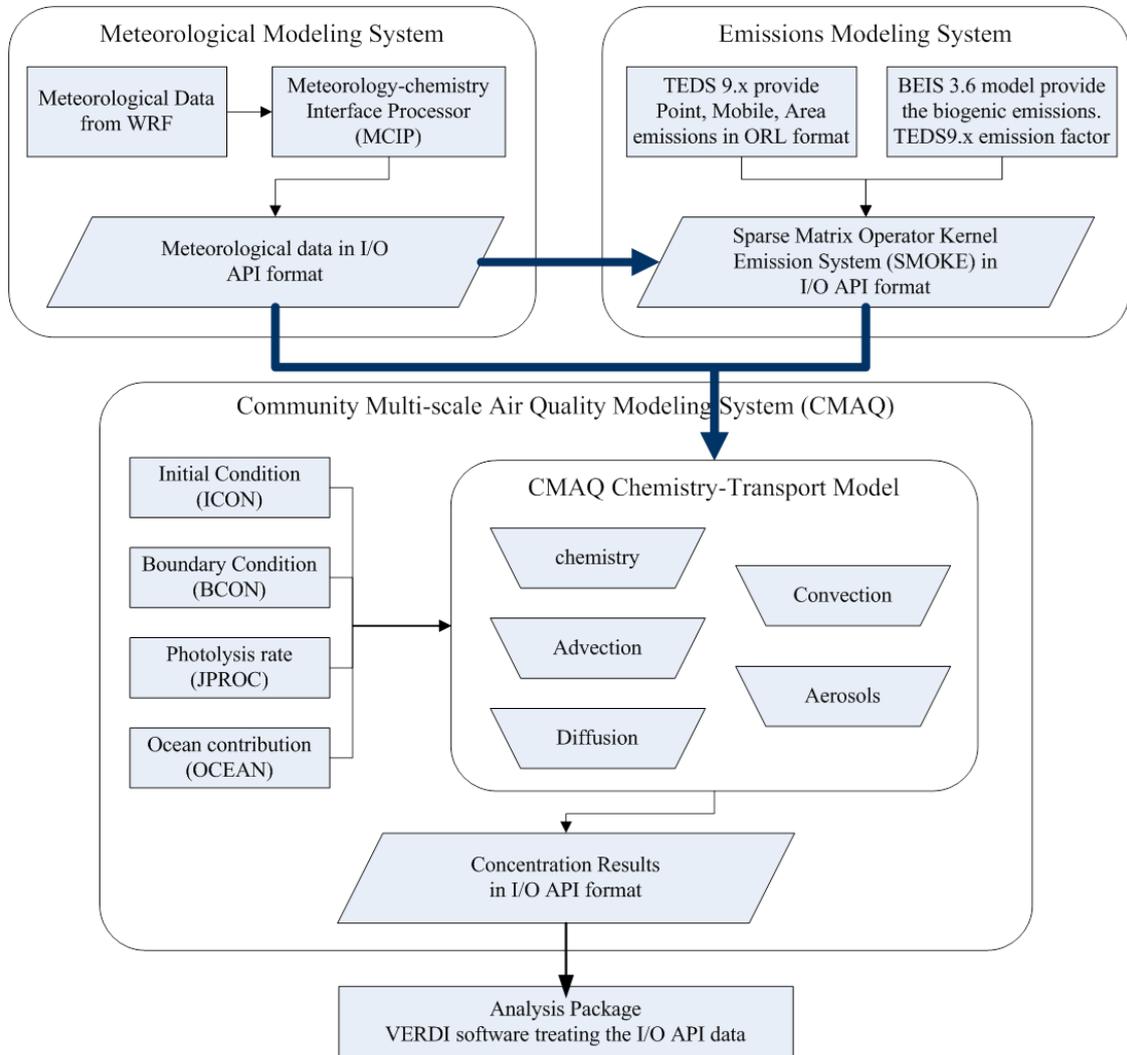


資料來源(本研究彙整)。

圖 2.4 Models-3 多層次網格示意圖

1. 氣象模組：CMAQ 以廣泛使用的 WRF 模式作為氣象資料的提供者。WRF 除了提供氣象資料外，亦提供模式中所需要的土地利用型態及巢狀網格資訊。在 I/O API 檔案的轉換中，CMAQ 以 Meteorological-Chemistry Interface Processor (MCIP) 模組進行 WRF 資料之轉換，同時，在 MCIP 模組中可重新計算混合層高度。以 MCIP 轉換後的氣象資料可提供排放資料庫處理及最後化學機制模擬時之用。MCIP 模組為 Models-3 的首要工作，這是由於經過 MCIP 產生的檔案為模式所需要氣象資料檔，裡面包含有雲層厚度資料、風速風向、土地利用型態、及地形高層資料等等資訊，這些資訊為後續的排放源處理 (SMOKE) 及模式核心模擬 (CCTM) 所必須使用的參數。
2. 排放量資料庫：CMAQ 允許 Models-3 Emission Processing and Projection System (MEPPS) 模組或 Sparse Matrix Operator Kernel Emissions System (SMOKE) 模組進行處理。SMOKE 的處理分為四部分：點源、線源、面源及生物源，點源部分除了較面源多考慮了氣團的煙流上升效應外，另外加入了氣團對於網格化的影響 (Plume in Grid)；在移動源 (線源) 的模擬情況中，SMOKE 可將移動源分兩種輸入模式進行模擬，第一種使用機動車輛行駛里程數及車輛型態進行模擬 (MVK)，第二種則直接以排放量進行模擬。
3. 化學傳輸模擬：CMAQ Chemical-Transport Modeling System (CCTM) 模組為整個模式的處理核心，CCTM 中包含了擴散、傳輸、化學反應機制、雲程序及氣膠反應等等模組。CMAQ 為主要的 Models-3/CMAQ 核心，其使用介面為 I/O API，具有可額外增加模組的特性，使模式具有擴增性及未來性。至於 CMAQ 的機制模組則建立於 CCTM (CMAQ Chemical-Transport Modeling System) 中，CCTM 具有可增加及調整不同機制的功能，例如現階段空氣品質模式主要的模擬機制為 CB-05、CB-IV 及 RADM2，使用 CCTM 即可隨時轉換成各種機制，而無須改變原始程式碼。此外，於 CCTM 中尚可加入雲模組、擴散與傳輸模組、氣膠模組及煙模組 (Plume in Grid) 等等，

而這些模組是可以選擇的，亦即模式操作者可以選擇不同的雲模組或是氣膠模組來進行模式操作者的模擬工作，以利於模式在不同區域的模擬。



資料來源：根據 CMAQ 官網建議之模式處理流程，搭配臺灣 TEDES 9 排放量格式資料。

圖 2.5 Models-3/CMAQ 各模組之相關性

輸出介面部分：由於 Models-3 的輸出檔亦為 I/O API 介面，因而資料的使用需要經過轉換，轉換後的資料可以 SAS 或其他相關的統計軟體進行分析，或直接以 PAVE 等繪圖軟體進行資料轉換。

本研究於分析基隆港、臺北港、臺中港、高雄港及花蓮港等臺灣 5

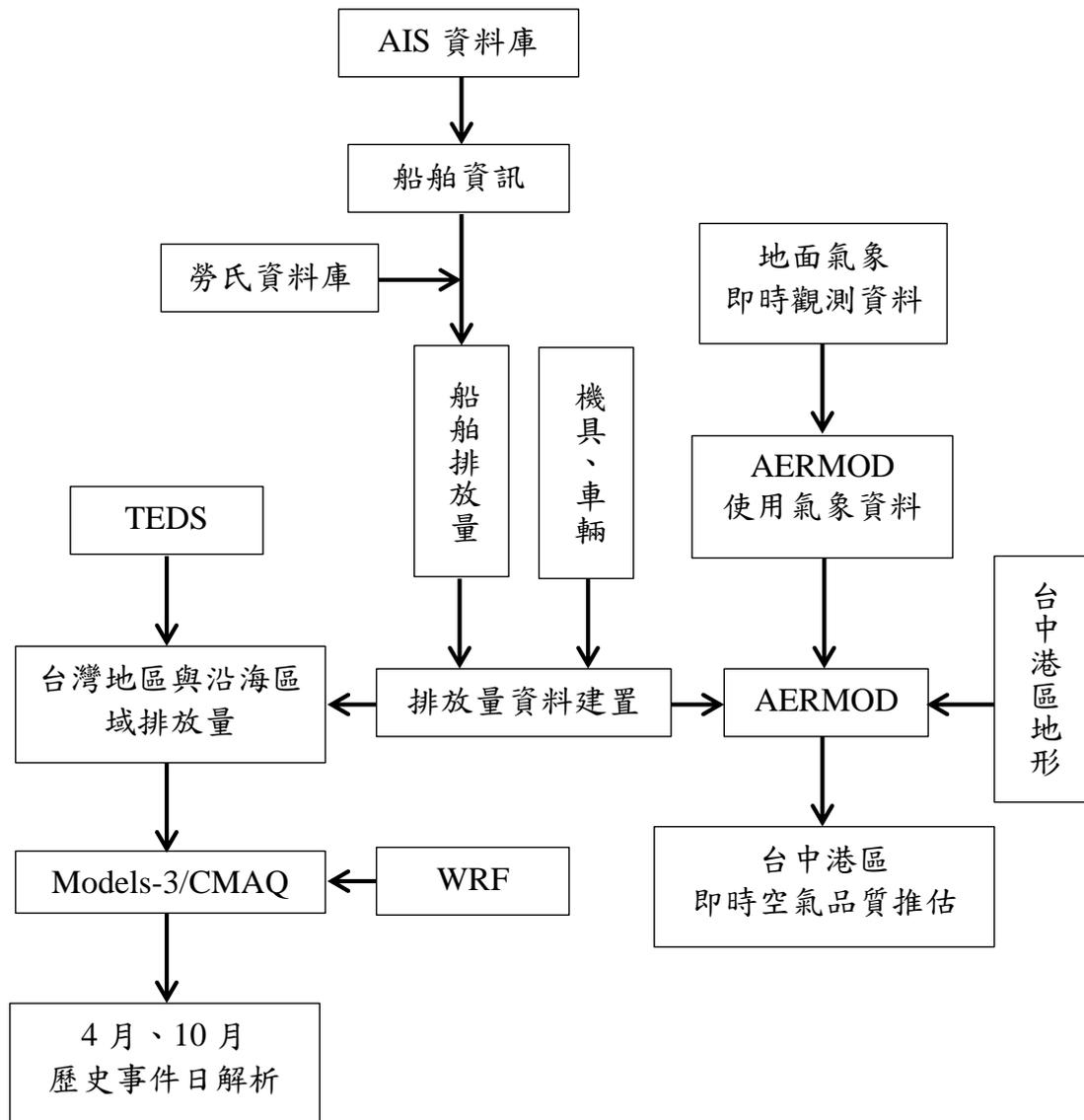
大主要港口與沿海航行船舶排放之空氣污染物對臺灣地區空氣品質之影響時，係以基本案例與無排放源案例之差值分析各排放源之影響，而探討之成份包括原生性 SO₂ 與 NO_x 及衍生性細懸浮微粒與臭氧等。為配合 TEDS9.0 資料庫之時間，本研究分析 2013 年四月與十月之案例。

第三章 研究方法

3.1 規劃執行流程

為建立船舶航行對沿岸及港域空污預測模式，提升港口國際競爭力，並確保環境永續發展。本研究透過臺灣海域船舶動態資訊系統(AIS)所提供之船舶資訊，搭配勞氏資料庫以建置船舶之排放量資料；當船舶排放量資料搭配臺中港區地形，及利用臺中港附近之地面氣象觀測資料，則可用以推估臺中港區之原生性污染物之影響情形；另外，若船舶排放量資料搭配 TEDS(Taiwan Emission Data System)排放清冊，及氣象資料使用 WRF(Weather Research and Forecasting Model)所產生之風場資料，則可應用 CMAQ(Community Multi-scale Air Quality model)三維網格模式瞭解臺灣地區與沿海區域之排放量，其污染物排放量對於歷史事件日之案例解析。

本研究共分為 AERMOD 即時推估與 CMAQ 歷史案例解析兩大部分，其中 AERMOD 原生性污染物模擬部分，建置模擬範圍以臺中港為主，包含鄰近臺中市部分地區之地形高程資料，藉以瞭解臺中港區污染物擴散的影響情形；CMAQ 衍生性污染物模擬部分，則是利用 TEDS 建置臺灣地區本土之排放量，AIS 搭配勞氏資料庫建置沿海區域之排放量，希望藉此瞭解歷史事件日案例之成因。本研究架構流程如圖 3.1 所示。

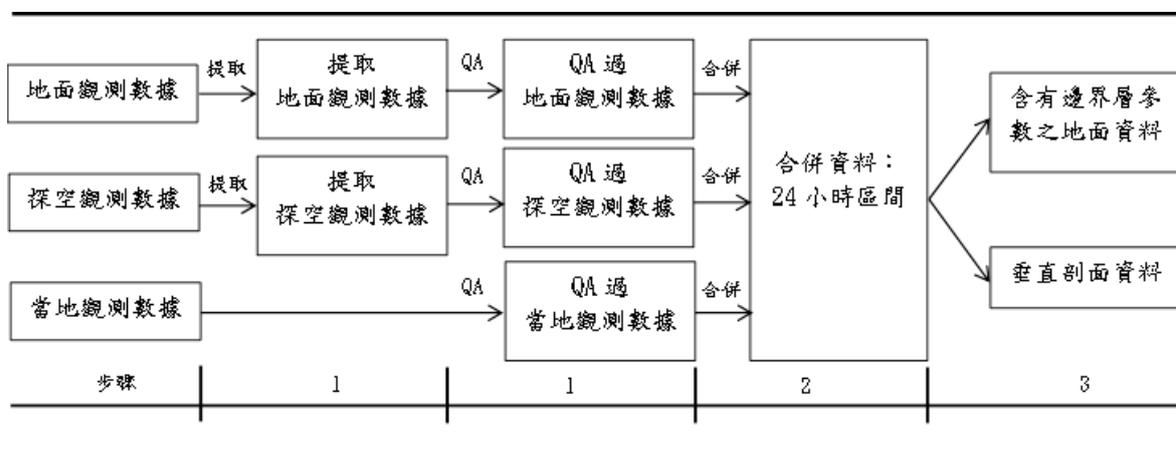


資料來源：本研究彙整。

圖 3.1 本研究架構流程圖

3.2 建置氣象資料

AERMET 係藉由地面測站與探空測站資料，產生 AERMOD 所需要之氣象資料，其資料處理流程則如圖 3.2。由於探空資料取得較不易，無法立即取得當天最新之探空資料，故本研究採用地面測站資料，利用環境保護署之環境資源資料開放平臺(<http://opendata.epa.gov.tw/>)，下載臺中港區附近 4 個測站之氣象參數，如溫度、濕度、風速、風向及紫外線指數等，計算港區當時之 Pasquill 大氣穩定度，進而可使用羅氏法推估當時港區之混合層高度。其中 Pasquill 大氣穩定度分類與羅氏法混合層之推估計算方法，分別說明如下。



資料來源：U.S.EPA，「User's guide for the AERMOD meteorological preprocessor」，2004(本研究彙整)。

圖 3.2 AERMET 氣象資料處理流程

3.2.1 Pasquill 大氣穩定度

Pasquill 穩定度分類法首先在 1961 年提出，之後在 1974 年修正，目前在穩定度分類系統上，使用頻率最高，其穩定度等級共分成六級，分別為 A、B、C、D、E、F，如表 3-1 所示。其穩定度的決定因素為日照強度、雲量及風速等三大要素，其中日照強度依輻射量大小可分為強、中、弱三個等級，如表 3-2，而雲量則以 10 分量為劃分標準，風速則區分為 < 2、2~3、3~5、5~6 及 > 6 等五大區間。白天穩定度判定標準為依照日照強度與風速之間的關係，夜晚則以雲量 0.5 作為分界點，搭配五個風速區間求出穩定度等級。

表 3-1 Pasquill 大氣穩定度等級分類表

時間	日照強度	地表風速(m/s)				
		< 2	2 ~ 3	3 ~ 5	5 ~ 6	> 6
日間	強	A	A-B	B	C	C
	中	A-B	B	B-C	C-D	D
	弱	B	C	C	D	D
雲量						
夜	≥ 0.5	F	E	D	D	D
晚	< 0.5	F	F	E	D	D

資料來源：Pasquill(1961)(本研究彙整)。

表 3-2 輻射量與日照強度關係表

日照強度	輻射量(Iy/min)
強	> 0.8
中	0.4 ~ 0.8
弱	< 0.4

資料來源：Pasquill(1961)(本研究彙整)。

由於雲覆率藉由人工觀測得知，亦無法取得即時值，可藉由 Groisman 等人(1996,2000)長期研究北半球陸地區域的總雲量，所提出 Overall Cloud Effect(OCE)的方法，其總雲量(CL)與地表氣溫(T)、大氣壓力、風和濕度等其中之一特徵有關，本研究使用該研究方法之雲覆率與比濕度的關係，計算夜間地表風速 2 ~ 5 m/s 時的雲量，其中總雲量即為 NOCET(the Normalized Overall Cloud Effect on surface air Temperature)的倒數，其關係式如下。

$$\text{NOCET} = -0.16 + 0.98(q)^{-0.5} \dots\dots\dots(3-1)$$

其中：

q：比濕度(g/kg)

另外輻射量可經由紫外線指數定義換算得到，亦即紫外線指數 1，即代表每平方公尺有 1 百焦耳的輻射量產生。

3.2.2 羅氏法推估混合層高度

羅氏法為 Nozaki 等人在 1973 年所提出之一種利用地面氣象資料估算混合層高度之方法。其方法為考慮大氣邊界層上部之大氣運動情況與氣象參數互相有所關聯，因此可用地面氣象資料來估算混合層高度，本方法之優點為不需要探空之氣象資料即可估算，其估算公式如下：

$$L = \frac{121}{6}(6 - P)(T - Td) + \frac{0.169P(U_z + 0.257)}{12f \times \ln(\frac{Z}{Z_0})} \dots\dots\dots(3-2)$$

其中：

L：混合層高度(m)

T：溫度(°C)

Td：露點溫度(°C)

P：大氣穩定度，依級別 A 到 F 分別為 1 到 6

Uz：高度為 z 時之平均風速(m/s)

Z：觀測點高度(m)

Z₀：地表粗糙度(m)

f：地轉角參數， $f=2\Omega\sin\psi$ ， ψ 為觀測點緯度(degree)， Ω 為地轉角速度(rad/s)

若利用 3.3.1 計算所得之大氣穩定度，代入羅氏法混合層公式估算，可計算鄰近臺中港區之環保署沙鹿測站、線西測站等之混合層高度。若將經由地面測站所得到之大氣穩定度及混合層高度，搭配地面測站所測得之風速、風向、溫度等氣象參數，代入 AERMOD 使用之探空及地面氣象資料，欄位說明分別如圖 3.3 及圖 3.4 所示。其中探空氣象資料代入欄位為風向、風速及溫度三個欄位；地面氣象資料代入欄位則為混合層高度(對流+機械)、風速、風向、絕對溫度及相對溼度等六個欄位。

READ() *year, month, day, hour, height, top, WDnn, WSnn, TTnn, SAnn, SWnn*

FORMAT (4(I2,1X), F6.1,1X, I1,1X, F5.0,1X, F7.2,1X, F7.1, 1X,F6.1, 1X,F7.2)

where *height* = measurement height (m)
top = 1, if this is the last (highest) level for this *hour*, or 0 otherwise
WDnn = wind direction at the current level (degrees)
WSnn = wind speed at the current level (m/s)
TTnn = temperature at the current level (°C)
SAnn = σ_θ (degrees)
SWnn = σ_w (m/s)

資料來源：U.S.EPA，「User's guide for the AERMOD meteorological preprocessor」，2004。

圖 3.3 探空資料欄位

READ() *year, month, day, j_day, hour, H, u*, w*, VPTG, Zic, Zim, L, z_o, B_o, r, W_z, W_d, z_{ref}, temp, z_{temp}, ipcode, pamt, rh, pres, ccvr*

FORMAT (3(I2,1X), I3,1X, I2,1X, F6.1,1X, 3(F6.3,1X), 2(F5.0,1X), F8.1,1X, F6.3,1X, 2(F6.2,1X), F7.2,1X, F5.0, 3(1X,F6.1), 1X,I5, 1X,F6.2, 2(1X, F6.0), 1X, I5)

where *j_day* = Julian day
H = sensible heat flux (W/m²)
*u** = surface friction velocity (m/s)
*w** = convective velocity scale (m/s)
VPTG = vertical potential temperature gradient above *Zic* (K/m)
Zic = height of convectively-generated boundary layer (m)
Zim = height of mechanically-generated boundary layer (m)
L = Monin-Obukhov length (m)
z_o = surface roughness length (m)
B_o = Bowen ratio
r = Albedo
W_z = reference wind speed (m/s)
W_d = reference wind direction (degrees)
z_{ref} = reference height for wind (m)
temp = reference temperature (K)
z_{temp} = reference height for temperature (m)
ipcode = precipitation code
pamt = precipitation amount (mm/hr)
rh = relative humidity (percent)
pres = station pressure (mb)
ccvr = cloud cover (tenths)

資料來源：U.S.EPA，「User's guide for the AERMOD meteorological preprocessor」，2004。

圖 3.4 地面資料欄位

3.2.3 混合層高度比較

如前面小節所述，當取得地面測站觀測數值後，可先行計算 Pasquill 的穩定度，再依據不同的穩定度結果代入羅氏法公式，以計算混合層高度；沙鹿與線西測站之緯度及觀測點高度如表 3-3 所示，且計算混合層高度使用參數中，地表粗糙度為 0.0001 m，地轉角速度則為 7.27E-05 rad/s。若以 2015 年取得之地面測站觀測值，計算各測站混合層的高度，其結果依照穩定度計算之不同，結果如圖 3.5 所示。

表 3-3 環保署測站資訊

測站	觀測點高度(m)	經度	緯度
沙鹿	19.5	120.568794	24.225628
線西	15.5	120.469061	24.131672

資料來源：環保署空氣品質監測網(本研究彙整)。

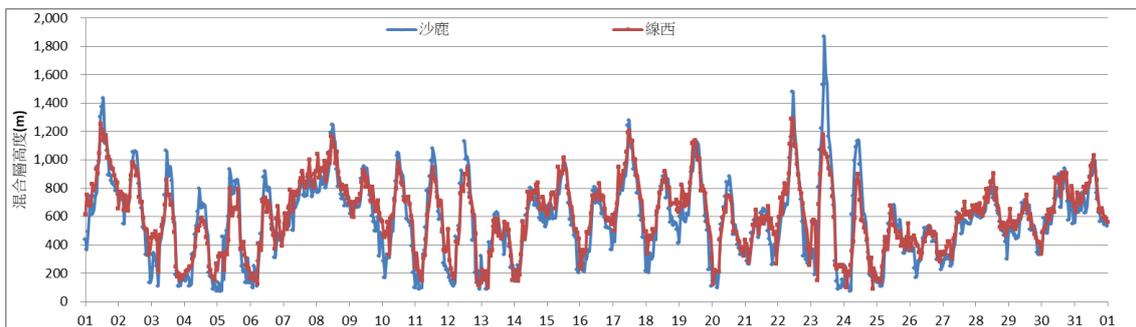


圖 3.5 混合層高度計算比較示意圖

將各站之混合層高度全年計算結果，分別將各站同時段之混合層高度平均；同理，亦將 AQMC(空氣品質模式支援中心)全年之同時段結果平均。將平均結果依序由 0 時至 23 時製作成圖，形成日夜變化趨勢圖，若將混合層推估值定義為 A，AQMC 實際混合層高度為 B，則定義混合層高度差異百分比為 $(A - B) / B$ ，絕對差異百分比為 $(A - B / B)$ 之絕對值；承上所述，若將各站同月份之混合層高度平均，亦將 AQMC 全年之同月份結果平均。將平均結果依序由 1 月至 12 月製作成圖，形成全年變化趨勢圖，日夜變化及季節變化趨勢結果如圖 3.6 所示。

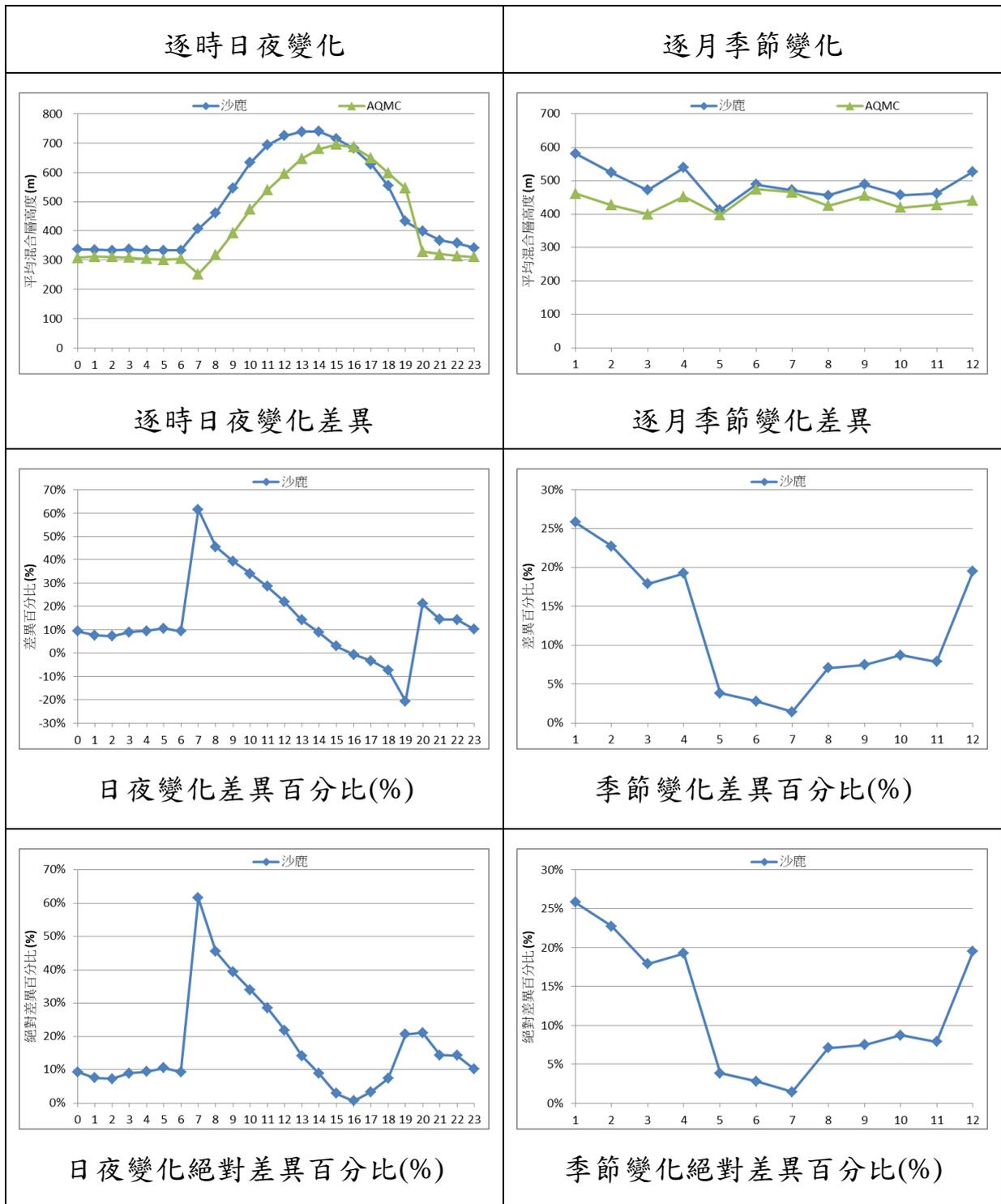
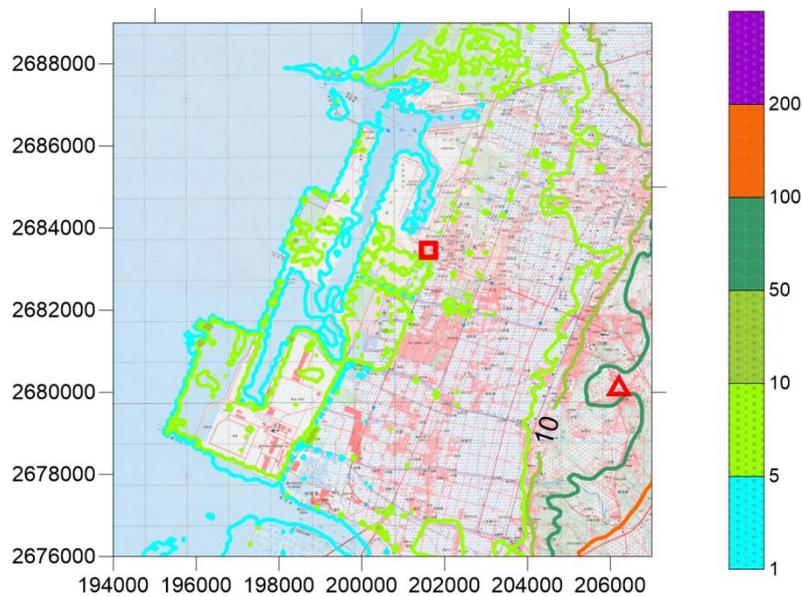


圖 3.6 混合層變化差異比較示意圖

3.3 建置地形資料

本研究 AERMOD 建置模擬範圍以臺中港為主，及鄰近部分臺中市區之地形高程資料；若為複雜地形則可模擬煙流隨著地形擴散的情形，藉以瞭解污染物擴散的影響範圍。其中地表資料運用港區攝影高程，搭配模式支援中心提供之 terr200 地形高程資料，利用克利金內差修正為 100m*100m 網格，使高程資料能夠遍布模擬範圍。完成之臺中港區 100 m 網格間距之地形建置，將之製作等高線圖，如圖 3.7 所示。



資料來源(本研究彙整)。

圖 3.7 AERMOD 模擬高程地形示意圖

3.4 排放量推估

船舶排放推估可透過如圖 3.8 排放量推估流程圖推估，本研究採用洛杉磯港船舶排放量計算公式，透過 AIS 資料庫抓取船舶 IMO 編號，對應勞氏資料庫中之 IMO 編號，若有符合之船隻，則再度抓取 AIS 資料中同一船舶之呼號，若同一筆船舶資料中，其 IMO 編號與呼號均相同，則認定勞氏資料庫與 AIS 資料為同一艘船；接著撈取勞氏資料庫中此一船舶之船隻種類、最大船速、主引擎功率、輔助引擎功率及鍋爐

功率等參數。其中最大船速搭配 AIS 資料中之船速、航行狀態，以計算該船舶之負載(LF)，同時抓取之引擎功率再利用引擎排放係數(EF)、燃油校正係數(FCF)及負載情況，計算船舶排放量。

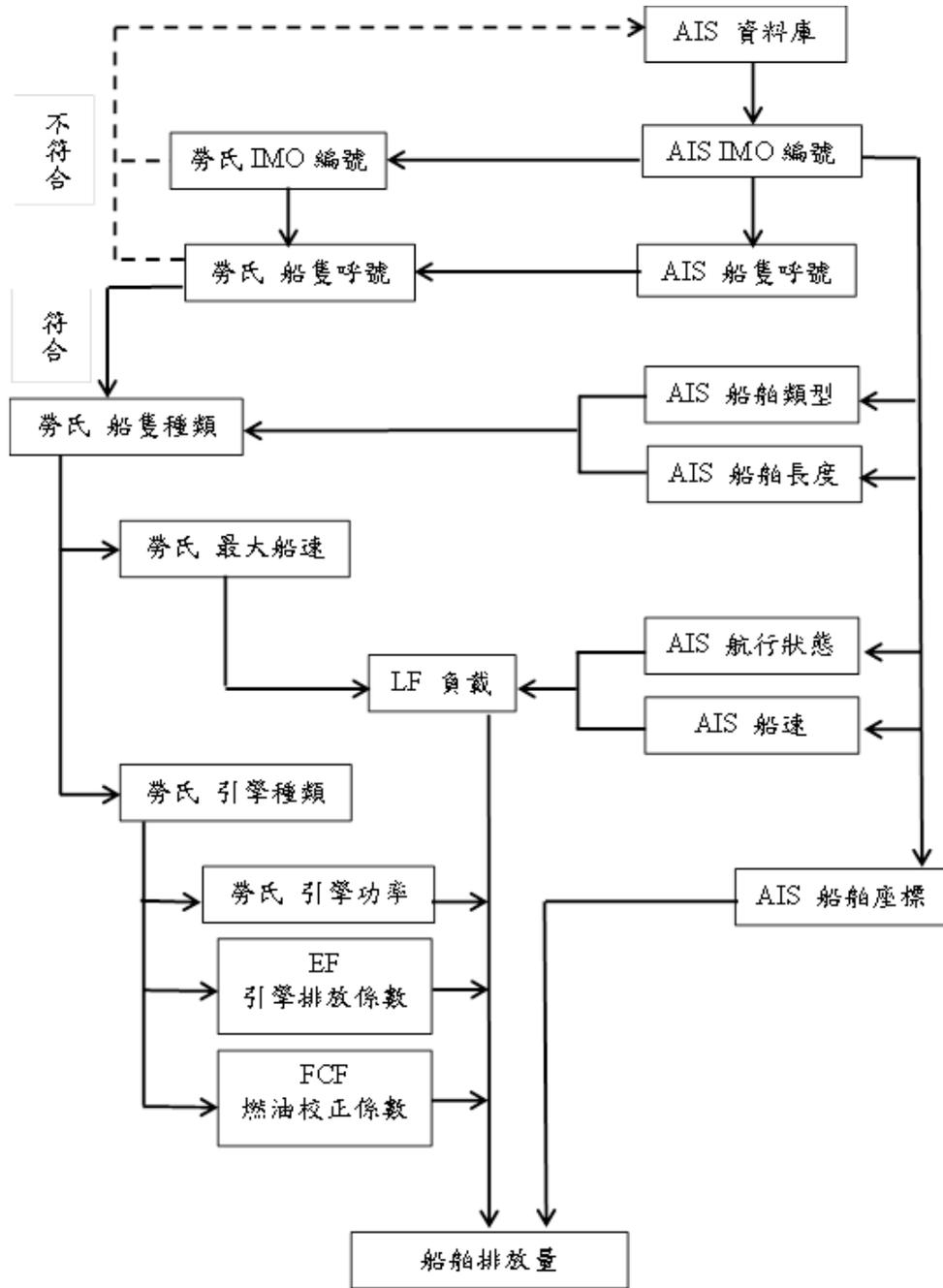


圖 3.8 排放量推估流程圖

3.4.1 AIS 資料庫

本研究依據本所港研中心提供之 AIS 船舶資訊系統，其檔案格式為逗號分隔之 CSV 檔案，資料共計有 10 個欄位，依序分別為 IMO 編號、船隻呼號、航行狀態、航速、經度、緯度、船舶類型、船長 A、船長 B 及記錄時間，各欄位名稱如表 3-4。

又 AERMOD 模式模擬時，船舶之座標系統須轉換為直角坐標系統，本研究使用之座標系統為 TWD97 座標；故 AIS 資料中之經緯度座標必須另外再做轉換。一般座標轉換公式為一漸進收斂方式，應用上雖然較廣泛，但使用上較不方便；故本研究運用回歸方式，取得臺中港區附近之回歸公式，可直接利用公式轉換座標，應用範圍侷限臺中港區，但精確度及轉換效率皆有提高。回歸結果如圖 3.9 及圖 3.10 所示。

表 3-4 AIS 資料欄位

Field	Description
IMO_Number	(IMO Number)國際海事組織編號
Call_Sign	(Call Sign)呼號
Navigation_Status	(Navigation status)航行狀態
SOG	(Speed Over Ground, SOG)航速
Longitude	經度
Latitude	緯度
Ship_and_Cargo_Type	(Type of ship)船舶類型
Reference_Position_A	A+B = 船長
Reference_Position_B	
Record_Time	此筆紀錄接收時間

資料來源：交通部運輸研究所，2016(本研究彙整)。

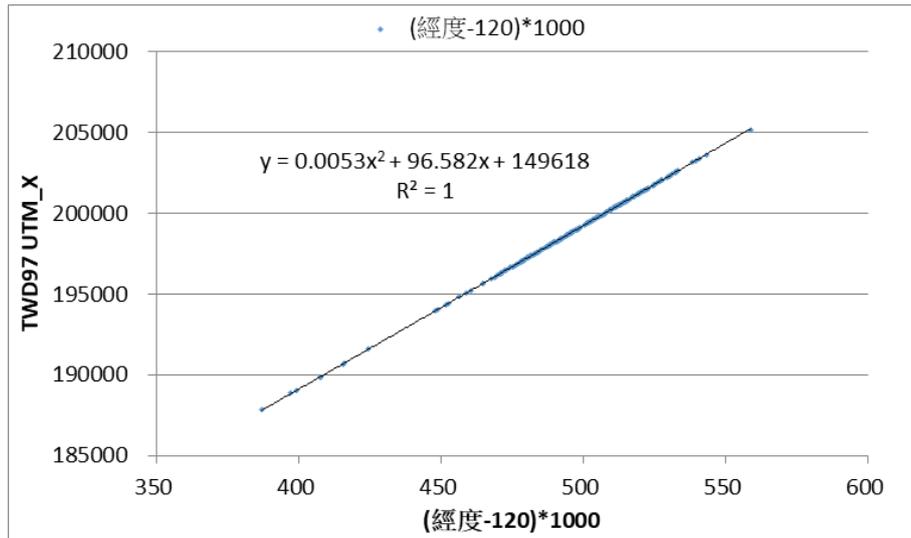


圖 3.9 臺中港區經度座標回歸

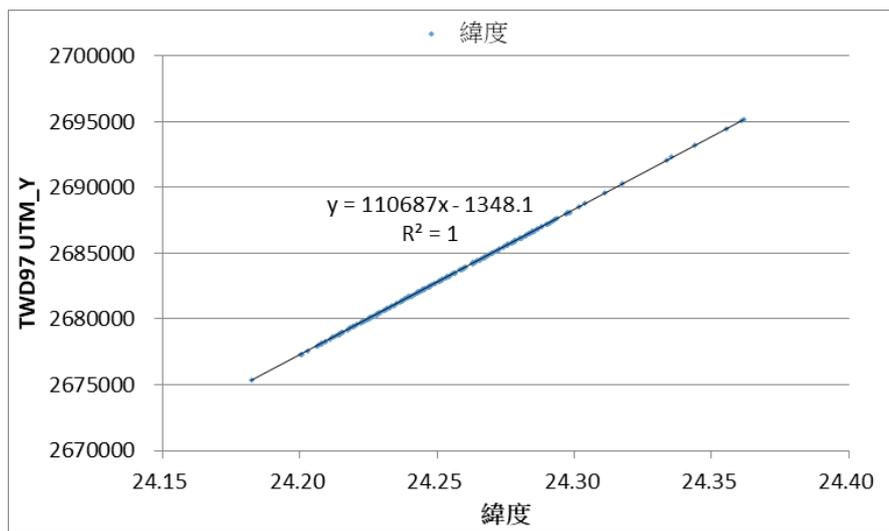


圖 3.10 臺中港區緯度座標回歸

3.4.2 勞氏資料庫

本研究使用之勞氏資料庫為根據 2015 年高雄港區空氣污染擴散與監測系統規畫之研究執行單位所提供，資料並已更新到 2017 年 4 月，其格式為 Access 資料庫格式，將該資料轉換為空白間格之文字檔案格式，並使用 Fortran 格式為(I9, A15, A9, A7, A7, A6, A10, A12, A6, A7, A8, 2A12, A11)，供 AIS 對照並篩選引擎功率使用，欄位名稱依序為 IMO 編號、呼號、總噸、總長、主船種、引擎數量、轉速、引擎馬力、

引擎種類、最大船速、標準貨櫃數、輔助引擎功率、鍋爐功率及引擎判斷 Tier 之時間。各欄位名稱如表 3-5。

表 3-5 勞氏資料庫欄位名稱

	欄位名稱	代碼
1	IMO 號	imo_no
2	呼號	call_sign
3	總噸	dwt
4	總長	loa
5	主船種	main_vesse
6	引擎數量	engine_num
7	轉速(rpm)	engine_rpm
8	引擎馬力(kw)	engine_kw_
9	引擎種類(柴油、渦輪、混合等等)	engine_typ
10	最大船速(節)	speed
11	標準貨櫃數	teu
12	輔助引擎功率	AE_ENERGY
13	鍋爐功率	AB_ENERGY
14	Tier 判斷	due_or_del

資料來源：瑩諮科技股份有限公司，2015(本研究彙整)。

3.4.3 船舶排放量

由於船舶種類眾多，若依據 CARB(California Air Resources Board) 定義，只要符合下列三項其中一項條件，則歸屬於遠洋船舶類型(Ocean Going Vessel, OGV)：

1. 船舶長度總長(Length Overall, LOA) 400 呎(122 公尺)或以上。
2. 船舶重量總噸位(Gross Tonnage, GT) 10,000 噸或以上。
3. 船舶使用柴油引擎，且汽缸排氣量達 30L 或以上。

遠洋船舶排放量推估公式如下：

$$E = \text{Energy} \times \text{EF} \times \text{FCF} \dots\dots\dots(3-3)$$

其中 E 是引擎的排放量(g)、Energy 是所需要的能量(kW·h)、EF 是排放係數(g/kW·h)與 FCF 是(HFO)燃料校正係數。又排放量推估公式中所需要的能量，可藉由下列公式推估之：

$$\text{Energy} = \text{MCR} \times \text{LF} \times \text{Act} \dots\dots\dots(3-4)$$

其中 MCR 是最大引擎動力(kW)、LF 是負載係數與，Act 則是活動量(hr)。

各排放係數說明如下：

1. 缺值預設：

因為在船舶註冊資料中如勞氏資料庫，一般只有少數船舶登記輔助引擎甚至鍋爐的資料，其船舶資料或有缺值的情況產生，因此只能藉由相關研究資料取得各型船隻的船重、最大船速及引擎功率等資料，作為無資料船舶的預設值，因此本研究引用 2011 年至 2013 年洛杉磯港報告中所提出之建議缺值預設，其值則為進出洛杉磯港期間各船種之船舶參數平均值，如表 3-6。輔助引擎及鍋爐在海上、調度、繫泊及錨泊狀態下之預設功率則如表 3-7 及表 3-8 所示。

表 3-6 船舶缺值預設表

船種別	DWT(公噸)	最大船速(節)	主引擎功率(kW)
汽車船(Auto Carrier)	25,048	19.7	12,930
散裝船(Bulk)	50,582	14.3	8,249
貨櫃船(Container-1000)	14,587	20.1	16,727
貨櫃船(Container-2000)	38,640	22.0	22,576
貨櫃船(Container-3000)	45,510	22.5	29,424
貨櫃船(Container-4000)	60,853	24.0	40,479
貨櫃船(Container-5000)	67,460	25.1	52,364
貨櫃船(Container-6000)	79,123	25.1	61,214
貨櫃船(Container-7000)	78,704	25.3	58,355
貨櫃船(Container-8000)	101,000	25.4	67,547
貨櫃船(Container-9000)	102,725	24.9	64,818
貨櫃船(Container-10000)	112,247	24.8	62,684
貨櫃船(Container-11000)	120,805	24.8	68,639
貨櫃船(Container-13000)	142,865	22.9	64,017
客船(Cruise)	6,849	21.6	52,184
一般貨船(General Cargo)	43,747	15.5	9,903
遠洋拖船(ATB/ITB)	798	13.5	7,421
其他(Miscellaneous)	10,987	15.0	13,129
冷藏船(Reefer)	12,499	19.1	9,350
油船(Tanker-Chemical)	26,663	14.8	8,323
油船(Tankers-Handysize)	45,728	14.7	8,696
油船(Tankers-Panamax)	70,610	14.9	11,573
油船(Tankers-Aframax)	105,845	14.9	12,532

資料來源： Aldrete, G.,etc(2011~2013)(本研究彙整)。

表 3-7 輔助引擎缺值預設表

船種別	海上(kW)	調度(kW)	繫泊(kW)	錨泊(kW)
汽車船(Auto Carrier)	503	1,508	838	503
散裝船(Bulk)	255	675	150	255
貨櫃船(Container-1000)	545	1,058	429	545
貨櫃船(Container-2000)	981	2,180	1,035	981
貨櫃船(Container-3000)	602	2,063	516	602
貨櫃船(Container-4000)	1,434	2,526	1,161	1,434
貨櫃船(Container-5000)	1,725	3,367	900	1,725
貨櫃船(Container-6000)	1,453	2,197	990	1,453
貨櫃船(Container-7000)	1,444	3,357	1,372	1,444
貨櫃船(Container-8000)	1,494	2,753	902	1,494
貨櫃船(Container-9000)	1,501	2,942	1,037	1,501
貨櫃船(Container-10000)	2,300	2,350	1,450	2,300
貨櫃船(Container-11000)	2,000	4,000	1,500	2,000
貨櫃船(Container-13000)	1,865	3,085	982	1,865
客船(Cruise)	7,058	9,718	5,353	7,058
一般貨船(General Cargo)	516	1,439	722	516
遠洋拖船(ATB/ITB)	79	208	102	79
其他(Miscellaneous)	72	191	42	72
冷藏船(Reefer)	513	1,540	890	513
油船(Tanker-Chemical)	658	890	816	658
油船(Tankers-Handysize)	537	601	820	537
油船(Tankers-Panamax)	561	763	623	561
油船(Tankers-Aframax)	806	1,109	874	806

資料來源：Aldrete, G.,etc(2012~2014)(本研究彙整)。

表 3-8 鍋爐缺值預設表

船種別	海上(kW)	調度(kW)	繫泊(kW)	錨泊(kW)
汽車船(Auto Carrier)	253	351	351	351
散裝船(Bulk)	132	132	132	132
貨櫃船(Container-1000)	241	241	241	241
貨櫃船(Container-2000)	325	325	325	325
貨櫃船(Container-3000)	474	474	474	474
貨櫃船(Container-4000)	492	492	492	492
貨櫃船(Container-5000)	545	547	547	547
貨櫃船(Container-6000)	577	573	573	573
貨櫃船(Container-7000)	538	551	551	551
貨櫃船(Container-8000)	650	531	531	531
貨櫃船(Container-9000)	475	475	475	475
貨櫃船(Container-10000)	708	708	708	708
貨櫃船(Container-11000)	600	600	600	600
貨櫃船(Container-13000)	599	599	599	599
客船(Cruise)	1,482	1,482	1,482	1,482
一般貨船(General Cargo)	137	137	137	137
遠洋拖船(ATB/ITB)	-	-	-	-
其他(Miscellaneous)	137	137	137	137
冷藏船(Reefer)	255	255	255	255
油船(Tanker-Chemical)	371	371	821	371
油船(Tankers-Handysize)	371	371	2,586	371
油船(Tankers-Panamax)	371	371	3,293	371
油船(Tankers-Aframax)	371	371	3,000	371

資料來源：Aldrete, G.,etc(2012~2014)(本研究彙整)。

2. 排放係數：

主引擎的排放係數與引擎的製造年份、引擎種類及引擎轉速的快慢有關，如表 3-9，柴油引擎依照引擎的製造年份，2000 年以前由於 IMO 並未規範引擎的環保標準，因此為 0 期引擎(Tier 0)，又 2000 年至 2010 年生產的引擎為 1 期引擎(Tier 1)，而 2011 年至 2015 年生產的引擎則為 2 期引擎(Tier 2)，共區分為 3 個期別。其中引擎的最大轉速又可區分為轉速低於 130 rpm 的慢速引擎(Slow Speed Diesel)及轉速大於 130 rpm，一般則介於 400~2000 rpm 之間的中速引擎(Medium Speed Diesel)。另外，亦區分有氣體渦輪機引擎(Gas Turbine)及蒸汽渦輪引擎(Steam Turbine)兩種。一般船舶使用含硫量 2.7% 之重油(HFO)的排放係數，若船舶進港之前即將重油切換為柴油，則需使用柴油之係數，另外再根據硫含量以不同的油料校正係數校正之。輔助引擎及鍋爐之排放係數如表 3-10 及表 3-11 所示。其中排放係數單位為 g/kW·h。

表 3-9 主引擎排放係數

引擎種類	IMO 期別	出廠年份	NOx	SOx
含硫量 2.7% (HFO) 重油				
慢速引擎	Tier 0	≤ 1999	18.1	10.5
中速引擎	Tier 0	≤ 1999	14.0	11.5
慢速引擎	Tier 1	2000 ~ 2010	17.0	10.5
中速引擎	Tier 1	2000 ~ 2010	13.0	11.5
慢速引擎	Tier 2	2011 ~ 2015	15.3	10.5
中速引擎	Tier 2	2011 ~ 2015	11.2	11.5
氣體渦輪引擎	na	all	6.1	16.5
蒸氣渦輪引擎	na	all	2.1	16.5
含硫量 0.5% (MDO) 重油				
慢速引擎	Tier 0	≤ 1999	17.0	1.9
中速引擎	Tier 0	≤ 1999	13.2	2.1
慢速引擎	Tier 1	2000 ~ 2010	16.0	1.9
中速引擎	Tier 1	2000 ~ 2010	12.2	2.1
慢速引擎	Tier 2	2011 ~ 2015	14.4	1.9
中速引擎	Tier 2	2011 ~ 2015	10.5	2.1
氣體渦輪引擎	na	all	5.7	3.1
蒸氣渦輪引擎	na	all	2.0	3.1

資料來源：Aldrete, G., et al. (2013)(本研究彙整)。

表 3-10 輔助引擎排放係數

IMO 期別	出廠年份	NO _x	SO _x
含硫量 2.7% (HFO) 重油			
Tier 0	≤ 1999	14.7	12.3
Tier 1	2000 ~ 2010	13.0	12.3
Tier 2	2011 ~ 2015	11.2	12.3
含硫量 0.5% (MDO) 重油			
Tier 0	≤ 1999	13.8	2.3
Tier 1	2000 ~ 2010	12.2	2.3
Tier 2	2011 ~ 2015	10.5	2.3

資料來源：Aldrete, G., et al. (2013)(本研究彙整)。

表 3-11 鍋爐排放係數

	NO _x	SO _x
HFO 2.7% Sulfur	2.1	16.5
MDO 0.5% Sulfur	2.0	3.1

資料來源：Aldrete, G., et al. (2013)(本研究彙整)。

3. 燃油校正係數：

船舶引擎使用不同的燃油，其污染排放量會隨之變化，主要為油品中含硫量的差異，會造成 SO₂ 的排放量不同；前面所述之主引擎、輔助引擎及鍋爐的排放係數，均是以含硫量 2.7% 的重油或 0.5% 的柴油為基準，故使用低硫燃油時，需加乘燃油校正係數，如表 3-12 是以 2.7% 的重油(HFO)為基礎的校正係數，亦即含硫量 2.7% 重油之 NO_x 及 SO_x 其燃油校正係數均為 1.0。

若計算時採用排放係數表中重油(HFO)的係數，則切換為柴油時，直接乘上校正係數表中相對應的燃油校正係數即可；又若計算時採用排放係數表中柴油(MDO)的係數，則進行硫含量校正時，須先轉換為該油料含硫量的排放係數，再乘以該含硫量之校正係數；以含硫量 1.0%

之計算方式為例，如 NO_x 輔助引擎 2.7%時為 14.7，0.5%時為 13.8，則換算 1.0%時即為 14.4；SO_x 輔助引擎 2.7%時為 12.3，0.5%時為 2.3，則換算 1.0%時即為 4.6，此時再乘上燃油校正係數(FCF)之 NO_x 為 1.0，SO_x 則為 0.370，即為該船舶使用 1.0%含硫量之排放量。

表 3-12 MDO/MGO 燃油校正係數

硫含量(%)	NO _x	SO _x	硫含量(%)	NO _x	SO _x
1.00	1.00	0.370	0.27	0.94	0.100
0.90	0.94	0.333	0.26	0.94	0.096
0.82	0.94	0.304	0.25	0.94	0.093
0.75	0.94	0.278	0.24	0.94	0.088
0.67	0.94	0.248	0.23	0.94	0.085
0.63	0.94	0.233	0.22	0.94	0.083
0.60	0.94	0.222	0.21	0.94	0.078
0.58	0.94	0.215	0.20	0.94	0.074
0.54	0.94	0.200	0.19	0.94	0.070
0.53	0.94	0.196	0.17	0.94	0.063
0.51	0.94	0.189	0.16	0.94	0.059
0.50	0.94	0.185	0.15	0.94	0.056
0.46	0.94	0.170	0.14	0.94	0.052
0.45	0.94	0.167	0.13	0.94	0.048
0.44	0.94	0.163	0.12	0.94	0.044
0.43	0.94	0.159	0.11	0.94	0.041
0.42	0.94	0.156	0.10	0.94	0.037
0.41	0.94	0.152	0.09	0.94	0.033
0.40	0.94	0.148	0.08	0.94	0.030
0.39	0.94	0.146	0.07	0.94	0.026
0.38	0.94	0.141	0.06	0.94	0.022
0.36	0.94	0.133	0.05	0.94	0.019
0.35	0.94	0.130	0.04	0.94	0.015
0.34	0.94	0.126	0.03	0.94	0.011
0.33	0.94	0.123	0.02	0.94	0.007
0.32	0.94	0.118	0.01	0.94	0.004
0.30	0.94	0.111			

資料來源：Aldrete, G. ,et al. (2012、2013)(本研究彙整)。

4. 低負載：

船舶負載資料與船舶行進速度有密切關聯性，一般在 20% ~ 80% 的負載時，可估計為實際船速與最大船速比值的 3 次方值(Propeller Law)，公式如下所示：

$$LF = (AS / MS)^3 \dots\dots\dots(3-5)$$

其中，AS 為船舶實際船速，而 MS 則為最大船速，其單位均為節。如此便可由船速估計主引擎負載，進而進行排放量估算。

當負載小於 20% 時，上述方程式會有少許誤差，故需另以低負載調整因子加以修正。一般來說，柴油引擎在低負載或非常高的負載時，其引擎效率並不好，EEIA(Energy and Environmental Analysis, Inc.)在其研究報告中建置一個計算柴油引擎在低負載運轉時，例如在港區內的移動及調度時引擎的排放係數校正公式。由於柴油引擎在低負載時比較沒有效率，故雖然引擎廢氣單位時間的總排放量在低負載時較低，然而排放係數實際上卻是增加的。

為方便推估時使用，故將此公式推估出 1% ~ 20% 的值，再除以 20% 時的值，以作為低負載時的校正係數(LLA, Low-Load Adjustment foactor)，實際計算時，只要將結果再乘以校正係數即可得到正確的推估值。低負載校正係數如表 3-13 所示，但因為主引擎的負載下限訂為 2%，因此表中僅列出 2% ~ 20% 之係數。

表 3-13 低負載校正係數

Load	NOx	SOx	Load	NOx	SOx
20%	1.00	1.00	10%	1.22	1.00
19%	1.01	1.00	9%	1.27	1.00
18%	1.02	1.00	8%	1.35	1.00
17%	1.03	1.00	7%	1.45	1.00
16%	1.05	1.00	6%	1.60	1.00
15%	1.06	1.00	5%	1.83	1.00
14%	1.08	1.00	4%	2.21	1.00
13%	1.11	1.00	3%	2.92	1.00
12%	1.14	1.00	2%	4.63	1.00
11%	1.17	1.00			

資料來源：Aldrete, G., et al. (2013)(本研究彙整)。

5. 輔助引擎負載：

船舶之輔助引擎主要用於停泊時的燈光、空調及通訊等船上電力的供應，在航道或開放水域上因為可由主引擎提供上述之電力來源，因此輔助引擎此時的負載最低。當船舶處於調度移動狀態時，因需要提供船首推進器隨時在備用狀態，輔助引擎此時的負載可能最高。因此輔助引擎的活動量是以船舶的調度時間加上停泊的時間作為其活動量係數，負載因子則可由 Aldrete 等人於 2007 年在 Puget Sound maritime air emission inventory 發表的文獻中查得一般船舶柴油引擎的操作負荷表，而負載資料亦僅就船舶在各個型態的時間來估計其負載的變化情形。輔助引擎負載如表 3-14 所示。

表 3-14 輔助引擎負載預設值

船種別	港外	港內	停泊
汽車船(Auto Carrier)	0.15	0.45	0.26
散裝船(Bulk)	0.17	0.45	0.1
貨櫃船(Container)	0.13	0.5	0.18
客船(Cruise)	0.15	0.45	0.32
一般貨船(General Cargo)	0.17	0.45	0.22
遠洋拖船(ATB/ITB)	0.17	0.45	0.22
其他(Miscellaneous)	0.17	0.45	0.22
冷藏船(Reefer)	0.15	0.45	0.32
駛上駛下船(RoRo)	0.15	0.45	0.26
油船(Tanker)	0.24	0.33	0.26

資料來源：Aldrete, A., et al. (2007)(本研究彙整)。

3.5 建置即時推估系統

本研究利用 Python 軟體內建之函數建立即時推估系統所需之即時資料，提供從網路即時下載資料之功能，軟體下載網址為 <https://www.python.org/downloads/>，下載並於微軟作業系統上安裝

python 2.7 軟體。之後即可建立一 python 執行檔案，內容預先設定為每小時 20 分自動下載即時資料，下載檔案如紫外線即時監測資料(紫外線指數)、縣市(臺中市)小時值-每小時(風速、風向、溫度、濕度)、船舶即時資訊系統(AIS)及港區哨口車輛進出記錄(車輛數)等 4 個檔案，其檔案格式均為逗號分隔之檔案格式。

另外準備數個檔案，如勞氏資料庫及 100 公尺間隔之地形資料，並將污染物種、測站資訊及參考點座標寫入一檔案，上述檔案資料均供後續程式讀取使用。最後再建立一批次檔案，敘述即時推估系統每小時所要執行的檔案與動作。以下就批次檔內主要之六大步驟分別說明之。

Step 1 抓取 AIS 船舶資訊

抓取船舶資訊其關聯輸入之檔案為即時下載之 AIS 資料及勞氏資料庫。主要功能為利用 AIS 資料庫之 IMO 及呼號，搭配勞氏資料庫取得船舶種類、引擎功率等參數，並篩除錯誤座標或位置大於 20 海哩之船隻，最後輸出船舶種類之各項參數，如船速、最大船速、引擎功率、座標等，供後續程式讀取使用。

Step 2 利用船舶資訊計算排放量

此一步驟主要輸入檔案為 Step 1 產生之船舶資訊檔案與含有預設值及排放係數等資料之參數檔。主要功能為計算船舶負載，並利用參數檔內之排放係數(EF)及燃油校正係數(FCF)等計算船舶之排放量，同時將單位轉換為 AERMOD 可使用之“g/s”，最後將該小時內之船舶排放量結果寫入一檔案內，供 AERMOD 模式模擬時使用。

Step 3 計算混合層高度

計算混合層高度主要輸入檔案為即時下載之兩個氣象檔，即紫外線指數、風速、風向、溫度及濕度等氣象參數，及產生這些參數所在之測站資訊。此一步驟主要功能為利用紫外線指數、風速等計算大氣穩定度，並利用羅氏法公式計算混合層高度，最後建立 AERMOD 使用之地

面及探空氣象資料。

Step 4 自動產生 AERMOD.inp 輸入資訊

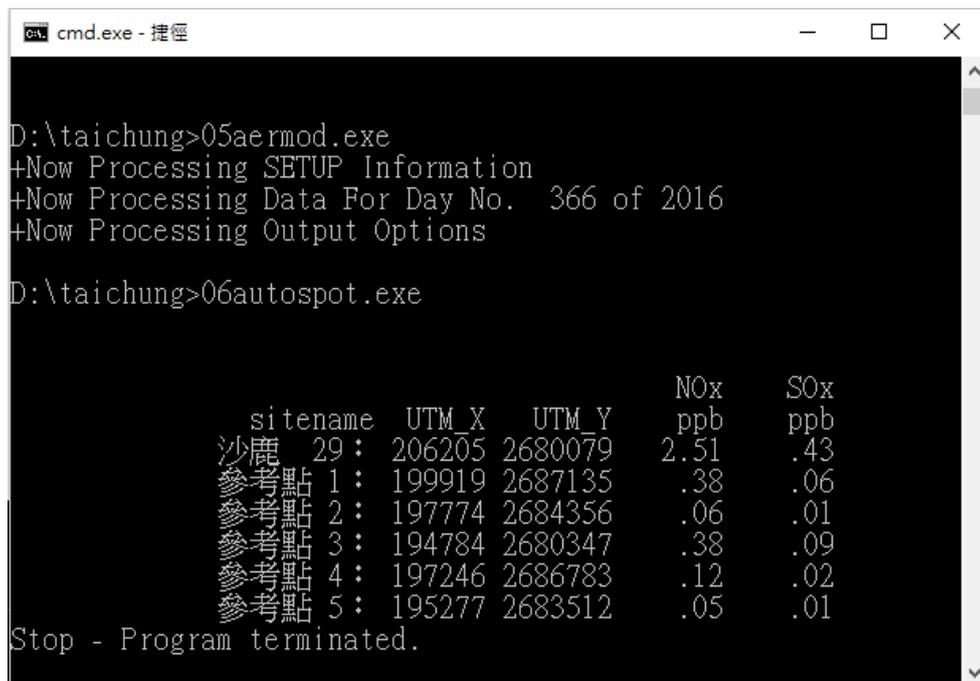
此一步驟主要功能為利用測站及參考點座標資訊，產生參考點座標供模擬使用，並計算港區哨口車輛進出產生之排放量，以自動產生 AERMOD 使用之輸入檔。

Step 5 執行 AERMOD 排放量推估

此步驟即為系統模式模擬之主程式，利用前述各大步驟產生之資訊，模擬該污染物種之增量情形。

Step 6 參考點結果顯示

此一步驟即是將 Step 5 產生之結果，將各測站及參考點之增量濃度轉換為 ppb，並顯示於螢幕上，同時亦把轉換之結果寫入檔案內。如圖 3.11 所示。



```
cmd.exe - 捷徑
D:\taichung>05aermod.exe
+Now Processing SETUP Information
+Now Processing Data For Day No. 366 of 2016
+Now Processing Output Options
D:\taichung>06autospot.exe

          NOx      SOx
sitename  UTM_X  UTM_Y  ppb  ppb
沙鹿 29: 206205 2680079 2.51  .43
參考點 1: 199919 2687135  .38  .06
參考點 2: 197774 2684356  .06  .01
參考點 3: 194784 2680347  .38  .09
參考點 4: 197246 2686783  .12  .02
參考點 5: 195277 2683512  .05  .01
Stop - Program terminated.
```

圖 3.11 模擬結果示意圖

Step 7 推估結果等值圖顯示

最後，推估結果利用批次檔，將資料帶入繪圖軟體，並自動產生增量等值圖，其結果如圖 3.12 所示。

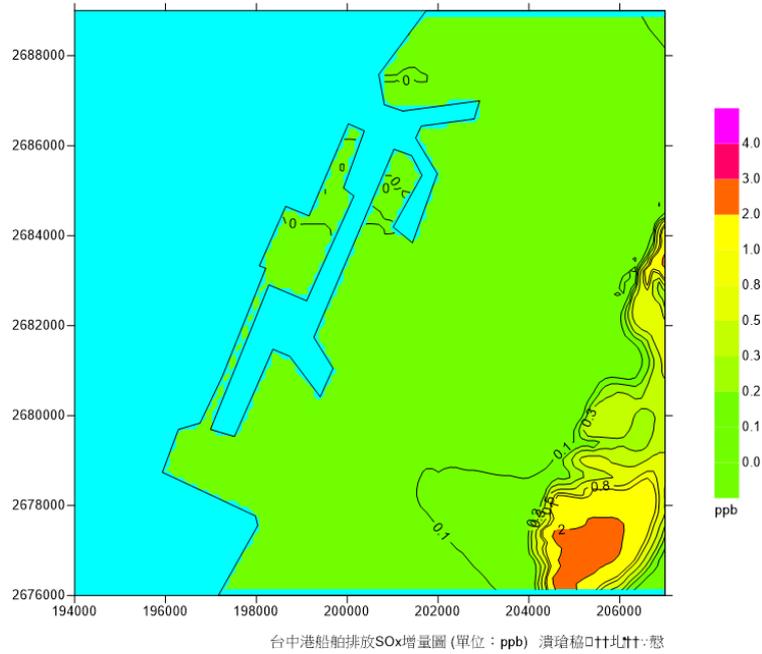


圖 3.12 增量等值圖結果示意圖

第四章 AERMOD 研究結果

本研究已完成建置臺中港附近高程地形、AERMOD 空氣品質模式及地面氣象觀測資料計算混合層高度等模擬推估，同時並完成利用即時推估資料自動繪出增量等值圖；以下分別說明其結果。

4.1 臺中港附近高程地形之建置

臺中港附近之高程地形，其主要地表資料採用臺中港務分公司提供之 2015 年 UAV 攝影測量所得之地形高程資料，其網格間距為 2m*2m，主要範圍為臺中港沿海一帶，並未包括內陸靠近大肚山之梧棲及沙鹿市區，故搭配模式支援中心提供之 terr200 地形高程資料，以補足攝影高程缺值的部分，結合兩者資料且利用克利金內差修正為 100m*100m 網格，使高程資料能夠涵蓋模擬範圍。

本研究已完成臺中港區 100 m 網格間距之地形建置，將之製作等高線圖，模擬範圍 13 公里四方，採用 TWD97 系統，X 軸方向座標 194000 至 207000，Y 軸方向座標則為 2676000 至 2689000，如圖 4.1 所示，其中紅色三角形為環保署沙鹿測站，紅色矩形則為氣象局梧棲站。由圖中可知，範圍內地形高程普遍低於 10 公尺，地形高低起伏尚屬平坦，最右側因靠近大肚山區域，其最大高度約 310 公尺，往右地形逐漸往上攀升；模擬範圍內最大高度則為 283.32 公尺，位於(206800, 2671300)處，整體而言，區域地形高程往東及東南方向增加。

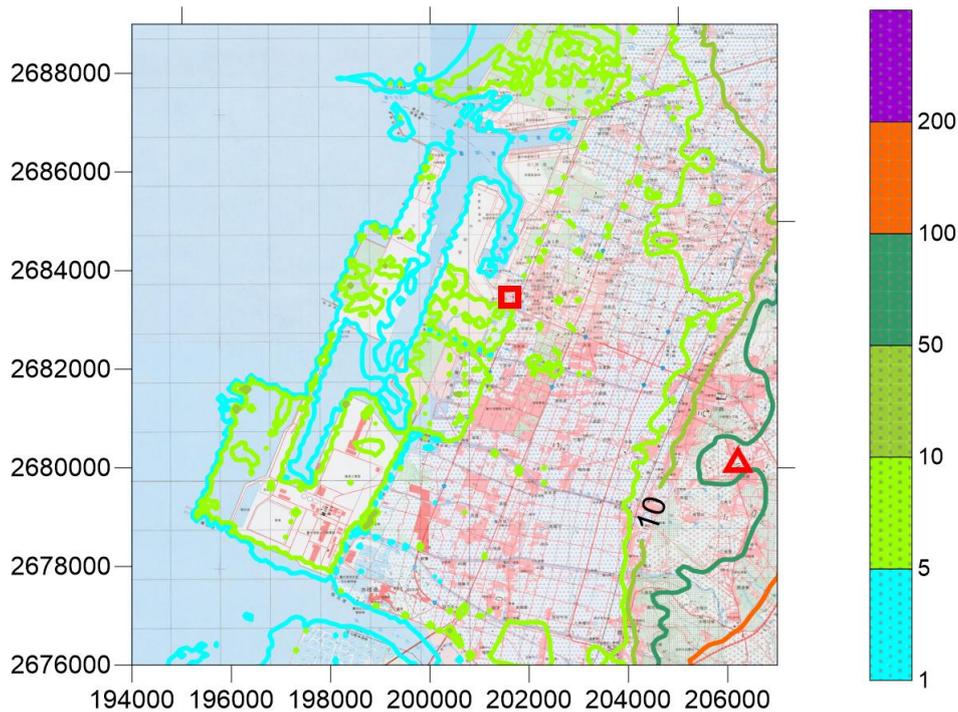


圖 4.1 臺中港附近高程地形

4.2 混合層高度比較

如前述 3.3 小節所述，當取得地面測站觀測數值後，可先行計算 Pasquill 的穩定度，再依據不同的穩定度結果代入羅氏法公式，以計算該區域之混合層高度；經取得臺中港區附近擁有各項氣象參數之氣象測站，各測站之緯度及觀測點高度如表 4-1 所示，其中沙鹿及線西為環保署測站，而梧棲、清水及龍井則為氣象局測站，計算混合層高度使用參數中，因臺中港區大半地區為水體區域，故地表粗糙度設為 0.0001 m，地轉角速度則為 $7.27E-05$ rad/s。

又空氣品質模式支援中心最新能取得之混合層高度為 2015 年度資料，若同樣以 2015 年取得之地面測站觀測值，計算各測站混合層的高度，其結果依照穩定度計算之不同，列舉 1 月、4 月、7 月及 10 月結果分別如圖 4.2 及圖 4.3。

其中環保署兩個測站中，1 月混合層最大高度介於 600m ~ 1800m 之間，4 月混合層最大高度介於 600m ~ 2200m 之間，7 月混合層最大

高度介於 500m ~ 1400m 之間，10 月混合層最大高度則介於 400m ~ 1200m 之間；氣象局三個測站間，在 1 月混合層最大高度介於 600m ~ 1600m 之間，4 月混合層最大高度介於 400m ~ 2200m 之間，7 月混合層最大高度介於 400m ~ 1600m 之間，10 月混合層最大高度則介於 400m ~ 1200m 之間。

表 4-1 地面氣象觀測站資訊

觀測地點	觀測點高度(m)	經度	緯度
沙鹿(EPA)	19.5	120.568794	24.225628
線西(EPA)	15.5	120.469061	24.131672
梧棲(CWB)	31.7	120.523381	24.256003
清水(CWB)	26.0	120.562242	24.312297
龍井(CWB)	20.0	120.528972	24.184536

資料來源：環保署空氣品質監測網及中央氣象局氣象觀測站(本研究彙整)。

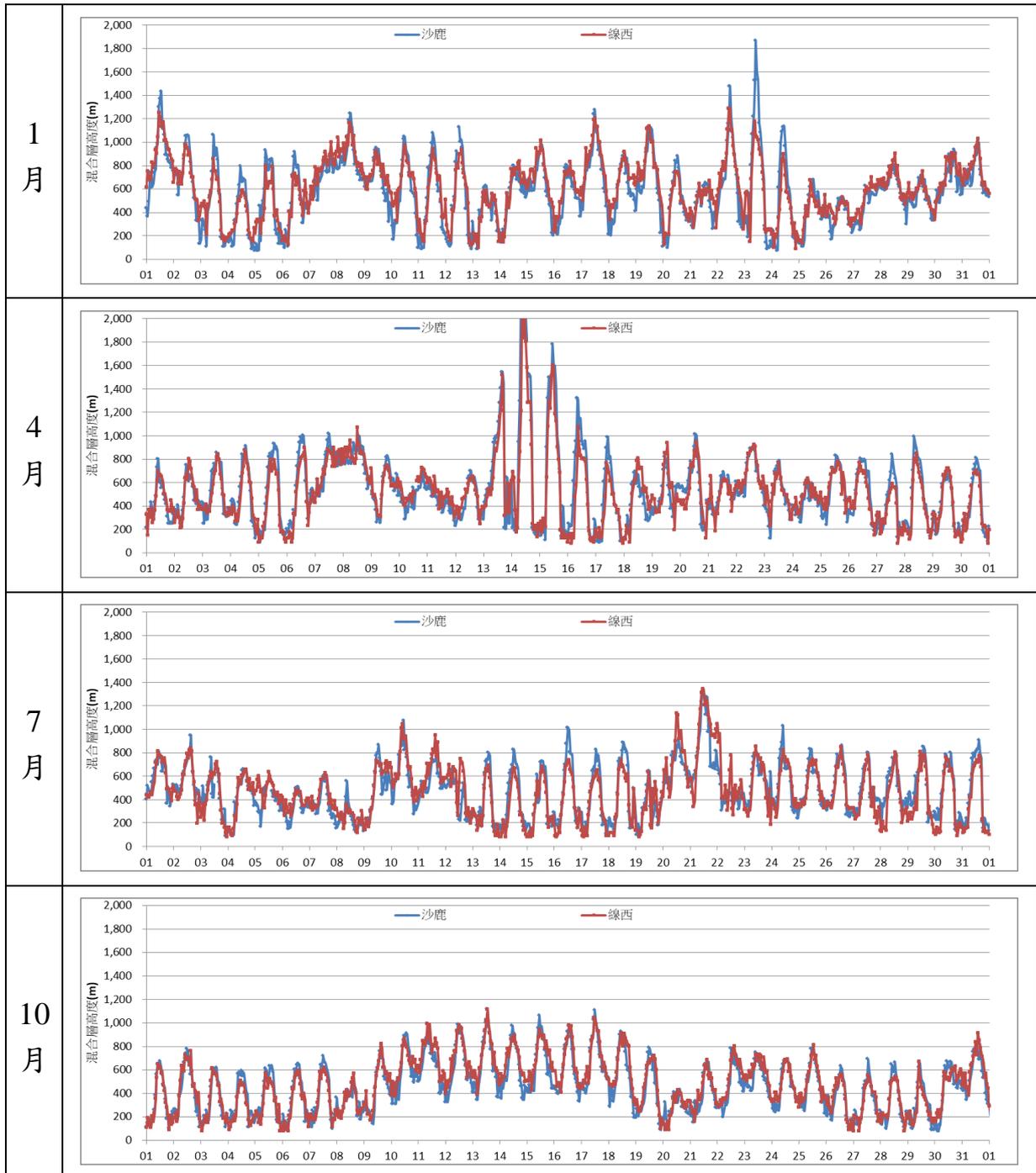


圖 4.2 環保署測站混合層高度計算比較

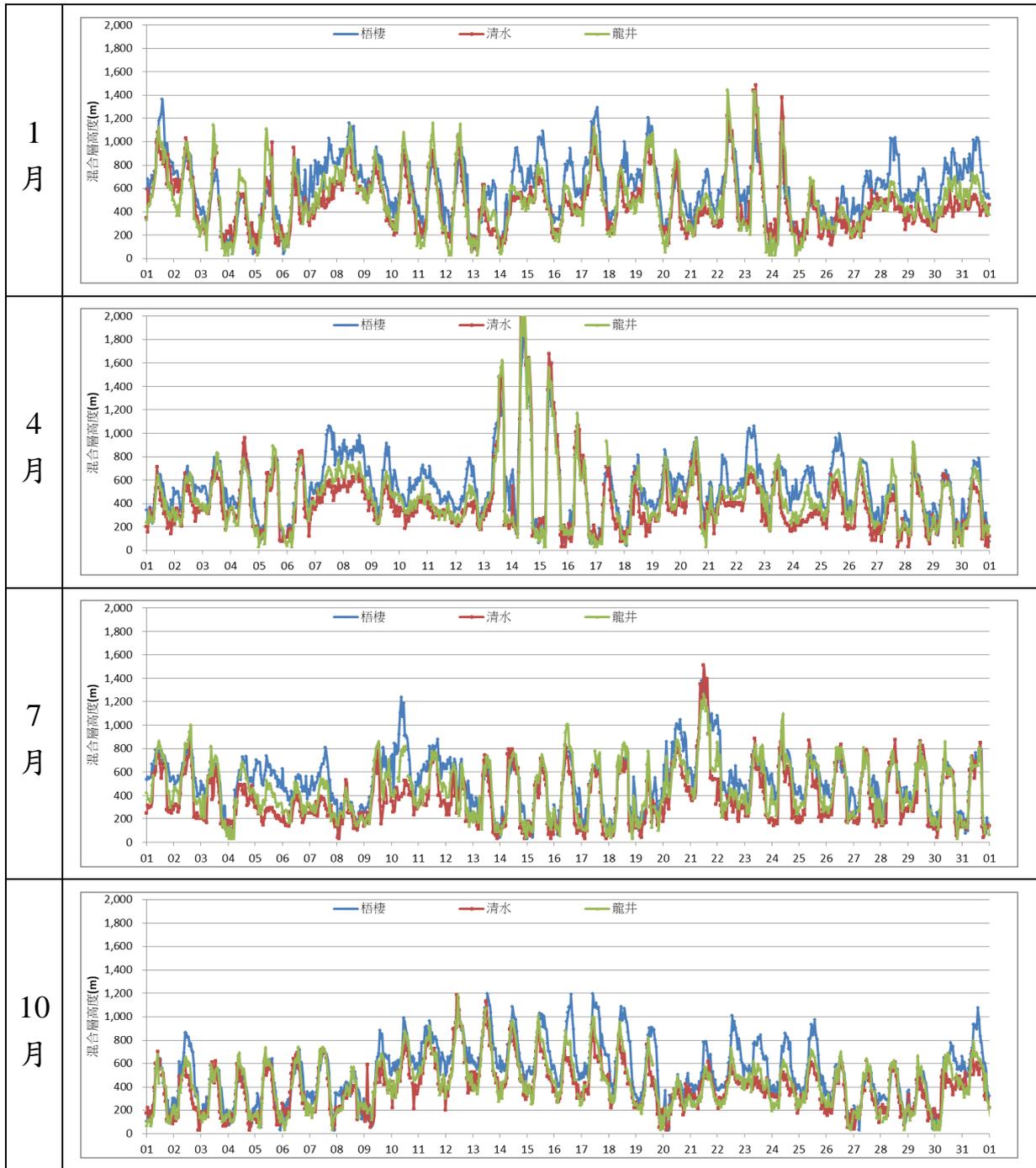


圖 4.3 氣象局測站混合層高度計算比較

4.3 日夜變化差異

承 4.2 小節所述，將環保署及氣象局各測站全年之混合層高度計算結果，分別將各站同時段之混合層高度平均；同理，亦將空氣品質模式支援中心(AQMC)全年之同時段結果平均。將各測站平均結果依序由 0 時至 23 時製作成圖，形成日夜變化趨勢圖，結果如圖 4.4 所示。若將混合層推估值定義為 A，AQMC 實際混合層高度為 B，則定義混合層高度差異百分比為 $(A - B) / B$ ，絕對差異百分比為 $(A - B) / B$ 之絕對值，差異結果則如圖 4.5 所示。

混合層日夜變化中，沙鹿混合層最大高度 739.8 m，與實際混合層高度差異值介於 -20.6% ~ 61.5% 之間，差異絕對值則介於 0.6% ~ 61.5% 之間；線西最大高度 704.5 m，差異值介於 -16.1% ~ 58.9% 之間，差異絕對值則介於 1.1% ~ 58.9% 之間；梧棲最大高度 720.5 m，差異值介於 -9.4% ~ 76.1% 之間，差異絕對值則介於 0.2% ~ 76.1% 之間；清水最大高度 594.2 m，差異值介於 -47.0% ~ 39.4% 之間，差異絕對值則介於 1.7% ~ 47.0% 之間。龍井最大高度 674.4 m，差異值介於 -32.9% ~ 44.2% 之間，差異絕對值則介於 0.2% ~ 44.2% 之間。其中各測站混合層最大高度發生時間點，環保署沙鹿測站為 14 時、線西測站為 13 時，氣象局梧棲測站為 13 時、清水測站為 11 時及龍井測站為 13 時；AQMC 混合層最大高度則發生在 15 時。

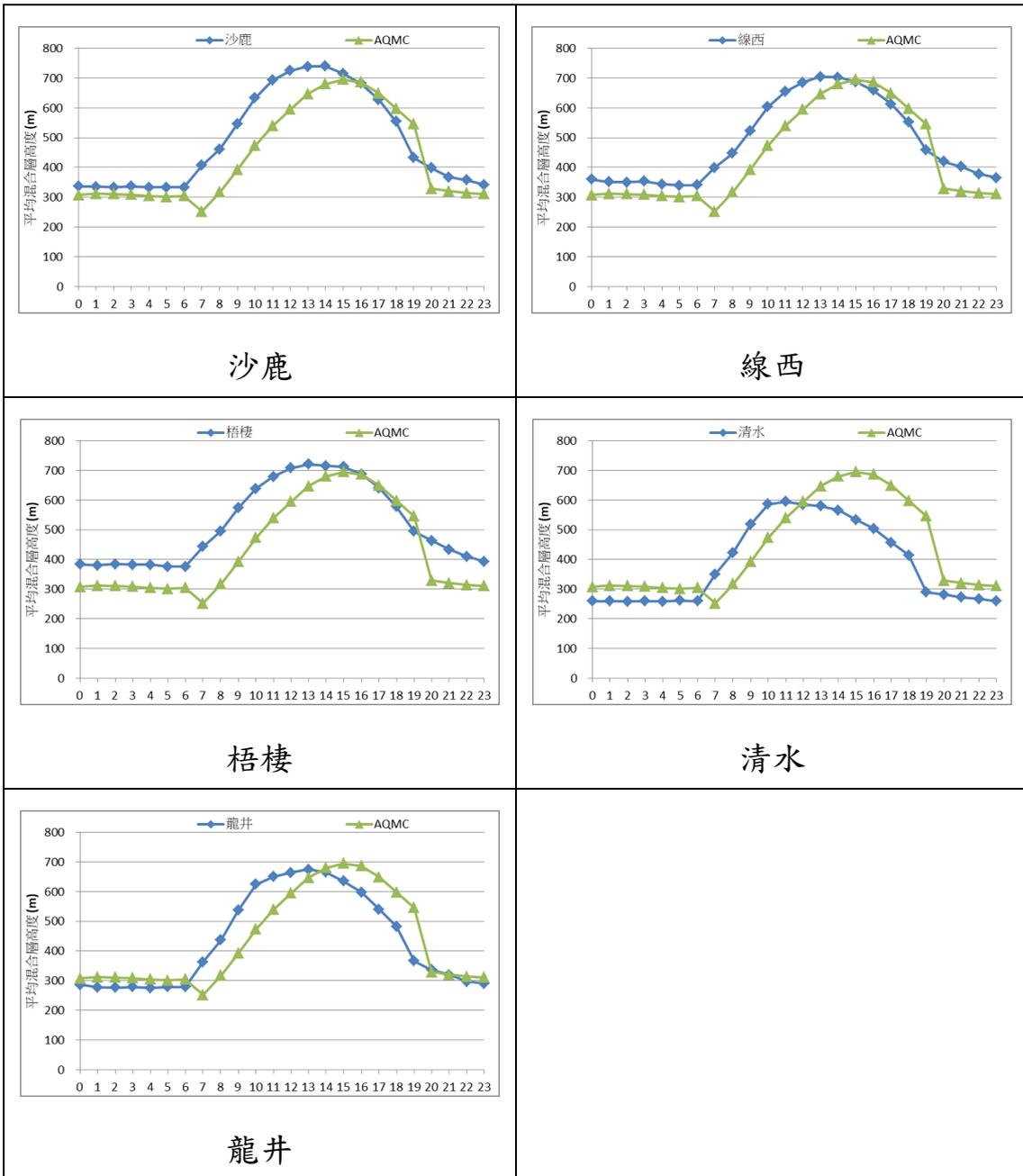


圖 4.4 逐時平均混合層高度(m)

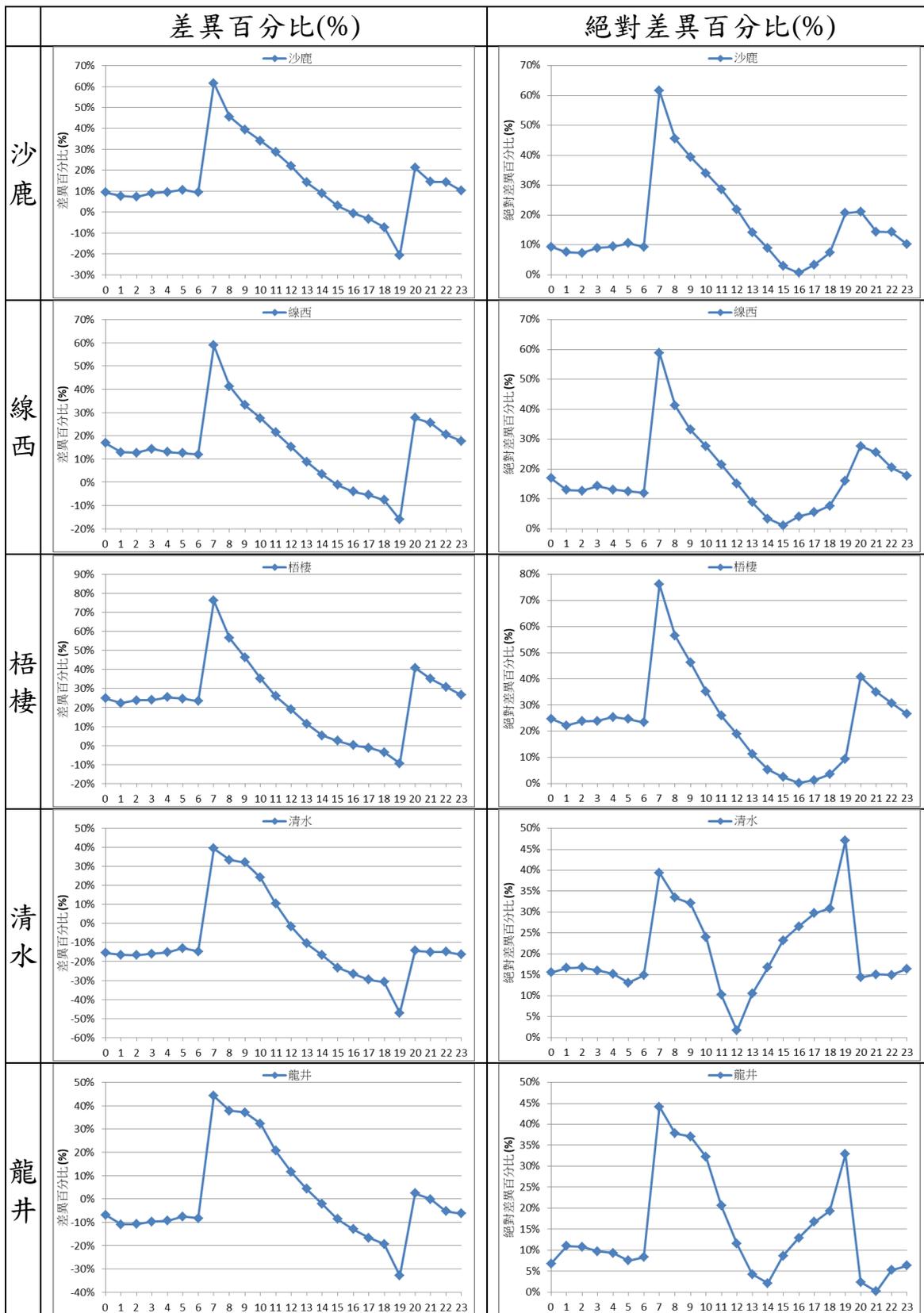


圖 4.5 逐時日夜變化差異比較

4.4 季節變化差異

承接 4.2 小節所述，若將環保署及氣象局各測站全年之混合層高度計算結果，分別將各站同月份之混合層高度平均；同理，亦將空氣品質模式支援中心(AQMC)全年之同月份結果平均。將平均結果依序由 1 月至 12 月製作成圖，形成全年月變化趨勢圖，其結果如圖 4.6 所示，而差異變化百分比計算則如前述 4.3 小節所述，差異變化結果則如圖 4.7。

混合層季節變化中，沙鹿混合層最大高度 580.9 m，與實際混合層高度差異值介於 1.4% ~ 25.8% 之間，差異絕對值則介於 1.4% ~ 25.8% 之間；線西最大高度 608.0 m，差異值介於 -6.4% ~ 31.7% 之間，差異絕對值則介於 0.5% ~ 31.7% 之間；梧棲最大高度 605.1 m，差異值介於 2.9% ~ 37.3% 之間，差異絕對值則介於 2.9% ~ 37.3% 之間；清水最大高度 465.3 m，差異值介於 -21.1% ~ 0.8% 之間，差異絕對值則介於 0.8% ~ 21.1% 之間。龍井最大高度 496.0 m，差異值介於 -13.1% ~ 7.4% 之間，差異絕對值則介於 0.5% ~ 13.1% 之間。各站混合層最大高度除了氣象局梧棲測站發生在 12 月，AQMC 結果發生在 6 月，其餘各測站混合層最大高度均發生在 1 月。

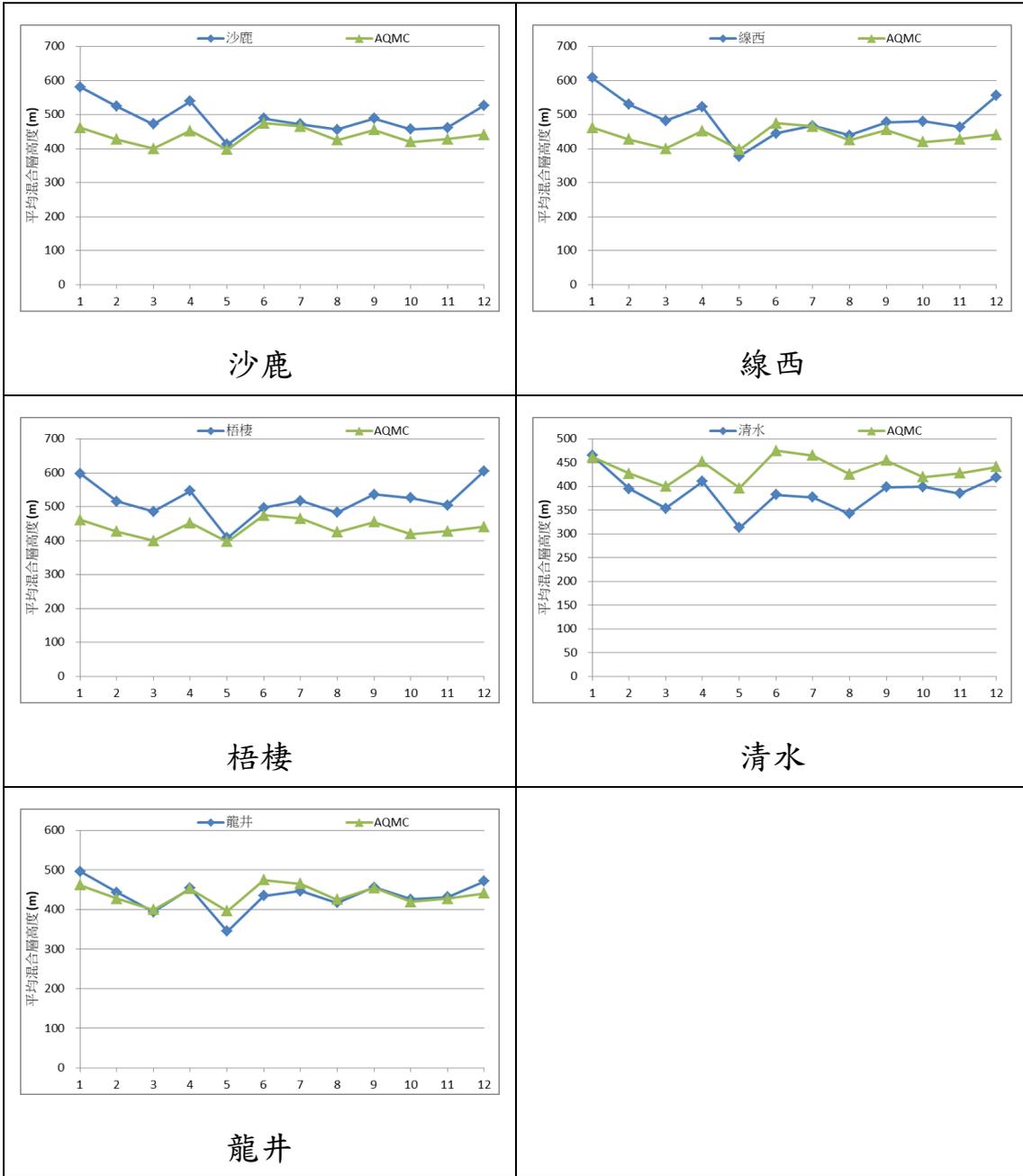


圖 4.6 逐月平均混合層高度(m)

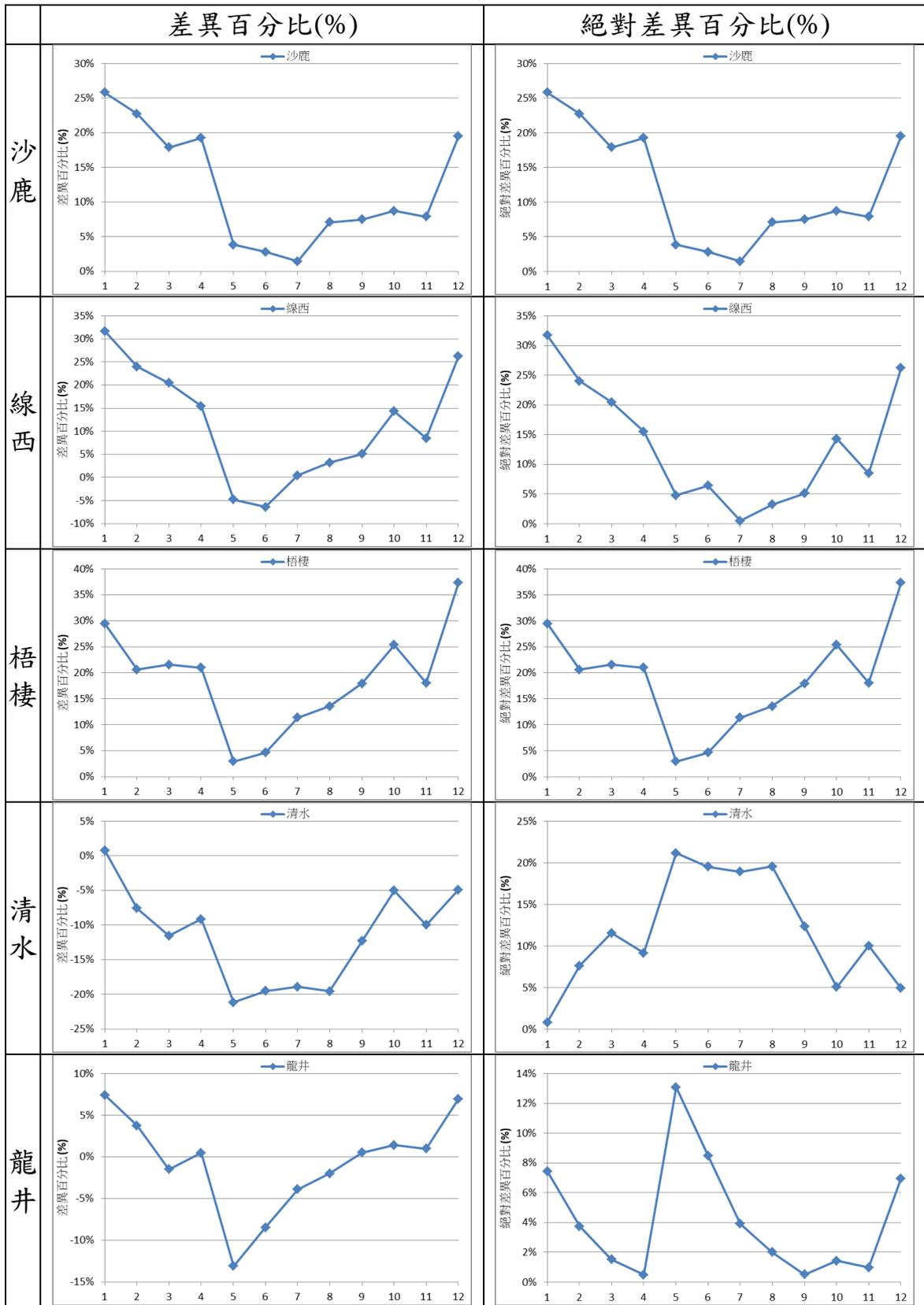


圖 4.7 逐月季節變化差異比較

4.5 平均差異

承前述 4.2 至 4.4 小節，將環保署與氣象局各測站之混合層計算高度平均，再與 AQMC 所提供之同一時間混合層高度做比較，其結果如圖 4.8 及圖 4.9 所示。其中環保署測站 1 月混合層最大高度介於 600m ~ 1600m 之間，4 月混合層最大高度介於 600m ~ 2000m 之間，7 月混合層最大高度介於 500m ~ 1400m 之間，10 月混合層最大高度則介於 400m ~ 1200m 之間。而氣象局測站 1 月混合層最大高度介於 500m ~ 1400m 之間，4 月混合層最大高度介於 600m ~ 2000m 之間，7 月混合層最大高度介於 400m ~ 1500m 之間，10 月混合層最大高度則介於 400m ~ 1200m 之間。

環保署測站平均混合層日夜變化最大高度 719.5 m，發生於 13 時，與實際混合層高度差異值介於 -18.3% ~ 60.0% 之間，差異絕對值則介於 0.8% ~ 60.0% 之間。混合層季節變化中，最大高度 594.6 m，發生於 1 月期間，與實際混合層高度差異值介於 -1.8% ~ 28.8% 之間，差異絕對值則介於 1.1% ~ 28.8% 之間，如圖 4.10 所示。而氣象局測站平均混合層日夜變化最大高度 659.8 m，發生於 13 時，與實際混合層高度差異值介於 -29.2% ~ 54.1% 之間，差異絕對值則介於 0.4% ~ 54.1% 之間。混合層季節變化中，最大高度 520.4 m，發生於 1 月期間，與實際混合層高度差異值介於 -10.4% ~ 13.4% 之間，差異絕對值則介於 0.8% ~ 13.4% 之間，如圖 4.11 所示。

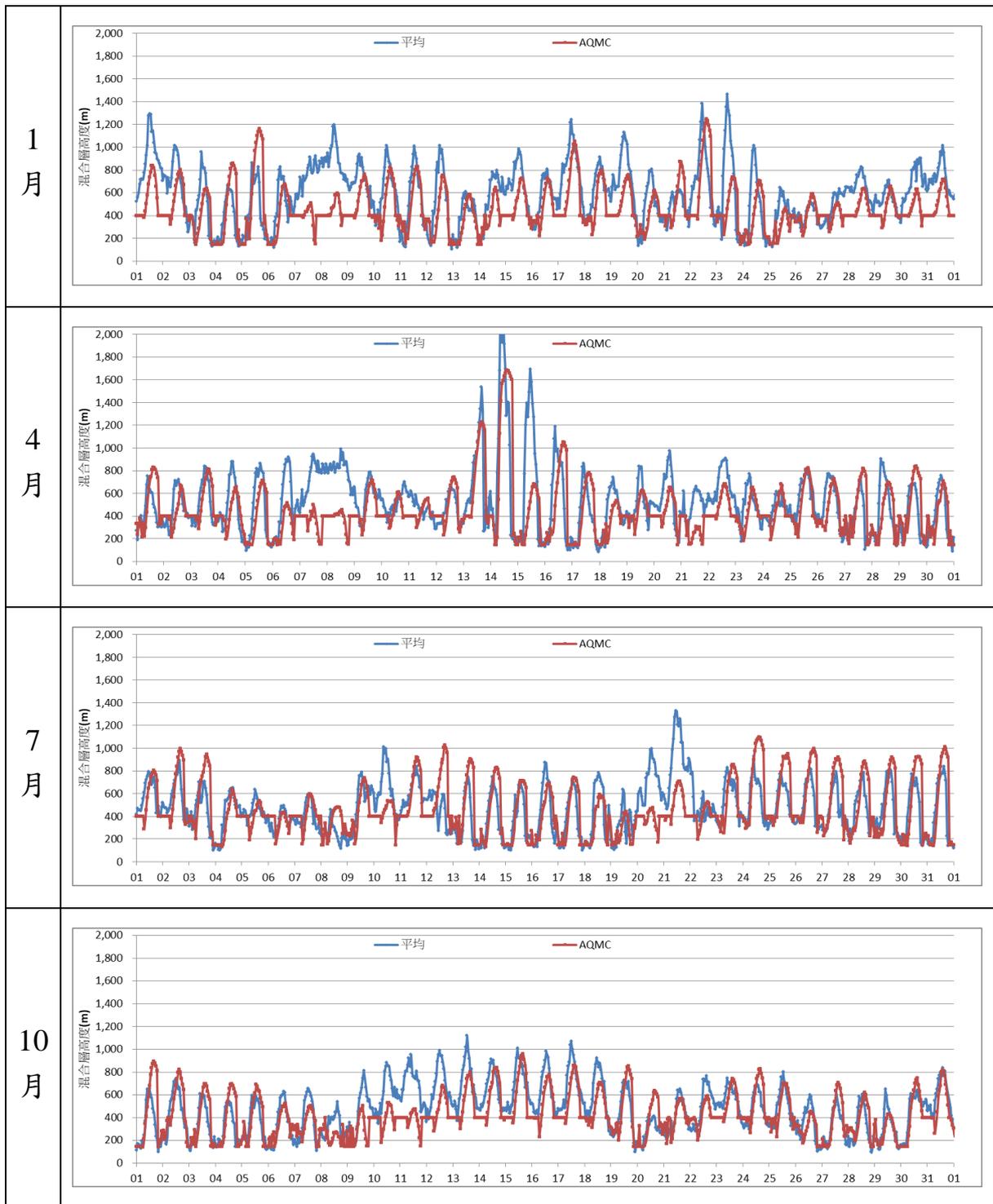


圖 4.8 環保署測站平均混合層高度比較

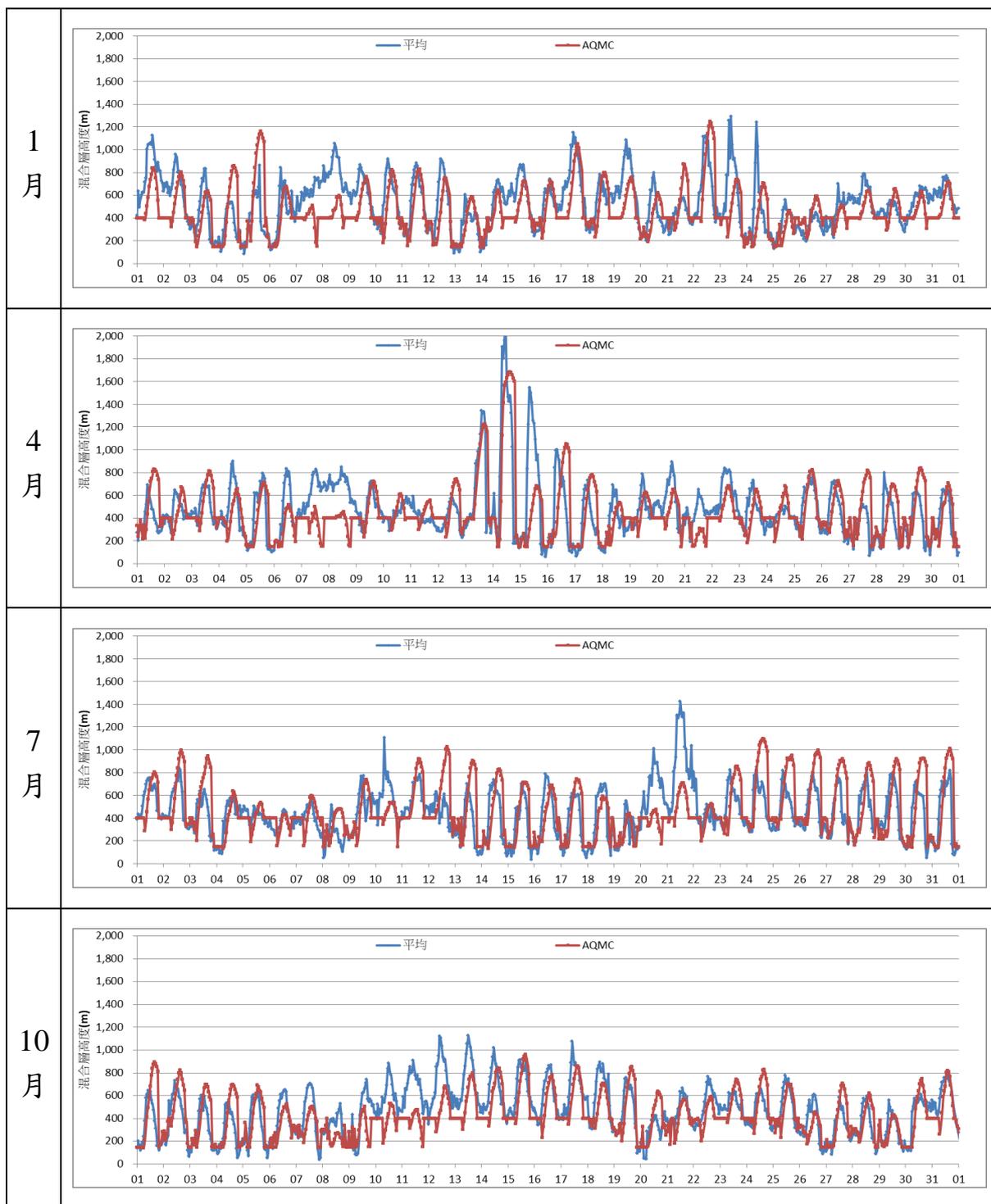


圖 4.9 氣象局測站平均混合層高度比較

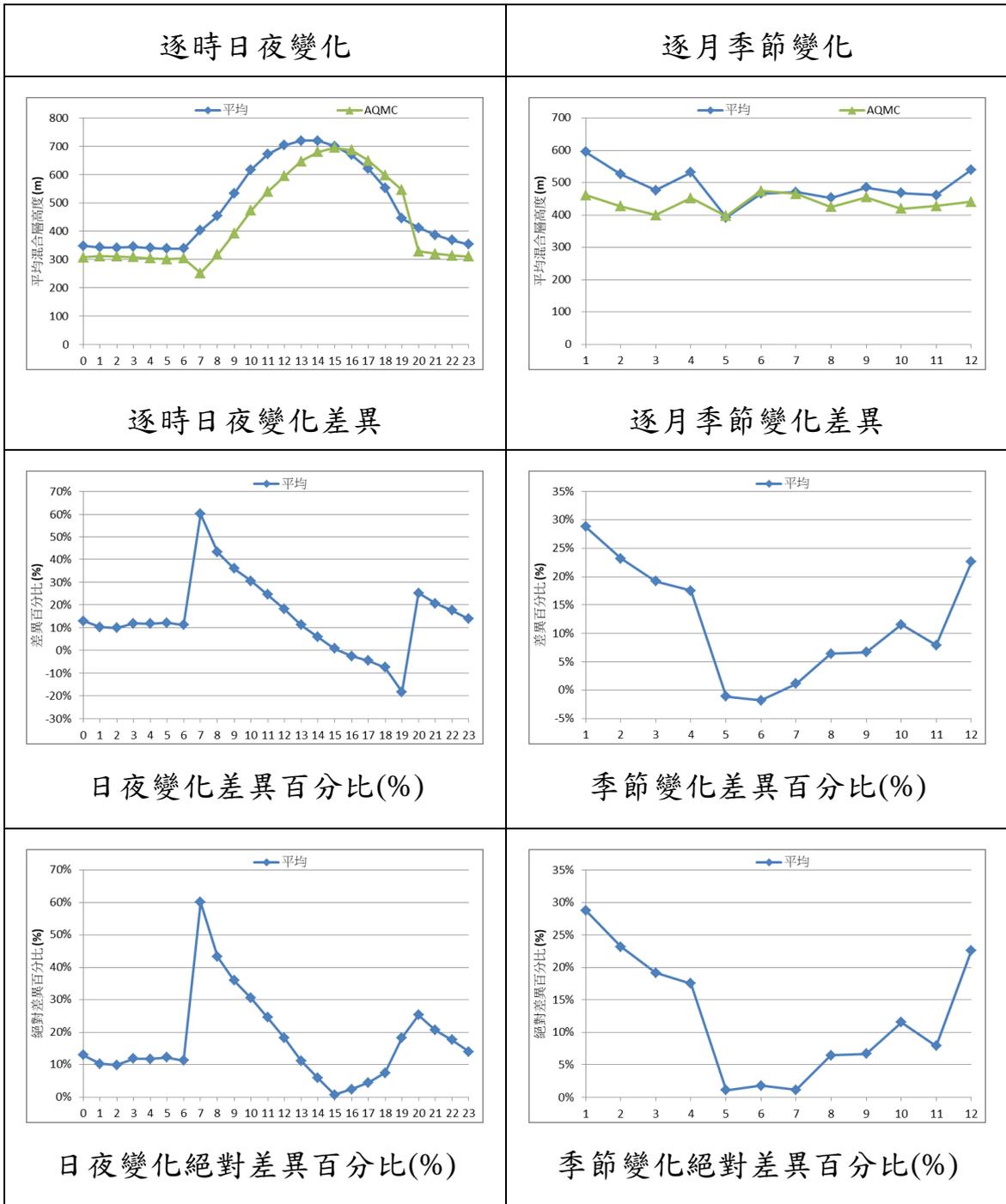


圖 4.10 環保署測站平均混合層變化比較

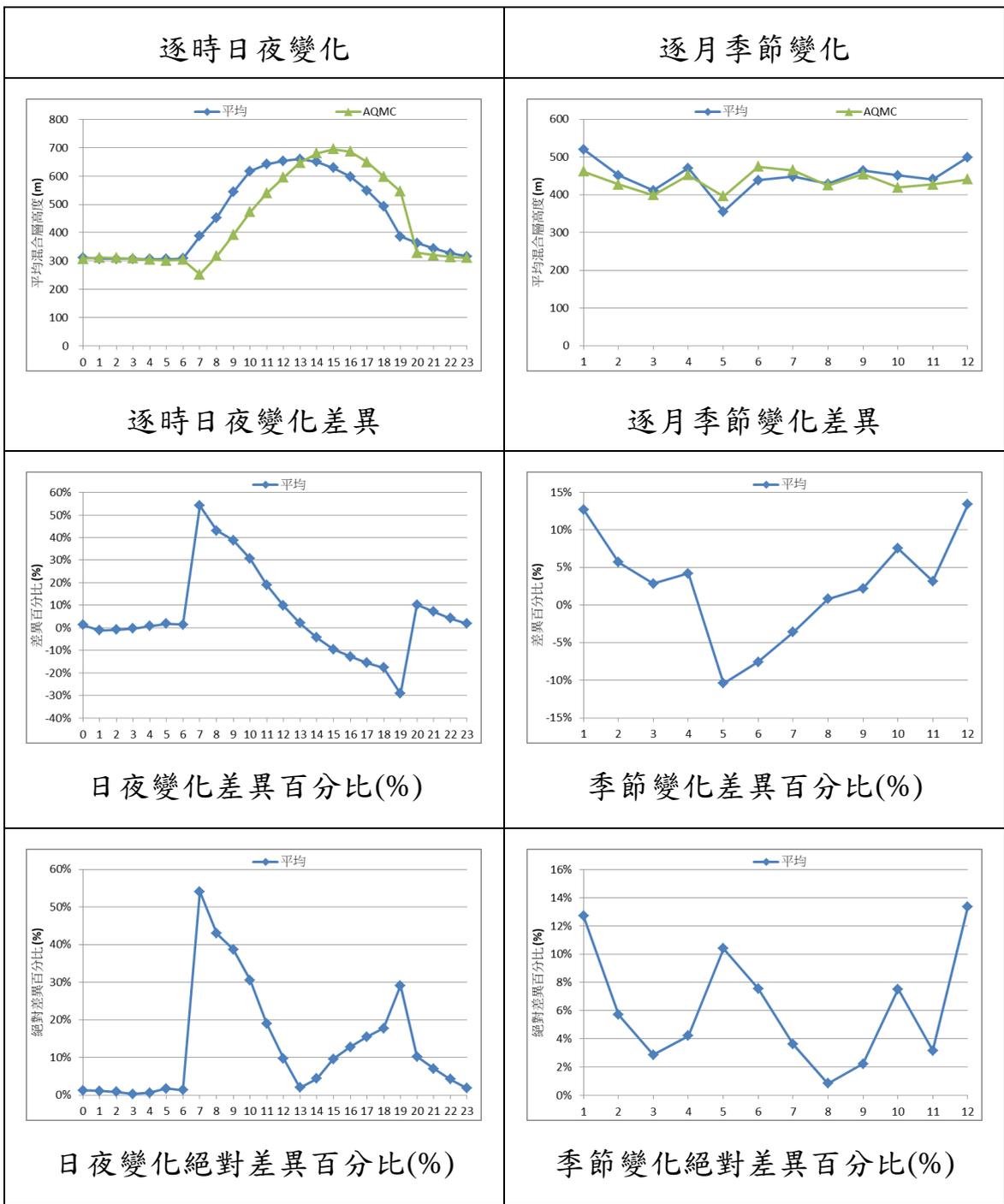


圖 4.11 氣象局測站平均混合層變化比較

4.6 即時推估系統執行結果展示

即時推估系統模擬結果產生之後，將於螢幕顯現出各敏感點之推估增量濃度結果，但此結果尚無法得知船舶污染排放下，其污染濃度之分布擴散情形。假若於推估系統中增加 5 個檔案，分別為 taichung.blm 代表臺中港區水域與陸地的邊界；NO_x.LVL 及 SO_x.LVL 兩個檔案為等值圖之濃度間隔資料；及 NO_x_emission.bas 與 SO_x_emission.bas 分別代表著繪製 NO_x 與 SO_x 之繪圖程序，將這 5 個檔案放在推估系統同一個資料夾中，應用批次檔執行順序，最後即可在每次推估結果之後，應用 Surfer 繪圖軟體，自動繪製出等值圖並儲存成 NO_x.png 及 SO_x.png 兩個圖檔，以顯現高污染主要分布及擴散區域，如圖 4.12 所示。

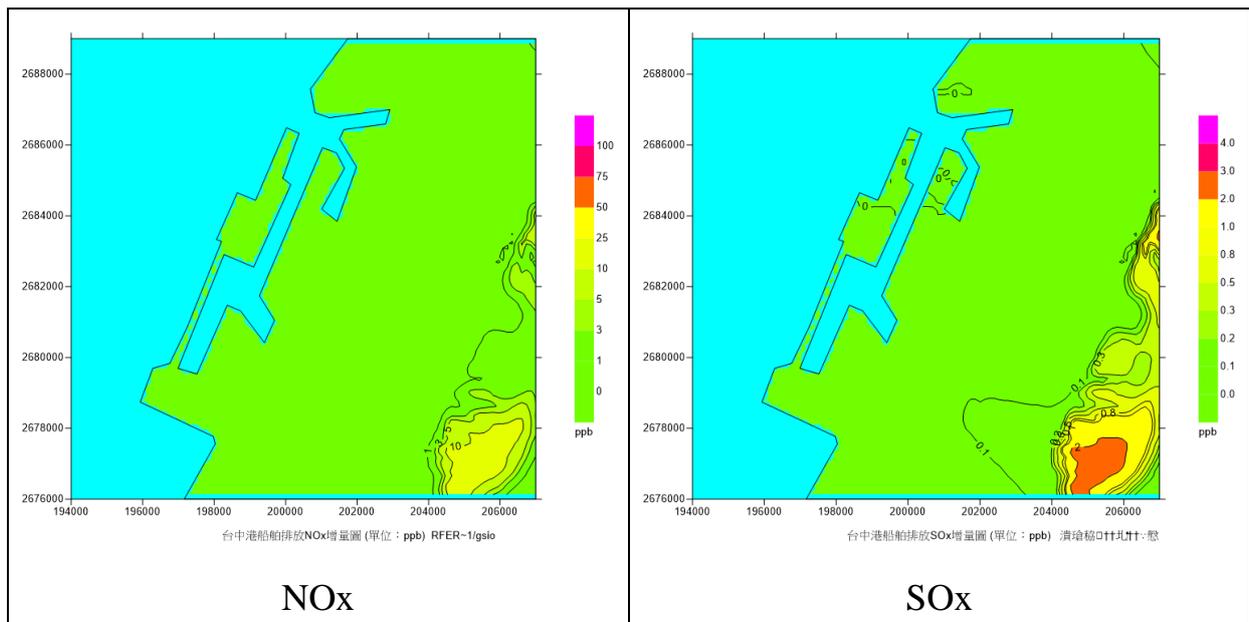


圖 4.12 自動繪圖結果

由於此自動繪圖結果使用 Surfer 繪圖軟體，若要正確執行繪圖程序，則需要修改(or 增加)批次檔 marine.bat 指令中，指定 Scripter.exe 檔案的路徑，如下列兩行文字敘述，其中 NO_x_emission.bas 及 SO_x_emission.bas 兩個檔案為 surfer 自動繪圖執行程序及其步驟之記錄檔案。

```
-----  
CALL "C:\Program Files (x86)\Golden Software\Surfer 10\Scripter\"Scripter.exe -x  
NOx_emission.bas
```

```
CALL "C:\Program Files (x86)\Golden Software\Surfer 10\Scripter\"Scripter.exe -x  
SOx_emission.bas
```

```
-----  
另外亦須指定兩個 .bas 繪圖程序中，需要處理的資料及批次檔案  
放置路徑，如以下敘述，其中 D 代表磁碟機代號。
```

```
-----  
' Specify the input data file
```

```
Path$ = "D:\autoplot" ---指定 batch 檔及資料置放路徑
```

4.7 臺中港即時推估結果

臺中港即時推估在資料下載測試時，於固定網路 IP 的個人電腦主機上，設定每個小時開始之 25 分鐘下載一次數據，即港區 AIS 資料、環保署沙鹿氣象及紫外線指數，與港區哨口車輛進出資訊等即時資料，應用洛杉磯港之船舶排放公式，搭配勞氏資料提供之船舶引擎功率等參數，以計算當時排放影響情形，測試於 2017 年 10 月 8 日開始至 10 月 17 日止共計成功執行 240 次。

依據前述測試結果，模擬推估所得數據為污染物排放對於測站(或參考點)的貢獻增量結果，而環保署沙鹿測站資料則為所有排放源對於測站的全量貢獻影響結果，若當時模擬之風向並未經過測站，則測站之推估結果有可能為 0 或趨近於 0；比較污染物濃度增量與全量之比例關係，可以得知排放污染物對於沙鹿測站的影響及貢獻比例。

擷取環保署沙鹿測站污染物種氮氧化物(NOx)及硫氧化物(SOx)之濃度資料，與臺中港相同測試時間做為模擬推估比較，即 10 月 8 日至 10 月 17 日共計 10 日，將模擬推估結果與環保署測站資料繪圖比對，其結果如圖 4.13 及圖 4.14 所示。

由圖中可知，在 NOx 推估資料中，沙鹿測站推估最高值 34.9 ppb，

發生於 9 日 9 時，次之為 11 日 14 時之 15.8 ppb，第三高則為 9 日 23 時之 14.5 ppb；而 SO_x 推估資料中，沙鹿測站推估最高值 2.23 ppb，發生於 9 日 9 時及 23 時，次之為 11 日 14 時之 1.9 ppb，第三高則為 11 日 15 時之 1.86 ppb。

推估數值佔環保署沙鹿測站實測值比較如圖 4.15 及圖 4.16，NO_x 推估貢獻比例最高為 9 日 9 時之 317.0%，次之為 12 日 10 時之 122.5%，第三高則為 11 日 14 時之 112.5%，平均則為 7.9%；SO_x 推估貢獻比例最高為 15 日 14 時之 422.5%，次之為 15 日 23 時之 213.3%，第三高則為 11 日 15 時之 132.9%，平均則為 10.2%。結果如表 4-2 所示。

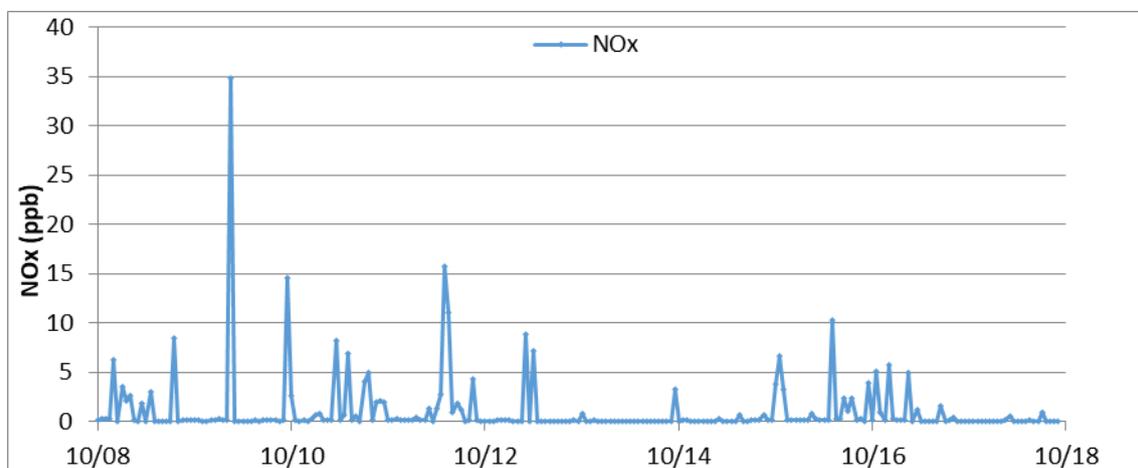


圖 4.13 沙鹿測站 NO_x 推估結果

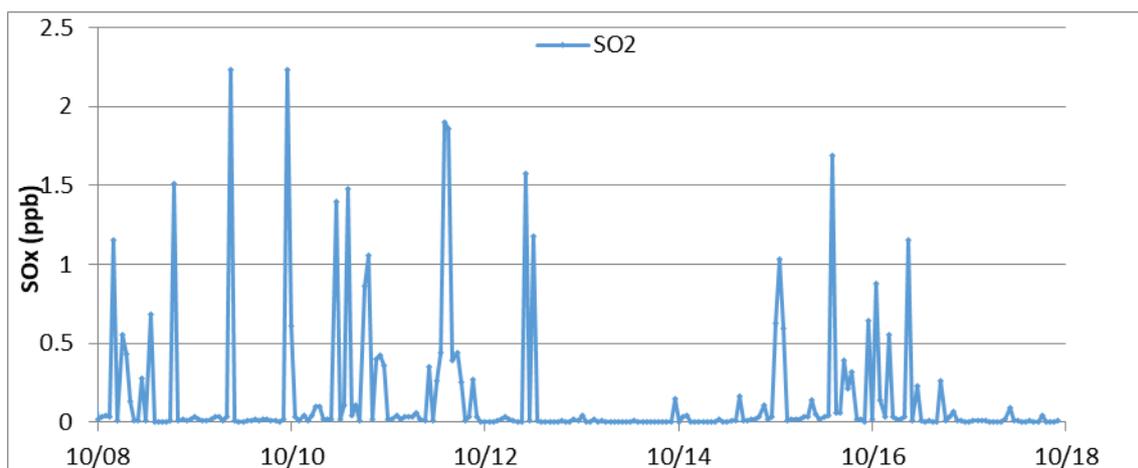


圖 4.14 沙鹿測站 SO₂ 推估結果

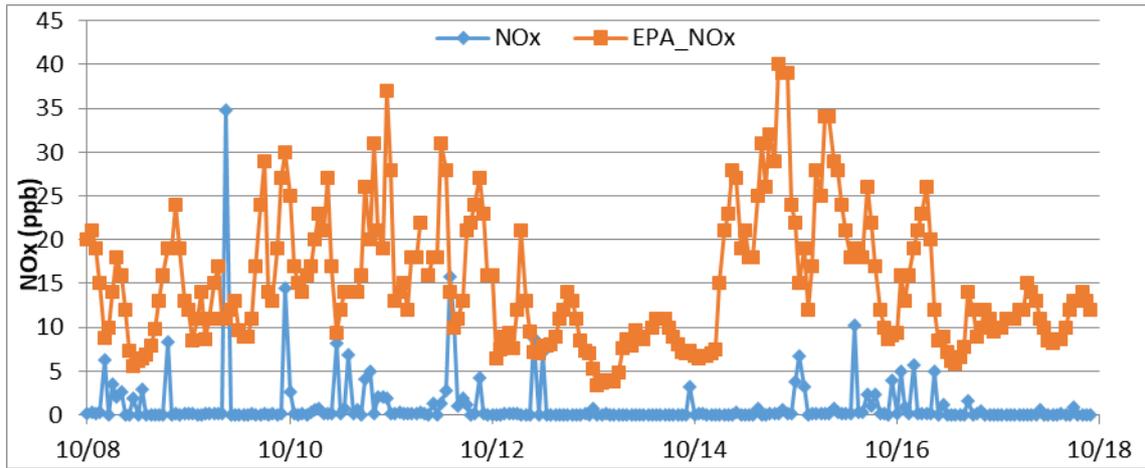


圖 4.15 NO_x 推估結果與 EPA 測值比較

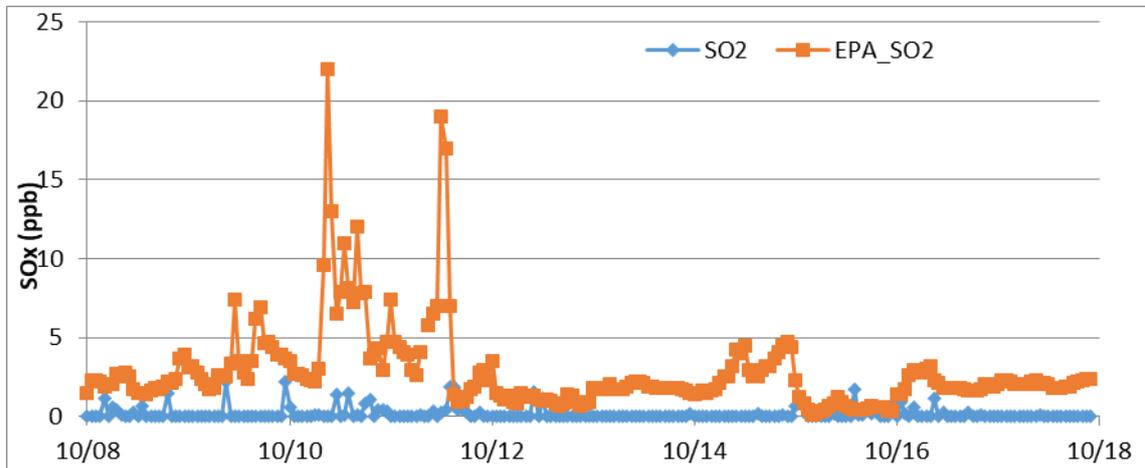


圖 4.16 SO_x 推估結果與 EPA 測值比較

表 4-2 推估數值與 EPA 測值比較百分比

推估 / 實測	NO _x	SO ₂
最大值	317.0%	422.5%
次高值	122.5%	213.3%
第三大值	112.5%	132.9%
平均	7.9%	10.2%

第五章 CMAQ 研究結果

5.1 臺灣海域網格船舶排放量

5.1.1 排放量計算方式

臺灣海域船舶排放量推估透過前述 3.4 小節所述之排放量推估方式，採用洛杉磯港船舶排放量計算公式，透過 AIS 資料庫抓取船舶 IMO 及 MMSI 編號，搭配勞氏資料庫中同一編號之船舶種類，以取得船舶最大船速、主引擎功率、輔助引擎功率及鍋爐功率等參數。其中最大船速搭配 AIS 資料中當時船舶航行之船速、航行狀態，即可計算該船舶當時之負載(LF)，同時抓取之引擎功率再利用引擎排放係數(EF)、燃油校正係數(FCF)及負載情況，利用洛杉磯港船舶排放量計算公式計算船舶排放量。

船舶航行速度之單位為節(Knot)，其單位符號為 kn 或 kt，是一個專門用於計算航海速率的單位，而海浬為海上的長度單位，即船舶每小時航行 1 海浬的速度叫做 1 節，原本指的是地球子午線上緯度 1 分的長度，但因地球自轉的關係，略為呈現橢球體形狀，因此在不同緯度的 1 分其弧度略有差異。1929 年國際水文地理學會議，通過以 1 分的平均長度 1852 公尺(或 6076.115 英尺)作為 1 標準海浬長度，目前已為國際上所採用。

若約略以臺灣為中心，分別在東經 116~125 度之間，北緯 20~29 之間，各以 0.01 度(1111.2m，換算距離約為 1km)為一網格間距，則可得到網格點 $901 * 901 = 811801$ 個網格點，同時每個網格點的座標以該網格之西南角為座標點位置，網格分布範圍則如圖 5.1。

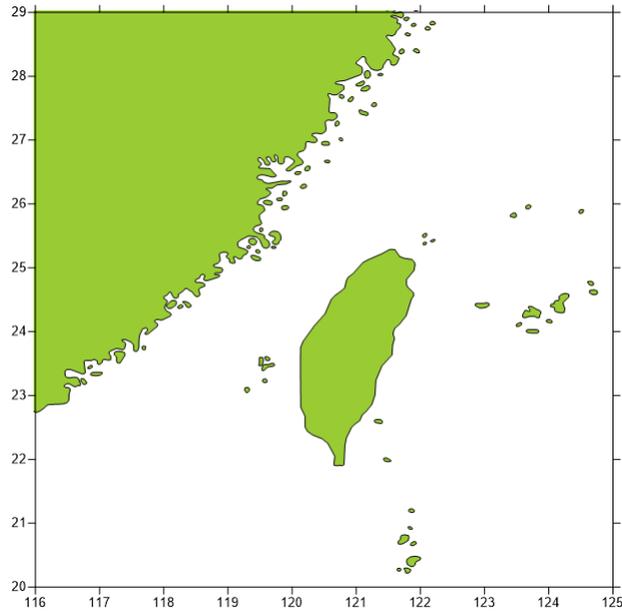


圖 5.1 臺灣周遭海域

再經由 AIS 資料中之 IMO 欄位資料，取得該筆船舶的經緯度座標位置及船舶當時的航行速度 SOG，同時取得船舶該筆資料的記錄時間，利用前述網格點建置方法，以建立該網格點船舶軌跡資料；由於船舶軌跡記錄中間有可能因為訊號不佳或其他因素，可能造成缺值、軌跡中斷的情形產生，如圖 5.2；假使圖中 A 點為第一筆資料，B 點為第二筆資料，則假設 B 點之活動時間為 $(B-A)$ ，亦即中斷之軌跡線總排放量會累積計算至 B 點，以減低中斷之軌跡線排放影響。

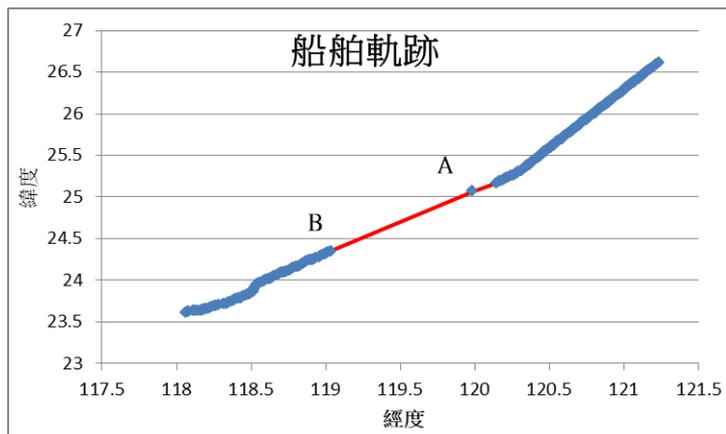


圖 5.2 AIS 船舶軌跡缺值示意圖

最後，透過船舶資料參數查表得知引擎排放係數及燃油校正係數等參數，同時透過勞氏資料庫取得引擎功率及該船之最大航速，由當時

船舶之航速及該船之最大航速計算該船當時之引擎負載狀況，利用前述 3.5.3 小節所述之船舶排放量計算公式，就可以利用船舶排放量計算公式計算該筆資料於各網格點的排放量。

由於 AIS 資料筆數眾多，且通常船舶總長度越長噸位相對則越大，而噸位越大其移動之能量需求也越大，當需求的能量越大則污染物的排放量相對的也越多；故首先篩選船舶長度大於 350 公尺之船種，其中又挑選船種為”油輪”之船舶，在 2013 年 10 月 AIS 資料中，共篩選出 107 條油輪，其中有 4 條船因查無 IMO 編號或實際船長不符條件，故僅有 103 條船符合篩選，其航行軌跡如圖 5.3 所示。圖中可發現大型油輪航行軌跡主要沿著臺灣海峽海域為主，部分沿著臺灣西岸及少部分落在臺灣東岸海域一帶。

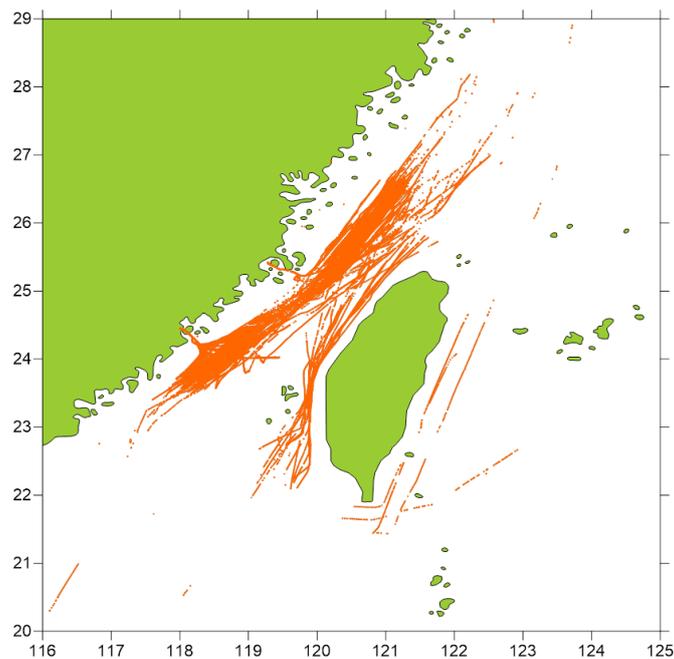


圖 5.3 船長 350m 之船舶航行軌跡

為了計算船舶之網格排放量，可分為兩種方式，一為依照時間序列計算，另一則為依照個別船隻航行軌跡計算，以下分別說明之：

1. 依時間序列：

若依照船舶出現的時間先後順序，將同一時段出現之船舶軌跡，按照個別船隻的排放係數、引擎功率、負載狀況等資訊，可計算該時段出

現於網格點之排放量，經加總網格排放量後就能得到該區域之船舶總排放量；因此，此方法可計算任一時段出現在任一海域之船舶排放量；但假使船隻航行軌跡中出現斷訊或其他不可抗力因素造成之缺值、異常訊號，則缺值期間之排放量計算即有可能短少；以下列舉 2013 年 10 月 1 日 0 時至 3 時之狀況說明。

如前段所述，若抓取符合 350 公尺以上之油輪 IMO 編號，於 10 月 1 日 0 時開始，IMO 編號共計有 9401116、9467263 及 9467299 三艘船符合，分別位於圖示中之右中、左下及右上位置，然而下一時段之 1 時跟 2 時的時候卻只剩下 9467263 及 9467299 兩條船，於 3 時的時候 IMO 編號 9401116 船隻才又再度出現，如圖 5.4 所示；圖中藍色點代表 0 時船舶軌跡，紅色點代表 1 時船舶軌跡，紫色點代表 2 時船舶軌跡，褐色點則代表 3 時軌跡。

因此，若使用此方法計算排放量，在 2013 年 10 月 1 日 0 時至 3 時的例子中，則會短少 IMO 編號 940116 船舶於 1 時跟 2 時的排放量。

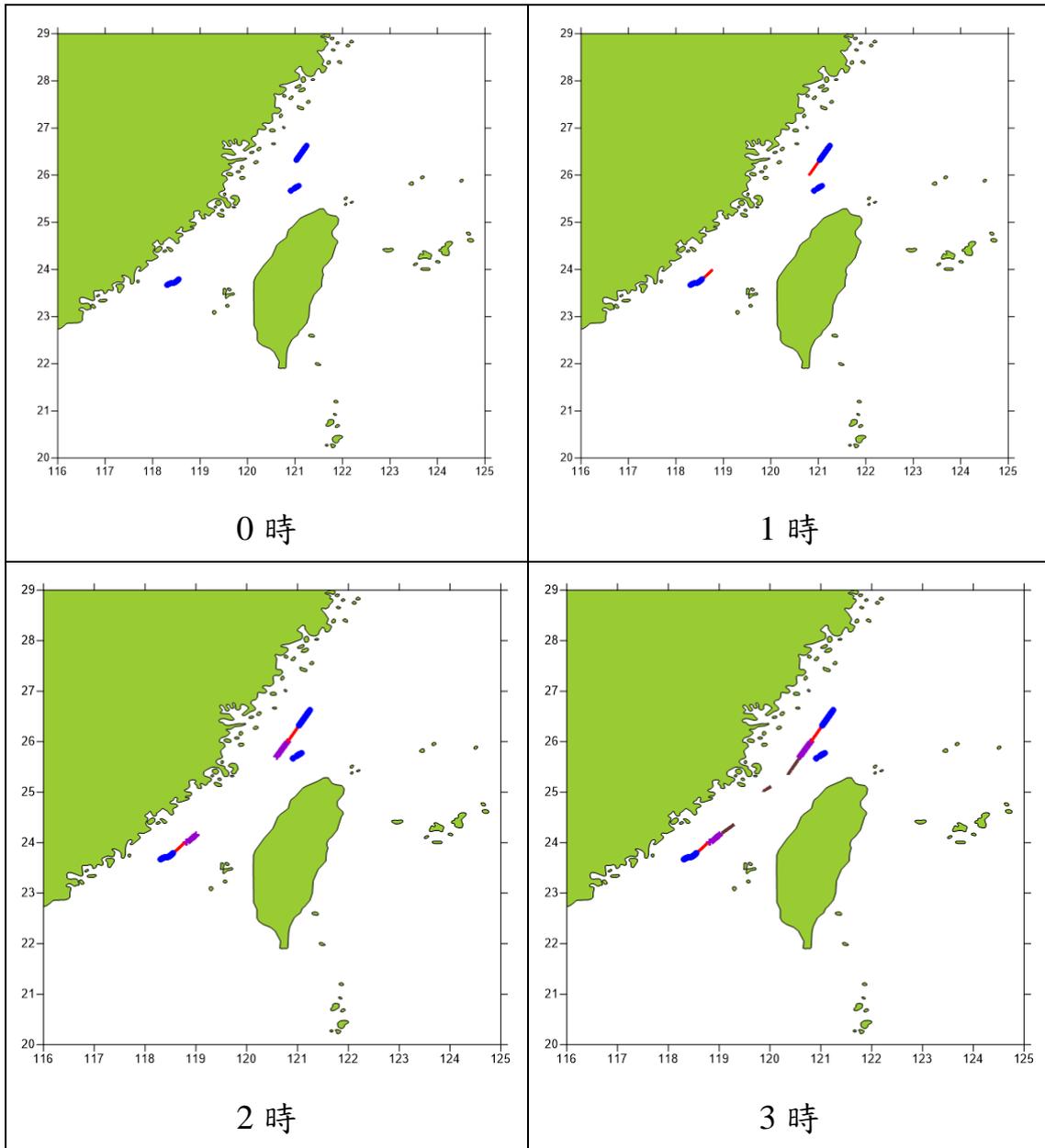


圖 5.4 依時間序列計算排放量

2. 依船舶軌跡：

若要利用船舶軌跡計算網格排放量，首先須先要將 AIS 各筆資料之記錄時間排序，之後於排序過之 AIS 資料中，找出計算期間內共有多少艘船舶經過，亦即相同的船舶 IMO 編號筆數，同時剔除數據資料中 IMO 編號異常(依據勞氏資料庫中 IMO 編號介於 100 萬至 1000 萬之間)，通常為亂碼、0、-1 或是編號超出 1000 萬、小於 100 萬的數據，

即在勞氏資料庫中找無此筆數據；由於此類數據無法得知船舶之引擎功率、最大船速等資訊，故無法計算船舶之排放量，必須事先移除之。

之後便可依照船舶各別之 IMO 編號，依序篩選同一條船的記錄時間，按照前後兩筆資料之時間差，換算為該筆資料之活動強度，如為第一筆則時間假定為當時段與 0 分之差值為其活動強度。例如有第一筆資料時間為 0 時 20 分，則其活動強度為 $(20 - 0)/60 = 0.333$ ；第二筆資料時間為 0 時 26 分，其活動強度則為 $(26 - 20)/60 = 0.1$ 。假若期間有缺值產生，如第三筆資料時間為 2 時 32 分，該筆資料活動強度變為 $(212 - 26)/60 = 3.1$ 。而當船舶前後記錄時間超過 3 小時以上，則視為下一段軌跡線的開始。

應用前述計算之活動強度，搭配勞氏資料庫篩選 IMO 船舶之引擎功率、最大船速等，及其排放係數等資訊，即可計算該筆資料所代表之排放量。再利用該筆資料所在之座標，使各筆資料隸屬於該所屬網格點，最後即可將相同網格之排放量加總，得出船舶單位網格點排放量之結果。

茲列舉以下兩艘船說明之，如圖 5.5 為 IMO 編號 9330537 分別於 2013 年 10 月中之 4 個期間之航行軌跡圖，由圖中顯示軌跡線明顯有不連續之情形產生。而如圖 5.6 則為 IMO 編號 9467299 於 2013 年 10 月 1 日之航行軌跡圖，依據其軌跡資料顯示該船於當日 0 時至 11 時，由北往南行駛，船隻航行期間並伴隨有軌跡缺值情形。

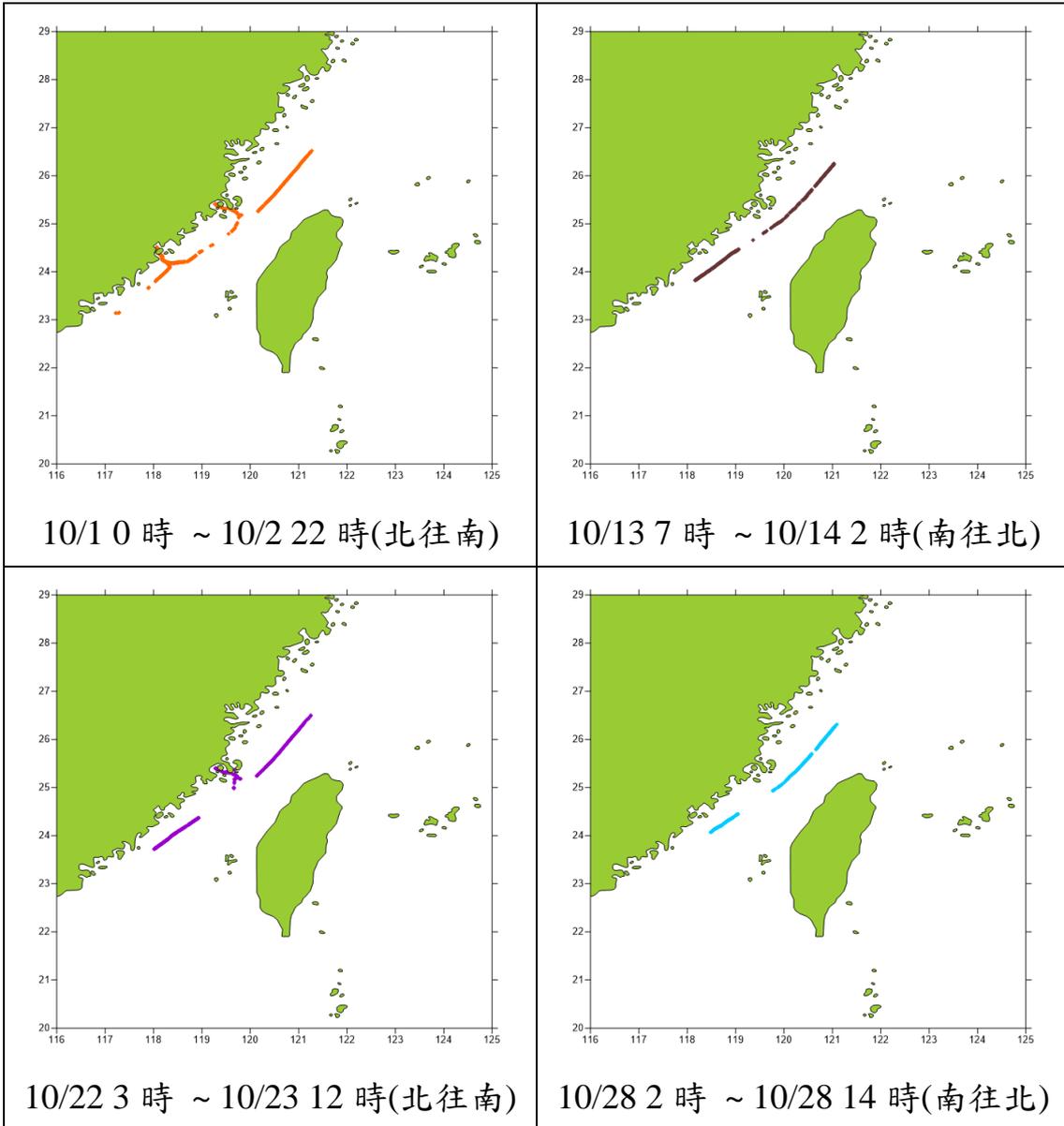


圖 5.5 IMO 編號 9330537 航行軌跡圖(2013 年 10 月)

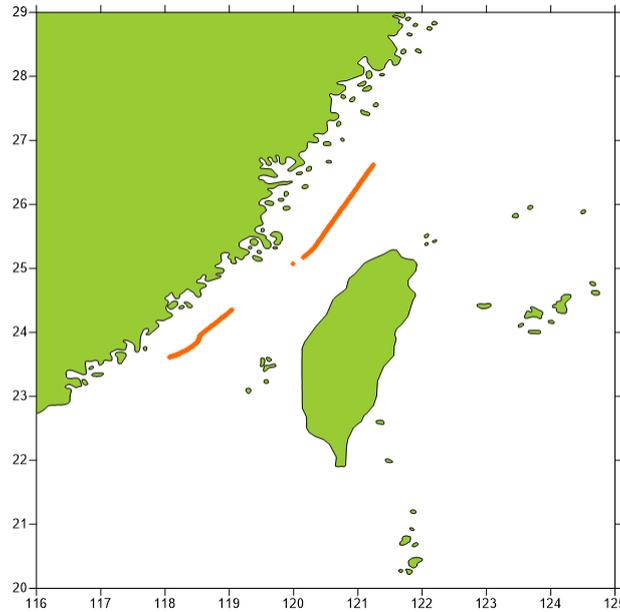


圖 5.6 IMO 編號 9467299 航行軌跡圖(2013 年 10 月)

由於亦可藉由水上行動業務識別碼，即 MMSI(Maritime Mobile Service Identities Code)抓取特定之船舶軌跡，故依據前述船舶軌跡篩選方式，透過利用 IMO 再加上 MMSI 兩種篩選方式，將 2013 年 4 月及 2013 年 10 月之 AIS 資料加以整理篩選，得到依照此方式所篩選出來之 AIS 資料可用率，4 月及 10 月之結果分別如表 5-1 及表 5-2。其中 4 月每日之 AIS 資料筆數介於 40 萬至 60 萬筆之間，IMO 加上 MMSI 篩選後之資料可用率為 29.1% ~ 42.4%之間；而 10 月每日之 AIS 資料筆數介於 60 萬至 100 萬筆之間，IMO 加上 MMSI 篩選後之資料可用率則為 22.8% ~ 41.4%之間。

表 5-1 AIS 資料 2013 年 4 月可用率

日期 (年/月/日)	符合篩選			符合篩選可用筆數		資料可用率	
	總筆數	IMO+MMSI	船舶數	IMO+MMSI	船舶數	IMO+MMSI	船舶數
2013/04/01	554589	525252	2864	172940	843	32.9%	29.4%
2013/04/02	532472	504598	3145	182611	920	36.2%	29.3%
2013/04/03	518597	493097	2707	204246	886	41.4%	32.7%
2013/04/04	524096	500143	2722	201593	850	40.3%	31.2%
2013/04/05	513235	489561	2792	192301	864	39.3%	30.9%
2013/04/06	540115	513121	2252	217809	813	42.4%	36.1%
2013/04/07	594527	565137	2721	221785	790	39.2%	29.0%
2013/04/08	588361	558274	3919	183973	836	33.0%	21.3%
2013/04/09	548000	522069	3824	189515	935	36.3%	24.5%
2013/04/10	475764	452931	2796	182078	898	40.2%	32.1%
2013/04/11	437143	419015	2922	160066	808	38.2%	27.7%
2013/04/12	443090	424418	3286	157051	842	37.0%	25.6%
2013/04/13	479117	451473	3159	161427	815	35.8%	25.8%
2013/04/14	494382	470848	5404	168451	937	35.8%	17.3%
2013/04/15	546699	500907	5828	192835	1046	38.5%	17.9%
2013/04/16	526373	499627	4429	167774	898	33.6%	20.3%
2013/04/17	494390	470260	3793	158976	907	33.8%	23.9%
2013/04/18	545048	514645	3561	201663	910	39.2%	25.6%
2013/04/19	513144	479667	3110	180449	905	37.6%	29.1%
2013/04/20	524426	496604	3509	181794	878	36.6%	25.0%
2013/04/21	541439	513767	2774	202506	866	39.4%	31.2%
2013/04/22	554976	525990	3817	181277	865	34.5%	22.7%
2013/04/23	532550	507231	4529	148074	906	29.2%	20.0%
2013/04/24	486317	462012	4370	136960	896	29.6%	20.5%
2013/04/25	515175	488385	4217	160292	969	32.8%	23.0%
2013/04/26	439043	416706	4118	158389	1008	38.0%	24.5%
2013/04/27	494703	470677	3836	154510	866	32.8%	22.6%
2013/04/28	474102	451215	4649	131456	856	29.1%	18.4%
2013/04/29	476834	455171	5258	135473	883	29.8%	16.8%
2013/04/30	548345	519717	4100	176395	906	33.9%	22.1%

表 5-2 AIS 資料 2013 年 10 月可用率

日期 (年/月/日)	符合篩選			符合篩選可用筆數		資料可用率	
	總筆數	IMO+MMSI	船舶數	IMO+MMSI	船舶數	IMO+MMSI	船舶數
2013/10/01	795909	770820	4054	231129	920	30.0%	22.7%
2013/10/02	828813	804694	4476	217342	974	27.0%	21.8%
2013/10/03	752097	728676	3541	237006	893	32.5%	25.2%
2013/10/04	683845	661654	2782	254710	848	38.5%	30.5%
2013/10/05	761923	737496	2987	264679	878	35.9%	29.4%
2013/10/06	696068	676620	2794	279954	824	41.4%	29.5%
2013/10/07	786727	766370	5355	244661	927	31.9%	17.3%
2013/10/08	880565	855733	5381	228286	1042	26.7%	19.4%
2013/10/09	879378	852846	4828	216702	890	25.4%	18.4%
2013/10/10	689458	664531	4688	185990	873	28.0%	18.6%
2013/10/11	755968	725114	5302	211087	947	29.1%	17.9%
2013/10/12	686067	657953	3070	237036	845	36.0%	27.5%
2013/10/13	747756	721703	3081	256448	817	35.5%	26.5%
2013/10/14	817671	792912	4036	237709	927	30.0%	23.0%
2013/10/15	748311	720523	3658	238982	912	33.2%	24.9%
2013/10/16	712164	684754	2811	246940	853	36.1%	30.3%
2013/10/17	744759	714637	3379	227968	902	31.9%	26.7%
2013/10/18	835174	804780	3768	227727	837	28.3%	22.2%
2013/10/19	863010	833194	3791	233924	829	28.1%	21.9%
2013/10/20	816015	787842	3539	245247	829	31.1%	23.4%
2013/10/21	696353	671813	3176	232404	852	34.6%	26.8%
2013/10/22	669930	647052	3316	222668	879	34.4%	26.5%
2013/10/23	776098	749983	3239	215154	880	28.7%	27.2%
2013/10/24	785545	760535	3042	253804	891	33.4%	29.3%
2013/10/25	831721	805049	3227	279835	909	34.8%	28.2%
2013/10/26	921428	892951	3957	271218	940	30.4%	23.8%
2013/10/27	957105	926099	4571	230639	891	24.9%	19.5%
2013/10/28	979323	947656	4791	215610	878	22.8%	18.3%
2013/10/29	977633	942387	5006	229415	871	24.3%	17.4%
2013/10/30	873466	839791	4589	227959	859	27.1%	18.7%
2013/10/31	860717	828046	3775	252350	883	30.5%	23.4%

透過 IMO 加上 MMSI 所篩選出來之船舶軌跡，由於資料可用率稍低且篩選出之軌跡常有突然中斷、缺值的情形，所以將範圍內之區域區隔為 A、B、C、D、E、F、G、H、I、J、K 等 11 個區域，分別如圖 5.7 及圖 5.8 所示。由於船舶航行為一持續軌跡線，而東北區域(區域 A、B)及西南區域(區域 I、J)之軌跡線經常為缺值的狀態，所以東北區域採用 2017/7/20 及 2017/7/25 兩天之軌跡排放量平均，而西南區域則採用 2016/10/27 及 2016/10/28 兩天之軌跡平均，以補足船舶軌跡空白的情形發生，並當作軌跡推算排放量之基準使用，分布情形則如圖 5.9。

依據符合篩選之船舶軌跡推算出來之原始排放量，與相同區域之基準排放量之比例，則可依照對應的區域排放量比例來推算船舶軌跡空白的區域排放量，如可用其中的區域 C 推算區域 A、區域 D 推算區域 B、區域 G 推算區域 I 及 區域 H 推算區域 J，中間的區域 E 則由區域 C、G 兩區域推算，而區域 C、D、F、G、H、K 則沿用原始推算之排放量。而由此一規則所產生之排放量結果，將於以下之兩小節敘述之。

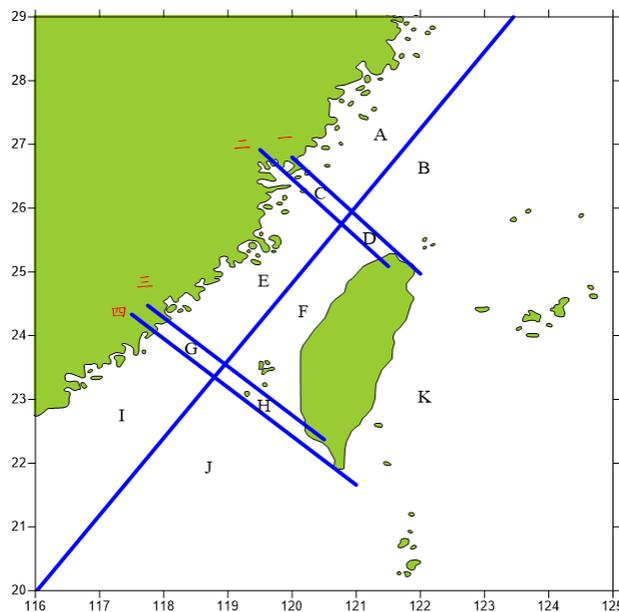


圖 5.7 臺灣周遭海域區間分布圖

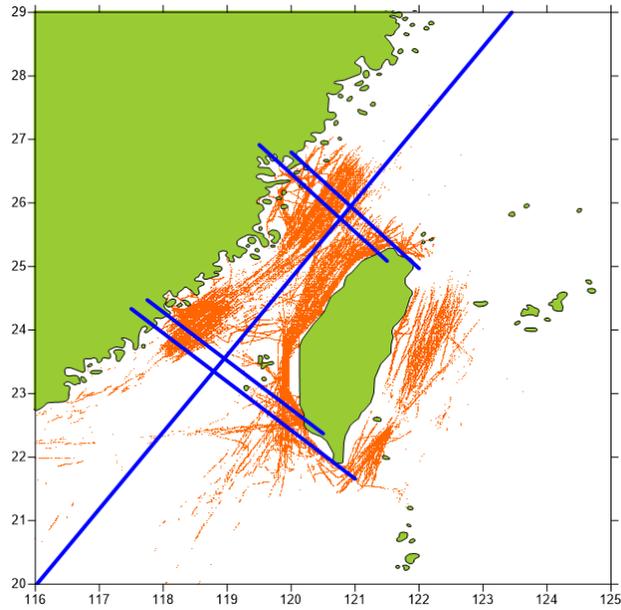


圖 5.8 船舶軌跡與區間分布

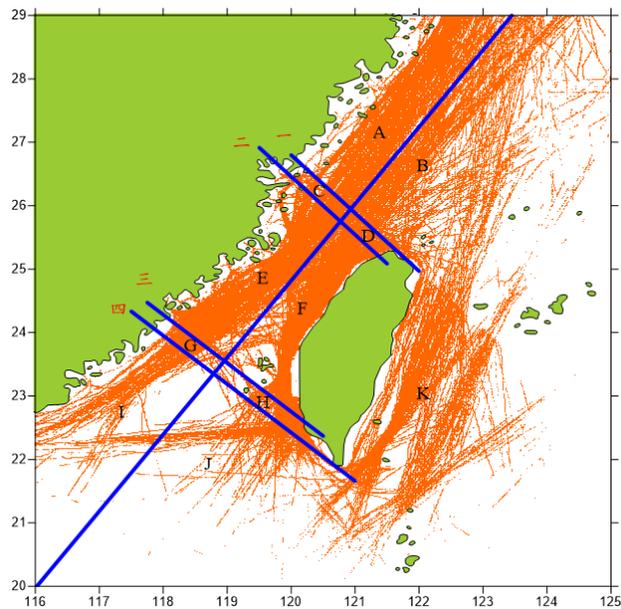


圖 5.9 船舶軌跡推算排放量基準

5.1.2 2013 年 4 月 AIS 排放量

依照前一小節所述之排放量計算方式，當船舶使用到主引擎時，使用含硫量 2.7% 之 HFO 排放係數，使用輔助引擎及鍋爐時，則使用含硫量 0.5% 之 MDO 排放係數，計算 2013 年 4 月之 AIS 船舶排放量推估，

其每日推算結果如表 5-3，而原始推估之排放量柱狀圖如圖 5.10，區域百分比推估結果則如圖 5.11。

其中 NO_x 推估排放量介於 467.3 ~ 857.7 噸之間，最高為 4 月 26 日之 857.7 噸，次之為 4 月 29 日之 761.1 噸，第三高則為 4 月 15 日之 759.6 噸；SO_x 推估排放量介於 187.3 ~ 396.1 噸之間，最高為 4 月 26 日之 396.1 噸，次之為 4 月 15 日之 391.2 噸，第三高則為 4 月 29 日之 376.7 噸；PM 推估排放量介於 47.5 ~ 87.1 噸之間，最高為 4 月 26 日之 87.1 噸，次之為 4 月 29 日之 77.3 噸，第三高則為 4 月 15 日之 77.2 噸。

NO_x 區域百分比推估之排放量介於 2052.1 ~ 4204.1 噸之間，最高為 4 月 23 日之 4204.1 噸，次之為 4 月 24 日之 4067.4 噸，第三高則為 4 月 29 日之 3676.6 噸；SO_x 推估排放量介於 974.9 ~ 2209.7 噸之間，最高為 4 月 23 日之 2209.7 噸，次之為 4 月 24 日之 2078.5 噸，第三高則為 4 月 29 日之 2013.9 噸；PM 推估排放量介於 208.5 ~ 427.1 噸之間，最高為 4 月 23 日之 427.1 噸，次之為 4 月 24 日之 413.2 噸，第三高則為 4 月 29 日之 373.5 噸。

表 5-3 船舶排放量 2013 年 4 月推算結果

日期 (年/月/日)	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
2013/04/01	527.2	243.9	53.55	3555.4	1443.9	361.2
2013/04/02	707.5	296.7	71.87	3454.2	1378.9	350.9
2013/04/03	630.6	266.9	64.05	3152.1	1219.1	320.2
2013/04/04	583.8	241.9	59.30	2959.9	1207.7	300.7
2013/04/05	558.3	258.7	56.72	2223.8	1257.5	225.9
2013/04/06	531.2	227.7	53.96	2052.1	974.9	208.5
2013/04/07	486.5	187.3	49.42	2148.1	983.7	218.2
2013/04/08	562.5	280.6	57.14	2641.3	1564.5	268.3
2013/04/09	669.7	330.2	68.03	2548.6	1483.4	258.9
2013/04/10	563.9	262.7	57.28	2233.1	1233.8	226.8
2013/04/11	523.5	240.3	53.18	2117.2	1120.9	215.1
2013/04/12	541.6	281.5	55.02	2132.9	1309.0	216.7
2013/04/13	467.3	241.2	47.47	2104.0	1279.5	213.7
2013/04/14	717.1	366.9	72.84	2603.8	1544.3	264.5
2013/04/15	759.6	391.2	77.16	2386.4	1348.4	242.4
2013/04/16	669.9	331.0	68.05	2853.9	1548.3	289.9
2013/04/17	630.9	319.1	64.08	2626.4	1431.7	266.8
2013/04/18	702.6	327.4	71.37	2609.3	1271.3	265.0
2013/04/19	548.0	267.8	55.67	2313.8	1281.8	235.0
2013/04/20	513.2	278.7	52.13	2329.5	1476.3	236.6
2013/04/21	558.4	251.4	56.72	2759.6	1421.8	280.3
2013/04/22	546.5	270.9	55.52	2803.0	1636.9	284.7
2013/04/23	664.4	322.0	67.49	4204.1	2209.7	427.1
2013/04/24	701.1	331.0	71.22	4067.4	2078.5	413.2
2013/04/25	708.6	322.1	71.98	3576.9	1620.3	363.3
2013/04/26	857.7	396.1	87.12	2862.3	1423.9	290.8
2013/04/27	631.1	294.4	64.10	3205.4	1732.0	325.6
2013/04/28	587.3	297.4	59.66	3037.4	1782.1	308.5
2013/04/29	761.1	376.7	77.32	3676.6	2013.9	373.5
2013/04/30	650.9	295.0	66.12	3412.5	1638.9	346.6

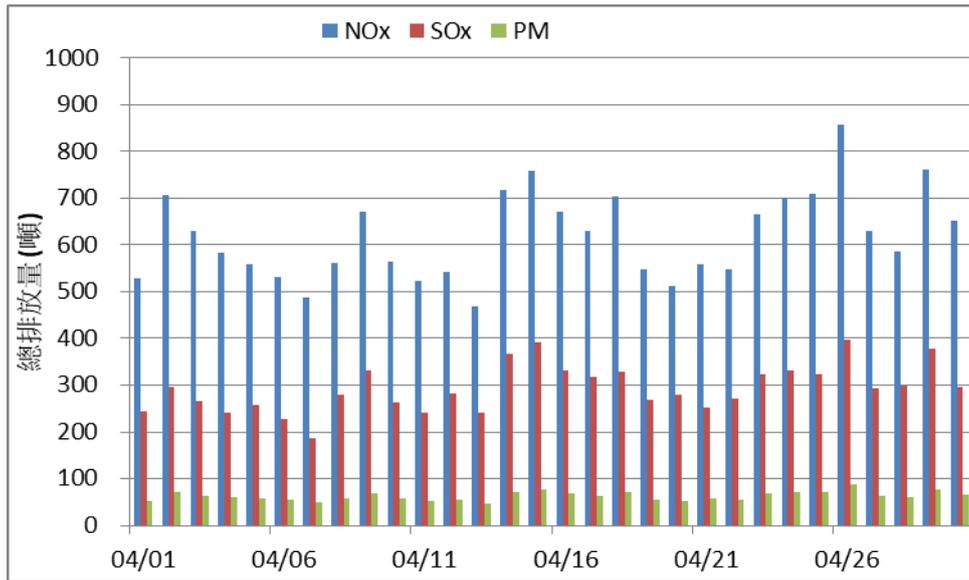


圖 5.10 船舶排放量 2013 年 4 月推算結果

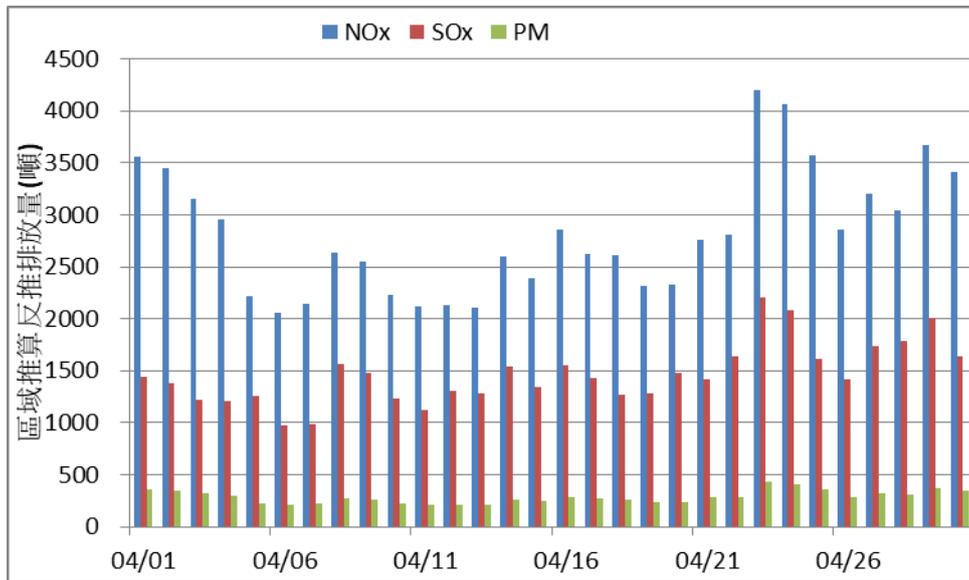


圖 5.11 船舶排放量 2013 年 4 月區域比例推算結果

5.1.3 2013 年 10 月 AIS 排放量

依照 5.1.1 小節所述之排放量計算方式，當船舶使用到主引擎時，亦使用含硫量 2.7% 之 HFO 排放係數，而使用輔助引擎及鍋爐時，則使用含硫量 0.5% 之 MDO 排放係數，計算 2013 年 10 月之 AIS 船舶排放量推估，其每日推算結果如表 5-4，而原始推估之排放量柱狀圖如圖 5.12，區域百分比推估結果則如圖 5.13。

其中 NO_x 推估排放量介於 533.4 ~ 800.3 噸之間，最高為 10 月 8 日之 800.3 噸，次之為 10 月 28 日之 764.0 噸，第三高則為 10 月 15 日之 762.0 噸；SO_x 推估排放量介於 213.3 ~ 380.2 噸之間，最高為 10 月 8 日之 380.2 噸，次之為 10 月 1 日之 333.4 噸，第三高則為 10 月 7 日之 331.0 噸；PM 推估排放量介於 54.2 ~ 81.3 噸之間，最高為 10 月 8 日之 81.3 噸，次之為 10 月 28 日之 77.6 噸，第三高則為 10 月 15 日之 77.4 噸。

NO_x 區域百分比推估之排放量介於 1971.3 ~ 5022.7 噸之間，最高為 10 月 28 日之 5022.7 噸，次之為 10 月 8 日之 4594.5 噸，第三高則為 10 月 27 日之 4468.8 噸；SO_x 推估排放量介於 772.4 ~ 2615.9 噸之間，最高為 10 月 28 日之 2615.9 噸，次之為 10 月 8 日之 2524.7 噸，第三高則為 10 月 29 日之 2167.7 噸；PM 推估排放量介於 200.2 ~ 510.2 噸之間，最高為 10 月 28 日之 510.2 噸，次之為 10 月 8 日之 466.7 噸，第三高則為 10 月 27 日之 453.9 噸。

表 5-4 船舶排放量 2013 年 10 月推算結果

日期 (年/月/日)	總排放量(噸)			百分比反推(噸)		
	NO _x	SO _x	PM	NO _x	SO _x	PM
2013/10/01	749.7	333.4	76.2	4261.8	2005.6	432.9
2013/10/02	726.7	316.2	73.8	3987.4	1933.1	405.0
2013/10/03	626.6	243.8	63.6	3209.8	1498.0	326.1
2013/10/04	553.4	240.1	56.2	2459.6	1320.9	249.8
2013/10/05	533.4	243.7	54.2	2322.1	1375.7	235.9
2013/10/06	611.6	213.3	62.1	1971.3	772.4	200.2
2013/10/07	726.5	331.0	73.8	3367.6	1732.2	342.1
2013/10/08	800.3	380.2	81.3	4594.5	2524.7	466.7
2013/10/09	645.7	292.0	65.6	3930.4	2143.1	399.2
2013/10/10	597.1	297.5	60.7	2971.8	1745.9	301.9
2013/10/11	686.9	330.3	69.8	2938.4	1658.6	298.5
2013/10/12	607.1	232.6	61.7	2320.7	1103.5	235.7
2013/10/13	587.2	227.5	59.6	2504.8	1221.6	254.4
2013/10/14	696.8	277.9	70.8	3757.0	1938.5	381.6
2013/10/15	762.0	281.6	77.4	4021.3	1676.0	408.5
2013/10/16	654.3	219.0	66.5	3086.4	1235.9	313.5
2013/10/17	638.3	238.3	64.8	3383.5	1445.8	343.7
2013/10/18	631.2	235.5	64.1	3634.7	1618.4	369.2
2013/10/19	624.8	259.7	63.5	3562.0	1832.7	361.8
2013/10/20	630.9	246.2	64.1	3223.7	1521.6	327.5
2013/10/21	657.1	250.4	66.7	2962.2	1397.3	300.9
2013/10/22	727.3	272.3	73.9	3446.8	1631.6	350.1
2013/10/23	696.1	248.9	70.7	4330.2	1879.2	439.9
2013/10/24	651.8	240.1	66.2	3193.1	1413.8	324.4
2013/10/25	747.5	253.7	75.9	3474.0	1460.4	352.9
2013/10/26	715.4	267.9	72.7	3874.9	1822.3	393.6
2013/10/27	684.5	234.9	69.5	4468.8	2068.5	453.9
2013/10/28	764.0	305.9	77.6	5022.7	2615.9	510.2
2013/10/29	698.5	292.4	71.0	4233.4	2167.7	430.0
2013/10/30	682.1	284.8	69.3	3920.1	2042.7	398.2
2013/10/31	701.6	264.0	71.3	3377.5	1555.6	343.1

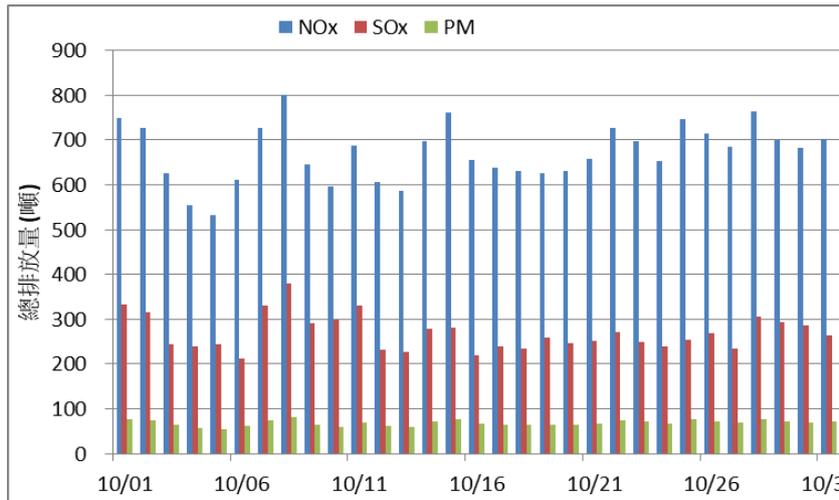


圖 5.12 船舶排放量 2013 年 10 月推算結果

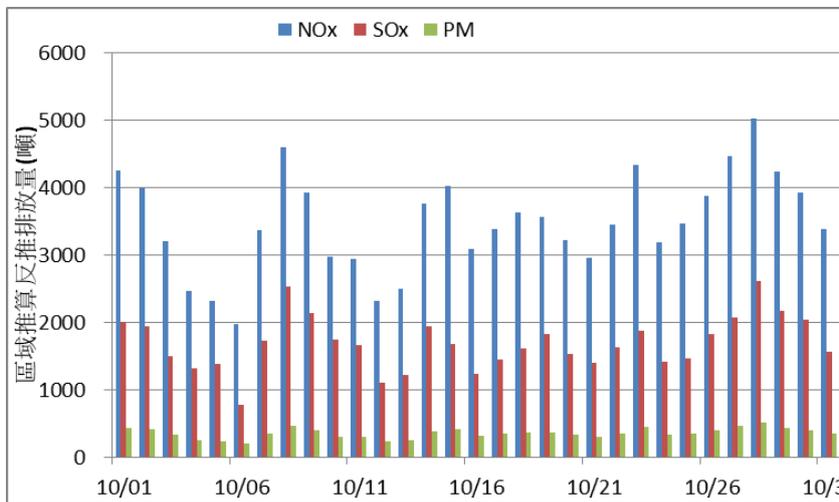


圖 5.13 船舶排放量 2013 年 10 月區域比例推算結果

5.2 WRF 氣象資料建置

本研究 WRF 模式模擬利用四層網格將影響臺灣天氣的環境條件包含於模擬範圍中，如圖 5.14，採用設定及設定基準為表 5-5，主要設計範圍是採用環保署空氣品質模式模擬規範規定需要包含臺灣粗網格 9km 解析度和臺灣北部地區、中部地區、雲嘉地區、南部地區及東部地區細網格 3km 解析度的巢狀網格。運用經過美國 NCEP 的初始場建立時，也使用資料四維同化的技術，以期能在更長時間的模擬過程中精確的掌握模擬結果，評估方法模擬結果使用中央氣象局局屬測站觀測值進行評估，使完成 2013 年氣象模式模擬與驗證評估模式性能。

WPS Domain Configuration

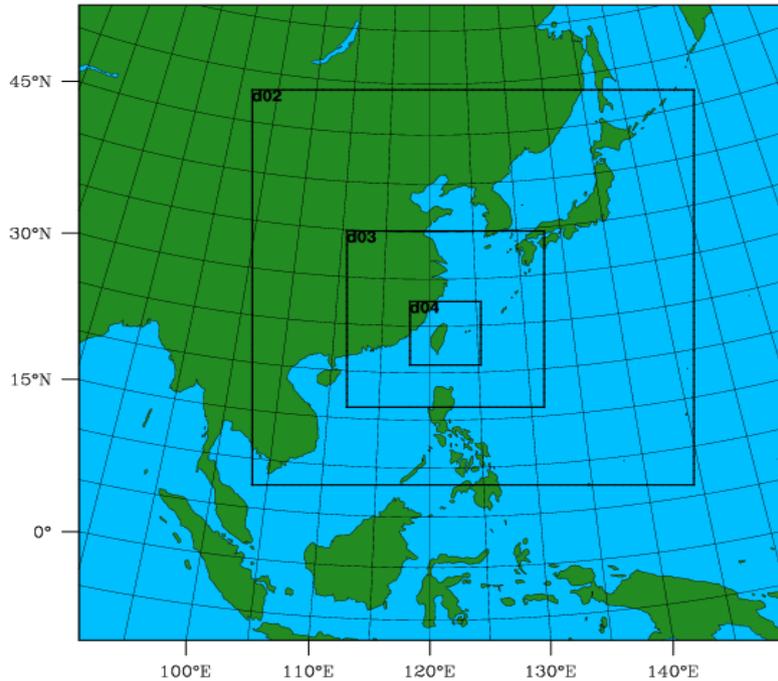


圖 5.14 WRF 四層網格將影響臺灣天氣的環境條件均包含於模擬範圍

表 5-5 本研究 WRF 模式模擬採用的設定基準

	Domain 1	Domain 2	Domain3	Domain 4
Resolution	81 km	27 km	9 km	3 km
Grid Size	91 X 91	169 X 166	223 X 223	223 X 223
FDDA	Yes	Yes	Yes	No

本研究的 NCEP 分析場為 Global Forecast System(GFS)的 ANL，GFS 資料是美國 NCEP 生產的全球數值天氣預報計算模式，GFS-ANL 由大氣模式、海洋模式、土地/土壤模式、海冰模式組成，這四個模式共同運作提供天氣變化的精確畫面，而 GFS-ANL 其資料等壓面上水平解析度為 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ ；使用 6 小時資料，資料涵蓋時間自 2007 年 1 月 1 日迄今共 9 年。四維資料同化技術(FDDA)主要使用網格納進法，在模擬流程部分，以模擬 1 月 3 日為例，會往前多模擬 12 小時，亦即由 1 月 2 日 12 時開始模擬到 1 月 4 日 0 時，而 FDDA 在模擬 6 小時時加入，使用網格納進法，故分析場與 FDDA 皆使用 GFS-ANL 分析資料。

在 WRF 模式範圍設定部分，總共分為四層網格，解析度分別為 81 公里、27 公里、9 公里及 3 公里，而網格大小依序為 91x91、166x166、223x223、223x223，WRF 參數設定部分則是經過許多的測試與調整，最後決定物理參數設定如表 5-6 所示，在微物理參數(Microphysics)部分為 WSM 5-class scheme，積雲參數化(Cumulus Parameterization)使用 Kain-Fritsch 的設定，行星邊界層(Planetary Boundary Layer)使用 YSU scheme 的設定，地表過程部分則分為三個部分，第一部分的地面層(Surface Layer)使用 MM5 Monin-Obukhov scheme 的設定，第二部分的地面層(Land Surface)使用 Unified Noah land-surface model，第三部分為都市表面(Urban Surface)則沒有使用，長波輻射(Longwave Radiation)與短波輻射(Shortwave Radiation)從設定為 cam scheme，SST 更新部分(SST_update)則為啟動。

表 5-6 本研究模擬 WRF 模式採用的參數設定

參數	設定
Microphysics	WSM 5-class scheme
Cumulus Parameterization	Kain-Fritsch
Planetary Boundary Layer	YSU scheme
Surface Layer	MM5 Monin-Obukhov scheme
Land Surface	Unified Noah land-surface model
Urban Surface	no
Longwave Radiation	cam scheme
Shortwave Radiation	cam scheme
SST_update	Yes

資料來源：WRF 大氣模式預設建議之模式參數設定。

氣象模式模擬驗證本研究運用中央氣象局的局屬地面測站的觀測值來驗證涵括全臺之模擬結果(解析度 3 公里)，參考環保署空氣品質模式模擬規範之氣象評估方法與標準進行分析，扣除高山及離、外島等模式解析度驗證會有較大誤差的測站後，共計 24 個測站進行校驗(表 5-7 所示)。驗證之變數以跟空氣污染傳輸有較大關聯的地面氣溫及 10 公尺高度之風向與風速為主，結果將以時間序列分析使用觀測值與模擬

值比對圖來表示。另外在統計結果方面，將各模擬結果與觀測值進行比對，計算偏差量進行討論，運用公式如下：

(1) 配對值偏差(MBE)：

$$MBE = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N (P_{i,k} - O_{i,k}) \dots\dots\dots(5-1)$$

(2) 絕對值偏差(MAGE)：

$$MAGE = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N |P_{i,k} - O_{i,k}| \dots\dots\dots(5-2)$$

(3) 均方根誤差(RMSE)：

$$RMSE = \left[\frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N (P_{i,k} - O_{i,k})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(5-3)$$

(4) 風向標準化偏差(WNMB)

$$WNMB = \frac{\sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N (P_{i,k} - O_{i,k})}{M \times N \times 360^\circ} \times 100\% \dots\dots\dots(5-4)$$

(5) 風向標準化絕對值誤差(WNME)

$$WNME = \frac{\sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N |P_{i,k} - O_{i,k}|}{M \times N \times 360^\circ} \times 100\% \dots\dots\dots(5-5)$$

$P_{i,k}$ = 第 i 小時(日)第 k 測站之模擬值

$O_{i,k}$ = 第 i 小時(日)第 k 測站之監測值

N = 所有模擬小時(日)數

M = 所有測站數

表 5-7 各測站資料表

代碼	站名	經度	緯度
466880	板橋	121.4338	24.9993
466900	淡水	121.4400	25.1656
466910	鞍部	121.5203	25.1864
466920	臺北	121.5067	25.0396
466930	竹子湖	121.5363	25.1650
466940	基隆	121.7321	25.1348
466990	花蓮	121.6050	23.9770
467080	宜蘭	121.7479	24.7656
467410	臺南	120.1970	22.9952
467420	永康	120.2286	23.0349
467440	高雄	120.3080	22.5679
467480	嘉義	120.4245	23.4977
467490	臺中	120.6759	24.1475
467530	阿里山	120.8051	23.5104
467540	大武	120.8957	22.3576
467550	玉山	120.9517	23.4893
467571	新竹	121.0061	24.8300
467590	恆春	120.7381	22.0054
467610	成功	121.3654	23.0992
467620	蘭嶼	121.5506	22.0387
467650	日月潭	120.8999	23.8830
467660	臺東	121.1465	22.7540
467770	梧棲	120.5151	24.2587
467780	七股	120.1051	23.1524

資料來源：中央氣象局氣象站資料。

依據空氣品質模式模擬規範之氣象場性能評估規範針對溫度、風速和風向設定標準，溫度評估統計方法為配對值偏差(Mean Biased Error, MBE)及配對值絕對值偏差(Mean Absolute Gross Error, MAGE)，標準為配對值偏差(MBE)為 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 以內，配對值絕對值偏差為 3°C 以內；風速評估統計方法為配對值偏差(Mean Biased Error, MBE)及配對值均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)，標準分別為 $\pm 1.5\text{ m/s}$ 以內及 3 m/s 以內；風向評估統計方法為風向配對值標準化偏差(Wind Normalized Mean Bias, WNMB)標準為 $\pm 10\%$ 以內及配對值標準化絕對值偏差(Wind Normalized Mean Error, WNME)標準為 30% 以內，最後進行上述定量指標分析時，除模擬區域範圍內全部測站平均結果須符合各定量指標標準值外，各指標於模擬區域範圍內符合其標準值之測站數須達到該模擬區域範圍內總測站數百分之六十以上。

5.3 CMAQ 模擬建置

本研究採 TEDS 9 之排放量資料，以 Models-3/CMAQ 模擬分析 2013 年各空品區之點源、線源與面源的粒狀物、 SO_2 、 NO_2 與 NMHC 對於細懸浮微粒及臭氧濃度之影響，為確保模擬之準確性，其結果須符合環保署公告之模式性能評估規範，以下說明規範值及性能評估結果。

依據環保署 2015 年公告之模式模擬性能評估規範，於模擬 PM_{10} 或 $\text{PM}_{2.5}$ 時，需同時比較 PM_{10} 或 $\text{PM}_{2.5}$ 、 SO_2 及 NO_2 濃度之模擬結果與觀測值；於模擬臭氧時，需同時比較臭氧、 NO_2 及 NMHC 濃度之模擬結果與觀測值。其中懸浮微粒(PM)之模式模擬性能評估規範如表 5-8 所示，其細懸浮微粒之配對值分數偏差(MFB)介於 $-35\% \sim 35\%$ 之間，配對值絕對分數偏差(MFE)則為小於 55% ，且相關係數 R 要大於 0.5 ；而 SO_2 與 NO_2 之配對值分數偏差(MFB)須介於 $-65\% \sim 65\%$ 之間，配對值絕對分數偏差(MFE)則為小於 85% ，且相關係數 R 要大於 0.45 。

表 5-8 懸浮微粒之模式模擬性能評估規範

	項目	MFB	MFE	R 值
懸浮微粒	PM _{2.5} , PM ₁₀	±35%	<55%	0.50
	SO ₂ , NO ₂	±65%	<85%	0.45

資料來源：環保署民國 105 公告之模式性能規範恕限值。

臭氧(O₃)之模式模擬性能評估規範則如表 4-9 所示，其臭氧之非配對峰值常化偏差(MB)介於-10% ~ 10%之間，配對值常化偏差(MNB)介於-15% ~ 15%，配對值絕對常化誤差(MNE)則為小於 35%且相關係數 R 要大於 0.45；而 NO₂ 與 NMHC 配對值常化偏差(MNB) 介於 -40% ~ 50%，配對值絕對常化誤差(MNE)則為小於 80%且相關係數 R 要大於 0.35。

表 5-9 臭氧之模式模擬性能評估規範值

	項目	MB	MNB	MNE	R 值
臭氧	O ₃	± 10%	± 15%	35%	0.45
	NO ₂ , NMHC	-	-40%~50%	80%	0.35

資料來源：環保署民國 105 公告之模式性能規範恕限值。

進行上述定量指標分析時，除模擬區域範圍內全部測站之平均結果須符合各定量指標標準值外，各指標於模擬區域範圍內符合其標準值之測站數須達到該模擬區域範圍內總測站數百分之六十以上。

本研究模擬期程為基準年 2013 年之 TEDS 9，故首先說明 2013 年之模式模擬性能評估結果，並區分成細懸浮微粒與臭氧 2 個案例分別分析。表 5-10 為春秋兩季細懸浮微粒之模式模擬性能評估結果，其中 PM_{2.5} 全臺之配對值分數偏差為 -6.3 %，配對值絕對分數偏差為 38.1 %，相關係數則為 0.683；且 SO₂ 與 NO₂ 之配對值分數偏差、配對值絕對分數偏差與相關係數依序分別為 -19.8 %、59.5 %、0.577 及 -23.9 %、43.8 %、0.616。

表 5-11 及表 5-12 為臭氧之模式模擬性能評估結果，其中 O₃ 全臺之配對值分數偏差為 11.0 %，配對值絕對分數偏差為 24.3 %，相關係

數則為 0.553；且 NO₂ 與 NMHC 之配對值分數偏差、配對值絕對分數偏差與相關係數依序分別為 -5.6%、57.8%、0.532 及 60.5%、89.9%、0.408。非配對峰值常化偏差則為 12.5%，相關係數 0.646。

表 5-10 細懸浮微粒之模式模擬性能評估結果

	MFB	符合站數比	MFE	符合站數比	R	R 符合比例
PM2.5	-6.3%	84.9%	38.1%	93.2%	0.683	83.6%
SO2	-19.8%	93.2%	59.5%	87.7%	0.577	12.3%
NO2	-23.9%	84.9%	43.8%	94.5%	0.616	71.2%

表 5-11 臭氧之模式模擬性能評估結果(1/2)

	MNB	符合站數比	MNE	符合站數比	R	R 符合比例
O3	11.0%	59.2%	24.3%	95.8%	0.553	90.1%
NO2	-5.6%	76.7%	57.8%	93.2%	0.532	89.0%
NMHC	36.5%	40.5%	69.9%	45.9%	0.408	75.7%

表 5-12 臭氧之模式模擬性能評估結果(2/2)

	MB	符合站數比	R	R 符合比例
O3	8.5%	35.2%	0.646	94.4%

5.4 CMAQ 基準年分析

經 2013 年 4 月及 2013 年 10 月 CMAQ 模擬基本案例結果，分別擷取 EPA 測站共 76 站位置，分布如圖中紅色三角形符號，再依個別測站之位置與污染物濃度，使用繪圖軟體繪製等濃度圖，並切除臺灣本島外圍海域地區，即可得到濃度空間分布圖，如圖 5.15 至圖 5.18 分別為 CMAQ 模擬臺灣全區之細懸浮微粒(PM_{2.5})及臭氧(O₃)的基本案例結果。依序分別說明如下。

2013 年 4 月：

PM_{2.5} 濃度最高為 46.0 μg/m³，位於小港測站，其次為仁武站之 35.2 μg/m³，第三高則為前鎮站之 33.8 μg/m³，主要分布位於高雄市區沿海一帶；且其中硫酸鹽(SO₄²⁻)最高濃度為 9.8 μg/m³，位於小港站，硝酸鹽(NO₃⁻)最高濃度為潮州之 9.1 μg/m³，銨鹽(NH₄⁺)最高濃度則為橋頭站之

4.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

小時最大臭氧濃度最高濃度為 78.4 ppb，位於萬里站，其次為陽明站之 78.2 ppb，第三高則為永和站之 78.1 ppb，主要分布位於北部基隆、臺北一帶，亦有部分位於高屏山區附近；且其中二氧化硫(SO_2)最高濃度為 26.9 ppb，位於小港站，二氧化氮(NO_2)最高濃度為小港之 37.8 ppb，揮發性有機物(VOC)最高濃度則為板橋站之 588.9 ppb。

2013 年 10 月：

$\text{PM}_{2.5}$ 濃度最高為 62.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，位於小港測站，其次為仁武站之 47.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，第三高則為前鎮站之 45.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，主要分布位於高雄市區沿海一帶；且其中硫酸鹽(SO_4^{2-})最高濃度為 12.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，位於小港站，硝酸鹽(NO_3^-)最高濃度為潮州之 12.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，銨鹽(NH_4^+)最高濃度則為小港站之 6.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

小時最大臭氧濃度最高濃度為 107.3 ppb，位於屏東站，其次為美濃站之 103.9 ppb，第三高則為潮州站之 100.4 ppb，主要分布位於高雄及屏東山區附近，同時往北延伸至臺中、南投部分區域；且其中二氧化硫(SO_2)最高濃度為 30.3 ppb，位於小港站，二氧化氮(NO_2)最高濃度為小港之 43.3 ppb，揮發性有機物(VOC)最高濃度則為板橋站之 428.3 ppb。

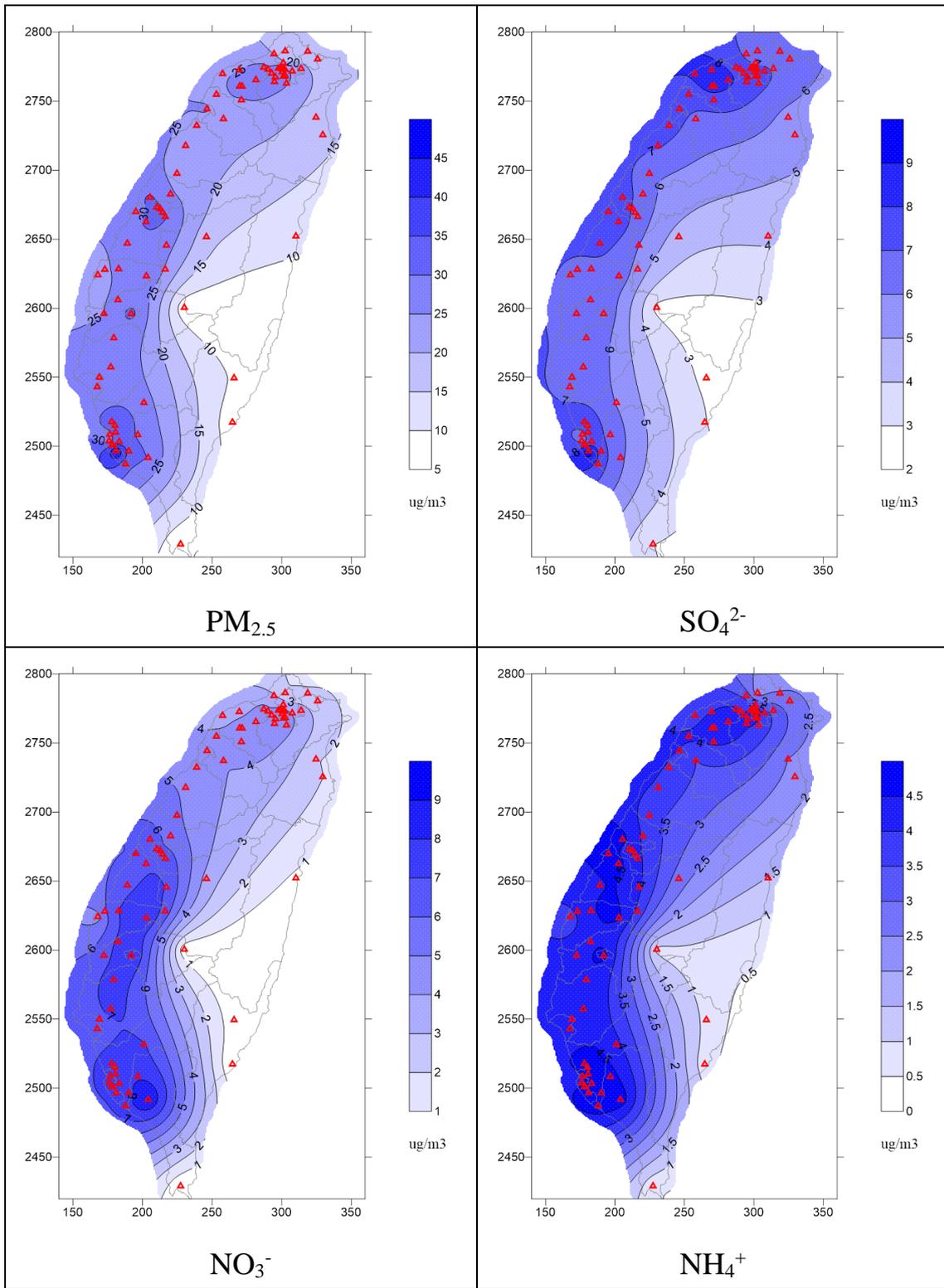


圖 5.15 基準年 2013 年 4 月細懸浮微粒模擬結果

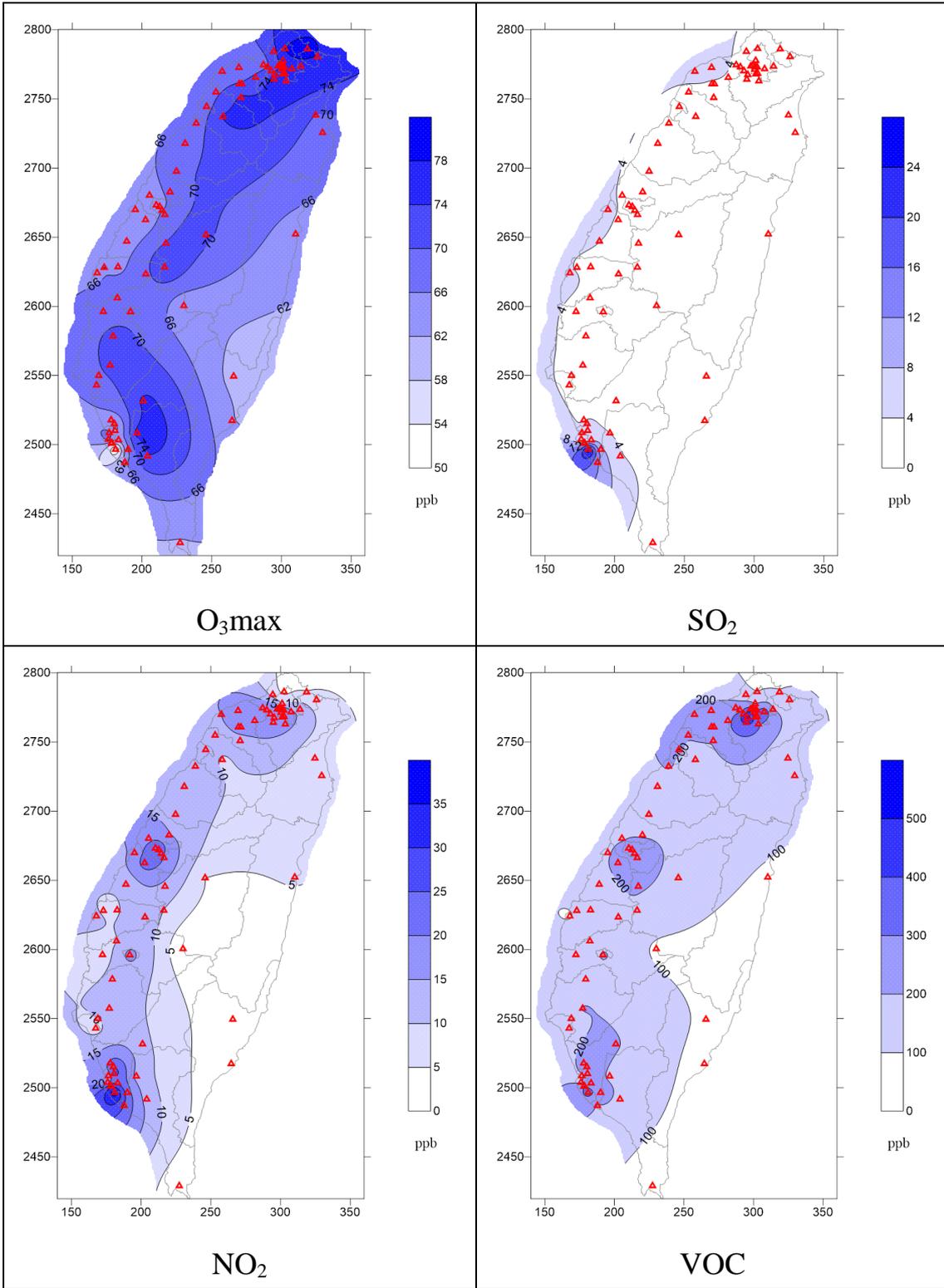


圖 5.16 基準年 2013 年 4 月臭氧模擬結果

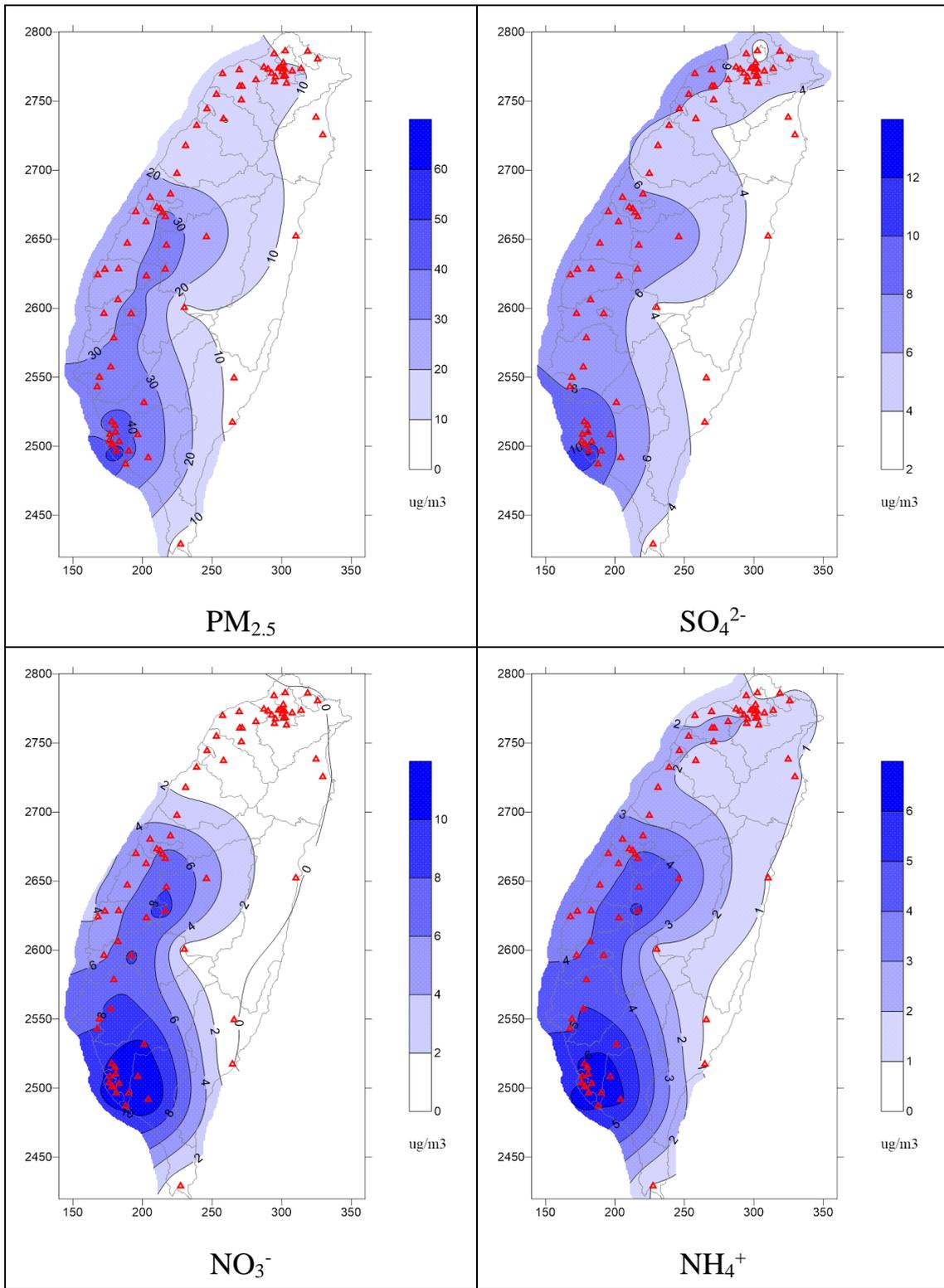


圖 5.17 基準年 2013 年 10 月細懸浮微粒模擬結果

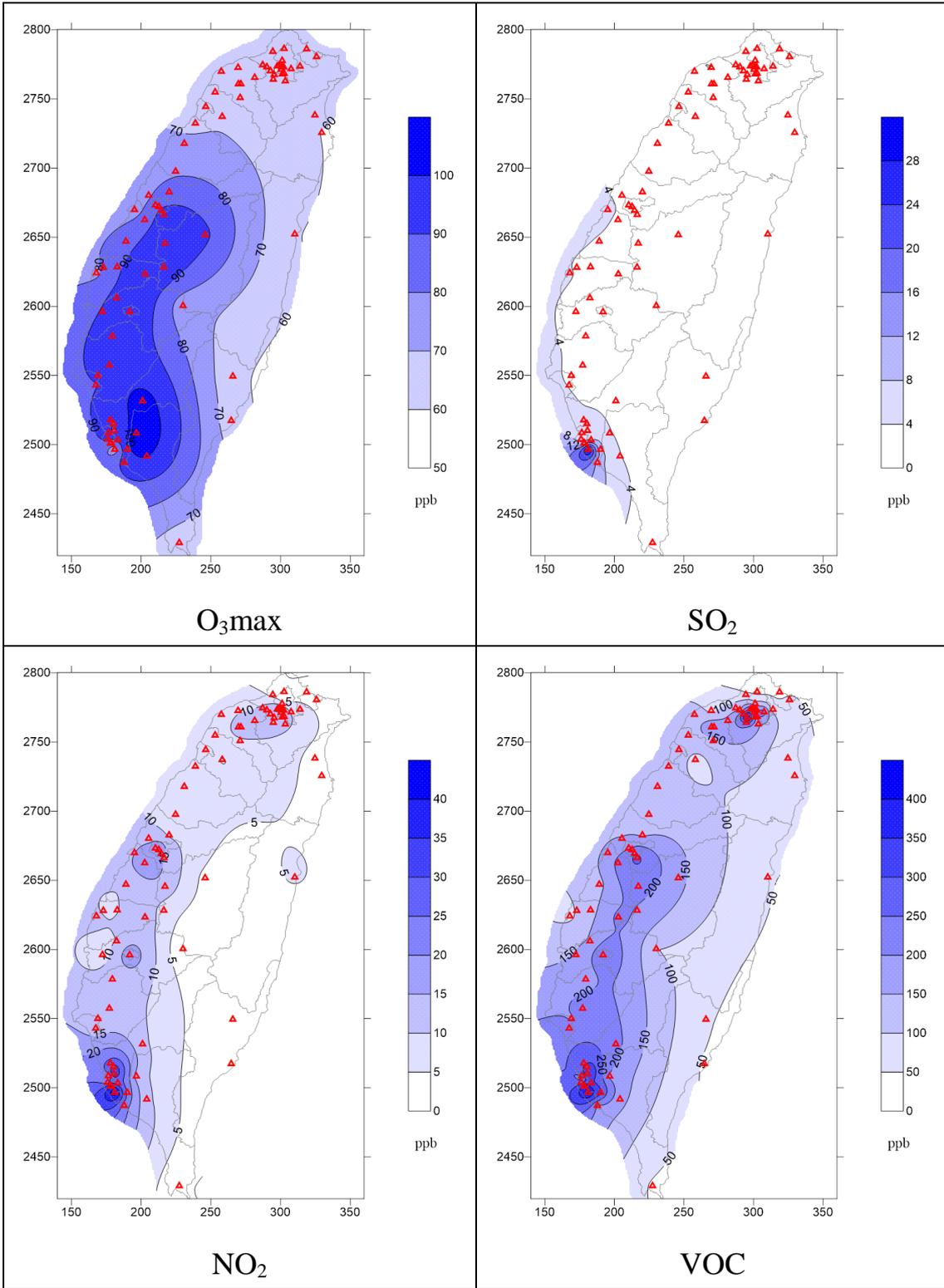


圖 5.18 基準年 2013 年 10 月臭氧模擬結果

5.5 CMAQ 臺灣五大港口影響

使用 CMAQ 三維網格模式分別模擬 2013 年 4 月及 2013 年 10 月之基隆港、臺北港、臺中港、高雄港及花蓮港等臺灣五大港口污染排放影響，再將各港口之影響加總合計，擷取 EPA 測站共 76 站位置之貢獻比例，分布如圖中紅色三角形符號，再依個別測站之位置與貢獻比例，使用繪圖軟體繪製等濃度圖，並切除臺灣本島外圍海域地區，即可得到濃度空間分布圖，如圖 5.19 至圖 5.21 分別為 CMAQ 模擬 4 月、10 月及兩個月平均之細懸浮微粒($PM_{2.5}$)、臭氧(O_3)、硫氧化物(SO_2)及氮氧化物(NO_x)之結果。依序說明如下，而各大港口之原生性及衍生性污染物影響結果則如附錄四。

2013 年 4 月：

4 月之五大港口合計之貢獻比例中， $PM_{2.5}$ 介於 0.48% ~ 5.88% 之間，貢獻比例最高位於小港測站之 5.88%，其次為林園站之 5.22%，第三高則為前鎮站之 4.59%；8 小時平均 O_3 介於 -11.13% ~ 0.39% 之間，貢獻比例最高位於橋頭測站及楠梓測站之 0.39%，其次為仁武站之 0.32%，第三高則為阿里山站之 0.25%； SO_2 介於 0.67% ~ 30.08% 之間，貢獻比例最高位於前鎮及復興測站之 30.08%，其次為小港站之 28.77%，第三高則為林園站之 27.11%； NO_x 介於 0.44% ~ 19.44% 之間，貢獻比例最高位於小港測站之 19.44%，其次為萬里站之 18.47%，第三高則為林園站之 15.41%；而各污染物種之影響範圍則主要位於臺灣地區西南沿海一帶，部分落在中部沿海及基隆市沿海區域，亦有少部分位於花蓮市區域。其中貢獻比例負值之產生為臭氧被消耗之結果，即 NO 滴定效應所引起。

2013 年 10 月：

10 月之五大港口合計之貢獻比例中， $PM_{2.5}$ 介於 0.31% ~ 5.24% 之間，貢獻比例最高位於前鎮及復興測站之 5.24%，其次為小港站之 5.16%，第三高則為潮州站之 4.86%；8 小時平均 O_3 介於 -6.53% ~ 1.45% 之間，貢獻比例最高位於仁武測站之 1.45%，其次為左營站之 1.37%，

第三高則為楠梓站之 1.33%；SO₂ 介於 1.79% ~ 33.51% 之間，貢獻比例最高位於前鎮及復興測站之 33.51%，其次為小港站之 25.77%，第三高則為潮州站之 20.70%；NO_x 介於 0.29% ~ 25.07% 之間，貢獻比例最高位於萬里測站之 25.07%，其次為小港站之 16.45%，第三高則為基隆站之 10.31%；PM_{2.5} 及 SO₂ 影響範圍主要位於臺灣地區西南沿海一帶，而 NO_x 影響範圍則靠近基隆市區一帶。其中貢獻比例負值之產生為臭氧被消耗之結果，即 NO 滴定效應所引起。

2013 年平均：

兩個月平均之五大港口合計貢獻比例中，PM_{2.5} 介於 0.41% ~ 5.52% 之間，貢獻比例最高位於小港測站之 5.52%，其次為前鎮及復興站之 4.91%，第三高則為林園站之 4.66%；8 小時平均 O₃ 介於 -8.83% ~ 0.88% 之間，貢獻比例最高位於仁武測站之 0.88%，其次為楠梓站之 0.86%，第三高則為橋頭站之 0.79%；SO₂ 介於 1.38% ~ 31.79% 之間，貢獻比例最高位於前鎮及復興測站之 31.79%，其次為小港站之 27.27%，第三高則為林園站之 23.58%；NO_x 介於 0.48% ~ 21.77% 之間，貢獻比例最高位於萬里測站之 21.77%，其次為小港站之 17.94%，第三高則為林園站之 12.40%；各污染物種之影響範圍主要位於臺灣地區西南沿海一帶，部分落在中部沿海、基隆市沿海及東部花蓮沿海區域。其中貢獻比例負值之產生為臭氧被消耗之結果，即 NO 滴定效應所引起。

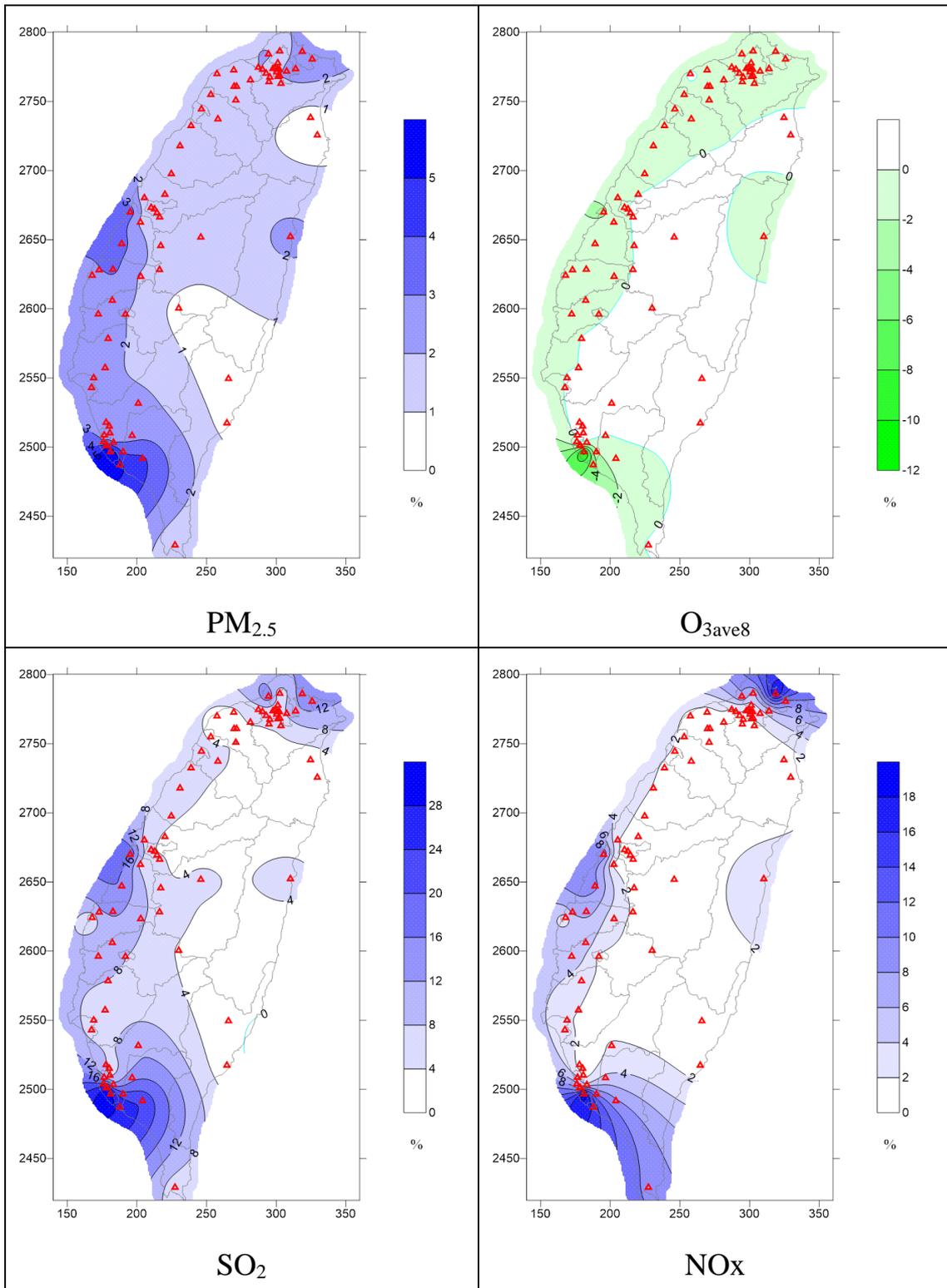


圖 5.19 2013 年 4 月五大港口合計影響

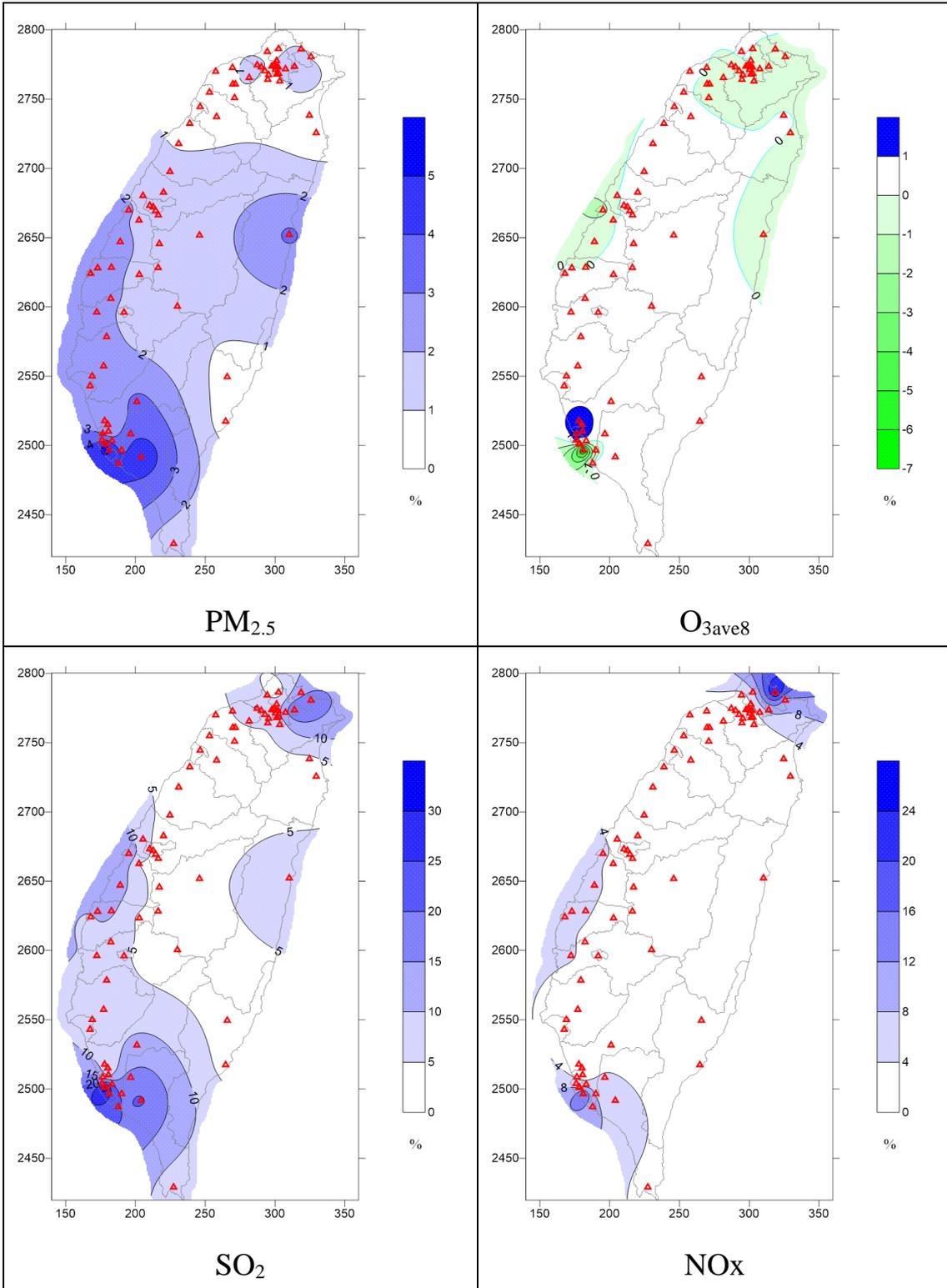


圖 5.20 2013 年 10 月五大港口合計影響

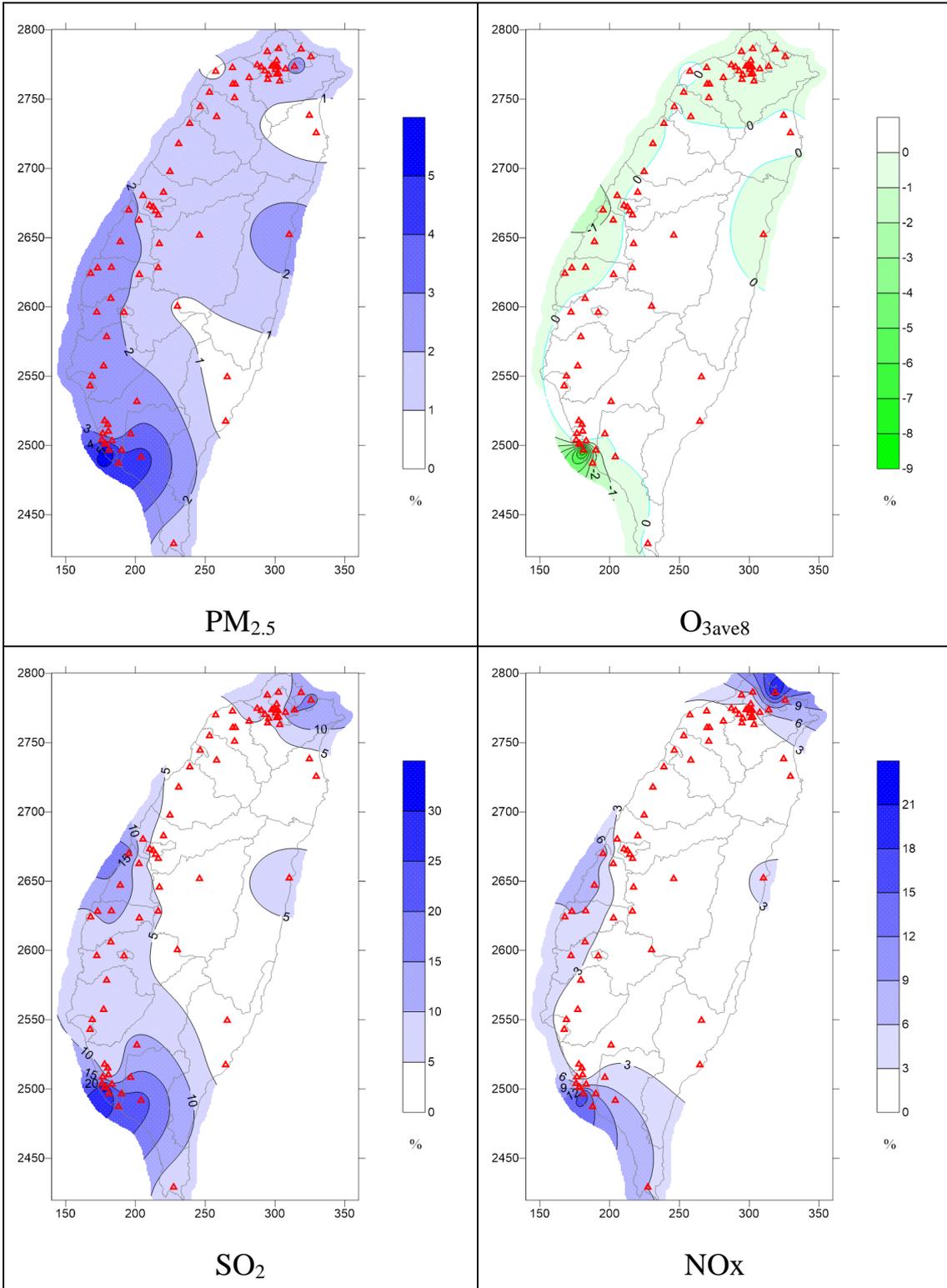


圖 5.21 2013 年平均五大港口合計影響

5.6 CMAQ 臺灣海峽船舶排放量影響

將模擬結果擷取 EPA 測站共 76 站位置之貢獻比例，分布位置則如等濃度圖中之紅色三角形符號，再依個別測站之位置與貢獻比例，使用繪圖軟體繪製等濃度圖，並切除臺灣本島外圍海域地區，即可得到濃度空間分布圖，如圖 5.22 至圖 5.24 分別為 CMAQ 模擬 4 月、10 月及兩個月平均之細懸浮微粒($PM_{2.5}$)、臭氧(O_3)、硫氧化物(SO_2)及氮氧化物(NO_x)之結果。依序說明如下，而臺灣海峽船舶排放量之原生性及衍生性污染物影響結果則如附錄五。

2013 年 4 月：

4 月之臺灣海峽船舶排放量貢獻比例中， $PM_{2.5}$ 介於 2.41% ~ 14.39% 之間，貢獻比例最高位於麥寮測站之 14.39%，其次為潮州站之 14.19%，第三高則為崙背站之 13.48%；8 小時平均 O_3 介於 -31.60% ~ 5.58% 之間，貢獻比例最高位於臺南測站之 5.58%，其次為楠梓站之 5.42%，第三高則為安南站之 5.32%； SO_2 介於 8.01% ~ 25.04% 之間，貢獻比例最高位於恆春測站之 25.04%，其次為美濃站之 23.38%，第三高則為前金站之 23.28%； NO_x 介於 3.08% ~ 52.92% 之間，貢獻比例最高位於恆春測站之 52.92%，其次為林園站之 39.83%，第三高則為萬里站之 34.36%；各污染物種之影響範圍主要位於臺灣地區西半部沿海一帶，而 NO_x 影響則大部分落在臺灣最南端之屏東區域。其中貢獻比例負值之產生為臭氧被消耗之結果，即 NO 滴定效應所引起。

2013 年 10 月：

10 月之臺灣海峽船舶排放量貢獻比例中， $PM_{2.5}$ 介於 2.47% ~ 17.68% 之間，貢獻比例最高位於潮州測站之 17.68%，其次為屏東站之 14.64%，第三高則為美濃站之 14.44%；8 小時平均 O_3 介於 -22.37% ~ 8.08% 之間，貢獻比例最高位於楠梓測站之 8.08%，其次為仁武站之 8.05%，第三高則為橋頭站之 7.78%； SO_2 介於 6.72% ~ 25.44% 之間，貢獻比例最高位於萬里測站之 25.44%，其次為恆春站之 25.41%，第三高則為潮州站之 22.80%； NO_x 介於 -0.08% ~ 53.51% 之間，貢獻比例最

高位於萬里測站之 53.51%，其次為陽明站之 35.69%，第三高則為小港站之 33.34%；污染物種 $PM_{2.5}$ 及 O_3 影響範圍主要位於南高屏地區， SO_2 則分散臺灣南北兩端並往中部擴散，而 NO_x 影響區域則主要落在北部之基隆一帶。其中貢獻比例負值之產生為臭氧被消耗之結果，即 NO 滴定效應所引起。

2013 年平均：

兩個月平均之臺灣海峽船舶排放量貢獻比例中， $PM_{2.5}$ 介於 2.97% ~ 15.94% 之間，貢獻比例最高位於潮州測站之 15.94%，其次為屏東站之 12.94%，第三高則為美濃站之 12.93%；8 小時平均 O_3 介於 -26.35% ~ 6.75% 之間，貢獻比例最高位於楠梓測站之 6.75%，其次為橋頭站之 6.54%，第三高則為臺南站之 6.49%； SO_2 介於 7.47% ~ 25.23% 之間，貢獻比例最高位於恆春測站之 25.23%，其次為前金站之 22.78%，第三高則為萬里站之 22.70%； NO_x 介於 1.93% ~ 43.94% 之間，貢獻比例最高位於萬里測站之 43.94%，其次為恆春站之 42.92%，第三高則為林園站之 36.19%；污染物種 $PM_{2.5}$ 及 O_3 影響範圍主要位於南高屏地區，而 SO_2 與 NO_x 影響區域則主要分散在臺灣南北兩端。其中貢獻比例負值之產生為臭氧被消耗之結果，即 NO 滴定效應所引起。

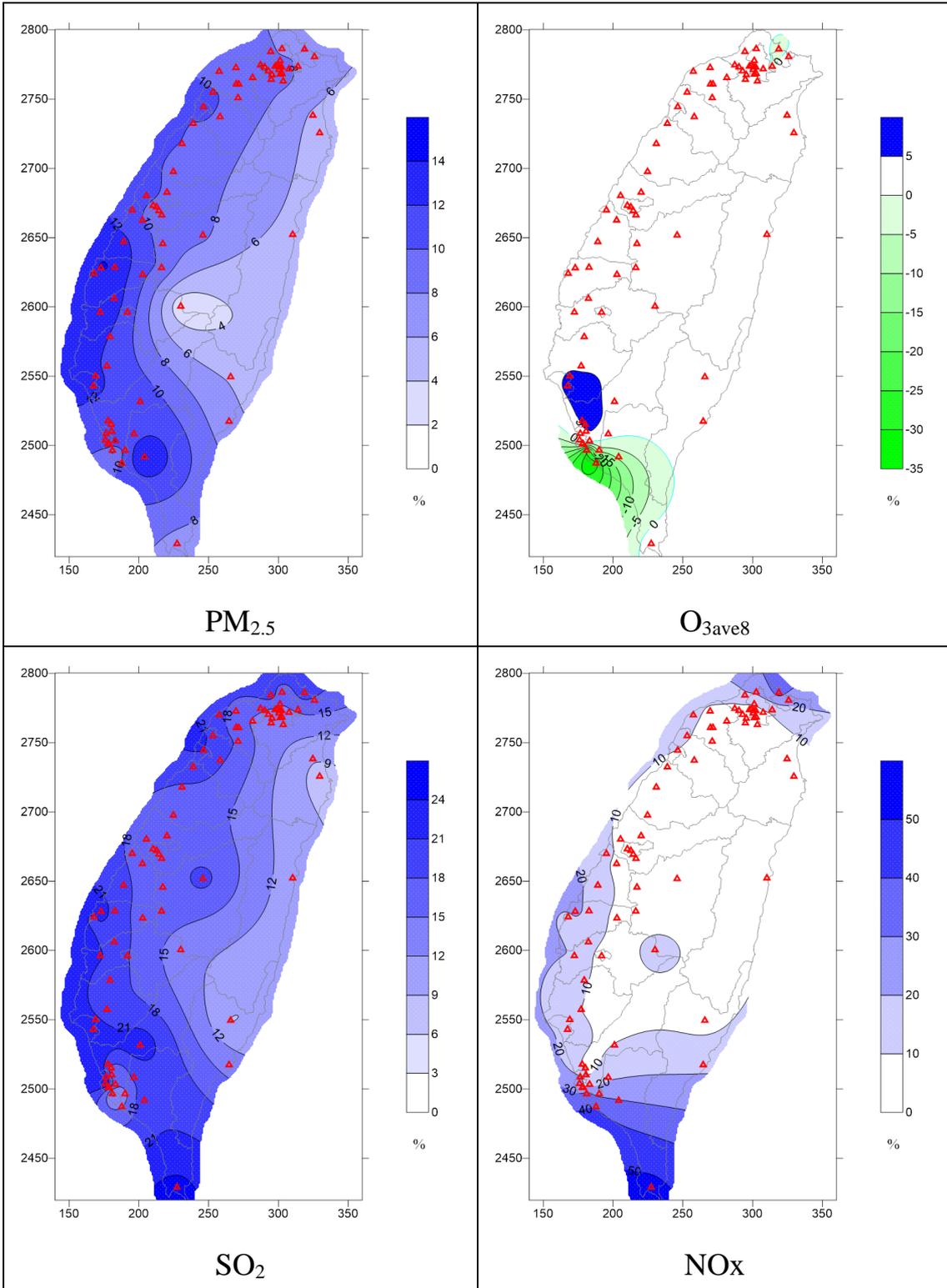


圖 5.22 2013 年 4 月臺灣海峽船舶排放影響

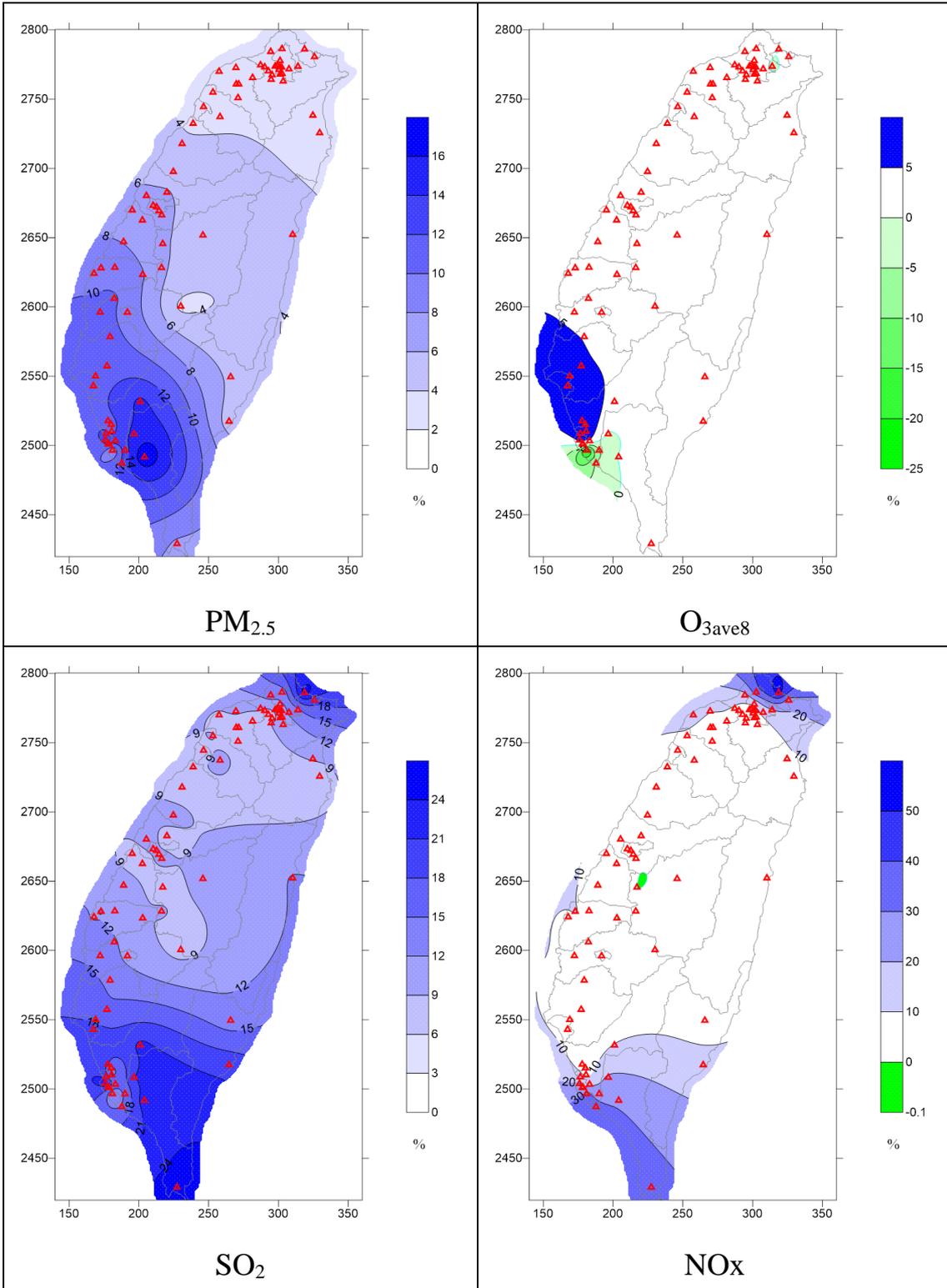


圖 5.23 2013 年 10 月臺灣海峽船舶排放影響

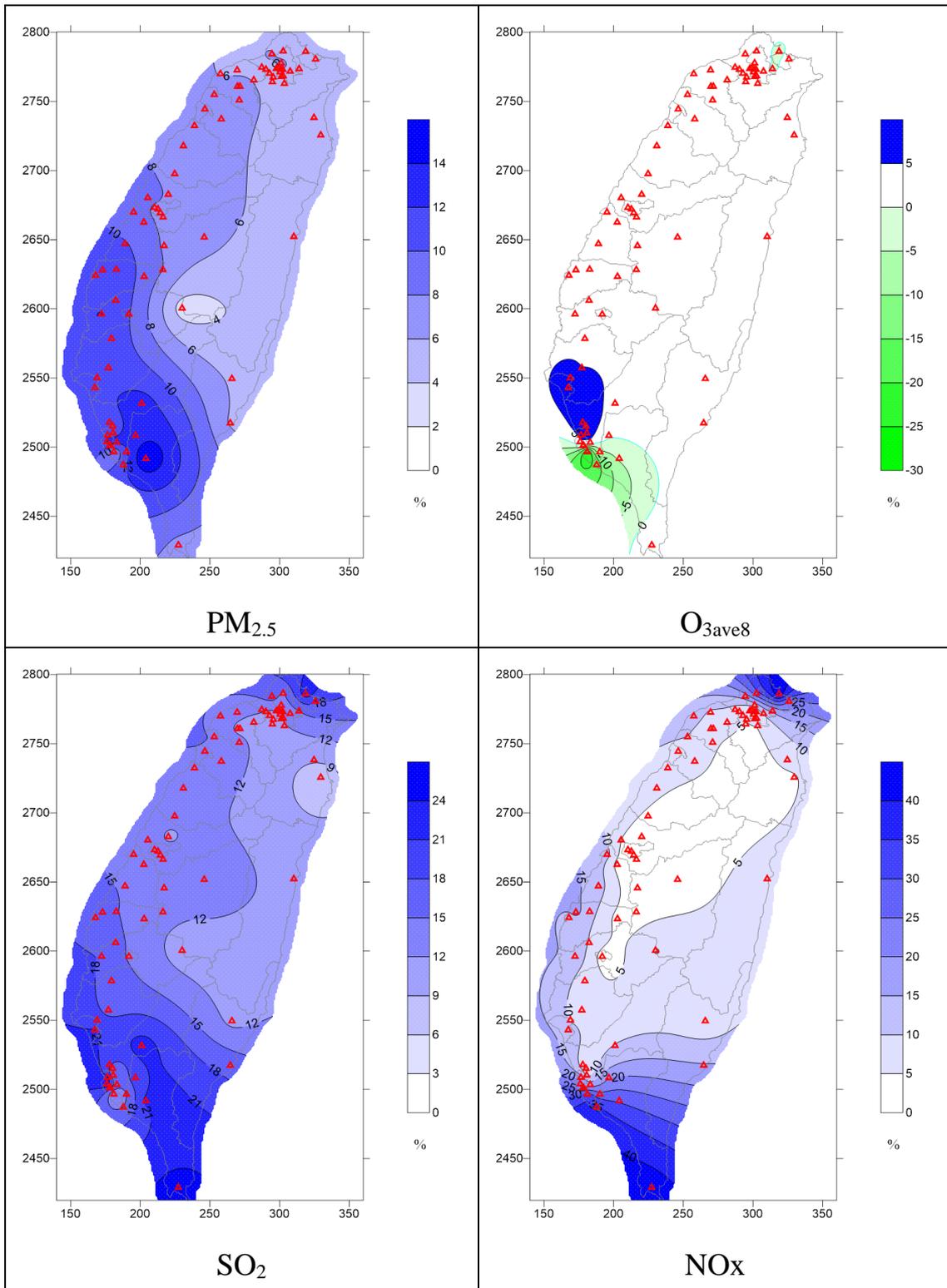


圖 5.24 2013 年平均臺灣海峽船舶排放影響

第六章 結論與建議

本研究目的在建立船舶航行對沿岸及港域空污預測模式，以提升國內港口之國際競爭力，並確保環境永續發展。本研究結論與建議分別詳述如后。

6.1 結論

1. 2013 年 4 月臺灣周遭海域船舶之 AIS 網格排放量，NO_x 為 18562 噸，SO_x 為 8799 噸；而區域百分比推算網格排放量，NO_x 為 84651 噸，SO_x 為 43917 噸。
2. 2013 年 10 月臺灣周遭海域船舶之 AIS 網格排放量，NO_x 為 20816 噸，SO_x 為 8355 噸；而區域百分比推算網格排放量，NO_x 為 107812 噸，SO_x 為 52359 噸。
3. 五大港口排放影響比較，2013 年 4 月細懸浮微粒影響最高為小港測站之 5.88%，8 小時平均臭氧影響最高為橋頭測站及楠梓測站之 0.39%，硫氧化物影響最高為前鎮及復興測站之 30.08%，氮氧化物影響最高則為小港測站之 19.44%。
4. 五大港口排放影響比較，2013 年 10 月細懸浮微粒影響最高為前鎮及復興測站之 5.24%，8 小時平均臭氧影響最高為仁武測站之 1.45%，硫氧化物影響最高為前鎮及復興測站之 33.51%，氮氧化物影響最高則為萬里測站之 25.07%。
5. 臺灣周遭海域船舶排放影響，2013 年 4 月細懸浮微粒影響最高為麥寮測站之 14.39%，8 小時平均臭氧影響最高為臺南測站之 5.58%，硫氧化物影響最高為恆春測站之 25.04%，氮氧化物影響最高則為恆春測站之 52.92%。
6. 臺灣周遭海域船舶排放影響，2013 年 10 月細懸浮微粒影響最高為

潮州測站之 17.68%，8 小時平均臭氧影響最高為楠梓測站之 8.08%，
硫氧化物影響最高為萬里測站之 25.44%，氮氧化物影響最高則為
萬里測站之 53.51%。

6.2 建議

1. 建議未來持續提升 AIS 接收範圍及可靠度，減少船舶軌跡缺值問題，增加海上船舶排放量計算之準確度。
2. 建議 AERMOD 推估系統之使用時必須提供穩定之網路環境(例如獨立之有線固定 IP)，並於獨立主機上執行。
3. 在 CMAQ 模擬案例中，本年度之研究係先以分析 2013 年 4 月及 10 月之結果，建議未來可再進行全年 12 個月之分析，以利分析每月變化與季節變化。
4. 建議於未來之研究計畫中可納入臺中市環保局於港區附近之空氣品質監測資訊。

6.3 成果效益及應用情形

1. 可提供航港局、臺灣港務公司、縣市政府、環保署等機關參考，俾利擬定相關防治對策，以改善港域空氣品質。
2. 臺中港區之空氣品質推估結果，可回饋港區作業。
3. 可提供日後船舶污染減量及空污應變措施之參考依據，促進綠色港口之建立。

參考文獻

1. Aldrete, G., Anderson, B., Ray, J., and Agrawal, A. (2007) Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions for Calendar Year 2005. Starcrest Consulting Group, LLC, Poulsbo, WA, 98370.
2. Aldrete, G., Anderson, B., Ray, J., Kristiansson, J., and Wells, S. (2007) Puget Sound maritime air emission inventory. Starcrest Consulting Group, LLC, Poulsbo, WA, 98370.
3. Aldrete, G., Anderson, B., Ray, J., and Agrawal, A. (2011) Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions for Calendar Year 2010. Starcrest Consulting Group, LLC, Poulsbo, WA, 98370.
4. Aldrete, G., Anderson, B., Ray, J., and Agrawal, A. (2012) Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions for Calendar Year 2011. Starcrest Consulting Group, LLC, Poulsbo, WA, 98370.
5. Aldrete, A., Aldrete, G., Anderson, B., Ray, J., and Muller, R. (2012) 2011 PUGET SOUND MARITIME AIR EMISSIONS INVENTORY. Starcrest Consulting Group, LLC, Poulsbo, WA, 98370.
6. Aldrete, G., Anderson, B., Ray, J., and Agrawal, A. (2013) Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions for Calendar Year 2012. Starcrest Consulting Group, LLC, Poulsbo, WA, 98370.
7. Aldrete, G., Anderson, B., Ray, J., Muller, R., and Agrawal, A. (2014) Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions for Calendar Year 2013. Starcrest Consulting Group, LLC, Poulsbo, WA, 98370.
8. Aldrete, G., Anderson, B., Ray, J., Muller, R., and Agrawal, A. (2015) Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions for Calendar Year 2014. Starcrest Consulting Group, LLC, Poulsbo, WA, 98370.
9. Aldrete, G., Anderson, B., Ray, J., Muller, R., and Agrawal, A. (2015) Port of Los Angeles Inventory Highlights 2014. Starcrest Consulting Group, LLC, Poulsbo, WA, 98370.

10. Faulkner, W.B., and Shaw, B.W. (2007) "Sensitivity of Two Dispersion Models (AERMOD and ISCST3) to Input Parameters for a Rural Ground-Level Area Source." *Journal of the Air & Waste Management Association* 58(10): 1288-1296.
11. Sun, B., Groisman, P.Y., Bradley, R.S., and Keimig, F.T. (2000) Temporal changes in the observed relationship between cloud cover and surface air temperature. *Journal of Climate*, 13(24), 4341-4357.
12. Groisman, P.Y., Bradley, R.S., and Sun, B. (2000) The relationship of cloud cover to near-surface temperature and humidity: Comparison of GCM simulations with empirical data. *Journal of Climate*, 13(11), 1858-1878.
13. Walcek, C.J. (1994) Cloud cover and its relationship to relative humidity during a springtime midlatitude cyclone. *Monthly weather review*, 122(6), 1021-1035.
14. Kumar, A., and Dixit, S. (2006) "Evaluation of the AERMOD dispersion model as a function of atmospheric stability for an urban area." *Environmental Progress* 25(2): 141-151.
15. Nozaki K.Y. (1973), "Mixing depth model using hourly surface observations", Report 7053, USAF Environmental Technical Applications Center.
16. Paine R.J., and Lew, F. (1998) "Project PRIME: Evaluation of Building Downwash Models Using Field and Wind Tunnel Data", Paper No. 4B.2, presented at the 10th Joint Conference on the Applications of Air Pollution Meteorology, Phoenix, AZ.
17. Paine, R.J., and Lee, R.F. (1998) "MODEL EVALUATION RESULTS FOR AERMOD." <http://www.epa.gov>.
18. Schulman, L.L., Strimaitis, D.G., and Scire, J.S. (2000) "Development and Evaluation of the PRIME Plume Rise and Building Downwash Model", *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 50, pp. 378-390.

19. Silverman, K.C., and Tell, J.G. (2007) "Comparison of the industrial source complex and AERMOD dispersion models: Case study for human health risk assessment." *Journal of the Air & Waste Management Association* 57(12): 1439-1446.
20. Zou, B., and Zhan, F.B. (2010) "Performance of AERMOD at different time scales." *Simulation Modelling Practice and Theory* 18(5): 612-623.
21. U.S. EPA. (1997) "Addendum to ISC3 User's Guide : The Prime Plume Rise and Building Downwash Model."
22. U.S. EPA. (2000) "Development and Evaluation of the PRIME Plume Rise and Building Downwash Model."
23. U.S. EPA. (2004) "AERMOD: description of model formulation", pp.1-89.
24. U.S. EPA. (2004) "User's guide for the AERMOD meteorological preprocessor."
25. U.S. EPA. (2004) "User's Guide For the AMS/EPA Regulatory Model-AERMOD."
26. Pasquill, F. (1961) The Estimation of the Dispersion of Windborne Material. *Meteorol. Mag.* 90, 33-49
27. Pasquill, F. (1974) *Atmospheric diffusion*. John Wiley and Sons, New York. NY.
28. Pasquill, F. (1974) *Atmospheric Dispersion Parameters in Gaussian Plume Modeling, Part II. Possible Requirements for Change in the Turner Workbook Values*, U.S. EPA, EPA-600/4-76-030b.
29. diagnostic meteorological processors used in mesoscale air quality modelling. In *Proceedings of the Eighth Joint Conference on Applications of Air Pollution Meteorology with A and WMA*, Nashville, Tennessee, USA, 23-28 January, AMS/A&WMA, pp.137-144.
30. Rao, S.T., Sistla, G., Ku, J.-Y., Zhou, N. and Hao, W. (1994) Sensitivity of the Urban Airshed Model to mixing height profile. *Preprints, Eighth*

- Joint Conf. on Applications of Air Pollution Meteorology with A&WMA, Nashville, TN, Amer. Meteor. Soc., pp.162–167.
31. Seibert, P., F. Beyrich, S. E. Gryning, S. Joffre, A. Rasmussen, and P. Tercier (2000) Review and intercomparison of operational methods for the determination of the mixing height, *Atmos. Environ.*, 34, 1001–1027.
 32. He, J., Zhang, Y., Wang, K., Chen, Y., Leung, L. R., Fan, J., ... He, K. (2017) Multi-year application of WRF-CAM5 over East Asia-Part I: Comprehensive evaluation and formation regimes of O₃ and PM_{2.5}. *Atmospheric Environment*.
 33. Li, X., and Rappengluck, B. (2014) A WRF-CMAQ study on spring time vertical ozone structure in Southeast Texas. *Atmospheric Environment*, 97, 363–385.
 34. Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhi, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., Powers, J. G. (2008) A Description of the Advanced Research WRF Version 3. Technical Report, (June), 113.
 35. Wang, L., Wei, Z., Wei, W., Fu, J. S., Meng, C., and Ma, S. (2015) Source apportionment of PM_{2.5} in top polluted cities in Hebei, China using the CMAQ model. *Atmospheric Environment*, 122, 723–736.
 36. 劉沁瑋(2002)，「新竹科學工業園區空氣污染物排放總量推估及ISCST3擴散模式應用」，國立交通大學環境工程研究所碩士論文。
 37. 田浚致(2004)，「利用空氣擴散模式模擬石化工業區致癌性污染物之濃度及推估居民之致癌風險」，國立成功大學環境醫學研究所碩士論文。
 38. 曠永銓、許佩蓓(2005)，「AERMOD煙流模式在臺灣地區之應用研究」，中興工程，Vol.88，pp.55-62。
 39. 張良輝、張能復(2010)，「空氣品質模式技術及對策支援計畫(一)」，行政院環保署，EPA-98-FA11-03-A229。
 40. 張良輝、張能復(2011)，「空氣品質模式技術及對策支援計畫(二)」，

行政院環保署，EPA-998-FA11-03-A079。

41. 葉雨松、林清和、許真瑜(2015)，「高雄港區空氣污染擴散與監測系統規畫之研究」，交通部運輸研究所，MOTC-IOT-103-HIEB002。
42. 陳茂雄(2016)，「高雄港區空氣品質影響之模擬分析」，輔英科技大學環境工程與科學研究所碩士論文。
43. 許瑛珺、吳佳蓉(2011)，「紫外線指數(UVI)」。
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=40067>，科技部高瞻自然科學教學資源平臺
44. 交通部中央氣象局，「紫外線指數預報服務」。
www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/announce/PDFfile/service13，氣象服務系列。
45. 交通部中央氣象局，「紫外線是什麼、紫外線和臭氧層的關係與紫外線和天氣的關係」。
www.cwb.gov.tw/V7/forecast/UVI/uviknowledge.pdf。
46. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心(<http://www.ihmt.gov.tw/>)。
47. 張良輝、陳杜甫(2001)，「跨空品區長程傳輸對空氣品質之影響」，高雄市空氣品質模式技術研討會(論文集)，高雄市，環保局，pp.133-154。
48. 吳義林、蔡德明(2001)，「The simulation of photochemical reactions in southern Taiwan by Models-3/CMAQ」，高雄市空氣品質模式技術研討會。
49. 曠永銓、張豐藤、鄭清山、林燦銘、莊銘棟(2001)，「全省性風場建置與全年反軌跡分析」，2001年空氣品質模式技術研討會。
50. 陳康興、何宜達、賴嘉祥、蔡詠安、(2001)，「光化學臭氧模式(CAMx)之發展與應用」，2001年空氣品質模式技術研討會。

專有名詞對照表

英文縮寫	英文名稱	中文名稱
ABL	Atmospheric boundary layer	大氣邊界層
AERMET	AERMOD Meteorological Preprocessor	空污模式名稱
AERMIC	AMS/EPA Regulatory Model Improvement Committee	AMS 與 EPA 管理模式改進協會
AERMOD	AERMIC Model	空污模式名稱
AFWA	Air Force Weather Agency	空軍氣象局
AIS	Automatic Identification System	臺灣海域船舶動態資訊系統
AMS	American Meteorological Society	美國氣象學會
AQMC	Air Quality Modeling Center	空氣品質模式支援中心
ARW	Advanced Research WRF	空污模式名稱
CAMx	Comprehensive Air Quality Model	空污模式名稱
CARB	California Air Resources Board	加州空氣資源委員會
CBL	Convective Boundary Layer	對流邊界層
CCTM	CMAQ Chemical-Transport Modeling System	CMAQ 化學傳輸模組
CMAQ	Community Multi-scale Air Quality model	空污模式名稱
EPA	Environmental Protection Agency	環保署
ESPO	European Sea Ports Organisation	歐洲海港組織
FAA	Federal Aviation Administration	美國聯邦航空管理局
FDDA	Four-dimensional data assimilation	四維數據同化
FSL	Forecasting System Laboratory	預報系統實驗室
GFS	Global Forecast System	全球數值天氣預報計算模式
HFO	Heavy Fuel Oil	重油
I/O API	Input/Output Application Programming Interface	應用程式編程傳輸介面
IMO	International Maritime Organization	國際海事組織
ISC	Industrial Source Complex	空污模式名稱
ISCST3	Industrial Source Complex Short Term	空污模式名稱

英文縮寫	英文名稱	中文名稱
MCIP	Meteorological-Chemistry Interface Processor	氣象化學轉換模組
MDO	Marine Diesel Oil	船用柴油
MEPPS	Models-3 Emission Processing and Projection System	Model-3 排放量資料模組
MET	Model Evaluation Tools	模式評估工具
MGO	Marine Gas Oil	船用輕柴油
MH	Mixing height	混合層高度
MMM	Mesoscale and Microscale Meteorology Division	中尺度與微尺度氣象部門
NCAR	National Center for Atmospheric Research	美國大氣研究中心
NCEP	National Centers for Environmental Prediction	美國氣象環境預報中心
NMM	Non-hydrostatic Mesoscale Model	非靜力中尺度模式
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration	美國海洋和大氣管理局
NOCET	Normalized Overall Cloud Effect on surface air Temperature	標準化總雲對地表溫度的影響
OCE	Overall Cloud Effect	總雲影響
PBL	Planetary Boundary Layer	行星邊界層
RADM2	Regional Acid Deposition Model	區域酸沉降模式
RPM	Regional Particulate Model	區域粒狀物模式
SMOKE	Sparse Matrix Operator Kernel Emissions System	稀疏矩陣運算排放系統
TAQM	Taiwan Air Quality modeling	空污模式名稱
TEDS	Taiwan Emission Data System	空氣污染排放清冊
U.S.EPA	United States Environmental Protection Agency	美國環保署
WPS	WRF Preprocessing System	WRF 預處理系統
WRF	Weather Research and Forecasting Model	空污模式名稱

參數	中文名稱
Act	活動量(hr)
AS	船舶實際船速(節)
CL	總雲量
E	引擎的排放量(g)
EF	引擎排放係數
Energy	需要的能量(kW·h)
f	地轉角參數
FCF	燃油校正係數
Kz	垂直擴散係數
L	混合層高度(m)
LF	船舶之負載
M	所有測站數
MAGE	絕對值偏差
MBE	配對值偏差
MCR	最大引擎動力(kW)
MS	船舶最大船速(節)
N	所有模擬小時(日)數
NOCET	雲覆率
$O_{i,k}$	第 i 小時(日)第 k 測站之監測值
P	大氣穩定度
$P_{i,k}$	第 i 小時(日)第 k 測站之模擬值
q	比濕度(g/kg)
RMSE	均方根偏差
T	溫度(°C)
Td	露點溫度(°C)
Uz	高度為 z 時之平均風速(m/s)
WNMB	風向標準化偏差
WNME	風向標準化絕對值偏差
Z	觀測點高度(m)
Z_0	地表粗糙度(m)
ψ	觀測點緯度(degree)
Ω	地轉角速度(rad/s)

附錄一 期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）

期中報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-106-H2DB002a

計畫名稱：船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

審查日期：106 年 07 月 18 日

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
何彌亮 委員		
1. 計算混合層高度採用了多站氣象資料，其值在網格運算、模式輸入如何運用？	感謝委員指導；混合層高度計算使用多站結果，為用來比較單一測站之混合層高度是否合理，其高度計算結果平均值則供 AERMOD 模式模擬推估使用。	同意。
2. Nozaki 計算公式與不同地形，具經驗性之變化，通常不同地區需做局部地形之變化，臺中港區大半為水域，惟對沿岸仍有局部地形之變化，其對預測模式之結果有何影響？	感謝委員指導；臺中港區附近地形平坦，模擬範圍內只有大肚山附近擁有較高之地形，且已靠近模擬範圍邊界，故對本研究之推估結果並無太大之影響。	同意。
3. 環保署港區空氣污染物排放清冊建置已執行多年，其排放清冊資料與本研究建置臺灣各主要港口相關活動之空污排放量資料之競合為何？	感謝委員指導；環保署港區排放清冊資料主要為港區內之船舶排放量，而本研究建置之排放量則使用 AIS 資料，建置了包含臺灣周遭海域之船舶排放量。	同意。
李崇垓 委員		
1. 針對 2015 之混合層推估值，建議可以向環保署督察總隊索取臺中港實際探空資料來進行比對，以便檢核推值之實際誤差範圍。	感謝委員指導。為了完整全年之比對，本研究以環保署模式支援中心之混合層資料比對。	同意。
2. 報告中有許多的英文縮寫名詞，不易閱讀，請補充專	感謝委員指導；將於報告中補充名詞對照表。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）

期中報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-106-H2DB002a

計畫名稱：船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

審查日期：106年07月18日

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
有名詞對照表，以利說明清楚。		
3. P.3-12 之圖 3.7 的資料引用來源，請補充說明。	感謝委員指導；該圖引用港研 105 年「建置高雄港區 105 年即時空氣品質推估系統」計畫混合層計算之結果。將於報告中以臺中港計算結果替換之。	同意。
4. P.3-2 之圖 3.1 字體不清晰，請修正。	感謝委員指導；該圖字體不清晰已修正之。	同意。
5. P.4-28 之圖 4.16 中 10 月 1 日之 NO _x 排放量異常高出其他日期，是否有誤？請確認。	感謝委員指導；已重複計算確認該日排放量確實偏高。	同意。
6. 期末報告時宜將空氣污染模擬範圍再聚焦回臺中地區。	感謝委員指導；本研究 CMAQ 之模擬範圍為臺灣周遭海域，包含臺灣本島區域；AERMOD 模擬區域則為臺中港區附近。	同意。
鍾英鳳 委員		
1. P.3-18 表 3-5 各船種別之 DWT 是如何選取及擇定該噸位？請補充說明。如客船是 6849 公噸，似乎太小。	感謝委員指導；該表引用 2011 年至 2013 年洛杉磯港報告中所提出之建議缺值預設，其值則為進出洛杉磯港期間各船種之 DWT 平均值。	同意。
2. P.3-27 中所謂文獻，建請註明是哪一文獻？	感謝委員指導；該文獻為 2007 年由 Aldrete, G., Anderson, B., Ray, J., Kristiansson, J., & Wells, S. 所著作之 Puget Sound maritime air emission inventory.	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）

期中報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-106-H2DB002a

計畫名稱：船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

審查日期：106 年 07 月 18 日

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
3. P.4-3 依 P.2-1 夏天平均混合層高，而冬天低，此所顯示的值 1 月 600m~1800m 是冬天，7 月 500m~1400m 是夏天，何故？	感謝委員指導；一般夏季氣溫較高，混合層容易發展至較高的高度，然而臺灣四季並無明顯之變化，故有可能 1 月混合層高度較 7 月為高。	同意。
4. P.4-17 何以出現高雄港的圖？另本頁不宜出現感謝語。	感謝委員指導；將於報告中修正該圖為臺中港之自動繪圖結果。	同意。
5. P.4-19 圖 4.13 無網格點。	感謝委員指導；因該圖僅為顯示網格之分布範圍，且網格間距為 0.01 度，若顯示所有網格點，則該圖將有 811801 個網格點。	同意。
6. P.4-20 為何用最大船速，請說明原因。	感謝委員指導；計算船舶負載公式為負載=(實際船速/最大船速) ³ ，故需取得勞氏資料庫中該船舶之最大船速。	同意。
7. P.4-23，依船舶軌跡計算，其篩選原則請加強補述。	感謝委員指導；將於報告中補充說明之。	同意。
8. P.4-25，總筆數 24810997 筆，最後可用 8451253 筆，為何會如此？是否造成差異請說明。	感謝委員指導；總筆數為 AIS 接收船舶記錄之資料數，船舶若因為無 IMO 編號或是其他不可抗力因素造成缺值，則篩選勞氏資料庫中可用之筆數就有可能短缺，此影響將造成排放量計算低估。	同意。
9. 表 4.5 建以 DWT 即可，為何要用煙囪高度？	感謝委員指導；當煙囪高度不同時，模擬之影響結果將會有所不同，故須將船舶之煙囪高度個別分離出來討論。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）

期中報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-106-H2DB002a

計畫名稱：船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

審查日期：106 年 07 月 18 日

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
李忠潘 委員		
1. 圖表請註明出處。	感謝委員指導；將於報告中補充說明之。	同意。
2. P.3-8(3-1)式沒有氣溫、氣壓、風的函數。	感謝委員指導；將於報告中補充說明之。	同意。
3. P.3-8(3-2)式，本研究的 Z_0 取 $10^{-4}m$ 似乎不合理。	感謝委員指導；因港區大部分區域均為水體，故本研究之 Z_0 採用文獻建議之 $0.0001m$ 。	同意。
4. 文內多處(如 P.3-9, P.3-11, P.3-12)提及高雄港區，而今年重點應是臺中港區，若以高雄港的驗證結果，應用到臺中港，不知可信度如何？	感謝委員指導；將於報告中修正為臺中港之結果。	同意。
5. 依據中山大學李宗霖教授 2016 年在 Environment International 發表的文章指出，冬季時臺灣的空污約有 2/3 源自中國的跨國污染，因此臺中港區實測值應扣除外來跨界的污染後，才與預測值比較。	感謝委員指導；CMAQ 模式模擬結果與觀測值之比較方式及內容為依據環保署之模式模擬性能評估規範。	同意。
柯正龍 委員		
1. 港區空氣品質即時推估系統，採用 AERMOD 模式，建議應於內文加強說明模式推估成果之驗證方法及可信度。	感謝委員指導。	請補充。

**交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）
期中報告審查意見處理情形表**

計畫編號：MOTC-IOT-106-H2DB002a

計畫名稱：船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

審查日期：106 年 07 月 18 日

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
2. 附錄顯示，船舶資料使用率約 34.1%，數據偏低，建議應檢視 AIS 及勞氏資料庫有無較新版本。	感謝委員指導；附錄中使用 2013 年 AIS 資料結果，顯示為目前已知 IMO 編號篩選計算之結果，日後將增加 MMSI 之計算，以期增加船舶資料之使用率。	同意。
3. P.3-36 第二段化學傳輸模擬之第 1 行 CCTM 全文為 CMAQ Chemical-Transport Modeling System 與第 6 行 CMAQ Chemical Transport Model Processor 稍有差異，請問如何區分或修改文字？	感謝委員指導；兩者為相同內容，故修改報告之文字。	同意。
4. 部分圖說如圖 3.2 及圖 3.3 內容建議翻譯為中文，俾利閱讀。	感謝委員指導；將於報告中修正為中文。	同意。
5. 報告文內圖表及參考文獻撰寫方式，建議加註資料來源，相關格式請參考本所出版品規定辦理，或請參考 105 年之相關報告。	感謝委員指導，將修改為要求格式。	同意。
蔡立宏 委員		
1. 預測模式前針對船舶及機具污染，與實測綜合許多污染如何比對。	感謝委員指導；目前僅就推估之增量結果與環保署測站之全量結果做比對。	請再補充推估增量與實測全量比較意義。
2. 船舶在進港過程中，引擎用油由重油切換為柴油，如何判斷或決定以輸入適當之排放係數。	感謝委員指導；目前無方法可判定船舶進港過程中是否有切換油料。	同意。

**交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）
期中報告審查意見處理情形表**

計畫編號：MOTC-IOT-106-H2DB002a

計畫名稱：船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

審查日期：106 年 07 月 18 日

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
3. 以 AIS 船舶軌跡加入排放量計算，是否考量船速造成不同排放量。	感謝委員指導；排放量計算公式會考慮到船舶之負載情形，而計算船舶負載公式為負載=(實際船速/最大船速) ³ ，因此不同船速下，其排放量亦不同。	同意。
4. 即時推估結果，目前以自動繪圖功能顯示陸域分布，未來是否會有海域推估結果顯示。	感謝委員指導；通常模擬結果分布僅顯示人口密集區域，即陸域分布結果。	同意。
黃茂信 委員		
1. 文章中「台中」請修正為「臺中」。	感謝委員指導；將會於報告中修正之。	同意。
2. 有關報告內使用使用 AIS 資料皆為 2013 年，是否應使用最新資料。	感謝委員指導；因 CMAQ 模擬之排放清冊最新資料基準年為 2013 年，為求排放基準年份一致，故 AIS 使用資料年為 2013 年。	同意。
3. 有關高雄港及臺中港建置完成之 AERMOD 計算推估的增量值，是否可以即時顯示於網頁，提供相關人員使用。	感謝委員指導；由於尚無網頁介面系統可供使用，目前暫不考量顯示推估值於網頁上。	同意。
4. 簡報 19 頁於臺中港即時推估結果，利用船舶排放增量，與全部排放量比較，意義為何？	感謝委員指導；船舶之排放增量顯示港區船舶對於環保署測站之影響狀況，增量越高則貢獻比例越多。	同意。
臺灣港務股份有限公司		

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）

期中報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-106-H2DB002a

計畫名稱：船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

審查日期：106 年 07 月 18 日

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
1. 依據期中報告(P.5-2)未來工作第 3 點，請說明各港後續係選用 AERMOD 模式或 CMAQ 模式進行解析，及選用模式之考量。	感謝委員指導；考量 AERMOD 屬於局部區域性質模式，無法模擬臺灣全島之影響狀況，故解析五大主要港口相關活動之排放量，均以 CMAQ 模式模擬解析之。	同意。
臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司		
1. 船舶於港區內排放量是否計算在內？船舶減速、燃油切換、主副引擎切換是否考慮？	感謝委員指導；排放量計算係採用 AIS 記錄資料，故港區內船舶依舊會計算在內。	請補充船舶減速、燃油切換、主副引擎切換是否考慮。
2. 車輛機具未來如何推估污染排放量？如何確保資料完整性？	感謝委員指導；排放量預計採用港區哨口車輛進出記錄推估。	同意。

附錄二 期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）

期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-106-H2DB002a

計畫名稱：船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

審查日期：106 年 11 月 29 日

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
何彌亮 委員		
1. 臺灣目前各港在進入港區前，是否有減速降載之規範，其與 AIS 系統之結合運用為何，如何導入 AERMOD 模式。	感謝委員指導；排放量計算依據船舶的負載情形而有所增減，而負載與當時 AIS 所記錄之船速有關。	同意。
2. 主引擎及輔助引擎切換運作調度，影響各船舶排放源推估量如何釐清運用。	感謝委員指導；船舶於港外航行時，主要動力為主引擎；於港內航行時則依據 AIS 資訊中之船舶航行狀態，搭配主引擎之低負載係數，及輔助引擎之負載係數計算排放量。	同意。
3. 本研究執行所採行之混合層高度計算與環保署空品模式運用其混合層高度計算，對空氣品質模式推估結果，其敏感性之差異為何？	感謝委員指導；本研究使用 2015 年空氣品質模式支援中心所提供之混合層高度，與地面測站所推估之混合層做比較，其相關結果如 4.2 至 4.5 小節所述。	同意。
4. 船舶排放量推估，其無資料或缺資料預設值如何引用？	感謝委員指導；排放量推估中，若勞氏資料庫無此船舶之引擎功率等資料時，則依據該船之船重、船長，對應缺值預設表中相對應之船舶參數使用。	同意。
5. 港域活動之空氣污染對鄰近環境衝擊最大之時空點，是否進一步瞭解及說明。	感謝委員指導；各港區對鄰近區域之空氣品質影響分別詳述於報告 505 節五大港口之影響內容。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）

期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-106-H2DB002a

計畫名稱：船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

審查日期：106 年 11 月 29 日

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
6.船舶空氣污染排放是一種高溫移動性之排放，其排放源輸入之相關參數為何？	感謝委員指導；排放源輸入相關參數為排放源之座標與污染物之排放量、排放速度及排放溫度，及煙囪高度與內徑等參數。	同意。
李崇垓 委員		
1.P.4-47 中之 2013 年 4 月與 10 月之 CMAQ 模式模擬結果出現 O ₃ 之貢獻比例分別為-11.13% ~ 0.39% 與-6.53% ~ 1.45%之「負值」，請補充說明其意義。	感謝委員指導；貢獻比例負值之產生為臭氧被消耗之結果，即 NO 滴定效應所引起。	同意。
2.混合層高度影響污染物的擴散條件，至關重要。本研究之混合層高度係以計算之推估值輸入，宜取得部分時段之實際探空資料來進行平行比對，以檢核推估值之誤差範圍，提升模擬結果之可信度。	感謝委員指導；本研究使用 2015 年空氣品質模式支援中心所提供之混合層高度，與地面測站所推估之混合層做比較，其相關結果如 4.2 至 4.5 小節所述。	同意。
3.P.4-52 中也同樣出現 O ₃ 之排放量貢獻比例介於-31.60% ~ 5.58%與-22.37%~8.08%之「負值」，此數據意謂船舶之污染排放(就 O ₃ 而言)反而削減了排放總量，請補充說明其意義。	感謝委員指導；貢獻比例負值之產生為臭氧被消耗之結果，即 NO 滴定效應所引起。	同意。
鍾英鳳 委員		
1.P.4-6 絕對差異百分比(A-B/B)，此	感謝委員指導；絕對差異百分	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）

期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-106-H2DB002a

計畫名稱：船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

審查日期：106 年 11 月 29 日

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
公式是否正確，請檢視。	比公式已於報告中修正為(A-B)/B。	
2.P.4-9 各站混合層高度...發生在 12 月，是否應為混合層最大高度。	感謝委員指導；已於報告中修正為”各站混合層最大高度”。	同意。
3.圖 4.15 船長 350m 之油輪→是否應改為 350m 之船舶。	感謝委員指導；謹依委員意見修改。	同意。
4.P.4-29 中二種推算法顯示值差距頗大，最高值及次高值發生時間不一致，其原因為何？	感謝委員指導；由於 AIS 接收訊號有時不穩定，當有區域船舶航行軌跡不完整時，則使用排放量基準，依區域比例回推該區域之船舶排放量。	同意。
5.CMAQ 臺灣五大港口之影響中所推估之數值，與實際值如何判斷或推斷推測是正確的。	感謝委員指導；模式模擬結果須符合模式規範之性能評估。本研究之模式模擬性能評估結果詳敘於 5.3 節之內容。	同意。
6.本報告針對船舶航行對沿岸及港域空污推測模式之建立，具有參考價值，但如何真正使用來降低船舶的空污對某區之影響以此模式如何應用，可繼續研究以作為未來改善之依據。	感謝委員指導；建議納入未來之研究內容。	同意。
李忠潘 委員		
1.CMAQ 模擬基本案例，代表夏季西南季風的月份，請改為 7 月，冬天東北季風的月份改為 1 月，因為 4 月及 10 月未必已經吹西南風及	感謝委員指導；本年度先以分析 4 月及 10 月之結果，後續研究建議進行全年 12 個月之分析。	

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）

期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-106-H2DB002a

計畫名稱：船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

審查日期：106 年 11 月 29 日

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
東北風。		
2.冬、夏季主要污染源不同，應該各自呈現，將兩者用平均表示沒有意義。	感謝委員指導；建議納入後續研究進行全年十二個月之分析後將可討論每月之季節變化。	同意。
柯正龍 委員		
1.主引擎排放係數，本研究列舉以不同年份區分為 0-2 期引擎(tier0, 2000 前； tier1, 2000-2010； tier2, 2011-2015)，世界各國近年均非常重視空氣品質的改善，以臺灣機車為例，排放規格日趨嚴謹，請問船舶引擎 2015 年後有無新的排放係數規定？如有，建議請補充。	感謝委員指導；目前僅有取得 2015 年之前的船舶引擎排放係數，故以最新之排放係數代表最近之引擎係數。	同意。
2.臺中港區近期因空氣污染相當嚴重，後續如有相關研究，建議增列臺中市環保局在港區梧棲或龍井之監測資訊。	感謝委員指導；謹依委員建議於未來研究計畫將納入臺中市環保局於港區附近之空氣品質監測資訊。	同意。
3.本研究中英文摘要格式，請依本所出版品規定撰寫。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。
4.中文摘要為本研究精華所在，建議其文字說明可在精簡，減少不必要之連接語句。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。
5.英文摘要、P1-1、P3-34 化學式之阿拉伯數字，應以下標方式表示，請修正。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）

期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-106-H2DB002a

計畫名稱：船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

審查日期：106年11月29日

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
6.附錄二工作會議紀錄，建議除簽到頁外，主要結論應以 WORD 檔案方式呈現，避免模糊不清晰。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。
7.第 2 次工作會議紀錄，內容誤植為期中報告審查會議紀錄，請修正。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。
8.圖表名稱後含參考文獻資訊，建議將文獻資訊移至圖表最下一行，改依本所出版品格式要求，以「資料來源：……」呈現。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。
9.本所出版品規定表格內容之字型大小以 12 為主，建議請儘量參照應用。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。
10.U.S.EPA(P.2-2)、美國環保署(EPA)(P.3-4)、USEPA (P.3-5,圖 3.2..等)，應均為同一單位美國環保署，建議應予統一。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。
11.目錄與第四章內之圖 4.27 至圖 4.30，名稱有異，請統一。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。
12.表 3-3 及表 4-1 建議 EPA 改為環保署。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。
13.表 4-1 第 1 欄，建議加列「觀測地點」，表 4-2 至表 4-5 第 1 欄，建議加列「日期(年/月/日)」。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。
14.建議圖 1.1 應以彩色列印，另圖 3.8、圖 4.1(內容相同)不夠清晰，建議改善。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）

期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-106-H2DB002a

計畫名稱：船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

審查日期：106 年 11 月 29 日

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
15.P.4.2 倒數第 4 行，沙鹿及前金，應修正為沙鹿及線西。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。
16.第四章數及排放量，單位誤植為「頓」，請修正為「噸」。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。
17.參考文獻 42 及 43 有誤，請修正。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。
18.專有名詞對照表，部分英文名稱缺對應之中文名稱，請補充。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。
蔡立宏 委員		
1.編撰格式請依本所規定編修。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。
2.結論與建議章中，請再增加研究目的及效益及應用情形。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。
3.是否考量船舶進港船速減小，變換引擎及用油的影響。	感謝委員指導；排放量推估與船舶當時的負載有關；推估中使用主引擎之用油為 HFO(含硫量 2.7%)之重油，輔助引擎及鍋爐之用油為 MDO(含硫量 0.5%)之船用柴油。	同意。
4.港區空污是否考量工廠排放。	感謝委員指導；於 AERMOD 之即時推估中未包含工廠排放，但是在 CMAQ 模擬分析中則包含全部排放源，如工廠等固定源，車輛等移動源及其他面源如河川揚塵等。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）

期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-106-H2DB002a

計畫名稱：船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

審查日期：106 年 11 月 29 日

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
5.船舶排放量計算式中，MS：最大船速為 AIS 實測值或勞氏資料。	感謝委員指導；船舶排放量計算公式中，MS 最大船速引用勞氏資料。	同意。
6.目前僅依據 AIS 掌握的船舶做推估，其他監控不到的如何處理。	感謝委員指導；AIS 未監測船舶尚未納入分析，其主要為小型漁船，依能源局之農業用油量推估其影響小於 5%。	同意。
黃茂信 委員		
1.報告格式中如中文摘要及相關內容，請依中心報告格式修正。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。
2.第五章應加入「成果效益與應用情形」，以利後續所裡業務推廣。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。
3.請加強說明如何應用 LA 港之排放公式計算本船舶空污量，如運用勞氏方法或資料庫方法。	感謝委員指導；將於報告中補充說明。	同意。
4.AIS 排放量計算模組可否提供本中心，以利計算全年份，非 4 月及 10 月份。	感謝委員指導；AERMOD 即時推估系統已經建置與轉移至所。而海域船舶排放量計算方法尚未模組化，尤其是船舶軌跡計算法，未來計畫將進行全年十二個月之分析並討論季節變化。	同意。
臺灣港務股份有限公司(臺中港務分公司)		
1.本研究所建立之相關模式後續如何有效利用，即時預測資料是否	感謝委員指導；AERMOD 即時推估系統已經建置與轉移至港	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）

期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-106-H2DB002a

計畫名稱：船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

審查日期：106 年 11 月 29 日

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
公開及模式啟動時機點？	灣技術究中心。	
交通部運輸研究所港灣技術研究中心(蔣副研究員敏玲)		
1.第一章僅著重 AERMOD 之描述，請增加 CMAQ 部份；並分小節簡述明研究動機、研究目的、研究內容與方法。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。
2.第二章文獻回顧，請將第三章部份為文獻回顧之內容移至此本章，並增加空氣品質模式之整體回顧，將可更為完整。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。
3.建議將第四章拆成兩章，其中一章說明 AERMOD 模式之研究成果，另一章說明 CMAQ 模式之研究成果，避免混淆。其中 AERMOD 模式之研究成果請增加空污推估數據之結果探討，而非僅有混合層之比較。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。
4.第五章結論與建議，應依研究成果有具體之結論，例如量化之推估結果及合理性之說明，而非完成什麼工作項目；另請增加「成果效益」與「應用情形」小節。	感謝委員指導；謹依委員意見辦理。	同意。

附錄三 期末報告簡報資料

船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立

期末簡報

吳義林、賴信志、蔡德明

財團法人成大研究發展基金會

中華民國106年11月29日

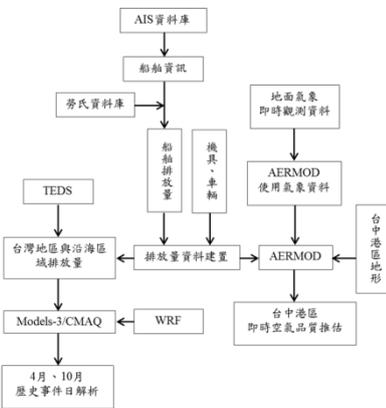
1

計畫目的

- 預計建置完成之台中港AERMOD模式模擬平台，結合氣象觀測資料與港灣技術研究所之AIS即時船隻相關資料，建置台中港區之即時空氣品質推估系統。
- 預計以CMAQ模式同時模擬原生性與衍生性污染物的影響，以TEDS建置之台灣地區排放量為基礎，再以AIS搭配勞氏資料庫建置沿海區域之船舶排放量，以分析船舶排放空氣污染物對台灣地區空氣品質之影響。

2

計畫執行流程



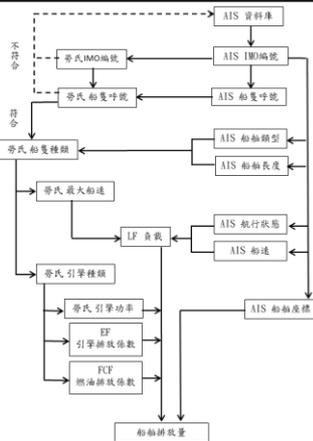
3

目前已完成

- 臺中港區地形建置。
- 臺中港推估系統
- 臺灣周遭海域AIS網格排放量建置。
- CMAQ四月及十月基本案例模擬。
- 臺灣五大港口影響。
- 臺灣周遭海域船舶排放影響。

4

船舶排放量推估流程



5

AIS資料欄位

使用資料欄位：

IMO編號、呼號、航行狀態、航速、經緯度、船舶類型、船長及紀錄時間等欄位。

IMO_Number	Call_Sign	Navigation_Status	SOG	Longitude	Latitude	Ship_and_Cargo_Type	Reference_Position_A	Reference_Position_B	Record_Time
967097883825	15	0	120.226	22.55773	33	70	12	2016/11/11 17:00	
129444289207	0	0	120.2785	22.61802	50	0	0	2016/11/11 17:00	
90143280204	0	0.1	120.2754	22.50255	50	160	32	2016/11/11 17:00	
91508688993	0	0.9	120.2313	22.62249	70	110	23	2016/11/11 17:00	
83012339495	3	0	120.3263	22.57044	72	63	22	2016/11/11 17:00	
14061883206	0	0	120.2814	22.61810	70	62	18	2016/11/11 17:00	
0881140	0	0	120.3083	22.63439	70	60	15	2016/11/11 17:00	
91058050761	0	0	120.2622	22.57394	81	85	24	2016/11/11 17:00	
91484439406	0	3.6	120.3174	22.55233	80	145	35	2016/11/11 17:00	
915517748274	0	19.2	120.0259	22.71207	71	155	20	2016/11/11 17:00	
082312	0	0	121	91	90	0	0	2016/11/11 17:00	
940628683464	3	0	120.3056	22.54621	52	3	29	2016/11/11 17:00	
83012339495	3	0	120.3263	22.57045	72	63	22	2016/11/11 17:00	
14	4	0	120.3162	22.56702	90	0	0	2016/11/11 17:00	
915517748274	0	19.2	120.0251	22.71236	71	155	20	2016/11/11 17:00	
939960979487	1	0	120.2278	22.63886	70	130	18	2016/11/11 17:00	
82338721980	8	8	120.2652	22.61666	90	74	0	2016/11/11 17:00	
967097883825	15	0	120.226	22.55765	33	70	12	2016/11/11 17:00	
815048883247	0	0	120.2465	22.67987	80	60	21	2016/11/11 17:00	
92081748181	0	12.8	120.1482	22.64223	70	160	31	2016/11/11 17:00	

Field	Description
IMO_Number	(IMO Number) 國際海事組織編號
Call_Sign	(Call Sign) 呼號
Navigation_Status	(Navigation status) 航行狀態
SOG	(Speed Over Ground, SOG) 航速
Longitude	經度
Latitude	緯度
Ship_and_Cargo_Type	(Type of ship) 船舶類型
Reference_Position_A	A*B = 船長
Reference_Position_B	
Record_Time	此筆記錄接收時間

6

船舶排放量計算

$$E = \text{Energy} \times EF \times FCF$$

其中：
 E：引擎的排放量(g)
 Energy：所需要的能量(kW·h)
 EF：排放係數(g/kW·h)
 FCF：(BFO)燃料校正係數

$$\text{Energy} = \text{MCR} \times \text{LF} \times \text{Act}$$

其中：
 MCR：最大引擎動力(kW)
 LF：負載係數
 Act：活動量(hr)

$$\text{LF} = \left(\frac{\text{AS}}{\text{MS}} \right)^3$$

負載 20% ~ 80%：
 其中：
 AS：實際船速(節)
 MS：最大船速(節)

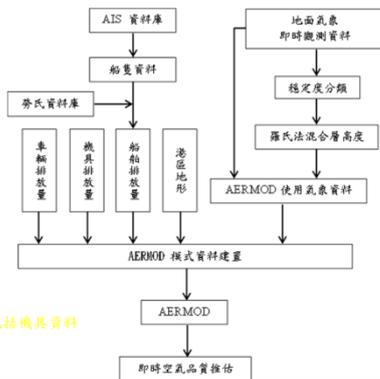
排放量計算方法
 同洛杉磯港研究

7

即時推估系統

8

即時推估執行流程

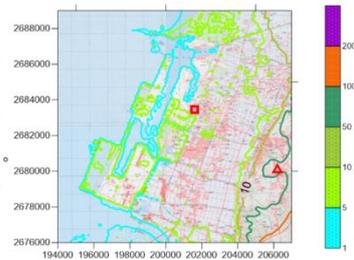


目前未包括機具資料

9

臺中港區地形等值圖

- 臺中港務局2015年臺中港區UAV攝影高程(網格間距 2m)。
- 缺值空白部分以空氣品質支援中心提供之 terr200 地形資料補足。
- 紅色三角形為環保署沙鹿測站；紅色矩形則為氣象局梧棲站。



地形高程普遍低於10公尺，最右側靠近大肚山區域最大高度約310公尺，模擬範圍內最大高度則為283.32公尺，區域地形高程往東及東南方向增加。

10

港區車輛資料取得

- 港務局自動化門哨車型記錄資料。
- 整點取得車次資料。
- 資料下載網址
<http://163.29.73.35/Taichung/getcarquantity.csv>

日期	車型	進出次數
2017-10-02	載種貨車	5294
2017-10-02	平板車	4271
2017-10-02	散雜貨車	2403
2017-10-02	貨櫃車頭	408
2017-10-02	小客車	39
2017-10-02	其他車種	13

下載資料格式：
 日期,港口,載種貨車,小客車,貨櫃車頭,其他車種,平板車,散雜貨車
 2017/10/24 12:00-13:00,TC,221,3,25,1,289,232
 2017/10/24 12:00-13:00,KS,764,63,54,64,552,92

11

羅氏法混合層高度

Nozaki等(1973)提出利用地面氣象資料估算混合層高度

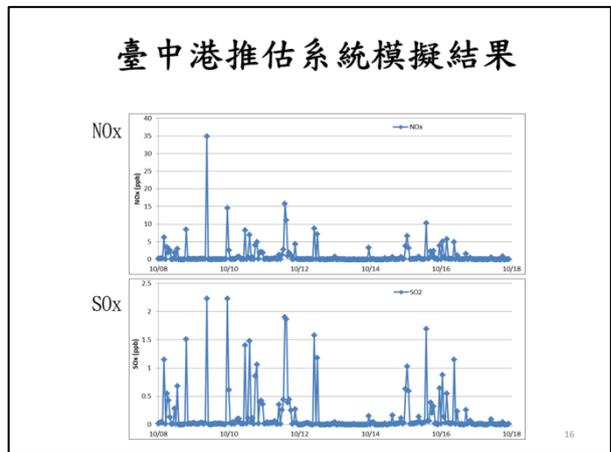
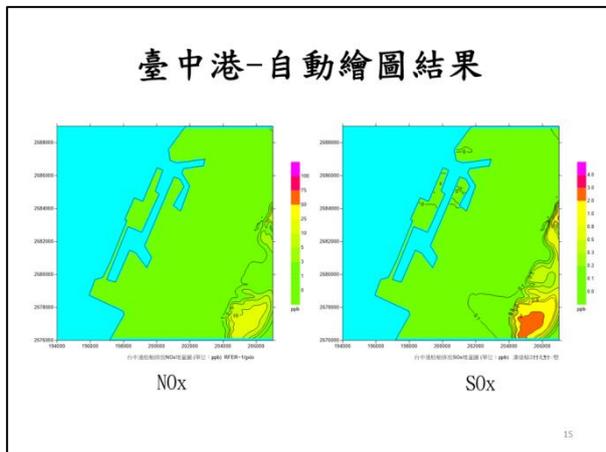
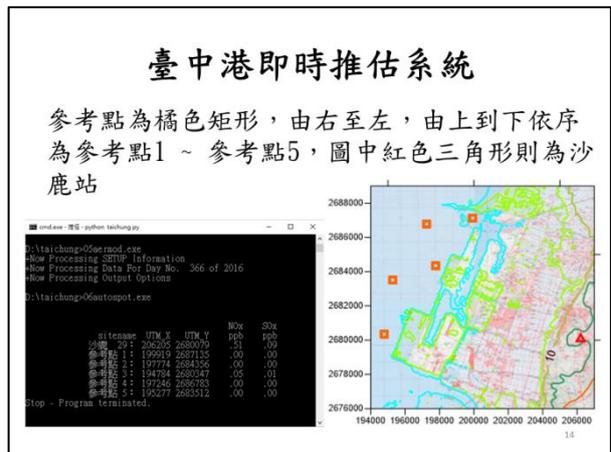
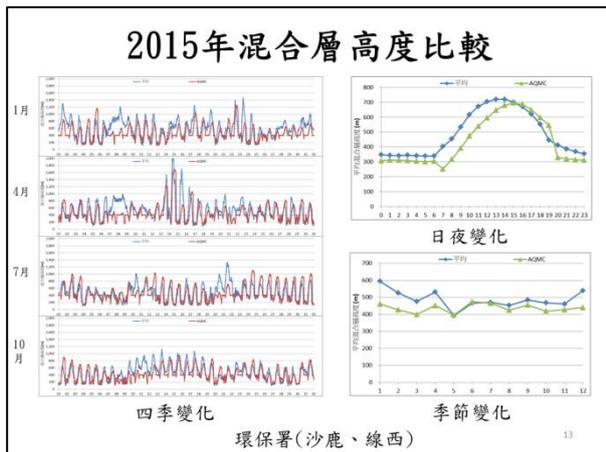
$$L = \frac{121}{6} (6 - P)(T - T_d) + \frac{0.169P(U_z + 0.257)}{12f \times \ln(Z/Z_0)}$$



- L：混合層高度(m)
- T：溫度(°C)
- T_d：露點溫度(°C)
- P：大氣穩定度，依級別A到F分別為1到6
- U_z：高度為z時之平均風速(m/s)
- Z：觀測點高度(m)
- Z₀：地表粗糙度(m)
- f：地轉角參數，f=2Ωsinφ，φ為觀測點緯度(degree)，Ω為地轉角速度(rad/s)

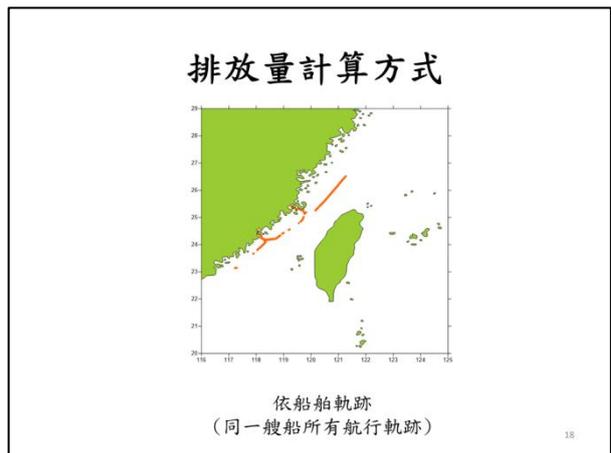
即時資料下載網址
<http://opendata.epa.gov.tw/>

12



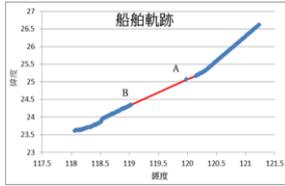
臺灣周遭海域船舶 排放量處理

17



軌跡缺值處理方式

- 圖中A點為第一筆資料，B點為第二筆資料，則B點之活動時間為 (B - A)，亦即中斷之軌跡線排放量會累積計算至B點，以減低中斷軌跡線之排放影響。



$$E = \text{Energy} \times \text{EF} \times \text{FCF}$$

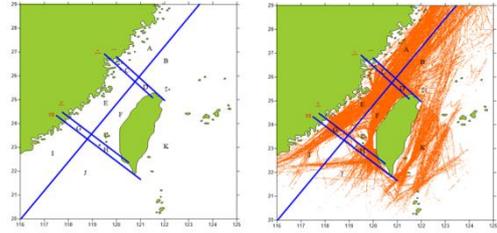
其中：
E：引擎的排放量(g)
Energy：所消費的能量(kWh)
EF：排放係數(g/kWh)
FCF：(HF0)燃料校正係數

$$\text{Energy} = \text{MCR} \times \text{LF} \times \text{Act}$$

其中：
MCR：最大引擎動力(kW)
LF：負載係數
Act：活動量(hr)

19

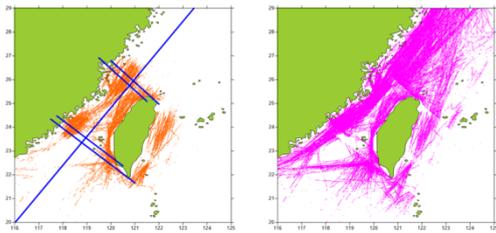
船舶排放量推算基準



- 軌跡基準使用：
東北區域：2017/7/20 - 2017/7/25
西南區域：2016/10/27 - 2016/10/28
其他區域：4天平均

20

船舶排放量推算



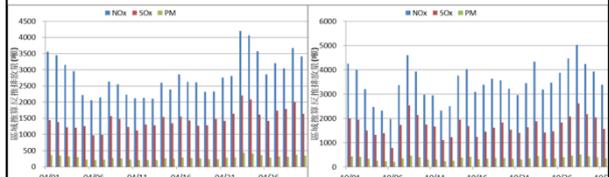
符合篩選船舶軌跡
(IMO + MMSI)

比例推算船舶軌跡

21

臺灣周遭海域 船舶排放量

	NOx(噸)	SOx(噸)	PM(噸)
2013年4月	84651	43917	8599
2013年10月	107812	52359	10952



2013年4月

2013年10月

22

CMAQ 案例分析

23

模式模擬採用的設定基準

	Domain 1	Domain 2	Domain 3	Domain 4
Vertical Layer	44	44	44	44
Grid Size	91 × 91	166 × 169	223 × 223	223 × 223
FDDA	Yes	Yes	No	No
Land use	24	24	24	24
PBL	MRF	MRF	MRF	MRF
Resolution	81 km	27 km	9 km	3 km
Vertical Layer	6	15	15	15
Grid Size	70 × 80	70 × 80	70 × 80	90 × 135
Aerosol Mod	Aero6	Aero6	Aero6	Aero6
Chemical	CB05	CB05	CB05	CB05
MCIP LandUse	20		20	20



24

Models-3/CMAQ模式模擬性能評估規範

環保署2015年公告之模式模擬性能評估規範

- 模擬PM₁₀或PM_{2.5}時，需同時比較PM₁₀或PM_{2.5}、SO₂及NO₂濃度之模擬結果與觀測值
- 模擬臭氧時，需同時比較臭氧、NO₂及NMHC濃度之模擬結果與觀測值。

項目	MFB	MFE	R值
微粒			
PM _{2.5} , PM ₁₀	±35%	<55%	0.50
SO ₂ , NO ₂	±65%	<85%	0.45

項目	MB	MNB	MNE	R值
臭氧				
O ₃	±10%	±15%	35%	0.45
NO ₂ , NMHC	-	-40%~50%	80%	0.35

- MFB：配對值分數偏差
- MFE：配對值絕對分數偏差
- R：相關係數
- MB：非配對峰值常化偏差
- MNB：配對值常化偏差
- MNE：配對值絕對常化誤差

25

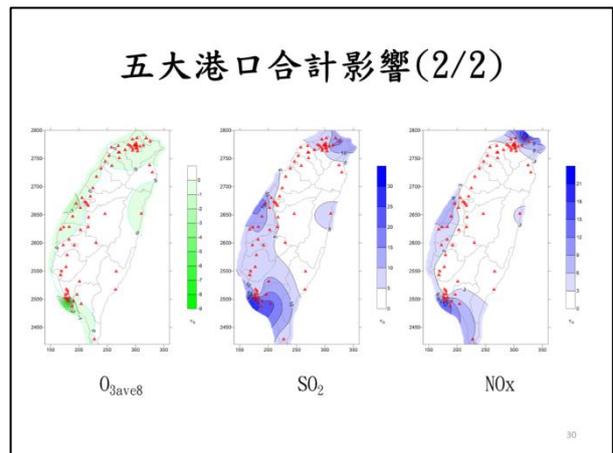
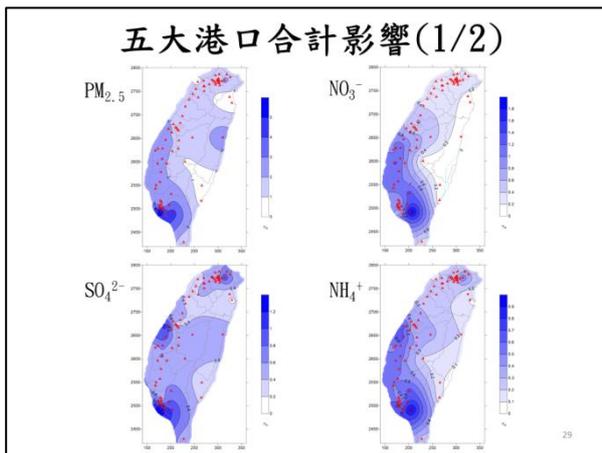
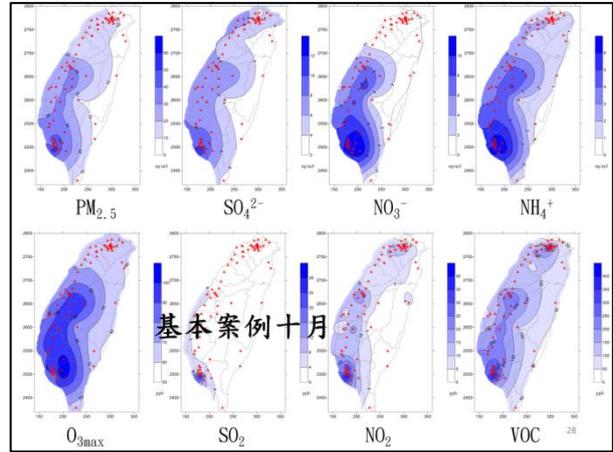
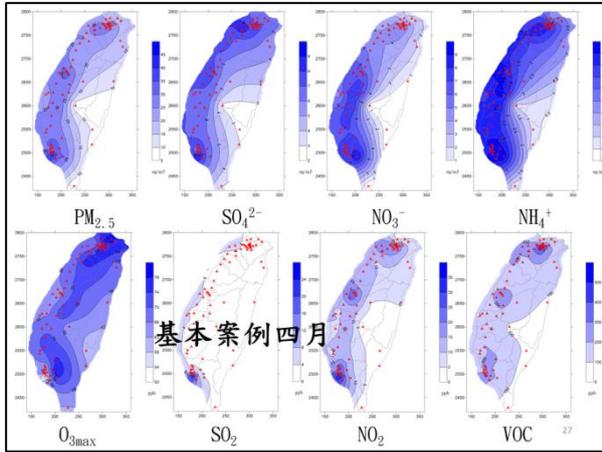
CMAQ模式模擬性能評估結果

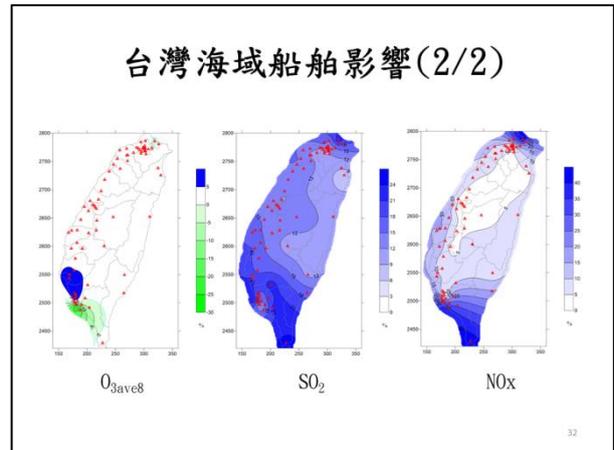
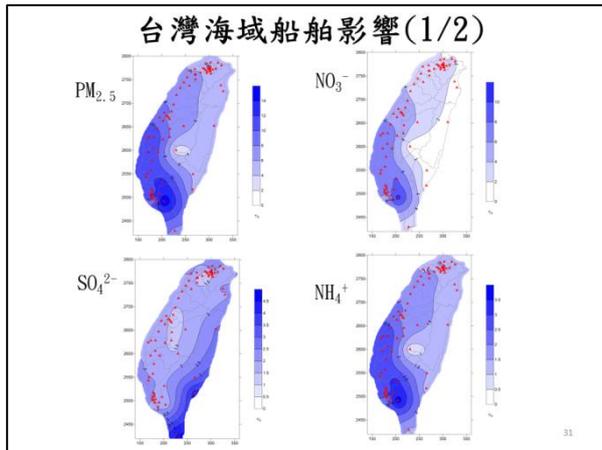
PM	MFB	符合站數比	MFE	符合站數比	R
PM2.5	-1.3%	84.9%	38.1%	93.2%	0.683
SO2	-6.8%	93.2%	59.5%	87.7%	0.577
NO2	-9.9%	84.9%	43.8%	94.5%	0.616

O ₃	MNB	符合站數比	MNE	符合站數比	R
O3	9.4%	59.2%	24.3%	95.8%	0.553
NO2	2.6%	76.7%	57.8%	93.2%	0.532
NMHC	36.5%	40.5%	69.9%	45.9%	0.408

	MB	R	R符合比例
O3	8.5%	0.646	94.4%

26





結論(1/2)

- 完成建置台中港區之即時空氣品質推估系統：包括AERMOD模式模擬平台(地形與土地利用型態、氣象模組與擴散模組)、以AIS即時資料推估船舶排放量及以港區哨口即時車輛進出資料推估車輛排放量。
- 即時推估系統之輸出資訊檔案除了參考點濃度，亦即時輸出NO_x及SO_x之等濃度圖。
- 以船舶軌跡法結合AIS資料與勞氏資料庫，建置臺灣附近海域船舶之排放量。2013年4月與10月海域船舶之排放量，PM分別為8599與10952噸，NO_x分別為84651與107812噸，SO_x分別為43917與52359噸。

33

結論(2/2)

- 五大港口排放影響比較：
 1. 2013年4月細懸浮微粒影響最高為小港測站之5.88%，臭氧8小時平均濃度影響最高為橋頭測站及楠梓測站之0.39%，硫氧化物影響最高為前鎮及復興測站之30.1%，氮氧化物影響最高則為小港測站之19.4%。
 2. 2013年10月細懸浮微粒影響最高為前鎮及復興測站之5.24%，臭氧8小時平均濃度影響最高為仁武測站之1.45%，硫氧化物影響最高為前鎮及復興測站之33.5%，氮氧化物影響最高則為萬里測站之25.1%。
- 臺灣周遭海域船舶排放影響：
 1. 2013年4月細懸浮微粒影響最高為麥寮測站之14.4%，臭氧8小時平均濃度影響最高為台南測站之5.58%，硫氧化物影響最高為恆春測站之25.0%，氮氧化物影響最高則為恆春測站之52.9%。
 2. 2013年10月細懸浮微粒影響最高為潮州測站之17.7%，臭氧8小時平均濃度影響最高為楠梓測站之8.08%，硫氧化物影響最高為萬里測站之25.4%，氮氧化物影響最高則為萬里測站之53.5%。

34

建議

- 提升AIS接收範圍及可靠度，減少船舶軌跡缺值問題，增加海上船舶排放量計算之準確度。
- 推估系統使用上，建議提供一穩定之網路環境(例如獨立之有線固定IP)，並於獨立主機上執行。
- 進行全年之影響分析。

35

THANKS FOR YOUR ATTENTION

36

附錄四 工作會議記錄

第 1 次工作會議記錄

交通部運輸研究所
港灣技術研究中心

工作會議記錄

編號：001

採購案編號：MOTC-IOT-106-H2DB002a

採購案名稱：船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立

時間：民國 106 年 4 月 7 日(五)下午 2 時 0 分

地點：本所港研中心 2 樓會議室

出席者：本所港研中心 邱永芳 蔣敏玲 黃茂信

財團法人成大研究發展基金會

吳美林 楊榮元

主席：邱永芳

記錄：蔣敏玲

討論議題

一、工作進度說明：

1. 臺中港區地形建置。
2. 羅氏法氣象條件建置。
3. AIS 船舶排放量建置。
4. TEDS 9 資料彙整。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：(略)

會議結論：

1. 請盡快完成 AERMOD 模式自動化圖形化產出作業。
2. 本所港研中心將協調臺灣港務分公司勞安處是否能提供即時進出港車輛資料，以提升模式之推估結果。

第 2 次工作會議紀錄

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：「MOTC-IOT-106-H2DB002a 船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立」工作會議紀錄

二、時間：民國 106 年 7 月 5 日(星期三)下午 2:30

三、地點：本中心 2 樓會議室

四、主席：邱永芳主任 記錄：蔣敏玲

五、出席：

單位	簽名
本所港研中心	邱永芳 蔣敏玲
合作研究單位： 財團法人成大研究發展基金會	吳美玲 楊榮元

六、討論議題

(一)工作進度說明：

1. 臺中港即時推估系統。
2. WRF 氣象資料建置。
3. 三維網格模式 CMAQ 模擬建置。
4. 三維網格模式 CMAQ 案例分析。

(二)上次工作會議結論處理情形說明。

(三)針對目前研究方向與執行情形進行討論：(略)

七、會議結論：

1. 申請國際商港港區自動化門哨系統帳號密碼後，請將即時車輛資料納入高雄港及臺中港之 AERMOD 模式，以提升模式之推估結果。
2. 本所港研中心將協調臺灣港務分公司是否能提供即時機具運作資料，以提升模式之推估精度。

八、散會：(下午 3 時 30 分)

第 3 次工作會議

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

- 一、會議名稱：「MOTC-IOT-106-H2DB002a 船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立」工作會議紀錄
- 二、時間：民國 106 年 10 月 27 日(星期五)下午 2:30
- 三、地點：本中心 2 樓會議室
- 四、主席：邱永芳主任 記錄：蔣敏玲
- 五、出席：

單位	簽名
本所港研中心	邱永芳 蔣敏玲
合作研究單位： 財團法人成大研究發展基金會	吳志林 楊華元

六、討論議題

(一)工作進度說明：

1. 臺中港即時推估系統。
2. CMAQ 四月及十月基本案例模擬。
3. 臺灣五大港口影響。
4. 臺灣周遭海域船舶排放影響。

(二)上次工作會議結論處理情形說明。

(三)針對目前研究方向與執行情形進行討論：(略)

七、會議結論：

1. 高雄港及臺中港之自動化門哨資料已可自動下載，請儘速完成及時車輛資料納入 AERMOD 模式，以提升模式之推估結果。
2. 預計 11 月 14 日下午於成功大學邀集相關單位辦理教育訓練。

八、散會：(下午 4 時 15 分)

附錄五 教育訓練簡報

船舶航行對沿岸及港域空污預測模式之建立

教育訓練議程

目的：瞭解空氣品質模式運作程序及應用範圍

目標：熟悉空品推估系統之操作

日期：2017年11月14日 星期二

時間：14:00 ~ 17:00

地點：成大環工系一樓 47102 第五會議室

時間	議程	備註
14：00～14：40	空品模式介紹	主講人：吳義林教授
14：40～15：30	AERMOD 推估系統介紹	主講人：楊榮元先生
15：30～16：00	電腦展示	主講人：楊榮元先生
16：00～16：10	休息	
16：10～16：40	CMAQ 介紹	主講人：吳義林教授
16：40～17：00	問題與討論	

Air Quality Models

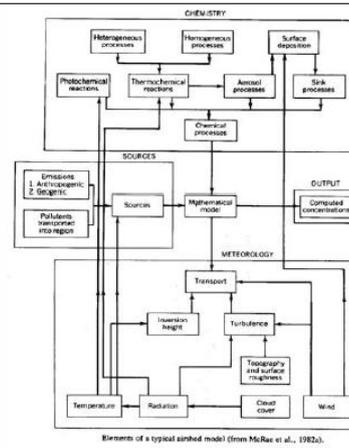
Dispersion models
Receptor model

Outlines

- Introduction
- Dispersion models
- Receptor model

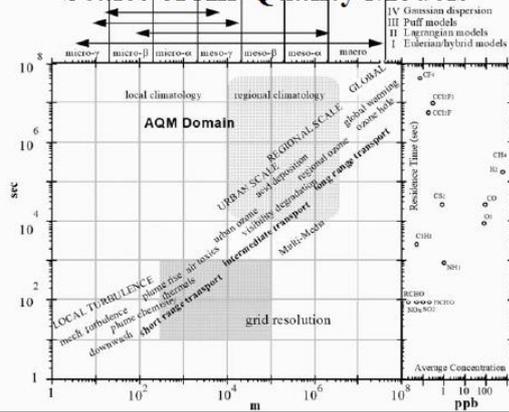
Types of Air Quality Models

- Dispersion Models
 - A. Gaussian plume model
 - B. Box model
 - C. Lagrangian model
 - D. Three-dimensional Grid model
- Receptor Models
 - A. Principle Component Analysis
 - B. Chemical Mass Balance
 - C. Positive Matrix Factorization

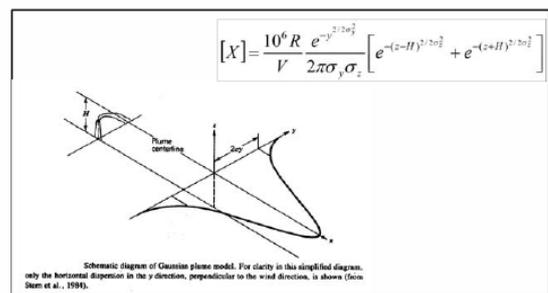


Elements of a typical airshed model (from McRae et al., 1982a).

Scales of Air Quality Models



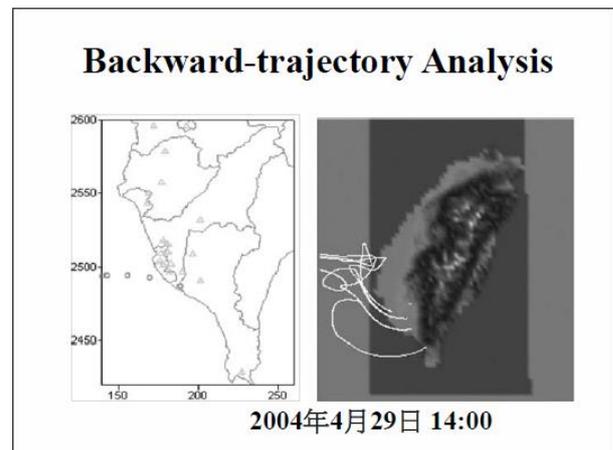
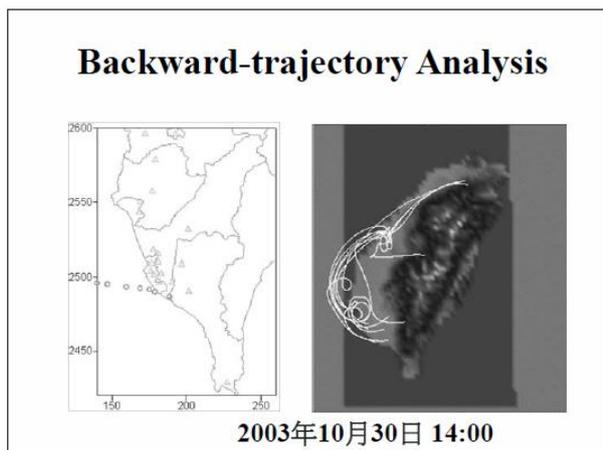
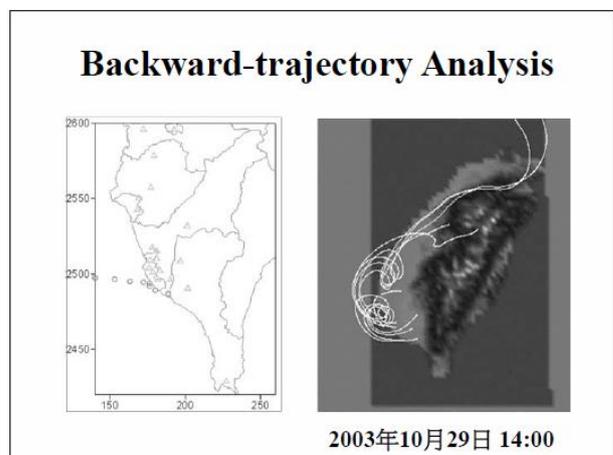
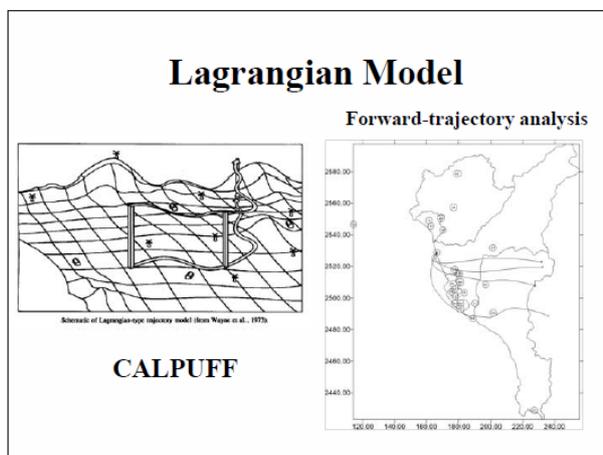
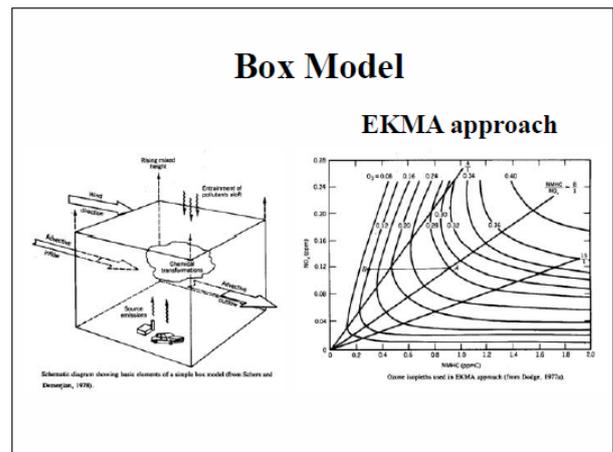
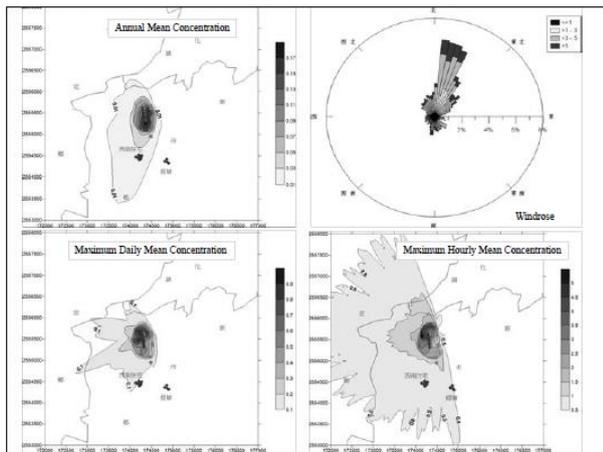
Gaussian Plume Model



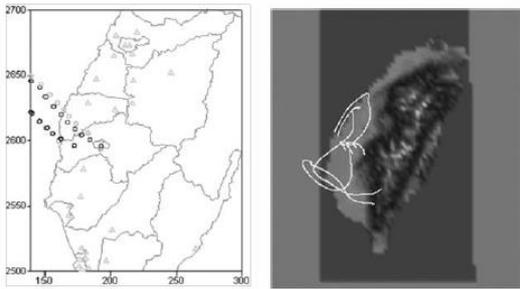
Schematic diagram of Gaussian plume model. For clarity in this simplified diagram, only the horizontal dispersion in the y direction, perpendicular to the wind direction, is shown (from Sun et al., 1995).

ISTST3

AERMOD

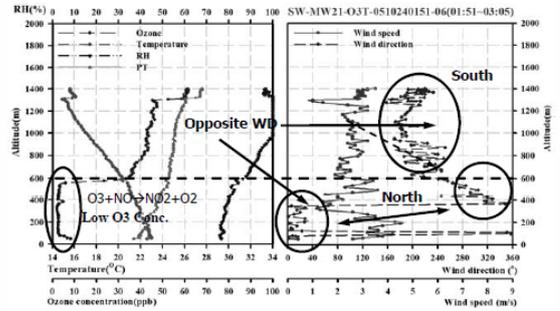


Backward-trajectory Analysis

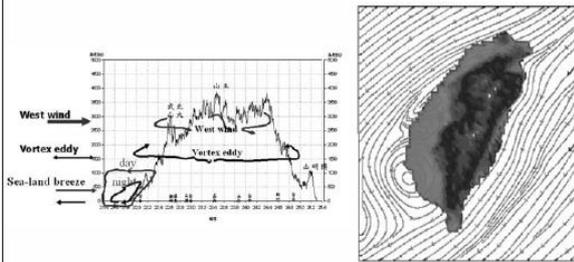


2003年10月30日 14:00

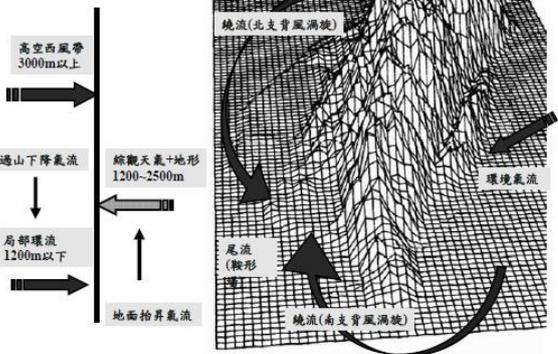
Variations of Wind Direction with Elevations



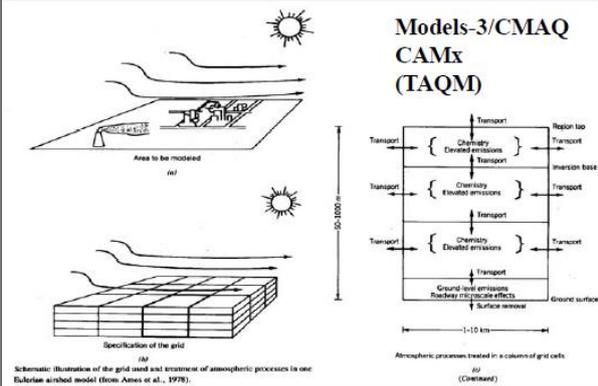
Conceptual Model for Wind Field



南部地區污染事件時之氣流場示意圖



Three-dimensional Grid Model



Receptor Model

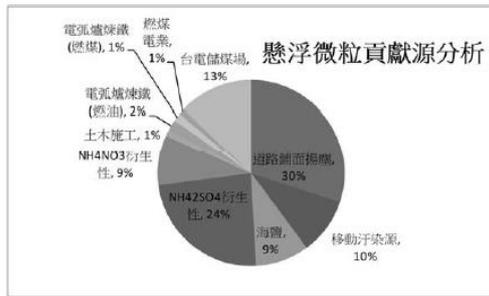
The total concentration at a receptor site is the sum of the contributions from all sources. For example, $F_{e_{total}} = F_{e_{soil}} + F_{e_{auto}} + F_{e_{coal}} + \dots$

In general, the concentration of element i at the receptor site can be expressed as:

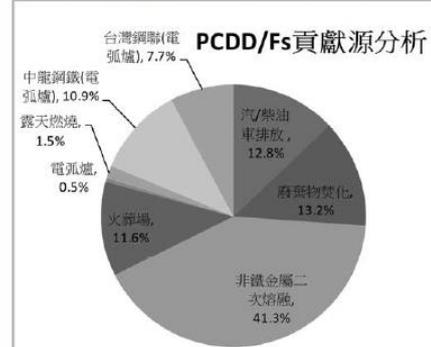
$$C_i = \sum_{j=1}^m f_{ij} a_{ij} s_j \quad i = 1, 2, \dots$$

where C_i is the concentration of element i , a_{ij} is the fraction of element i from source j , f_{ij} is the fraction representing any modification to the source composition a_{ij} due to atmospheric processes that occur between sources and receptor, and s_j is the contribution from sources j at the receptor.

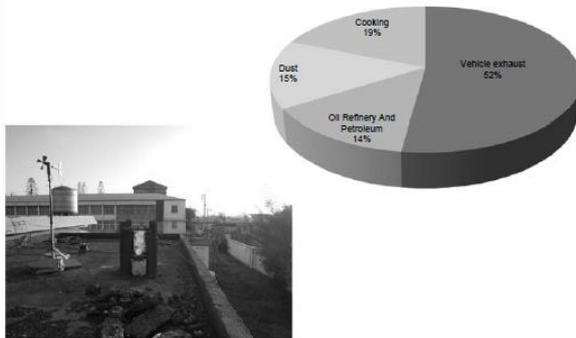
Source Apportionments for PM10



Source Apportionments for Dioxins



Source Apportionments for Particulate PAHs

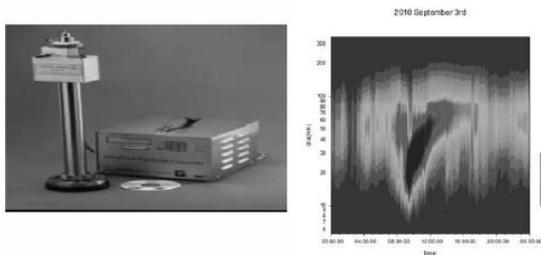


受體模式:PMF

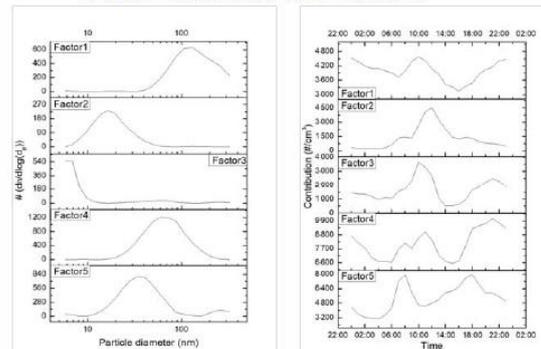
- 由於CMB模式分析取決於大氣周界濃度及污染源組成資料皆已知的情況下，方能進行解析。
- 在污染源的組成資料缺乏的情況下，則可採用PMF進行模擬。
- 污染物樣品數需要100個以上，且分析物種數量達20個以上。

奈米氣膠粒徑濃度分布連續監測儀SMPS+C

由帶電微粒的電移動度，以脈衝篩分儀(DMA)連續改變電壓使微粒依粒徑大小而被篩分，再通過光譜散射技術之計數器(CPC)量測微粒的數目粒徑分佈，可量測5~900nm(奈米)區間的超細微粒分佈圖譜，提供各種不同細微粒粒徑之微粒數量分佈。

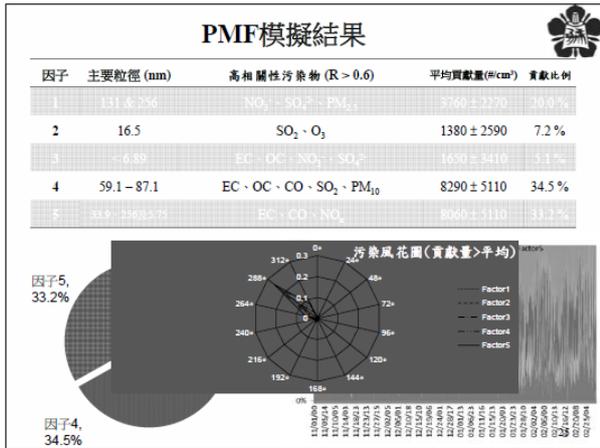


PMF Results for SMPS



Normalized profile for number size distribution of each factor

Diurnal Contributions of the factor



結論

本研究共解析出5個污染源，分別為

1. 煤炭燃燒為主的工業源，總貢獻量為 $8290 \pm 5110 \text{ \#/cm}^3$ ($34.5 \pm 7.6\%$)，為所有污染源之首；
2. 交通源，總貢獻量為 $8060 \pm 5110 \text{ \#/cm}^3$ ($33.2 \pm 8.2\%$)；
3. 重油燃燒為主的工業源，總貢獻量為 $3760 \pm 2270 \text{ \#/cm}^3$ ($20 \pm 13.7\%$)；
4. 光化反應主導的核凝事件，總貢獻量為 $1380 \pm 2590 \text{ \#/cm}^3$ ($7.2 \pm 10.3\%$)；
5. 由硫酸與二次衍生物凝結之突發型核凝事件，總貢獻量為 $1650 \pm 3410 \text{ \#/cm}^3$ ($5.1 \pm 8.5\%$)。

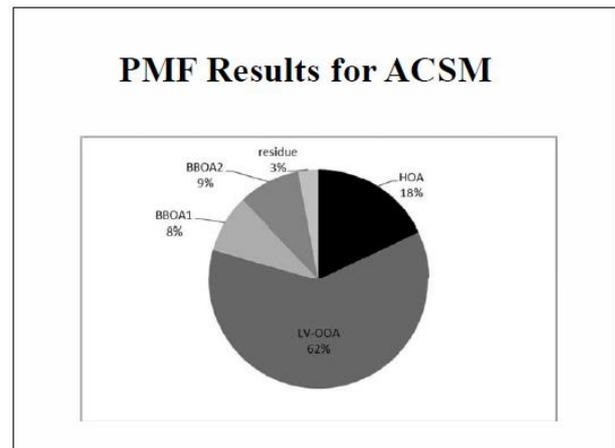
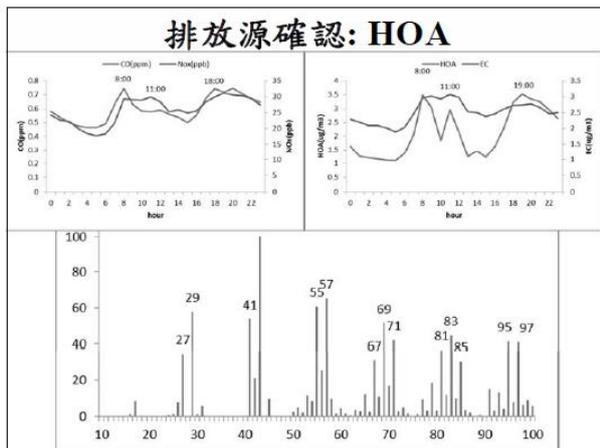
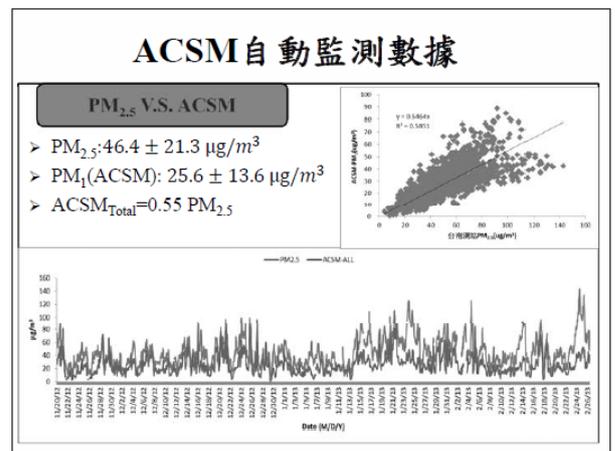
26

ACSM

AERODYNE RESEARCH, Inc.

ACSM
Aerosol Chemical Speciation Monitor

Measure real-time, non-refractory aerosol particle mass and chemical composition.



AERMOD 推估系統介紹

中華民國106年11月14日

1

AERMOD 介紹

2

發展背景

- 1991年美國氣象協會 (AMS) 與美國環保署 (USEPA) 共同成立改寫法規模式的工作群，稱為AERMIC (AMS/EPA Regulatory Model Improvement Committee)，啟動法規模式的改造工作，新的模式因而命名為AERMOD (AERmic MODEL)。
- 網址 http://www3.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm
- 搜尋關鍵字：EPA AERMOD

3

特色

- 以行星邊界層紊流結構與理論為基礎，按紊流結構與尺度概念，其擴散係數由參數化方程式給定，穩定度以連續參數表示。
- 在對流的條件下，計算煙流的濃度採用非常態的高斯分佈。
- 在對流的條件下，考慮了煙流因熱浮力上升至混合層頂部的相互作用。
- 增加對地形高度影響的演算方法，使模式能模擬中等至複雜地形。
- 考慮建築物下洗作用和都市邊界層的影響。
- 直線型模擬—風場為單一風向。僅適用於小區域模擬。
- 無法模擬化學反應。(僅能模擬惰性氣體)

4

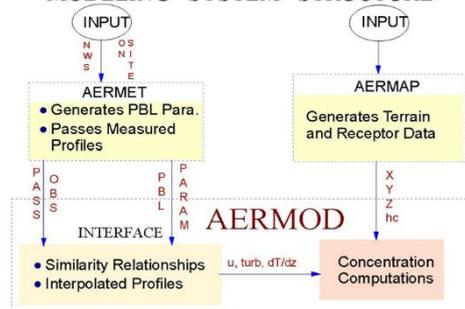
AERMOD 與 ISC 比較

	ISC	AERMOD
排放源種類	點源、面源、體源	點源、面源、體源
氣象資料	使用單層高度的氣象觀測資料	可接受多層高度或更密集的氣象資料
垂直剖面	僅風速具高度變化	所有觀測資料可以產生風速、氣溫、紊流強度之垂直變化
都會區的處理	僅能選擇都市型或鄉村，應用到所有排放源	都會區人口密度或大小；排放源可個別區分為都市型或鄉村型
模擬範圍的地表特徵	都市或鄉村兩種選項，無法指定地表特徵參數	可輸入每月、每角度範圍的地表粗糙度、反照率、飽濕比等地表特性
混合層高度	使用 Holzworth 方法	機械/對流 混合層高度
地形效應	< 煙流高度 > 煙流中線與地形平行 > 煙流高度 > 煙流直接撞山，產生局部高濃度	在穩定大氣下，使用臨界高度分割煙流，上層煙流包括越山及撞山的效應，下層煙流則為越山的運動。
擴散係數	使用 Pasquill-Gifford 六種大氣穩定度類別的擴散係數曲線，無垂直方向上的變化	使用氣象觀測資料及大氣紊流參數計算擴散係數，包括垂直方向上的變化。
煙流與混合層頂作用	煙流高度 (煙流中心線) 若超過混合層頂時，地面濃度為零	三種流模式 (直接煙流、間接煙流、混合層上再進入之煙流)

5

AERMOD

MODELING SYSTEM STRUCTURE



6

需要的檔案

- 1. AERMOD.inp (基本控制檔，內容主要分為五大部分)
- 2. *.SFC (氣象資料檔 --- 地面)
- 3. *.PFL (氣象資料檔 --- 探空)
- 4. 地形高程資料(受體點，高程資料非必須)
- 5. AERMOD.exe (AERMOD 程式執行檔)

7

*.inp基本控制檔

- 基本控制項(Control)：主要為控制模式的選項
- 來源控制項(Source)：污染源參數，可為點源、面源及體源
- 受體控制項(Receptor)：可令模式輸出大範圍的多點濃度資料
- 氣象控制項(Meteorology)：輸入格式為ASCII碼的檔案資料
- 輸出控制項(Output)：模式中所輸出的檔案格式

8

基本控制項

- CO STARTING
- TITLEONE The distribution of Kaohsiung
- MODELOPT DEFAULT CONC
- AVERTIME 1 8 24 PERIOD
- URBANOPT 1.15E6 Kaohsiung 1.2
- POLLUTID NOx
- RUNORNOT RUN
- ERRORFIL NOx.ERR
- CO FINISHED

9

來源控制項

- SO STARTING
- LOCATION P0001 POINT 176395 2502144 0
- LOCATION A0001 AREA 176276 2501865 0
- ** POINT SOURCE Q(g/s) H(m) T(K) V(m/s) D(m)
- SRCPARAM P0001 0.530396 11.0 555 25.0 0.8
- ** AREA SOURCE Q(g/(s*m2)) H(m) X(m) Y(m) angle Szinit
- SRCPARAM A0001 0.000000345 5.6 100 120 113 0
- URBANSRC P0001
- URBANSRC A0001
- SRCGROUP ALL
- SO FINISHED

10

受體控制項

- RE STARTING
- INCLUDED 100x100-m.prn
- **前鎮
- ** DISCCART 178831.7 2500748.02 15.09 0
- **小港
- ** DISCCART 181914.35 2496354.1 22.35 0
- **復興
- ** DISCCART 179291.23 2501114.09 6.20 0
- RE FINISHED

11

氣象控制項

- ME STARTING
- SURFFILE 2014_57.SFC
- PROFFILE 2014_57.PFL
- PROFBASE 2.264 METERS
- SURFDATA 46744 2014
- UAIRDATA 46692 2014
- ** startend 2014 04 22 01 2014 04 22 24
- DAYRANGE 1-365
- ME FINISHED

12

輸出控制項

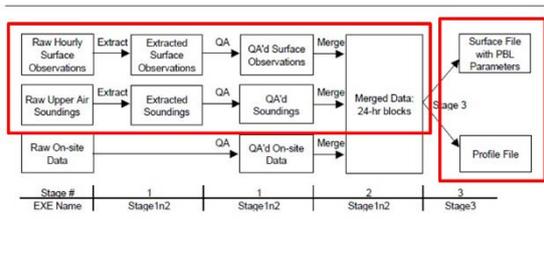
- OU STARTING
- RECTABLE ALLAVE FIRST
- MAXTABLE ALLAVE 50
- PLOTFILE 1 ALL FIRST NOx_h.max
- ** PLOTFILE 24 ALL FIRST NOx_d.max
- PLOTFILE PERIOD ALL NOx_p.max
- OU FINISHED

13

氣象資料處理

14

AERMET



15

氣象資料來源

- 探空資料來源：
 - 中央氣象局(現階段僅有板橋及花蓮兩站)
 - 其他
- 地面測站來源：
 - 中央氣象局
 - 民航局
 - 環保署測站
 - 其他

16

地表參數設定

- 高雄港主要區分為陸地及水體兩個部分
- 其橫斷面由西北至東南走向(約323度~143度)

表 3-7 各土地分類之相關地表參數

MFRM 編號及類型	地表參數		
	地表反照率	粗糙度	地表粗糙度(zm)
1 水體(Water-fresh and sea)	0.10	0.2	0.0001
2 落葉林(Deciduous Forest)	0.12	0.4	1
3 針葉林(Coniferous Forest)	0.12	0.3	1
4 濕地(Swamp)	0.14	0.2	0.0001
5 耕地(Cultivated Land)	0.20	0.3	0.3(1x 2)
6 草地(Grassland)	(0.09; 0.11)	(0.18; 0.11)	0.1
7 都市區(Urban)	0.16	0.8	1.2(1x 2)
8 沙漠區(Desert Shrub-land)	0.28	2.5	1
9 冰雪及凍雪(雪打)	0.70	0.5	0.2

註 1: 若耕地為水稻區, 粗糙度則為 (Van, 2007) 之研究。
 註 2: 若耕地為其他, (Van, 2007) 之研究。
 資料來源: 張民輝等人 (2011) [20]

17



	都市	水體
地表反照率	0.16	0.10
粗糙度	0.8	0.2
地表粗糙度	1.2	0.0001

AERMET 產生之探空資料

```
READ( ) year, month, day, hour, height, top, WDirn, WSpn, TTrn, SAnn, SWnn
FORMAT (4(I2,1X), F6.1,1X, I1,1X, F5.0,1X, F7.2,1X, F7.1, 1X, F6.1, 1X, F7.2)
```

```
where height = measurement height (m)
top = 1, if this is the last (highest) level for this hour, or 0 otherwise
WDirn = wind direction at the current level (degrees)
WSpn = wind speed at the current level (m/s)
TTrn = temperature at the current level (°C)
SAnn =  $\sigma_a$  (degrees)
SWnn =  $\sigma_w$  (m/s)
```

18

二、排放量計算

- 執行檔案：02emission.exe
- 輸入檔案：
 - marine.dat --- 既有 抓取污染物種
 - factors.dat --- 既有 排放係數表
 - shipinfo.dat --- 01輸出 船舶資訊 檔案
- 輸出檔案：
 - S_emiss.dat --- 輸出 排放量結果 檔案
- 主要功能：
 - 搜尋 符合船種之 引擎排放係數(EF)、燃油校正係數(FCF)
 - 計算負載 及 船舶 排放量 (g) --> (g/s)
 - 輸出 AERMOD 排放量資料格式
 - S_emiss.dat

31

船舶排放量計算

$$E = \text{Energy} \times EF \times FCF$$

其中：
 E：引擎的排放量(g)
 Energy：所需要的能量(kW·h)
 EF：排放係數(g/kW·h)
 FCF：(HFO)燃料校正係數

$$\text{Energy} = \text{MCR} \times \text{LF} \times \text{Act}$$

其中：
 MCR：最大引擎動力(kW)
 LF：負載係數
 Act：活動量(hr)

負載 20% ~ 80%：

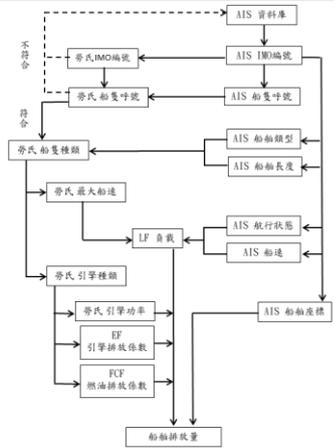
$$\text{LF} = \left(\frac{\text{AS}}{\text{MS}} \right)^3$$

其中：
 AS：實際船速(節)
 MS：最大船速(節)

主要引用：洛杉磯港研究報告

32

排放量 推估流程



33

排放量計算過程

- 取得 AIS 船舶 IMO 編號資料。
- 對應 勞氏資料庫 相同 IMO編號之船舶，若此時勞氏船舶之呼號與 AIS 船舶呼號一致時：
 - 勞氏資料庫中取得該船最大船速，並取得 AIS 當時船速，參照航行狀態以計算負載LF。
 - 依據船種，由勞氏資料庫中取得引擎功率(主引擎、輔助引擎、鍋爐)；若有缺值則以缺值預設表處理。
 - 查詢該船種之 燃料排放係數(EF)與燃油校正係數(FCF)，利用公式計算該小時之排放量。
 - 將排放量單位 換算為 g/s。

34

三、計算混合層高度

- 執行檔案：03mixH.exe
- 輸入檔案：
 - marine.dat --- 抓取 測站資訊
 - 00_UVL.csv --- EPA_opendata即時下載
 - 00_MET.csv --- EPA_opendata即時下載
- 輸出檔案：
 - M_profile.PFL --- 輸出 探空氣象 檔案
 - M_surface.SFC --- 輸出 地面氣象 檔案
- 主要功能：
 - 讀取 即時氣象資料(風速、風向、溫度、濕度、紫外線指數)
 - 計算 Pasquill 穩定度
 - 使用 羅氏法 計算混合層高度
 - 輸出 AERMOD 可用氣象格式
 - 探空：M_profile.PFL
 - 地面：M_surface.SFC

35

羅氏法混合層高度

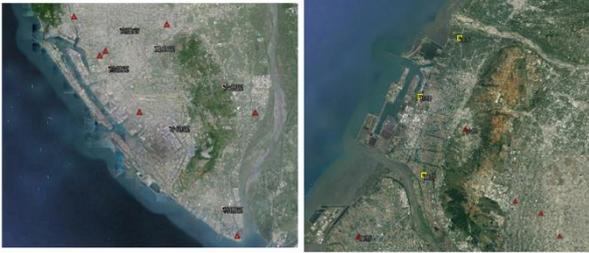
Nozaki等(1973)提出利用地面氣象資料估算混合層高度

$$L = \frac{121}{6} (6 - P)(T - T_d) + \frac{0.169P(U_z + 0.257)}{12f \times \ln(Z/Z_0)}$$

L：混合層高度(m)
 T：溫度(°C)
 T_d：露點溫度(°C)
 P：大氣穩定度，依級別A到F分別為1到6
 U_z：高度為z時之平均風速(m/s)
 Z：觀測點高度(m)
 Z₀：地表粗糙度(m)
 f：地轉角參數，f=2Ωsinφ，φ為觀測點緯度(degree)，Ω為地轉角速度(rad/s)

36

鄰近港區EPA測站



高雄港使用測站：
前金、前鎮、小港、林園

臺中港使用測站：
沙鹿

37

四、產生 AERMOD.inp 資訊

- 執行檔案：04AutoAER.exe
- 輸入檔案：
marine.dat --- 既有 抓取污染物種、測站及參考點等資訊
- 輸出檔案：
R_spots.dat --- 輸出 參考點 檔案
S_Ve_NOx.dat --- 輸出 車輛 排放量資料
S_Ve_SOx.dat --- 輸出 車輛 排放量資料
AERMOD.inp --- 輸出 AERMOD input 檔案
- 主要功能：
- 讀取路口車輛進出記錄 並 計算車輛排放量
S_Ve_NOx.dat、S_Ve_SOx.dat
- 依據 marine.dat 輸出參考點座標
R_spots.dat

38

五、AERMOD 排放量推估

- 執行檔案：05aermod.exe
- 輸入檔案：
S_Ve_NOx.dat --- 04輸出檔案
S_Ve_SOx.dat --- 04輸出檔案
M_profile.PFL --- 03輸出檔案
M_surface.SFC --- 03輸出檔案
- 輸出檔案：
NOx.pos、SOx.pos --- 輸出檔案
- 主要功能：
- 輸出 小時平均增量濃度
NOx.pos、SOx.pos

39

六、結果輸出

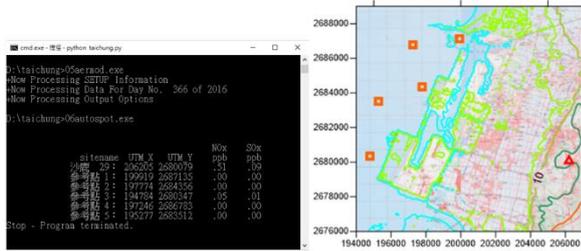
- 執行檔案：06autospot.exe
- 輸入檔案：
marine.dat --- 既有 污染物種、測站及參考點等資訊
NOx.pos --- 05輸出檔案
SOx.pos --- 05輸出檔案
- 輸出檔案：
yyyyymmddhh.dat --- 輸出 以日期時間為檔名之參考點增量濃度
- 主要功能：
- 單位轉換(NOx、SOx)
- 輸出 各參考點之小時增量濃度
yyyyymmddhh.dat
- 參考點即時濃度顯示

	siteName	UTM_X	UTM_Y	NOx	SOx
	前金	56	170223	2503772	.31
	前鎮	57	178811	2500753	1.42
	小港	58	183854	2490559	302.90
	林園	52	189468	2485767	2.23
	參考點 1	1	174844	2492209	.26
	參考點 2	2	179368	2484891	.11
	參考點 3	3	176310	2487577	.63
	參考點 4	4	180851	2489899	3.21
	參考點 5	5	188244	2485198	1.65

40

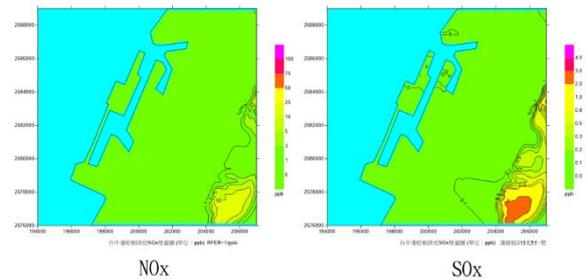
臺中港即時推估系統

- 參考點為橘色矩形，由右至左，由上到下依序為參考點1 ~ 參考點5，圖中紅色三角形則為沙鹿站。



41

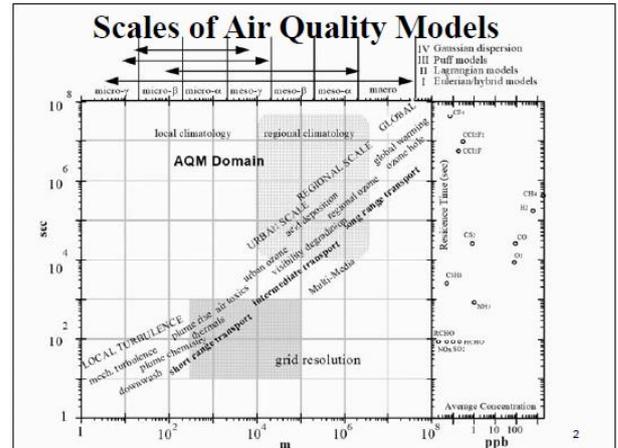
臺中港-自動繪圖結果



42

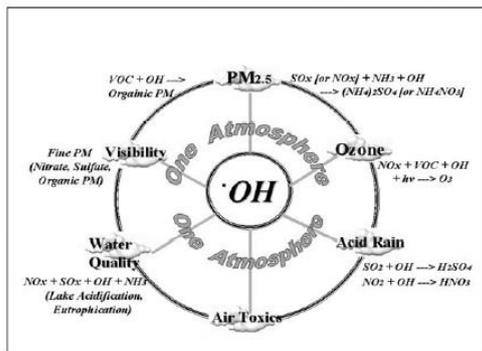
Models-3/ Community Model of Air Quality (CMAQ)

1



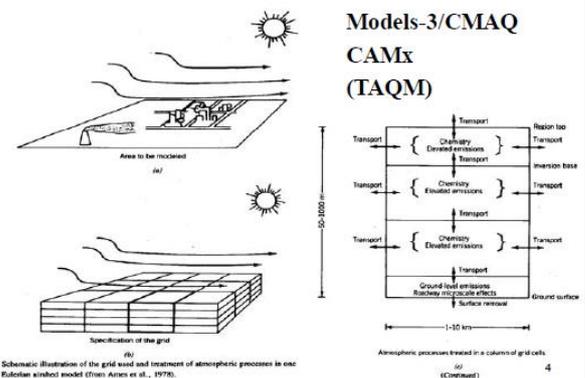
2

One Atmosphere Approach



3

Three-dimensional Grid Model



4

		Domain 1	Domain 2	Domain 3	Domain 4
大氣模式	Vertical Layer	44	44	44	44
	Grid Size	91 × 91	166 × 169	223 × 223	223 × 223
	FDDA	Yes	Yes	No	No
	Land use	24	24	24	24
	PBL	MRF	MRF	MRF	MRF
空品模式	Resolution	81 km	27 km	9 km	3 km
	Vertical Layer	6	15	15	15
	Grid Size	70 × 80	70 × 80	70 × 80	90 × 135
	Aerosol Mod	Aero6	Aero6	Aero6	Aero6
	Chemical	CB05	CB05	CB05	CB05
MCIP	20	20	20	20	
LandUse					

氣象模式: WRF
空氣品質模式: CMAQ



5

Horizontal Coordinates

Coordinate	Map Parameters	Map Scale (m)	Note
lat.-long.	N/A	N/A	$(x^2, y^2) = (long, lat)$ are in degrees
Lambert	$P_0 = \phi_0, P_1 = \phi_1$ two lat. determine the projection cone. $P_2 = \lambda_0$, central meridian	$m = \frac{\sin(\pi/2 - \phi_1) \tan(\pi/4 - \phi_1/2)}{\sin(\pi/2 - \phi_0) \tan(\pi/4 - \phi_0/2)}$ $n = \ln \left[\frac{\sin(\pi/2 - \phi_0)}{\sin(\pi/2 - \phi_1)} \right]$ $\left[\frac{\tan(\pi/4 - \phi_0/2)}{\tan(\pi/4 - \phi_1/2)} \right]^n$	$(x^2, y^2, z^2) = (x_0, y_0, z_0)$ for the center of coordinate system. (x^2, y^2) are in meters
Mercator	$P_0 = \phi_0, P_1 = \lambda_0$: lat. & long. of coordinate origin within the tangent circle. ϕ_1 : angle between cylinder axis and the North polar axis	$m = \frac{\cos \phi_0}{\cos \phi_1}$	$(x^2, y^2, z^2) = (x_0, y_0, z_0)$ for the center of coordinate system. (x^2, y^2) are in meters
Stereographic	$P_0 = \phi_0, P_1 = \lambda_0$: lat. & long. of the point of tangency. ϕ_1 : angle from true north to x^2 -axis	$m = \frac{1 + \sin \phi_0}{1 + \sin \phi_1}$	$(x^2, y^2, z^2) = (x_0, y_0, z_0)$ for the center of coordinate system. (x^2, y^2) are in meters
UTM	P_0 is the UTM zone P_1, P_2 not used	$m = 1$	(x^2, y^2, z^2) are offset from the UTM coordinate origin. (x^2, y^2) are in meters

6

Height and Pressure Vertical Coordinates

- Height coordinate
 - Suitable for representing surface and PBL parameterizations
 - Time independent and intuitive
- Pressure Coordinate
 - Suitable for describing weather
 - Often used for hydrostatic atmosphere
 - Time dependant

7

Time Independent Terrain-Influenced Coordinates

- Terrain-influenced Height coordinates

$$\sigma_z = \frac{z - z_{ref}}{H - z_{ref}} \quad \sigma_z = \frac{z - z_{ref}}{H - z_{ref}}$$

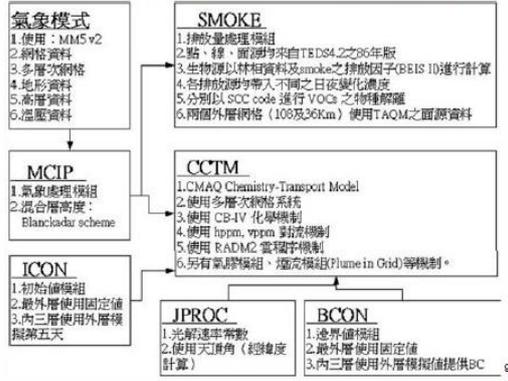
Accounts for topography
Time independent and intuitive
Often used for non-hydrostatic atmosphere

- Terrain-influenced Reference Pressure

$$\sigma_{ps} = \frac{p - p_{top}}{p_{ref} - p_{top}} \quad \text{Sigma-z with logarithmic transformation}$$

8

Structure of Models-3/CMAQ



1. 模式種類	網格模式
2. 氣象場資料	中尺度氣象模式(MM5或WRF)
氣象場空間維度	三維
3. 排放資料	
人為源	台灣, 中國, 東亞其他國家
生物源	台灣, 中國, 東亞其他國家
4. 光化學反應模組	CB05考慮51種化學成分、156個化學反應
5. 氣膠動力程序模組 (核化, 膠結, 凝結程序)	AERO5第五代氣膠模組
6. 氣膠化學程序模組 (無機氣膠反應, 有機氣膠反應, 氣膠液相反應, 氣膠異相反應)	ISORRAPIA氣膠熱力學平衡系統數值演算模組
7. 氣膠數量與質量之粒徑分布	以核(i)、累積(j)、粗粒(c)三組模態代表, 每一模態皆呈對數常態分布

10

Chemical Mechanisms

- A. Explicit chemical mechanism: list of all reactions of the individual primary and secondary pollutants
- B. Lumped chemical mechanism

The CBM (carbon bond mechanism) formulation divides the carbon atoms of the organics into four classes based on their chemical bonding:

1. Single-bonded carbon atoms (e.g., alkanes) represented as PAR.
2. Fast doubly bonded atoms (e.g., olefins, except ethylene) represented as OLE.
3. Slow doubly bonded atoms (e.g., aromatics and ethylene) represented as ARO.
4. Carbonyl carbon atoms (i.e., aldehydes and ketones) represented as CAR.

11

Portion of an Explicit Chemical Mechanism

Reaction	Rate Constant*
Inorganic Reactions	
(1) $\text{NO}_2 + \text{h}\nu \rightarrow \text{NO} + \text{O}(\text{P})$	$0.35-0.60 \text{ min}^{-1}$
(2) $\text{O}(\text{P}) + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_3$	2.0×10^7
(3) $\text{O}_3 + \text{NO} \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$	2.7×10^7
(4) $\text{O}(\text{P}) + \text{NO}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{O}_2$	1.4×10^7
(5) $\text{O}_3 + \text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_3 + \text{O}_2$	4.7×10^7
Aliphatic Reactions and PAH Formation	
(33) $\text{CH}_3\text{CHO} + \text{h}\nu \rightarrow \text{CH}_3\dot{\text{C}}\text{O} + \text{H}_2 + \text{CO}$	b
(34) $\text{CH}_3\text{CHO} + \text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\dot{\text{C}}\text{O} + \text{H}_2\text{O}$	2.4×10^7
(35) $\text{CH}_3\dot{\text{C}}\text{O} + \text{NO} \rightarrow \text{NO}_2 + \text{CH}_3\text{O}$	1.1×10^7
o-Dicarbonyl Chemistry	
(43) $\text{CH}_3\text{COCCHO} + \text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COC}\dot{\text{C}}\text{O} + \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$	2.5×10^7
(44) $\text{CH}_3\text{COCCHO} + \text{h}\nu \rightarrow \text{CH}_3\text{COC}\dot{\text{C}}\text{O} + \text{HO} + \text{CO}$	c
(45) $\text{CH}_3\text{COCCHO} + \text{h}\nu \rightarrow \text{CH}_3\dot{\text{C}}\text{O} + \text{HO} + \text{CO}$	c
Toluene Abstraction Pathway	
(46) $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + \text{OH} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\dot{\text{C}}\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}$	7.3×10^7
(47) $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + \text{NO} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\dot{\text{C}}\text{H}_2 + \text{HNO}$	9.0×10^7
(48) $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + \text{NO} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\dot{\text{C}}\text{H} + \text{HNO}$	1.0×10^8
Toluene Addition Pathway	
(49) $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + \text{OH} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{C}(\text{OH})\dot{\text{C}}\text{H}_2$	8.7×10^7
(50) $\text{C}_6\text{H}_5\text{C}(\text{OH})\dot{\text{C}}\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{C}(\text{OH})\text{C}(\text{OO})\text{H}$	1.0×10^8
(51) $\text{C}_6\text{H}_5\text{C}(\text{OH})\dot{\text{C}}\text{H}_2 + \text{NO} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{C}(\text{OH})\text{C}(\text{NO})\text{H}$	4.4×10^7
Conjugated o-Dicarbonyl Chemistry	
(52) $\text{OH} + \text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{C}(\text{O})\text{CH}_3 \rightarrow \text{CH}_3\dot{\text{C}}(\text{O})\text{C}(\text{O})\text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	4.4×10^7
(53) $\text{OH} + \text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{C}(\text{O})\text{CH}_2\text{R} \rightarrow \text{CH}_3\dot{\text{C}}(\text{O})\text{C}(\text{O})\text{CH}_2\text{R} + \text{H}_2\text{O}$	1.0×10^8

Source: Linn and Sjöström, 1984.
*k_u = units of $\text{cm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ unless otherwise stated.
*k_u = $1.0 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$.
*k_u = $1.0 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$.

12

Models-3/CMAQ模式模擬性能評估結果

性能評估以全年結果進行計算，其結果除了臭氧之MB符合站數比未達60%外，其餘微粒與臭氧案例皆符合模式規範。

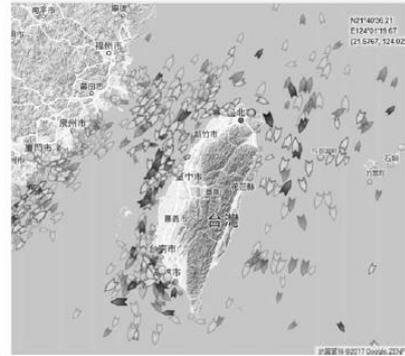
全年-微粒	MFB	符合站數比	MFE	符合站數比	R	R 符合比例
PM _{2.5}	-13%	88%	41%	90%	0.80	100%
SO ₂	-31%	92%	64%	90%	0.59	84%
NO ₂	-13%	92%	41%	97%	0.68	89%

全年-臭氧	MNB	符合站數比	MNE	符合站數比	R	R 符合比例
O ₃	8%	69%	26%	93%	0.48	76%
NO ₂	8%	77%	63%	88%	0.57	89%
NMHC	35%	71%	38%	100%	0.41	78%

全年-臭氧	MB	符合站數比	R	R 符合比例
O ₃	9%	45%	0.52	82%

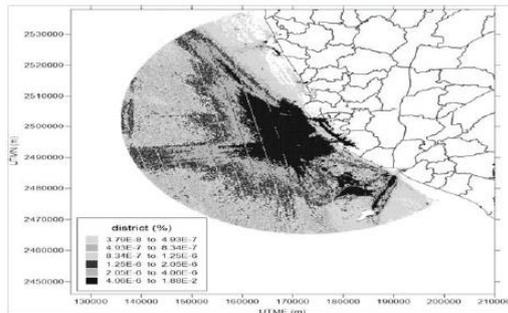
25

船舶自動識別系統(AIS)



26

AIS船舶空間分布



27

高雄港空氣污染物排放

	NO _x	VOC	CO	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	DFM
Total	9,623	421	889	11,130	815	633	462
港內	4,502	200	436	3,886	485	370	134
20海運	5,121	221	453	7,244	330	263	328

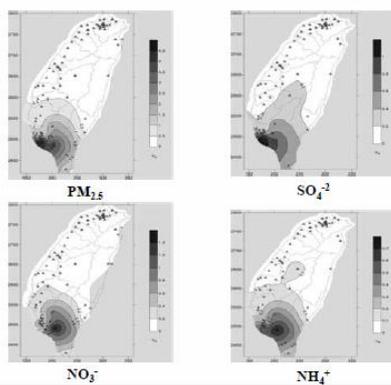
單位:噸/年

高雄市空氣污染物排放

	NO _x	NMHC	CO	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}
	74,061	59,239	103,218	37,849	21,608	10,336

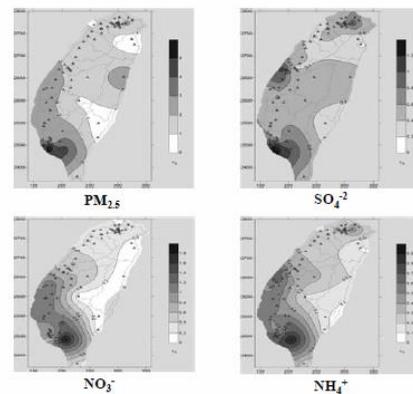
28

高雄港之細懸浮微粒及主要成分的影響

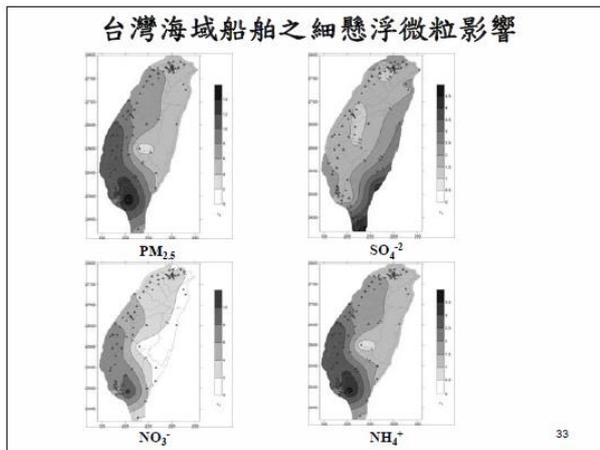
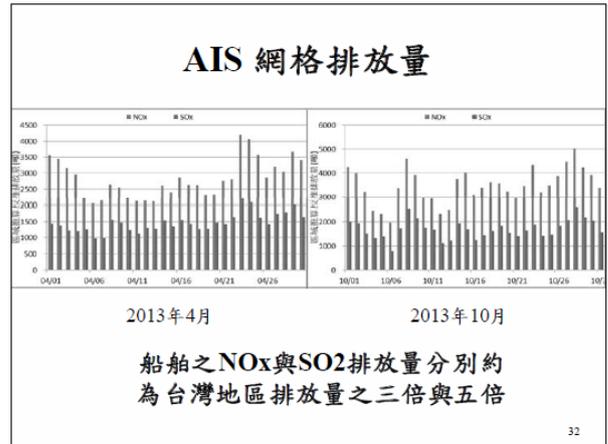
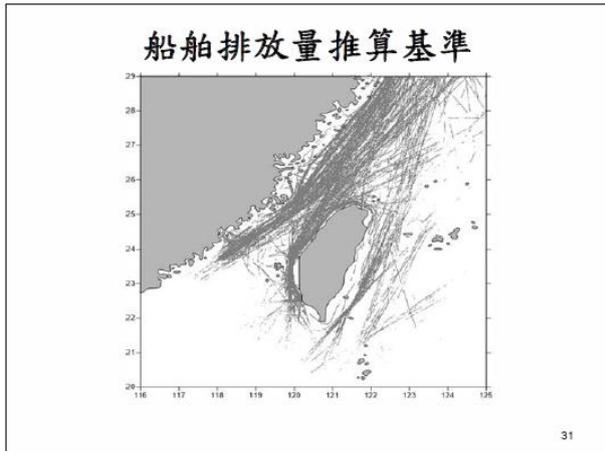


29

五大港口之細懸浮微粒及主要成分的影響



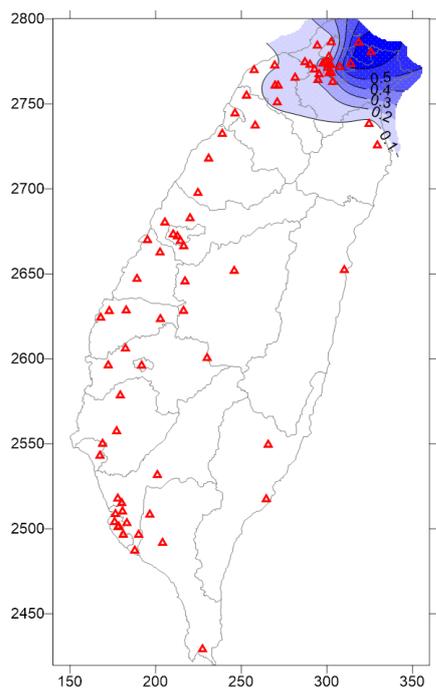
30



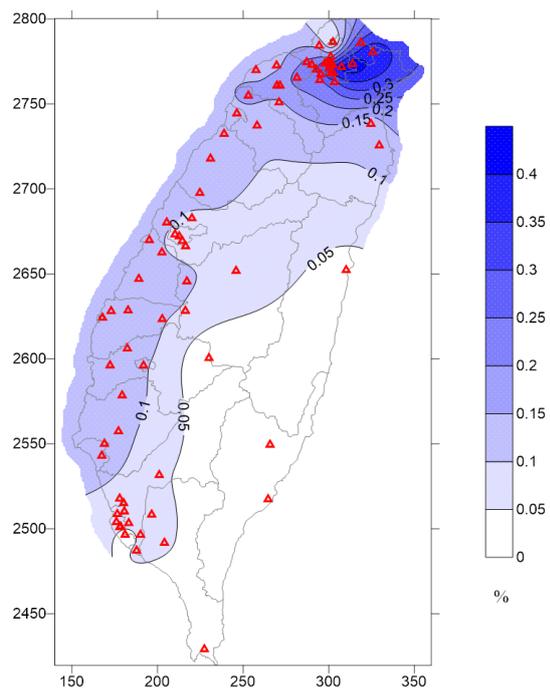
*Thanks for Your
Attentions.*

34

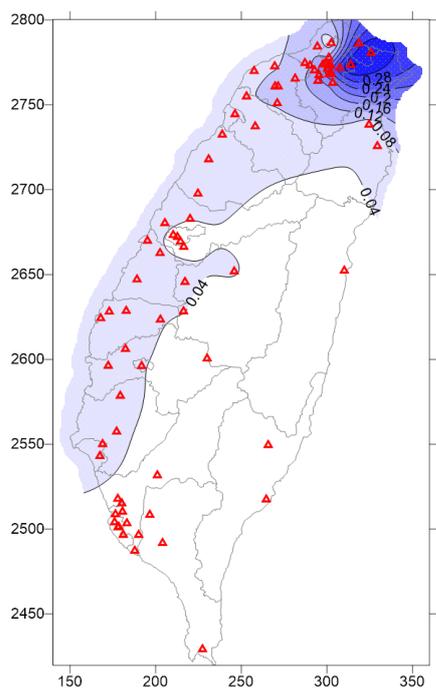
附錄六 CMAQ 臺灣五大港口影響



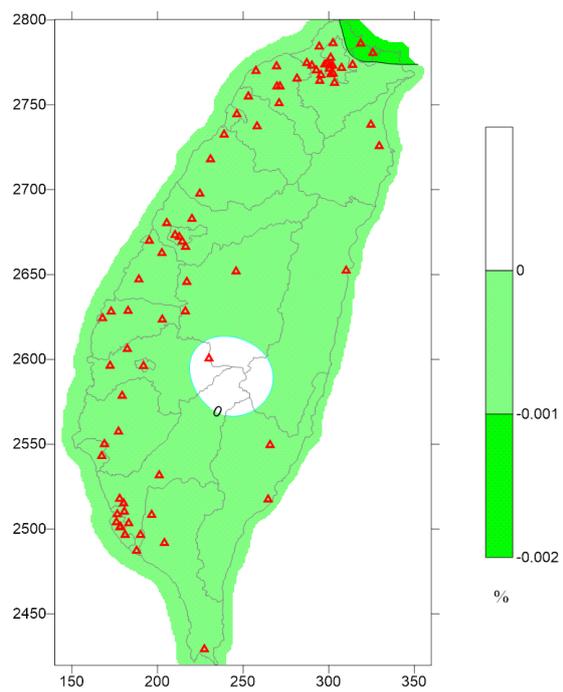
2013 年 4 月 基隆港 SO_4^{2-}



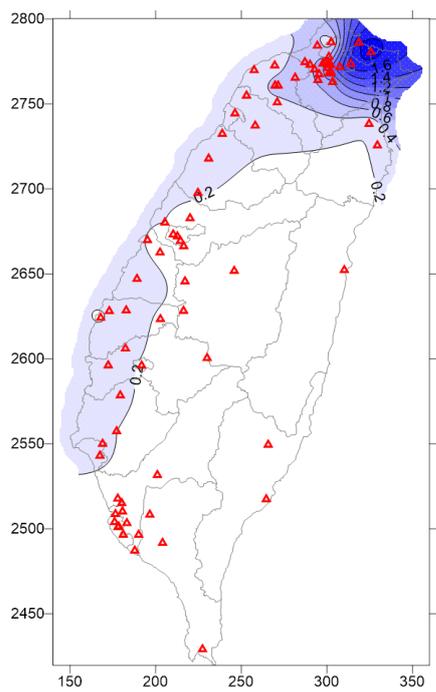
2013 年 4 月 基隆港 NO_3^-



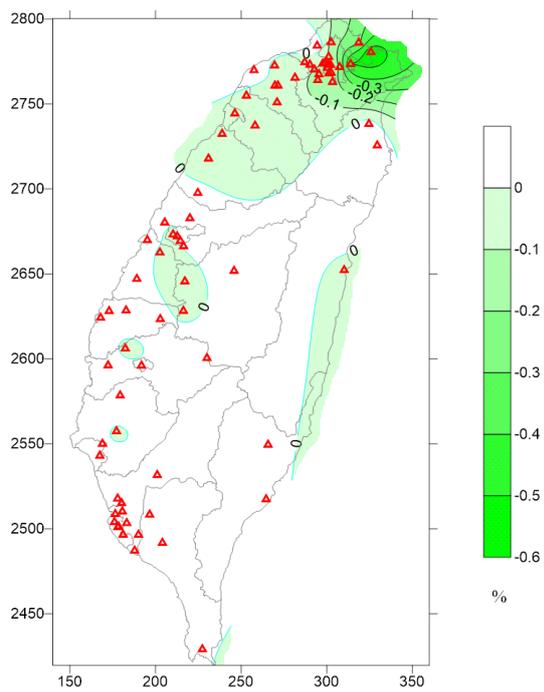
2013 年 4 月 基隆港 NH_4^+



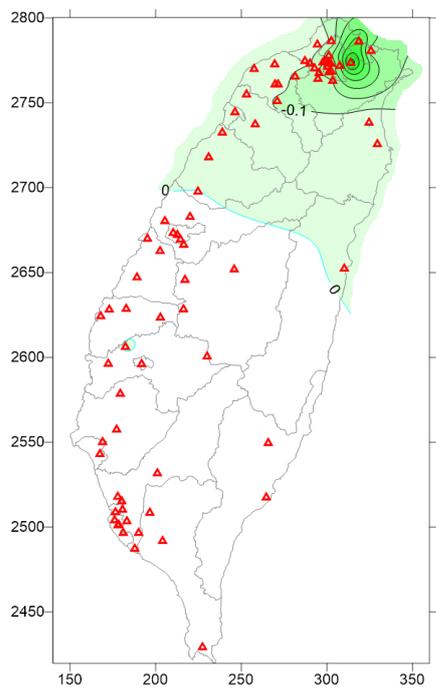
2013 年 4 月 基隆港人為 OC



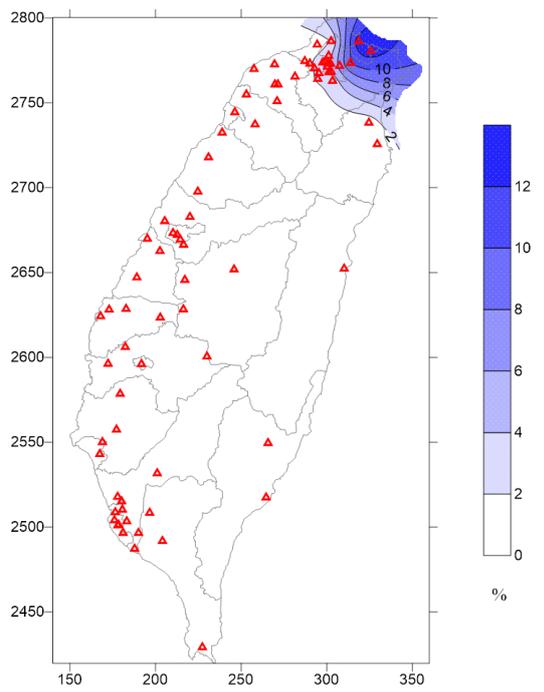
2013 年 4 月 基隆港 PM_{2.5}



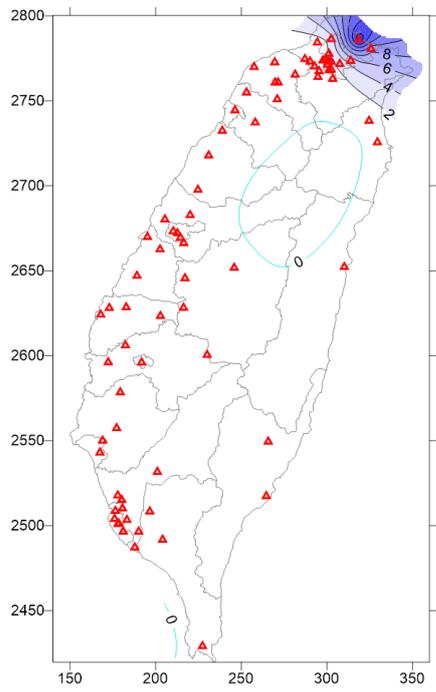
2013 年 4 月 基隆港 O_{3max}



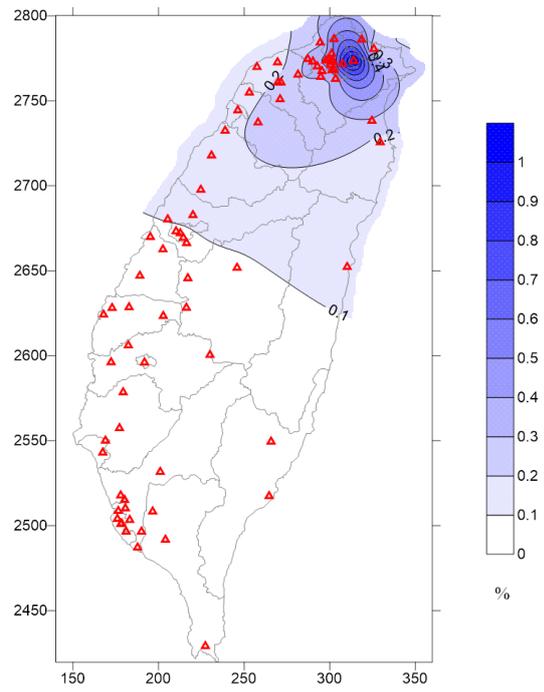
2013 年 4 月 基隆港 O_{3ave8}



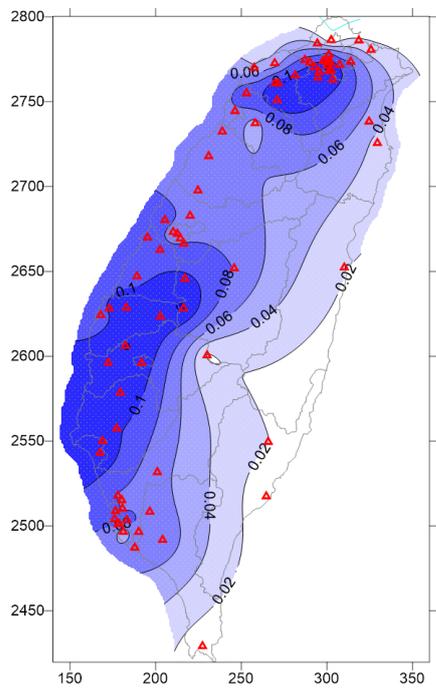
2013 年 4 月 基隆港 SO₂



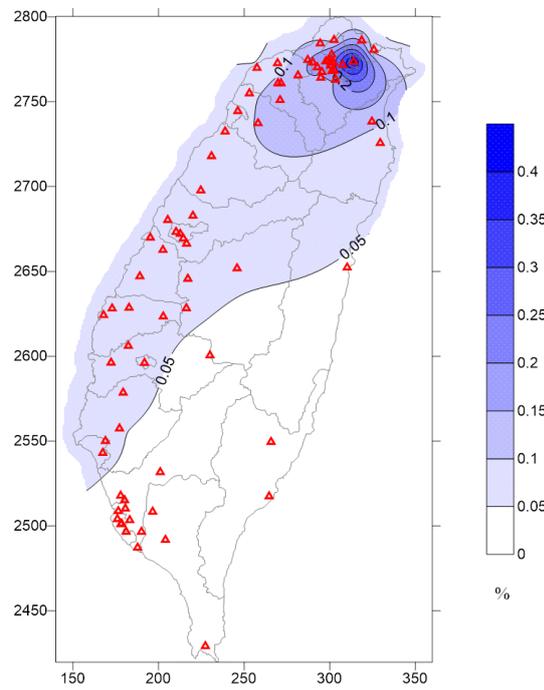
2013 年 4 月 基隆港 NO_x



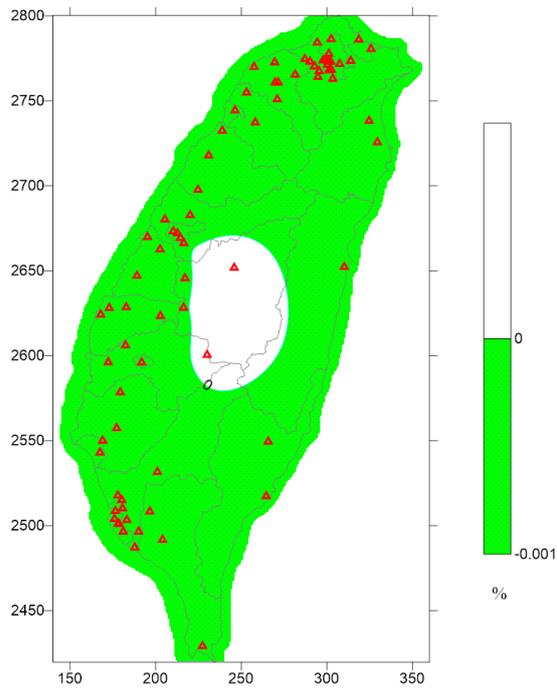
2013 年 10 月 基隆港 SO₄²⁻



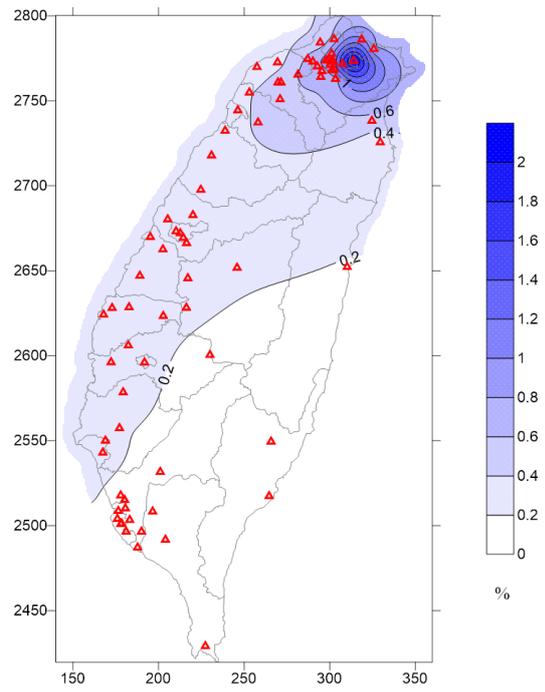
2013 年 10 月 基隆港 NO₃⁻



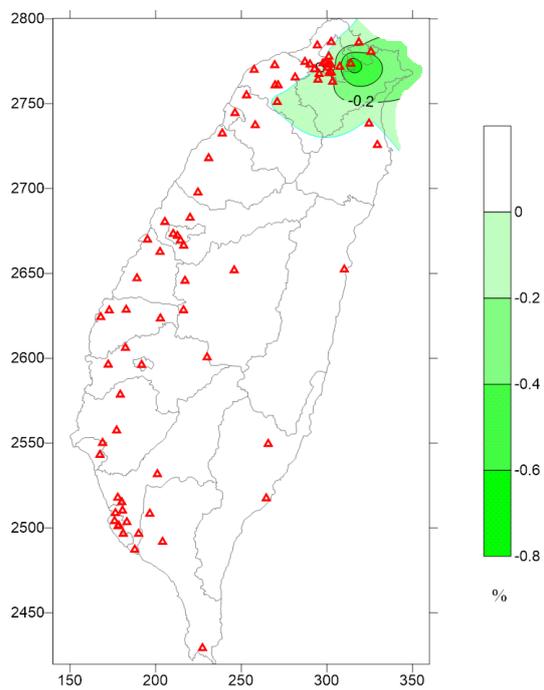
2013 年 10 月 基隆港 NH₄⁺



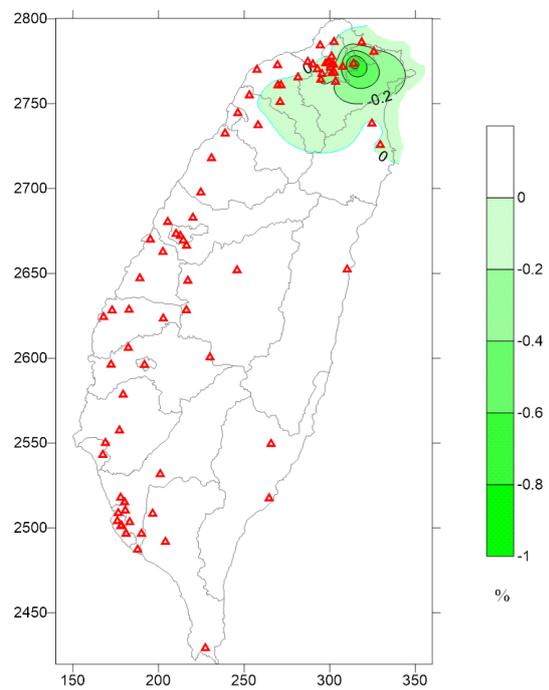
2013 年 10 月 基隆港人為 OC



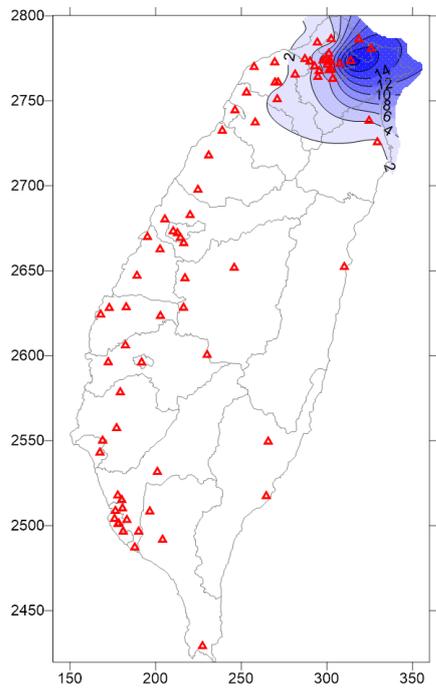
2013 年 10 月 基隆港 PM_{2.5}



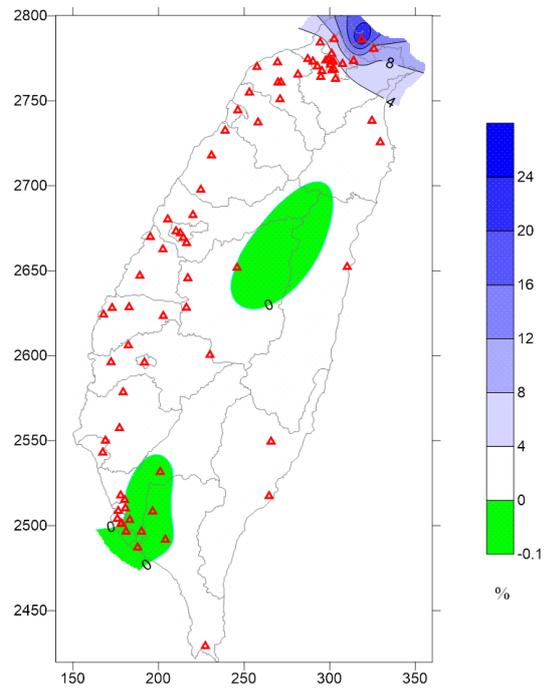
2013 年 10 月 基隆港 O_{3max}



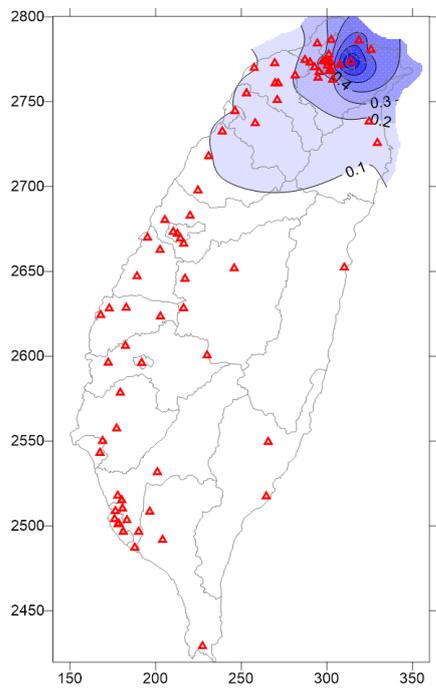
2013 年 10 月 基隆港 O_{3ave8}



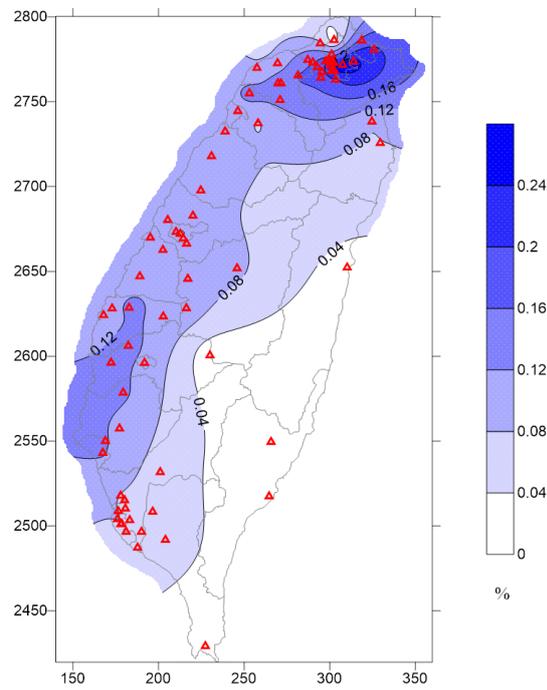
2013 年 10 月 基隆港 SO₂



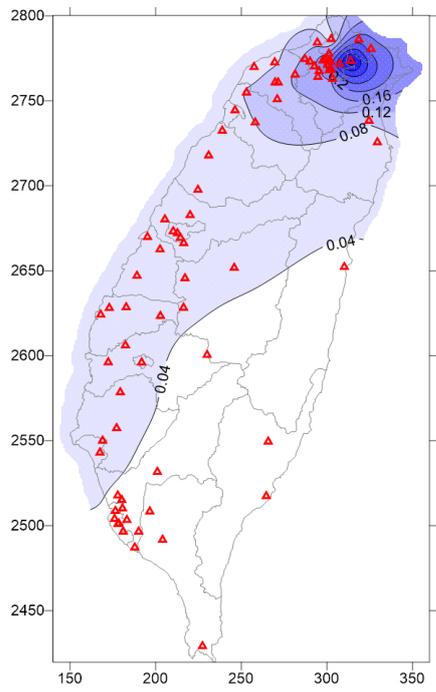
2013 年 10 月 基隆港 NO_x



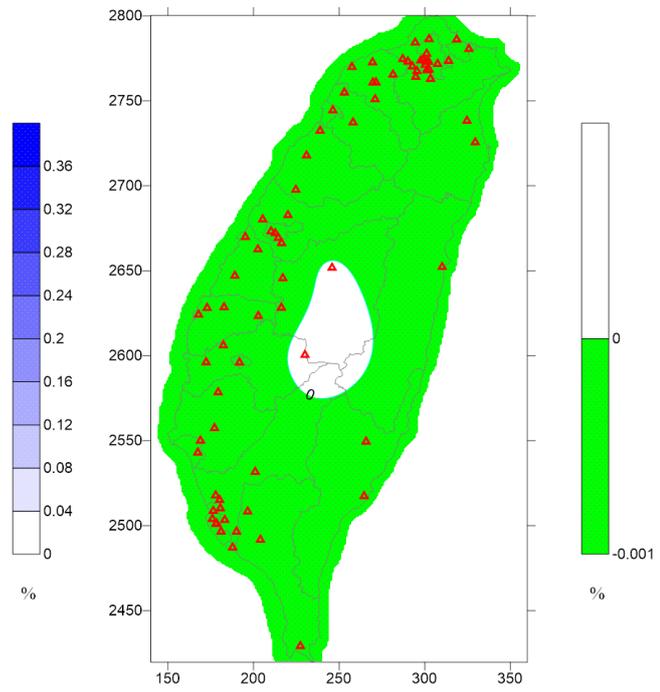
2013 年平均 基隆港 SO₄²⁻



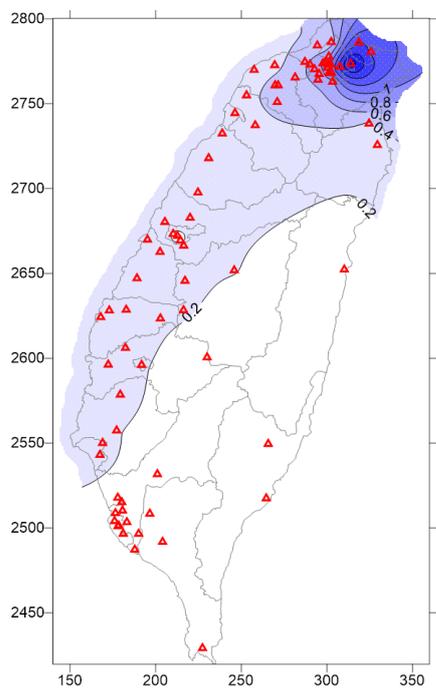
2013 年平均 基隆港 NO₃⁻



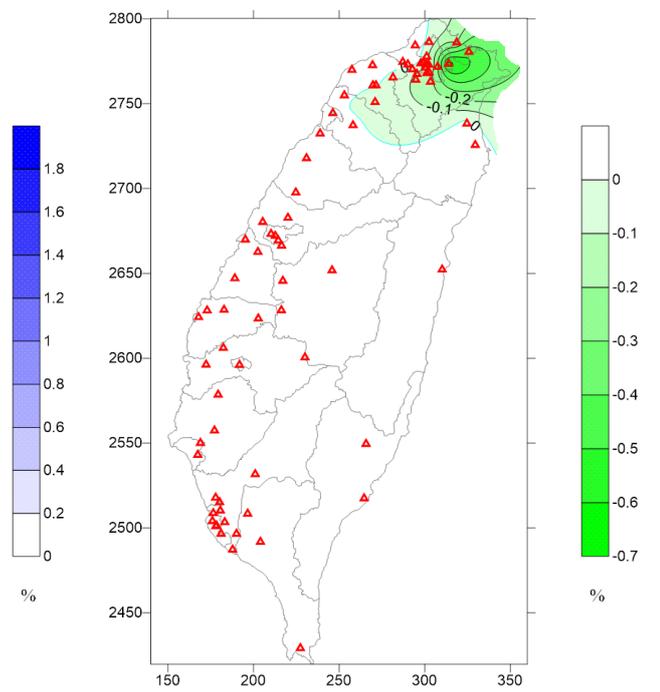
2013 年平均 基隆港 NH_4^+



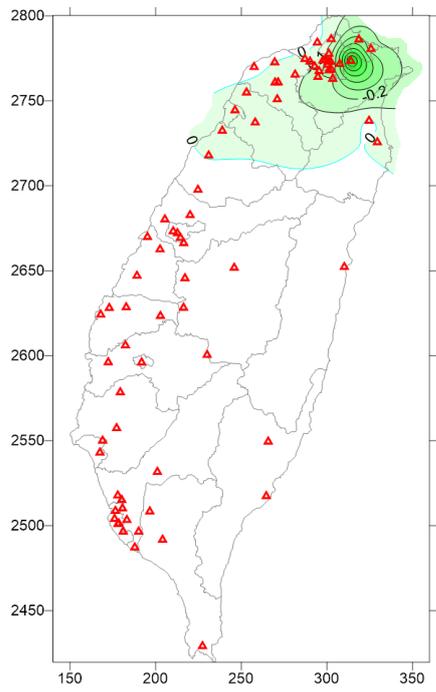
2013 年平均 基隆港人為 OC



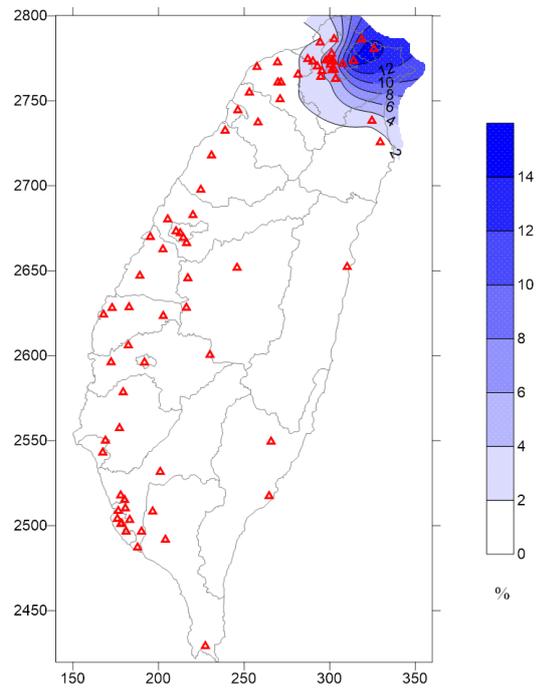
2013 年平均 基隆港 $\text{PM}_{2.5}$



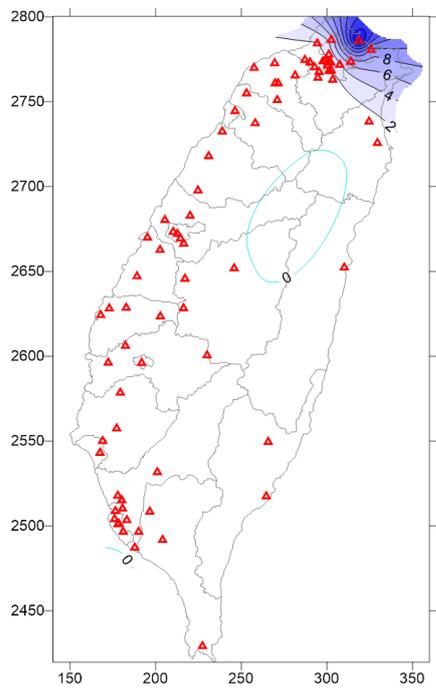
2013 年平均 基隆港 $\text{O}_{3\text{max}}$



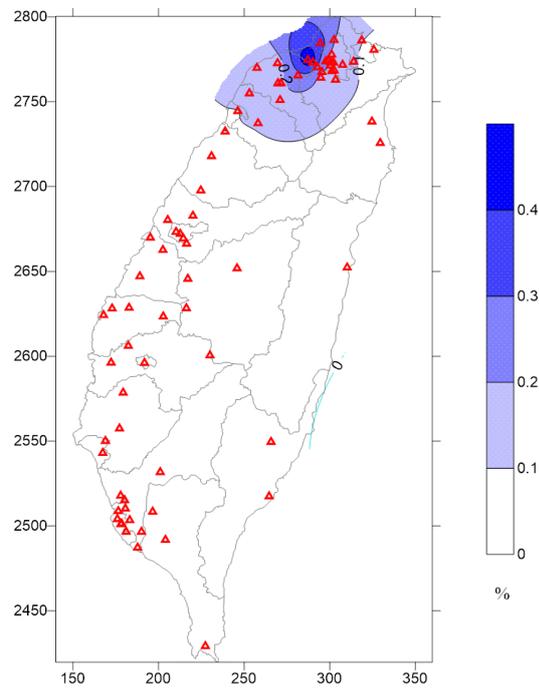
2013 年平均 基隆港 O_{3ave8}



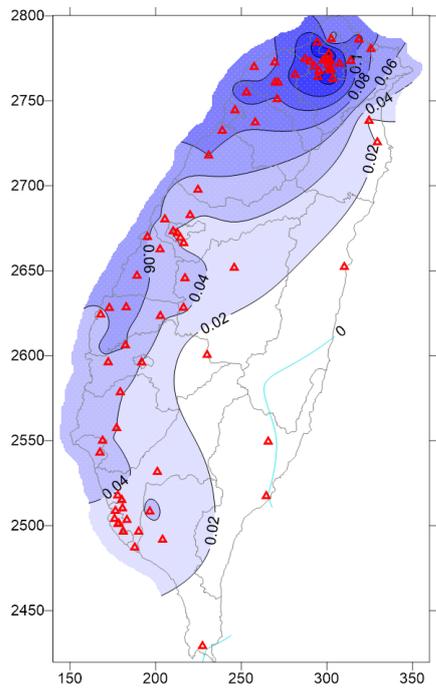
2013 年平均 基隆港 SO₂



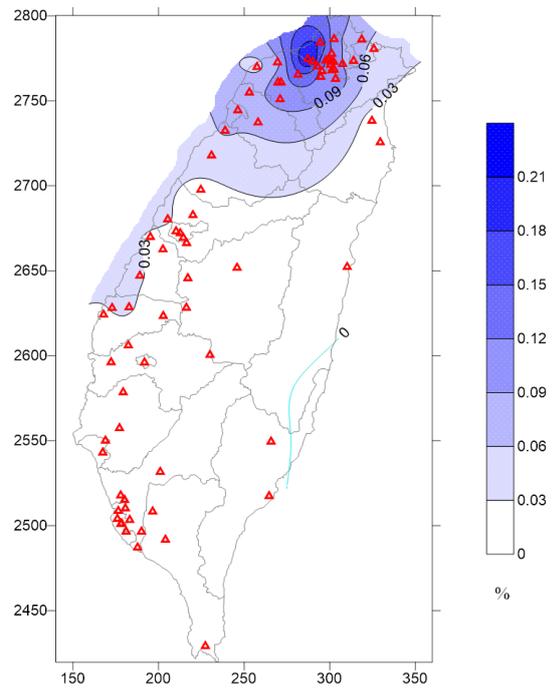
2013 年平均 基隆港 NO_x



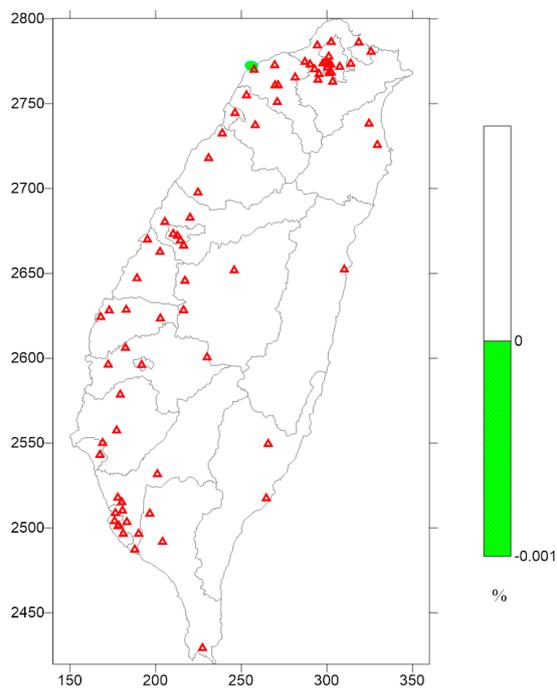
2013 年 4 月 臺北港 SO₄²⁻



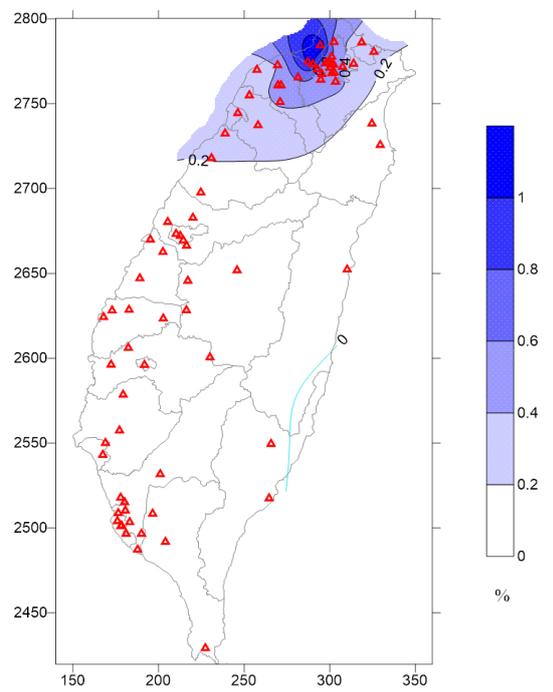
2013 年 4 月 臺北港 NO_3^-



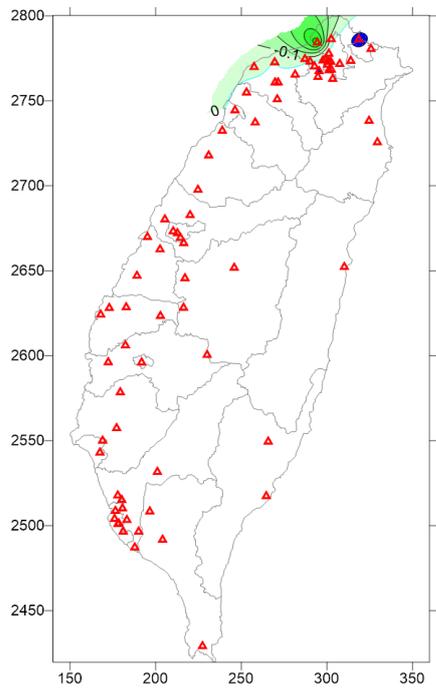
2013 年 4 月 臺北港 NH_4^+



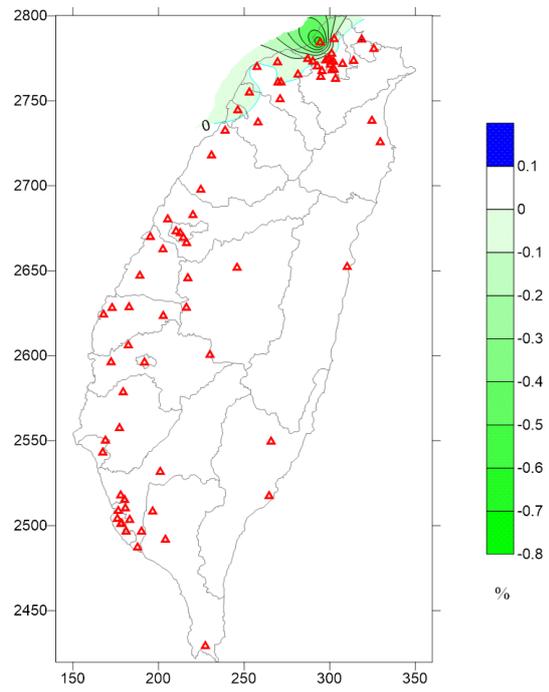
2013 年 4 月 臺北港人為 OC



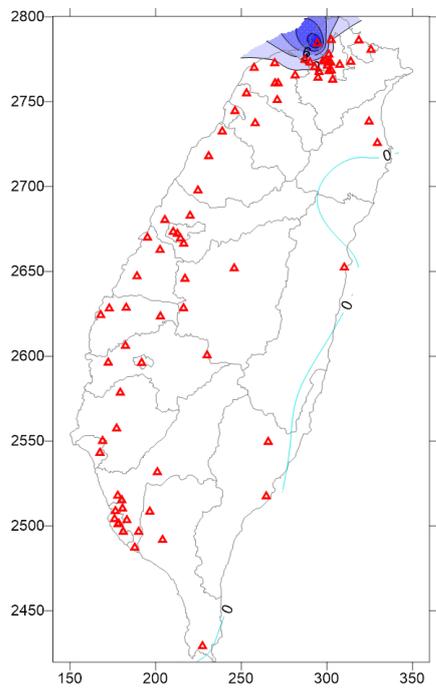
2013 年 4 月 臺北港 $\text{PM}_{2.5}$



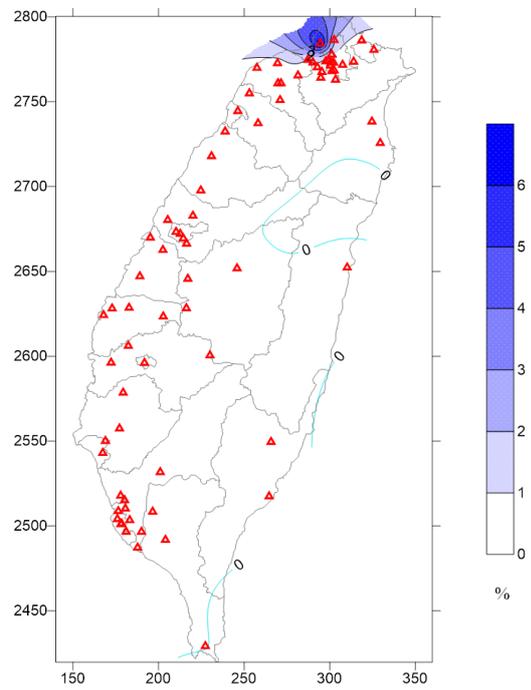
2013 年 4 月 臺北港 O_{3max}



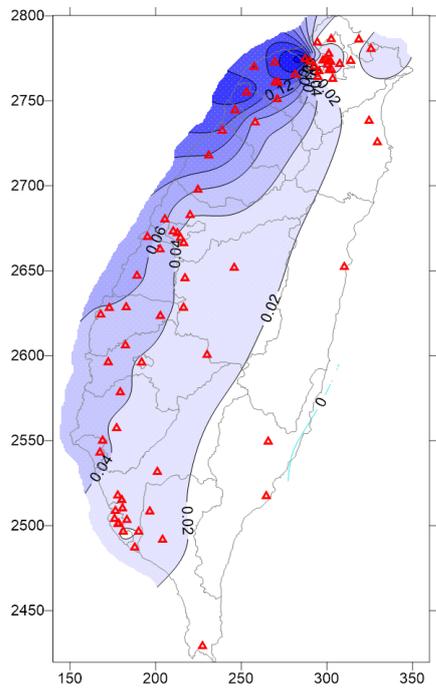
2013 年 4 月 臺北港 O_{3ave8}



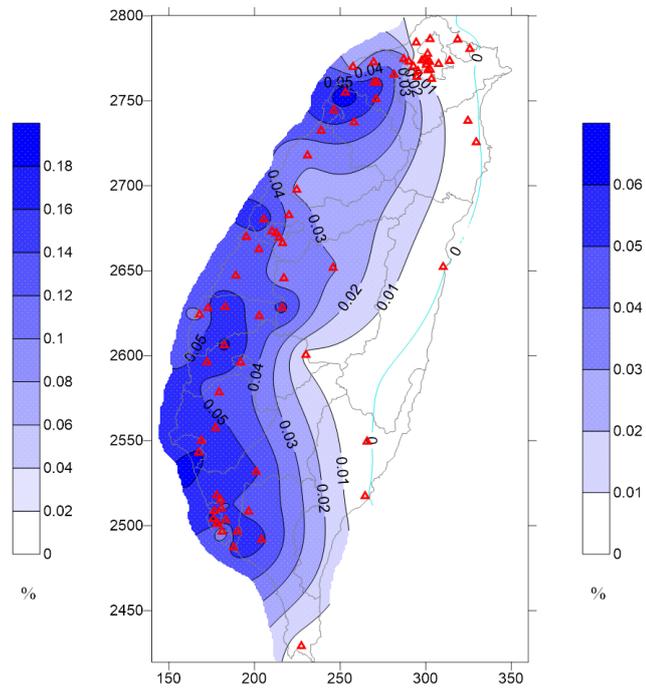
2013 年 4 月 臺北港 SO_2



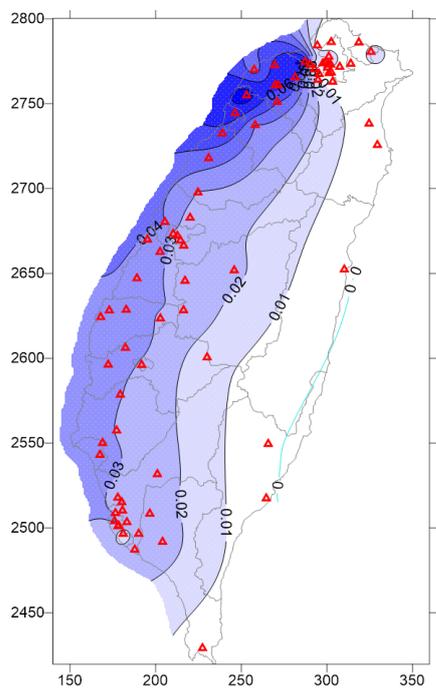
2013 年 4 月 臺北港 NO_x



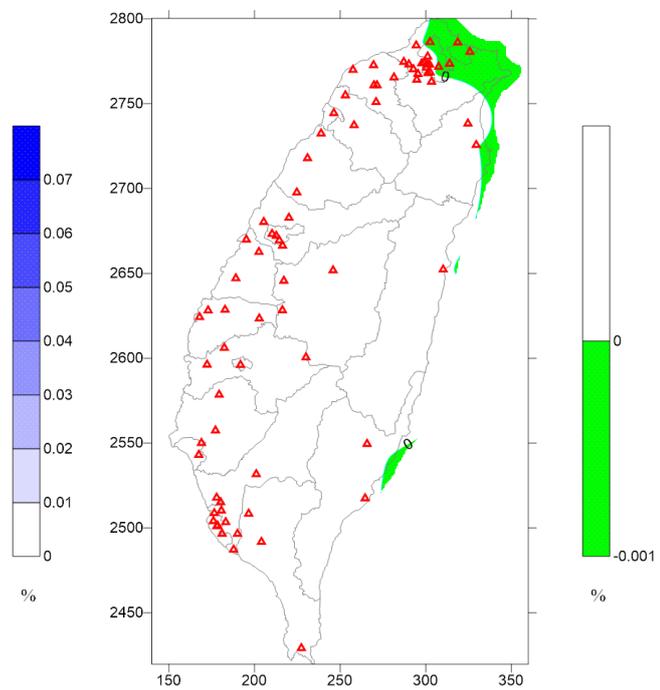
2013 年 10 月 臺北港 SO_4^{2-}



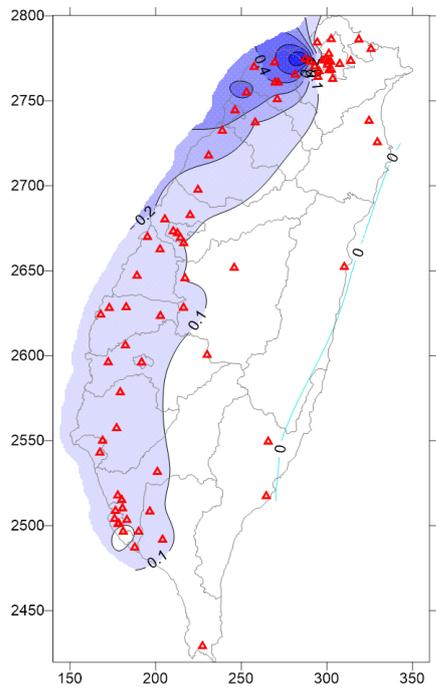
2013 年 10 月 臺北港 NO_3^-



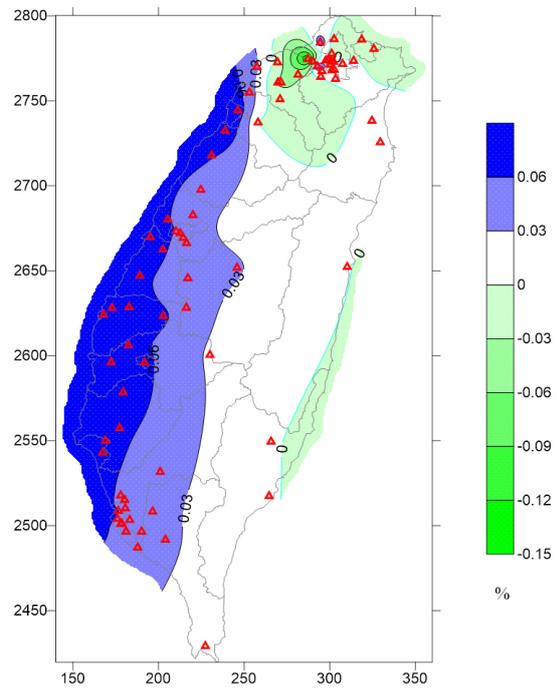
2013 年 10 月 臺北港 NH_4^+



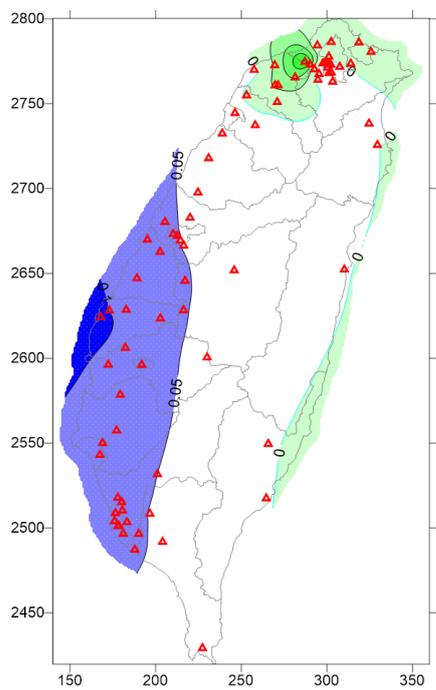
2013 年 10 月 臺北港人為 OC



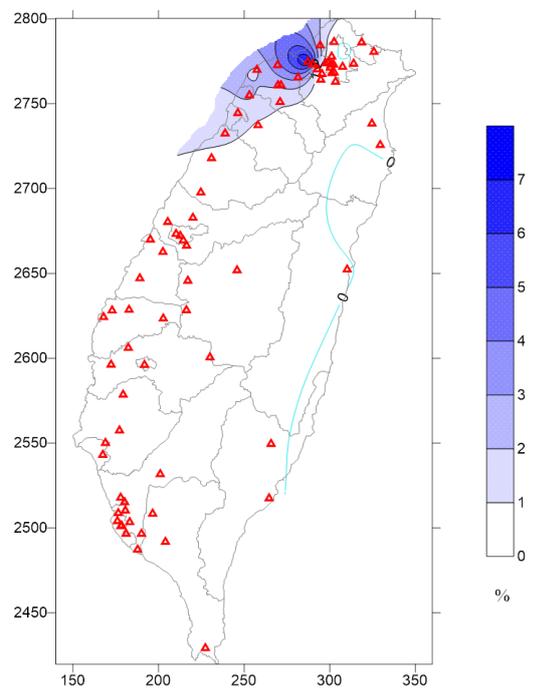
2013 年 10 月 臺北港 PM_{2.5}



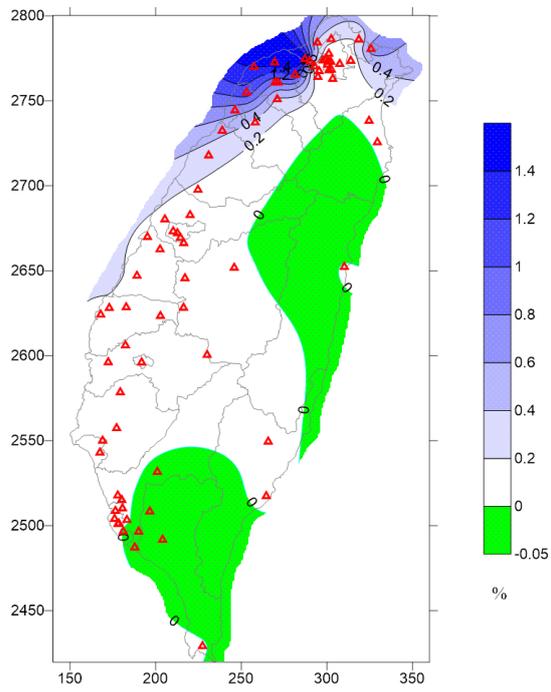
2013 年 10 月 臺北港 O_{3max}



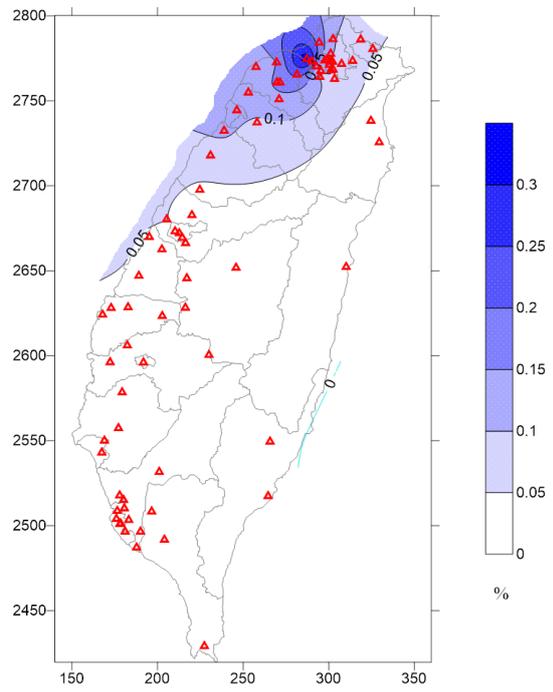
2013 年 10 月 臺北港 O_{3ave8}



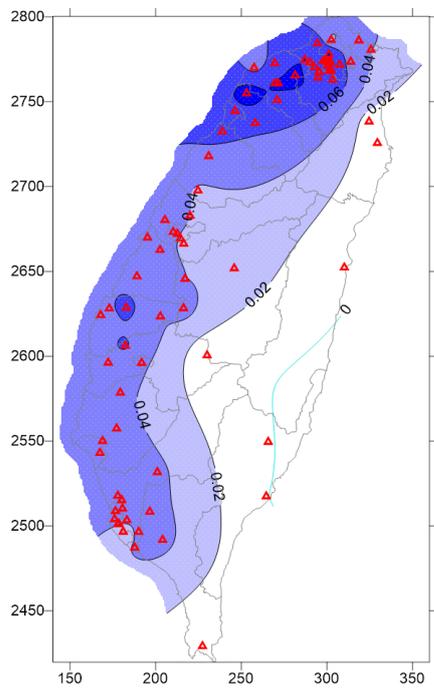
2013 年 10 月 臺北港 SO₂



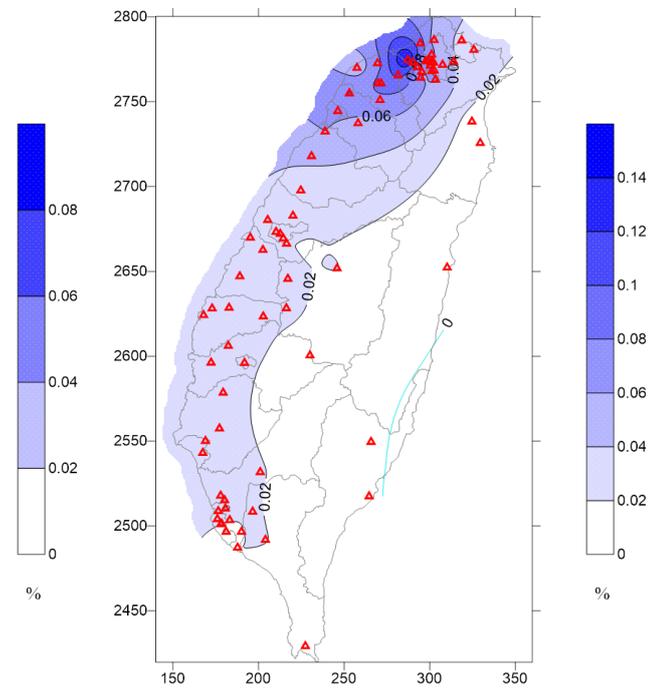
2013 年 10 月 台北港 NO_x



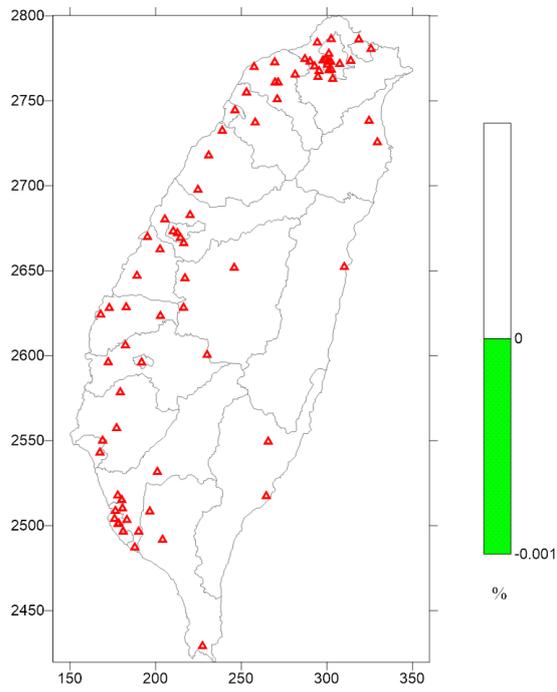
2013 年平均 臺北港 SO₄²⁻



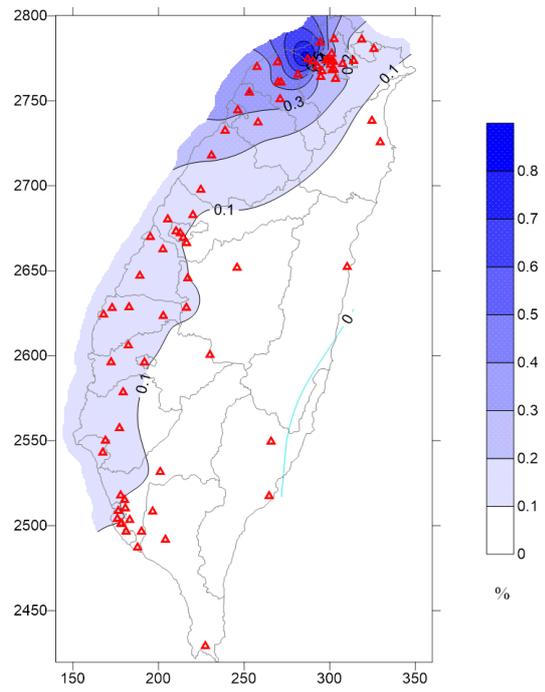
2013 年平均 臺北港 NO₃⁻



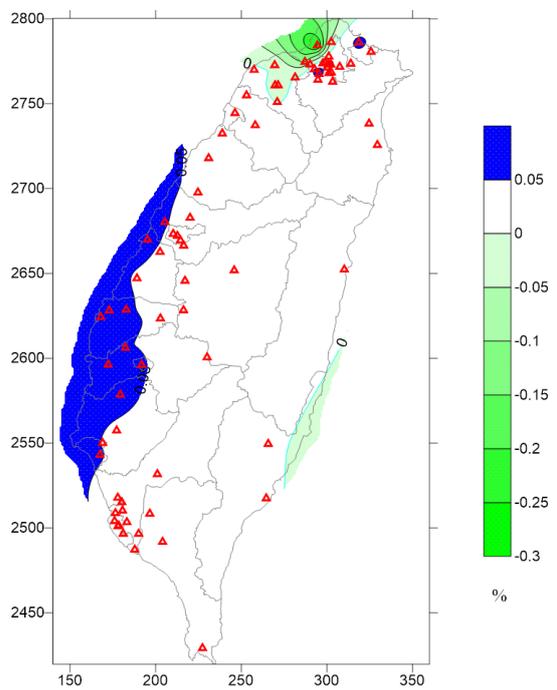
2013 年平均 臺北港 NH₄⁺



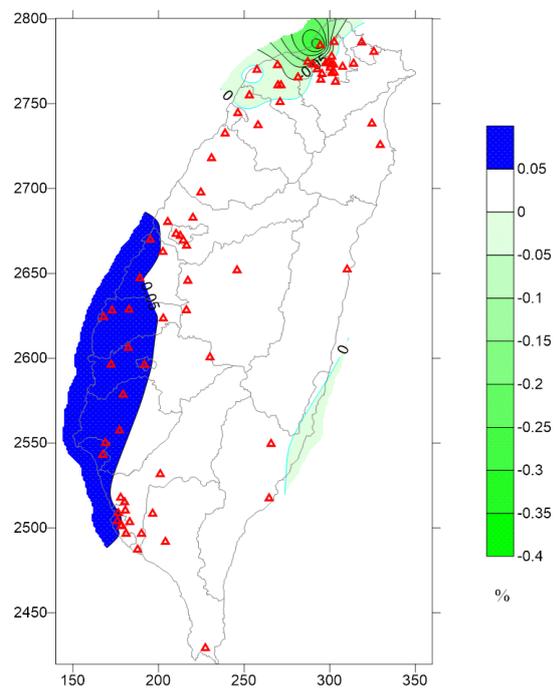
2013 年平均 臺北港人為 OC



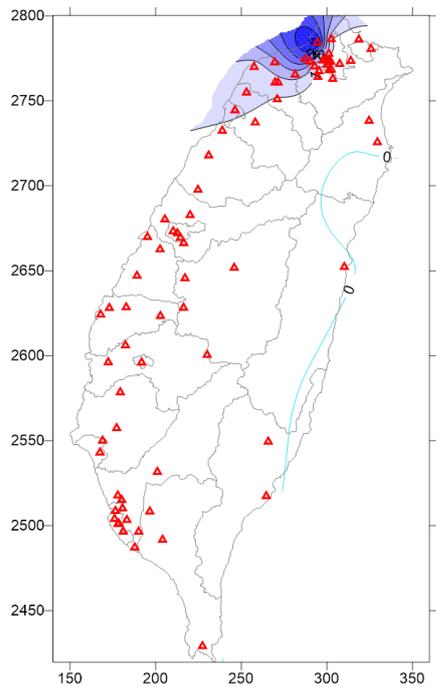
2013 年平均 臺北港 PM_{2.5}



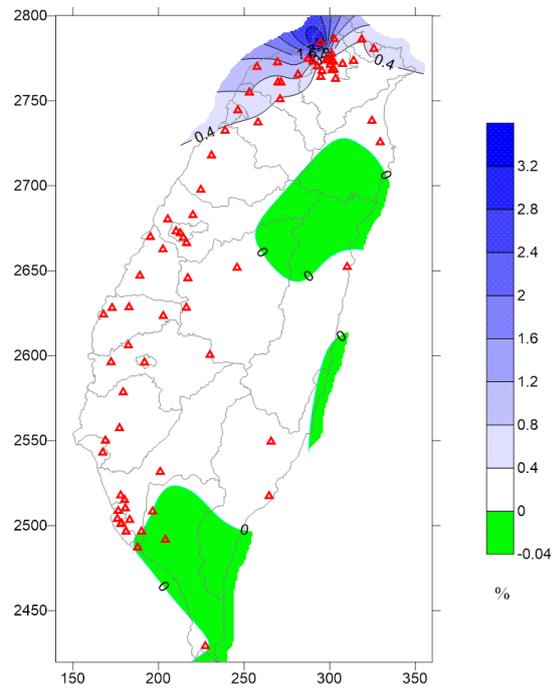
2013 年平均 臺北港 O_{3max}



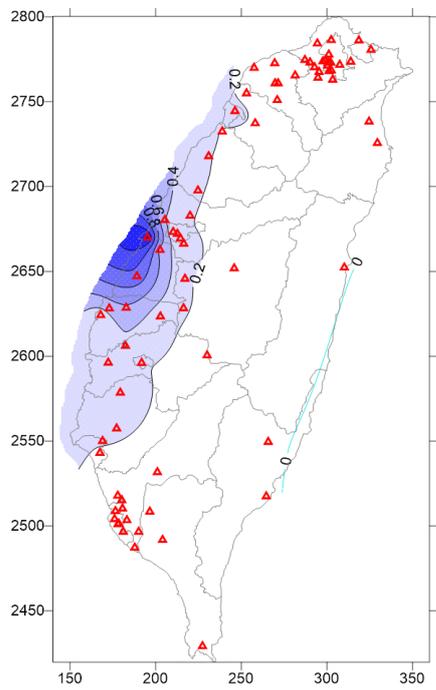
2013 年平均 臺北港 O_{3ave8}



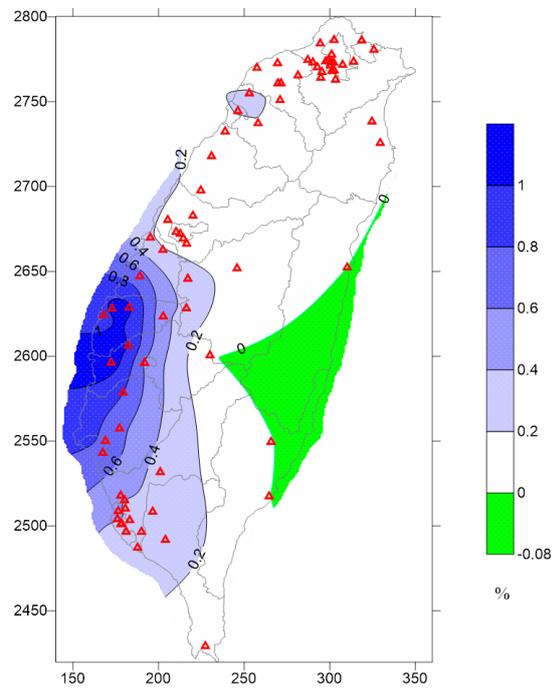
2013 年平均 臺北港 SO₂



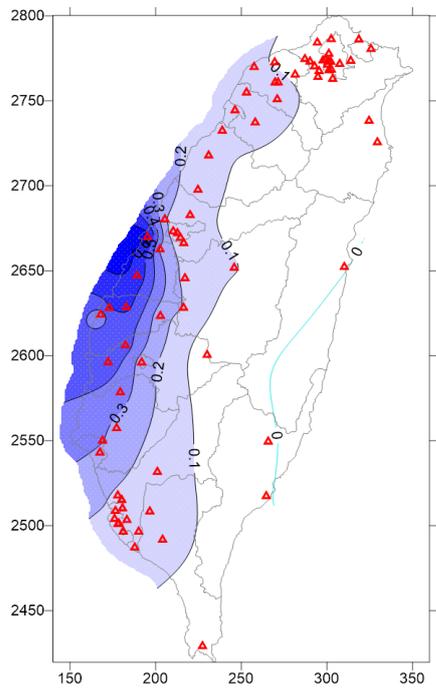
2013 年平均 臺北港 NO_x



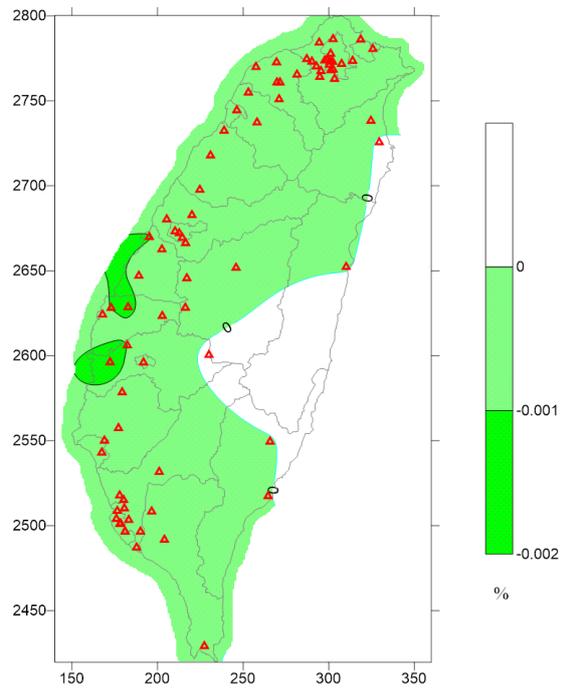
2013 年 4 月 臺中港 SO₄²⁻



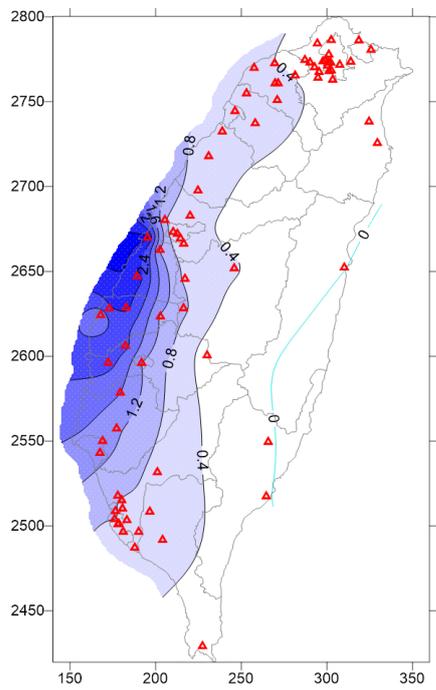
2013 年 4 月 臺中港 NO₃⁻



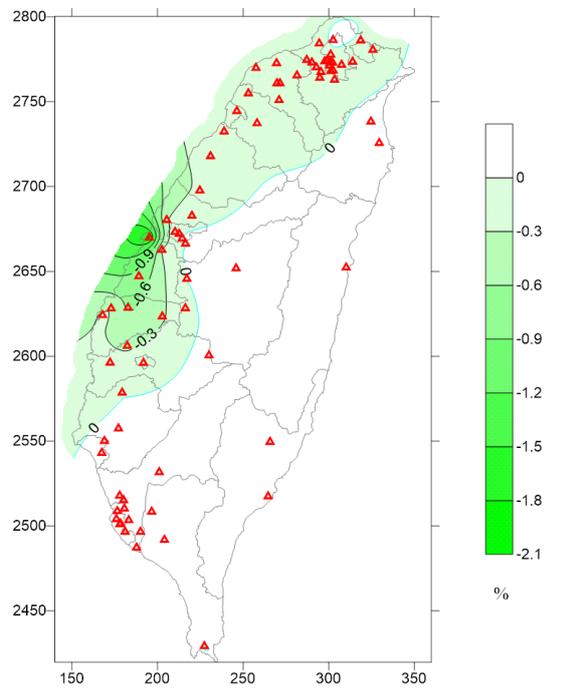
2013 年 4 月 臺中港 NH_4^+



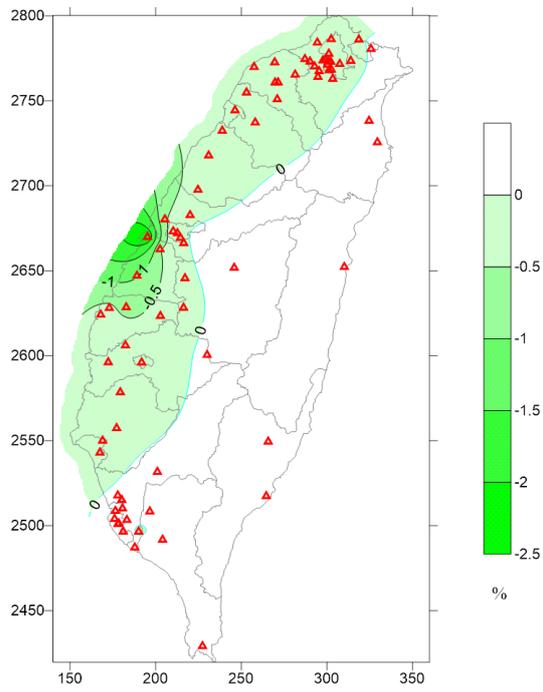
2013 年 4 月 臺中港人為 OC



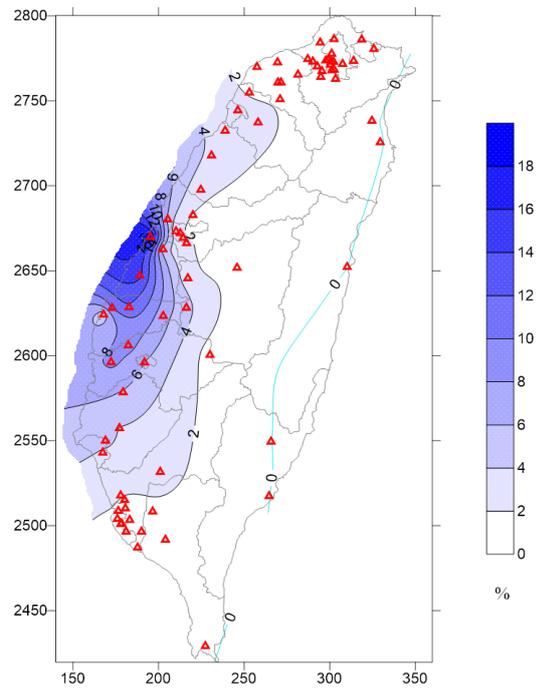
2013 年 4 月 臺中港 $\text{PM}_{2.5}$



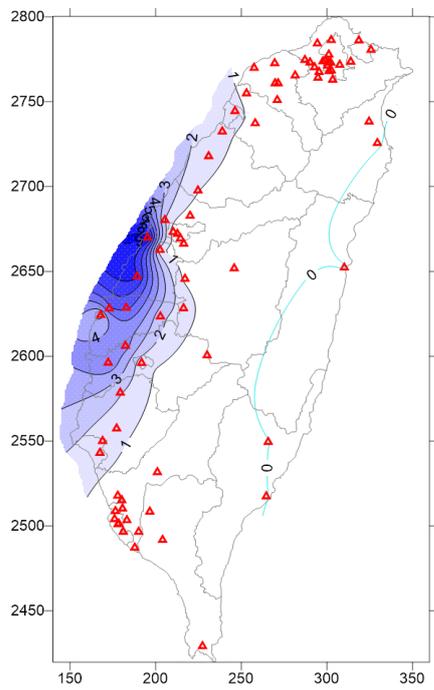
2013 年 4 月 臺中港 $\text{O}_{3\text{max}}$



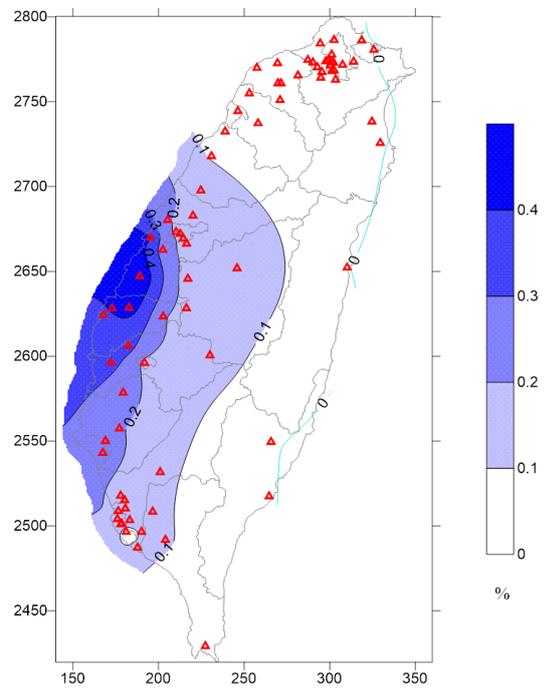
2013 年 4 月 臺中港 O_{3ave8}



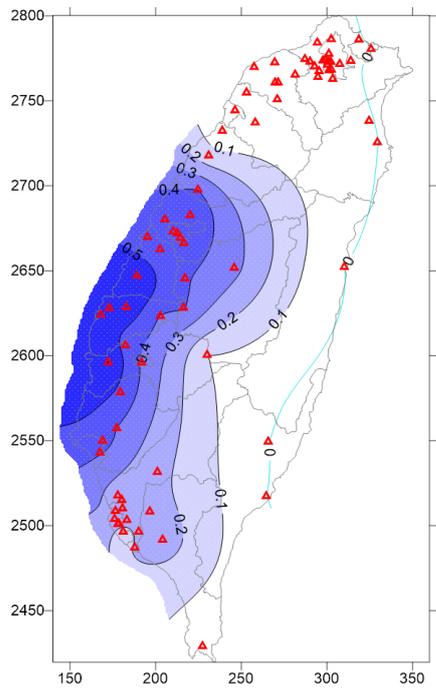
2013 年 4 月 臺中港 SO_2



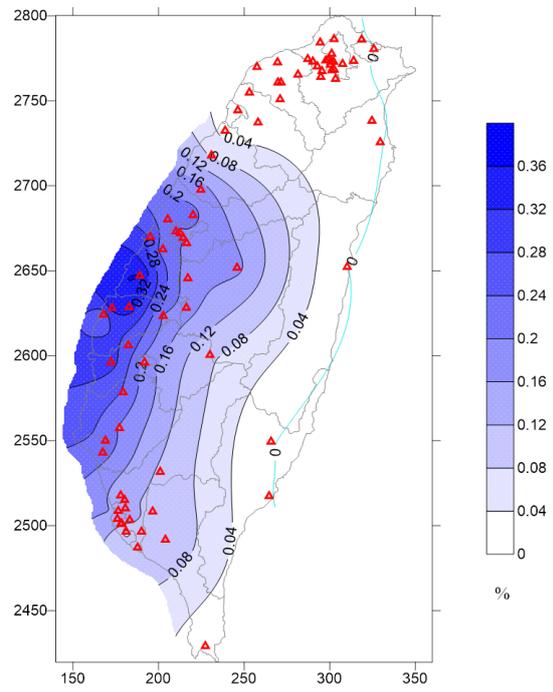
2013 年 4 月 臺中港 NO_x



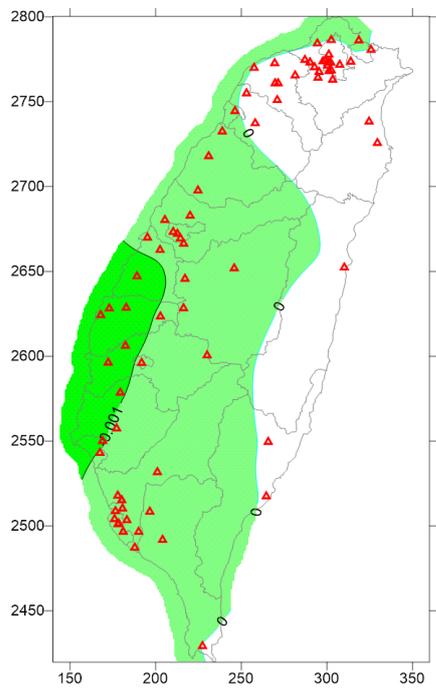
2013 年 10 月 臺中港 SO_4^{2-}



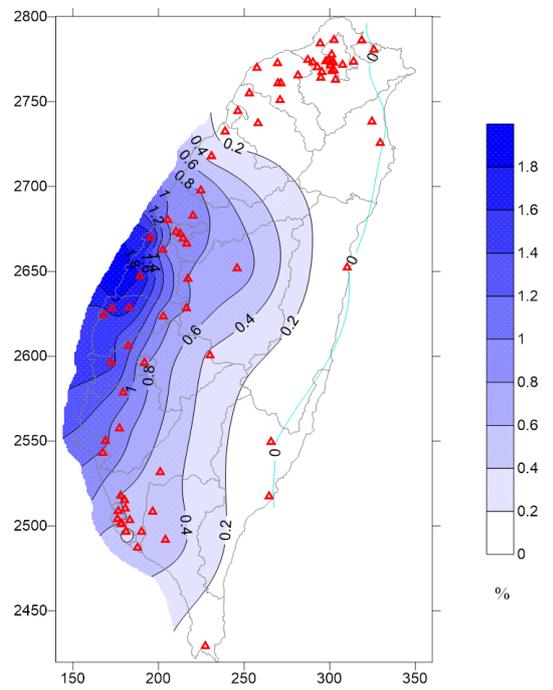
2013 年 10 月 臺中港 NO_3^-



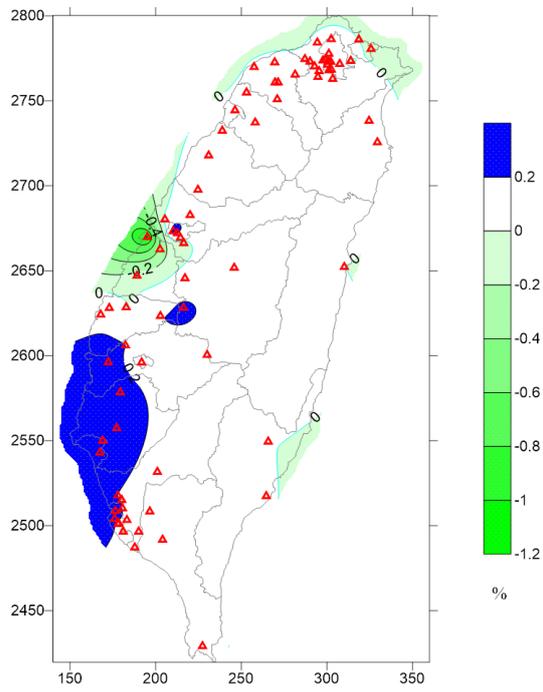
2013 年 10 月 臺中港 NH_4^+



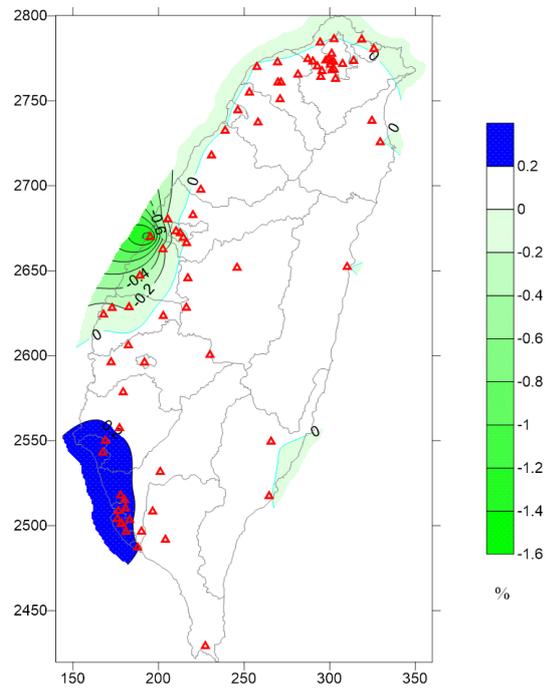
2013 年 10 月 臺中港人為 OC



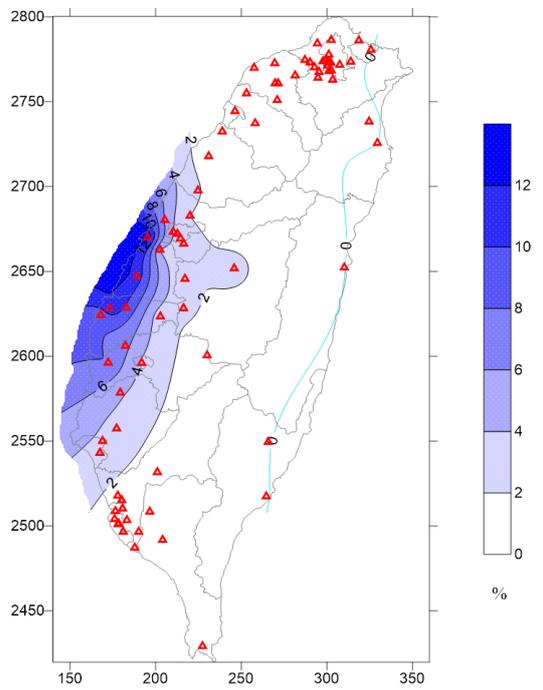
2013 年 10 月 臺中港 $\text{PM}_{2.5}$



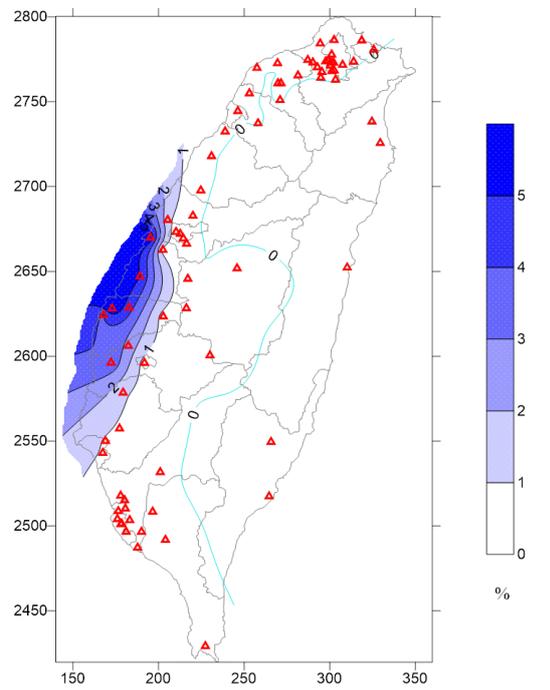
2013 年 10 月 臺中港 O_3 max



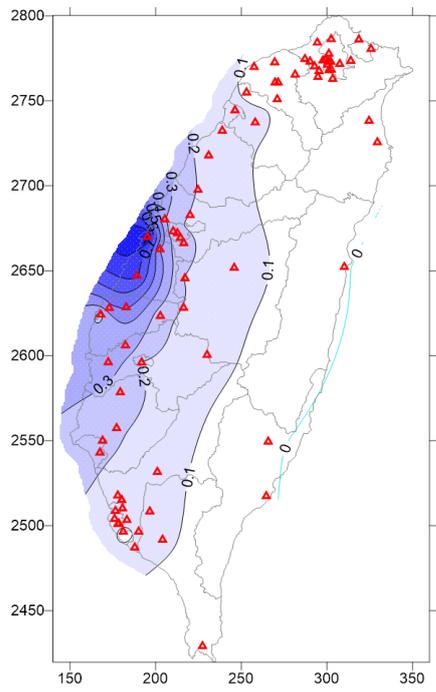
2013 年 10 月 臺中港 O_3 ave8



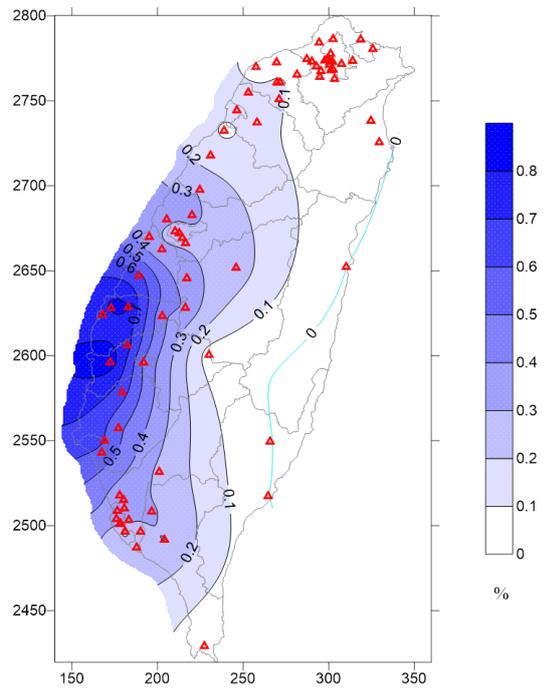
2013 年 10 月 臺中港 SO_2



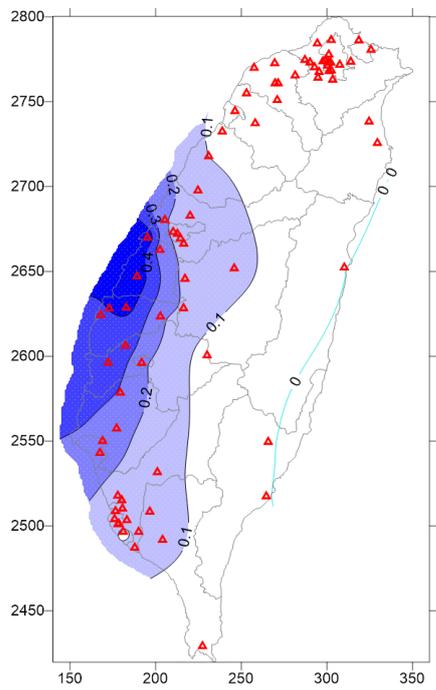
2013 年 10 月 臺中港 NO_x



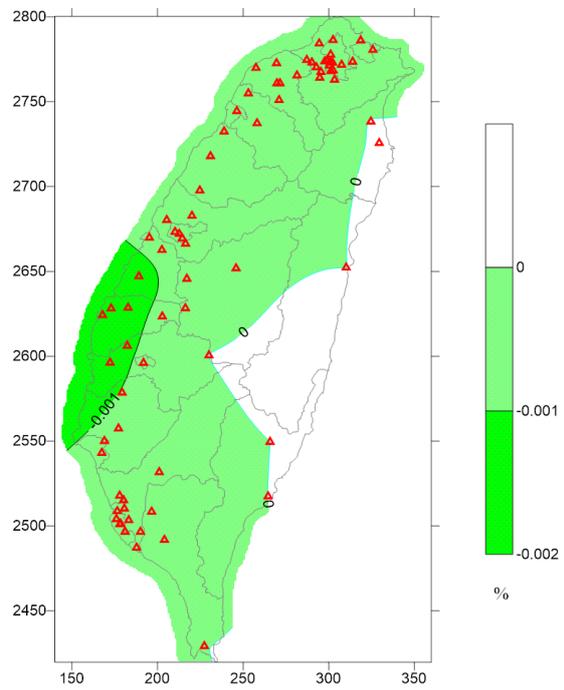
2013 年平均 臺中港 SO_4^{2-}



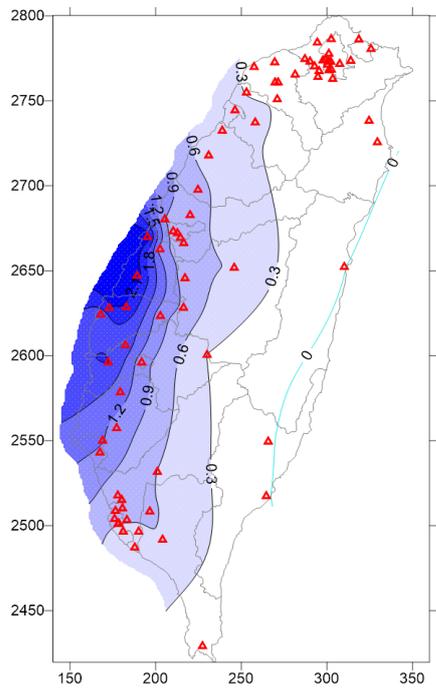
2013 年平均 臺中港 NO_3^-



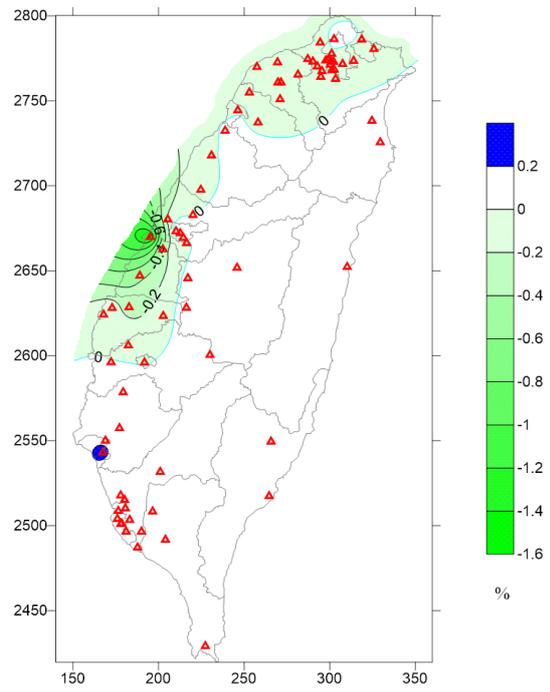
2013 年平均 臺中港 NH_4^+



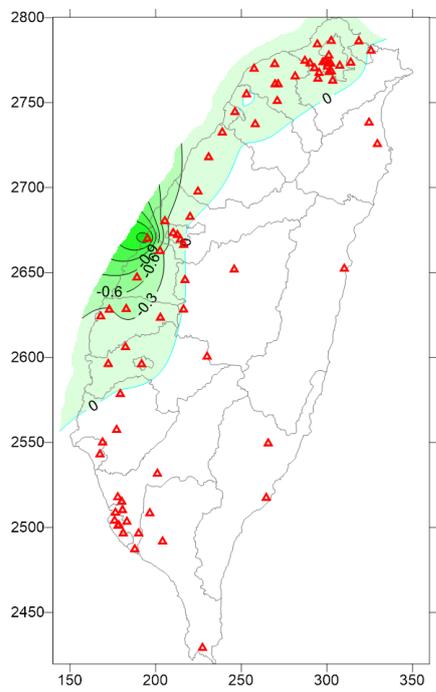
2013 年平均 臺中港人為 OC



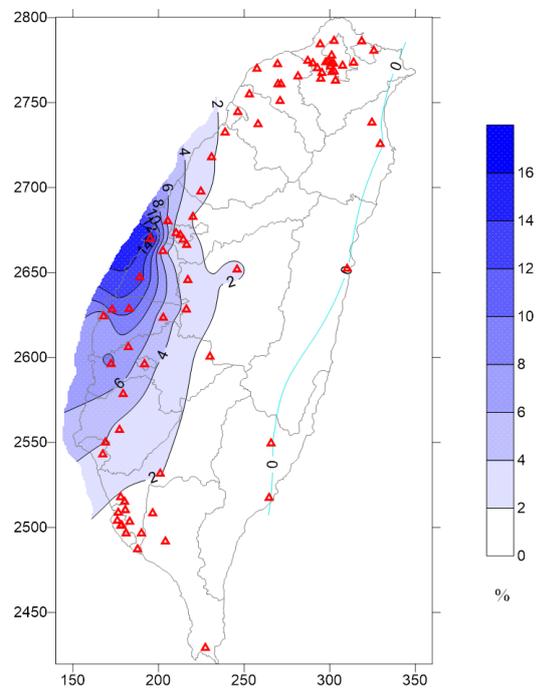
2013 年平均 臺中港 PM_{2.5}



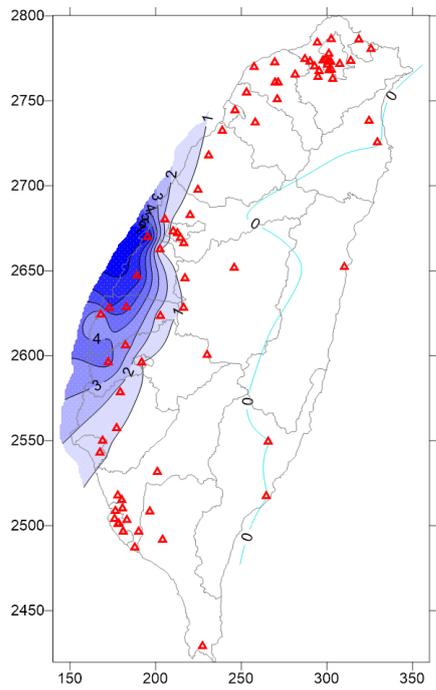
2013 年平均 臺中港 O_{3max}



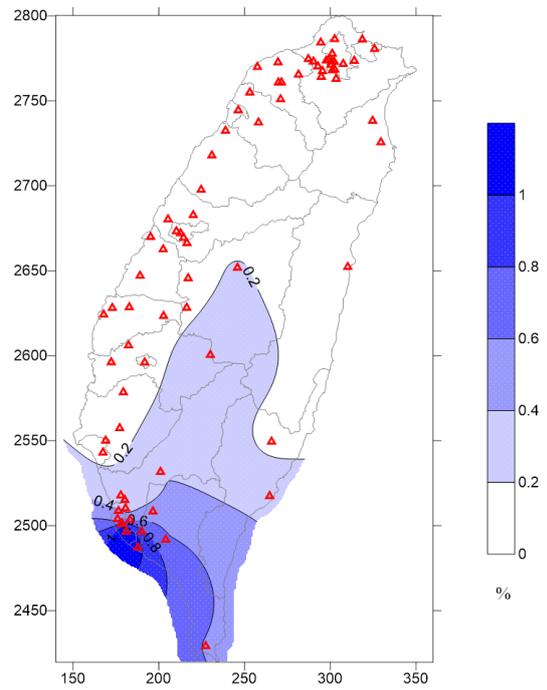
2013 年平均 臺中港 O_{3ave8}



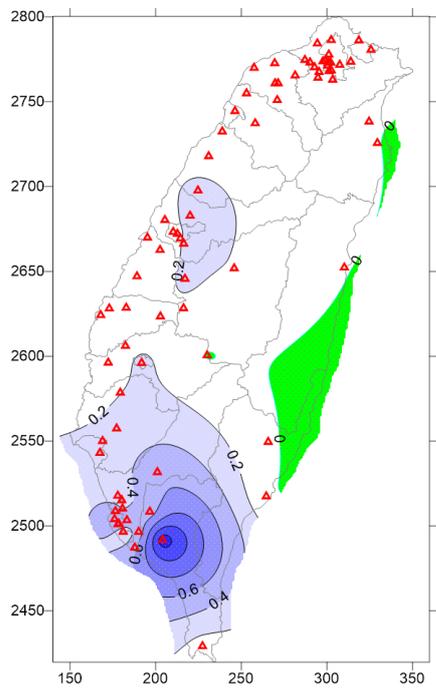
2013 年平均 臺中港 SO₂



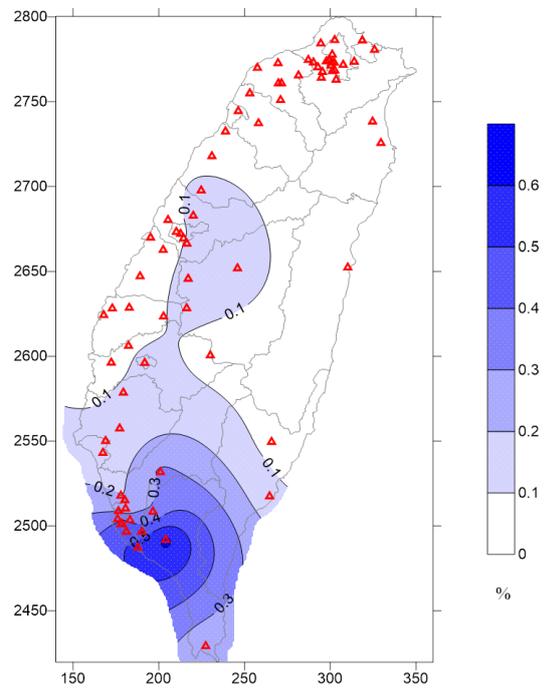
2013 年平均 臺中港 NO_x



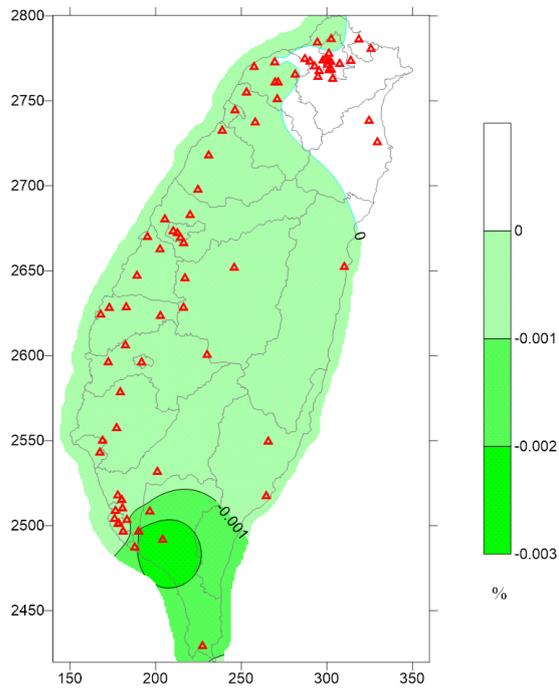
2013 年 4 月 高雄港 SO₄²⁻



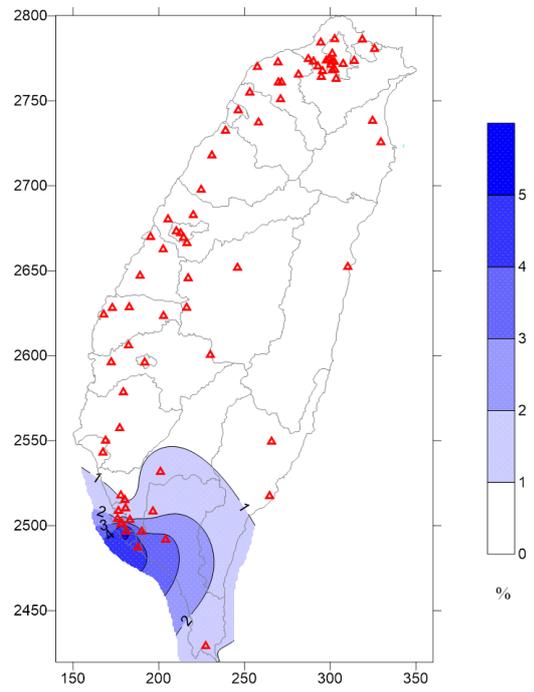
2013 年 4 月 高雄港 NO₃⁻



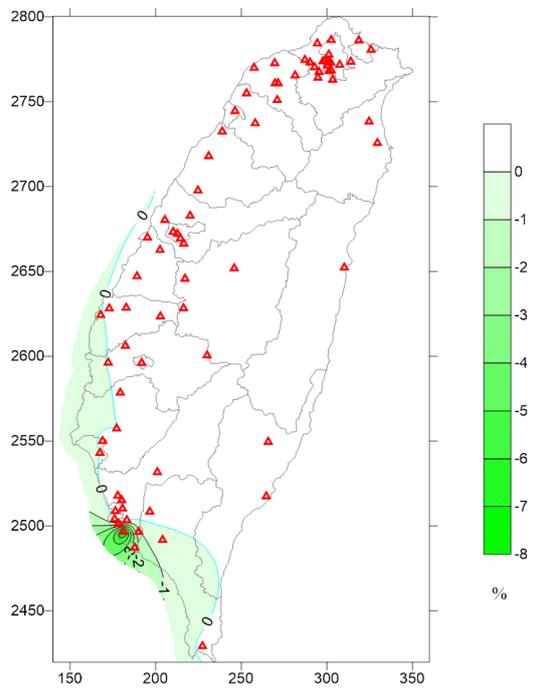
2013 年 4 月 高雄港 NH₄⁺



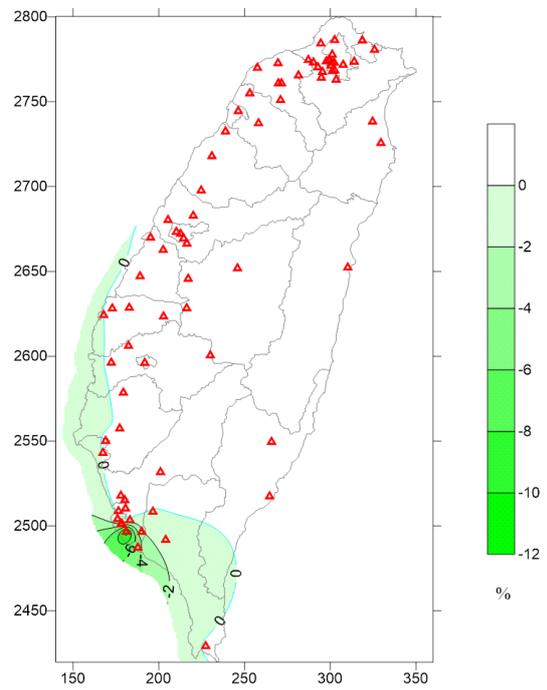
2013 年 4 月 高雄港人為 OC



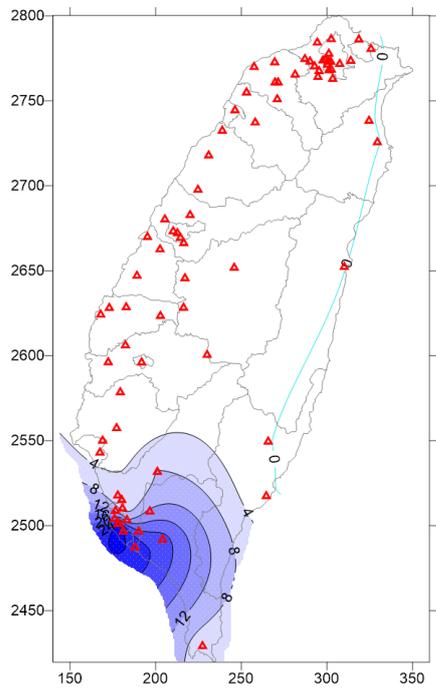
2013 年 4 月 高雄港 PM_{2.5}



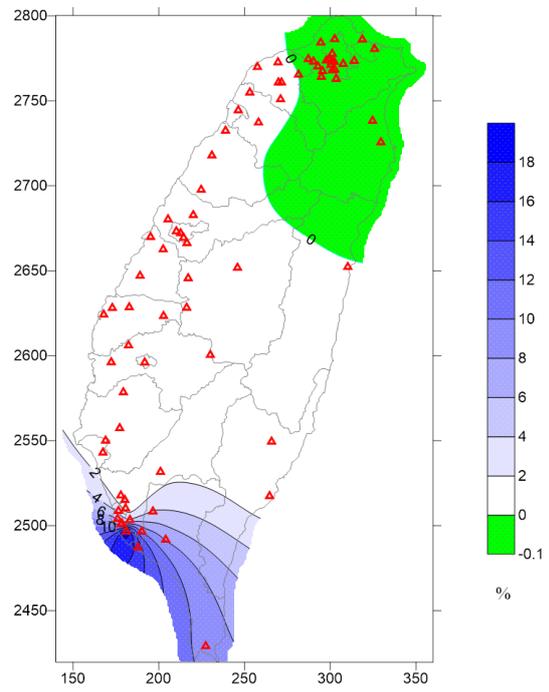
2013 年 4 月 高雄港 O_{3max}



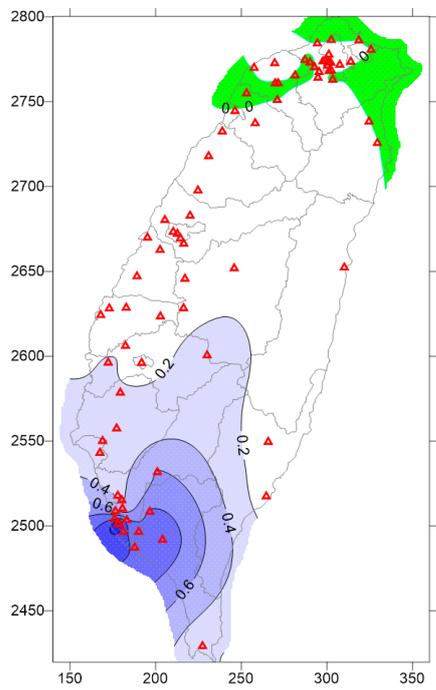
2013 年 4 月 高雄港 O_{3ave8}



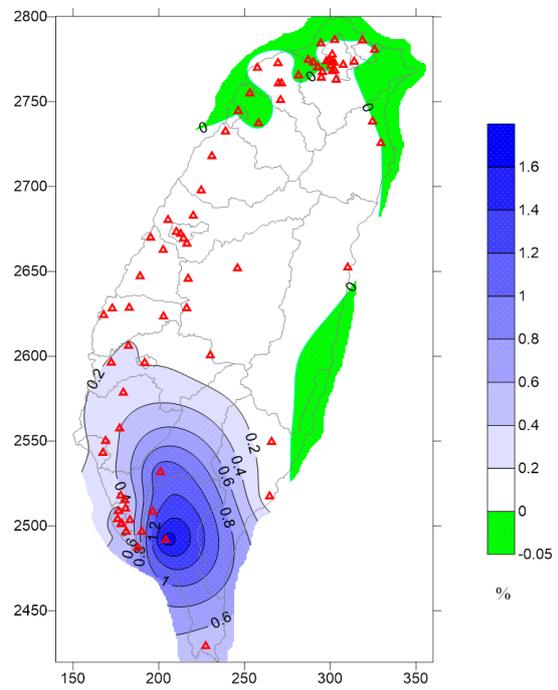
2013 年 4 月 高雄港 SO₂



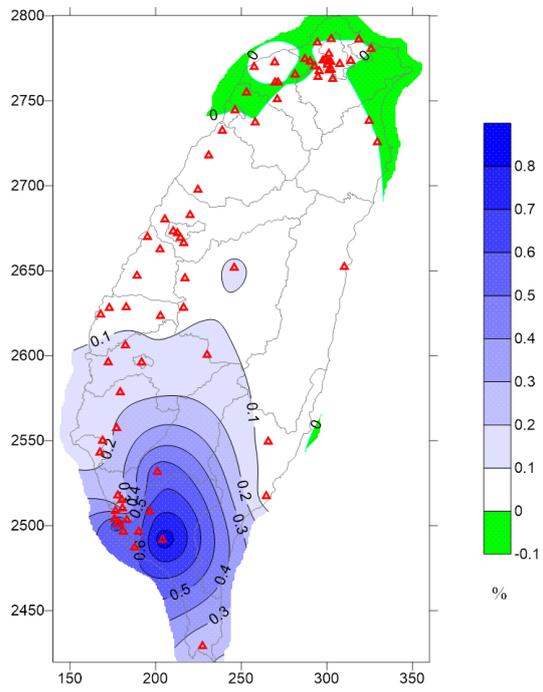
2013 年 4 月 高雄港 NO_x



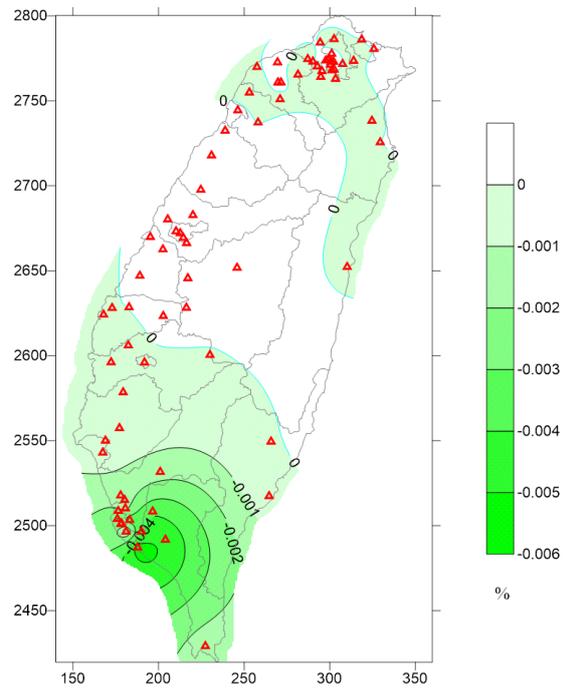
2013 年 10 月 高雄港 SO₄²⁻



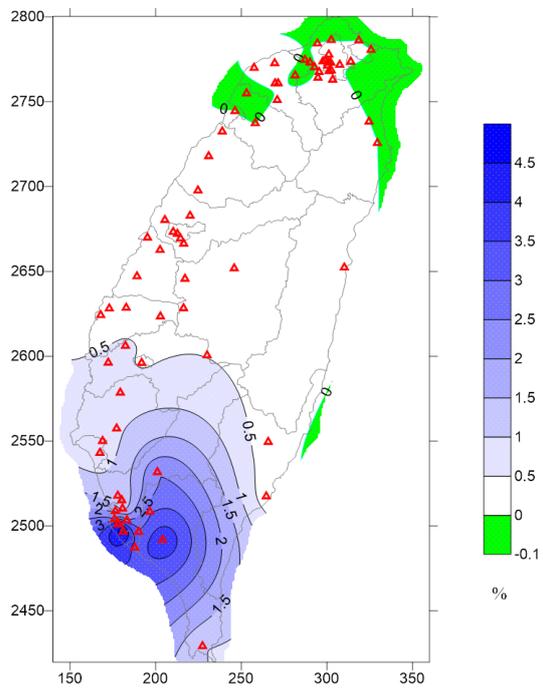
2013 年 10 月 高雄港 NO₃⁻



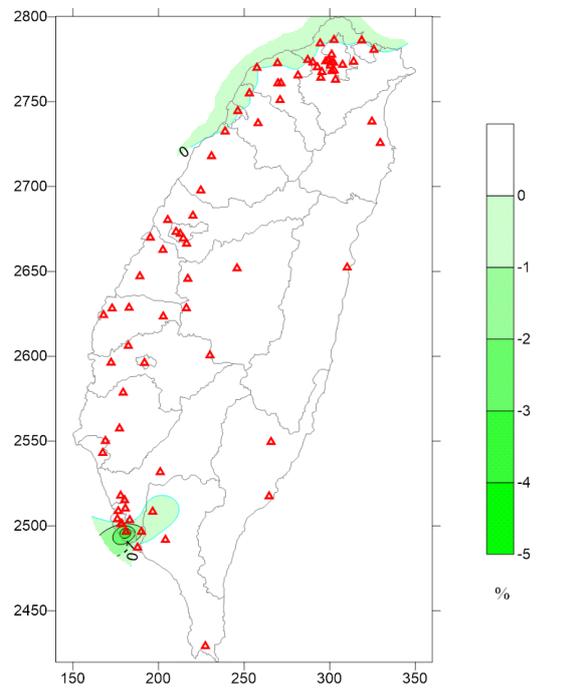
2013 年 10 月 高雄港 NH_4^+



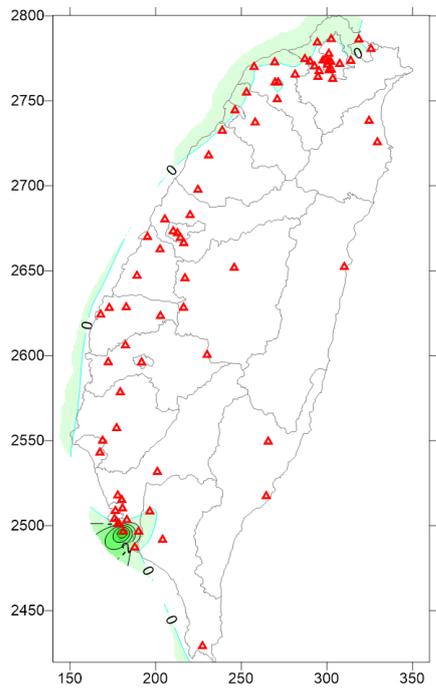
2013 年 10 月 高雄港人為 OC



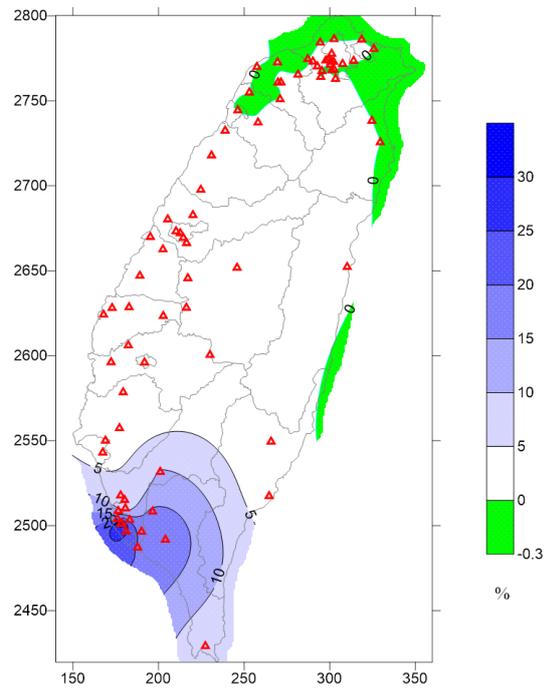
2013 年 10 月 高雄港 $\text{PM}_{2.5}$



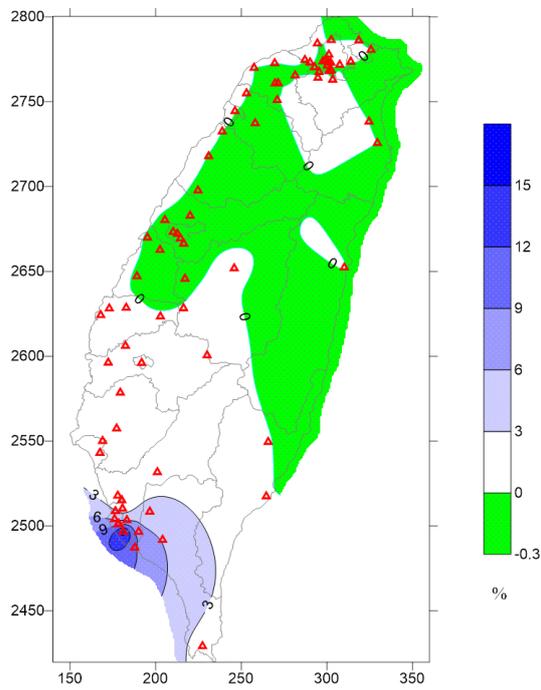
2013 年 10 月 高雄港 $\text{O}_{3\text{max}}$



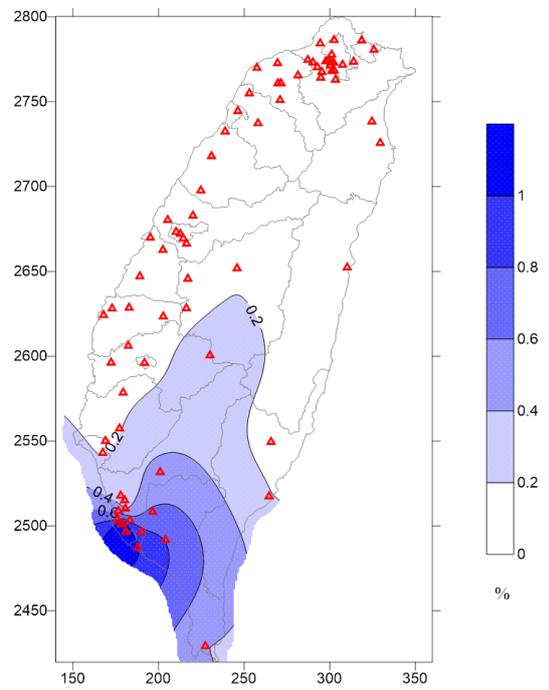
2013年10月 高雄港 O_{3ave8}



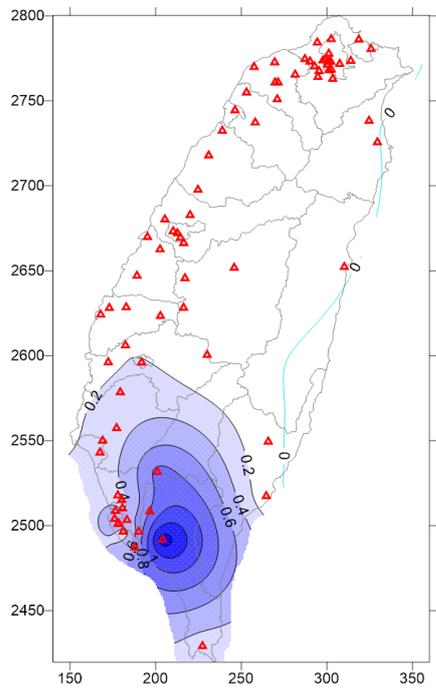
2013年10月 高雄港 SO₂



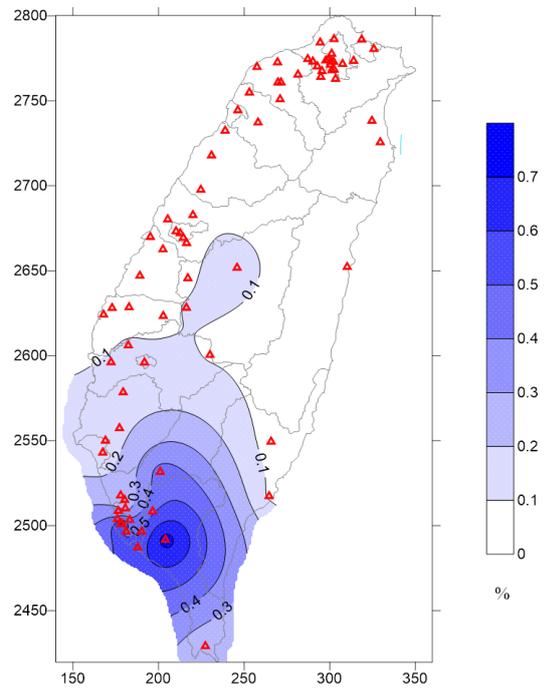
2013年10月 高雄港 NO_x



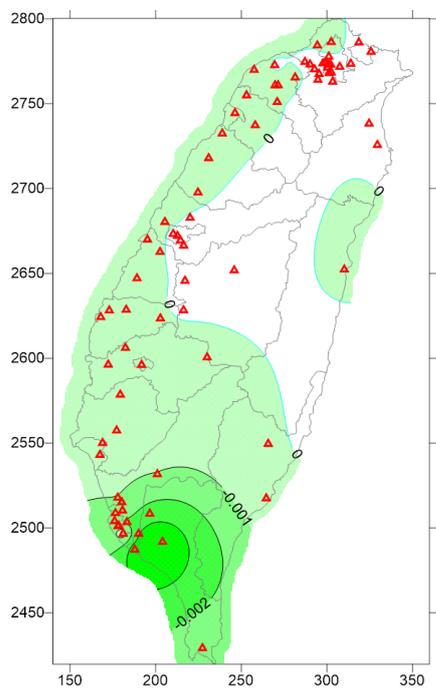
2013年平均 高雄港 SO₄²⁻



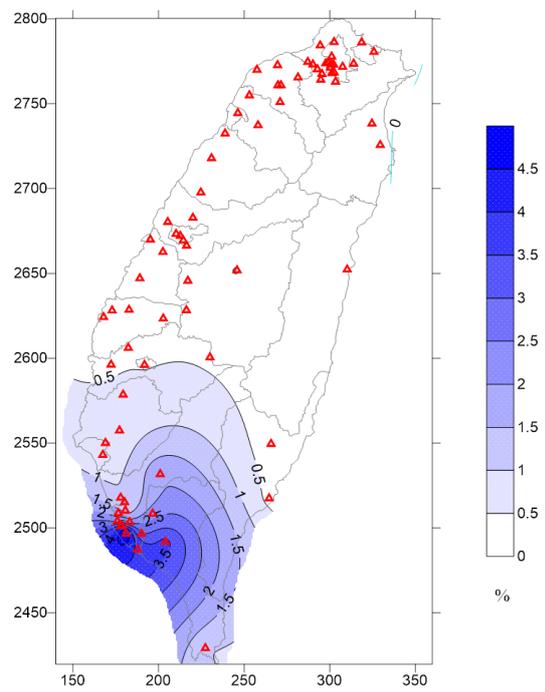
2013 年平均 高雄港 NO_3^-



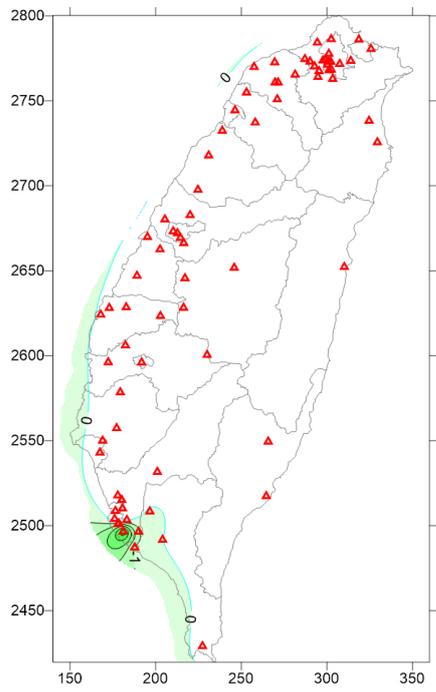
2013 年平均 高雄港 NH_4^+



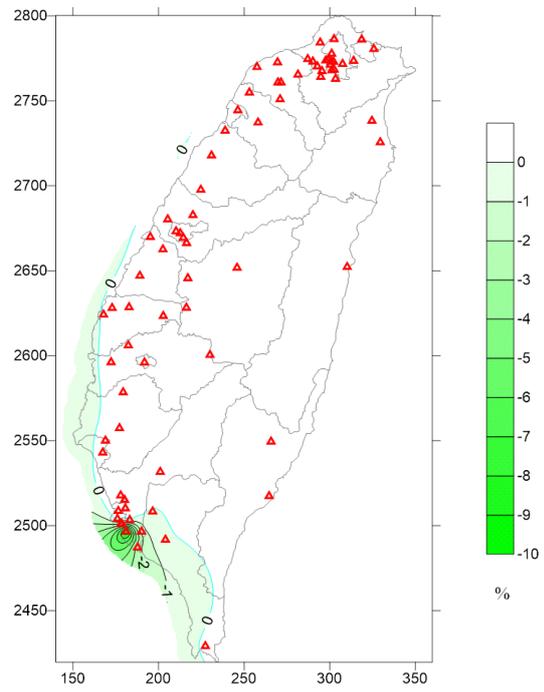
2013 年平均 高雄港人為 OC



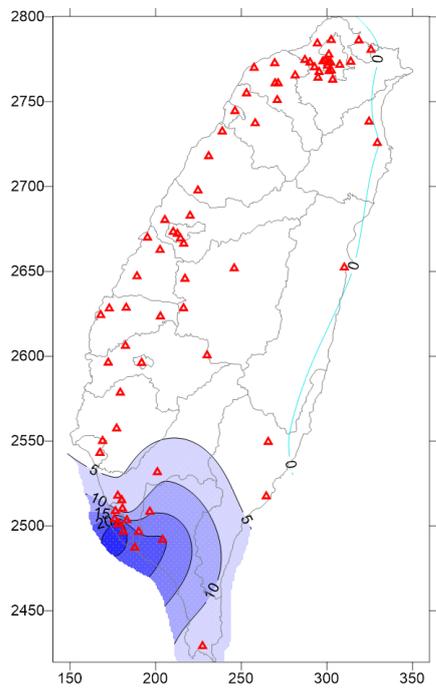
2013 年平均 高雄港 $\text{PM}_{2.5}$



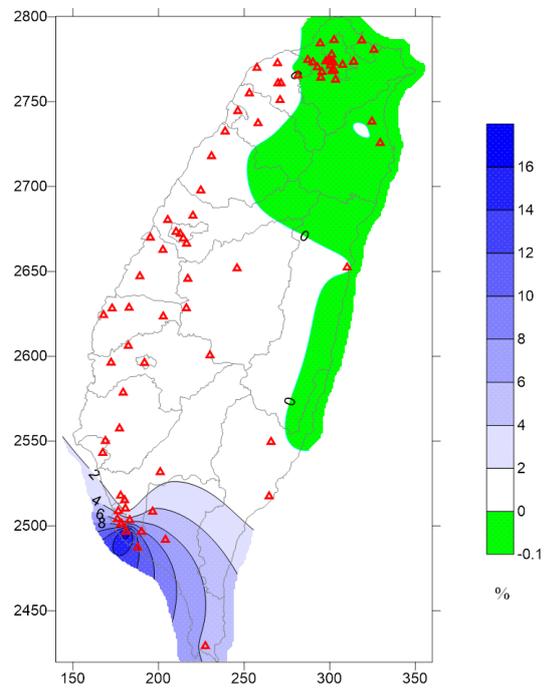
2013 年平均 高雄港 O_{3max}



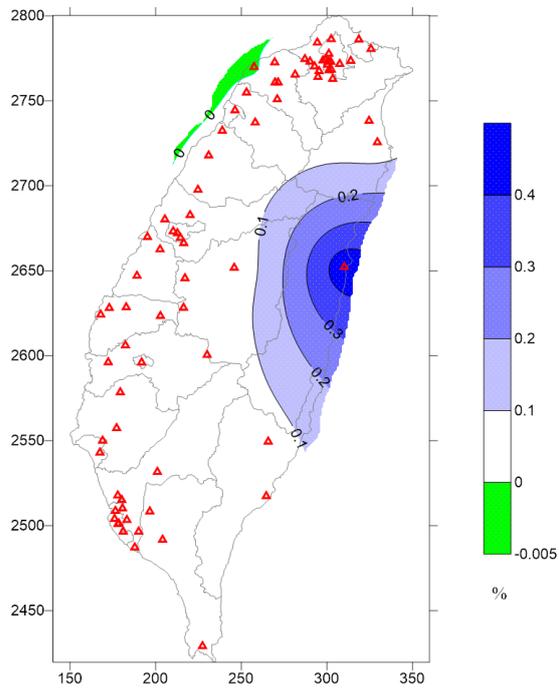
2013 年平均 高雄港 O_{3ave8}



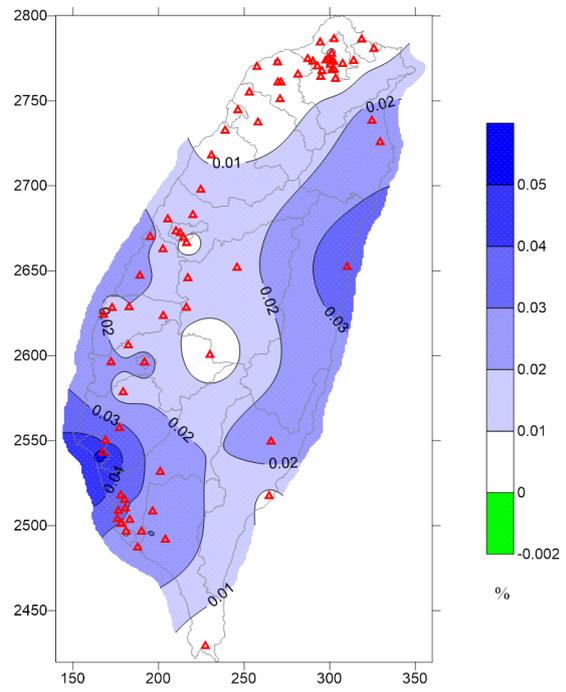
2013 年平均 高雄港 SO₂



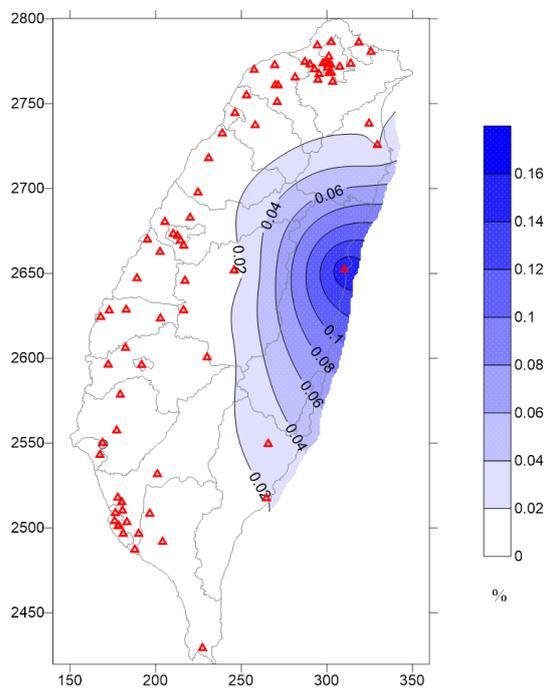
2013 年平均 高雄港 NO_x



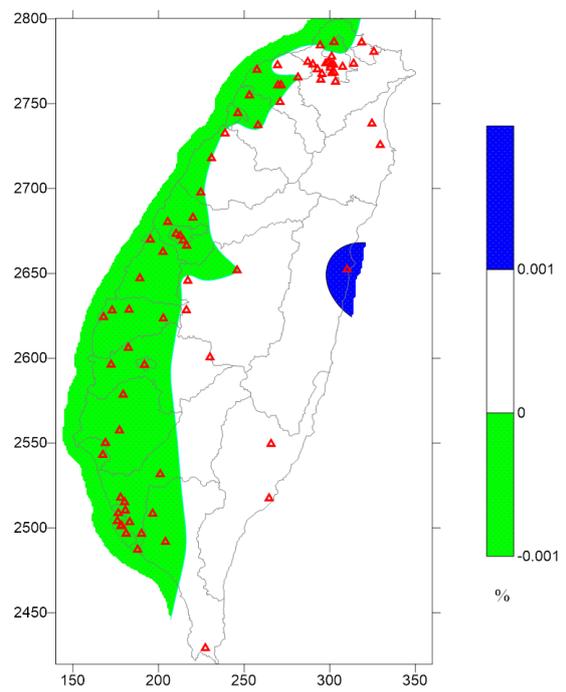
2013年4月 花蓮港 SO_4^{2-}



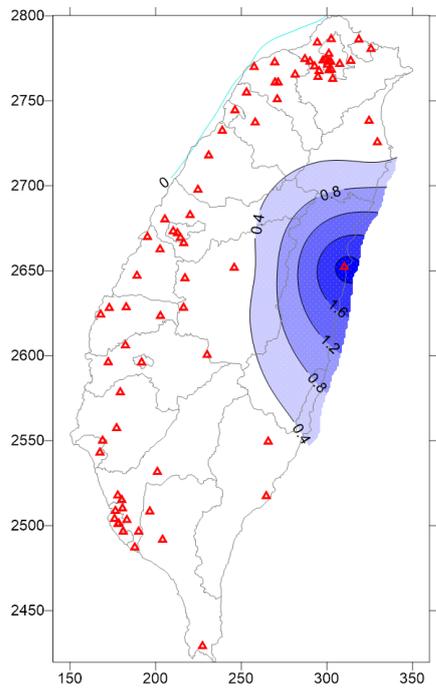
2013年4月 花蓮港 NO_3^-



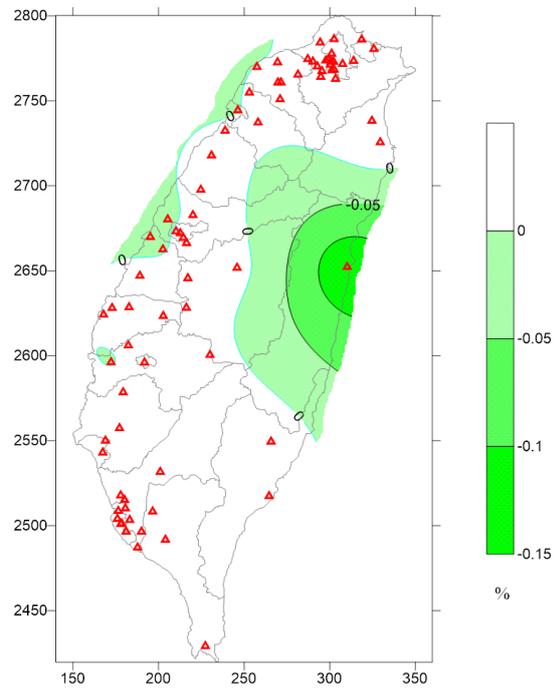
2013年4月 花蓮港 NH_4^+



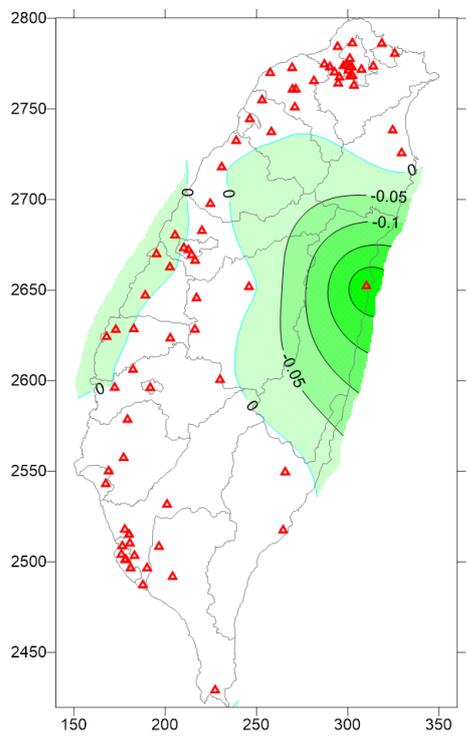
2013年4月 花蓮港人為OC



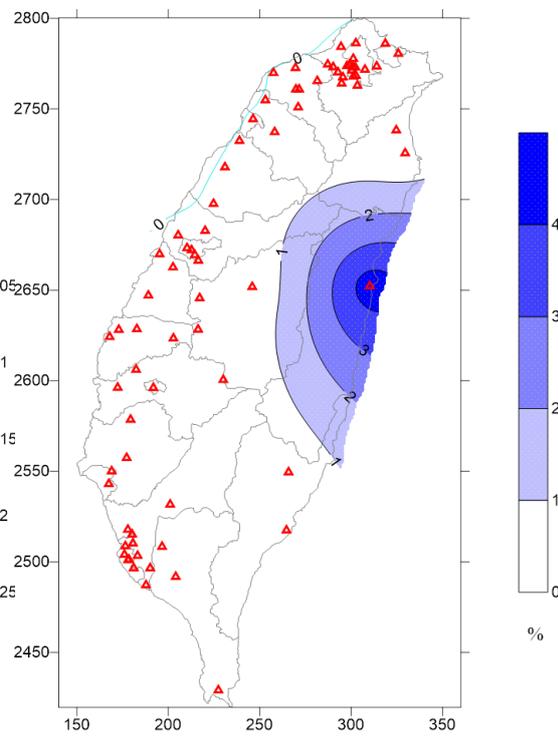
2013年4月 花蓮港 PM_{2.5}



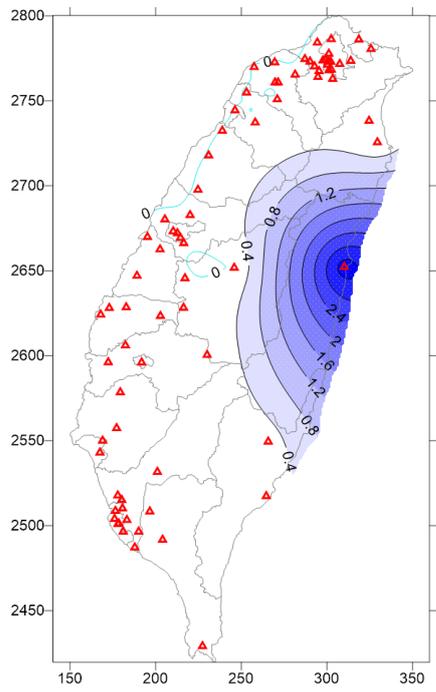
2013年4月 花蓮港 O_{3max}



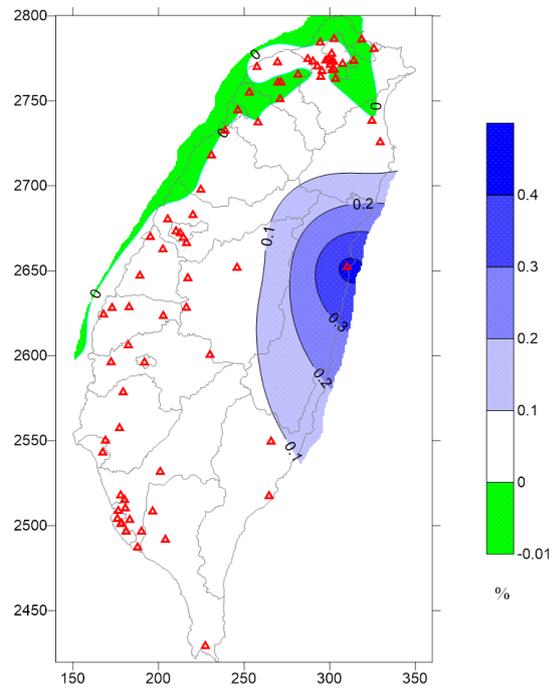
2013年4月 花蓮港 O_{3ave8}



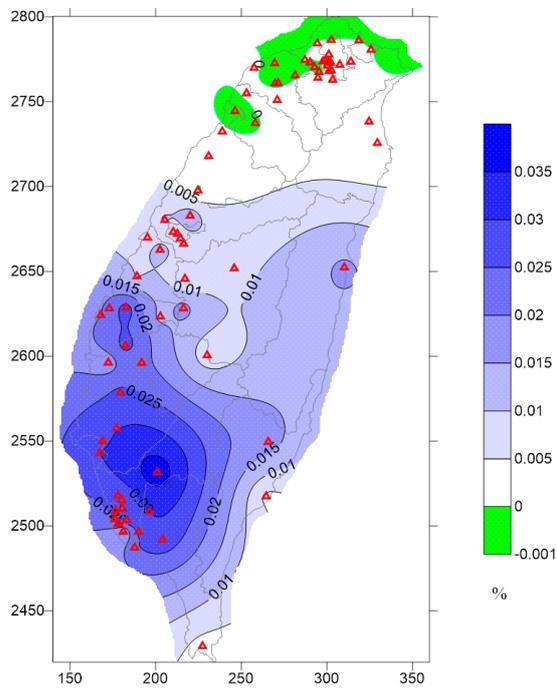
2013年4月 花蓮港 SO₂



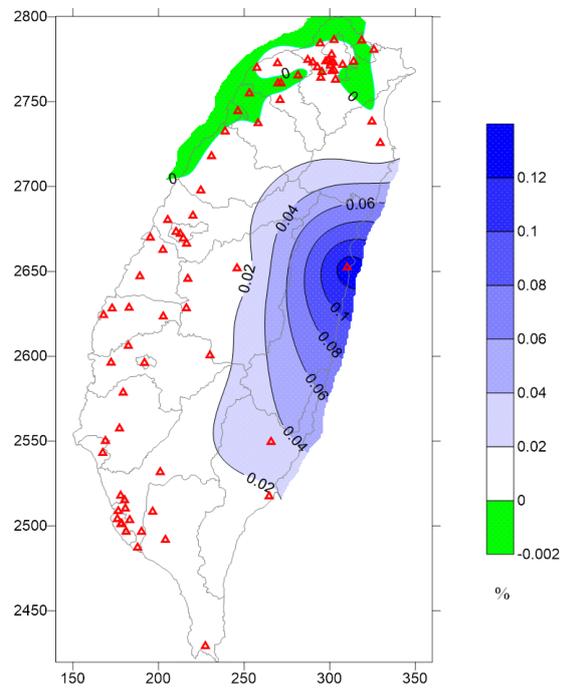
2013 年 4 月 花蓮港 NO_x



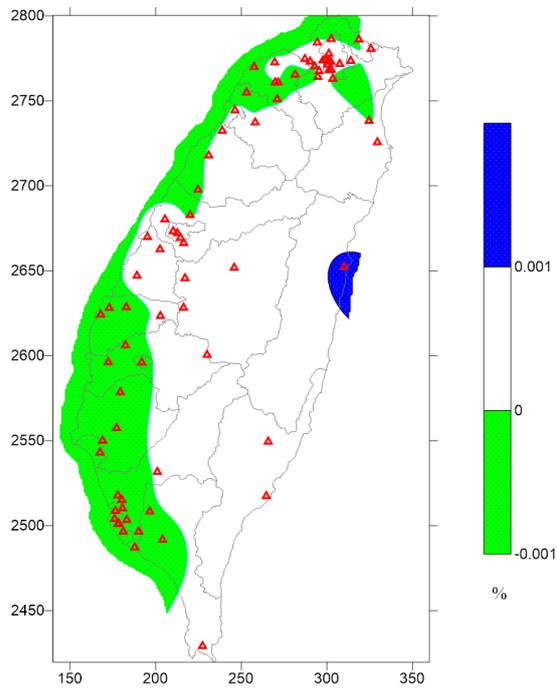
2013 年 10 月 花蓮港 SO₄²⁻



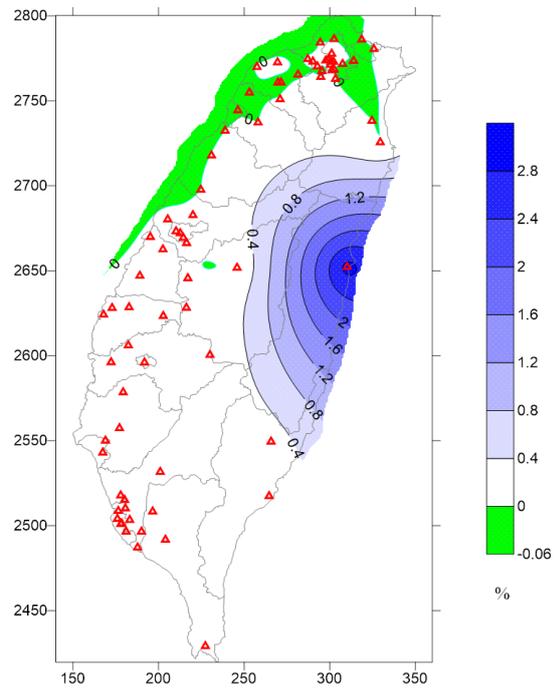
2013 年 10 月 花蓮港 NO₃⁻



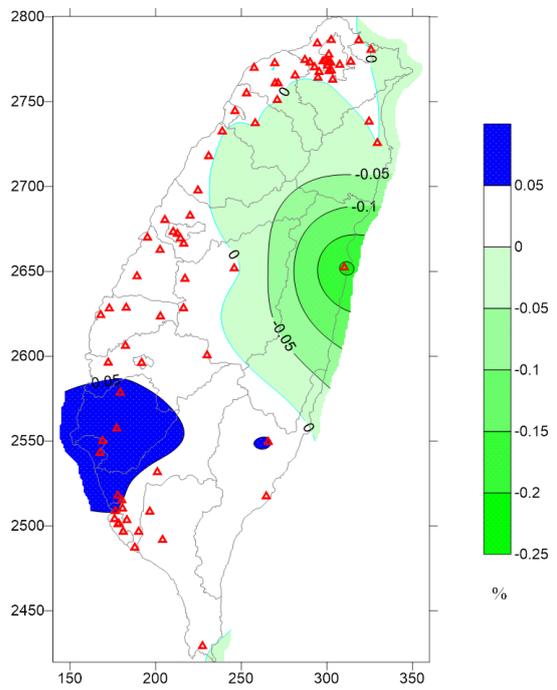
2013 年 10 月 花蓮港 NH₄⁺



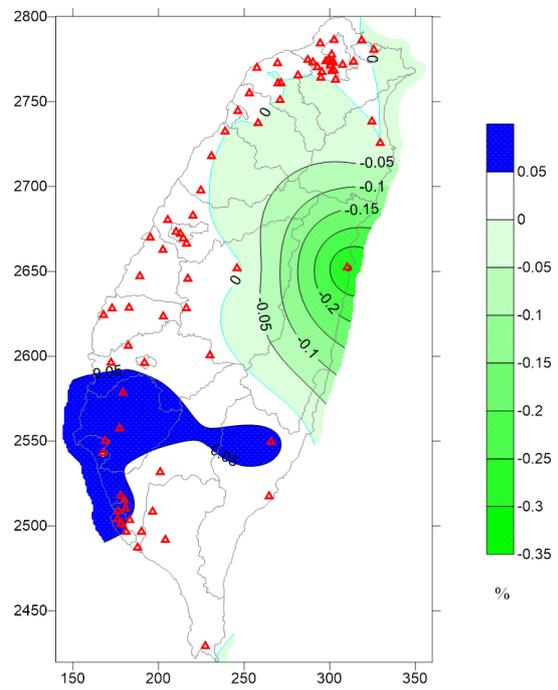
2013 年 10 月 花蓮港人為 OC



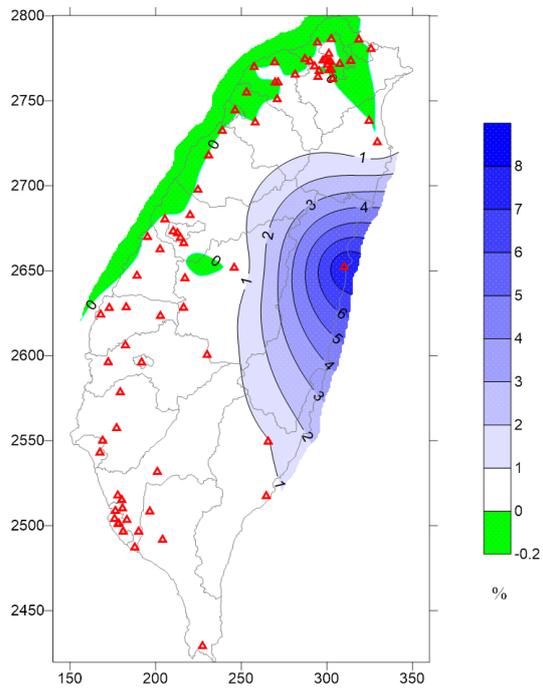
2013 年 10 月 花蓮港 PM_{2.5}



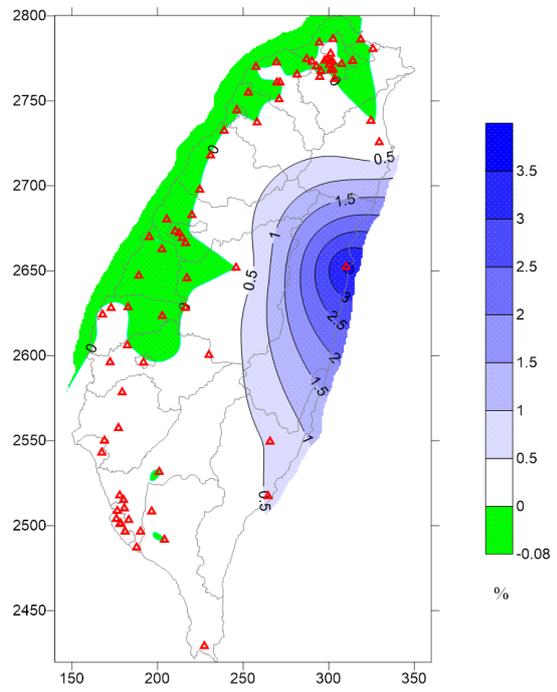
2013 年 10 月 花蓮港 O_{3max}



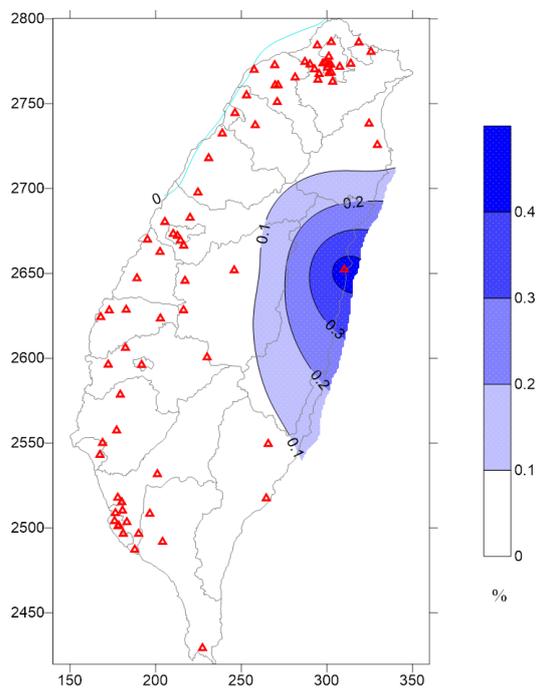
2013 年 10 月 花蓮港 O_{3ave8}



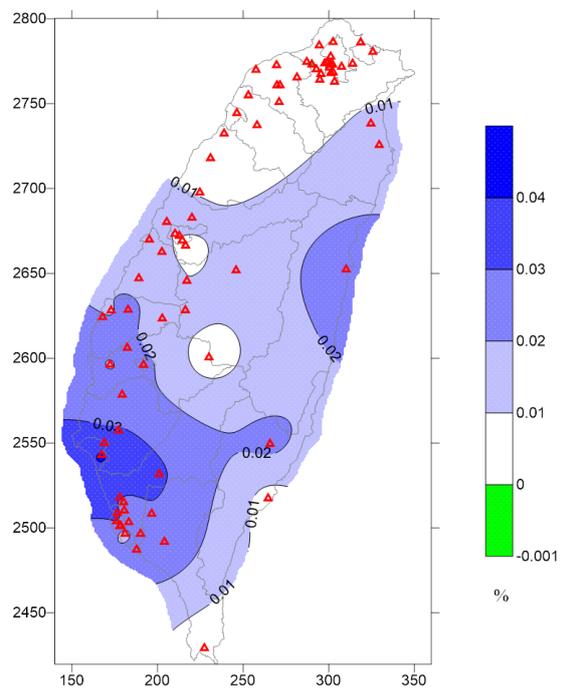
2013 年 10 月 花蓮港 SO₂



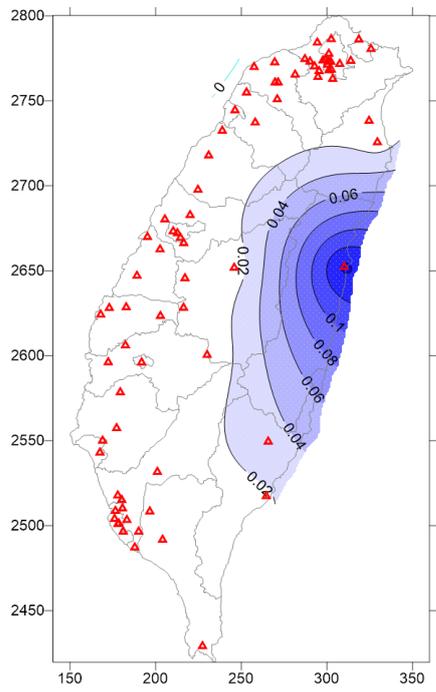
2013 年 10 月 花蓮港 NO_x



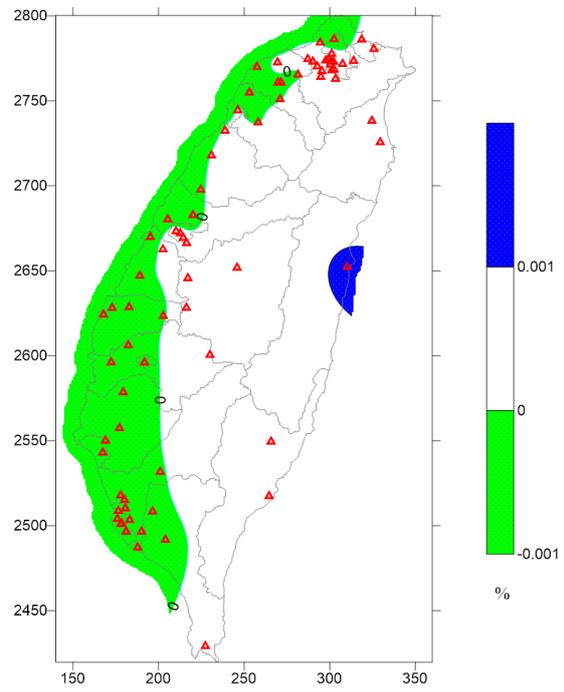
2013 年平均 花蓮港 SO₄²⁻



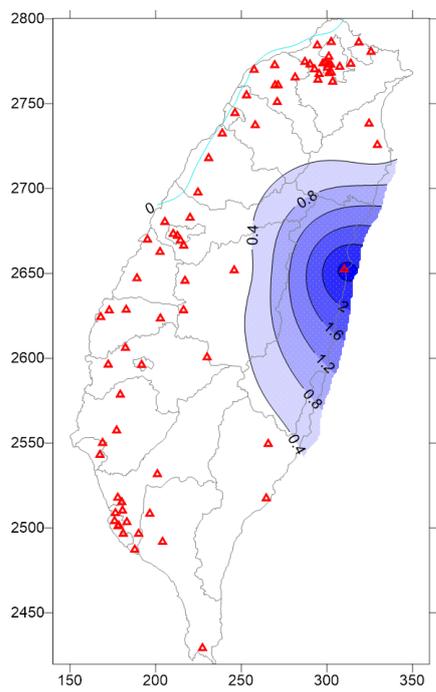
2013 年平均 花蓮港 NO₃⁻



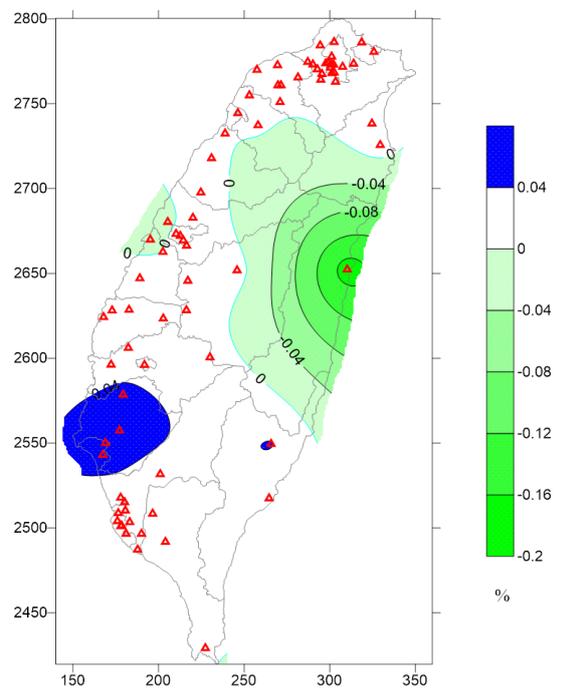
2013 年平均 花蓮港 NH_4^+



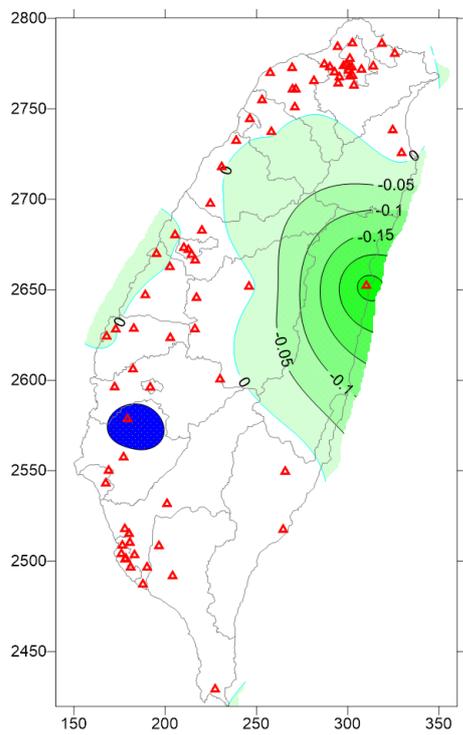
2013 年平均 花蓮港人為 OC



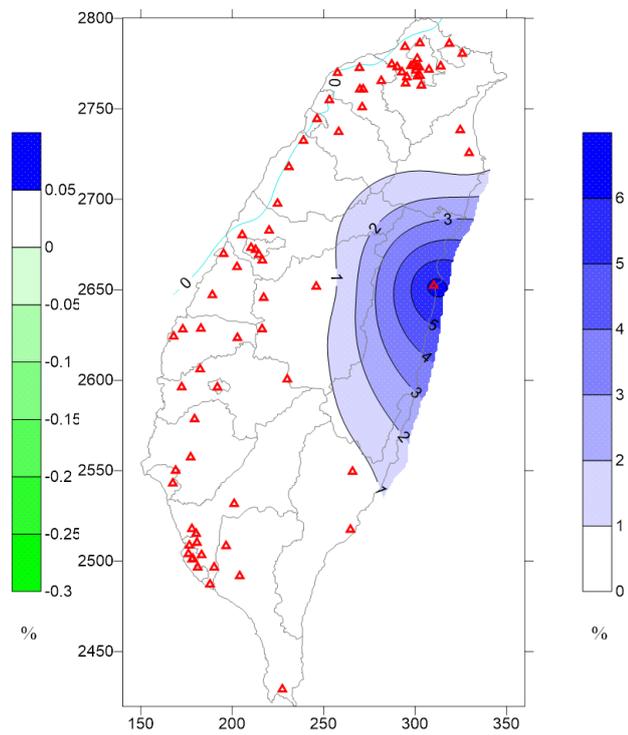
2013 年平均 花蓮港 $\text{PM}_{2.5}$



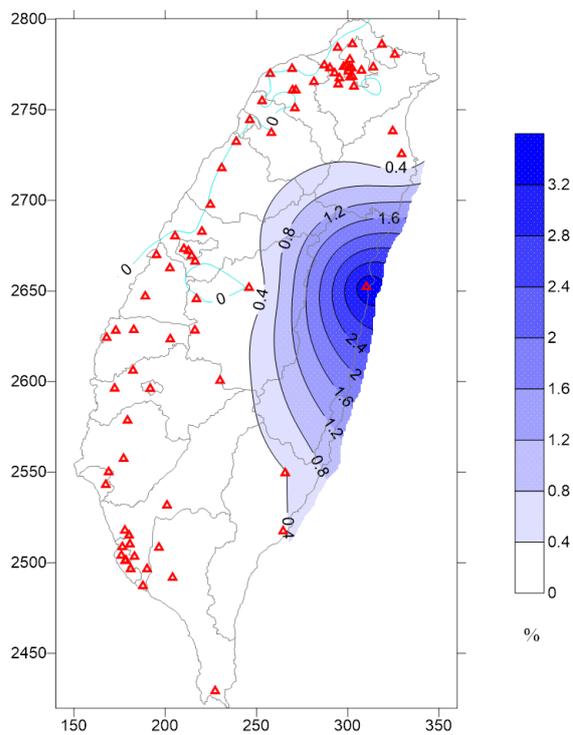
2013 年平均 花蓮港 $\text{O}_{3\text{max}}$



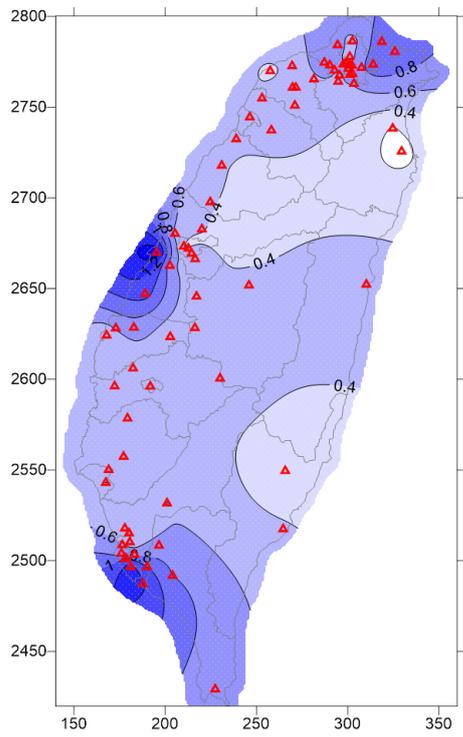
2013 年平均 花蓮港 O_{3ave8}



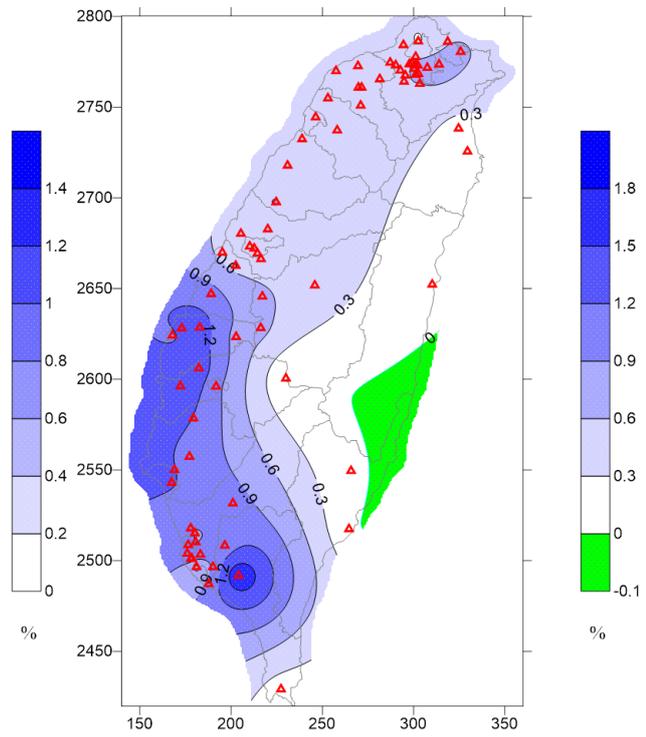
2013 年平均 花蓮港 SO₂



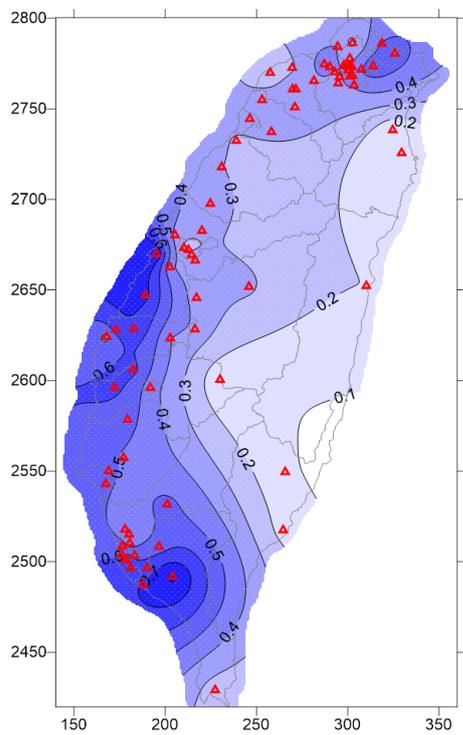
2013 年平均 花蓮港 NO_x



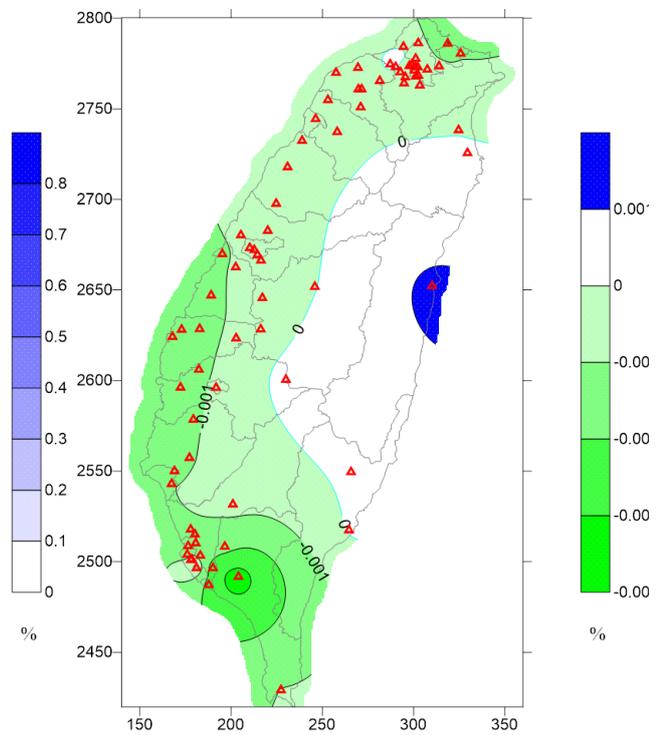
2013 年 4 月 五大港合計 SO_4^{2-}



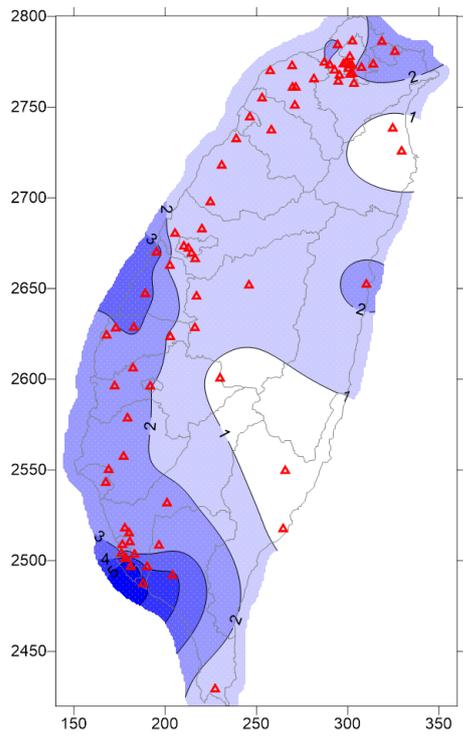
2013 年 4 月 五大港合計 NO_3^-



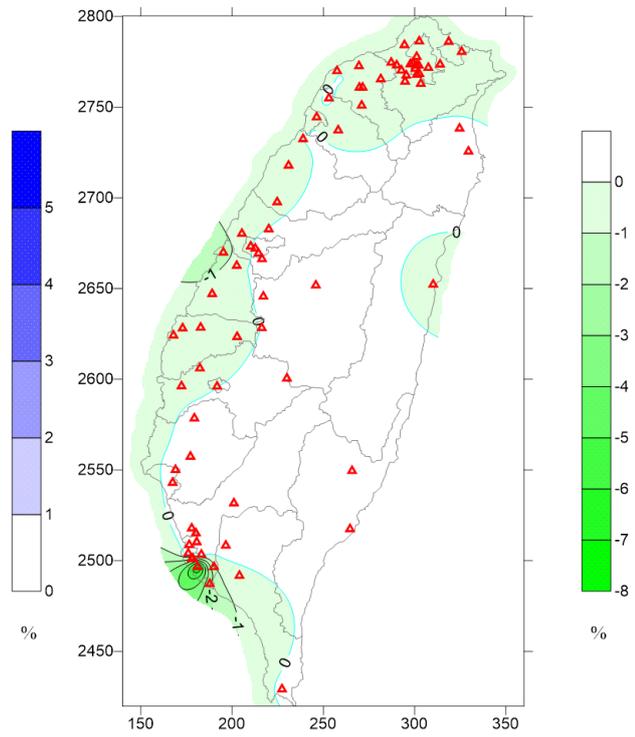
2013 年 4 月 五大港合計 NH_4^+



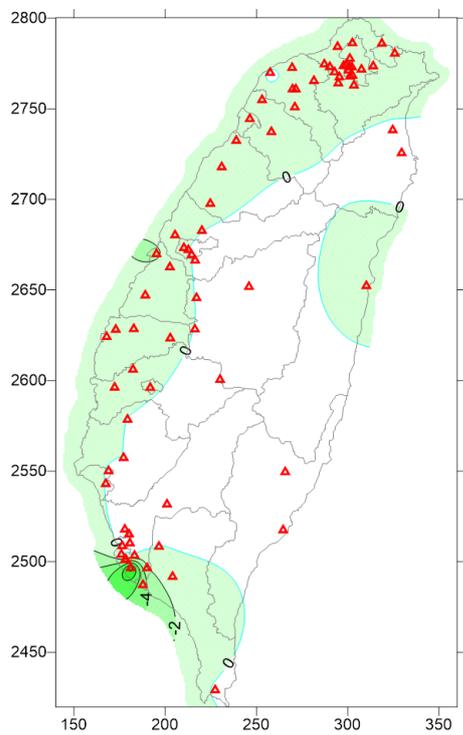
2013 年 4 月 五大港合計人為 OC



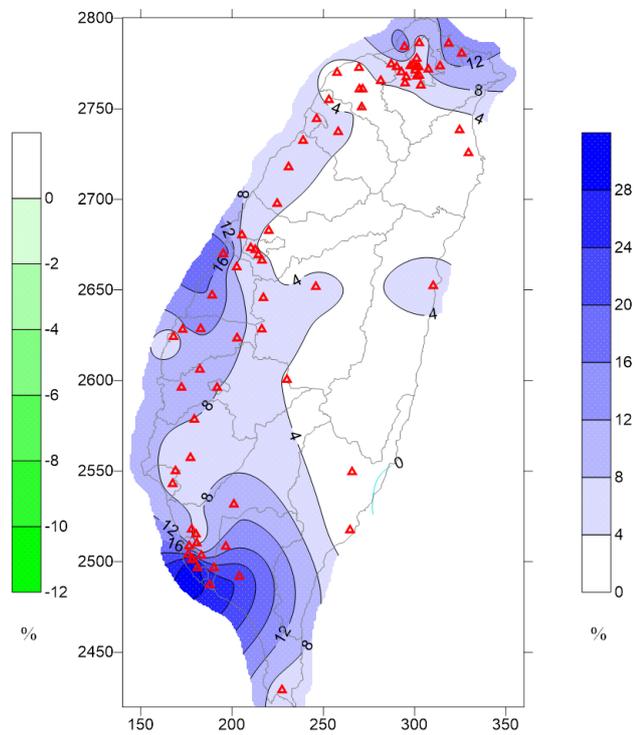
2013 年 4 月 五大港合計 PM_{2.5}



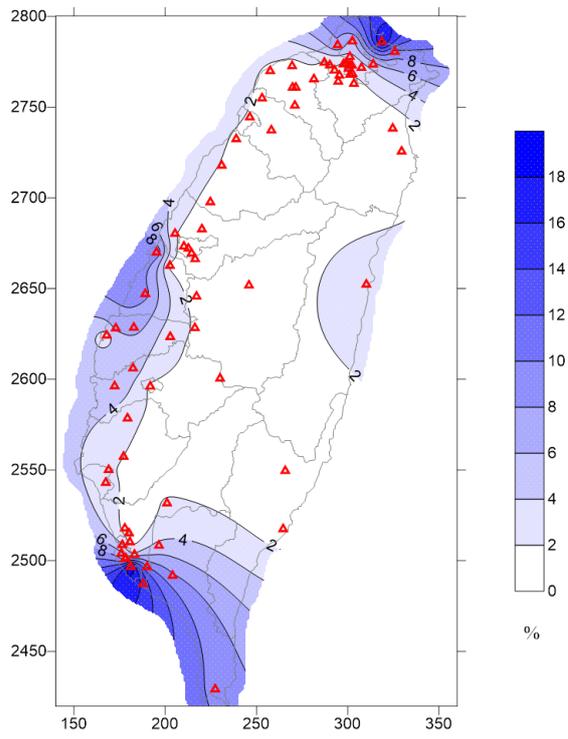
2013 年 4 月 五大港合計 O_{3max}



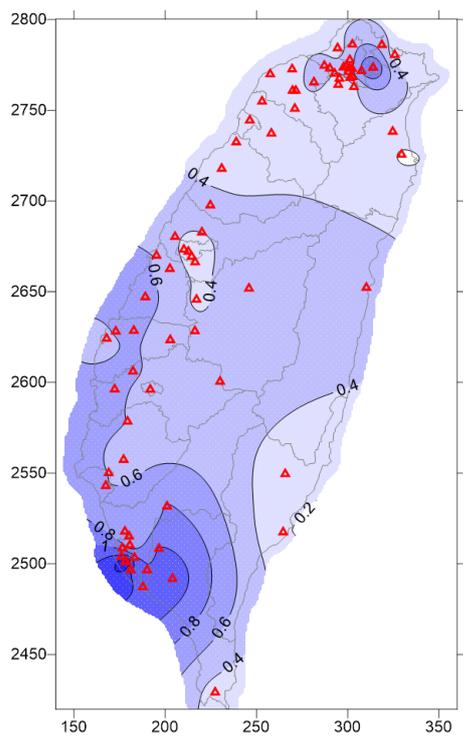
2013 年 4 月 五大港合計 O_{3ave8}



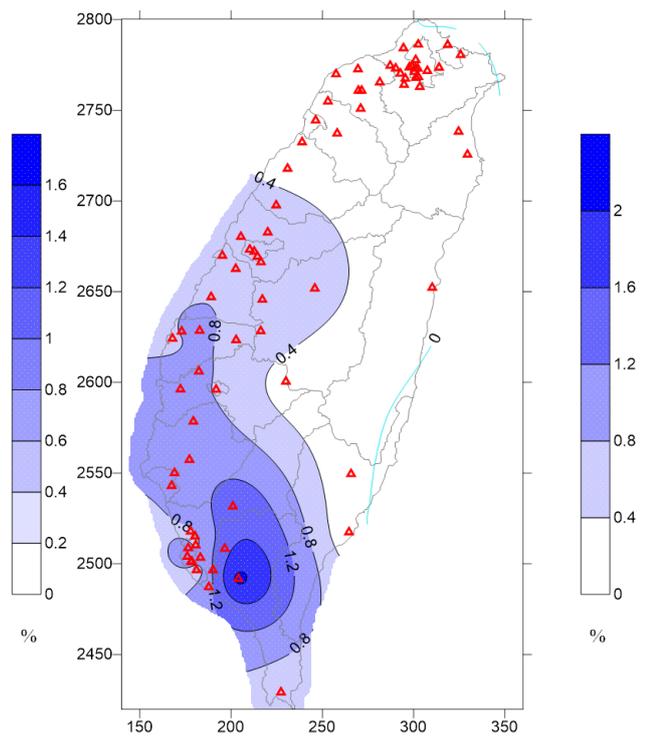
2013 年 4 月 五大港合計 SO₂



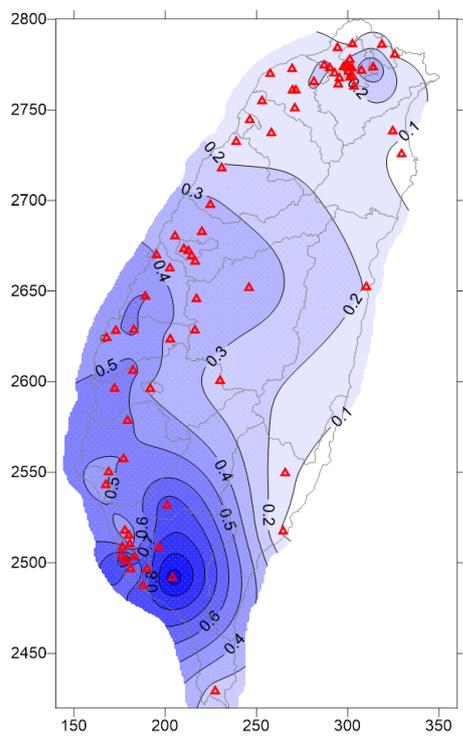
2013 年 4 月 五大港合計 NOx



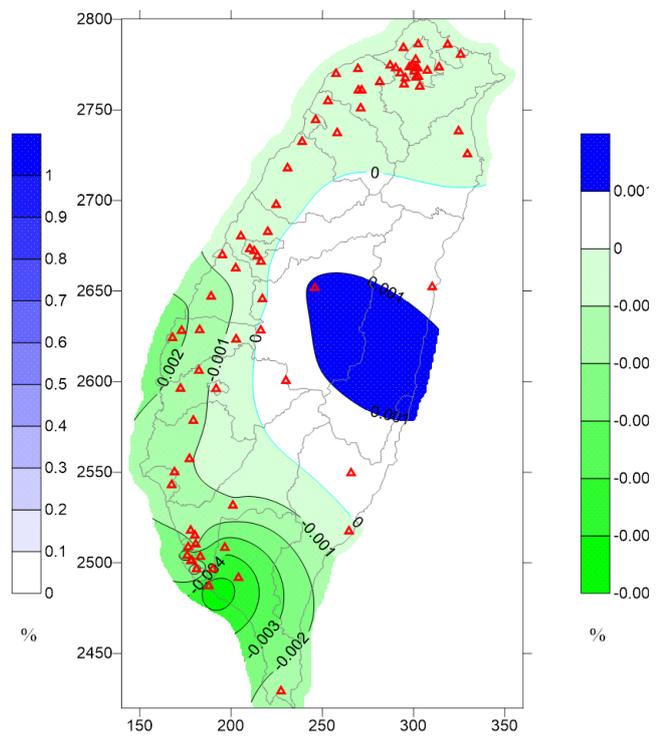
2013 年 10 月 五大港合計 SO_4^{2-}



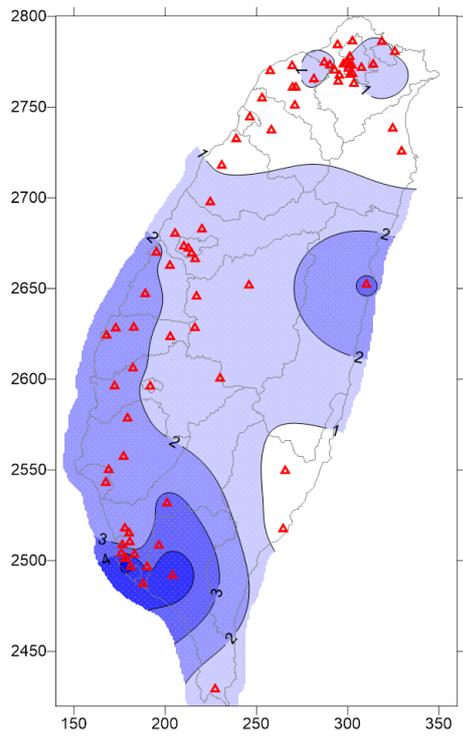
2013 年 10 月 五大港合計 NO_3^-



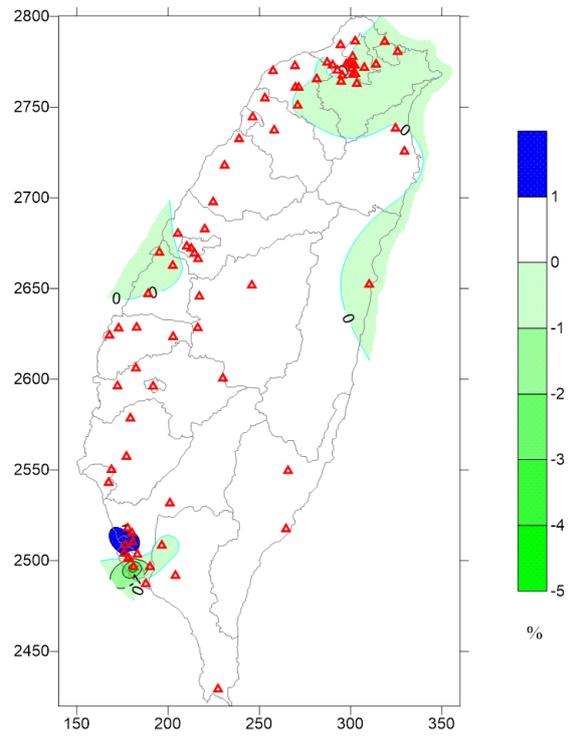
2013 年 10 月 五大港合計 NH_4^+



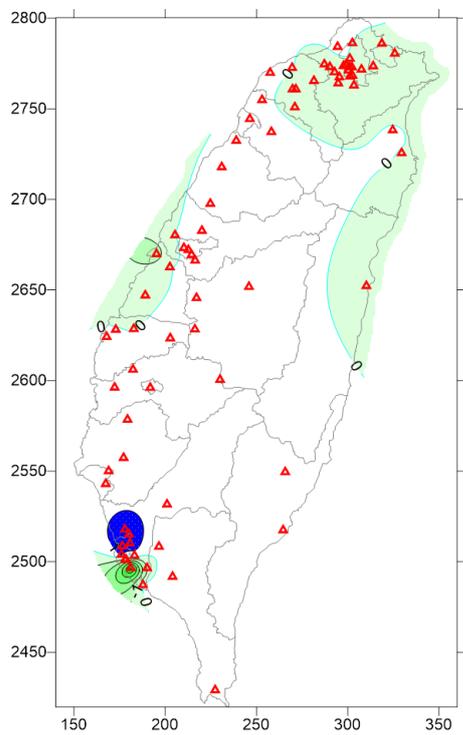
2013 年 10 月 五大港合計人為 OC



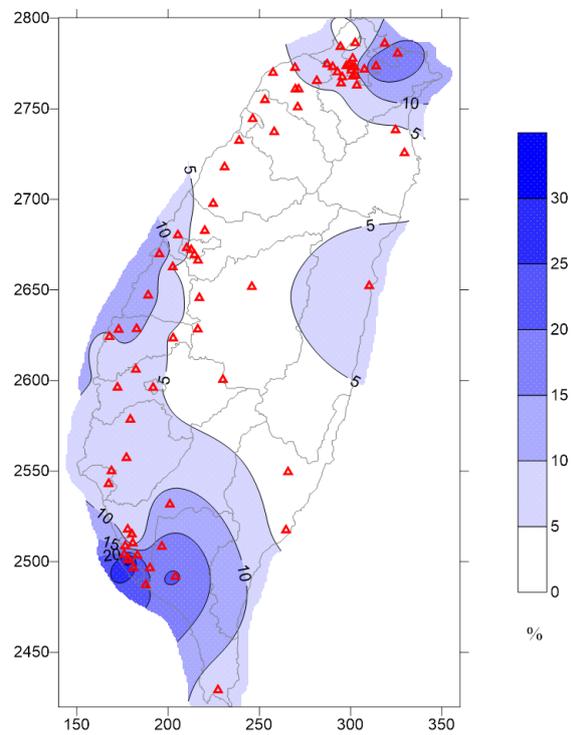
2013 年 10 月 五大港合計 PM_{2.5}



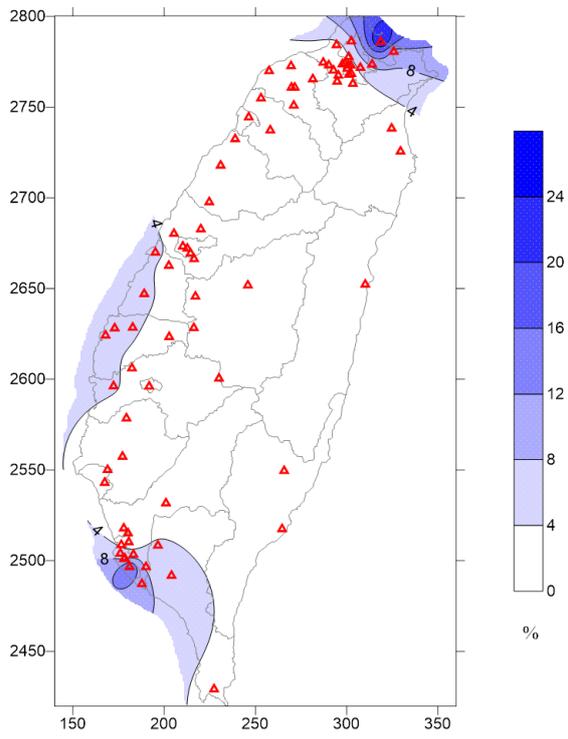
2013 年 10 月 五大港合計 O_{3max}



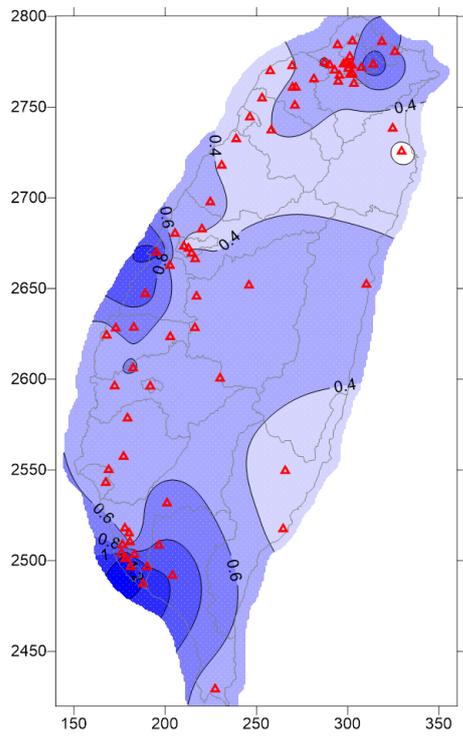
2013 年 10 月 五大港合計 O_{3ave8}



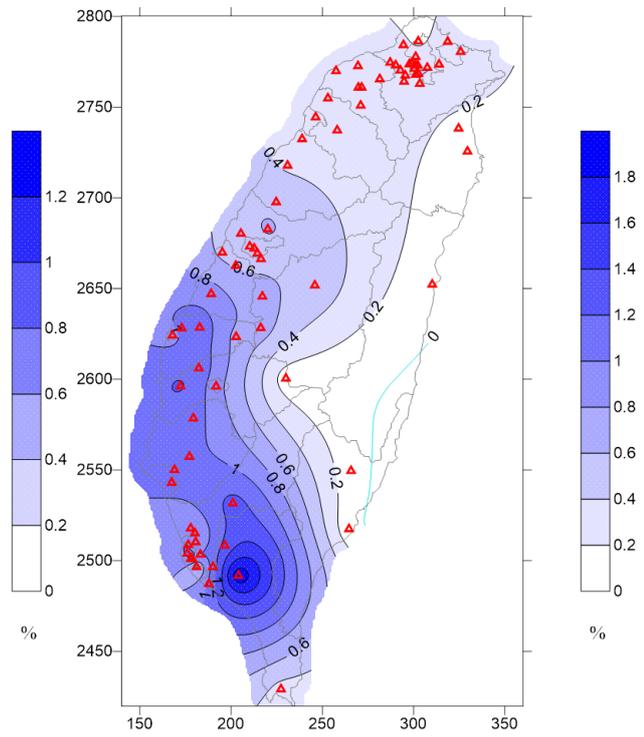
2013 年 10 月 五大港合計 SO₂



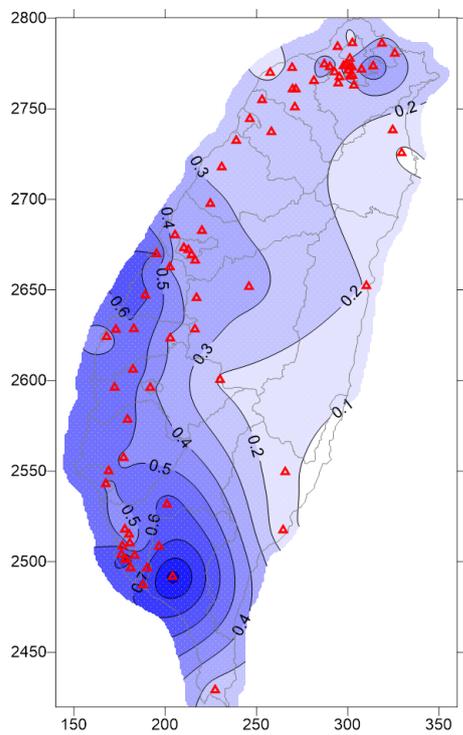
2013 年 10 月 五大港合計 NOx



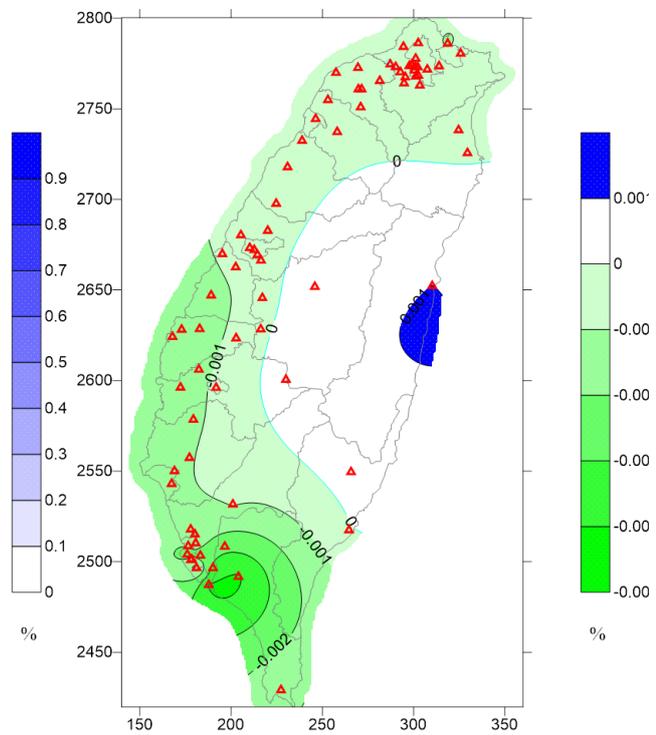
2013 年平均 五大港合計 SO_4^{2-}



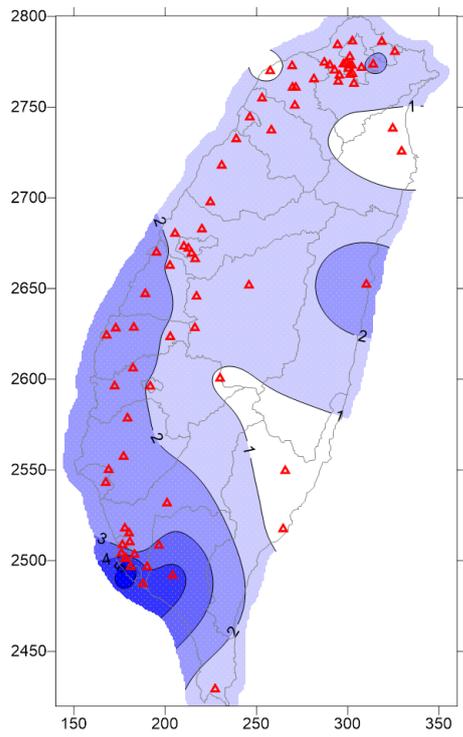
2013 年平均 五大港合計 NO_3^-



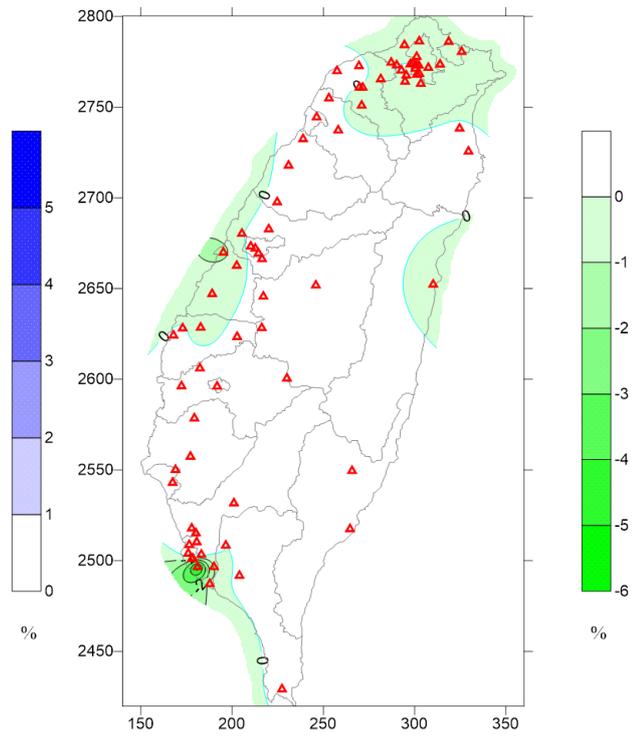
2013 年平均 五大港合計 NH_4^+



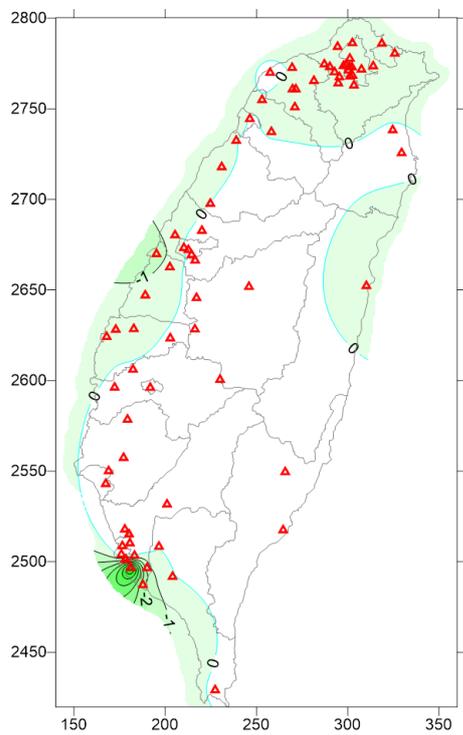
2013 年平均 五大港合計人為 OC



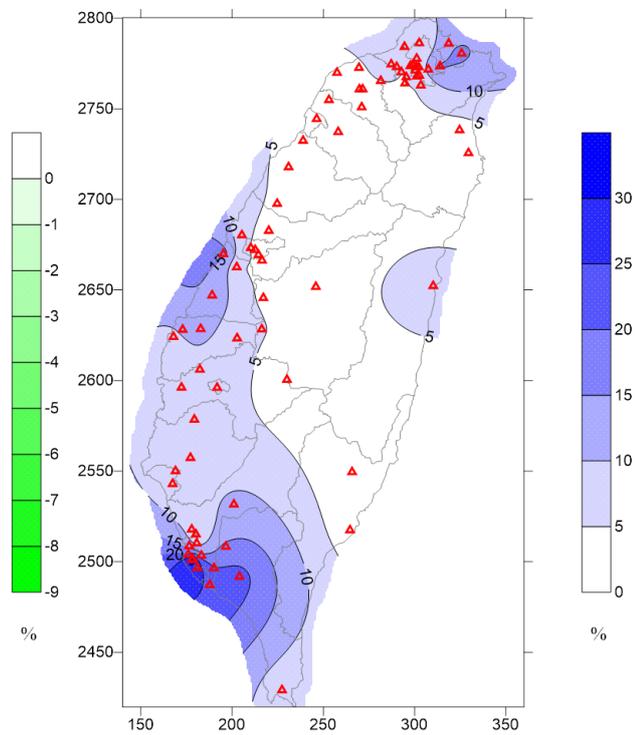
2013 年平均 五大港合計 PM_{2.5}



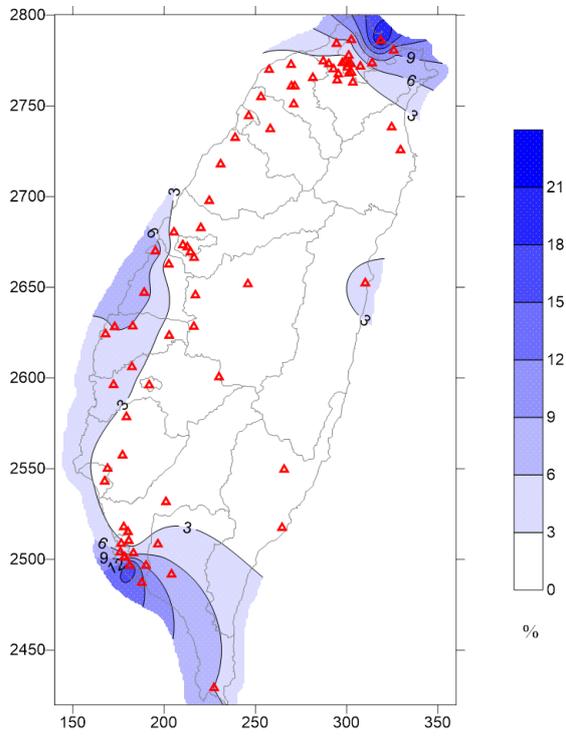
2013 年平均 五大港合計 O_{3max}



2013 年平均 五大港合計 O_{3ave8}

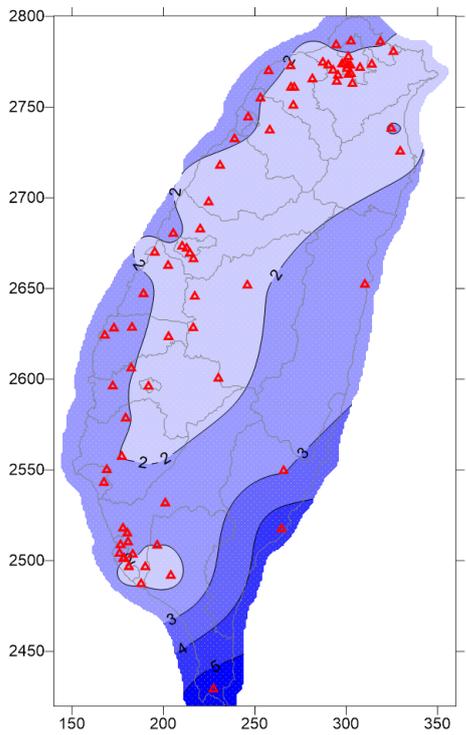


2013 年平均 五大港合計 SO₂

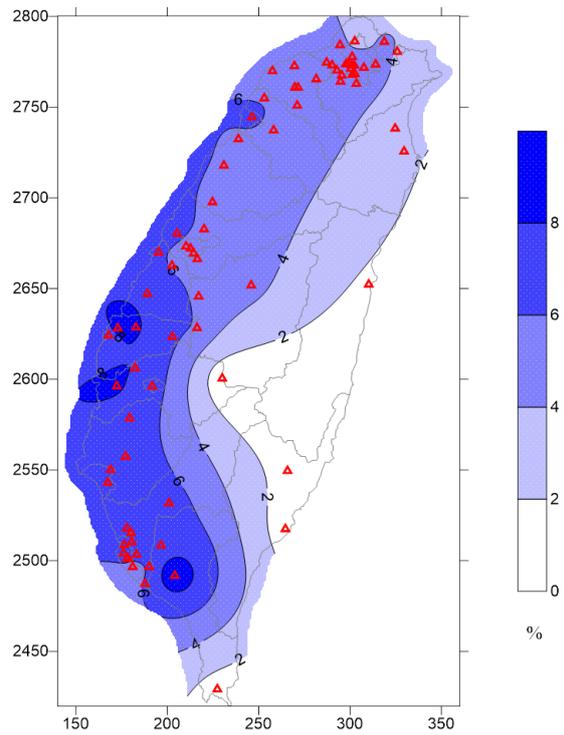


2013 年平均 五大港合計 NOx

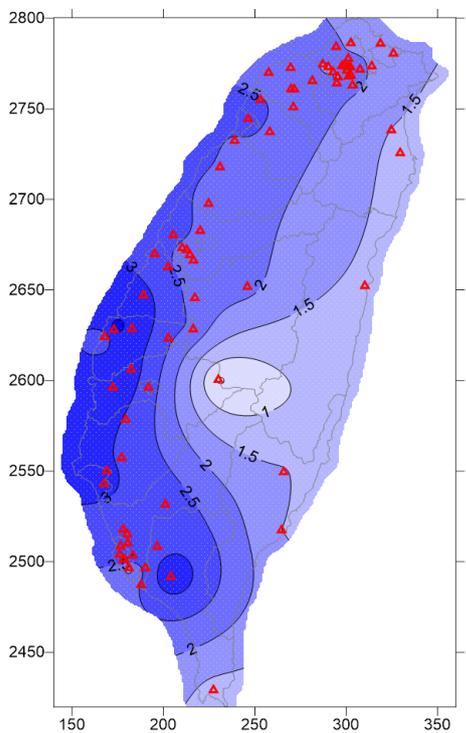
附錄七 CMAQ 臺灣海峽船舶排放量影響



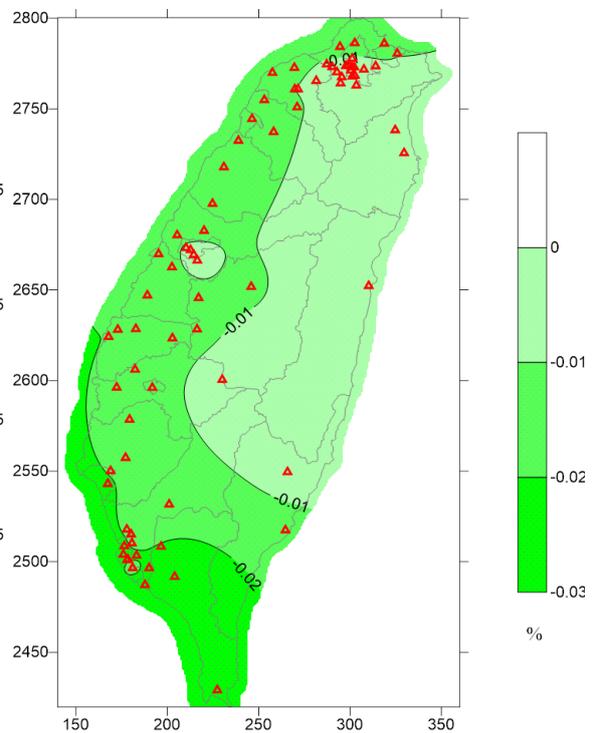
2013 年 4 月 臺灣海峽船舶影響 SO_4^{2-}



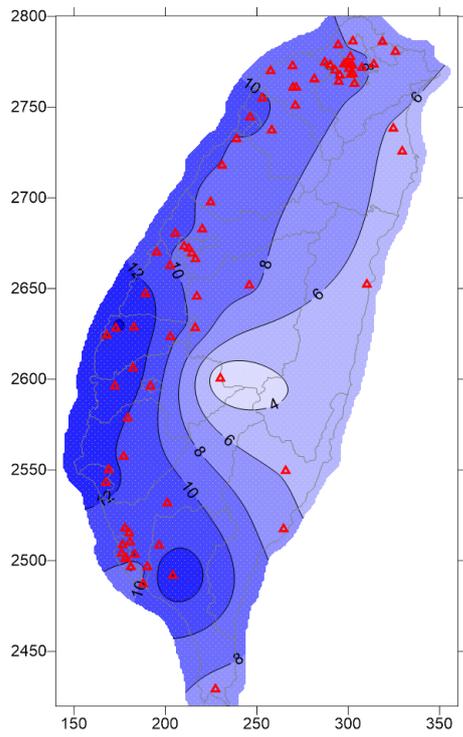
2013 年 4 月 臺灣海峽船舶影響 NO_3^-



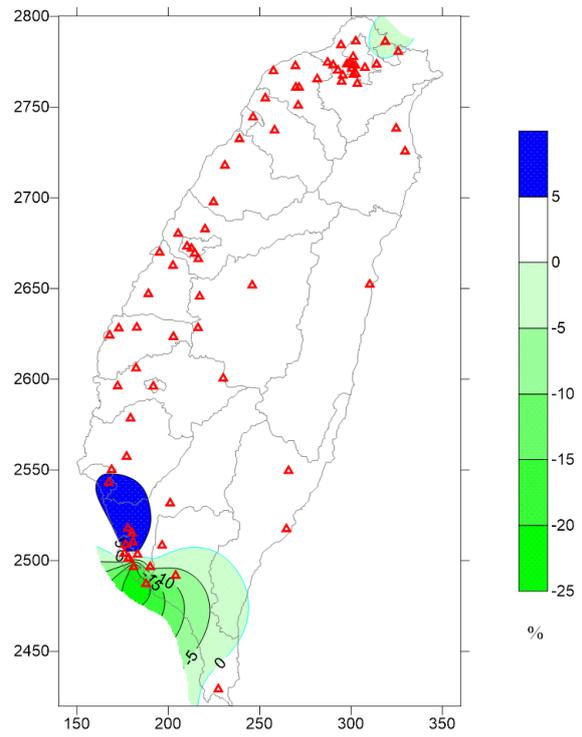
2013 年 4 月 臺灣海峽船舶影響 NH_4^+



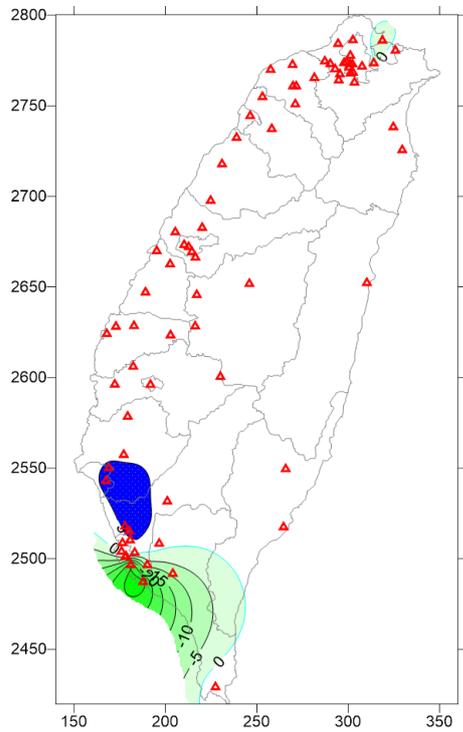
2013 年 4 月 臺灣海峽船舶影響人為 OC



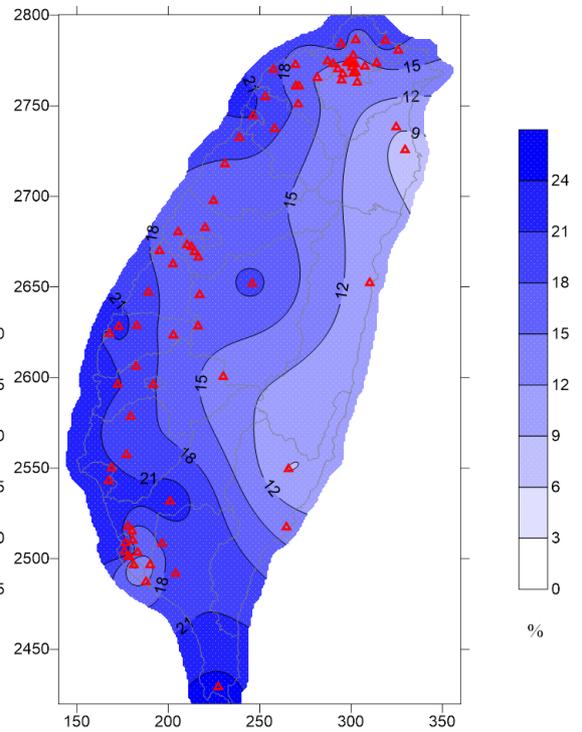
2013 年 4 月 臺灣海峽船舶影響 PM_{2.5}



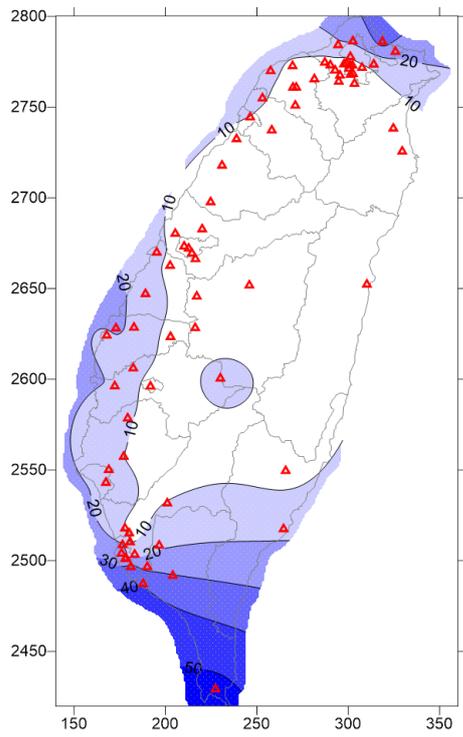
2013 年 4 月 臺灣海峽船舶影響 O_{3max}



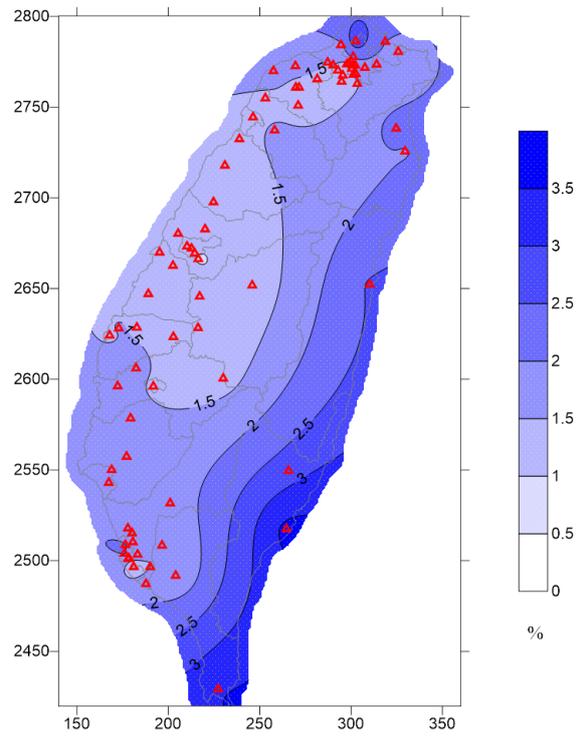
2013 年 4 月 臺灣海峽船舶影響 O_{3ave8}



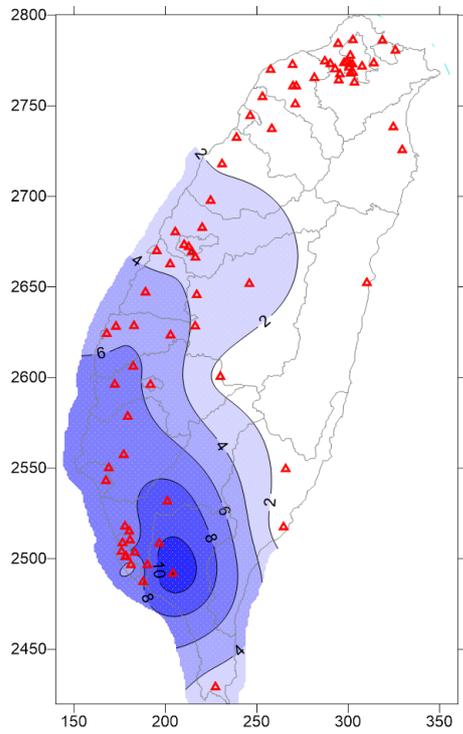
2013 年 4 月 臺灣海峽船舶影響 SO₂



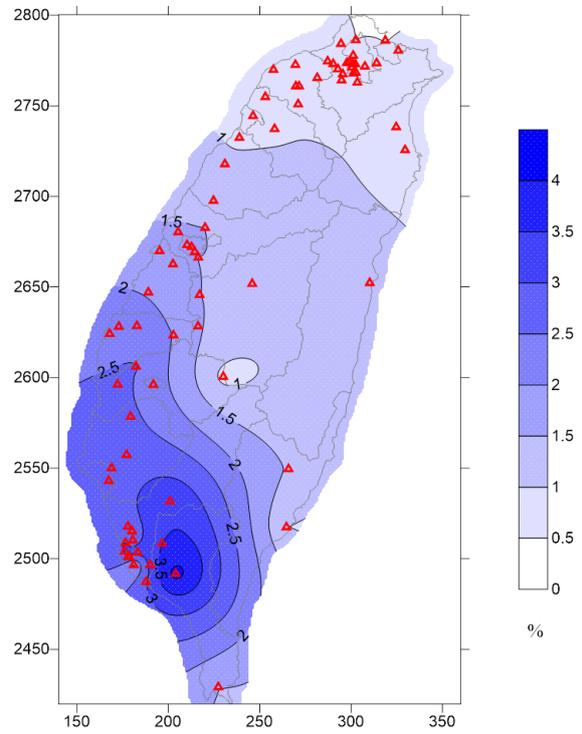
2013 年 4 月 臺灣海峽船舶影響 NO_x



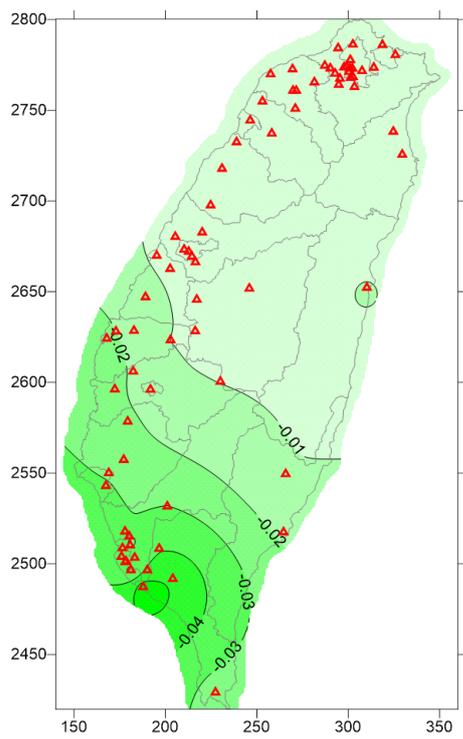
2013 年 10 月 臺灣海峽船舶影響 SO₄²⁻



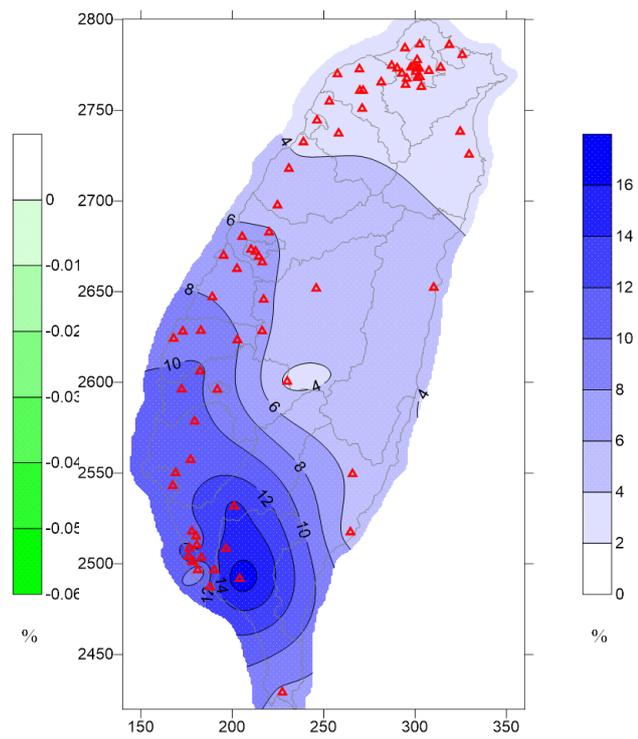
2013 年 10 月 臺灣海峽船舶影響 NO₃⁻



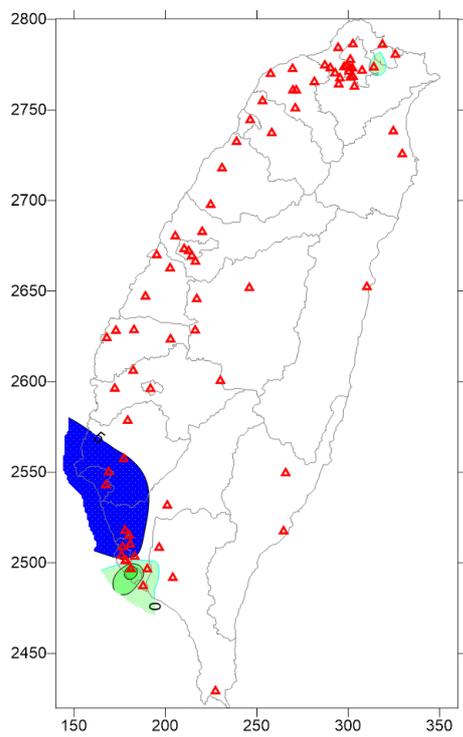
2013 年 10 月 臺灣海峽船舶影響 NH₄⁺



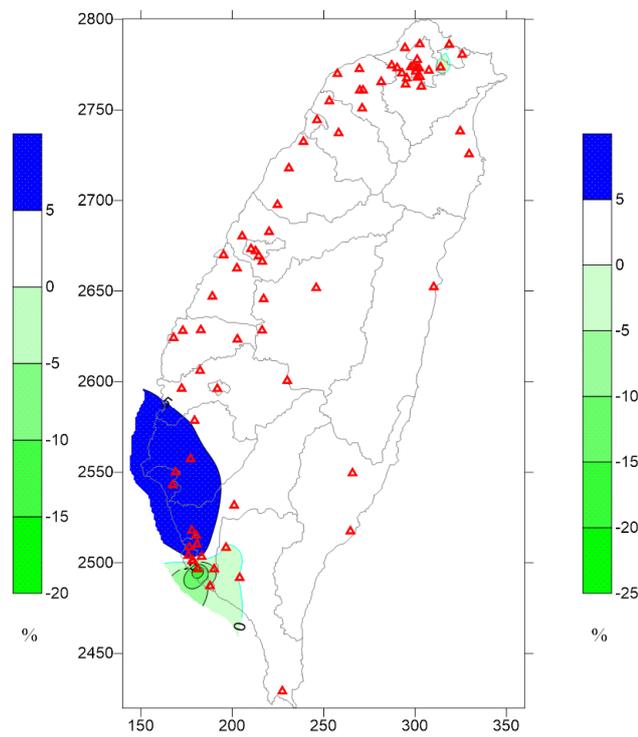
2013 年 10 月 臺灣海峽船舶影響人為 OC



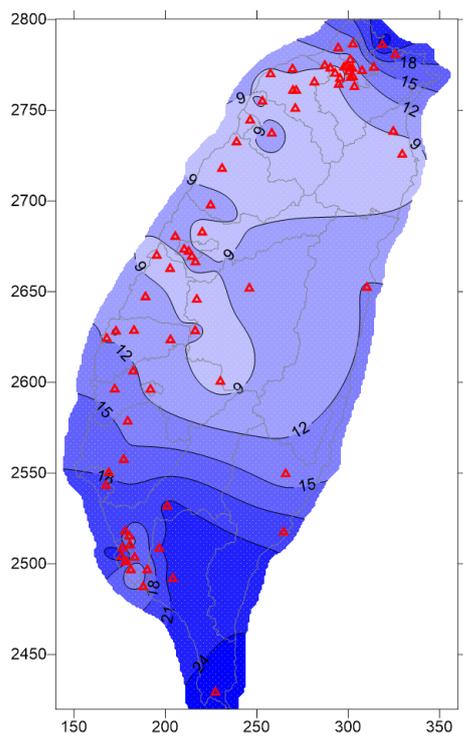
2013 年 10 月 臺灣海峽船舶影響 PM_{2.5}



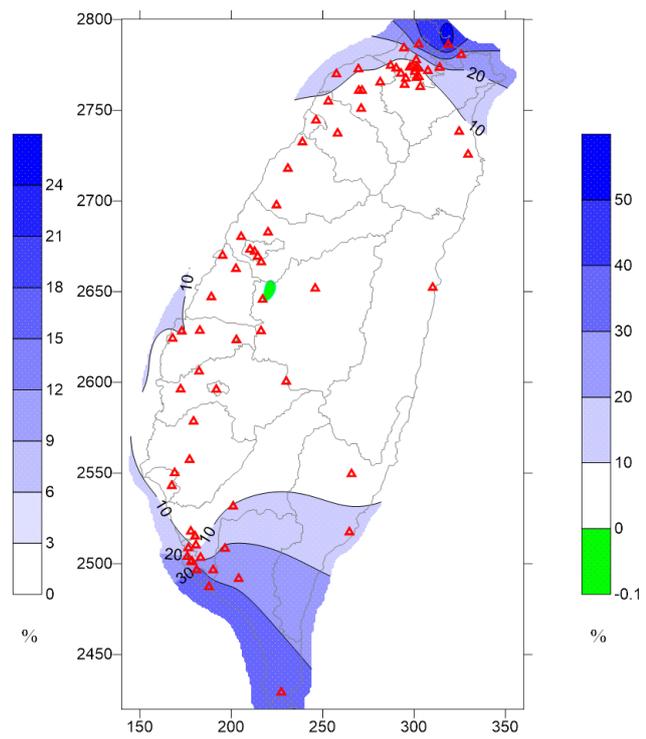
2013 年 10 月 臺灣海峽船舶影響 O_{3max}



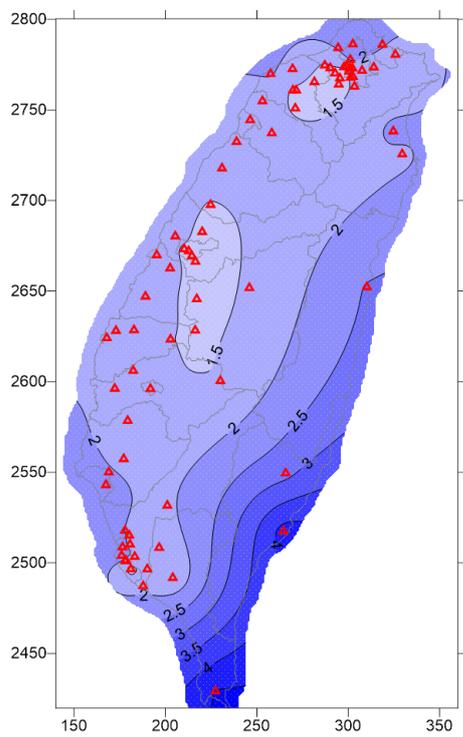
2013 年 10 月 臺灣海峽船舶影響 O_{3ave8}



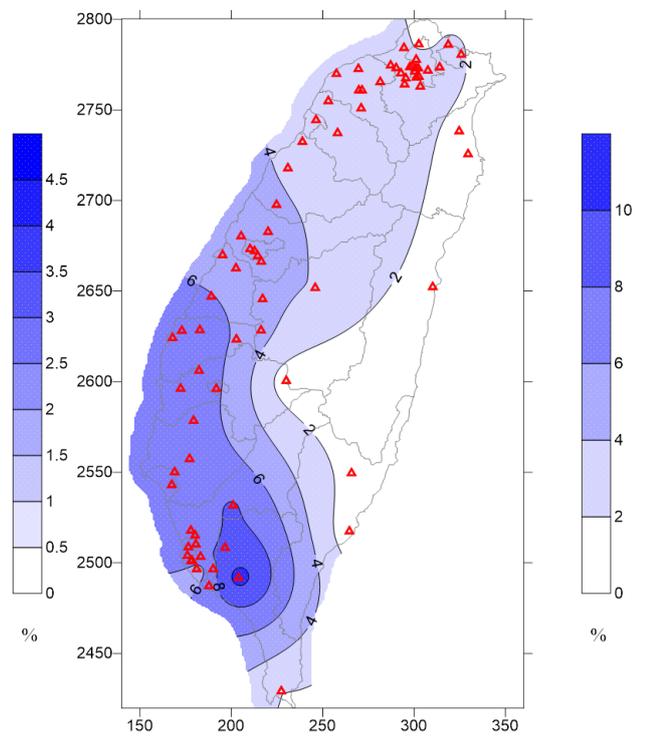
2013 年 10 月 臺灣海峽船舶影響 SO₂



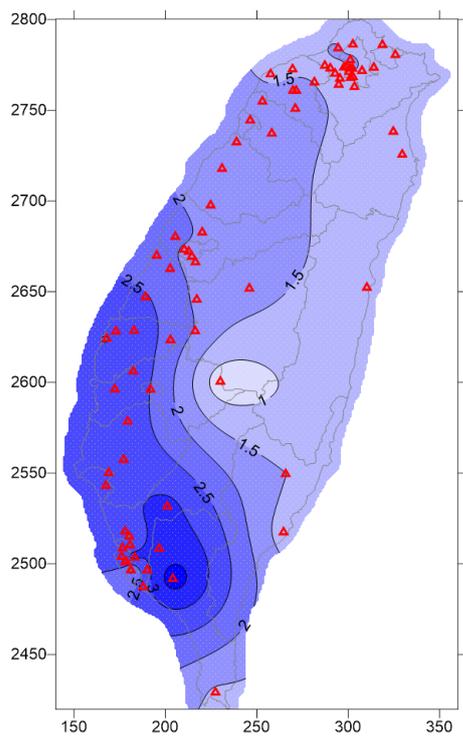
2013 年 10 月 臺灣海峽船舶影響 NO_x



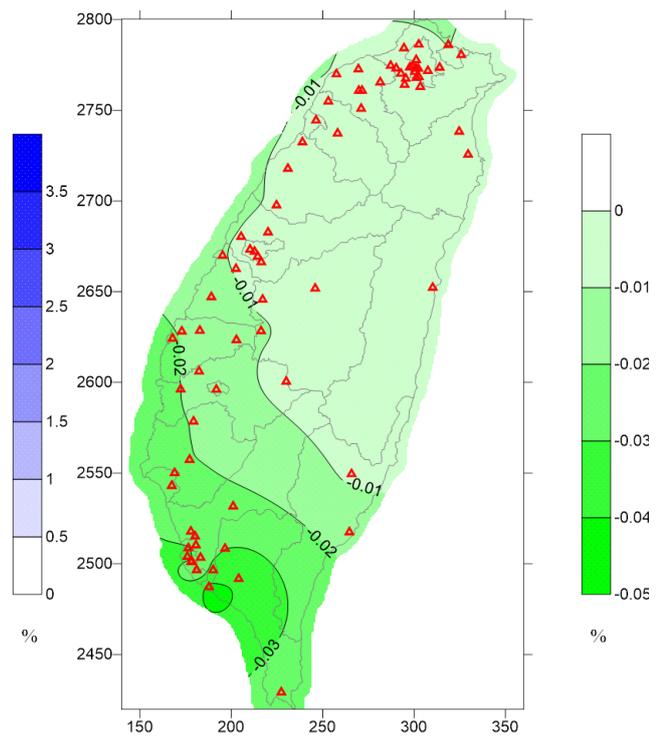
2013 年平均 臺灣海峽船舶影響 SO₄²⁻



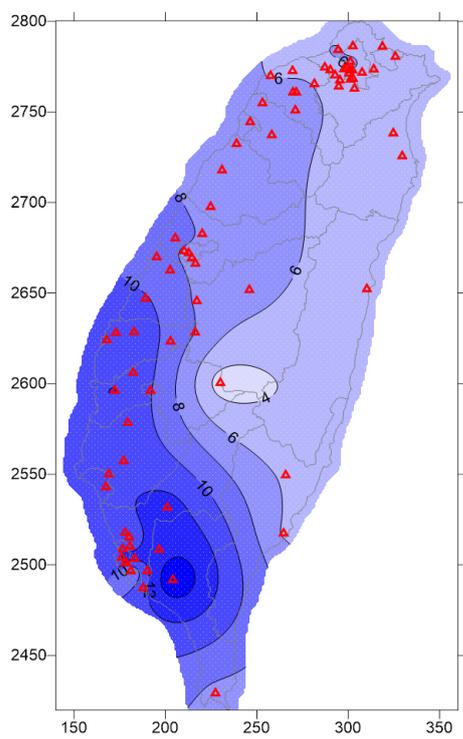
2013 年平均 臺灣海峽船舶影響 NO₃⁻



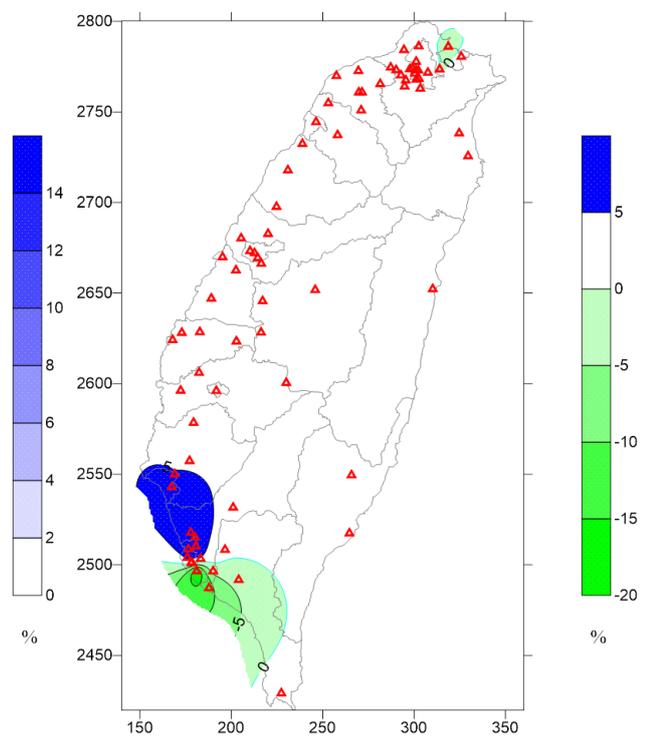
2013 年平均 臺灣海峽船舶影響 NH_4^+



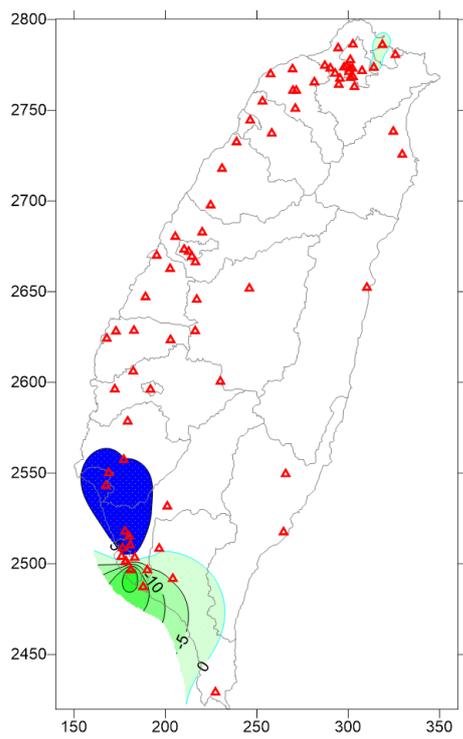
2013 年平均 臺灣海峽船舶影響人為 OC



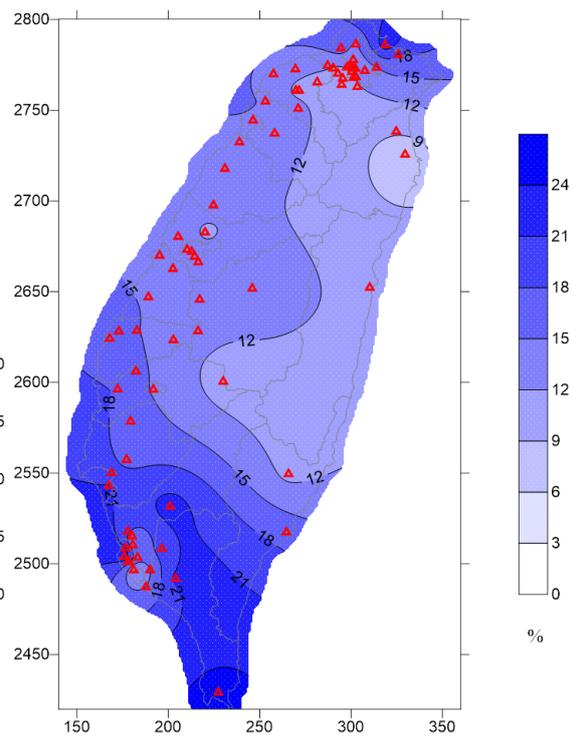
2013 年平均 臺灣海峽船舶影響 $\text{PM}_{2.5}$



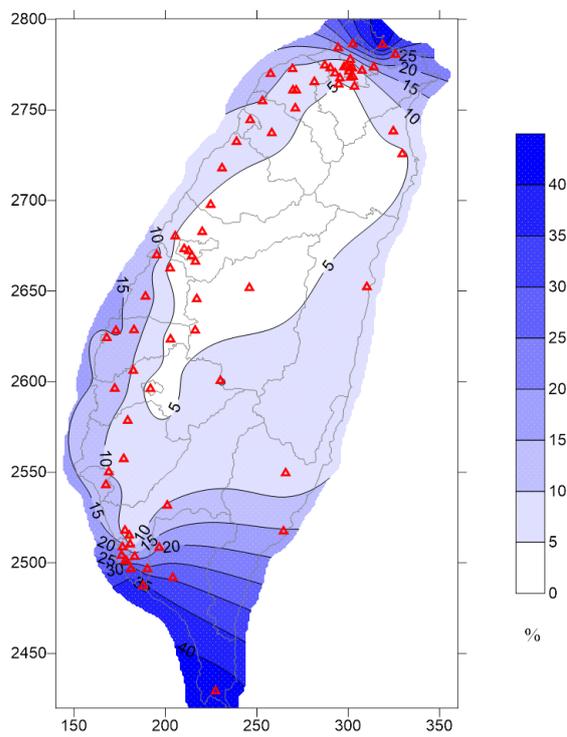
2013 年平均 臺灣海峽船舶影響 $\text{O}_{3\text{max}}$



2013 年平均 臺灣海峽船舶影響 O_{3ave8}



2013 年平均 臺灣海峽船舶影響 SO₂



2013 年平均 臺灣海峽船舶影響 NO_x

