

108-011-7B02
MOTC-IOT-107-H2DB001f

港區及沿岸空氣品質受船舶航行 之影響分析與即時推估系統建立



交通部運輸研究所

中華民國 108 年 2 月

108-011-7B02

MOTC-IOT-107-H2DB001f

港區及沿岸空氣品質受船舶航行 之影響分析與即時推估系統建立

著 者：蔣敏玲、蔡立宏、吳義林、蔡德明、
賴信志、張鴻良、楊榮元

交通部運輸研究所

中華民國 108 年 2 月

GPN: 1010800152

定價: 400 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

港區及沿岸空氣品質受船舶航行之影響分析與即時
推估系統建立 / 蔣敏玲等著. -- 初版. -- 臺北
市：交通部運研所，民 108.02
面；公分
ISBN 978-986-05-8557-5(平裝)

1.港埠管理

557

108000974

港區及沿岸空氣品質受船舶航行之影響分析與即時推估系統建立

著者：蔣敏玲、蔡立宏、吳義林、蔡德明、賴信志、張鴻良、楊榮元

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)26587176

出版年月：中華民國 108 年 2 月

印刷者：采峰實業有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 70 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站

定價：400 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：1010800152 ISBN：978-986-05-8557-5 (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：港區及沿岸空氣品質受船舶航行之影響分析與即時推估系統建立			
國際標準書號(或叢刊號) 978-986-05-8557-5	政府出版品統一編號 1010800152	運輸研究所出版品編號 108-011-7B02	計畫編號 107-H2DB001f
本所主辦單位：港研中心 主管：朱金元 計畫主持人：蔡立宏 研究人員：蔣敏玲 聯絡電話：04-26587128 傳真號碼：04-26560661	合作研究單位：國立成功大學 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：台南市大學路1號 聯絡電話：06-2386764		研究期間 自 107 年 2 月 至 107 年 12 月
關鍵詞：空氣品質、船舶自動辨識系統、美國第三代空氣品質模式(Model-3/CMAQ)			
摘要： 使用船舶自動辨識系統之船舶資訊，搭配勞氏資料庫建置臺灣周遭海域船舶之排放量計算，結果顯示 2013 年臺灣周遭海域船舶之平均每日粒狀物、SO_x與 NO_x排放量分別為 264 噸、1875 噸與 2923 噸；2016 年結果則分別為 274 噸、1939 噸與 2991 噸。以排放量計算結果建置之預測係數，其排放量預測粒狀物、NO_x及 SO_x第一天平均誤差均落在-4% 上下，絕對值誤差百分比則約在 20%上下。 CMAQ 模式分析臺灣地區鄰近海域船舶對臺灣地區空氣品質逐月影響，包括 PM_{2.5}、O_{3ave8}、SO₂及 NO_x等污染物種，最高值均發生在 7 月期間，發生測站依序為恆春站之 41%、花蓮站之 23%、恆春站之 91%以及恆春站之 62%；其中 O_{3ave8}因為 NO 滴定效應影響，最低值發生於 11 月小港站之-56%。而五大商港逐月影響最高則發生於 8 月高雄港之排放結果，其影響為 14%。 CMAQ-ISAM 模擬臺灣海峽區域排放測站平均影響中，其細懸浮微粒與原生性污染物影響最高依序為臺灣北海岸以北區域 B 之 70%以及臺灣西海岸近岸區域 C 之 68%。而區域排放每噸貢獻比例中，最高為原生性污染物於雲嘉南空品區之 3%，為區域 C 所排放之結果。 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，提升港口形象，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。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
107 年 12 月	359	400	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。
機密等級： ☐限閱 ☐機密 ☐極機密 ☐絕對機密 (解密【限】條件：☐ 年 月 日解密，☐公布後解密，☐附件抽存後解密， ☐工作完成或會議終了時解密，☐另行檢討後辦理解密) ■ 普通			
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: Impacts on Air Quality from Ship Emissions from Harbors and Ocean around Taiwan and Real-time Forecasting System			
ISBN(OR ISSN) 978-986-05-8557-5	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010800152	IOT SERIAL NUMBER 108-011-7B02	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-107-H2DB001f
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chu, Chin-Yuan PRINCIPAL INVESTIGATOR: Tasi, Li-Hung PROJECT STAFF: Chiang, Min-Ling PHONE: +886-4-26587128 FAX: +886-4-26560661			PROJECT PERIOD FROM February 2018 TO December 2018
RESEARCH AGENCY: NCKU Research and Development Foundation PRINCIPAL INVESTIGATOR: Wu, Yee-Lin PROJECT STAFF: Tsai, Der-Min; Lai, Hsin-Chih ; Zhang, Hong-Liang; Yang, Rong-Yuan ADDRESS: No.1, University RD., Tainan City 701, Taiwan, R.O.C. PHONE: +886-6-2386764			
KEY WORDS: Air quality, AIS(Automatic Identification System), CMAQ(Community Multi-Scale Air Quality)			
ABSTRACT:			
Calculating the emissions from ships in the surrounding waters of Taiwan by using the vessel's information via automatic identification system in concert with the Lloyd's database, the results showed that among the average daily emissions of particulate matter in Taiwan's surrounding seas in 2013, SO_x and NO_x from ships were 264 tons, 1,875 tons and 2,923 tons respectively; the results in 2016 were 274 tons, 1939 tons and 2,991 tons respectively. Based on the prediction coefficient of the calculation results of emissions, the first-day average error of particulate matter, NO_x and SO_x were estimated to fall around -4%, and the absolute error percentage was about 20%. The CMAQ model analyzed the monthly impact of ships in the adjacent sea area of Taiwan on the air quality in Taiwan, including PM_{2.5}, O_{3ave8}, SO₂, NO_x and other polluting substances that the highest value occurred during July, and the occurrence in testing stations in order were 41% in Hengchun Station, 23% in Hualien Station, 91% in Hengchun Station and 62% in Hengchun Station; among others, the lowest value of O_{3ave8} was -56% occurred in Xiaogang Station in November because of being affected by NO titration effect. The highest impact of the five major commercial ports month by month occurred in the Kaohsiung Port in the results of emissions in August with an impact of 14%. Upon the CMAQ-ISAM simulation of the average impact of the regional emissions testing stations in the Taiwan Strait the highest impact of fine aerosols and primary pollutants were 70% in the north Area B of Taiwan's north coast and 68% in the coastal Area C of Taiwan's west coast. Among the regional emissions per ton of contribution, the highest was 3% of the primary pollutants in Yunlin, Chiayi and Tainan Air Quality Management Districts, which was the result of emissions in Area C. The results of this study can provide a reference to the Ministry of Transportation and Communications, Maritime Port Bureau and Taiwan International Ports Corporation or the Environmental Protection Administration to develop air pollution countermeasures in the port and coastal areas to establish a green port to comply with the norms of the International Maritime Organization (IMO) and the European Sea Ports Organization (ESPO), enhancing the image of the port, as well as ensuring the sustainable development of the environment. Separately, the research results have been promoted by holding one session of education and training.			
DATE OF PUBLICATION February 2019	NUMBER OF PAGES 359	PRICE 400	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

港區及沿岸空氣品質受船舶航行之

影響分析與即時推估系統建立

目 錄

中英文摘要.....	I
圖目錄.....	VII
表目錄.....	XIII
第一章 前言	1-1
1.1 研究動機	1-1
1.2 研究目的	1-1
1.3 前期研究內容與成果	1-2
1.4 本期研究成果	1-2
第二章 文獻回顧	2-1
2.1 懸浮微粒	2-1
2.2 網格模式	2-4
2.3 WRF 氣象模式	2-4
2.4 Models-3/CMAQ 模式	2-7
第三章 研究方法	3-1
3.1 規劃執行流程	3-1
3.2 排放量推估	3-2
3.2.1 AIS 資料庫	3-4

3.2.2 勞氏資料庫	3-5
3.2.3 船舶排放量	3-6
3.3 排放量自動化模組	3-16
3.3.1 排放量計算方式	3-16
3.3.2 自動化模組計算	3-22
3.3.3 排放量預測係數	3-23
3.4 CMAQ 排放量影響分析	3-26
3.5 WRF 氣象資料建置	3-31
3.6 CMAQ 模擬建置	3-37
第四章 研究結果	4-1
4.1 AIS 排放量結果	4-1
4.2 一周每日變化	4-3
4.3 逐月日平均變化	4-8
4.4 全年日平均	4-14
4.5 排放量自動化預測結果	4-18
第五章 CMAQ 模擬結果	5-1
5.1 模式性能評估	5-1
5.2 CMAQ 臺灣海峽船舶排放量影響	5-4
5.3 臺灣五大商港影響	5-31
5.4 CMAQ-ISAM 模式模擬結果	5-63
5.4.1 港口污染物排放比較	5-63

5.4.2 區域排放影響	5-68
5.4.3 區域排放每噸貢獻比例	5-75
第六章 結論與建議	6-1
6.1 結論	6-1
6.2 建議	6-3
6.3 成果效益及應用情形	6-3
參考文獻	參-1
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 2013 年 AIS 排放量推估結果	附錄六-1
附錄七 2016 年 AIS 排放量推估結果	附錄七-1
附錄八 臺灣海域船舶排放量影響	附錄八-1
附錄九 臺灣五大商港影響	附錄九-1

圖目錄

圖 2.1	Models-3 多層次網格示意圖	2-9
圖 2.2	Models-3/CMAQ 各模組之相關性	2-11
圖 3.1	研究目標執行流程圖	3-2
圖 3.2	排放量推估流程圖	3-3
圖 3.3	臺灣周遭海域	3-17
圖 3.4	AIS 船舶軌跡缺值示意圖	3-18
圖 3.5	臺灣周遭海域區間分布圖	3-19
圖 3.6	船舶軌跡與區間分布	3-20
圖 3.7	船舶軌跡推算排放量基準	3-20
圖 3.8	船舶排放量推算結果	3-22
圖 3.9	排放量預測流程圖	3-24
圖 3.10	NO _x 排放量預測係數	3-24
圖 3.11	SO _x 排放量預測係數	3-25
圖 3.12	PM 排放量預測係數	3-25
圖 3.13	春節期間排放量預測係數	3-26
圖 3.14	高雄港排放貢獻比例影響示意圖	3-29
圖 3.15	高雄港排放貢獻比例散點圖示意圖	3-30
圖 3.16	污染排放影響貢獻比例示意圖	3-31
圖 3.17	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	3-32

圖 4.1	2013 年排放量推算一周變化圖	4-5
圖 4.2	2013 年排放量區域比例推算一周變化圖	4-5
圖 4.3	2016 年排放量推算一周變化圖	4-7
圖 4.4	2016 年排放量區域比例推算一周變化圖	4-8
圖 4.5	2013 年排放量推算逐月變化圖	4-10
圖 4.6	2013 年排放量區域比例推算逐月變化圖	4-10
圖 4.7	2016 年排放量推算逐月變化圖	4-13
圖 4.8	2016 年排放量區域比例推算逐月變化圖	4-13
圖 4.9	2013 年排放量推算全年日平均	4-15
圖 4.10	2013 年排放量區域比例推算全年日平均	4-15
圖 4.11	2016 年排放量推算全年日平均	4-17
圖 4.12	2016 年排放量區域比例推算全年日平均	4-17
圖 4.13	NO _x 排放量預測誤差	4-20
圖 4.14	SO _x 排放量預測誤差	4-20
圖 4.15	PM 排放量預測誤差	4-21
圖 5.1	細懸浮微粒影響	5-6
圖 5.2	原生性及衍生性污染物影響	5-7
圖 5.3	氣態污染物影響	5-8
圖 5.4	散點圖及頻率分布	5-10
圖 5.5	細懸浮微粒及衍生性污染物增量濃度	5-13
圖 5.6	氣態污染物增量濃度	5-14

圖 5.7	2013 年 $PM_{2.5}$ 逐月影響(1/3)	5-16
圖 5.7	2013 年 $PM_{2.5}$ 逐月影響(2/3)	5-17
圖 5.7	2013 年 $PM_{2.5}$ 逐月影響(3/3)	5-18
圖 5.8	2013 年 O_{3ave8} 逐月影響(1/3)	5-20
圖 5.8	2013 年 O_{3ave8} 逐月影響(2/3)	5-21
圖 5.8	2013 年 O_{3ave8} 逐月影響(3/3)	5-22
圖 5.9	2013 年 SO_2 逐月影響(1/3)	5-24
圖 5.9	2013 年 SO_2 逐月影響(2/3)	5-25
圖 5.9	2013 年 SO_2 逐月影響(3/3)	5-26
圖 5.10	2013 年 NO_x 逐月影響(1/3)	5-28
圖 5.10	2013 年 NO_x 逐月影響(2/3)	5-29
圖 5.10	2013 年 NO_x 逐月影響(3/3)	5-30
圖 5.11	五大商港合計細懸浮微粒及衍生性污染物影響	5-35
圖 5.12	五大商港合計氣態污染物影響	5-36
圖 5.13	五大商港合計散點圖及頻率分布	5-36
圖 5.14	細懸浮微粒及衍生性污染物增量濃度	5-41
圖 5.15	氣態污染物增量濃度	5-42
圖 5.16	基隆港 2013 年 $PM_{2.5}$ 逐月影響(1/3)	5-44
圖 5.16	基隆港 2013 年 $PM_{2.5}$ 逐月影響(2/3)	5-45
圖 5.16	基隆港 2013 年 $PM_{2.5}$ 逐月影響(3/3)	5-46
圖 5.17	臺北港 2013 年 $PM_{2.5}$ 逐月影響(1/3)	5-48

圖 5.17	臺北港 2013 年 PM _{2.5} 逐月影響(2/3)	5-49
圖 5.17	臺北港 2013 年 PM _{2.5} 逐月影響(3/3)	5-50
圖 5.18	臺中港 2013 年 PM _{2.5} 逐月影響(1/3)	5-52
圖 5.18	臺中港 2013 年 PM _{2.5} 逐月影響(2/3)	5-53
圖 5.18	臺中港 2013 年 PM _{2.5} 逐月影響(3/3)	5-54
圖 5.19	高雄港 2013 年 PM _{2.5} 逐月影響(1/3)	5-56
圖 5.19	高雄港 2013 年 PM _{2.5} 逐月影響(2/3)	5-57
圖 5.19	高雄港 2013 年 PM _{2.5} 逐月影響(3/3)	5-58
圖 5.20	花蓮港 2013 年 PM _{2.5} 逐月影響(1/3)	5-60
圖 5.20	花蓮港 2013 年 PM _{2.5} 逐月影響(2/3)	5-61
圖 5.20	花蓮港 2013 年 PM _{2.5} 逐月影響(3/3)	5-62
圖 5.21	港口排放影響比較-細懸浮微粒	5-64
圖 5.22	港口排放影響比較-原生性	5-65
圖 5.23	港口排放影響比較-硫酸鹽	5-66
圖 5.24	港口排放影響比較-硝酸鹽	5-67
圖 5.25	排放量區域分布	5-69
圖 5.26	區域 A 影響	5-70
圖 5.27	區域 B 影響	5-71
圖 5.28	區域 C 影響	5-72
圖 5.29	區域 D 影響	5-73
圖 5.30	區域 E 影響	5-74

圖 5.31	區域 A 原生性每噸貢獻影響	5-77
圖 5.32	區域 B 原生性每噸貢獻影響	5-78
圖 5.33	區域 C 原生性每噸貢獻影響	5-79
圖 5.34	區域 D 原生性每噸貢獻影響	5-80
圖 5.35	區域 E 原生性每噸貢獻影響	5-81
圖 5.36	區域 A 硫酸鹽每噸貢獻影響	5-83
圖 5.37	區域 B 硫酸鹽每噸貢獻影響	5-84
圖 5.38	區域 C 硫酸鹽每噸貢獻影響	5-85
圖 5.39	區域 D 硫酸鹽每噸貢獻影響	5-86
圖 5.40	區域 E 硫酸鹽每噸貢獻影響	5-87
圖 5.41	區域 A 硝酸鹽每噸貢獻影響	5-89
圖 5.42	區域 B 硝酸鹽每噸貢獻影響	5-90
圖 5.43	區域 C 硝酸鹽每噸貢獻影響	5-91
圖 5.44	區域 D 硝酸鹽每噸貢獻影響	5-92
圖 5.45	區域 E 硝酸鹽每噸貢獻影響	5-93

表目錄

表 2-1	本研究模擬模式採用的設定基準	2-8
表 3-1	AIS 資料欄位	3-4
表 3-2	勞氏資料庫欄位名稱	3-5
表 3-3	船舶缺值預設表	3-7
表 3-4	輔助引擎缺值預設表	3-8
表 3-5	鍋爐缺值預設表	3-9
表 3-6	主引擎排放係數	3-11
表 3-7	輔助引擎排放係數	3-12
表 3-8	鍋爐排放係數	3-12
表 3-9	MDO/MGO 燃油校正係數	3-13
表 3-10	低負載校正係數	3-14
表 3-11	輔助引擎負載預設值	3-16
表 3-12	船舶排放量推算結果	3-21
表 3-13	懸浮微粒之模式模擬性能評估規範	3-27
表 3-14	臭氧之模式模擬性能評估規範值	3-27
表 3-15	本研究 WRF 模式模擬採用的設定基準	3-32
表 3-16	本研究模擬 WRF 模式採用的參數設定	3-33
表 3-17	各測站資料表	3-36
表 3-18	懸浮微粒之模式模擬性能評估規範	3-39
表 3-19	臭氧之模式模擬性能評估規範值	3-40

表 4-1	2013 年 AIS 資料筆數一周變化	4-4
表 4-2	2013 年 AIS 排放量一周變化	4-4
表 4-3	2016 年 AIS 資料筆數一周變化	4-6
表 4-4	2016 年 AIS 排放量一周變化	4-7
表 4-5	2013 年 AIS 資料筆數逐月變化	4-9
表 4-6	2013 年 AIS 排放量逐月變化	4-9
表 4-7	2016 年 AIS 資料筆數逐月變化	4-12
表 4-8	2016 年 AIS 排放量逐月變化	4-12
表 4-9	2013 年 AIS 資料筆數	4-14
表 4-10	2013 年 AIS 排放量	4-14
表 4-11	2016 年 AIS 資料筆數	4-16
表 4-12	2016 年 AIS 排放量	4-16
表 4-13	排放量預測結果	4-19
表 4-14	排放量預測結果(絕對值).....	4-19
表 5-1	細懸浮微粒之模式模擬性能評估結果	5-2
表 5-2	臭氧之模式模擬性能評估結果(1/2)	5-3
表 5-2	臭氧之模式模擬性能評估結果(2/2)	5-4
表 5-3	臺灣海峽船舶排放量影響結果	5-5
表 5-4	不同細懸浮微粒濃度下之影響	5-11
表 5-5	五大商港排放量影響結果	5-32
表 5-6	不同細懸浮微粒濃度下之影響(五大港).....	5-39

表 5-7	各區域排放量影響	5-69
表 5-8	區域排放量	5-75
表 5-9	各區域污染物每噸影響	5-75

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，船舶肩負貨物在國際間交流的重任，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 2013 年之 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 SO_2 、 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%，所以港埠相關活動排放 SO_2 、 NO_x 與 $\text{PM}_{2.5}$ 等污染物之比例已有一定程度之影響，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。

1.2 研究目的

本研究目的為提供研擬空污防制對策，提升國內港口的國際形象，並確保環境永續發展。為提昇環境品質及維護國人健康，環保署於 2012 年 5 月 14 日增訂細懸浮微粒($\text{PM}_{2.5}$)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 2015 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 2016 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。

故本研究之主要目的說明如下：

- 1.使用三維網格模式 CMAQ(Community Multiscale Air Quality)，模擬臺灣周遭海域船舶排放污染物對於臺灣本島的影響。
- 2.使用三維網格模式 CMAQ，模擬臺灣主要商港排放污染物對於臺灣本島的影響。
- 3.建置 CMAQ 預測系統之需求內容。

1.3 前期研究內容與成果

本所前期研究計畫(106 年)已建置完成 CMAQ 空氣品質網格模式之運作架構，並進行案例分析模擬 2013 年 4 月及 10 月之臺灣五大商港及周邊海域船舶排放量影響臺灣本島之情形，結果顯示船舶影響並不可等閒忽視之；本年度計畫進而推估 2013 年全年之周域海域船舶的排放量，藉以瞭解船舶排放對臺灣本島的影響。

1.4 本期研究成果

本研究應用船舶自動識別系統(Automatic Identification System, AIS)之船舶資料及環保署之空氣污染排放清冊(Taiwan Emission Data System, TEDS)排放量資料，進行推估臺灣海域船舶排放量，同時透過 WRF 所提供之氣象風場資料，使用三維網格模式 CMAQ 模擬臺灣海域船舶與臺灣主要商港之原生性與衍生性污染物對於臺灣本島的影響貢獻比例，並進一步規劃後續辦理 CMAQ 預測系統之需求內容，俾利擬定相關空污防治對策，以改善港域周遭環境之空氣品質。

本研究完成結果如下：

1. 採用 AIS 即時船舶資訊推估船舶排放量。
2. 推估 2013 年及 2016 年臺灣周遭海域船舶之排放量。
3. 應用 2013 年及 2016 年臺灣海域船舶排放量，模擬其對臺灣本島的影響。

4. 使用 TEDS 9.0 排放量資料，模擬臺灣五大商港污染物排放影響情形。
5. 建置 AIS 排放量自動計算及預測系統，供後續 CMAQ 模式預測 AIS 船舶排放量影響使用。
6. 使用 CMAQ-ISAM 模組模擬海域分成五個區域，各區域污染物排放影響臺灣本島情形。

第二章 文獻回顧

2.1 懸浮微粒

懸浮微粒是指大氣中除了水分子以外之固態或液態微粒，一般係指粒徑介於 $0.005 \sim 100 \mu\text{m}$ 之粒狀物，如細懸浮微粒($\text{PM}_{2.5}$)即為粒徑小於 $2.5 \mu\text{m}$ 以下之粒狀污染物，依污染物產生來源不同又可區分為原生性氣膠(Primary aerosol)與衍生性氣膠(Secondary Aerosol)兩種。一般而言，原生性氣膠具有較大之顆粒粒徑，而衍生性氣膠因來自於氣固相轉換所生成，所以通常會有較小之顆粒，屬於小粒徑之微粒。分述如下：

原生性氣膠：

原生性氣膠之定義為該成分主要由物理破碎或由污染源直接一次排放所產生之微粒，如海鹽飛沫、地表或河川裸露揚塵、鍋爐及車輛燃燒排放產生等。原生性氣膠主要的化學組成分與來源分別為：

- 1.海鹽飛沫：在海面上藉由風力作用所揚起的海水液滴稱為海鹽飛沫。由於海水本身含有氯化鈉與硫酸鹽等物質，其中主要為氯化鈉，因而海鹽微粒將貢獻大量的 Na^+ 與 Cl^- 。此外，由於人為活動中甚少鈉離子的排放，故可假設鈉離子完全來自於海鹽的貢獻，則藉由分析鈉離子將可約略瞭解海鹽的貢獻程度。由於海鹽飛沫來自於海洋，因而靠近海岸線之區域將有較為大量的海鹽貢獻度。
- 2.逸散源：裸露地表經由風力或其他機械力作用所揚起的灰塵微粒與車行揚塵等均會揚起沈積於地表的微粒。因此，經由此一作用所揚起的微粒會含有大量的地殼元素，這些地殼元素主要有鈣、鎂、鋁及矽等，其中主要是矽元素占大部分。由於逸散源的粒狀物主要來自於地表，例如街塵、裸露料堆、裸露地表及砂石業等，所以化學成分組成相似，因此較難釐清逸散源種類之個別來源。

3.營建工程之排放：進行營建工程之土木施工階段也很容易造成逸散，而導致短時間內有大量微粒的排放。

4.鍋爐及機動車輛之燃燒排放：在燃燒的過程當中，由於使用化石燃料以及過程中可能產生的不完全燃燒，因此燃燒過程中會排放出含碳化合物，例如燃燒重油的鍋爐及使用柴油車引擎所造成的煤灰碳粒(soot)。此種由燃燒所產生的含碳化合物可粗分為元素碳成分(EC)及有機碳成分(OC)。除了含碳微粒之外，機動車輛亦可能排放含鉛化合物，而鍋爐亦可能產生硫氧化物與氮氧化物，例如燃煤發電業。

5.其他原生性來源：除了上列幾項排放源之外，其他諸如火山爆發、森林大火與風化微粒等自然界發生源，工廠廠區的排放如建材、木材業等之物理切割過程，皆會產生原生性微粒。

衍生性氣膠：

相較於原生性氣膠的直接排放，衍生性氣膠的來源主要為原生性污染物經由大氣化學機制所產生，包含光化學反應、氣相均相反應、異相液相反應以及氣固相反應等複雜的機制。由於此類大氣化學機制涉及原生性污染物的轉化，因此微粒的化學組成與其相關前驅物種均具有相當大的關聯性，例如經由氮氧化物反應生成的硝酸鹽，其濃度則與氮氧化物之濃度具有相當程度的相關性，因此欲瞭解微粒之衍生性氣膠的化學成分來源，則該化學成分之前驅污染物亦需要加以分析。衍生性氣膠主要的化學組成分與來源分別為：

1.硫酸鹽(SO_4^{2-})：硫酸鹽主要為硫氧化物(SO_2 與 SO_3 合稱為 SO_x ，其主要來源為化石燃料的燃燒，例如燃煤發電業與燃燒重油的鍋爐等)經由氣相均相或液相異相反應而形成。

2.硝酸鹽(NO_3^-)：大氣中的硝酸鹽主要來自於氮氧化物(NO 與 NO_2 合稱為 NO_x ，其主要來自於燃燒過程 N_2 與 O_2 的反應形成 NO 而排放)氧化所生成，其反應機制亦可分為氣相與液相。

硝酸鹽主要來自於硝酸(HNO_3)與大氣中鹼性物質如 NH_3 、 Na^+ 及其他地殼元素等的中和作用，而硝酸的來源則主要來自於日間的光化學反應所致($\text{NO}_2 + \text{OH} \rightarrow \text{HNO}_3$)。至於夜間亦可能經由液相反應而生成($\text{N}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HNO}_3$)。硝酸鹽可因其鹼性中和物種的不同而分別存在於不同粒徑的懸浮微粒中，例如細微粒的硝酸鹽主要為 HNO_3 與 NH_3 反應所生成之細微粒所致，粗微粒硝酸鹽則可能由於 HNO_3 與海鹽微粒(NaCl)或土壤微粒(如 Ca^{2+} 與 Mg^{2+} 等)反應，而在粗微粒懸浮微粒表面形成 NaNO_3 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 或 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 所致。

3. 銨鹽(NH_4^+)：銨鹽的前驅物為氨氣(NH_3)，而氨氣的來源主要為動植物殘體或排泄物及其他微生物的活動所產生。氨氣在大氣中的角色甚為重要，其為大氣中酸性物質的主要中和物種，例如硫酸與硝酸均主要與氨氣進行中和反應而形成微粒。由於銨鹽必須要有酸性成分的中和方可形成於微粒中，而大氣中主要的酸性氣膠為硫酸鹽與硝酸鹽，因而銨鹽的濃度除了需要考慮氨氣外，亦會由於酸性氣膠的濃度而改變。當大氣中含有過量的氨氣時，則當發生較強烈的光化學反應時，其產生的酸性氣體將會與氨氣反應形成酸性氣膠與銨鹽，將導致懸浮微粒濃度的增加；然而若大氣中缺乏氨氣與其他鹼性物種，則即使發生較為強烈的衍生性反應而導致大量的酸性氣體發生，由於沒有鹼性物種與之反應，理論上，將可抑制懸浮微粒之生成。

4. 衍生性有機碳成分：大氣中的揮發性有機物(VOC)主要來自於煉油與石化業的排放、有機溶劑的使用及有機物的逸散等；此外，自然界的植物亦會排放出大量的揮發性有機物成分。大氣中的揮發性有機物為光化學反應的重要參與物種之一，由於揮發性有機物的參與才會導致臭氧濃度的累積。而光化學反應持續進行的結果，將使揮發性有機物進而氧化成為

有機酸及其他含碳之最終產物，此一含碳化合物即為衍生性有機碳成分的來源。

2.2 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。

2.3 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，主旨在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台，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的，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)。

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，將氣象場內差至 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、真實資料模擬以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以及時間、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，以進一步來做對比驗證。

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。

對複雜的中尺度系統而言，WRF 氣象模式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，積雲對流參數化以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以及 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℃，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。

2.4 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、酸性沈降、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將以空氣品質模式 Models-3/CMAQ 同時模擬分析。

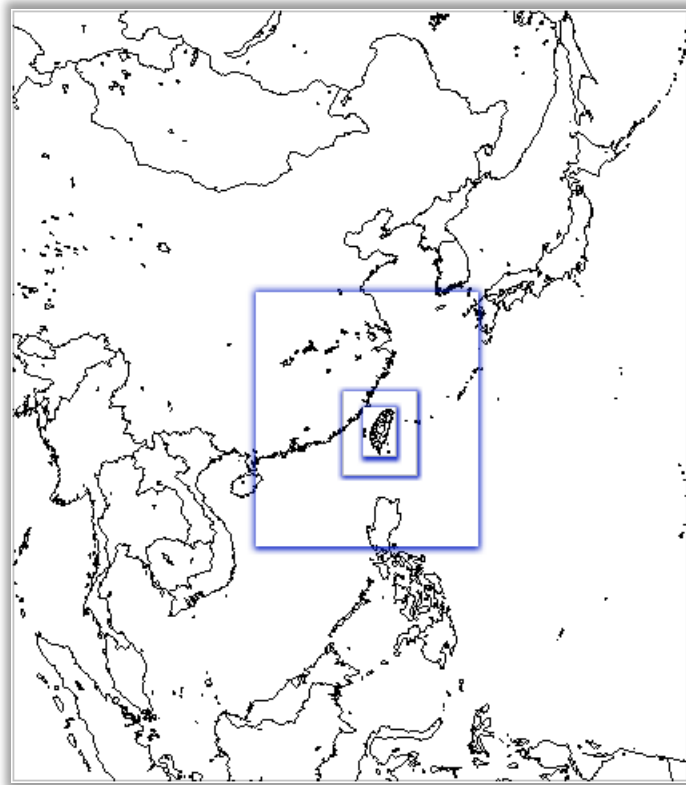
Models-3/CMAQ 為一三維的空氣品質模式，屬於網格模式的一種，此網格模式的特色為使用了多層次網格，模式中各網格之設定基準如表 2-1 所示，圖 2.1 為本研究之 Models-3/CMAQ 模擬分析的區域，其主要的模擬區域為 D4 區，網格大小為 3km*3km，而 D3 網格則為 9km*9km，至於 D4 區域的邊界濃度則以 D3 模擬之結果代入，此一網格規劃即為多層次網格。使用多層次網格具有相當多的優點，由於主要的模擬區域為 D4 區，其範圍雖然不大，然而為求模式結果的準確性，常需要擴大模擬區間，不過若擴大的模擬區間中，網格仍以 3km*3km 大小進行模擬，由於巨大的網格點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。

表 2-1 本研究模擬模式採用的設定基準

		Domain1	Domain2	Domain3	Domain4
大氣模組	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
空品模組	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 2.1 Models-3 多層次網格示意圖

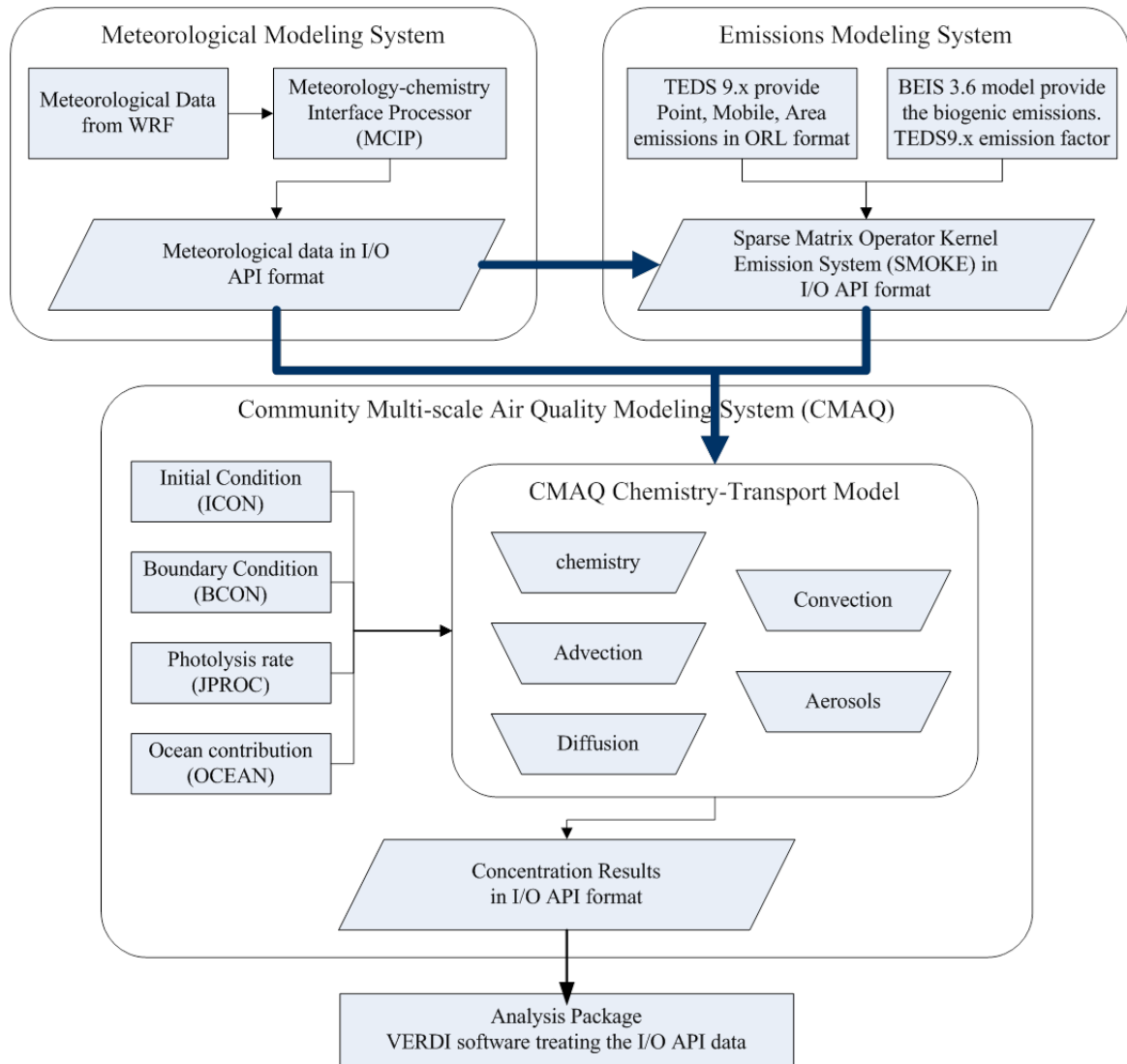
Models-3/CMAQ 之主要運算核心稱為 Community Multi-Scale Air Quality(CMAQ) modeling system，整體 Models-3/CMAQ 之運作如圖 2.2 所示：經由 WRF 取得之氣象資料與 SMOKE 運算之排放量資料，最後均輸入 CMAQ 中，以進行化學機制之模擬。整個模擬工作可約略分為三大部分：

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，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、氣膠模組及煙模組式(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 TEDS 9 排放量格式資料。

圖 2.2 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。

第三章 研究方法

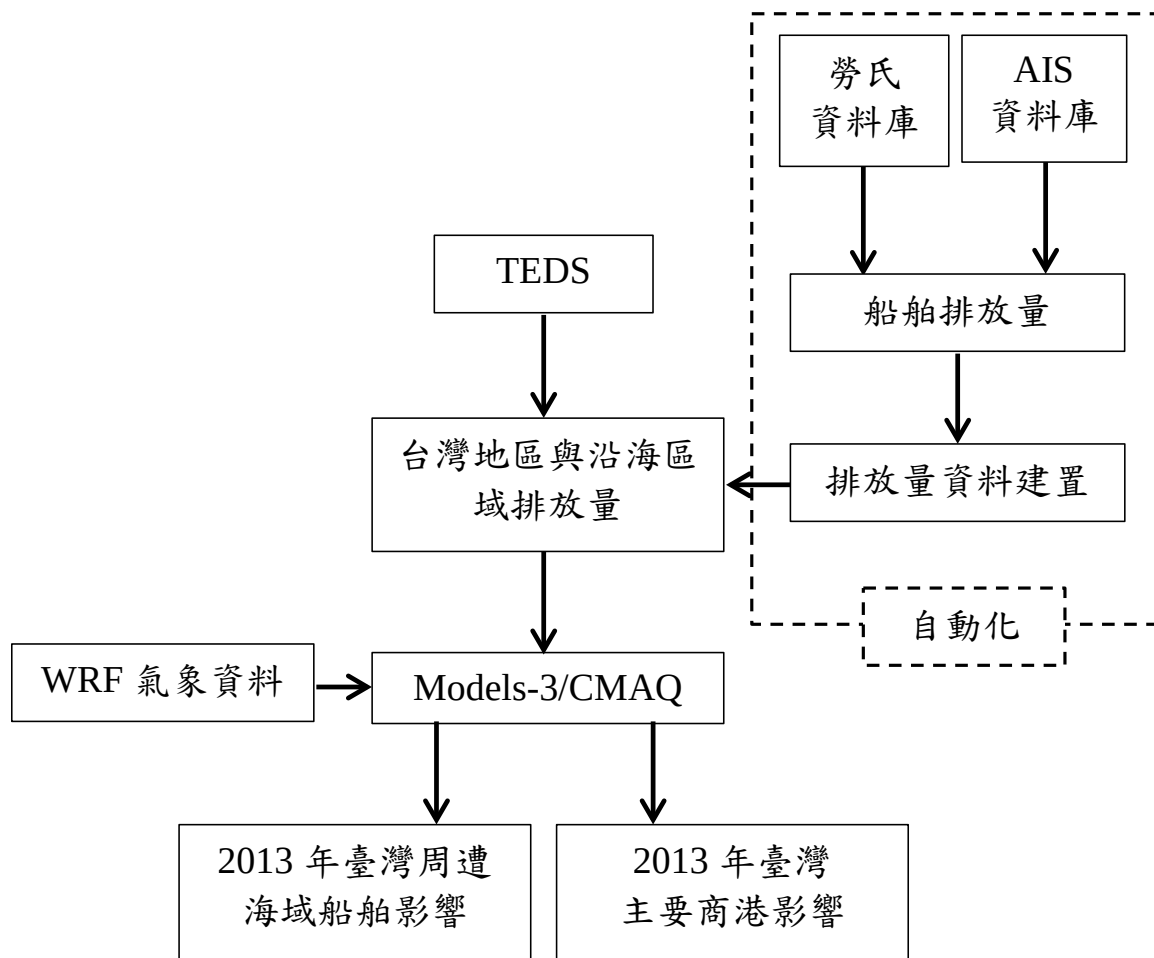
3.1 規劃執行流程

為建立臺灣周遭海域船舶航行對本島沿岸及港域空污預測模式，以提升港口國際競爭力，並確保環境永續發展，本研究採用 CMAQ(Community Multi-scale Air Quality model)三維網格模式模擬原生性與衍生性污染源影響臺灣之案例解析。其中 CMAQ 模擬使用之船舶污染物排放量，透過臺灣海域船舶動態資訊系統(AIS)抓取船舶航行之軌跡訊息，利用 AIS 所提供之船舶即時動態如船速、座標、航行狀態等資訊，搭配勞式資料庫中同一條船之引擎功率及最大船速等參數，最後套用洛杉磯港提供之船舶排放量計算公式，即可建立船舶之排放量資料。

利用前述所計算之船舶排放量資料搭配 TEDS(Taiwan Emission Data System)排放清冊所提供之點源、面源、線源與生物源等本土污染源排放量，以及氣象資料使用 WRF(Weather Research and Forecasting Model)所產生之風場資料，應用 CMAQ 模式解析臺灣的歷史案例，其污染源排放對周界大氣之影響，如 2013 年臺灣周遭海域船舶與臺灣主要商港污染排放量影響周界環境之貢獻比例。

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 大主要商港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，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 SO_2 與 NO_x 及衍生性細懸浮微粒與臭氧等。為配合 TEDS9.0 資料庫時間，本研究分析 2013 年一月至十二月全年之案例。

研究執行流程如圖 3.1，執行期間建立排放量計算自動化模組，減少手動計算排放量因人為產生的誤差，並節省繁複的計算時間，便利後續 CMAQ 模擬推估時應用。

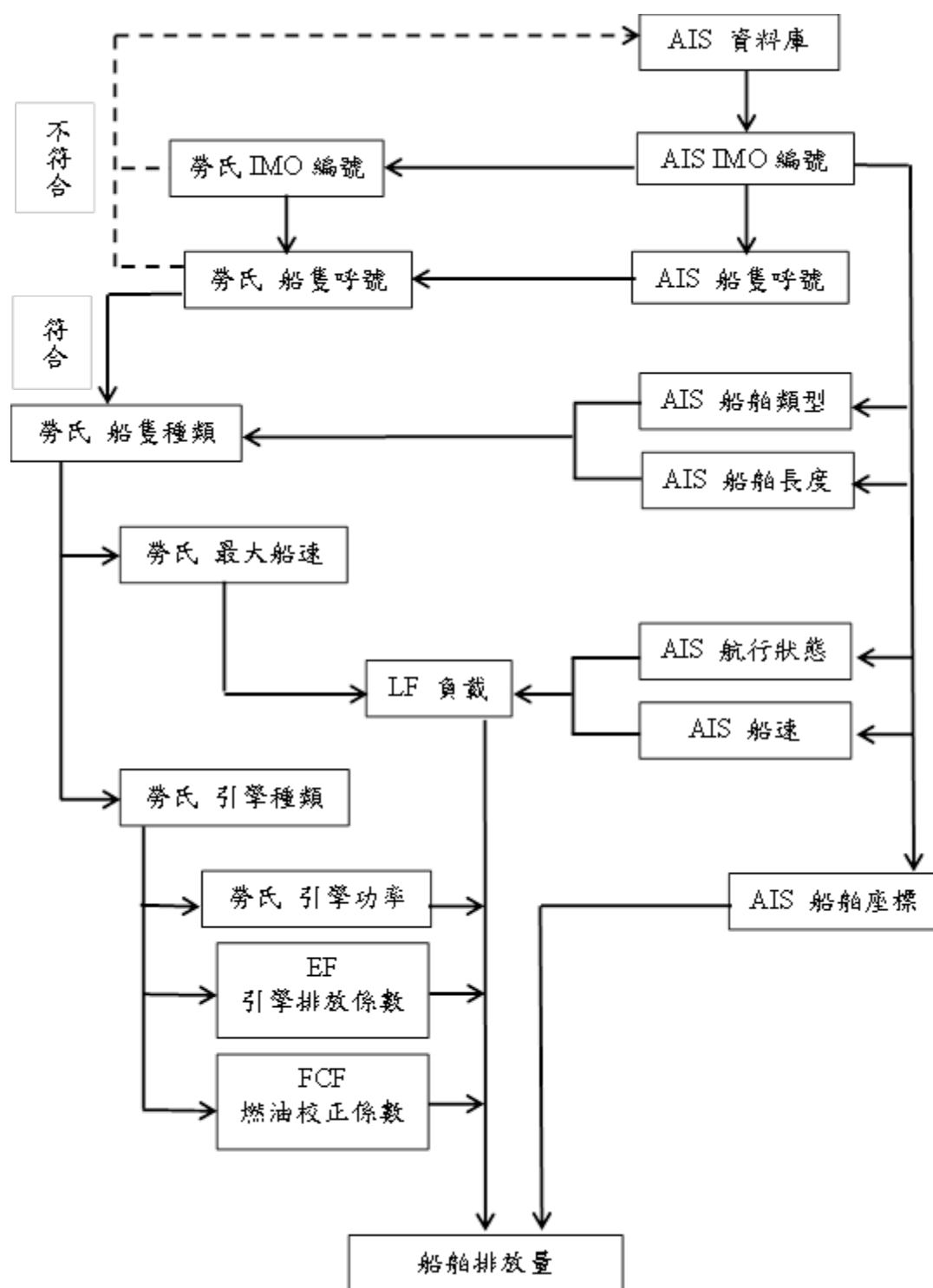


資料來源：本研究彙整。

圖 3.1 研究目標執行流程圖

3.2 排放量推估

船舶排放推估可透過如圖 3.2 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，則認定勞式資料庫與 AIS 資料為同一艘船；接著撈取勞式資料庫中此一船舶之船隻種類、最大船速、主引擎功率、輔助引擎功率以及鍋爐功率等參數。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)以及負載情況，計算船舶排放量。



資料來源：本研究彙整

圖 3.2 排放量推估流程圖

3.2.1 AIS 資料庫

本研究依據 AIS 船舶自動辨識系統之資料，其檔案格式為逗號分隔之 csv 檔案，資料共計有 11 個欄位，依序分別為 IMO 編號、船隻呼號、水上行動業務識別碼、航行狀態、航速、經度、緯度、船舶類型、船長 A、船長 B 以及記錄時間，各欄位名稱如表 3-1。

表 3-1 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
MMSI	(MMSI, Maritime Mobile Service Identities Code)水上行動業務識別碼
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：本所港研中心，2016：本研究彙整。

3.2.2 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，使用 Fortran 格式為(I9, A15, A9, A7, A7, A6, A10, A12, A6, A7, A8, 2A12, A11, I11)，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、引擎判斷 Tier 之時間以及水上行動業務識別碼。各欄位名稱說明如表 3-2。

表 3-2 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
15	水上行動業務識別碼	MMSI

資料來源：瑩諮科技股份有限公司，2015：本研究彙整。

3.2.3 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：

$$E = \text{Energy} \times EF \times FCF \dots\dots\dots(3-1)$$

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：

$$\text{Energy} = \text{MCR} \times \text{LF} \times \text{Act} \dots\dots\dots(3-2)$$

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 3-3。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 3-4 及表 3-5 所示。

表 3-3 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. .et al.(2011~2013)：本研究彙整。

表 3-4 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., et al.(2012~2014)：本研究彙整。

表 3-5 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. ,et al.(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、引擎種類以及引擎轉速的快慢有關，如表 3-6，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)以及轉速大於 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 3-7 及表 3-8 所示。其中排放係數單位為 g/kW·h。

表 3-6 主引擎排放係數

引擎種類	IMO 期別	出廠年份	NO _x	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}
含硫量 2.7% (HFO) 重油						
慢速引擎	Tier 0	≤ 1999	18.1	10.5	1.50	1.2
中速引擎	Tier 0	≤ 1999	14.0	11.5	1.50	1.2
慢速引擎	Tier 1	2000 ~ 2010	17.0	10.5	1.50	1.2
中速引擎	Tier 1	2000 ~ 2010	13.0	11.5	1.50	1.2
慢速引擎	Tier 2	2011 ~ 2015	15.3	10.5	1.50	1.2
中速引擎	Tier 2	2011 ~ 2015	11.2	11.5	1.50	1.2
氣體渦輪引擎	na	all	6.1	16.5	0.05	0.04
蒸氣渦輪引擎	na	all	2.1	16.5	0.80	0.64
含硫量 0.5% (MDO) 重油						
慢速引擎	Tier 0	≤ 1999	17.0	1.9	0.38	0.35
中速引擎	Tier 0	≤ 1999	13.2	2.1	0.38	0.35
慢速引擎	Tier 1	2000 ~ 2010	16.0	1.9	0.38	0.35
中速引擎	Tier 1	2000 ~ 2010	12.2	2.1	0.38	0.35
慢速引擎	Tier 2	2011 ~ 2015	14.4	1.9	0.38	0.35
中速引擎	Tier 2	2011 ~ 2015	10.5	2.1	0.38	0.35
氣體渦輪引擎	na	all	5.7	3.1	0.01	0.01
蒸氣渦輪引擎	na	all	2.0	3.1	0.20	0.18

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

表 3-7 輔助引擎排放係數

IMO 期別	出廠年份	NO _x	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}
含硫量 2.7% (HFO) 重油					
Tier 0	≤ 1999	14.7	12.3	1.50	1.2
Tier 1	2000 ~ 2010	13.0	12.3	1.50	1.2
Tier 2	2011 ~ 2015	11.2	12.3	1.50	1.2
含硫量 0.5% (MDO) 重油					
Tier 0	≤ 1999	13.8	2.3	0.38	0.35
Tier 1	2000 ~ 2010	12.2	2.3	0.38	0.35
Tier 2	2011 ~ 2015	10.5	2.3	0.38	0.35

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

表 3-8 鍋爐排放係數

Fuel	NO _x	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}
HFO 2.7% Sulfur	2.1	16.5	0.8	0.64
MDO 0.5% Sulfur	2.0	3.1	0.2	0.18

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 3-9 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、SO_x 及 PM 等污染物種，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 3-9MDO/MGO 燃油校正係數

硫含量(%)	NO _x	SO _x	PM	硫含量(%)	NO _x	SO _x	PM
1.00	1.00	0.370	0.73	0.27	0.94	0.100	0.20
0.90	0.94	0.333	0.34	0.26	0.94	0.096	0.20
0.82	0.94	0.304	0.32	0.25	0.94	0.093	0.20
0.75	0.94	0.278	0.31	0.23	0.94	0.085	0.20
0.67	0.94	0.248	0.29	0.21	0.94	0.078	0.19
0.63	0.94	0.233	0.28	0.20	0.94	0.074	0.19
0.60	0.94	0.222	0.27	0.19	0.94	0.070	0.19
0.58	0.94	0.215	0.27	0.17	0.94	0.063	0.18
0.54	0.94	0.200	0.26	0.16	0.94	0.059	0.18
0.53	0.94	0.196	0.26	0.15	0.94	0.056	0.18
0.51	0.94	0.189	0.25	0.14	0.94	0.052	0.18
0.50	0.94	0.185	0.25	0.13	0.94	0.048	0.18
0.46	0.94	0.170	0.24	0.12	0.94	0.044	0.17
0.45	0.94	0.167	0.24	0.11	0.94	0.041	0.17
0.43	0.94	0.159	0.24	0.10	0.94	0.037	0.17
0.42	0.94	0.156	0.23	0.09	0.94	0.033	0.17
0.41	0.94	0.152	0.23	0.08	0.94	0.030	0.17
0.40	0.94	0.148	0.23	0.07	0.94	0.026	0.16
0.39	0.94	0.146	0.23	0.06	0.94	0.022	0.16
0.38	0.94	0.141	0.23	0.05	0.94	0.019	0.16
0.36	0.94	0.133	0.22	0.04	0.94	0.015	0.16
0.35	0.94	0.130	0.22	0.03	0.94	0.011	0.16
0.34	0.94	0.126	0.22	0.02	0.94	0.007	0.15
0.30	0.94	0.111	0.21	0.01	0.94	0.004	0.15

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：

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

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 3-10 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 3-10 低負載校正係數

Load	NO _x	SO _x	PM	Load	NO _x	SO _x	PM
20%	1.00	1.00	1.00	10%	1.22	1.00	1.38
19%	1.01	1.00	1.02	9%	1.27	1.00	1.48
18%	1.02	1.00	1.04	8%	1.35	1.00	1.61
17%	1.03	1.00	1.06	7%	1.45	1.00	1.79
16%	1.05	1.00	1.08	6%	1.60	1.00	2.04
15%	1.06	1.00	1.11	5%	1.83	1.00	2.44
14%	1.08	1.00	1.15	4%	2.21	1.00	3.09
13%	1.11	1.00	1.19	3%	2.92	1.00	4.33
12%	1.14	1.00	1.24	2%	4.63	1.00	7.29
11%	1.17	1.00	1.30				

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 3-11 所示。

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 3-11 所示。

表 3-11 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。

3.3 排放量自動化模組

3.3.1 排放量計算方式

臺灣海域船舶排放量推估透過前述 3.2 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、輔助引擎功率以及鍋爐功率等參數。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)以及負載情況，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 3.3。

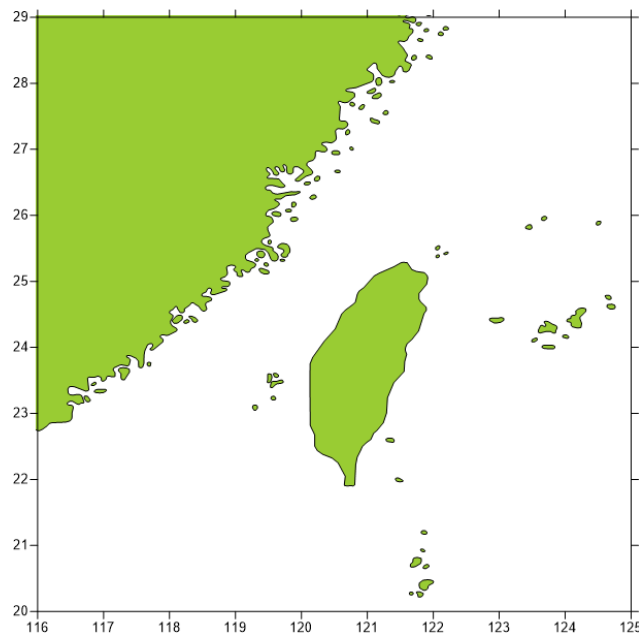
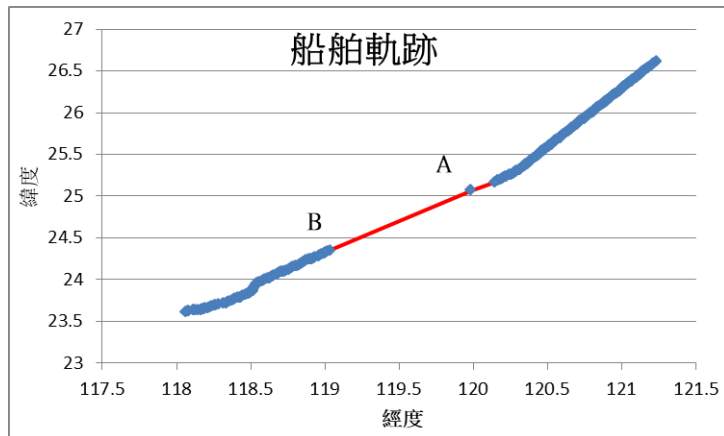


圖 3.3 臺灣周遭海域

經由取得 AIS 資料中之各個欄位資料，可以得到該筆船舶的經緯度座標位置以及船舶當時的航行速度(SOG)，若同時取得船舶該筆資料的記錄時間，再利用前述網格點建置方法，即可建立該網格點的船舶軌跡資料；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 3.4；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。



資料來源：本研究彙整。

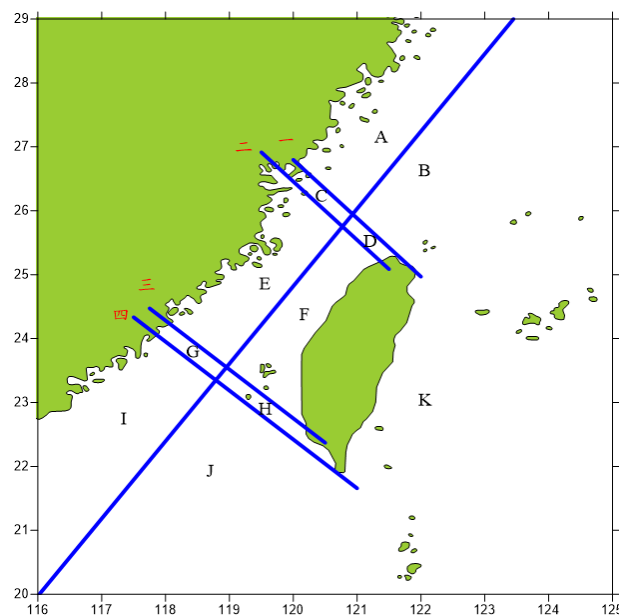
圖 3.4 AIS 船舶軌跡缺值示意圖

本研究利用船舶軌跡計算網格排放量，首先必須先要將 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，也就是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。

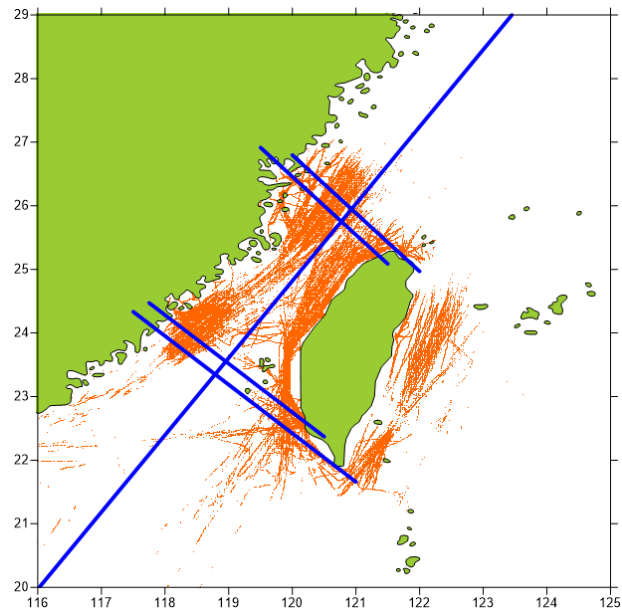
應用前述計算之活動強度，搭配勞氏資料庫篩選 IMO 船舶之引擎功率、最大船速等，以及其排放係數等資訊，即可計算該筆資料所代表之排放量。再利用該筆資料所在之座標，使各筆資料隸屬於該所屬網格點，最後即可將相同網格之排放量加總，得出單位網格點之排放量結果。由於亦可藉由水上行動業務識別碼，即 MMSI(Maritime Mobile Service Identities Code)抓取特定之船舶軌跡，故依據前述船舶軌跡篩選方式，本研究透過利用 IMO 再加上 MMSI 兩種篩選方式，計算 2013 年 AIS 臺灣周遭海域之船舶排放量。

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 3.5 及圖 3.6 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 3.7。



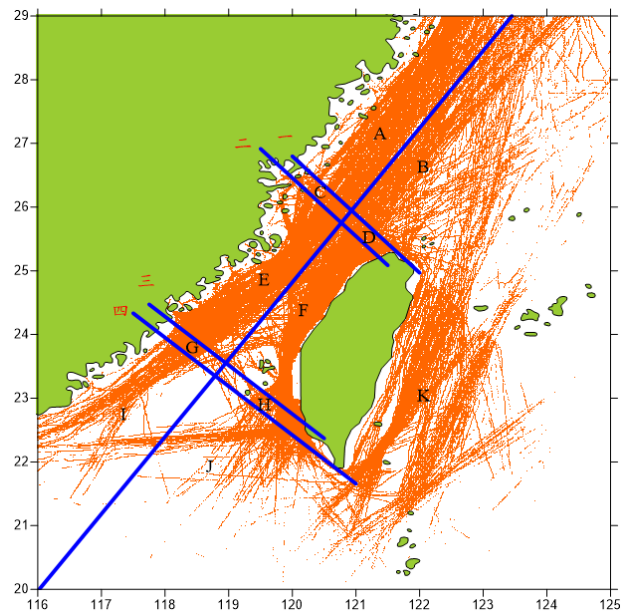
資料來源：本研究彙整。

圖 3.5 臺灣周遭海域區間分布圖



資料來源：本研究彙整。

圖 3.6 船舶軌跡與區間分布



資料來源：本研究彙整。

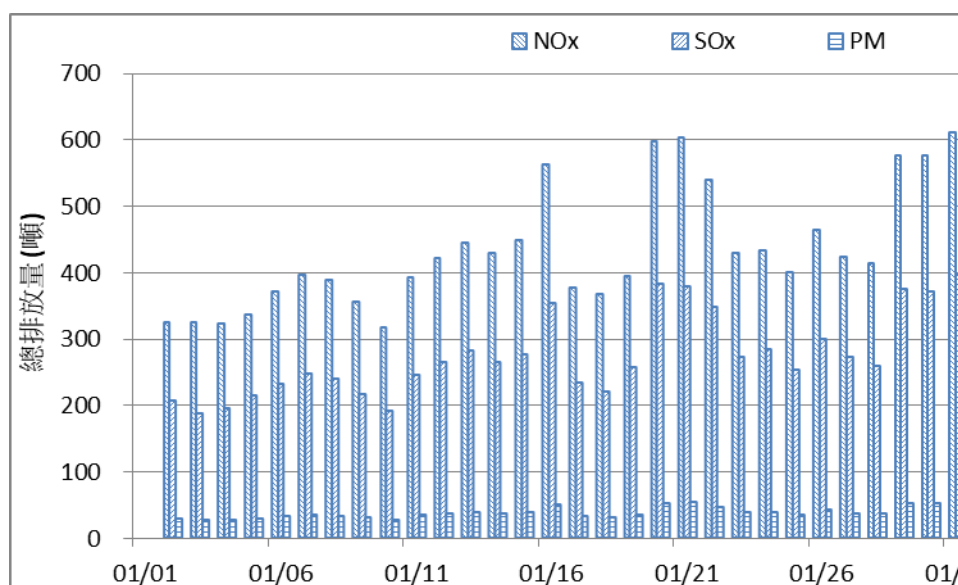
圖 3.7 船舶軌跡推算排放量基準

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。結果如表 3-12 及圖 3.8 所示。

表 3-12 船舶排放量推算結果

日期 (年/月/日)	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
2013/01/01	-	-	-	-	-	-
2013/01/02	324.9	206.5	28.7	2661.0	1720.6	239.8
2013/01/03	324.4	188.0	27.4	1983.1	1159.2	170.4
2013/01/04	323.7	194.8	27.7	3702.6	2250.3	324.1
2013/01/05	336.1	215.3	29.4	1826.3	1175.9	163.1
2013/01/06	370.6	231.7	32.4	2178.3	1374.0	194.7
2013/01/07	395.7	247.2	34.6	2491.4	1579.2	223.4
2013/01/08	388.6	240.1	33.8	2175.7	1360.1	192.6
2013/01/09	355.5	215.9	30.8	1959.3	1211.6	173.0
2013/01/10	317.0	191.4	27.2	2056.3	1236.0	177.7
2013/01/11	392.6	245.1	34.5	3046.3	1918.9	275.4
2013/01/12	422.3	265.0	37.4	3042.1	1939.8	276.9
2013/01/13	445.5	281.6	39.2	3033.0	1936.1	274.3
2013/01/14	428.8	264.8	37.6	2945.9	1840.8	262.7
2013/01/15	449.1	277.3	39.2	3524.0	2205.1	315.2

資料來源：本研究彙整。



資料來源：本研究彙整。

圖 3.8 船舶排放量推算結果

3.3.2 自動化模組計算

由於 AIS 數據量龐大，動輒數萬甚至百萬筆數據，若使用前述 3.3.1 小節手動計算排放量方式，其計算過程繁複且較花費時間，同時容易產生人為錯誤；故本研究將排放量計算過程，利用批次檔執行數個步驟等計算方式，將其轉換為可自動電腦執行，以利後續 CMAQ 模擬推估時應用。各步驟說明如下：

1. 船舶資訊：抓取每一條船之軌跡，並對照勞氏資料庫輸出船舶之引擎功率、船速等參數。
2. 計算排放量：依據洛杉磯港提供之排放量計算公式，計算由步驟 1 抓取之船舶排放量。
3. 區域比例推算：依照預先設定之基準區域排放量，回推各區域之船舶排放量。
4. 預測係數：當日排放量乘上預測係數即可得到隔日之預測排放量。

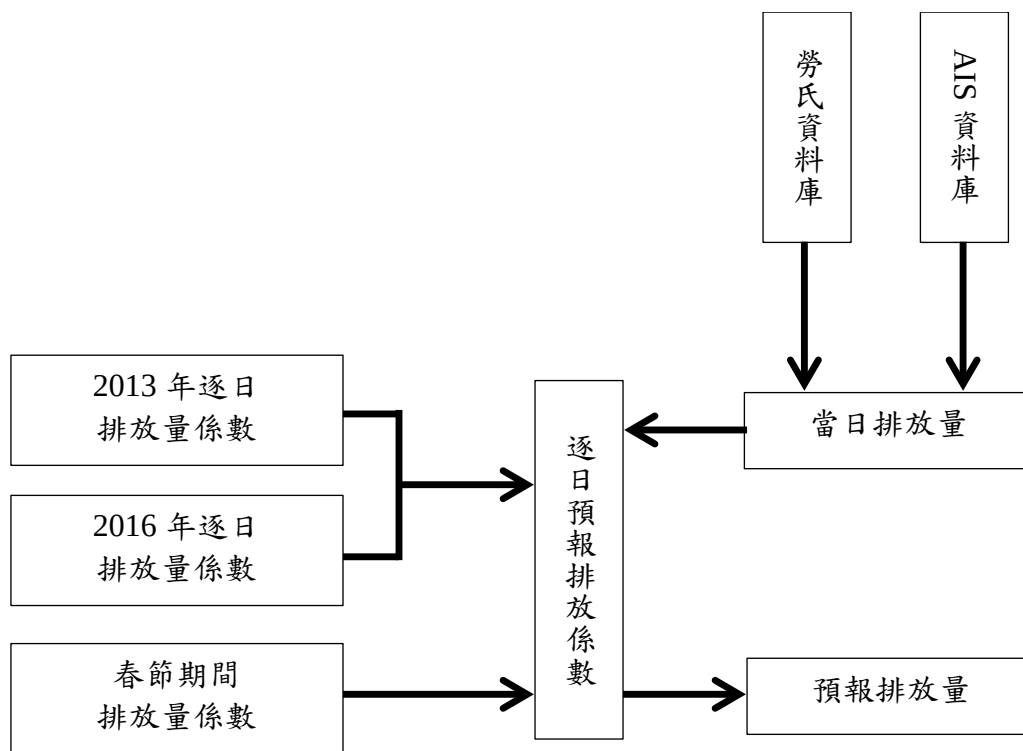
3.3.3 排放量預測係數

排放量預測流程如圖 3.9 所示，即每天 22:10 下載前一天 22:00 至今日 22:00 之 AIS 資料，再搭配勞氏資料庫以計算當日之船舶排放量，以當日之排放量再乘上隔天之排放量預測係數，即可得到隔天之預測排放量。

其中排放量預測係數為以 2013 年及 2016 年計算之區域百分比反推之船舶排放量為基礎，將隔天之排放量除以今日之排放量，以獲得隔天之排放量預測係數；亦即假若以今日之排放量為 E_0 ，隔天之排放量為 E_1 ，則排放量預測係數 a_1 就等於 E_1/E_0 。

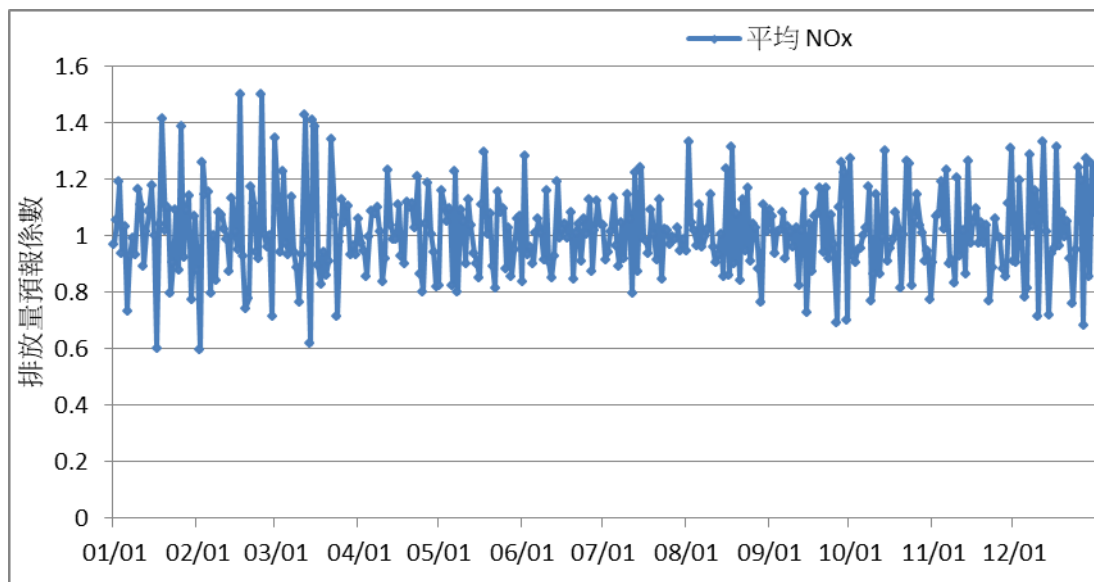
之後剔除 2013 年及 2016 年各別明顯之異常高值以及 NO_x 預測係數 < 0.6 之數值，並將 2013 年每一天搭配 2016 年全年相同日期之預測係數平均，即可得到全年每一天之排放量預測係數。 NO_x 、 SO_x 及 PM 其結果分別如圖 3.10 至圖 3.12。

由於春節屬於東亞及東南亞重大節日之一，且每年之春節期間日期不盡相同，故特將 2013 年及 2016 年春節期間之排放量挑選出來，計算其排放量預測係數並將兩年之係數平均，其結果如圖 3.13 所示。圖中顯示春節初一至初五期間之船舶排放量變化並不大。



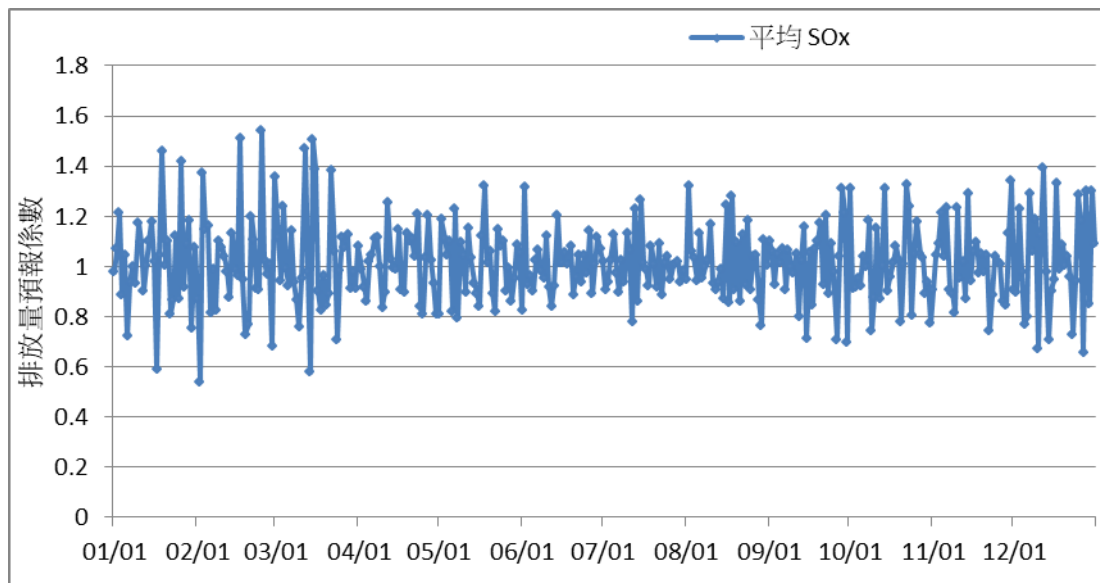
資料來源：本研究彙整。

圖 3.9 排放量預測流程圖



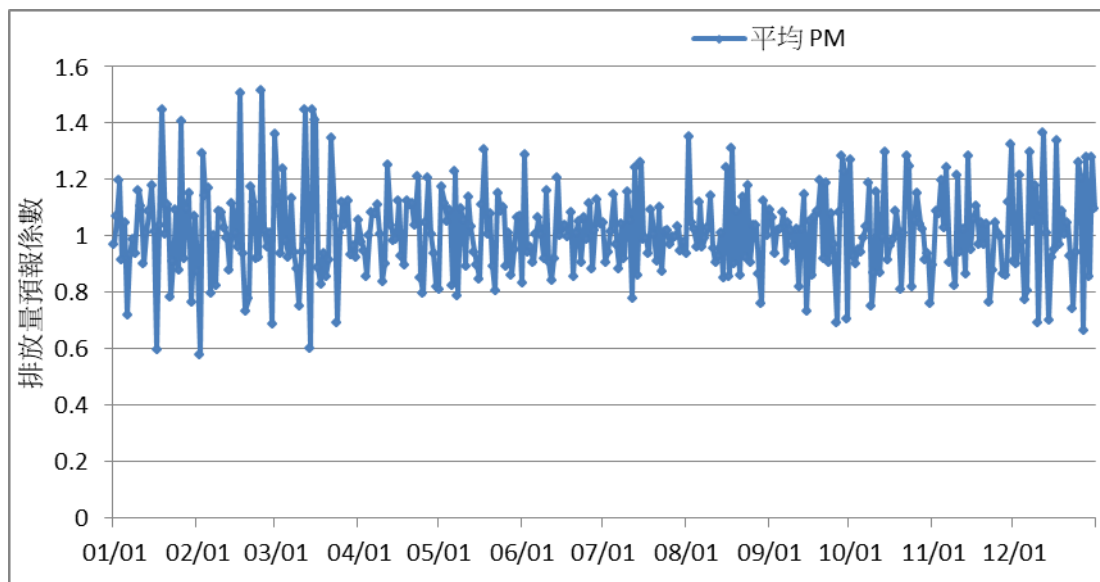
資料來源：本研究彙整。

圖 3.10 NO_x排放量預測係數



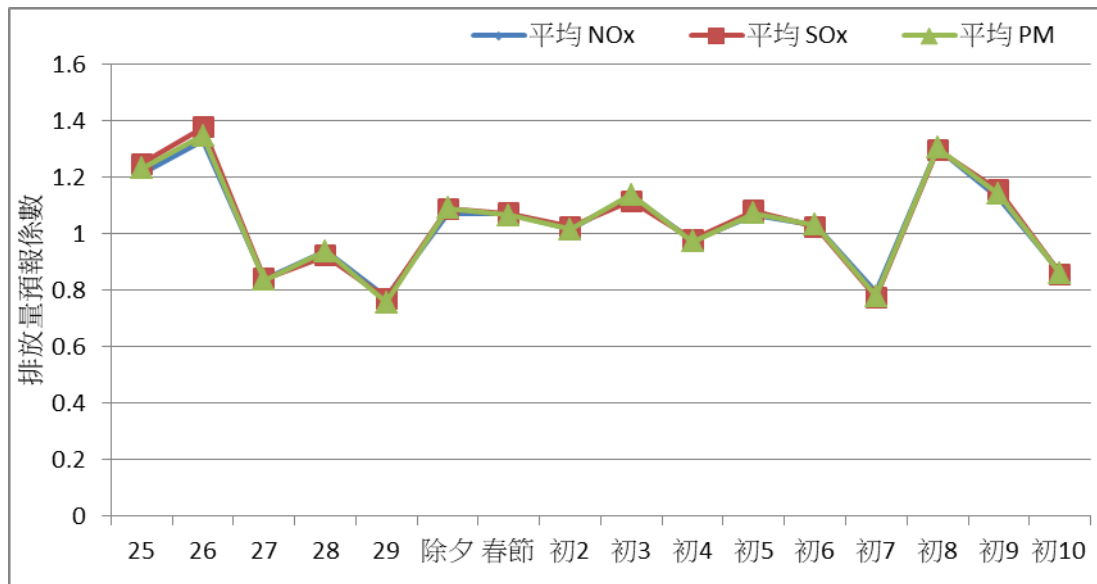
資料來源：本研究彙整。

圖 3.11 SO_x排放量預測係數



資料來源：本研究彙整。

圖 3.12 PM 排放量預測係數



資料來源：本研究彙整。

圖 3.13 春節期間排放量預測係數

3.4 CMAQ 排放量影響分析

本研究採用 TEDS 9 之排放量資料，以 Models-3/CMAQ 模擬分析 2013 年全年各空品區之點源、線源與面源的粒狀物、SO₂、NO₂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，以下說明模式性能評估之規範值。

依據環保署 2015 年公告之模式模擬性能評估規範，於模擬 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；於模擬臭氧時，需同時比較臭氧、NO₂及 NMHC 濃度之模擬結果與觀測值。其中懸浮微粒(PM)之模式模擬性能評估規範如表 3-13 所示，其細懸浮微粒之配對值分數偏差(MFB)介於-35%~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 SO₂與 NO₂之配對值分數偏差(MFB)須介於-65%~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 3-13 懸浮微粒之模式模擬性能評估規範

懸浮微粒	項目	MFB	MFE	R 值
	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 3-14 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 3-14 臭氧之模式模擬性能評估規範值

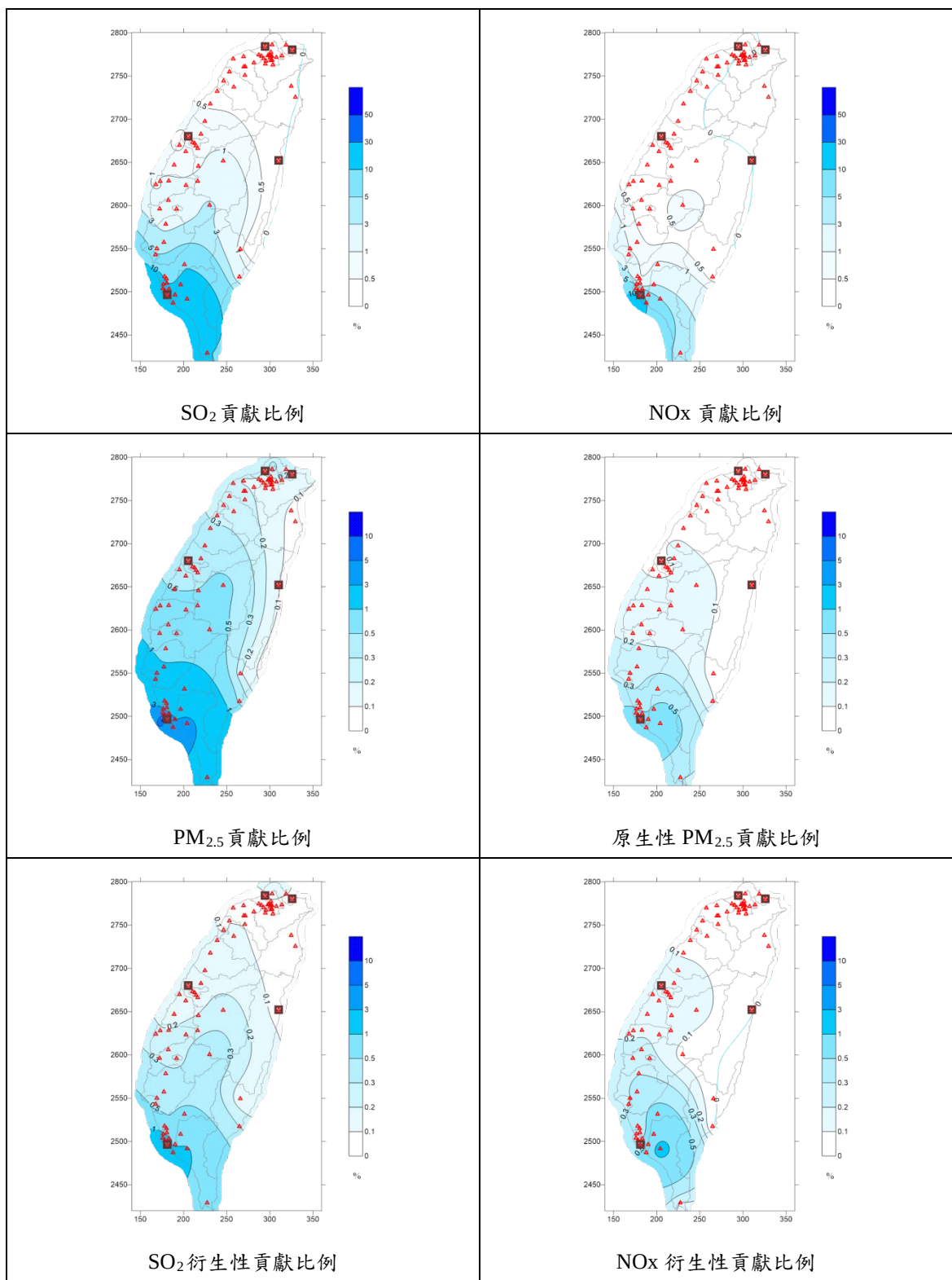
臭氧	項目	MB	MNB	MNE	R 值
	O ₃	± 10%	± 15%	35%	0.45
	NO ₂ , NMHC	-	-40%~50%	80%	0.35

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。

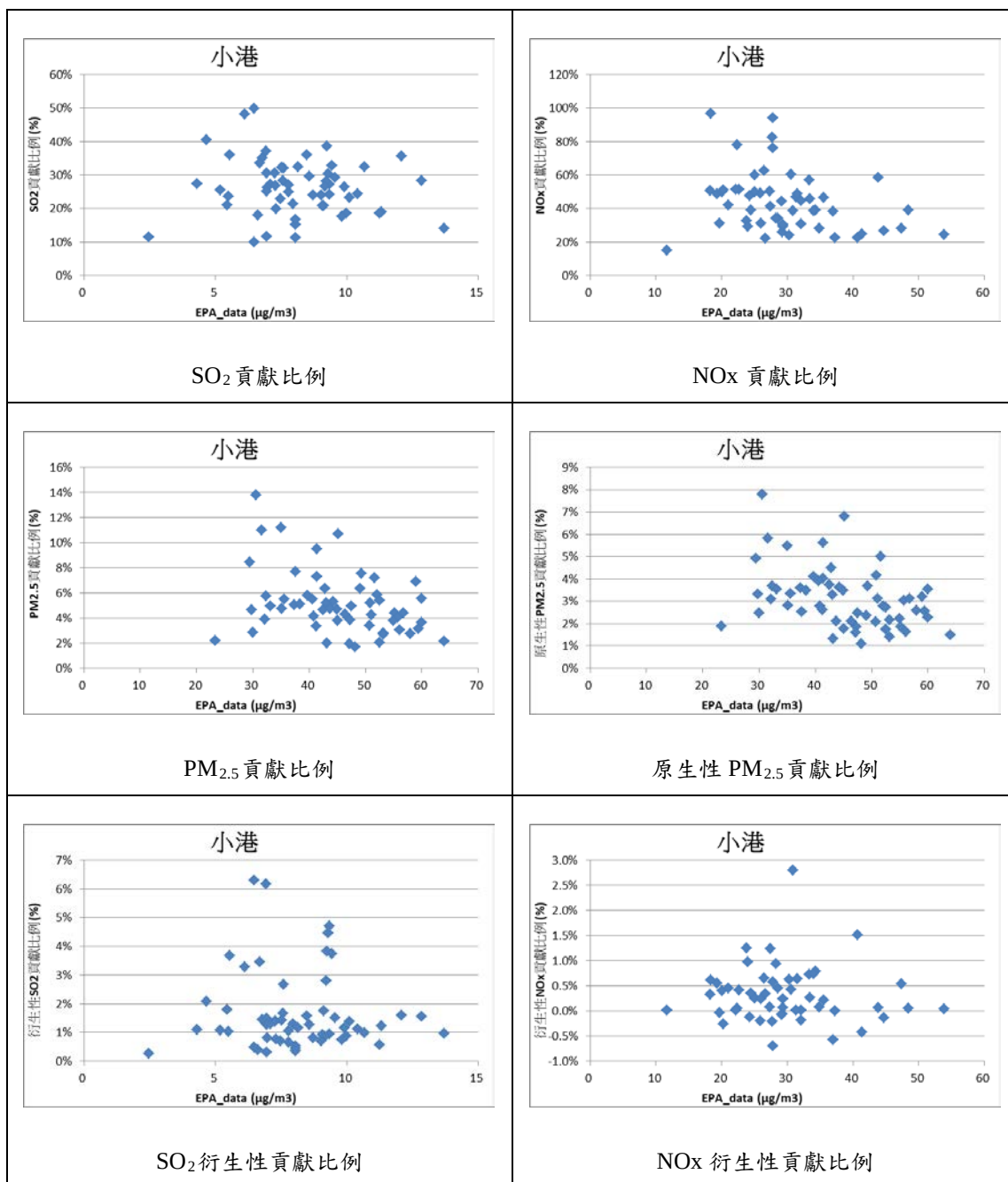
模式符合性能評估規範後，本研究模擬分析 2013 年全年之臺灣主要商港及周遭海域船舶影響之貢獻比例，將模擬結果分別擷取 EPA 測站共 76 站位置，其分布如圖中紅色三角形符號，再依個別測站之位置與污染物濃度，使用繪圖軟體繪製等濃度圖，並切除臺灣本島外圍海域地區，即可得到濃度(或貢獻比例)之空間分布圖；以小港站為例，若將臺灣全島之點源、線源、面源，以及臺灣各港口、周遭海域船舶排放量，甚至鄰近國家等等可蒐集到之污染排放量來源全部放到 CMAQ 模式中模擬，則模擬到最後小港站會得到一個模擬值 X，之後將全部污染來源中的高雄港排放量拿掉，重新以 CMAQ 模式再模擬一次，則

小港站最後亦會得到一個模擬值 Y，此時將模擬值 X 減掉模擬值 Y，即為高雄港排放量對小港站之貢獻量值 Z，再將 Z 除以 X 則為高雄港排放量對小港站之貢獻比例；此方法即為 zero-out method 計算方法。如圖 3.14 及圖 3.15 即為 CMAQ 模擬高雄港排放對於高雄市之原生性與衍生性貢獻比例空間分布及散點圖示意圖；而圖 3.16 則為 CMAQ 模擬海域排放結果之全臺貢獻比例空間分布情形。



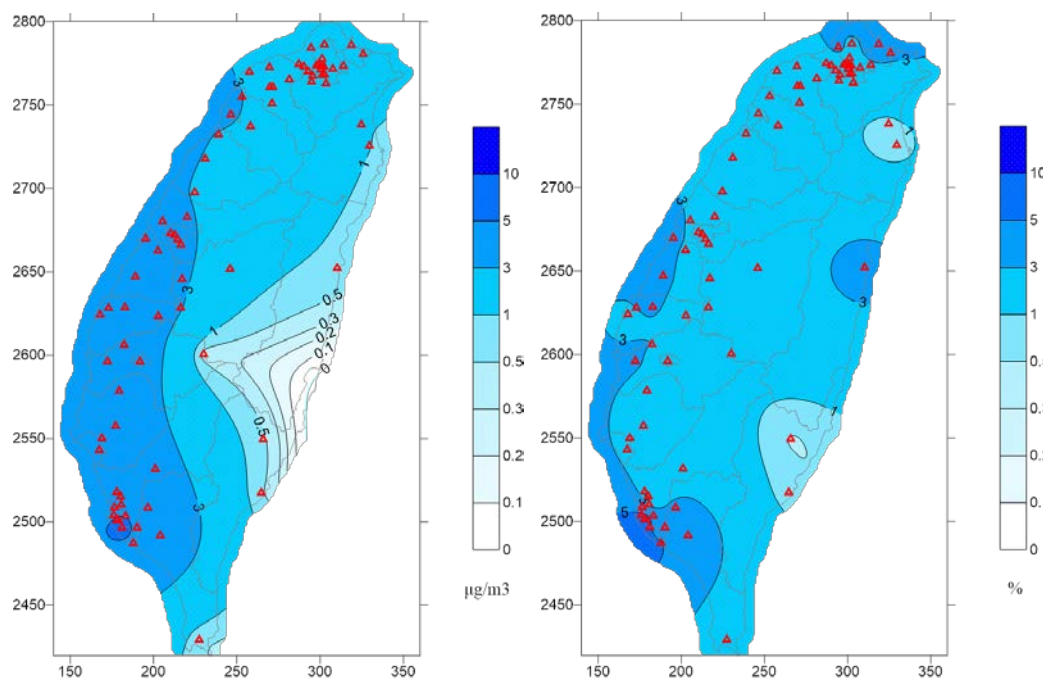
資料來源：本研究彙整。

圖 3.14 高雄港排放貢獻比例影響示意圖



資料來源：本研究彙整。

圖 3.15 高雄港排放貢獻比例散點圖示意圖



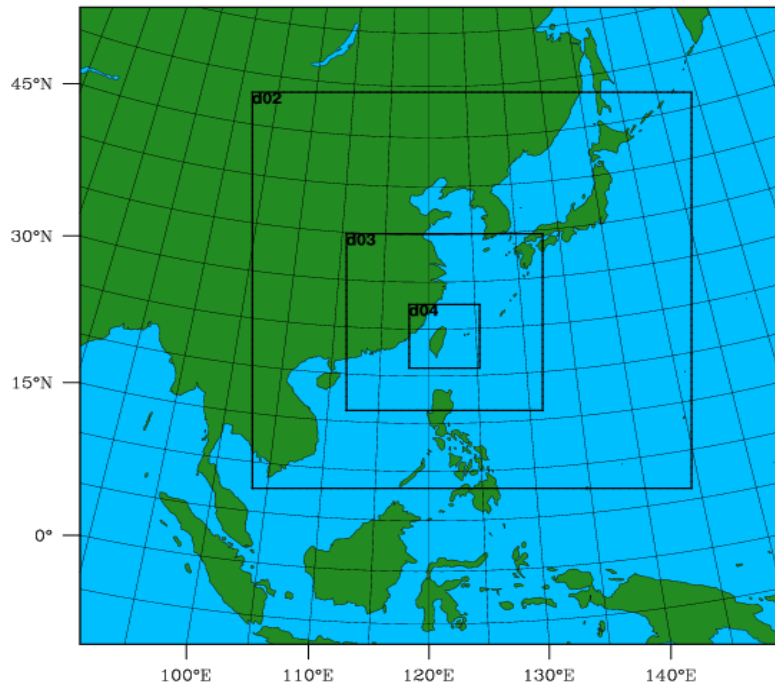
資料來源：本研究彙整。

圖 3.16 污染排放影響貢獻比例示意圖

3.5 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 3.17，採用設定以及設定基準為表 3-15，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，完成 2013 年氣象模式模擬與驗證評估模式性能。

WPS Domain Configuration



資料來源：本研究彙整。

圖 3.17 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 3-15 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

資料來源：本研究彙整。

本研究所使用的 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測計算模式，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，也就是由 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，因此分析場與 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 3-16 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 3-16 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 3-17 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)：

$$MBE = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N (P_{i,k} - O_{i,k}) \dots\dots\dots(3-4)$$

(2) 絕對值偏差(MAGE)：

$$MAGE = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N |P_{i,k} - O_{i,k}| \dots\dots\dots(3-5)$$

(3) 均方根誤差(RMSE)：

$$RMSE = \left[\frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N (P_{i,k} - O_{i,k})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(3-6)$$

(4) 風向標準化偏差(WNMB)

$$WNMB = \frac{\sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N (P_{i,k} - O_{i,k})}{M \times N \times 360^\circ} \times 100\% \dots\dots\dots(3-7)$$

(5) 風向標準化絕對值誤差(WNME)

$$WNME = \frac{\sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N |P_{i,k} - O_{i,k}|}{M \times N \times 360^\circ} \times 100\% \dots\dots\dots(3-8)$$

$P_{i,k}$ = 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

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。

表 3-17 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。

3.6 CMAQ 模擬建置

本研究使用 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、SO₂、NO₂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，以下說明其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，網格模式模擬結果應進行定性與定量性能評估；模式模擬定性性能評估包括模擬值與監測值之时序變化趨勢圖、散布圖與地面等濃度圖。模式模擬性能定量評估中，包括配對值分數偏差(Mean Fractional Bias, MFB)、絕對值絕對分數偏差(Mean Fractional Error, MFE)、非配對峰值常化偏差(Maximum peak normalized Bias, MB)、配對值常化偏差(Mean Normalized Bias, MNB)、配對值絕對常化誤差(Mean Normalized Error, MNE)及相關係數(Correlation coefficient, R)等統計參數，各參數之定義公式分別如下：

非配對峰值常化偏差(Maximum peak normalized Bias, MB)：

$$MB = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N \left(\frac{Max_{i=1}^{24}(P_{i,j,k}) - Max_{i=1}^{24}(O_{i,j,k})}{Max_{i=1}^{24}(O_{i,j,k})} \right) \dots\dots\dots(3-9)$$

配對值常化偏差(Mean Normalized Bias, MNB)：

$$MNB = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N \left(\frac{P_{i,k} - O_{i,k}}{O_{i,k}} \right) \dots\dots\dots(3-10)$$

配對值絕對常化誤差(Mean Normalized Error, MNE)：

$$MNE = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N \left| \frac{P_{i,k} - O_{i,k}}{O_{i,k}} \right| \dots\dots\dots(3-11)$$

配對值分數偏差(Mean Fractional Bias, MFB)：

$$MFB = \frac{2}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N \left(\frac{P_{i,k} - O_{i,k}}{P_{i,k} + O_{i,k}} \right) \dots\dots\dots(3-12)$$

配對值之絕對分數誤差(Mean Fractional Error, MFE)：

$$\text{MFE} = \frac{2}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N \left| \frac{P_{i,k} - O_{i,k}}{P_{i,k} + O_{i,k}} \right| \dots\dots\dots(3-13)$$

配對值偏差(Mean Biased Error, MBE)：

$$\text{MBE} = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N (P_{i,k} - O_{i,k}) \dots\dots\dots(3-14)$$

配對值絕對值偏差(Mean Absolute Gross Error, MAGE)：

$$\text{MAGE} = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N |P_{i,k} - O_{i,k}| \dots\dots\dots(3-15)$$

相關係數(Correlation coefficient, R)：

$$R = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N \left[\frac{(P_{i,k} - \bar{P})(O_{i,k} - \bar{O})}{S_P S_O} \right] \dots\dots\dots(3-16)$$

$$\text{而 } \bar{P} = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N P_{i,k}, \quad \bar{O} = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N O_{i,k}, \quad S_P = \left[\frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N (P_{i,k} - \bar{P})^2 \right]^{\frac{1}{2}},$$

$$S_O = \left[\frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N (O_{i,k} - \bar{O})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

其中：

$P_{i,j,k}$ = 第 j 天、第 i 小時、第 k 測站之模擬值

$O_{i,j,k}$ = 第 j 天、第 i 小時、第 k 測站之監測值

$P_{i,k}$ = 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

Max = 第 j 天、第 k 測站最大小時值

$\overline{P}$ = 模擬區域範圍內所有測站之所有小時平均模擬值

$\overline{O}$ = 模擬區域範圍內所有測站之所有小時平均監測值

S_p = 模擬區域範圍內所有測站之所有小時模擬值之標準偏差

S_o = 模擬區域範圍內所有測站之所有小時監測值之標準偏差

於模擬 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；於模擬臭氧時，需同時比較臭氧、NO₂ 及 NMHC 濃度之模擬結果與觀測值。其中懸浮微粒(PM)之模式模擬性能評估規範如表 3-18 所示，其細懸浮微粒之配對值分數偏差(MFB)介於 -35% ~ 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 SO₂ 與 NO₂ 之配對值分數偏差(MFB)須介於 -65% ~ 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 3-18 懸浮微粒之模式模擬性能評估規範

懸浮微粒	項目	MFB	MFE	R 值
	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 3-19 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 3-19 臭氧之模式模擬性能評估規範值

臭氧	項目	MB	MNB	MNE	R 值
	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。

第四章 研究結果

本研究排放量計算以 AIS 資料為基準，而 AIS 鄰近港口接收範圍約 20 海浬左右，故若船舶之 AIS 資料有抓到，則會列入排放量計算之中；其他區域則以 AIS 有資料時之空間分布，本研究再以區域等比例推算排放量之方式，推估範圍中 AIS 資料不足的區域，之後依推估之排放量以 CMAQ 模擬其對臺灣本島的影響。

由於船舶進港前之油品切換，目前尚無法確切得知，本研究預設船舶主引擎使用含硫量 2.7% 之 HFO 重油，輔助引擎及鍋爐則使用 0.5% 之 MDO 柴油，使用 2013 年 365 天及 2016 年 366 天之 AIS 資料，計算臺灣周遭海域船舶污染物之排放量推估，且利用 2013 及 2016 年所計算之排放量資料，建立船舶排放量預測係數，以供後續建置排放量預測使用。由於大部分漁船均無裝置 AIS 系統，故 AIS 排放量計算部分並未包含無 AIS 裝置之船舶載具。

本研究完成建置三維網格氣象模式 WRF 與三維網格空氣品質模式 CMAQ，同時應用 TEDS 9 排放量資料庫，使用 CMAQ 模式模擬臺灣五大商港之貢獻比例，以及臺灣周遭海域船舶污染物排放之影響分析，其分析結果於第五章節描述解析之。

以下分別說明 2013 年及 2016 年船舶污染物排放推估結果。

4.1 AIS 排放量結果

2013 年：

依據 3.2 節之排放量計算方式，計算 2013 年臺灣海域船舶之全年每日排放量，其中船舶於海上航行使用到主引擎時，使用含硫量 2.7%(HFO)之燃油，而於港區行進使用輔助引擎及鍋爐時，則使用含硫量 0.5%(MDO)之燃油，之後應用洛杉磯港報告中提供之排放量係數、負載、燃油校正係數等參數，計算 2013 年 AIS 提供之船舶污染物排放量，其逐日結果詳細如附錄三所示。統計 NO_x 、 SO_x 及 PM 全年推估總

排放量依序為 180315 噸、114513 噸及 16010 噸，而區域百分比推估排放量則為 1052219 噸、675027 噸及 95098 噸。

其中 NO_x推估排放量介於 166.2 ~ 930.8 噸之間，最高為 6 月 19 日之 930.8 噸，次之為 6 月 18 日之 887.5 噸，第三高則為 6 月 17 日之 866.6 噸；SO_x 推估排放量介於 79.4 ~ 597.1 噸之間，最高為 6 月 19 日之 597.1 噸，次之為 6 月 18 日之 581.4 噸，第三高則為 6 月 17 日之 554.5 噸；PM 推估排放量介於 13.5 ~ 83.7 噸之間，最高為 6 月 19 日之 83.7 噸，次之為 6 月 18 日之 80.1 噸，第三高則為 6 月 17 日之 78.1 噸。

NO_x區域百分比推估之排放量介於 798.5 ~ 5283.3 噸之間，最高為 1 月 29 日之 5283.3 噸，次之為 8 月 20 日之 4928.6 噸，第三高則為 8 月 27 日之 4805.0 噸；SO_x 區域百分比推估排放量介於 460.3 ~ 3511.2 噸之間，最高為 1 月 29 日之 3511.2 噸，次之為 8 月 27 日之 3179.5 噸，第三高則為 8 月 20 日之 3160.4 噸；PM 區域百分比推估排放量介於 67.7 ~ 488.6 噸之間，最高為 1 月 29 日之 488.6 噸，次之為 8 月 20 日之 447.3 噸，第三高則為 8 月 27 日之 438.2 噸。

2016 年：

同 2013 年排放量計算方式，計算 2016 年臺灣海域船舶之全年每日排放量，其中船舶於海上航行使用到主引擎時，亦使用含硫量 2.7%(HFO)之燃油，而於港區行進使用輔助引擎及鍋爐時，則使用含硫量 0.5%(MDO)之燃油，

同樣應用洛杉磯港報告中提供之排放量係數、負載與燃油校正係數等參數，計算 2016 年 AIS 提供之船舶污染物排放量，其逐日結果詳細如附錄四所示。統計 NO_x、SO_x 及 PM 全年推估總排放量依序為 203128 噸、130516 噸及 18325 噸，而區域百分比推估排放量則為 1088681 噸、705843 噸及 99756 噸。

其中 NO_x推估排放量介於 43.2 ~ 1015.2 噸之間，最高為 9 月 29 日

之 1015.2 噸，次之為 11 月 14 日之 916.7 噸，第三高則為 10 月 27 日之 905.4 噸；SO_x推估排放量介於 29.6 ~ 656.8 噸之間，最高為 9 月 29 日之 656.8 噸，次之為 11 月 14 日之 608.5 噸，第三高則為 6 月 22 日之 597.9 噸；PM 推估排放量介於 3.9 ~ 92.4 噸之間，最高為 9 月 29 日之 92.4 噸，次之為 11 月 14 日之 84.0 噸，第三高則為 6 月 24 日之 83.9 噸。

NO_x區域百分比推估之排放量介於 500.7 ~ 5322.0 噸之間，最高為 11 月 17 日之 5322.0 噸，次之為 9 月 29 日之 5098.1 噸，第三高則為 8 月 10 日之 5030.7 噸；SO_x區域百分比推估排放量介於 341.2 ~ 3474.0 噸之間，最高為 11 月 17 日之 3474.0 噸，次之為 8 月 10 日之 3440.6 噸，第三高則為 9 月 29 日之 3312.9 噸；PM 區域百分比推估排放量介於 45.1 ~ 494.8 噸之間，最高為 11 月 17 日之 494.8 噸，次之為 9 月 29 日之 474.5 噸，第三高則為 8 月 10 日之 471.3 噸。

4.2 一周每日變化

2013 年：

將前述 4.1 小節之 2013 年 AIS 資料，依照資料筆數、符合篩選數、可用筆數、資料可用率以及每日排放量等資訊，將一年 365 天中所有的星期一數值加總並平均，同理，依序加總並平均一周內每一天的數值，彙整成一周之變化如表 4-1 及表 4-2，其中 AIS 資料可用率則介於 30.8% ~ 31.7%之間。

將一周排放量變化繪製如圖 4.1 及圖 4.2，其中 NO_x推估排放量介於 471.0 ~ 534.6 噸之間，最高為星期二之 534.6 噸，次之為星期一之 530.6 噸，第三高則為星期日之 509.4 噸；SO_x推估排放量介於 298.5 ~ 339.9 噸之間，最高為星期二之 339.9 噸，次之為星期一之 336.6 噸，第三高則為星期日之 324.1 噸；PM 推估排放量介於 41.8 ~ 47.5 噸之間，最高為星期二之 47.5 噸，次之為星期一之 47.2 噸，第三高則為星期日之 45.2 噸。

NO_x區域百分比推估之排放量介於 2688.4 ~ 3180.7 噸之間，最高為星期二之 3180.7 噸，次之為星期一之 3082.3 噸，第三高則為星期日之 2940.6 噸；SO_x 區域百分比推估排放量介於 1717.6 ~ 2045.6 噸之間，最高為星期二之 2045.6 噸，次之為星期一之 1977.7 噸，第三高則為星期日之 1885.9 噸；PM 區域百分比推估排放量介於 242.5 ~ 288.3 噸之間，最高為星期二之 288.3 噸，次之為星期一之 279.0 噸，第三高則為星期日之 265.3 噸。

表 4-1 2013 年 AIS 資料筆數一周變化

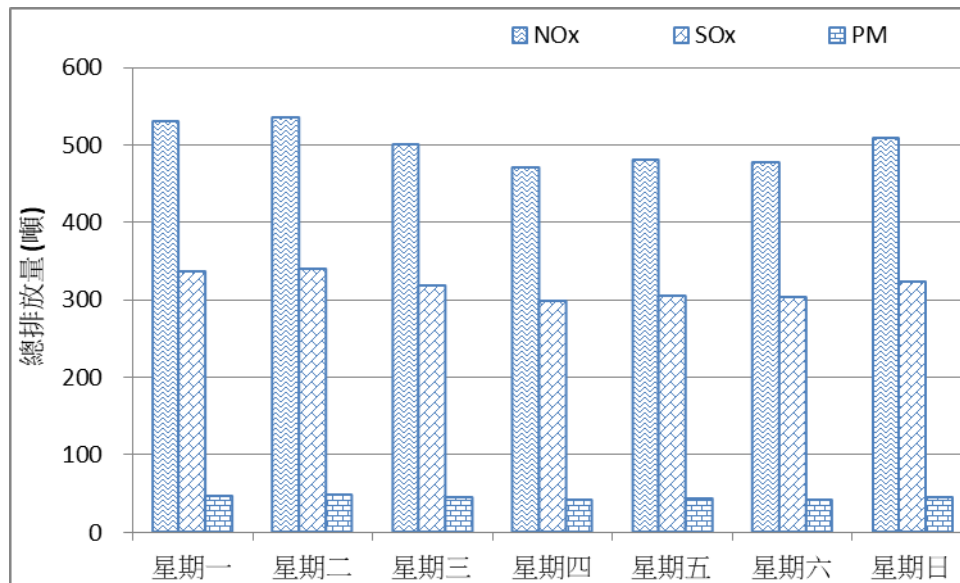
	筆數	IMO+MMSI		
		符合篩選	可用筆數	可用率
星期一	753340	720650	215930	30.9%
星期二	768359	734403	218875	30.8%
星期三	743301	711017	214746	31.3%
星期四	730534	697986	213453	31.7%
星期五	739094	705011	212929	31.5%
星期六	751776	719520	215956	31.4%
星期日	772593	739767	223883	31.4%

資料來源：本研究彙整。

表 4-2 2013 年 AIS 排放量一周變化

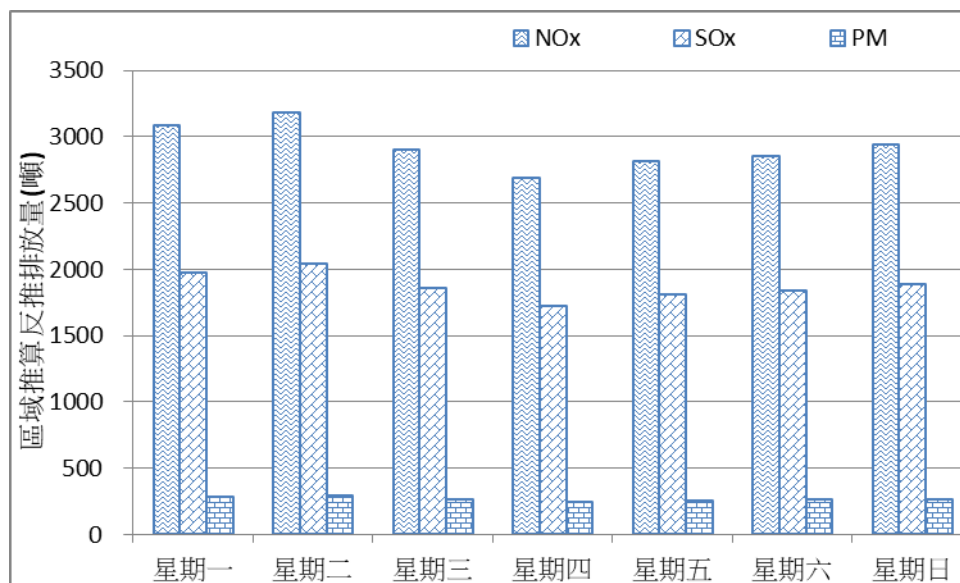
	總排放量(噸)			區域推算百分比反推(噸)		
	NO _x	SO _x	PM	NO _x	SO _x	PM
星期一	530.6	336.6	47.2	3082.3	1977.7	279.0
星期二	534.6	339.9	47.5	3180.7	2045.6	288.3
星期三	501.1	318.0	44.5	2896.4	1855.5	261.5
星期四	471.0	298.5	41.8	2688.4	1717.6	242.5
星期五	480.9	305.5	42.7	2816.7	1806.6	254.4
星期六	477.9	303.7	42.4	2852.7	1835.4	257.9
星期日	509.4	324.1	45.2	2940.6	1885.9	265.3

資料來源：本研究彙整。



資料來源：本研究彙整。

圖 4.1 2013 年排放量推算一周變化圖



資料來源：本研究彙整。

圖 4.2 2013 年排放量區域比例推算一周變化圖

2016 年：

同樣將前述 4.1 小節之 2016 年 AIS 資料，依照資料筆數、符合篩選數、可用筆數、資料可用率以及每日排放量等資訊，將一年 366 天中所有的星期一數值加總並平均，依序加總並平均一周內每一天的數值，彙整成一周之變化如表 4-3 及表 4-4，其中 AIS 資料可用率則介於 31.2%~32.4%之間。

將一周排放量變化繪製如圖 4.3 及圖 4.4，其中 NO_x推估排放量介於 877.6~955.8 噸之間，最高為星期四之 955.8 噸，次之為星期三 954.4 噸，第三高則為星期五 943.1 噸；SO_x推估排放量介於 572.9~618.8 噸之間，最高為星期四 618.8 噸，次之為星期五 610.8 噸，第三高則為星期三 608.3 噸；PM 推估排放量介於 80.7~87.4 噸之間，最高為星期四之 87.4 噸，次之為星期三之 87.0 噸，第三高則為星期五 86.5 噸。

NO_x區域百分比推估之排放量介於 2915.4~3074.9 噸之間，最高為星期四 3074.9 噸，次之為星期三 3067.6 噸，第三高則為星期五 3027.2 噸；SO_x區域百分比推估排放量介於 1906.9~1994.3 噸之間，最高為星期四 1994.3 噸，次之為星期五 1962.1 噸，第三高則為星期三 1959.2 噸；PM 區域百分比推估排放量介於 267.0~281.6 噸之間，最高為星期四 281.6 噸，次之為星期三 279.9 噸，第三高則為星期五 277.7 噸。

表 4-3 2016 年 AIS 資料筆數一周變化

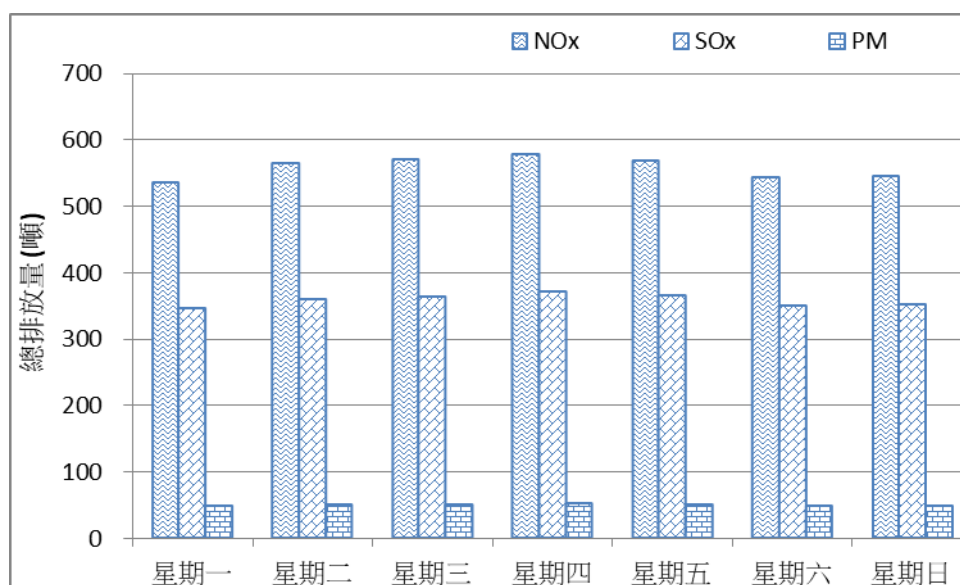
	筆數	IMO+MMSI		
		符合篩選	可用筆數	可用率
星期一	1074169	950307	294063	32.2%
星期二	1080965	958992	301258	32.4%
星期三	1087498	967398	304751	32.4%
星期四	1074112	954074	299130	32.2%
星期五	1063926	942711	295180	32.1%
星期六	1109540	984505	295986	31.2%
星期日	1077040	952863	294172	32.1%

資料來源：本研究彙整。

表 4-4 2016 年 AIS 排放量一周變化

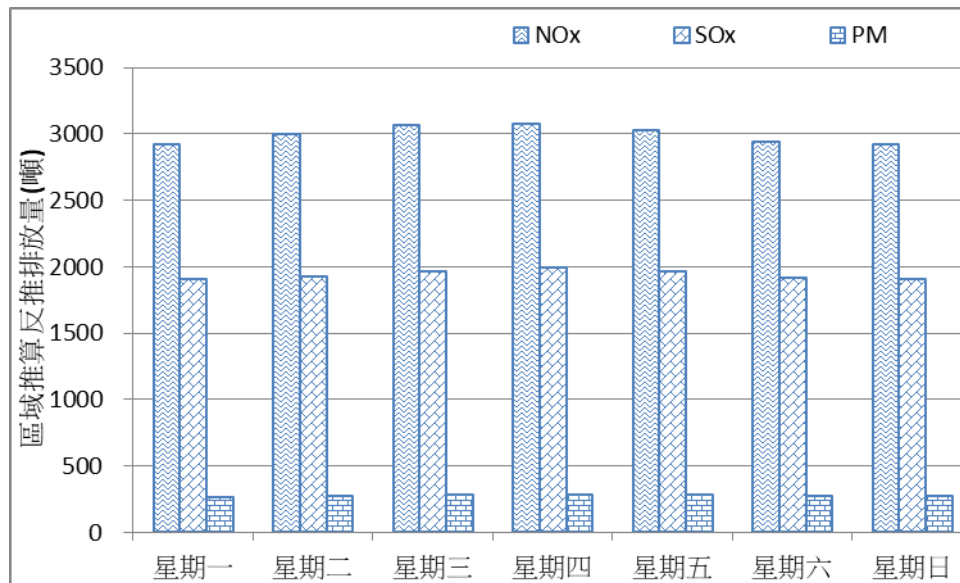
	總排放量(噸)			區域推算百分比反推(噸)		
	NO _x	SO _x	PM	NO _x	SO _x	PM
星期一	536.2	346.3	48.3	2915.4	1907.3	267.0
星期二	564.2	360.0	50.8	2992.7	1924.0	273.6
星期三	570.5	363.5	51.4	3067.6	1959.2	279.9
星期四	578.8	371.8	52.2	3074.9	1994.3	281.6
星期五	568.9	365.3	51.4	3027.2	1962.1	277.7
星期六	542.5	350.8	49.1	2935.0	1919.0	270.2
星期日	544.8	351.9	49.2	2921.3	1906.9	268.1

資料來源：本研究彙整。



資料來源：本研究彙整。

圖 4.3 2016 年排放量推算一周變化圖



資料來源：本研究彙整。

圖 4.4 2016 年排放量區域比例推算一周變化圖

4.3 逐月日平均變化

2013 年：

將前述 4.1 小節之 2013 年 AIS 資料，依照資料筆數、符合篩選數、可用筆數、資料可用率以及每日排放量等資訊，逐月將每一個月之數值加總並平均，可彙整成逐月變化表如表 4-5 及表 4-6，其中 AIS 資料可用率則介於 26.0%~38.1%之間。。

將排放量逐月變化繪製如圖 4.5 及圖 4.6，其中 NO_x推估排放量介於 353.8~639.6 噸之間，最高為七月之 639.6 噸，次之為八月之 597.7 噸，第三高則為六月之 573.1 噸；SO_x推估排放量介於 226.4~409.0 噸之間，最高為七月之 409.0 噸，次之為八月之 381.2 噸，第三高則為六月之 367.4 噸；PM 推估排放量介於 31.5~57.1 噸之間，最高為七月之 57.1 噸，次之為八月之 53.3 噸，第三高則為六月之 51.1 噸。

NO_x區域百分比推估之排放量介於 2362.9~3742.5 噸之間，最高為八月之 3742.5 噸，次之為九月 3241.0 噸，第三高則為一月 3181.8 噸；SO_x區域百分比推估排放量介於 1520.9~2396.8 噸之間，最高為八月 2396.8 噸，次之為九月 2066.5 噸，第三高則為一月 2038.2 噸；PM

區域百分比推估排放量介於 212.9 ~ 336.9 噸之間，最高為八月 336.9 噸，次之為九月 292.0 噸，第三高則為一月 288.3 噸。

表 4-5 2013 年 AIS 資料筆數逐月變化

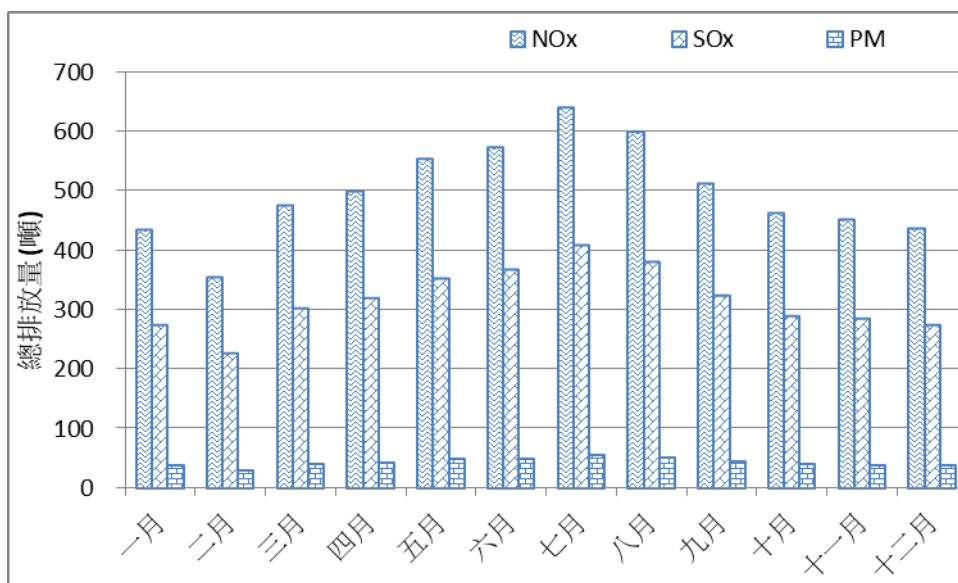
	筆數	IMO+MMSI		
		符合篩選	可用筆數	可用率
一月	876348	831091	228374	28.6%
二月	697251	654877	177418	27.9%
三月	799071	757080	213998	29.9%
四月	515235	488768	175498	35.9%
五月	556427	526627	183608	34.9%
六月	571533	543911	206199	38.1%
七月	798648	767106	247497	32.8%
八月	989479	958579	245964	26.0%
九月	779590	756971	220841	30.0%
十月	800355	773375	237254	31.0%
十一月	851300	819099	226854	28.2%
十二月	753231	714706	226744	32.0%

資料來源：本研究彙整。

表 4-6 2013 年 AIS 排放量逐月變化

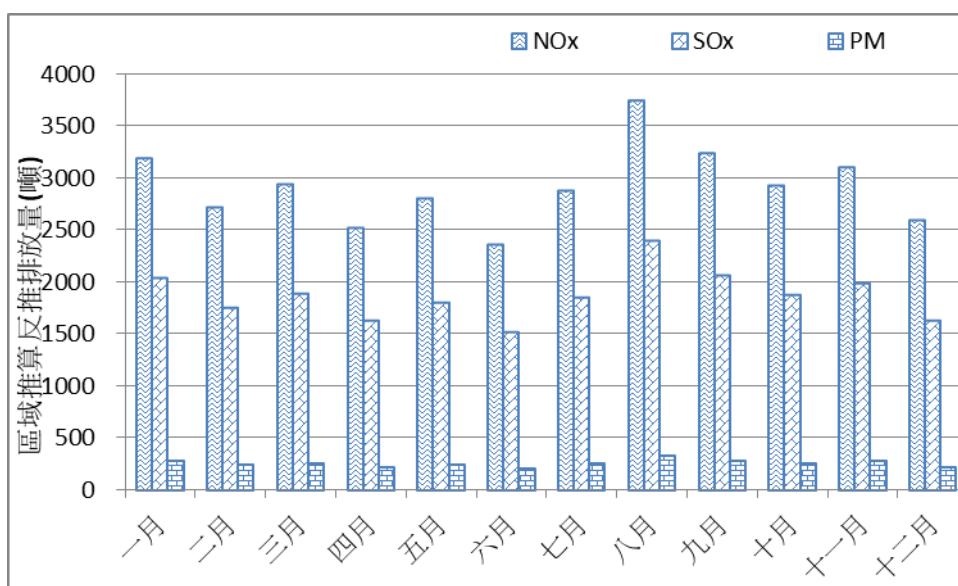
	總排放量(噸)			區域推算百分比反推(噸)		
	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
一月	434.9	274.2	38.4	3181.8	2038.2	288.3
二月	353.8	226.4	31.5	2712.5	1758.3	248.2
三月	476.3	302.2	42.2	2936.9	1890.9	265.8
四月	500.3	319.2	44.4	2518.7	1627.1	228.1
五月	552.7	353.0	49.3	2797.8	1805.2	253.9
六月	573.1	367.4	51.1	2362.9	1520.9	212.9
七月	639.6	409.0	57.1	2881.7	1852.8	259.8
八月	597.7	381.2	53.3	3742.5	2396.8	336.9
九月	511.9	323.4	45.4	3241.0	2066.5	292.0
十月	461.6	289.3	40.7	2923.3	1874.0	264.8
十一月	451.3	284.7	39.9	3098.3	1992.7	281.7
十二月	437.3	274.9	38.5	2599.8	1631.6	230.9

資料來源：本研究彙整。



資料來源：本研究彙整。

圖 4.5 2013 年排放量推算逐月變化圖



資料來源：本研究彙整。

圖 4.6 2013 年排放量區域比例推算逐月變化圖

2016 年：

將前述 4.1 小節之 2016 年 AIS 資料，依照資料筆數、符合篩選數、可用筆數、資料可用率以及每日排放量等資訊，逐月將每一個月之數值加總並平均，可彙整成逐月變化表如表 4-7 及表 4-8，其中 AIS 資料可用率則介於 25.5%～38.7%之間。。

將排放量逐月變化繪製如圖 4.7 及圖 4.8，其中 NO_x推估排放量介於 435.7～710.1 噸之間，最高為七月之 710.1 噸，次之為六月之 673.6 噸，第三高則為四月之 599.4 噸；SO_x推估排放量介於 272.3～462.7 噸之間，最高為七月之 462.7 噸，次之為六月之 441.3 噸，第三高則為四月之 387.6 噸；PM 推估排放量介於 38.6～64.8 噸之間，最高為七月之 64.8 噸，次之為六月之 61.3 噸，第三高則為四月之 54.2 噸。

NO_x區域百分比推估之排放量介於 2190.8～3786.4 噸之間，最高為八月之 3786.4 噸，次之為十一月之 3582.3 噸，第三高則為九月之 3364.2 噸；SO_x區域百分比推估排放量介於 1392.0～2509.3 噸之間，最高為八月之 2509.3 噸，次之為十一月之 2311.4 噸，第三高則為九月之 2209.8 噸；PM 區域百分比推估排放量介於 198.4～352.6 噸之間，最高為八月之 352.6 噸，次之為十一月之 328.3 噸，第三高則為九月之 311.7 噸。

表 4-7 2016 年 AIS 資料筆數逐月變化

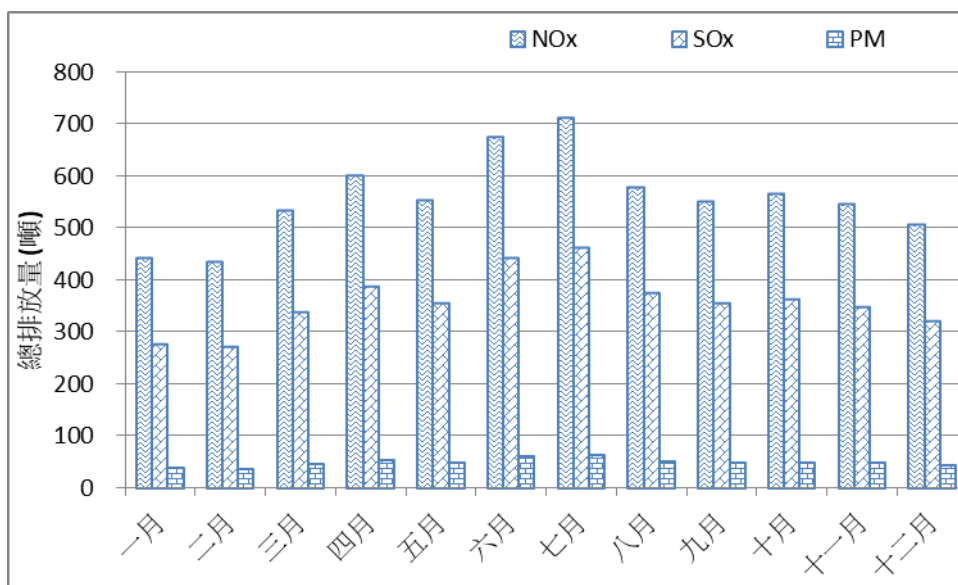
	筆數	IMO+MMSI		
		符合篩選	可用筆數	可用率
一月	993528	887635	272878	31.5%
二月	825661	733872	280075	38.7%
三月	963757	869653	309129	36.1%
四月	965883	871306	295337	34.6%
五月	934403	844667	272628	32.6%
六月	1023557	914892	328881	36.0%
七月	1016311	918686	325162	35.4%
八月	1178128	1064438	268691	25.5%
九月	1148785	1026382	286854	29.0%
十月	1312662	1145031	334100	29.9%
十一月	1395676	1186569	310026	27.2%
十二月	1188250	1019019	288797	29.3%

資料來源：本研究彙整。

表 4-8 2016 年 AIS 排放量逐月變化

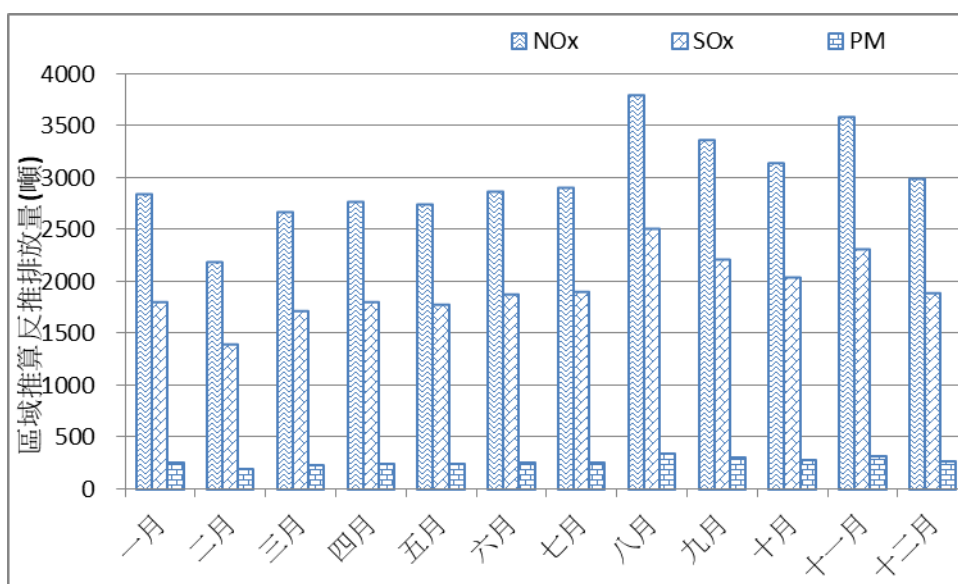
	總排放量(噸)			區域推算百分比反推(噸)		
	NO _x	SO _x	PM	NO _x	SO _x	PM
一月	443.2	278.1	39.4	2843.1	1802.5	257.6
二月	435.7	272.3	38.6	2190.8	1392.0	198.4
三月	532.8	338.4	47.7	2661.8	1712.0	242.7
四月	599.4	387.6	54.2	2763.7	1803.0	253.7
五月	553.0	356.9	50.1	2742.0	1774.6	250.4
六月	673.6	441.3	61.3	2861.6	1883.6	262.8
七月	710.1	462.7	64.8	2897.7	1899.9	267.3
八月	578.4	376.8	52.6	3786.4	2509.3	352.6
九月	551.3	355.6	49.8	3364.2	2209.8	311.7
十月	565.8	362.4	50.8	3142.0	2034.3	287.0
十一月	545.0	348.2	49.1	3582.3	2311.4	328.3
十二月	506.0	320.8	45.3	2991.2	1896.1	270.2

資料來源：本研究彙整。



資料來源：本研究彙整。

圖 4.7 2016 年排放量推算逐月變化圖



資料來源：本研究彙整。

圖 4.8 2016 年排放量區域比例推算逐月變化圖

4.4 全年日平均

2013 年：

將前述 4.1 小節之 2013 年 AIS 資料，依照資料筆數、符合篩選數、可用筆數、資料可用率以及每日排放量等資訊，將全年 365 天之數值加總並平均，可彙整成逐月變化表如表 4-9 及表 4-10，其中 AIS 資料日平均可用率為 31.3%。

將排放量全年日平均變化繪製如圖 4.9 及圖 4.10，其中 NO_x、SO_x 及 PM 全年日平均之推估排放量依序為 500.9 噸、318.1 噸及 44.5 噸，而區域百分比推估排放量則為 2922.8 噸、1875.1 噸及 264.2 噸。

表 4-9 2013 年 AIS 資料筆數

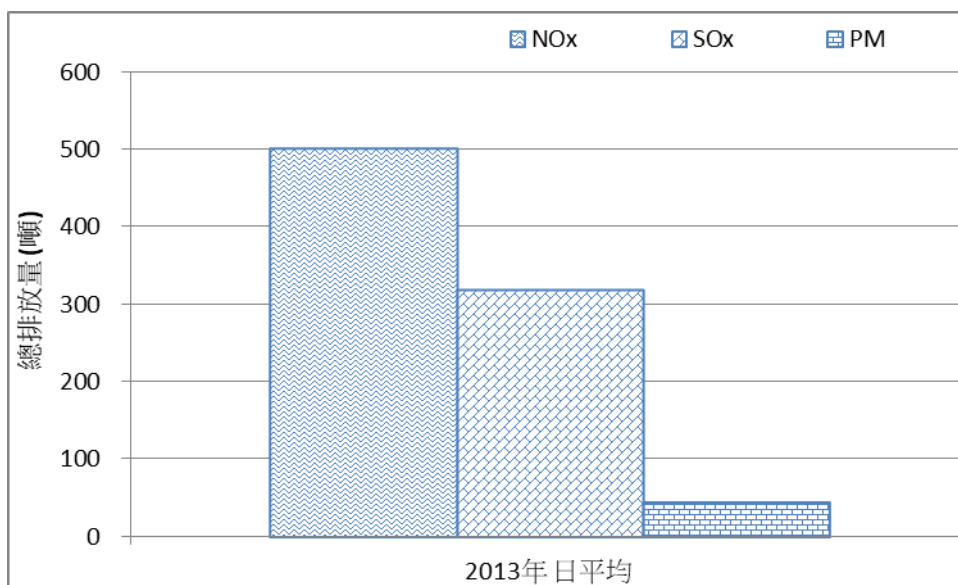
	筆數	IMO+MMSI		
		符合篩選	可用筆數	可用率
總和	270419135	258555890	77940482	30.1%
日平均	751164	718211	216501	31.3%
最大值	1483846	1387682	309885	44.8%
最小值	288849	277819	83918	18.4%

資料來源：本研究彙整。

表 4-10 2013 年 AIS 排放量

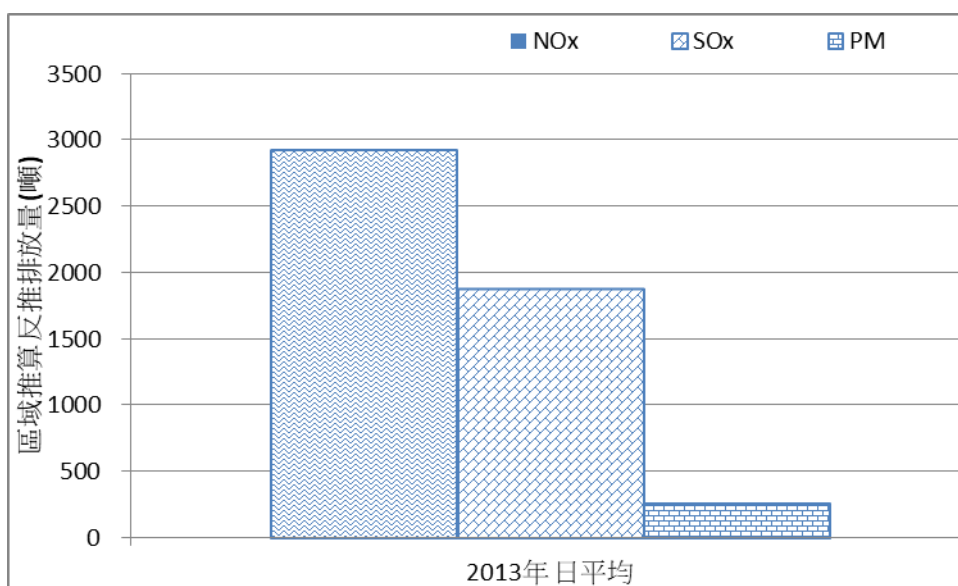
	總排放量(噸)			區域推算百分比反推(噸)		
	NO _x	SO _x	PM	NO _x	SO _x	PM
總和	180315	114513	16010	1052219	675027	95098
日平均	500.9	318.1	44.5	2922.8	1875.1	264.2
最大值	930.8	597.1	83.7	5283.3	3511.2	488.6
最小值	166.2	79.4	13.5	798.5	460.3	67.7

資料來源：本研究彙整。



資料來源：本研究彙整。

圖 4.9 2013 年排放量推算全年日平均



資料來源：本研究彙整。

圖 4.10 2013 年排放量區域比例推算全年日平均

2016 年：

將前述 4.1 小節之 2016 年 AIS 資料，依照資料筆數、符合篩選數、可用筆數、資料可用率以及每日排放量等資訊，將全年 366 天之數值加總並平均，可彙整成逐月變化表如表 4-11 及表 4-12，其中 AIS 資料日平均可用率為 32.1%。

將排放量全年日平均變化繪製如圖 4.11 及圖 4.12，其中 NO_x、SO_x 及 PM 全年日平均之推估排放量依序為 558.0 噸、358.6 噸及 50.3 噸，而區域百分比推估排放量則為 2990.9 噸、1939.1 噸及 274.1 噸。

表 4-11 2016 年 AIS 資料筆數

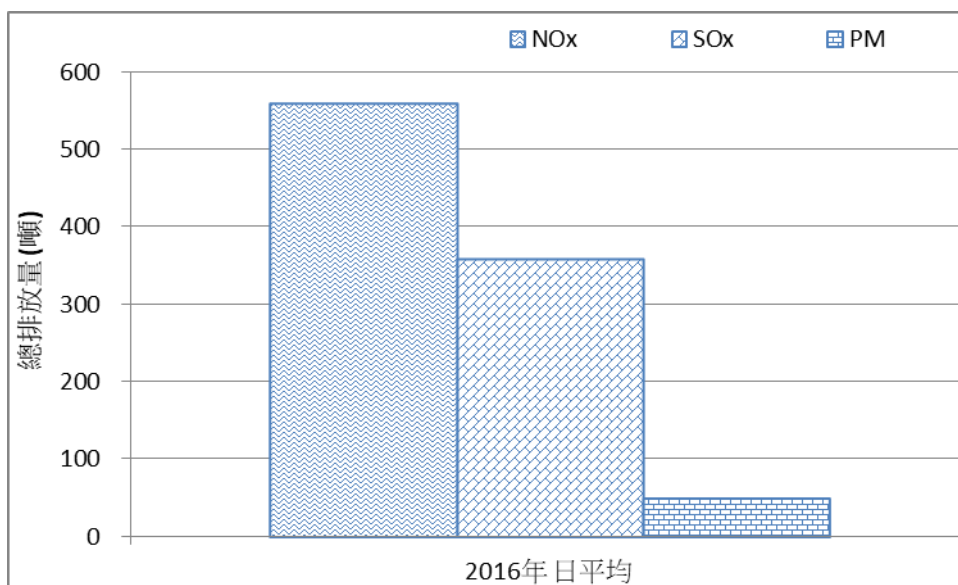
		IMO+MMSI		
	筆數	符合篩選	可用筆數	可用率
總和	393483895	348954059	108397163	31.1%
日平均	1081000	958665	297794	32.1%
最大值	1944267	1663890	414533	46.2%
最小值	42445	38634	11608	19.7%

資料來源：本研究彙整。

表 4-12 2016 年 AIS 排放量

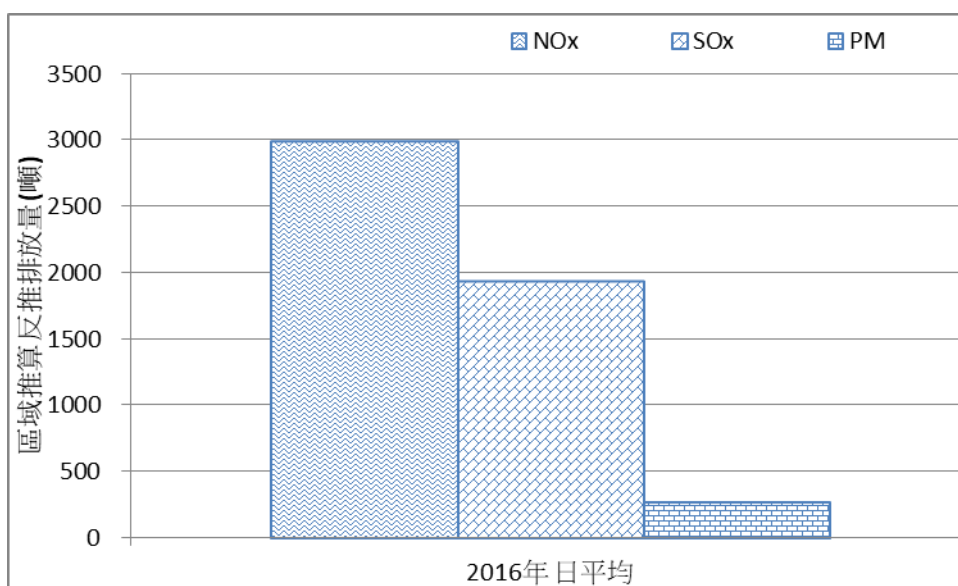
	總排放量(噸)			區域推算百分比反推(噸)		
	NO _x	SO _x	PM	NO _x	SO _x	PM
總和	203128	130516	18325	1088681	705843	99756
日平均	558.0	358.6	50.3	2990.9	1939.1	274.1
最大值	1015.2	656.8	92.4	5322.0	3474.0	494.8
最小值	43.2	29.6	3.9	500.7	341.2	45.1

資料來源：本研究彙整。



資料來源：本研究彙整。

圖 4.11 2016 年排放量推算全年日平均



資料來源：本研究彙整。

圖 4.12 2016 年排放量區域比例推算全年日平均

4.5 排放量自動化預測結果

依據 3.3.3 排放量預測係數小節所述，下載 2018/8/17 ~ 2018/10/31 期間每一天之 AIS 船舶資訊，並計算每一天實際之排放量，之後再乘上對應日期之排放量預測係數，以獲得預測之排放量；如以 9 月 1 日為例，下載當日之 AIS 資料並計算當天之排放量為 n ，則 9 月 2 日即為第一天預測之排放量 $n+1$ ，9 月 3 日即為第二天預測之排放量 $n+2$ ，9 月 4 日即為第三天預測之排放量 $n+3$ ，而 9 月 5 日即為第四天預測之排放量 $n+4$ 。

剔除測試期間 AIS 無資料之日期，將實際排放量與預測排放量之誤差百分比，亦即預測誤差百分比(%)= (實際 - 預測)/實際，取其誤差百分比整理如表 4-13。其中 NO_x 第一天、第二天、第三天及第四天預測誤差平均依序為 -4.2%、-6.1%、-8.7% 及 -11.2%；而 SO_x 依序為 -4.6%、-7.3%、-10.4% 及 -13.4%；PM 則依序為 -4.5%、-6.7%、-9.5% 及 -12.1%。預測測試期間顯示， NO_x 、 SO_x 及 PM 各污染物種預測時間愈久則誤差愈大。

若取其誤差百分比絕對值整理如表 4-14。則其中 NO_x 第一天、第二天、第三天及第四天預測誤差平均依序為 20.4%、27.6%、32.1% 及 33.7%；而 SO_x 依序為 21.5%、30.5%、35.1% 及 37.6%；PM 則依序為 21.3%、29.2%、33.3% 及 35.3%。預測測試期間，其絕對值誤差亦顯示各污染物種預測時間愈久則誤差愈大。

NO_x 、 SO_x 及 PM 各污染物種測試期間預測結果則如圖 4.13 至圖 4.15 所示，其中 NO_x 預測誤差第一天介於 -78.4% ~ 59.4% 之間，第二天則介於 -90.4% ~ 65.9% 之間； SO_x 預測誤差第一天介於 -90.7% ~ 65.5% 之間，第二天則介於 -108.7% ~ 71.5% 之間；PM 預測誤差第一天介於 -86.7% ~ 61.3% 之間，第二天則介於 -97.7% ~ 67.4% 之間。

表 4-13 排放量預測結果

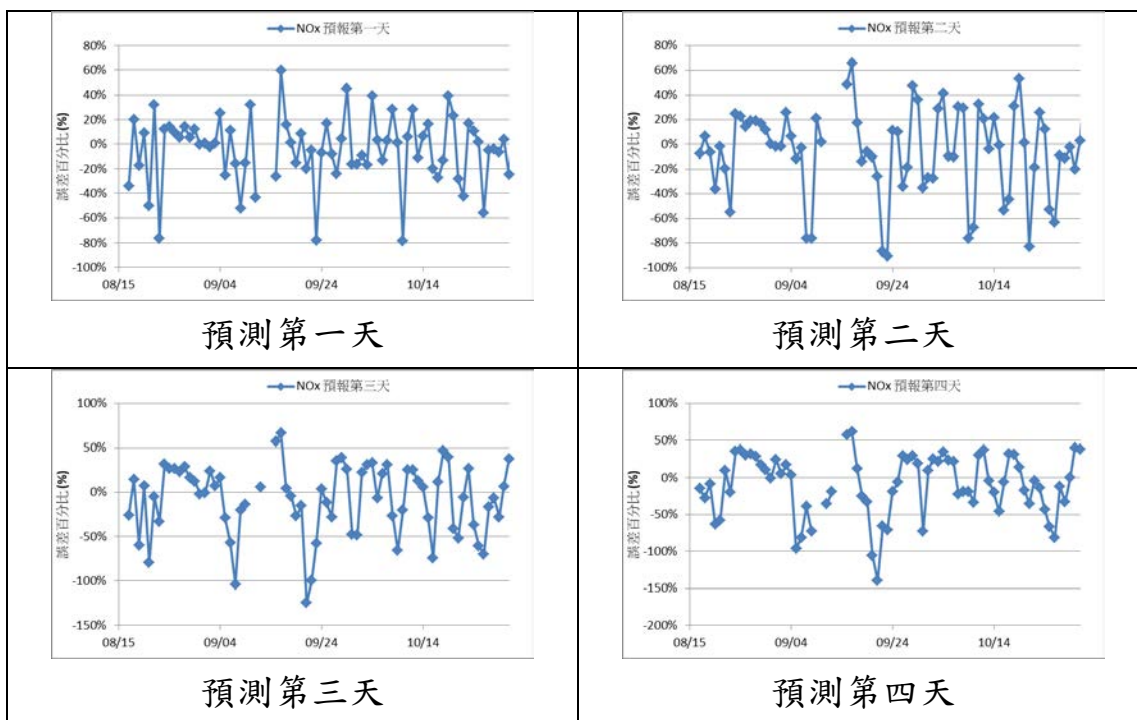
預測誤差 (%)		第一天	第二天	第三天	第四天
NO _x	最大值	59.4%	65.9%	66.4%	61.2%
	平均	-4.2%	-6.1%	-8.7%	-11.2%
	最小值	-78.4%	-90.4%	-124.5%	-139.9%
	標準偏差	27.4%	36.1%	40.3%	41.8%
SO _x	最大值	65.5%	71.5%	71.1%	67.2%
	平均	-4.6%	-7.3%	-10.4%	-13.4%
	最小值	-90.7%	-108.7%	-131.8%	-159.0%
	標準偏差	29.4%	40.1%	44.5%	46.3%
PM	最大值	61.3%	67.4%	68.0%	62.6%
	平均	-4.5%	-6.7%	-9.5%	-12.1%
	最小值	-86.7%	-97.7%	-131.5%	-148.9%
	標準偏差	28.7%	38.1%	42.5%	43.8%

資料來源：本研究彙整。

表 4-14 排放量預測結果(絕對值)

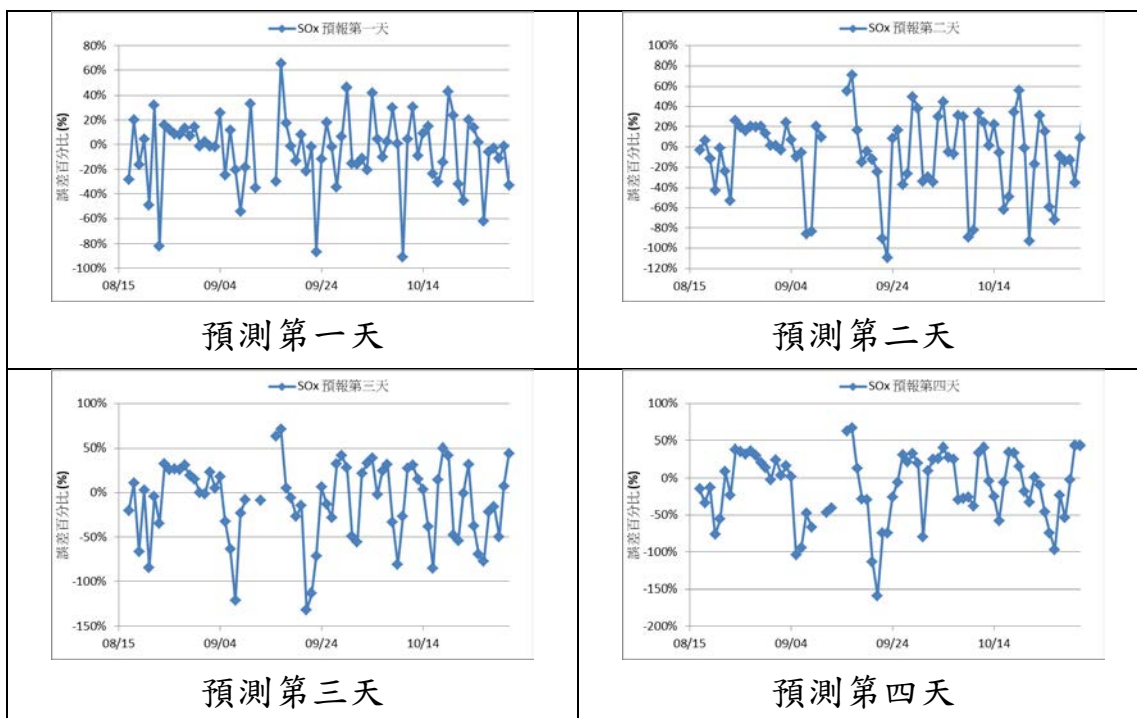
預測誤差 (%)		第一天	第二天	第三天	第四天
NO _x	最大值	78.4%	90.4%	124.5%	139.9%
	平均	20.4%	27.6%	32.1%	33.7%
	最小值	0.5%	0.4%	0.8%	1.3%
	標準偏差	18.7%	23.9%	25.7%	26.9%
SO _x	最大值	90.7%	108.7%	131.8%	159.0%
	平均	21.5%	30.5%	35.1%	37.6%
	最小值	0.7%	1.0%	0.2%	1.1%
	標準偏差	20.4%	26.8%	29.0%	29.9%
PM	最大值	86.7%	97.7%	131.5%	148.9%
	平均	21.3%	29.2%	33.3%	35.3%
	最小值	0.4%	0.0%	0.6%	0.2%
	標準偏差	19.6%	25.1%	27.7%	28.3%

資料來源：本研究彙整。



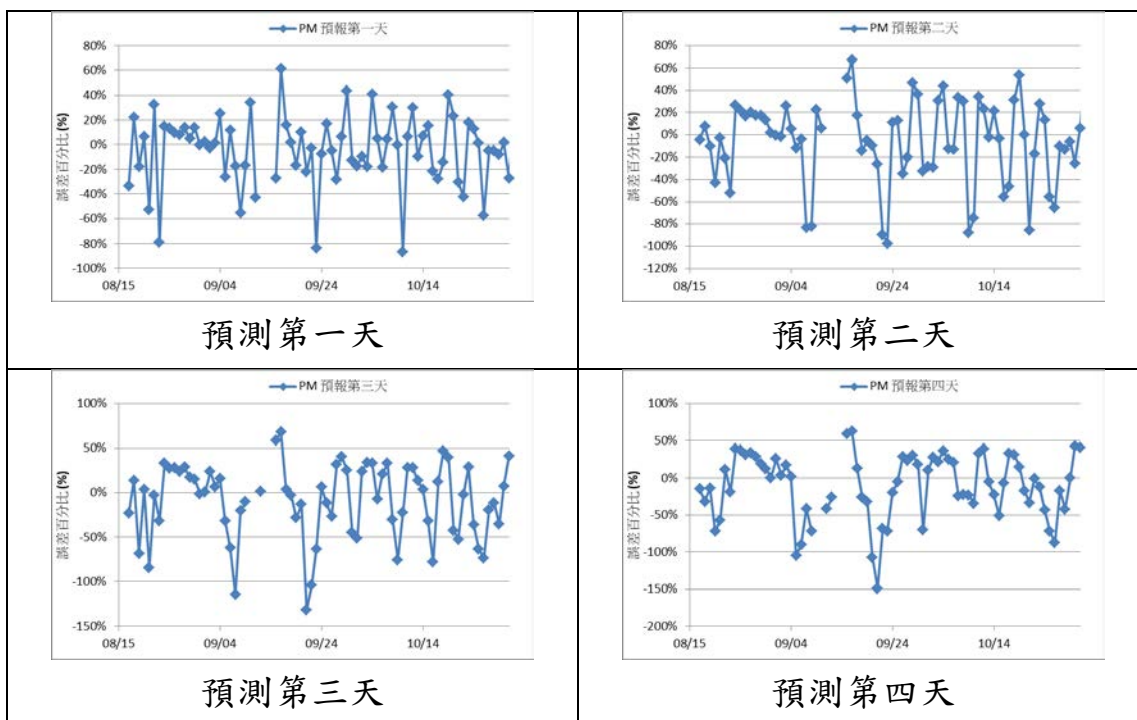
資料來源：本研究彙整。

圖 4.13 NOx 排放量預測誤差



資料來源：本研究彙整。

圖 4.14 SOx 排放量預測誤差



資料來源：本研究彙整。

圖 4.15 PM 排放量預測誤差

第五章 CMAQ 模擬結果

5.1 模式性能評估

本研究模擬期程是基準年為 2013 年之 TEDS 9，表 5-1 為細懸浮微粒之模式模擬性能評估結果；結果顯示全臺之模式模擬性能評估，PM_{2.5}、SO₂及 NO₂皆符合模式規範，其中細懸浮微粒配對值分數偏差(MFB)、配對值絕對分數偏差(MFE)與相關係數(R)之全臺平均值分別為-0.2%、41.2%與 0.75 而符合模式模擬性能評估規範之監測站比例分別為 90.4%、94.5%與 100%。

表 5-2 為臭氧之模式模擬性能評估結果；結果顯示全臺之模式模擬性能評估，O₃、NO₂及 NMHC 亦皆符合模式規範，其中臭氧配對值常化偏差(MNB)、配對值絕對常化誤差(MNE)、相關係數(R)與非配對峰值常化偏差(MB)之全臺平均值分別為 7.6%、26.0%、0.48 與 5.3%而符合模式模擬性能評估規範之監測站比例分別為 69.0%、93.0%、76.1%與 77.5%。

花東空品區及宜蘭空品區由於測站數較少，故若有一站不符合規範，則容易產生較低之百分比結果；撇除此二空品區結果只看西部五大空品區影響，其配對值分數偏差(MFB)有愈往北愈低之現象，研判此一現象為船舶排放量推算範圍不足，缺少本研究所推算範圍再更往北海域之船舶影響。

表 5-1 細懸浮微粒之模式模擬性能評估結果

污 染 物	地 區	MFB	符合站數比	MFE	符合站數比	R	符合站數比
PM _{2.5}	北部空品區	-4.1%	100.0%	40.9%	100.0%	0.67	100.0%
	竹苗空品區	-1.6%	100.0%	40.0%	100.0%	0.71	100.0%
	中部空品區	6.1%	100.0%	39.7%	100.0%	0.70	100.0%
	雲嘉南空品區	0.4%	100.0%	35.9%	100.0%	0.74	100.0%
	高屏空品區	-0.9%	86.7%	41.6%	86.7%	0.79	100.0%
	宜蘭空品區	-25.8%	50.0%	42.3%	100.0%	0.64	100.0%
	花東空品區	-33.8%	33.3%	53.4%	66.7%	0.59	100.0%
	全臺	-0.2%	90.4%	41.2%	94.5%	0.75	100.0%
SO ₂	北部空品區	-31.7%	96.0%	60.2%	100.0%	0.47	80.0%
	竹苗空品區	-11.2%	100.0%	50.7%	100.0%	0.57	100.0%
	中部空品區	-11.0%	100.0%	52.8%	100.0%	0.54	81.8%
	雲嘉南空品區	-6.0%	100.0%	46.7%	100.0%	0.56	100.0%
	高屏空品區	10.9%	93.3%	52.1%	93.3%	0.62	73.3%
	宜蘭空品區	-54.5%	50.0%	78.2%	50.0%	0.48	50.0%
	花東空品區	-59.4%	33.3%	81.1%	33.3%	0.56	100.0%
	全臺	-16.1%	93.2%	56.4%	94.5%	0.60	82.2%
NO ₂	北部空品區	-15.5%	100.0%	40.0%	100.0%	0.62	88.0%
	竹苗空品區	-7.3%	100.0%	30.9%	100.0%	0.58	83.3%
	中部空品區	3.3%	90.9%	35.4%	100.0%	0.70	100.0%
	雲嘉南空品區	0.9%	100.0%	29.6%	100.0%	0.60	90.9%
	高屏空品區	33.5%	100.0%	44.5%	100.0%	0.73	80.0%
	宜蘭空品區	-29.5%	100.0%	46.2%	100.0%	0.49	50.0%
	花東空品區	-63.7%	66.7%	78.8%	66.7%	0.69	66.7%
	全臺	-2.4%	97.3%	39.7%	98.6%	0.65	83.6%

資料來源：本研究彙整。

表 5-2 臭氧之模式模擬性能評估結果(1/2)

污 染 物	地 區	MNB	符合站數比	MNE	符合站數比	R	符合站數比
O ₃	北部空品區	14.9%	62.2%	26.8%	82.6%	0.45	62.2%
	竹苗空品區	10.6%	83.3%	24.8%	100.0%	0.47	83.3%
	中部空品區	7.6%	72.7%	26.5%	100.0%	0.56	100.0%
	雲嘉南空品區	5.7%	100.0%	23.2%	100.0%	0.57	100.0%
	高屏空品區	-5.8%	86.7%	27.6%	93.3%	0.48	86.7%
	宜蘭空品區	12.5%	50.0%	26.7%	100.0%	0.49	50.0%
	花東空品區	13.5%	33.3%	23.5%	100.0%	0.47	33.3%
	全臺	7.6%	69.0%	26.0%	93.0%	0.48	76.1%
NO ₂	北部空品區	-4.5%	80.0%	62.5%	92.0%	0.51	88.0%
	竹苗空品區	-0.9%	100.0%	55.5%	100.0%	0.50	100.0%
	中部空品區	13.1%	90.9%	57.5%	100.0%	0.61	100.0%
	雲嘉南空品區	4.3%	90.9%	56.9%	90.9%	0.54	100.0%
	高屏空品區	25.6%	71.4%	57.3%	80.0%	0.64	100.0%
	宜蘭空品區	-13.8%	100.0%	56.9%	100.0%	0.45	50.0%
	花東空品區	-31.4%	66.7%	65.7%	100.0%	0.45	66.7%
	全臺	8.2%	76.7%	63.4%	87.7%	0.57	89.0%
NMHC	北部空品區	11.8%	66.7%	33.7%	81.8%	0.36	100.0%
	竹苗空品區	30.8%	75.0%	43.5%	75.0%	0.44	100.0%
	中部空品區	28.7%	71.4%	42.5%	85.7%	0.44	71.4%
	雲嘉南空品區	34.4%	66.7%	47.5%	66.7%	0.48	100.0%
	高屏空品區	20.2%	72.7%	39.5%	81.8%	0.47	72.7%
	宜蘭空品區	---	---	---	---	---	---
	花東空品區	---	---	---	---	---	---
	全臺	20.2%	70.3%	39.8%	78.4%	0.43	83.8%

資料來源：本研究彙整。

表 5-2 臭氧之模式模擬性能評估結果(2/2)

污 染 物	空 品 區	MB	符合站數比
O ₃	北部空品區	8.6%	70.6%
	竹苗空品區	6.7%	83.3%
	中部空品區	8.1%	81.8%
	雲嘉南空品區	5.5%	81.8%
	高屏空品區	-3.8%	80.0%
	宜蘭空品區	9.5%	100.0%
	花東空品區	9.0%	66.7%
	全臺	5.3%	77.5%

資料來源：本研究彙整。

5.2 CMAQ 臺灣海峽船舶排放量影響

使用 CMAQ 模式模擬 2013 年船舶排放影響結果，應用前述 3.4 小節所述之 zero-out method 計算方法，取得環保署測站共 76 站位置之貢獻影響比例，測站分布位置如等值圖中之紅色三角形符號，依據個別測站之 UTM 座標與貢獻比例，使用繪圖軟體繪製等濃度圖，同時切除臺灣本島外圍海域地區，即可得到濃度空間分布圖，並將臺灣海峽船舶排放量之原生性及衍生性污染物影響結果，其污染物種之逐月貢獻比例結果放置於附錄五。如圖 5.1、圖 5.2 及圖 5.3 為 CMAQ 模擬 2013 年全年平均之懸浮微粒、原生性與衍生性污染物之貢獻比例，包含細懸浮微粒(PM_{2.5})、硫酸鹽(SO₄⁻²)、硝酸鹽(NO₃⁻)、銨鹽(NH₄⁺)等污染物種；圖 5.3 則為 CMAQ 模擬氣態污染物之貢獻比例，包含臭氧(O₃)、硫氧化物(SO₂)及氮氧化物(NO_x)等物種。其中排放量影響為依據 AIS 計算臺灣周遭海域船舶之排放量影響，並未包含車輛或其他固定污染源的影響，模擬結果如表 5-3 所示。

表 5-3 臺灣海峽船舶排放量影響結果

	年平均	逐站平均		逐日平均	
		最大值	測站	最大值	日期
PM2.5	13.0%	21.0%	麥寮	46.3%	2013/08/18
O3ave8	3.2%	8.3%	台南	30.4%	2013/08/18
SO2	20.4%	60.1%	恆春	55.7%	2013/03/24
NOx	9.9%	41.2%	萬里	23.4%	2013/08/29
原生性	1.4%	4.2%	萬里	5.2%	2013/05/29
SO4	4.2%	14.2%	恆春	17.3%	2013/08/12
NO3	4.6%	8.2%	麥寮	18.2%	2013/08/18
NH4	2.9%	4.8%	麥寮	10.8%	2013/08/18

資料來源：本研究彙整。

各物種影響情形依序說明如下：

細懸浮微粒(PM_{2.5})：貢獻比例介於 7.23% ~ 20.99%之間，貢獻比例最高位於麥寮測站之 20.99%，其次為恆春站之 20.72%，第三高則為臺西站之 20.48%；主要分布範圍在臺灣西半部以及恆春一帶。

原生性：貢獻比例介於 0.59% ~ 4.20%之間，貢獻比例最高位於萬里測站之 4.20%，其次為林園站之 3.53%，第三高則為前金站之 3.47%；主要分布範圍在基隆及高雄沿海一帶。

硫酸鹽(SO₄²⁻)：貢獻比例介於 1.66% ~ 14.24%之間，貢獻比例最高位於恆春測站之 14.24%，其次為臺東站之 8.85%，第三高則為基隆站之 6.39%；主要分布範圍位於屏東至臺東沿海區域。

硝酸鹽(NO₃⁻)：貢獻比例介於 0.39% ~ 8.25%之間，貢獻比例最高位於麥寮測站之 8.25%，其次為崙背站之 7.73%，第三高則為朴子站之 7.64%；主要分布範圍介於臺灣西半部沿海一帶區域。

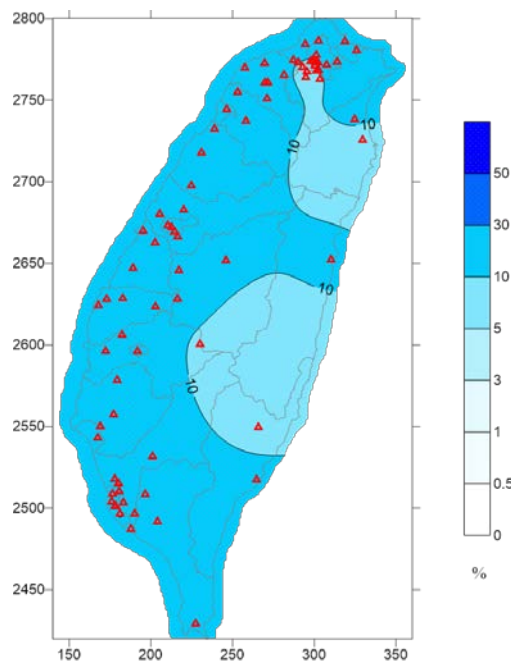
銨鹽(NH₄⁺)：貢獻比例介於 1.47% ~ 4.79%之間，貢獻比例最高位於麥寮測站之 4.79%，其次為朴子站之 4.49%，第三高則為崙背站之 4.36%；主要分布範圍介於臺中至臺南沿海區域，部分則落在屏東恆春一帶。

小時最大臭氧(O_{3max})：貢獻比例介於-18.49% ~ 7.86%之間，貢獻比例最高位於臺南測站之 7.86%，其次為臺東站之 7.59%，第三高則為安南站之 6.59%；主要分布範圍位於臺灣西半部及東半部沿海一帶。而貢獻比例產生負值的原因主要為臭氧被消耗之結果，即 NO 滴定效應所引起，負值產生之區域主要為高雄與屏東沿海地區。

8 小時平均臭氧(O_{3ave8})：貢獻比例介於-24.07% ~ 8.34%之間，貢獻比例最高位於臺南測站之 8.34%，其次為臺東站之 8.32%，第三高則為安南站之 7.66%；主要分布於桃竹苗沿海往南延伸至臺灣西半部及整個東半部沿海地區。貢獻比例產生負值主要因為臭氧被消耗之結果，即 NO 滴定效應所引起，負值產生之區域主要為高雄與屏東沿海地區。

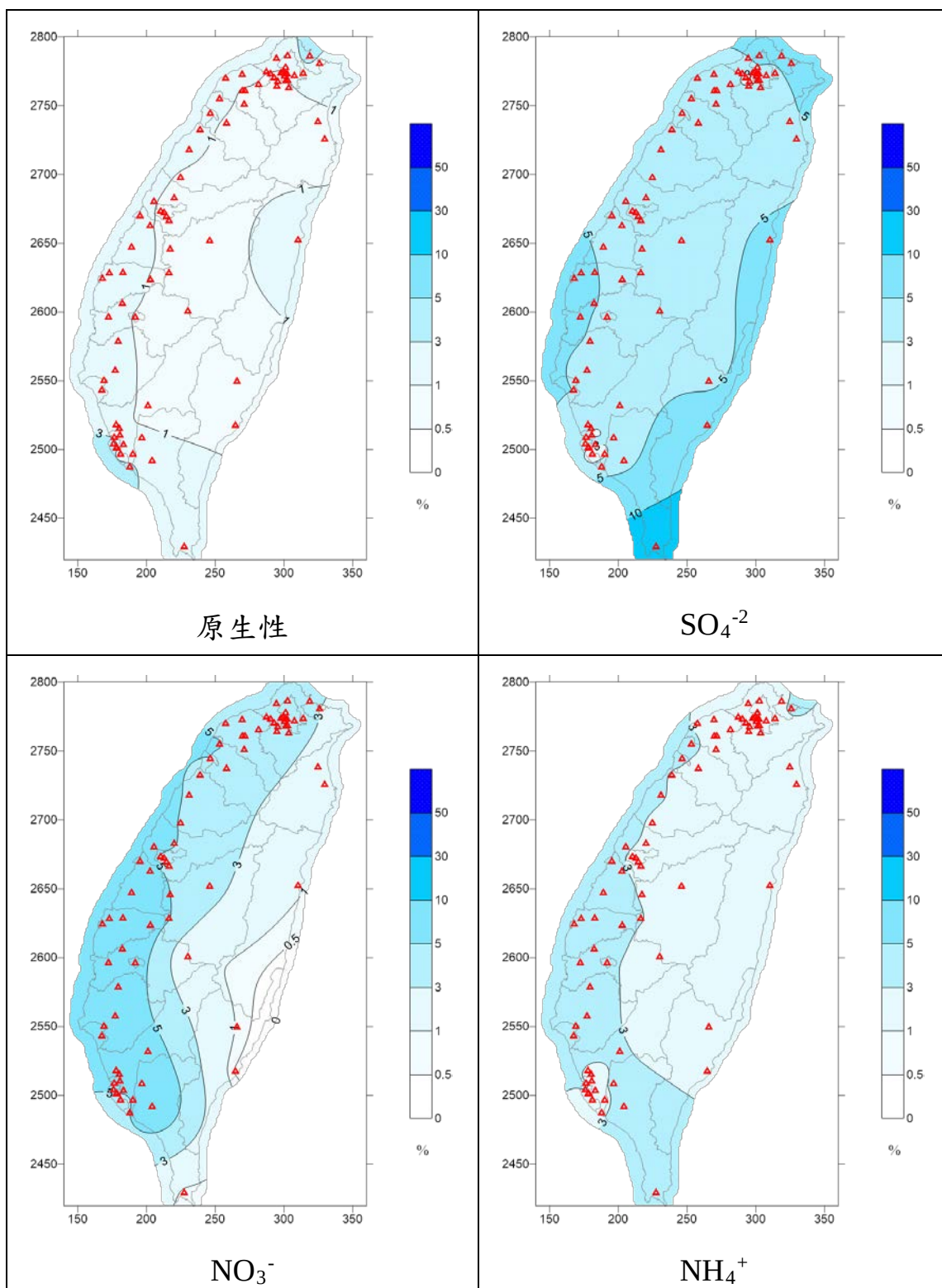
硫氧化物(SO_2)：貢獻比例介於 9.27% ~ 60.07%之間，貢獻比例最高位於恆春測站之 60.07%，其次為臺東站之 44.12%，第三高則為基隆站之 30.96%；主要分布範圍則位於屏東至臺東沿海區域。

氮氧化物(NO_x)：貢獻比例介於 2.17% ~ 41.24%之間，貢獻比例最高位於萬里測站之 41.24%，其次為恆春站之 38.75%，第三高則為陽明站之 26.94%；其主要分布範圍位於臺灣的南北兩端。



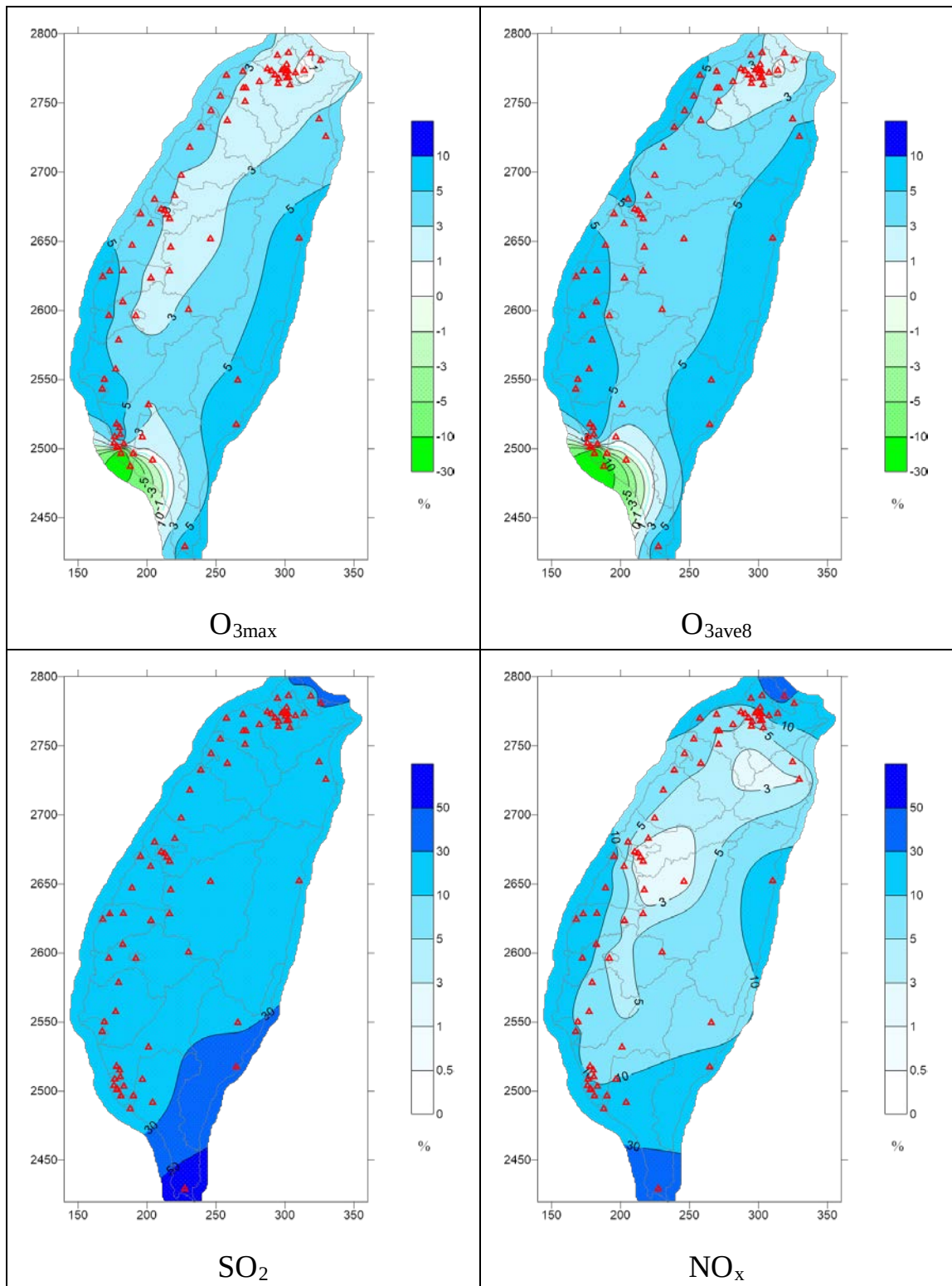
資料來源：本研究彙整。

圖 5.1 細懸浮微粒影響



資料來源：本研究彙整。

圖 5.2 原生性及衍生性污染物影響



資料來源：本研究彙整。

圖 5.3 氣態污染物影響

另外，以 $PM_{2.5}$ 貢獻比例為 Y 軸以及 $PM_{2.5}$ 濃度值為 X 軸繪製成散點圖，同時解析此一貢獻比例在一年中發生此比例之天數並繪成頻率分布柱狀圖，如圖 5.4 所示，為臺灣海峽船舶排放影響，挑選全臺北部、中部、南部以及東部各一測站之散點圖、頻率分布做說明。各測站之散點圖與頻率分布狀況則如附錄五後半部所示。

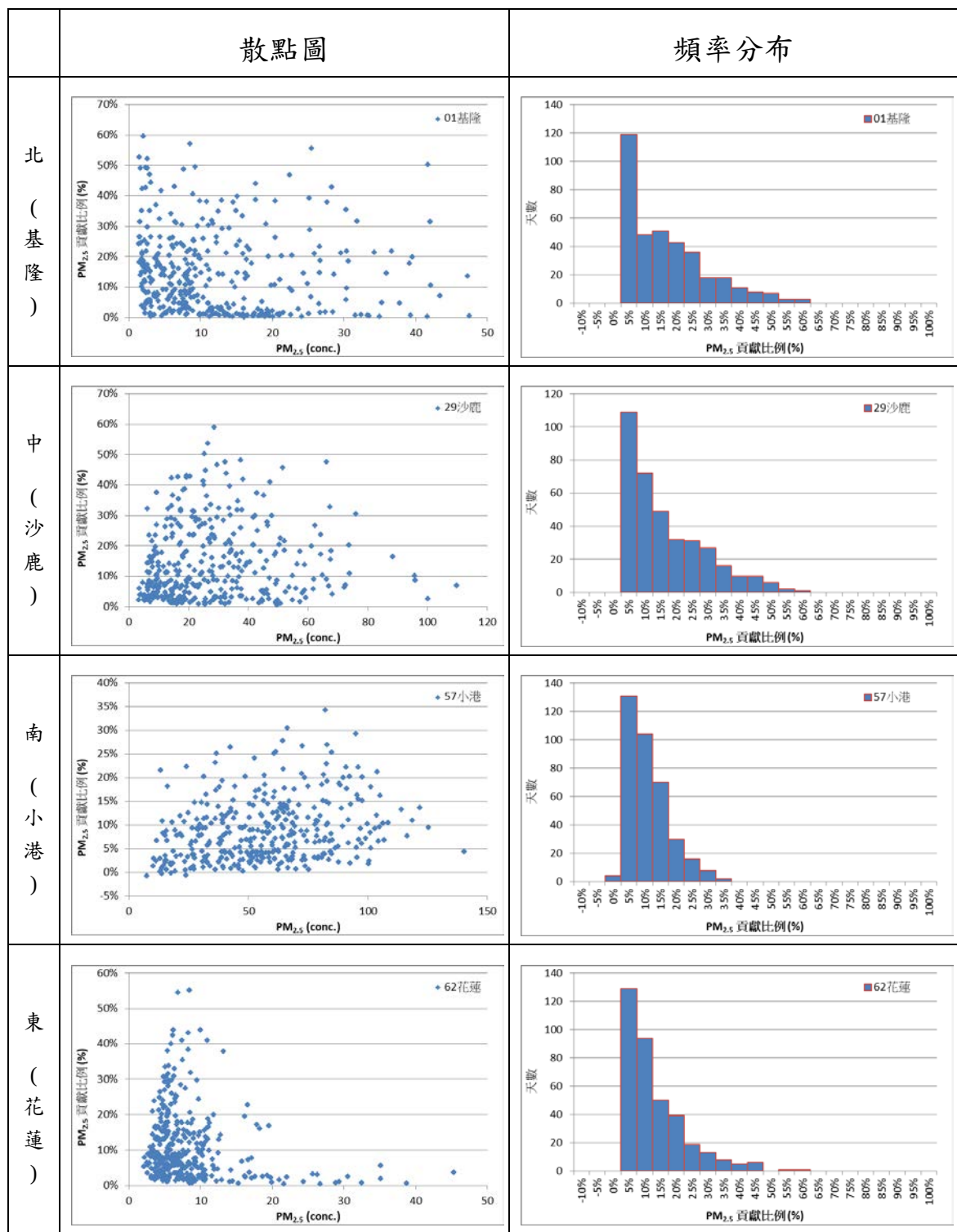
以下就北、中、南、東部各測站說明之：

北部(基隆站)：基隆站貢獻比例介於 0.03%~59.49%之間，其散點圖分布約由原點往外擴散，並向兩軸均勻分布偏移；而貢獻比例頻率分布中，發生天數最多為 0%~5%區間，其發生天數為 119 天，次之則為 10%~15%區間，發生天數為 51 天。顯示一年之中，影響約在 5%之間，且在低濃度時影響較為顯著。

中部(沙鹿站)：沙鹿站貢獻比例介於 0.32%~58.87%之間，其散點圖分布約略由原點呈傘型往外擴散，並偏向 X 軸方向；貢獻比例頻率分布中，發生天數最多為 0%~5%區間，其發生天數為 109 天，次之則為 5%~10%區間，發生天數為 72 天。顯示一年之中，其影響約在 10%之間。

南部(小港站)：小港站貢獻比例介於-0.89%~34.18%之間，其散點圖分布約略由原點，以較小角度之三角形往外擴散，並均勻分布於圖中；貢獻比例頻率分布中，發生天數最多為 0%~5%區間，其發生天數為 131 天，次之則為 5%~10%區間，發生天數為 104 天。顯示一年之中，其影響約在 10%之間，且與濃度有較大之正相關趨勢。

東部(花蓮站)：花蓮站貢獻比例介於 0.41%~55.20%之間，其散點圖分布大部分集中原點附近，且偏向兩軸方向延伸；貢獻比例頻率分布中，發生天數最多為 0%~5%區間，其發生天數為 129 天，次之則為 5%~10%區間，發生天數為 94 天。顯示一年之中，其影響約在 10%之間，且在低濃度時有較低之影響。



資料來源：本研究彙整。

圖 5.4 散點圖及頻率分布

若將空品區中環保署各測站之細懸浮微粒濃度平均，再統計細懸浮微粒在不同濃度下時，各空品區之影響比例並製作如表 5-4。其中除了花東及高屏空品區，其餘北部、竹苗、中部、雲嘉南及宜蘭各空品區於 PM_{2.5} 平均濃度介於 15.4 至 35.4 之間時，影響天數均為最高，依序為 232 日、205 日、191 日、167 日及 195 日，平均貢獻比例則依序為 12.2%、14.2%、15.0%、19.9%及 9.5%；高屏空品區於 PM_{2.5} 平均濃度介於 35.4 至 54.4 之間，影響天數為 145 日，平均貢獻比例則為 12.2%；花東空品區於 PM_{2.5} 平均濃度小於 15.4 時，影響天數為 240 日，平均貢獻比例則為 11.7%。

表 5-4 不同細懸浮微粒濃度下之影響

		< 15.4	>= 15.4, <35.4	>= 35.4, <54.4	>= 54.4
北部	平均	10.2%	12.2%	9.2%	3.7%
	標準偏差	7.0%	10.8%	8.0%	4.5%
	日數	66	232	60	7
竹苗	平均	12.6%	14.2%	11.6%	6.5%
	標準偏差	11.3%	13.4%	10.3%	5.1%
	日數	76	205	73	11
中部	平均	10.6%	15.0%	10.9%	10.7%
	標準偏差	6.6%	13.0%	10.0%	8.4%
	日數	34	191	114	26
雲嘉南	平均	18.1%	19.9%	13.8%	11.3%
	標準偏差	10.3%	14.2%	11.3%	8.6%
	日數	41	167	110	47
高屏	平均	14.2%	18.9%	12.2%	8.6%
	標準偏差	5.7%	10.7%	9.1%	6.4%
	日數	30	131	145	59
宜蘭	平均	10.5%	9.5%	4.9%	0.9%
	標準偏差	9.1%	8.7%	5.8%	0.7%
	日數	143	195	23	4
花東	平均	11.7%	7.6%	1.5%	0.4%
	標準偏差	9.3%	7.2%	1.2%	0.0%
	日數	240	118	5	2

資料來源：本研究彙整。

各污染物種之增量濃度如圖 5.5 及圖 5.6，其中：

細懸浮微粒($\text{PM}_{2.5}$)：增量濃度介於 $0.31 \sim 5.31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，增量濃度最高位於小港測站，其次為前鎮站之 $5.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ；主要分布範圍在臺灣西半部及西半部沿海一帶。

硫酸鹽(SO_4^{2-})：增量濃度介於 $0.14 \sim 1.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，增量濃度最高位於臺南測站，其次為安南站之 $1.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ；主要分布範圍位於臺中以南至高雄沿海區域。

硝酸鹽(NO_3^-)：增量濃度介於 $0.03 \sim 2.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，增量濃度最高位於潮州測站，其次為屏東站之 $2.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ；主要分布範圍為臺灣西半部之桃園以南至高屏地區一帶。

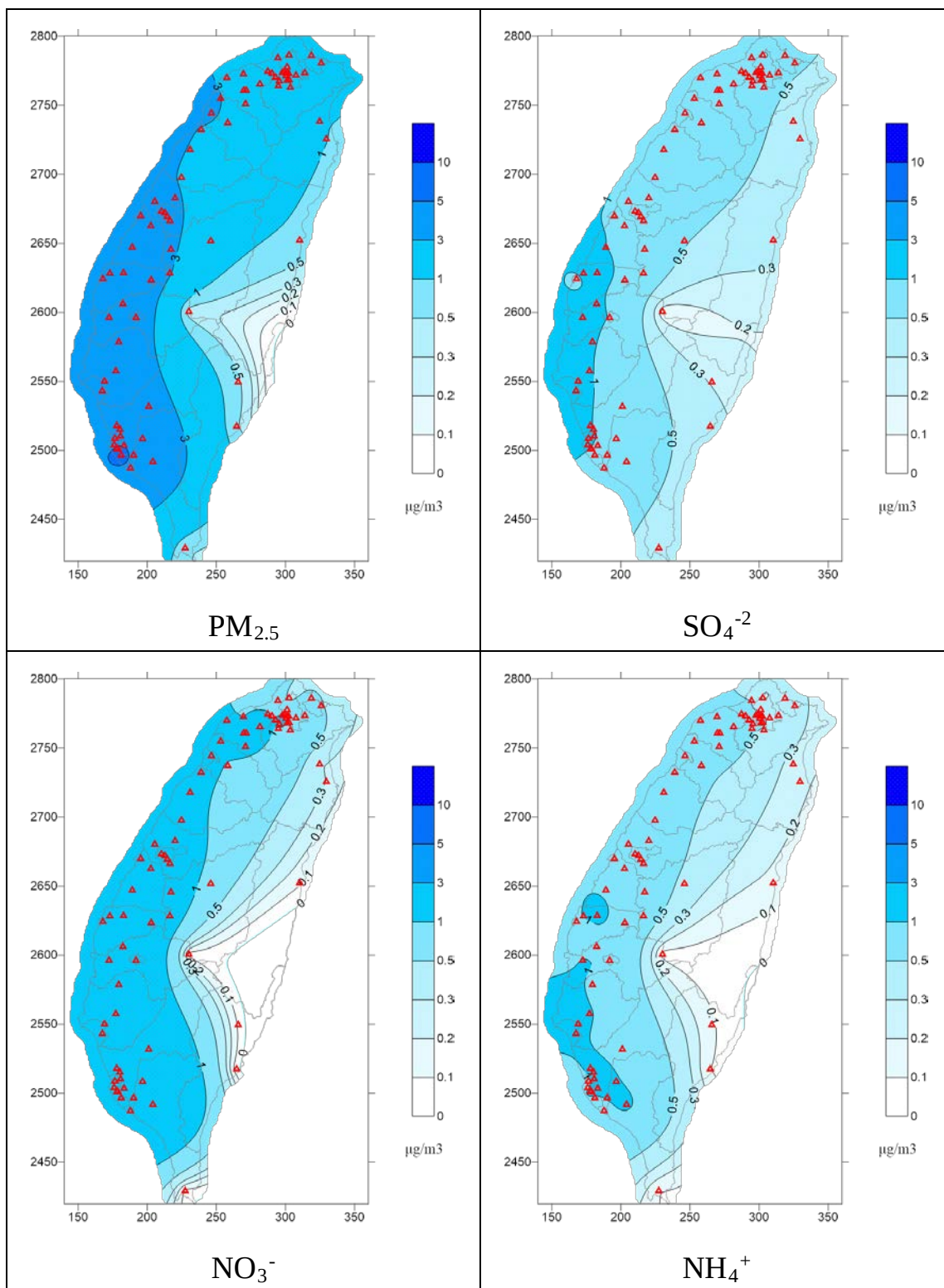
銨鹽(NH_4^+)：增量濃度介於 $0.07 \sim 1.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，增量濃度最高位於仁武測站，其次為前鎮站之 $1.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ；主要分布範圍位於南高屏地區一帶。

小時最大臭氧($\text{O}_{3\text{max}}$)：增量濃度介於 $-5.9 \sim 5.41 \text{ ppb}$ 之間，增量濃度最高位於臺南測站，其次為安南站之 4.64 ppb ；主要臭氧消耗區域則位於高屏沿海。

8 小時平均臭氧($\text{O}_{3\text{ave8}}$)：增量濃度介於 $-5.70 \sim 5.20 \text{ ppb}$ 之間，增量濃度最高位於臺南測站，其次為安南站之 4.88 ppb ；主要臭氧消耗區域位於高屏沿海。

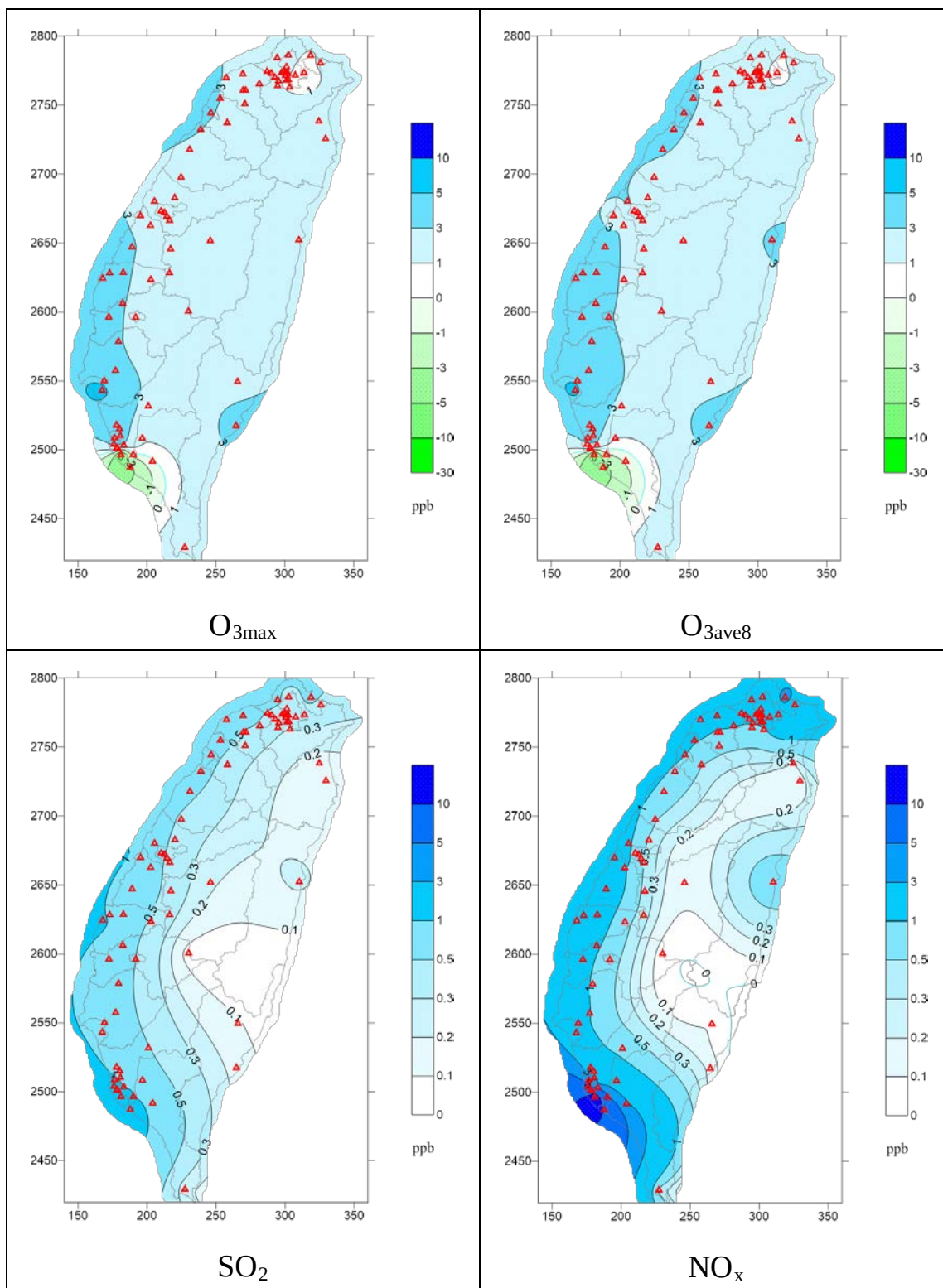
硫氧化物(SO_2)：增量濃度介於 $0.05 \sim 1.74 \text{ ppb}$ 之間，增量濃度最高位於小港測站，其次為林園站之 1.46 ppb ；主要分布範圍則位於屏東至臺東沿海區域。

氮氧化物(NO_x)：增量濃度介於 $0.05 \sim 7.85 \text{ ppb}$ 之間，增量濃度最高位於小港測站，其次為林園站之 6.65 ppb ；主要分布位於臺灣北部至南部的西半邊沿海地區，且於高屏地區有較高濃度之區域。



資料來源：本研究彙整。

圖 5.5 細懸浮微粒及衍生性污染物增量濃度



資料來源：本研究彙整。

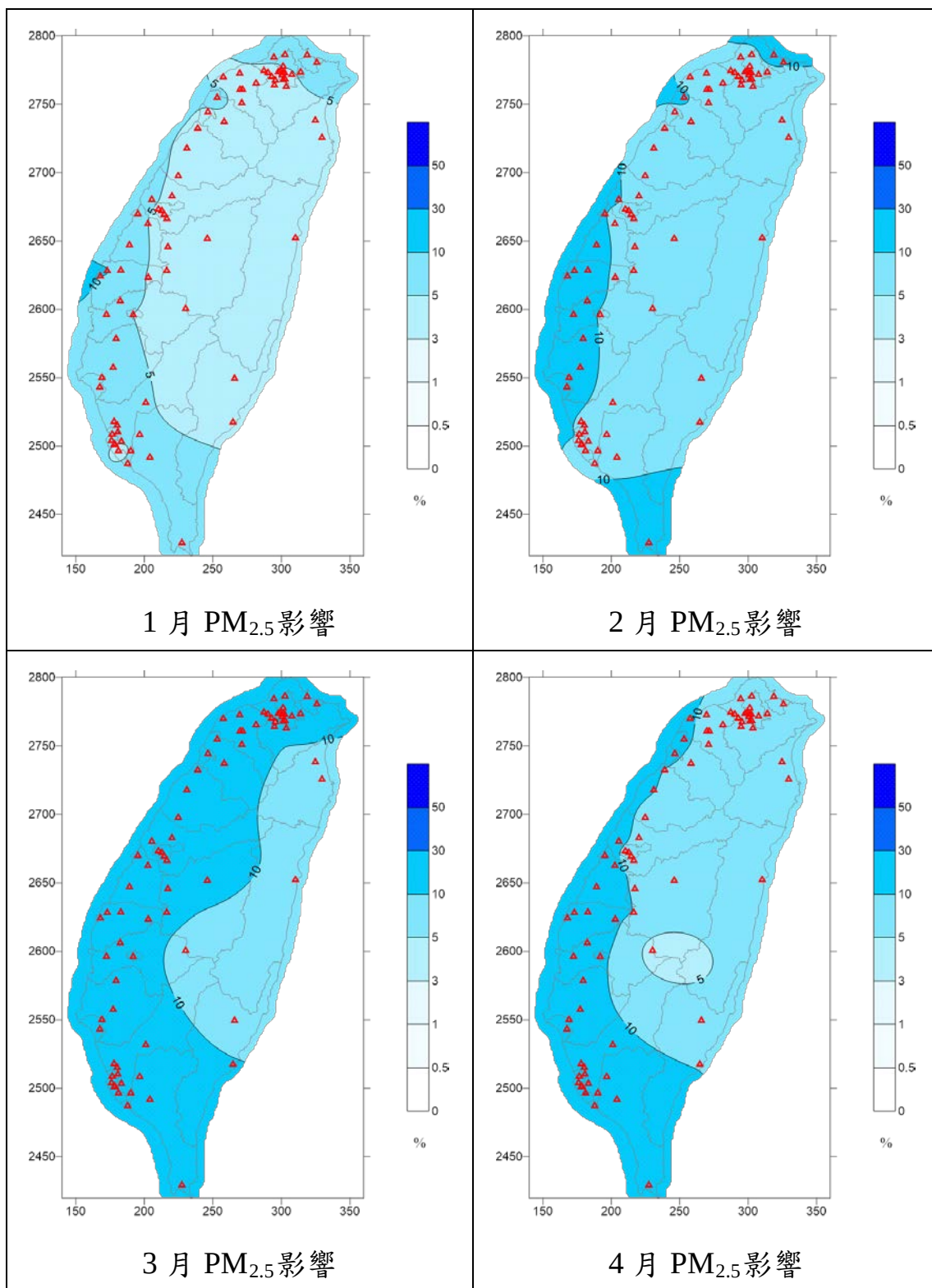
圖 5.6 氣態污染物增量濃度

以下就 PM_{2.5}、O_{3ave8}、SO₂及 NO_x等污染物種，依各月結果說明如下：

PM_{2.5}：

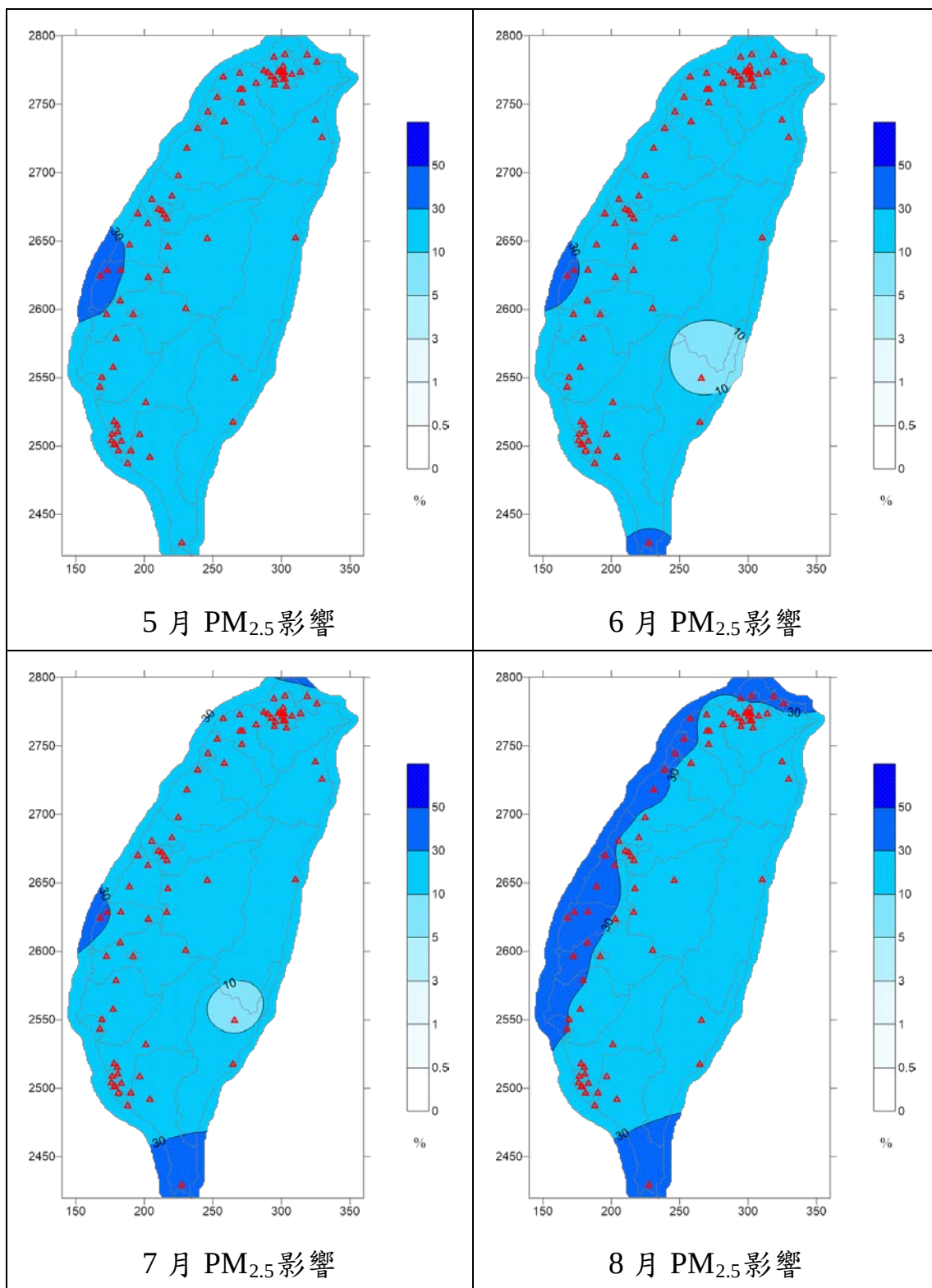
如圖 5.7 為 2013 年 PM_{2.5}逐月影響，其中 1 月最高值為麥寮站之 10.17%，其次為臺西站之 10.00%，第三高則為朴子站之 8.89%；2 月最高值為麥寮站之 17.59%，其次為臺西站之 16.06%，第三高則為朴子站之 15.72%；3 月最高值為朴子站之 21.45%，其次為麥寮站之 21.43%，第三高則為臺西站之 20.89%；4 月最高值為麥寮站之 17.44%，其次為朴子站之 15.70%，第三高則為臺西站之 15.67%；5 月最高值為麥寮站之 33.10%，其次為臺西站之 31.76%，第三高則為崙背站之 30.58%；6 月最高值為恆春站之 32.12%，其次為臺西站之 31.98%，第三高則為麥寮站之 31.24%；7 月最高值為恆春站之 41.35%，其次為臺西站之 31.97%，第三高則為麥寮站之 30.79%；8 月最高值為臺西站之 40.07%，其次為恆春站之 40.05%，第三高則為麥寮站之 39.82%；9 月最高值為潮州站之 29.89%，其次為臺南站之 26.80%，第三高則為左營站之 26.74%；10 月最高值為潮州站之 17.98%，其次為屏東站之 14.73%，第三高則為美濃站之 14.61%；11 月最高值為恆春站之 13.48%，其次為朴子站之 12.57%，第三高則為潮州站之 12.37%；12 月最高值為林園站之 4.60%，其次為麥寮站之 4.55%，第三高則為臺南站之 4.40%。

其中 1 月、2 月主要影響範圍為臺灣西半部，3 月開始於屏東恆春一帶有影響一直到 6 月，7 月西半部影響減弱剩下恆春區域，8 月則變成北部沿海往南延伸至雲林嘉義沿海附近，9 月開始至 12 月影響區域為雲嘉南及高屏地區。



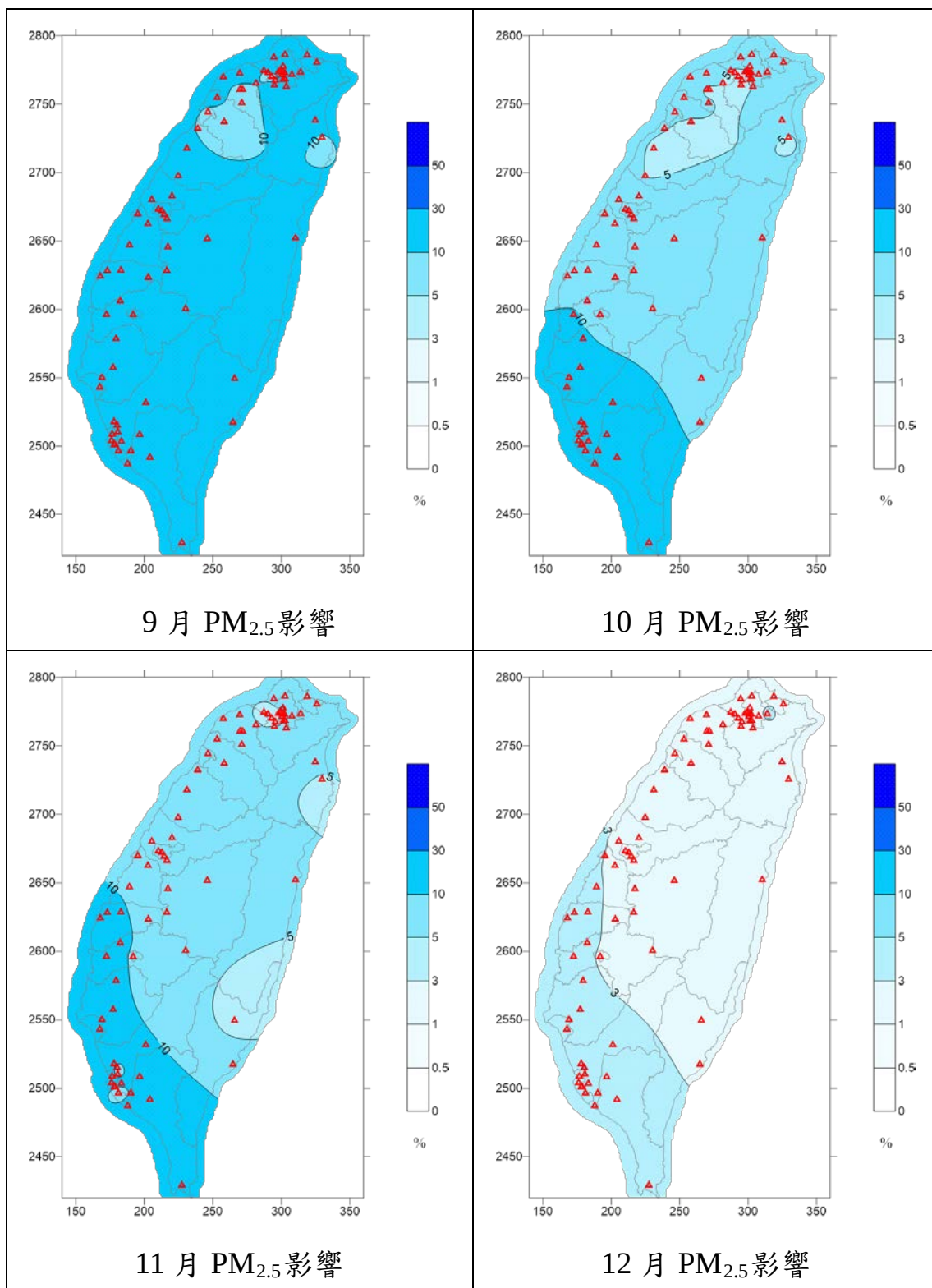
資料來源：本研究彙整。

圖 5.7 2013 年 PM_{2.5} 逐月影響(1/3)



資料來源：本研究彙整。

圖 5.7 2013 年 PM_{2.5} 逐月影響(2/3)



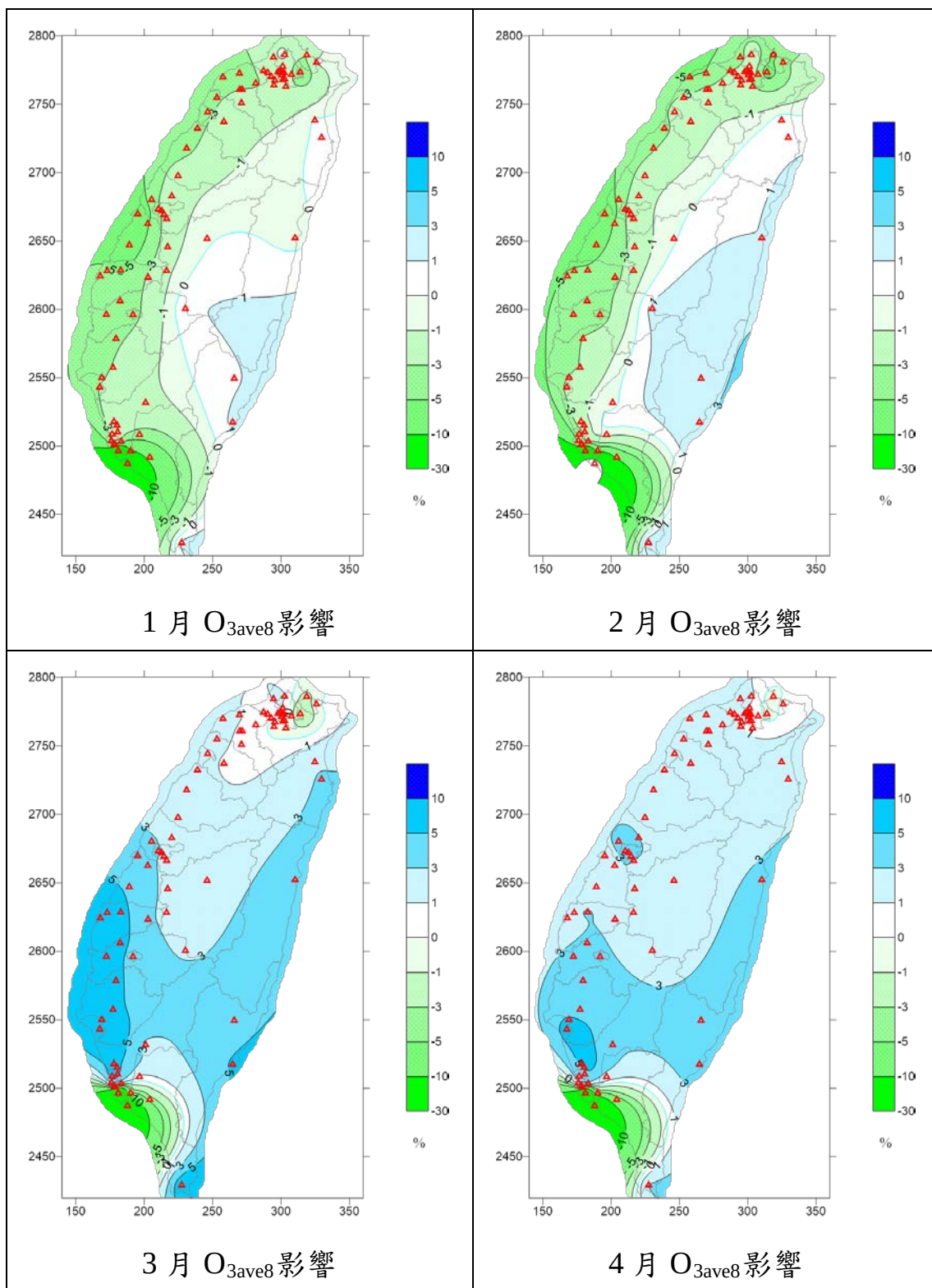
資料來源：本研究彙整。

圖 5.7 2013 年 PM_{2.5} 逐月影響(3/3)

O_{3ave8}：

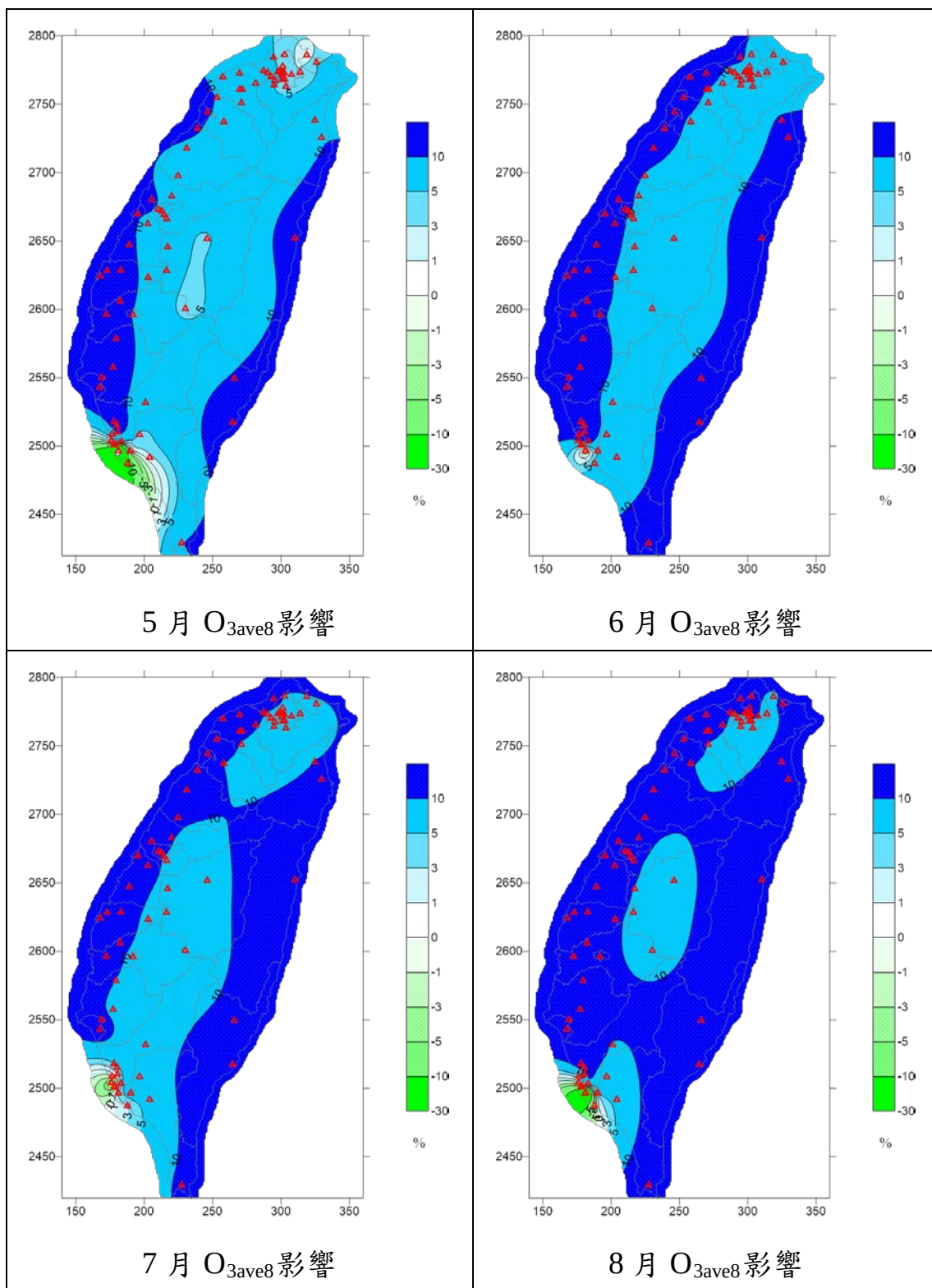
8 小時平均臭氧貢獻比例產生負值的原因主要為臭氧被消耗之結果，即 NO 滴定效應的影響，如圖 5.8 為 2013 年 O_{3ave8} 逐月影響，其中 1 月最高值為恆春站之 1.29%，其次為臺東站之 1.25%，最低值則為小港站之 -22.42%；2 月最高值為臺東站之 2.60%，其次為恆春站之 2.26%，最低值則為林園站之 -39.19%；3 月最高值為臺南站之 8.46%，其次為安南站之 7.34%，最低值則為小港站之 -32.49%；4 月最高值為臺南站之 5.75%，其次為楠梓站之 5.21%，最低值則為林園站之 -28.08%；5 月最高值為臺南站之 15.19%，其次為安南站之 14.73%，最低值則為小港站之 -36.56%；6 月最高值為臺西站之 21.90%，其次為麥寮站之 20.01%，最低值則為小港站之 -3.03%；7 月最高值為花蓮站之 22.57%，其次為臺東站之 20.20%，最低值則為復興站之 -7.06%；8 月最高值為花蓮站之 21.59%，其次為臺東站之 20.39%，最低值則為小港站之 -27.75%；9 月最高值為臺南站之 15.25%，其次為仁武站之 14.79%，最低值則為小港站之 -14.33%；10 月最高值為楠梓站之 7.14%，其次為橋頭站之 6.96%，最低值則為小港站之 -37.16%；11 月最高值為臺東站之 2.80%，其次為臺南站之 2.38%，最低值則為小港站之 -55.97%；12 月最高值為恆春站之 0.83%，其次為臺東站之 0.50%，最低值則為林園站之 -19.53%。

其中 1 月、2 月全臺大部分地區均有低值影響，且主要低值影響範圍為高屏地區，3 月及 4 月低值影響大幅度縮減，剩下北北基與高屏地區，5 月開始低值只剩下高屏沿海地區，且於臺灣西部及東部沿海區域開始出現較大之影響，6 月至 8 月主要影響西部沿海及東部沿海一帶，低值亦從 6 月於高雄附近影響範圍開始增大至 8 月，9 月低值除高屏區域外，於基隆區域有開始增大範圍的跡象，10 月開始至 12 月低值範圍逐漸擴大至全臺大部分區域，且主要低值位於高屏地區。



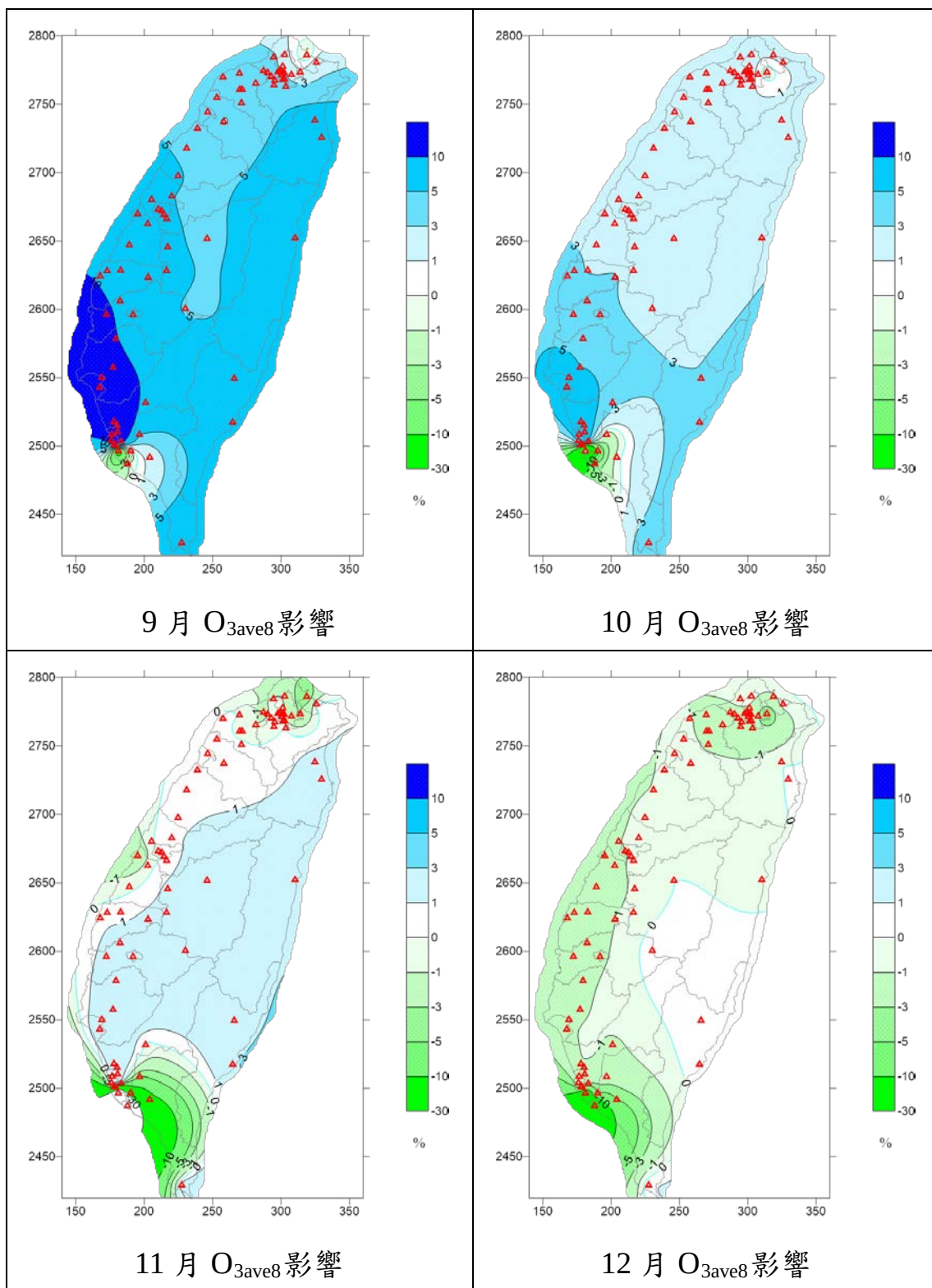
資料來源：本研究彙整。

圖 5.8 2013 年 O_{3ave8} 逐月影響(1/3)



資料來源：本研究彙整。

圖 5.8 2013 年 O_{3ave8} 逐月影響(2/3)



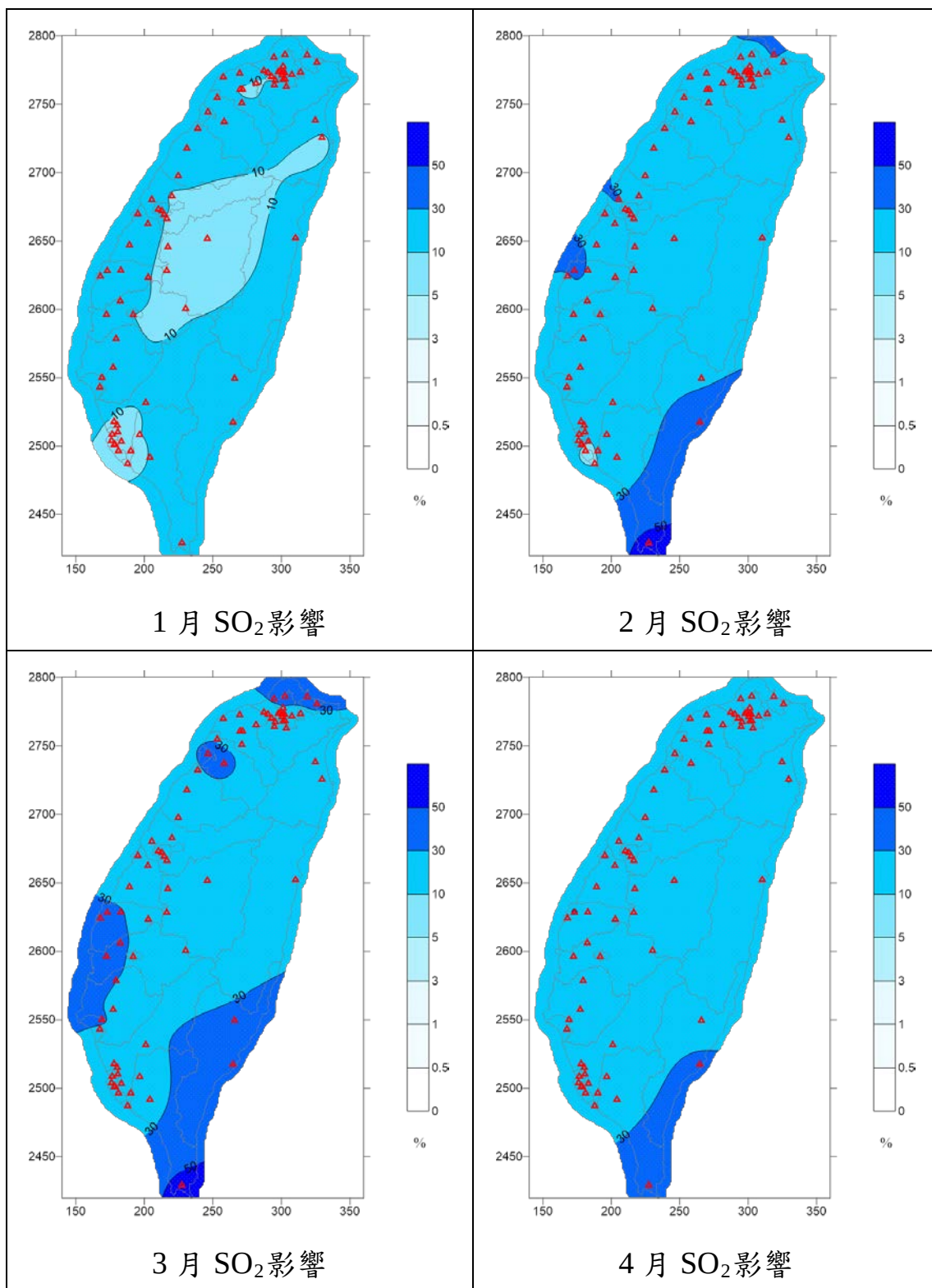
資料來源：本研究彙整。

圖 5.8 2013 年 O_{3ave8} 逐月影響(3/3)

SO₂：

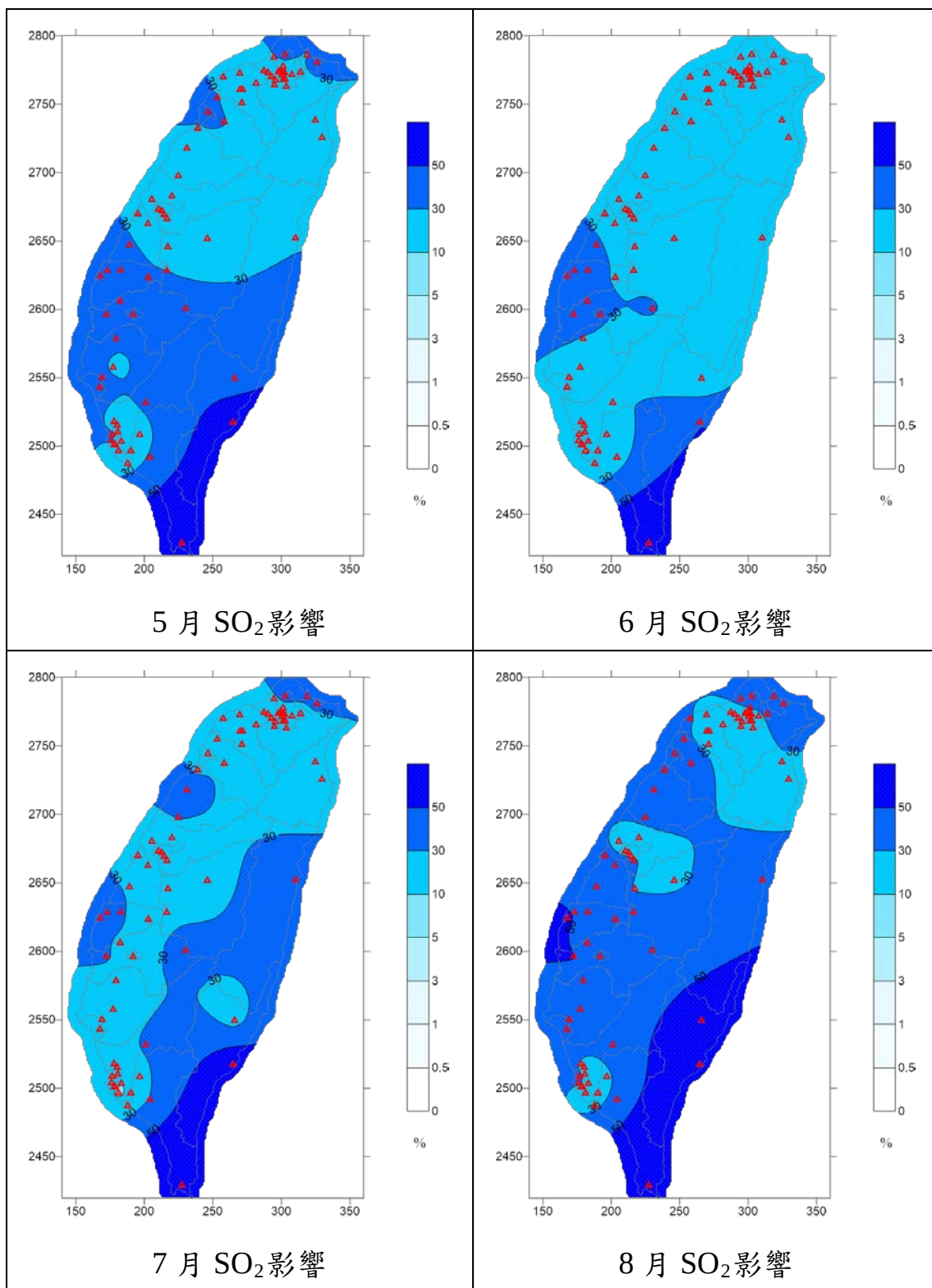
如圖 5.9 為 2013 年 SO₂逐月影響，其中 1 月最高值為恆春站之 27.22%，其次為萬里站之 23.52%，第三高則為基隆站之 21.99%；2 月最高值為恆春站之 54.98%，其次為臺東站之 39.80%，第三高則為麥寮站之 33.85%；3 月最高值為恆春站之 54.33%，其次為臺東站之 45.15%，第三高則為朴子站之 35.83%；4 月最高值為恆春站之 47.07%，其次為臺東站之 34.07%，第三高則為麥寮站之 31.04%；5 月最高值為恆春站之 83.99%，其次為臺東站之 65.65%，第三高則為麥寮站之 44.64%；6 月最高值為恆春站之 81.83%，其次為臺東站之 49.14%，第三高則為麥寮站之 42.14%；7 月最高值為恆春站之 90.97%，其次為臺東站之 67.60%，第三高則為花蓮站之 43.53%；8 月最高值為恆春站之 86.61%，其次為臺東站之 71.34%，第三高則為關山站之 57.33%；9 月最高值為恆春站之 79.05%，其次為臺東站之 62.04%，第三高則為基隆站之 56.76%；10 月最高值為恆春站之 50.55%，其次為陽明站之 40.12%，第三高則為基隆站之 38.26%；11 月最高值為恆春站之 49.09%，其次為臺東站之 30.99%，第三高則為基隆站之 24.80%；12 月最高值為恆春站之 15.15%，其次為萬里站之 9.80%，第三高則為臺東站之 9.78%。

其中 1 月主要影響範圍為基隆沿海一帶及恆春至臺東沿海地區，2 月開始至 7 月基隆沿海影響逐漸消失，主要影響剩下屏東至臺東地區，8 月開始至 12 月影響除了屏東至臺東沿海地區，北部基隆沿海地區影響逐漸出現。



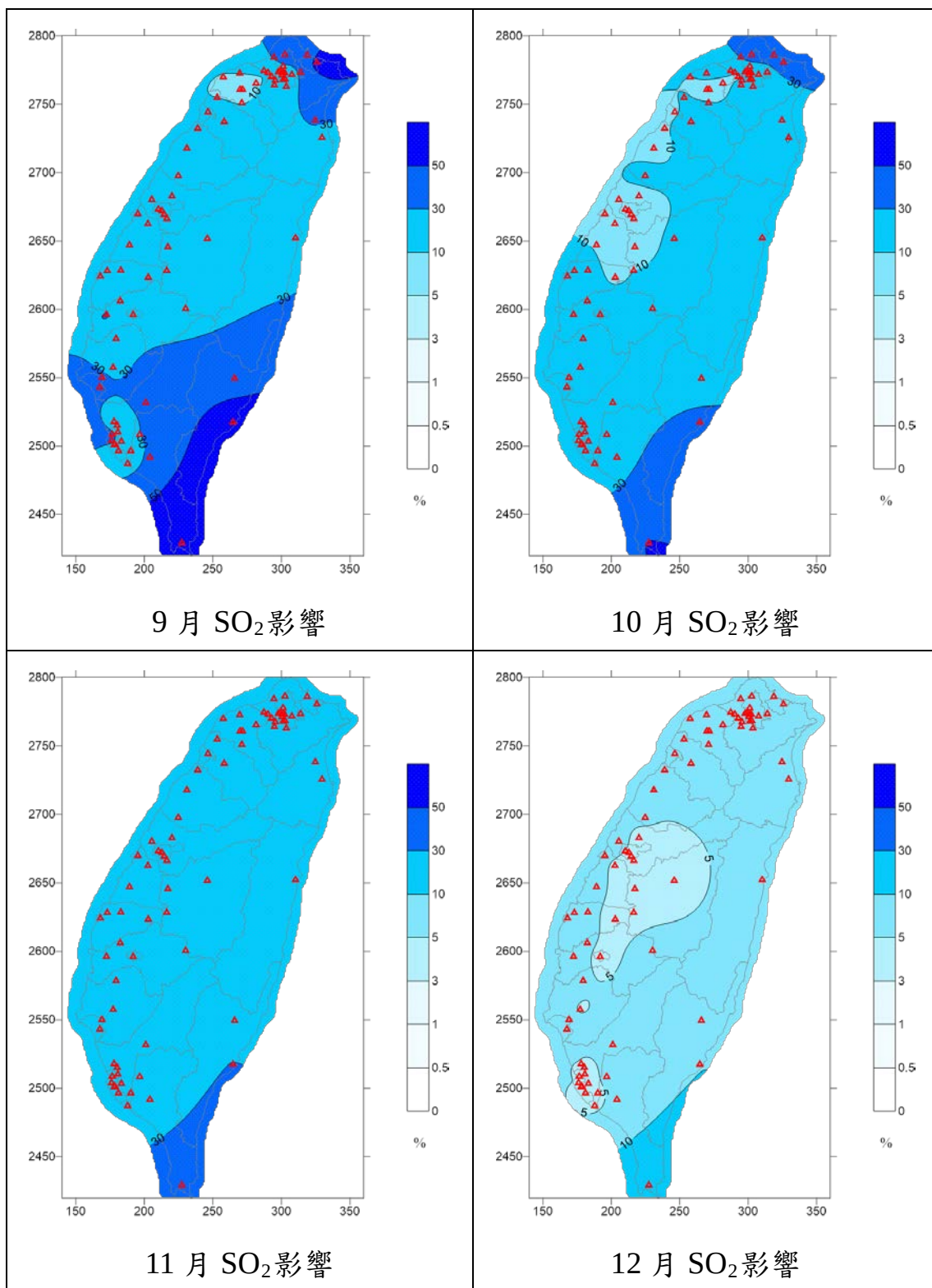
資料來源：本研究彙整。

圖 5.9 2013 年 SO₂ 逐月影響(1/3)



資料來源：本研究彙整。

圖 5.9 2013 年 SO₂ 逐月影響(2/3)



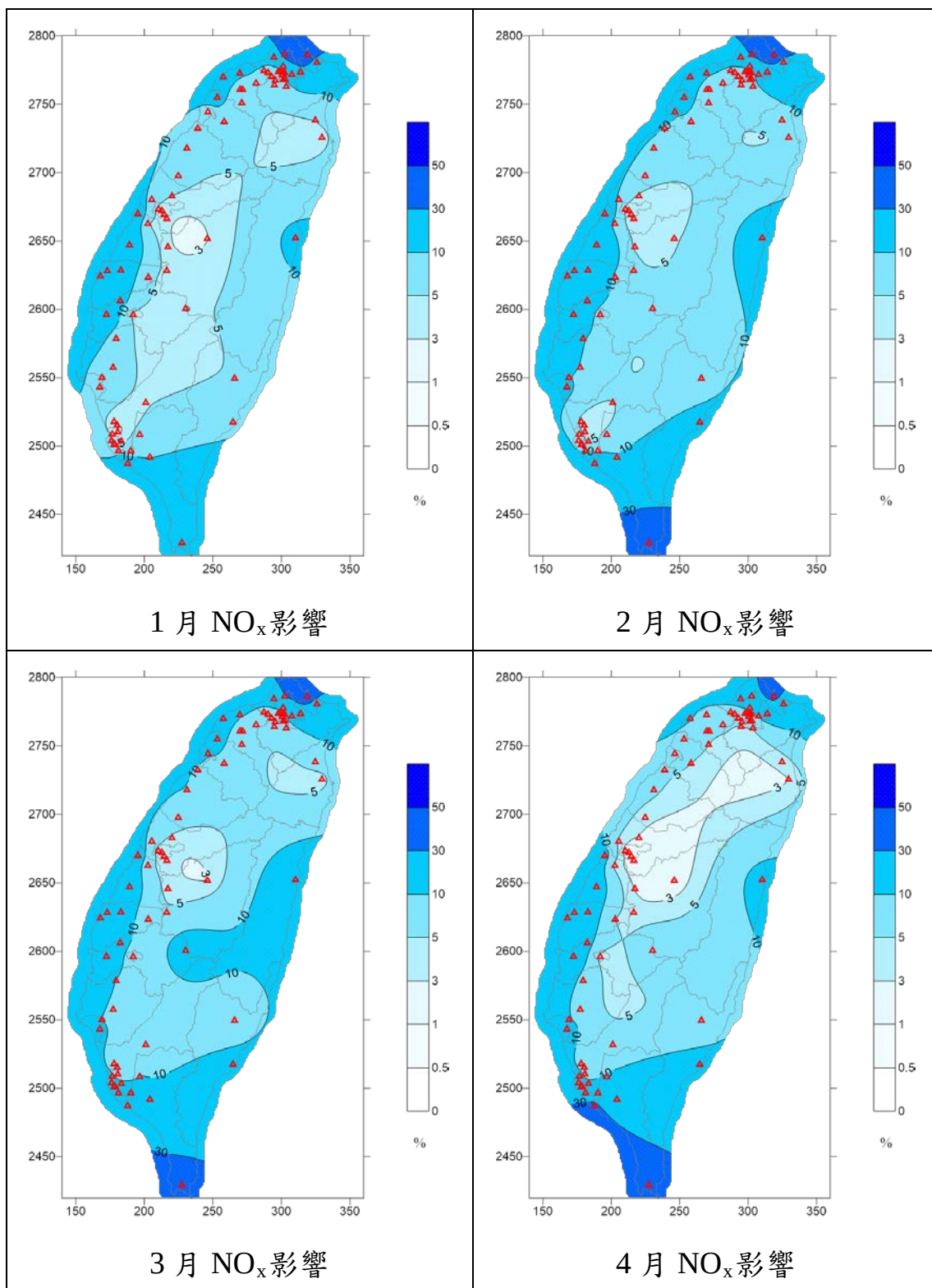
資料來源：本研究彙整。

圖 5.9 2013 年 SO₂ 逐月影響(3/3)

NO_x：

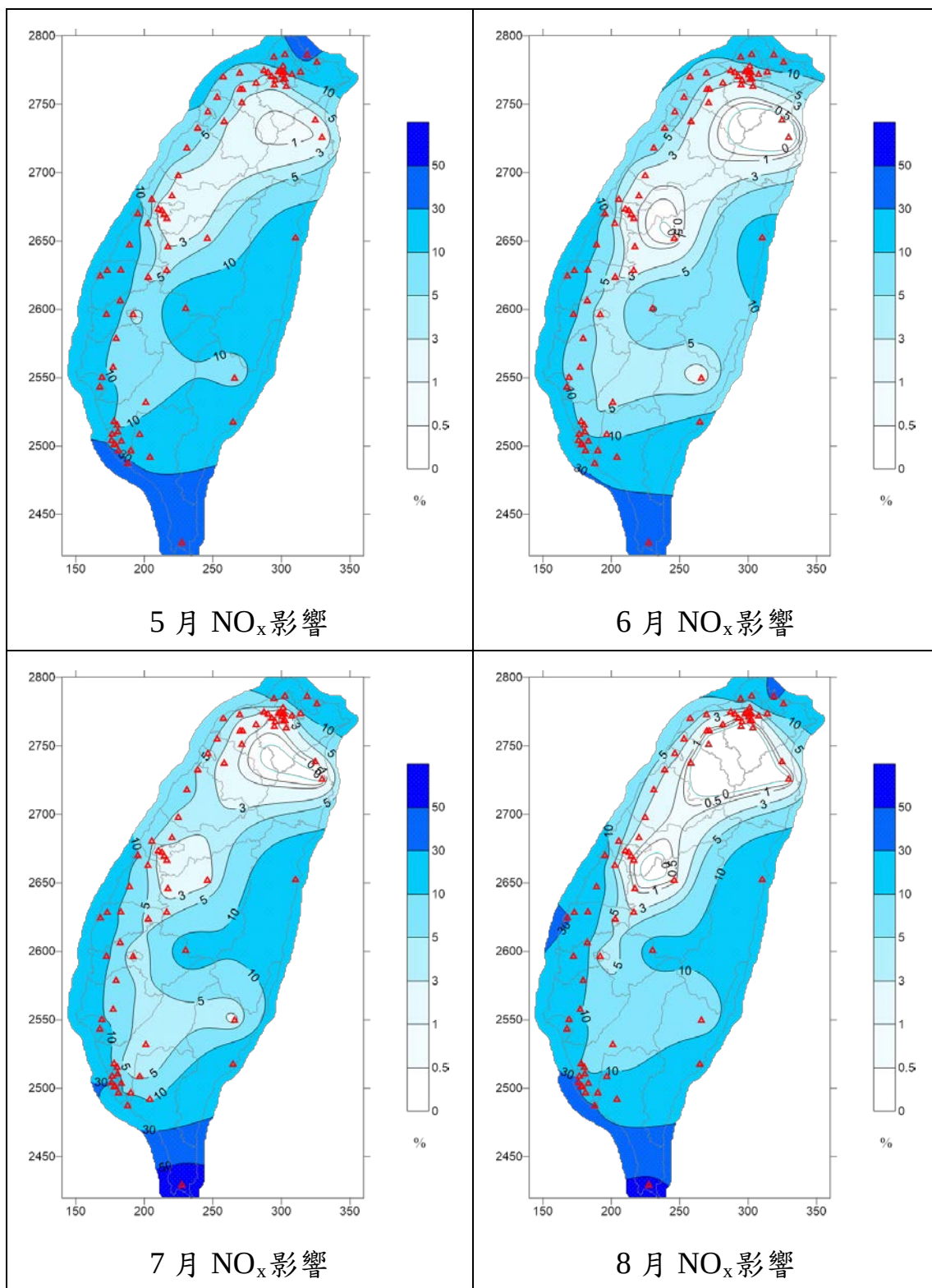
如圖 5.10 為 2013 年 NO_x逐月影響，其中 1 月最高值為萬里站之 50.92%，其次為陽明站之 35.56%，第三高則為汐止站之 23.84%；2 月最高值為萬里站之 44.61%，其次為恆春站之 40.75%，第三高則為陽明站之 31.62%；3 月最高值為萬里站之 43.01%，其次為恆春站之 36.68%，第三高則為陽明站之 29.71%；4 月最高值為恆春站之 36.68%，其次為萬里站之 35.64%，第三高則為林園站之 33.02%；5 月最高值為恆春站之 48.96%，其次為萬里站之 40.73%，第三高則為林園站之 33.59%；6 月最高值為恆春站之 46.66%，其次為林園站之 26.55%，第三高則為萬里站之 25.14%；7 月最高值為恆春站之 61.55%，其次為前金站之 30.13%，第三高則為前鎮站之 25.97%；8 月最高值為恆春站之 53.26%，其次為萬里站之 36.42%，第三高則為臺西站之 33.37%；9 月最高值為萬里站之 57.58%，其次為恆春站之 44.61%，第三高則為陽明站之 43.66%；10 月最高值為萬里站之 47.96%，其次為陽明站之 33.33%，第三高則為林園站之 29.77%；11 月最高值為萬里站之 49.35%，其次為陽明站之 35.68%，第三高則為恆春站之 33.65%；12 月最高值為萬里站之 38.63%，其次為陽明站之 29.65%，第三高則為汐止站之 21.61%。

其中 1 月主要影響範圍為基隆沿海地區，2 月開始至 5 月除基隆地區外，高屏地區影響逐漸加大，6 月至 7 月期間，基隆地區影響逐漸縮小，主要影響剩下恆春一帶，8 月開始一直到 12 月，屏東恆春一帶影響範圍逐漸縮小，基隆沿海地區則逐漸加大。



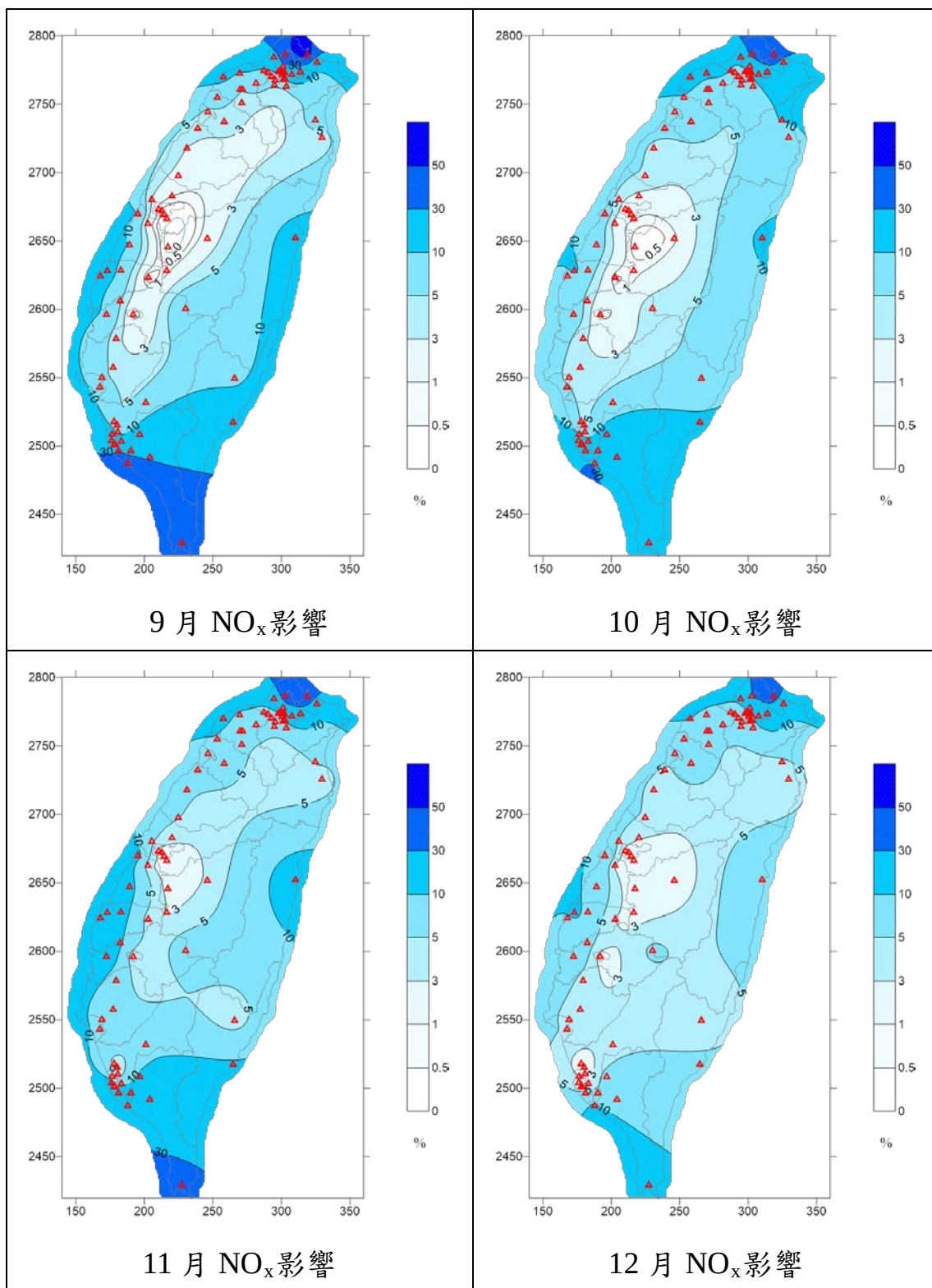
資料來源：本研究彙整。

圖 5.10 2013 年 NO_x 逐月影響(1/3)



資料來源：本研究彙整。

圖 5.10 2013 年 NO_x 逐月影響(2/3)



資料來源：本研究彙整。

圖 5.10 2013 年 NO_x 逐月影響(3/3)

前面敘述因海上船舶排放的影響，說明了各月各地區各污染物種的影響，每個月季風風向不同，例如 12 月、1 月時大部分吹東北風，7 月及 8 月時則吹西南風，中間經過季風方向轉換，且衍生性污染物生成反應速率不盡相同，且其中臭氧會因為 NO 低定效應的關係，與一氧化氮反應生成二氧化氮，如此便造成上述各污染物種濃度散布不均，最終形成分布範圍的差異。

5.3 臺灣五大商港影響

本研究為配合 TEDS 9 資料庫排放量時間，模擬期間定為 2013 年 1 月至 12 月之一年時間，分析臺灣本島 5 大主要港口污染物排放量，其中港口之範圍包括港區內與以港口為中心半徑 20 海浬內之船舶，其位置由北至南，由西至東，依序為基隆港、臺北港、臺中港、高雄港及花蓮港等，探討污染物種包含細懸浮微粒(PM_{2.5})及其衍生性物種，與 8 小時平均臭氧(O_{3ave8})、硫氧化物(SO₂)、氮氧化物(NO_x)，對於臺灣本島空氣品質的影響貢獻比例，並以 zero-out method 計算方法取得 CMAQ 三維網格模式模擬五大商港 2013 年污染排放之貢獻比例，使用繪圖軟體繪製等值圖，並切除臺灣本島外圍海域地區，可得到貢獻比例之空間分布圖。並臺灣五大商港排放污染物之貢獻比例與各站之散點圖及頻率分布結果放置於附錄六。

其中 8 小時平均臭氧貢獻比例負值之產生為臭氧被一氧化氮消耗之結果，亦即為 NO 滴定效應所引起；且由於衍生性污染物的生成，需要時間上的反應，故衍生性污染物的影響區域通常會比一般污染物種的影響區域有稍微的不同，因而大部分均會發生於下風處，模擬結果如表 5-5 所示。

表 5-5 五大商港排放量影響結果

		逐站平均			逐日平均	
		年平均	最大值	測站	最大值	日期
基隆港	PM2.5	0.51%	4.90%	萬里	2.02%	2013/05/14
	O3ave8	-0.07%	0.08%	觀音	0.45%	2013/06/06
	SO2	2.75%	27.59%	萬里	9.89%	2013/06/04
	NOx	1.05%	22.35%	萬里	3.06%	2013/06/04
	SO4	0.77%	5.86%	萬里	5.08%	2013/05/28
	NO3	1.23%	7.00%	萬里	5.61%	2013/11/01
	NH4	0.99%	6.91%	萬里	8.02%	2013/07/12
臺北港	PM2.5	0.28%	1.87%	淡水	1.68%	2013/02/15
	O3ave8	0.02%	0.11%	菜寮	0.80%	2013/07/11
	SO2	1.11%	15.12%	淡水	4.94%	2013/05/23
	NOx	0.25%	2.90%	淡水	1.06%	2013/02/15
	SO4	0.47%	3.14%	淡水	3.30%	2013/02/15
	NO3	0.38%	1.30%	大園	1.79%	2013/02/14
	NH4	0.48%	2.87%	淡水	2.77%	2013/08/21
臺中港	PM2.5	0.65%	2.83%	線西	2.44%	2013/06/15
	O3ave8	-0.11%	0.09%	阿里	0.38%	2013/07/10
	SO2	2.57%	16.93%	線西	6.45%	2013/01/29
	NOx	0.78%	7.73%	線西	2.61%	2013/01/29
	SO4	1.08%	4.26%	線西	5.29%	2013/06/15
	NO3	0.92%	2.64%	麥寮	3.37%	2013/08/03
	NH4	1.16%	3.80%	線西	5.43%	2013/06/15
高雄港	PM2.5	0.98%	6.47%	前鎮	4.47%	2013/06/30
	O3ave8	-0.21%	0.76%	橋頭	3.12%	2013/06/01
	SO2	3.83%	30.50%	前鎮	12.46%	2013/05/29
	NOx	1.13%	14.05%	小港	4.56%	2013/05/29
	SO4	1.76%	9.54%	前鎮	9.02%	2013/06/30
	NO3	1.06%	4.64%	潮州	9.06%	2013/06/30
	NH4	2.12%	10.56%	前鎮	12.96%	2013/06/26
花蓮港	PM2.5	0.10%	4.04%	花蓮	0.38%	2013/08/27
	O3ave8	0.02%	0.09%	冬山	0.13%	2013/08/27
	SO2	0.38%	15.59%	花蓮	1.43%	2013/06/28
	NOx	0.09%	3.98%	花蓮	0.64%	2013/09/22
	SO4	0.16%	4.22%	花蓮	1.30%	2013/08/13
	NO3	0.09%	0.40%	關山	0.65%	2013/05/30
	NH4	0.21%	5.65%	花蓮	2.04%	2013/08/13

資料來源：本研究彙整。

如圖 5.11 為 CMAQ 模擬五大商港 2013 年全年平均之污染物之貢獻比例，包含細懸浮微粒($\text{PM}_{2.5}$)、硫酸鹽(SO_4^{-2})、硝酸鹽(NO_3^-)、銨鹽(NH_4^+)等污染物種；圖 5.12 則為模擬五大商港氣態污染物之貢獻比例，包含 8 小時平均臭氧($\text{O}_{3\text{ave8}}$)、硫氧化物(SO_2)及氮氧化物(NO_x)等物種。各物種影響情形依序說明如下：

細懸浮微粒($\text{PM}_{2.5}$)：貢獻比例介於 0.46%~6.25%之間，貢獻比例最高位於前鎮與復興測站之 6.25%，其次為小港站之 5.17%，第三高則為前金站之 5.16%；主要分布範圍在臺灣北部基隆與東部花蓮區域，以及臺灣西半部臺中以南至高屏沿海一帶。

硫酸鹽(SO_4^{-2})：貢獻比例介於 0.23%~1.94%之間，貢獻比例最高位於前鎮與復興測站之 1.94%，其次為萬里站之 1.72%，第三高則為前金站之 1.70%；主要分布範圍為基隆、新北、臺中、彰化以及高屏一帶沿海區域。

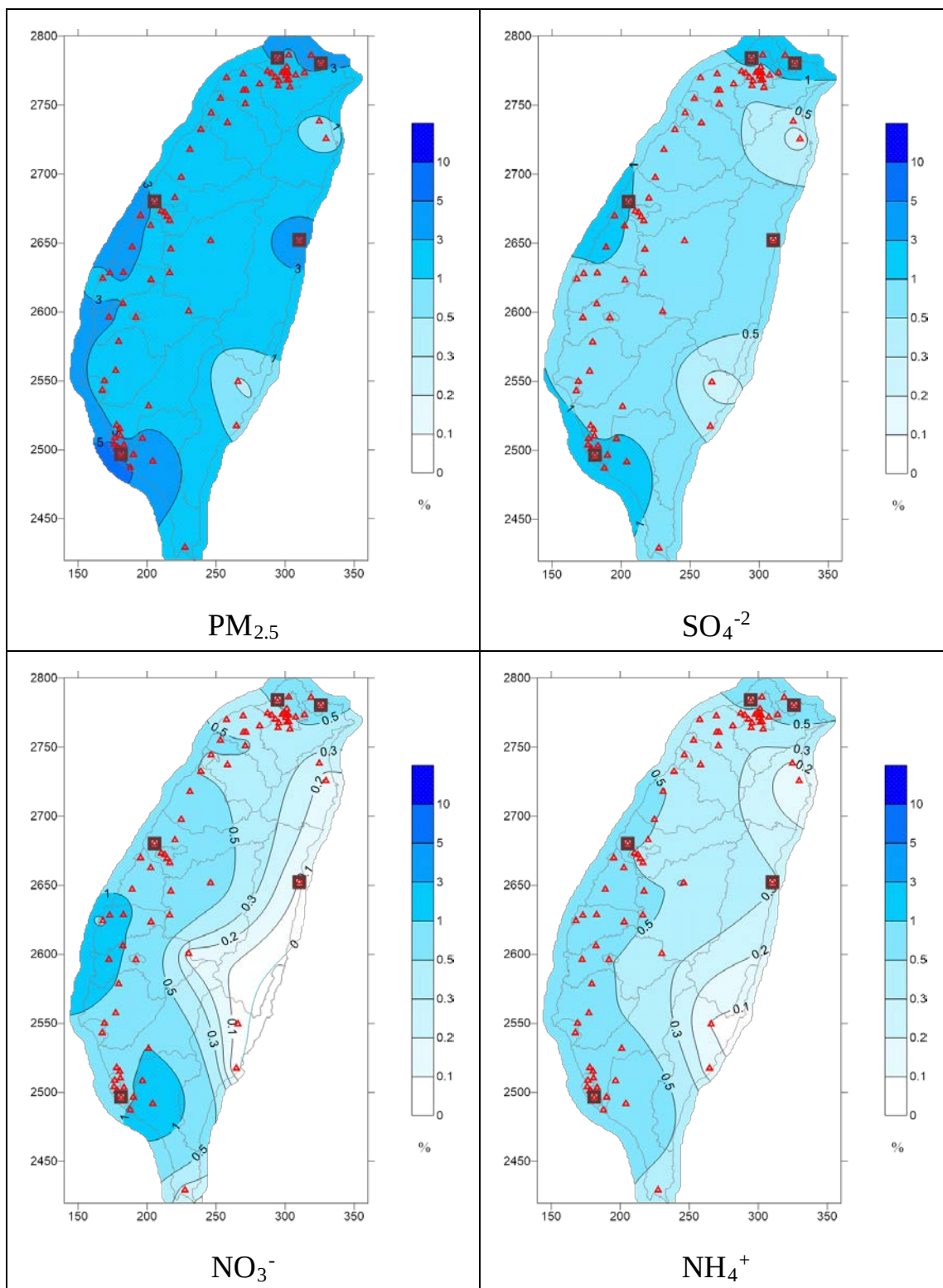
硝酸鹽(NO_3^-)：貢獻比例介於 0.02%~1.57%之間，貢獻比例最高位於潮州測站之 1.57%，其次為屏東站之 1.18%，第三高則為林園與朴子站之 1.14%；主要分布範圍為雲嘉南沿海區域及屏東北半部區域。

銨鹽(NH_4^+)：貢獻比例介於 0.09%~0.98%之間，貢獻比例最高位於前鎮與復興測站之 0.98%，其次為潮州站之 0.93%，第三高則為線西與前金站之 0.87%；主要分布範圍為基隆沿海以及苗栗以南至屏東沿海區域。

硫氧化物(SO_2)：貢獻比例介於 1.13%~32.87%之間，貢獻比例最高位於前鎮與復興測站之 32.87%，其次為前金站之 25.78%，第三高則為萬里站之 24.73%；主要分布範圍為基隆包含新北市之臺灣北部地區，以及臺中以南至高雄沿海與屏東地區，以及花蓮部分區域。

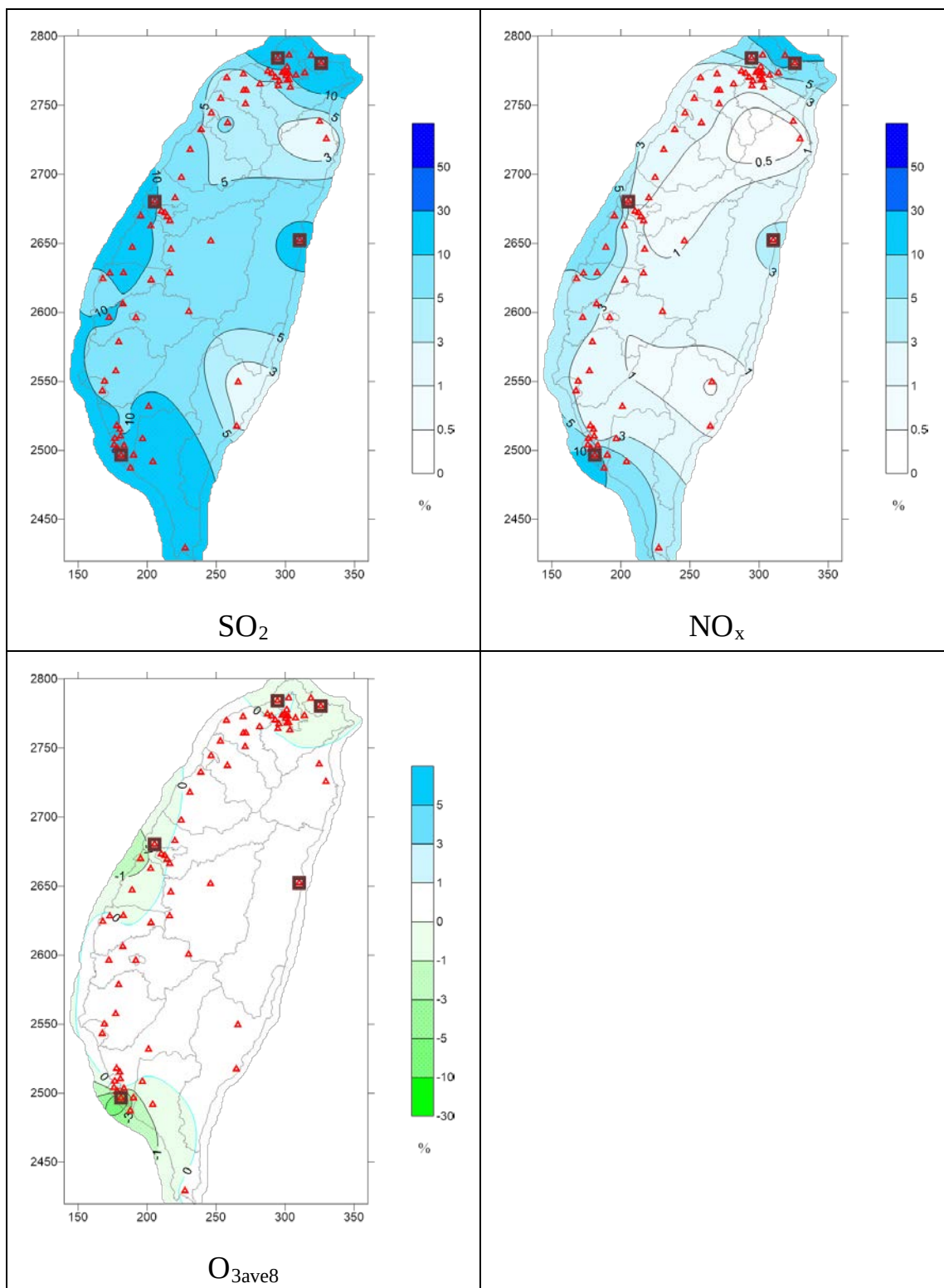
氮氧化物(NO_x)：貢獻比例介於 0.35%~23.25%之間，貢獻比例最高位於萬里測站 23.25%，其次為小港站 14.38%，第三高則為林園站 10.40%；主要分布範圍為基隆北部沿海及中部以南至高屏沿海地區。

8 小時平均臭氧(O_{3ave8})：貢獻比例介於-9.44%~0.75%之間，貢獻比例最高位於楠梓測站之 0.75%，其次為橋頭站之 0.73%，第三高則為仁武站之 0.61%。而貢獻比例產生負值的原因主要為臭氧被消耗之結果，即 NO 滴定效應所引起，負值產生之區域主要為高雄與屏東沿海地區，部分則位於基隆與臺中附近區域。



資料來源：本研究彙整。

圖 5.11 五大商港合計細懸浮微粒及衍生性污染物影響



資料來源：本研究彙整。

圖 5.12 五大商港合計氣態污染物影響

另外，以 $PM_{2.5}$ 貢獻比例為 Y 軸以及 $PM_{2.5}$ 濃度值為 X 軸繪製成散點圖，同時解析此一貢獻比例在一年中發生此比例之天數並繪成頻率分布柱狀圖，如圖 5.13 所示，為五大商港合計影響，挑選全臺北、中部、南部以及東部各一測站之散點圖、頻率分布做說明。各測站之散點圖與頻率分布狀況則如附錄六後半部所示。

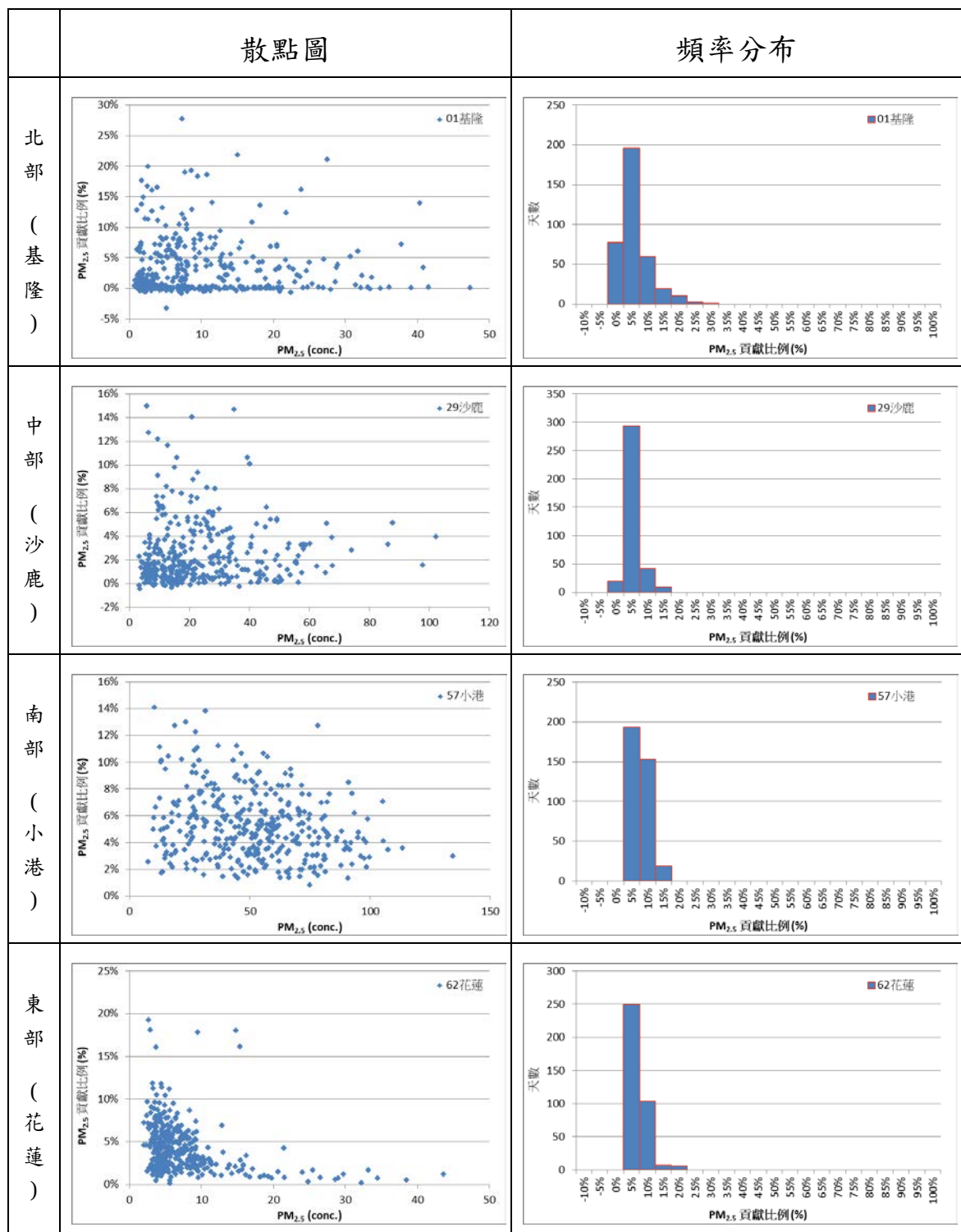
以下就北、中、南、東部各測站說明之：

北部(基隆站)：基隆站貢獻比例介於-3.29%~27.62%之間，其散點圖分布大部分偏向 X 軸方向；而貢獻比例頻率分布中，發生天數最多為 0%~5%區間，其發生天數為 196 天，次之則為-5%~0%區間，發生天數為 77 天。由於位處臺灣北部頂端，顯示全年影響並不顯著。

中部(沙鹿站)：沙鹿站貢獻比例介於-0.53%~14.95%之間，其散點圖分布約略由原點呈傘型往外擴散，並偏向 X 軸方向；貢獻比例頻率分布中，發生天數最多為 0%~5%區間，其發生天數為 294 天，次之則為 5%~10%區間，發生天數為 42 天。顯示一年之中，其影響約在 5%之間。

南部(小港站)：小港站貢獻比例介於 0.79%~14.06%之間，其散點圖分布約略呈傘型往外擴散，並均勻分布於圖中；貢獻比例頻率分布中，發生天數最多為 0%~5%區間，其發生天數為 193 天，次之則為 5%~10%區間，發生天數為 153 天。顯示一年之中，其影響約在 10%之間。

東部(花蓮站)：花蓮站貢獻比例介於 0.12%~19.22%之間，其散點圖分布大部分集中原點附近，且向兩軸方向延伸；貢獻比例頻率分布中，發生天數最多為 0%~5%區間，其發生天數為 249 天，次之則為 5%~10%區間，發生天數為 103 天。顯示一年之中，其影響約在 10%之間，且在低濃度時影響較為顯著。



資料來源：本研究彙整。

圖 5.13 五大商港合計散點圖及頻率分布

將空品區中環保署各測站之細懸浮微粒濃度平均，再統計細懸浮微粒在不同濃度下時，各港口所在空品區之影響比例，並製作如表5-6。其中基隆港、臺北港及臺中港於 PM_{2.5} 平均濃度介於 15.4 至 35.4 之間時，影響天數均為最高，依序為 232 日、232 日及 191 日，平均貢獻比例則依序為 1.06%、0.55%及 1.22%；高屏港於 PM_{2.5} 平均濃度介於 35.4 至 54.4 之間，影響天數為 145 日，平均貢獻比例則為 2.04%；花蓮港於 PM_{2.5} 平均濃度小於 15.4 時，影響天數為 240 日，平均貢獻比例則為 1.62%。

表 5-6 不同細懸浮微粒濃度下之影響(五大港)

		< 15.4	>= 15.4, <35.4	>= 35.4, <54.4	>= 54.4
基隆港 (北部空品區)	平均	1.69%	1.06%	0.62%	0.21%
	標準偏差	1.03%	0.97%	0.68%	0.18%
	日數	66	232	60	7
臺北港 (北部空品區)	平均	0.51%	0.55%	0.63%	0.16%
	標準偏差	0.62%	0.68%	0.77%	0.21%
	日數	66	232	60	7
臺中港 (中部空品區)	平均	0.96%	1.22%	1.36%	1.61%
	標準偏差	1.46%	1.41%	1.35%	1.37%
	日數	34	191	114	26
高雄港 (高屏空品區)	平均	7.63%	4.86%	2.04%	1.20%
	標準偏差	3.58%	3.53%	1.98%	1.15%
	日數	30	131	145	59
花蓮港 (花東空品區)	平均	1.62%	1.19%	0.52%	0.28%
	標準偏差	1.02%	0.88%	0.21%	0.04%
	日數	240	118	5	2

資料來源：本研究彙整。

五大商港合計排放污染物種之增量濃度如圖 5.14 及圖 5.15，其中：

細懸浮微粒($\text{PM}_{2.5}$)：增量濃度介於 $0.02 \sim 2.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，增量濃度最高位於小港測站，其次為前鎮站之 $1.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ；主要分布範圍在臺灣西半部及高屏沿海一帶。

硫酸鹽(SO_4^{2-})：增量濃度介於 $0.02 \sim 0.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，增量濃度最高位於小港測站，其次為前鎮站之 $0.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ；主要分布範圍位於高屏、臺中及臺灣北部沿海地區。

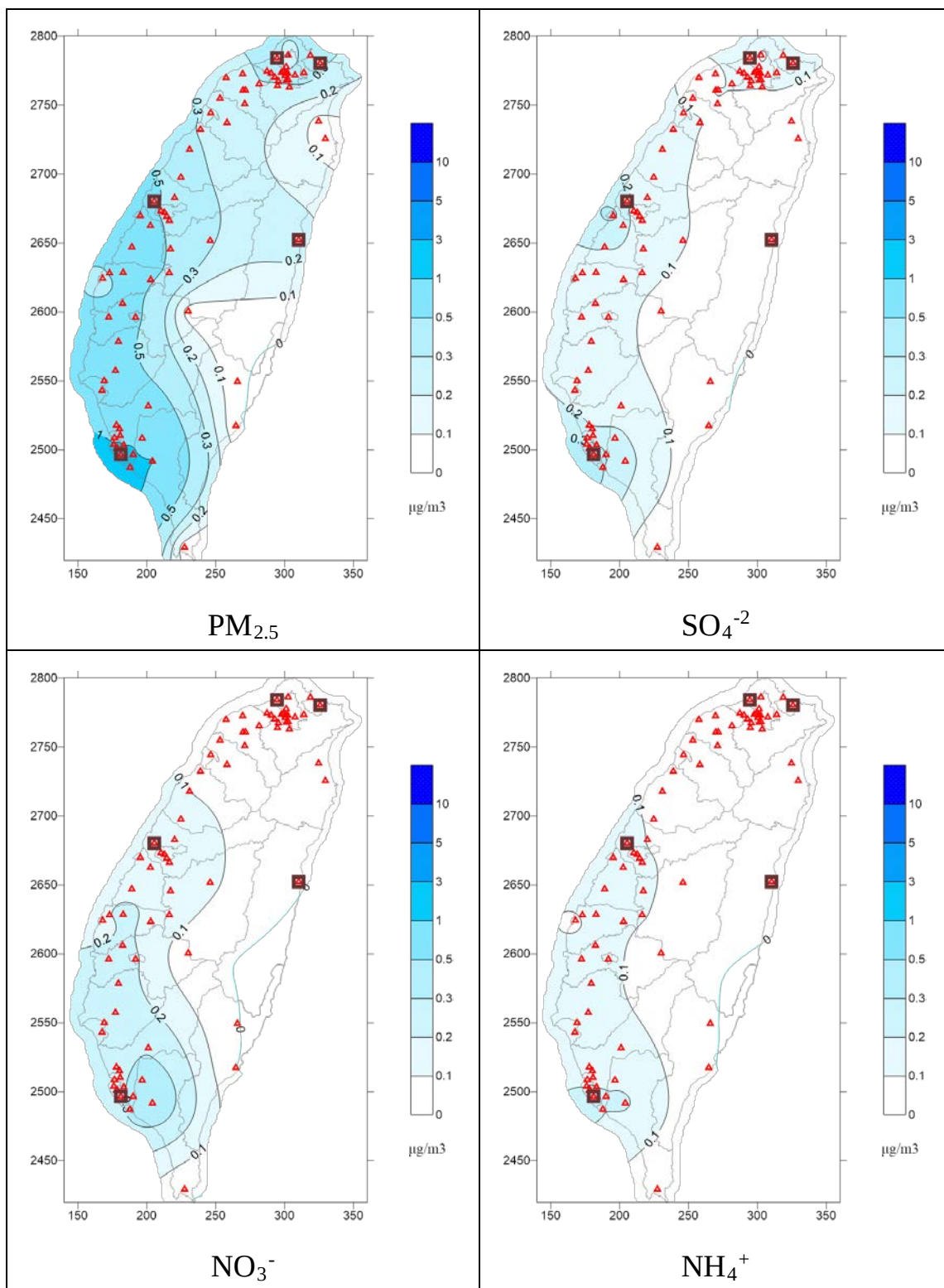
硝酸鹽(NO_3^-)：增量濃度介於 $0.00 \sim 0.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，增量濃度最高位於潮州測站，其次為屏東站之 $0.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ；主要分布範圍為臺灣西南部及高屏地區。

銨鹽(NH_4^+)：增量濃度介於 $0.01 \sim 0.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，增量濃度最高位於小港、前鎮及復興測站，其次為潮州站之 $0.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ；主要分布範圍位於臺灣西部沿海區域。

硫氧化物(SO_2)：增量濃度介於 $0.01 \sim 3.47 \text{ ppb}$ 之間，增量濃度最高位於小港測站，其次為前鎮站之 2.25 ppb ；主要分布範圍則位於臺灣北部、中部及高屏地區研海一帶。

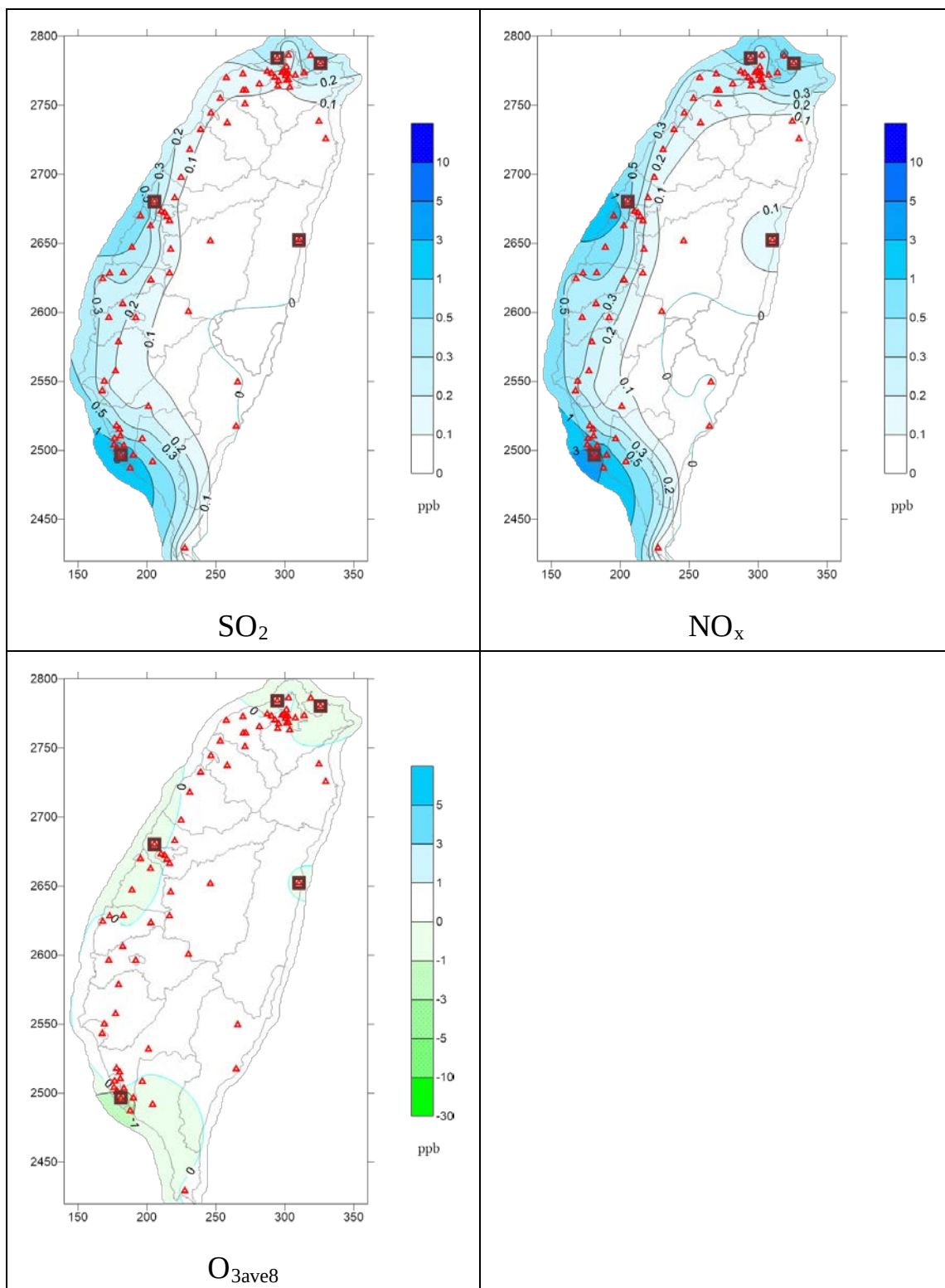
氮氧化物(NO_x)：增量濃度介於 $0.01 \sim 6.06 \text{ ppb}$ 之間，增量濃度最高位於小港測站，其次為前鎮站之 2.76 ppb ；主要分布位於臺灣北部至南部的西半邊沿海地區，且於高屏地區有較高濃度之區域。

8 小時平均臭氧($\text{O}_{3\text{ave8}}$)：增量濃度介於 $-3.54 \sim 0.35 \text{ ppb}$ 之間，增量濃度最高位於楠梓、橋頭測站，其次為仁武站之 0.29 ppb ；主要臭氧消耗區域位於臺灣北部海岸、中部海岸及高屏海岸區域。



資料來源：本研究彙整。

圖 5.14 細懸浮微粒及衍生性污染物增量濃度



資料來源：本研究彙整。

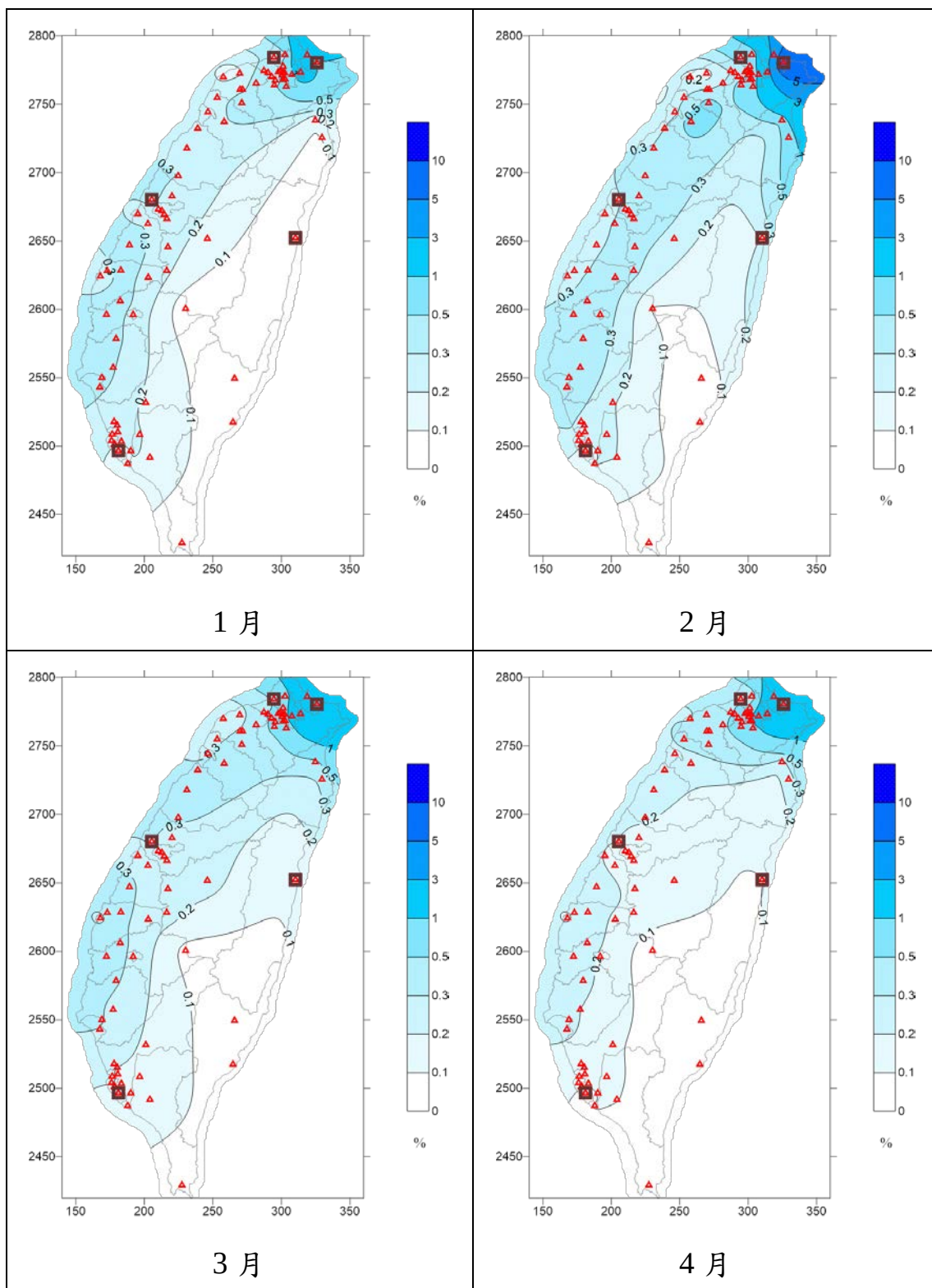
圖 5.15 氣態污染物增量濃度

以下就基隆港、臺北港、臺中港、高雄港及花蓮港等五大商港，依各月結果說明如下：

基隆港：

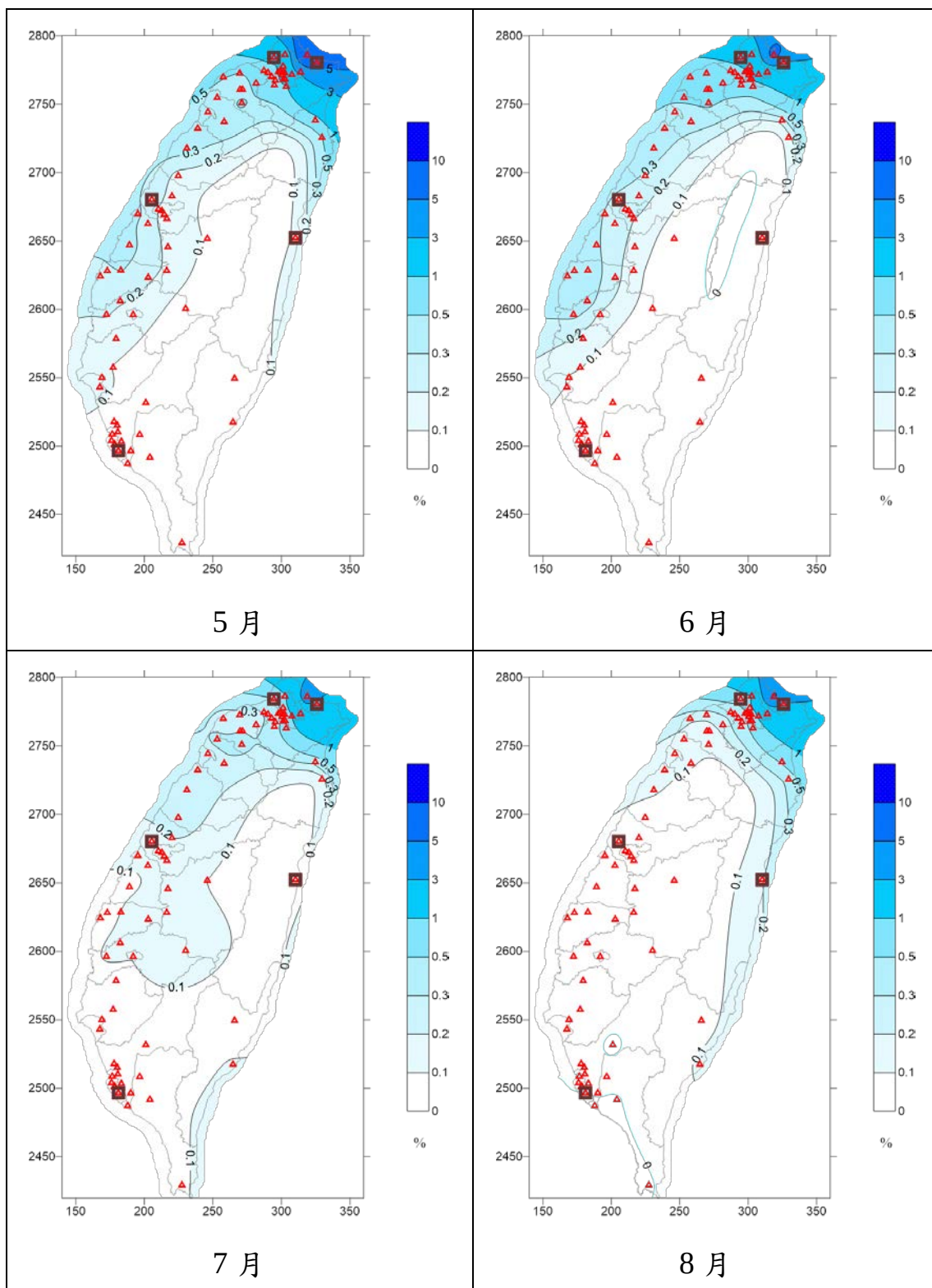
如圖 5.16 為基隆港逐月排放影響，其中細懸浮微粒 $PM_{2.5}$ 逐月最大貢獻比例 1 月至 12 月中，1 月最高值為萬里站之 2.27%，其次為汐止站之 1.54%，第三高則為基隆站之 0.92%；2 月最高值為基隆站之 7.30%，其次為萬里站之 3.48%，第三高則為汐止站之 2.40%；3 月最高值為萬里站之 2.66%，其次為基隆站之 2.29%，第三高則為汐止站之 1.85%；4 月最高值為基隆站之 1.88%，其次為萬里站之 1.79%，第三高則為汐止站之 1.71%；5 月最高值為萬里站之 9.06%，其次為基隆站之 5.60%，第三高則為汐止站之 3.14%；6 月最高值為萬里站之 5.97%，其次為基隆站之 2.73%，第三高則為汐止站之 1.64%；7 月最高值為萬里站之 3.89%，其次為基隆站之 2.59%，第三高則為汐止站之 1.92%；8 月最高值為萬里站之 5.37%，其次為基隆站之 2.74%，第三高則為汐止站之 1.74%；9 月最高值為萬里站之 4.67%，其次為陽明站之 2.23%，第三高則為士林站之 2.13%；10 月最高值為汐止站之 2.14%，其次為松山站之 1.55%，第三高則為中山站之 1.07%；11 月最高值為萬里站之 1.78%，其次為汐止站之 1.26%，第三高則為基隆站之 0.87%；12 月最高值為汐止站之 1.22%，其次為萬里站之 0.89%，第三高則為松山站之 0.80%。

由於基隆港位處臺灣北部，故其影響主要範圍為基隆市周遭地區，東至宜蘭，西至新北市西邊靠海一帶。



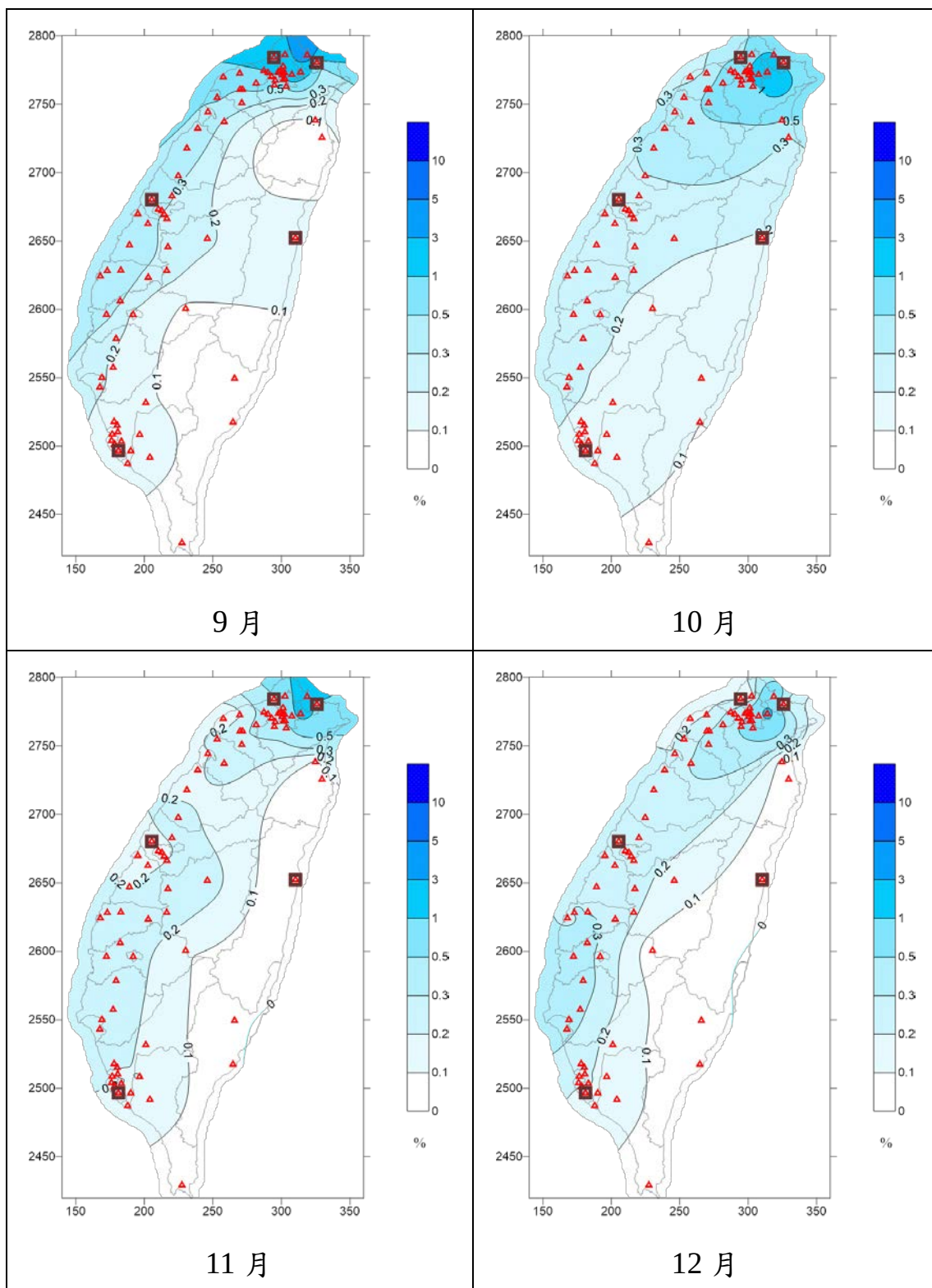
資料來源：本研究彙整。

圖 5.16 基隆港 2013 年 PM_{2.5}逐月影響(1/3)



資料來源：本研究彙整。

圖 5.16 基隆港 2013 年 PM_{2.5}逐月影響(2/3)



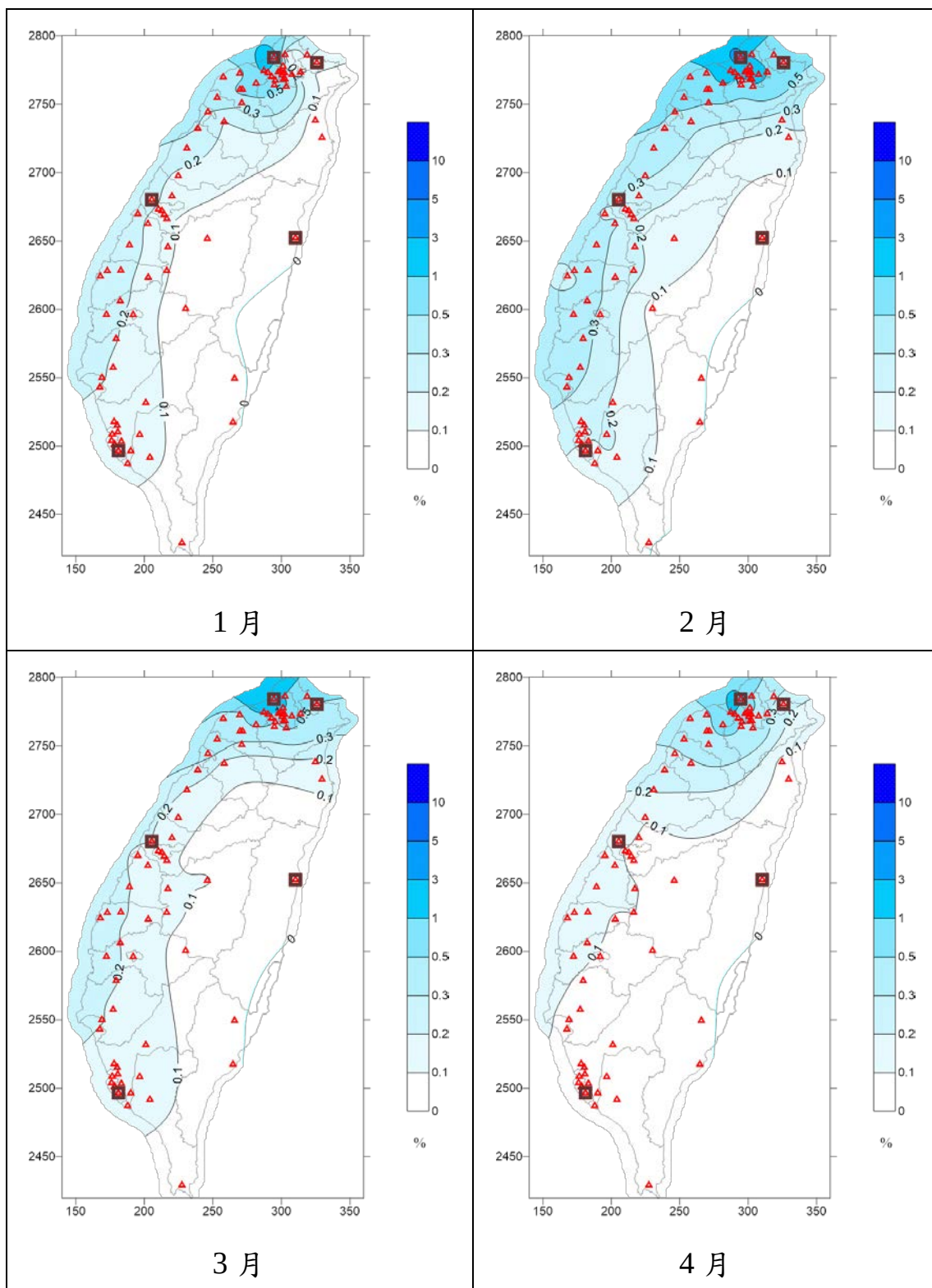
資料來源：本研究彙整。

圖 5.16 基隆港 2013 年 PM_{2.5}逐月影響(3/3)

臺北港：

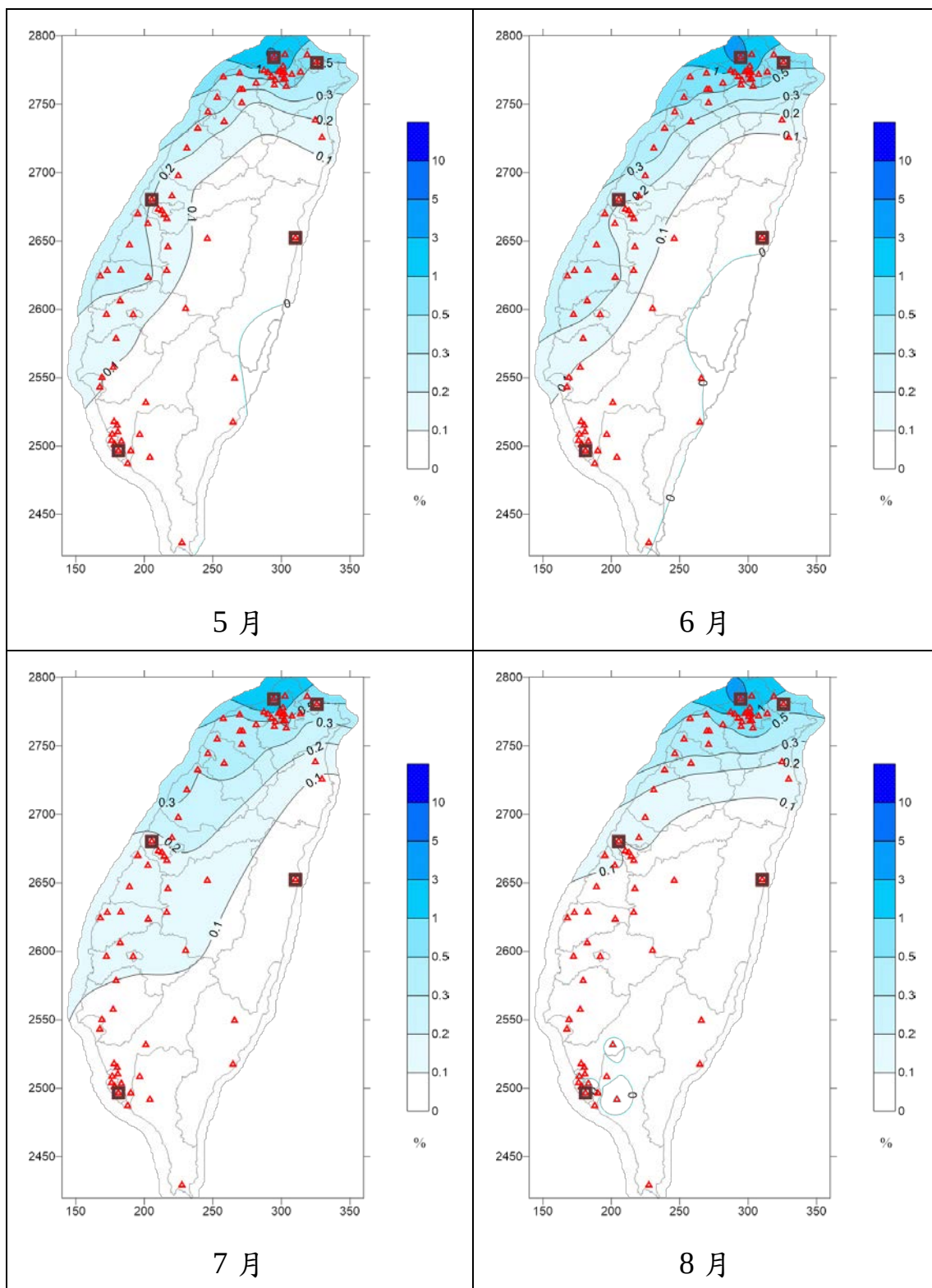
如圖 5.17 為臺北港逐月排放影響，其中細懸浮微粒 PM2.5 逐月最大貢獻比例 1 月至 12 月中，1 月最高值為淡水站之 1.36%，其次為林口站之 1.05%，第三高則為泰山站之 0.96%；2 月最高值為淡水站之 4.08%，其次為泰山站之 1.90%，第三高則為士林站之 1.86%；3 月最高值為淡水站之 2.93%，其次為士林站之 1.10%，第三高則為林口站之 1.06%；4 月最高值為淡水站之 1.17%，其次為泰山站之 1.02%，第三高則為林口站之 1.01%；5 月最高值為淡水站之 3.81%，其次為陽明站之 1.47%，第三高則為士林站之 1.35%；6 月最高值為淡水站之 4.71%，其次為士林站之 1.52%，第三高則為陽明站之 1.51%；7 月最高值為淡水站之 3.22%，其次為陽明站之 1.45%，第三高則為士林站之 1.23%；8 月最高值為淡水站之 4.50%，其次為陽明站之 1.72%，第三高則為士林站之 1.52%；9 月最高值為大園站之 0.71%，其次為觀音站之 0.52%，第三高則為林口站之 0.42%；10 月最高值為林口站之 0.75%，其次為桃園及大園站之 0.49%，第三高則為湖口站之 0.43%；11 月最高值為林口站之 0.59%，其次為泰山站之 0.50%，第三高則為大園站之 0.34%；12 月最高值為林口站之 0.38%，其次為大園站之 0.29%，第三高則為桃園站之 0.24%。

臺北港位於淡水河出海口，鄰近桃園市周邊，所以臺北港之污染物排放，其逐月影響主要範圍為桃園北邊及新北市西邊靠海一帶。



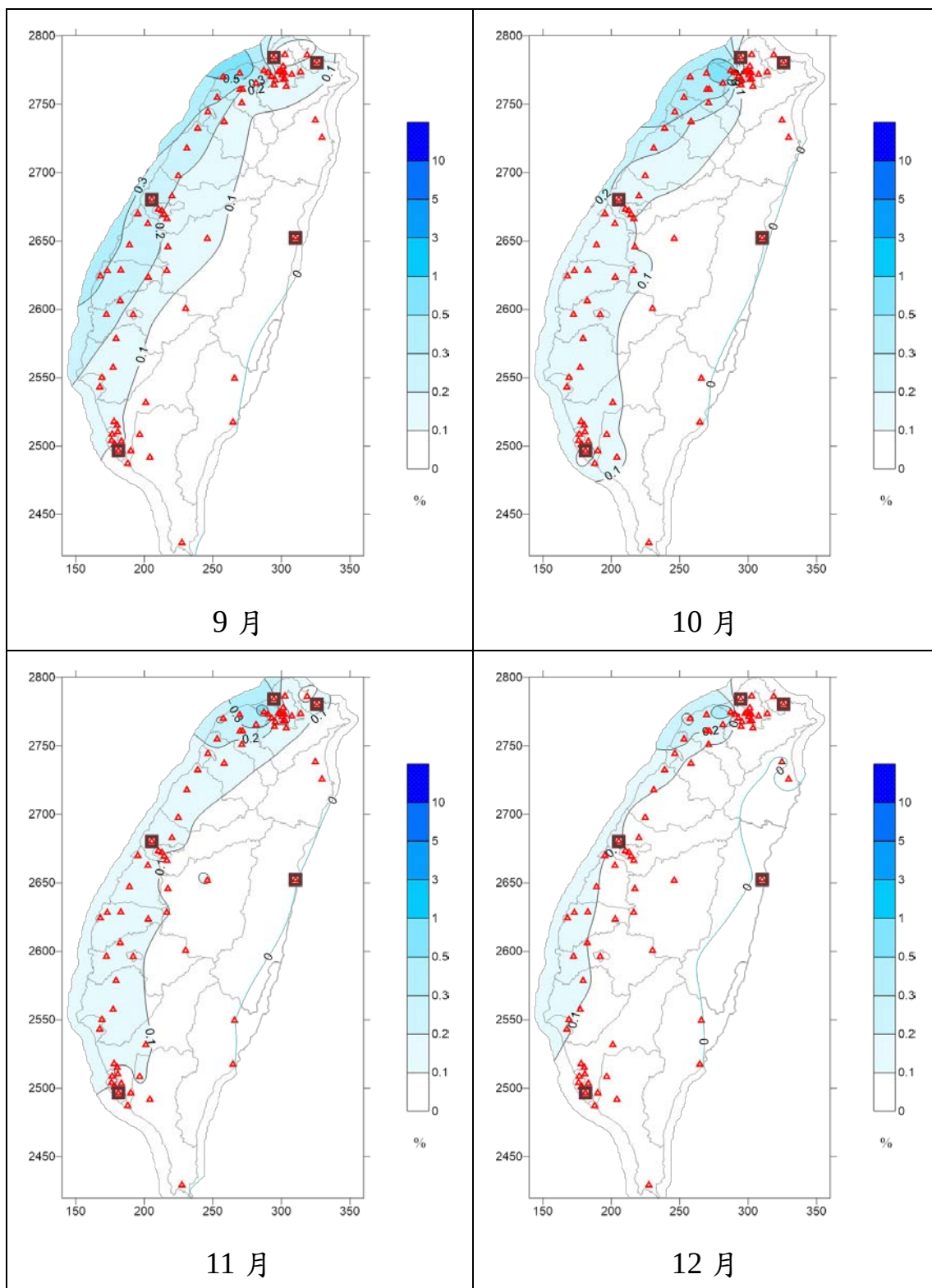
資料來源：本研究彙整。

圖 5.17 臺北港 2013 年 PM_{2.5}逐月影響(1/3)



資料來源：本研究彙整。

圖 5.17 臺北港 2013 年 PM_{2.5}逐月影響(2/3)



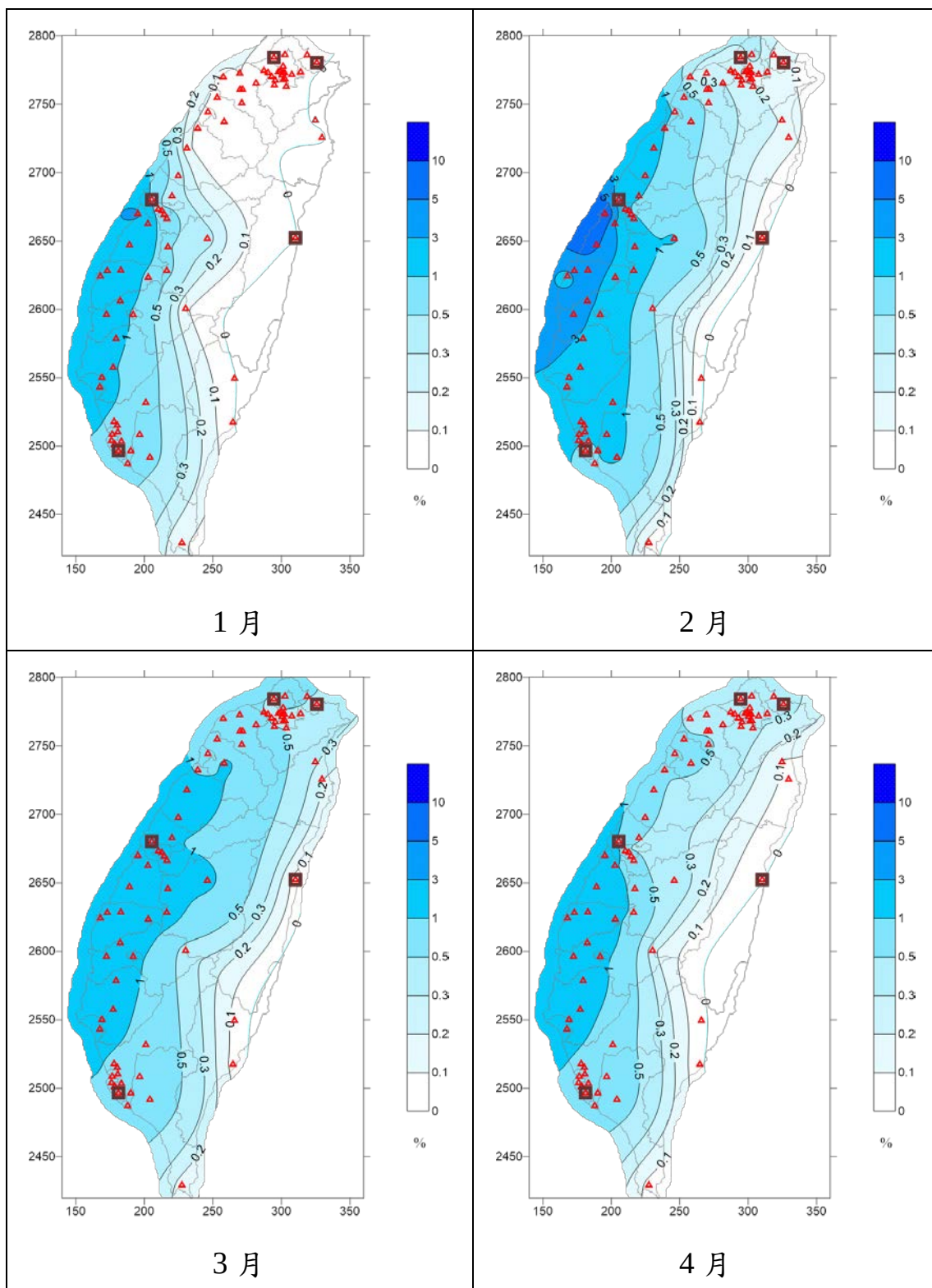
資料來源：本研究彙整。

圖 5.17 臺北港 2013 年 PM_{2.5}逐月影響(3/3)

臺中港：

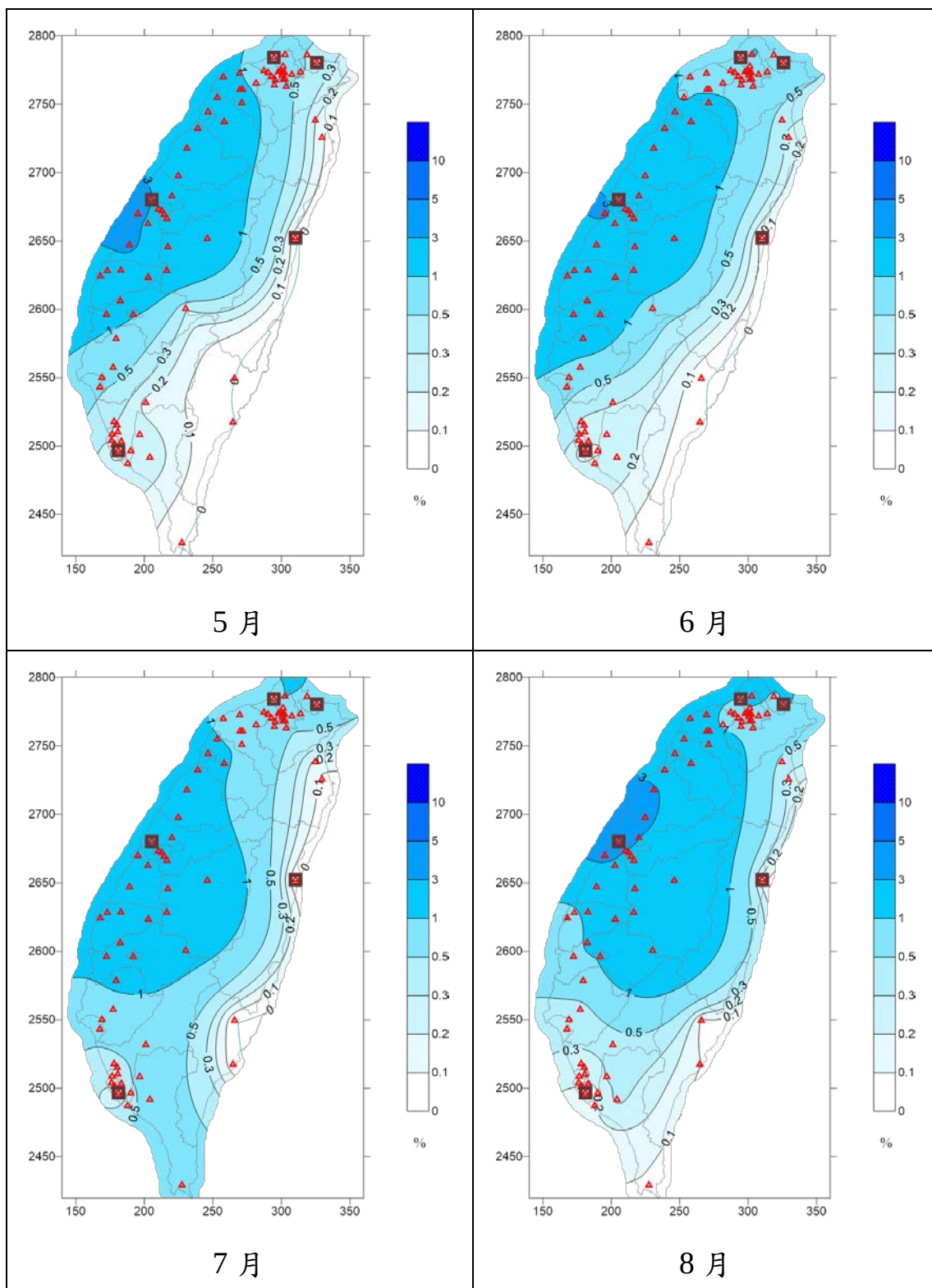
如圖 5.18 為臺中港逐月排放影響，其中細懸浮微粒 PM2.5 逐月最大貢獻比例 1 月至 12 月中，1 月最高值為線西站之 3.35%，其次為二林站之 2.19%，第三高則為崙背站之 2.07%；2 月最高值為線西站之 7.86%，其次為二林站之 5.28%，第三高則為崙背站之 4.49%；3 月最高值為線西站之 2.75%，其次為二林站之 2.05%，第三高則為沙鹿站之 2.04%；4 月最高值為線西站之 2.89%，其次為二林站之 2.66%，第三高則為崙背站之 2.49%；5 月最高值為線西站之 3.99%，其次為二林站之 3.26%，第三高則為沙鹿站之 3.09%；6 月最高值為線西站之 3.31%，其次為沙鹿站之 2.63%，第三高則為苗栗站之 2.44%；7 月最高值為線西站之 2.87%，其次為竹山站之 2.77%，第三高則為沙鹿站之 2.76%；8 月最高值為沙鹿站之 4.89%，其次為線西站之 3.50%，第三高則為三義站之 3.30%；9 月最高值為線西站之 2.64%，其次為二林站之 2.36%，第三高則為崙背站之 2.26%；10 月最高值為二林站之 1.81%，其次為麥寮站之 1.78%，第三高則為線西站之 1.70%；11 月最高值為線西站之 1.72%，其次為朴子及二林站之 1.59%，第三高則為麥寮站之 1.57%；12 月最高值為線西站之 1.13%，其次為麥寮站之 1.07%，第三高則為朴子站之 1.00%。

臺中港位於臺灣西半部沿海中間區域，故其影響主要範圍為中部沿海一帶，北至桃園、新北，南至臺南、高雄地區，其中 5 月至 9 月期間，影響甚至可達到南投地區。



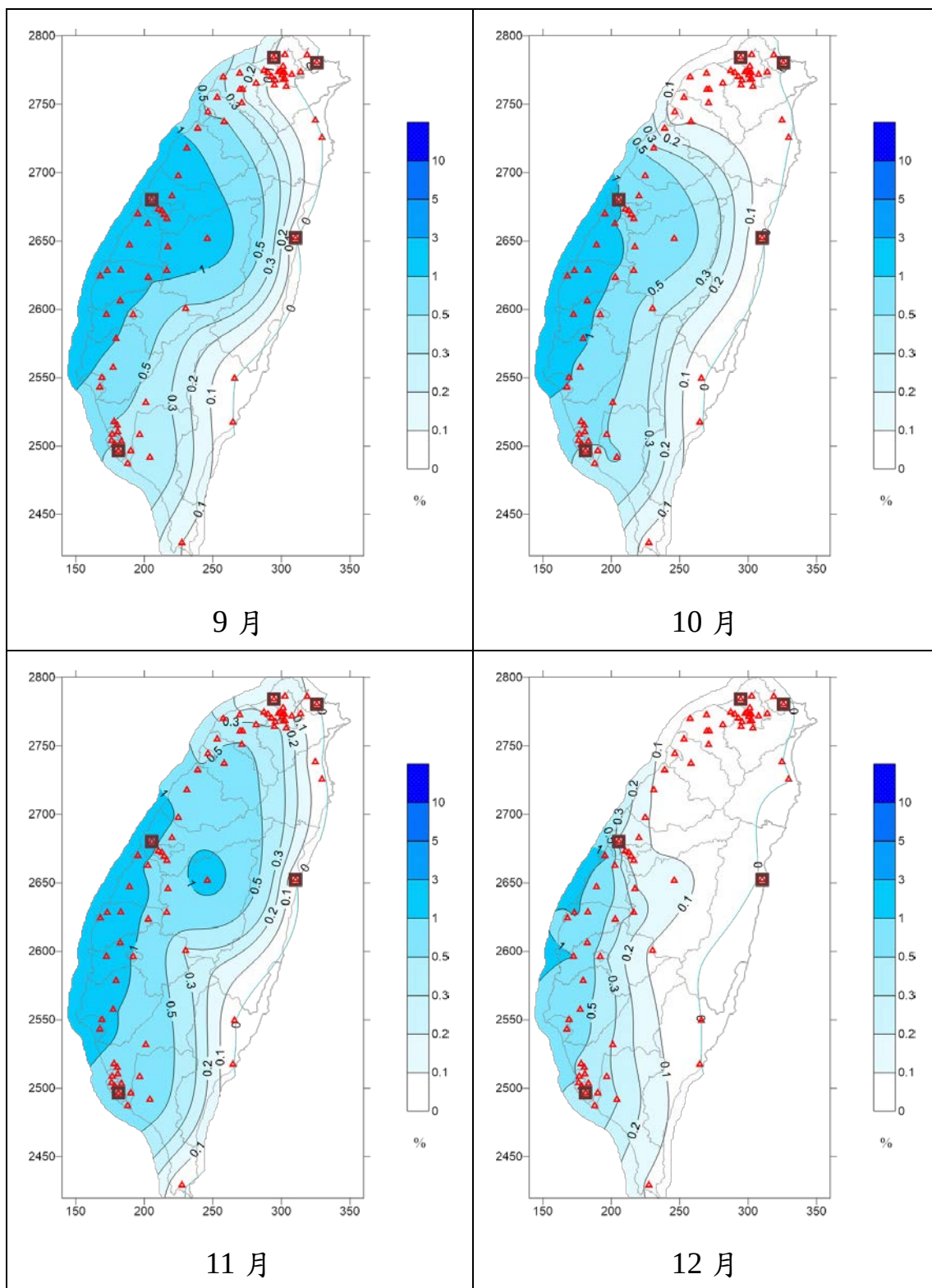
資料來源：本研究彙整。

圖 5.18 臺中港 2013 年 PM_{2.5}逐月影響(1/3)



資料來源：本研究彙整。

圖 5.18 臺中港 2013 年 PM_{2.5}逐月影響(2/3)



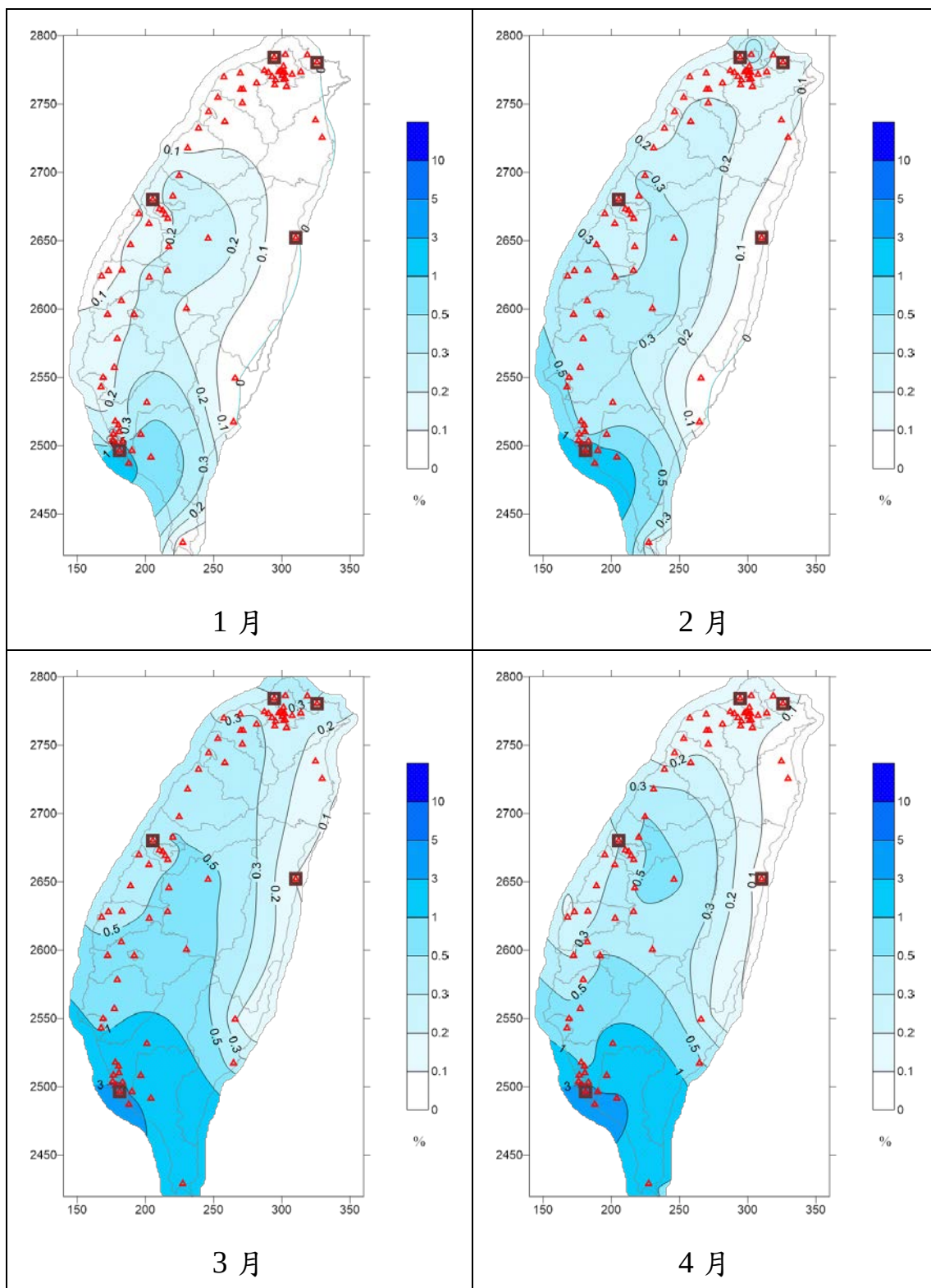
資料來源：本研究彙整。

圖 5.18 臺中港 2013 年 PM_{2.5}逐月影響(3/3)

高雄港：

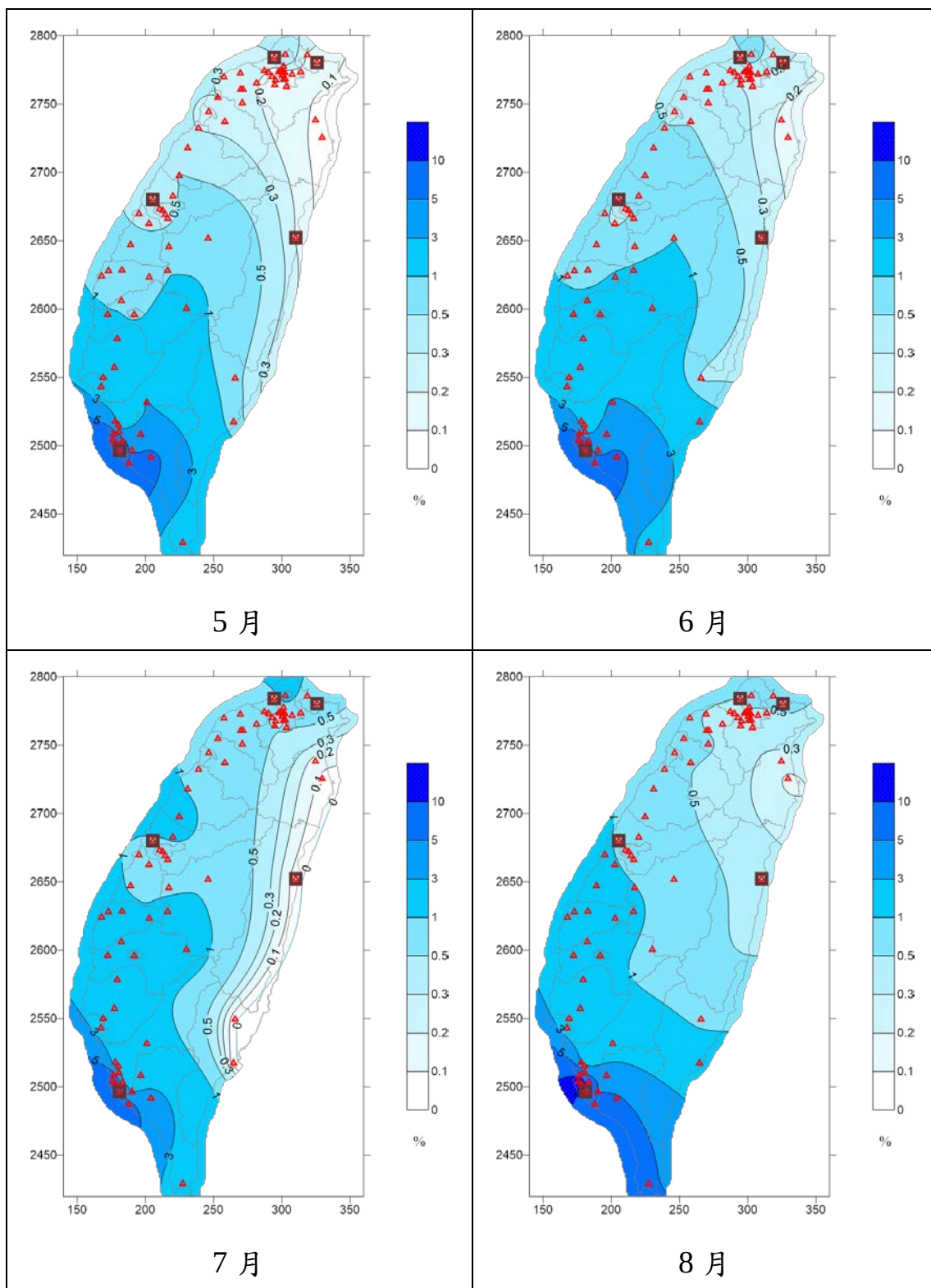
如圖 5.19 為高雄港逐月排放影響，其中細懸浮微粒 $PM_{2.5}$ 逐月最大貢獻比例 1 月至 12 月中，1 月最高值為小港站之 2.02%，其次為林園站之 1.14%，第三高則為潮州站之 0.86%；2 月最高值為小港站之 3.18%，其次為林園站之 2.39%，第三高則為前鎮及復興站之 1.29%；3 月最高值為小港站之 4.51%，其次為林園站之 3.75%，第三高則為前鎮及復興站之 3.71%；4 月最高值為小港站之 5.33%，其次為林園站之 4.34%，第三高則為前鎮及復興站之 3.68%；5 月最高值為前鎮及復興站之 10.31%，其次為前金站之 9.10%，第三高則為左營站之 6.76%；6 月最高值為前鎮及復興站之 9.82%，其次為前金站之 7.68%，第三高則為林園站之 6.17%；7 月最高值為前金站之 8.67%，其次為前鎮及復興站之 8.46%，第三高則為左營站之 6.24%；8 月最高值為前鎮及復興站之 14.15%，其次為前金站之 12.42%，第三高則為左營站之 8.88%；9 月最高值為潮州站之 7.02%，其次為前鎮及復興站之 6.74%，第三高則為小港站之 6.42%；10 月最高值為小港站之 4.65%，其次為前鎮及復興站之 4.33%，第三高則為潮州站之 4.02%；11 月最高值為小港站之 3.93%，其次為林園站之 3.06%，第三高則為潮州站之 2.04%；12 月最高值為小港站之 2.65%，其次為林園站之 1.83%，第三高則為屏東站之 1.32%。

高雄港位於臺灣西南部高雄市海岸線上，所以其主要影響範圍為南高屏地區一帶，且當中 1%等值線在 6 月至 8 月期間時，往北最遠則可達臺灣中部之中彰投地區。



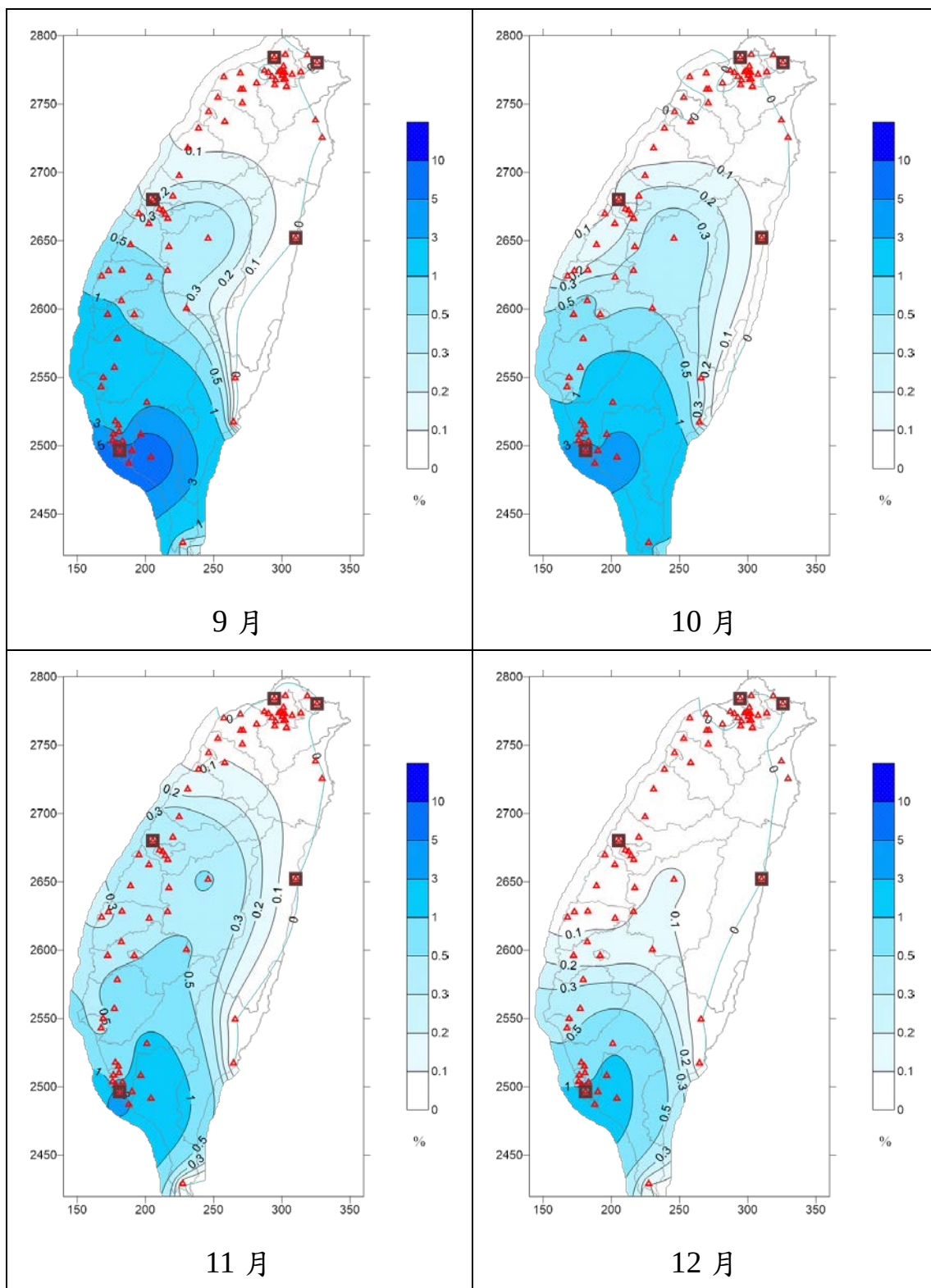
資料來源：本研究彙整。

圖 5.19 高雄港 2013 年 PM_{2.5}逐月影響(1/3)



資料來源：本研究彙整。

圖 5.19 高雄港 2013 年 PM_{2.5}逐月影響(2/3)



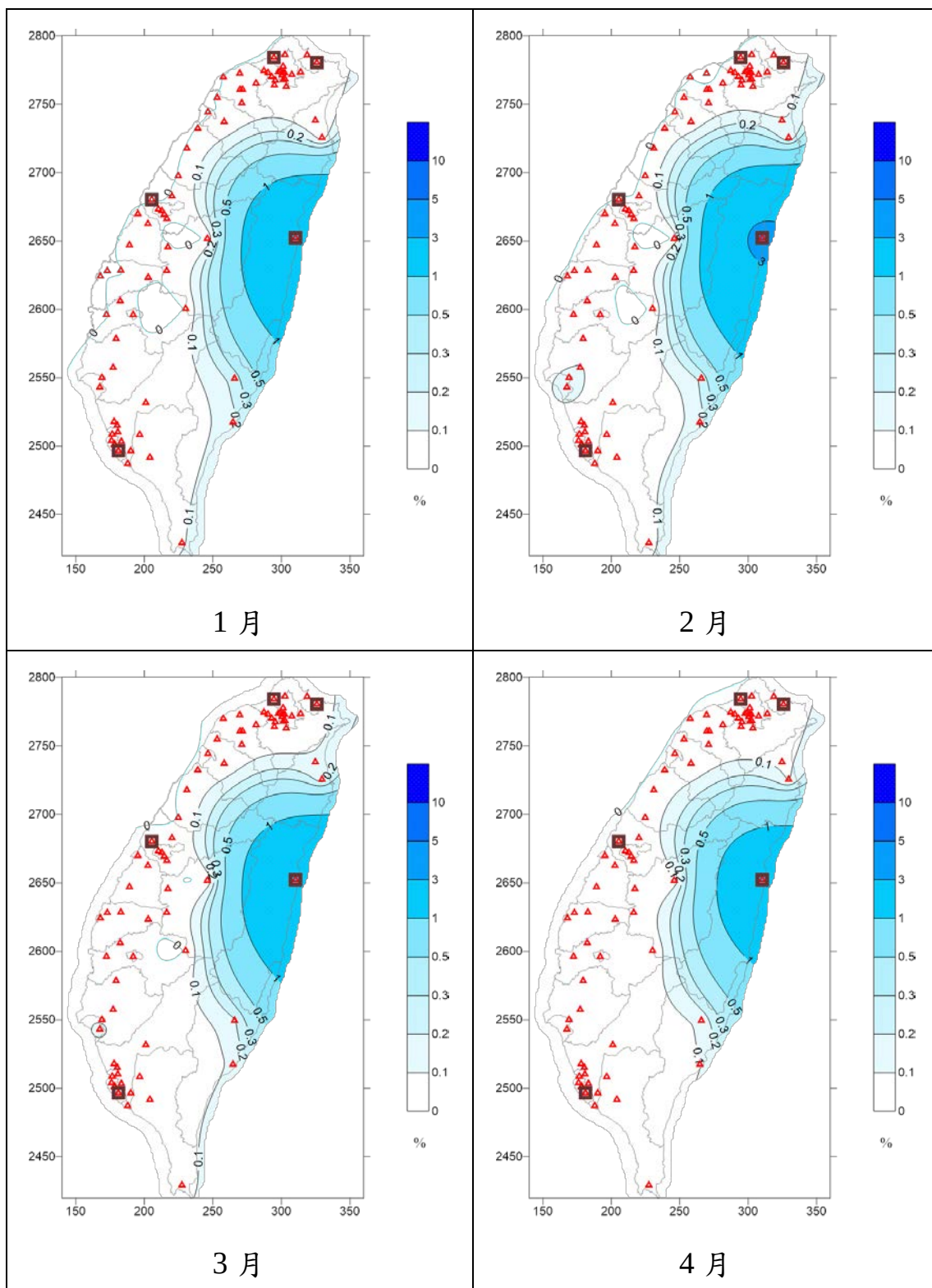
資料來源：本研究彙整。

圖 5.19 高雄港 2013 年 PM_{2.5}逐月影響(3/3)

花蓮港：

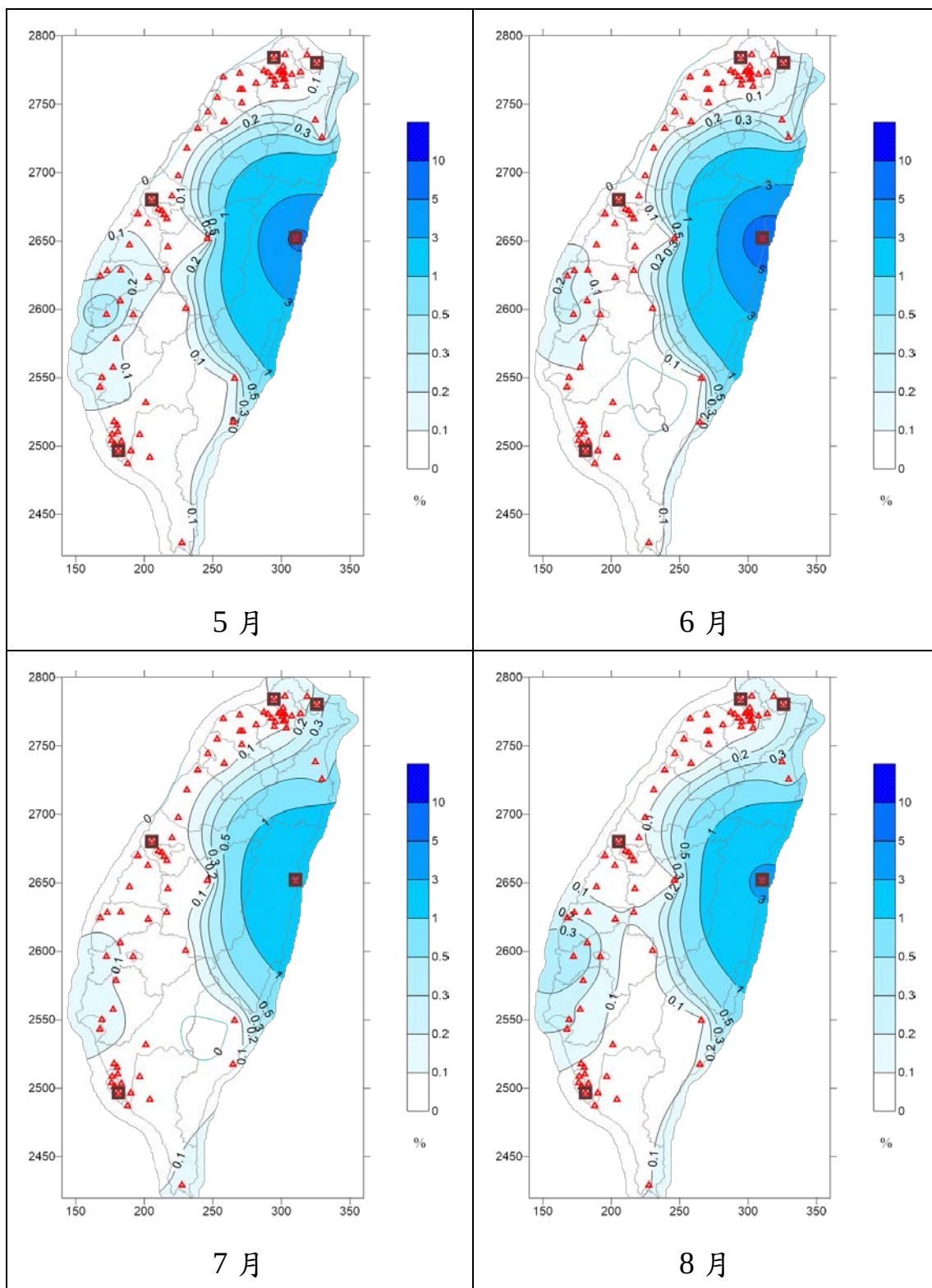
如圖 5.20 為花蓮港逐月排放影響，細懸浮微粒 PM_{2.5} 逐月最大貢獻比例 1 月至 12 月中，最高值均為花蓮測站，逐月貢獻比例依序為 2.81%、3.68%、2.76%、2.20%、5.52%、6.59%、2.86%、3.58%、3.54%、2.94%、2.94%及 2.65%；且 1 月次高值為關山站之 0.25%，第三高則為臺東站之 0.17%；2 月次高值為關山站之 0.23%，第三高則為臺東站之 0.16%；3 月次高值為關山站之 0.19%，第三高則為冬山站之 0.14%；4 月次高值為關山站之 0.13%，第三高則為臺東站之 0.09%；5 月次高值為朴子站之 0.42%，第三高則為新港站之 0.28%；6 月次高值為朴子站之 0.24%，第三高則為宜蘭站之 0.22%；7 月次高值為宜蘭站之 0.45%，第三高則為冬山站之 0.43%；8 月次高值為朴子站之 0.50%，第三高則為宜蘭站之 0.34%；9 月次高值為關山站之 0.28%，第三高則為臺西站之 0.18%；10 月次高值為關山站之 0.21%，第三高則為臺東站之 0.10%；11 月次高值為關山站之 0.13%，第三高則為臺東站之 0.10%；12 月次高值為關山站之 0.16%，第三高則為臺東站之 0.11%。

花蓮港地處臺灣東海岸，位於中央山脈以東，面向太平洋，在三面環山的地形限制下，由於位置相對處於背風處，所以遭受季風的影響較小，導致污染物不易擴散影響其他區域。因此，花蓮港之污染物排放，其主要影響範圍為北至宜蘭，南至臺東地區之臺灣東半部地區。



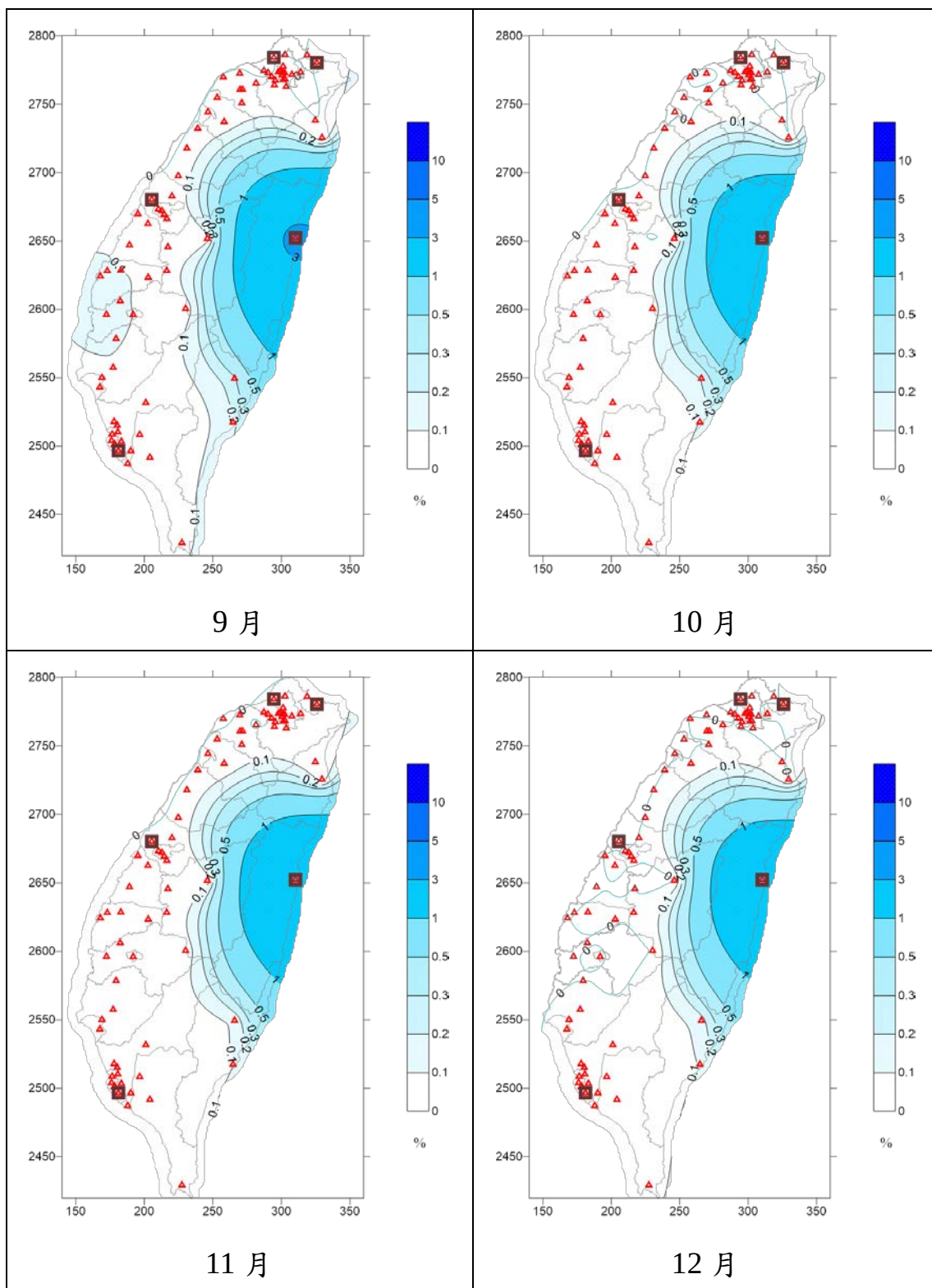
資料來源：本研究彙整。

圖 5.20 花蓮港 2013 年 PM_{2.5}逐月影響(1/3)



資料來源：本研究彙整。

圖 5.20 花蓮港 2013 年 PM_{2.5}逐月影響(2/3)



資料來源：本研究彙整。

圖 5.20 花蓮港 2013 年 PM_{2.5}逐月影響(3/3)

5.4 CMAQ-ISAM 模式模擬結果

ISAM 為 CMAQ 底下之特殊模組之一，當標記污染物於不同地區下之模擬時，可直接獲取模擬結果，不同於 ZERO-OUT 方法，須得到所有污染物的影響與拿掉目標排放量影響之差值，適用在需要直接獲得模擬結果之案例中，缺點則為單次模擬時間較長，但只須執行一次，不用重複模擬兩次的差值，故整體可縮短模擬的期程。例如，若以前述章節提過之 ZERO-OUT 方法想知道基隆港排放之影響，則必須先跑完所有污染物的模擬，再扣掉移除基隆港污染物模擬的結果，兩者之間的差值即為基隆港污染物排放的影響；然而 ISAM 方法則只要單獨且直接模擬基隆港的排放結果，即可知道基隆港的影響。

以下就港口排放污染物、臺灣周遭海域依區域劃分排放影響以及各區域排放每噸污染物之貢獻比例，說明如下。

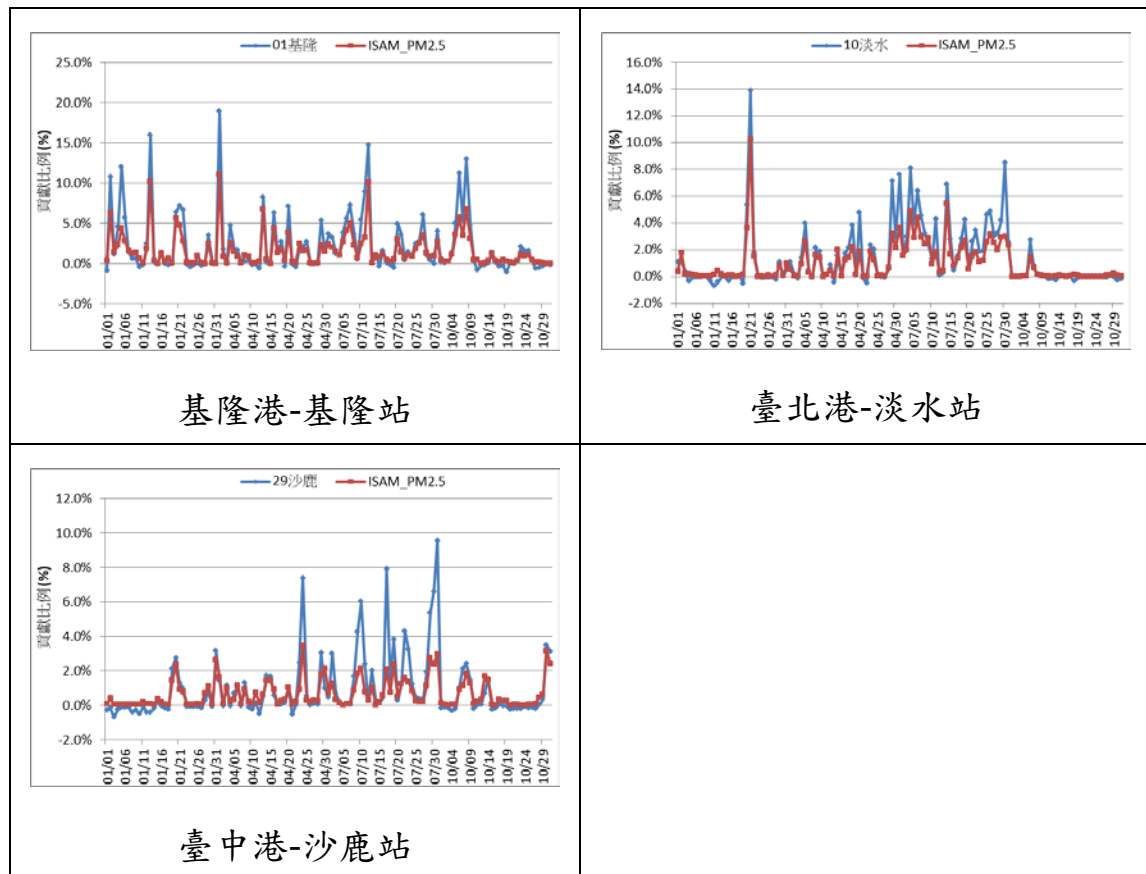
5.4.1 港口污染物排放比較

將 2013 年基隆港、臺北港、臺中港及高雄港等港口之污染物排放，以 CMAQ-ISAM 模組模擬各港排放對於各測站之間的影響，並將模擬結果與前述 5.3 節以 ZERO-OUT 方式模擬之結果比較；其中 ISAM 模擬時並無 NH_3 的影響。並以鄰近各港口最近之測站挑出模擬結果比較之，其中基隆港以基隆站為代表，臺北港則以淡水站，臺中港為沙鹿站。

以下就細懸浮微粒($\text{PM}_{2.5}$)、硫酸鹽(SO_4^{-2})、硝酸鹽(NO_3^-)及原生性污染物模擬結果，說明如下：

細懸浮微粒(PM_{2.5})：

如圖 5.21，基隆站貢獻比例最高為 4 月 1 日之 11.10%，次之為 1 月 13 日之 10.19%，第三高為 7 月 12 日之 10.06%，模擬期間各月均有高值對應出現；淡水站貢獻比例最高為 1 月 21 日之 10.28%，次之為 7 月 14 日之 5.46%，第三高為 7 月 4 日之 4.90%，於四月及七月期間有高值出現；沙鹿站貢獻比例最高為 4 月 24 日之 3.46%，次之為 10 月 30 日之 3.17%，第三高為 7 月 31 日之 2.97%，於四月及七月高值期間有相對偏低之現象。

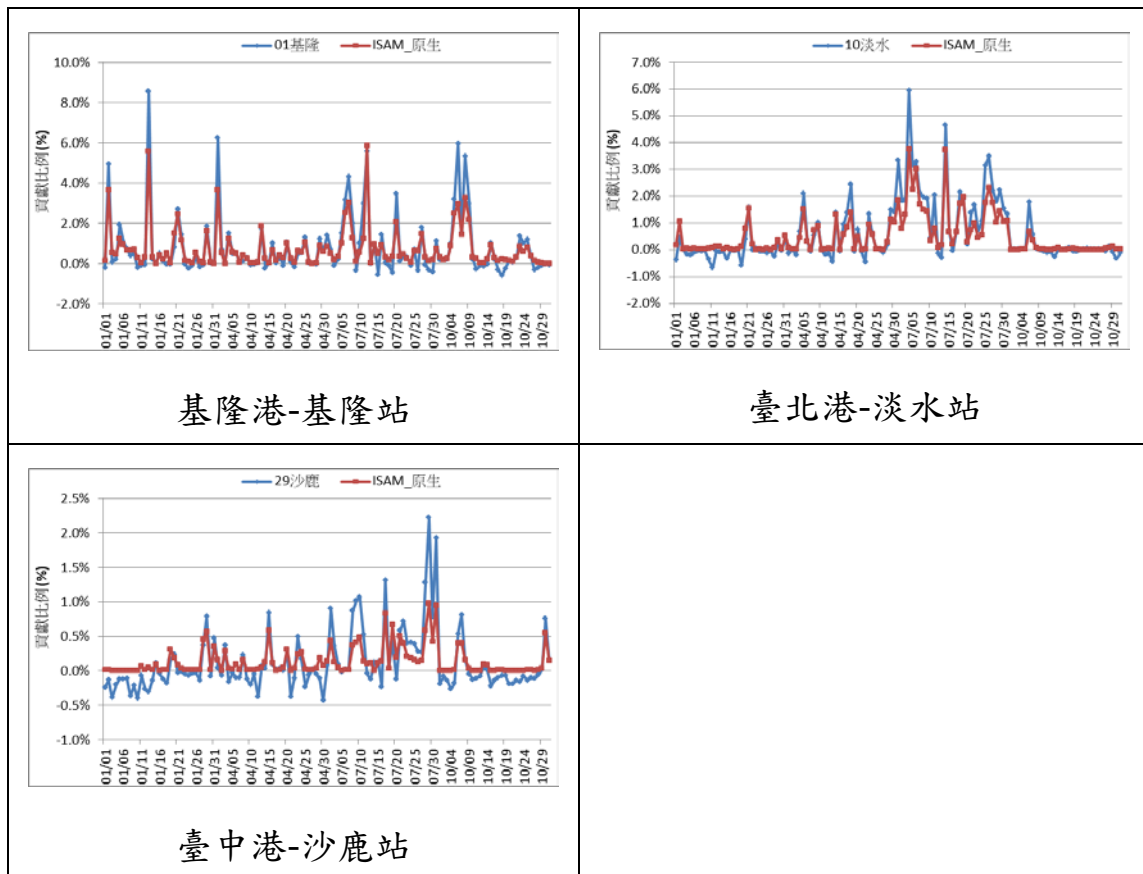


資料來源：本研究彙整。

圖 5.21 港口排放影響比較-細懸浮微粒

原生性：

如圖 5.22，基隆站貢獻比例最高為 7 月 12 日之 5.87%，次之為 1 月 13 日之 5.58%，第三高為 4 月 1 日之 3.67%，模擬期間各月均有對應之高值出現；淡水站貢獻比例最高為 7 月 4 日之 3.78%，次之為 7 月 14 日之 3.75%，第三高為 7 月 6 日之 3.04%，於四月及七月高值期間有對應之高值出現；沙鹿站貢獻比例最高為 7 月 29 日之 0.98%，次之為 7 月 31 日之 0.94%，第三高為 7 月 17 日之 0.84%，於七月高值期間有相對偏低之現象。

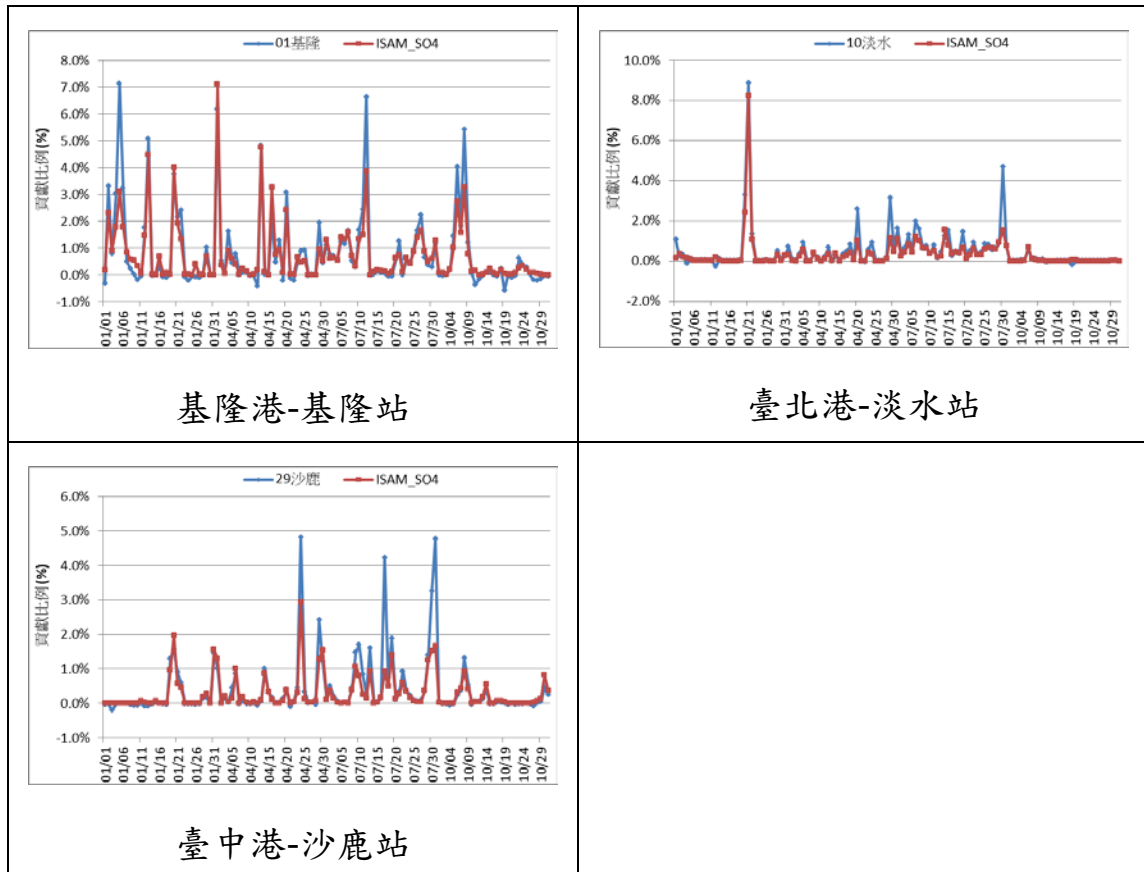


資料來源：本研究彙整。

圖 5.22 港口排放影響比較-原生性

硫酸鹽(SO_4^{2-})：

如圖 5.23，基隆站貢獻比例最高為 4 月 1 日之 7.12%，次之為 4 月 13 日之 4.77%，第三高為 1 月 13 日之 4.49%，模擬期間各月均有對應之高值出現；淡水站貢獻比例最高為 1 月 21 日之 8.27%，次之為 1 月 20 日之 2.42%，第三高為 7 月 14 日之 1.56%，模擬期間對應之高值均有出現；沙鹿站貢獻比例最高為 4 月 24 日之 2.93%，次之為 1 月 20 日之 1.97%，第三高為 7 月 31 日之 1.67%，於四月及七月高值期間有相對偏低之現象。

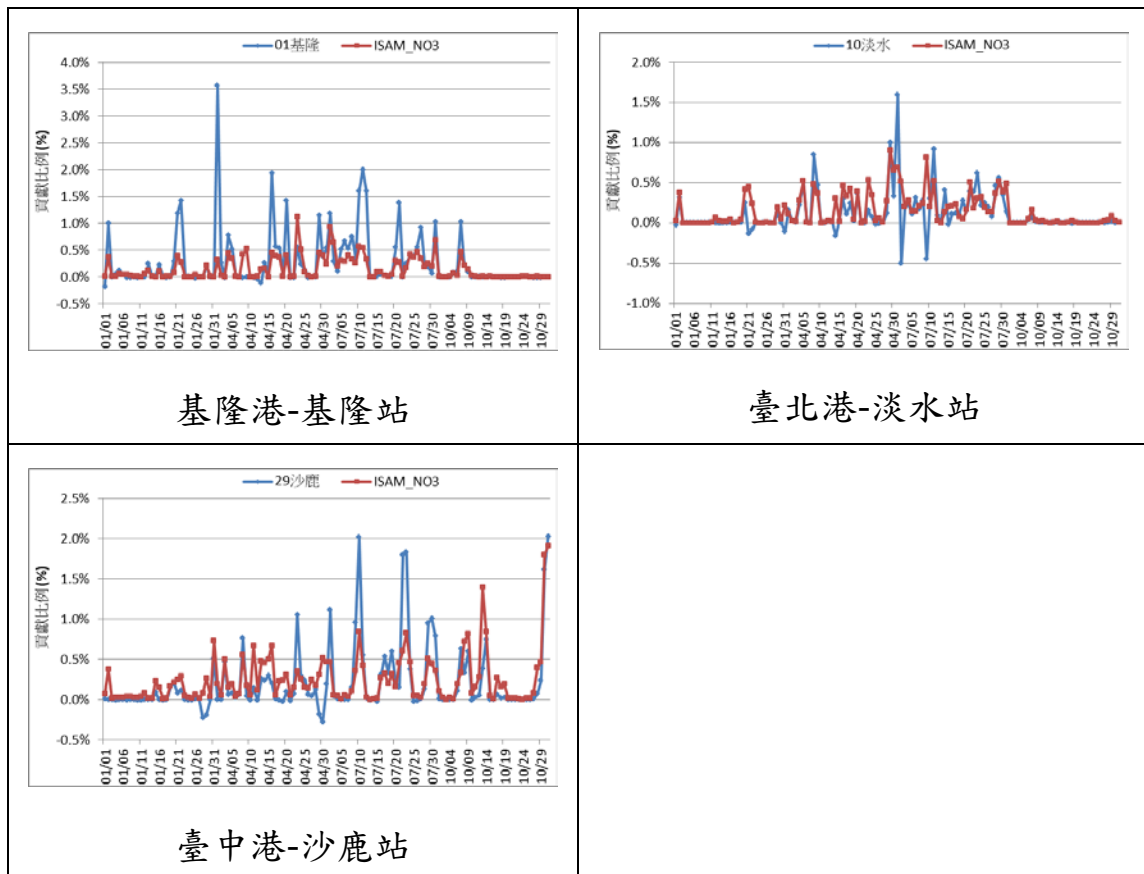


資料來源：本研究彙整。

圖 5.23 港口排放影響比較-硫酸鹽

硝酸鹽(NO_3^-)：

如圖 5.24，基隆站貢獻比例最高為 4 月 23 日之 1.12%，次之為 7 月 2 日之 0.94%，第三高為 7 月 31 日之 0.68%，模擬期間對應之高值有偏低之現象；淡水站貢獻比例最高為 4 月 29 日之 0.91%，次之為 7 月 9 日之 0.82%，第三高為 7 月 1 日之 0.70%，於四月及七月期間有對應之高值出現；沙鹿站貢獻比例最高為 10 月 31 日之 1.91%，次之為 10 月 30 日之 1.80%，第三高 10 月 13 日之 1.39%，於四月及七月高值期間有相對偏低之現象，十月則有對應之高值出現。



資料來源：本研究彙整。

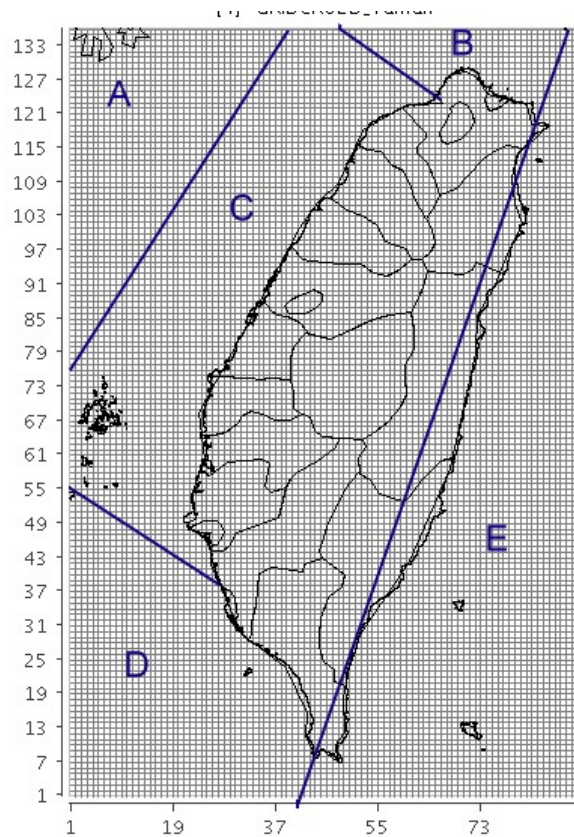
圖 5.24 港口排放影響比較-硝酸鹽

5.4.2 區域排放影響

將臺灣周遭海域依序劃分為 A、B、C、D、E 五個區域，其中海峽中線以西海域為區域 A，臺灣北海岸以北海域為區域 B，臺灣西海岸近岸海域為區域 C，臺灣西南海岸以南海域為區域 D，而臺灣東海岸以東靠近太平洋西側海域則為區域 E，各區域分布範圍如圖 5.25 所示。

若將各區域船舶排放量以 CMAQ 模式模擬對全臺各測站之影響，如區域 A 對測站之濃度影響為 a，區域 B 對測站之濃度影響為 b，區域 C 對測站之濃度影響為 c，區域 D 對測站之濃度影響為 d，區域 E 對測站之濃度影響為 e，則區域 A 排放量對測站之貢獻比例為 $a / (a + b + c + d + e)$ ，各區域排放量影響空品區結果如表 5-7 所示。

其中區域 A 影響空品區最高為中部空品區之 7.14%，其次為雲嘉南空品區 6.76%；區域 B 影響空品區最高為北部空品區之 50.16%，其次為竹苗空品區之 33.14%；區域 C 影響空品區最高為雲嘉南空品區之 46.37%，其次為中部空品區之 43.12%；區域 D 影響空品區最高為高屏空品區之 36.07%，其次為雲嘉南空品區之 20.39%；區域 E 影響空品區最高為北部空品區之 76.33%，其次為宜蘭空品區之 54.10%。由表中模擬結果顯示，船舶排放距離臺灣本島愈遠則其影響愈低，如區域 A 排放之貢獻影響即遠低於臺灣周遭海域船舶排放之影響。



資料來源：本研究彙整。

圖 5.25 排放量區域分布

表 5-7 各區域排放量影響

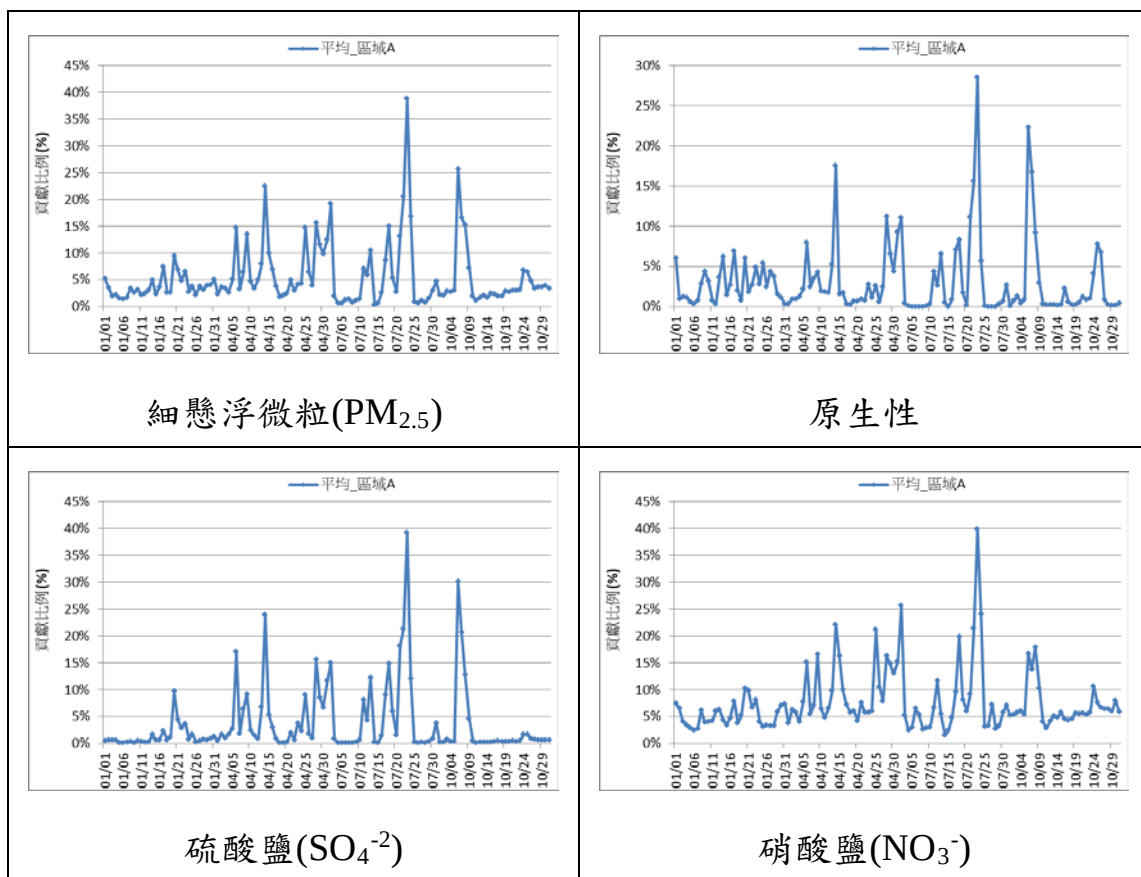
貢獻比例	北部	竹苗	中部	雲嘉南	高屏	宜蘭	花東
區域 A	4.77%	5.95%	7.14%	6.76%	4.78%	4.32%	2.03%
區域 B	50.16%	33.14%	26.35%	19.05%	13.56%	27.88%	11.30%
區域 C	25.82%	42.05%	43.12%	46.37%	33.17%	8.92%	4.07%
區域 D	6.63%	10.09%	16.68%	20.39%	36.07%	4.77%	6.26%
區域 E	12.62%	8.76%	6.71%	7.44%	12.41%	54.10%	76.33%

資料來源：本研究彙整。

將模擬期間各區域之結果繪製成圖，各區域結果說明如下：

區域 A：

如圖 5.26，細懸浮微粒貢獻比例介於 0.37% ~ 38.88% 之間，其中最高為 7 月 23 日之 38.88%，次之為 10 月 6 日之 25.74%，第三高為 4 月 14 日之 22.54%；原生性污染物貢獻比例介於 0.00% ~ 28.52% 之間，其中最高為 7 月 23 日之 28.52%，次之為 10 月 6 日之 22.27%，第三高為 4 月 14 日之 17.53%；硫酸鹽貢獻比例介於 0.07% ~ 39.29% 之間，其中最高為 7 月 23 日之 39.29%，次之為 10 月 6 日之 30.16%，第三高為 4 月 14 日之 23.94%；硝酸鹽貢獻比例介於 1.50% ~ 39.90% 之間，其中最高為 7 月 23 日之 39.90%，次之為 7 月 2 日之 25.67%，第三高為 7 月 24 日之 24.16%。由於區域 A 位於海峽中線左側，距離臺灣本島較遠，故其排放量影響本島比例較低，唯四月與七月部分天數影響稍高。

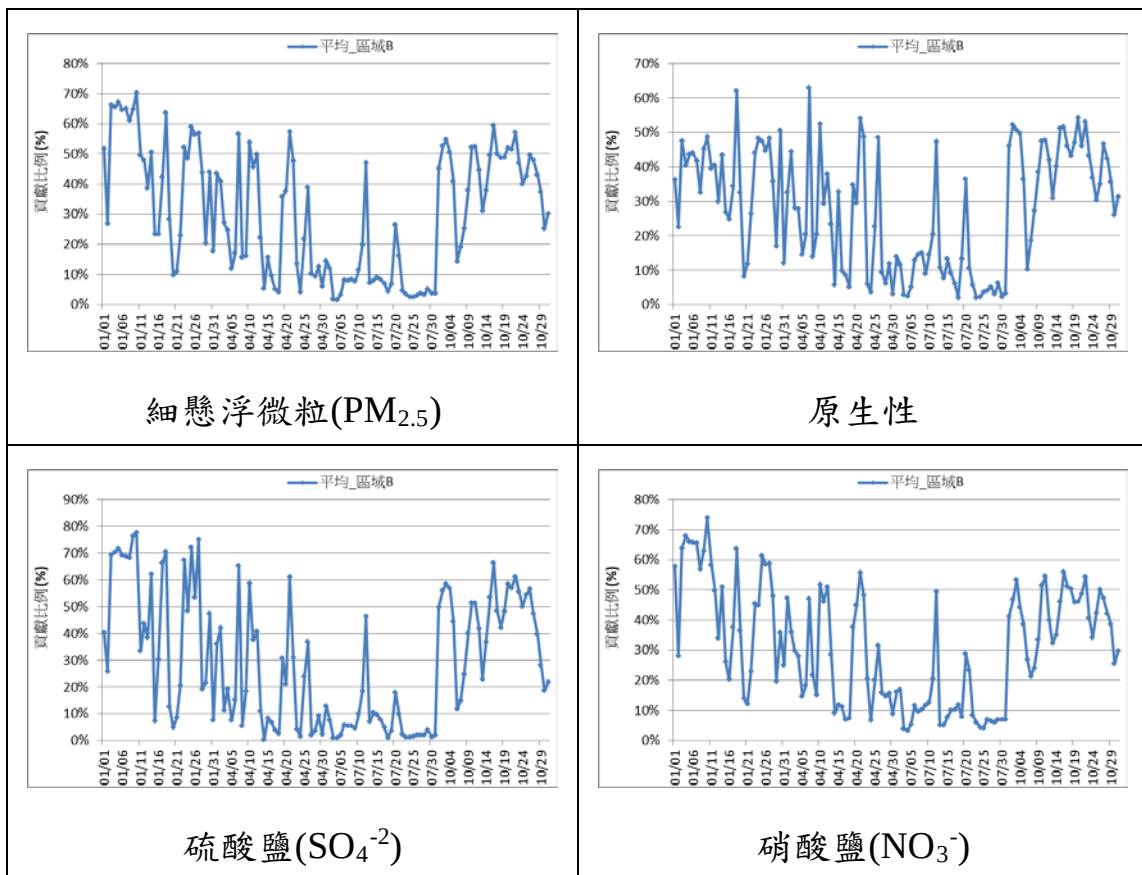


資料來源：本研究彙整。

圖 5.26 區域 A 影響

區域 B：

如圖 5.27，細懸浮微粒貢獻比例介於 1.57% ~ 70.26%之間，其中最高為 1 月 10 日之 70.26%，次之為 1 月 5 日之 67.18%，第三高為 1 月 3 日之 66.36%；原生性污染物貢獻比例介於 2.10% ~ 62.90%之間，其中最高為 4 月 7 日之 62.90%，次之為 1 月 18 日之 62.17%，第三高為 10 月 20 日之 54.25%；硫酸鹽貢獻比例介於 0.30% ~ 77.77%之間，其中最高為 1 月 10 日之 77.77%，次之為 1 月 9 日之 76.35%，第三高為 1 月 27 日之 74.95%；硝酸鹽貢獻比例介於 3.26% ~ 73.98%之間，其中最高為 1 月 10 日之 73.98%，次之為 1 月 4 日之 67.95%，第三高為 1 月 5 日之 66.07%。圖中顯示區域 B 於一月、四月、十月以及七月部分天數影響較高。

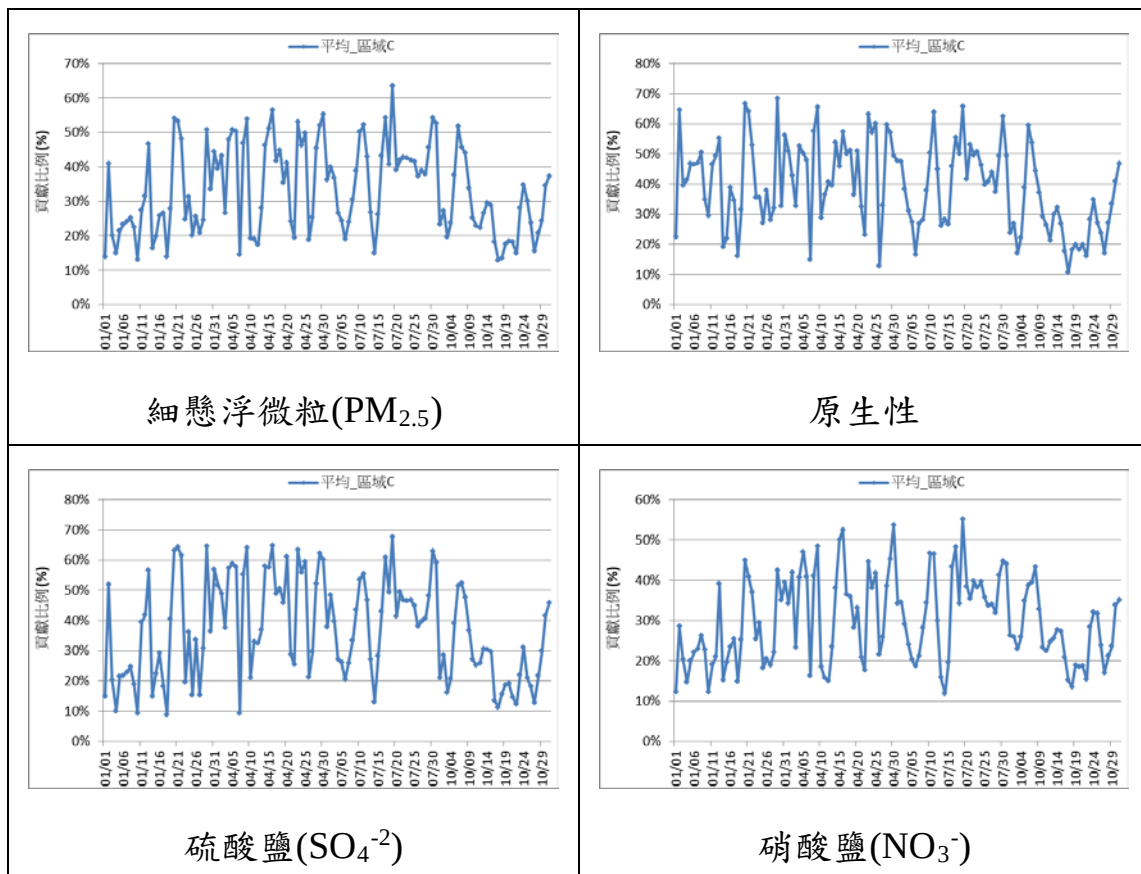


資料來源：本研究彙整。

圖 5.27 區域 B 影響

區域 C：

如圖 5.28，細懸浮微粒貢獻比例介於 12.94%~63.49%之間，其中最高為 7 月 19 日之 63.49%，次之為 4 月 16 日之 56.48%，第三高為 4 月 30 日之 55.26%；原生性污染物貢獻比例介於 10.64%~68.29%之間，其中最高為 1 月 29 日之 68.29%，次之為 1 月 20 日之 66.63%，第三高為 7 月 19 日之 65.71%；硫酸鹽貢獻比例介於 8.90%~67.75%之間，其中最高為 7 月 19 日之 67.75%，次之為 4 月 16 日之 64.80%，第三高為 1 月 29 日之 64.53%；硝酸鹽貢獻比例介於 11.86%~55.14%之間，其中最高為 7 月 19 日之 55.14%，次之為 4 月 30 日之 53.72%，第三高為 4 月 16 日之 52.56%。圖中顯示區域 C 於模擬期間均有較高之影響，唯十月部分天數影響有偏低之趨勢。

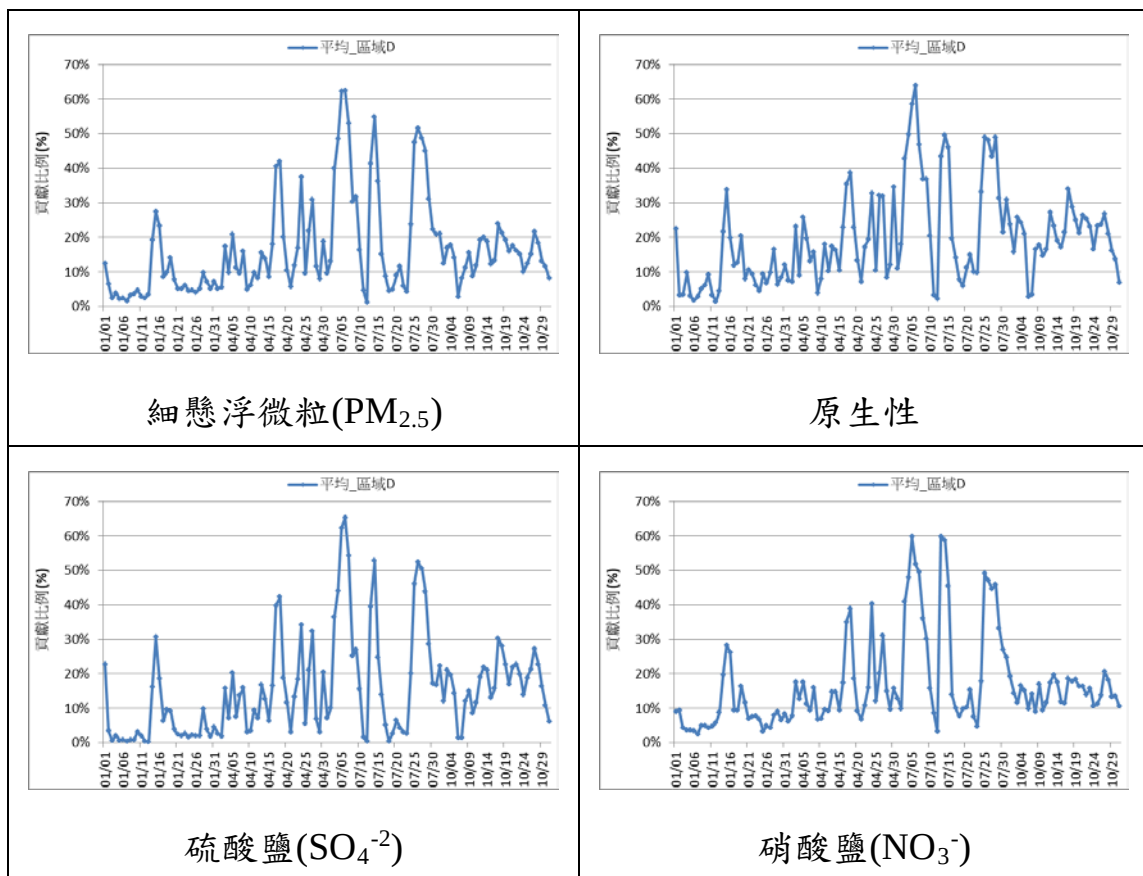


資料來源：本研究彙整。

圖 5.28 區域 C 影響

區域 D：

如圖 5.29，細懸浮微粒貢獻比例介於 1.10% ~ 62.57%之間，其中最高為 7 月 6 日之 62.57%，次之為 7 月 5 日之 62.27%，第三高為 7 月 14 日之 54.93%；原生性污染物貢獻比例介於 1.43% ~ 63.99%之間，其中最高為 7 月 6 日之 63.99%，次之為 7 月 5 日之 58.56%，第三高為 7 月 4 日之 49.71%；硫酸鹽貢獻比例介於 0.17% ~ 65.26%之間，其中最高為 7 月 6 日之 65.26%，次之為 7 月 5 日之 62.33%，第三高為 7 月 7 日之 54.34%；硝酸鹽貢獻比例介於 2.52% ~ 59.82%之間，其中最高為 7 月 5 日之 59.82%，次之為 7 月 13 日之 59.81%，第三高為 7 月 14 日之 58.83%。圖中顯示區域 D 於七月時有較高之影響。

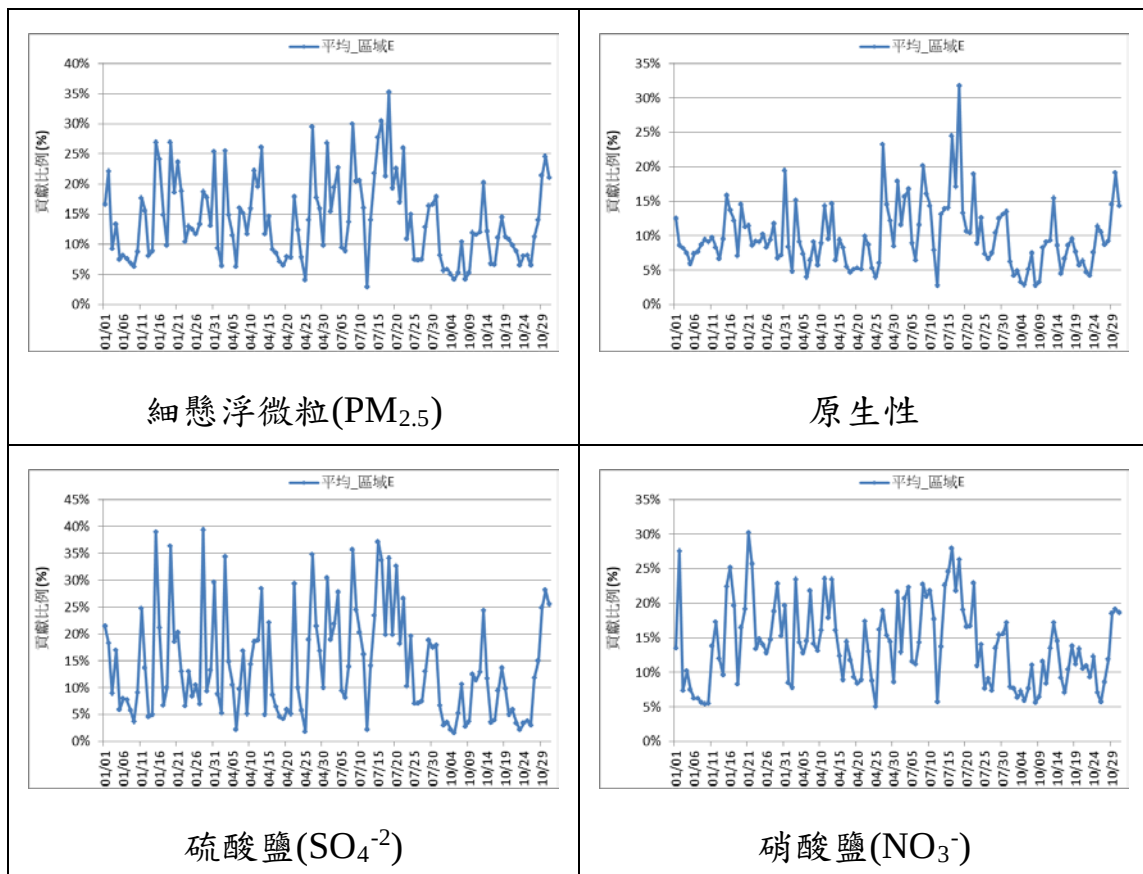


資料來源：本研究彙整。

圖 5.29 區域 D 影響

區域 E：

如圖 5.30，細懸浮微粒貢獻比例介於 2.88% ~ 35.29%之間，其中最高為 7 月 18 日之 35.29%，次之為 7 月 16 日之 30.47%，第三高為 7 月 8 日之 30.01%；原生性污染物貢獻比例介於 2.72% ~ 31.74%之間，其中最高為 7 月 18 日之 31.74%，次之為 7 月 16 日之 24.48%，第三高為 4 月 27 日之 23.23%；硫酸鹽貢獻比例介於 1.58% ~ 39.34%之間，其中最高為 1 月 28 日之 39.34%，次之為 1 月 15 日之 39.02%，第三高為 7 月 15 日之 37.20%；硝酸鹽貢獻比例介於 4.99% ~ 30.23%之間，其中最高為 1 月 21 日之 30.23%，次之為 7 月 16 日之 27.99%，第三高為 1 月 2 日之 27.56%。由於區域 E 位處臺灣東部海域，影響西半部較低，故模擬期間並無明顯較大之影響。



資料來源：本研究彙整。

圖 5.30 區域 E 影響

5.4.3 區域排放每噸貢獻比例

如 5.4.2 節所述，CMAQ-ISAM 模組模擬各個區域排放對臺灣本島各測站之貢獻比例，若將各區域污染物貢獻比例再除以各區域之污染物排放量，即可得到各區域污染物之每噸排放影響。而每噸排放影響中，原生性之影響為(原生性 / 粒狀物排放量)，硫酸鹽為(硫酸鹽 / 硫氧化物排放量)，硝酸鹽則為(硝酸鹽 / 氮氧化物排放量)，其中各污染物排放量如表 5-8。

表 5-8 區域排放量

噸/年	PM _{2.5}	SO _x	NO _x
區域 A	33369	285876	472815
區域 B	11694	102387	162268
區域 C	7714	69420	104122
區域 D	7077	51776	114060
區域 E	16604	165567	198941

資料來源：本研究彙整。

各區域細懸浮微粒每噸貢獻影響則如表 5-9，其中區域 A 每噸影響最高為中部空品區 0.0033%，區域 B 最高為北部空品區 0.0663%，區域 C 為雲嘉南空品區 0.0934%，區域 D 為高屏空品區 0.0761%，區域 E 則為花東空品區 0.0731%。

表 5-9 各區域污染物每噸影響

每噸影響	北部	竹苗	中部	雲嘉南	高屏	宜蘭	花東
區域 A	0.0022%	0.0027%	0.0033%	0.0031%	0.0022%	0.0020%	0.0009%
區域 B	0.0663%	0.0438%	0.0348%	0.0252%	0.0179%	0.0368%	0.0149%
區域 C	0.0520%	0.0847%	0.0868%	0.0934%	0.0668%	0.0180%	0.0082%
區域 D	0.0140%	0.0213%	0.0352%	0.0430%	0.0761%	0.0101%	0.0132%
區域 E	0.0121%	0.0084%	0.0064%	0.0071%	0.0119%	0.0518%	0.0731%

資料來源：本研究彙整。

以下就原生性、硫酸鹽及硝酸鹽三項說明之：

原生性：

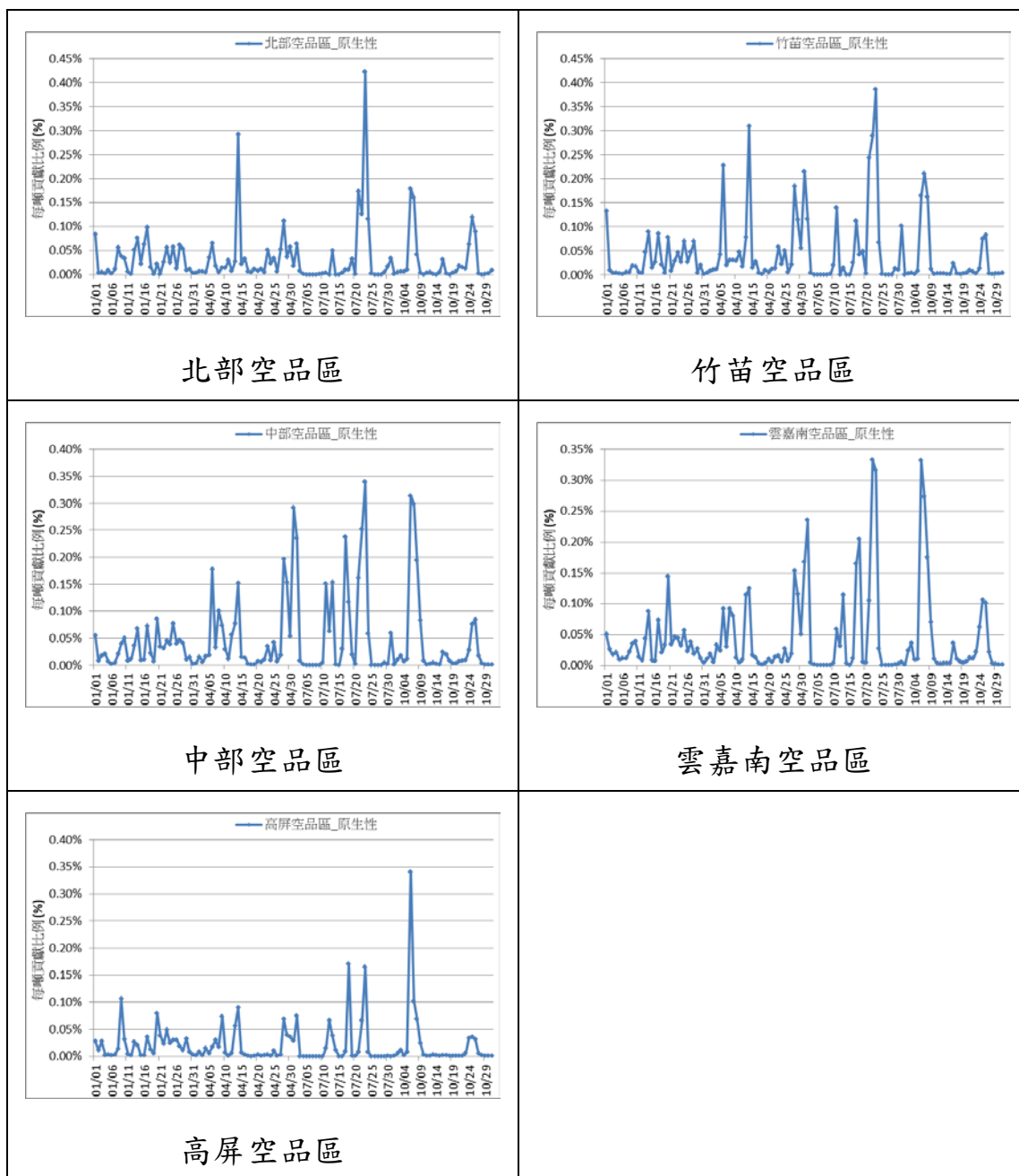
如圖 5.31 至圖 5.35 原生性污染物每噸貢獻影響中，區域 A 排放每噸貢獻比例於北部、竹苗、中部、雲嘉南及高屏各空品區之間，最高值依序為 0.42%、0.39%、0.34%、0.33%及 0.34%，各空品區之平均值則依序為 0.03%、0.04%、0.05%、0.04%及 0.02%；模擬期間各空品區並無顯著較高之影響。

區域 B 排放每噸貢獻比例於北部、竹苗、中部、雲嘉南及高屏各空品區之間，最高值依序為 2.94%、2.76%、2.52%、1.48%及 0.90%，各空品區之平均值則依序為 1.72%、0.98%、0.65%、0.32%及 0.15%；模擬期間各空品區於七月均有較低之影響，高屏空品區於一月有較高之影響，依空品區整體而言，有由南向北遞增之趨勢。

區域 C 排放每噸貢獻比例於北部、竹苗、中部、雲嘉南及高屏各空品區之間，最高值依序為 3.83%、4.43%、4.52%、4.45%及 3.95%，各空品區之平均值則依序為 1.45%、2.49%、2.61%、2.89%及 1.48%；模擬期間顯示，各空品區影響有由中部向南北兩側遞減之趨勢。

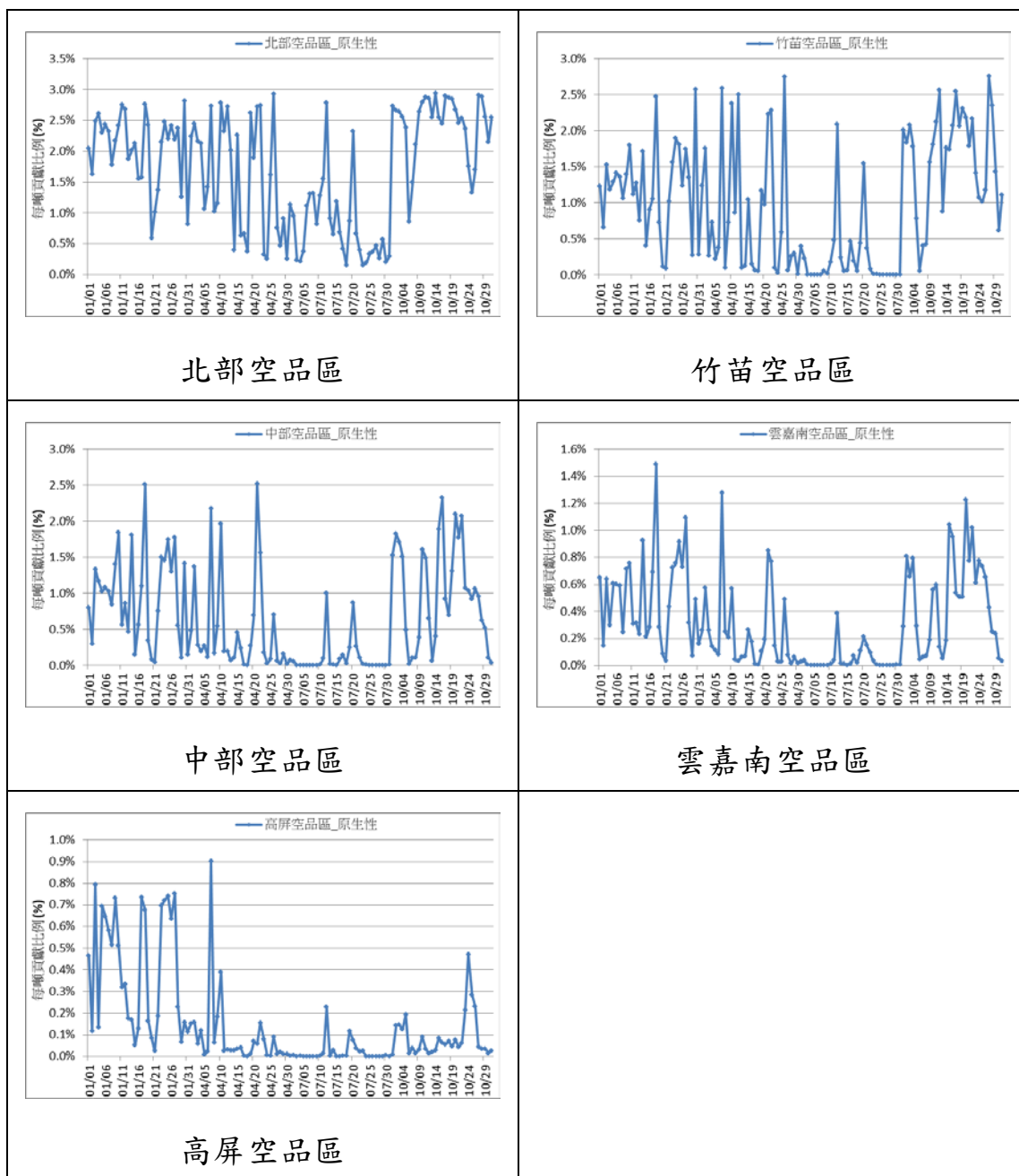
區域 D 排放每噸貢獻比例於北部、竹苗、中部、雲嘉南及高屏各空品區之間，最高值依序為 1.65%、3.31%、4.89%、4.84%及 5.15%，各空品區之平均值則依序為 0.23%、0.46%、0.92%、1.15%及 2.79%；模擬期間各空品區於七月均有較高之影響，依空品區整體而言，有由北向南遞增之趨勢。

區域 E 排放每噸貢獻比例於北部、竹苗、中部、雲嘉南及高屏各空品區之間，最高值依序為 1.32%、0.78%、0.19%、0.32%及 0.87%，各空品區之平均值則依序為 0.15%、0.08%、0.05%、0.06%及 0.17%；主要影響位於臺灣之南北兩端，而竹苗、中部及雲嘉南空品區則因為中央山脈的阻擋，影響較低。



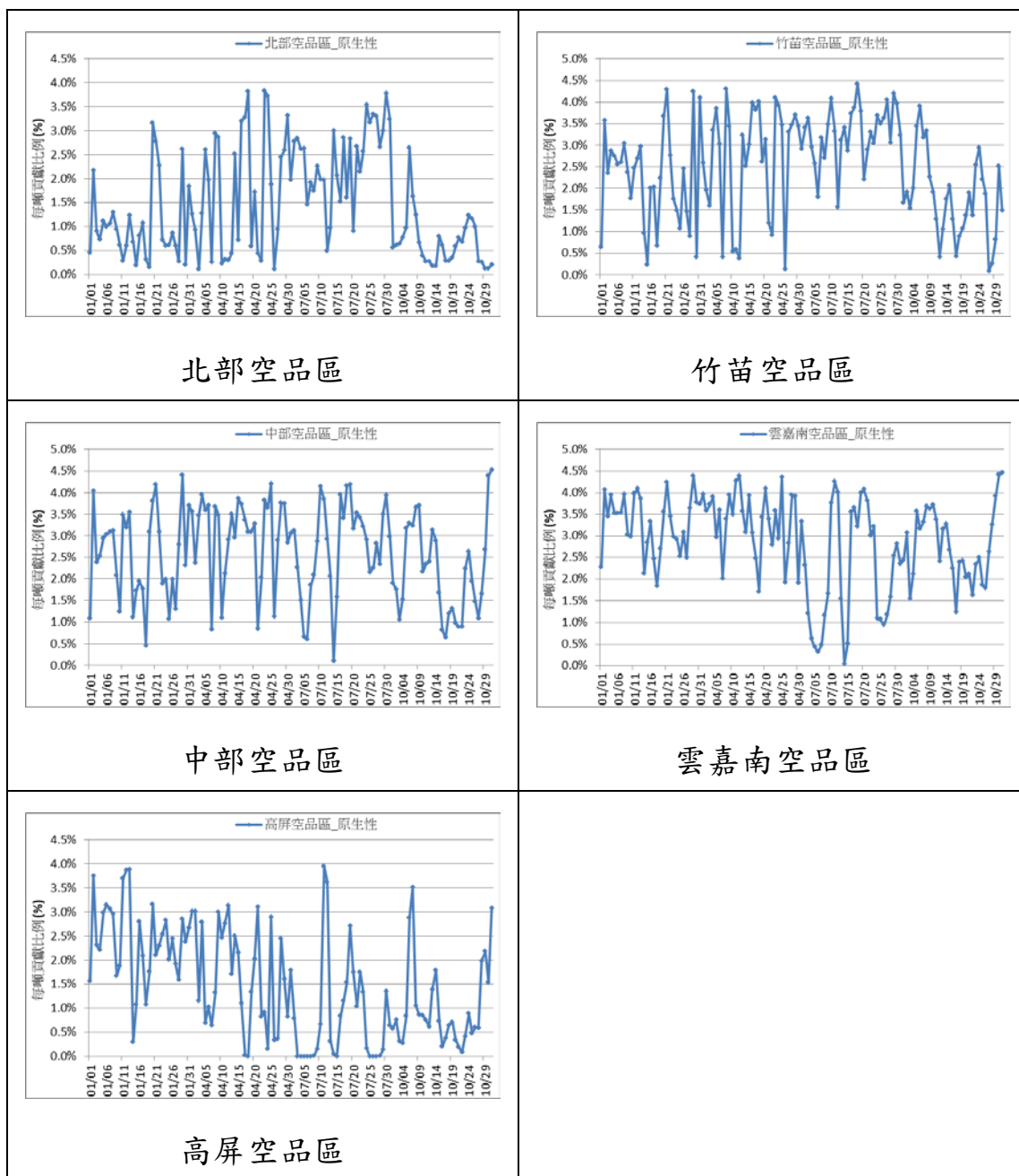
資料來源：本研究彙整。

圖 5.31 區域 A 原生性每噸貢獻影響



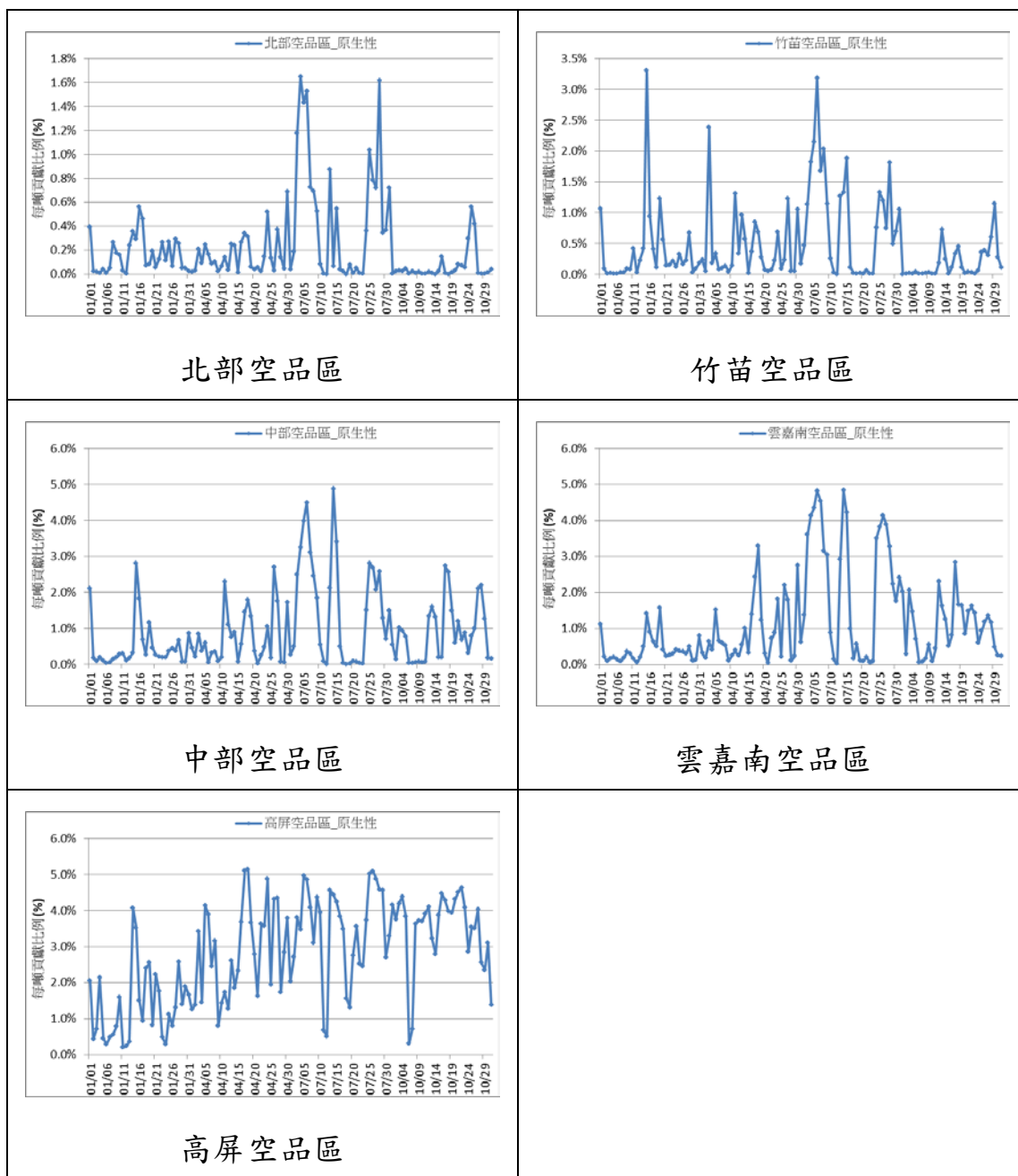
資料來源：本研究彙整。

圖 5.32 區域 B 原生性每噸貢獻影響



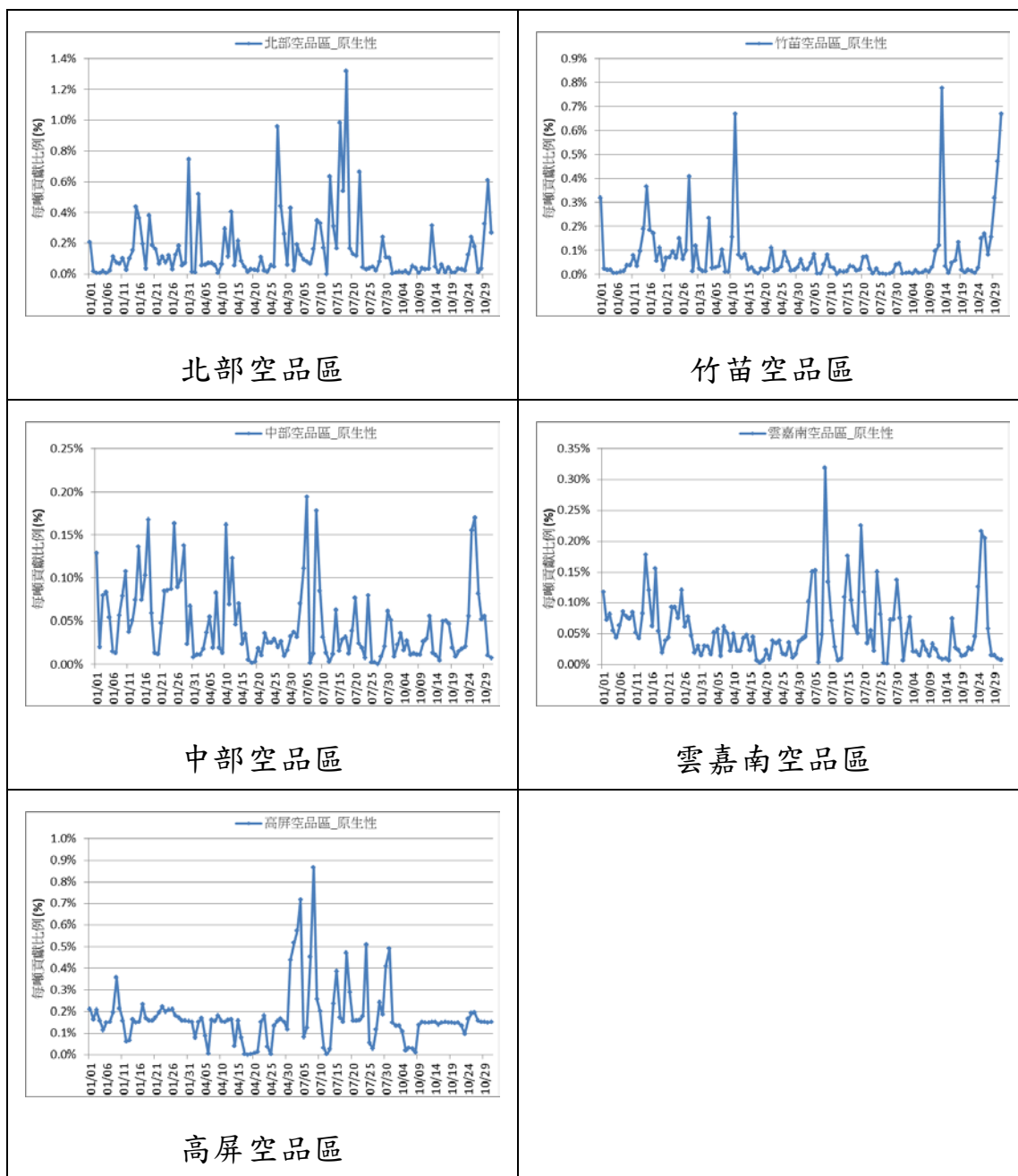
資料來源：本研究彙整。

圖 5.33 區域 C 原生性每噸貢獻影響



資料來源：本研究彙整。

圖 5.34 區域 D 原生性每噸貢獻影響



資料來源：本研究彙整。

圖 5.35 區域 E 原生性每噸貢獻影響

硫酸鹽(SO_4^{-2})：

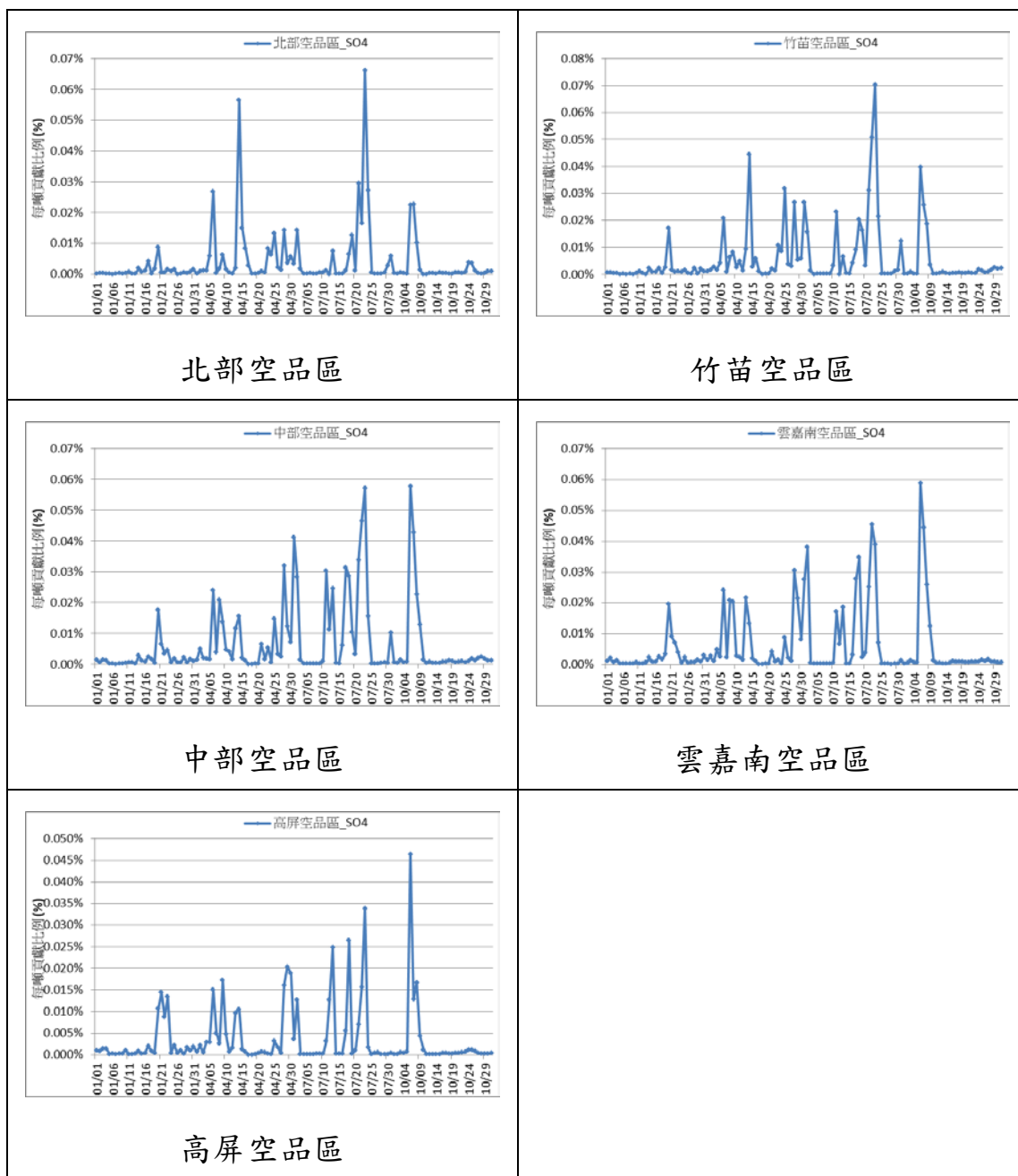
如圖 5.36 至圖 5.40 硫酸鹽每噸貢獻影響中，區域 A 排放每噸貢獻比例於北部、竹苗、中部、雲嘉南及高屏各空品區之間，最高值依序為 0.07%、0.07%、0.06%、0.06%及 0.05%，各空品區之平均值則依序為 0.004%、0.006%、0.007%、0.006%及 0.004%；模擬期間各空品區影響一月偏低，時間越往十月則影響越高，且越往臺灣南部越明顯，但最高影響亦不超過 0.1%。

區域 B 排放每噸貢獻比例於北部、竹苗、中部、雲嘉南及高屏各空品區之間，最高值依序為 0.34%、0.32%、0.32%、0.26%及 0.25%，各空品區之平均值則依序為 0.18%、0.12%、0.09%、0.06%及 0.03%；各空品區七月期間影響較低，而一月及十月時有較高之影響，空品區影響有由南向北遞增之趨勢。

區域 C 排放每噸貢獻比例於北部、竹苗、中部、雲嘉南及高屏各空品區之間，最高值依序為 0.45%、0.46%、0.47%、0.48%及 0.48%，各空品區之平均值則依序為 0.14%、0.24%、0.26%、0.28%及 0.21%；模擬期間北部空品區於一月及十月時有較低之影響，各空品區影響有由中部向南北兩側遞減之趨勢。

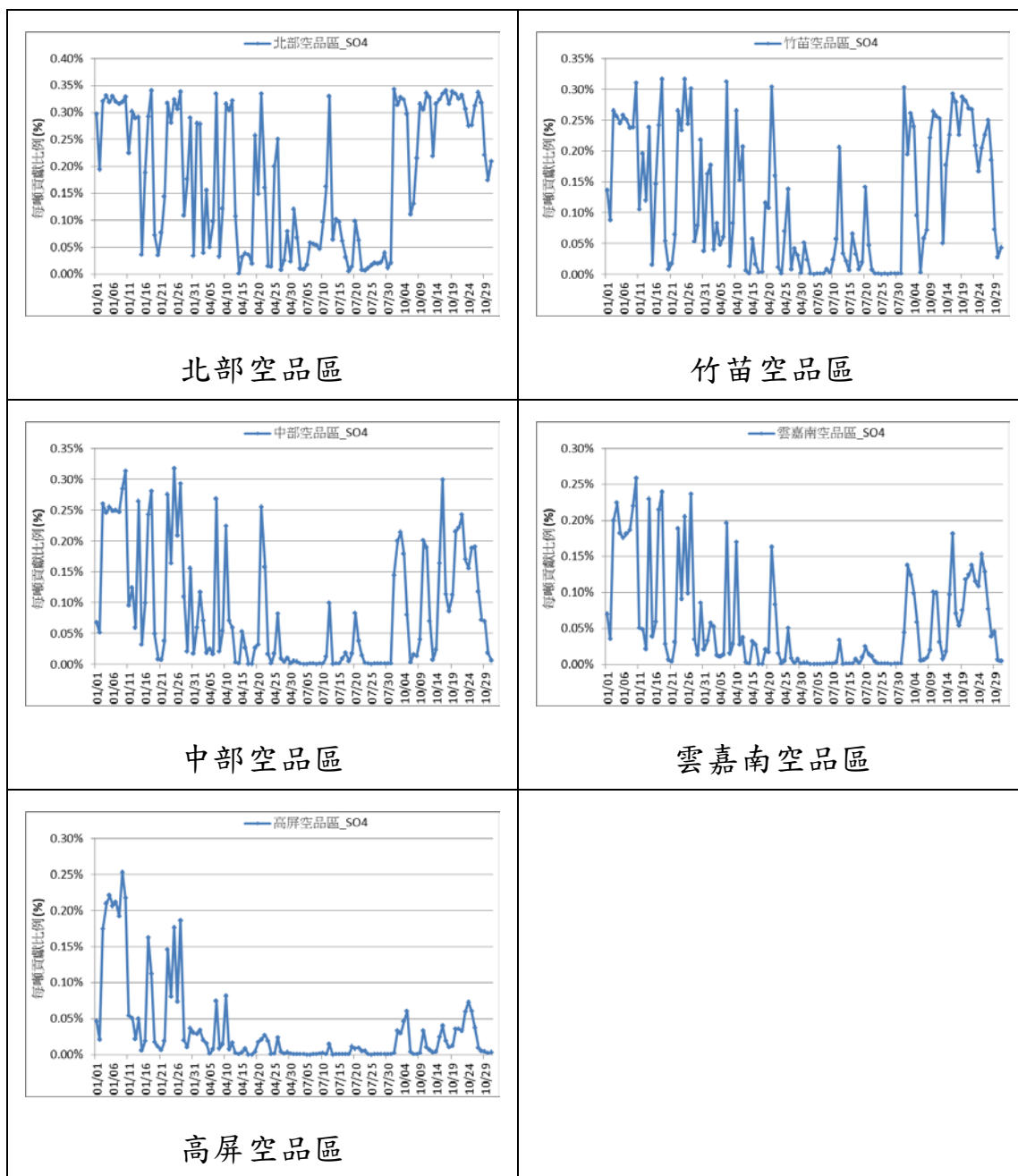
區域 D 排放每噸貢獻比例於北部、竹苗、中部、雲嘉南及高屏各空品區之間，最高值依序為 0.29%、0.40%、0.67%、0.67%及 0.70%，各空品區之平均值則依序為 0.03%、0.06%、0.12%、0.15%及 0.25%；七月期間各空品區有較高之影響，整體有由北向南遞增之趨勢。

區域 E 排放每噸貢獻比例於北部、竹苗、中部、雲嘉南及高屏各空品區之間，最高值依序為 0.17%、0.14%、0.05%、0.08%及 0.18%，各空品區之平均值則依序為 0.03%、0.02%、0.01%、0.01%及 0.03%；主要影響位於臺灣南北兩端，而各空品區間並無顯著較高之影響。



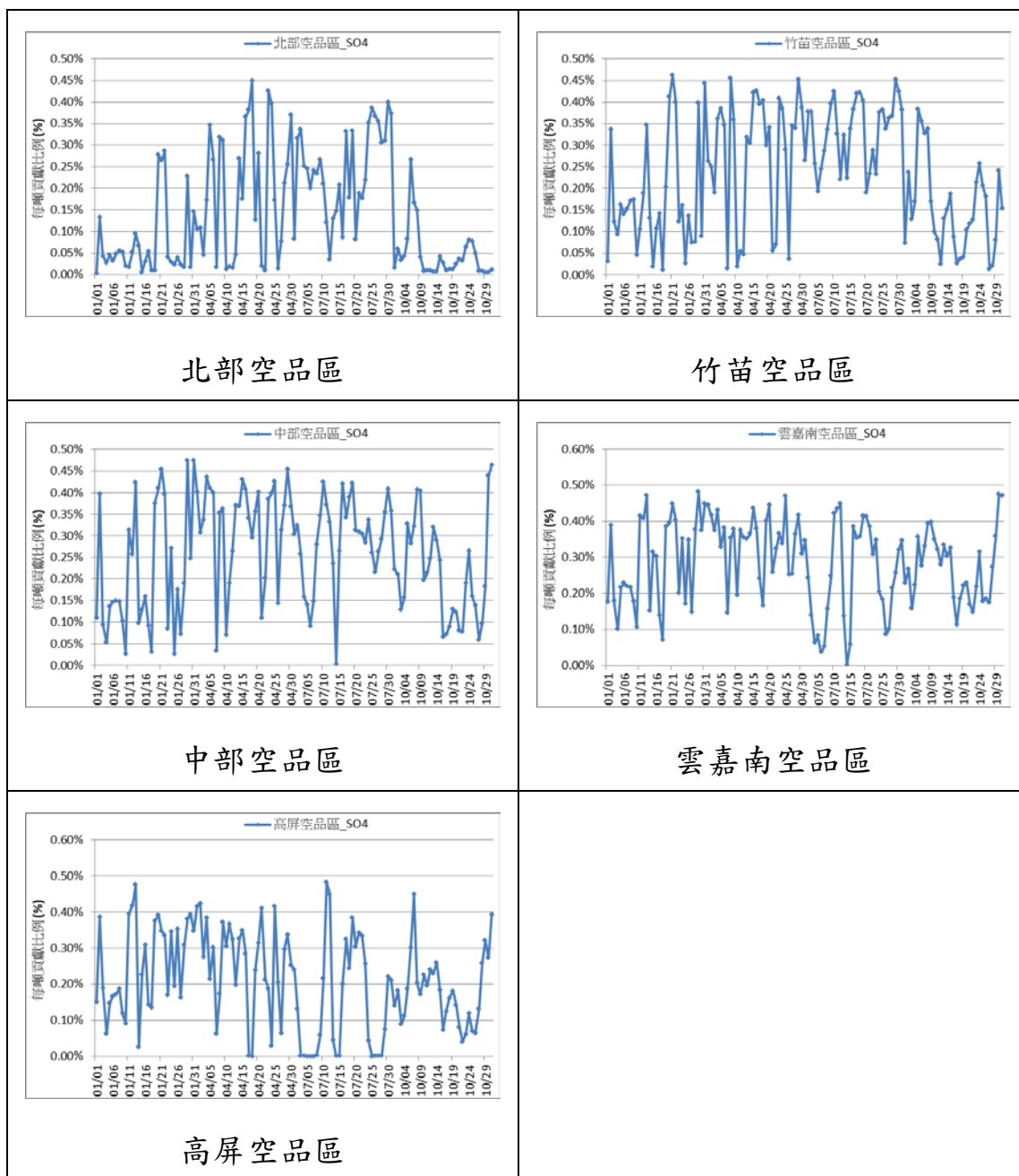
資料來源：本研究彙整。

圖 5.36 區域 A 硫酸鹽每噸貢獻影響



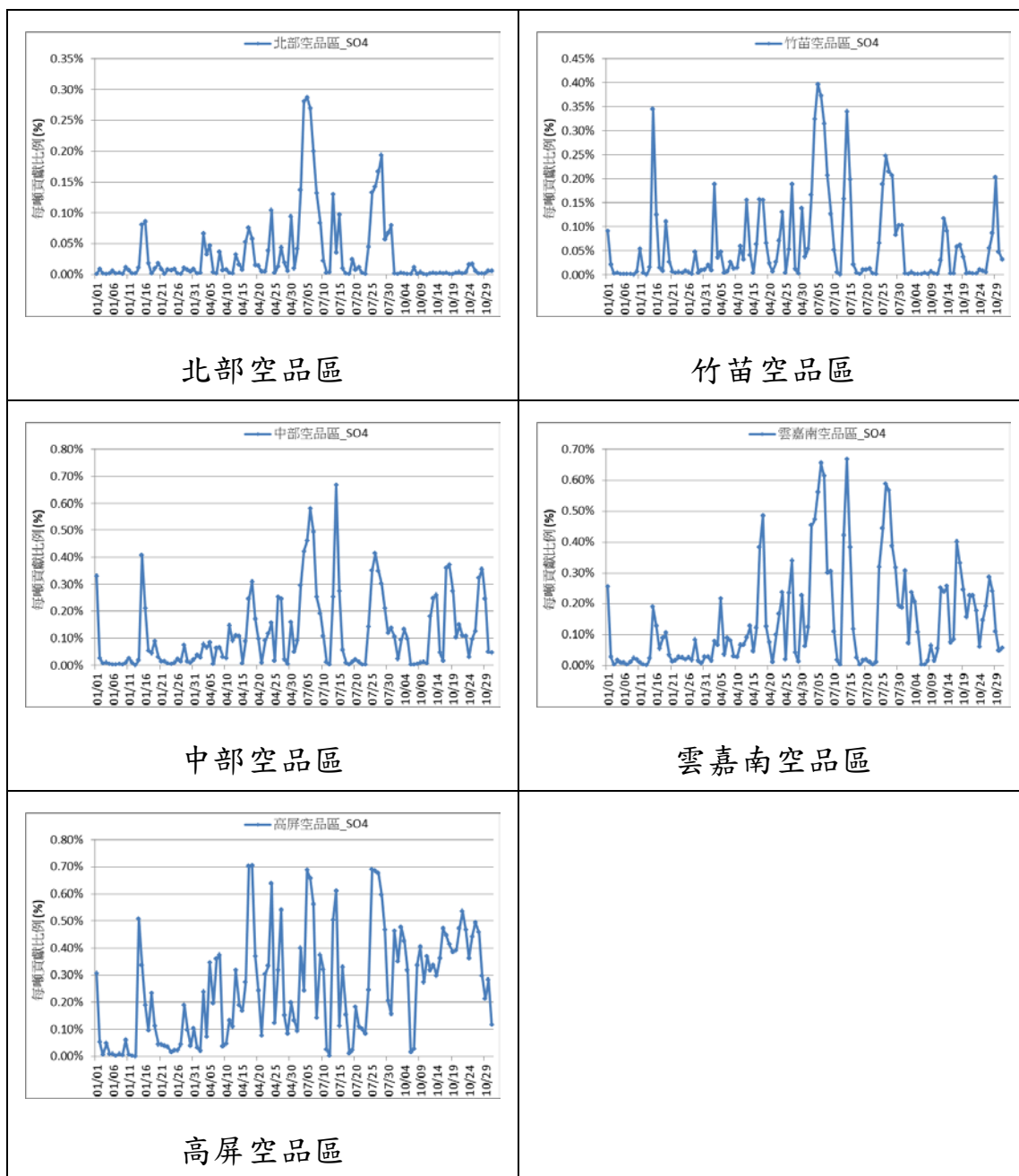
資料來源：本研究彙整。

圖 5.37 區域 B 硫酸鹽每噸貢獻影響



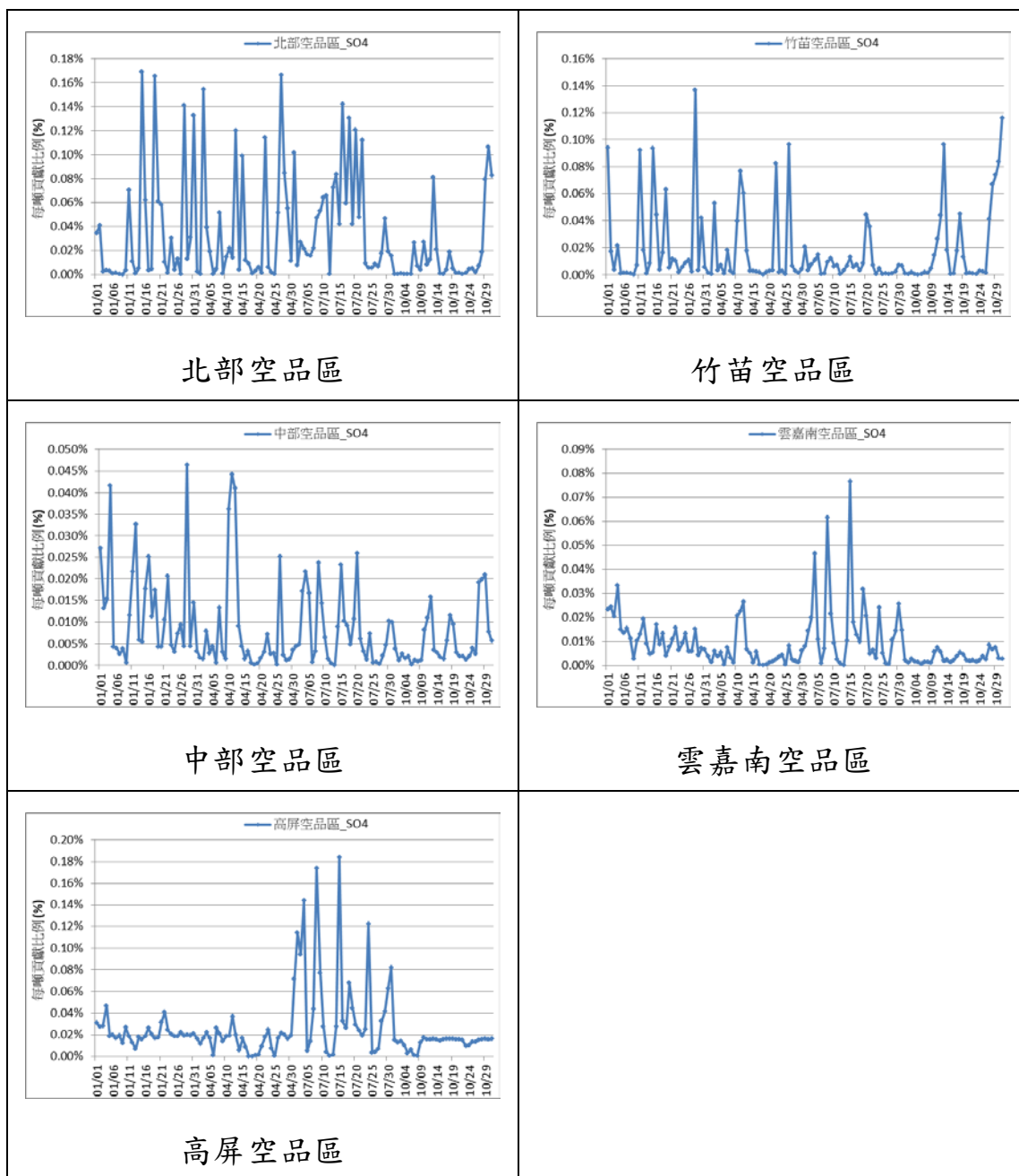
資料來源：本研究彙整。

圖 5.38 區域 C 硫酸鹽每噸貢獻影響



資料來源：本研究彙整。

圖 5.39 區域 D 硫酸鹽每噸貢獻影響



資料來源：本研究彙整。

圖 5.40 區域 E 硫酸鹽每噸貢獻影響

硝酸鹽(NO_3^{-1})：

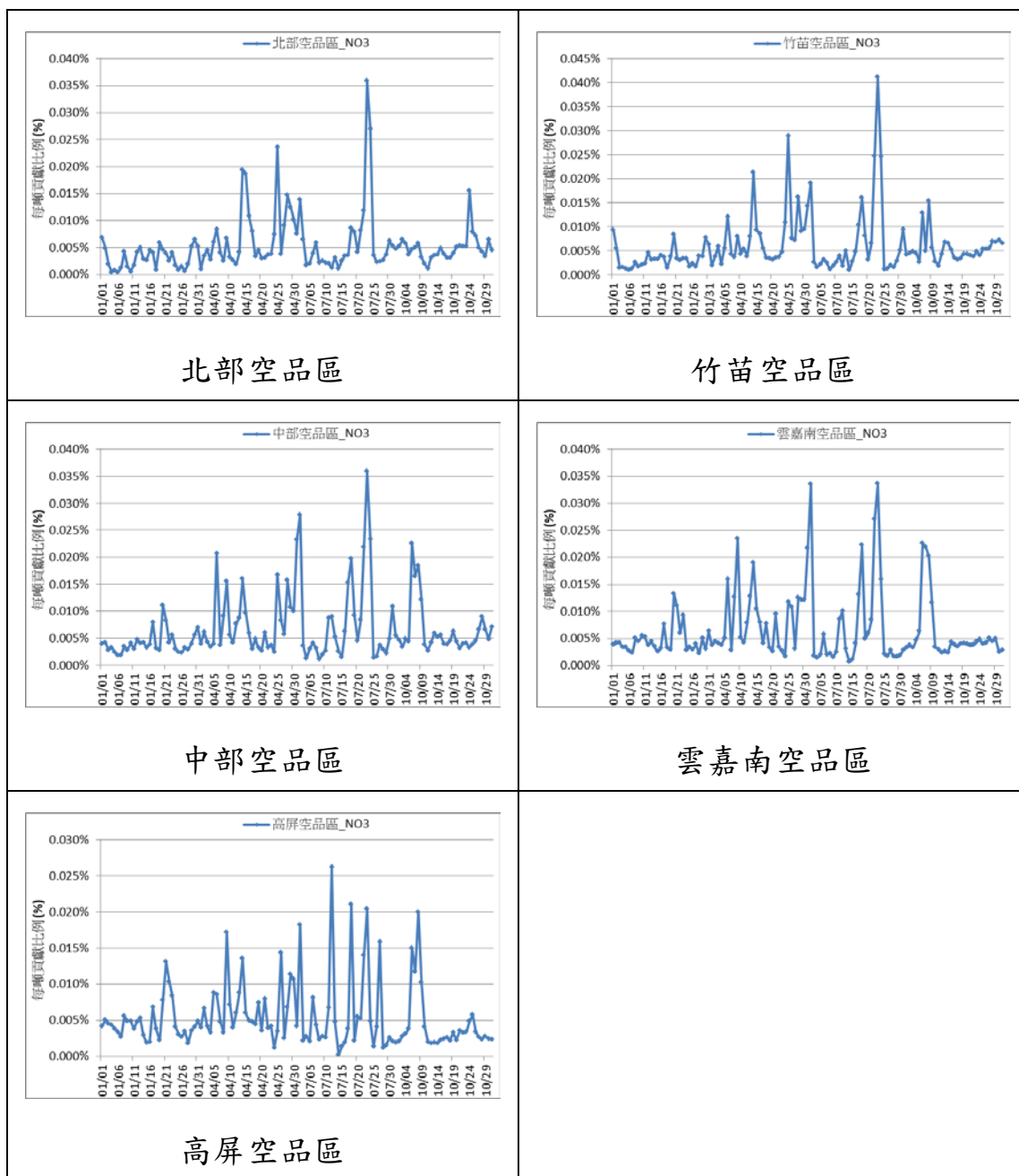
如圖 5.41 至圖 5.45 硝酸鹽每噸貢獻影響中，區域 A 排放每噸貢獻比例於北部、竹苗、中部、雲嘉南及高屏各空品區之間，最高值依序為 0.04%、0.04%、0.04%、0.03%及 0.03%，各空品區之平均值則均為 0.01%；模擬期間各空品區並無顯著較高之影響。

區域 B 排放每噸貢獻比例於北部、竹苗、中部、雲嘉南及高屏各空品區之間，最高值依序為 0.21%、0.18%、0.17%、0.14%及 0.14%，各空品區之平均值則依序為 0.10%、0.07%、0.06%、0.05%及 0.04%；模擬期間各空品區並無顯著較高之影響，七月時影響亦偏低，整體有由南向北遞增之趨勢。

區域 C 排放每噸貢獻比例於北部、竹苗、中部、雲嘉南及高屏各空品區之間，最高值依序為 0.20%、0.25%、0.23%、0.25%及 0.23%，各空品區之平均值則依序為 0.08%、0.13%、0.13%、0.13%及 0.11%；模擬期間各空品區並無顯著較高之影響，主要影響落在竹苗、中部及雲嘉南空品區附近。

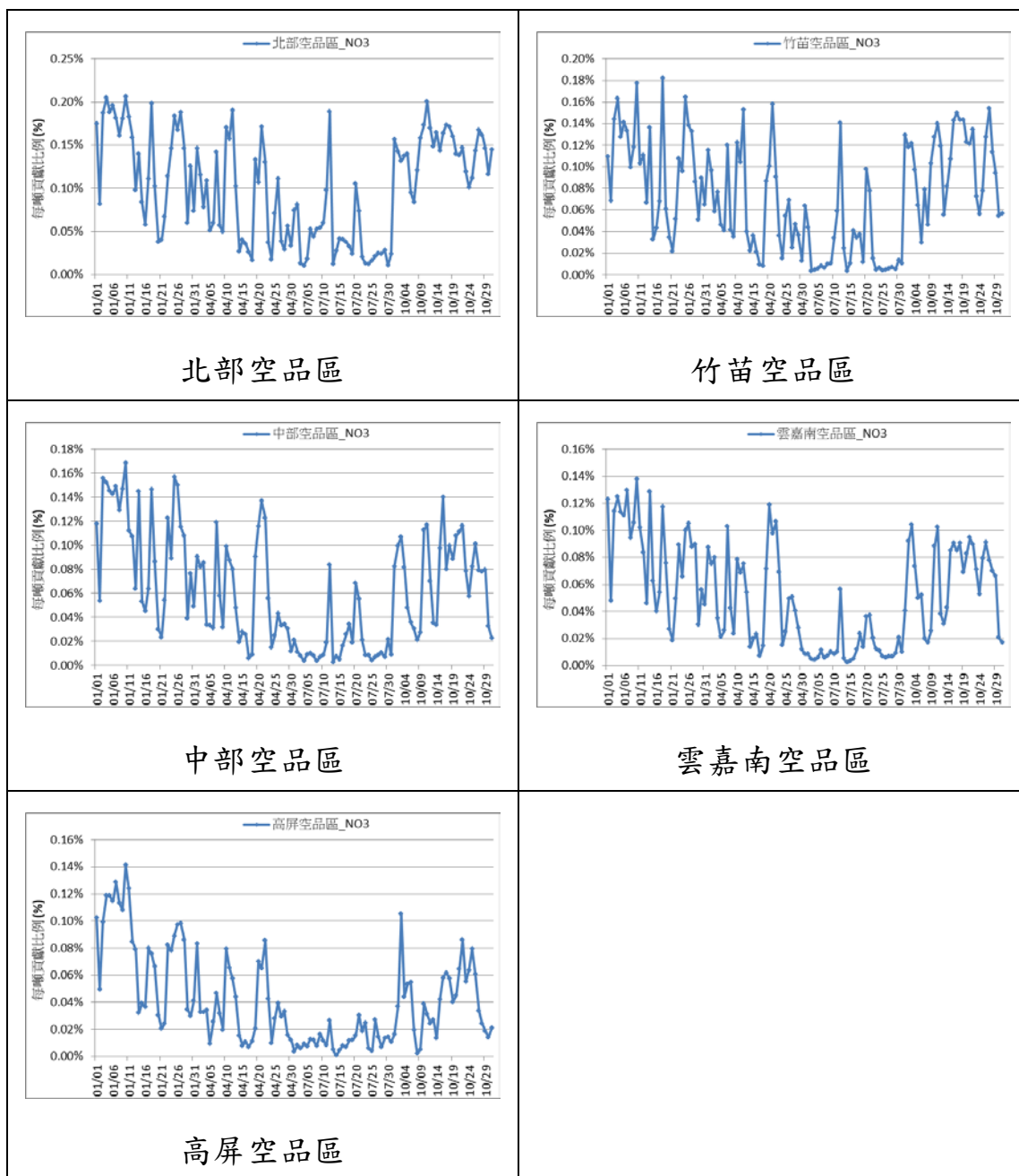
區域 D 排放每噸貢獻比例於北部、竹苗、中部、雲嘉南及高屏各空品區之間，最高值依序為 0.14%、0.21%、0.25%、0.27%及 0.29%，各空品區之平均值則依序為 0.03%、0.04%、0.06%、0.06%及 0.10%；模擬期間各空品區並無顯著較高之影響，有由北向南遞增之趨勢。

區域 E 排放每噸貢獻比例於北部、竹苗、中部、雲嘉南及高屏各空品區之間，最高值依序為 0.08%、0.06%、0.05%、0.06%及 0.08%，各空品區之平均值則均為 0.02%；主要影響位於臺灣南北兩端，但最高亦不超過 0.1%。



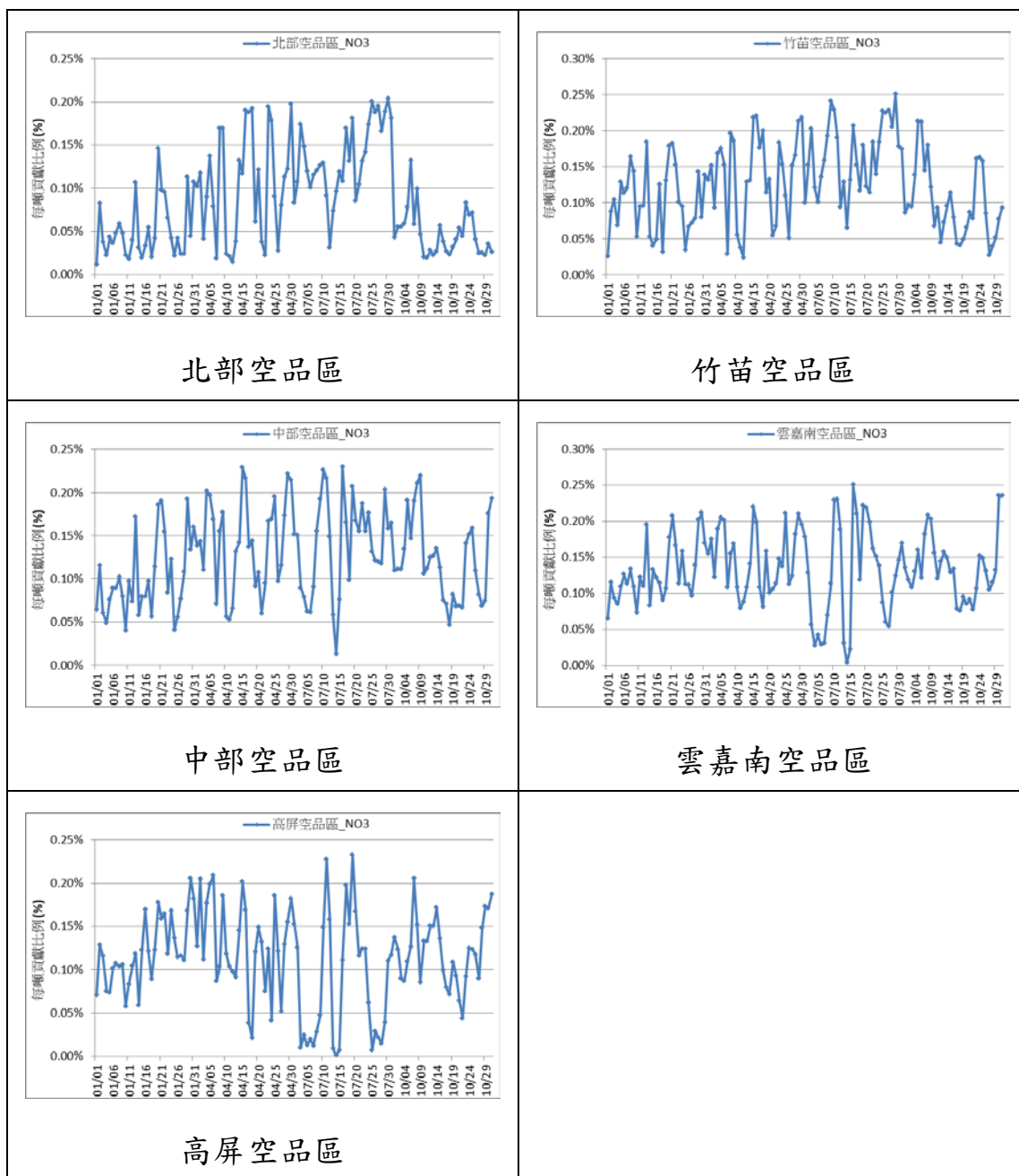
資料來源：本研究彙整。

圖 5.41 區域 A 硝酸鹽每噸貢獻影響



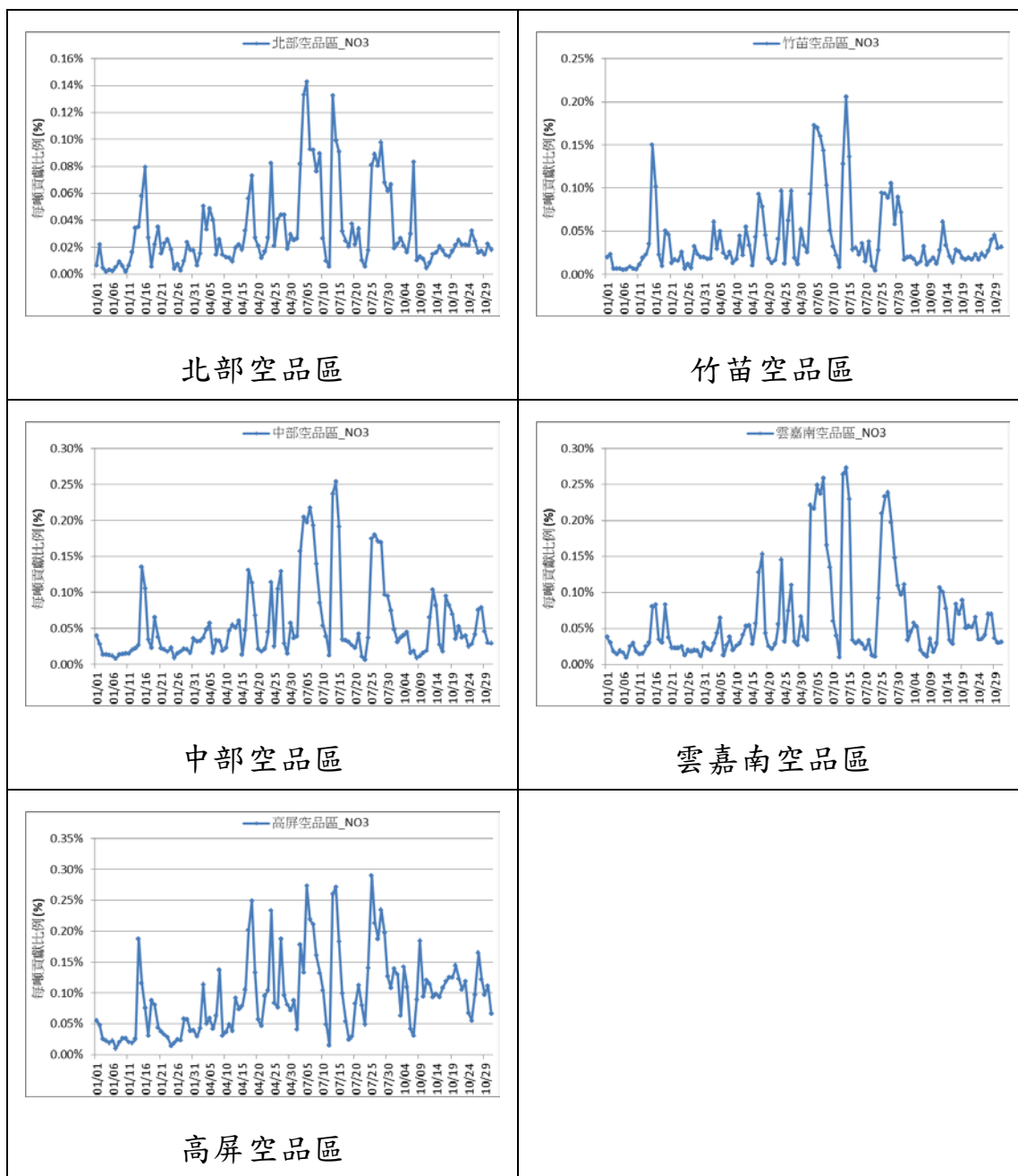
資料來源：本研究彙整。

圖 5.42 區域 B 硝酸鹽每噸貢獻影響



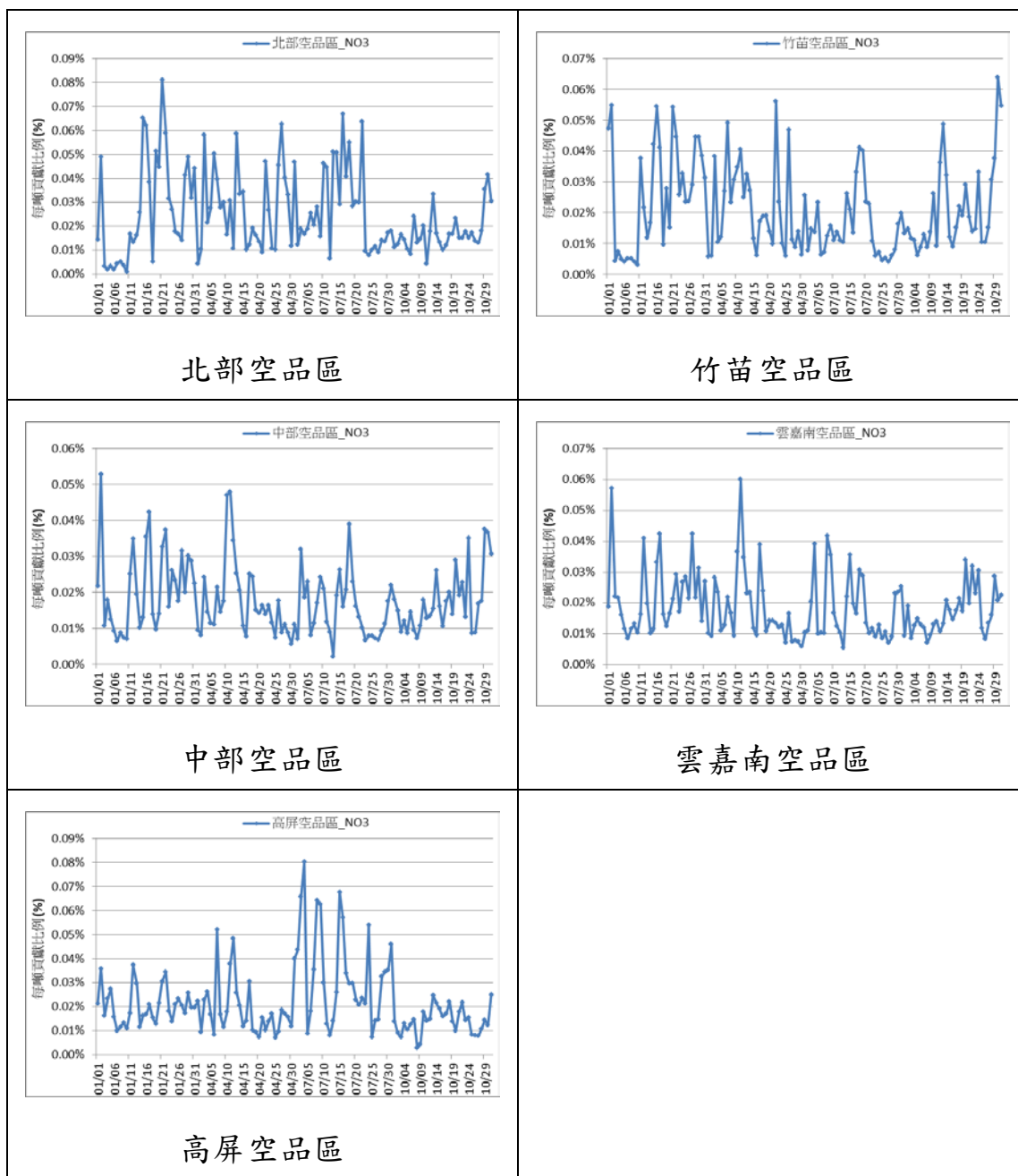
資料來源：本研究彙整。

圖 5.43 區域 C 硝酸鹽每噸貢獻影響



資料來源：本研究彙整。

圖 5.44 區域 D 硝酸鹽每噸貢獻影響



資料來源：本研究彙整。

圖 5.45 區域 E 硝酸鹽每噸貢獻影響

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,俾利研擬空污防制對策,確保環境永續發展,本研究結論與建議分別詳述如下:

6.1 結論

1. 以 AIS 推估臺灣主要商港與臨近海域之船舶於 2013 年空氣污染排放量,其中 NO_x 、 SO_x 及 PM 全年推估總排放量依序為 1,052,219 噸、675,027 噸及 95,098 噸,日平均推估排放量則為 2,922.8 噸、1875.1 噸及 264.2 噸。
2. 以 AIS 推估臺灣主要商港與臨近海域之船舶於 2016 年空氣污染排放量,其中 NO_x 、 SO_x 及 PM 全年推估總排放量依序為 1,088,681 噸、705,843 噸及 99,756 噸,日平均推估排放量則為 2,990.9 噸、1,939.1 噸及 274.1 噸。各污染物種排放量與 2013 年相比,均有微幅上升之趨勢,原因研判為經濟發展增加之差異。
3. 排放量預測測試期間,以排放量預測係數預測 NO_x 第一天至第二天結果,平均誤差依序為-4.2%及-6.1%; SO_x 依序為-4.6%及-7.3%;PM 則依序為-4.5%及-6.7%;絕對值誤差百分比則依序為 NO_x 為 20.4%及 27.6%, SO_x 為 21.5%及 30.5%;PM 則為 21.3%及 29.2%。測試結果顯示污染物種預測時間日數愈久則誤差愈大。
4. 2013 年臺灣周遭海域船舶排放污染物年平均貢獻影響中,細懸浮微粒($\text{PM}_{2.5}$)貢獻比例最高位於麥寮測站之 20.99%,硫酸鹽(SO_4^{2-})貢獻比例最高位於恆春測站之 14.24%,硝酸鹽(NO_3^-)貢獻比例最高位於麥寮測站之 8.25%,銨鹽(NH_4^+)貢獻比例最高位於麥寮測站之 4.79%,小時最大臭氧($\text{O}_{3\max}$)貢獻比例最高位於臺南測站之 7.86%,8 小時平均臭氧($\text{O}_{3\text{ave}8}$)貢獻比例最高位於臺南測站之 8.34%,硫氧化物(SO_2)貢獻比例最高位於恆春測站之 60.07%,氮氧化物(NO_x)貢獻比例最高位於萬里測站之 41.24%。

5. CMAQ 模式分析 2013 年臺灣地區周遭海域船舶對臺灣地區空氣品質逐月影響， $PM_{2.5}$ 、 O_{3ave8} 、 SO_2 及 NO_x 等污染物種，最高值均發生在 7 月期間，發生測站及比例依序為恆春站之 41.35%、花蓮站之 22.57%、恆春站之 90.97%以及恆春站之 61.55%；其中 O_{3ave8} 最低值發生於 11 月小港站之-55.97%。
6. 2013 年臺灣五大商港污染排放年平均貢獻比例中，各大污染物種除 NO_x 最高貢獻比例發生於萬里站之 22.6%，為基隆港排放所提供外，其餘最高貢獻比例均為高雄港排放所產生，且其中 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 SO_4^{-2} 及 NH_4^{+} 均發生在前鎮及復興站，依序為 5.5%、31.8%、1.76% 及 0.8%，而 O_{3ave8} 之 0.7%發生在楠梓站， NO_3^{-} 之 1.19%則發生於潮州站。其中港口之範圍包括港區內與以港口為中心半徑 20 海浬內之船舶。差異主要因為各污染物種反應速率的不同，影響污染物分布的範圍，通常於下風處有較高之影響區域。
7. 2013 年臺灣五大商港污染物排放，其細懸浮微粒 $PM_{2.5}$ 逐月影響中，基隆港排放影響最高為 9.1%，發生於 5 月；臺北港排放影響最高為 4.7%，發生於 6 月；臺中港排放影響最高為 7.9%，發生於 2 月；高雄港排放影響最高為 14.1%，發生於 8 月；花蓮港排放影響最高為 6.6%，發生於 6 月。其中港口之範圍包括港區內與以港口為中心半徑 20 海浬內之船舶。差異主要因為各港口所在之地理位置與風向之相對關係，即下風處通常為影響較高之區域。
8. CMAQ-ISAM 模擬臺灣海峽區域排放，其中各測站平均影響細懸浮微粒($PM_{2.5}$)、硫酸鹽(SO_4^{-2})及硝酸鹽(NO_3^{-})貢獻比例最高均為臺灣北海岸以北之區域 B 所貢獻，且發生日期均為 1 月 10 日，貢獻比例依序為 70.26%、77.77%及 73.98%；而原生性污染物貢獻比例最高則為臺灣西海岸近岸之區域 C，發生於 1 月 29 日之 68.29%。
9. CMAQ-ISAM 模擬臺灣海峽區域排放每噸貢獻比例中，原生性、硫酸鹽(SO_4^{-2})及硝酸鹽(NO_3^{-})污染物每噸貢獻比例最高均發生於臺灣

西海岸近岸之區域 C 排放影響，其中原生性最高發生於雲嘉南空品區之 2.89%，硫酸鹽(SO_4^{2-})發生於雲嘉南空品區之 0.28%，而硝酸鹽(NO_3^-)則發生於竹苗、中部及雲嘉南空品區，其比例則均為 0.13%。

10. 由第 9 及第 10 點顯示各區域排放影響與臺灣本島之遠近，以及季節風向的改變有很大的關係，尤以臺灣北海岸以北之區域 B 及臺灣西海岸近岸之區域 C 影響較大。
11. 由第五章之相關研究成果顯示，本年度之研究內容為分析不同區域之影響，其結果顯示硫氧化物之影響最大，可能原因為船舶使用含硫量較高之燃油所致。

6.2 建議

1. 船舶航行時，使用含硫量 0.5% 或含量更低之燃油，以降低硫氧化物的產生。
2. 氣候差異往往是污染物擴散良好與否的關鍵，故未來研究建議納入討論船舶航行因氣候差異所造成的污染影響。
3. 要區分船舶是否到臺灣需再以進入港口之船舶分析其於海域之航行軌跡，故未來研究建議可納入討論臺灣周遭海域船舶經過臺灣或是有入港臺灣之船舶影響。

6.3 成果效益及應用情形

1. 經由 CMAQ 模式分析臺灣地區臨近海域船舶與臺灣主要商港對臺灣地區空氣品質之全年影響，可獲悉因船舶活動影響臺灣本島主要的地區範圍，以因應未來空氣品質改善時的參考依據。

2. 歷年排放量建置所建立之排放量預測係數，可供未來船舶航行時之每日排放量預測，以瞭解因船舶航行所造成之空氣品質劣化影響，藉此擬訂改善措施。
3. 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，促進建立綠色港口之示範。

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. 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.

11. Li, X., and Rappengluck, B. (2014) A WRF-CMAQ study on spring time vertical ozone structure in Southeast Texas. *Atmospheric Environment*, 97, 363–385.
12. 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.
13. 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.
14. Ruppert, L.; Becker, K. H. (2000). A product study of the OH radical-initiated oxidation of isoprene formation of C₅-unsaturated diols. *Atmos. Environ.*, 34, 1529-1542.
15. Seinfeld, J. H., and Pandis, S. N. (1998). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, John Wiley, New York.
16. 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。
17. 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。
18. 張景皓(2015)，「南部二次衍生性氣膠形成速率與前驅物探討」，國立成功大學環境工程研究所碩士論文。
19. 交通部運輸研究所港研中心，<http://www.ihmt.gov.tw>。
20. 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。
21. 吳義林等(2001)，「衍生性氣膠與其前驅物之相關性研究」，行政院環境保護署專案計畫，EPA-90-FA17-03-90B025。

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-107-H2DB001f

計畫名稱：港區及沿岸空氣品質受船舶航行之影響分析與即時推估系統建立

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

審查日期：107 年 07 月 19 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. 全年平均的空污沒有意義，無法呈現冬、夏季風期間，境外移入污染造成的影響，建議分別以西南季風及東北季風期間表示。	感謝委員指導； 報告中已呈現全年 1 月至 12 月之影響結果。	同意。
2. 「南空污、北酸雨」，這是東北季風期間的特性，北部的空污被雨洗下，而不是吹向南部，建議模式內加入雨的效應。	感謝委員指導； 模式中包括氣相、液相與固相之完整反應，故雨之相關作用均已經納入於模式模擬中。	同意。
3. 4 月及 10 月均在東北季風期間，請改為 1 月及 7 月，分別代表冬、夏季的特性。	感謝委員指導； 報告中已呈現全年 1 月至 12 月之影響結果。	同意。
4. 臺灣的冬、夏空氣品質相差極大，因此，船舶對空污的貢獻度，應以冬、夏的背景值來計算，而非全年的平均值當背景值來計算。	感謝委員指導； 本研究貢獻比例計算為船舶排放模擬每日之增量濃度除以日期相對應的所有排放源之每日模擬濃度。	同意。
鍾英鳳 委員		
1. P.3-9 表 3-4 船舶缺值預設表中貨櫃輪 6000、7000 之 DWT 及主引擎功率是否有誤，因與一般認知不同，請查明。表 3-5 中貨櫃輪 4000、5000、6000 及 10000~13000 亦請查明是否有雙引擎。	感謝委員指導； 缺值預設表中所呈現之數值均為當時所有進出洛杉磯港的船舶，再把其中相同或相似類型的船舶參數平均值。	同意。
2. P.3-15 表 3-10 中硫含量 1%之 PM 為 0.73 是否正確，請校核。	感謝委員指導； 經查 2012 年及 2013 年洛杉磯港報告中指出，硫含量 1%之 PM 燃油	同意。

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
	校正係數為 0.73。	
3. 資料來源缺乏，對推估之影響為何？	感謝委員指導； 本研究以區域等比例推算排放量之方式，推估範圍中 AIS 資料不足的區域。由於船舶於海上應持續航行，故排放量之差異應該不大，但是空間分布可能有較大變異。	同意。
4. P.4-1 港區行進使用輔助引擎及鍋爐則使用含硫量 0.5% 之燃油，其係依據為何？	感謝委員指導； 依港區之規範於港區內應使用輔助引擎及鍋爐則使用含硫量 0.5% 之燃油。	同意。
5. P.5-1 宜蘭花東 PM _{2.5} 符合較少之原因為何？	感謝委員指導； 因宜蘭空品區測站僅有 2 站，花東共 3 站，故兩空品區中只要各別短少 1 站，符合比例便會大幅下降。	同意。
6. 簡報 P.39 中花蓮部分之擴散似乎無風之影響；請說明原因。	感謝委員指導； 因花蓮地區受地形限制，周遭幾乎被山包圍，所以季風影響程度較小，且海陸風影響之縱深亦有限。	同意。
7. 漁船未列入，應在報告中列入說明。	感謝委員指導； 將於期末報告中補充說明。	同意。
邱永芳 委員		
1. 中央研究院的亞洲地區大都市空污調查資料，可否運用於本計畫之比對。	感謝委員指導； 觀測資料可應用於模式模擬結果之校驗，但是資料取得時間應是至少兩年後。	同意。
2. 2018 年 11 月的成果教育訓練，主要對象和舉辦方式，建議應擴大參與人數，做系統推廣為主。	感謝委員指導； 遵照計畫委辦單位港研中心之意見辦理。	同意。
3. 距離臺灣的影響範圍，應提出其範圍可做為未來的補貼方式。	感謝委員指導； 將於期末報告中分析距離臺灣不同範圍航行船舶的影響。	同意。

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
4. 用無硫通過以限制在臺灣海峽是否可行？如何配合 IMO 以低硫或無硫燃油，其評估為何？	感謝委員指導； 行政管制作業非本研究之內容，本研究可分使用分析不同油品時之空氣品質影響。	同意。
何彌亮 委員		
1. 鄰近港口 AIS 可掌控範疇為何，AIS 可用率約在 30%左右 (P.4-3, P.4-5)，無 AIS 如何參考或預設，如何據以評估其對陸地污染之影響。	感謝委員指導； AIS 鄰近港口接收範圍約 20 海浬左右。其他區域以 AIS 有資料時之空間分布，本研究以區域等比例推算排放量之方式，推估範圍中 AIS 資料不足的區域，再依推估之排放量以 CMAQ 模擬其對臺灣本島的影響。	同意。
2. 港勤船舶是否列入考量，其排放量推估之依據為何？	感謝委員指導； 本研究排放量計算以 AIS 資料為基準，故若 AIS 資料有抓到，則會列入排放量計算之中。	同意。
3. 船舶進港前油品之切換，如何得知或是如何預設？	感謝委員指導； 船舶進港前之油品切換，目前尚無法確切得知，本研究預設主引擎使用含硫量 2.7%之 HFO 重油，輔助引擎及鍋爐則使用 0.5%之 MDO 柴油。	同意。
4. 各港口岸電系統之建置是否列入考量？	感謝委員指導； 本研究分析時間為 2013 年，故尚未有使用岸電系統。	同意。
5. 建議選擇氣象狀態影響空品惡化之時期做案例模擬據以驗證排放源(船舶相關)資料之有效程度。	感謝委員指導； 本研究已經分析全年 1 月至 12 月之影響結果。	同意。
蔡立宏 委員		
1. 有關空污影響各污染物為何會	感謝委員指導；	同意。

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
分佈在不同的區域，另外，除說明現象外，建議補充探討可能之原因。	污染物種分原生性與衍生性等類別，而衍生性污染物生成需要時間，所以衍生性物種通常會發生在更下風處生成，SO ₂ 與NO _x 之化學轉化速率亦不同故影響範圍也不一樣。	
2. 請說明 AIS 軌跡圖中澎湖南邊為何缺了一塊？	感謝委員指導； 船舶航行於港口與港口之間，通常為了節省油料，大部分均會選擇直航，因此臺灣與東(南)亞主要港口間之船舶航道軌跡，通往澎湖西南側海域就會變得比較稀少。	同意。
3. 最後一章結論第 2 及第 3 點，應先敘明排放源為何，避免造成誤解。	感謝委員指導； 將於期末報告中補充說明。	同意。
4. 各港口之影響是否有納入考量鄰近工業區？	感謝委員指導； 各港口之影響為港口本身之排放量影響，並未包括鄰近之工業區。	同意。
5. 可否說明未來空品預報之架構？	感謝委員指導； 本研究預報架構預計使用昨日與今日之排放量推估未來 1 至 2 日之排放量，將於期末報告補充說明。	同意。
6. 本計畫推估沿海船舶及五大商港對臺灣造成之空污影響後，建議能提出如何降低空污之因應對策？	感謝委員指導； 將於期末報告中補充說明。	同意。
許義宏 委員		
1. 五大商港影響的界線如何切分，ex.用進出港或者利用範圍內所有船舶，建議在報告中說明。	感謝委員指導； 港口之範圍包括港區內與以港口為中心半徑 20 海浬內之船舶，將於期末報告中補充說明。	同意。
2. 針對 AIS 可用資料部分，建議可增加資料類型及屬性分析內	感謝委員指導； 本研究 AIS 不可用資料中，通常	同意。

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
容，以供後續提升資料品質參考。	為資料格式異常或是亂碼，例如 IMO 資料欄位通常為 7 位數之阿拉伯數字，若超過或是低於 7 位數資料便無法得知此筆數據是哪一條船舶，此筆數據也就無法應用。	
3. 第 5.2 節船舶排放影響是用百分比呈現，建議可在 5.1 節先說明 CMAQ 模擬全臺空氣污染物排放量之情形，提供比較基準，才可以更清楚瞭解各地受船舶排放之影響。	感謝委員指導； 將於期末報告中補充說明。	同意。
4. 建議未來工作，可以進一步分析有靠泊及未靠泊臺灣港口的船舶空污影響，以便瞭解穿越航次的空污影響程度。	感謝委員指導； 建議納入於未來計畫工作。	同意。
行政院環境保護署		
1. 港區及沿岸空氣品質受船舶行之影響分析與即時推估系統建立報告與環保署港區計畫於船舶排放量推估時，參考之係數皆以美國聖佩德羅灣清冊作為依據，惟本計畫基準年為 2013 年，因此於部分係數上，以聖佩德羅灣 2013 年出版之清冊作為推估排放之依據，目前聖佩德羅灣最新版之清冊基準年為 2016 年，建議補充說明係數引用之依據及相關計畫參數比較分析。	感謝委員指導； 未來若以 TEDS10 之 2016 年為基準年時，則將同時更新。	同意。
2. 港區及沿岸空氣品質受船舶行之影響分析與即時推估系統建立報告之船舶排放量推估係以船舶自動識別系統(AIS)作為依據，依 MARPOL 國際公約規定，航行於	感謝委員指導； 非 AIS 資料中之船舶尚未納入，而依據油品用量資料顯示其排放量之比例不大。	同意。

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
國際間之 400 總噸以上船舶皆需配備 AIS 系統並強制於航行時開啟，而非航行於國際間之船舶則不受前述國際公約限制；由於國內有許多往返本島及外島間之船舶，如嘉義市布袋港每年約有 2 千多艘次，是否有將未裝置或航行開啟使用 AIS 之船舶(如 400 總噸以下、國內航線之船舶)納入排放量推估範疇嗎？		
3. 目前國內有 26 處之船舶自動識別系統(AIS)接收站，但船舶 AIS 資料仍會受到天氣、訊號異常等影響，造成 AIS 資料有缺漏之情形，若該航段無完整之 AIS 資料時，船舶排放量推估之參數，如船速等，該如何獲取？請說明。	感謝委員指導； 本研究當 AIS 船舶軌跡資料有缺值或軌跡中斷情形，便將兩點間中斷之軌跡線排放量以活動強度的方式，累積計算至中斷後的第一點，以減低中斷軌跡線之影響。	同意。
交通部航港局		
1. P.5-19 圖 5.5 2013 年 SO ₂ 逐月影響趨勢似乎與 PM _{2.5} 逐月影響趨勢似乎不太一致，是否能夠解釋。	感謝委員指導； PM _{2.5} 包含原生性與衍生性物種，而衍生性物種通常會於下風處生成，故 SO ₂ 與 PM _{2.5} 之影響趨勢有可能會不一致。	同意。
臺灣港務股份有限公司		
1. 請釐清報告書 4.1 節所推估之 2013 年排放量結果是否包含港區範圍內之固定污染源，另說明本計畫所推估之排放量與環保署(局)推估結果之差異。	感謝委員指導； 本研究所推估之船舶排放量主要依據來源為 AIS，並未包含固定污染源；與環保署推估結果之比較將於期末報告中補充說明。	同意。
2. 請就 5.2 節(CMAQ 模擬 2013 年船舶排放影響)之內容，釐清港區周邊包含船舶、車輛及其他固定	感謝委員指導； 本研究 5.2 節所述之內容為依據 AIS 計算臺灣周遭海域船舶之排	同意。

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
污染源之個別影響，並請補充說明圖 5.1 所呈現之原生性及衍生性污染物影響情形，俾利港區於規劃減量作為時參考。	放量影響，並未包含車輛或其他固定污染源的影響。將於期末報告中補充說明。	
臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司		
1. 提高數據可用度，可有效校正推估數值，與變化趨勢，以供有關機關檢討政策與管理成效。	感謝委員指導。	同意。
2. 移動點源污染擴散，應考慮排放距離、高度。	感謝委員指導； 船舶排放之空間分布，包括高度等均已經納入於模式模擬分析中。	同意。
3. 102 年度，輔助引擎、鍋爐燃料以”非低硫”適用。	感謝委員指導。	同意。
4. 管理與範圍界定相關，建議確認研究範圍有效性。	感謝委員指導； 本研究之範圍為依據港研中心相關資料。	同意。
5. 本計畫模式模擬結果是否有考慮船舶減速之效應。	感謝委員指導； 本研究船舶排放量計算公式中包含引擎的負載參數，而負載 LF 的計算為 $LF=(AS/MS)^3$ ，其中 AS 即為船舶當時的船速，若船舶速度有降低時，則會直接反應在負載參數中。	同意。
本所港研中心第二科蔣敏玲副研究員		
1. 中英文摘要及報告格式請依本所出版品規定。	感謝委員指導； 將納入於期末報告	同意。
2. 第一章過於簡略，請分小節分述研究動機、目的、前期研究內容與成果、本期研究成果等。	感謝委員指導； 將於期末報告中補充說明。	同意。
3. 第二章，P.2-12 最後一段文字不宜放在文獻回顧，建議改放第三章。	感謝委員指導； 將納入於期末報告	同意。

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
4. 因報告書乃以黑白列印，建議相關圖表不宜以顏色區別，建議宜輔以不同形狀或不同圖形進行區別，例如：圖 4.1~圖 4.6 等。	感謝委員指導； 將納入於期末報告	同意。
5. 第四章及第五章之相關研究成果及第六章之結論事項，除研究數據之說明外，請增加其所反映之現象或特性，及探討可能之原因。	感謝委員指導； 將於期末報告中補充說明。	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-107-H2DB001f

計畫名稱：港區及沿岸空氣品質受船舶航行之影響分析與即時推估系統建立

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

審查日期：107 年 11 月 09 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
邱永芳 委員		
1. 計畫執行符合原訂目標，成果值得肯定。	感謝委員指導。	同意。
2. 討論氣候造成的污染和船舶航行的配合，是否有降低移動污染源造成污染的議題，值得進一步研發。	感謝委員指導；建議納入未來研究項目。	同意。
3. 本研究提出的模式，應投著各國內外期刊，以推廣研究成效。	感謝委員指導；已經在撰寫相關成果之國際期刊論文。	同意。
4. 建議提出燃油補貼政策，降低空污的可行性及其執行方式與判定基準。	感謝委員指導。	
李忠潘 委員		
1. NE 及 SW 期間的背景值建立，建議(a)假設無境外污染源，首先模擬 NE 及 SW Monsoon 期間的空污分佈，並與實測的分佈比較。(b)加入境外的污染源後，重新模擬，並改變境外污染源的強度，直至與實測者一致，以求出境外污染源的時空變化。	感謝委員指導；本研究已經將臺灣與東亞地區之人為源與自然源排放量納入，並與環保署之 76 個空氣品質監測站之量測結果比較；結果顯示均符合模式模擬性能評估規範。再刪除五大港與海域船舶之排放量，以分別分析五大港與海域船舶之影響。	同意。
2. 以上模擬時，(a)請加入季節性的平均雨量分佈；(b)暫不考慮颱風期間的風雨效應。	感謝委員指導；本研究已經模擬分析全年每日之影響，而模式中包括氣相、液相、固相及三相間之傳輸等作用。	同意。

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. 請儘量量化各季節時，境外移入的空污比例，其中(a)中國移入的比例又為何？(b)船舶造成的比例又為何？	感謝委員指導；本研究已經模擬分析全年每日之影響。	同意。
鍾英鳳 委員		
1. P5-5 中 O ₃ 之貢獻比-18.49，負值說明係因被消耗之關係，如果沒被消耗是多少？且應說明被消耗之原因。	感謝委員指導；O ₃ 貢獻比例出現負值之原因為 NO 與 O ₃ 反應之滴定效應，其主要原因為大氣中之 O ₃ 與船舶排放之 NO 反應生成 NO ₂ ，因此 O ₃ 之濃度降低而造成貢獻比例為負值。	同意。
2. CMAQ 模擬船舶排放結果，NO、SO 是否應該趨勢相類似，但第五章之圖有些二者似乎不相類似。	感謝委員指導；由於氮氧化物與硫氧化物在傳輸過程中會與其它化合物產生反應，且各自反應的速率並不相同，所以造成的影響範圍並不全然相似。	同意。
3. 本計畫分別模擬主要商港排放，另一模擬臺灣周遭海域船舶排放，二者間可否分開來說明，到底非到臺灣之船舶影響為何？	感謝委員指導；要區分船舶是否到臺灣需再以進入港口之船舶分析其於海域之航行軌跡，故建議納入未來之研究內容。	同意。
4. 影響較大之因子可否分析出來，作為因應對策。	感謝委員指導；本年度之研究內容為分析不同區域之影響，結果顯示硫氧化物之影響最大。	同意。
5. 排放量影響報告中心以%表示，建議請加用增加量來表示，比較容易瞭解實際影響區域及研擬未來對策。	感謝委員指導；期末報告修正中已經增加濃度增量之分析，於 P5-13 頁及 P5-41 頁。	同意。
6. 結論 10 中以區域 B、C 說明不容易瞭解，建議應把區域先定義並取名如 C 為臺灣西海岸近岸區，E 為臺灣東海岸區。	感謝委員指導；已於報告中補充說明於 P5-69 頁及 P6-3 頁。	同意。

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. 未來在燃油含硫及主副引擎切換資訊建置較完善下，自動化模組計算(P3-25)之適用性及彈性為何。	感謝委員指導；由於海域航行船舶均應為使用主引擎，故無是否切換現象。	同意。
2. 排放量預報係數其與各年度時間序列是否具一致性，是否符合多變量分析推估之理論。	感謝委員指導；由於目前僅有兩年之數據，故各年之間的變化需待有更多年資料再進行分析。	請列入未來研究內容。
3. 請補充 AIS 接收資料可用部份其時空範圍，本研究針對 AIS 不足部份之推估方式，其對空氣品質影響分析及推估系統之影響度為何(敏感性)。	感謝委員指導；AIS 接收之不足數據主要為靠近大陸沿海，亦即 CMAQ/ISAM 分析中之 A 區，由 ISAM 分析結果顯示其影響程度遠小於靠近臺灣沿海。	同意。
蔡立宏 委員		
1. 5.2 節船舶排放影響，說明各月各地區各污染物種的影響，建議試說明差異原因。	感謝委員指導；已於報告中補充說明於 P5-32 頁。	同意。
2. 部份預測誤差值較大的原因為何？	感謝委員指導；分析發現主要為船舶數變化，但無法確認船舶數變化之原因。	同意。
3. ISAM 區域排放影響，是否僅如圖示分域內之影響。	感謝委員指導；ISAM 區域分布為海峽中線以西均為區域 A，區域 B 為臺灣北海岸以北區域，區域 C 為臺灣西海岸近岸區，區域 D 為臺灣西南海岸以南區域，區域 E 則為臺灣東海岸以東區域。	
4. 報告書第六章標題建議修改為結論與建議，報告格式請依本所出版品規定編排。	感謝委員指導；已於報告中修正於 P6-1 頁。	同意。
許義宏 委員		
1. P4-19 預報誤差計算上，是否應採用絕對值計算，以反映預測值的	感謝委員指導；已於報告中補充說明於 P4-19 頁。	同意。

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
誤差程度，請補充說明。		
2. P5-10，圖 5.4 之 X 軸濃度值為何？是指船舶排放濃度或者總污染物濃度，可再分析其關聯性。	感謝委員指導；圖中 X 軸為總污染物濃度。	同意。
3. 承上，圖 5.4 花蓮站分析內容中，左圖誤植為陽明站，請修正。	感謝委員指導；已於報告中修正於 P5-11 頁。	同意。
4. 第 5.3 節建議可補充濃度擴散圖，較可以反映港區船舶的影響。	感謝委員指導；報告中已呈現臺灣五大商港之年平均以及逐月影響等值圖。	同意。
5. 第 5.4 節使用 ISAM 模組，其模擬分析方法與第 5.3 節的 ZERO-OUT 方法有何差異，請補充說明；另外，小港站於模擬期間均無明顯變化趨勢，其原因為何？請補充說明。	感謝委員指導；ISAM 為 CMAQ 底下之模組，當標記污染物於不同地區下之模擬時，可直接獲取模擬結果，不同於 zero-out 方法，須得到所有污染物的影響與拿掉目標排放量影響之差值，可縮短模擬期程。	同意。
6. 第 5.4.2 節，P5-58 各區域對測站貢獻比例，建議納入簡報 P36 表格，強化報告內容。	感謝委員指導；已於報告中補充說明於 P5-69 及 P5-76 頁。	同意。
7. 第 6.2 節建議事項中，可補充納入模式精進方法或後續工作之建議。	感謝委員指導；已於報告中補充說明於 P6-3 頁。	同意。
行政院環境保護署		
1. 船舶排放量推估使用之勞氏資料庫，其版本會隨著船舶汰除及增加逐年更新，確保船舶基本資料為最新之資訊，本計畫所使用之勞氏資料庫是否為推估年度之版本？	感謝委員指導；本研究推估之 AIS 船舶排放量年度為 2013 年與 2016 年，當中使用之勞氏資料庫已更新至 2017 年 4 月。	同意。
2. 船舶呼號(MMSI)並非船舶的唯一編碼，可能會出現不同的兩艘船舶使用同一個船舶呼號，因此利用 AIS 船隻呼號作為對應勞氏	感謝委員指導；本研究計算船舶排放量時，以國際海事編號(IMO)為主要搜尋船隻資訊的依據，若 AIS 資料無法得知船隻 IMO 編號，則以水上行	同意。

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
資料庫呼號，獲取其他相關資料，可能出現重複對應或是對應錯誤之情況，是否有將此情況排除？用何種方式排除？	動業務識別碼(MMSI)當作第二輔助搜尋資訊。	
3. 於推估船舶排放量時，船舶用油之硫含量是影響 SO ₂ 排放量重要因素之一，本計畫於推估船舶排放量時，如何獲取船舶用油種類資訊？	感謝委員指導；由於目前無法確切得知船舶用油資訊，故本研究推估船舶排放量時，主引擎採用含硫量 2.7% 之重油，輔助引擎及鍋爐則使用 0.5% 之柴油。	同意。
臺灣港務股份有限公司		
1. 本計畫利用 AIS 資訊及勞氏資料庫計算船舶排放量，再搭配 TEDS(Taiwan Emission Date System)排放清冊等相關資料模擬臺灣周遭海域船舶與臺灣主要商港污染排放量影響，請說明該模擬是否考量進出港船舶及離港距離遠近之影響，以釐清未進港之船舶影響。	感謝委員指導；本研究應用 AIS 資訊計算船舶之排放量，故若 AIS 資料鏈中有接收到船舶資料，則皆會列入計算其排放量。要區分船舶是否到臺灣需再以進入港口之船舶分析其於海域之航行軌跡，故建議納入未來之研究內容。	同意。
2. 請簡要說明模擬臺灣五大商港污染物排放量之條件設定，例如範圍、進(未進)港船舶、參數等其他項目。如模擬時一併考量未進港船舶，其模擬推估成果是否會有高估情形。	感謝委員指導；港口之影響應包含港內活動之機具、車輛，以及距離港口 20 海浬內之船舶活動。	同意。
3. 報告結論第 7 點，推估臺灣五大商港污染物排放比例，請說明該比例定義，即該比例係指全臺灣或是港口所在地。	感謝委員指導；五大商港之影響為該港口之排放影響，除以全臺污染物與臺灣周遭海域船舶排放的影響，所得之結果即為該港口之貢獻比例。	同意。
4. 環保署亦有執行相關計畫，請補充說明本計畫推估成果與環保署推估成果之比較及其差異性。	感謝委員指導；本研究推估範圍為臺灣周遭海域之船舶排放量，環保署推估範圍則為港口 20 海浬內之排放量。	同意。

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. 請依推估成果，補充說明臺灣主要商港對臺灣地區空氣品質之影響程度。	感謝委員指導；已於報告中補充五大商港於測站 $PM_{2.5}$ 不同濃度下之影響結果於 P5-40 頁。	同意。
6. 報告第 3-31 頁，小港站模擬值為 Y，高雄港對小港站之貢獻量值為 Z，請說明 Z 除以 Y 為高雄港排放量對小港站之貢獻比例是否適當。	感謝委員指導；所有排放量模擬值為 X，拿掉高雄港模擬值為 Y，則高雄港之影響為 $X-Y=Z$ ，而高雄港之貢獻比例則為 Z 除以 X，已於報告中修正。	同意。
7. 報告第 5-5 頁，細懸浮微粒、硝酸鹽及銨鹽之貢獻比例最高為麥寮站，請說明對於麥寮所在地之麥寮港有何建議。	感謝委員指導；報告第 5-5 頁為海域船排放之影響，非麥寮港排放。	同意。
8. 報告第 5-27 頁，說明港口範圍包括港區內與以港口為中心半徑 20 海浬內之船舶，建議於結論中說明港口範圍，以釐清港內及港外之污染影響。	感謝委員指導；已於報告中補充說明於 P5-32 及 P6-2 頁。	同意。
9. 報告圖 5.9~10 及圖 5.12~16，建議標註相關測站位置，並考量提高影響尺度比例(最小為 0.1%)，以避免推估影響範圍過大，涵蓋整個臺灣。	感謝委員指導；本研究於貢獻比例繪圖時，使用尺度非等差遞增，最低為 0.1%；圖中已增加鄰近港口之環保署測站標示。	同意。
本所港研中心第二科蔣敏玲副研究員		
1. 中英文摘要內容不一致，請修改。另摘要及報告格式請依本所出版品規定。	感謝委員指導；已修改中英文摘要內容。	同意。
2. 1.3 節前期研究內容，宜著重針對前期 CMAQ 之研究成果進行描述，進而接續本期重點何在？而非僅說明 AERMOD 部份。	感謝委員指導；已於報告中補充說明於 P1-2 頁。	同意。
3. P.1-3，若干文字不通順，請修正用詞。	感謝委員指導；已於報告中修正於 P1-3 頁。	同意。

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
4. 因報告書乃以黑白列印,建議相關圖表不宜以顏色區別,宜輔以不同形狀或圖例進行區別,例如:圖 3.8 等。	感謝委員指導;已於報告中修正於 P3-25 頁。	同意。
5. 報告書表 4-13 與簡報 P.14 之排放量預報結果,數據不盡相同,請確認並修改。	感謝委員指導;簡報資料為 8 月 17 日至 10 月 31 日之測試結果,已於報告中修正於 P4-19 頁。	同意。
6. 污染排放影響貢獻比例圖之色塊 scale 宜一致,不然易生混淆,例如:圖 3.16、圖 5.1~圖 5.16、附錄 5、附錄 6 等。	感謝委員指導;已於報告中修正為相同尺度(scale)。於 P3-34、P5-7 至 5-63 及附錄八、附錄九。	同意。
7. 5.1 節,針對表 5-1、表 5-2、表 5-3 之模式模擬性能評估結果,宜補充文字進一步探討各個不同空品區之評估結果,如簡報時所述。	感謝委員指導;已於報告中補充說明於 P5-1 頁。	同意。
8. 5.4 節,宜針對 Zero-Out 方法和 ISAM 模組之適用對象、優缺點、推估結果差異等再做較詳細之撰述。	感謝委員指導;已於報告中補充說明於 P5-64 頁。	同意。
9. 第五章之相關研究成果及 6.1 節之結論事項,除研究數據之說明外,請增加其所反映之現象或特性,及探討可能之原因。	感謝委員指導;已於報告中補充說明於 P6-3 頁。	同意。
10. 海域船舶及港區船舶排放之總體影響,請分別製表放入報告書內,如簡報 P.30。	感謝委員指導;已於報告中補充於 P5-5 頁、P5-12 頁、P5-33 頁及 P5-40 頁。	同意。
11. 第六章結論與建議,6.2 節建議事項宜再強化,6.3 節成果效益及與應用情形小節,所列第 1~3 點為工作項目,請修改為本計畫之成果效益;第 5 點不適列為本案效益。	感謝委員指導;已於報告中補充與修改於 P6-3 頁。	同意。

附錄三 期末報告簡報資料

港區及沿岸空氣品質受船舶航行之 影響分析與即時推估系統建立

期末簡報

吳義林、賴信志

財團法人成大研究發展基金會

中華民國107年11月9日

1

簡報大綱

- 計畫目的
- 執行流程
- 排放量推估及預報
- 五大港口影響
- 台灣海域船舶排放影響
- CMAQ-ISAM模擬

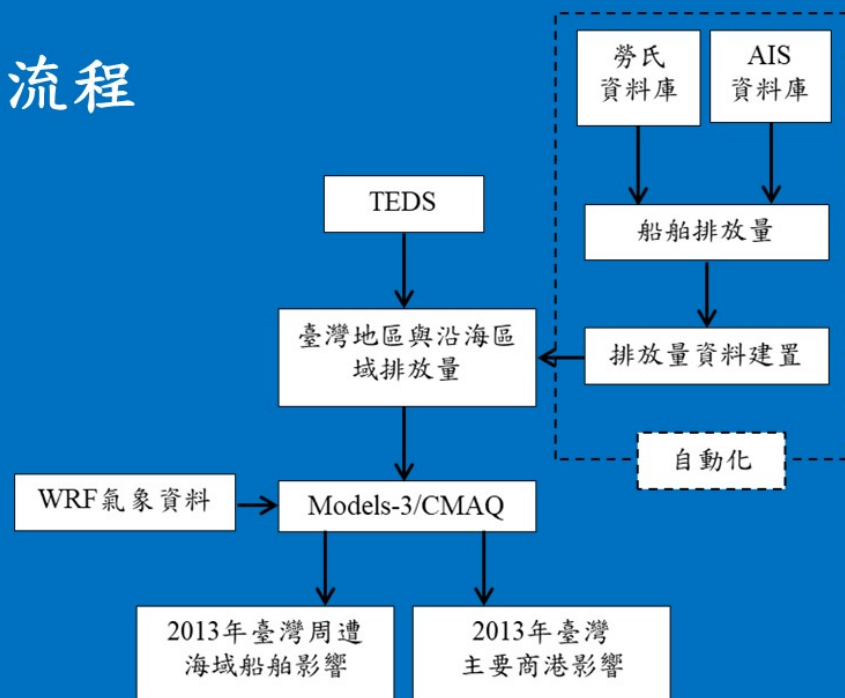
2

計畫目的

- 使用三維網格模式CMAQ，模擬臺灣主要商港排放污染物對於臺灣本島的影響。
- 使用三維網格模式CMAQ，模擬臺灣周遭海域船舶排放污染物對於臺灣本島的影響。
- 建置CMAQ預報系統之需求內容。

3

執行流程



4

工作進度

工作項目	月次	第1月	第2月	第3月	第4月	第5月	第6月	第7月	第8月	第9月	備註
資料收集與文獻回顧											
AIS 自動排放量建置											
WRF 氣象資料建置											
建置 CMAQ 空氣品質預報											
沿海船舶自動排放量建置											
三维網格模式 CMAQ 模擬建置											
三维網格模式 CMAQ 全臺主要商港影響											
三维網格模式 CMAQ 周邊海域船舶影響											
排放量自動化模擬建置											
教育訓練											
期中報告											
期末報告											
預定查核點											
預定累積進度百分比	10	25	35	45	55	70	80	90	100		
預定查核點	107 年 6 月 27 日期中報告										
	107 年 10 月 25 日期末報告										

將於11月13日舉辦

5

AIS排放量推估 及排放量預報

6

船舶排放量 計算

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

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

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

MCR：最大引擎動力(kW)

LF：負載係數

Act：活動量(hr)

負載 20% ~ 80%：

$$\text{LF} = (\text{AS} / \text{MS})^3$$

AS：實際船速(節)

MS：最大船速(節)

Field	Description
IMO_Number	(IMO Number) 國際海事組織編號
Call_Sign	(Call Sign) 呼號
MMSI	(MMSI, Maritime Mobile Service Identities Code) 水上行動業務識別碼
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

7

2013年 日平均

		IMO+MMSI			總排放量(噸)			區域推算百分比反推(噸)		
	筆數	符合篩選	可用筆數	可用率	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
sum	270419135	258555890	77940482	30.1%	180315	114513	16010	1052219	675027	95098
average	751164	718211	216501	31.3%	500.9	318.1	44.5	2922.8	1875.1	264.2
max	1483846	1387682	309885	44.8%	930.8	597.1	83.7	5283.3	3511.2	488.6
min	288849	277819	83918	18.4%	166.2	79.4	13.5	798.5	460.3	67.7

2016年 日平均

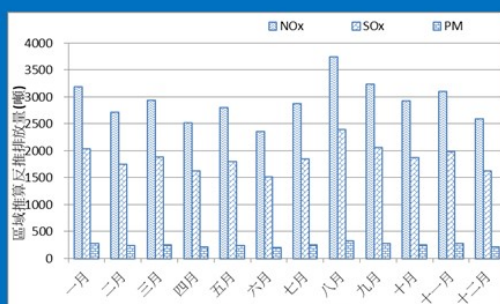
		IMO+MMSI			總排放量(噸)			區域推算百分比反推(噸)		
	筆數	符合篩選	可用筆數	可用率	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
sum	393483895	348954059	108397163	31.1%	203128	130516	18325	1088681	705843	99756
average	1081000	958665	297794	32.1%	558.0	358.6	50.3	2990.9	1939.1	274.1
max	1944267	1663890	414533	46.2%	1015.2	656.8	92.4	5322.0	3474.0	494.8
min	42445	38634	11608	19.7%	43.2	29.6	3.9	500.7	341.2	45.1

8

2013年 排放量



全年日平均

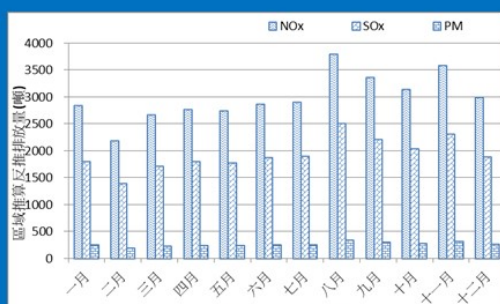


9

2016年 排放量

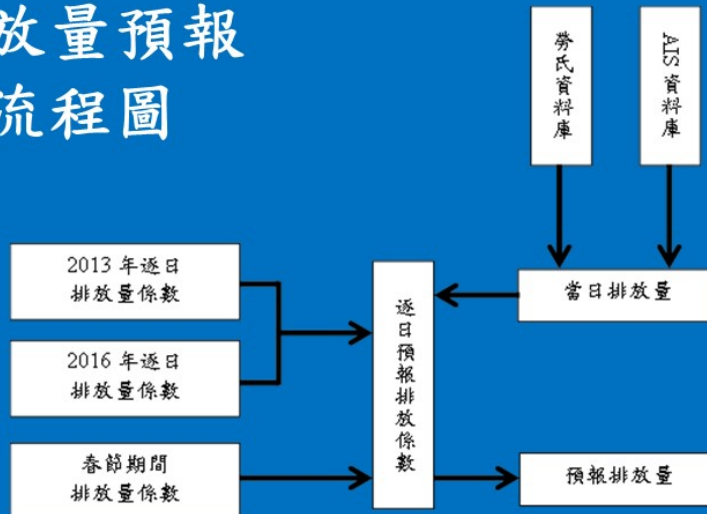


全年日平均



10

排放量預報 流程圖

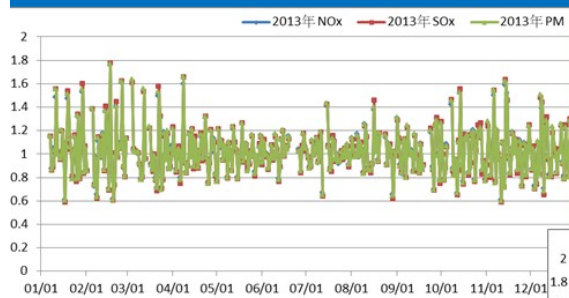


		預報			
	當日實際	第一天	第二天	第三天	第四天
排放量	E0	E1	E2	E3	E4
預報係數		a1	a2	a3	a4

$$\begin{aligned}
 E1 &= E0 * a1 \\
 E2 &= E1 * a2 \\
 E3 &= E2 * a3 \\
 E4 &= E3 * a4
 \end{aligned}$$

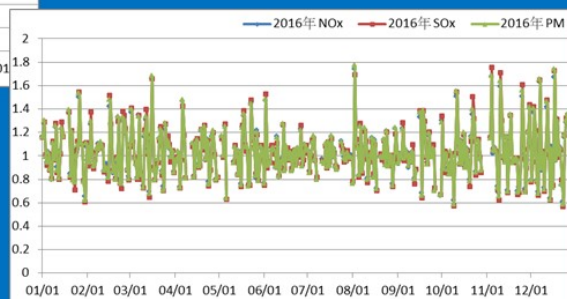
11

逐日預報係數



2013年

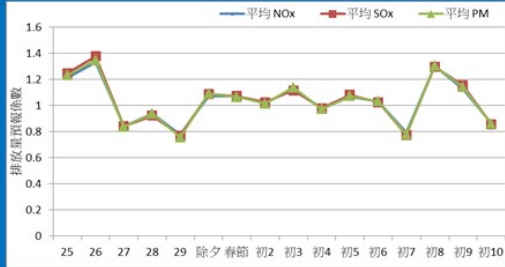
日期	排放量	預報係數
n	a	-
n+1	b	b/a



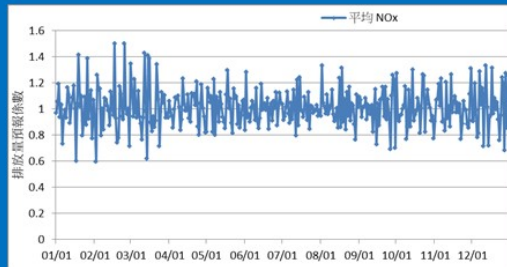
2016年

12

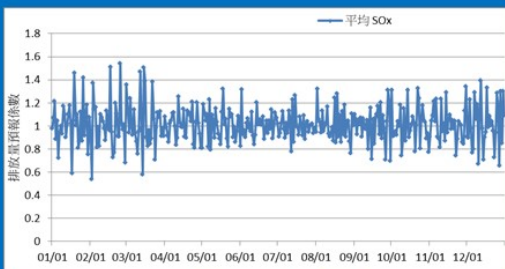
預報係數



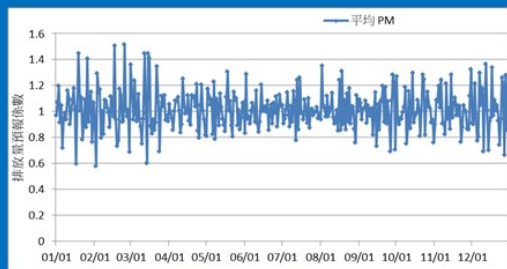
春節預報係數



NOx 預報係數



SOx 預報係數



PM 預報係數

13

排放量預報結果

預報誤差(%)		第一天	第二天	第三天	第四天
NOx	最大值	59.4%	65.9%	66.4%	61.2%
	平均	-4.2%	-6.1%	-8.7%	-11.2%
	最小值	-78.4%	-90.4%	-124.5%	-139.9%
	標準偏差	27.4%	36.1%	40.3%	41.8%
SOx	最大值	65.5%	71.5%	71.1%	67.2%
	平均	-4.6%	-7.3%	-10.4%	-13.4%
	最小值	-90.7%	-108.7%	-131.8%	-159.0%
	標準偏差	29.4%	40.1%	44.5%	46.3%
PM	最大值	61.3%	67.4%	68.0%	62.6%
	平均	-4.5%	-6.7%	-9.5%	-12.1%
	最小值	-86.7%	-97.7%	-131.5%	-148.9%
	標準偏差	28.7%	38.1%	42.5%	43.8%

2018/8/17 ~ 2018/10/31 排放量預報結果

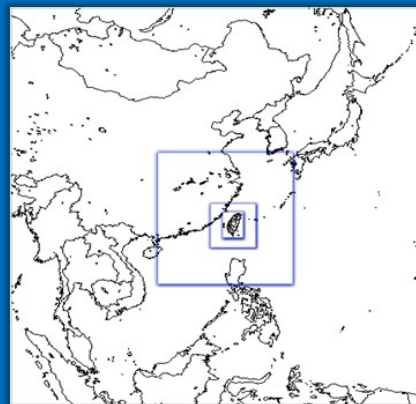
誤差 = (實際 - 預報) / 實際

14

CMAQ 模擬結果 性能評估

15

CMAQ模式多層次 網格示意圖



		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

模式模擬採用的設定基準

16

模式模擬性能評估

環保署2015年公告之模式模擬性能評估規範，模擬PM_{2.5}時，需同時比較PM_{2.5}、SO₂及NO₂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

- MFB：配對值分數偏差
- MFE：配對值絕對分數偏差
- R：相關係數

符合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。

17

細懸浮微粒之模式模擬性能評估結果

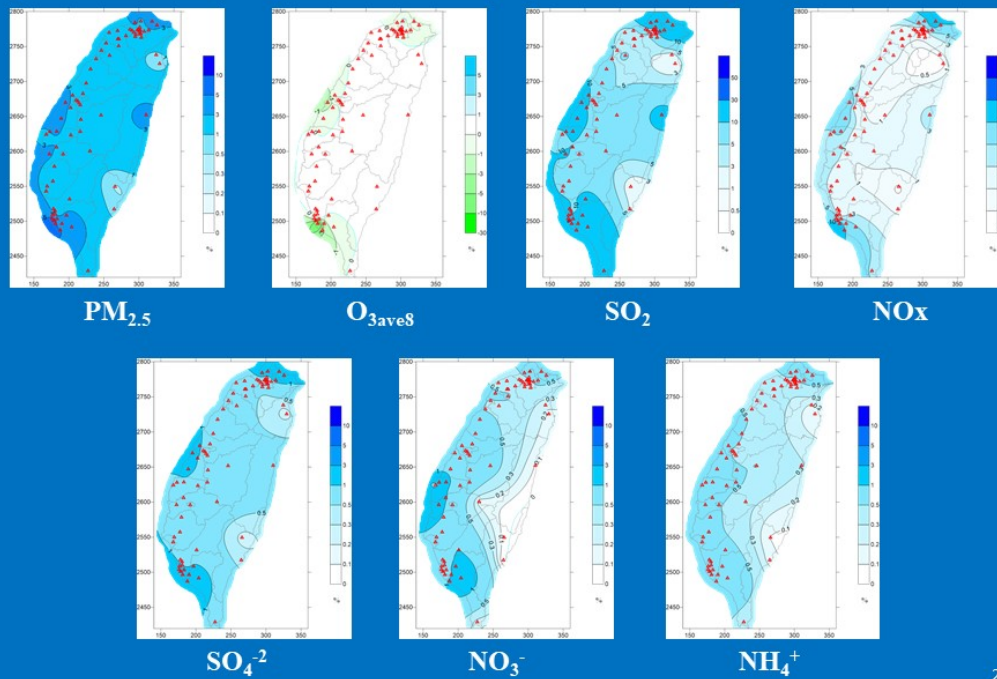
污染物	地區	MFB	符合站數比	MFE	符合站數比	R	符合站數比
PM _{2.5}	北部空品區	-4.1%	100.0%	40.9%	100.0%	0.67	100.0%
	竹苗空品區	-1.6%	100.0%	40.0%	100.0%	0.71	100.0%
	中部空品區	6.1%	100.0%	39.7%	100.0%	0.70	100.0%
	雲嘉南空品區	0.4%	100.0%	35.9%	100.0%	0.74	100.0%
	高屏空品區	-0.9%	86.7%	41.6%	86.7%	0.79	100.0%
	宜蘭空品區	-25.8%	50.0%	42.3%	100.0%	0.64	100.0%
	花東空品區	-33.8%	33.3%	53.4%	66.7%	0.59	100.0%
	全台	-0.2%	90.4%	41.2%	94.5%	0.75	100.0%
SO ₂	北部空品區	-31.7%	96.0%	60.2%	100.0%	0.47	80.0%
	竹苗空品區	-11.2%	100.0%	50.7%	100.0%	0.57	100.0%
	中部空品區	-11.0%	100.0%	52.8%	100.0%	0.54	81.8%
	雲嘉南空品區	-6.0%	100.0%	46.7%	100.0%	0.56	100.0%
	高屏空品區	10.9%	93.3%	52.1%	93.3%	0.62	73.3%
	宜蘭空品區	-54.5%	50.0%	78.2%	50.0%	0.48	50.0%
	花東空品區	-59.4%	33.3%	81.1%	33.3%	0.56	100.0%
	全台	-16.1%	93.2%	56.4%	94.5%	0.60	82.2%
NO ₂	北部空品區	-15.5%	100.0%	40.0%	100.0%	0.62	88.0%
	竹苗空品區	-7.3%	100.0%	30.9%	100.0%	0.58	83.3%
	中部空品區	3.3%	90.9%	35.4%	100.0%	0.70	100.0%
	雲嘉南空品區	0.9%	100.0%	29.6%	100.0%	0.60	90.9%
	高屏空品區	33.5%	100.0%	44.5%	100.0%	0.73	80.0%
	宜蘭空品區	-29.5%	100.0%	46.2%	100.0%	0.49	50.0%
	花東空品區	-63.7%	66.7%	78.8%	66.7%	0.69	66.7%
	全台	-2.4%	97.3%	39.7%	98.6%	0.65	83.6%

18

CMAQ 模擬結果： 五大港口影響

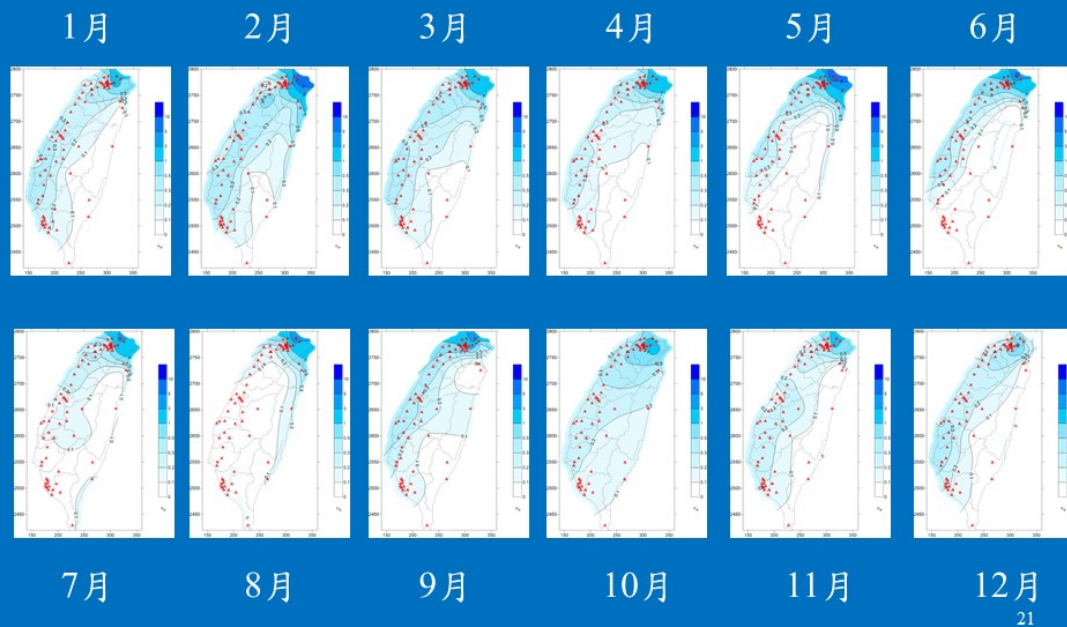
19

年平均影響

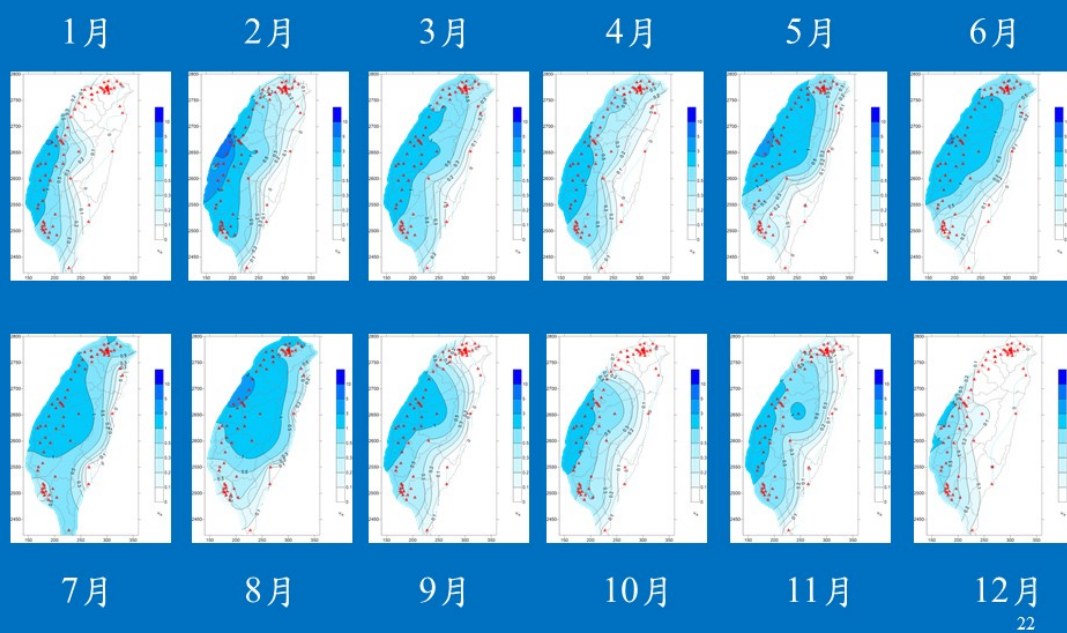


20

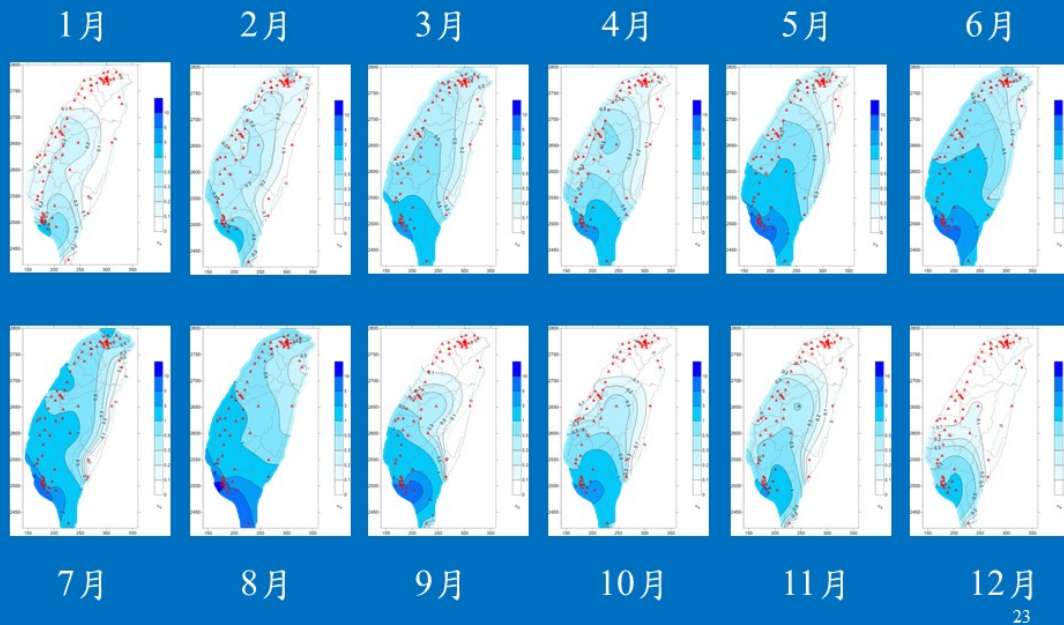
基隆港 PM_{2.5}逐月影響



臺中港 PM_{2.5}逐月影響

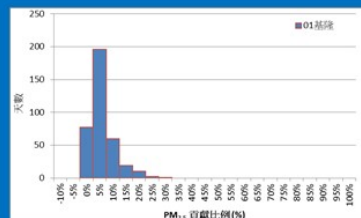
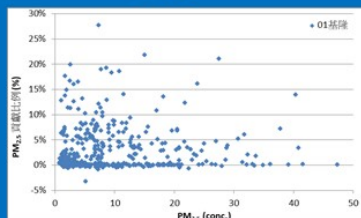


高雄港 PM_{2.5}逐月影響

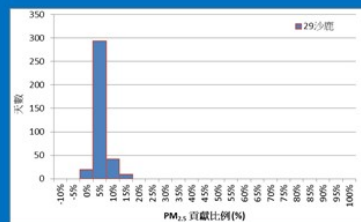
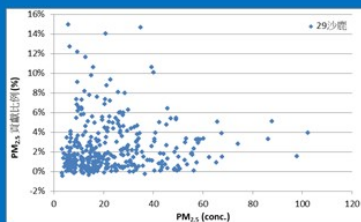


PM_{2.5}散點圖及頻率分布

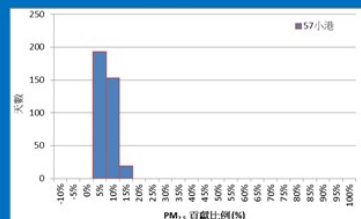
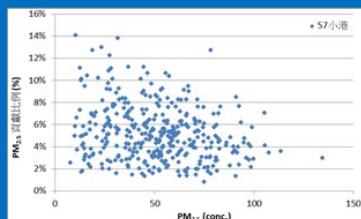
基隆



沙鹿



小港

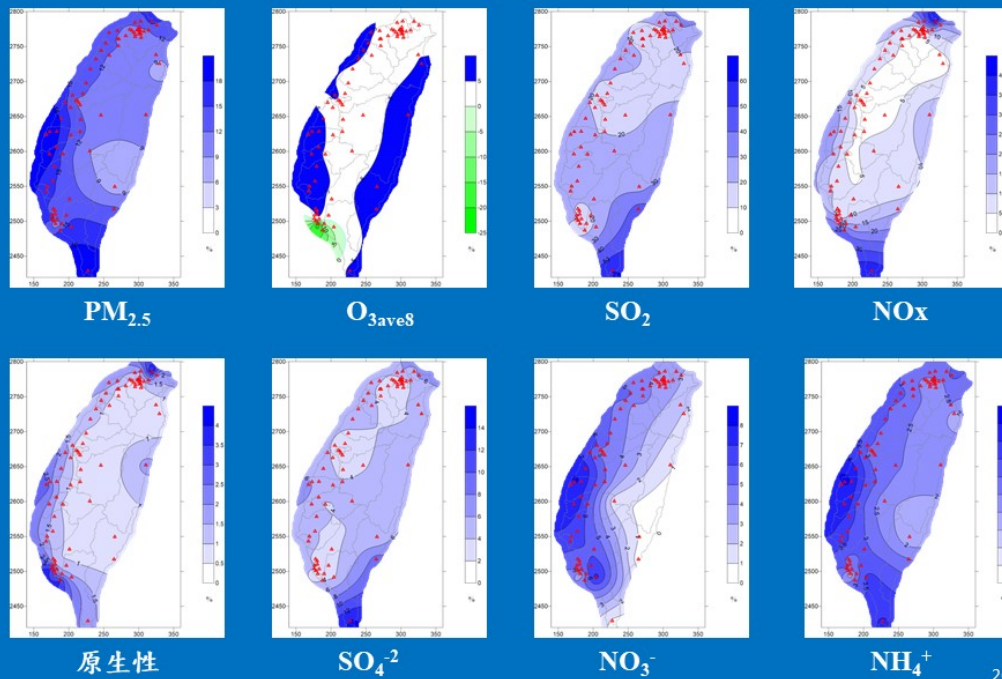


24

CMAQ 模擬結果： 臺灣海峽船舶排放

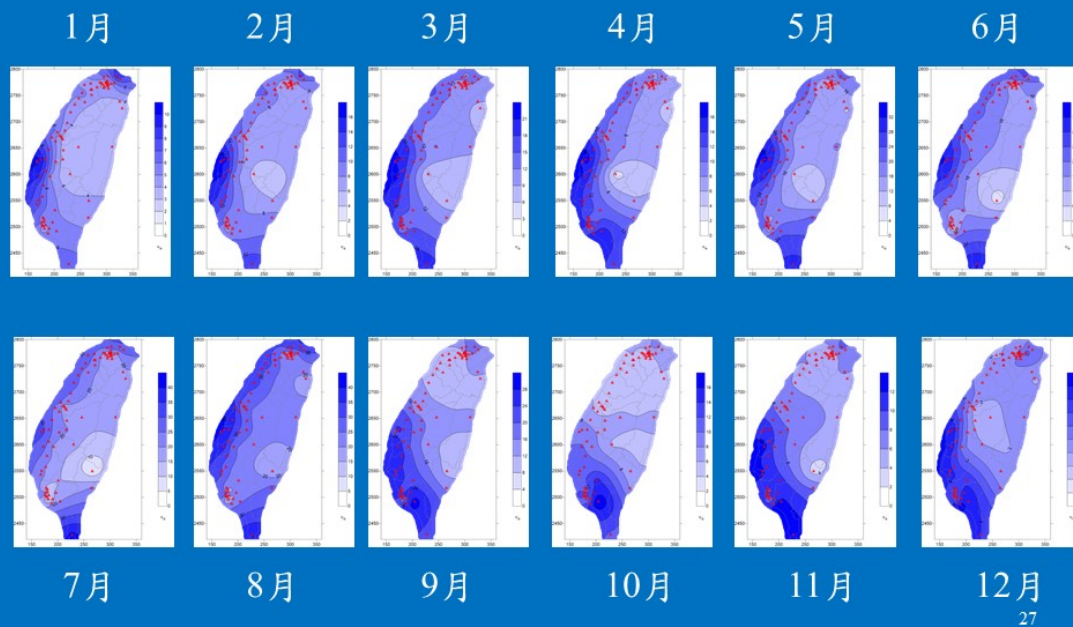
25

年平均影響

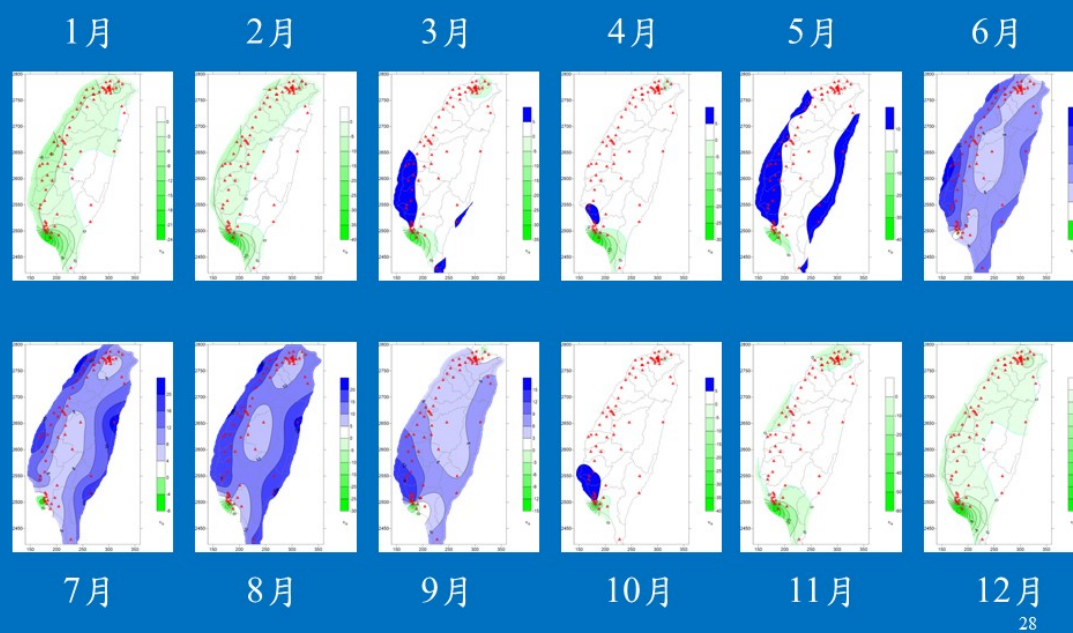


26

PM_{2.5}逐月影響

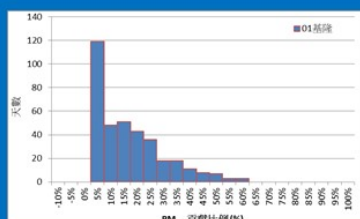
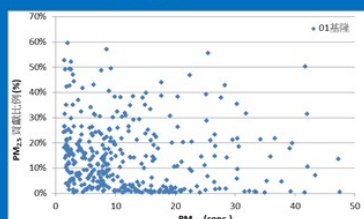


O_{3ave8}逐月影響

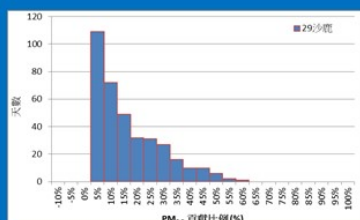
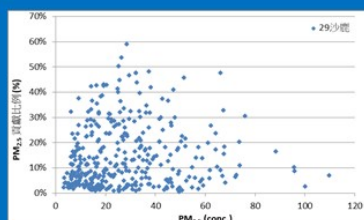


PM_{2.5}散點圖及頻率分布

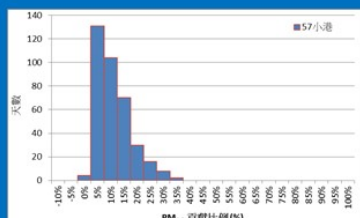
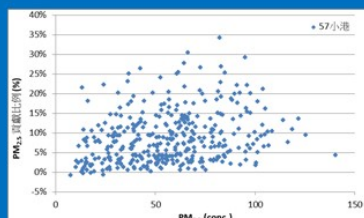
基隆



沙鹿



小港



29

海域船舶排放之影響

	年平均			日平均	
	全台平均	最大值	測站	最大值	日期
PM2.5	13.0%	21.0%	麥寮	46.3%	2013/08/18
O3ave8	3.2%	8.3%	台南	30.4%	2013/08/18
SO2	20.4%	60.1%	恆春	55.7%	2013/03/24
NOx	9.9%	41.2%	萬里	23.4%	2013/08/29
原生性	1.4%	4.2%	萬里	5.2%	2013/05/29
Sulfate	4.2%	14.2%	恆春	17.3%	2013/08/12
Nitrate	4.6%	8.2%	麥寮	18.2%	2013/08/18
Ammonium	2.9%	4.8%	麥寮	10.8%	2013/08/18

30

不同細懸浮微粒濃度之影響

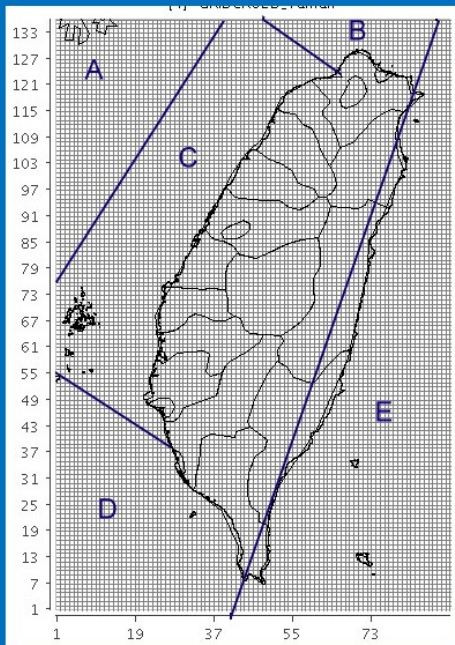
	PM _{2.5} 濃度	< 15.4	>= 15.4, <35.4	>= 35.4, <54.4	>= 54.4
北部	平均	10.2%	12.2%	9.2%	3.7%
	標準偏差	7.0%	10.8%	8.0%	4.5%
	日數	66	232	60	7
竹苗	平均	12.6%	14.2%	11.6%	6.5%
	標準偏差	11.3%	13.4%	10.3%	5.1%
	日數	76	205	73	11
中部	平均	10.6%	15.0%	10.9%	10.7%
	標準偏差	6.6%	13.0%	10.0%	8.4%
	日數	34	191	114	26
雲嘉南	平均	18.1%	19.9%	13.8%	11.3%
	標準偏差	10.3%	14.2%	11.3%	8.6%
	日數	41	167	110	47
高屏	平均	14.2%	18.9%	12.2%	8.6%
	標準偏差	5.7%	10.7%	9.1%	6.4%
	日數	30	131	145	59
宜蘭	平均	10.5%	9.5%	4.9%	0.9%
	標準偏差	9.1%	8.7%	5.8%	0.7%
	日數	143	195	23	4
花東	平均	11.7%	7.6%	1.5%	0.4%
	標準偏差	9.3%	7.2%	1.2%	0.0%
	日數	240	118	5	2

31

CMAQ-ISAM 模擬結果

32

ISAM 區域分布影響



對測站貢獻比例：

區域A： $a/(a+b+c+d+e)$

區域B： $b/(a+b+c+d+e)$

區域C： $c/(a+b+c+d+e)$

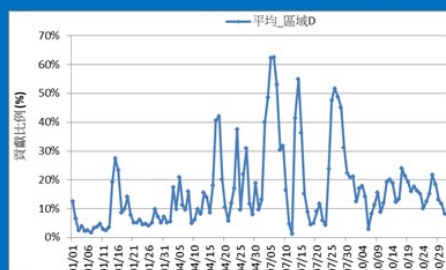
區域D： $d/(a+b+c+d+e)$

區域E： $e/(a+b+c+d+e)$

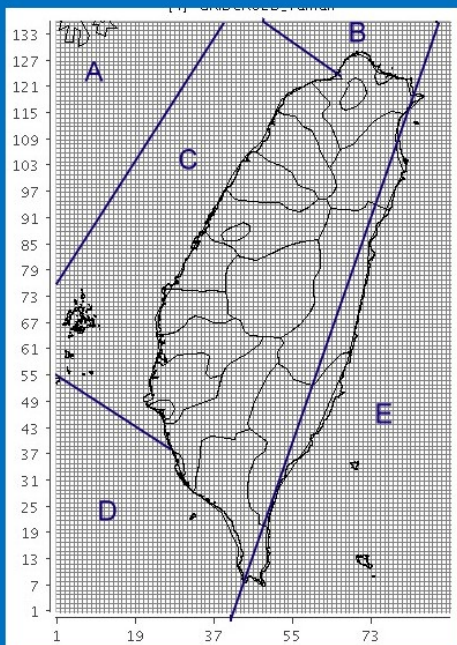
a、b、c、d、e：影響濃度

33

各區域對細懸浮微粒濃度之影響



ISAM 區域每噸貢獻影響



對空品區貢獻比例：

原生性：原生性/(粒狀物排放量)

硫酸鹽： SO_4^{2-} /(SO_2 排放量)

硝酸鹽： NO_3^{-1} /(NO_x 排放量)

噸/年	$\text{PM}_{2.5}$	SO_x	NO_x
區域A	33369	285876	472815
區域B	11694	102387	162268
區域C	7714	69420	104122
區域D	7077	51776	114060
區域E	16604	165567	198941

35

各區域之影響比較

		北部	竹苗	中部	雲嘉南	高屏	宜蘭	花東
貢獻比例	區域A	4.77%	5.95%	7.14%	6.76%	4.78%	4.32%	2.03%
	區域B	50.2%	33.1%	26.4%	19.1%	13.6%	27.9%	11.3%
	區域C	25.8%	42.1%	43.1%	46.4%	33.2%	8.92%	4.07%
	區域D	6.63%	10.1%	16.7%	20.4%	36.1%	4.77%	6.26%
	區域E	12.6%	8.76%	6.71%	7.44%	12.4%	54.1%	76.3%
每噸影響	區域A	0.0022%	0.0027%	0.0033%	0.0031%	0.0022%	0.0020%	0.0009%
	區域B	0.0663%	0.0438%	0.0348%	0.0252%	0.0179%	0.0368%	0.0149%
	區域C	0.0520%	0.0847%	0.0868%	0.0934%	0.0668%	0.0180%	0.0082%
	區域D	0.0140%	0.0213%	0.0352%	0.0430%	0.0761%	0.0101%	0.0132%
	區域E	0.0121%	0.0084%	0.0064%	0.0071%	0.0119%	0.0518%	0.0731%

36

結 論

- 1.以 AIS 推估臺灣海域之船舶粒狀物、SO_x與NO_x排放量，2013年分別為95098噸、675027噸及1052219噸；2016年分別為99756噸、705843噸及1088681噸。
- 2.預報NO_x、SO_x及粒狀物排放量，結果為第一天至第四天之平均誤差介於-4.2%~-13.4%之間。
- 3.五大港口對台灣細懸浮微粒濃度之貢獻比例為0.46% ~ 6.25%之間，主要分布範圍在高雄市沿海。
- 4.海域船舶對臺灣地區細懸浮微粒濃度之貢獻比例年平均值為13.0%，最大值為麥寮站之21.0%。
- 5.不同海域船舶對各空品區之影響有顯著差異，排放每噸貢獻比例以區域C之影響最大。

37

建 議

- 1.海域船舶之影響顯著，應研訂減量措施例如使用含硫量0.5%或含量更低之燃油，以降低硫氧化物的產生。
- 2.未來應結合AIS，以預報海域船舶之空氣品質影響。

38

***THANKS FOR
YOUR ATTENTION***

附錄四 工作會議記錄

第 1 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-107-H2DB001」港區及沿岸空氣品質受船舶航行之影響分析與即時推估系統建立
- 二、時間：民國 107 年 4 月 26 日(星期五)下午 3:00
- 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 蔣五晃 朱金元 黃茂育
合作研究單位： 國立成功大學	吳長政 楊榮元

六、討論議題

- (一)工作進度說明。
- (二)針對目前研究方向與執行情形進行討論。



會議結論：

1. 有關船舶航行的下一個目的港口之即時資料，請先洽航港局、港務公司或運工組瞭解是否可取得？
2. 今年度請進行各港口對環境濃度之貢獻比例估算。

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-107-H2DB001f 港區及沿岸空氣品質受船舶航行之影響分析與即時推估系統建立」
- 二、時間：民國 107 年 8 月 17 日(星期五)下午 2:30
- 三、地點：本中心 5 樓第 2 會議室
- 四、主席：蔡立宏科長 記錄：蔣敏玲
- 五、出席：

單位	出席人員
本所港研中心	蔡立宏 蔣敏玲
合作研究單位： 國立成功大學	吳義林 楊榮元

六、討論議題

- (一) 工作進度說明。
- (二) 針對目前研究方向與執行情形進行討論。

七、會議結論：

- (一) 目前國內及亞洲國家多採洛杉磯公式推估船舶排放量，請持續蒐集是否有其他或更新之推估方式。
- (二) 預計 11 月中旬辦理 1 場教育訓練，確定之時間地點與議程將於下次工作會議確認。

八、散會：(下午 3 時 50 分)

A09540000Q0000000_185049_10711021480_185049_10711021480_2.pdf

第2頁，共2頁



1079918342-00-01

會議結論：

1. 目前國內及亞洲國家多採洛杉磯公式推估船舶排放量，請持續蒐集是否有其他或更新之推估方式。
2. 預計 11 月中旬辦理 1 場教育訓練，確定之時間地點與議程將於下次工作會議確認。

第 3 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-107-H2DB001F 港區及沿岸空氣品質受船舶航行之影響分析與即時推估系統建立」

二、時間：民國 107 年 10 月 17 日(星期一)下午 12:30

三、地點：成功大學環工系 2F 第三會議室

四、主席：蔡立宏科長

記錄：蔣敏玲

五、出席：

單位	出席人員
本所港研中心	蔣立宏 蔣敏玲
合作研究單位： 國立成功大學	蔡立宏 楊榮元

六、討論議題

- (一) 工作進度說明。
- (二) 針對目前研究方向與執行情形進行討論。
- (三) 教育訓練辦理日期與方式。



會議結論：

1. 目前進度符合契約書要求，請持續進行排放量預報結果比對驗證。
2. 教育訓練預定於11月13日10:00~15:00假成功大學環工系會議室舉辦，詳細之議程與內容簡介請送本所發文邀集各單位參加。

附錄五 教育訓練簡報

「港區及沿岸空氣品質受船舶航行之影響分析
與即時推估系統建立」計畫教育訓練

時 間：107年11月13日(星期二) 上午10時至下午3時
地 點：成功大學環工系一樓 47102 第五會議室(臺南市大學路一號)

簽 到 表

編號	服務機關	姓名	職稱	身分證字號 (須終身學習時數者才填)	出席人員簽名
1	運研所	許義宏		M121967421	許義宏
2	港務公司(安平港)	周家瑞	資深專員		周家瑞
3	環保署	陳嘉珍	視察	F221009790	陳嘉珍
4	景丰科技	廖志嘉	專案經理		廖志嘉
5	景丰科技	林星勳	工程師		林星勳
6	運研所	蔣敏玲		6220098106	蔣敏玲
7	運研所	蔣元宏	科長	L120486364	蔣元宏
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					

空氣品質模式

吳義林

國立成功大學環境工程學系

2018年11月13日

1

大綱

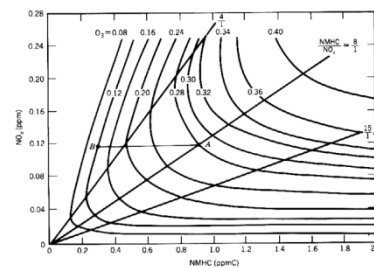
- 前言：空氣污染簡介
- 空氣品質模式
- 高斯擴散模式
- 三維網格模式
- CMAQ模擬結果
- CMAQ-ISAM模擬結果

空氣污染物之分類

原生性（一次）污染物：大氣中污染物為直接由污染源排放，經由擴散作用傳送者；例如SO₂、CO，部分之懸浮微粒。

衍生性（二次）污染物：大氣中之污染物為由污染源排放之前驅物，在大氣經由化學反應而形成者；例如臭氧，部分之懸浮微粒。

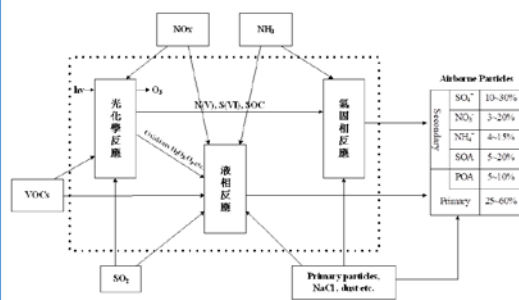
Precursors of O₃: NO_x and VOCs



Ozone isopleths used in EKMA approach (from Dodge, 1977a)

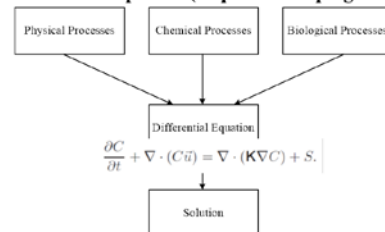
Nonlinear relationship between O₃ and its precursors

Formation Pathways for the Atmospheric Aerosol

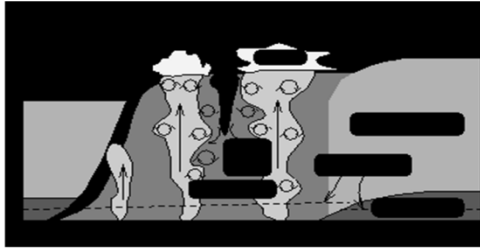


Air Quality Models

Air quality models use mathematical and numerical techniques to simulate the physical and chemical processes that affect air pollutants as they disperse and react in the atmosphere. (<https://www.epa.gov/scram>)



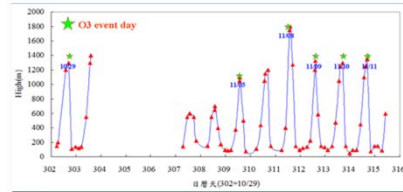
Atmospheric Boundary Layer



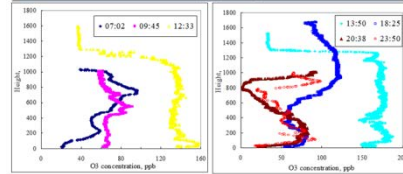
Stull (1988) defines the atmospheric boundary layer as "the part of the troposphere that is directly influenced by the presence of the earth's surface, and responds to surface forcings with a time scale of about an hour or less."

Diurnal Variations

Mixing Height



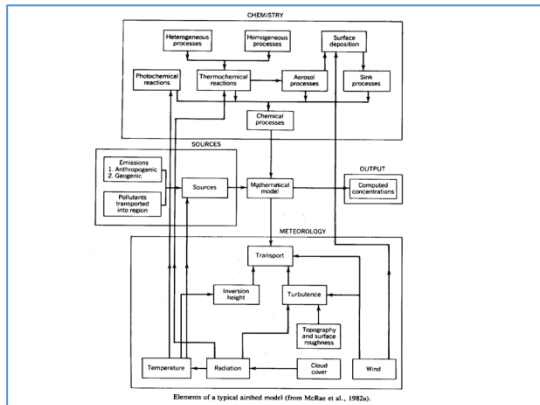
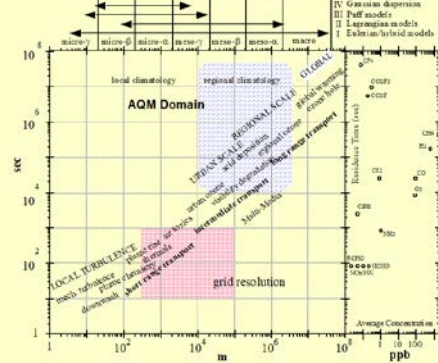
Ozone Vertical Profile



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

Scales of Air Quality Models



船舶排放量推估

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

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

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

MCR: 最大引擎動力(kW)
LF: 負載係數
Act: 活動量(hr)

負載 20% ~ 80% :

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

AS: 實際船速(節)
MS: 最大船速(節)

Field	Description
DMD_Number	(DMD Number) 船舶海事數據編號
Call_Sign	(Call Sign) 呼號
MMSI	(MMSI) Maritime Mobile Service Identification Code 水上移動業務識別碼
Navigation_Status	(Navigation status) 航行狀態
SOG	(Speed Over Ground / SOG) 船速
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	度量記錄接收時間

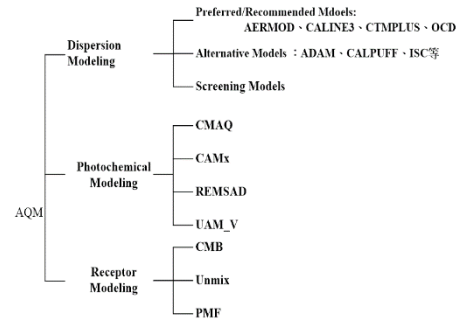
Air Quality Models

<https://www.epa.gov/scram>

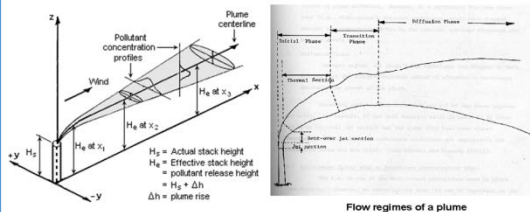
Dispersion Modeling - These models are typically used in the permitting process to estimate the concentration of pollutants at specified ground-level receptors surrounding an emissions source.

Photochemical Modeling - These models are typically used in regulatory or policy assessments to simulate the impacts from **all sources** by estimating pollutant concentrations and deposition of **both inert and chemically reactive pollutants** over large spatial scales.

Receptor Modeling - These models are **observational techniques** which use the chemical and physical characteristics of gases and particles measured at source and receptor to both identify the presence of and to quantify source contributions to receptor concentrations



Gaussian Plume

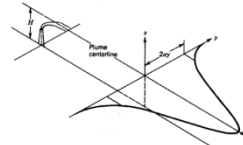


Gaussian plume dispersion from a continuous and steady stack emission of inert species into an uniform and stationary domain.

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{4\pi u r} \exp\left(-\frac{y^2}{4r}\right) \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{4r}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{4r}\right) \right]$$

Gaussian Plume Model

$$[X] = \frac{10^6 R}{V} \frac{e^{-y^2/2\sigma_y^2}}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \left[e^{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}} \right]$$



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 Stern et al., 1984).

ISTST3

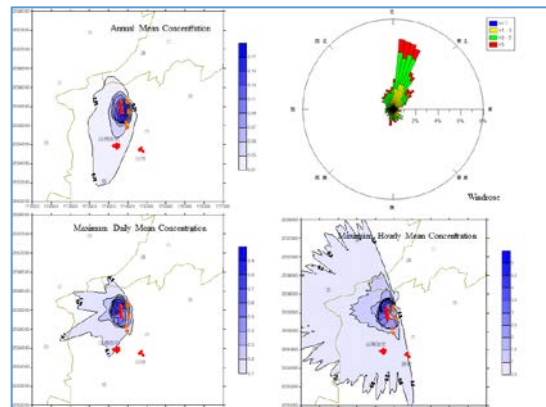
AERMOD

Pasquill Dispersion Classes

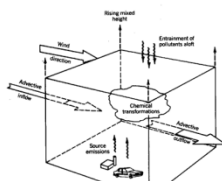
Insolation/Cloud Cover	Surface Wind Speed (m/s)				
	<2.0	2 to <3	3 to <5	5 to <6	≥6
Day	Strong Insolation A	A-B	B	C	D
	Moderate Insolation A-B	B	B-C	C-D	D
	Slight Insolation B	C	C	D	D
Day or Night	Overcast D	D	D	D	D
Night	Thin overcast or ≥0.5 cloud cover —	E	D	D	D
	≤0.4 cloud cover —	F	E	D	D

Notes: 1. Strong insolation corresponds to a solar elevation angle of 60° or more above the horizon. Slight insolation corresponds to a solar elevation angle of 15° to 35°.
2. Pollutants emitted under clear nighttime skies with winds less than 2.0 m/s, more recently defined to be class G, may be subject to unsteady meandering which renders the prediction of concentrations at downwind locations unreliable.

A: very unstable; B: unstable; C: slightly unstable;
D: neutral; E: slightly stable; F: stable; G: very stable

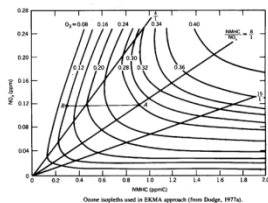


Box Model



Schematic diagram showing basic elements of a simple box model (from Seaman and Desjardins, 1978).

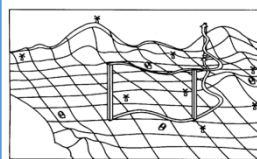
EKMA approach



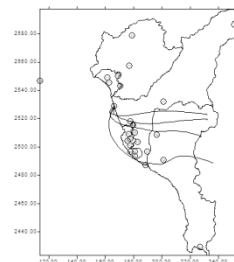
Ozone levels used in EKMA approach (from Dodge, 1977a).

Lagrangian Model

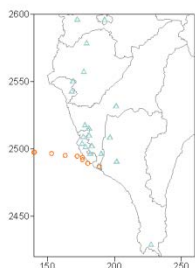
Forward-trajectory analysis



CALPUFF

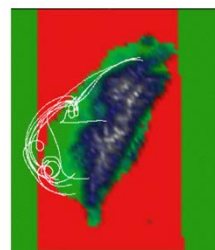
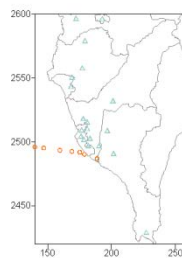


Backward-trajectory Analysis



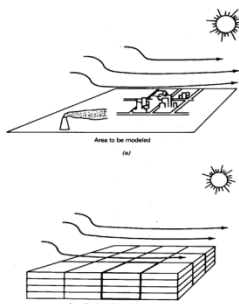
2003年10月29日 14:00

Backward-trajectory Analysis



2003年10月30日 14:00

Three-dimensional Grid Model

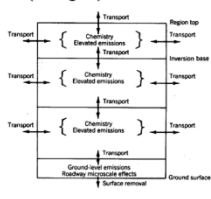


Schematic illustration of the grid used and treatment of atmospheric processes in one Eulerian ambient model (from Ames et al., 1978).

Models-3/CMAQ

CAMx

(TAQM)



Atmospheric processes treated in a column of grid cells.

Horizontal Coordinates

Coordinate	Map Parameters	Map Scale (m)	Note
lat-long	NA	NA	$(x^2, y^2) = (x, y)$ are in degrees
Lambert	$P_1 = \phi_1, P_2 = \phi_2$ two lat. determine the projection cone $P_3 = \lambda_0$, central meridian	$sr = \frac{\sin(\pi/2 - \phi_1) \sin(\pi/2 - \phi_2)}{\sin(\pi/2 - \phi_1) \sin(\pi/2 - \phi_2)}$ $sr = \frac{\sin(\pi/2 - \phi_1) \sin(\pi/2 - \phi_2)}{\sin(\pi/2 - \phi_1) \sin(\pi/2 - \phi_2)}$	$(x^2, y^2) = (x, y)$ are in meters
Mercator	$P_1 = \phi_1, P_2 = \phi_2$ lat. & long. of coordinate origin within the tangent plane $P_3 = \lambda_0$, angle between cylinder axis and the North polar axis	$sr = \frac{\cos \phi_1}{\cos \phi_2}$	$(x^2, y^2) = (x, y)$ are in meters
Stereographic	$P_1 = \phi_1, P_2 = \phi_2$ lat. & long. of the point of tangency $P_3 = \lambda_0$, angle from true north to x^2 -axis	$sr = \frac{1 + \sin \phi_1}{1 + \sin \phi_2}$	$(x^2, y^2) = (x, y)$ are in meters
UTM	P_1 is the UTM zone P_2, P_3 not used	$sr = 1$	$(x^2, y^2) = (x, y)$ are in meters

Time Independent Terrain-Influenced Coordinates

► Terrain-influenced Height coordinates

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

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

► Terrain-influenced Reference Pressure

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

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.

Portion of an Explicit Chemical Mechanism

Reaction	Rate Constant ^a
Inorganic Reactions	
(1) NO ₂ + hν → NO + O(³ P)	0.35-0.40 min ⁻¹
(2) O(³ P) + O ₂ → O ₃	2.6 × 10 ¹⁷
(3) O ₃ + NO → NO ₂ + O ₂	2.7 × 10 ¹⁷
(4) O(³ P) + NO ₂ → NO + O ₂	1.4 × 10 ¹⁷
(5) O ₃ + NO ₂ → NO ₂ + O ₂	4.7 × 10 ⁻¹²
etc.	
Aldehyde Reactions and PAN Formation	
(6) CH ₃ CHO + hν → CH ₃ + CO	k ₁
(7) CH ₃ CHO + OH → CH ₃ CO + H ₂ O	2.6 × 10 ¹⁰
(8) CH ₃ CHO + NO → NO ₂ + CH ₃ CO	1.1 × 10 ¹⁰
etc.	
α-Dicarbonyl Chemistry	
(9) CH ₃ COCHO + OH → CH ₃ CO + CO + H ₂ O	2.5 × 10 ¹⁰
(10) CH ₃ COCHO + hν → CH ₃ CO + CO	c
(11) CH ₃ COCHO + hν → CH ₃ CO + CO	c
(12) CH ₃ COCHO + hν → CH ₃ CO + CO	c
Toluene Abstraction Pathway	
(13) C ₆ H ₅ CH ₃ + OH → C ₆ H ₅ CH ₂ + H ₂ O	7.5 × 10 ¹⁰
(14) C ₆ H ₅ CH ₃ + NO → NO ₂ + C ₆ H ₅ CHO	8.0 × 10 ¹⁰
(15) C ₆ H ₅ CH ₃ + NO → C ₆ H ₅ CH ₂ NO	1.0 × 10 ¹⁰
etc.	
Toluene Addition Pathway	
(16) C ₆ H ₅ CH ₃ + OH → C ₆ H ₅ CH ₂ OH	8.7 × 10 ¹⁰
(17) C ₆ H ₅ CH ₃ + OH → C ₆ H ₅ CH ₂ OH + H ₂ O	1.0 × 10 ¹⁰
(18) C ₆ H ₅ CH ₃ + NO ₂ → C ₆ H ₅ CH ₂ NO ₂ + H ₂ O	4.4 × 10 ¹⁰
etc.	
Conjugated α-Dicarbonyl Chemistry	
(19) CH ₃ COCH=CHCHO + OH → CH ₃ COCH=CHCO + H ₂ O	4.4 × 10 ¹⁰
(20) CH ₃ COCH=CHCHO + NO → CH ₃ COCH=CHNO + CO	1.0 × 10 ¹⁰

Source: Leone and Schell, 1986.

^aIn units of ppm⁻¹ min⁻¹ unless otherwise stated.

^bk₁ = k₂ = 10¹⁷ s⁻¹.

^ck₁ = k₂ = 0.019 s⁻¹.

A Portion of the Carbon Bond Mechanism

Reaction	Rate Constant (ppm ⁻¹ min ⁻¹)
NO ₂ + hν → NO + O	k ₁ ^a
O + O ₂ (+ M) → O ₃ (+ M)	2.08 × 10 ⁻³
O ₃ + NO → NO ₂ + O ₂	25.2
O + NO ₂ → NO + O ₂	1.34 × 10 ¹⁰
O ₃ + NO ₂ → NO ₂ + O ₂	5 × 10 ⁻¹²
NO ₂ + NO → NO ₂ + NO ₂	2.5 × 10 ¹⁰
NO ₂ + NO ₂ + H ₂ O → 2HNO ₃	2.0 × 10 ⁻³
HNO ₃ + hν → NO + OH	0.19 k ₂
NO ₂ + OH → HNO ₃	1.4 × 10 ¹⁰
NO + OH → HNO ₂	1.4 × 10 ¹⁰
CO + OH → CO ₂ + H ₂	4.5 × 10 ¹⁰
OLE + OH → CAR + CH ₂ O ₂	3.8 × 10 ¹⁰
PAR + OH → CH ₂ O ₂ + H ₂ O	1.3 × 10 ¹⁰
ARO + OH → CAR + CH ₂ O ₂	8 × 10 ¹⁰
OLE + O → HC(O)O ₂ + CH ₂ O ₂	5.3 × 10 ¹⁰
PAR + O → CH ₂ O ₂ + OH	20
ARO + O → HC(O)O ₂ + CH ₂ O ₂	37
ARO + NO ₂ → products (seemless)	1.0 × 10 ¹⁰
OLE + O ₃ → HC(O)O ₂ + HCHO + OH	1.5 × 10 ⁻¹²
CAR + OH → HC(O)O ₂ + H ₂ O	1.0 × 10 ¹⁰
CAR + hν → αHC(O)O ₂ + αHO ₂ + (1 - α)CO	6.0 × 10 ⁻³ k ₁

Source: Whitten and Hogo, 1977; Whitten et al., 1980.

^aVaries with light intensity.

CB-4 Mechanism

36 species, 93 reactions and 11 photolytic reaction

PAR (paraffins): single-bonded carbon atom
OLE (olefins): slow double-bonded carbon atom
ETH: fast double-bonded carbon atom
TOL: slow aromatics
XYL: fast aromatics
FORM: HCHO
ALD2: other aldehyde
ISOP: isoprene
NR

CB05

The core CB05 mechanism has 51 species and 156 reactions.

- Updated rate constants based on recent (2003–2005) IUPAC and NASA evaluations.
- An extended inorganic reaction set for urban to remote tropospheric conditions.
- NOx recycling reactions to represent the fate of NOx over multiple days.
- Explicit organic chemistry for methane and ethane.
- Explicit methylperoxy radical, methyl hydroperoxide and formic acid.
- Lumped higher organic peroxides, organic acids and peracids.
- Internal olefin (R-HC=CH-R) species called IOLE.
- Higher aldehyde species ALDX making ALD2 explicitly acetaldehyde.
- Higher peroxyacyl nitrate species from ALDX called PANX.
- Lumped terpene species called TERP.
- Optional mechanism extension for reactive chlorine chemistry.
- Optional extended mechanism with explicit reactions for air-toxics

Species Name	Description	Number of Carbons
NO	Nitric oxide	0
NO2	Nitrogen dioxide	0
O3	Ozone	0
O	Oxygen atom in the O ⁺ (P) electronic state	0
O1D	Oxygen atom in the O ⁺ (D) electronic state	0
OH	Hydroxyl radical	0
HO2	Hydroperoxy radical	0
HO2O	Hydrogen peroxide	0
NO3	Nitrate radical	0
N2O5	Dinitrogen pentoxide	0
HONO	Nitrous acid	0
HNO3	Nitric acid	0
PNA	Peroxynitric acid (HNO ₄)	0
CO	Carbon monoxide	1
FORM	Formaldehyde	1
ALD2	Acetaldehyde	2
C2O3	Acetylperoxy radical	2
PAN	Peroxyacetyl nitrate	2
ALDX	Propionaldehyde and higher aldehydes	2
CXO3	C3 and higher acylperoxy radicals	2
PANX	C3 and higher peroxyacyl nitrates	2
XO2	NO to NO ₂ conversion from alkylperoxy (RO ₂) radical	0
XO2N	NO to organic nitrate conversion from alkylperoxy (RO ₂) radical	0
NTR	Organic nitrate (RNO ₂)	1
ETOH	Ethanol	2

Species Name	Description	Number of Carbons
CH ₄	Methane	1
MEO2	Methylperoxy radical	1
MEOH	Methanol	1
MEPX	Methylhydroperoxide	1
FAOD	Formic acid	1
ETHA	Ethane	2
ROOH	Higher organic peroxide	2
AACD	Acetic and higher carboxylic acids	2
PAGD	Peroxyacetic and higher peroxy-carboxylic acids	2
PAR	Paraffin carbon bond (C-C)	2
ROR	Secondary alkoxy radical	0
ETH	Ethene	2
OLE	Terminal olefin carbon bond (R-C=C)	2
IOLE	Internal olefin carbon bond (R-C=C-R)	4
ISOP	Isoprene	5
ISPD	Isoprene product (lumped methacrolein, methyl vinyl ketone, etc.)	5
TERP	Terpene	10
TOL	Toluene and other monoalkyl aromatics	7
XYL	Xylene and other polyalkyl aromatics	8
GRES	Cresol and higher molecular weight phenols	7
TO2	Toluene-hydroxyl radical adduct	7
OPEN	Aromatic ring opening product	4
CRO	Methylphenoxy radical	7
MGLY	Methylglyoxal and other aromatic products	3
SO2	Sulfur dioxide	0
SULF	Sulfuric acid (gaseous)	0

[illegible]

The diagram illustrates the Urban Atmosphere as a cycle of various pollutants and their interactions. At the center is a circle labeled 'OH'. Surrounding this center are eight segments, each representing a different pollutant or process, connected by arrows indicating a clockwise cycle. The segments are: PM_{2.5}, SO_x, Ozone, Acid Rain, Air Toxics, Water Quality, Fine PM, and Visibility. Each segment contains chemical reactions and descriptive text. The central 'OH' is also labeled 'One Atmosphere' and 'One Atmosphere' in orange text.

- PM_{2.5}**: VOC + OH → Organic PM
- SO_x**: SO_x for NO_x + NH₃ + OH → (NH₄)₂SO₄ for NH₃NO₃
- Ozone**: NO_x + VOC + OH + hv → O₃
- Acid Rain**: SO₂ + OH → H₂SO₄; NO₂ + OH → HNO₃
- Air Toxics**: (No specific reaction shown)
- Water Quality**: NO_x + SO_x + OH + NH₃ → (Lake Acidification, Eutrophication)
- Fine PM**: (Nitrate, Sulfate, Organic PM)
- Visibility**: (No specific reaction shown)

```

graph TD
    MXS[MXS MODE] --> SMOKE[SMOKE]
    MXS --> MCIP[MCIP]
    SMOKE --> CCTM[CCTM]
    MCIP --> CCTM
    MCIP --> JPROC[JPROC]
    CCTM --> JPROC
    CCTM --> BCON[BCON]
    JPROC --> BCON
    BCON --> Output[輸出結果]
  
```

氣象模式

- 1.使用: MM5 v2
- 2.網絡資料
- 3.多層次网格
- 4.地形資料
- 5.高層資料
- 6.溫濕資料

MCIP

- 1.氣象處理模組
- 2.混合高度:
Blendscale scheme

SMOKE

- 1.排放處理模組
- 2.點、線、面源即來自TEDS4.2之36年報
- 3.使用國土利用資料與GIS之排放因子BEIS 1D進行計算
- 4.各排放源皆輸入不同之日夜化係數
- 5.分別以 SOC code 進行 VOCs 之特種辨識
- 6.兩層外層網格 (108及36KM) 使用TAQM之面源資料

CCTM

- 1.CMAQ Chemistry-Transport Model
- 2.使用多層次網格系統
- 3.使用 CB-IV 化學機制
- 4.使用 Isppm, vppm 對流機制
- 5.使用 RADM2 雲粒化學機制
- 6.另有氣溶膠模組、煙氣模組 Plume in Grid 等機制。

ICON

- 1.初始值模組
- 2.最外層使用固定值
- 3.內二層使用外層模擬五天

JPROC

- 1.光解速率常數
- 2.使用天頂角 (經緯度計算)

BCON

- 1.邊界值模組
- 2.最外層使用固定值
- 3.內二層使用外層模擬值提供BC

輸出結果

	Domain 1	Domain 2	Domain 3	Domain 4
Resolution	81 km	27 km	9 km	3 km
Grid Size	61 X 61	67 X 67	82 X 73	157 X 109
FDDA	Yes	Yes	Yes	No
Landuse	24	24	24	24
PBL	MRF	MRF	MRF	MRF

Air Quality Model: Models3/CMAQ



CMAQ 特性

1. Type of model 模式型式	Three-dimensional grid model 三維網格模式
2. Meteorological data 氣象資料	Simulated by mesoscale model (WRF)
Spatial scale 空間尺度	Three dimensional 三維空間
3. Emission data 排放資料	
Anthropogenic source 人為源	Taiwan, China, other Asia countries 台灣, 中國與其他東亞國家
Biogenic source 自然源	Taiwan, China, other Asia countries countries 台灣, 中國與其他東亞國家
4. Photochemical reaction modulus 光化學反應模組	Carbon-bond mechanisms CB05 (51 chemical species, 156 chemical reactions) 碳鍵結反應機制 CB05 (51 個化學成分, 156 個化學反應)
5. Aerosol dynamic modulus (nucleation, coagulation, condensation) 氣膠動力模組 (凝結, 聚結, 凝結)	AEROG
6. Aerosol chemical modulus (inorganic and organic aerosol, aqueous phase reaction, heterogeneous reaction) 氣膠化學模組 (無機與有機氣膠, 液相反應, 異相反應)	ISORROPIA
7. Aerosol number and mass size distributions 氣膠顆數與質量粒徑分布	Three Modal distributions (lognormal distributions for nuclei, accumulation, and coarse modes) 二態分布 (凝核, 積集與粗粒對數常態分布)

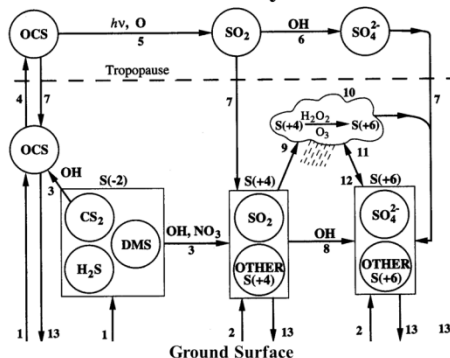
CMAQ : Chemical Mechanisms

- Models-3/CMAQ
- Gas-phase CBM-IV, RADM2, chemistry SAPRC-99⁽¹⁾
- Aqueous chemistry RADM (Walcek and Taylor, 1986)
 - 33 aqueous/ionic species
 - 18 equilibria
 - 5 kinetic reactions
 - 55 species for wet deposition
- Heterogeneous Not treated chemistry

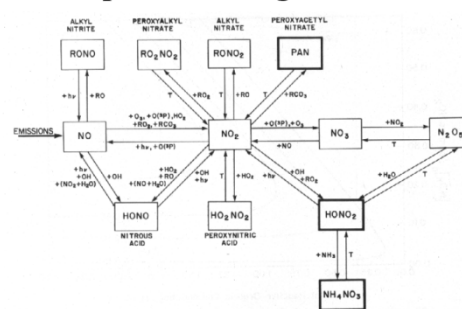
CMAQ: PM Treatment

- Size representation Modal (3 modes)
- Inorganic species NH_4^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Na^+ , Cl^-
- Equilibrium MARS-A, ISORROPIA
- Coagulation Modal approach
- Nucleation Absolute rate
- Condensation Modal approach
- Mass transfer Full equilibrium
- Dry deposition Resistance transfer
- SOA formation Irreversible absorption (6 precursors) (Pandis et al., 1992) or reversible absorption (6 precursors) (Schell et al., 2001)

Formation Pathways of Sulfate



Atmospheric Nitrogen Chemistry



CMAQ模式多層次 網格示意圖



Vertical Layer	45	45	45
Grid Size	91 × 91	166 × 169	223 × 223
FDDB	Yes	Yes	Yes
Land use	20	20	20
PBL	YSU	YSU	YSU
Resolution	81 km	27 km	9 km
Vertical Layer	6	15	15
Grid Size	70 × 80	70 × 80	70 × 80
Atmosol Mod	Atm06	Atm06	Atm06

模式模擬採用的 設定基準

模式模擬性能評估

環保署2015年公告之模式模擬性能評估規範，模擬PM_{2.5}時，需同時比較PM_{2.5}、SO₂及NO_x濃度之模擬結果與觀測值。

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

- MFB：絕對值分數偏差
- MFE：絕對值絕對分數偏差
- R：相關係數

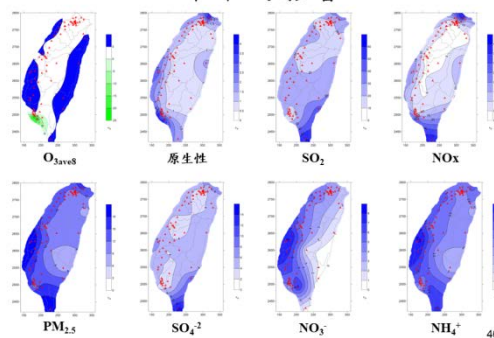
符合標準值之測站數須達到該模擬區域範圍內總測站數百分之六十以上。

細懸浮微粒之模式模擬性能評估結果

污染物	地點	MFB	符合站數比	MFE	符合站數比	R	符合站數比
PM _{2.5}	光華空品區	-4.1%	100.0%	40.9%	100.0%	0.67	100.0%
	竹塹空品區	-1.6%	100.0%	40.0%	100.0%	0.71	100.0%
	中彰空品區	6.1%	100.0%	39.7%	100.0%	0.70	100.0%
	雲嘉南空品區	0.4%	100.0%	35.9%	100.0%	0.74	100.0%
	高雄空品區	-0.9%	86.7%	41.6%	86.7%	0.79	100.0%
	宜蘭空品區	-25.8%	50.0%	42.3%	100.0%	0.64	100.0%
	屏東空品區	-33.8%	33.3%	53.4%	66.7%	0.59	100.0%
	全島	-0.2%	90.4%	41.2%	94.5%	0.75	100.0%
	光華空品區	-11.7%	98.0%	60.2%	100.0%	0.87	89.0%
	竹塹空品區	11.2%	100.0%	50.7%	100.0%	0.87	100.0%
SO ₂	光華空品區	-11.0%	100.0%	52.8%	100.0%	0.54	81.8%
	雲嘉南空品區	-6.0%	100.0%	46.7%	100.0%	0.56	100.0%
	高雄空品區	10.0%	93.3%	52.1%	93.3%	0.62	73.3%
	宜蘭空品區	-54.2%	50.0%	78.2%	50.0%	0.48	50.0%
	屏東空品區	-59.4%	33.3%	81.3%	33.3%	0.56	100.0%
	全島	-16.1%	93.2%	56.4%	94.5%	0.68	82.2%
	光華空品區	-15.7%	100.0%	40.0%	100.0%	0.62	88.0%
	竹塹空品區	-7.3%	100.0%	39.9%	100.0%	0.58	83.3%
	中彰空品區	3.3%	90.9%	35.4%	100.0%	0.70	100.0%
	雲嘉南空品區	0.9%	100.0%	29.6%	100.0%	0.60	90.9%
NO _x	光華空品區	23.5%	100.0%	41.5%	100.0%	0.73	89.0%
	竹塹空品區	-29.8%	100.0%	46.2%	100.0%	0.49	50.0%
	中彰空品區	63.7%	66.7%	78.8%	66.7%	0.69	66.7%
	雲嘉南空品區	3.4%	87.3%	30.7%	90.4%	0.65	93.4%

45

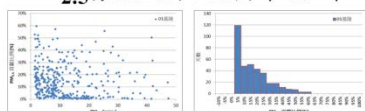
年平均影響



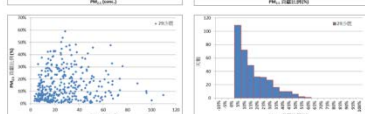
46

PM_{2.5}散點圖及頻率分布

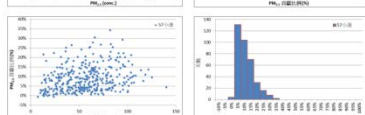
基隆



沙鹿



小港



47

海域船舶排放之影響

	年平均		日平均		
	全台平均	最大值	測站	最大值	日期
PM2.5	13.0%	21.0%	麥寮	46.3%	2013/08/18
O3ave8	3.2%	8.3%	台南	30.4%	2013/08/18
SO2	20.4%	60.1%	恆春	55.7%	2013/03/24
NOx	9.9%	41.2%	萬里	23.4%	2013/08/29
原生性	1.4%	4.2%	萬里	5.2%	2013/05/29
Sulfate	4.2%	14.2%	恆春	17.3%	2013/08/12
Nitrate	4.6%	8.2%	麥寮	18.2%	2013/08/18
Ammonium	2.9%	4.8%	麥寮	10.8%	2013/08/18

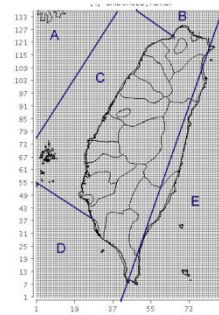
48

不同細懸浮微粒濃度之影響

	PM _{2.5} 濃度	<15.4	>=15.4, <35.4	>=35.4, <54.4	>=54.4
北部	平均	10.2%	12.2%	9.2%	3.7%
	標準偏差	7.0%	10.8%	8.0%	4.5%
	日數	66	232	60	7
竹苗	平均	12.6%	14.2%	11.6%	6.5%
	標準偏差	11.3%	13.4%	10.3%	5.1%
	日數	76	205	73	11
中部	平均	10.6%	15.0%	10.9%	10.7%
	標準偏差	6.6%	13.0%	10.0%	8.4%
	日數	34	191	114	26
雲嘉南	平均	18.1%	19.9%	13.8%	11.3%
	標準偏差	10.3%	14.2%	11.3%	8.6%
	日數	41	167	110	47
高屏	平均	14.2%	18.9%	12.2%	8.6%
	標準偏差	8.7%	16.7%	9.1%	6.4%
	日數	30	131	145	59
宜蘭	平均	10.6%	9.5%	4.5%	0.9%
	標準偏差	9.1%	8.7%	5.8%	0.7%
	日數	143	195	23	4
花東	平均	11.7%	7.6%	1.5%	0.4%
	標準偏差	9.5%	7.2%	1.2%	0.0%
	日數	240	118	5	2

49

ISAM 區域每噸貢獻影響



對空品區貢獻比例：
 原生性：原生性/(粒狀物排放量)
 硫酸鹽： $\text{SO}_4^{2-}/(\text{SO}_2\text{排放量})$
 硝酸鹽： $\text{NO}_3^{-}/(\text{NO}_x\text{排放量})$

噸/年	PM _{2.5}	SO _x	NO _x
區域 A	33369	285876	472815
區域 B	11694	102387	162268
區域 C	7714	69420	104122
區域 D	7077	51776	114060
區域 E	16604	165567	198941

50

各區域之影響比較

		北部	竹苗	中部	雲嘉南	高屏	宜蘭	花東
貢獻比例	區域A	4.77%	5.95%	7.14%	6.76%	4.78%	4.32%	2.03%
	區域B	50.2%	33.1%	26.4%	19.1%	13.6%	27.9%	11.3%
	區域C	25.8%	42.1%	43.1%	46.4%	33.2%	8.92%	4.07%
	區域D	6.63%	10.1%	16.7%	20.4%	36.1%	4.77%	6.26%
	區域E	12.6%	8.76%	6.71%	7.44%	12.4%	54.1%	76.3%
每噸影響	區域A	0.0022%	0.0027%	0.0033%	0.0031%	0.0022%	0.0020%	0.0009%
	區域B	0.0663%	0.0438%	0.0348%	0.0252%	0.0179%	0.0368%	0.0149%
	區域C	0.0520%	0.0847%	0.0868%	0.0934%	0.0668%	0.0180%	0.0082%
	區域D	0.0140%	0.0213%	0.0352%	0.0430%	0.0761%	0.0101%	0.0132%
	區域E	0.0121%	0.0084%	0.0064%	0.0071%	0.0119%	0.0518%	0.0731%

51

*Thanks for Your
Attentions.*

AIS排放量預報 推估系統介紹

楊榮元
中華民國107年11月13日

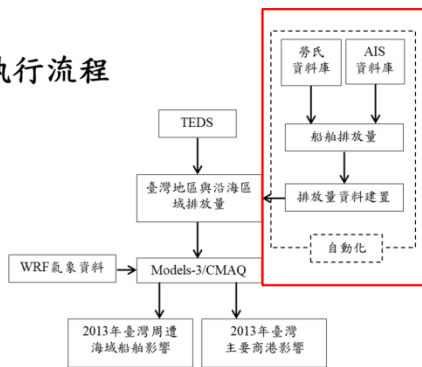
1

AIS資料庫

Field	Description
IMO_Number	(IMO Number) 國際海事組織編號
Call_Sign	(Call Sign) 呼號
MMSI	(MMSI, Maritime Mobile Service Identities Code) 水上行動業務識別碼
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



執行流程

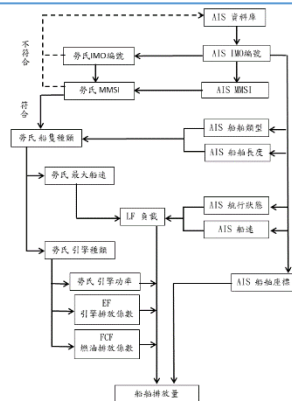


3

排放量推估

引用：洛杉磯研究報告

排放量 推估流程



5

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MMSI與 AIS 船舶MMSI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)，利用公式計算該日之排放量。

6

E = Energy × EF × FCF

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

Energy: 所需要的能量(kW·h)

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

MCR：最大引擎動力(kW)

LF: 負載係數

Act: 活動量(hr)

負載 20% ~ 80% :

$$LF = (AS / MS)^3$$

AS: 實際船速(節)

MS: 最大船速(節)

紅色：AIS資料庫

橘色：勞氏資料庫

黃色：洛杉磯港研究報告

2

NO	Number	MAC	DO	Latitude	DO	Longitude	Record	Time
711524	4360	0.0	12.1	15.8285	2	27.4763333	2018/02/21	10:18:02.21
			9.94	16.061		27.4763333		
			4.13	16.058933		27.4763333		
948755	4334	0.0	12.6	15.9094	2	27.43255	2018/02/21	10:18:02.21
			9.94	16.061		27.43255		
			4.13	16.058933		27.43255		
948755	4334	0.0	12.6	15.9094	2	27.43255	2018/02/21	10:18:02.21
			9.94	16.061		27.43255		
			4.13	16.058933		27.43255		
948755	4334	0.0	12.6	15.9094	2	27.43255	2018/02/21	10:18:02.21
			9.94	16.061		27.43255		
			4.13	16.058933		27.43255		
948755	4334	0.0	12.6	15.9094	2	27.43255	2018/02/21	10:18:02.21
			9.94	16.061		27.43255		
			4.13	16.058933		27.43255		
948755	4334	0.0	12.6	15.9094	2	27.43255	2018/02/21	10:18:02.21
			9.94	16.061		27.43255		
			4.13	16.058933		27.43255		
948755	4334	0.0	12.6	15.9094	2	27.43255	2018/02/21	10:18:02.21
			9.94	16.061		27.43255		
			4.13	16.058933		27.43255		
948755	4334	0.0	12.6	15.9094	2	27.43255	2018/02/21	10:18:02.21
			9.94	16.061		27.43255		
			4.13	16.058933		27.43255		
948755	4334	0.0	12.6	15.9094	2	27.43255	2018/02/21	10:18:02.21
			9.94	16.061		27.43255		
			4.13	16.058933		27.43255		
948755	4334	0.0	12.6	15.9094	2	27.43255	2018/02/21	10:18:02.21
			9.94	16.061		27.43255		
			4.13	16.058933		27.43255		
948755	4334	0.0	12.6	15.9094	2	27.43255	2018/02/21	10:18:02.21
			9.94	16.061		27.43255		

使用資料欄位：

IMO編號、MMSI、航速、經緯度及紀錄時間等欄位。

[illegible]

已更新至 2017年4月

3

行业类别	PM ₁₀ 浓度	PM ₁₀ 浓度	NO ₂	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}
		合格值 2.7% (WHO) 标准				
城市空气	Year 0	≤ 1999	10.1	13.5	1.50	1.2
城市空气	Year 1	≤ 1999	14.9	11.5	1.50	1.2
城市空气	Year 2	2000-2010	17.0	10.5	1.50	1.2
城市空气	Year 1	2000-2010	13.0	11.5	1.50	1.2
城市空气	Year 2	2011-2015	15.3	10.5	1.50	1.2
城市空气	Year 2	2011-2015	11.2	11.5	1.50	1.2
农村/远郊空气	na	ad	6.1	16.5	0.65	0.4
农村/远郊空气	na	ad	2.1	16.5	0.80	0.64
合格值 0.5% (WHO) 标准						
城市空气	Year 0	≤ 1999	13.2	1.1	0.38	0.35
城市空气	Year 1	≤ 1999	13.2	2.1	0.38	0.35
城市空气	Year 1	2000-2010	16.0	1.9	0.38	0.35
城市空气	Year 1	2000-2010	12.2	2.1	0.38	0.35
城市空气	Year 2	2011-2015	14.4	1.9	0.38	0.35
城市空气	Year 2	2011-2015	10.5	2.1	0.38	0.35
农村/远郊空气	na	ad	5.7	3.1	0.61	0.01
农村/远郊空气	na	ad	2.0	3.1	0.20	0.01

10

符合篩選船舶軌跡
(IMO + MMSI)

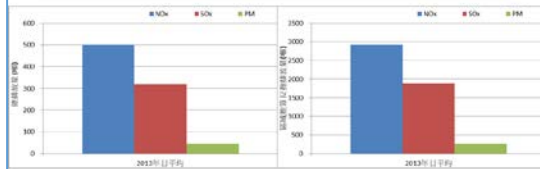
比例推算船舶軌跡

- 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

12

2013年 日平均

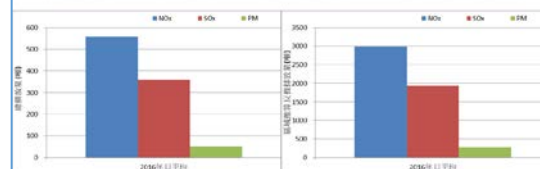
IMO+MUSE				總排放量(噸)			區域標準百分比及準(噸)			
筆數	符合標準	可再筆數	可用率	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM	
max	270419135	258555890	77940462	30.1%	180315	114513	16019	1052219	675027	95099
average	751154	718211	215501	31.3%	500.9	318.1	44.5	2922.8	1875.1	264.2
mean	1453846	1387682	909855	44.8%	930.8	597.1	83.7	5281.3	3118.2	488.6
min	288869	277819	83918	15.4%	166.2	79.4	13.5	798.5	450.3	67.7



13

2016年 日平均

	IMO+MUSE			總排放量(噸)			區域標準百分比及準(噸)			
	筆數	符合標準	可用筆數	可用率	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
max	392483895	348954059	108397163	31.1%	203128	130516	18325	1088681	705843	99756
average	1081900	856665	297794	32.1%	558.0	358.6	50.3	2990.9	1819.1	274.1
mean	1944267	1603890	414533	46.2%	1015.2	656.8	92.4	5322.0	3474.0	494.8
min	42445	38534	11608	19.7%	43.2	29.6	3.9	500.7	341.2	45.1



14

排放量 預報係數

逐日預報係數

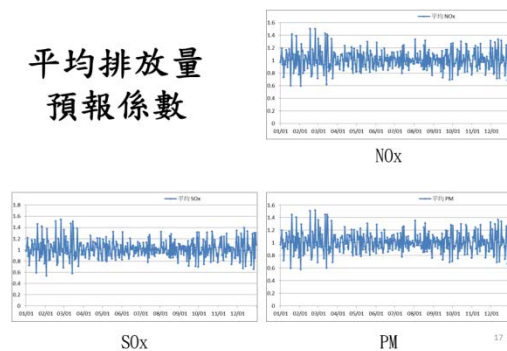


2013年

2016年

15

平均排放量 預報係數



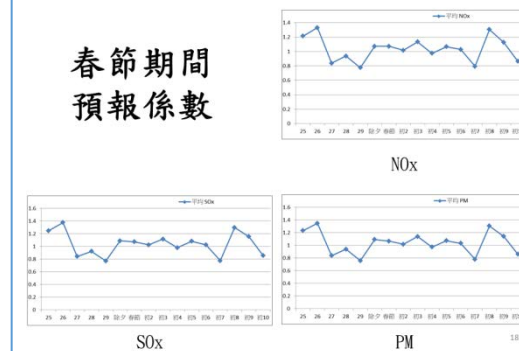
NOx

SOx

PM

17

春節期間 預報係數



NOx

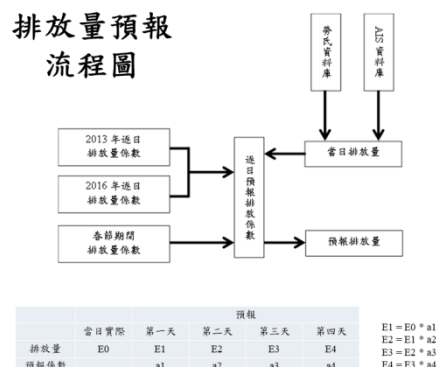
SOx

PM

18

排放量預報

排放量預報 流程圖



排放量預報流程說明

- 1. 船舶資訊：
抓取每一條船之軌跡，並對照勞氏資料庫輸出船舶之引擎功率、船速等參數。
- 2. 計算排放量：
依據洛杉磯港提供之排放量計算公式，計算由步驟1抓取之船舶排放量。
- 3. 區域比例推算：
依照預先設定之基準區域排放量，回推各區域之船舶排放量。
- 4. 預報係數：
當日排放量乘上預報係數即可得到隔日之預報排放量。

事先準備檔案

- 下載並安裝 python 2.7 軟體
<https://www.python.org/downloads/>
- 執行方式
C:\Python27\python foremis.py
- 即時資料下載設定及批次檔
foremis.py、foremis.bat
- 勞氏資料庫及AIS資料名稱記錄檔
Lloyd_DB.dat、filename.dat

即時資料下載

- 自動下載 船舶即時資訊系統 --- (AIS)
<http://163.29.73.35/AIS1D/AIS24H1M.csv>
檔案名稱：AIS.csv

時間範圍：前一日22:00 至 當日22:00

需要的檔案

- foremis.py (控制定時下載 AIS資料)
- foremis.bat (控制系統執行流程)
- AIS.csv (AIS即時船舶資料檔)
- filename.dat (設定 AIS檔案名稱)
- Lloyd_DB.dat (勞氏資料庫)
- 01_AIS.exe (抓取AIS船舶資訊)
- 02_emis.exe (計算船舶排放量)
- 03_grid.exe (排放量區域網格處理)


```

D:\AIS\mission\forecast>01 AIS.exe
正在處理檔案 => D:\AIS\mission\forecast\AIS.csv
船名: 722423
資料總筆數: 634511
符合船隻數: 5377
開始讀取 船隻資料檔 ... 121254
船隻資料檔 讀取完畢 ...
開始輸出 船舶基本資料 ... 968 shipinfo.txt
完成輸出 船舶基本資料 ...
Stop - Program terminated.

D:\AIS\mission\forecast>02 emis.exe
開始讀取 船舶資訊 ...
船舶資訊 讀取完畢 ...
AIS 資料總筆數 ... 634511
開始計算 船舶即時排放量 ...
船舶即時排放量 計算完成 ...
AIS 符合船隻可用筆數 ... 194282
Stop - Program terminated.

D:\AIS\mission\forecast>03 grid.exe
開始讀取 船舶即時排放量資料 ...
船舶即時排放量資料 讀取完畢 ...
Stop - Program terminated.
time : 10:24:13

```

排放量預報推估

31

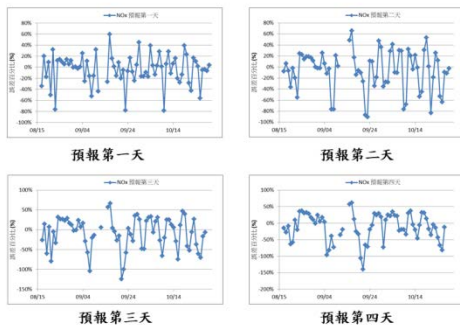
排放量預報結果

	預報誤差 (%)	第一天	第二天	第三天	第四天
NOx	最大值	59.4%	65.9%	66.4%	61.2%
	平均	-4.2%	-6.1%	-8.7%	-11.2%
	最小值	-78.4%	-90.4%	-124.5%	-139.5%
	標準偏差	27.4%	36.1%	40.3%	41.8%
	最大值	65.5%	71.5%	71.1%	67.2%
SOx	平均	-4.6%	-7.3%	-10.4%	-13.4%
	最小值	-90.7%	-108.7%	-131.8%	-159.0%
	標準偏差	29.4%	40.1%	44.5%	46.3%
	最大值	61.3%	67.4%	68.0%	62.6%
	平均	-4.5%	-6.7%	-9.5%	-12.1%
PM	最小值	-86.7%	-97.7%	-131.5%	-148.5%
	標準偏差	28.7%	38.1%	42.5%	43.6%

2018/8/17 ~ 2018/10/31 排放量預報結果
誤差 = (實際 - 預報) / 實際

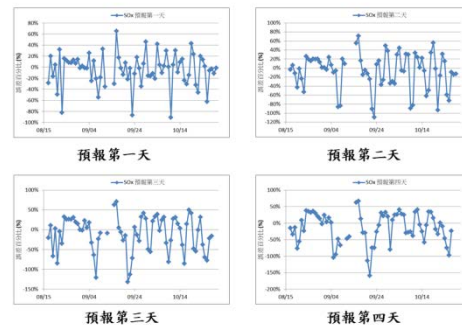
32

NOx 排放量預報



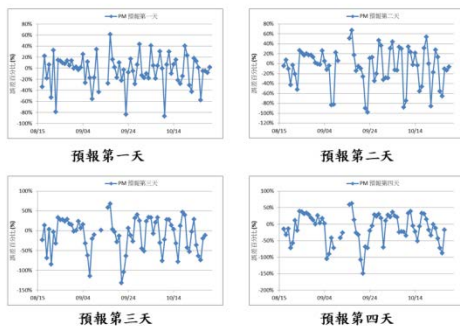
33

SOx 排放量預報



34

PM 排放量預報



35

**THANKS FOR
YOUR ATTENTION**

36

附錄六 2013 年 AIS 排放量推估結果

日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
2013/01/01	-	-	-	-	-	-
2013/01/02	324.9	206.5	28.7	2661.0	1720.6	239.8
2013/01/03	324.4	188.0	27.4	1983.1	1159.2	170.4
2013/01/04	323.7	194.8	27.7	3702.6	2250.3	324.1
2013/01/05	336.1	215.3	29.4	1826.3	1175.9	163.1
2013/01/06	370.6	231.7	32.4	2178.3	1374.0	194.7
2013/01/07	395.7	247.2	34.6	2491.4	1579.2	223.4
2013/01/08	388.6	240.1	33.8	2175.7	1360.1	192.6
2013/01/09	355.5	215.9	30.8	1959.3	1211.6	173.0
2013/01/10	317.0	191.4	27.2	2056.3	1236.0	177.7
2013/01/11	392.6	245.1	34.5	3046.3	1918.9	275.4
2013/01/12	422.3	265.0	37.4	3042.1	1939.8	276.9
2013/01/13	445.5	281.6	39.2	3033.0	1936.1	274.3
2013/01/14	428.8	264.8	37.6	2945.9	1840.8	262.7
2013/01/15	449.1	277.3	39.2	3524.0	2205.1	315.2
2013/01/16	563.1	354.9	49.7	3658.4	2353.0	332.4
2013/01/17	377.1	233.4	33.2	2201.6	1383.0	198.1
2013/01/18	366.9	221.2	31.9	2394.9	1499.8	214.1
2013/01/19	395.3	256.6	35.1	3511.3	2306.4	322.7
2013/01/20	597.2	383.2	53.0	4118.2	2666.6	374.2
2013/01/21	604.0	378.9	53.9	4285.0	2766.2	393.7
2013/01/22	539.9	348.6	47.6	3382.4	2239.7	307.2
2013/01/23	428.5	272.8	38.3	3377.8	2185.1	309.9
2013/01/24	433.5	285.1	38.8	3829.7	2536.7	354.2
2013/01/25	400.4	253.7	35.8	3031.1	1940.5	277.1
2013/01/26	464.3	299.4	42.0	3986.7	2596.2	366.8
2013/01/27	424.1	272.2	37.9	3161.2	2033.2	288.8
2013/01/28	414.3	258.7	36.9	3469.6	2197.1	316.1
2013/01/29	576.2	375.2	51.7	5283.3	3511.2	488.6
2013/01/30	575.7	371.7	51.9	4424.7	2920.4	409.9
2013/01/31	610.9	395.9	54.8	4714.0	3102.2	433.0

日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NO _x	SO _x	PM	NO _x	SO _x	PM
2013/02/01	591.0	383.3	53.2	3976.2	2649.4	366.3
2013/02/02	-	-	-	-	-	-
2013/02/03	-	-	-	-	-	-
2013/02/04	299.0	192.4	26.6	2741.1	1768.5	250.7
2013/02/05	444.9	284.4	39.8	3770.2	2444.5	346.3
2013/02/06	409.7	264.2	37.0	2712.8	1790.4	251.8
2013/02/07	379.4	241.9	33.9	2647.2	1700.8	242.6
2013/02/08	290.4	176.4	25.4	1714.3	1056.6	151.5
2013/02/09	293.0	187.8	25.9	1896.6	1207.2	171.3
2013/02/10	317.1	203.1	28.2	1975.5	1276.8	178.7
2013/02/11	280.6	181.3	24.9	1901.4	1243.8	174.2
2013/02/12	316.1	199.9	28.0	2224.3	1428.6	203.6
2013/02/13	302.3	192.5	26.8	1910.8	1223.2	175.0
2013/02/14	335.6	217.5	29.9	2602.7	1718.6	238.5
2013/02/15	347.9	224.6	31.1	3016.7	1959.1	275.9
2013/02/16	290.1	185.5	25.5	2109.8	1350.1	192.1
2013/02/17	419.4	266.2	37.0	3703.1	2396.1	338.6
2013/02/18	359.1	230.0	32.1	3690.5	2415.3	338.5
2013/02/19	316.5	208.3	27.8	2246.3	1458.5	203.6
2013/02/20	239.5	148.6	21.0	1708.4	1072.0	155.4
2013/02/21	313.7	204.3	27.8	2398.2	1548.2	217.7
2013/02/22	338.3	215.6	30.0	2301.0	1495.4	209.4
2013/02/23	336.8	211.7	29.6	2509.7	1593.0	226.8
2013/02/24	334.9	211.2	29.7	2606.5	1670.9	237.2
2013/02/25	457.3	289.7	40.8	4186.6	2710.7	382.8
2013/02/26	488.9	316.5	44.1	3680.2	2414.9	341.2
2013/02/27	327.1	210.7	29.4	2966.8	1933.8	274.1
2013/02/28	369.2	238.0	33.4	3329.0	2189.7	310.5

日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
2013/03/01	439.2	279.2	39.1	3373.8	2154.8	305.1
2013/03/02	312.4	186.2	26.6	1994.9	1176.3	171.6
2013/03/03	413.1	255.6	36.0	2417.4	1525.6	214.9
2013/03/04	573.1	358.7	51.0	3851.0	2460.7	351.2
2013/03/05	611.8	389.7	54.6	3959.3	2559.6	361.9
2013/03/06	568.2	361.1	50.6	4078.8	2622.0	369.0
2013/03/07	649.5	412.0	57.9	4131.6	2666.9	372.2
2013/03/08	831.4	530.9	74.7	4184.7	2692.1	379.3
2013/03/09	661.3	420.3	59.2	3845.8	2458.9	347.5
2013/03/10	561.4	355.7	49.4	3007.3	1912.1	268.5
2013/03/11	432.7	269.4	37.9	2397.9	1533.7	215.3
2013/03/12	643.8	404.0	57.2	3678.8	2351.3	333.9
2013/03/13	515.8	334.7	46.0	3477.4	2248.7	317.6
2013/03/14	293.1	180.0	25.8	1928.4	1200.8	172.8
2013/03/15	384.0	247.7	34.4	3296.7	2179.5	301.3
2013/03/16	416.3	268.2	37.6	4000.7	2652.7	371.0
2013/03/17	526.5	340.2	47.1	3649.1	2395.4	334.0
2013/03/18	467.3	300.5	41.6	3141.5	2035.6	288.0
2013/03/19	456.8	291.4	40.2	3132.1	2033.4	283.9
2013/03/20	498.9	315.5	43.7	2470.4	1580.6	221.3
2013/03/21	347.4	213.5	30.3	1746.3	1080.0	155.8
2013/03/22	466.9	302.7	41.7	2601.6	1703.6	238.0
2013/03/23	476.1	311.4	42.4	3421.5	2247.0	311.6
2013/03/24	501.7	324.2	44.3	2401.0	1589.2	214.4
2013/03/25	363.6	231.0	31.7	1906.2	1235.6	172.0
2013/03/26	395.4	245.9	34.5	2251.4	1419.6	202.0
2013/03/27	388.8	246.8	34.1	2124.8	1374.6	190.4
2013/03/28	429.8	272.6	38.2	2492.1	1609.8	227.1
2013/03/29	380.5	238.7	33.6	2186.4	1402.2	198.6
2013/03/30	345.9	223.7	30.8	1889.4	1253.3	172.3
2013/03/31	412.3	256.8	36.3	2006.0	1261.5	178.8

日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
2013/04/01	409.6	264.3	36.2	2427.5	1554.4	216.5
2013/04/02	498.0	320.4	44.3	2398.7	1548.2	215.6
2013/04/03	457.6	287.3	40.3	2074.4	1304.0	184.4
2013/04/04	419.3	261.3	37.2	2102.6	1333.9	189.2
2013/04/05	436.9	281.2	38.5	2175.0	1421.3	197.0
2013/04/06	396.3	244.5	34.6	1726.1	1062.7	152.1
2013/04/07	323.9	200.1	27.7	1722.9	1083.9	149.9
2013/04/08	479.3	306.0	42.6	2740.9	1795.5	248.5
2013/04/09	560.4	360.1	49.9	2550.4	1658.8	231.7
2013/04/10	452.1	287.0	40.0	2135.0	1388.9	194.4
2013/04/11	415.1	262.1	36.5	1962.1	1248.3	175.6
2013/04/12	478.7	308.0	42.4	2267.1	1464.0	205.2
2013/04/13	412.7	264.3	36.6	2189.9	1426.3	198.2
2013/04/14	626.6	402.9	55.9	2649.7	1729.0	238.7
2013/04/15	667.2	428.6	59.9	2335.0	1507.4	212.5
2013/04/16	554.9	362.9	49.6	2622.1	1731.5	237.9
2013/04/17	544.4	350.1	48.4	2456.2	1591.2	223.9
2013/04/18	555.5	355.9	49.4	2175.3	1398.8	198.1
2013/04/19	449.8	291.1	40.1	2205.9	1433.8	202.0
2013/04/20	467.4	304.5	42.0	2527.2	1686.4	234.6
2013/04/21	443.1	273.4	38.8	2519.0	1584.6	224.7
2013/04/22	466.6	295.9	41.4	2849.8	1835.8	258.5
2013/04/23	544.1	349.6	48.6	3711.7	2428.4	339.6
2013/04/24	570.9	362.7	51.0	3591.1	2308.4	327.8
2013/04/25	540.7	346.8	48.1	2688.7	1732.4	243.0
2013/04/26	680.2	430.7	60.9	2492.1	1597.1	225.8
2013/04/27	504.9	319.7	44.7	2988.5	1929.3	270.1
2013/04/28	503.7	326.2	45.1	3033.1	2018.5	279.3
2013/04/29	639.5	408.3	57.3	3421.3	2219.2	312.1
2013/04/30	508.9	320.8	45.2	2821.1	1789.9	255.9

日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NO _x	SO _x	PM	NO _x	SO _x	PM
2013/05/01	475.5	296.6	41.8	2156.7	1362.1	194.0
2013/05/02	518.9	326.9	45.9	2592.3	1652.3	233.9
2013/05/03	553.6	355.3	49.6	2713.7	1776.6	248.7
2013/05/04	499.3	315.6	44.8	3023.1	1969.5	276.1
2013/05/05	461.3	296.5	40.7	2869.1	1866.7	261.1
2013/05/06	522.7	332.6	46.7	3044.7	1973.7	278.1
2013/05/07	534.2	338.0	47.6	3216.4	2089.5	295.3
2013/05/08	499.2	319.0	44.4	2571.5	1657.6	233.3
2013/05/09	563.5	363.1	50.5	2815.1	1815.1	256.0
2013/05/10	582.7	366.2	51.9	2794.9	1768.5	251.7
2013/05/11	510.9	325.4	45.7	2369.2	1508.9	214.0
2013/05/12	560.5	359.8	50.1	2877.1	1854.5	262.5
2013/05/13	521.0	340.4	46.6	3102.9	2041.3	283.1
2013/05/14	618.2	392.2	55.3	3242.9	2101.8	297.9
2013/05/15	526.2	333.7	46.8	2587.1	1650.3	233.9
2013/05/16	510.8	321.5	45.5	2457.8	1578.9	223.3
2013/05/17	490.4	309.7	43.7	2464.2	1595.5	225.8
2013/05/18	580.0	369.8	52.1	3100.4	2012.4	283.6
2013/05/19	546.0	347.9	48.8	2907.5	1869.9	264.2
2013/05/20	570.5	363.7	50.7	3143.7	2029.0	285.4
2013/05/21	577.6	364.5	51.5	3406.7	2182.9	310.7
2013/05/22	519.5	342.9	46.1	2903.2	1924.2	262.9
2013/05/23	512.5	331.8	45.6	2716.2	1753.0	245.6
2013/05/24	486.9	313.5	43.1	2753.6	1791.9	247.6
2013/05/25	626.5	402.5	56.1	3180.7	2056.5	287.9
2013/05/26	634.9	411.8	57.0	3099.3	2014.4	281.5
2013/05/27	564.6	352.1	49.9	2610.8	1631.5	232.1
2013/05/28	612.4	386.1	54.6	2529.9	1597.4	228.2
2013/05/29	675.2	428.5	60.3	2292.3	1449.5	205.7
2013/05/30	585.7	381.3	52.5	2409.7	1577.8	217.3
2013/05/31	692.4	452.9	62.2	2780.4	1809.3	251.1

日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
2013/06/01	799.8	511.6	71.6	2577.5	1642.2	231.6
2013/06/02	663.6	428.0	59.1	2851.1	1837.1	255.2
2013/06/03	497.2	320.7	44.4	2783.0	1792.3	250.9
2013/06/04	495.6	315.7	43.9	2782.5	1766.6	248.8
2013/06/05	496.2	315.1	44.4	2397.1	1527.8	216.1
2013/06/06	536.0	340.8	48.2	2274.5	1448.9	205.4
2013/06/07	651.7	418.4	58.3	2432.3	1561.7	219.4
2013/06/08	588.6	368.5	52.1	2342.9	1476.5	210.1
2013/06/09	510.8	329.2	45.6	2227.7	1447.2	200.5
2013/06/10	486.2	308.1	43.4	2582.1	1659.7	234.4
2013/06/11	489.4	312.9	43.4	2634.7	1718.5	238.2
2013/06/12	444.5	282.6	39.0	2073.9	1316.0	184.3
2013/06/13	401.9	254.1	35.3	1825.8	1166.2	163.1
2013/06/14	433.1	275.8	38.5	2026.1	1313.1	182.8
2013/06/15	584.8	372.6	52.4	2404.2	1570.7	219.9
2013/06/16	650.1	421.0	58.4	2359.9	1535.8	215.7
2013/06/17	866.6	554.5	78.1	2504.3	1606.0	228.5
2013/06/18	887.5	581.4	80.1	2591.0	1717.2	236.1
2013/06/19	930.8	597.1	83.7	2977.8	1938.5	270.3
2013/06/20	370.7	235.7	33.2	1534.8	994.5	138.9
2013/06/21	231.8	149.7	20.9	1091.6	713.9	99.3
2013/06/22	-	-	-	-	-	-
2013/06/23	-	-	-	-	-	-
2013/06/24	333.1	207.0	29.4	1697.1	1065.5	151.8
2013/06/25	543.5	348.5	48.5	2547.5	1626.4	228.6
2013/06/26	555.7	352.5	49.0	2643.5	1665.9	232.8
2013/06/27	622.8	397.4	55.4	2211.9	1397.1	198.2
2013/06/28	634.5	408.6	56.1	2304.6	1493.8	206.5
2013/06/29	591.1	386.5	52.9	2678.3	1748.4	241.7
2013/06/30	749.1	493.6	66.8	2802.9	1837.7	251.3

日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
2013/07/01	800.0	519.4	71.8	2912.3	1886.5	263.8
2013/07/02	645.5	412.6	58.1	2845.0	1828.8	258.6
2013/07/03	764.8	488.5	68.7	2490.4	1611.1	225.5
2013/07/04	669.4	432.9	60.1	2233.9	1441.3	201.9
2013/07/05	677.3	430.6	61.1	2479.6	1594.1	225.5
2013/07/06	646.7	413.4	58.0	2447.7	1576.2	220.9
2013/07/07	587.6	370.6	52.0	2542.8	1600.8	225.8
2013/07/08	679.4	434.8	60.9	2811.9	1819.4	256.0
2013/07/09	677.7	439.5	61.1	2582.7	1703.8	235.7
2013/07/10	672.1	431.4	60.1	2834.8	1816.8	256.1
2013/07/11	677.8	432.1	60.9	3303.0	2154.5	302.9
2013/07/12	407.8	250.1	35.8	2192.9	1375.6	195.6
2013/07/13	258.8	153.4	22.0	798.5	460.3	67.7
2013/07/14	579.9	366.9	51.1	2572.3	1632.6	229.9
2013/07/15	613.9	393.1	54.5	3611.7	2322.3	328.0
2013/07/16	559.6	361.2	49.7	3818.1	2490.8	345.4
2013/07/17	525.0	342.9	47.1	3256.3	2172.9	297.4
2013/07/18	577.0	364.0	51.3	2911.8	1848.2	263.6
2013/07/19	563.8	362.2	50.1	3279.1	2130.8	296.9
2013/07/20	676.9	429.3	60.5	3672.9	2352.2	330.1
2013/07/21	661.3	420.6	59.1	3473.8	2202.7	312.3
2013/07/22	667.8	419.7	59.0	3466.2	2164.1	308.1
2013/07/23	737.7	470.5	66.2	3161.4	2021.5	285.7
2013/07/24	757.8	483.5	67.8	2973.4	1906.9	266.4
2013/07/25	726.1	466.6	64.7	3032.7	1953.2	269.7
2013/07/26	523.2	335.8	46.6	2903.5	1861.1	260.1
2013/07/27	615.8	395.4	55.0	3030.1	1952.9	271.1
2013/07/28	706.2	465.7	63.3	2922.8	1914.4	262.6
2013/07/29	801.5	517.5	71.5	3142.4	2038.4	283.6
2013/07/30	709.0	452.5	63.5	2847.9	1815.6	257.3
2013/07/31	658.8	422.5	59.1	2779.8	1785.6	250.9

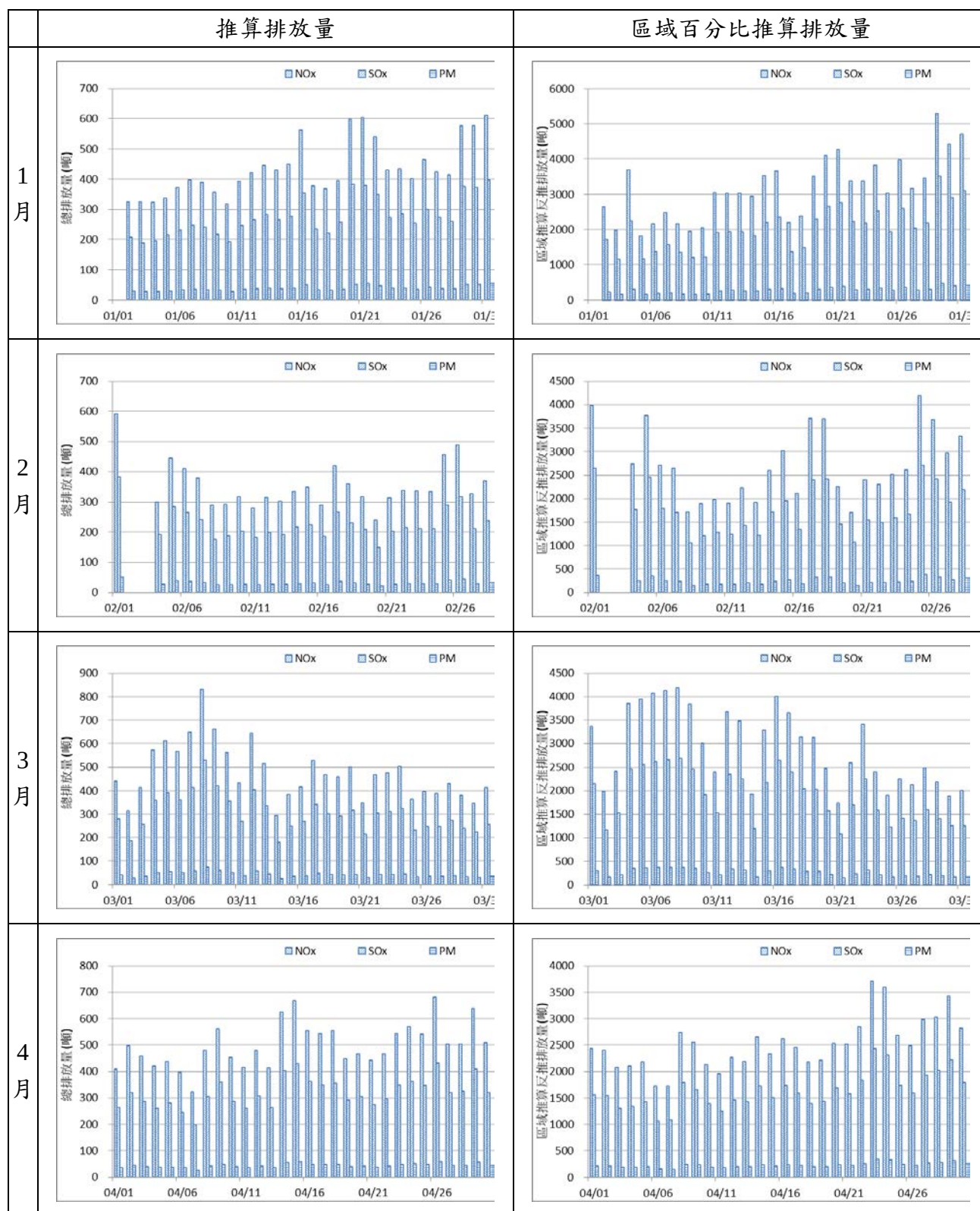
日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
2013/08/01	638.3	407.6	57.0	3152.4	2001.9	283.5
2013/08/02	480.2	305.8	42.7	3330.4	2127.7	298.9
2013/08/03	576.1	368.6	51.3	3243.9	2071.8	289.2
2013/08/04	780.8	504.6	70.3	3130.9	2028.1	282.2
2013/08/05	811.0	516.4	72.9	3645.6	2282.2	326.0
2013/08/06	674.7	428.4	60.4	3538.2	2252.7	319.6
2013/08/07	795.8	509.6	71.6	3855.3	2475.9	349.9
2013/08/08	820.0	529.4	74.0	3949.8	2550.7	361.1
2013/08/09	857.5	553.9	76.9	3295.5	2141.1	298.0
2013/08/10	725.4	464.6	65.2	4133.2	2649.8	371.1
2013/08/11	630.7	399.6	56.3	4769.6	3035.6	431.6
2013/08/12	631.5	399.8	56.0	4183.6	2652.9	375.0
2013/08/13	563.8	355.2	49.7	3600.7	2275.2	319.7
2013/08/14	450.4	279.1	39.5	3084.6	1908.8	273.4
2013/08/15	420.6	263.4	37.2	2823.7	1749.4	250.6
2013/08/16	455.3	302.7	40.5	3874.6	2550.6	349.2
2013/08/17	548.9	360.2	49.2	3907.2	2599.6	354.0
2013/08/18	760.3	484.9	68.5	4476.5	2862.9	406.5
2013/08/19	696.0	440.8	62.1	4233.5	2676.7	379.6
2013/08/20	547.8	347.4	48.7	4928.6	3160.4	447.3
2013/08/21	360.1	219.8	31.3	2415.6	1487.4	212.3
2013/08/22	408.9	248.7	35.4	2390.2	1423.4	206.1
2013/08/23	497.9	316.4	44.0	4038.8	2577.9	363.1
2013/08/24	539.8	346.3	48.4	4592.6	3001.9	418.6
2013/08/25	601.8	387.1	53.7	4179.4	2722.8	379.2
2013/08/26	691.4	444.3	61.6	4537.1	2941.9	410.5
2013/08/27	702.9	455.9	62.7	4805.0	3179.5	438.2
2013/08/28	545.6	351.7	48.1	4746.6	3121.3	429.1
2013/08/29	434.1	267.3	38.1	3072.5	1917.1	272.6
2013/08/30	466.5	295.7	41.4	3059.9	1957.1	277.1
2013/08/31	413.9	262.6	36.4	3020.3	1917.6	269.6

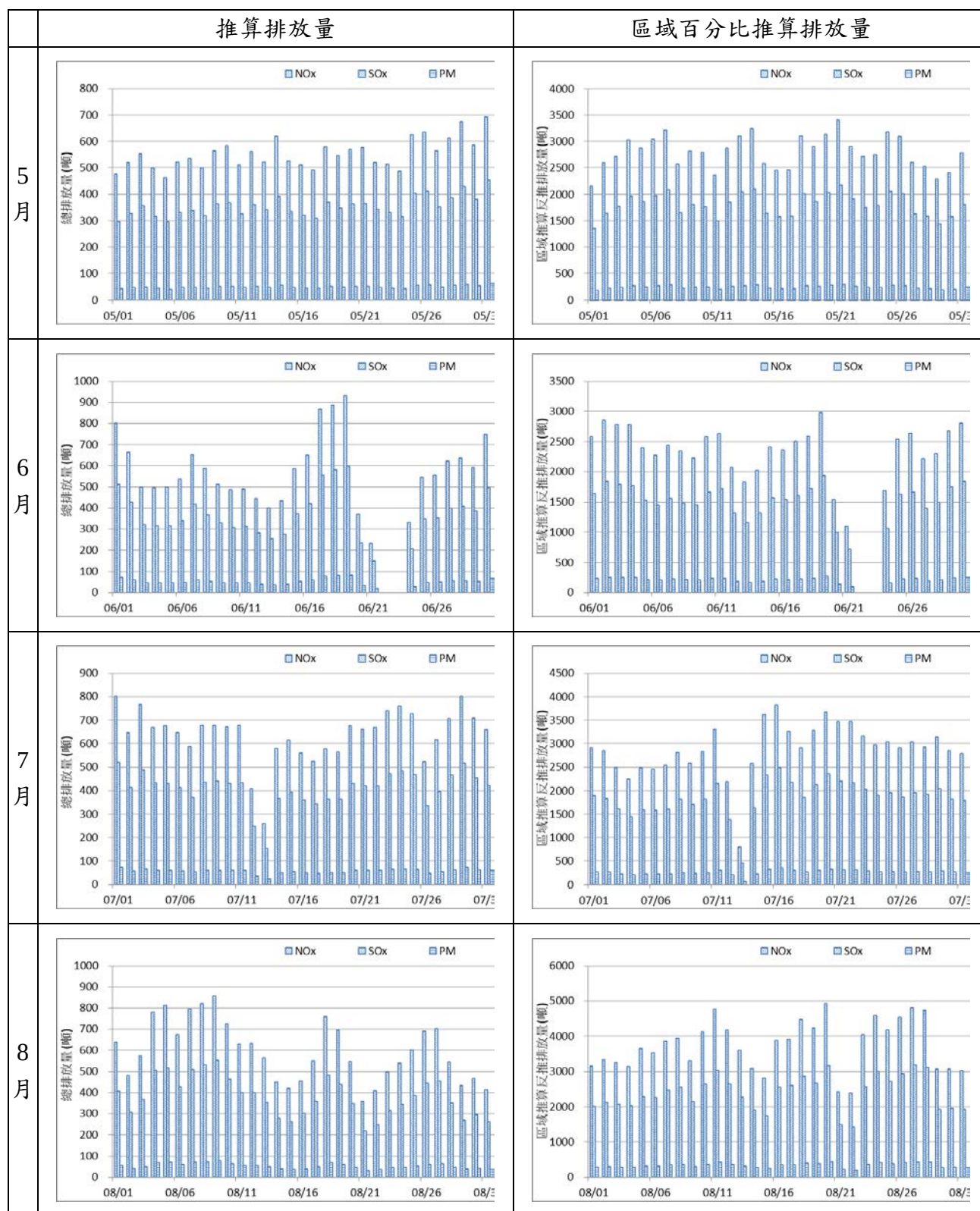
日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NO _x	SO _x	PM	NO _x	SO _x	PM
2013/09/01	504.6	312.1	44.5	3928.3	2461.5	350.9
2013/09/02	597.3	381.0	53.0	4382.6	2788.8	393.5
2013/09/03	479.7	300.3	42.3	3963.3	2490.2	352.7
2013/09/04	451.8	289.0	40.1	3269.4	2097.3	292.7
2013/09/05	533.3	338.0	47.3	3577.4	2300.1	321.9
2013/09/06	643.7	415.7	57.3	4006.7	2587.3	360.3
2013/09/07	583.2	371.4	52.0	3206.4	2057.0	285.6
2013/09/08	544.9	355.5	48.7	3932.3	2518.1	353.7
2013/09/09	569.0	361.2	51.2	4022.4	2578.2	366.2
2013/09/10	592.6	382.6	53.3	3975.5	2584.9	361.0
2013/09/11	633.5	401.2	56.4	4097.9	2604.8	368.2
2013/09/12	493.1	313.9	43.7	3449.6	2212.8	310.7
2013/09/13	599.5	381.5	53.8	3976.3	2562.5	362.6
2013/09/14	550.1	360.8	49.3	3861.3	2541.3	353.1
2013/09/15	540.3	345.4	48.2	3338.8	2175.7	307.1
2013/09/16	507.6	320.8	45.1	2835.5	1822.8	256.9
2013/09/17	465.3	292.8	41.0	3076.3	1966.4	278.4
2013/09/18	519.6	332.1	46.0	2653.4	1702.9	238.9
2013/09/19	523.4	337.6	46.7	2375.5	1544.2	215.5
2013/09/20	378.0	239.1	33.3	1888.9	1217.7	167.8
2013/09/21	166.2	79.4	13.5	1125.4	557.5	93.4
2013/09/22	307.1	170.3	26.3	1513.1	823.9	129.8
2013/09/23	636.0	394.3	56.6	3130.4	1950.0	281.0
2013/09/24	687.5	437.0	61.8	3688.4	2379.3	335.9
2013/09/25	560.3	350.2	49.3	3266.0	2053.6	292.7
2013/09/26	400.3	245.1	34.8	2255.2	1416.1	201.6
2013/09/27	413.5	257.5	36.3	2777.0	1755.6	250.6
2013/09/28	539.6	345.7	48.1	3497.8	2300.4	321.3
2013/09/29	494.4	319.2	43.7	3479.0	2260.4	314.4
2013/09/30	440.4	271.7	38.7	2678.8	1684.9	242.1

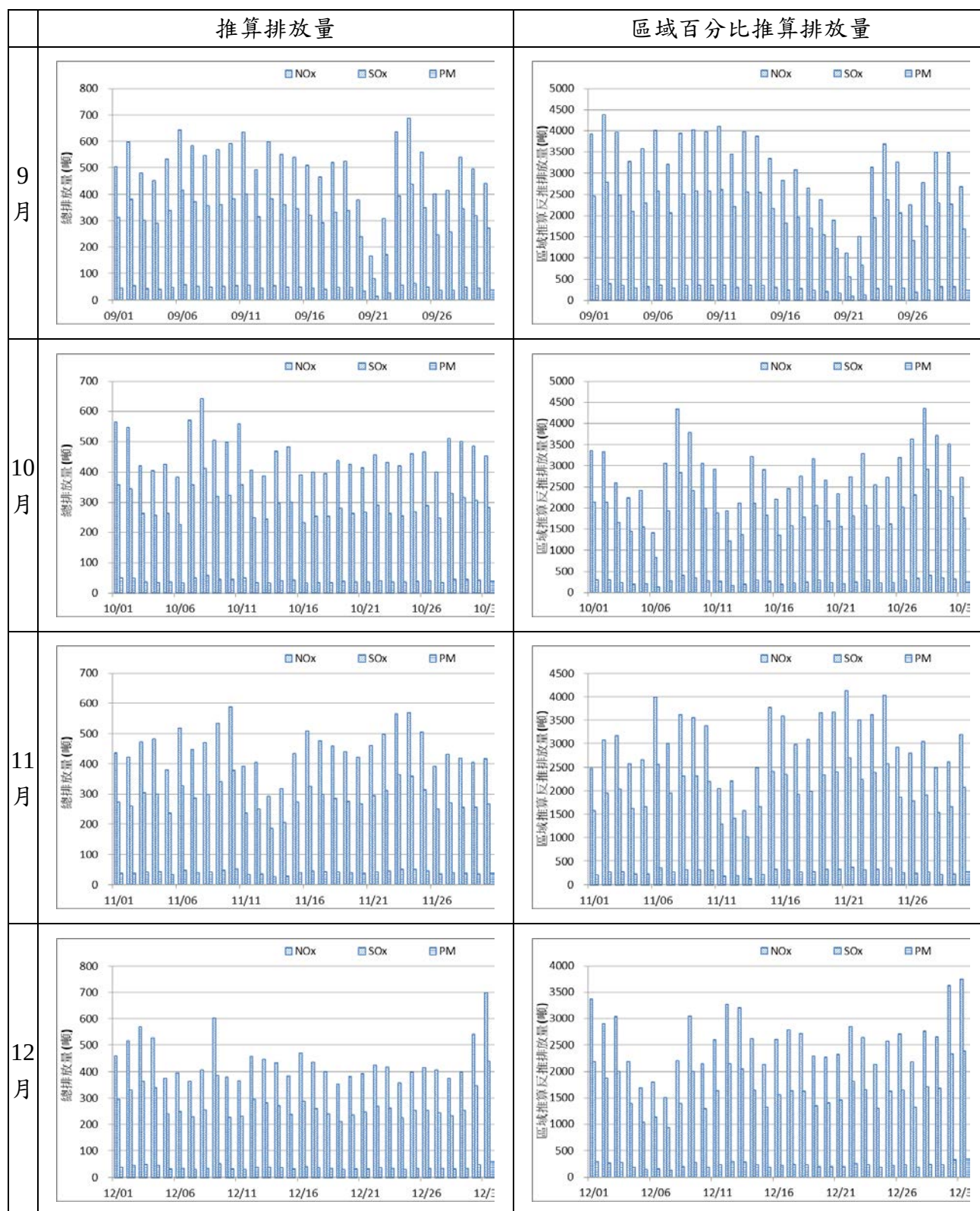
日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
2013/10/01	565.3	358.3	50.4	3352.2	2148.0	304.5
2013/10/02	547.1	343.6	48.6	3331.7	2136.4	302.8
2013/10/03	420.6	262.3	36.9	2594.3	1652.4	235.2
2013/10/04	403.6	257.5	35.2	2236.2	1455.7	202.3
2013/10/05	424.8	264.0	36.7	2416.2	1543.5	215.8
2013/10/06	382.7	225.7	32.6	1416.0	833.1	122.2
2013/10/07	570.8	358.7	50.4	3053.6	1935.5	274.3
2013/10/08	641.6	412.0	57.6	4334.6	2826.5	398.2
2013/10/09	505.3	318.9	44.9	3787.3	2420.4	343.6
2013/10/10	499.8	323.8	45.0	3058.3	1984.8	278.7
2013/10/11	558.7	358.7	50.1	2913.7	1883.1	265.4
2013/10/12	405.5	249.6	35.9	1928.8	1222.8	174.9
2013/10/13	387.4	243.0	33.9	2120.6	1362.7	191.7
2013/10/14	468.3	296.5	41.1	3222.7	2117.4	291.1
2013/10/15	484.3	299.6	42.8	2895.2	1825.1	262.7
2013/10/16	390.9	231.9	33.6	2204.8	1352.6	196.5
2013/10/17	401.0	254.5	34.8	2458.5	1579.2	220.7
2013/10/18	394.9	253.0	34.6	2744.2	1778.5	249.0
2013/10/19	436.8	279.8	38.8	3167.9	2060.3	288.7
2013/10/20	424.7	263.0	37.4	2650.6	1691.3	241.4
2013/10/21	414.8	267.0	36.8	2332.2	1561.2	214.4
2013/10/22	456.8	290.3	40.4	2739.9	1807.0	250.4
2013/10/23	431.2	263.1	37.8	3287.2	2062.2	297.8
2013/10/24	418.9	255.9	36.7	2542.3	1572.1	228.1
2013/10/25	459.7	269.6	39.8	2718.4	1618.8	239.5
2013/10/26	466.7	288.1	40.7	3187.7	2020.5	285.6
2013/10/27	400.6	248.5	35.4	3626.7	2303.8	326.9
2013/10/28	510.4	328.5	45.5	4344.9	2913.0	397.3
2013/10/29	500.1	314.8	44.6	3716.5	2411.8	342.6
2013/10/30	484.5	306.0	42.8	3515.7	2264.2	320.8
2013/10/31	452.1	282.3	39.8	2722.6	1749.3	244.6

日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NO _x	SO _x	PM	NO _x	SO _x	PM
2013/11/01	434.3	272.9	37.7	2471.1	1582.2	219.2
2013/11/02	421.2	258.5	36.9	3089.4	1955.3	279.4
2013/11/03	472.4	303.8	41.7	3173.3	2043.3	287.5
2013/11/04	482.4	300.0	42.7	2575.5	1632.5	234.2
2013/11/05	379.7	235.2	33.2	2665.6	1664.3	235.9
2013/11/06	518.8	326.1	46.2	3992.3	2566.0	363.8
2013/11/07	447.6	286.9	39.8	3013.6	1951.8	272.4
2013/11/08	469.9	297.3	41.8	3619.6	2316.7	330.4
2013/11/09	533.6	340.0	47.6	3554.8	2315.5	326.3
2013/11/10	587.4	376.4	52.3	3385.2	2204.7	310.6
2013/11/11	390.5	236.1	33.7	2052.7	1288.8	183.4
2013/11/12	404.5	250.5	35.4	2214.6	1419.2	201.5
2013/11/13	291.8	186.8	25.9	1576.2	1016.6	142.8
2013/11/14	316.4	205.9	28.4	2492.9	1661.8	230.9
2013/11/15	433.0	272.0	38.2	3771.0	2418.1	340.6
2013/11/16	508.5	325.5	45.2	3594.5	2352.4	330.9
2013/11/17	476.4	298.9	42.5	2983.6	1930.2	274.8
2013/11/18	457.7	284.9	40.5	3089.8	1988.8	283.5
2013/11/19	439.7	275.5	38.9	3650.0	2334.3	333.5
2013/11/20	421.4	266.8	37.3	3668.0	2396.8	334.9
2013/11/21	459.7	293.9	40.8	4125.0	2693.7	376.0
2013/11/22	497.6	311.1	44.5	3500.4	2237.9	322.3
2013/11/23	564.1	363.8	50.3	3619.7	2382.6	331.9
2013/11/24	568.3	358.1	50.7	4030.1	2576.8	365.6
2013/11/25	504.2	313.4	44.6	2921.3	1860.3	264.6
2013/11/26	391.4	249.9	34.4	2791.8	1791.5	252.2
2013/11/27	431.7	271.6	38.4	3048.9	1917.9	273.8
2013/11/28	417.7	256.4	36.9	2481.5	1544.8	223.7
2013/11/29	403.6	255.2	35.5	2605.7	1664.2	235.0
2013/11/30	415.4	266.4	36.8	3190.1	2073.1	290.9

日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NO _x	SO _x	PM	NO _x	SO _x	PM
2013/12/01	459.7	295.8	40.5	3372.5	2184.0	304.6
2013/12/02	516.8	331.0	46.0	2911.5	1877.5	263.7
2013/12/03	570.1	365.7	50.9	3038.3	1996.9	274.3
2013/12/04	527.9	340.5	46.8	2189.4	1398.9	192.8
2013/12/05	376.8	240.4	33.2	1687.6	1036.6	145.5
2013/12/06	396.8	250.9	35.4	1806.0	1135.2	160.2
2013/12/07	365.0	229.5	32.1	1499.0	937.9	131.2
2013/12/08	405.7	257.6	35.8	2200.3	1389.2	196.9
2013/12/09	602.6	385.9	54.4	3047.6	1999.5	279.7
2013/12/10	379.3	227.4	33.1	2141.7	1295.4	190.4
2013/12/11	367.9	231.9	32.4	2601.0	1637.8	232.3
2013/12/12	457.5	296.7	40.8	3269.2	2149.3	297.3
2013/12/13	445.7	282.6	39.3	3207.1	2043.3	289.2
2013/12/14	432.6	272.4	37.7	2621.7	1646.6	230.7
2013/12/15	385.1	238.6	33.6	2134.8	1323.4	186.0
2013/12/16	471.2	289.0	41.3	2605.7	1559.5	228.3
2013/12/17	436.3	260.1	37.9	2781.2	1632.1	241.6
2013/12/18	399.2	241.0	34.7	2723.2	1626.1	235.8
2013/12/19	352.9	211.8	30.8	2284.5	1352.7	197.9
2013/12/20	382.3	236.8	33.3	2269.5	1407.1	199.2
2013/12/21	393.3	247.1	34.4	2321.1	1455.3	204.2
2013/12/22	424.3	268.9	37.3	2848.8	1817.0	255.3
2013/12/23	417.4	264.0	36.7	2645.2	1661.2	235.3
2013/12/24	358.9	224.9	31.1	2136.0	1302.4	184.5
2013/12/25	398.8	253.5	34.8	2574.3	1625.9	226.1
2013/12/26	415.0	254.6	36.5	2709.4	1647.0	238.2
2013/12/27	406.9	246.2	35.2	2173.2	1323.4	190.1
2013/12/28	376.0	234.0	32.8	2765.1	1718.7	243.5
2013/12/29	397.0	253.7	34.7	2653.1	1680.0	235.4
2013/12/30	541.0	347.9	48.4	3629.7	2337.6	329.3
2013/12/31	697.5	440.1	62.5	3744.9	2383.2	339.1







附錄七 2016 年 AIS 排放量推估結果

日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
2016/01/01	466.8	294.9	41.1	3141.2	2022.6	284.4
2016/01/02	606.7	390.4	55.1	3989.0	2607.0	369.5
2016/01/03	563.7	368.9	50.8	3966.0	2627.1	364.6
2016/01/04	574.6	370.1	51.7	3727.9	2404.0	342.0
2016/01/05	539.4	333.5	48.0	3835.0	2430.5	349.5
2016/01/06	462.7	283.8	40.7	3456.6	2127.9	309.3
2016/01/07	448.6	275.0	39.7	2738.6	1703.3	246.4
2016/01/08	436.9	272.1	38.6	3018.9	1911.2	272.5
2016/01/09	391.6	242.3	34.9	2893.8	1835.3	263.7
2016/01/10	468.6	299.3	42.0	3592.3	2338.1	329.8
2016/01/11	428.1	263.8	37.7	3227.0	1995.0	286.9
2016/01/12	431.9	265.6	38.3	2559.2	1594.2	229.6
2016/01/13	409.5	246.8	36.0	2652.0	1614.2	236.7
2016/01/14	417.2	259.6	37.0	3239.5	2075.8	293.0
2016/01/15	468.5	301.4	41.4	3764.4	2414.2	340.6
2016/01/16	361.8	229.3	32.3	1598.8	1008.6	143.0
2016/01/17	400.1	246.7	35.4	1559.6	946.0	136.7
2016/01/18	427.8	271.3	38.0	2188.4	1386.0	197.2
2016/01/19	466.3	296.7	42.2	2971.8	1900.8	273.4
2016/01/20	428.6	264.9	38.4	2506.7	1550.3	226.5
2016/01/21	463.8	286.8	41.6	2999.7	1879.4	273.6
2016/01/22	411.5	258.0	36.2	2411.1	1522.5	214.4
2016/01/23	367.7	215.2	32.3	1866.8	1079.2	165.0
2016/01/24	329.6	193.1	28.3	1890.7	1118.9	164.2
2016/01/25	298.9	182.7	26.2	1997.9	1253.1	178.6
2016/01/26	406.0	261.5	35.9	2995.4	1929.3	273.3
2016/01/27	484.1	308.5	43.6	3290.8	2116.7	301.2
2016/01/28	544.3	350.2	49.3	3578.2	2322.2	330.7
2016/01/29	490.2	322.1	44.5	2763.1	1827.6	255.9
2016/01/30	381.3	237.2	33.4	1791.0	1107.3	158.1
2016/01/31	363.8	228.1	32.1	1923.7	1228.9	174.8

日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
2016/02/01	373.3	221.7	32.5	1843.6	1116.2	164.1
2016/02/02	362.6	209.3	31.3	1730.8	1017.2	153.8
2016/02/03	457.0	286.2	40.5	2185.0	1396.2	199.0
2016/02/04	434.3	273.8	38.7	2277.6	1441.9	204.9
2016/02/05	407.5	250.1	36.1	2034.0	1284.5	186.0
2016/02/06	404.0	255.4	35.5	1917.0	1242.5	172.8
2016/02/07	457.3	289.1	40.6	1995.7	1298.0	182.8
2016/02/08	563.2	357.0	50.3	2196.8	1414.3	199.3
2016/02/09	606.0	389.1	53.9	2340.2	1517.0	210.4
2016/02/10	592.3	374.0	53.2	2584.9	1655.4	234.5
2016/02/11	472.2	299.4	41.9	2780.5	1798.7	251.8
2016/02/12	392.3	248.6	34.8	2403.1	1549.9	219.7
2016/02/13	433.8	276.8	38.7	2137.5	1393.5	197.0
2016/02/14	412.6	254.8	36.0	1981.7	1248.2	176.4
2016/02/15	345.2	203.8	29.5	1634.8	976.0	142.5
2016/02/16	375.8	234.8	33.5	2318.9	1479.4	210.4
2016/02/17	435.3	273.3	38.9	2946.5	1881.6	268.0
2016/02/18	461.0	298.1	41.6	2495.0	1637.1	230.9
2016/02/19	446.8	285.4	40.1	2341.7	1494.9	214.6
2016/02/20	387.0	247.9	34.5	1858.0	1203.8	169.6
2016/02/21	398.9	254.8	35.4	1795.6	1182.6	164.1
2016/02/22	417.2	259.4	37.0	2382.1	1527.9	218.5
2016/02/23	409.9	248.2	35.7	1894.6	1162.7	167.7
2016/02/24	302.7	169.5	26.0	1451.8	831.8	127.4
2016/02/25	359.1	210.4	31.2	1903.1	1143.7	169.1
2016/02/26	398.2	245.9	35.3	2445.9	1534.5	220.8
2016/02/27	438.1	280.8	39.3	2912.0	1886.6	265.8
2016/02/28	657.0	425.8	59.9	2554.0	1659.1	234.6
2016/02/29	543.4	341.0	48.4	2097.0	1313.9	187.4

日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
2016/03/01	436.7	268.4	38.4	2286.4	1413.3	204.6
2016/03/02	565.9	355.7	50.7	3128.7	1988.6	284.9
2016/03/03	645.6	405.3	58.1	3472.5	2219.6	319.4
2016/03/04	685.2	435.1	62.4	3380.3	2188.8	311.2
2016/03/05	587.8	377.9	53.3	3099.5	2053.1	288.3
2016/03/06	541.8	347.8	49.1	2511.9	1632.2	233.1
2016/03/07	504.2	322.9	45.3	3376.8	2190.7	311.0
2016/03/08	439.4	277.2	39.1	2892.5	1862.1	263.1
2016/03/09	484.6	299.3	42.8	2434.8	1485.4	219.5
2016/03/10	428.2	253.3	36.9	1808.3	1072.4	158.5
2016/03/11	423.4	260.2	37.2	2088.2	1307.3	187.3
2016/03/12	493.1	321.6	43.9	2723.6	1823.4	249.1
2016/03/13	584.4	376.3	52.4	2831.8	1847.0	256.4
2016/03/14	419.7	254.4	36.9	1947.7	1184.8	173.0
2016/03/15	451.2	282.5	40.2	2194.8	1385.0	198.8
2016/03/16	584.4	367.9	52.9	3633.7	2294.4	333.9
2016/03/17	548.1	350.1	49.0	3185.3	2058.6	291.8
2016/03/18	508.4	328.7	45.6	2509.3	1627.7	229.6
2016/03/19	541.1	357.3	48.4	2195.4	1493.7	201.6
2016/03/20	645.5	420.4	58.5	2110.5	1402.3	194.8
2016/03/21	551.3	354.0	50.1	2419.1	1576.5	224.2
2016/03/22	522.4	339.3	46.8	2985.0	1968.5	274.2
2016/03/23	496.1	312.9	44.4	2591.3	1639.7	236.5
2016/03/24	437.6	262.8	38.0	1897.3	1151.8	166.2
2016/03/25	507.4	314.8	45.5	2310.0	1462.3	212.4
2016/03/26	536.7	337.6	48.0	2502.4	1597.2	228.4
2016/03/27	494.5	321.0	43.9	2849.3	1864.3	257.0
2016/03/28	521.8	343.6	47.1	3011.6	2035.6	275.4
2016/03/29	746.4	485.2	67.8	2963.4	1923.5	271.3
2016/03/30	640.8	416.9	58.6	3078.4	2006.6	282.1
2016/03/31	544.1	354.1	49.2	2638.5	1714.0	241.7

日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
2016/04/01	556.5	363.3	50.0	2490.2	1655.3	228.1
2016/04/02	556.4	375.4	50.5	2399.3	1632.4	220.4
2016/04/03	616.3	400.0	56.3	2468.0	1619.9	228.4
2016/04/04	680.4	443.9	61.7	1796.3	1176.2	165.0
2016/04/05	593.7	385.1	53.8	1714.9	1131.9	157.4
2016/04/06	761.2	486.4	69.2	2511.4	1610.5	231.5
2016/04/07	797.9	519.8	73.0	2845.6	1887.3	264.7
2016/04/08	595.9	389.5	54.0	2291.5	1528.6	212.1
2016/04/09	-	-	-	-	-	-
2016/04/10	-	-	-	-	-	-
2016/04/11	244.5	151.8	21.7	966.2	602.4	87.4
2016/04/12	550.7	348.4	49.0	2581.6	1663.4	233.9
2016/04/13	547.7	345.5	49.2	2833.6	1786.3	258.0
2016/04/14	650.0	419.6	58.6	2315.8	1469.8	209.6
2016/04/15	472.4	302.5	41.5	2570.2	1651.4	231.0
2016/04/16	606.7	393.3	54.2	2836.4	1885.3	261.0
2016/04/17	603.1	386.0	54.1	2608.8	1697.6	238.8
2016/04/18	537.4	344.4	47.7	2397.0	1550.4	216.7
2016/04/19	555.6	355.5	49.4	2907.1	1901.3	264.1
2016/04/20	601.4	384.9	54.0	3113.3	1992.1	283.2
2016/04/21	695.8	446.8	62.8	3766.2	2510.6	353.0
2016/04/22	757.8	500.0	69.7	3608.8	2426.8	341.1
2016/04/23	709.9	466.7	64.9	4115.9	2731.9	385.9
2016/04/24	588.5	375.5	53.0	3182.4	2022.1	289.8
2016/04/25	533.7	346.2	48.5	2741.0	1775.9	248.7
2016/04/26	551.3	354.7	50.0	3178.1	2032.4	288.2
2016/04/27	555.4	363.9	51.3	3760.3	2434.1	349.1
2016/04/28	633.0	410.1	57.2	3761.2	2452.5	343.1
2016/04/29	686.5	439.7	62.2	2983.9	1942.7	271.7
2016/04/30	639.0	416.3	58.7	2420.4	1577.4	223.3

日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
2016/05/01	180.7	115.9	16.5	796.1	518.0	73.8
2016/05/02	605.5	393.8	54.9	2418.2	1583.9	221.4
2016/05/03	713.6	461.8	64.8	2803.9	1816.6	258.1
2016/05/04	644.0	418.9	59.0	2780.8	1793.6	256.6
2016/05/05	663.5	430.4	60.2	3488.7	2276.4	320.5
2016/05/06	509.2	329.3	46.4	2187.5	1431.1	202.5
2016/05/07	51.3	32.6	4.6	549.1	341.2	49.8
2016/05/08	43.2	29.6	3.9	500.7	348.0	45.1
2016/05/09	410.9	274.3	37.4	1919.5	1318.3	177.9
2016/05/10	655.0	420.5	59.7	3134.3	2029.6	289.6
2016/05/11	655.2	417.8	59.4	2969.5	1904.5	270.3
2016/05/12	613.4	397.4	55.5	3153.6	2073.9	288.8
2016/05/13	624.9	404.0	56.6	3148.4	2018.4	286.3
2016/05/14	530.9	343.9	48.5	2609.4	1689.7	239.1
2016/05/15	643.1	414.9	58.8	2698.7	1739.6	247.8
2016/05/16	429.5	272.1	38.6	2048.1	1274.1	185.2
2016/05/17	529.6	329.9	47.3	2540.3	1599.6	228.8
2016/05/18	653.6	417.3	59.0	3402.6	2213.7	310.0
2016/05/19	652.4	424.8	58.9	3635.7	2418.4	331.9
2016/05/20	696.7	446.2	63.0	3914.9	2512.2	358.9
2016/05/21	573.0	371.4	51.8	2899.1	1867.7	263.4
2016/05/22	462.1	292.3	41.3	2234.5	1395.7	199.6
2016/05/23	515.6	330.0	45.7	3219.1	2059.5	287.7
2016/05/24	620.7	394.7	55.8	3670.8	2329.1	332.7
2016/05/25	669.2	434.2	61.1	3870.0	2475.8	351.5
2016/05/26	715.4	469.7	65.8	3132.2	2082.2	289.8
2016/05/27	702.3	451.6	63.4	3799.6	2447.7	345.7
2016/05/28	558.3	360.2	50.3	2972.2	1918.4	269.8
2016/05/29	564.6	363.5	51.2	2943.6	1897.5	268.7
2016/05/30	616.3	403.8	56.2	3141.3	2060.5	289.0
2016/05/31	705.7	454.4	64.1	3171.1	2032.2	290.0

日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
2016/06/01	665.5	425.0	60.3	2418.4	1519.6	219.2
2016/06/02	608.5	398.8	55.2	3552.5	2319.8	324.7
2016/06/03	621.3	404.5	56.6	3206.4	2072.8	295.4
2016/06/04	657.5	430.0	60.1	2984.1	1959.5	275.3
2016/06/05	692.0	448.2	62.8	2805.2	1835.2	258.3
2016/06/06	542.2	359.7	48.6	2983.1	1997.9	271.2
2016/06/07	709.4	466.3	64.3	3143.5	2103.2	288.2
2016/06/08	740.4	478.9	67.2	3294.4	2128.2	301.5
2016/06/09	654.7	434.3	59.6	2939.7	1988.4	270.9
2016/06/10	670.6	428.4	60.8	3410.0	2195.8	312.2
2016/06/11	514.6	332.6	46.6	2785.5	1808.5	256.1
2016/06/12	533.1	342.5	47.9	2541.3	1641.3	231.5
2016/06/13	508.1	320.1	45.0	2453.8	1566.6	220.2
2016/06/14	598.5	378.9	53.4	3080.4	1976.2	279.6
2016/06/15	643.9	423.6	58.2	2673.1	1757.8	242.4
2016/06/16	597.6	389.1	54.4	2838.8	1838.9	262.2
2016/06/17	580.5	385.1	52.5	2927.8	1952.7	267.6
2016/06/18	672.3	441.6	61.5	2800.1	1875.8	259.2
2016/06/19	774.6	518.5	71.0	2873.7	1941.3	266.3
2016/06/20	720.1	486.1	65.9	2482.4	1723.7	230.2
2016/06/21	766.27	504.4	70.13	2510.3	1650.6	232.3
2016/06/22	904.61	597.91	83.52	2621.8	1724.8	243.8
2016/06/23	870.8	582.7	80.2	2382.8	1616.9	221.5
2016/06/24	901.6	597.6	83.9	2528.2	1688.5	235.9
2016/06/25	712.5	466.5	65.6	2548.3	1664.5	236.8
2016/06/26	599.1	394.5	54.6	3114.7	2093.2	286.6
2016/06/27	741.2	499.3	67.8	2830.8	1944.7	259.9
2016/06/28	690.8	456.3	63.0	2840.8	1872.7	260.4
2016/06/29	611.5	392.3	55.8	3106.2	2015.7	285.3
2016/06/30	660.7	444.0	60.2	3236.7	2189.2	297.4

日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
2016/07/01	740.5	485.3	67.9	3364.5	2228.8	311.5
2016/07/02	742.8	490.5	67.6	2906.9	1911.3	263.9
2016/07/03	753.9	492.1	68.5	2935.4	1904.5	267.2
2016/07/04	707.3	464.7	64.1	3265.9	2161.7	297.3
2016/07/05	714.8	467.5	65.5	3754.6	2475.0	347.0
2016/07/06	693.2	455.0	63.7	3570.5	2384.3	333.5
2016/07/07	554.6	369.6	50.6	2834.3	1941.9	264.3
2016/07/08	110.1	64.7	9.1	593.2	342.9	47.9
2016/07/09	495.4	314.4	44.8	1827.2	1166.5	169.1
2016/07/10	720.8	464.1	65.7	3094.9	2035.4	289.5
2016/07/11	610.6	393.9	55.0	2993.1	1941.9	273.8
2016/07/12	594.9	379.1	53.0	2820.0	1810.9	254.0
2016/07/13	667.5	423.5	60.4	3069.8	1960.3	279.8
2016/07/14	671.2	429.6	60.5	2788.9	1749.9	251.8
2016/07/15	772.3	497.6	70.5	3041.2	1950.8	280.4
2016/07/16	812.8	530.4	73.8	2792.9	1841.1	255.3
2016/07/17	721.7	464.6	65.6	3240.8	2108.8	298.5
2016/07/18	698.5	456.8	63.5	3190.5	2111.3	295.2
2016/07/19	693.2	442.3	63.5	3383.1	2158.8	312.5
2016/07/20	855.1	551.8	78.7	3045.0	1970.4	283.1
2016/07/21	862.7	567.2	79.2	2669.9	1767.9	247.5
2016/07/22	664.7	442.7	61.9	1947.3	1290.3	181.7
2016/07/23	886.4	590.0	82.3	2703.2	1810.5	251.9
2016/07/24	808.3	524.2	74.1	3027.7	1973.4	280.4
2016/07/25	682.4	451.1	62.6	3099.1	2082.2	287.9
2016/07/26	860.9	555.2	78.8	3053.4	1971.0	281.0
2016/07/27	849.6	559.0	78.0	2909.0	1890.1	268.0
2016/07/28	885.8	584.7	81.7	2934.7	1966.3	274.3
2016/07/29	845.9	551.6	78.0	2878.9	1914.1	272.0
2016/07/30	673.5	435.1	61.8	2857.3	1885.4	268.5
2016/07/31	515.3	329.9	46.3	2860.3	1847.8	263.6

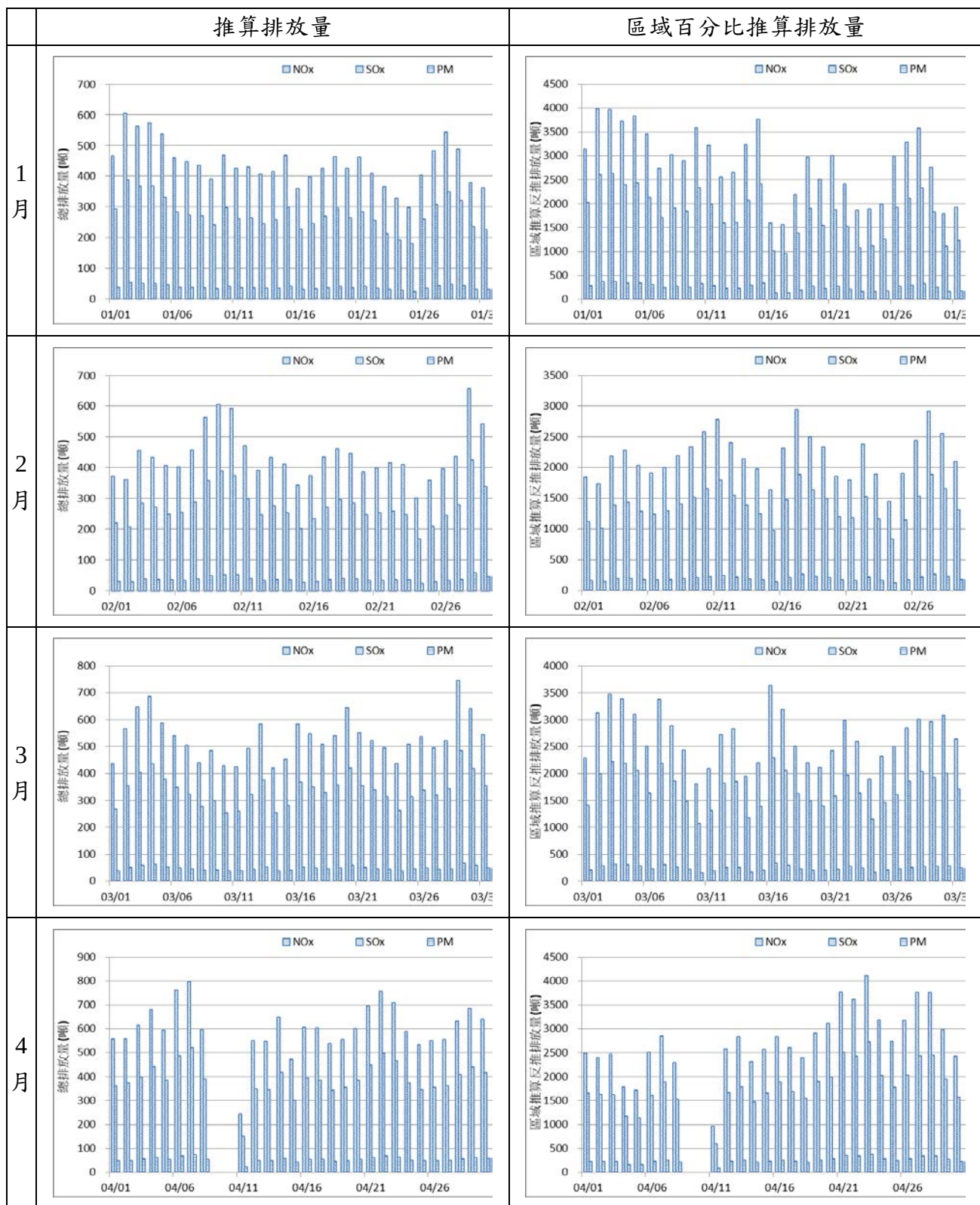
日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
2016/08/01	449.2	282.8	39.8	2178.8	1438.0	199.0
2016/08/02	510.0	321.9	46.3	3777.3	2426.3	352.6
2016/08/03	697.1	449.4	64.0	4196.2	2760.7	393.9
2016/08/04	791.9	529.4	72.7	4445.9	2976.9	416.1
2016/08/05	740.9	483.1	68.4	3669.8	2429.6	345.0
2016/08/06	662.3	437.6	61.1	4587.6	3092.3	430.6
2016/08/07	514.6	337.7	47.2	3966.6	2622.9	372.1
2016/08/08	562.4	362.0	51.2	3843.5	2536.3	356.1
2016/08/09	632.1	404.5	57.8	4685.6	3063.5	439.3
2016/08/10	578.2	385.8	52.9	5030.7	3440.6	471.3
2016/08/11	497.0	322.8	44.9	4028.7	2652.8	374.0
2016/08/12	546.5	354.8	50.0	3775.5	2504.4	353.5
2016/08/13	465.6	304.9	42.1	3815.6	2573.0	356.8
2016/08/14	549.1	355.2	49.9	4384.0	2875.9	411.1
2016/08/15	515.4	340.4	46.8	3577.6	2423.5	331.4
2016/08/16	568.1	363.9	51.0	4048.2	2653.4	372.8
2016/08/17	362.2	230.9	32.4	2904.5	1865.8	265.8
2016/08/18	199.8	128.1	18.0	1261.5	814.3	116.7
2016/08/19	562.7	363.9	50.5	3841.3	2518.0	353.9
2016/08/20	602.7	396.1	54.6	3785.8	2545.5	350.3
2016/08/21	600.9	398.6	54.6	3680.2	2453.1	343.1
2016/08/22	691.5	448.8	63.2	4159.5	2765.6	390.9
2016/08/23	696.5	456.4	63.6	3855.4	2555.5	359.2
2016/08/24	735.8	481.3	67.1	4642.7	3062.2	433.2
2016/08/25	843.7	548.0	76.7	4213.6	2788.5	392.8
2016/08/26	837.6	552.5	76.6	4196.9	2791.7	391.2
2016/08/27	545.1	364.2	49.9	4166.1	2799.1	392.6
2016/08/28	440.6	283.4	39.3	3164.1	2055.0	289.6
2016/08/29	450.3	296.5	40.5	2978.0	2038.1	274.0
2016/08/30	564.7	367.0	51.2	3657.1	2417.2	338.3
2016/08/31	715.2	460.0	64.3	3791.0	2464.1	347.1

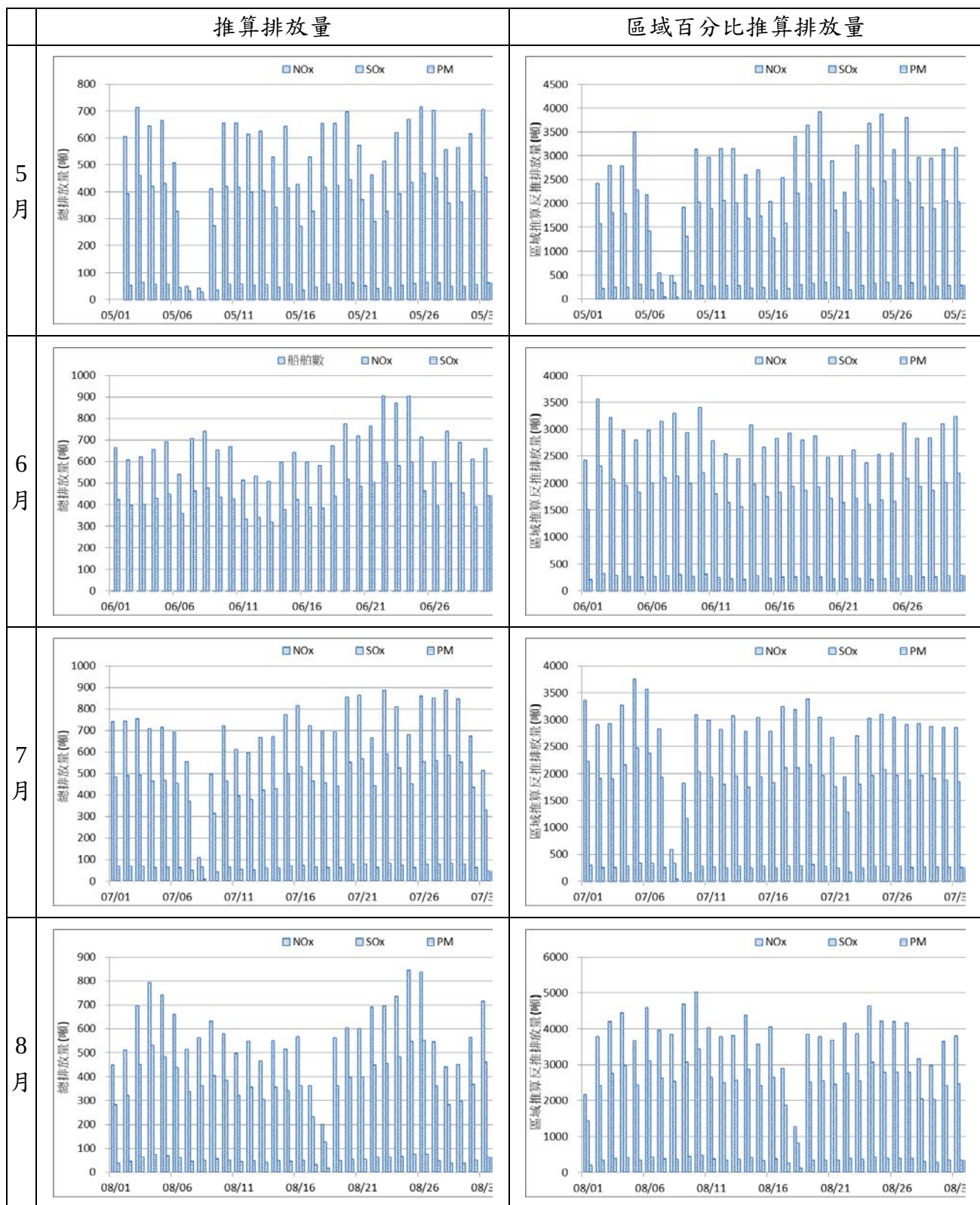
日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
2016/09/01	520.0	343.2	46.7	3512.3	2367.3	323.6
2016/09/02	529.3	341.6	47.5	3565.6	2321.8	325.8
2016/09/03	664.1	429.6	60.6	3479.1	2260.3	322.2
2016/09/04	582.0	387.2	52.6	4284.2	2892.8	394.3
2016/09/05	537.3	354.9	48.7	4122.0	2766.9	383.3
2016/09/06	633.1	407.2	57.8	4350.4	2827.3	404.5
2016/09/07	486.1	310.9	43.4	4481.2	2860.0	409.4
2016/09/08	548.1	362.0	49.5	4007.9	2722.5	373.6
2016/09/09	524.3	342.0	47.7	4024.3	2648.0	374.6
2016/09/10	518.1	335.2	47.4	3773.3	2497.7	354.8
2016/09/11	621.0	420.1	57.0	3888.5	2731.5	366.1
2016/09/12	617.1	399.5	56.1	3119.2	2065.4	291.0
2016/09/13	458.8	292.7	40.9	2736.2	1826.6	253.5
2016/09/14	212.4	110.3	17.7	1346.4	743.6	118.1
2016/09/15	643.1	408.0	58.3	2282.4	1456.8	209.3
2016/09/16	716.7	464.5	65.5	3022.8	2011.2	285.6
2016/09/17	390.4	239.2	34.8	2047.6	1282.3	187.5
2016/09/18	449.3	279.4	40.1	2825.5	1771.5	258.8
2016/09/19	426.9	270.0	38.4	3524.5	2288.2	325.9
2016/09/20	536.6	338.0	48.5	3455.0	2252.0	323.8
2016/09/21	534.2	337.9	47.9	3255.2	2086.6	298.6
2016/09/22	557.7	354.7	50.4	3806.7	2507.5	354.5
2016/09/23	605.1	386.3	54.9	3855.9	2513.8	360.1
2016/09/24	673.7	433.7	61.2	3816.2	2489.0	354.7
2016/09/25	758.4	502.8	69.0	4021.5	2713.4	376.2
2016/09/26	471.0	319.1	42.8	2790.2	1959.1	261.1
2016/09/27	88.4	48.8	7.3	707.3	401.9	61.9
2016/09/28	505.1	334.0	45.9	1935.1	1250.5	177.3
2016/09/29	1015.2	656.8	92.4	5098.1	3312.9	474.5
2016/09/30	559.3	358.4	51.0	3354.3	2205.9	314.6

日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
2016/10/01	735.8	482.0	66.4	4346.8	2951.2	403.4
2016/10/02	696.8	454.7	63.0	3815.0	2522.9	355.1
2016/10/03	707.7	463.1	63.7	3887.7	2615.5	358.5
2016/10/04	649.8	418.3	58.3	3932.4	2602.1	362.9
2016/10/05	588.9	371.5	52.6	3487.9	2208.4	318.0
2016/10/06	469.2	297.3	41.2	2952.3	1950.7	265.5
2016/10/07	582.4	371.7	52.1	3009.9	1952.4	275.1
2016/10/08	452.2	289.3	40.1	2793.1	1778.2	254.8
2016/10/09	391.0	233.8	34.0	1711.6	1012.6	148.1
2016/10/10	366.6	224.8	31.7	1701.4	1030.0	147.9
2016/10/11	468.0	293.1	41.5	2557.3	1586.7	228.7
2016/10/12	519.7	338.1	46.6	2811.5	1792.1	253.8
2016/10/13	478.9	305.0	42.9	2596.8	1664.5	236.6
2016/10/14	514.4	319.6	45.5	2921.5	1856.9	265.4
2016/10/15	469.5	298.6	41.5	2706.5	1762.5	245.7
2016/10/16	577.5	376.8	52.6	3162.6	2078.9	294.3
2016/10/17	530.3	346.9	47.9	2834.8	1907.7	263.3
2016/10/18	620.8	408.6	56.3	2999.4	1984.4	277.9
2016/10/19	564.5	374.5	50.5	2747.6	1813.5	248.9
2016/10/20	439.2	262.0	38.3	2174.6	1330.5	194.7
2016/10/21	471.2	276.4	41.2	2527.3	1493.4	225.4
2016/10/22	603.8	392.3	54.8	3409.1	2243.9	314.3
2016/10/23	721.5	475.5	65.4	4434.3	2951.8	407.1
2016/10/24	471.2	301.6	42.5	3811.2	2449.3	348.7
2016/10/25	654.1	422.5	58.9	4060.3	2598.9	368.6
2016/10/26	791.4	512.9	71.3	4582.1	2951.3	416.2
2016/10/27	905.4	589.4	82.4	4439.9	2913.1	405.5
2016/10/28	792.0	517.8	72.8	3800.7	2495.3	352.3
2016/10/29	425.0	264.0	38.4	2196.8	1347.9	200.0
2016/10/30	321.3	194.9	28.1	1634.6	1009.7	145.7
2016/10/31	409.7	261.1	36.7	2176.7	1379.7	197.7

日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
2016/11/01	412.1	250.8	36.2	1946.8	1205.4	174.2
2016/11/02	426.0	257.4	37.2	2202.0	1347.5	197.5
2016/11/03	399.9	241.9	35.2	2528.1	1554.5	226.2
2016/11/04	507.4	324.5	45.3	4231.4	2727.6	380.3
2016/11/05	552.7	365.6	50.3	4294.4	2860.4	396.3
2016/11/06	577.7	377.7	52.4	4591.3	3010.9	422.4
2016/11/07	682.8	446.5	62.1	4741.3	3111.3	438.4
2016/11/08	573.6	364.8	51.8	3490.6	2205.1	316.1
2016/11/09	420.1	242.0	36.3	2361.8	1374.0	205.6
2016/11/10	501.0	313.5	44.4	3753.0	2343.8	335.2
2016/11/11	568.6	374.1	51.9	4583.2	3036.6	424.4
2016/11/12	538.6	354.3	49.4	4545.0	2986.0	420.0
2016/11/13	679.9	449.4	62.0	4284.1	2830.1	394.6
2016/11/14	916.7	608.5	84.0	4930.3	3293.2	458.7
2016/11/15	655.7	422.9	59.3	3449.4	2242.6	317.0
2016/11/16	543.0	348.6	49.1	3968.7	2584.6	366.2
2016/11/17	635.4	409.7	58.0	5322.0	3474.0	494.8
2016/11/18	781.2	510.0	71.7	4992.4	3272.3	462.5
2016/11/19	874.2	575.3	80.1	4807.2	3200.4	448.2
2016/11/20	603.3	395.6	55.3	4563.4	3005.8	424.9
2016/11/21	557.0	366.5	51.1	4432.2	2948.6	415.8
2016/11/22	557.9	354.9	50.5	3092.1	1969.3	284.2
2016/11/23	434.1	259.8	38.3	2248.3	1342.6	200.6
2016/11/24	369.0	218.2	32.3	2183.7	1296.6	192.9
2016/11/25	461.7	287.8	40.9	3282.9	2084.3	300.0
2016/11/26	471.1	302.1	42.5	3356.4	2190.0	311.8
2016/11/27	431.9	269.1	38.2	2381.9	1505.3	214.0
2016/11/28	409.4	250.5	36.2	2156.4	1345.9	195.3
2016/11/29	397.4	243.3	35.1	2572.7	1614.9	234.2
2016/11/30	545.2	348.3	49.0	3604.5	2319.6	330.5

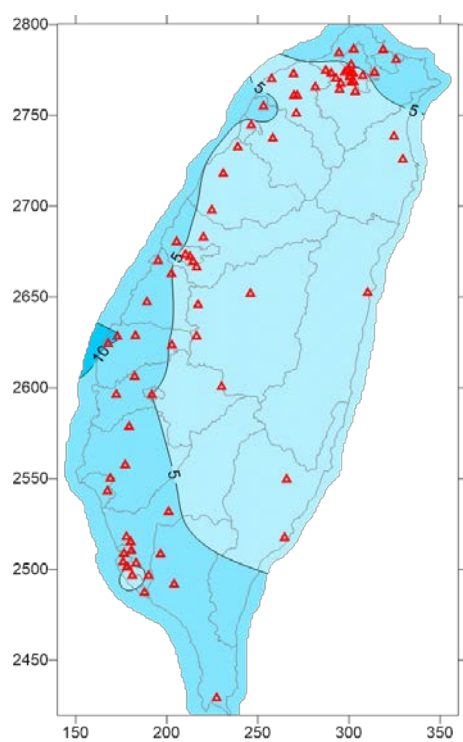
日期	總排放量(噸)			區域百分比反推(噸)		
(年/月/日)	NOx	SOx	PM	NOx	SOx	PM
2016/12/01	491.8	309.9	44.2	2824.3	1797.1	260.0
2016/12/02	466.4	286.9	41.2	2708.1	1694.2	244.3
2016/12/03	507.5	323.4	45.7	3697.0	2401.3	342.2
2016/12/04	727.7	469.8	65.9	4483.2	2909.4	410.5
2016/12/05	602.5	387.6	54.6	3530.9	2270.9	322.3
2016/12/06	459.0	280.1	40.2	2441.9	1503.2	216.6
2016/12/07	541.1	336.1	48.1	3978.0	2472.3	357.9
2016/12/08	501.6	322.5	45.2	3459.0	2233.4	317.1
2016/12/09	683.7	437.9	62.0	3530.0	2308.8	325.4
2016/12/10	465.0	291.5	41.6	2550.1	1597.9	228.9
2016/12/11	410.5	263.3	36.2	2526.3	1615.9	224.7
2016/12/12	521.1	341.9	47.1	3570.2	2382.2	326.8
2016/12/13	796.6	518.1	72.7	3730.8	2399.2	341.3
2016/12/14	444.1	278.3	39.3	2357.8	1489.1	211.1
2016/12/15	415.6	248.2	36.2	2535.2	1509.7	222.8
2016/12/16	345.4	213.8	30.1	1851.9	1122.5	160.6
2016/12/17	416.1	264.9	37.3	3086.3	1937.1	278.4
2016/12/18	537.8	349.2	49.1	2944.8	1900.0	268.1
2016/12/19	680.0	441.5	62.3	3868.2	2481.8	349.8
2016/12/20	695.2	448.3	63.6	3862.6	2445.9	351.7
2016/12/21	615.5	391.8	55.4	4134.6	2560.1	373.9
2016/12/22	542.5	360.9	49.3	3093.3	2031.5	281.9
2016/12/23	391.9	238.5	34.0	1865.3	1146.0	163.6
2016/12/24	371.5	229.7	32.5	2150.9	1341.4	191.6
2016/12/25	452.9	292.9	40.8	2751.2	1768.4	248.8
2016/12/26	552.8	357.6	50.3	3669.2	2375.6	335.3
2016/12/27	412.5	247.9	36.1	1956.2	1130.4	168.0
2016/12/28	342.8	205.1	29.9	1555.5	940.5	136.3
2016/12/29	340.8	204.5	29.5	2081.5	1235.9	181.2
2016/12/30	409.0	254.3	35.8	2329.0	1457.5	204.3
2016/12/31	480.5	308.9	42.8	2719.3	1754.6	246.1



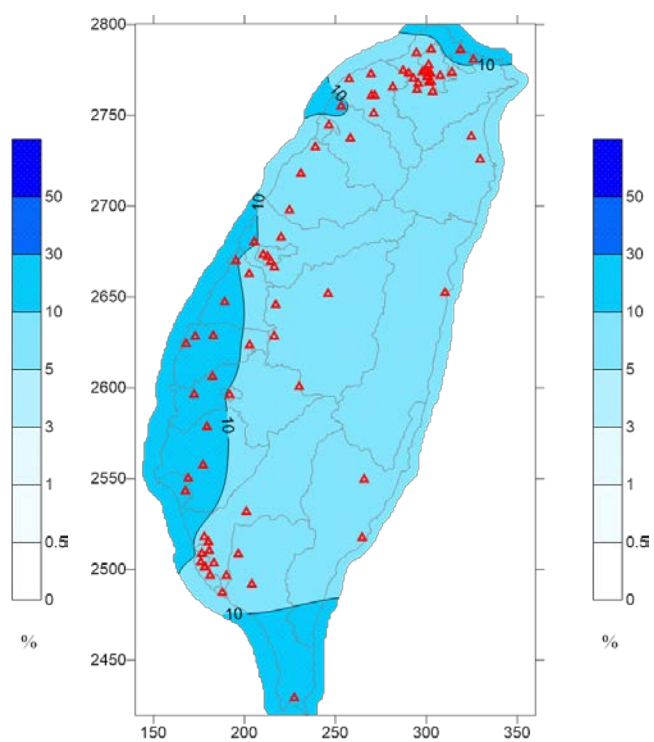




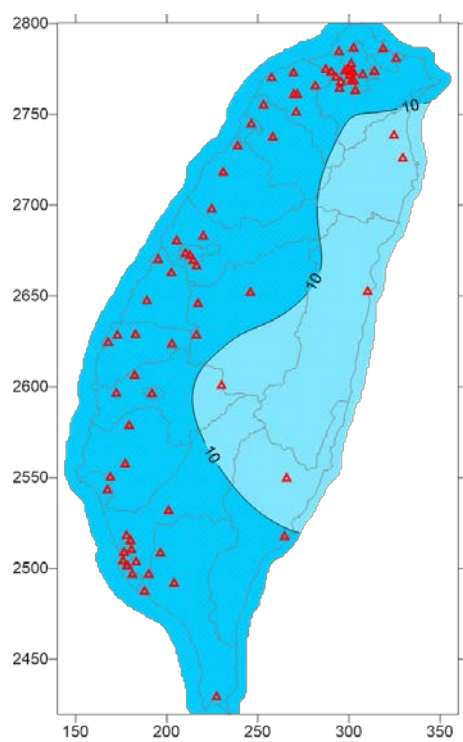
附錄八 臺灣海域船舶排放量影響



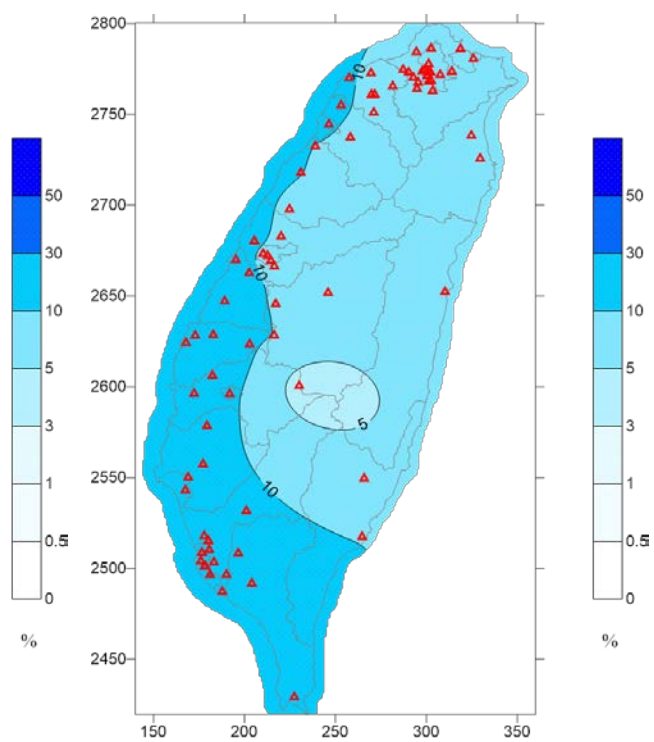
1 月 PM_{2.5} 影響



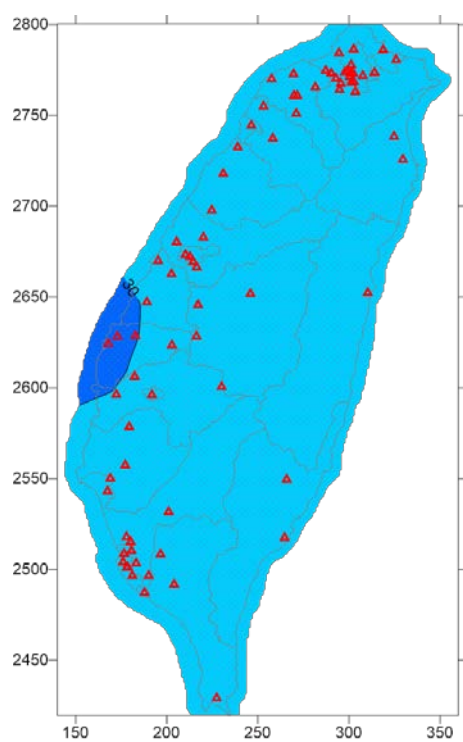
2 月 PM_{2.5} 影響



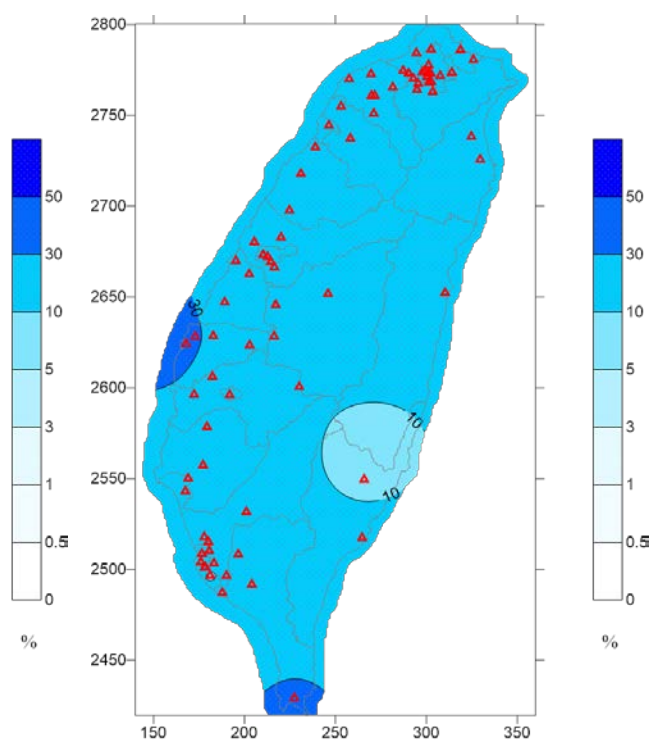
3 月 PM_{2.5} 影響



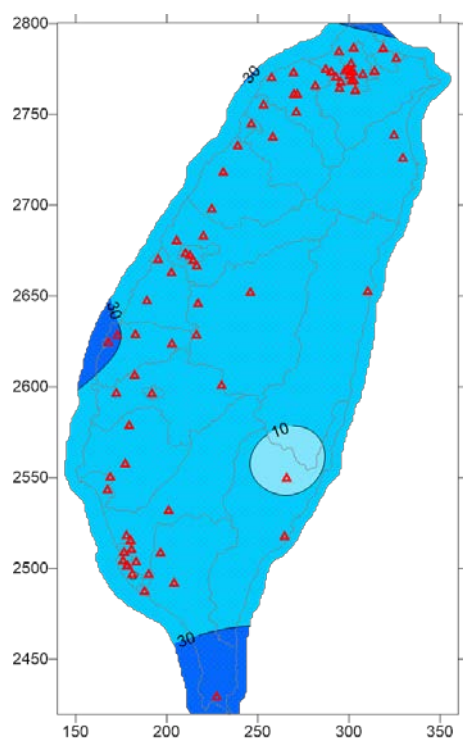
4 月 PM_{2.5} 影響



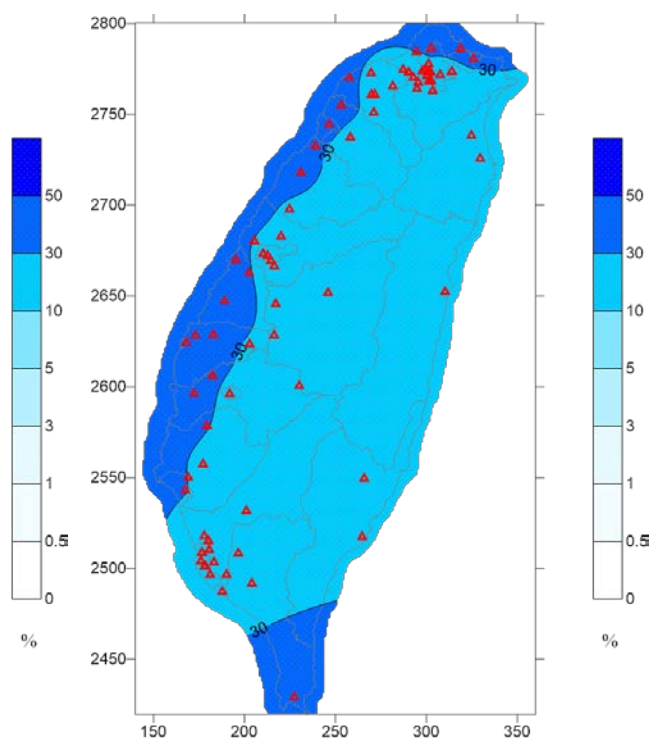
5 月 PM_{2.5} 影響



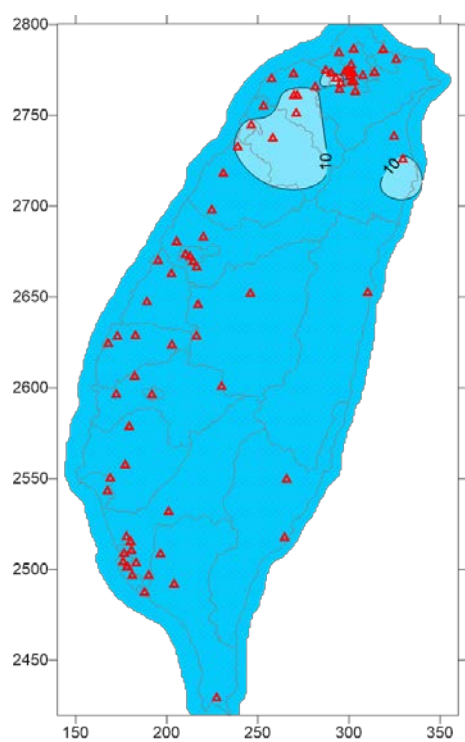
6 月 PM_{2.5} 影響



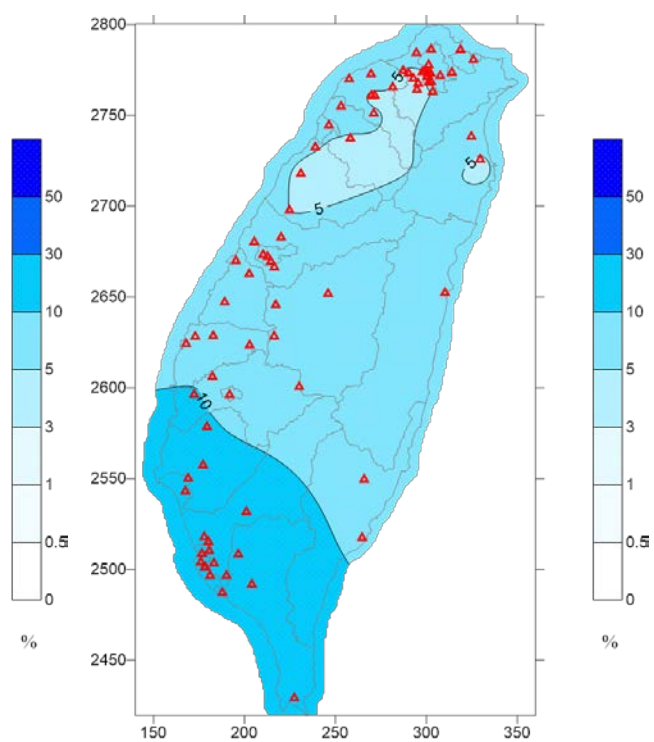
7 月 PM_{2.5} 影響



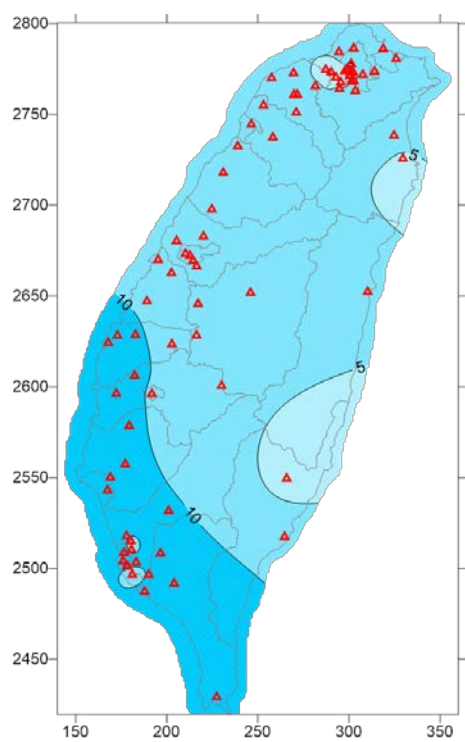
8 月 PM_{2.5} 影響



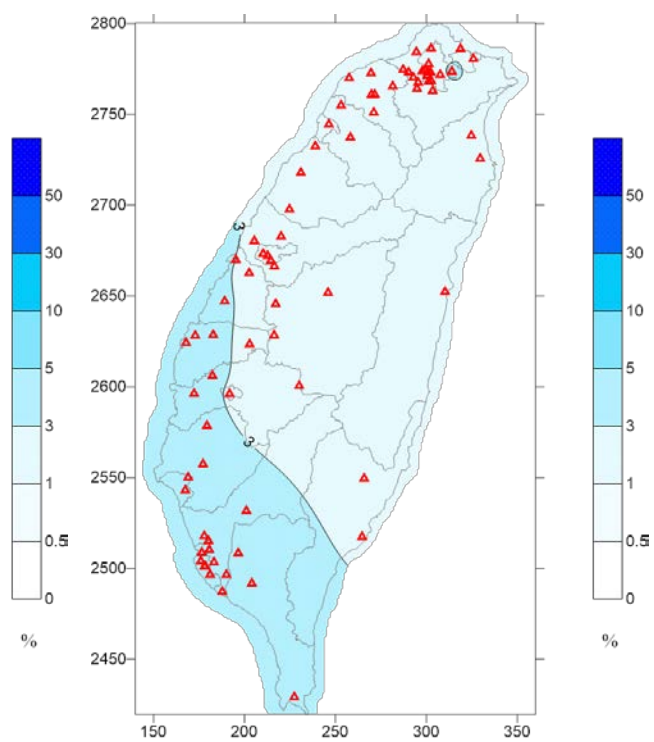
9 月 PM_{2.5} 影響



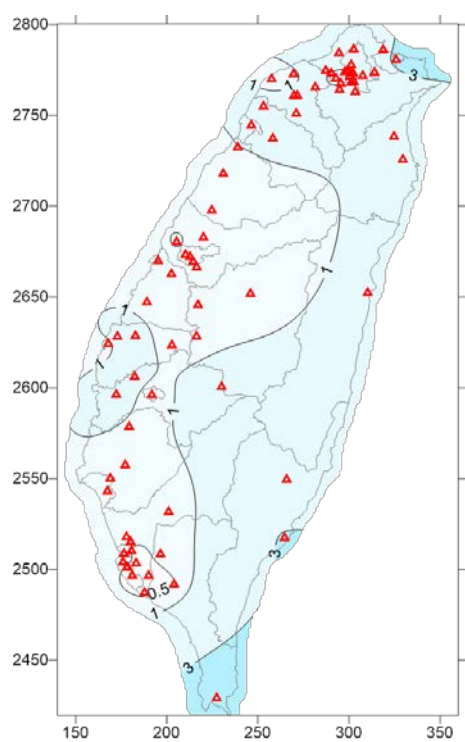
10 月 PM_{2.5} 影響



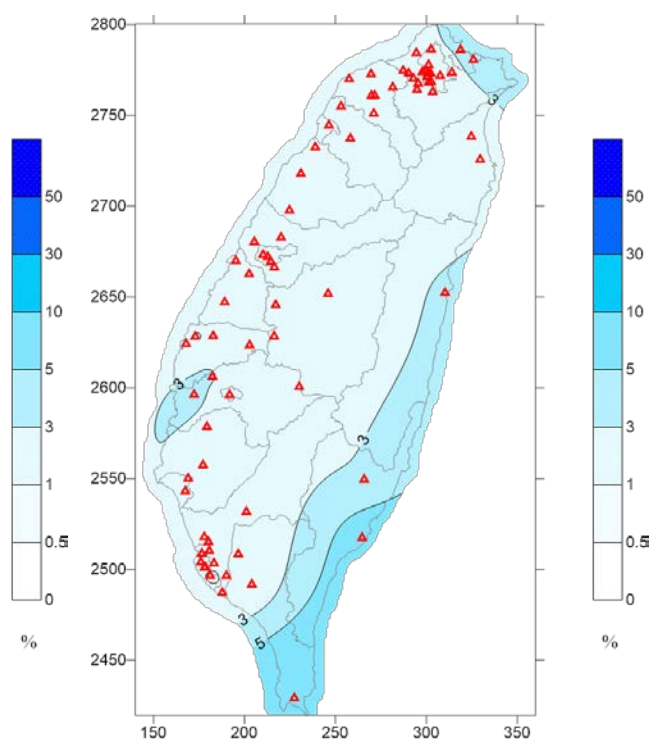
11 月 PM_{2.5} 影響



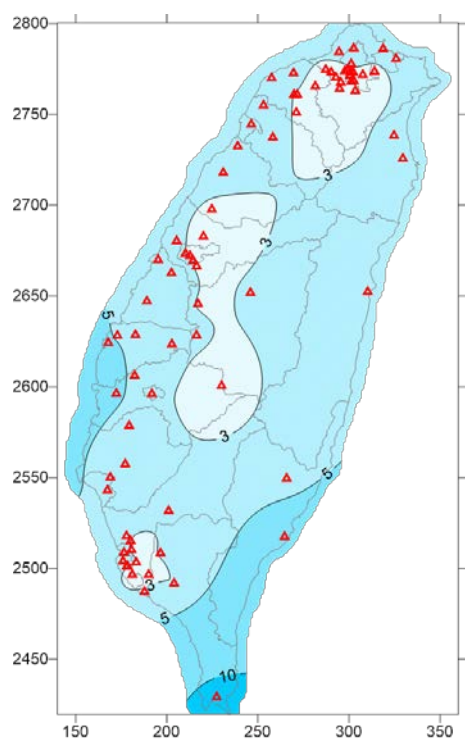
12 月 PM_{2.5} 影響



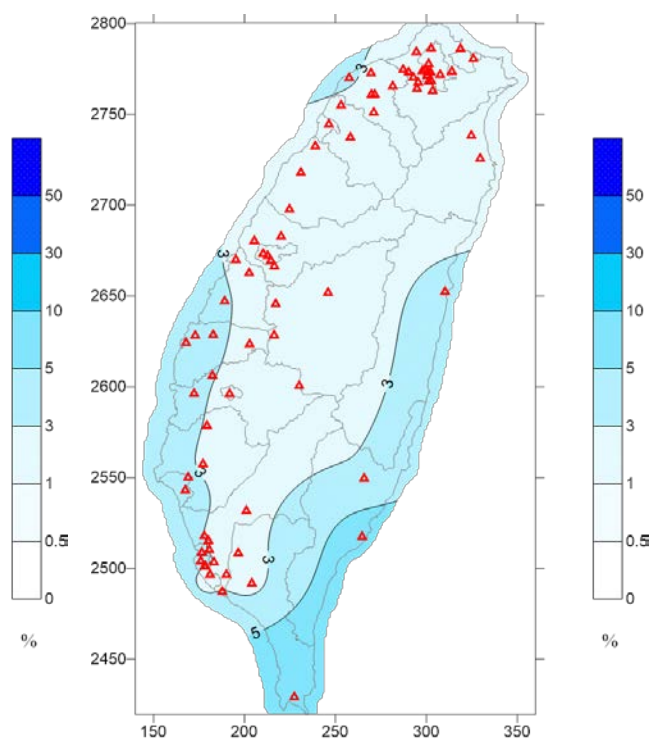
1 月 SO_4^{2-} 影響



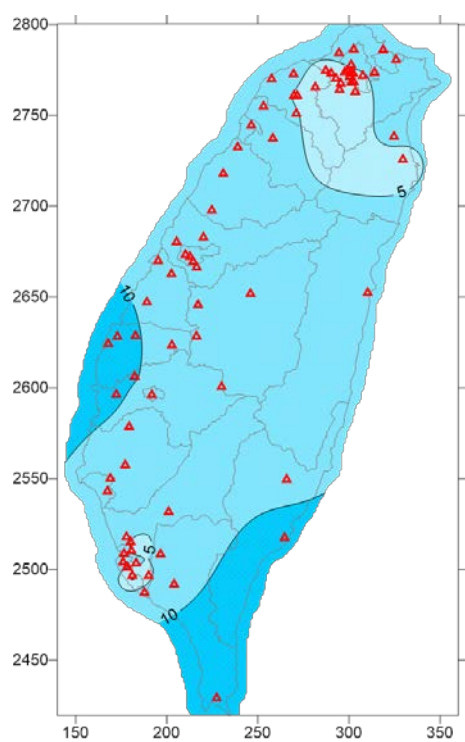
2 月 SO_4^{2-} 影響



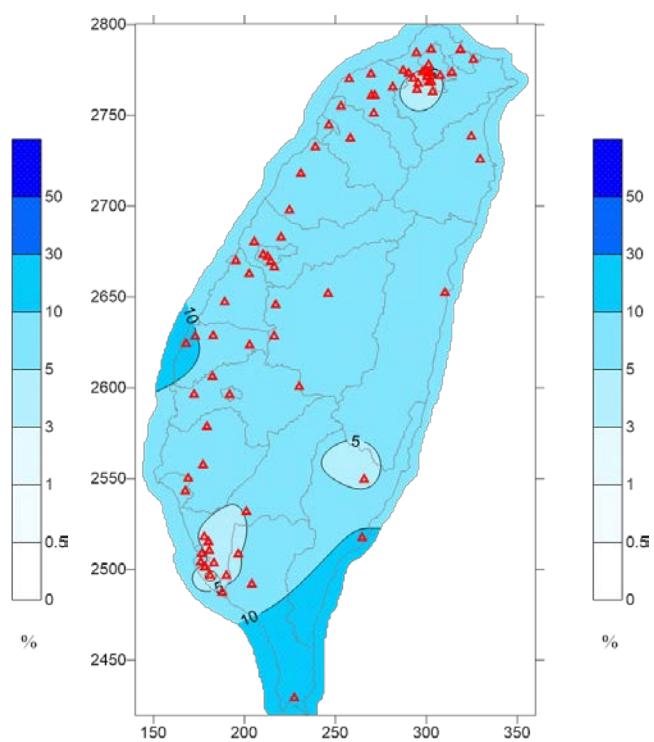
3 月 SO_4^{2-} 影響



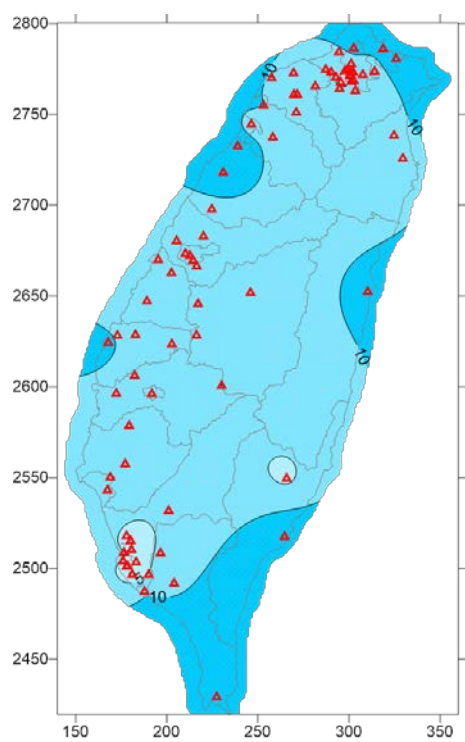
4 月 SO_4^{2-} 影響



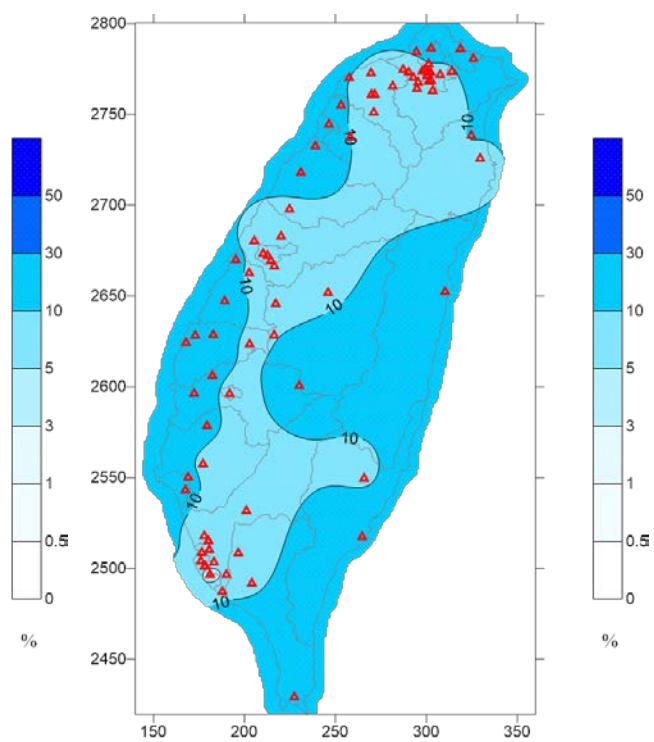
5 月 SO_4^{2-} 影響



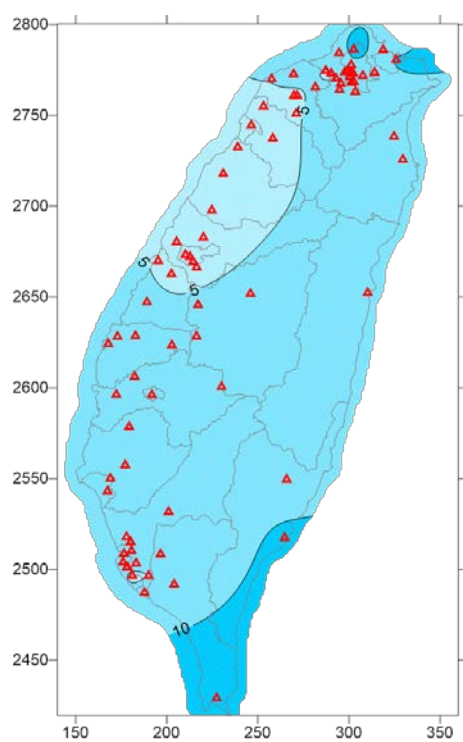
6 月 SO_4^{2-} 影響



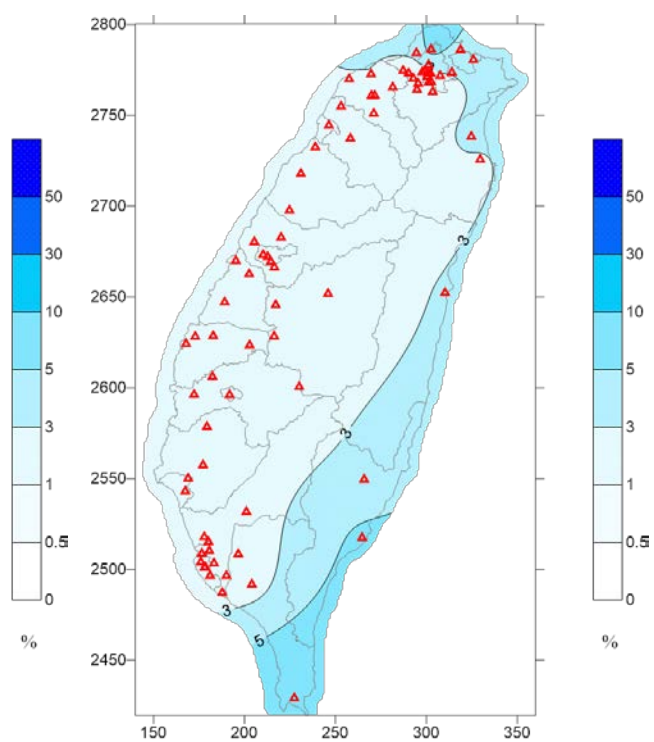
7 月 SO_4^{2-} 影響



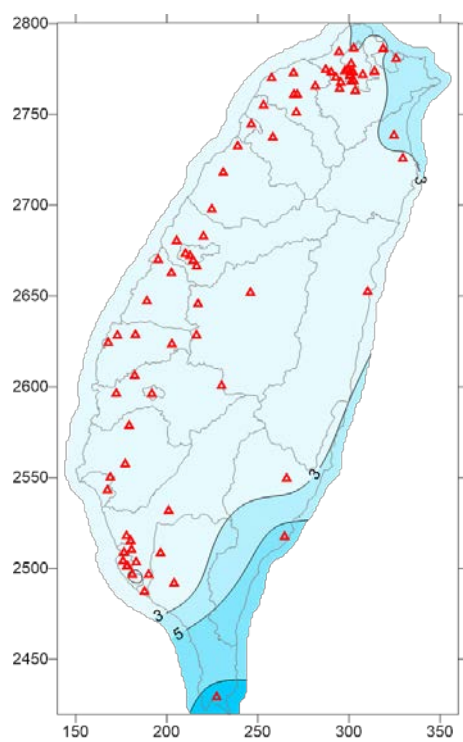
8 月 SO_4^{2-} 影響



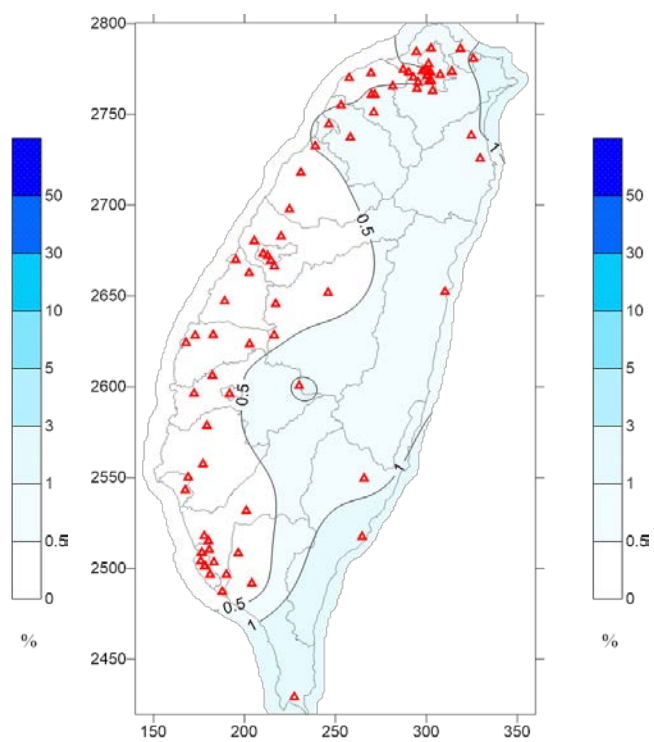
9 月 SO_4^{2-} 影響



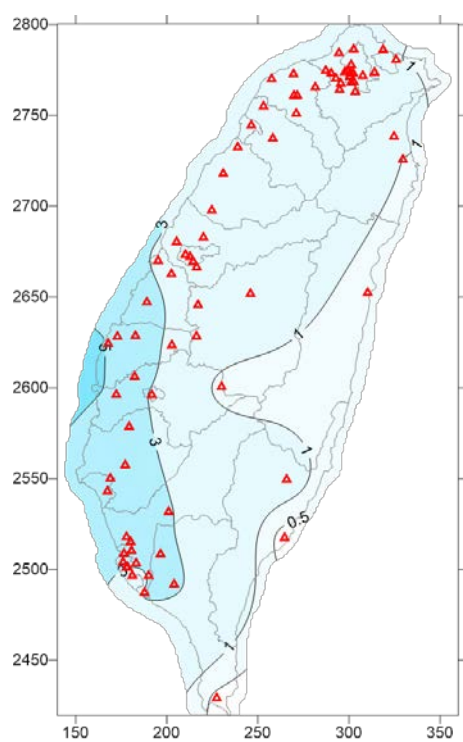
10 月 SO_4^{2-} 影響



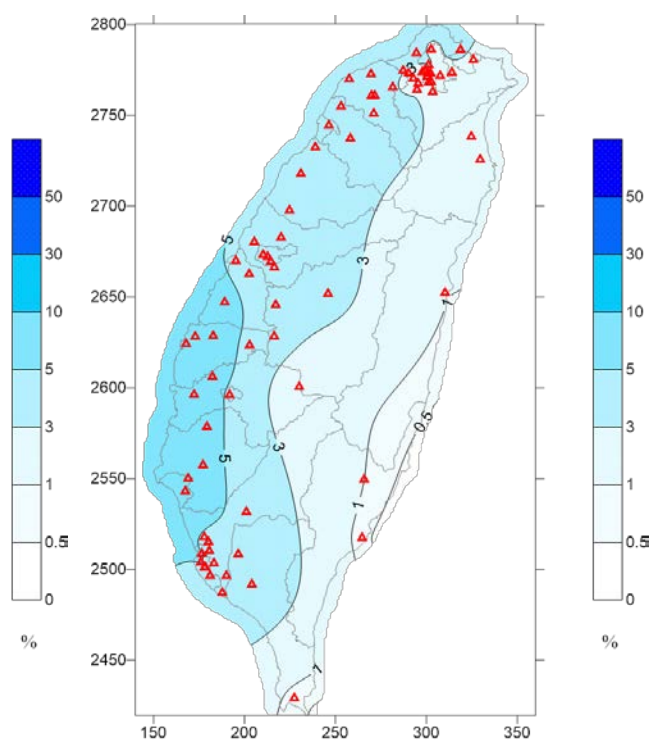
11 月 SO_4^{2-} 影響



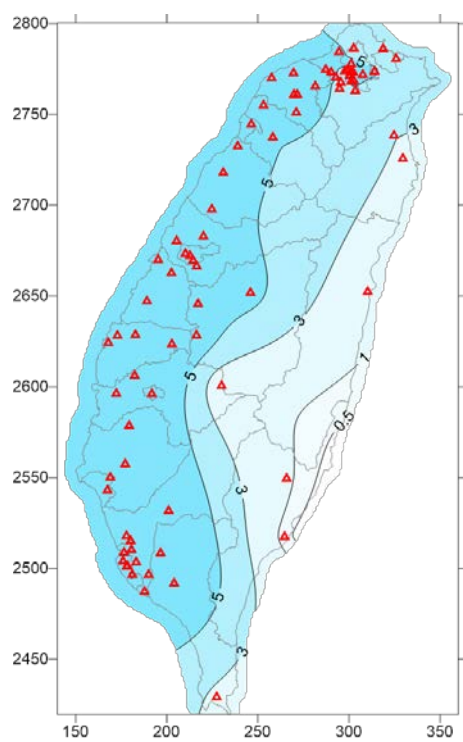
12 月 SO_4^{2-} 影響



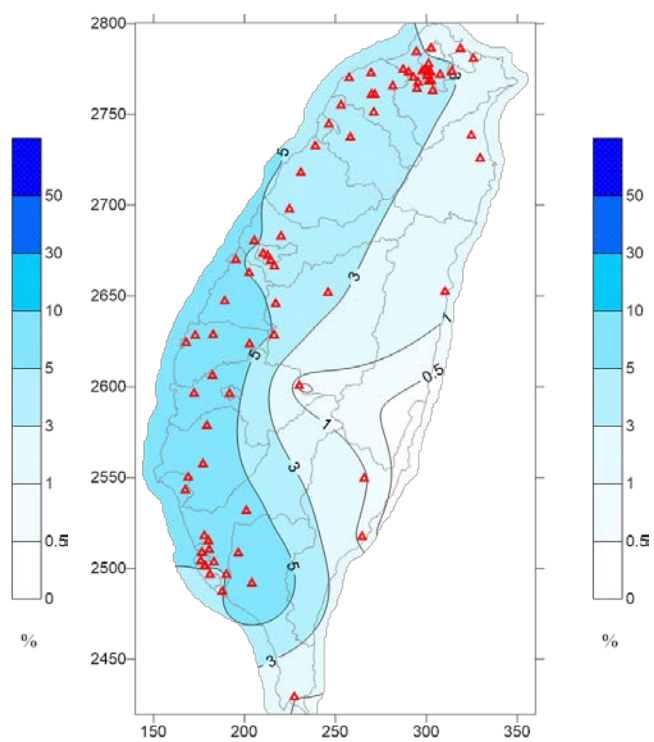
1 月 NO_3^- 影響



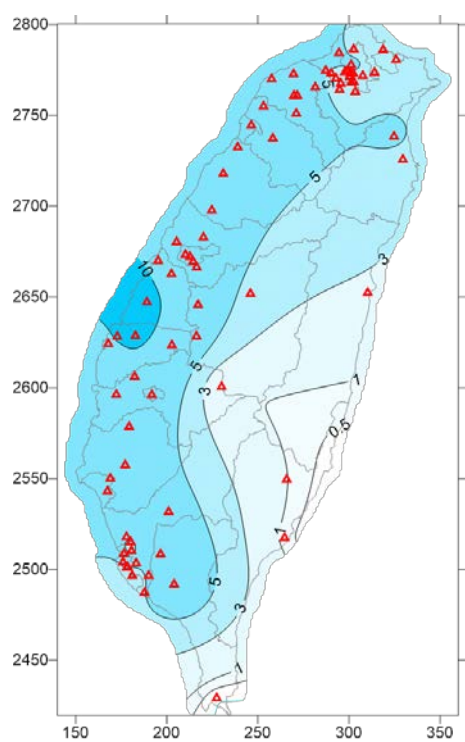
2 月 NO_3^- 影響



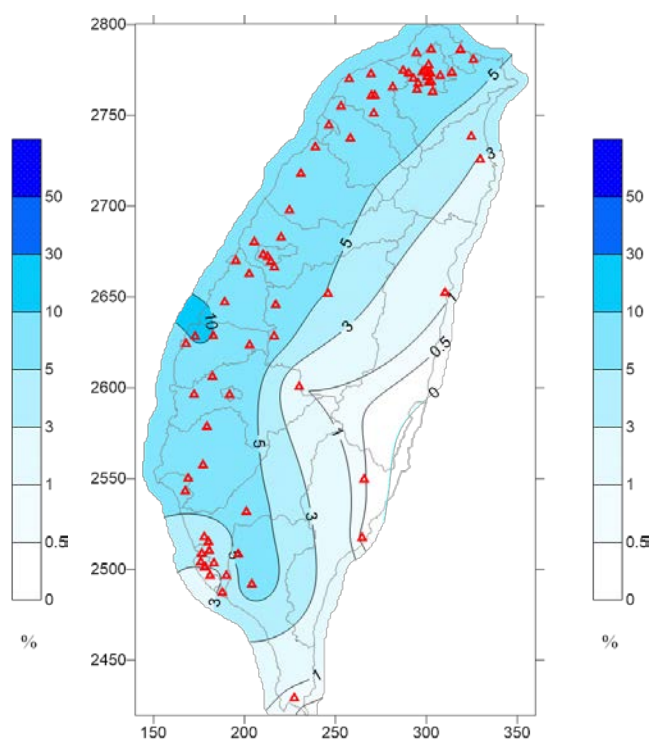
3 月 NO_3^- 影響



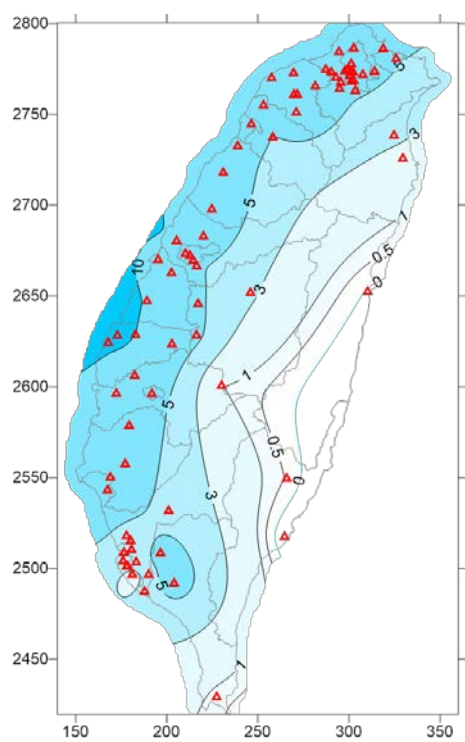
4 月 NO_3^- 影響



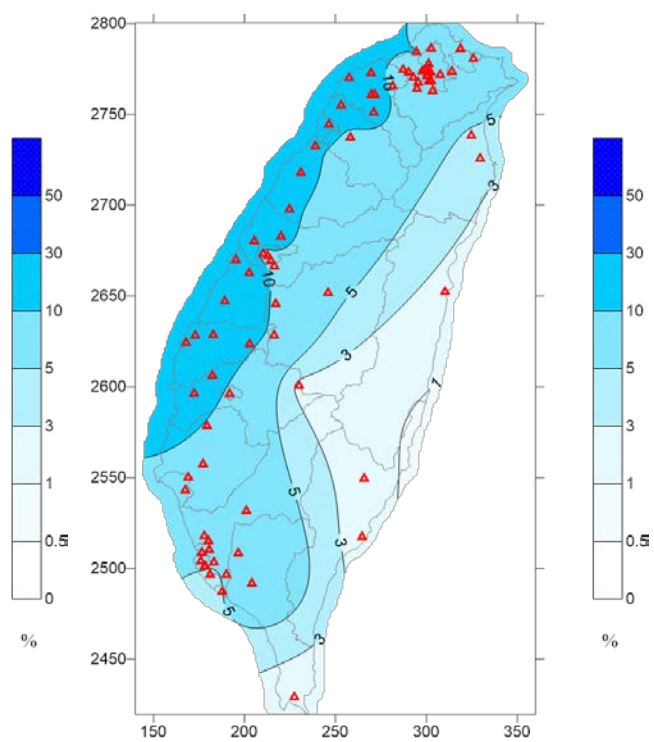
5 月 NO_3^- 影響



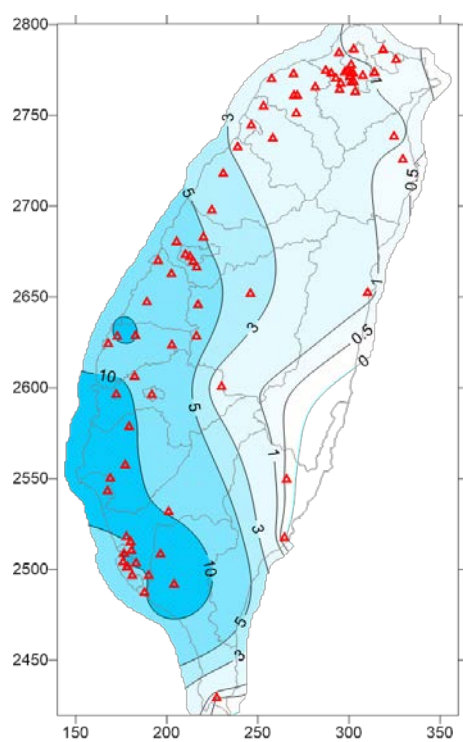
6 月 NO_3^- 影響



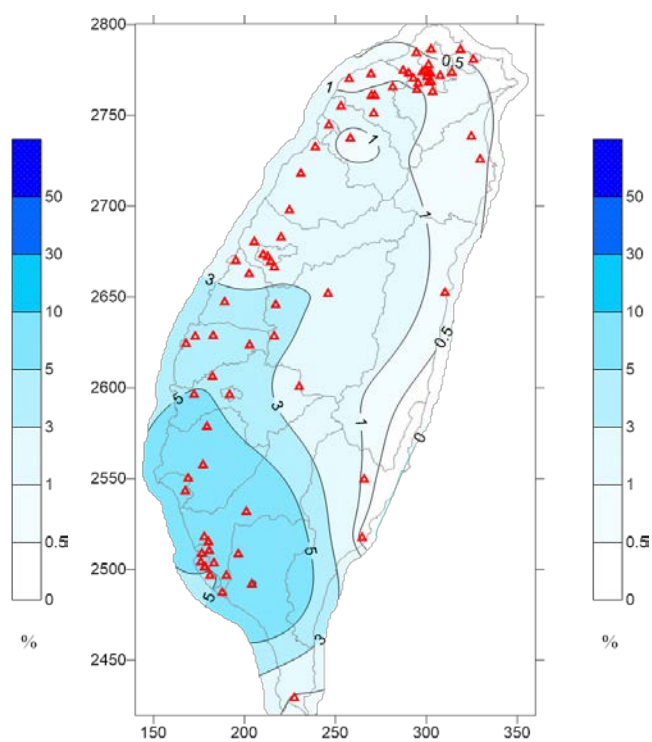
7 月 NO_3^- 影響



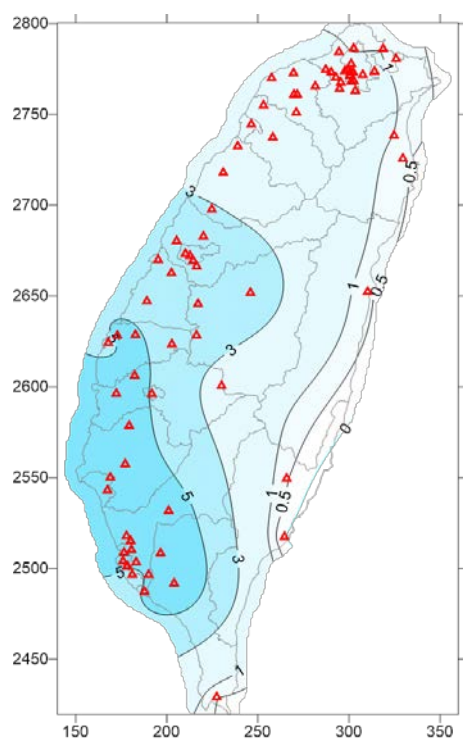
8 月 NO_3^- 影響



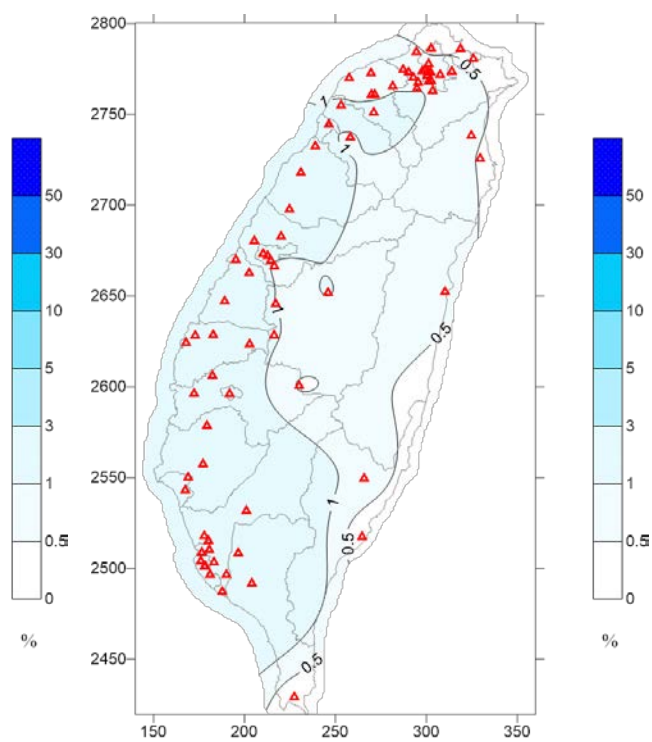
9 月 NO_3^- 影響



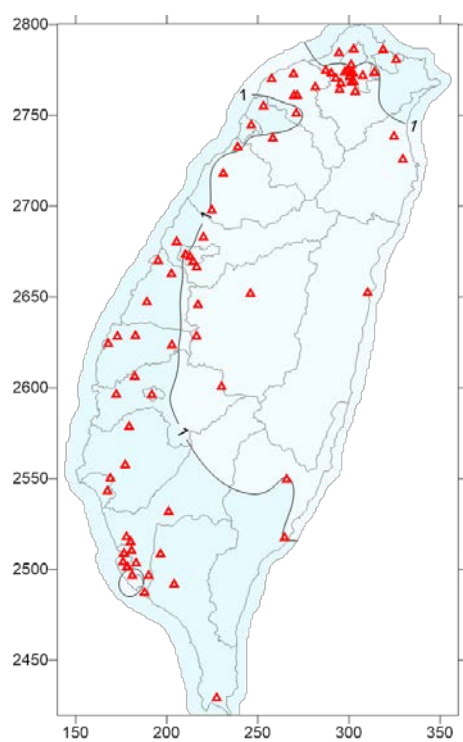
10 月 NO_3^- 影響



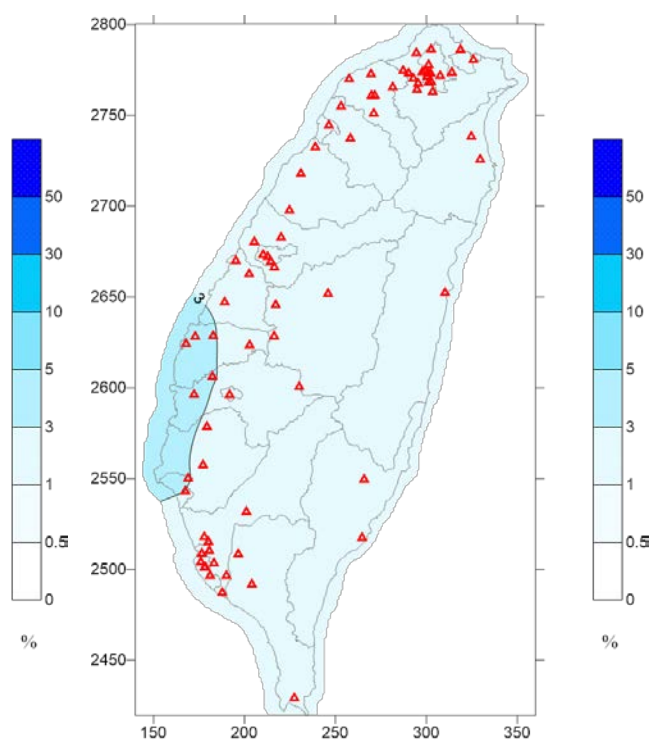
11 月 NO_3^- 影響



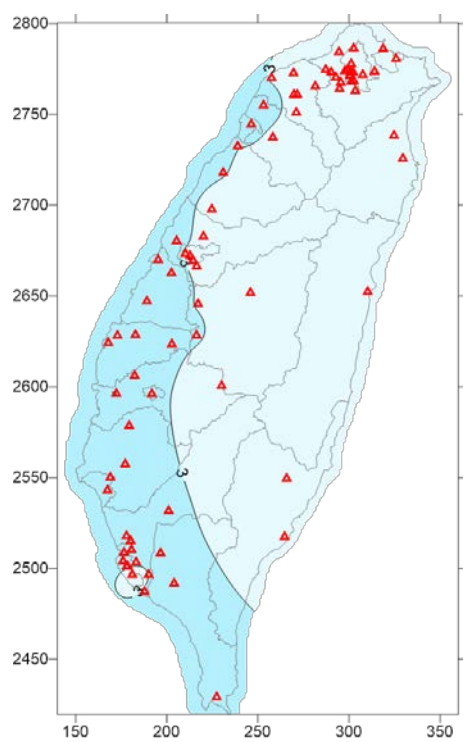
12 月 NO_3^- 影響



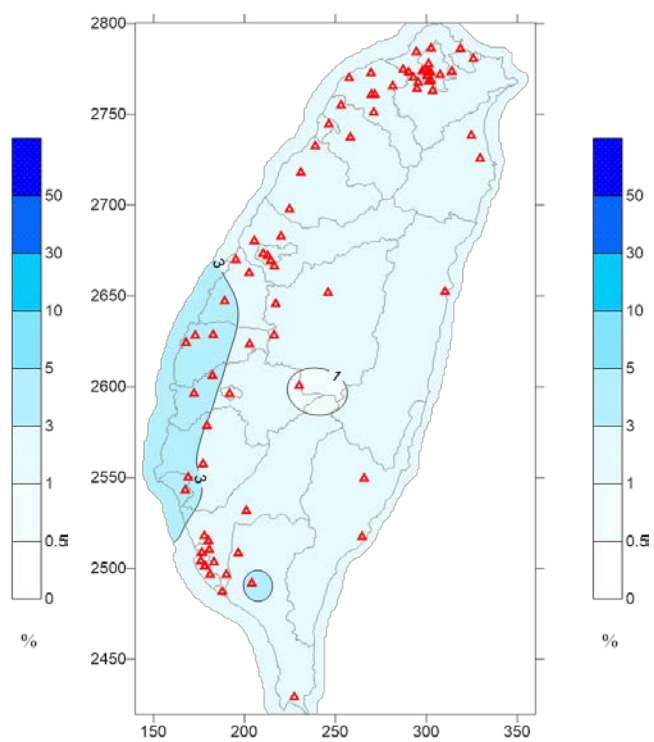
1 月 NH_4^+ 影響



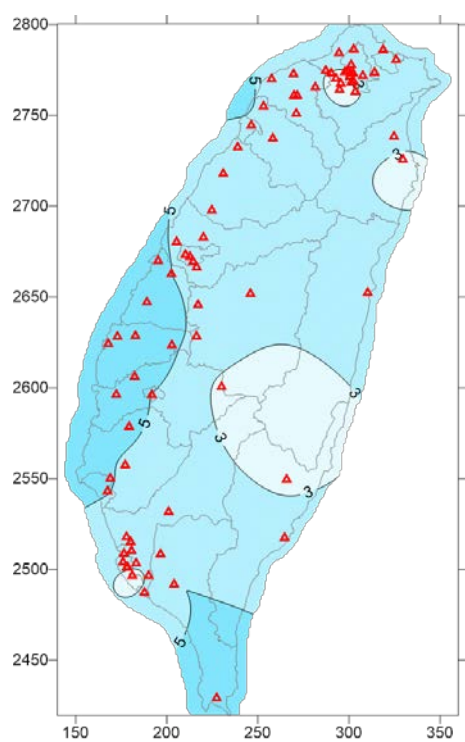
2 月 NH_4^+ 影響



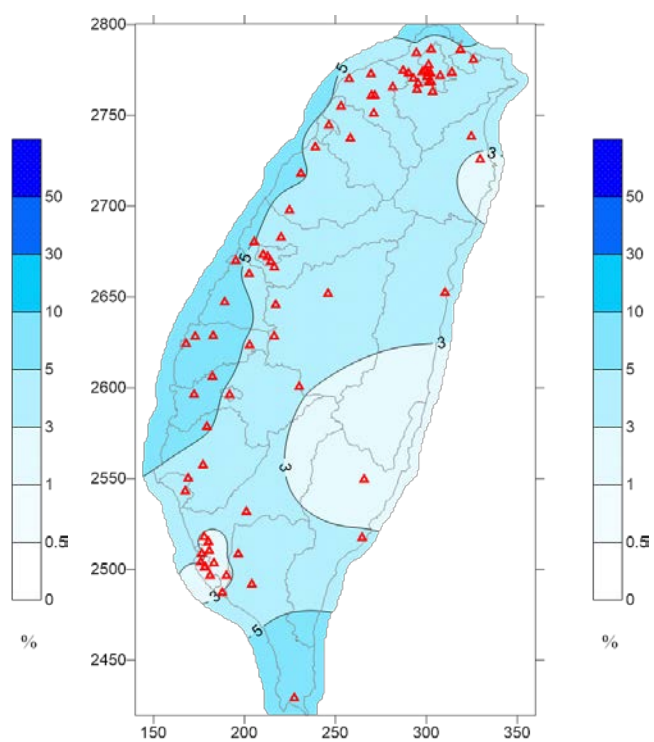
3 月 NH_4^+ 影響



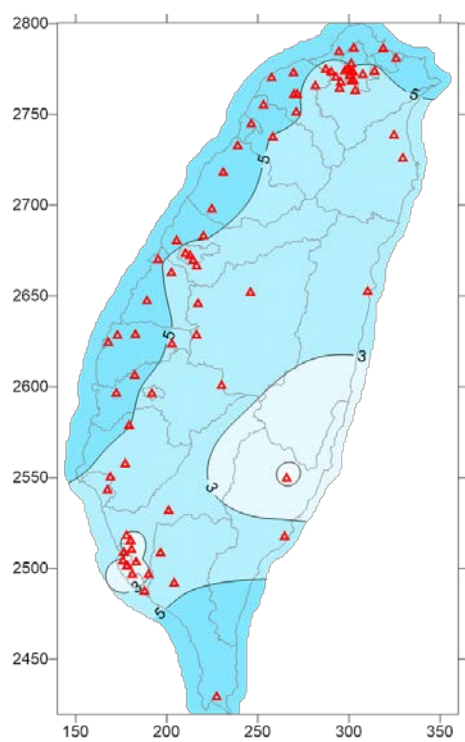
4 月 NH_4^+ 影響



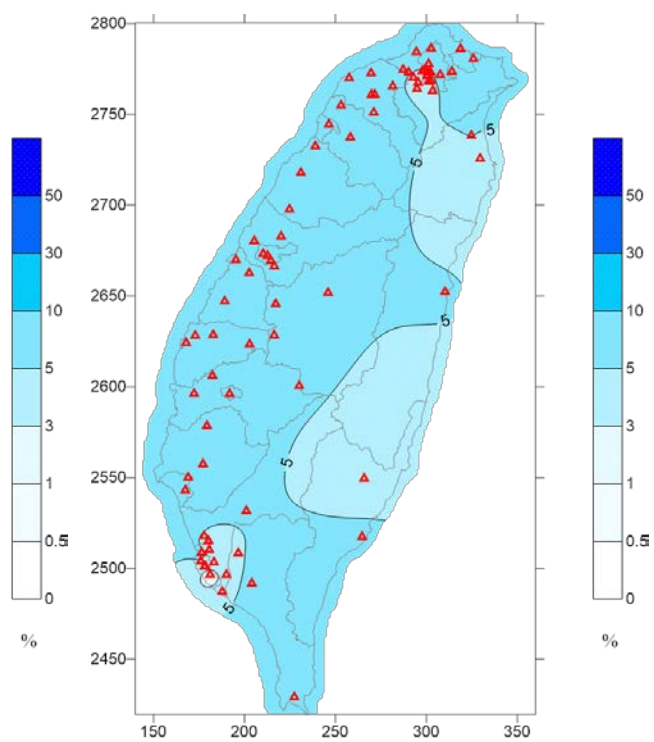
5 月 NH_4^+ 影響



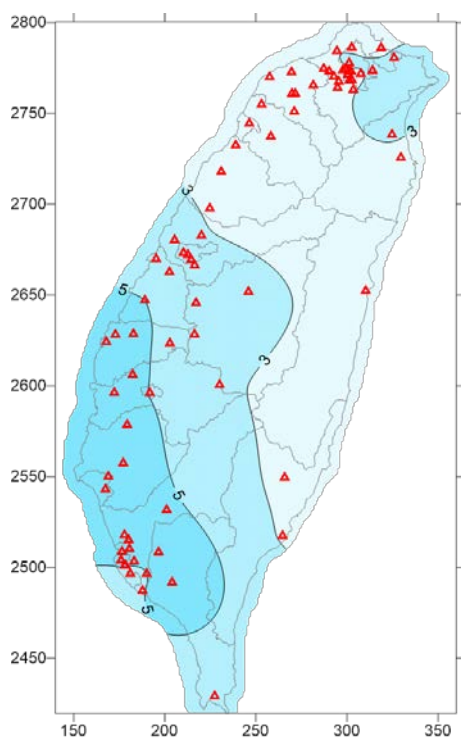
6 月 NH_4^+ 影響



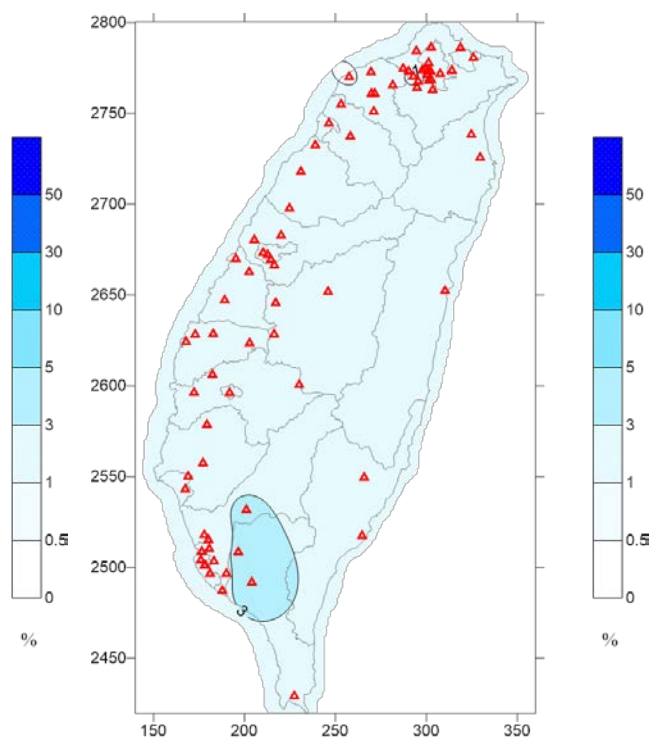
7 月 NH_4^+ 影響



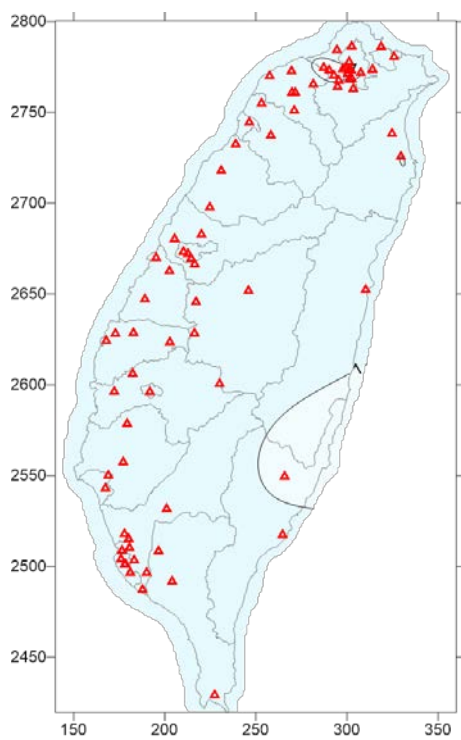
8 月 NH_4^+ 影響



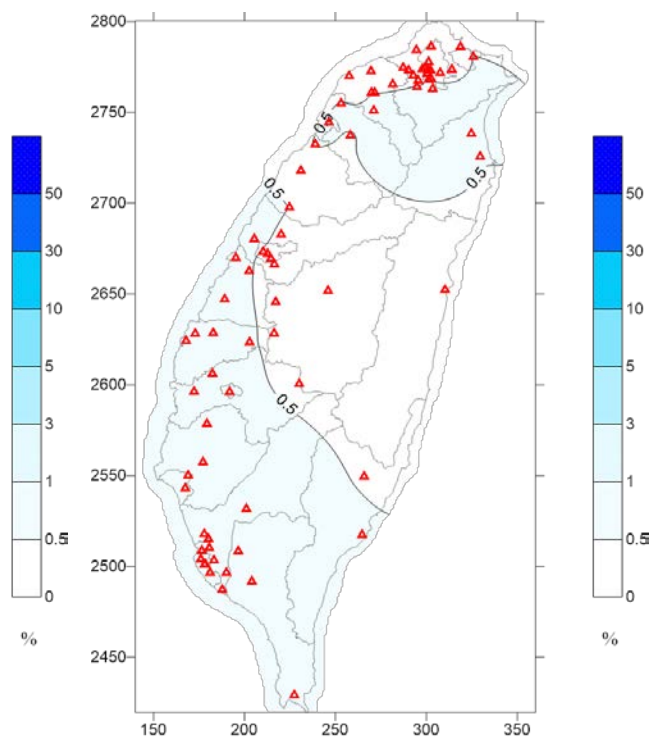
9 月 NH_4^+ 影響



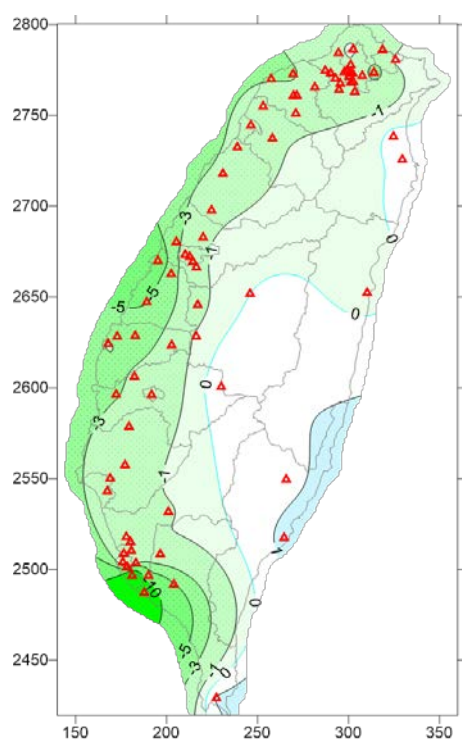
10 月 NH_4^+ 影響



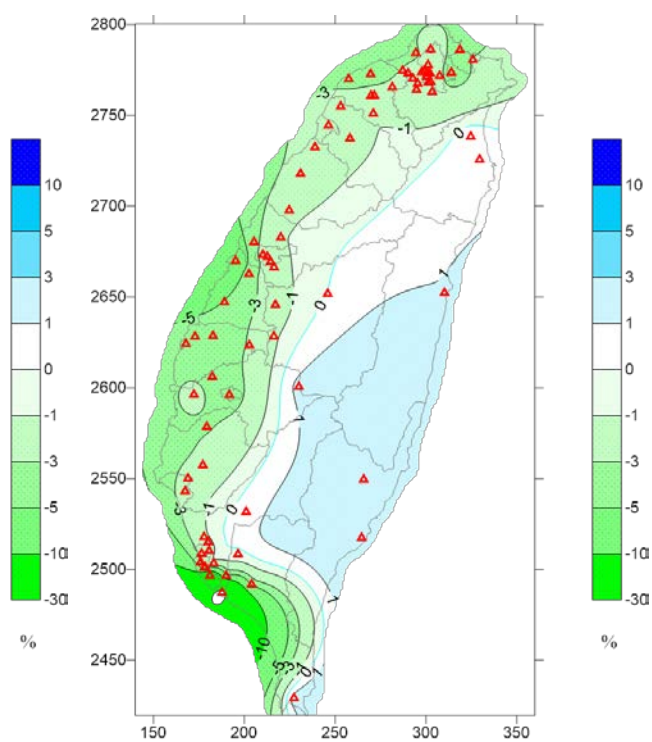
11 月 NH_4^+ 影響



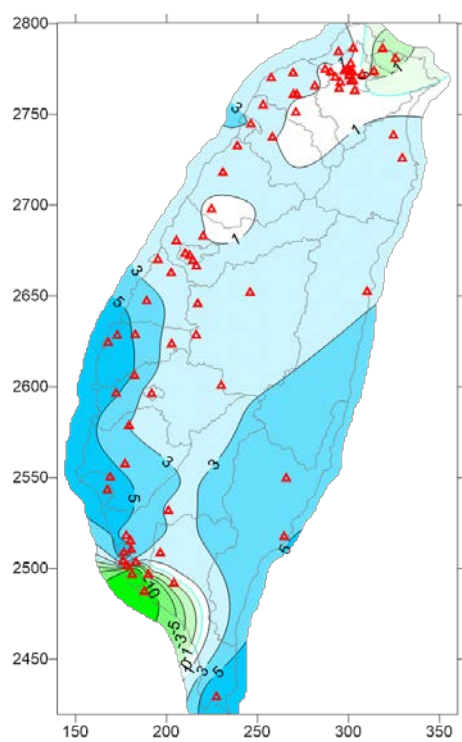
12 月 NH_4^+ 影響



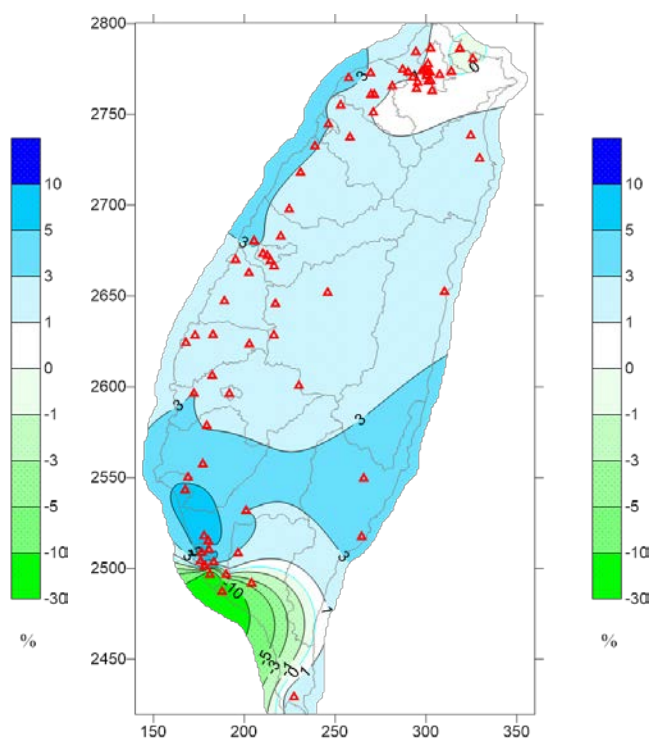
1 月 O_{3max} 影響



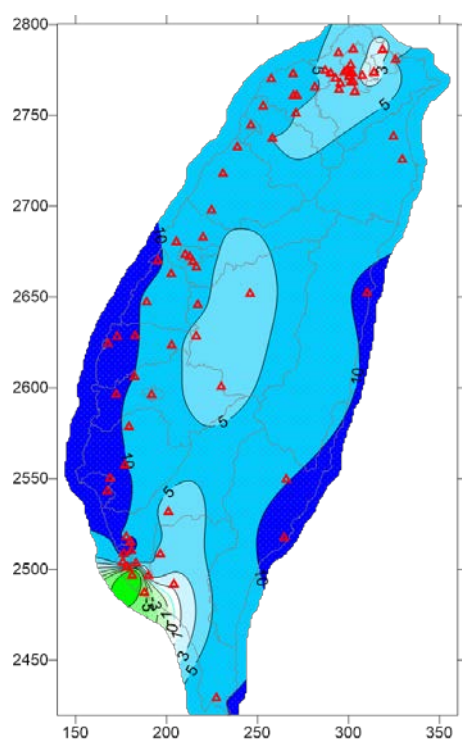
2 月 O_{3max} 影響



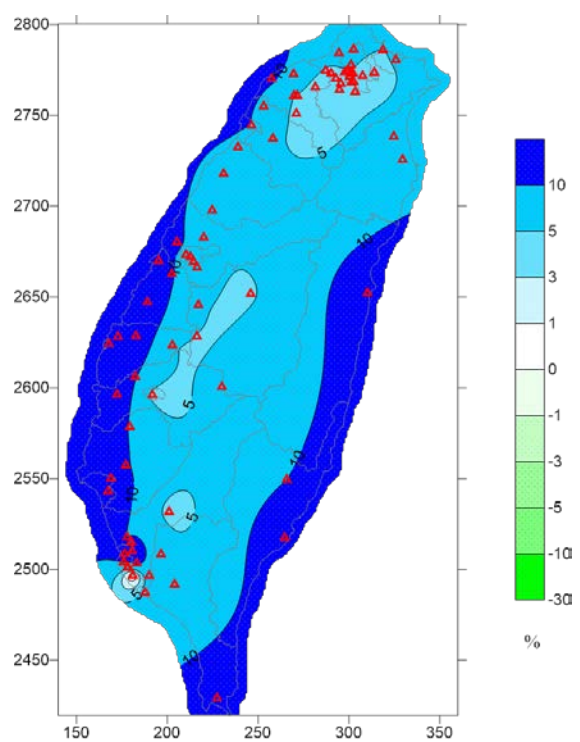
3 月 O_{3max} 影響



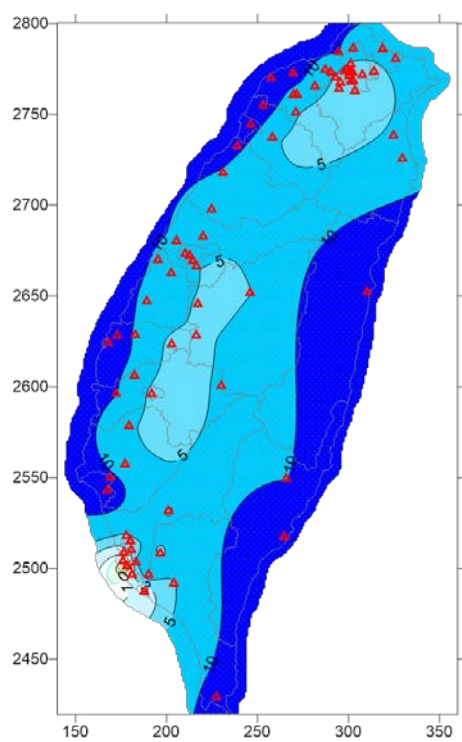
4 月 O_{3max} 影響



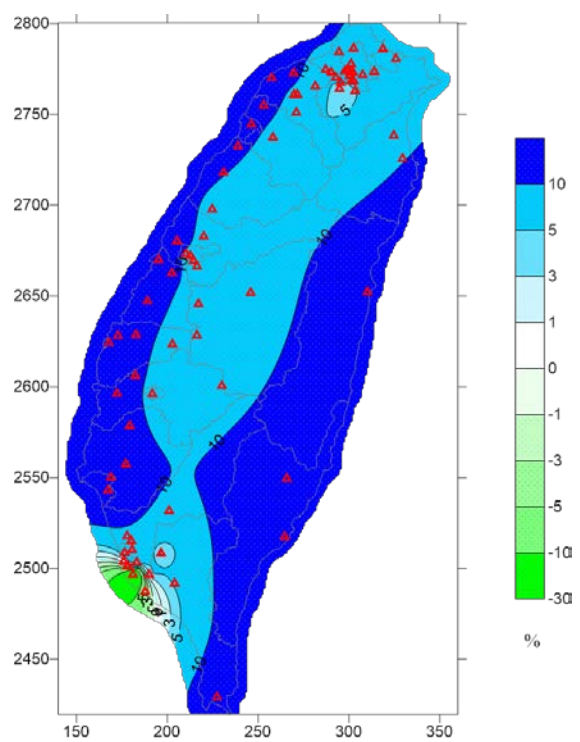
5 月 O_{3max} 影響



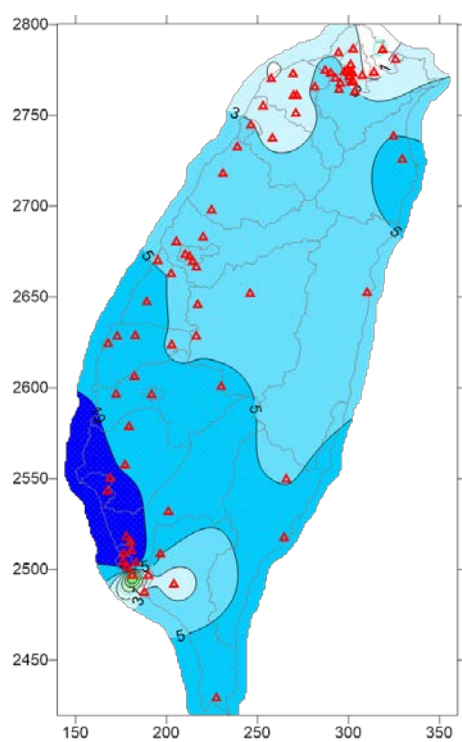
6 月 O_{3max} 影響



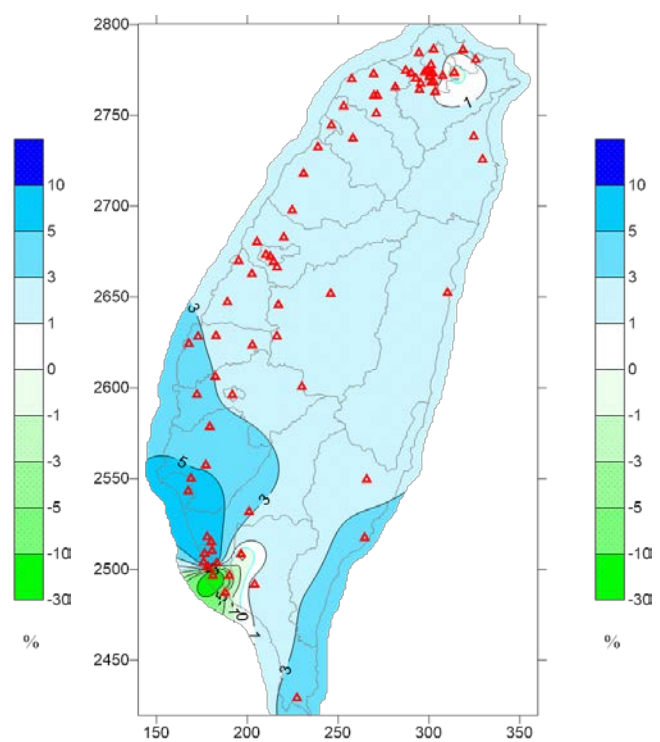
7 月 O_{3max} 影響



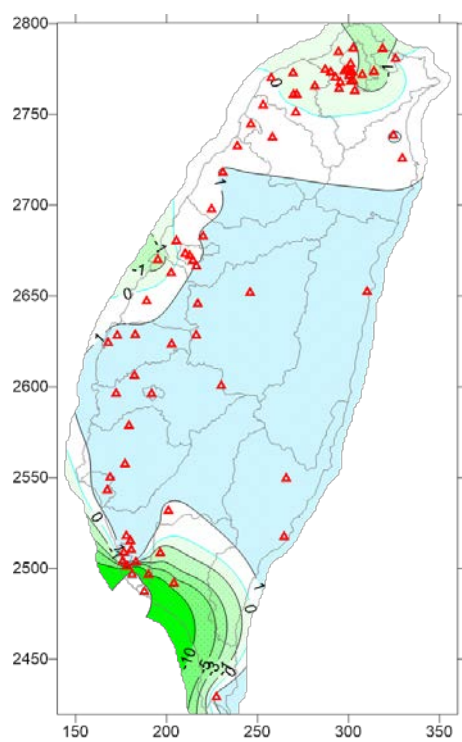
8 月 O_{3max} 影響



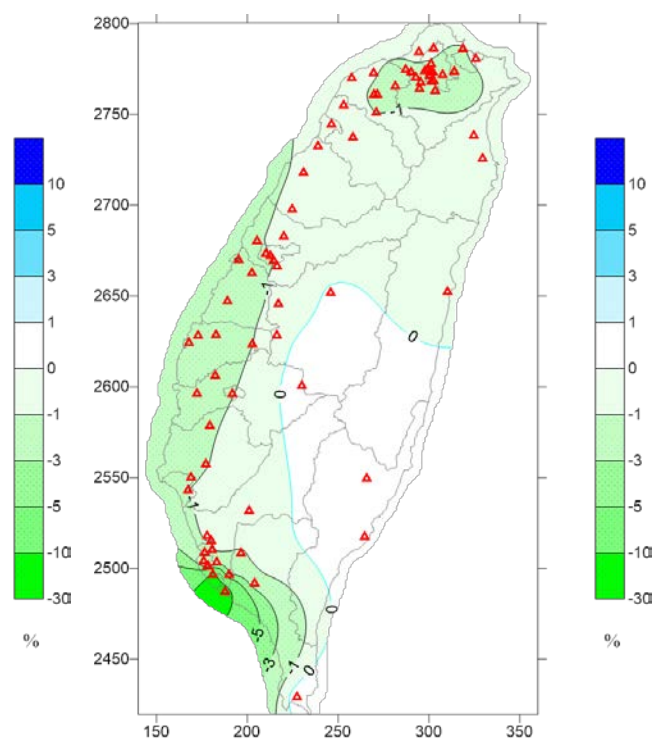
9 月 O_{3max} 影響



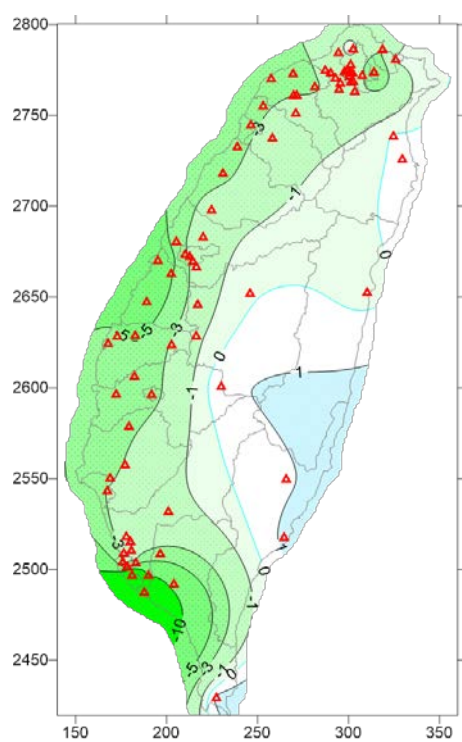
10 月 O_{3max} 影響



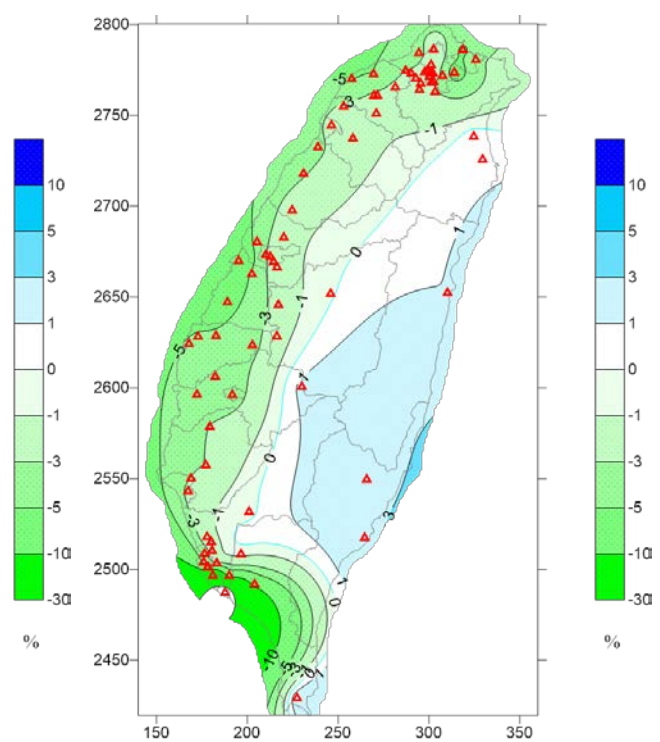
11 月 O_{3max} 影響



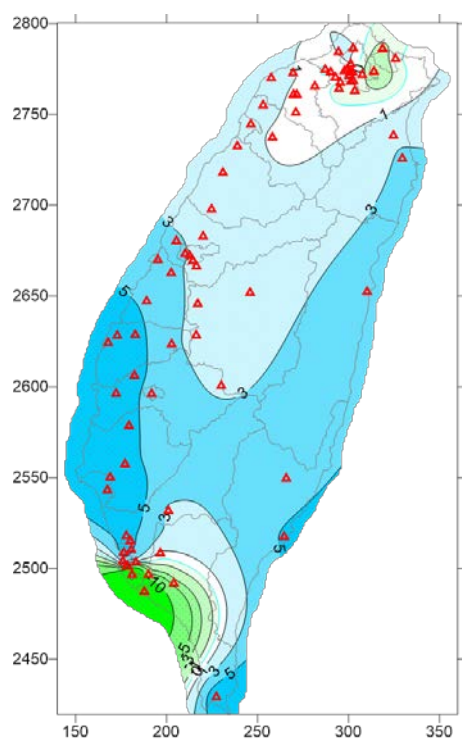
12 月 O_{3max} 影響



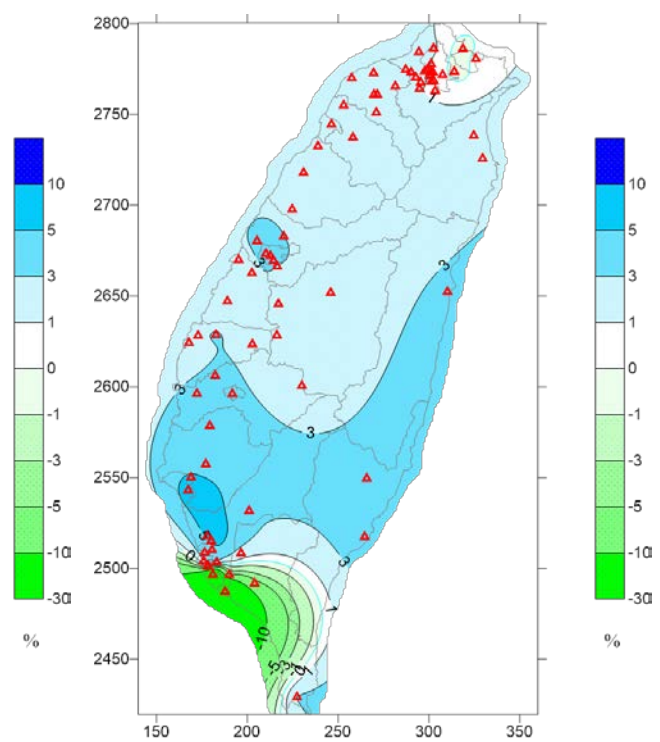
1 月 O_{3ave8} 影響



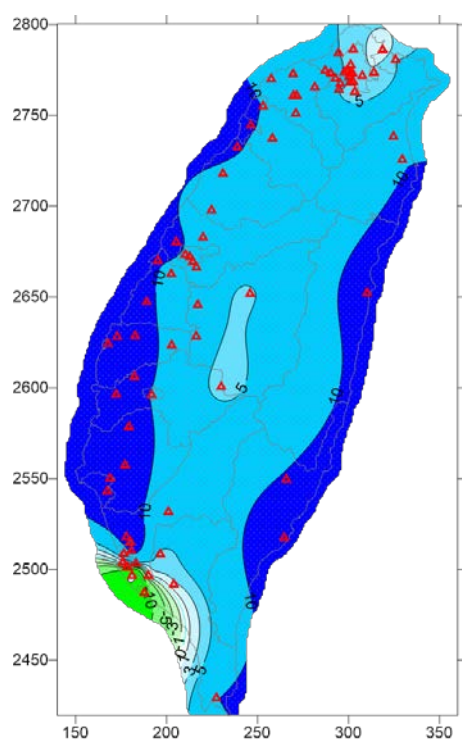
2 月 O_{3ave8} 影響



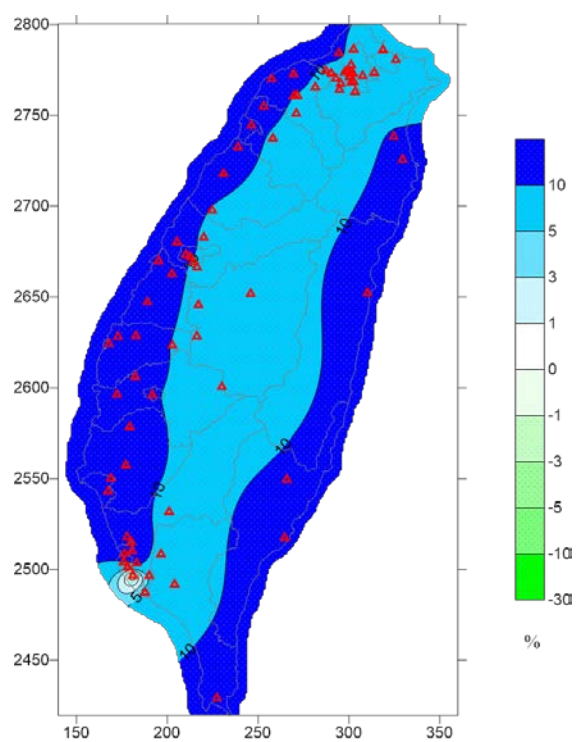
3 月 O_{3ave8} 影響



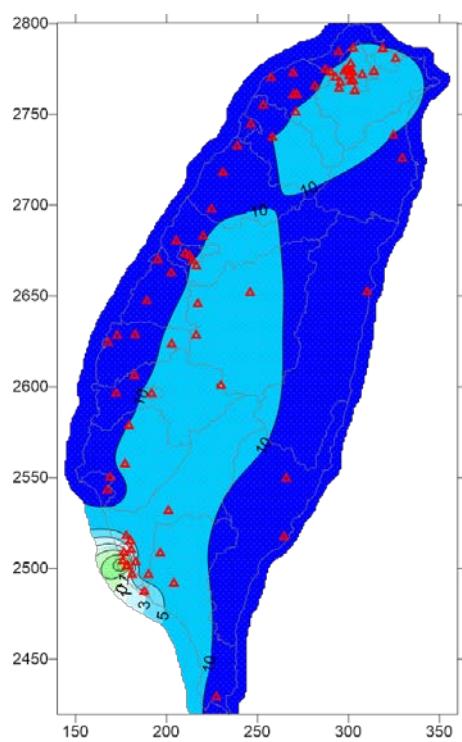
4 月 O_{3ave8} 影響



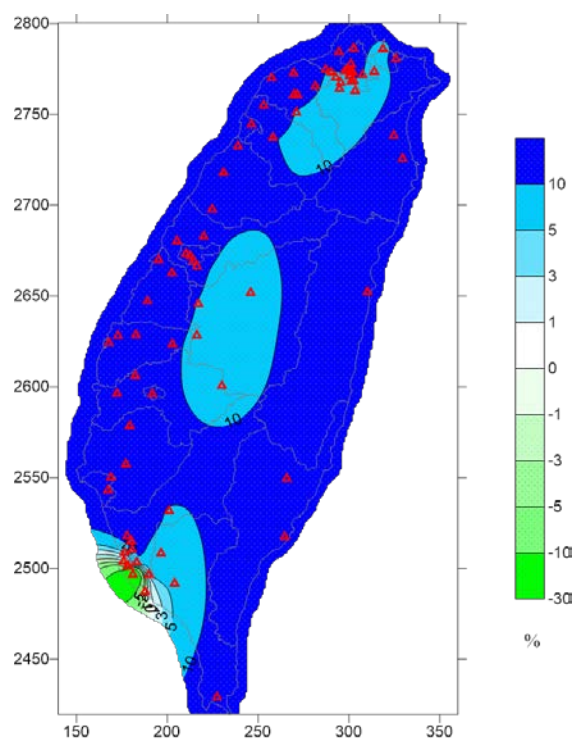
5 月 O_{3ave8} 影響



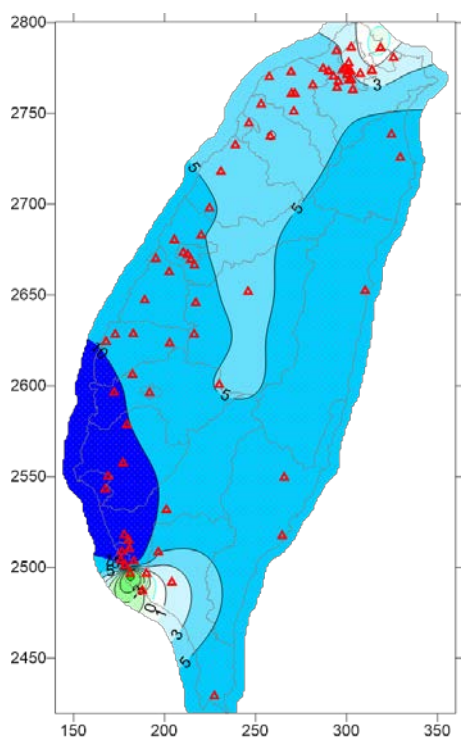
6 月 O_{3ave8} 影響



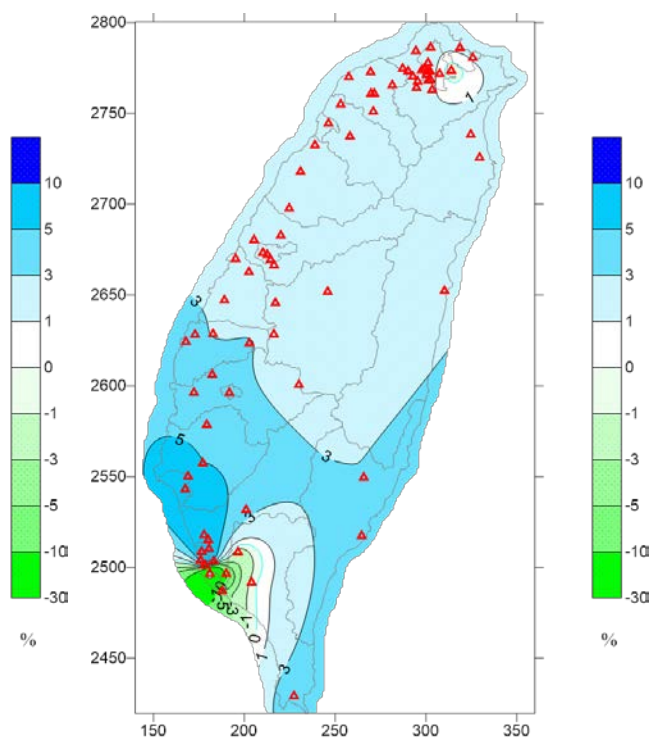
7 月 O_{3ave8} 影響



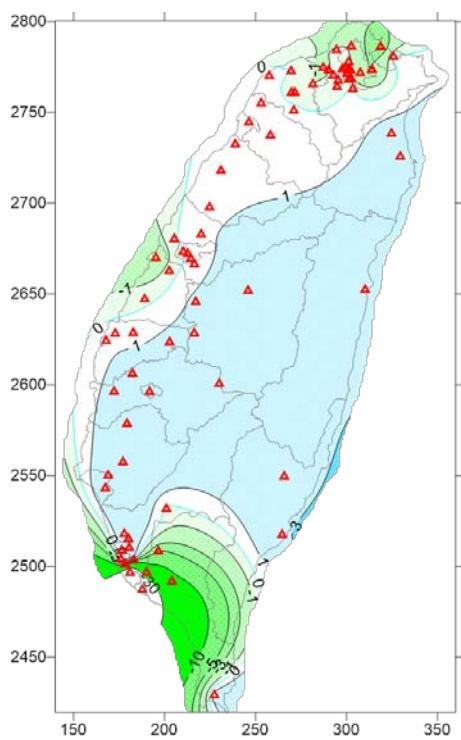
8 月 O_{3ave8} 影響



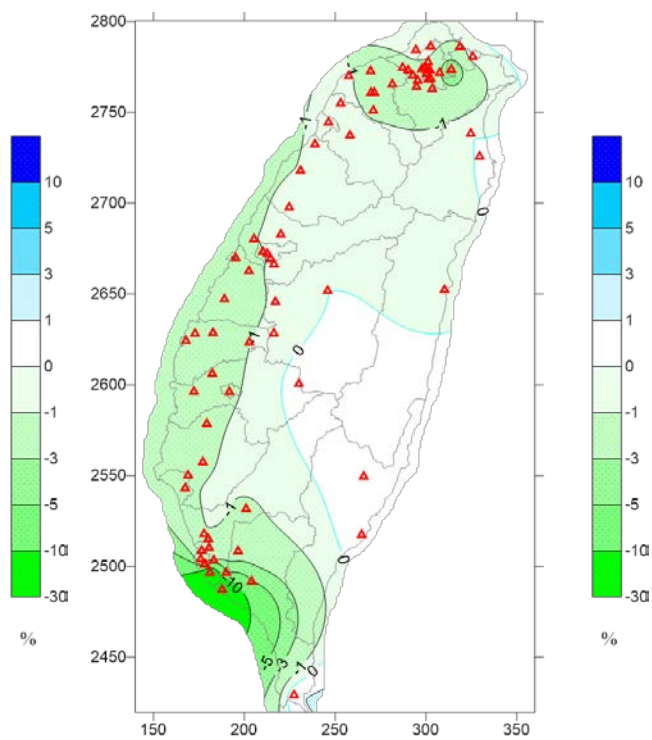
9 月 O_{3ave8} 影響



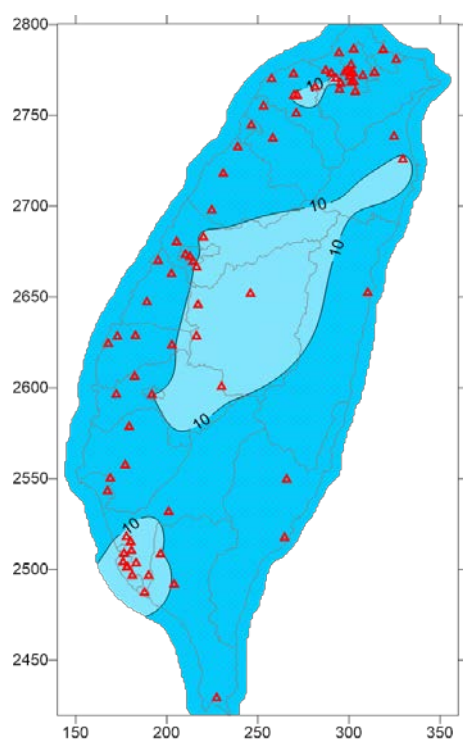
10 月 O_{3ave8} 影響



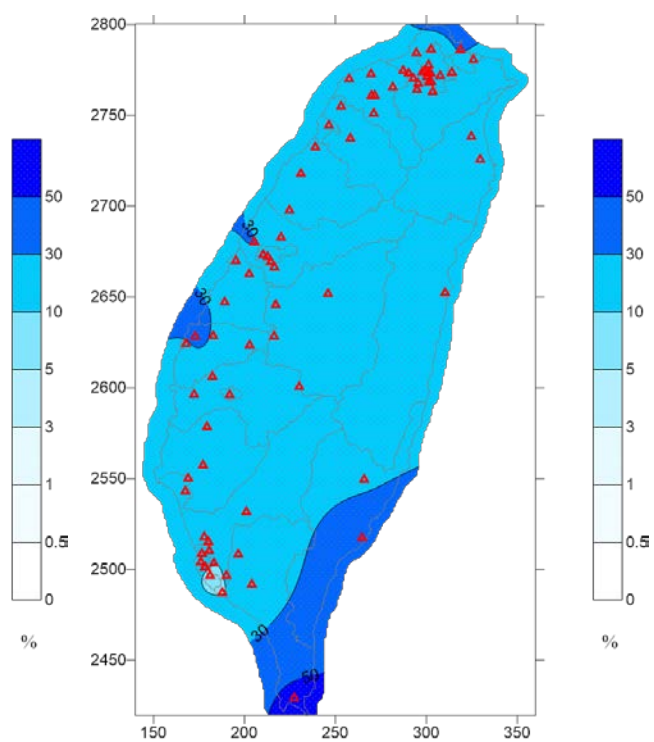
11 月 O_{3ave8} 影響



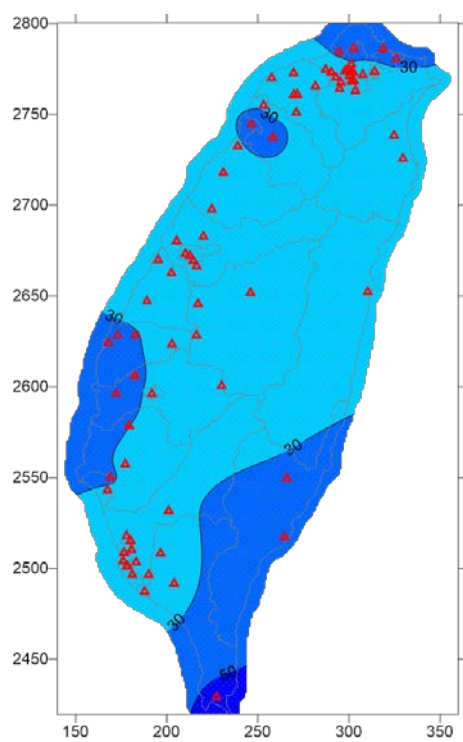
12 月 O_{3ave8} 影響



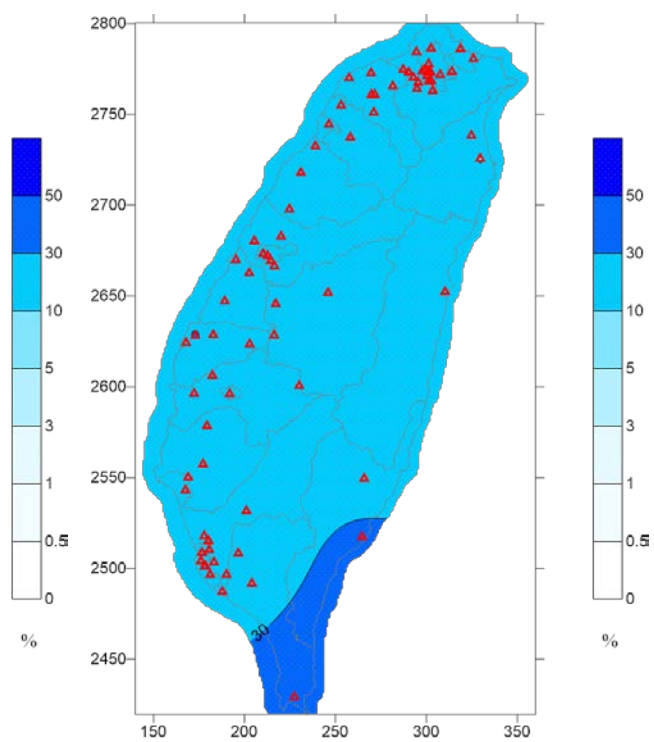
1 月 SO₂ 影響



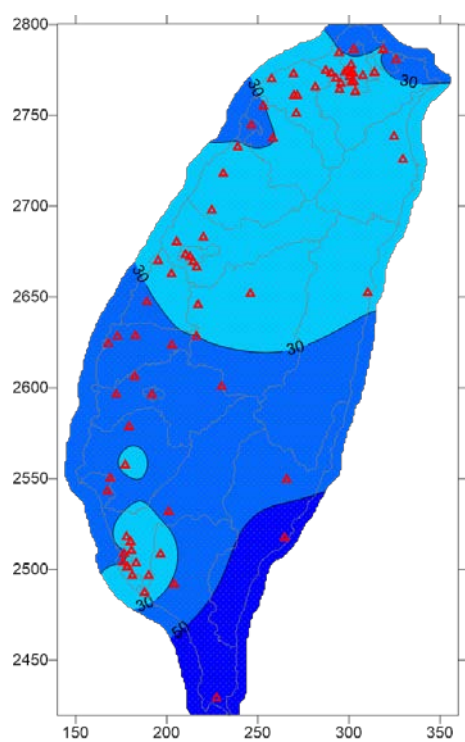
2 月 SO₂ 影響



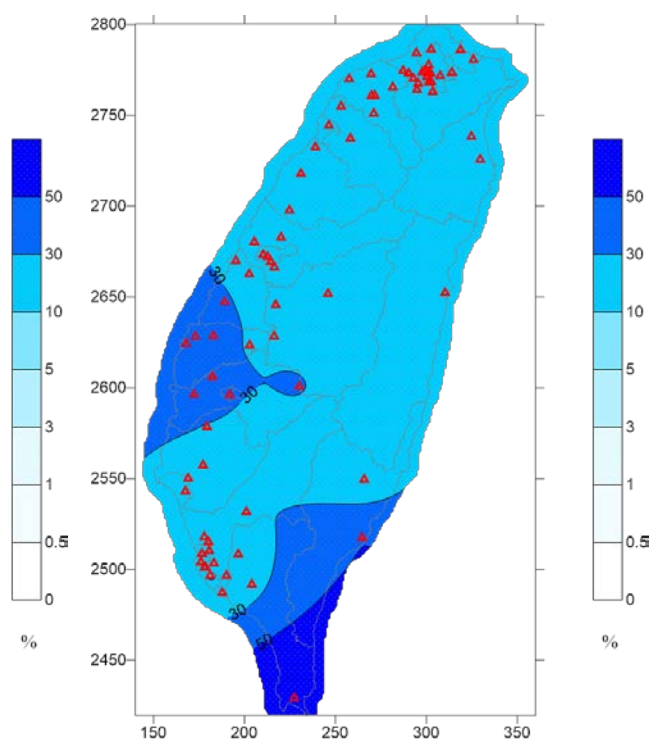
3 月 SO₂ 影響



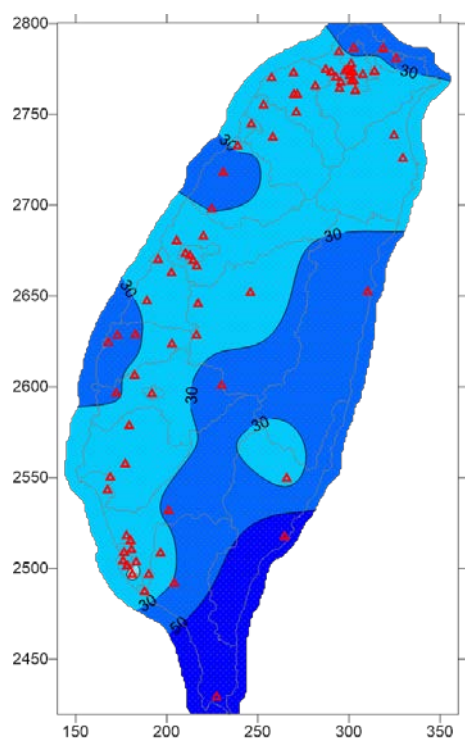
4 月 SO₂ 影響



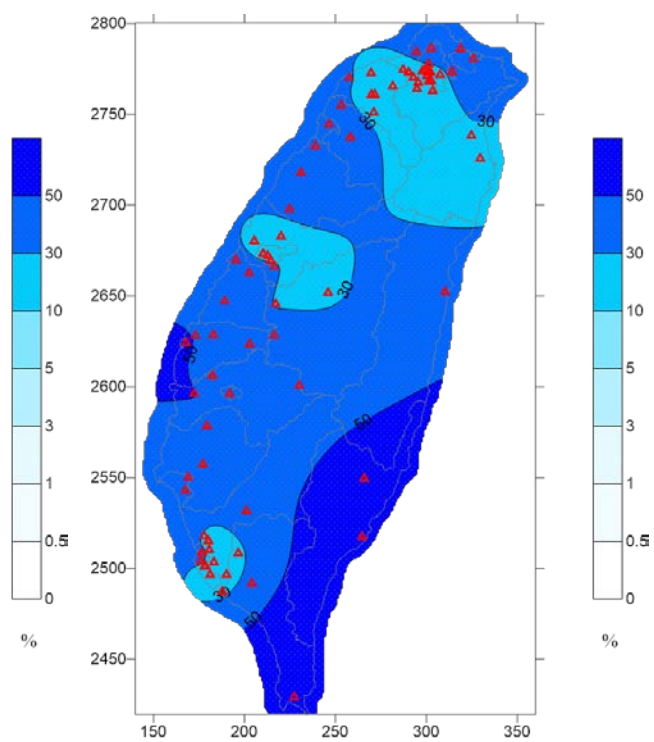
5 月 SO₂ 影響



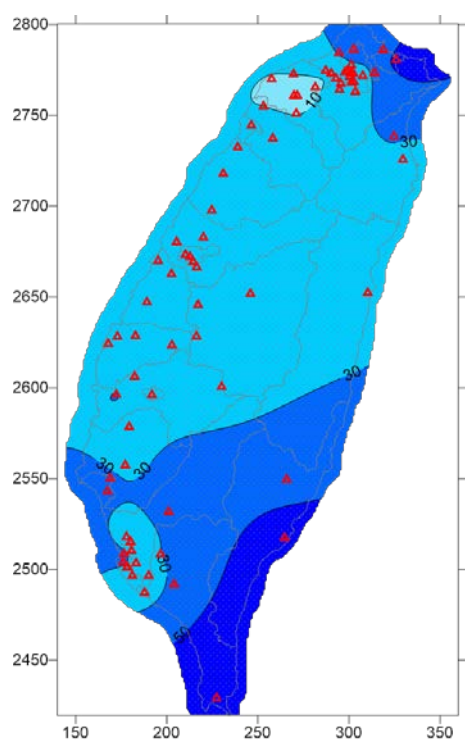
6 月 SO₂ 影響



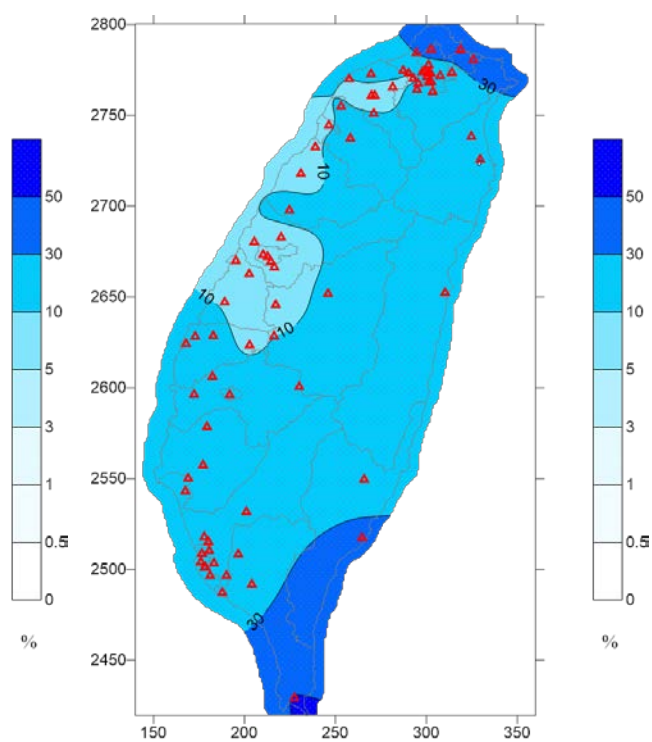
7 月 SO₂ 影響



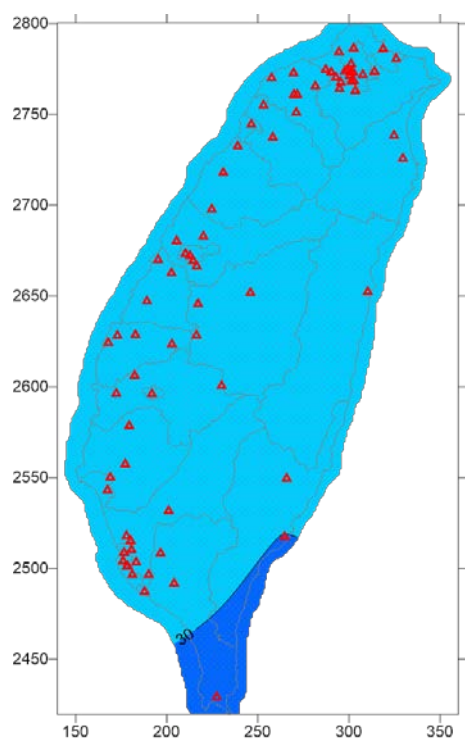
8 月 SO₂ 影響



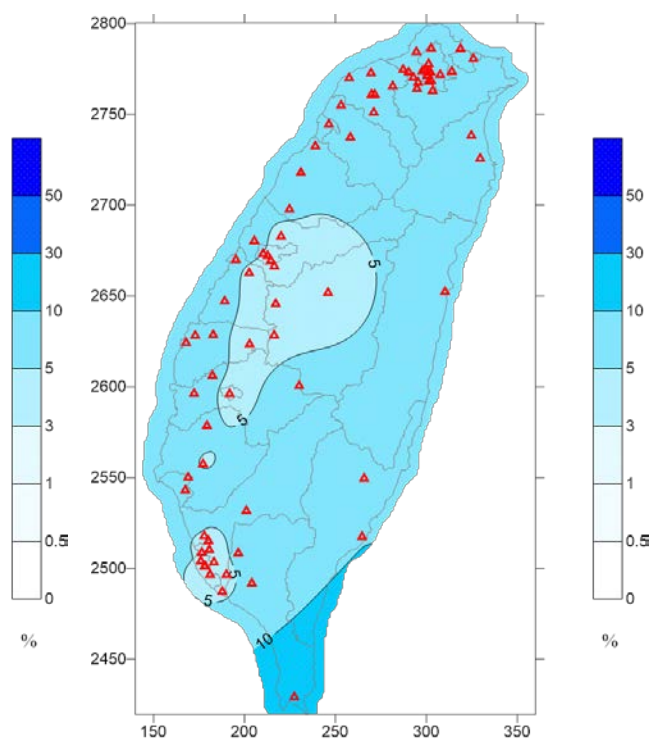
9 月 SO₂ 影響



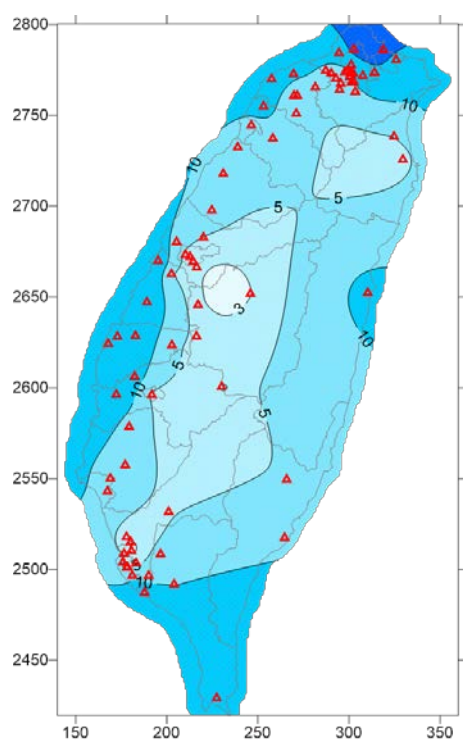
10 月 SO₂ 影響



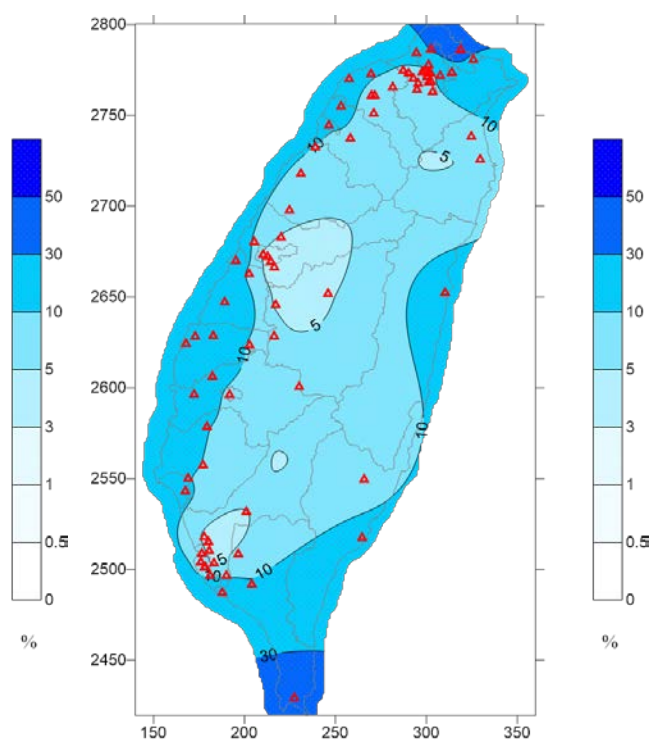
11 月 SO₂ 影響



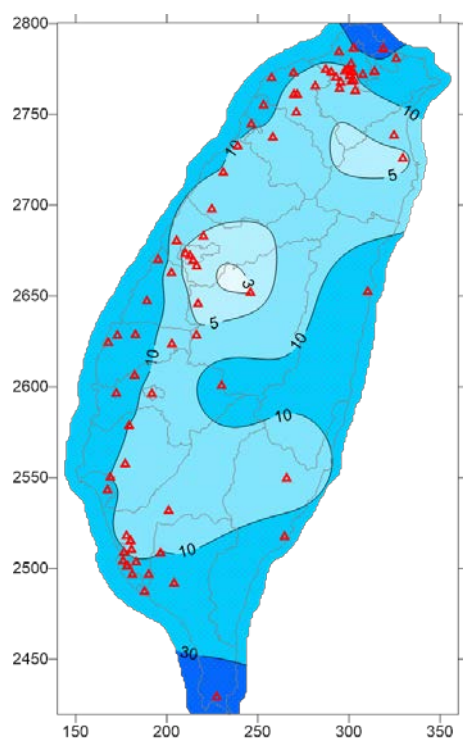
12 月 SO₂ 影響



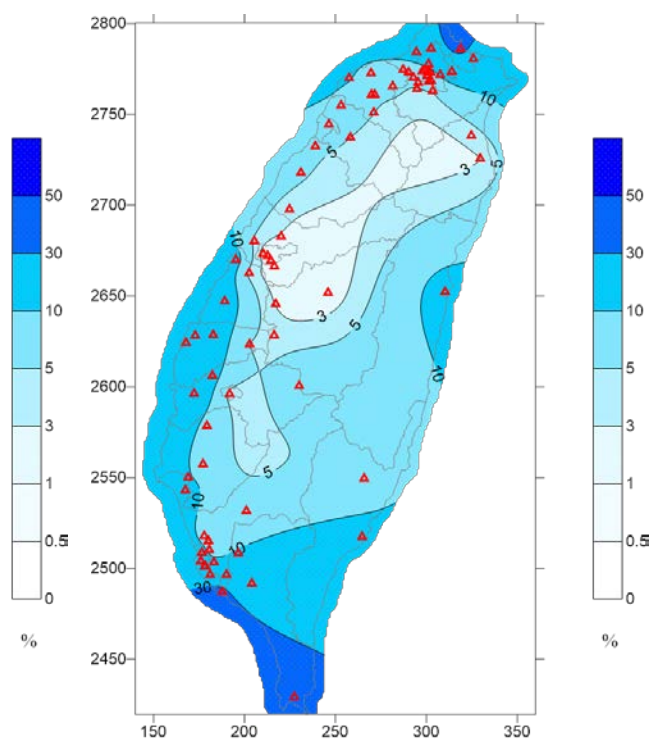
1 月 NOx 影響



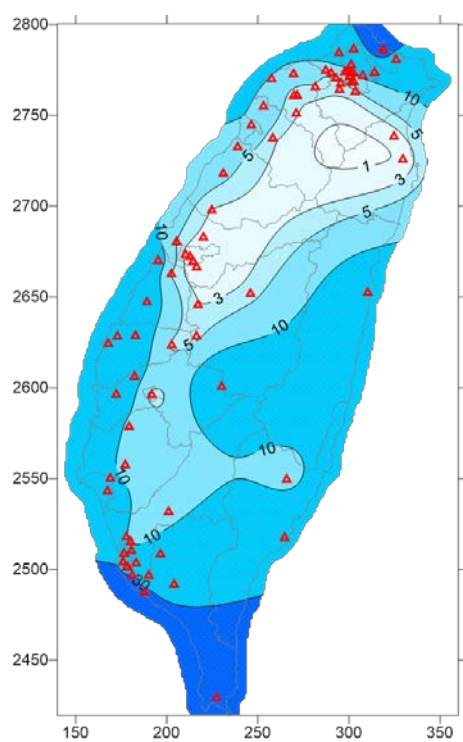
2 月 NOx 影響



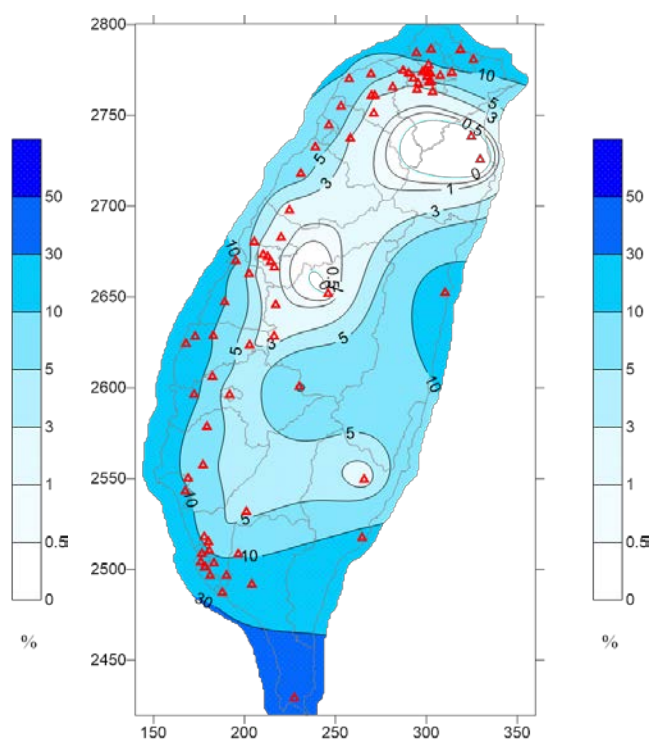
3 月 NOx 影響



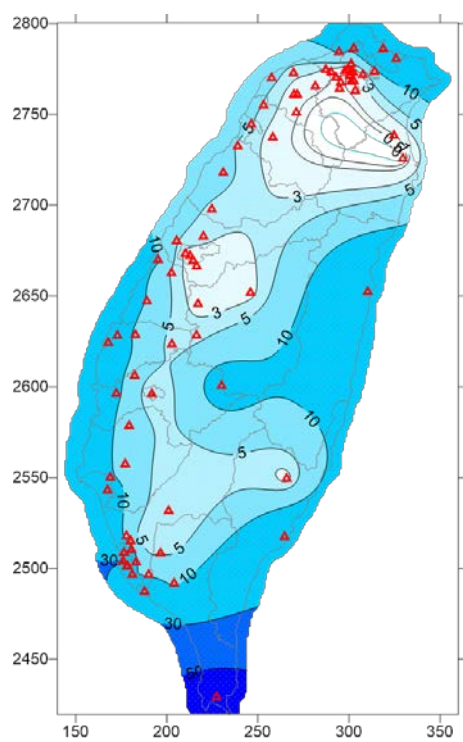
4 月 NOx 影響



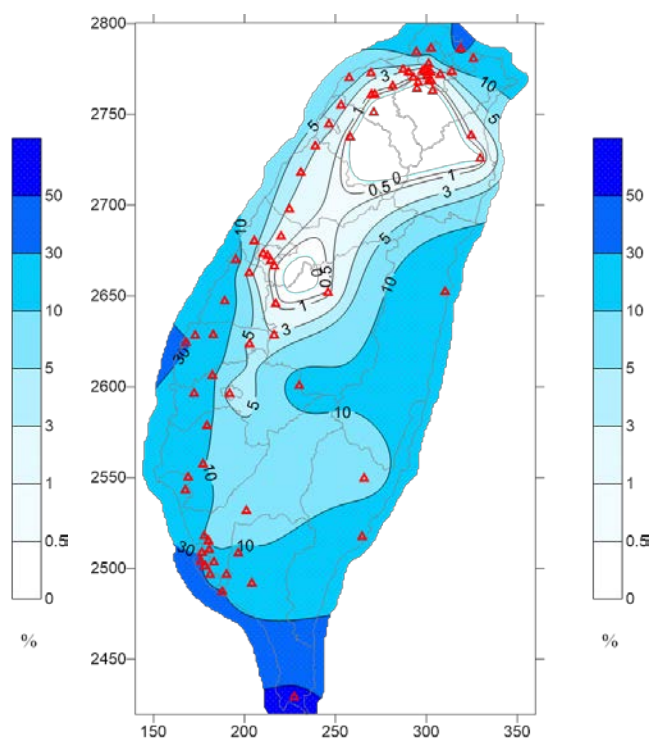
5 月 NOx 影響



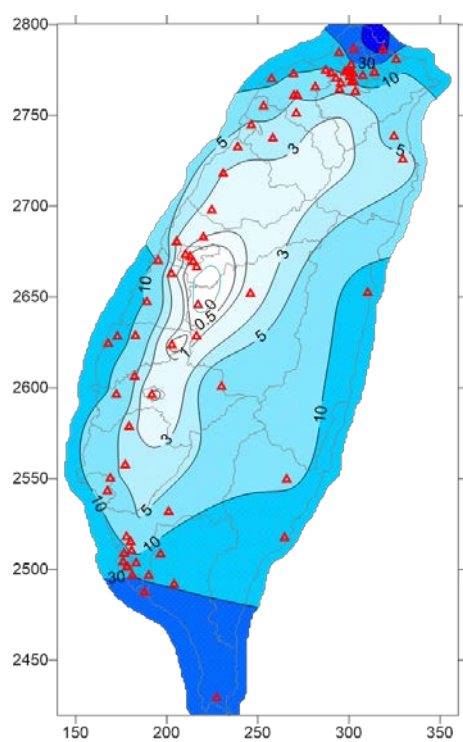
6 月 NOx 影響



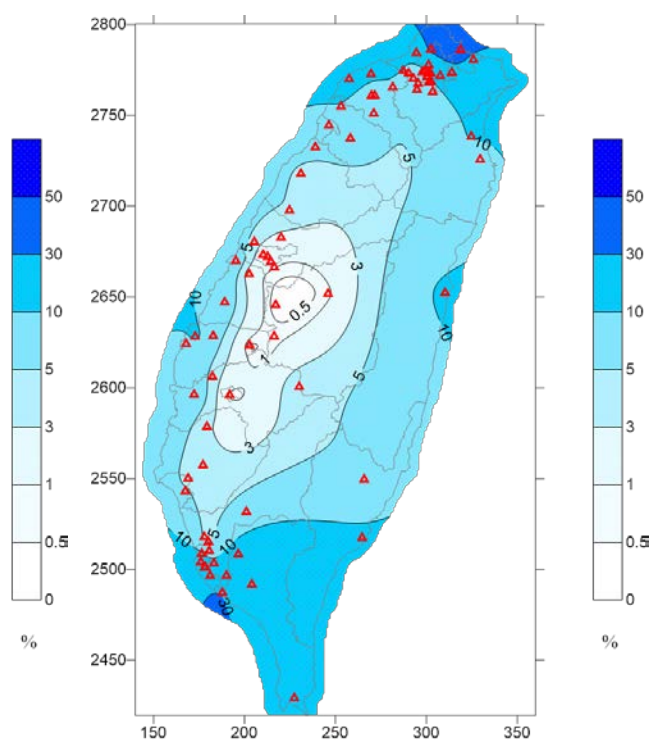
7 月 NOx 影響



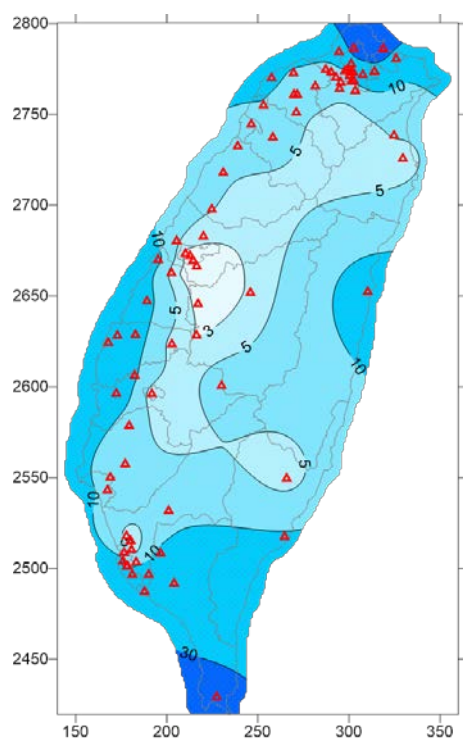
8 月 NOx 影響



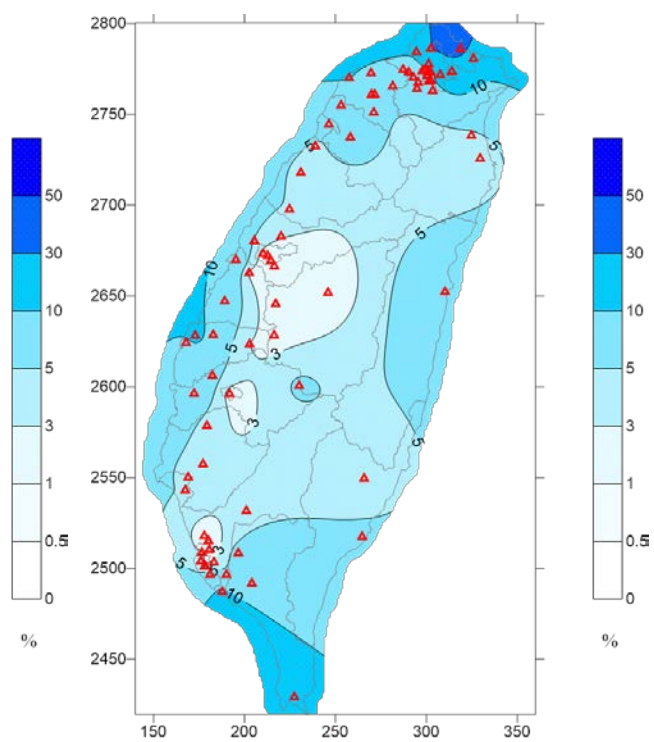
9 月 NOx 影響



10 月 NOx 影響



11 月 NOx 影響



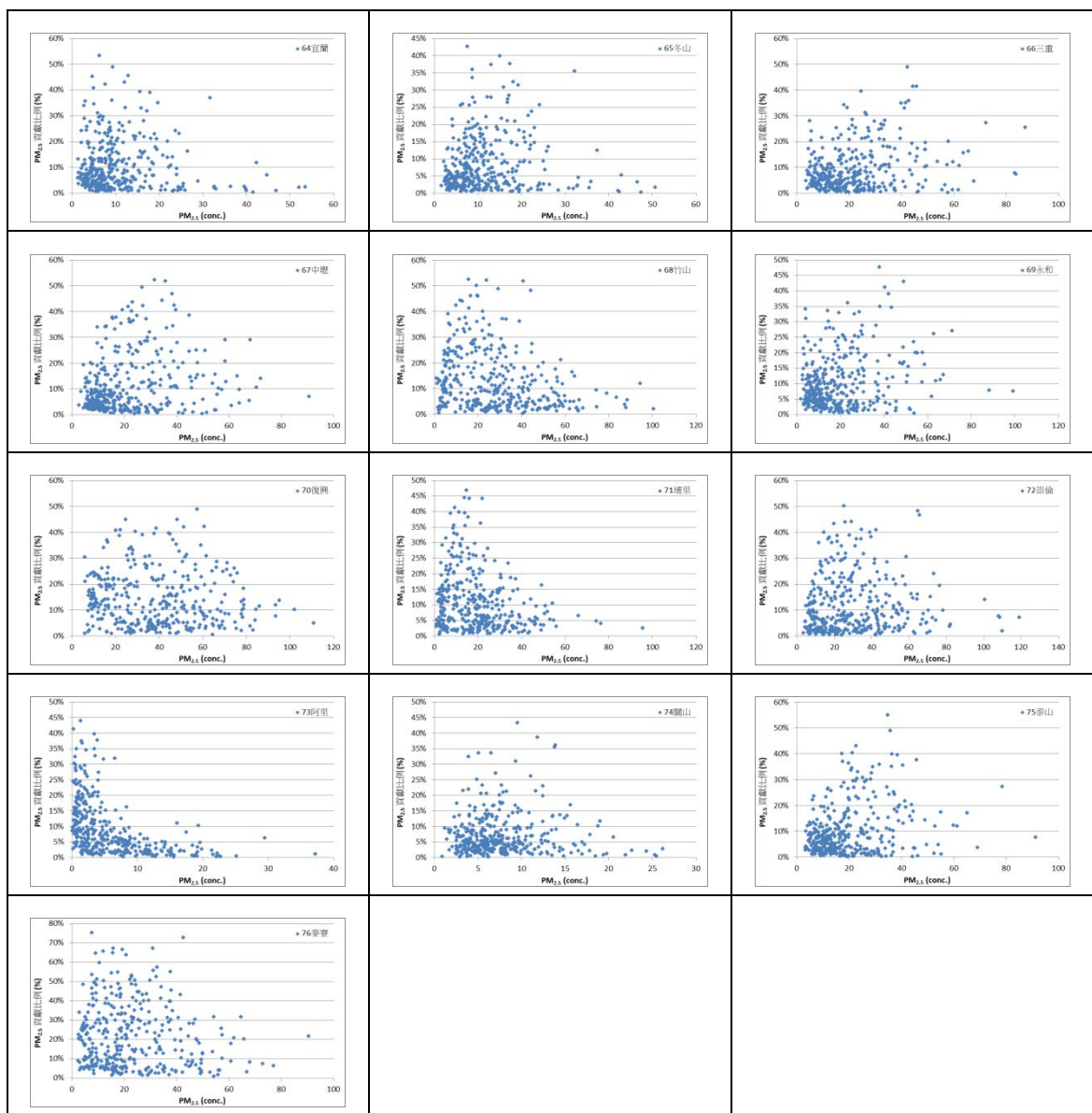
12 月 NOx 影響

各測站散點圖

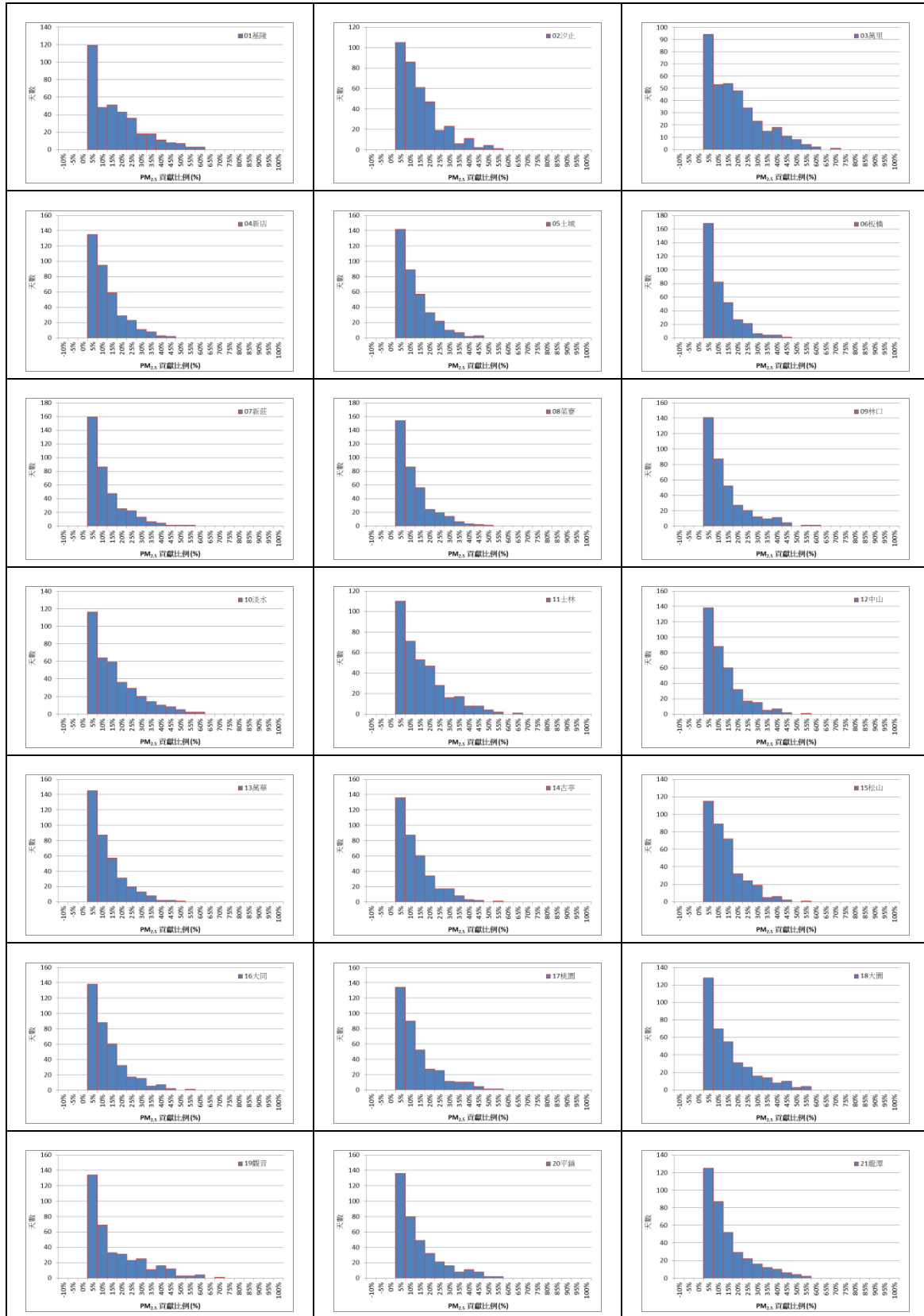


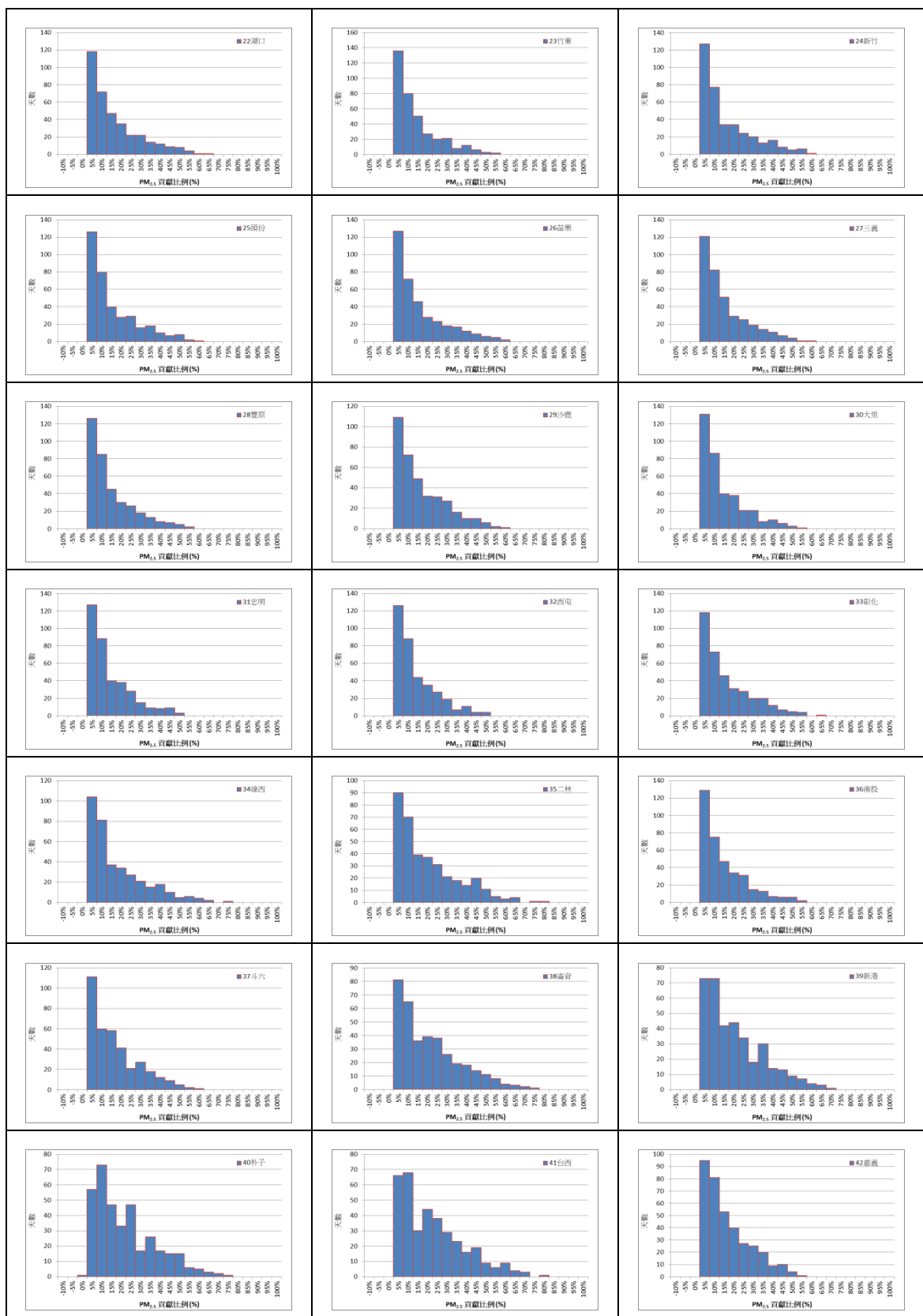


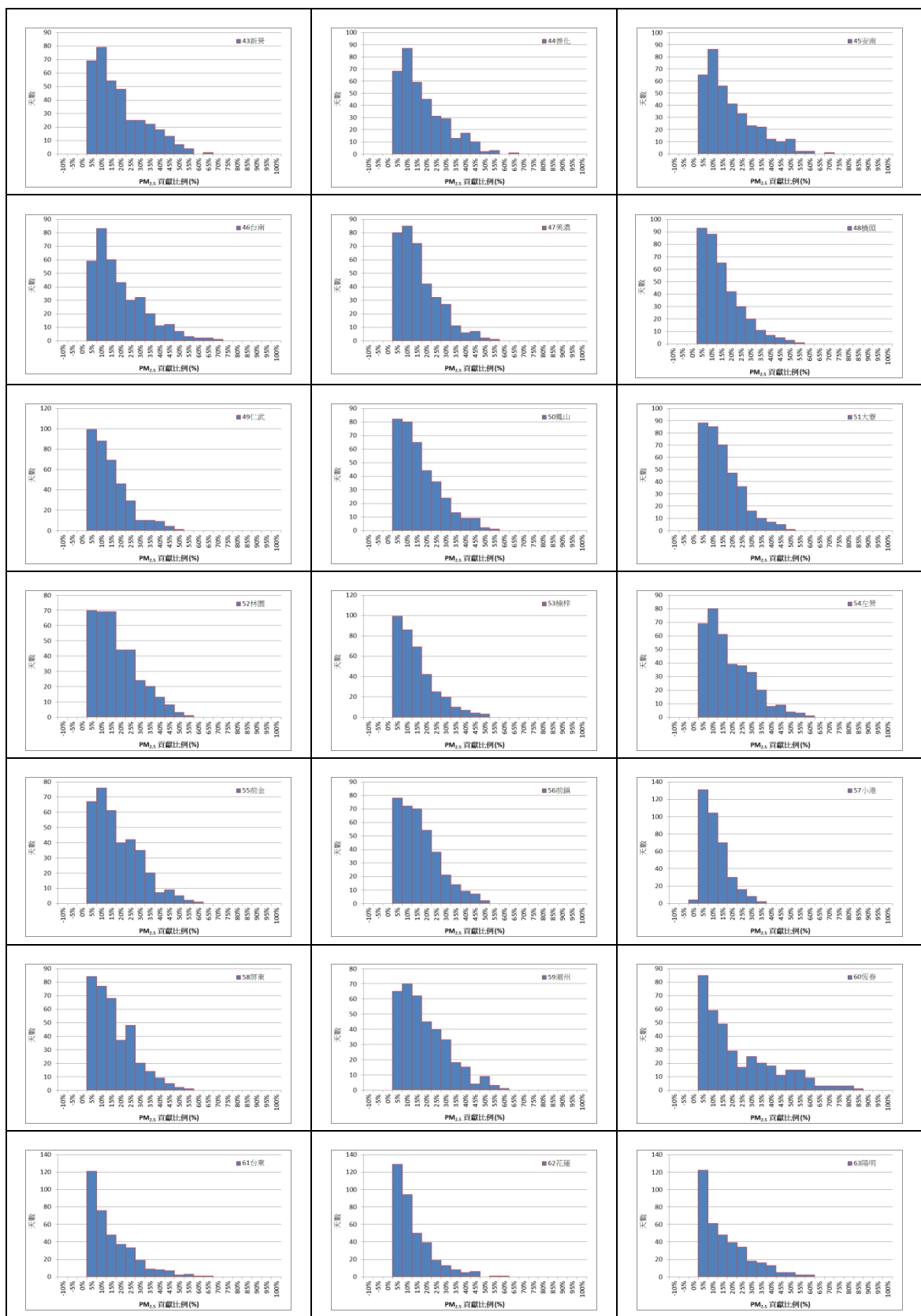


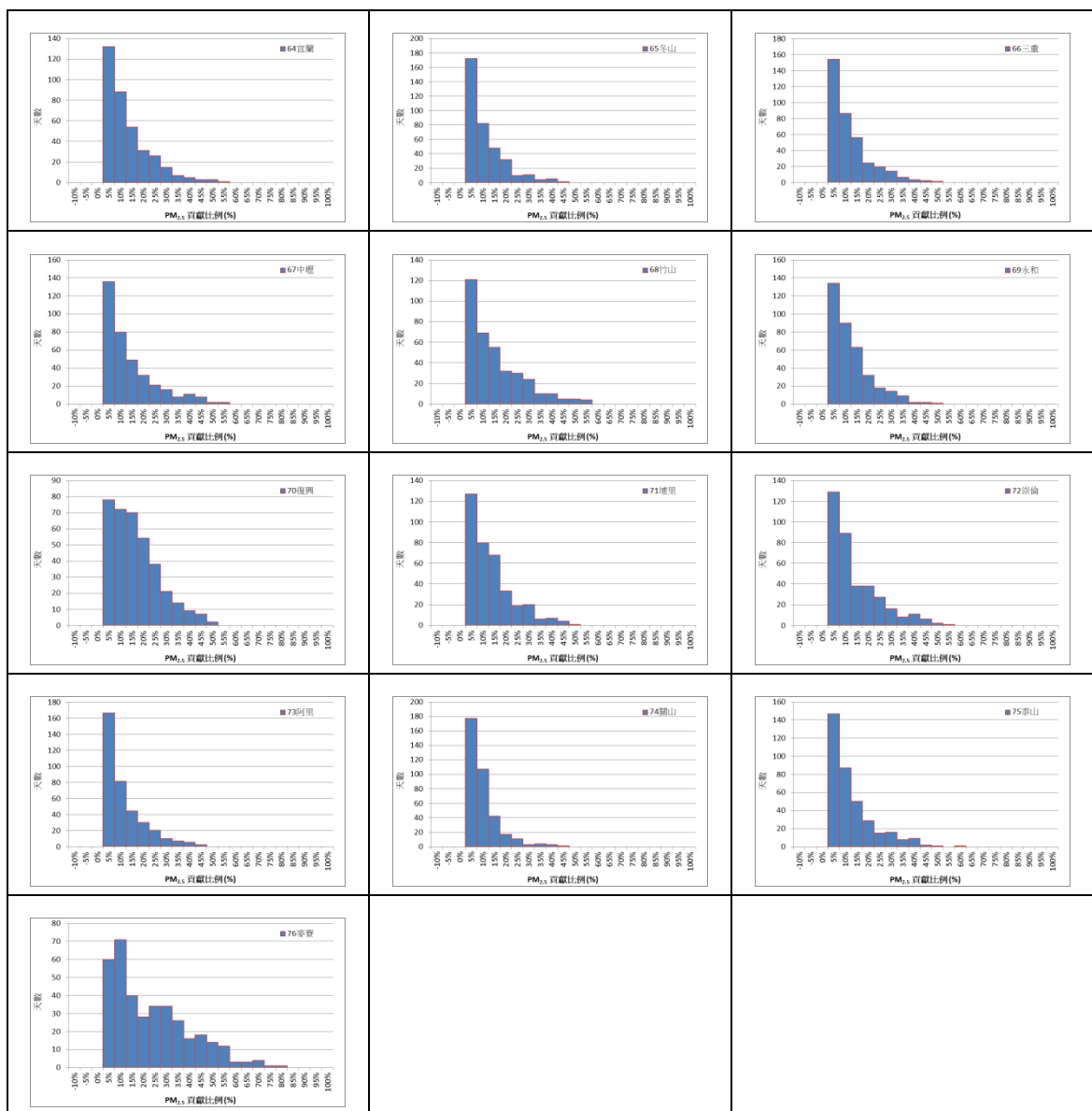


各測站頻率分布圖



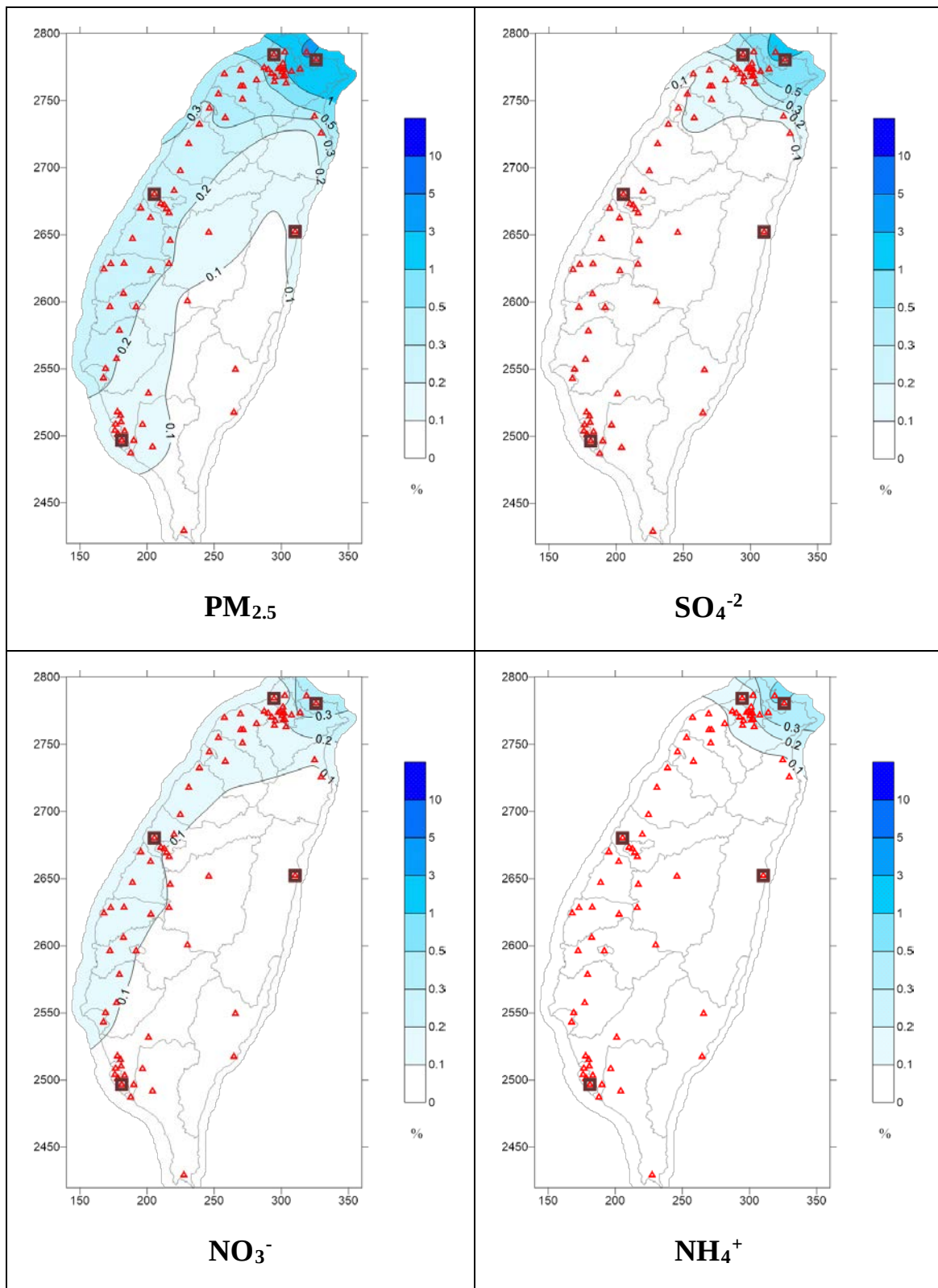


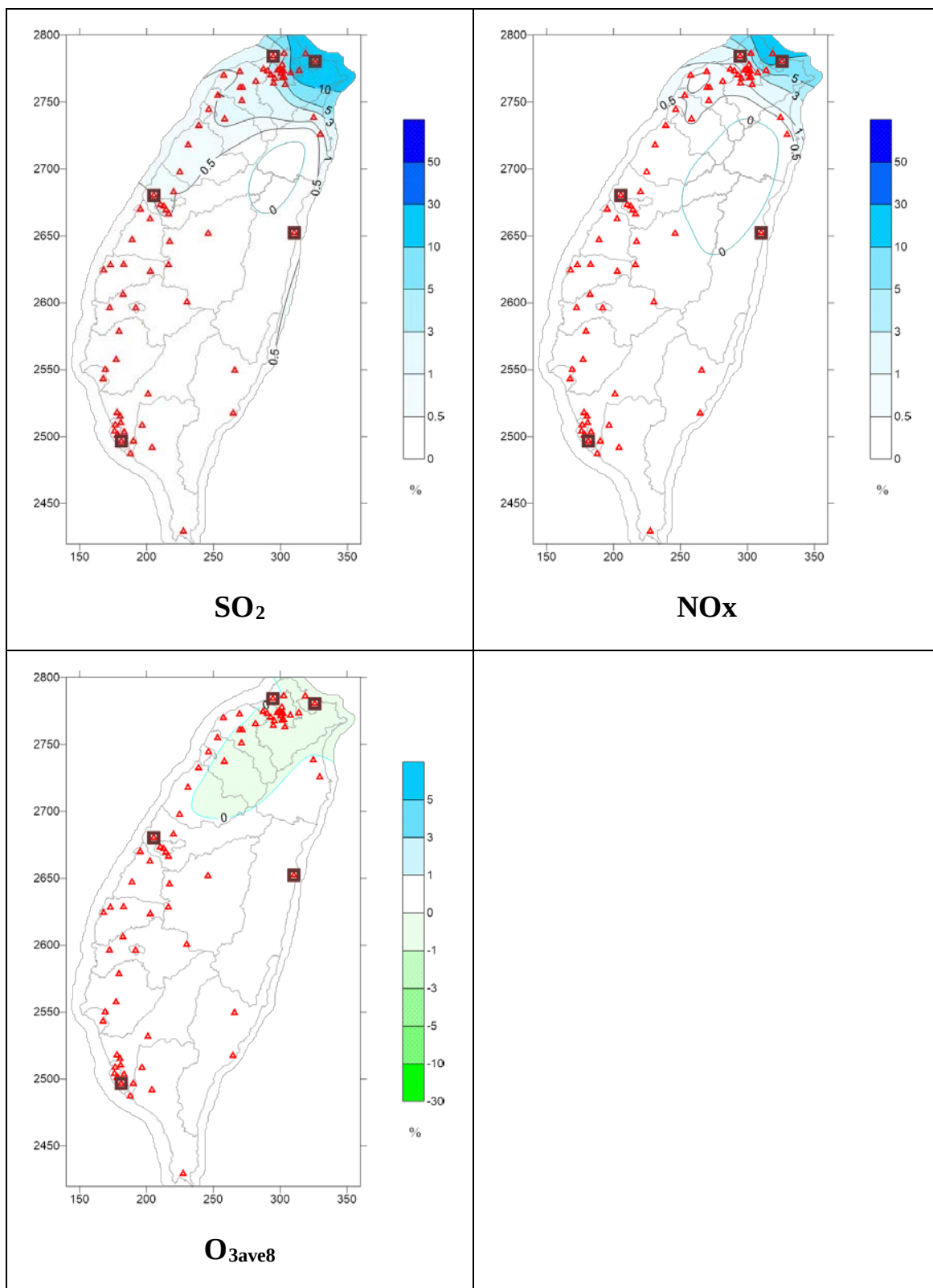




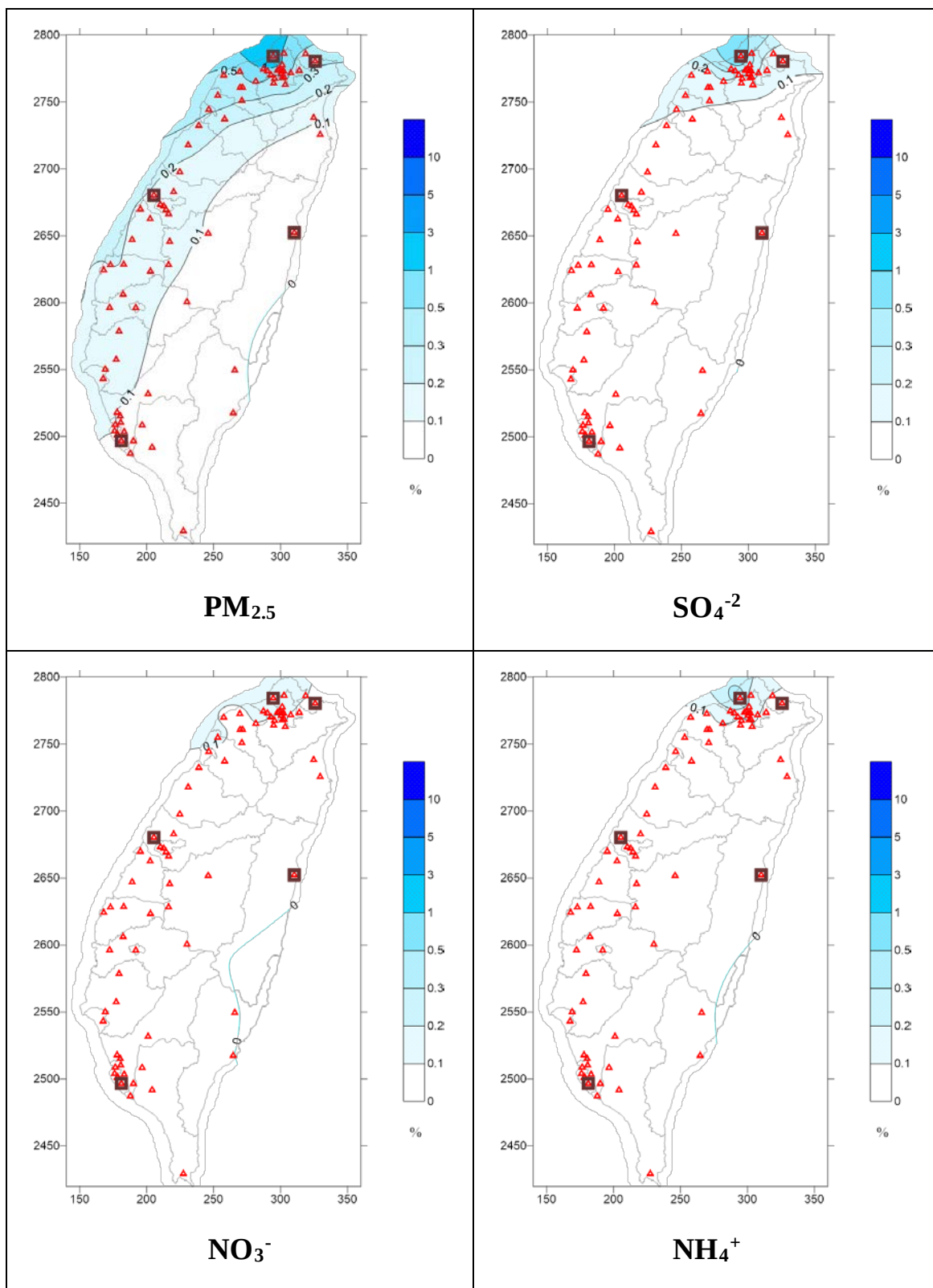
附錄九 臺灣五大商港影響

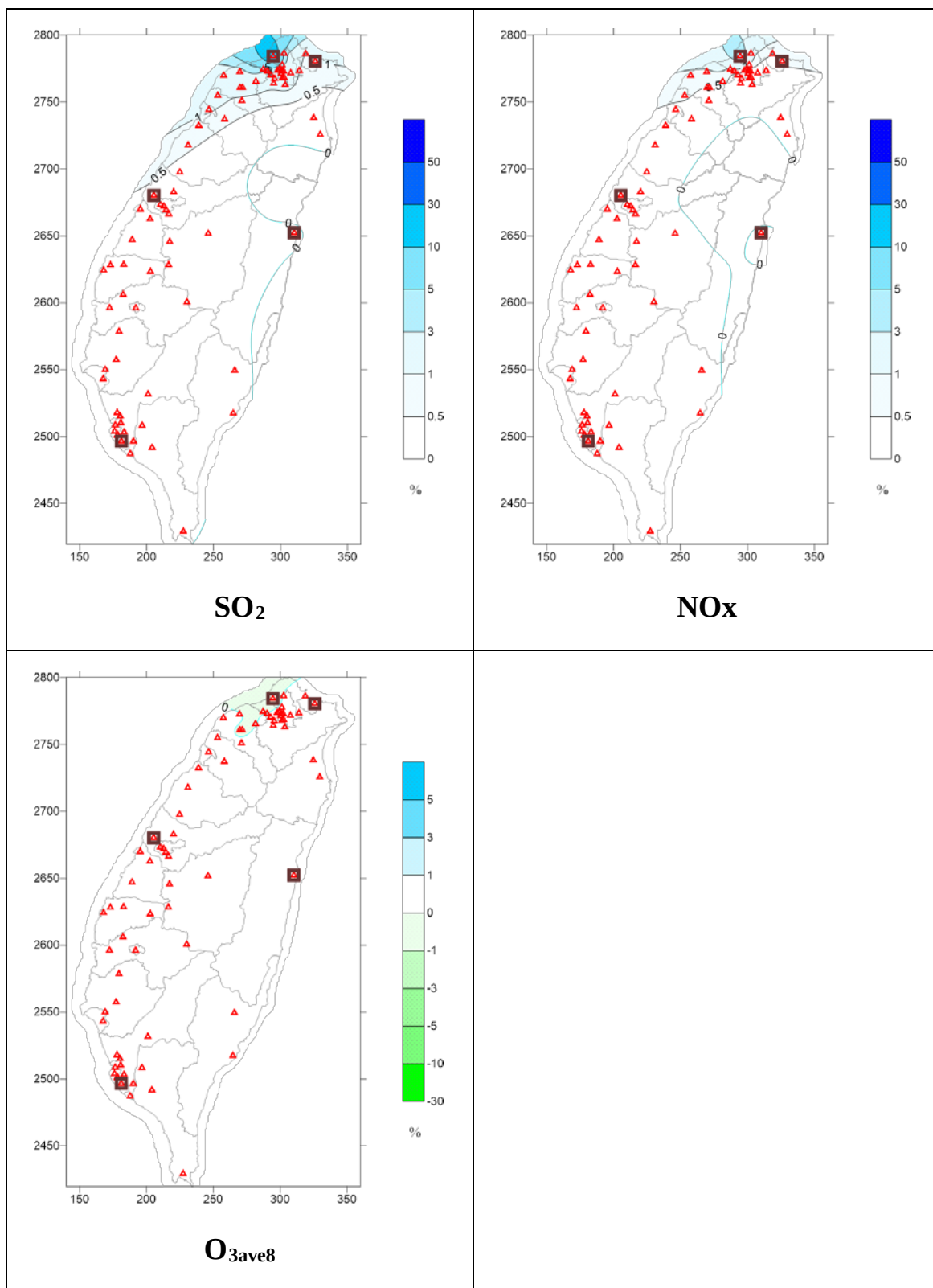
基隆港



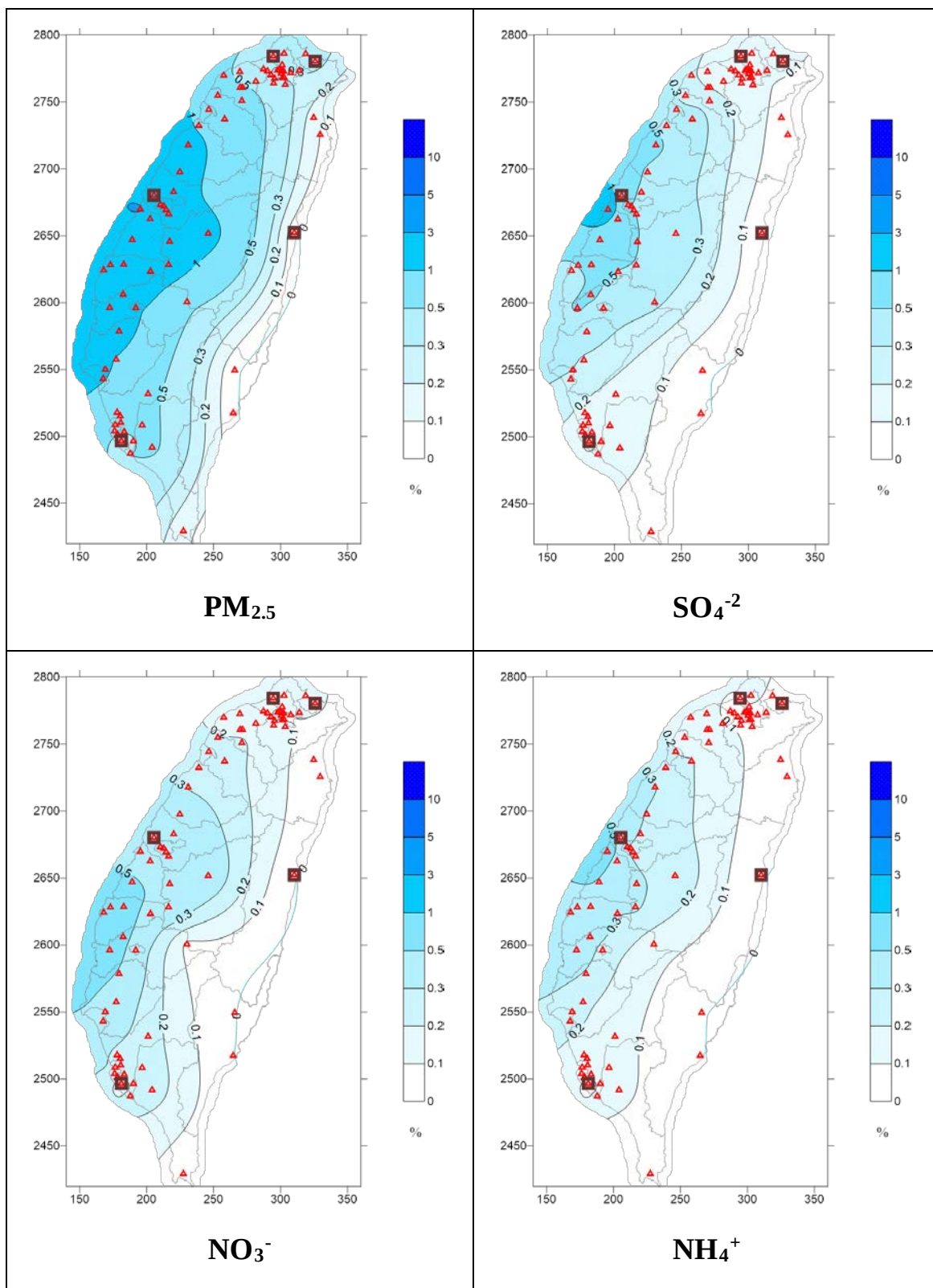


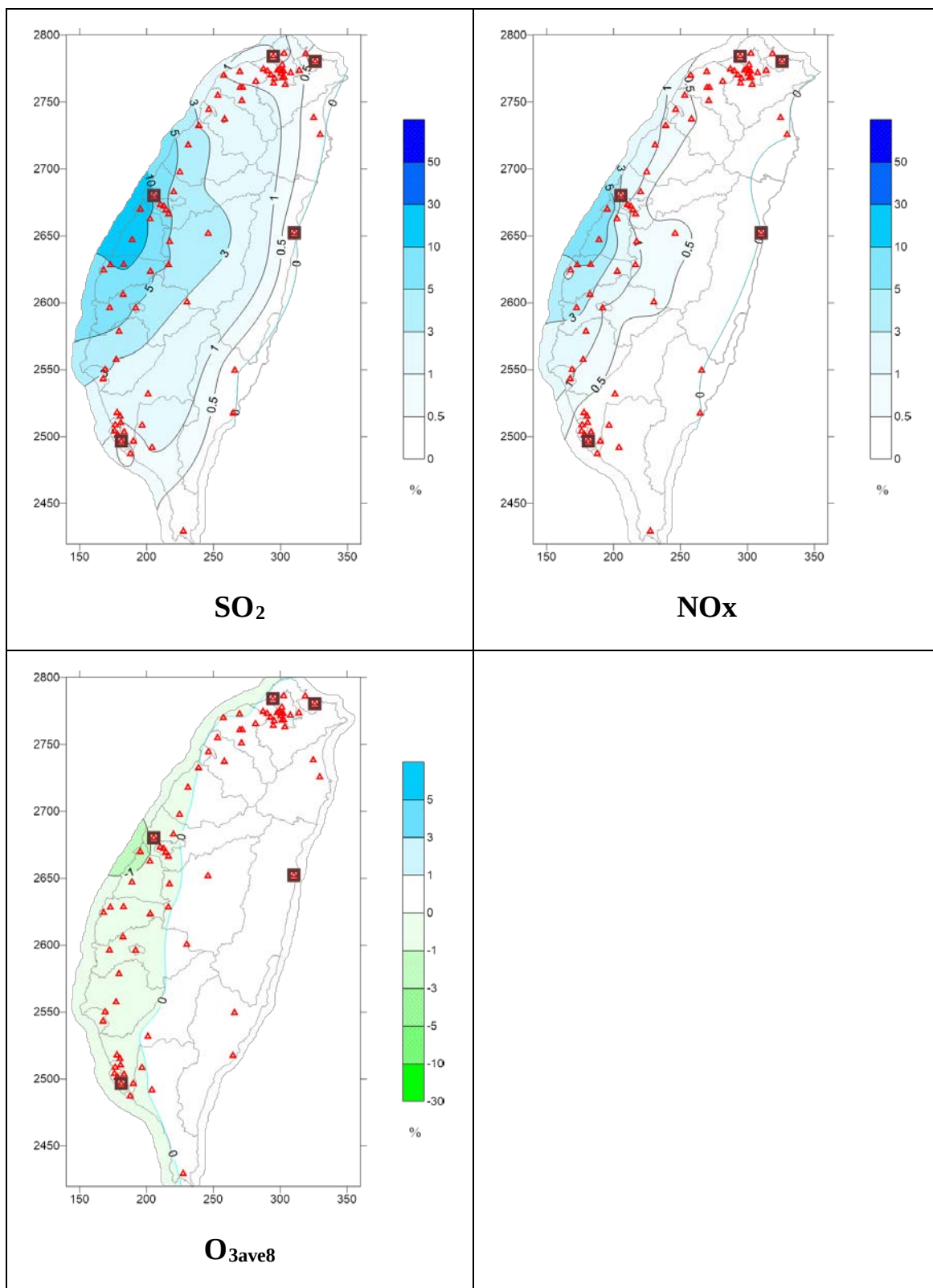
臺北港



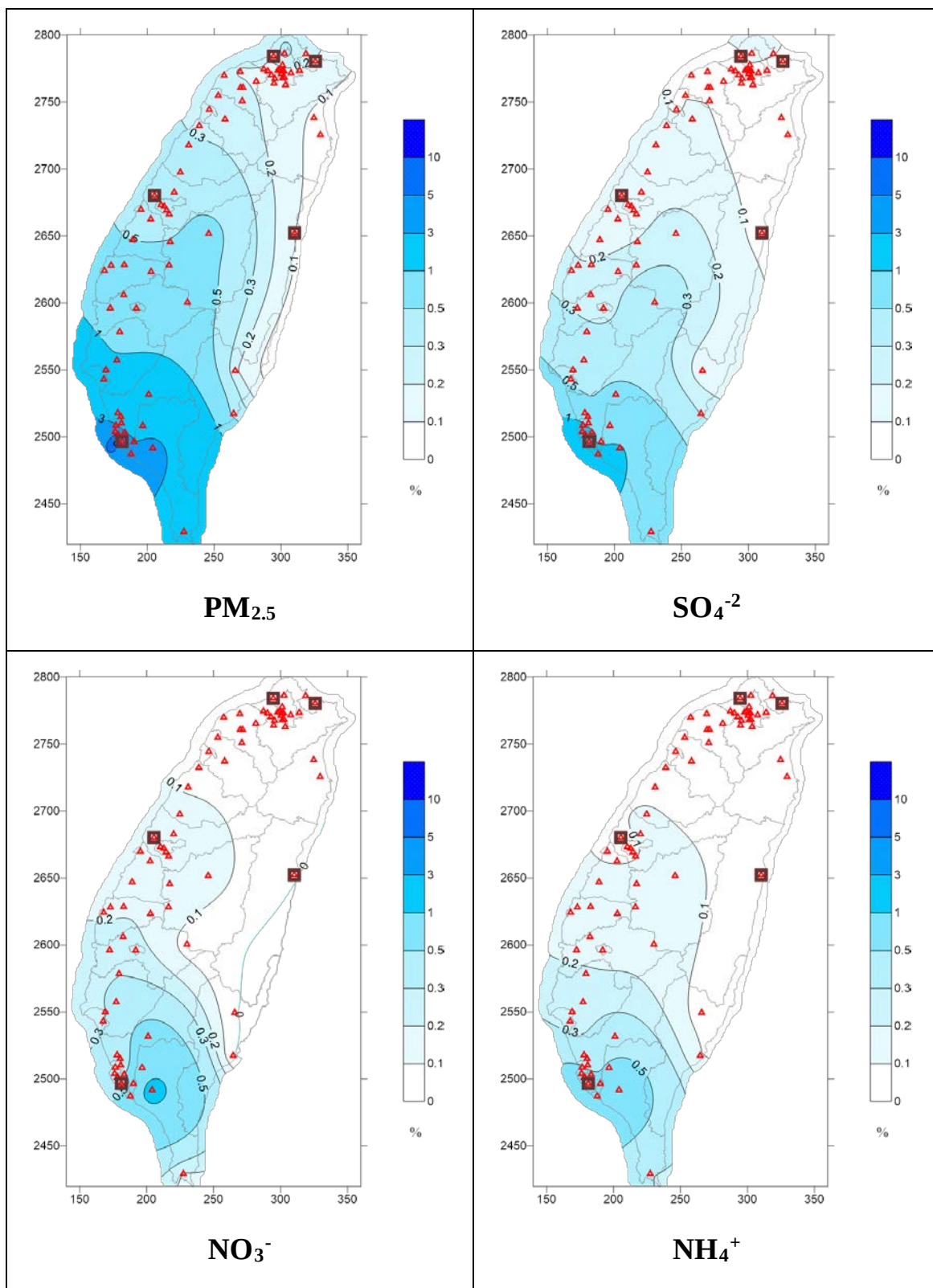


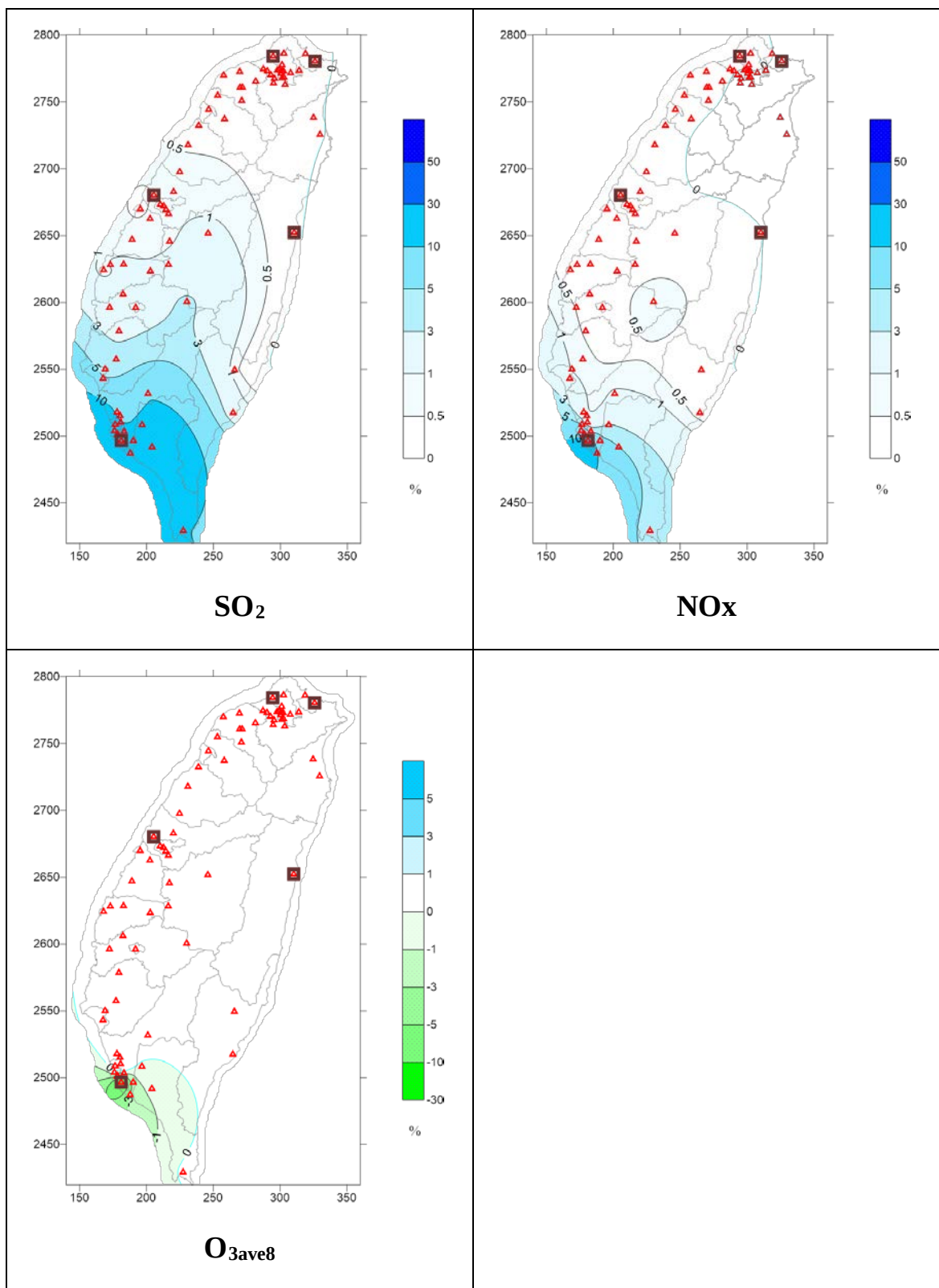
臺中港



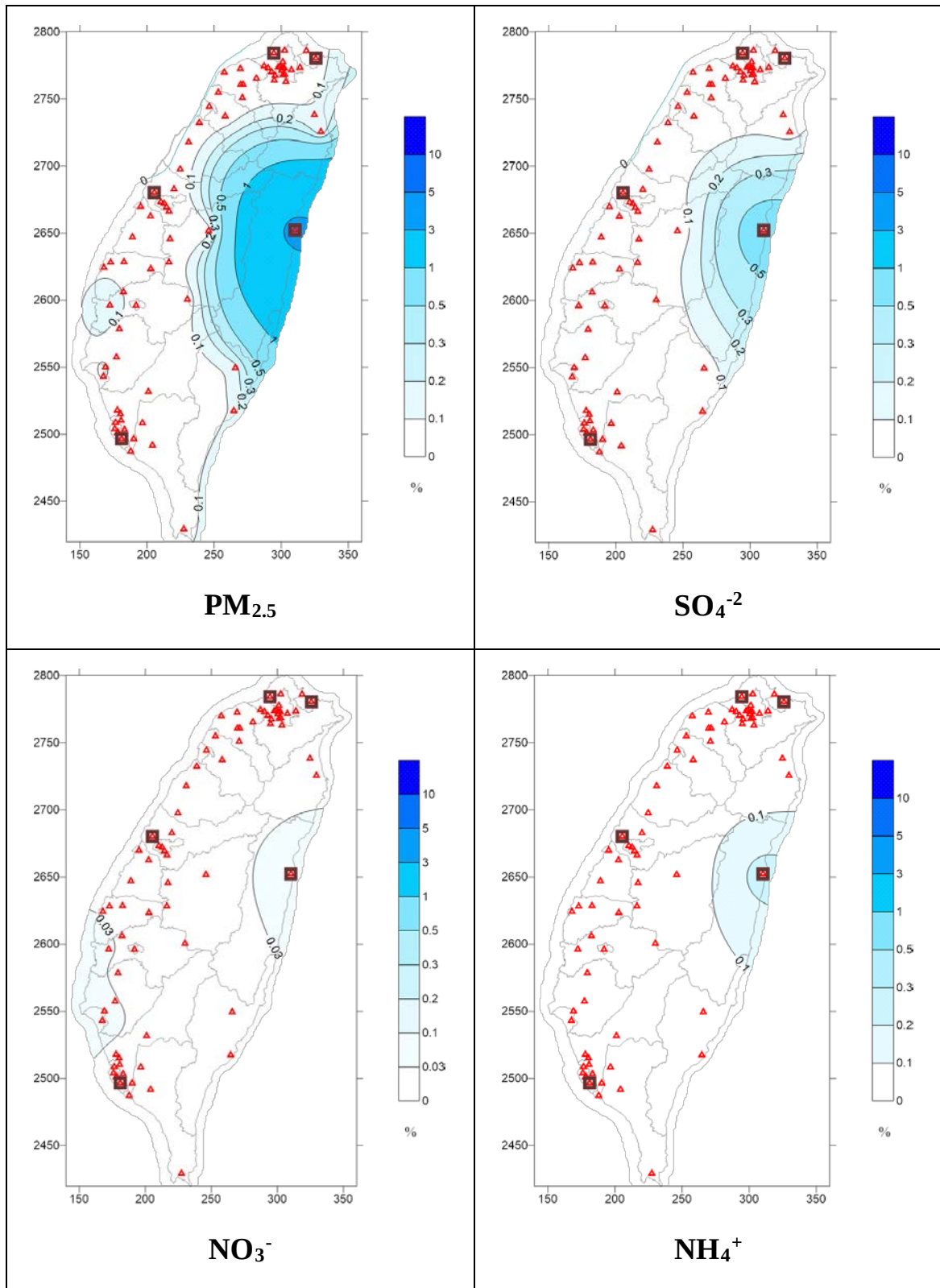


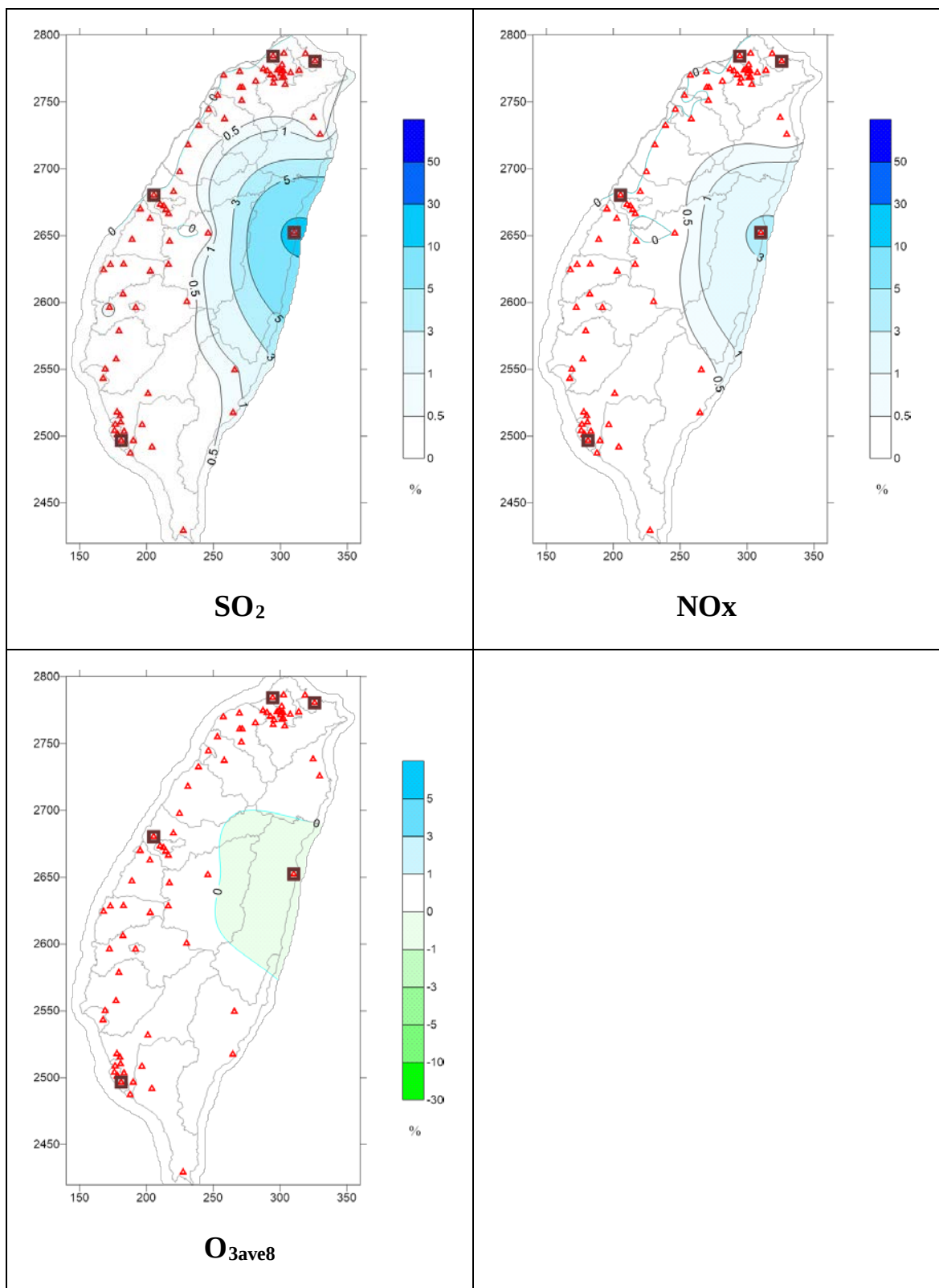
高雄港





花蓮港

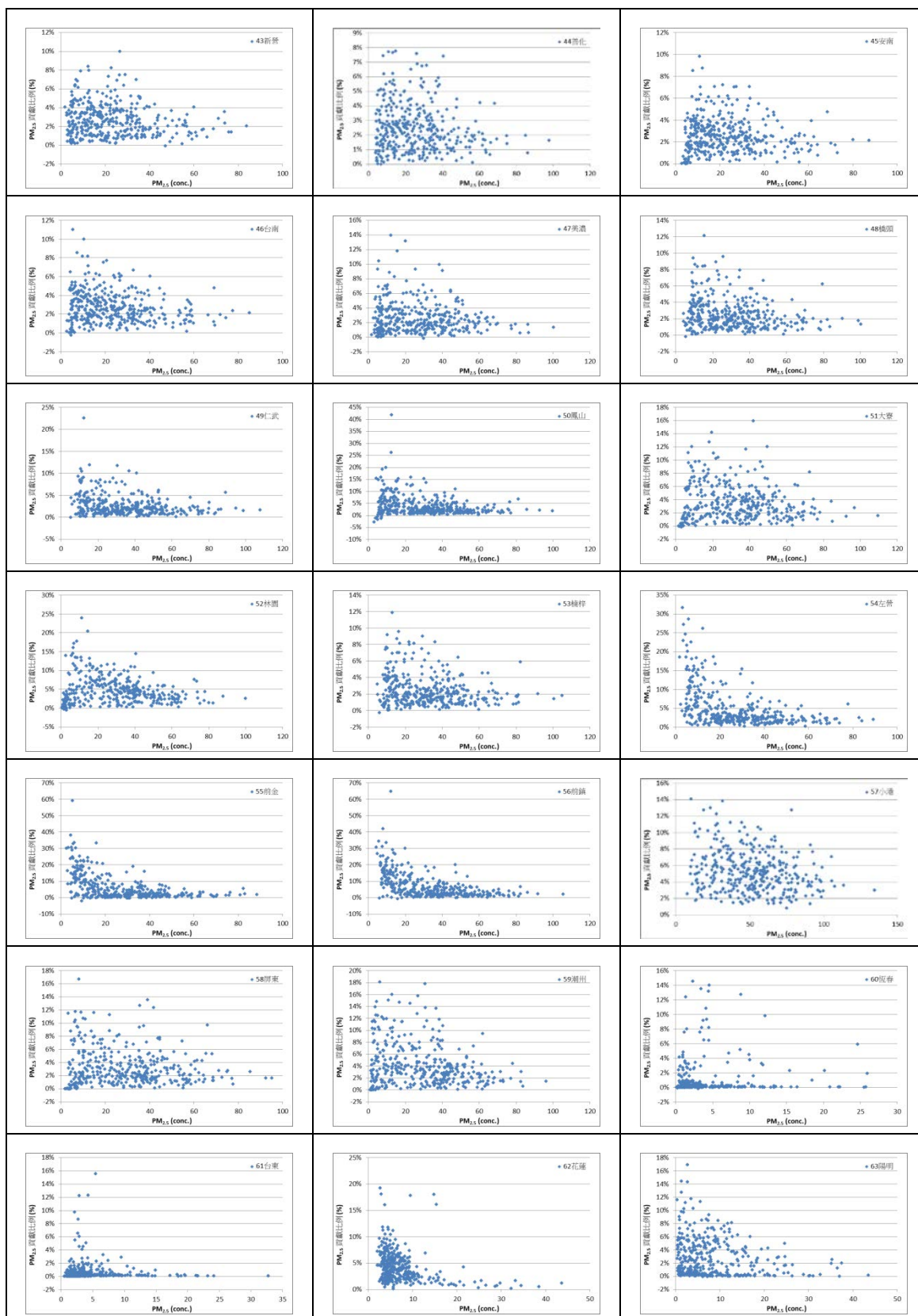




各測站散點圖









各測站頻率分布圖

