

海峽兩岸空氣品質管理研討會



海峽兩岸大氣中懸浮微粒之分布特徵 與模擬驗證

報告人：張艮輝

共同作者：陳杜甫、蔡長佑

雲林科技大學環境與安全衛生工程系

May 28, 2012

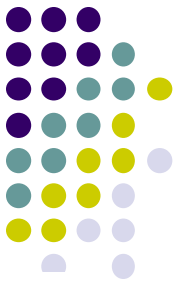
地點：福華國際文教會館

簡報內容



- 一、前言
- 二、海峽兩岸觀測資料收集與統計
- 三、海峽兩岸大氣中PM之分布特徵
- 四、空氣品質模式模擬說明
- 五、海峽兩岸PM之模擬驗證
- 六、結論與建議

一、前言



1. 東亞是過去十年全球空氣污染物排放量成長最快的區域，特別是 NO_x 。其中尤以中國大陸之京津冀、長三角、及珠三角為最 (Tanimoto, 2009; Wang et al., 2009)。
2. 為了解空氣品質在時間與空間變異之原因，採取適當的改善策略，因此需要一個合理準確模擬時空變異之空氣品質模式。
3. 本研究以一組網格空氣品質模式系統進行一整年之長期模擬，模擬範圍涵蓋整個東亞地區。 PM_{10} 模擬結果將與台灣、大陸觀測資料進行比較驗證。
4. 根據比較驗證結果，了解此模式系統模擬海峽兩岸空氣品質之準確性，並討論模式誤差之可能原因。

二、觀測資料收集與統計



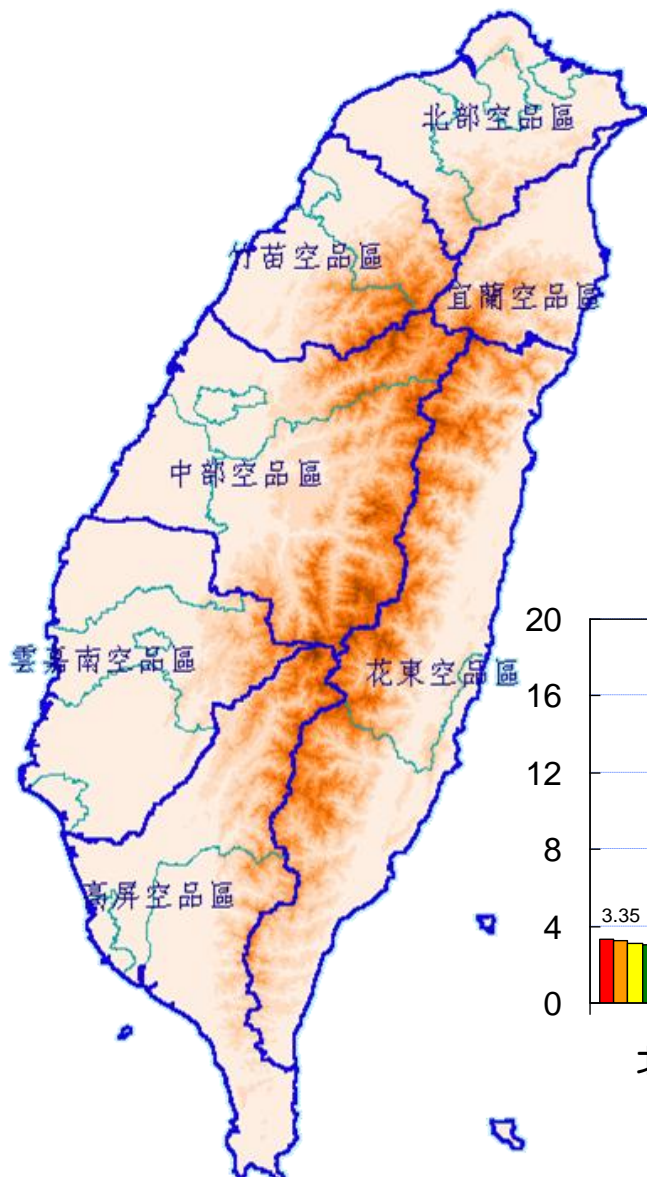
- ▶ 中國大陸每日公布重點城市之API及其指標污染物(PM_{10} , SO_2 , NO_2)
- ▶ 中國環保部網站目前公佈API重點城市有86個
- ▶ 過去10年(2001-2010), 中國大陸主要指標污染物為 PM_{10} (72.6%), 其次為 SO_2 (7.8%), NO_2 僅佔0.2%
- ▶ 其餘API小於50 (19.4%), 網站未公布量值與指標污染物。

中國大陸六大地區及86個重點城市分布圖

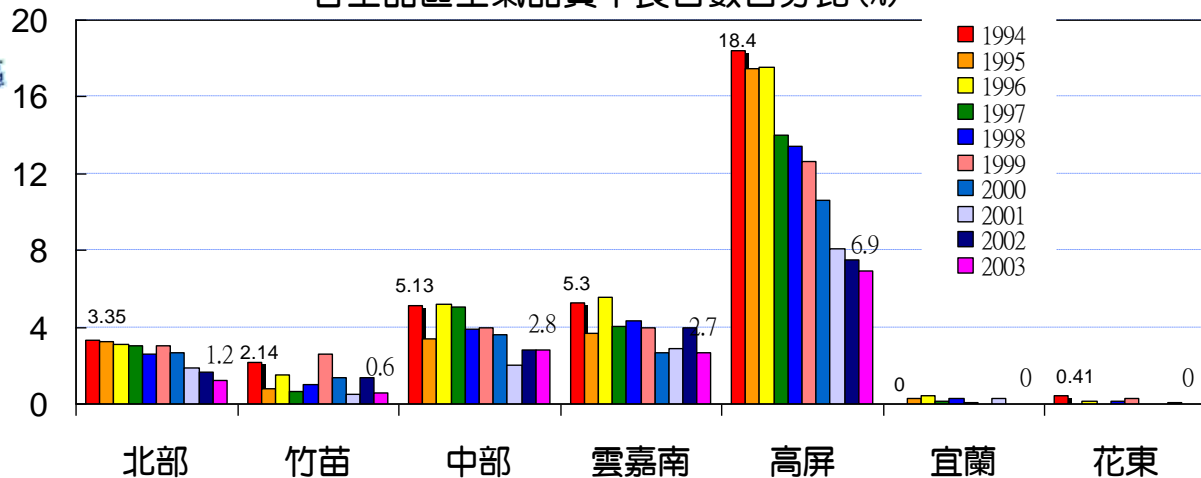
三、大氣中PM之分布特徵



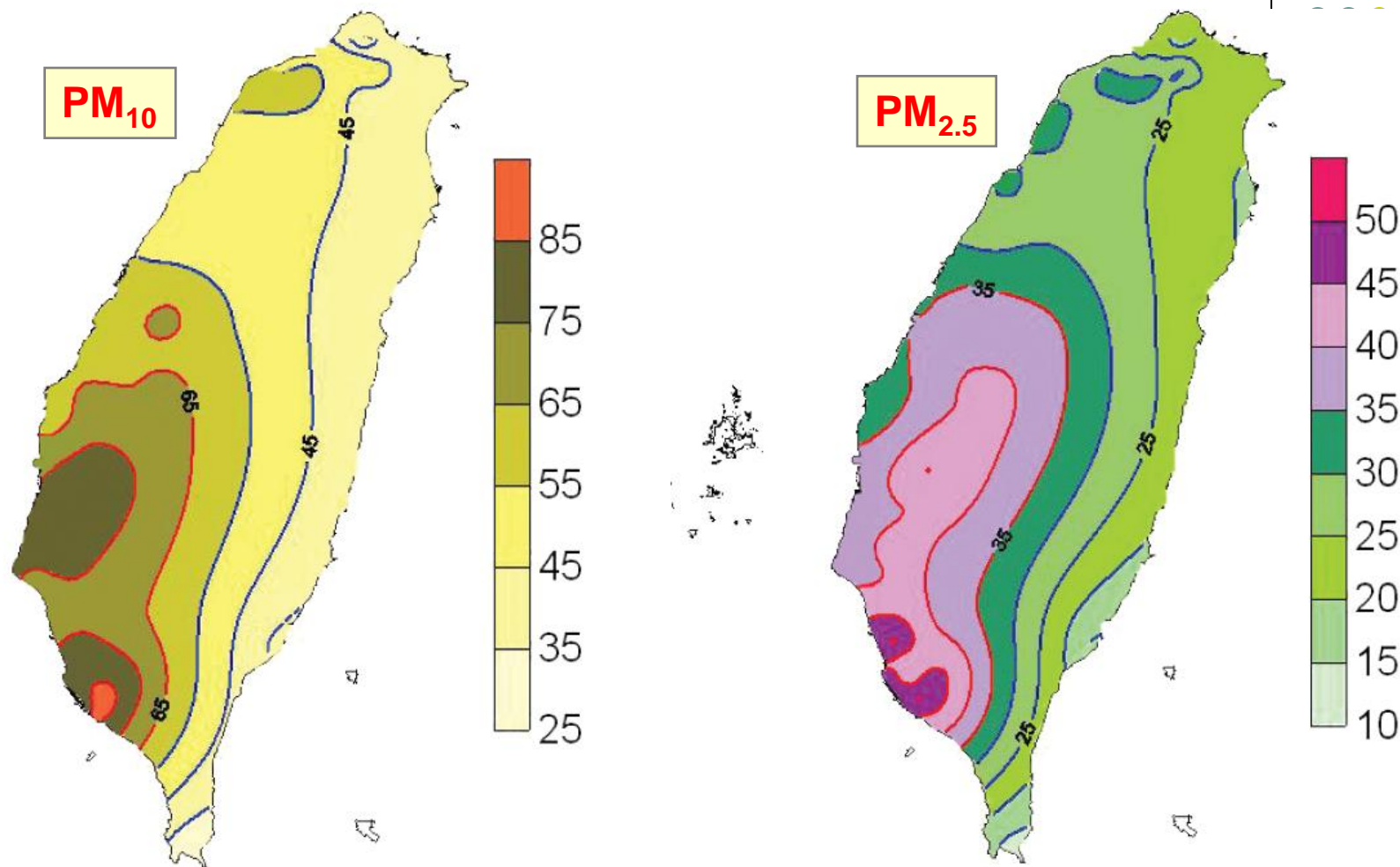
台灣空氣品質區之劃分 與空氣品質分布特徵



各空品區空氣品質不良日數百分比(%)

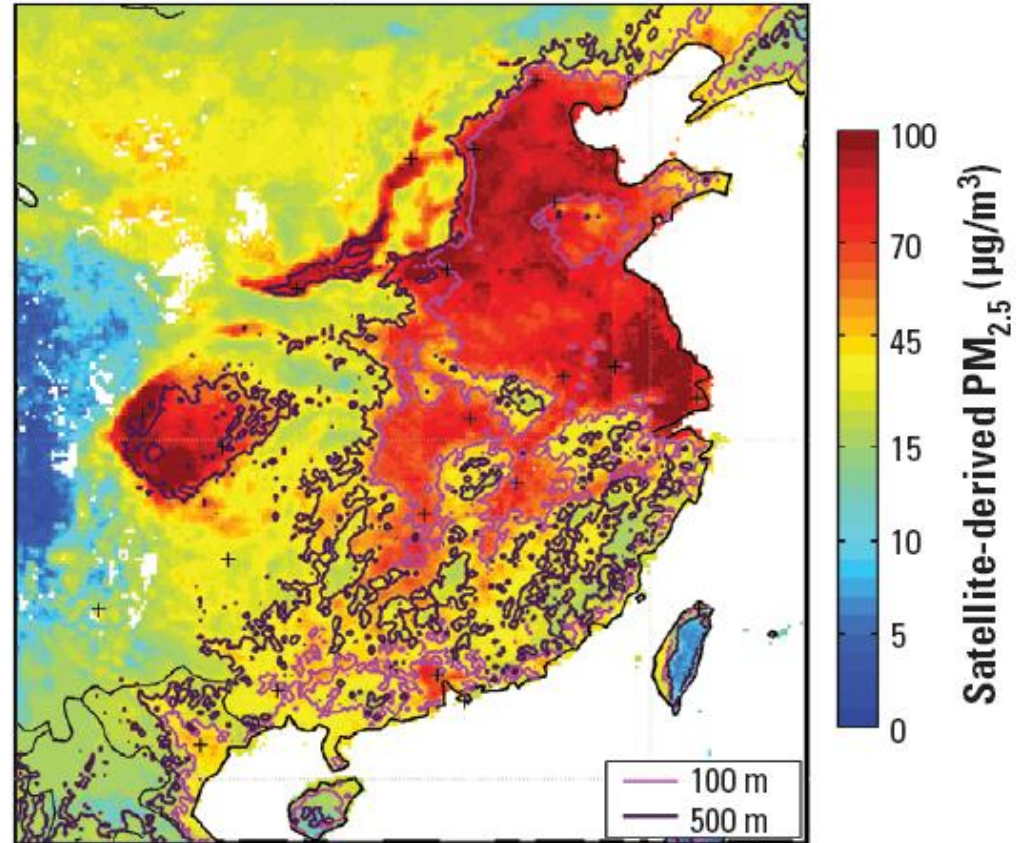
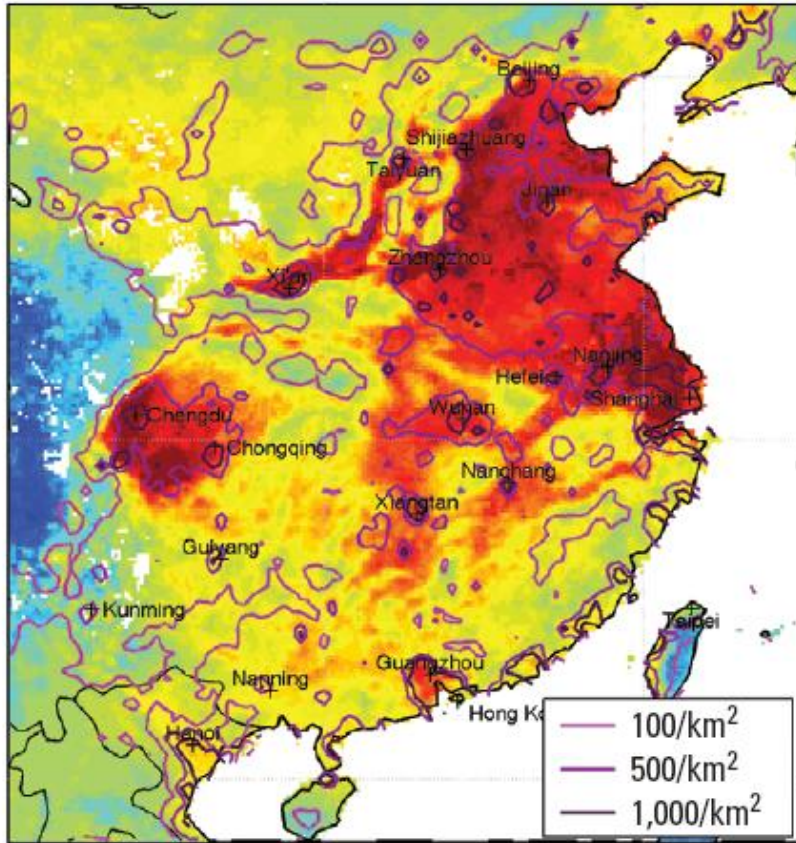


台灣2006年PM年平均等濃度分布圖



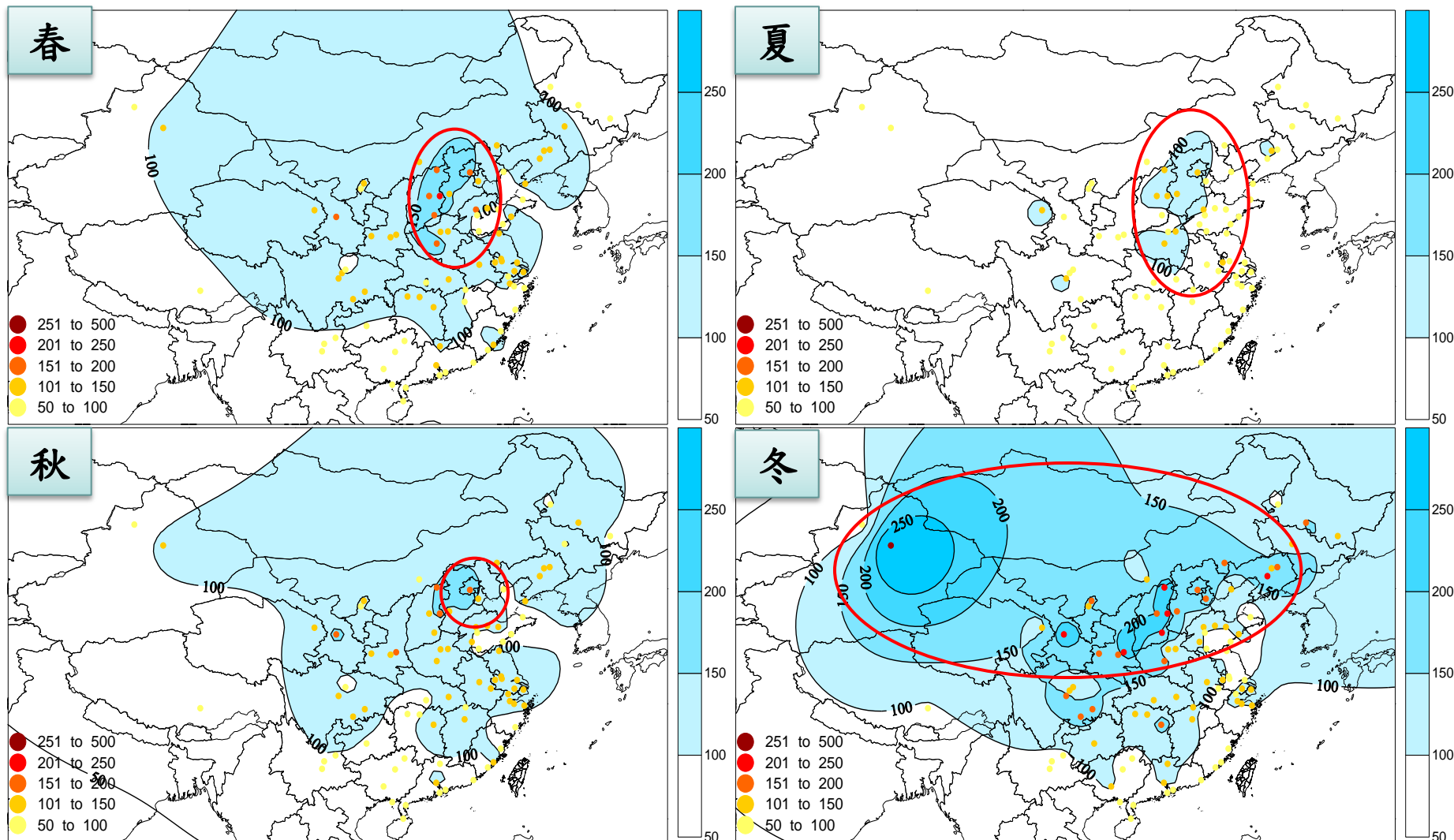
- 除嘉義、台南、高雄及屏東等縣市，台灣大部分地區PM₁₀年平均濃度都能符合國家空氣品質標準(65 µg/m³)
 - 除東部地區，幾乎所有地區PM_{2.5}年平均濃度（自動測站）都大於15 µg/m³
- （資料來源：蕭慧娟，空氣污染監測，財團法人孫運璿學術基金會獎助，2007年12月）

中國大陸PM_{2.5}之分布特徵



Regional satellite-derived PM_{2.5} concentrations. Columns show mean satellite-derived PM_{2.5} for **2001–2006** at locations that contain at least 50 measurements. Contours denote population density (left) and surface elevation (right). (source: van Donkelaar et al., 2010)

根據中國大陸官方公佈數據所繪製之2005年PM₁₀季平均等濃度圖

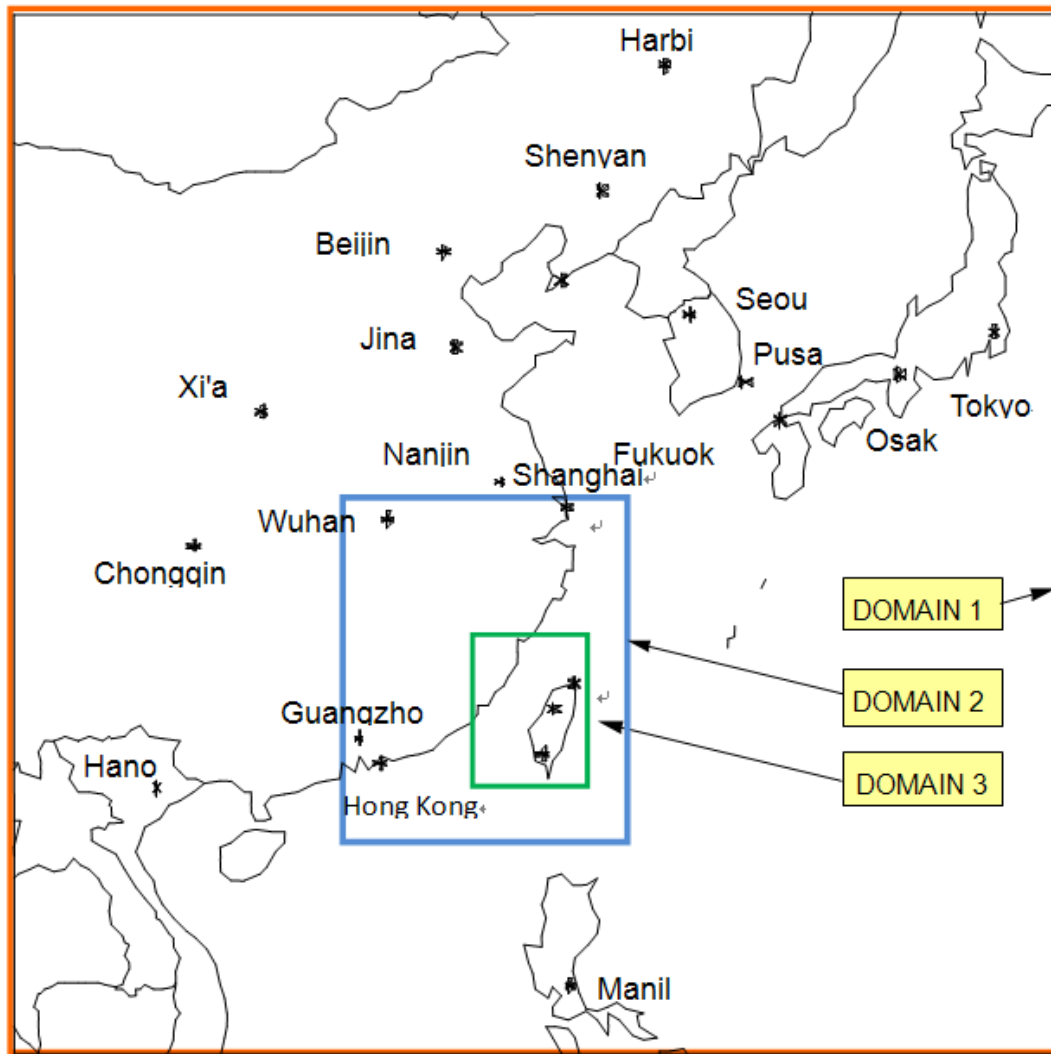


- 春季時PM₁₀污染較嚴重主要為華北地區。
- 夏季時PM₁₀污染較為輕微。
- 秋季時華北地區(北京、大同和陽泉)污染較嚴重。
- 冬季時PM₁₀污染最為嚴重。

四、空氣品質模式模擬說明



本研究選擇之三層模擬範圍示意圖



Resolution:

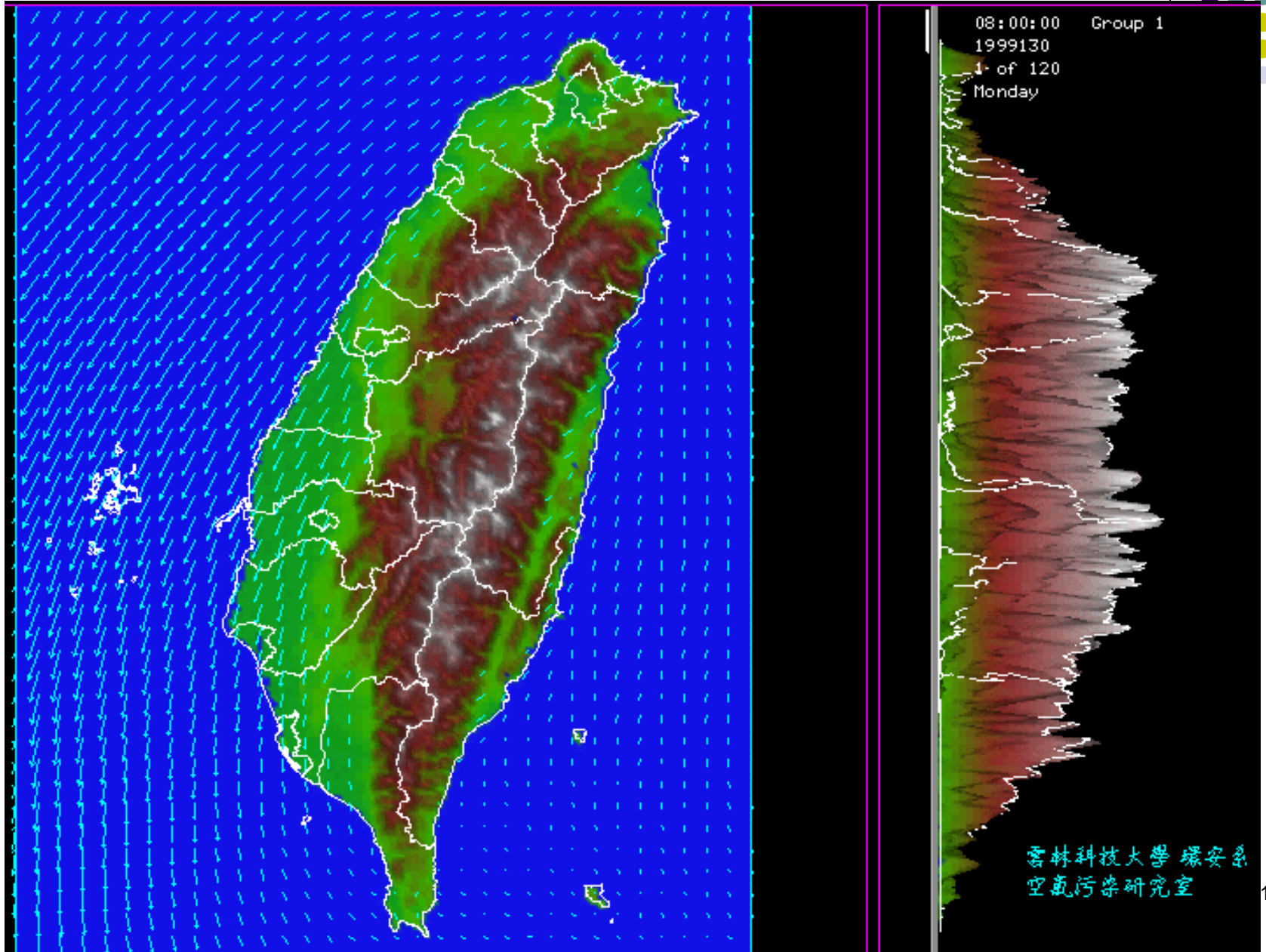
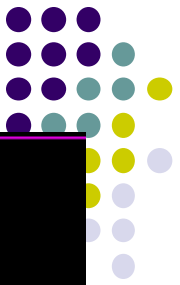
Domain 1 = 81 x 81 km²

Domain 2 = 27 x 27 km²

Domain 3 = 9 x 9 km²

大陸驗證使用**D1**模擬值、
台灣驗證使用**D3**模擬值

臭氧污染解析 - TAQM模擬動畫



四、空氣品質模式模擬說明



■ 以CMAQ進行2007全年長期之PM模擬

◆ 氣象場：MM5模擬資料

◆ 巢狀模擬技術：D1 → D3

✓ D1：大東亞地區(81 km x 81 km)

✓ D2：大陸東南省分及台灣(9 km x 9 km)

✓ D3：全台灣(9 km x 9 km)

◆ 排放資料：

✓ 大東亞地區人為源：主要為REAS (Ohara et al., 2007)推估資料

解析度: 0.5° x 0.5°

✓ 大東亞地區生物源：EABEIS (張等, 2005)

解析度: 1 km x 1 km

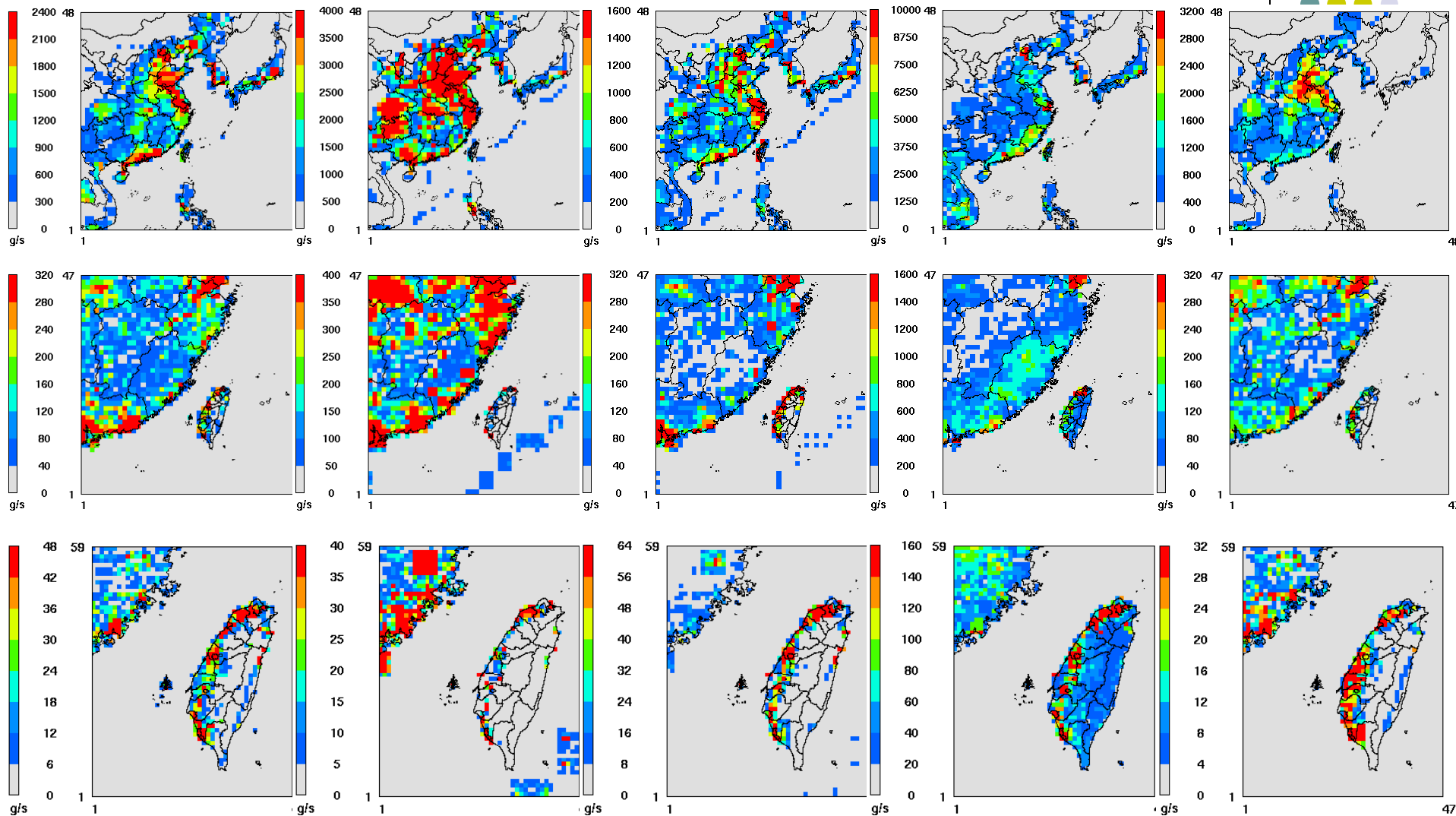
✓ 台灣地區人為源：TEDS7.0

解析度: 1 km x 1 km

✓ 台灣生物源：TBEIS (Chang et al., 2009)

解析度: 1 km x 1 km

排放量空間分佈



PM₁₀

SO_x

NO_x

NMHC

NH₃



CMAQ模式中粒狀污染物之定義

Species			Note	
PM ₁₀	PM _{2.5}	Secondary	Anth_ORG = 二次人為源有機氣膠 (人為有機碳, AOC)	
			BIO_ORG = 二次生物源有機氣膠 (生物有機碳, BOC)	
			SO ₄ = ASO4J + ASO4I (硫酸鹽)	
			NO ₃ = ANO3J + ANO3I (硝酸鹽)	
			NH ₄ = ANH4J + ANH4I (銨鹽)	
	Primary	prim_ORG = AORGPJ + AORGPI (原生有機碳, POC)		
		EC = AECJ + AECI (元素碳)		
		A25 = A25J + A25I (非特定人為源)		
	CORS			= Coarse mode (PM _{2.5-10})
	Others			= SEA + SOIL (海鹽 + 土壤)

過去一般算法：

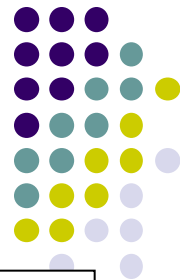
$$PM_{10} = (PM_i + PM_j + PM_c)_{dry}$$

$$PM_{2.5} = (PM_i + PM_j)_{dry}$$

I = Aitken mode

J = Accumulation mode

C = coarse mode



PM₁₀與PM_{2.5}模擬濃度之計算

- 過去一般算法未考慮：
(1)模(mode)粒徑分布

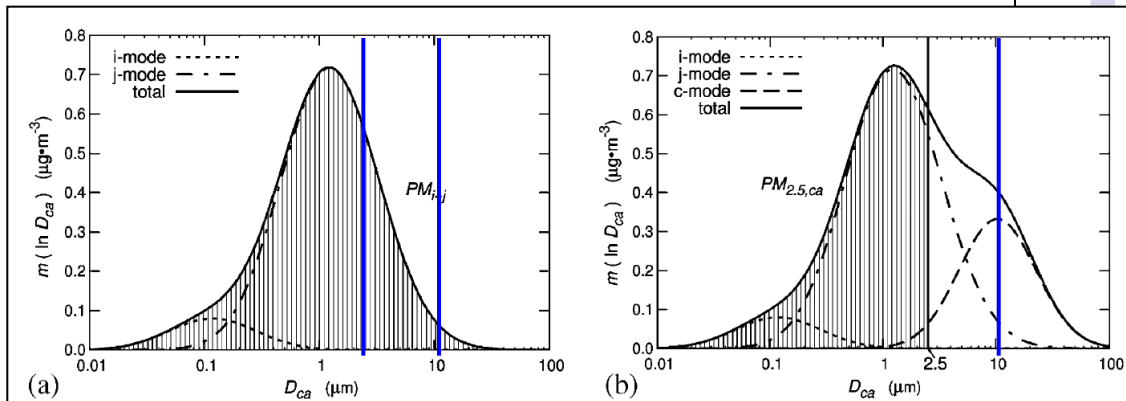
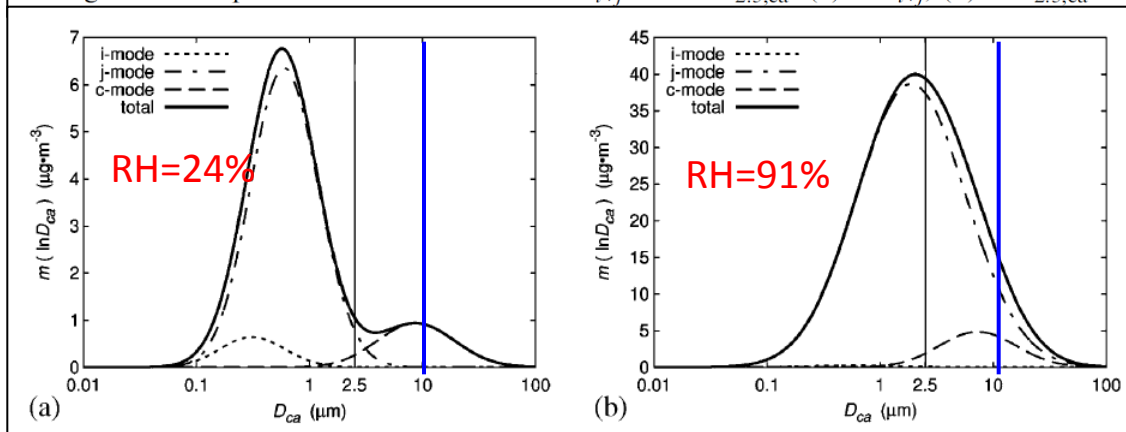


Fig. 1. Conceptual difference between PM_{*i+j*} and PM_{2.5,ca}. (a) PM_{*i+j*}; (b) PM_{2.5,ca}.

- (2)水汽之影響



- 參考Jiang et al. (2006)之方法，考慮上述二項因素，計算PM₁₀模擬值。

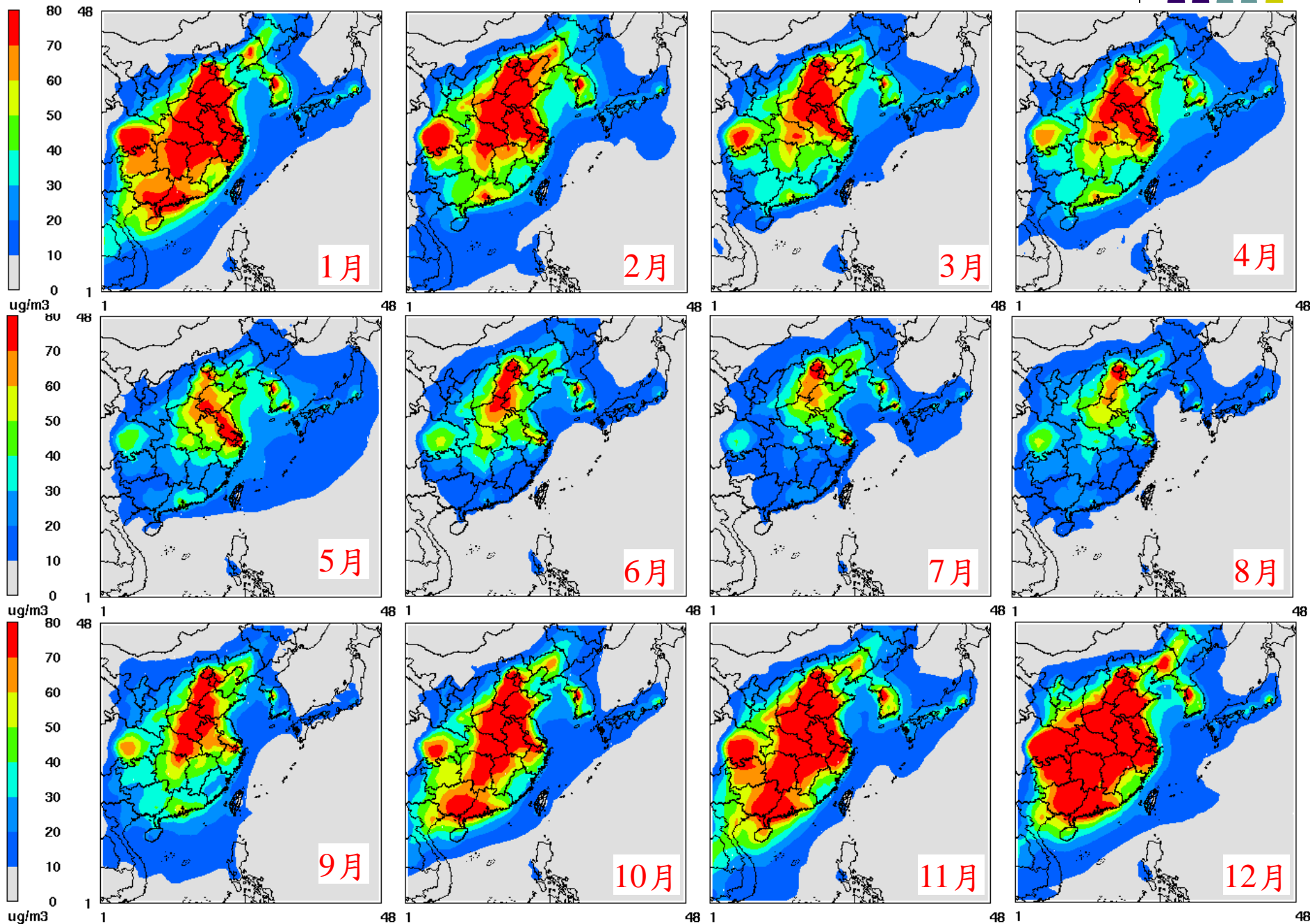
註: Jiang, W., Smyth, S., Giroux, E., Roth, H., Yin, D., 2006. Differences between CMAQ fine mode particle and PM_{2.5} concentrations and their impact on model performance evaluation in the lower Fraser valley. Atmospheric Environment 40, 4973-4985, 2006.



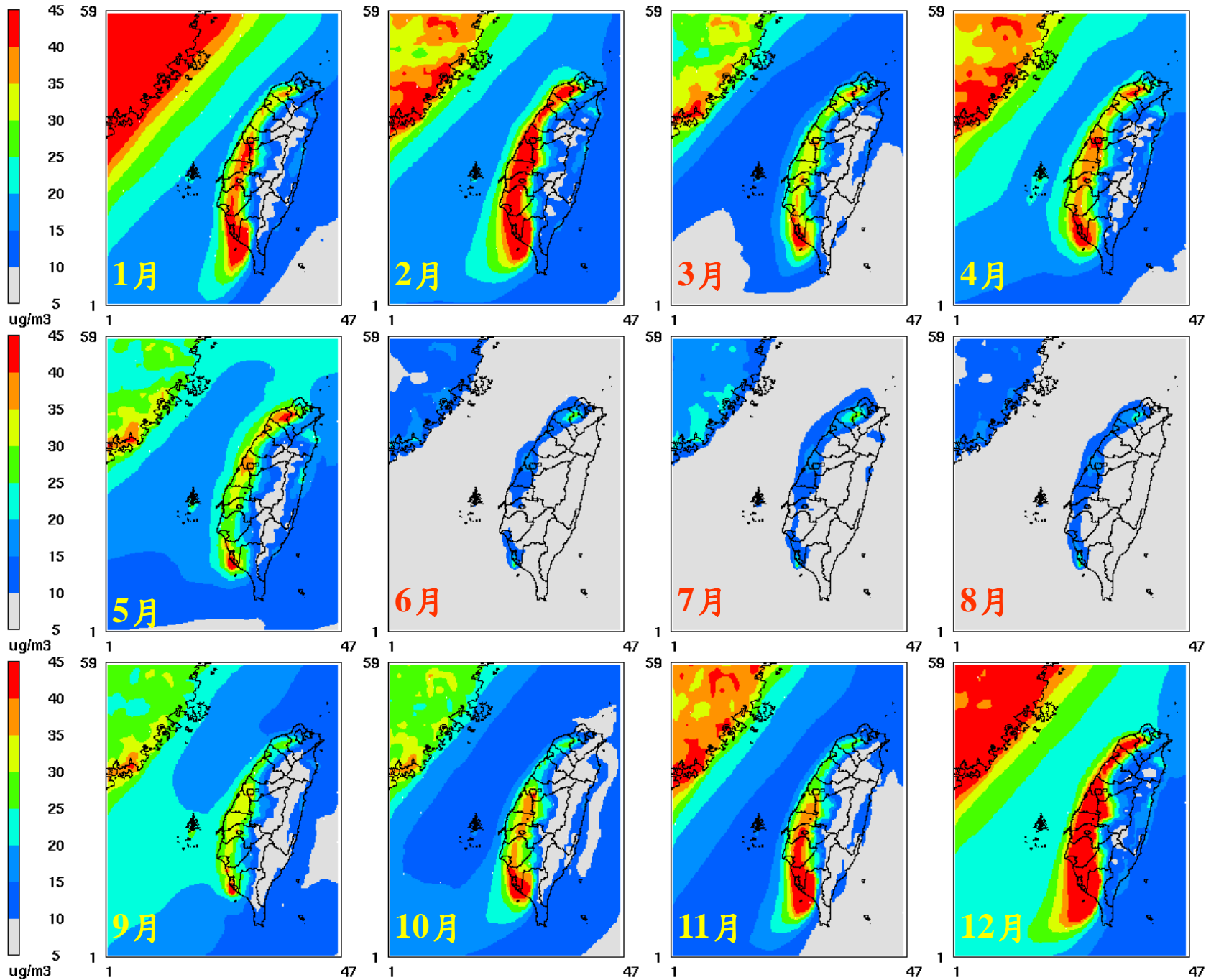
五、海峽兩岸PM₁₀之模擬驗證

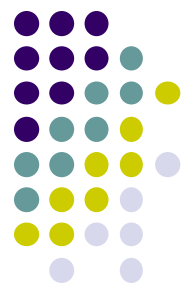
- PM₁₀與其成分、前驅物模擬濃度空間分布
- 台灣測站之模擬驗證
- 中國大陸之模擬驗證

2007年PM_{2.5}月平均濃度空間分布 - D1



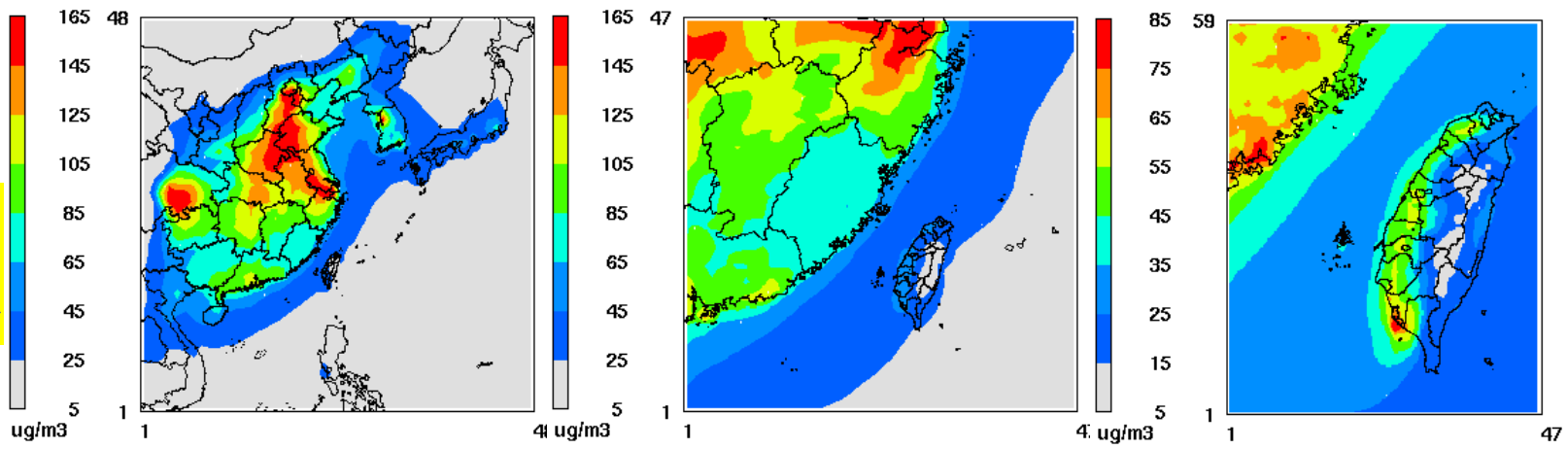
2007年
PM_{2.5}
月平均
濃度空
間分布



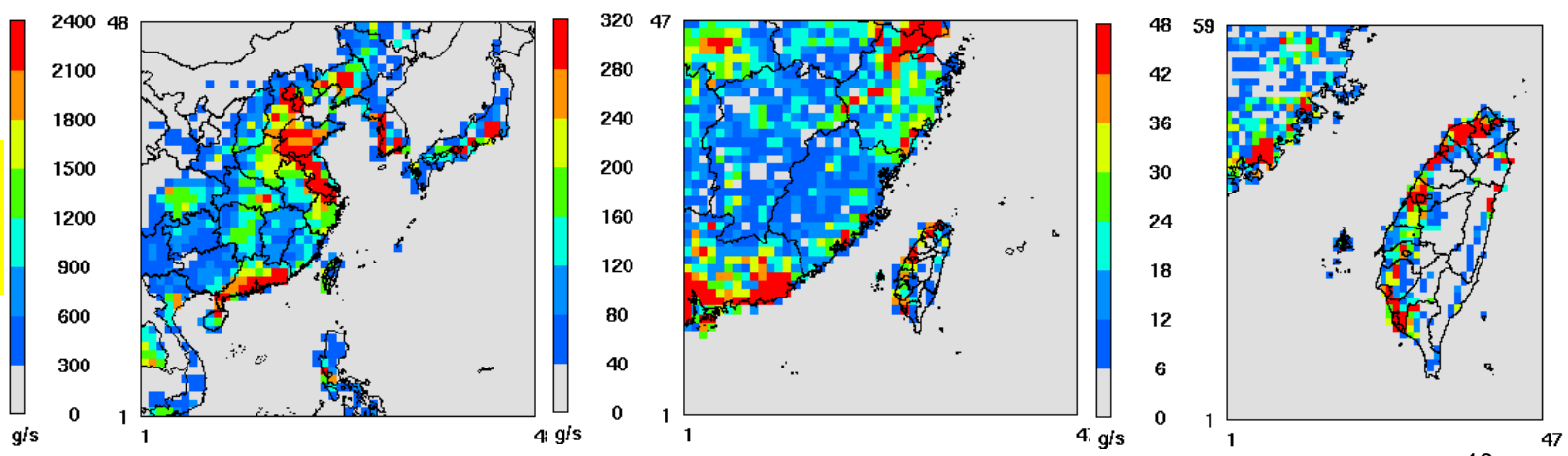


PM₁₀模擬濃度與排放量空間分布

PM₁₀
年平均濃度



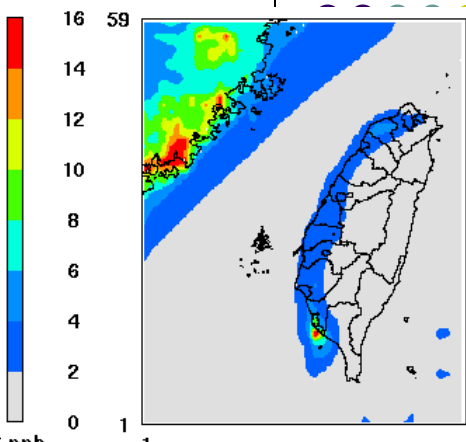
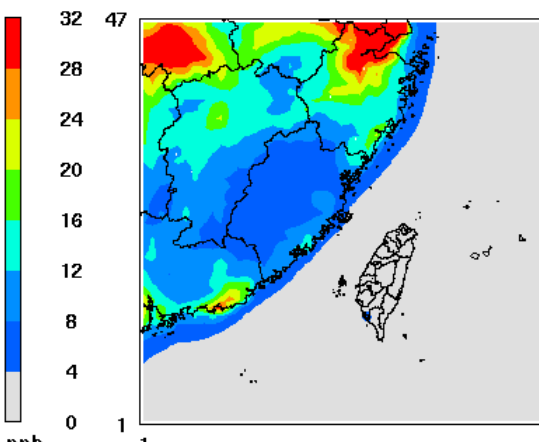
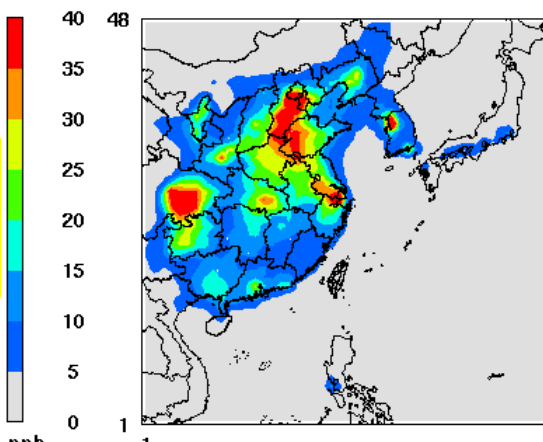
PM₁₀
排放量



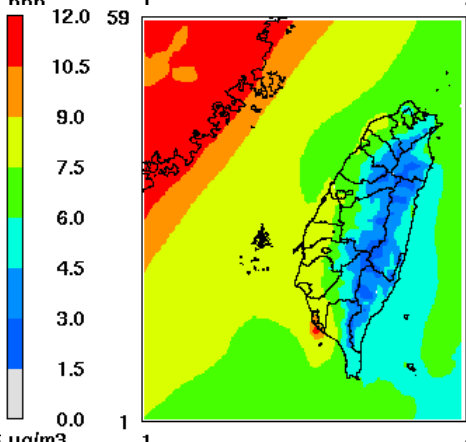
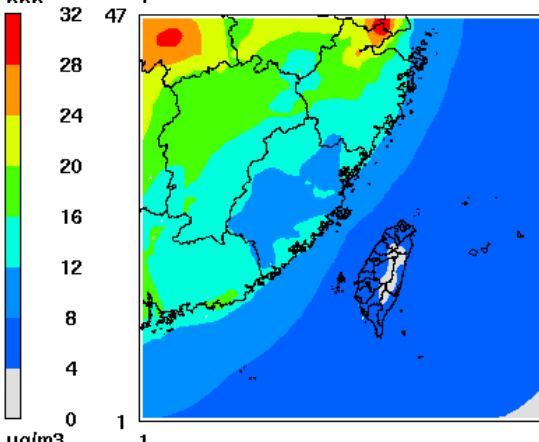
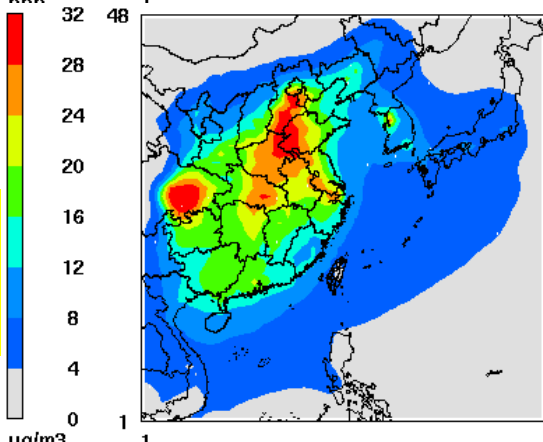
PM₁₀成分、前驅物模擬濃度與排放量空間分布(1/4)



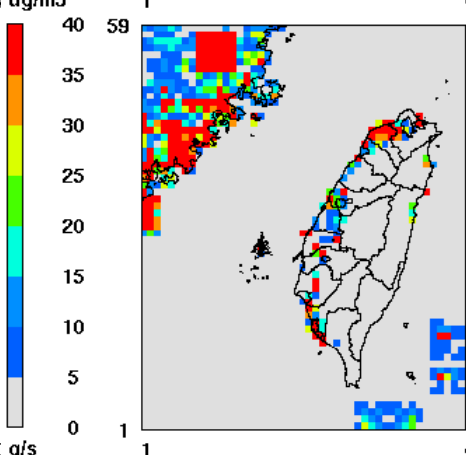
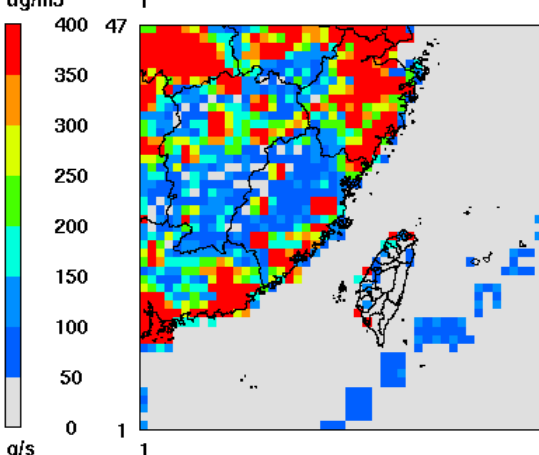
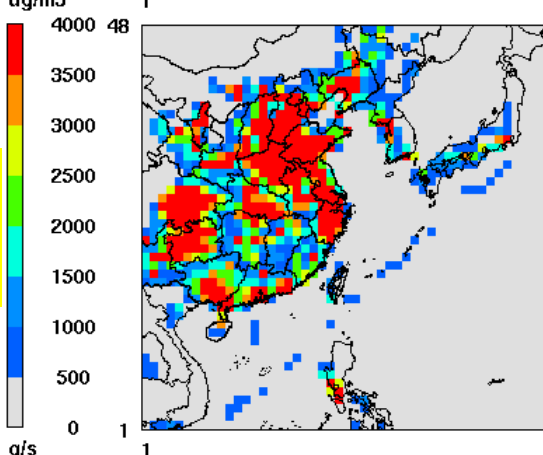
SO₂
年平均濃度



PM中SO₄²⁻
年平均濃度



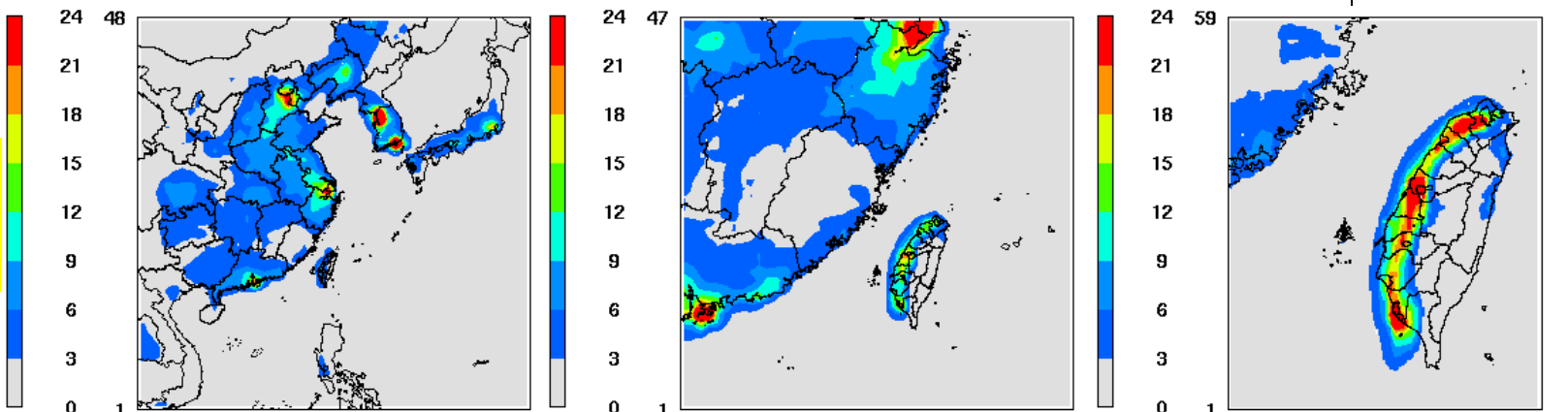
SO_x
排放量



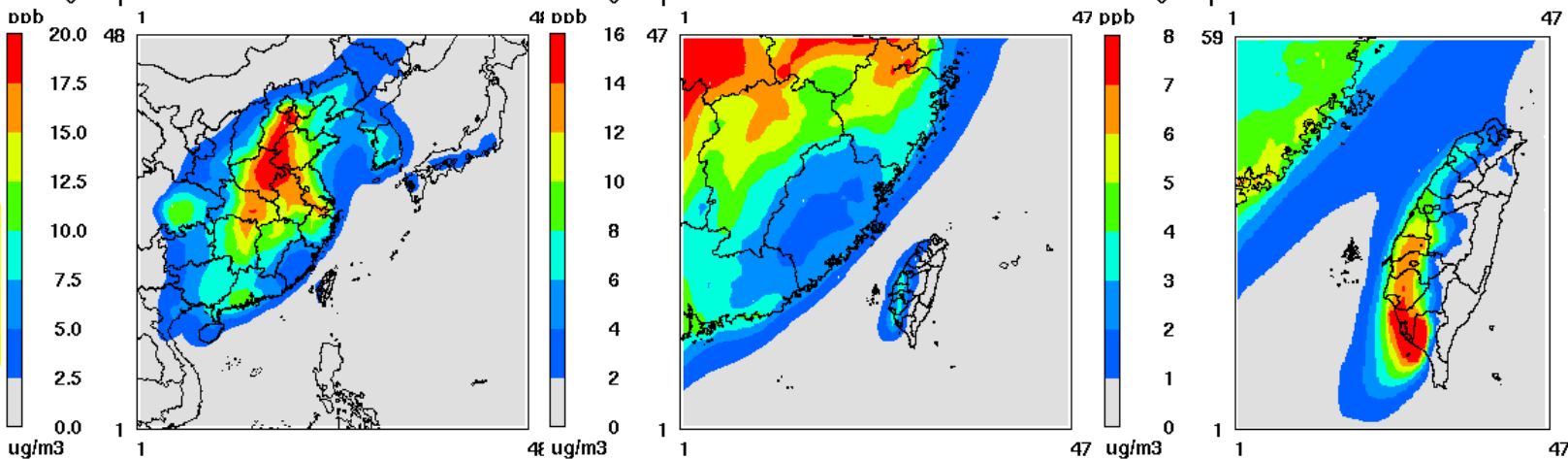
PM₁₀成分、前驅物模擬濃度與排放量空間分布(2/4)



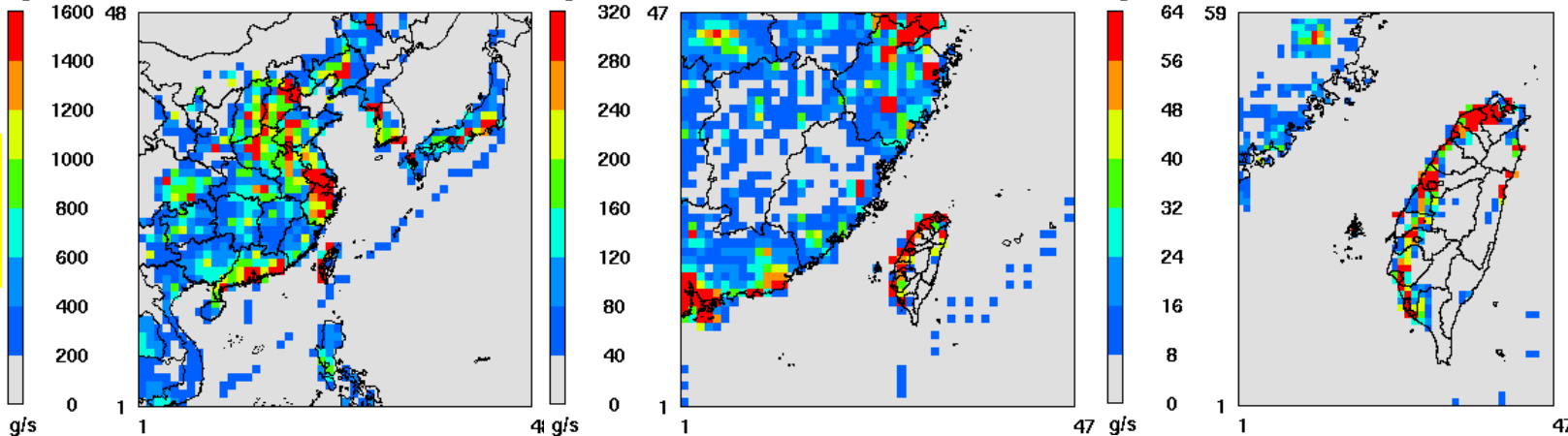
NO_x
年平均濃度



PM中NO₃⁻
年平均濃度



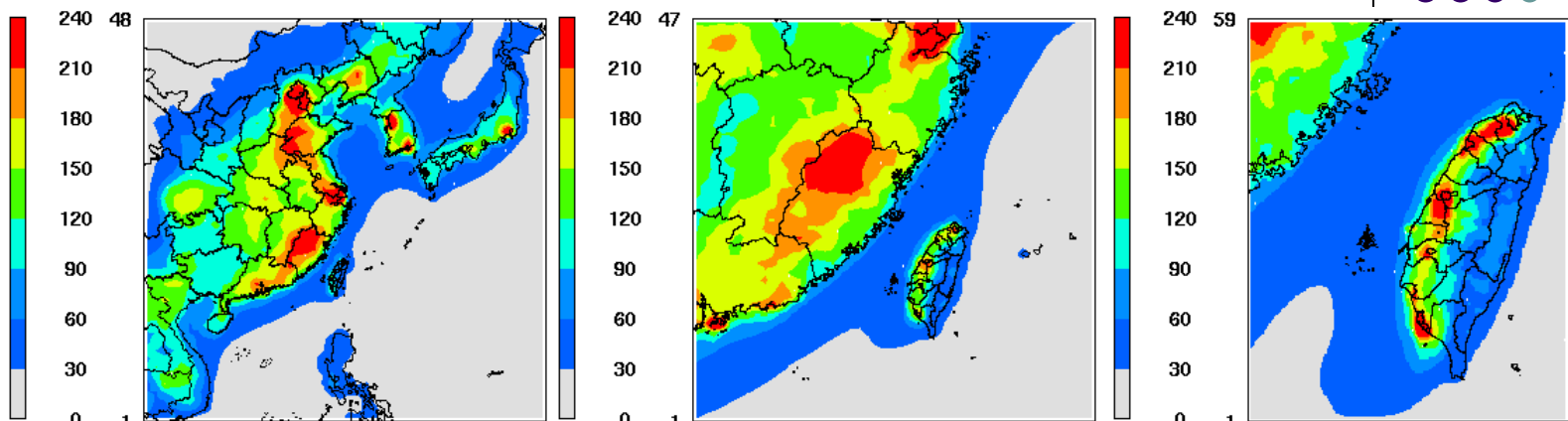
NO_x
排放量



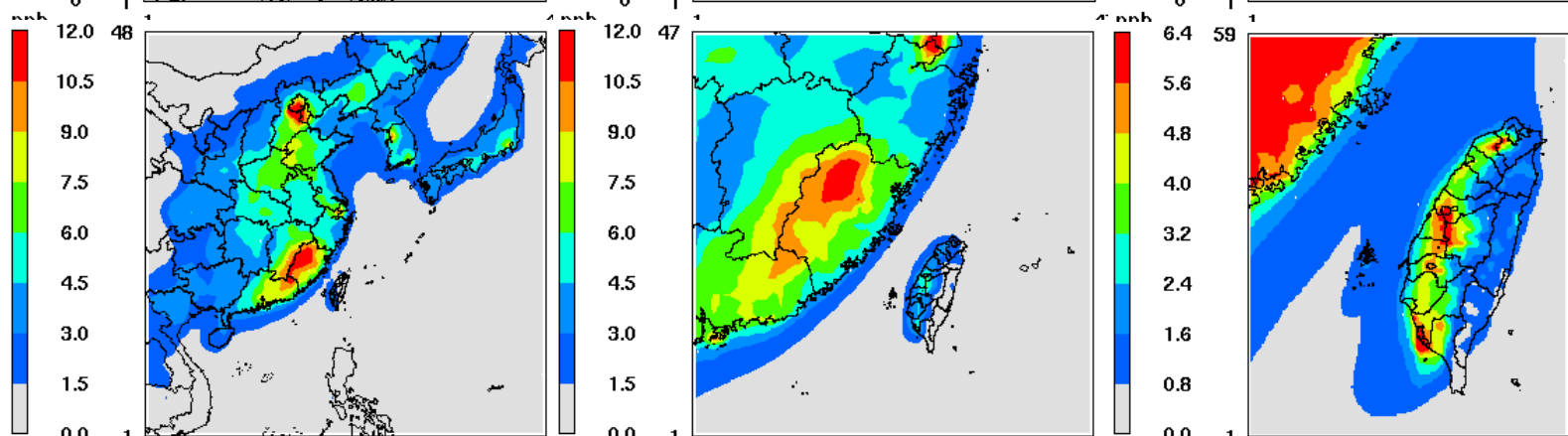
PM₁₀成分、前驅物模擬濃度與排放量空間分布(3/4)



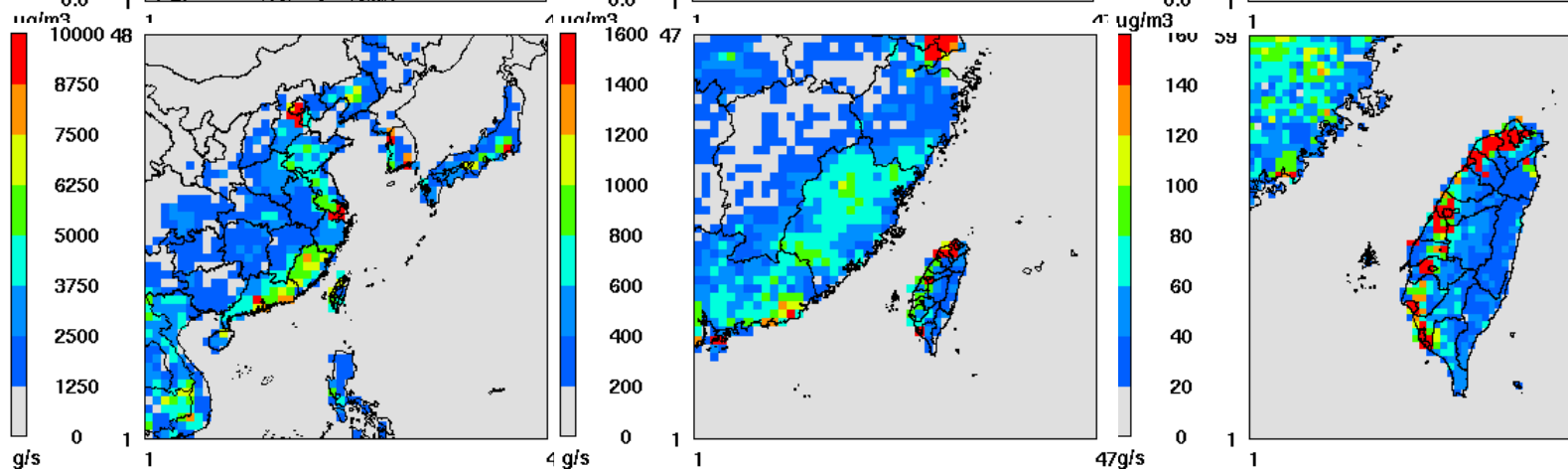
NMHC
年平均濃度



PM中OM
年平均濃度



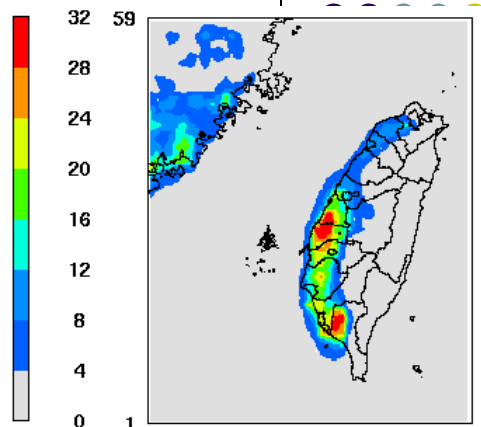
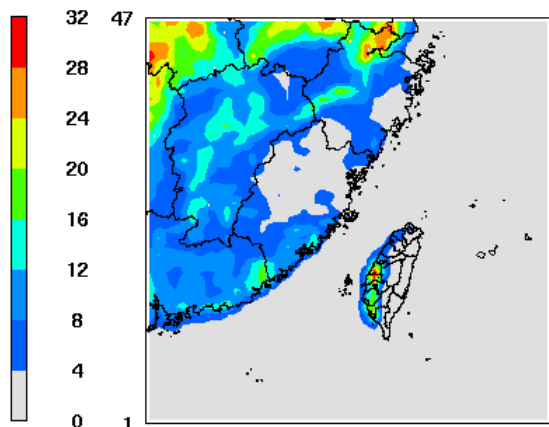
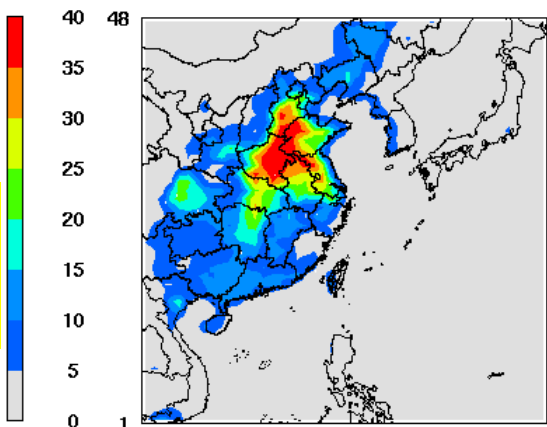
NMHC
排放量



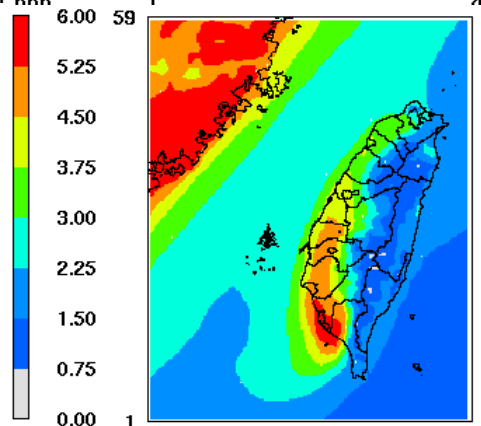
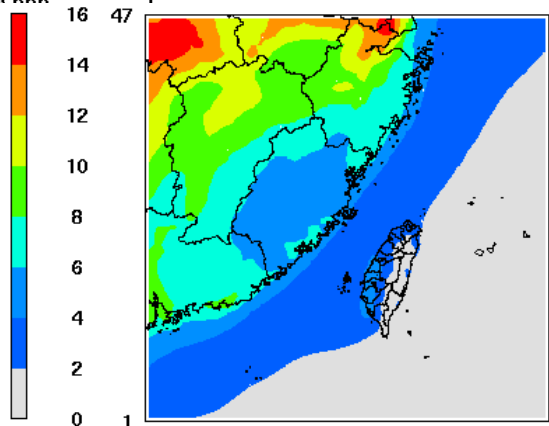
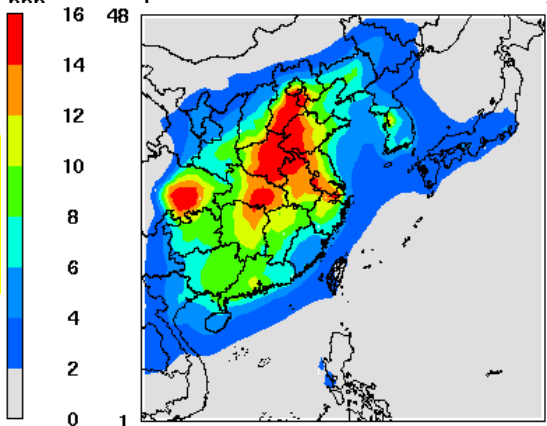
PM₁₀成分、前驅物模擬濃度與排放量空間分布(4/4)



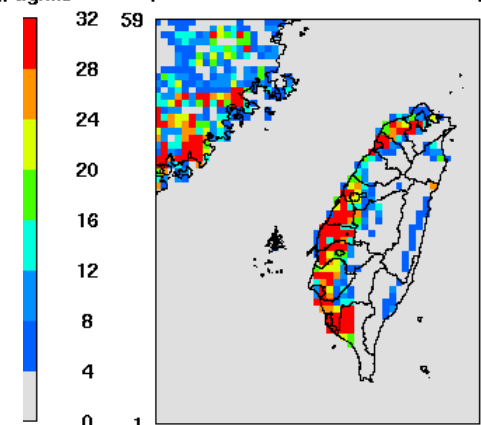
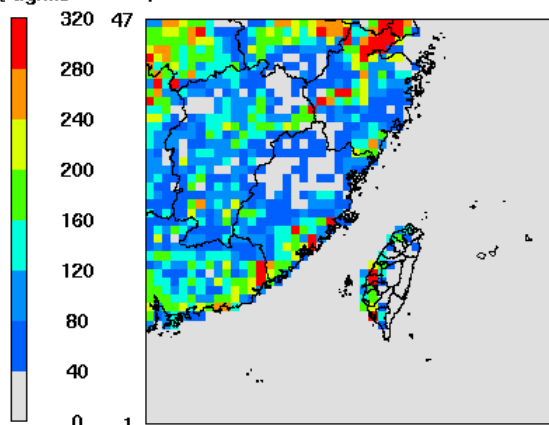
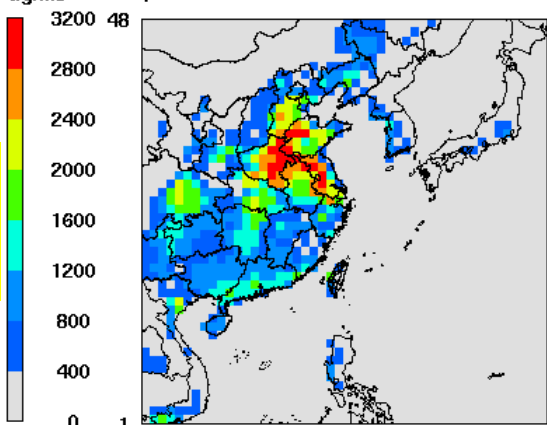
NH₃
年平均濃度



PM中NH₄⁺
年平均濃度

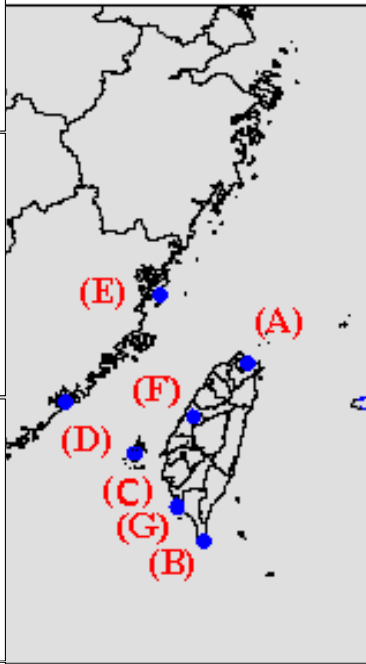
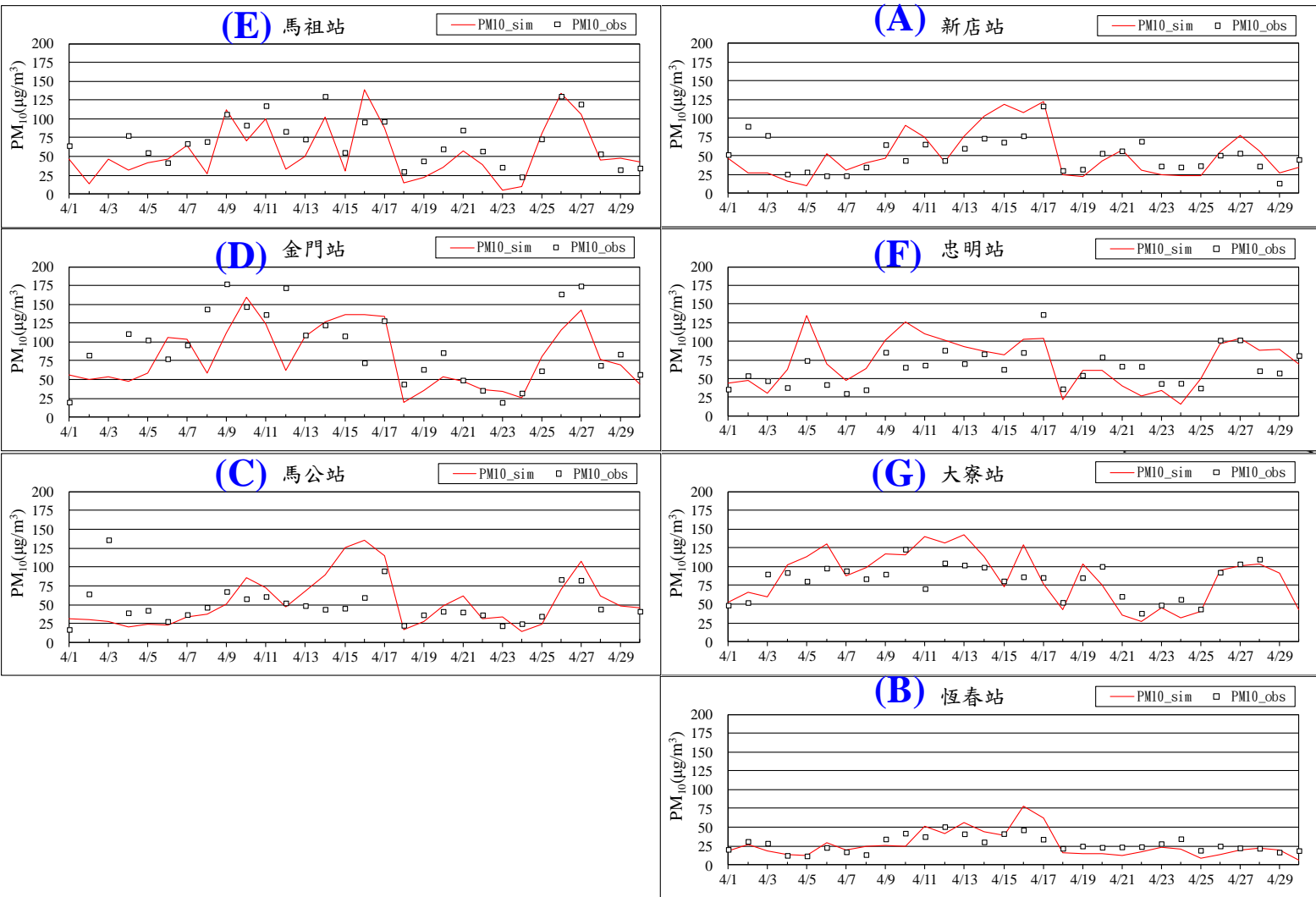


NH₃
排放量

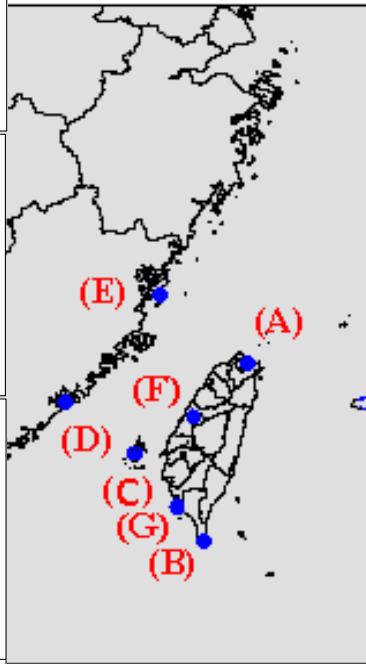
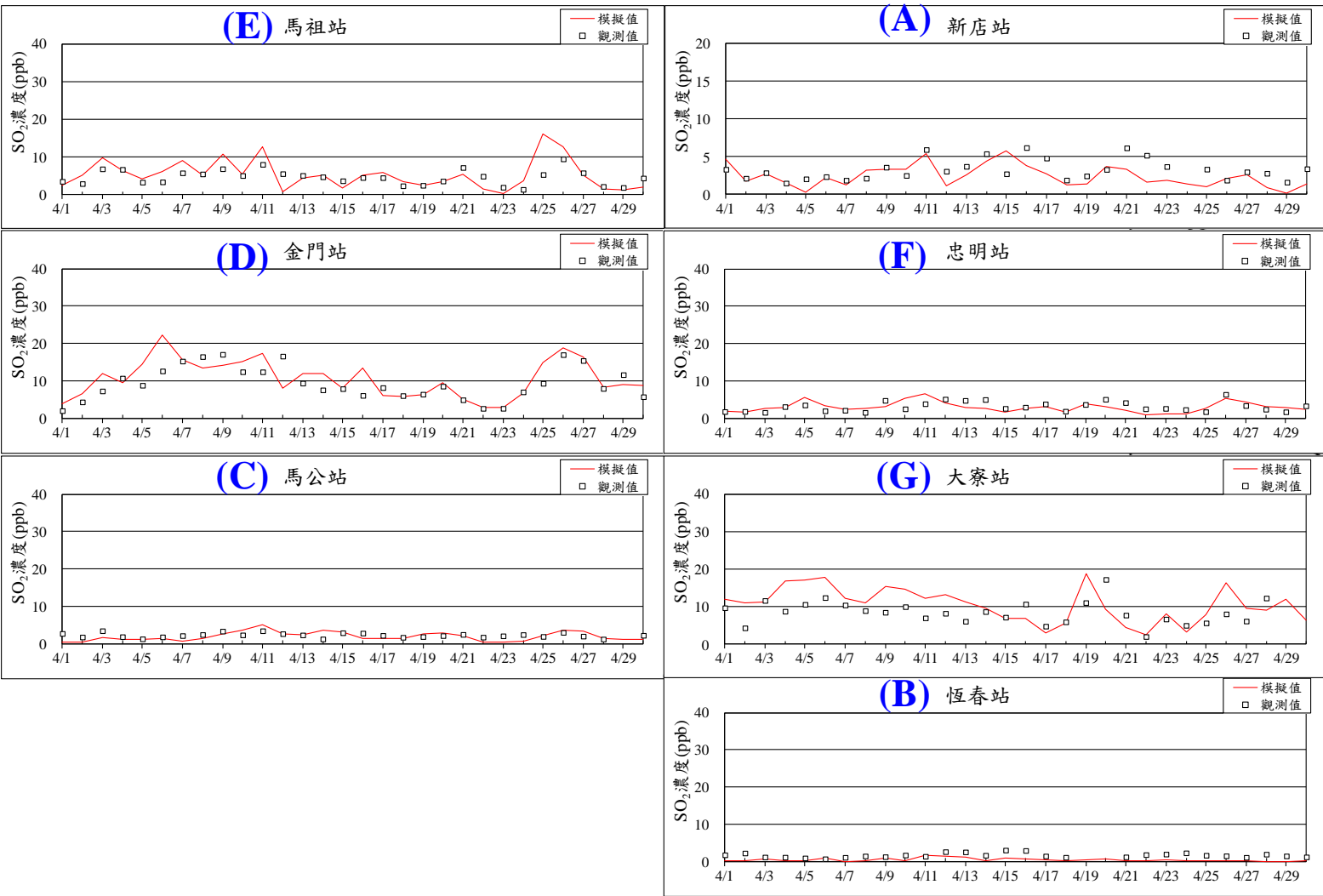
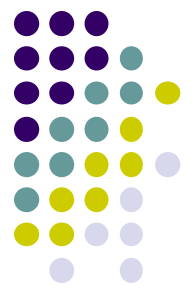


五、海峽兩岸PM₁₀之模擬驗證

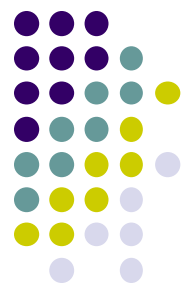
PM₁₀模擬驗證—台灣一般測站(2007年4月)



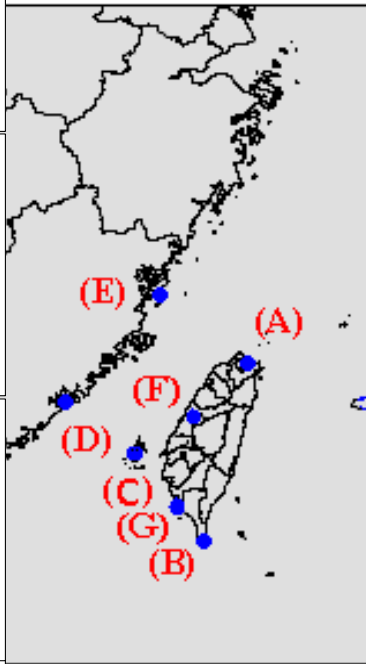
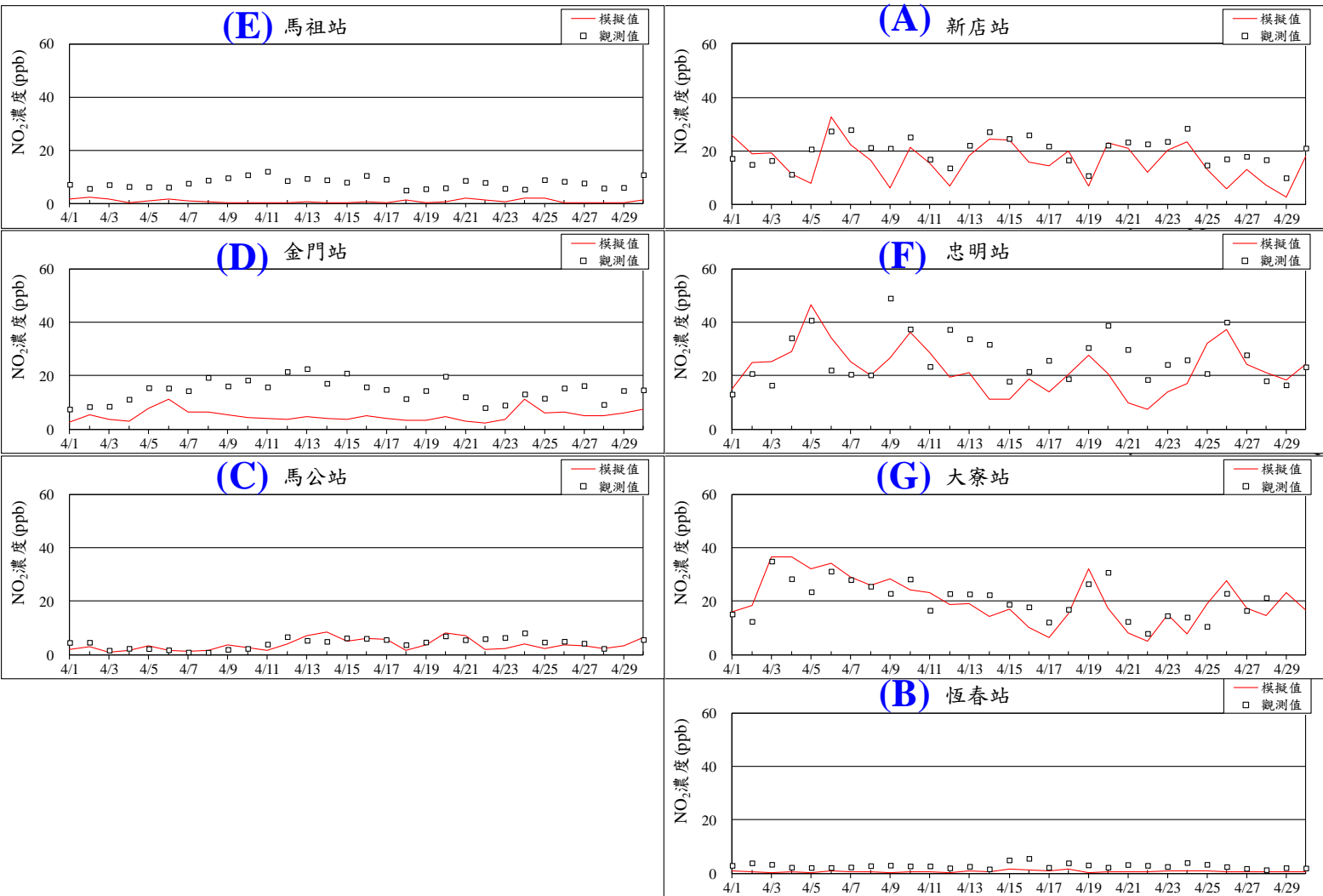
SO₂模擬驗證—台灣一般測站(2007年4月)



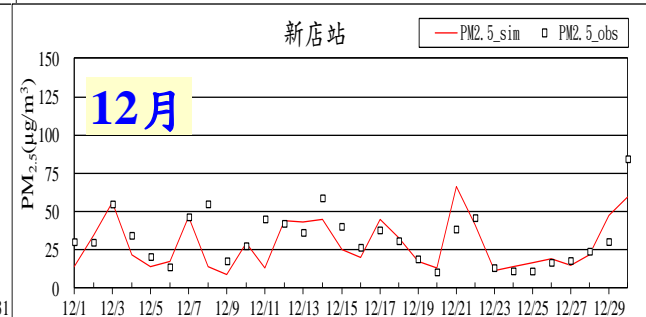
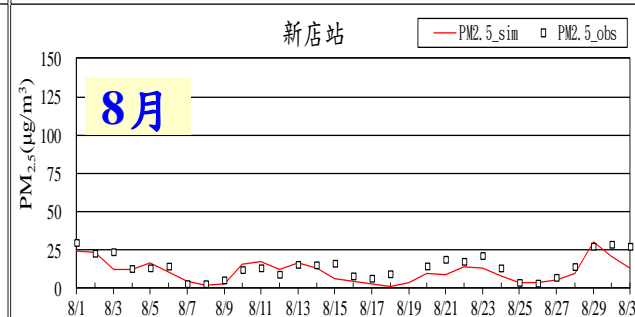
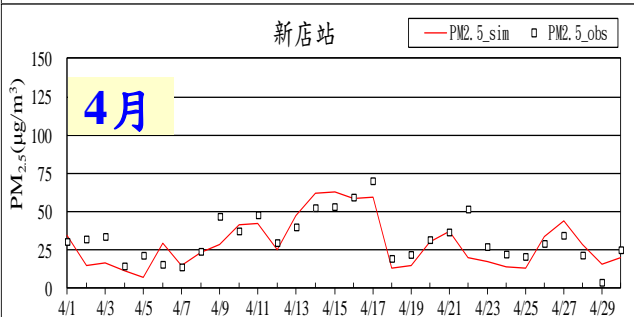
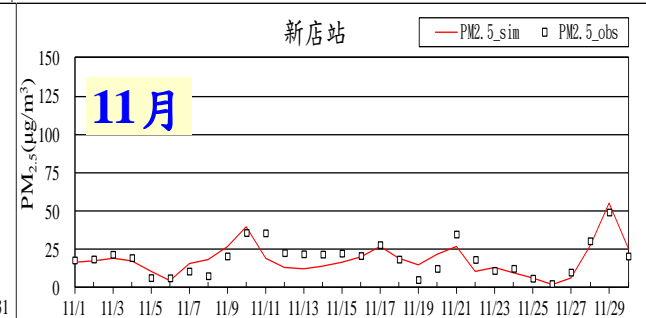
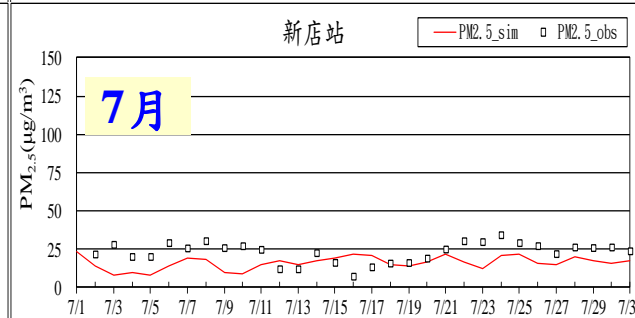
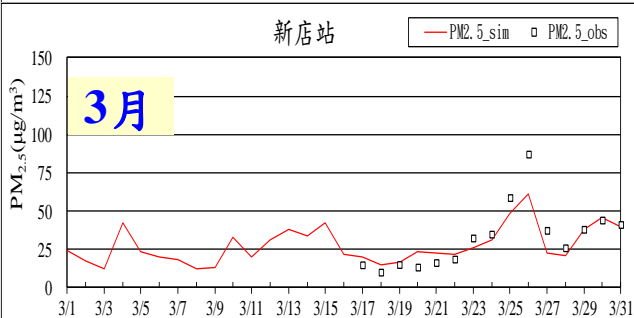
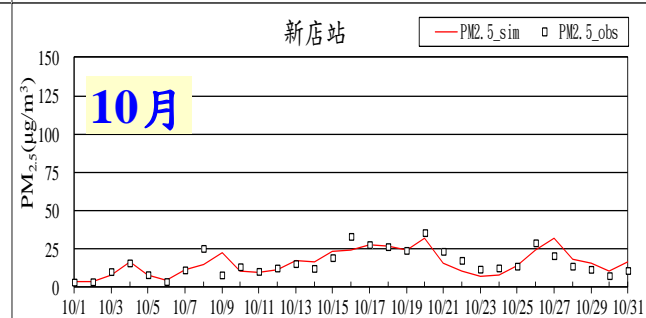
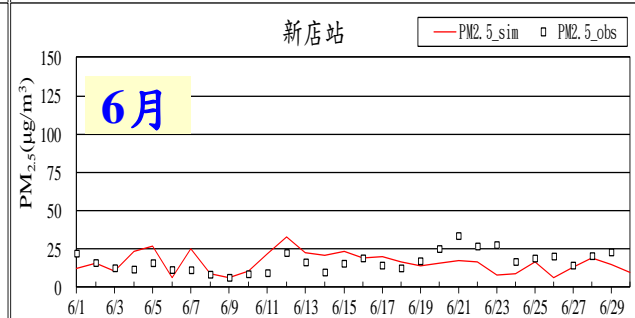
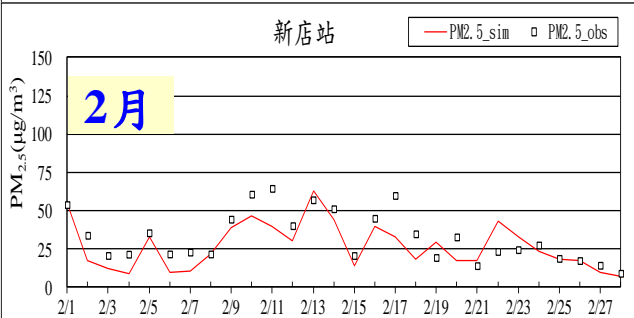
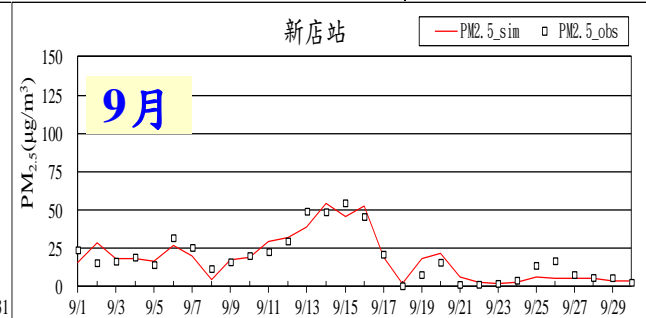
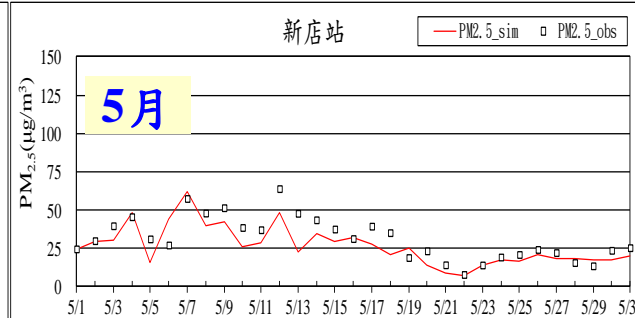
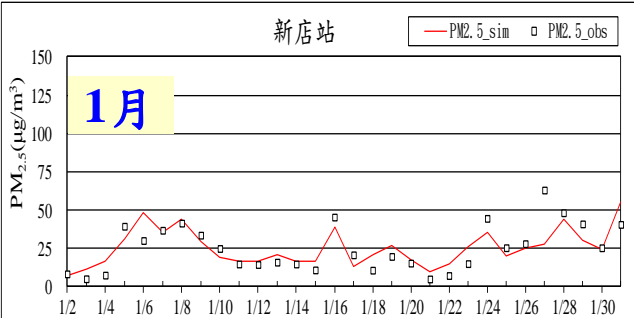
五、海峽兩岸PM₁₀之模擬驗證

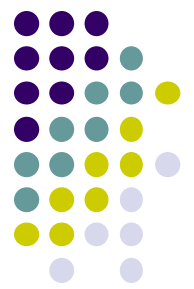


NO₂模擬驗證—台灣一般測站(2007年4月)

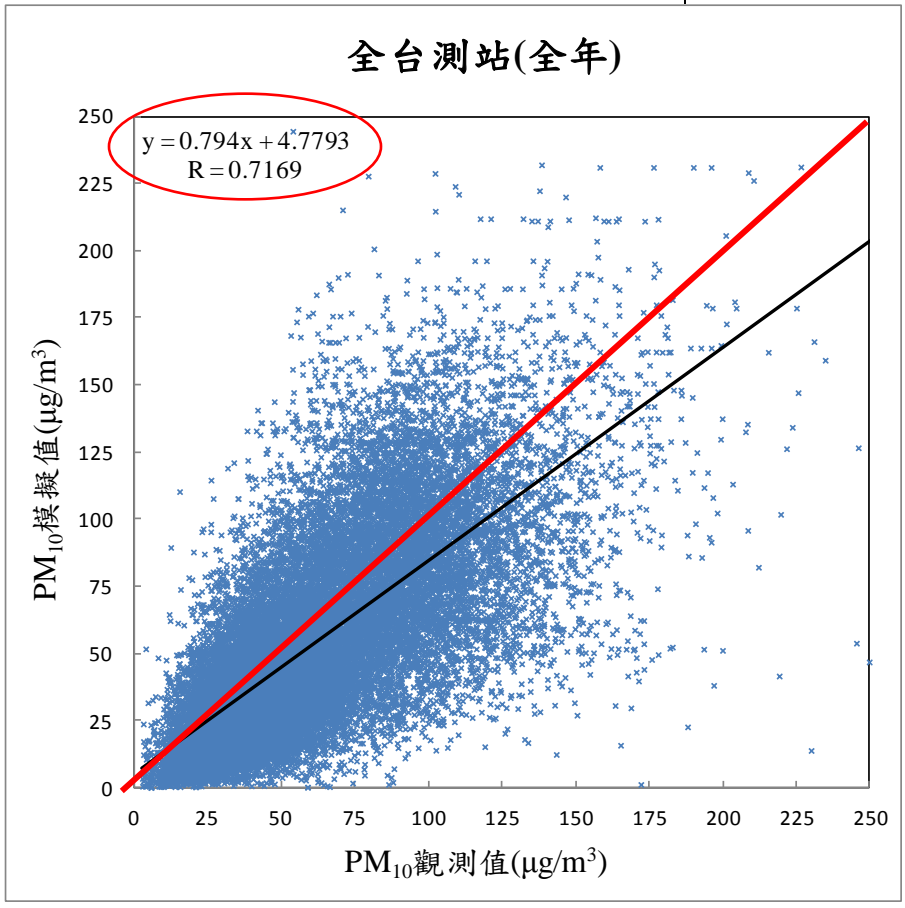
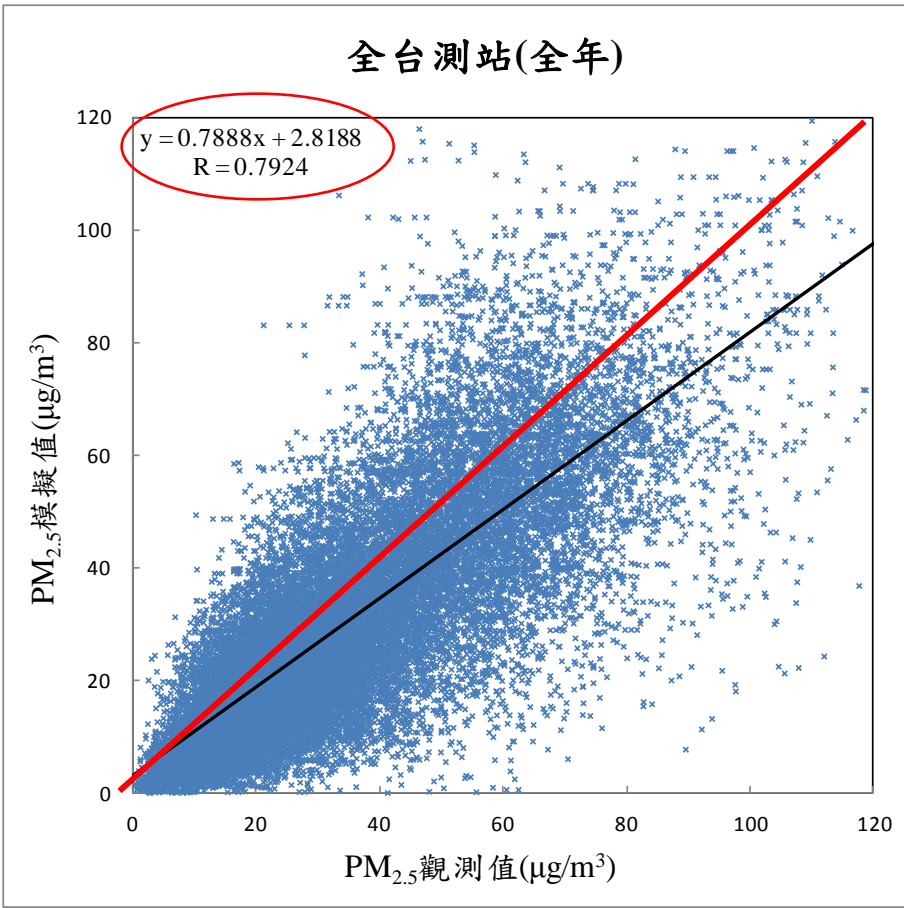


PM_{2.5} 模擬驗證 - 新店一般測站(2007年)





PM模擬驗證 - 台灣所有一般測站(2007全年)

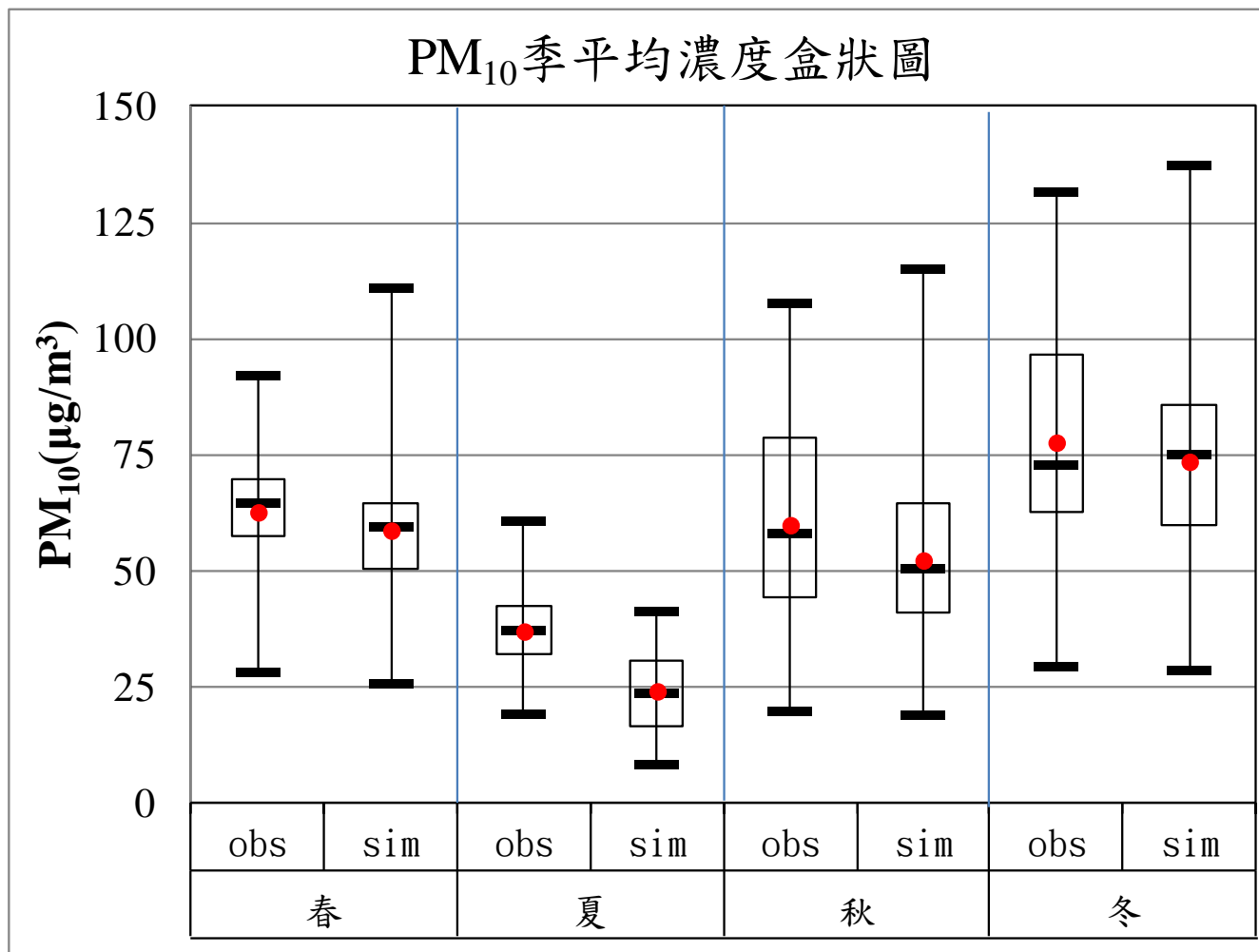


台灣所有一般測站PM_{2.5}日均值

台灣所有一般測站PM₁₀日均值



台灣所有一般測站觀測及模擬季平均值濃度比較





PM₁₀及前驅物模擬驗證 - 台灣一般測站(2007全年)

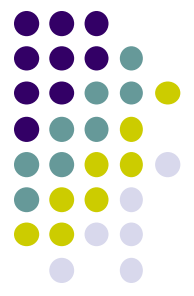


空品區 測站	PM ₁₀		SO ₂		NO ₂	
	OB (%)	GE (%)	OB (%)	GE (%)	OB (%)	GE (%)
北部	-9.4	39.0	-33.3	45.5	-13.5	37.2
竹苗	-1.6	38.0	-18.6	44.0	13.8	38.7
中部	-10.3	36.2	-21.9	47.5	14.2	44.8
雲嘉南	-23.4	36.8	-23.5	42.0	9.1	32.0
高屏	-7.1	35.8	1.1	51.2	12.1	41.0
花東	-8.3	40.2	-39.6	55.3	-39.7	49.0
宜蘭	-24.2	47.8	-48.3	61.7	-49.6	52.5
離島	-12.4	40.2	-11.6	53.8	-54.4	63.2
全台 平均	-10.8	37.9	-21.7	47.4	-2.1	40.4

● OB：常化偏差(overall bias)；GE：絕對誤差(gross error)

$$OB = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N \left(\frac{P_{i,k} - O_{i,k}}{O_{i,k}} \right) \quad GE = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N \left| \frac{P_{i,k} - O_{i,k}}{O_{i,k}} \right|$$

五、海峽兩岸PM₁₀之模擬驗證

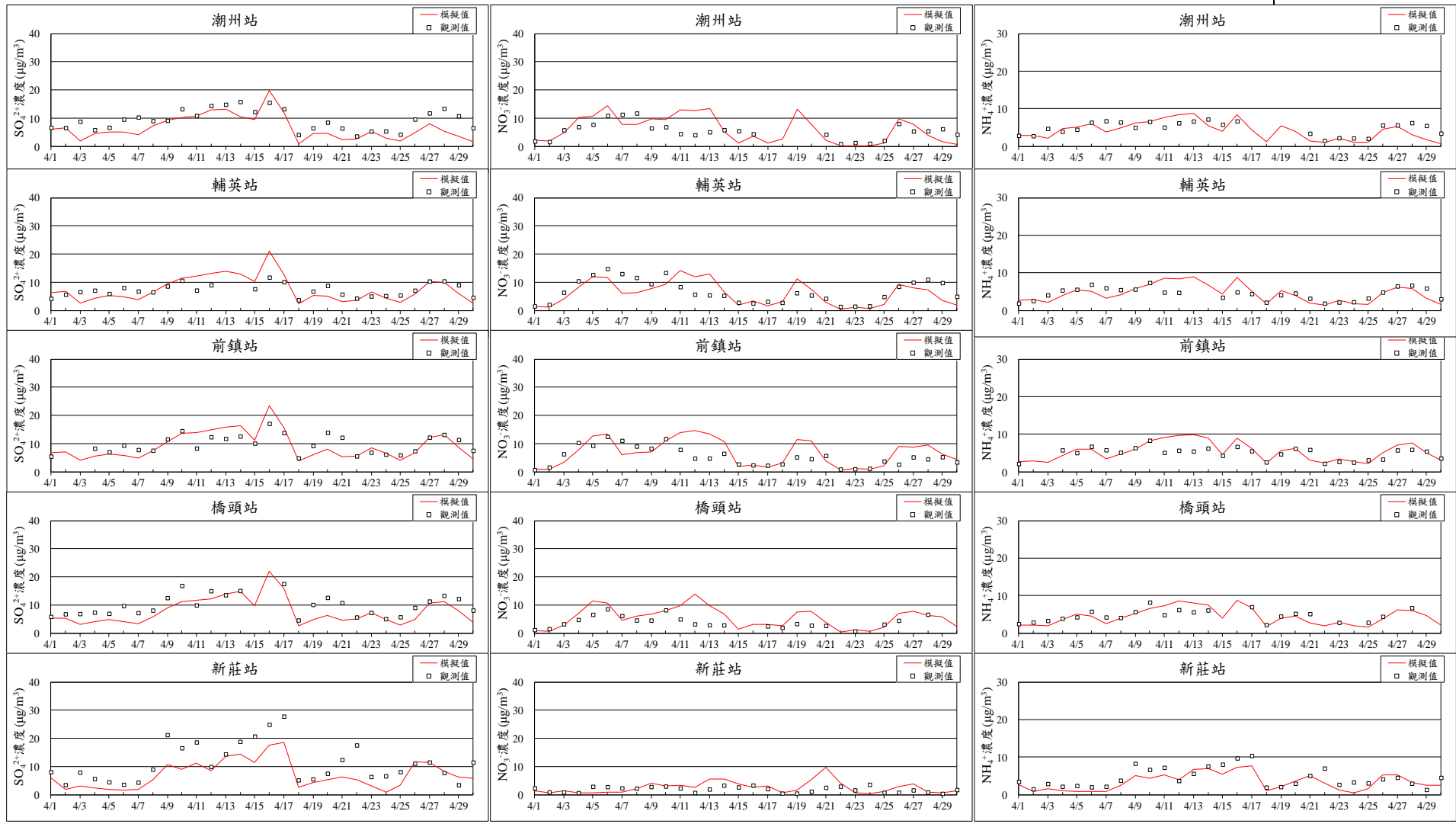


PM_{2.5}成分模擬驗證 - 台灣超級測站(2007年4月)

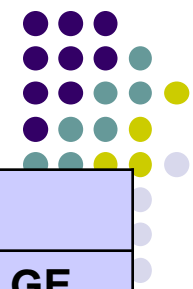
SO₄²⁻

NO₃⁻

NH₄⁺



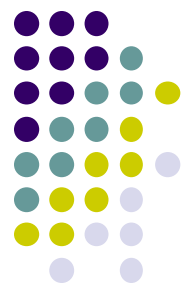
超級測站所有測站性能評估之平均結果



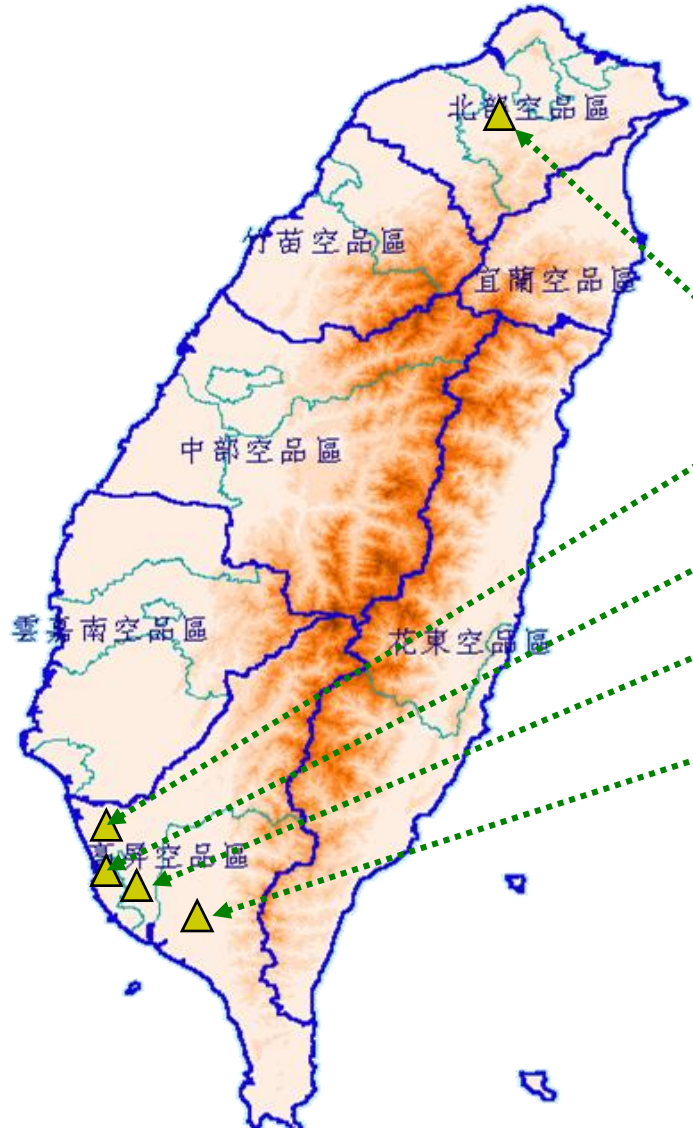
月份	PM _{2.5}		SO ₄ ²⁻		NO ₃ ⁻		NH ₄ ⁺	
	OB	GE	OB	GE	OB	GE	OB	GE
一月份	30.5	41.8	-46.9	49.1	62.6	97.0	-27.2	36.8
二月份	45.2	54.2	-20.4	35.4	65.0	79.4	7.1	34.1
三月份	77.1	90.2	-32.7	36.3	5.5	51.0	-18.4	29.7
四月份	40.7	50.4	-21.5	32.3	30.5	65.8	-6.8	29.0
五月份	16.9	35.3	-28.6	35.4	10.8	76.0	-20.6	34.7
六月份	5.5	46.8	-30.0	42.1	-64.5	83.2	-53.5	54.5
七月份	-8.9	35.5	-39.5	41.5	-43.8	68.8	-48.8	49.5
八月份	-12.4	40.9	-56.4	57.3	-64.2	71.8	-57.5	57.8
九月份	0.2	36.8	-38.9	48.7	-13.0	59.7	-34.5	45.0
十月份	14.2	34.9	-44.5	52.7	40.1	75.2	-27.5	39.8
十一月份	27.7	34.4	-47.5	51.0	54.5	84.1	-24.3	37.1
十二月份	40.4	42.4	-47.6	48.4	60.1	71.0	-19.6	29.7
全年平均	23.1	45.3	-37.9	44.2	12.0	73.6	-27.6	39.8

$$OB = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N \left(\frac{P_{i,k} - O_{i,k}}{O_{i,k}} \right) \quad GE = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N \left| \frac{P_{i,k} - O_{i,k}}{O_{i,k}} \right|$$

$P_{i,k}$ = 第i日第k測站之模擬濃度
 $O_{i,k}$ = 第i日第k測站之監測濃度
 N = 所有模擬日數
 M = 所有測站數

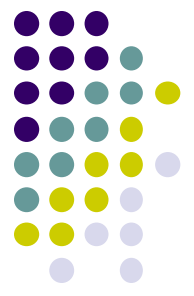


PM_{2.5}成分模擬驗證 - 台灣超級測站(2007全年)

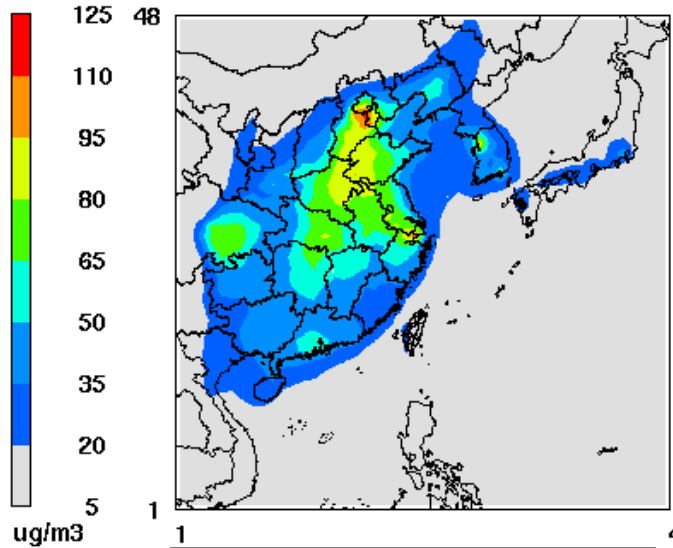


測站名	SO ₄ ²⁻		NO ₃ ⁻		NH ₄ ⁺	
	OB (%)	GE (%)	OB (%)	GE (%)	OB (%)	GE (%)
新莊站	-29.1	41.4	63.1	106.2	-19.9	36.6
橋頭站	-50.1	52.3	-7.4	54.9	-40.9	43.2
前鎮站	-25.5	32.8	24.9	79.3	-12.3	34.7
輔英站	-34.7	42.1	-13.0	58.1	-28.3	38.0
潮州站	-49.9	52.3	-7.8	69.4	-36.8	46.6
測站平均	-37.9	44.2	12.0	73.6	-27.6	39.8

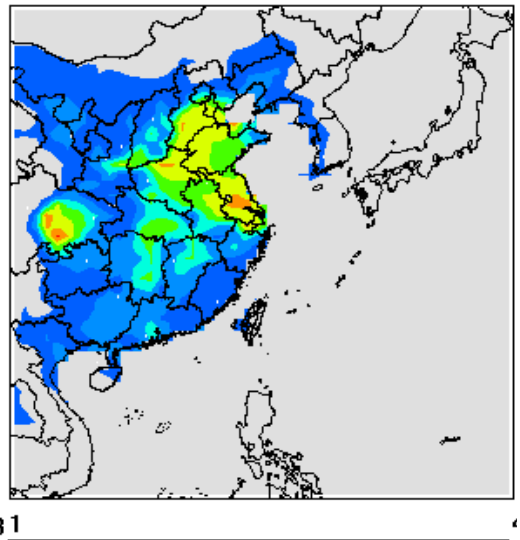
- 觀測與模擬PM組成份均為PM_{2.5}的成分質量濃度
- 觀測NH₄⁺以SO₄²⁻/(96/2) + NO₃⁻/(62/1))*17推估
- OB：常化偏差(overall bias)
- GE：絕對誤差(gross error)



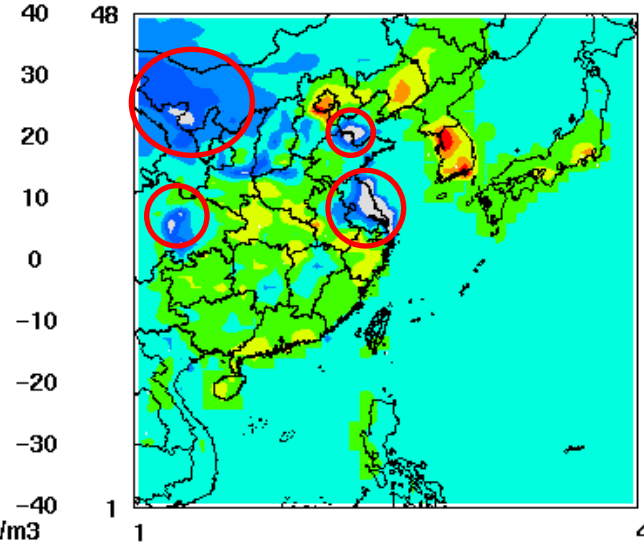
PM_{2.5}模擬驗證 - 中國大陸之衛星反衍濃度(2007全年)



PM_{2.5}年平均**模擬**濃度 (2007年)

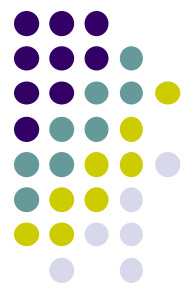


PM_{2.5}年平均**衛星反衍**濃度(2001-2006年)
(van Donkelaar et al., 2010)



模擬之**誤差**

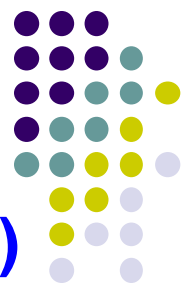
(A) - (B) = (A - B)



PM₁₀模擬驗證－中國大陸網站公佈之重點城市數據

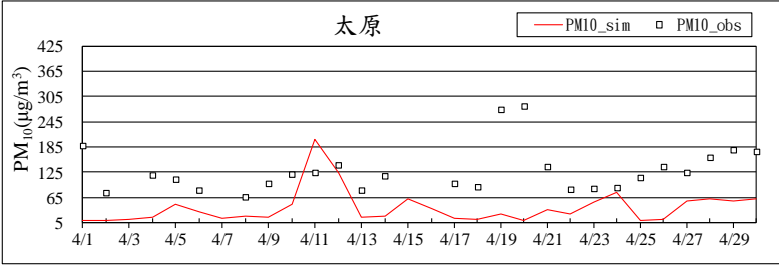


中國大陸六大地區及86個重點城市分布圖

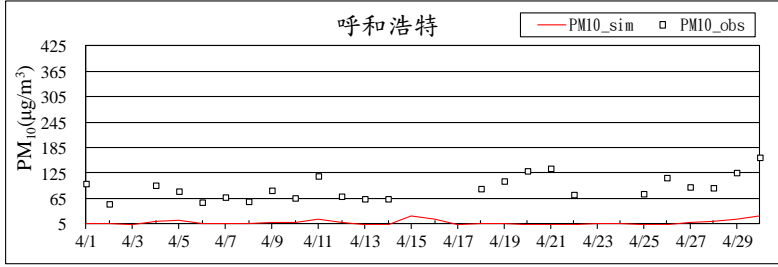


PM₁₀模擬驗證 - 大陸網站公佈之重點城市數據(2007年4月)

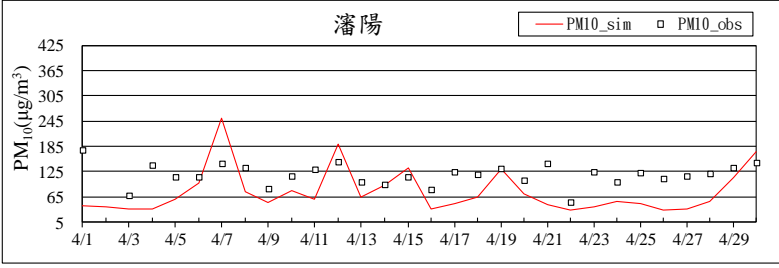
華北
山西



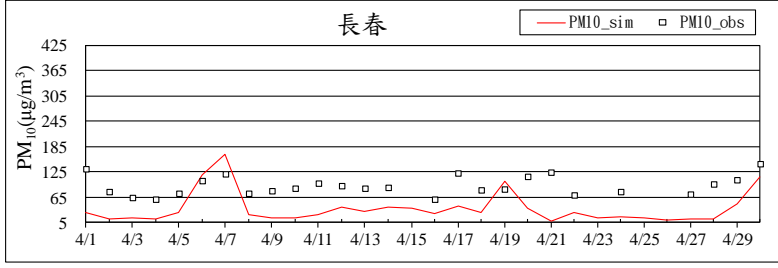
華北
內蒙



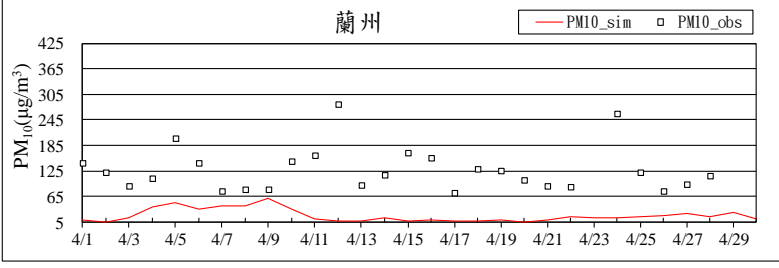
東北
遼寧



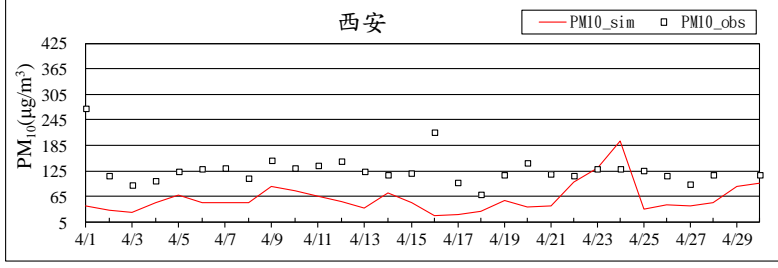
東北
吉林



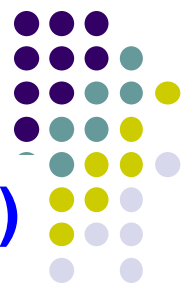
西北
甘肅



西北
陝西

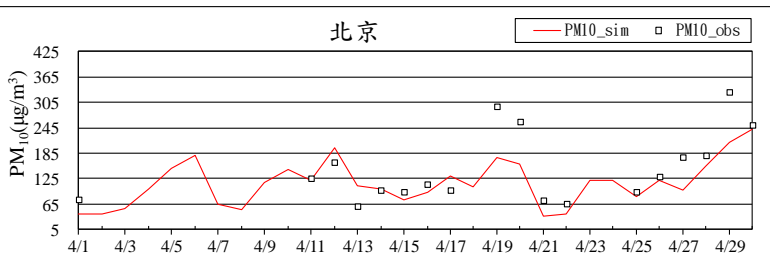


五、海峽兩岸PM₁₀之模擬驗證

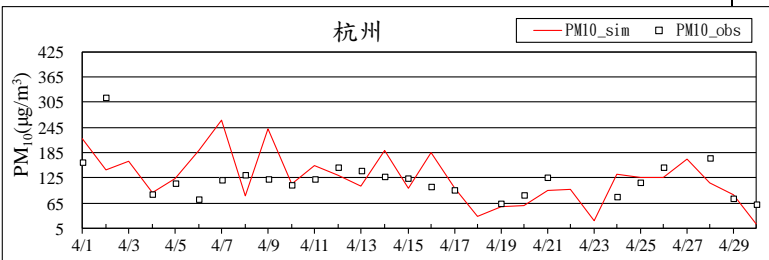


PM₁₀模擬驗證 - 大陸網站公佈之重點城市數據(2007年4月)

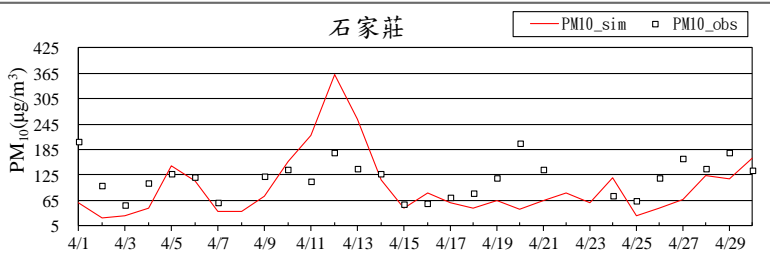
華北
北京



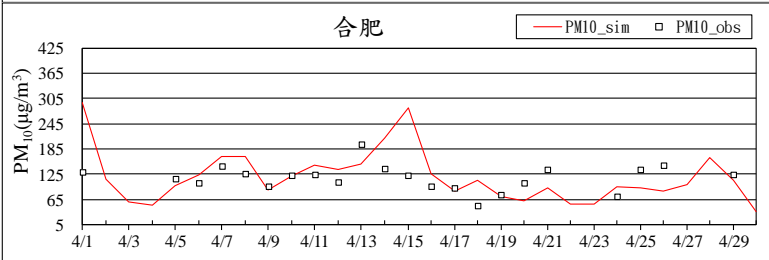
華東
浙江



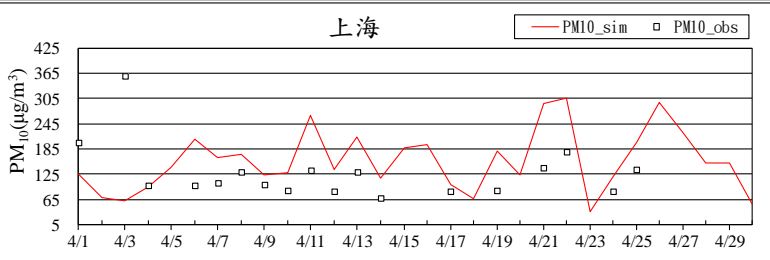
華北
河北



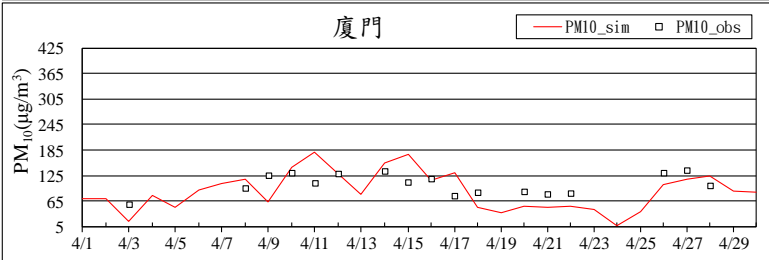
華東
安徽



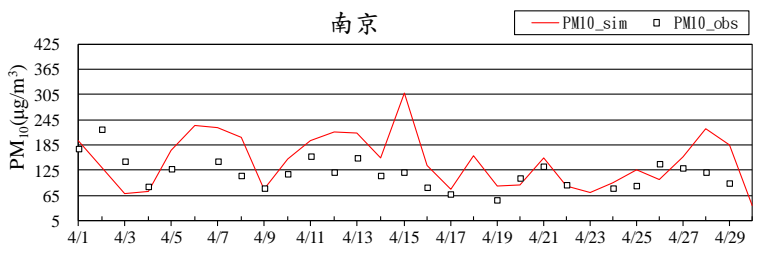
華東
上海



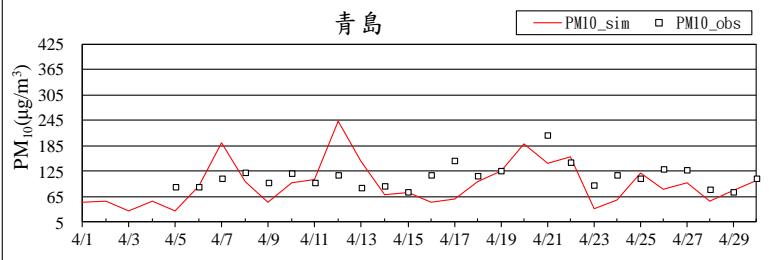
華東
福建



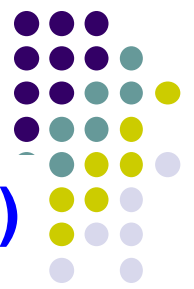
華東
江蘇



華東
山東

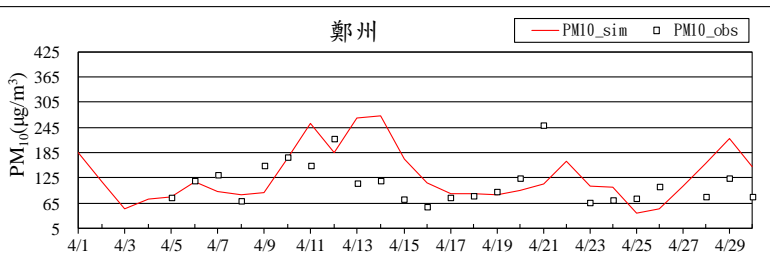


五、海峽兩岸PM₁₀之模擬驗證

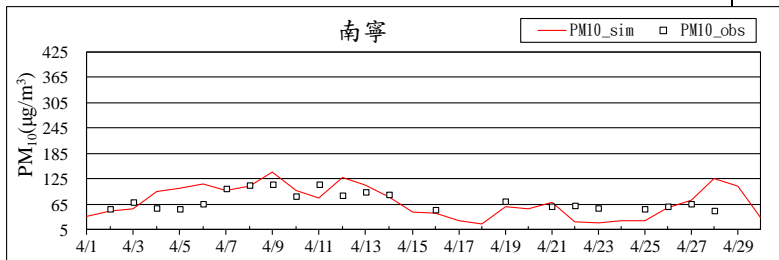


PM₁₀模擬驗證 - 大陸網站公佈之重點城市數據(2007年4月)

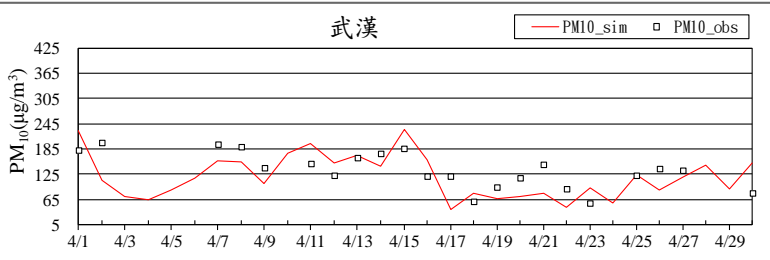
華南
河南



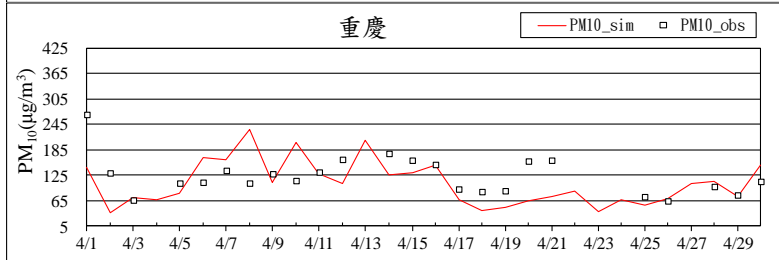
華南
廣西



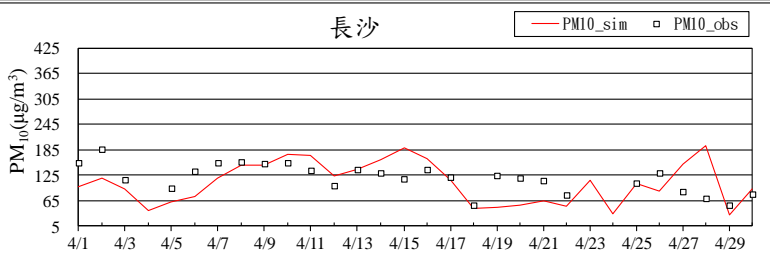
華南
湖北



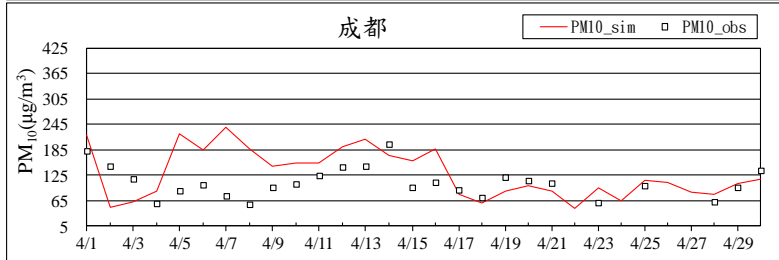
西南
重慶



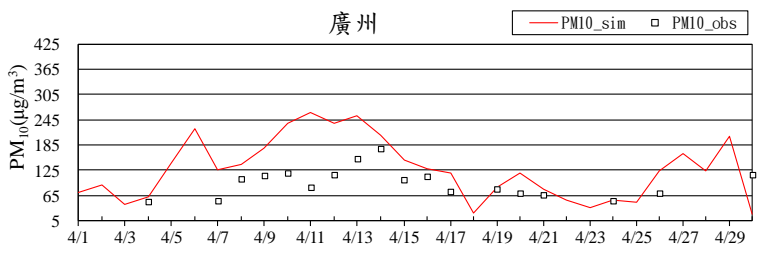
華南
湖南

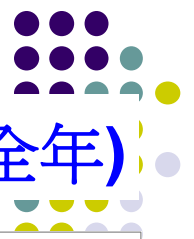


西南
四川

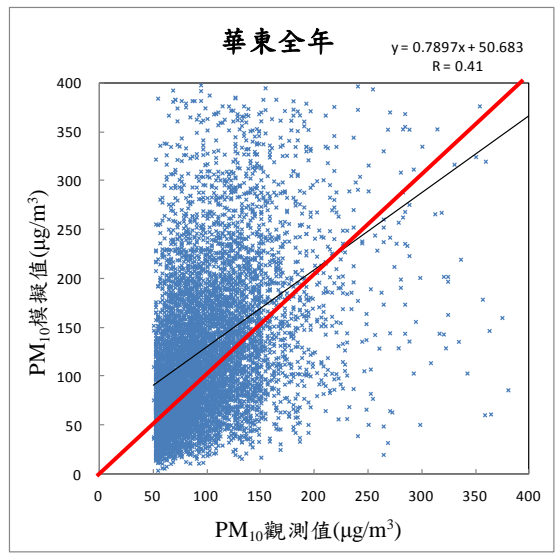
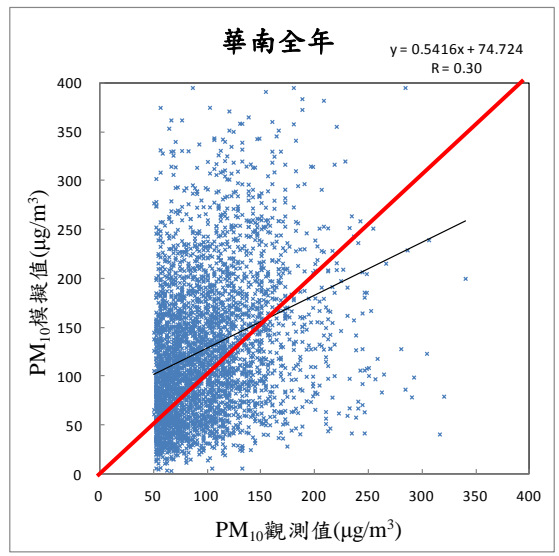
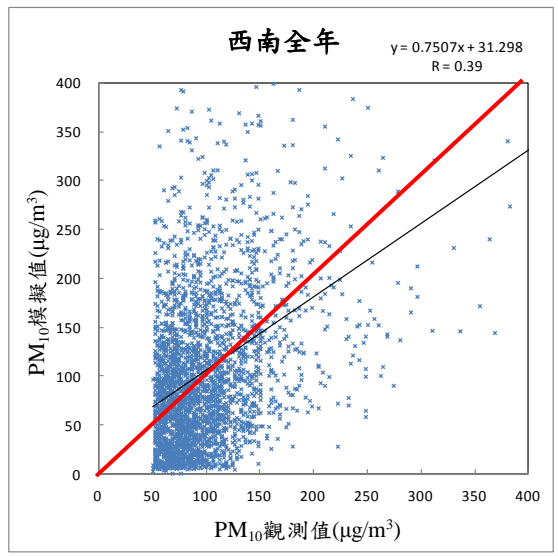
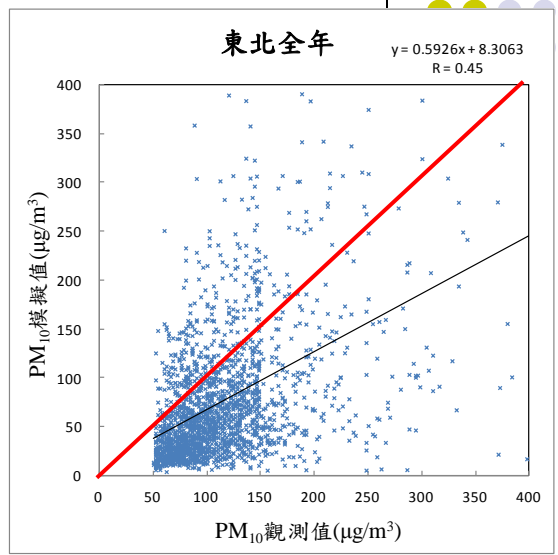
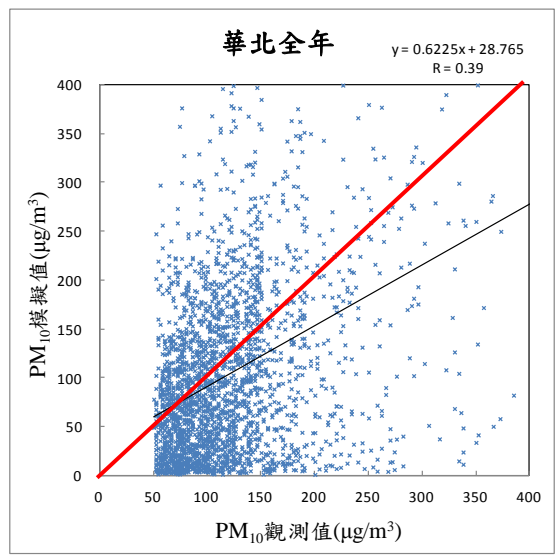
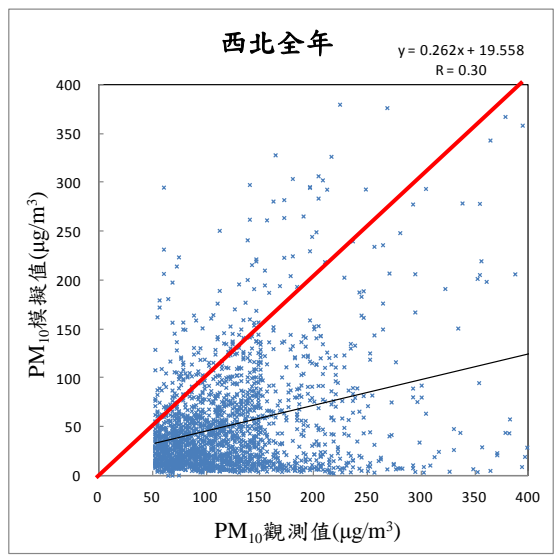


華南
廣東





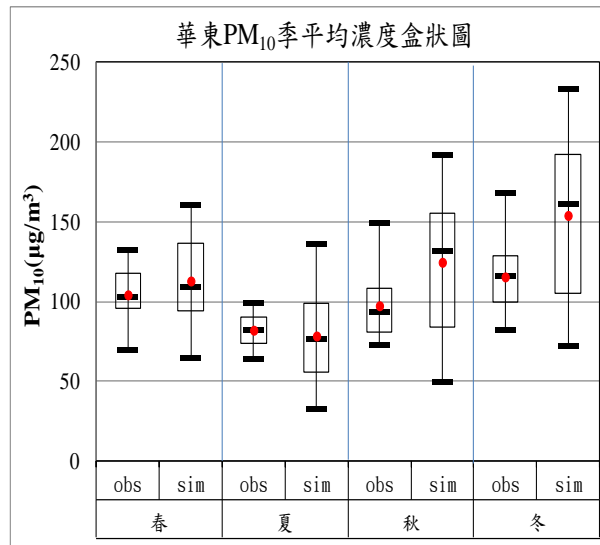
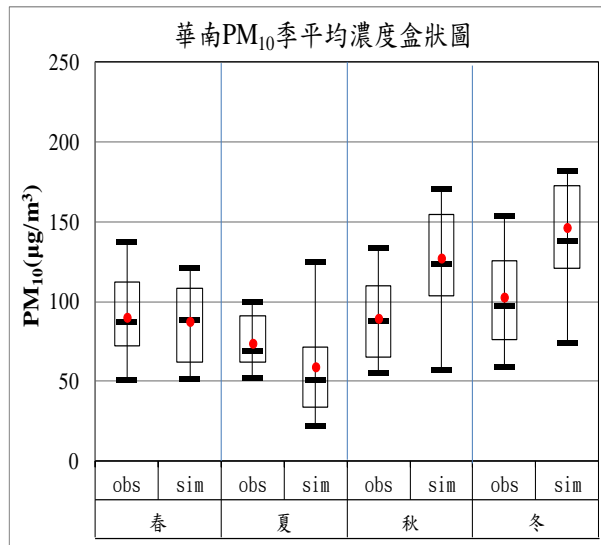
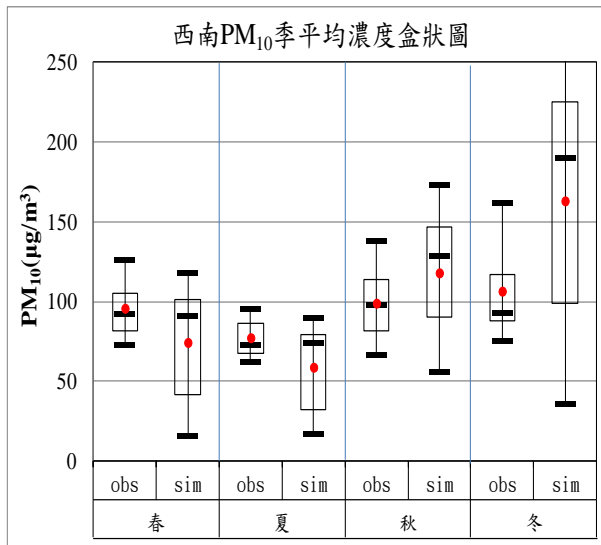
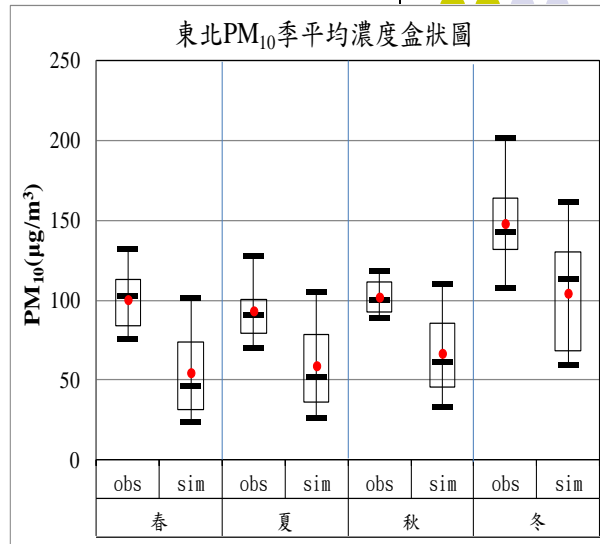
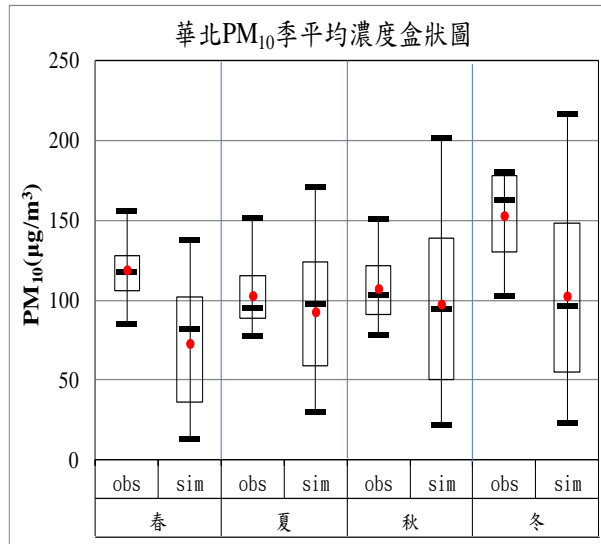
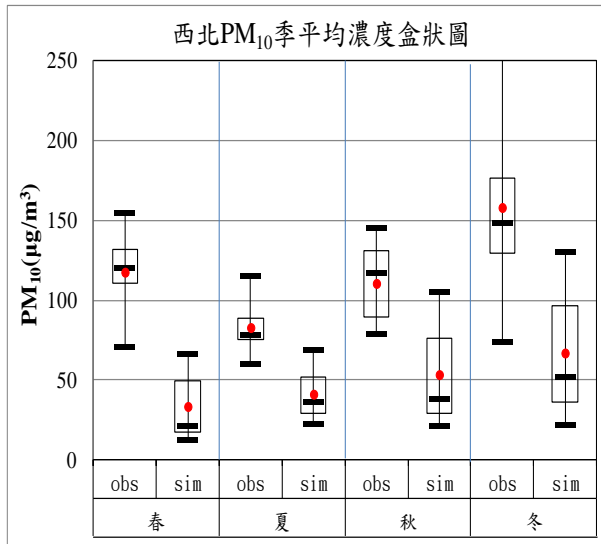
PM₁₀模擬驗證 - 大陸網站公佈之所有重點城市數據(2007全年)



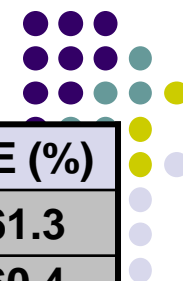
五、海峽兩岸PM₁₀之模擬驗證



PM₁₀模擬驗證 - 大陸網站公佈之所有重點城市數據(2007全年)



PM₁₀模擬驗證 - 大陸網站公佈之重點城市數據(2007年)



區域	省/直轄市	OB (%)	GE (%)	區域	省/直轄市	OB (%)	GE (%)
華東(28)	上海(1)	53.9	60.0	華南(19)	河南(3)	36.7	61.3
	江蘇(6)	34.2	57.9		湖北(2)	39.2	60.4
	浙江(5)	33.3	58.7		湖南(3)	23.3	61.8
	安徽(2)	58.9	79.5		廣東(6)	63.9	82.9
	福建(3)	-7.4	38.4		廣西(4)	53.9	72.7
	江西(2)	30.3	59.3		海南(1)	122.0	125.6
	山東(9)	39.1	60.7		華南平均	51.5	73.9
華東平均		33.3	58.6	華北(10)	北京(1)	25.7	44.9
東北(7)	遼寧(4)	-16.3	48.9		天津(1)	50.2	63.7
	吉林(1)	-43.7	54.1		河北(2)	11.1	49.4
	黑龍江(2)	-57.9	62.4		山西(4)	-14.8	62.6
東北平均		-32.1	53.5		內蒙古(2)	-70.2	73.7
西北(7)	陝西(3)	-34.6	48.3	華北平均		-10.1	60.5
	甘肅(1)	-70.5	72.2	西南(11)	重慶(1)	23.9	55.4
	青海(1)	-80.1	80.2		四川(6)	45.5	66.7
	寧夏(2)	-64.9	70.0		貴州(1)	-10.2	48.9
西北平均		-54.9	62.5		雲南(3)	-53.6	63.1
				西南平均		11.4	63.1

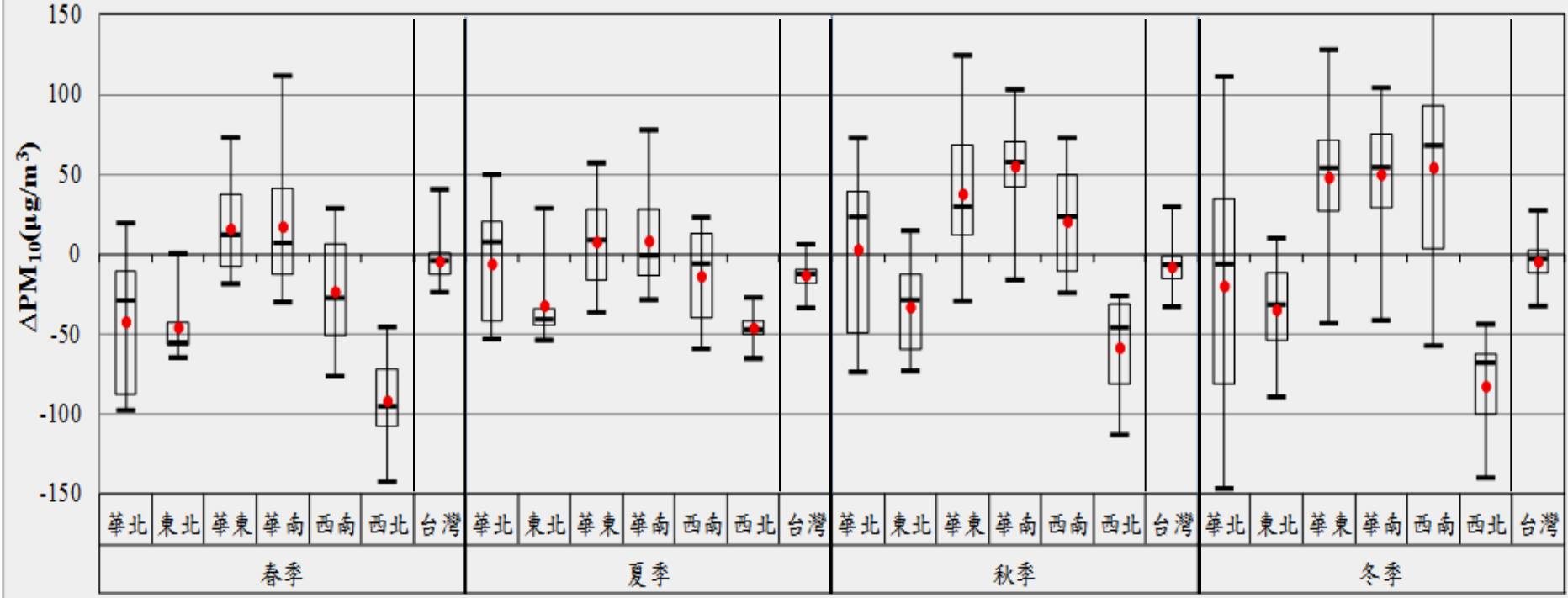
● OB：常化偏差(overall bias)；GE：絕對誤差(gross error)

$$OB = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N \left(\frac{P_{i,k} - O_{i,k}}{O_{i,k}} \right) \quad GE = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N \left| \frac{P_{i,k} - O_{i,k}}{O_{i,k}} \right|$$

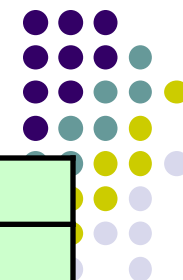


台灣及大陸各地區觀測及模擬濃度差異之季平均比較

PM₁₀觀測及模擬濃度差之季平均濃度盒狀圖



2007全年台灣測站平均PM_{2.5}成份濃度與比例



全台灣平均		2007 基準案例	
		濃度(μg/m ³) (A)	比例 (%)
衍生性PM _{2.5}	硫酸鹽(SO ₄ ²⁻)	4.75	16.0
	硝酸鹽(NO ₃ ⁻)	2.80	9.41
	銨鹽(NH ₄ ⁺)	2.55	8.55
	人為有機碳	0.19	0.64
	生物有機碳	0.74	2.48
	小計	11.0	37.0
原生性PM _{2.5}	人為有機碳	2.19	7.35
	元素碳(EC)	0.95	3.18
	粗顆粒轉(CORS)	0.05	0.18
	土壤PM _{2.5} (SOIL)	0.48	1.61
	海鹽PM _{2.5} (SEA)	0.15	0.51
	其他PM _{2.5} (A25)	4.16	14.0
	小計	7.98	26.8
含水分(H ₂ O)		10.8	36.2
PM _{2.5}		29.8	100.0

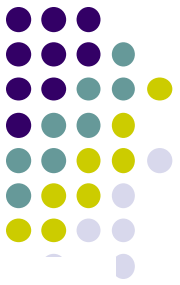
2007年全年台灣PM_{2.5}組成份之各來源貢獻濃度(測站平均)



全台灣空品區測站平均		基準案例	台灣PM _{2.5} 貢獻來源			
			來源一	來源二	來源三	來源四
代號		A	B-D	C-D	A-B-C+D	D
濃度單位		μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³	μg/m ³
衍生性 PM _{2.5}	硫酸鹽(SO ₄ ²⁻)	4.74	1.51	2.69	0.29	0.25
	硝酸鹽(NO ₃ ⁻)	2.80	1.61	0.19	1.00	0.00
	銨鹽(NH ₄ ⁺)	2.55	1.10	0.83	0.62	0.01
	人為有機碳(ORGA)	0.19	0.11	0.04	0.04	0.00
	生物有機碳(ORGB)	0.74	0.57	0.05	0.11	0.00
	小計	11.02	4.91	3.81	2.05	0.25
原生性 PM _{2.5}	有機碳(ORGPA)	2.19	2.44	0.12	-0.37	0.00
	元素碳(EC)	0.95	1.06	0.05	-0.16	0.00
	粗顆粒轉換(CORS)	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00
	土壤PM _{2.5} (SOIL)	0.48	0.43	0.02	0.03	0.00
	海鹽PM _{2.5} (SEA)	0.16	0.01	0.05	-0.03	0.13
	其他PM _{2.5} (A25)	4.16	4.63	0.23	-0.71	0.00
	小計	7.99	8.62	0.48	-1.24	0.13
含水分(H ₂ O)		10.78	4.42	3.84	2.02	0.50
PM_{2.5}合計		29.79	17.95	8.13	2.82	0.88

- 來源一:台灣本身
- 來源二:境外直接影響
- 來源三:境外間接影響
- 來源四:東亞背景與海洋

六、結論與建議 (1/2)



- 本研究之模式模擬結果：台灣所有一般測站PM₁₀平均低估約11% (GE約38%)。
- 台灣超級測站PM_{2.5}中硫酸鹽及銨鹽低估、硝酸鹽略有高估。
- 中國大陸之PM_{2.5}模擬濃度與衛星反衍濃度，除少部份地區外，大致在空間上具有一致性，顯示模擬結果可以反映PM_{2.5}之空間分布特徵。
- 根據中國大陸網站公佈之86個重點城市PM₁₀監測數據，本研究對六大地區之模擬誤差依地區不同呈現明顯差異，約介於-55%至+52%之間。西北及東北地區模擬值有明顯低估傾向。
- 大陸華南及華東地區，低濃度明顯高估，而高濃度則明顯低估，由於低濃度數據較多之故，因而整體呈現高估傾向。顯示因排放量缺乏時間解析度（時間變化），模擬結果無法解析偏低及偏高濃度之情形。

五、結論與建議 (2/2)



- 相對於**大陸重點城市**本研究對於**台灣測站**可以獲得較佳之PM模擬結果。造成此明顯差異的主要原因應有二：
 - 兩者**模擬網格解析度不同**(由於排放資料空間解析度的限制，大陸使用粗網格、台灣使用細網格)
 - 本研究目前可取得之**台灣與大陸排放資料**，在空間及時間**解析度**、及**完整性**有明顯之差異。
- **台灣**相對容易取得**詳細的空氣品質與PM組成份等濃度監測資料**，可用以**確認排放量資料之正確性**。
- **大陸排放量及空氣品質監測資料**相對較不容易取得，未來若要以**空氣品質模式探討海峽兩岸空氣污染相互傳輸之議題**時，需要**持續改善排放量、監測資料之完整性、及時間與空間解析度**。

敬請指教

