

環境科技論壇

細懸浮微粒(PM_{2.5})化學成分 監測及分析計畫

中央大學環工所

李崇德

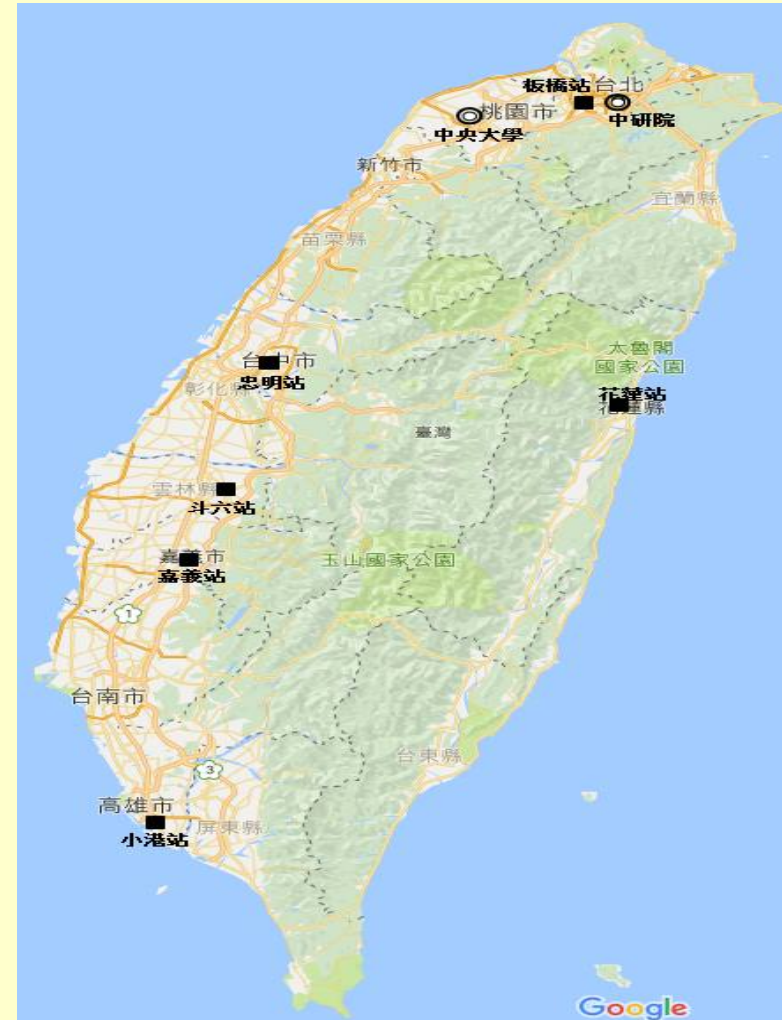
2018年6月11日

年度目標

- 一、建構國家級細懸浮微粒($\text{PM}_{2.5}$)化學成分監測網。
- 二、執行 $\text{PM}_{2.5}$ 化學成分採樣檢測作業。
- 三、解析時間與空間分布特徵及影響因素。

採樣地點選擇

- 以民眾暴露PM_{2.5}人口密度及工業來源影響為選擇準則。
- 2017年每6天在6站同步採樣1次24小時：
 1. 新北市板橋站
 2. 台中市忠明站
 3. 雲林縣斗六站
 4. 嘉義市嘉義站
 5. 高雄市小港站
 6. 花蓮縣花蓮站



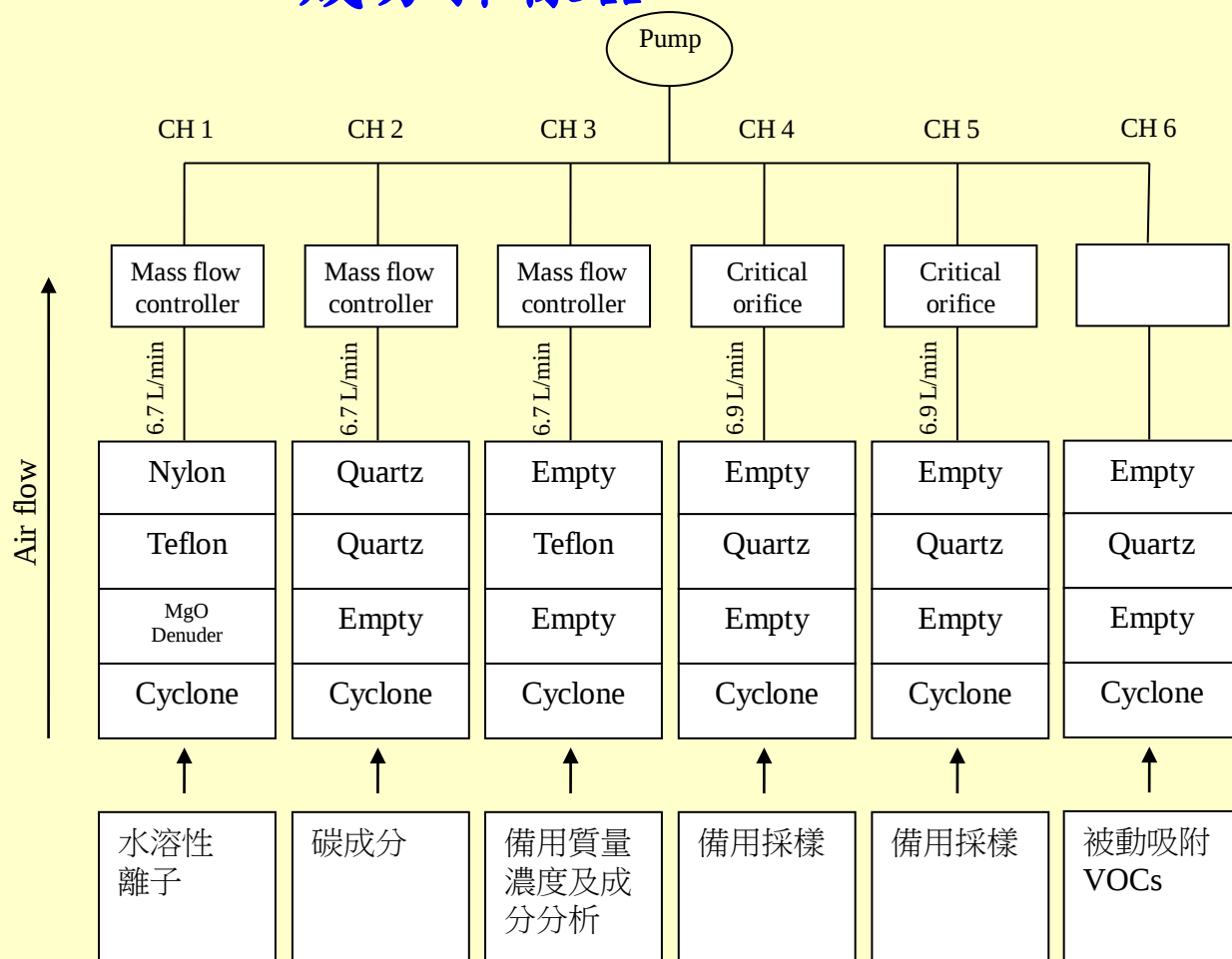
手動採樣器及成分採樣器

- PM_{2.5}化學成分監測網將提供**PM_{2.5}質量濃度**、**水溶性無機離子**、**碳成分**、**金屬元素成分**濃度。
- 本計畫使用通過美國FRM認證的6台MetOne型號E-FRM採樣器(RFPS-0315-221)採集PM_{2.5}進行秤重得到**質量濃度**，然後以同張濾紙分析**金屬元素成分**。
- 對於**水溶性無機離子**和**碳成分**，本計畫使用美國CSN化學成分監測網採用的MetOne SASS化學成分採樣器6台進行採集。

Met One E-FRM採樣器



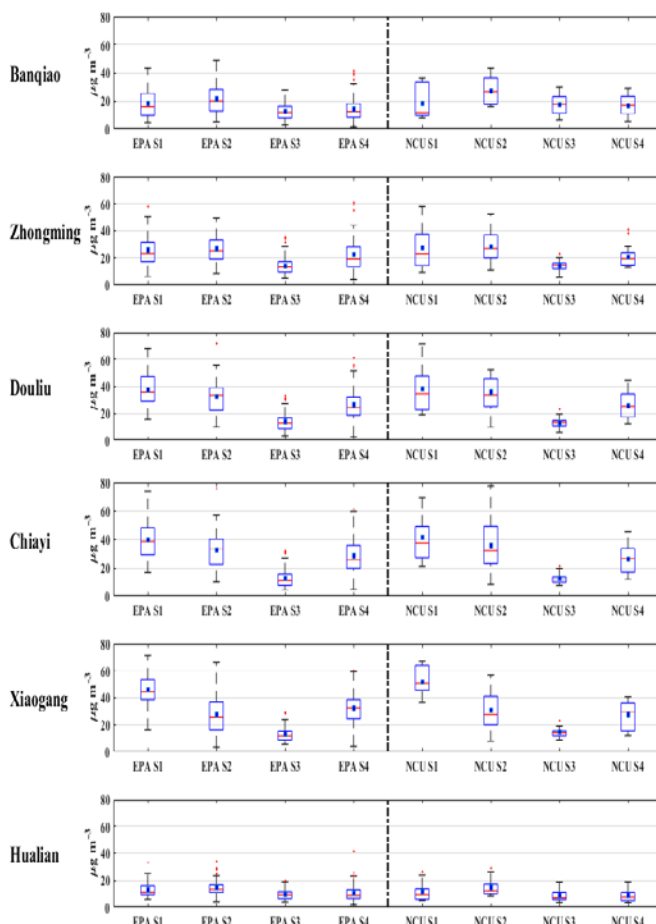
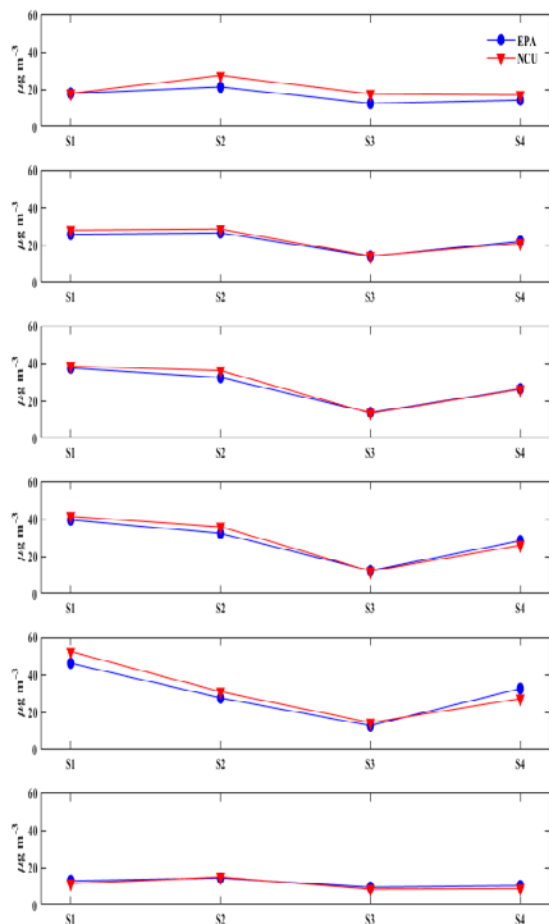
MetOne SASS成分採樣器



- Source: Paul A. Solomon, Dennis Crumpler, James B. Flanagan, R.K.M. Jayanty, Ed E. Rickman & Charles E. McDade (2014) U.S. National PM_{2.5} Chemical Speciation Monitoring Networks—CSN and IMPROVE: Description of networks, Journal of the Air & Waste Management Association, 64:12, 1410-1438, DOI: 10.1080/10962247.2014.956904.

手動採樣PM_{2.5}質量濃度六站季節平均值及區域代表性

EPA:表示自動監測，NCU:表示手動採樣



- 各測站手動採樣與環保署自動監測PM_{2.5}濃度**季節變化趨勢一致**。
- 手動採樣雖然每6天一次，但和連續監測PM_{2.5}濃度有一致的季節變動趨勢，因此，**手動採樣具有代表性**。

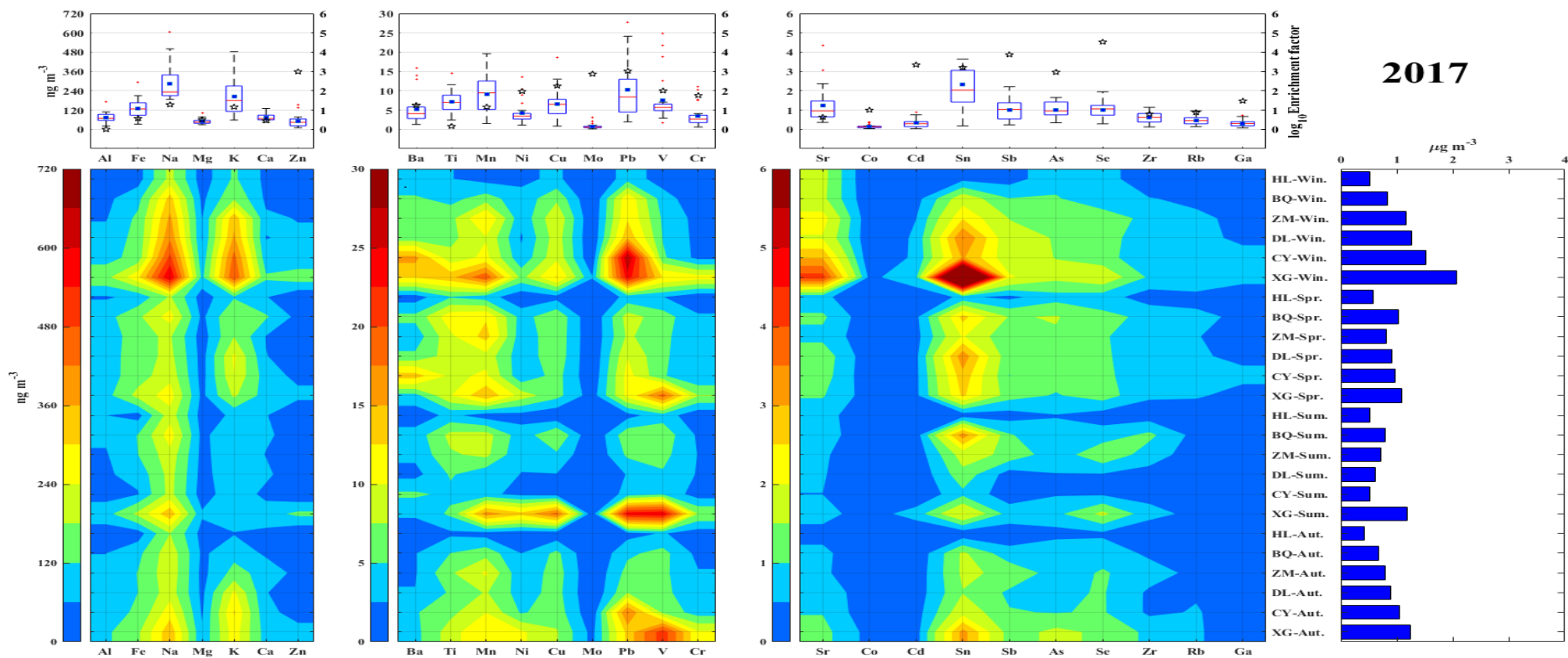
*S1:冬季，1~2月，S2:春季，3~5月，S3:夏季，6~8月，S4:秋季，9~12月。

各站PM_{2.5}質量及主要化學成分濃度(μg m⁻³)季節變化

季節與測站	PM _{2.5}	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	OC	EC
冬 - 板橋	18	5.02 (27%)	1.81 (9%)	2.27 (12%)	3.51 (22%)	0.82 (5%)
冬 - 忠明	28	6.08 (22%)	4.81 (16%)	3.22 (12%)	5.38 (21%)	1.26 (5%)
冬 - 斗六	38	6.16 (16%)	8.52 (22%)	4.57 (12%)	6.65 (18%)	1.39 (4%)
冬 - 嘉義	41	5.98 (14%)	9.34 (22%)	4.62 (10%)	6.65 (17%)	1.54 (4%)
冬 - 小港	52	8.29 (16%)	13.87 (27%)	6.36 (12%)	7.85 (15%)	2.35 (4%)
冬 - 花蓮	12	3.41 (24%)	0.74 (8%)	1.38 (10%)	2.42 (25%)	0.52 (5%)
春 - 板橋	27	6.62 (24%)	3.29 (11%)	2.96 (11%)	5.29 (19%)	1.40 (5%)
春 - 忠明	28	6.61 (23%)	5.06 (16%)	3.41 (12%)	4.67 (17%)	1.38 (5%)
春 - 斗六	36	6.73 (19%)	8.75 (21%)	4.46 (12%)	5.21 (16%)	1.28 (4%)
春 - 嘉義	36	6.86 (20%)	8.84 (21%)	4.43 (12%)	5.18 (16%)	1.17 (4%)
春 - 小港	31	6.21 (21%)	6.55 (18%)	3.49 (11%)	4.83 (16%)	1.60 (6%)
春 - 花蓮	15	4.11 (27%)	1.38 (8%)	1.59 (10%)	2.26 (16%)	0.66 (5%)
夏 - 板橋	18	4.48 (24%)	0.97 (5%)	1.58 (8%)	5.01 (30%)	1.20 (7%)
夏 - 忠明	14	3.42 (23%)	1.11 (7%)	1.32 (9%)	3.20 (24%)	0.97 (7%)
夏 - 斗六	13	3.32 (24%)	0.93 (6%)	1.28 (9%)	2.92 (23%)	0.67 (5%)
夏 - 嘉義	12	3.23 (26%)	0.74 (6%)	1.18 (9%)	2.49 (22%)	0.66 (6%)
夏 - 小港	14	3.84 (26%)	0.79 (5%)	1.31 (9%)	2.61 (19%)	1.08 (8%)
夏 - 花蓮	9	2.60 (27%)	0.42 (6%)	0.84 (9%)	1.76 (23%)	0.46 (6%)
秋 - 板橋	16	3.96 (24%)	1.09 (7%)	1.58 (9%)	3.72 (26%)	0.89 (6%)
秋 - 忠明	20	4.67 (23%)	2.62 (12%)	2.13 (10%)	4.49 (23%)	1.03 (6%)
秋 - 斗六	27	4.99 (19%)	4.58 (16%)	2.96 (11%)	6.30 (24%)	1.07 (4%)
秋 - 嘉義	27	5.29 (20%)	4.87 (16%)	3.12 (11%)	5.45 (20%)	0.96 (4%)
秋 - 小港	30	5.81 (21%)	5.68 (17%)	3.47 (11%)	5.82 (19%)	1.36 (5%)
秋 - 花蓮	9	2.17 (22%)	0.76 (10%)	0.82 (9%)	1.84 (24%)	0.39 (5%)

- SO₄²⁻有在地和區域傳輸來源，冬季和秋季SO₄²⁻平均濃度由北部板橋站至南部小港站濃度逐漸上升。
- 春季和夏季西部各站SO₄²⁻平均濃度濃度相近。
- NO₃⁻可代表在地污染，冬季由北至南快速上升，春、秋季也是由北至南逐漸上升，但小港站春季濃度低。
- OC冬季小港站最高，春、夏季板橋站最高，秋季斗六站最高。

2017年六站金屬元素濃度及富集因子(☆)



*BQ: 板橋, ZM: 忠明, DL: 斗六, CY: 嘉義, XG: 小港, HL: 花蓮

*Win.: 冬季, 1~2月, Spr.: 春季, 3~5月, Sum.: 夏季, 6~8月, Aut.: 秋季, 9~12月。

高濃度群

- Na: 為塵土、海鹽、煙道氣滌硫排放; K: 農廢或木頭燃燒; Al、Fe、Ca: 塵土或鋼鐵廠排放。

中間濃度群

- Pb、Mn、Ti、Cu、Cr、V、Ni: 燃煤、燃油、鋼鐵冶煉以及揚塵貢獻; V、Ni: 燃油或船舶排放。

低濃度群

- Sn、Se、As、Sr: 工業鍋爐燃煤、燃油排放; Sb: 剎車墊片磨損。

PM_{2.5}低濃度和PM_{2.5}高濃度化學成分占比變化

在PM_{2.5}濃度<35 µg m⁻³的樣本中—

- NO₃⁻ 占比：11%
- SO₄²⁻ 占比：23%

在PM_{2.5}濃度≥ 35 µg m⁻³的樣本中—

- NO₃⁻ 占比：24%
- SO₄²⁻ 占比：18%

→ 顯示PM_{2.5}高濃度NO₃⁻份量更重

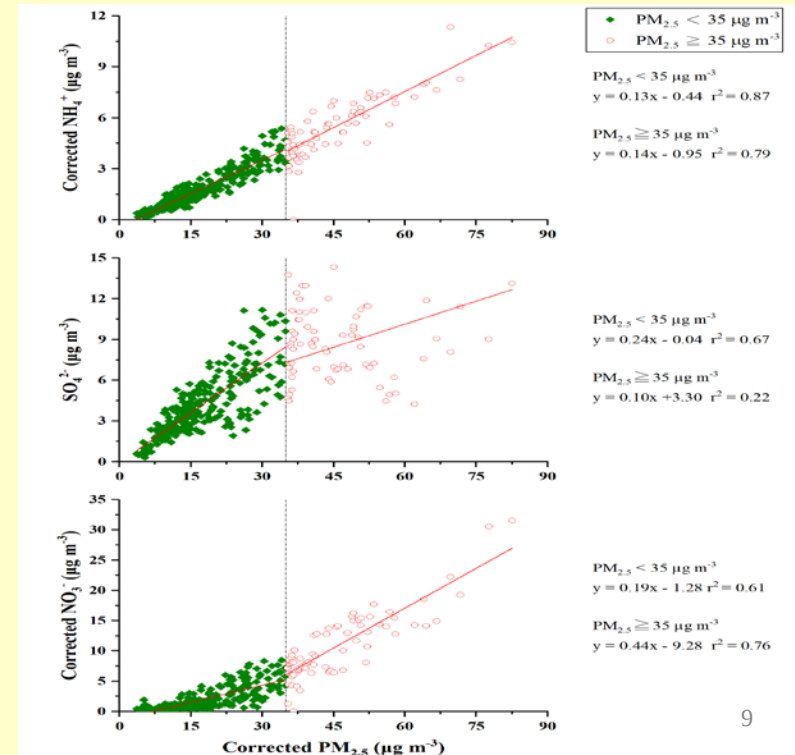
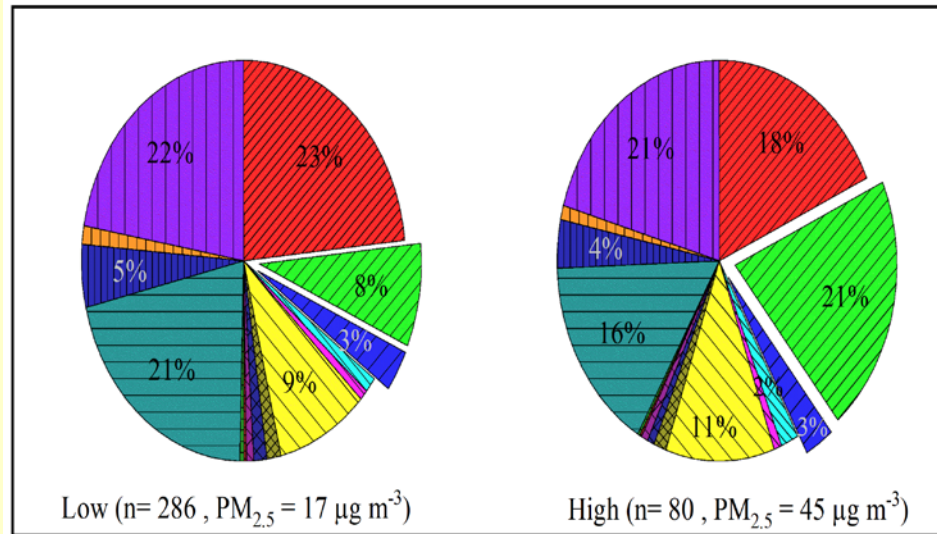
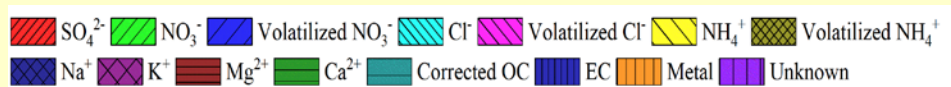
在PM_{2.5}濃度<35 µg m⁻³的樣本中—

- SO₄²⁻和PM_{2.5}相關性：r²=0.67
- NO₃⁻和PM_{2.5}相關性：r²=0.61

在PM_{2.5}濃度≥ 35 µg m⁻³的樣本中—

- SO₄²⁻和PM_{2.5}相關性：r²=0.22
- NO₃⁻和PM_{2.5}相關性：r²=0.76

→ 顯示PM_{2.5}高濃度NO₃⁻和PM_{2.5}來源更一致



板橋站PM_{2.5}污染來源

「二次硫酸鹽與燃煤鍋爐」

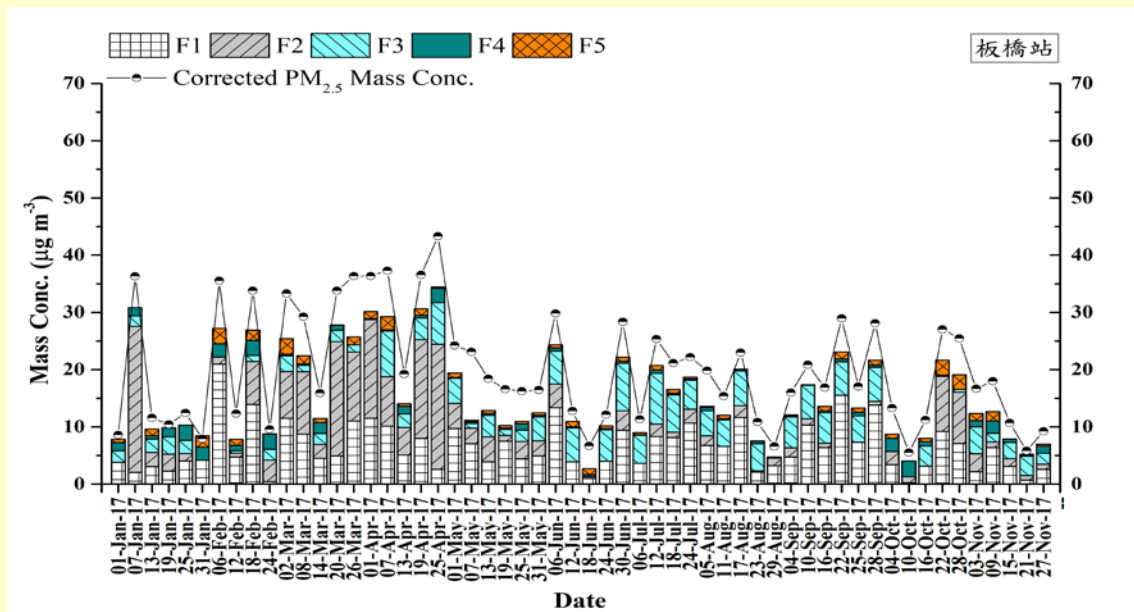
- 整年占比達41%，顯示工業鍋爐所造成的衍生污染物對於環境空氣品質影響最大。

「二次硝酸鹽」

- 整年占比次高因子，主要來源可能為交通或固定污染源衍生污染物，特別在環境溫度較低的冬季與春季有較高占比。

「交通排放與揚塵」

- 整年占比第三高污染源，年占比21%。



測站	季節	F1 二次硫酸鹽 燃煤鍋爐	F2 二次 硝酸鹽	F3 交通排放 揚塵	F4 海鹽	F5 生質燃燒
板橋	整年	41%	27%	21%	5%	5%
	冬季	40%	31%	10%	13%	6%
	春季	35%	43%	14%	3%	4%
	夏季	48%	10%	37%	2%	4%
	秋季	46%	16%	25%	6%	7%

忠明站PM_{2.5}污染來源

「二次硫酸鹽」

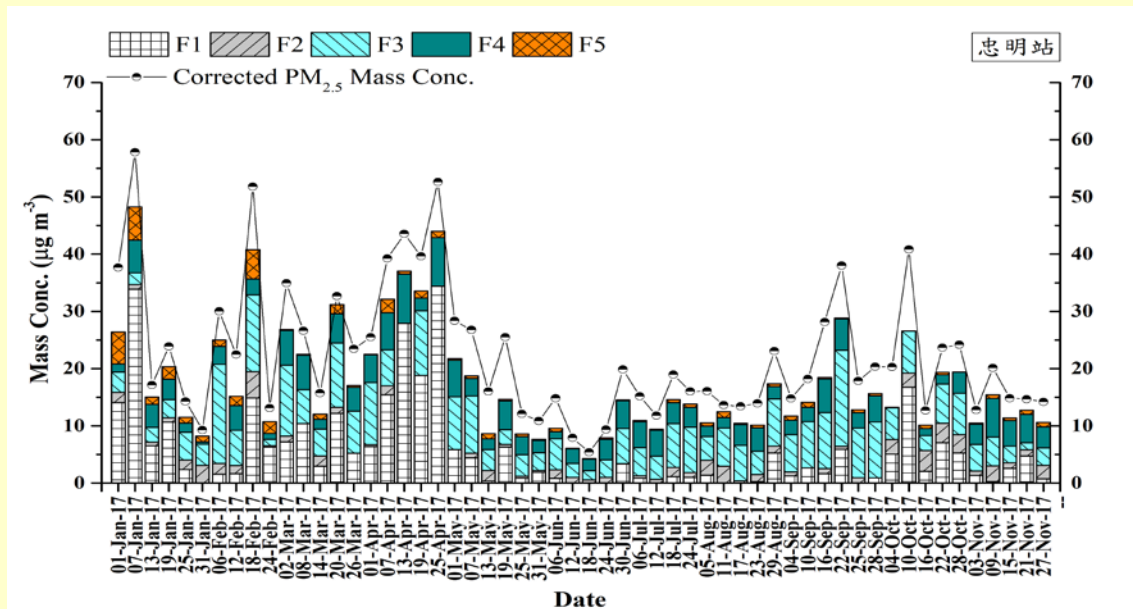
- 年占比最高因子(34%)，為夏秋季最主要污染因子，這段期間主要污染源皆來自本地。

「二次硝酸鹽」

- 忠明站整年占比次高因子為33%，在冬季與春季皆有最高占比，夏季受到溫度影響明顯降低，秋季又逐漸上升。

「交通排放與揚塵」

- 年占比第三高因子，在濃度相對較低的夏季有次高的占比。



測站	季節	F1 二次 硝酸鹽	F2 生質燃燒	F3 二次 硫酸鹽	F4 交通排放 揚塵	F5 垃圾焚化 海鹽
忠明	整年	33%	7%	34%	20%	5%
	冬季	41%	8%	26%	13%	12%
	春季	45%	3%	29%	21%	3%
	夏季	10%	10%	48%	29%	3%
	秋季	23%	10%	42%	21%	3%

斗六站PM_{2.5}污染來源

「二次硝酸鹽」

- 年占比最高因子，並且於冬季與春季有較高占比。

「交通排放與揚塵」

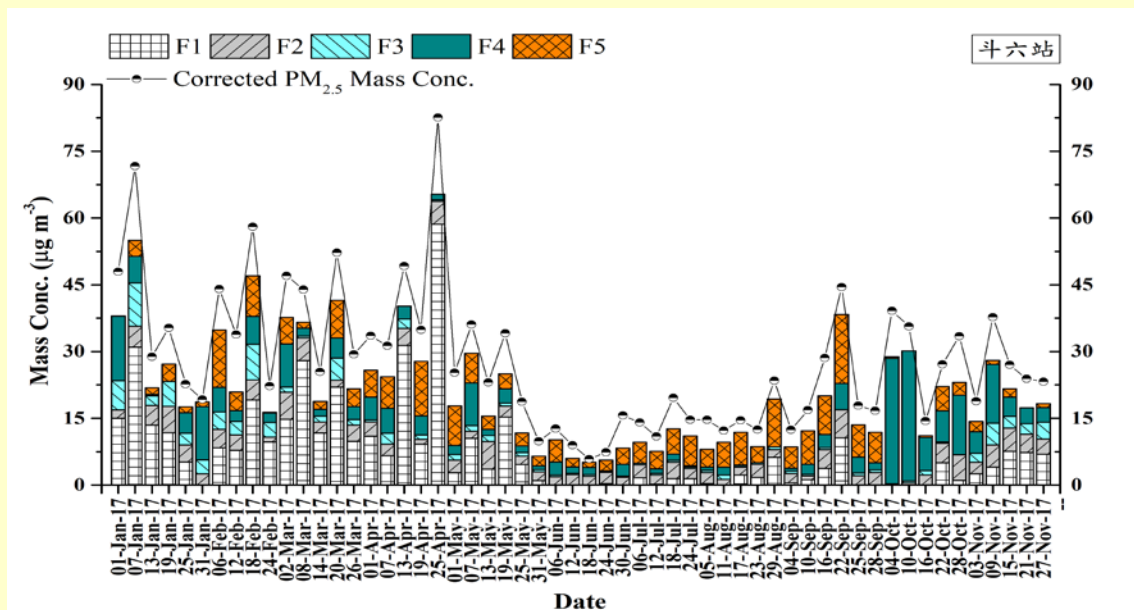
- 年占比只有14%，但是在夏季時有季節第二高占比，其他季節占比相當穩定。

「生質燃燒」

- 年占比22%，但在秋季有最高占比。

「二次硫酸鹽與燃油鍋爐」

- 年占比20%，在夏季時有最高占比。



測站	季節	F1 二次 硝酸鹽	F2 交通排放 揚塵	F3 海鹽	F4 生質燃燒	F5 二次硫酸鹽 燃油鍋爐
斗六	整年	36%	14%	8%	22%	20%
	冬季	41%	12%	16%	18%	13%
	春季	54%	12%	5%	13%	17%
	夏季	12%	24%	4%	11%	50%
	秋季	16%	16%	6%	41%	21%

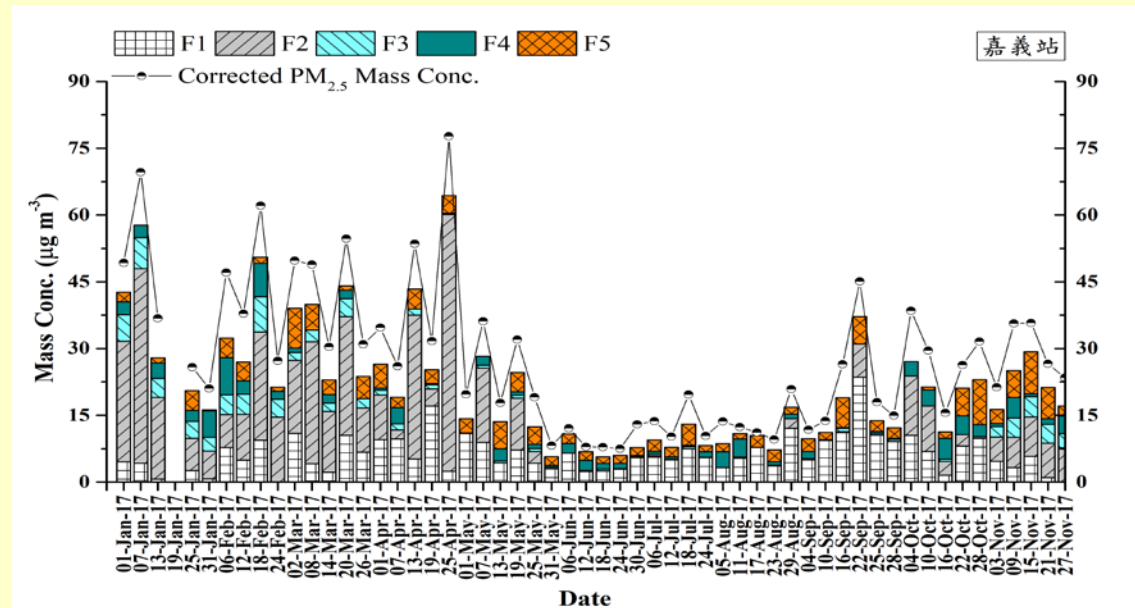
嘉義站PM_{2.5}污染來源

「二次硝酸鹽」

- 年占比最高因子，年占比達39%，春季與冬季占比皆在50%以上。

「二次硫酸鹽」

- 年占比第二高污染源，占比為29%，特別在夏季有最高的貢獻占比。



測站	季節	F1	F2	F3	F4	F5
		二次硫酸鹽	二次硝酸鹽	工業排放 富含氣	生質 燃燒	交通排放
嘉義	整年	29%	39%	8%	9%	15%
	冬季	12%	54%	15%	13%	6%
	春季	26%	52%	5%	4%	14%
	夏季	58%	2%	2%	15%	23%
	秋季	38%	23%	7%	10%	22%

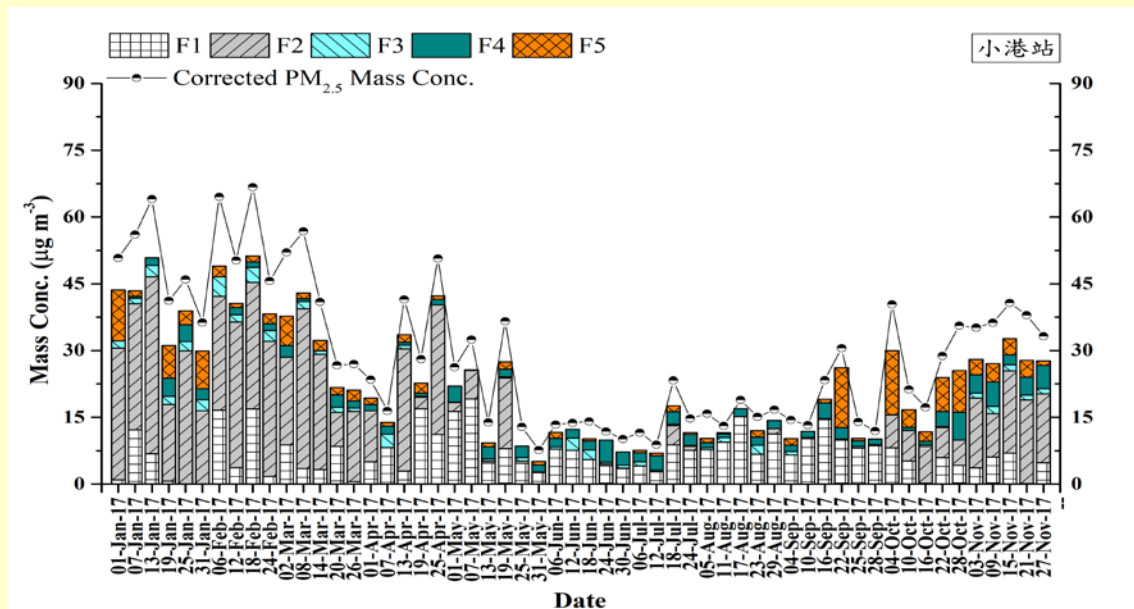
小港站PM_{2.5}污染來源

「二次硝酸鹽富含有機氣膠」

- 年占比最高達46%，冬季與春季占比高(67%、52%)。

「二次硫酸鹽與燃油鍋爐」

- 年占比30%是小港站占比的次高的因子，夏季最高，夏季盛行風向多為西南風，此因子可能除了受鍋爐影響，還可能受到當地船舶排放所影響。

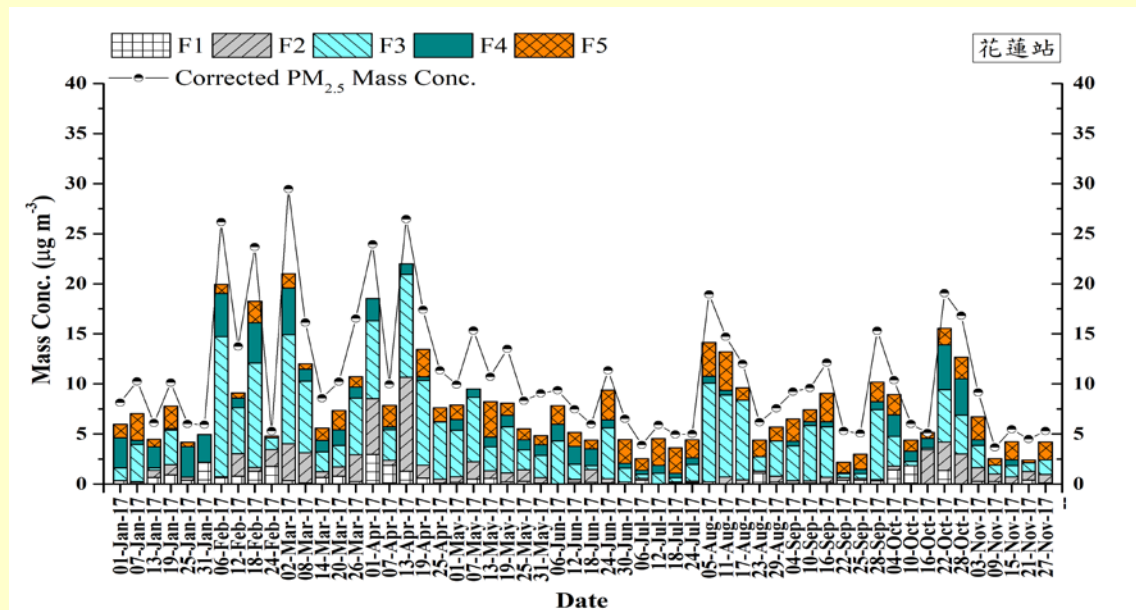


測站	季節	F1 二次硫酸鹽 燃油鍋爐	F2 二次硝酸鹽 富含有機氣膠	F3 海鹽	F4 交通 排放	F5 生質 燃燒
小港	整年	30%	46%	4%	9%	11%
	冬季	14%	67%	6%	4%	9%
	春季	32%	52%	3%	7%	6%
	夏季	64%	4%	7%	20%	5%
	秋季	30%	33%	3%	13%	21%

花蓮站PM_{2.5}污染來源

「二次硫酸鹽」

- 花蓮站年占比最高因子達47%，並且於各季節皆有約40%以上占比，不過較高的占比也可能與當地污染物濃度較低有關。



「交通排放與揚塵」

- 年占比第二高因子，特別在夏季低污染濃度時有較高貢獻量。

測站	季節	F1 海鹽	F2 二次 硝酸鹽	F3 二次 硫酸鹽	F4 生質燃燒	F5 交通排放 揚塵
花蓮	整年	7%	13%	47%	15%	19%
	冬季	11%	8%	45%	24%	13%
	春季	6%	20%	50%	12%	12%
	夏季	3%	5%	51%	11%	31%
	秋季	7%	15%	39%	15%	24%

■PM_{2.5}化學成分及氣象因子與能見度多元迴歸模式

- 利用2017年1~11月使用多元迴歸分析Backward Stepwise Regression，篩選對大氣能見度影響顯著的PM_{2.5}化學成分及天氣因子為自變數，再進行多元迴歸分析，建立能估算大氣能見度的多元迴歸模式。
- PM_{2.5}化學成分以NH₄⁺或nss-SO₄²⁻影響能見度最大，顯示衍生性氣膠對於能見度影響重大，呼應受體模式推估結果。
- 環境相對濕度和溫度也有明顯的影響。

測站	能見度迴歸模式	判定係數 R ²
板橋	37.2 - 1.72 NH ₄ ⁺ (μg m ⁻³) + 0.13 T (°C) - 0.31 RH (%)	0.69
忠明	23.24 - 0.26 nss-SO ₄ ²⁻ (μg m ⁻³) - 0.28 NO ₃ ⁻ (μg m ⁻³) - 0.13 RH (%)	0.59
斗六	46.5 - 1.05 nss-SO ₄ ²⁻ (μg m ⁻³) - 0.44 RH (%) + 0.43 T (°C) - 1.02 OC (μg m ⁻³)	0.68
嘉義	39.9 - 1.59 nss-SO ₄ ²⁻ (μg m ⁻³) - 0.46 RH (%) + 0.62 T (°C)	0.75
小港	21.3 - 0.67 NH ₄ ⁺ (μg m ⁻³) - 0.54 OC (μg m ⁻³) - 0.12 RH (%)	0.89
花蓮	22.0 + 0.31 T (°C) - 0.21 RH (%) - 4.86 Na ⁺ (μg m ⁻³)	0.66

結 論 (1)

1. 整體監測期間和秋、冬季的PM_{2.5}日平均質量濃度由北至南逐漸遞增，以小港站最高，春季以嘉義和斗六站最高，夏季各站都很低，以板橋站最高，花蓮站在任何季節都是各站最低。
2. 由北至南SO₄²⁻占比差異不大，但略微有下降趨勢；OC占比則明顯由北至南下降；NO₃⁻占比略有由北至南上升的趨勢。
3. 各金屬元素高濃度群有塵土元素Al、Fe、Ca，海鹽指標元素Na、Mg，這些元素主要來自自然排放源，K來自農廢或木頭燃燒。中間濃度群多屬人為活動指標元素，如燃煤、燃油、鋼鐵冶煉以及揚塵貢獻指標元素Pb、Mn、Ti、Cu、Cr、V、Ni；低濃度群有工業鍋爐燃煤、燃油排放的Sn、Se、As、Sr，剎車墊片磨損的Sb。

結 論 (2)

4. 彙整採樣期間PM_{2.5}高濃度($\geq 35 \mu\text{g m}^{-3}$)和低濃度($< 35 \mu\text{g m}^{-3}$)樣本檢測的化學成分占PM_{2.5}濃度比例，發現：PM_{2.5}高濃度族群比起低濃度族群，有明顯NO₃⁻增大現象(24 % vs. 11 %)，其他成分則縮小或不變，與上兩年度結果相似，顯示PM_{2.5} NO₃⁻前驅NO_x排放源管制仍有待加強。
5. 受體模式推估結果顯示各測站主要污染因子都以「二次硝酸鹽、二次硫酸鹽」這兩類富含衍生污染物的因子為主，其中，二次硝酸鹽多在冬、春季有較高占比，二次硫酸鹽則多在夏、秋季有較高占比，突顯各季節污染源變化特性。
6. 大氣能見度推估結果顯示各監測地區影響能見度最大的PM_{2.5}化學成分為NH₄⁺或非海鹽SO₄²⁻，呼應受體模式推估結果，顯示衍生污染物對於能見度的影響相當可觀；此外，氣象因子的環境相對濕度和溫度也有明顯的影響。

謝謝聆聽
請指教