

公共政策與法律研究中心

106 年度研究計畫案期末報告

臺灣空氣污染之風險治理與政策研究

-公民科學革新管制之實作初探：以政府與民間微型監測為例

Study on risk governance and policy of air pollutant in Taiwan

-Investigation on the practice of citizen science making regulation progress:

A case of government and civil micro-monitoring

主持人：周桂田教授（臺灣大學國家發展研究所長/風險社會與政策中心主任）

協同主持人：杜文苓教授（政治大學公共行政學系）

研究團隊：王瑞庚（臺灣大學國家發展研究所博士候選人）

王瑋彤（臺灣大學風險社會與政策研究中心助理研究員）

劉怡亭（臺灣大學風險社會與政策研究中心助理研究員）

結案日期：民國 107 年 1 月 18 日

目錄

摘要.....	1
壹、計畫內容.....	4
一、臺灣空氣污染治理之管制現況與困境.....	4
二、臺灣空污公民科學實作潛力.....	5
三、以公民科學實作建立平臺促進管制革新的探討.....	9
貳、臺灣空氣污染微型監測之現行建置盤點.....	11
一、微型監測與物聯網應用.....	13
二、比較官方測站與微型監測.....	14
三、盤點現有微型監測實作.....	18
四、微型監測的象徵意義與未來發展.....	20
參、空污政策 10 年來之回顧.....	21
一、空污議題的公民訴求與政策回應.....	21
二、空氣污染政策有多少實質進展？.....	28
肆、治理的改變與不足.....	33
一、14+N 措施未竟全功.....	33
二、空污法第九次修法：革命尚未成功.....	38
三、PM _{2.5} 濃度與排放清冊排放量變化.....	41
四、能源轉型架構下空污排放分析.....	50
伍、治理架構議題.....	57
一、銜接政策與民眾感知（爭議）之科學與風險溝通.....	57
二、公民科學促進治理創新.....	64
三、南韓空污政策.....	72
陸、結論.....	77
參考資料.....	80

摘要

基於「臺灣空氣污染之風險治理與制度研究」豐富的成果，發現臺灣空氣污染治理存在管制革新之必要。從規範面而言，排放管制與總量管制兩項目前主要的空氣污染管制工具，皆無法有效管制行政與管制區域之「跨域治理」；且工業與交通排放深植於臺灣既有產業結構與民生經濟活動狀態，國家經濟發展面臨產業轉型的問題。從管制科學面來看，許多臺灣民眾深切感受到空氣污染已經影響生活，發起各地標示、檢測防範、自救運動，公民參與所帶出的在地知識，經常突顯出專家、官方與常民知識之落差問題。目前臺灣環境運動已經由過去受害者身體歷經許多變化成為「公民認識論」基礎的社會運動（Chou, 2015），若要延展與深化前期研究成果，應聚焦在臺灣空氣污染之知識產製與運用於管制之根本問題與解決之道，而國際上的公民科學（citizen science, civil science）實作經驗，相當值得參考。公民科學來自於當代社會公民與科學之間關係的改變（Irwin, 1995: 1-17）。從較早廣義上的「公民參與科學」，到美國與加拿大興起的社區環境檢測（Ottinger, 2012: 251-254; Conrad and Hilchey, 2011: 274-275），被認為是促進管制革新的途徑；儘管「公民科學」目前並不會取代官方依循之專家主導的管制科學，但公民科學能促進管制單位填補某些「該做未做科學」，促進開放知識討論與資訊公開等，例如透過社會運動基礎的公民科學（Ottinger, 2017: 3-7），強化了舊金山灣區空氣品質管制區的毒物逸散監測的設計、執行、監督與資訊解釋的流程（Ottinger, 2016: 7-9）。

目前臺灣中南部社區監測空污行動是基於一些反空污的環境運動脈絡產生。這些與美國相比「類似但不完全相似」的公民科學實作，促使政府與社會討論管制科學的風險標準界定，填補了傳統監測資料生產的系統性漏洞，回應風險政策知識的共同生產概念（杜文苓、施佳良，2016）。因此，本研究計畫透過觀察與分析臺灣反空污公民運動，探討「臺灣在地公民科學發展」特色。並配合目前環保署正欲推動的「空氣微型監測」計畫，深度分析是否可能促進政府與公民科學合作進行「諮詢/功能治理」模式（Conrad and Hilchey, 2011: 274-275），旨在提供解決臺灣空污「跨域治理」、「知識落差」和「產

業轉型」等問題之建議。

另一方面，總統蔡英文早在 2016 年就職前就宣示要對抗空污。2017 年執政黨將空氣品質改善作為主要施政目標。隨後行政院為了讓環保署空污防制計畫能順利推行，召集各部會針對有關空污防制所應配合與執行之事項，進行行政院層級的正式協商與整合。2017 年 4 月推出「14+N 空氣污染防制策略」可以說是近年最具體的空氣品質改善措施。除了明確列出各項主要污染源的減量目標，也提出達到此減量目標之相應可行具體措施，特別是 PM_{2.5} 的原生與衍生源減量。一改過往空污治理計畫僅有目標而無實質預算投入的缺失，由政府、台電與民間共投入 2,150 億元。然而 2017 年冬季，臺灣民眾又遭受「連續紅爆」的嚴重空污威脅，尤其南部空氣品質經常在「對所有族群不健康」警戒範圍，讓民眾苦不堪言。

環保署陸續推動許多空氣品質管制興革事項，僅一年時間，政策效果未臻理想、措施未盡完善之處可以理解，但台灣空氣品質治理仍有非常迫切的改革必要，特別是主要空氣污染物中以 PM_{2.5} 超標最嚴重，以法定年均 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的 PM_{2.5} 標準來看，年平均僅宜蘭（2016 年始低於 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、台東站及花蓮站、陽明山、恆春 5 個測站符合空氣品質標準，但其中兩個是國家公園測站。以環保署 2016 年空氣品質監測報告所列 PM_{2.5} 自動測站濃度。資料提供 72 站僅 9 站達標。不及格率高達 88%。高達 31% 測站處於濃度 >25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 重災區。25% 測站亦在 >20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上，這代表全台灣大多數地區暴露在高健康風險區域。臺大公衛學院詹長權院長就直言，臺灣空污問題用健康代價、經濟代價來看比政府理解的嚴重性大 20 倍，其健康危害甚至已是國安層級問題。

研究團隊認為，當代空氣品質治理絕非僅是「空氣污染物管制技術」層面問題，也非僅是傳統空氣污染防制策略的「行政管制」與「經濟誘因」兩大主軸項目可以處理。美國國家研究委員會（NRC）2004 年對其空氣品質管理的總檢討建議就指出，空氣品質提升需要提升治理課責性，從歐盟新興風險治理典範來看空氣品質，乃是牽涉到整體臺灣社會的產業、能源與交通轉型之跨界風險治理議題。例如 14+N 為何最終只能訂出未達法訂標準的 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，和其推估的政策工具只能根據現況，在技術上 BACT 的排放管制前提下，行政管制與經濟誘因的最佳化的結果。意即若不能以國家層級做產業、能

源與交通轉型，臺灣民眾恐怕只能接受髒空氣的危害。因此從治理面來看，空氣品質高度關連於低碳與非（減）煤之國家戰略，然而目前溫室氣體與空氣污染政策各行其是，兩者都高度相關於能源與產業轉型的國家戰略，但兩者在政治議程中經常分開進行，若能整合管制口徑，方能有效推估預期效益並管考政策成效。另外包括去化石燃料交通革命，也必須傾國家之力推動，而非提供電動車補貼、柴油車改裝補貼能做出的大幅改革。

因此本文從跨界風險治理的角度，盤點 10 年空污政策進展，脈絡性探討當前問題，再談到當前的治理革新與其限制所在，對於排放清冊與能源轉型之分析與具體建議，最後提出對待解治理架構的建言。包括透過公民科學促進治理創新、參考南韓空污政策以及銜接政策與民眾感知（爭議）之科學與風險溝通，提出政策建議。冀望透過本文，在治理面上提供一些觀點，讓臺灣空氣品質治理能突破現有困境，讓全民能夠活在乾淨、健康的呼吸環境中。

壹、計畫內容

一、臺灣空氣污染治理之管制現況與困境

我國於 2016 年 12 月 1 日實施了新的「空氣品質指標 (Air Quality Index)」，簡稱 AQI；其最大修改處是能將 PM_{2.5} 污染情況反應在指標中。不過就管制的實質來說，雖然推動新的 AQI 是正確的，但我國自從 2012 公布 PM_{2.5} 管制標準後，改善 PM_{2.5} 雖列為重點，但較缺乏強而有力的手段。

就目前臺灣空氣品質管制現況而言，過去環保署對空氣污染管制已經做出極大貢獻，然而目前對 PM_{2.5} 所牽涉的高度複雜風險，可能面臨力有未逮的困境。因此 PM_{2.5} 應是目前我國空氣污染管制的最大挑戰。現實情況是對於已經採取「最佳可行控制技術 (BACT)」的排放源缺乏法源要求減排，總量管制目前容許增量設計又是「符合現況」的管制而非降低排放的設計，因此固定污染源改善空間有限。而移動污染源多年來環保署亦有極大的進展，但在汰換老舊高污染交通工具，例如二行程機車等考量民生需求未有大規模改善動作，而事實上交通改善牽涉到交通部與內政部協力，絕非環保署單方面能執行，但較少看到跨部會協力改善空污的配套手段。

其實臺灣目前幾個主要有效的空氣污染改善工具，都箭在弦上，就缺臨門一腳。例如總量管制，因為設計不良屢遭民間質疑，包括環保團體與企業界都無法支持而未能貿然全國推動；已推動的高屏空品區，依據「容許增量」規定，最多只能維持現況，並非改善現況。而現行之總量管制又不含 PM_{2.5}，PM_{2.5} 尚未列入空污費的徵收範圍。誠然 PM_{2.5} 大量來自硫氮氧化物、揮發性有機氣體等所衍生，然而更容易受到氣候與地形影響，相當複雜；但實際上若不嚴謹的進行掌握，危害甚巨。事實上 PM_{2.5} 風險評估雖然複雜，但是國內外多年研究累積成果，已有一定程度的風險知識能提供管制上夠用的科學實證基礎，進行有效管制。但透過風險知識卻發現，目前的行政區域和空品區都必須按照 PM_{2.5} 的風險評估進行修訂，而空污費與總量管制也必須因應而調整，跨域治理牽涉到

跨域協商與課責等議題，可能才能徹底改善空氣品質。

二、臺灣空污公民科學實作潛力

臺灣作為全球資通訊產業重要地區，「臺灣在地公民科學」相當多的潛力來自於以資通訊工程作為發展基礎的空氣污染「微型監測」與「資訊平臺」推動。由一群網路及軟體業界程式開發設計的工程師及駭客高手組成「g0v 零時政府」，串連臺灣的一些電子設備製造大廠與環保署的全部空氣污染監測站資訊，製作「g0v 零時空污觀測網」¹。成為一個重要的民間空氣品質監測平臺，未來華碩與訊舟科技等民間的空氣盒子與環保署微型監測推動後，這個平臺的資訊品質與密度將有顯著提升，成為推動社會運動基礎的公民科學即為重要的力量。

根據創市際市場研究顧問股份有限公司每半年一次的「臺灣網路使用概況調查」，2016 年 7 月，臺灣整體上網率已達到 80.9%（見圖 1）；而臺灣的資訊與通信產業（Information and Communication Technology）亦十分發達，政府於 1974 年成立工研院電子所，1979 年與民間共同籌設財團法人資訊工業策進會，1970~80 年代間，國內的資訊產業在政府支持下逐漸成形，工研院電子所及資策會不但引領研發資訊技術與設備，培育的人才更成為業界相關產業崛起之契機。直至今時，臺灣仍為世界上舉足輕重的資通訊產品設計及製造國，資訊設備的年產值已超過臺幣 3 兆元，通訊設備則超過 1 兆元（陳信宏、王蒞君、陳春秀、余蘭妮，2011）。

¹ g0v 零時空污觀測網 <http://airmap.g0v.asper.tw/>



圖 1.2004-2016 臺灣上網率追蹤調查

資料來源：創市際市場研究顧問股份有限公司官方網站

在此背景之下，臺灣資通訊產業可謂人才濟濟，這股能量不僅止於創造產值，更注入了公民參與領域，具體代表即「g0v 零時政府」。g0v 最初由一群網路及軟體業界程式開發設計的工程師及駭客高手組成，其後陸續有 NGO、NPO、學生、新聞工作者、藝術視覺影像工作者等各方人士加入，社群目的是開發公民參與社會的資訊平臺與工具，幫助公民更確實瞭解政府運作、快速瞭解議題、不被媒體壟斷，藉此有效監督政府並化為參與行動。g0v 創造極豐碩的開放政府及開放資料成果，「零時空污觀測專案」為其中一項，目標為整合官方與非官方測站的觀測資訊、工廠與交通等各類排污資訊、以及氣象資料，並以地圖視覺化呈現即時的空污動態追蹤，具體成果可見於「g0v 零時空污觀測網」，其監測站點遍布全臺（見圖 2）並廣募空污感測器之自造站點，只要點進任一測站，便可讀取當地的 PM_{2.5} 濃度、溫溼度、歷史圖表等詳細資訊（見圖 3、圖 4）。

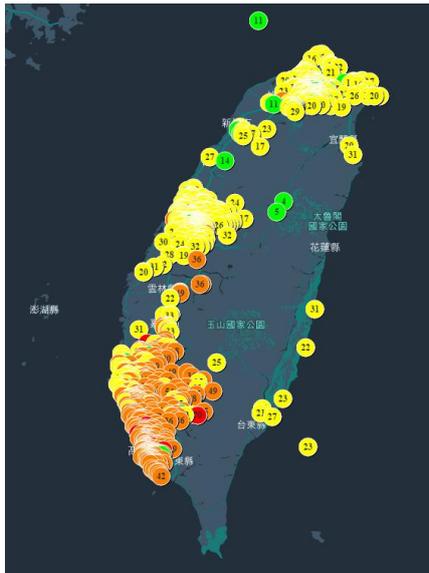


圖 2.全臺零時空污觀測站點分布圖

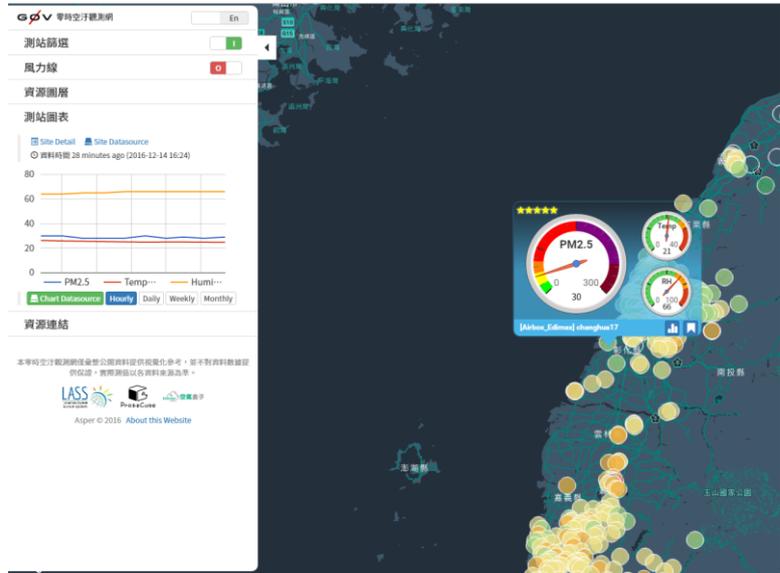


圖 3.零時空污觀測站點歷史圖表

資料來源：g0v 零時空污觀測網

Detail	Data	Raw Data
SiteGroup Airbox_Edimax	Create_at 2016-12-14T08:24:08Z	id 74DA3895C306
SiteName changhua17	Temperature 20.87	name changhua17
Marker null	Humidity 66	lat 24.047
Lat 24.047	Dust2_5 30	lon 120.429
Lng 120.429		pm25 30
		t 20.87
		h 66
		time 2016-12-14 16:24:08
		org
		area
		type airbox
		device_id 74DA3895C306

圖 4.零時空污觀測站點詳細資訊

資料來源：g0v 零時空污觀測網

除了源於工程師關懷公共議題的民間動能，g0v 零時空污觀測網其實必須來自廣泛設置的「微型監測」資訊，目前主要由民間設置，環保署亦規劃部建。民間設置的微型監測部份，目前發展出 Edimax 訊舟科技與中研院資訊科學研究所合作的「空氣盒子」，提供學校和市民用於感測 PM_{2.5}、溫濕度的空氣盒子，並將環境資訊上載至 Edimax Cloud 訊舟科技雲端物聯網平臺，大眾可透過官方網站或 EdiGreen app 隨時監看各據點的空氣品質資訊（見圖 5）。另外，「雲嘉嘉空氣盒子」則為企業與地方政府合作的案例，包括華碩雲端、研揚科技、嘉義市政府、嘉義縣政府、雲林縣政府，作法與成果展現大致同

前述（見圖 6），並開放環境數據給研究機構分析污染來源以及 Makers 進行創新加值應用。

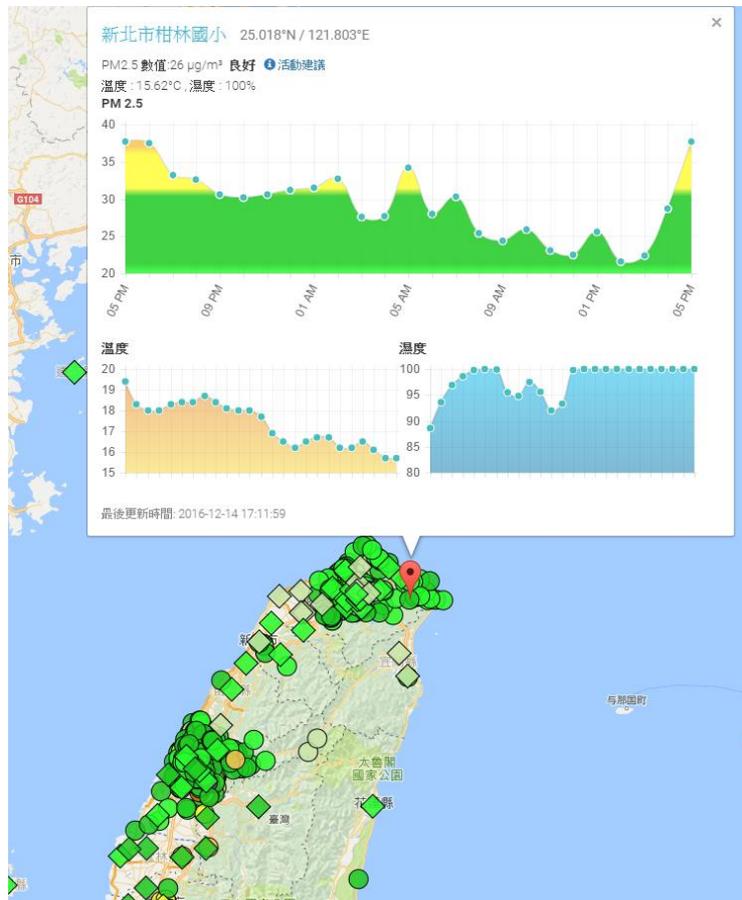


圖 5.空氣盒子站點資訊

資料來源：空氣盒子官方網站

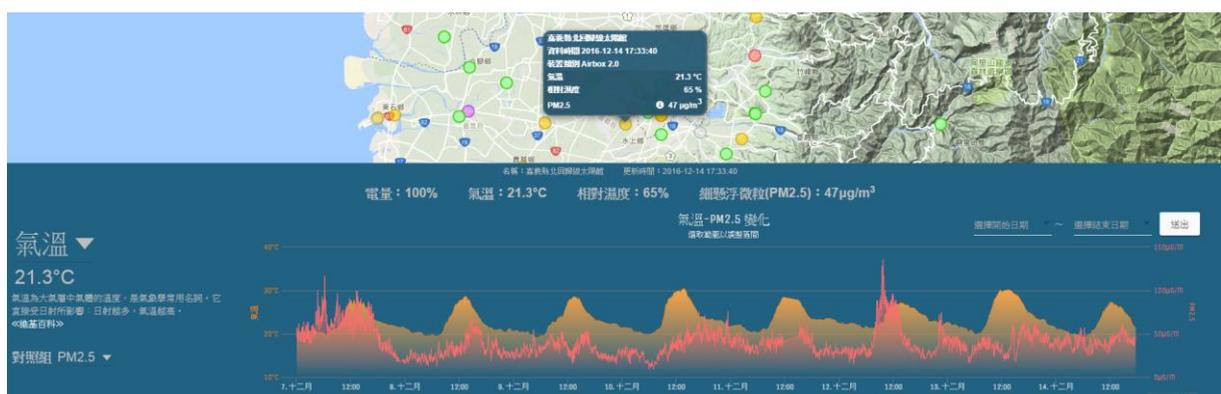


圖 6.雲嘉嘉空氣盒子站點資訊

資料來源：雲嘉嘉空氣盒子官方網站

無論是 g0v 的空污感測器或空氣盒子，均屬於微型監測的範疇，其與官方測站不同的特色是工具取得容易、成本較低，便於一般民眾進入參與，擴大了監測的時空尺度，

尤其因臺灣的氣候條件，污染物易隨季風吹拂飄散，並非只有污染源地區會受影響，更連帶造成前述的「跨域治理」問題；然官方測站為求精確度，無法四處設立，微型監測恰好補充了此不足之處，讓所有在地居民都可隨時查看周遭的空氣污染狀況。而公民進入參與成本低的特徵，立基於這些工程師與科技業廠商、政府的努力，倘若沒有他們的發明與協力之舉，一般民眾要自行開發出微型監測的工具仍屬不易；這也是臺灣與美國的實作經驗相差最明顯之處；在美國，完全是由地方社群自主創造“Bucket”並採用與政府不同的監測方式。考量背景差異，本計畫欲聚焦於這些工程師的初衷與發展歷程，以及公私部門間從發想到推動空氣盒子的協力進程，試圖釐清臺灣這種獨特的參與途徑，在公民科學領域中代表的意涵與創造的價值，更重要的是，其對政府政策產生那些實質的及潛在的影響。

臺灣在此背景下，環保署也預計將推動「微型監測」計畫，環保署規劃即將推動「微型監測」，在全臺各地設置。近年 10,000 個微型監測，協助 PM_{2.5} 空污治理更多濃度資訊，其實相當適合發展出「諮詢/功能性治理」或「協力治理」之社區檢測的公民科學。美國與加拿大存在已久的社區環境監測 (Conrad and Hilchey, 2011)，以臺灣目前情況而言，政府主導、民間執行的「諮詢/功能性治理」檢測，相當可行。例如六輕周邊，長期以來民眾對於六輕提供的污染數據與環保署抽測的數據存在質疑，而空氣品質監測站雖反應出麥寮地區空氣品質不佳，但沒有辦法細緻到對特定排放對象定位與課責。此時環保署的「加強檢測」，不如讓民眾來參與「微型監測」，培訓民眾來參與特定檢測，參與分析與判讀的過程。如此能夠充分做到資訊公開、公民參與以及風險溝通等科技民主要素。雖然政府主導可能有利害關係者多元性較低，被設計與規定的科學方法偏差，但對於目前管制機制而言已有相當大的突破。

三、以公民科學實作建立平臺促進管制革新的探討

知識社會有更長久歷史的美國與加拿大而言，近年發展出具有社區環境監測行動的公民科學 (Ottinger, 2012; Conrad and Hilchey, 2011)，比歐洲傳統公民參與科學式的「廣義公民科學」更進一步，將常民與專家知識在社會行動上更模糊且融合。現代的公民科

學中，存在著「社會運動基礎的公民科學」(Ottinger, 2012, 2016)，知識不再是只有專家或政府操弄權力的工具，社會運動透過知識產製，也正在挑戰知識威權，雖然無法取代嚴謹知識 (sound science)，但是讓專家與政府必須回應與調整，基於預警原則和該做未做的科學，專家與政府在科學倫理與道義上必須回應，才能具有政治的合法性。因此，承前，臺灣目前空污公民運動與公民科學間發展，是否能透過「空氣污染微型監測」的公民科學實作，讓既有的空氣污染運動與公民科學結合之影響，促進政府管制革新的平臺，進而強化目前臺灣的空污治理，是本研究的重點。

目前臺灣已經有六輕地區反空污運動或者高雄地區反空污運動，存在著多元利害關係者的運動基礎。政府、學界、民間與企業協力治理並非沒有平台，但政府在治理設計上，並沒有賦權給公民社會，讓公聽會經常淪於多方利害關係者衝突對立的平台，而非溝通平臺。事實上，讓學界指導企業與民間互相監督彼此監測，政府擔任仲裁與賦權，而企業與民間的監測資料都公開透明採取同樣的方法，並且有法定效果，並非不可能的合作模式。並且，「跨域治理」牽涉的行政問題，在空污治理上雖然有被談到，但實踐較為缺乏，若是交給以公民科學為基礎的「利害關係者」協商平台，可能避免行政上區界問題。從實踐層面上，六輕跨越雲林與彰化的污染，應該由在地組成公民科學的協商平台共同處理，政府可以避免陷入爭議；臺中火力發電廠亦是如此，而中部推動地區禁燒生煤管制縣市，環保署亦應該透過促進在地協力治理，避開中央與地方權責爭論，讓公民科學促進革新管制。

埔里、雲林、臺中高雄各地都有反空污運動，亦有其知識倡議與論述作為基礎，這些知識雖多為引用研究的次級資料，但這些引用來自嚴謹知識學者，透過社會運動不斷衝擊環境治理；此外，微型監測、空氣盒子資訊平台，是否能讓公民參與和使用知識的行動，成為「臺灣在地公民科學」？對現在臺灣空氣污染的治理與管制現況與困難做出貢獻？

貳、臺灣空氣污染微型監測之現行建置盤點

「紫爆是什麼？臺灣君何處惹來的『塵埃』，12張圖細說臺灣霧霾怎麼來（Yulin，2015）」、「PM_{2.5}紫爆 空污究竟誰的錯？（許碩穎、鄭勝元，2016）」、「PM_{2.5}紫爆 高屏地區連續 8 天（余曉涵，2016）」。近年來，紫爆、空氣污染、PM_{2.5} 等詞語時見於新聞標題，灰濛濛的天空儼然已成為身處其下的普羅大眾共同關注之焦點。所謂「紫爆」，主要指的是過去臺灣空氣品質指標（PSI）中「非常不良」，或者 PM_{2.5} 達到「非常高」的狀態²，臺灣近年的「紫爆」事件，大多數是 PM_{2.5} 超標造成的。圖 7 為行政院環境保護署空氣品質監測網的測站空品資訊示意圖，可以看出 2016 年 10 月 29 當日，中南部多處地區已達「紫爆」等級。

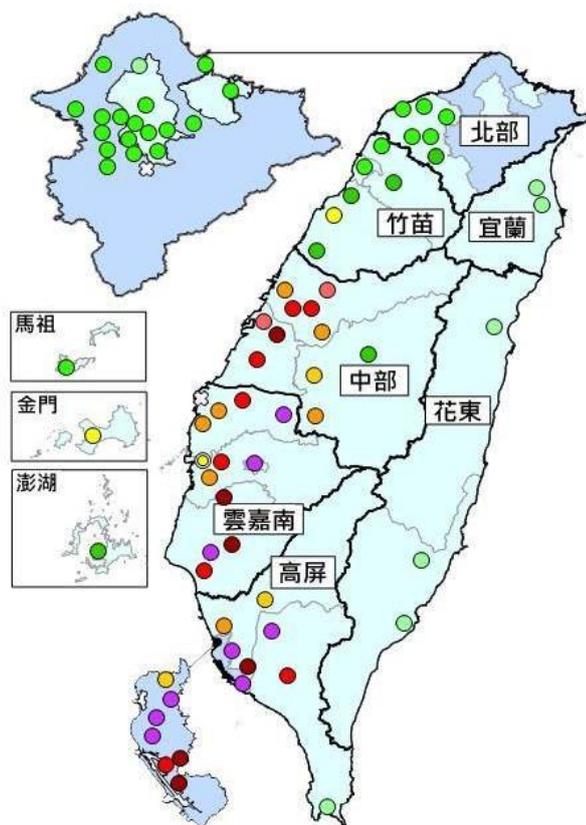


圖 7.中南部多地區達紫爆等級示意圖

²2016 年 12 月 1 日之前，臺灣使用 PSI 指標，PM_{2.5} 借採英國 DAQI 指標，因此「紫爆」有兩種情況，即 PSI 紫爆或 PM_{2.5} 紫爆。以 DAQI 標準，PM_{2.5} 濃度超過 71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 達到紫爆等級；2016 年 12 月 1 日開始實施 AQI 空氣品質指標 (Air Quality Index)，變成 PM_{2.5} 濃度超過 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 才為紫爆等級(洪敏隆，2016)。

造成紫爆的主要元兇之一的細懸浮微粒 (fine particulate matter or PM_{2.5})，意指粒徑範圍在 2.5 μm 或以下的懸浮微粒 (particle matter)，而懸浮微粒即為最主要的空氣污染物之一 (IARC, 2016: 431-438)。PM_{2.5} 與罹患肺癌與心血管疾病高度相關，其污染與致死率間的劑量與反應關係也已經有相當多研究成果，Kim et al. (2015: 141) 與 Hoek et al. (2013: 13) 回顧涵蓋 1974 年至 2014 年的多篇研究，細懸浮微粒健康影響已獲得證實。綜論而言，長期暴露於細懸浮微粒濃度每增加 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的環境下，總死亡率提高 6%、心血管疾病死亡率提高 11% (王建楠、李璧，2014: 199-200)。最新在地研究發現，臺灣盛行的肝癌也與 PM_{2.5} 有關，當本島與澎湖 PM_{2.5} 濃度各增加 13.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 0.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 時，罹肝癌風險就提高 2 成 2 (Huang, Y. T. et al., 2016: 18)。

PM_{2.5} 過去受限於技術等因素，較其他主要污染物的研究與管制要晚，近年來各國才開始積極建立標準管制 (周崇光，2010: 4; 鄭尊仁等，2011: 5-6)。臺灣也於 2012 年 5 月 14 日公布細懸浮微粒濃度標準，不可否認的是 2013 年至 2015 年 PM_{2.5} 濃度在全國有改善趨勢 (圖 8)，但從圖中可以看到 2013 年至 2015 年臺灣 30 個手動測站中，僅恆春測站達到 WHO 年均 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 標準，僅陽明站、恆春站、臺東站、花蓮站達到環保署年均 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 標準 (行政院環境保護署，2015a: 2-65-2-76)。雖然 2015 年 8 月環保署公布「清淨空氣行動計畫」(行政院環境保護署，2015b: 11-36)，預計 2020 年直接 PM_{2.5} 排放減少 15,354 公噸 (佔 19.8%)、PM_{2.5} 之主要衍生源 SO_x 減少 32,960 公噸 (佔 28%)、NO_x 減少 172,554 公噸 (佔 43%)；但按照目前嚴重程度而言，此減量估計也只能讓全臺灣平均從 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降至 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，臺灣多數地區距離「呼吸乾淨空氣」仍是前路漫漫。

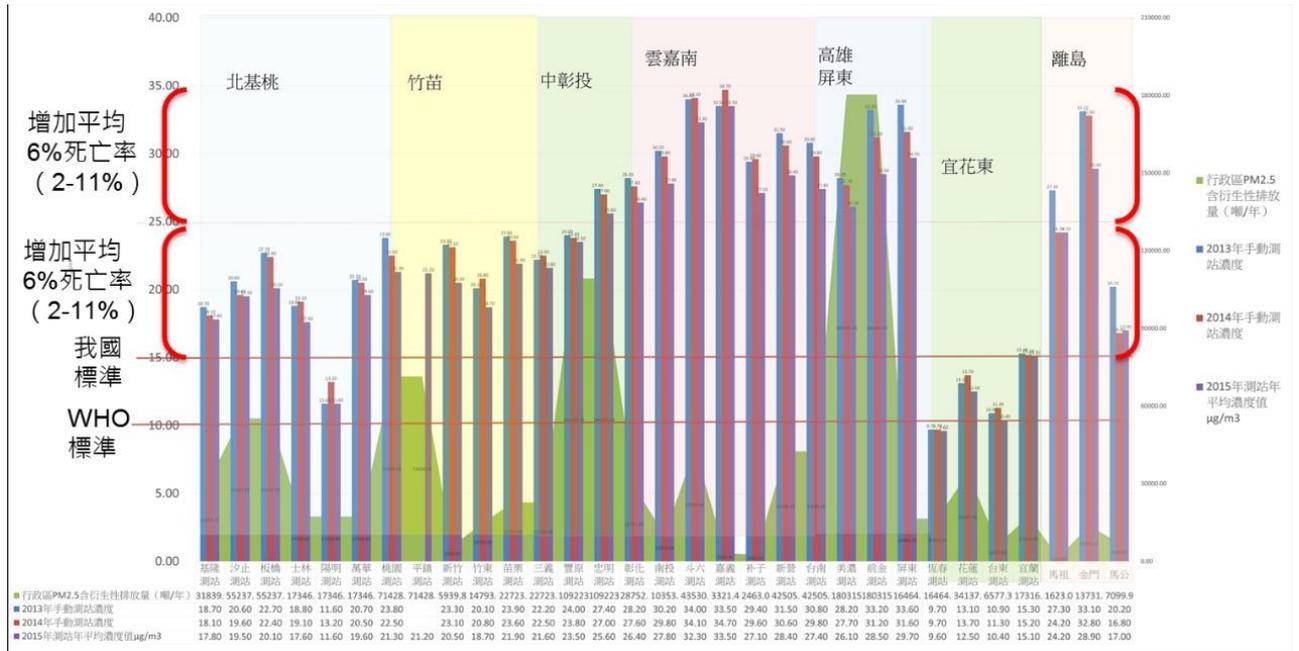


圖 8.2013-2015 年臺灣手動測站 PM_{2.5} 濃度

由於 PM_{2.5} 污染已經被民眾高度關切，從風險溝通的角度而言，亟需更精緻的資訊，現有的官方測站雖然已能證實污染嚴重，並提供模擬推估作為政策用途；但未來若要更精確地掌握跨域污染監測與對特定高污染地區實施空氣品質淨區，對於中央、地方政府與民眾而言，更多、更密集的監測是相當具有貢獻的。官方測站礙於高額成本及法定的站址選定、採樣口原則，設置數量有限，監測的是較大區域的空氣品質資訊；但一般民眾最關心的，往往是生活周遭直接影響健康的空氣污染狀況，官方測站發布之資訊日漸無法滿足民眾對於小尺度環境的空氣品質資訊需求（行政院環境保護署，2016a：2）。也因此，許多民間機構、團體與科學社群於近年開發不少微型監測設施，並透過網際網路上傳、公開資訊；環保署也預計在 2017 年增設約 10,200 個空氣品質感測點，以強化空品的大數據蒐集（行政院環境保護署，2016a：43）。

一、微型監測與物聯網應用

微型監測（或稱微型感測），意指藉由有別於官方測站標準設備的微型監測器來偵測空氣污染物、溫溼度等，微型感測裝置從感測器、偵測原理、到機制設計均有多種樣態，是一種仍在發展中的技術；但不論其開發的具體細節為何，微型感測器的普遍特徵

是具有高解析度、即時監測、可長期儲存污染物濃度監測資料、便於攜帶，利於民眾及時瞭解所處環境之空氣品質（蕭育仁、林育德、李彥希、薛丁仁，2015：42）。

微型感測器之用途除了隨時隨地偵測環境異常狀態，更能藉由感測器間的彼此連動與應急處理串連起空氣污染偵測物聯網（謝孟玕，2015）。透過統合散落各處的裝置資訊並呈現系統全貌，能促進更深層且多面向的資料分析、應用與加值，有助於精確決策與對未來規劃，是為智慧城市具體應用的一環（行政院環境保護署，2016a：2）。³目前國際上空氣污染偵測物聯網建置成功並收有成效的案例包括荷蘭阿姆斯特丹及美國芝加哥（行政院環境保護署，2015c）。

二、比較官方測站與微型監測

承前述，官方測站與微型監測之間存在許多差異，詳見下表 1。官方測站基於儀器價格昂貴且需要一定占地（圖 9），無法大規模布建，故受限於數量及觀測資料解析度的尺度不足，目前預報停留於區域尺度（行政院環境保護署，2016b：6-7），以一般測站為例，通常是一個行政區人口曝露的代表性污染物濃度。相對而言，微型監測器的體積小，以空氣盒子（圖 10）為例，尺寸為 148.4mm（W） x 111.5mm（H） x 45mm（D），且成本低、操作容易、監測範圍僅止於方圓數百公尺的特點（張菁雅，2016），補足了官方測站的不足，人人可測、隨時隨地可測，便於蒐集更高解析度的時間與空間數據。

然而以現階段研發成果來看，微型監測的精確度與穩定度尚無法與官方測站相提並論，例如雲嘉嘉空氣盒子對 PM_{2.5} 的濃度感測誤差是 < 20%，而環保署懸浮微粒測定儀 VEREWA-F701 的誤差範圍則是 <±2% 的測量範圍。

³ 各國對於智慧城市的定義不一，通說為將互聯網、物聯網技術導入在新一代的城市基礎設施建設，提高節能能力，講求高效率生活，建設對地球環境友善的城市（沈振江，2015：1）。



圖 9. 官方測站（沙鹿）示意圖

資料來源：擷取自環保署空氣品質監測網



圖 10. 空氣盒子示意圖

資料來源：擷取自空氣盒子官方網站

官方測站與微型監測的監測點分布比較見圖 11，可以看出微型監測點相對密集許多，其後也將對圖中的 LASS 及空氣盒子之微型監測案例做更詳細介紹。再以 2017 年 1 月 16 日上午高雄地區空氣品質不佳的情況為例，官方測站得到的情報量如圖 12，但搭

配微型監測得到的情報量則豐富如圖 13。若搭配物聯網技術，不但可以滿足民眾知曉周遭空氣品質的權益，未來還有望應用於改善空氣品質預報作業，將預報提升至鄉鎮區小尺度（行政院環境保護署，2016b：7）。

表 1. 微型監測與官方測站之特徵比較

	微型監測	官方測站
監測儀器	無限制	固定品牌型號 ¹
建置數量	成千上萬	76 個
體積佔地	體積小	占地大
建置成本	成本低廉 每個約數千至數萬元	成本昂貴 每站上百萬元
建置速度	可快速布點	建置時程長
監測項目	多為 PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、濕度、溫度	臭氧 (O ₃)、細懸浮微粒 (PM _{2.5})、懸浮微粒 (PM ₁₀)、一氧化碳 (CO)、二氧化硫 (SO ₂) 及二氧化氮 (NO ₂)、溫度、濕度、風速、酸雨
監測範圍	小尺度範圍	大尺度範圍
監測數據發布時間	分鐘	小時
監測原則	隨時隨地	站址選定原則 採樣口設置的原則
監測精度	一般	精準
監測目的	強化預警功能 滿足民眾知的權益	準確監測 發布空氣品質指標 ²

資料來源：參照溫在弘、莊振義、江昭皚、孫志鴻（2013）；行政院環境保護署（2016b）；空氣盒子官方網站；行政院環境保護署空氣品質監測網，本研究自行繪製。

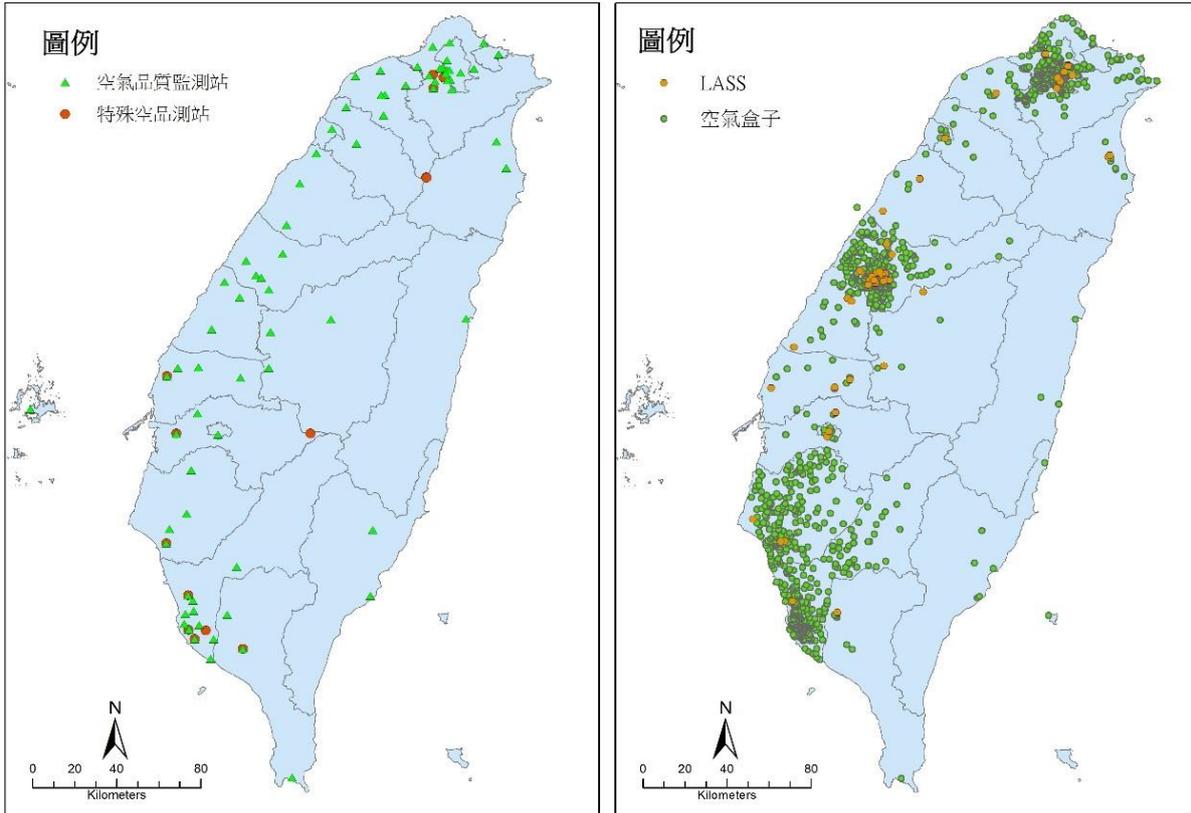


圖 11.官方測站（左）與微型監測點（右）之間監測點分布比較

資料來源：本研究自行繪製（風險中心鍾明光 GIS 團隊繪製）



圖 12.臺灣官方 PM_{2.5} 情報示意圖

資料來源：擷取自環保署空污即時監測

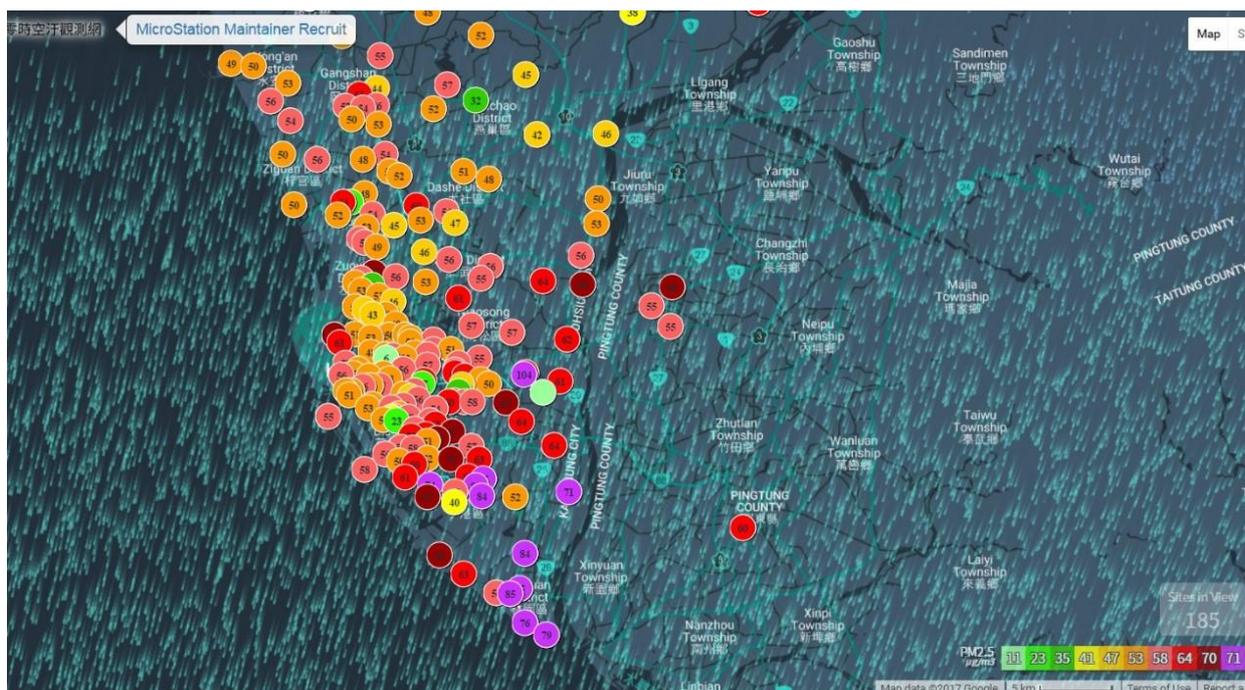


圖 13.臺灣微型監測 PM_{2.5} 情報示意圖

資料來源：擷取自 g0v 零時空污觀測網

三、盤點現有微型監測實作

空氣污染微型監測成為一股新興趨勢，目前臺灣的政府部門、產業界、第三部門、民間均注意到此種監測模式，而且已有投入實作的案例(見表 2)。最早是 2010 年到 2012 年間臺大地理系執行的國科會委託研究計畫，然其試點範圍僅限於羅斯福路、辛亥路等臺大校園周圍；直到 2015 年環保署委託暨南大學執行南投埔里地區 PM_{2.5} 監測系統及推動空氣污染防制志工制度計畫，才有廣至各縣市的微型監測布點成果。2015 年到 2016 年間，尚有環保署自行派遣人員隨隊宗教慶典監測 PM_{2.5}、科技廠商研發空氣盒子、民間社群開發感測網絡系統等行動。

尤其值得注意的是發起者屬性，空氣盒子、雲嘉嘉空氣盒子、LASS 環境感測器網絡系統均是由企業或私人研發，又串聯政府及一般民眾廣布監測點，並將監測數據放上 g0v 零時政府的零時空污觀測網。⁴這種民間創建之微型監測和開放資訊平台的強力結

⁴ g0v 零時政府之詳細資訊請參考官方網站：<http://g0v.tw/zh-TW/>。簡言之，g0v 最初由一群網路及軟體業界程式開發工程師及駭客高手組成，其後陸續有 NGO、NPO、學生、新聞工作者、藝術視覺影像

合，反映出臺灣作為全球資訊與通信產業（Information and Communication Technology）重要地區，過去數十年間累積的不僅是研發技術與設備，更培育眾多業界人才（陳信宏、王蒞君、陳春秀、余蘭妮，2011）。而當這股能量注入環境監測的領域時，發展潛力可期。

表 2.臺灣空氣污染微型監測實作案例

發起者屬性	官方			民間		
名稱	台北市區微型空氣品質監測網	南投埔里地區PM _{2.5} 監測系統及推動空氣污染防治志工制度計畫	媽祖繞境在地空氣品質即時地圖	【開源公益專案】LASS環境感測器網路系統	空氣盒子	雲嘉嘉空氣盒子
時間	2010-2012	2015-	2016	2015-	2016-	2016-
建置數量	84個節點	目前共135個監測點	1台戶外式懸浮微粒質量濃度自動監測儀（摩托車裝設）與4台微型感測器（人員配備）	目前約上百個偵測點	目前約上千個偵測點	目前約上百個偵測點
執行者	行政院國家科學委員會（現更名為科技部）委託國立臺灣大學地理環境資源學系暨研究所執行	行政院環境保護署委託國立暨南國際大學執行	行政院環境保護署	創始人哈爸、中研院陳伶志副研究員、LASS團隊	訊舟科技、中研院資訊科學研究所、臺北市府、新北市政府、臺中市政府、臺南市政府、高雄市政府	華碩雲端、研揚科技、嘉義市政府、嘉義縣政府、雲林縣政府
協作者		南投縣政府環保局與教育處、彰化縣政府教育處與環保局、斗六市公所、高雄市教育局、埔里PM _{2.5} 空污減量自救會、暨南大學水沙連人文創新與社會實踐研究中心		g0v零時政府	g0v零時政府	
監測範圍	臺北市基隆路段、辛亥路段、臺大校園	以南投縣埔里鎮為示範地區，現已擴至南投縣、高雄市、雲林縣、新竹市、彰化縣、臺中市	隨著邊境路線近距離監測	全臺灣	全臺灣	雲嘉地區
監測項目	CO、PM、溫度、濕度、大氣壓力、風速、風向	PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、濕度、照度、溫度	PM _{2.5}	PM _{2.5} 、溫度、濕度	PM _{2.5} 、溫度、濕度	PM _{2.5} 、溫度、濕度
成果展現	台北市區微型空氣品質監測網	南投埔里地區PM _{2.5} 監測系統及推動空氣污染防治志工制度計畫	媽祖繞境在地空氣品質即時地圖	LASS PM _{2.5} 地圖	空氣盒子零時空汙觀測網	雲嘉嘉空氣盒子

資料來源：參照各案例釋出之成果報告或網站，本研究自行繪製

工作者等各方人士加入，社群目的是開發公民參與社會的資訊平台與工具，幫助公民更確實瞭解政府運作、快速瞭解議題、不被媒體壟斷，藉此有效監督政府並化為參與行動，目前也已經創造豐碩的開放資料成果。

四、微型監測的象徵意義與未來發展

奠基於現階段開發成果，微型監測的優點是包括公部門、私部門、第三部門、公民都能以低成本進入參與，並分享訊息於開放資訊平台。尤其對於一般民眾而言，從單方面接收官方資訊到主動參與、實際操作、交換資訊，其中的轉換象徵著「公民科學」的抬頭。公民科學一詞以 Alan Irwin (1995: xi) 對其的系統性定義，指謂一種能滿足公民認知與需求，並且由公民發展並建立起來的科學。

以微型監測而言，民眾可以透過自行檢測獲得周遭空氣品質資訊、提高警覺並採取保護措施，甚至以此遊說政府改變政策或法規標準，反映的即是不再由政府或專家壟斷科學資訊的公民科學精髓。荷蘭阿姆斯特丹的 Smart Citizen Kit 計畫的經驗⁵，即將技術賦權 (technology empowerment) 視為創造出學會運用政治聲音並激勵參與的智能公民的關鍵因子，並對智能公民抱有三項期待：採取個人行動；喚起對於自身行動可以影響空氣品質的認知；提高政治聲音 (Nijman, 2014: 40)。

日前環保署已規劃「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」，預計在 2017 到 2020 年之間透過精進空品感測器效能並開發不同場域各類裝置、建置空品感測器認證平臺並建立維護品保制度、布設約 10,200 個空氣品質感測點並逐步各物聯網系統整合、開發空品大數據蒐集管理及智慧應用資訊系統，建構全國空氣品質感測物聯網 (行政院環境保護署，2016c: 34)。此種多階層監測體系中的智慧城鄉空品物聯網及智慧社區空品點、市民空品感測器，即為可望彌補國家級和區域性測站網不足的重點規劃部分 (圖 14)。

空氣污染微型監測有望在國家政策的力推之上，帶動更多的公民參與，資訊公開也能賦予地方居民參與空污治理的基本風險知識基礎。此外，就政府管制的立場而言，如何提升微型監測的準確度，並整合資訊情報，強化政府管制定點、移動、面污染源的

⁵ 智慧市民感測裝置 (Smart Citizen Kit, 簡稱 SCK) 是由歐盟贊助推動的一項智慧城市計畫，阿姆斯特丹在 2014 年 3 月發表了第一版市民感測裝置，提供免費的感測裝置讓市民帶回家。參與計畫的市民只要將感測裝置裝在自家屋外的陽臺或窗戶後，這個智慧硬體套件就會自動偵測環境資料，將蒐集的資料上傳至雲端，並分析所有裝置的資訊 (辜騰玉，2015)。

當性，對於促進未來空氣品質提升，特別是 PM_{2.5} 濃度的改善將值得期待。

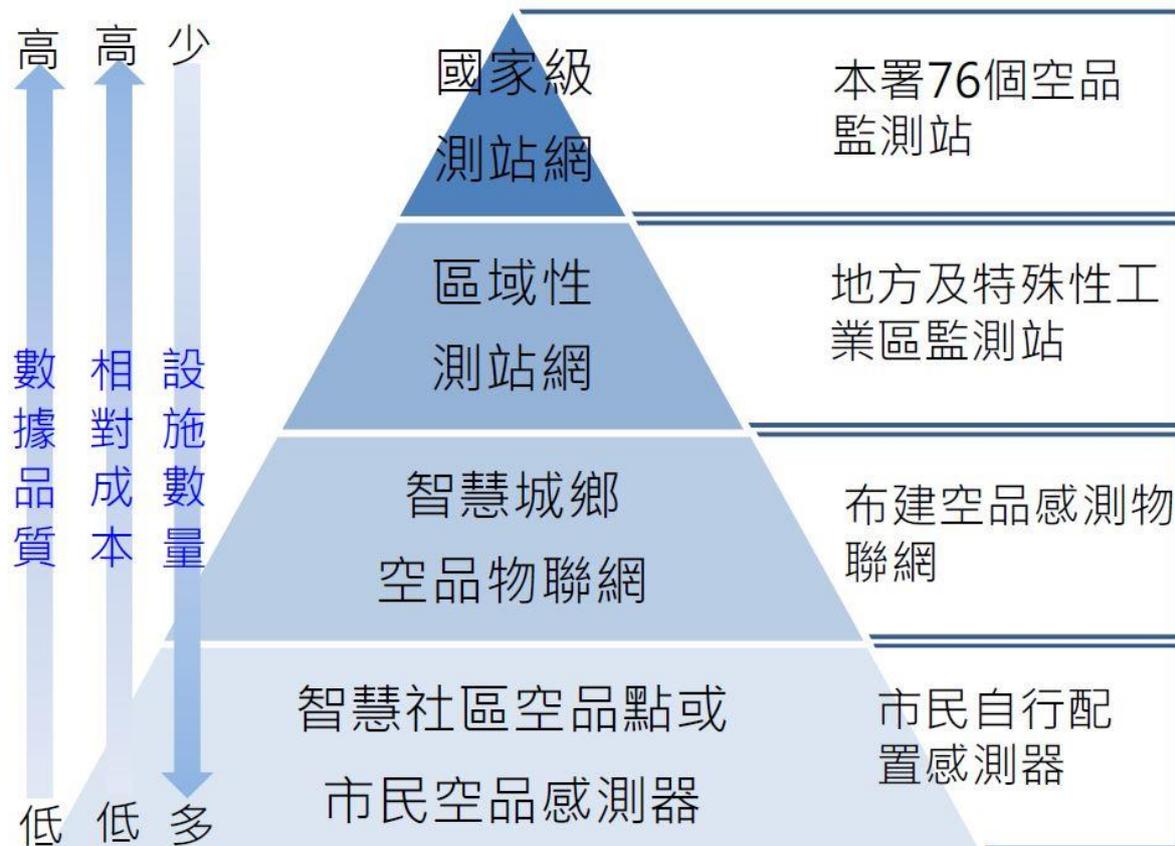


圖 14.多階層的全國空氣品質監測體系

資料來源：行政院環境保護署（2016c：7）

參、空污政策 10 年來之回顧

一、空污議題的公民訴求與政策回應

近年臺灣每當進入秋冬季節時，空氣污染的嚴重也隨之而來。過去臺灣各地對於空污的相關討論與抗爭，其環境運動的性質和近來反空污運動有所差異。早期空氣污染運動主要以單一工廠的污染造成鄰近居民明顯、立即性的感官刺激而進行公害抗爭，近期的反空污運動，即在國光石化的抗爭中使得細懸浮微粒被認識。周桂田（2017）提出以「反國光石化運動」影響整個環境運動與管制的樣貌，民眾對「空污認識論」改變的分界（Chou, 2015: 14590-14591），運動直接的影響即是促使政府訂定 PM_{2.5} 濃度標準，使

臺灣民眾產生「反空污運動」風險感知與認識論基礎，往後，反空污運動的性質即從「單一特定的污染源」轉為「空氣品質」成為反空污運動的焦點所在(陳慧安、何明修, 2017)。

臺灣「反空污運動」議題的浮現始於 2010 年反國光石化運動時期。該年 6 月舉行之彰化國光石化健康風險專家會議中，中興大學環工系莊秉潔教授提出「國光石化營運造成 PM_{2.5} 與健康及能見度影響」報告，該研究指出除了戴奧辛、硫化物等化學毒物排放外，光是 PM_{2.5} 的污染物就能飄散全臺，若國光石化營運後，全臺每人平均會減少 23 天的壽命(莊秉潔, 2010)。此風險論述為環境團體推廣到民眾廣為熟知，自此相關空污知識論述逐漸被重視，民眾開始對於臺灣空氣污染以及產業所造成空氣污染有所認識，從風險感知的角度而言，「空氣污染」始成為民眾主要風險議題。「反國光石化運動」帶起了 PM_{2.5} 造成健康風險議題，特別是由一群彰化醫師共同成立彰化縣醫療界聯盟，積極地進行空污與健康威脅的知識傳散，更進一步將此議題延伸至施壓政府部門進行空污法的修訂，因此促成了前總統馬英九於 2011 年宣布停止彰化國光石化開發案。從此之後，空污議題在臺灣的關注程度日漸升高，於此同時「PM_{2.5}」空污與環境訴求被高度議題化，成為關注的焦點。因此空污政策在馬英九政府最後兩年(2014 年—2015 年)與蔡英文政府(2016 年—至今)成為國家施政的重點項目之一，而改善 PM_{2.5} 濃度也成為臺灣空氣品質提升的重要施政目標。

對於空污的重視與論述，原本單純的反石化產業開發個案所發酵的健康風險論述，同時也在環保團體倡議促成之下，從「單一污染源」的環境抗爭提升至整體「空氣品質」的層面，將空污議題的討論與關注擴大蔓延，不僅帶起了國人對空污的感知與認識，又這 2 年來反空污遊行以「好空氣」為公民訴求及要求政府提出具體空污改善對策等行動。空氣污染所引起普遍且嚴重的健康危害，隨著公民社會的成熟、資訊科技的進步以及相關環保團體、醫界聯盟所組成的公民團體，持續努力揭露空污的危害與嚴重性，更在媒體的傳散下，使得民眾對空污的風險意識提高與重視。以近年空污議題湧現，所產生的民間訴求與政府所提出的回應，以時間軸方式呈現如下圖 15。

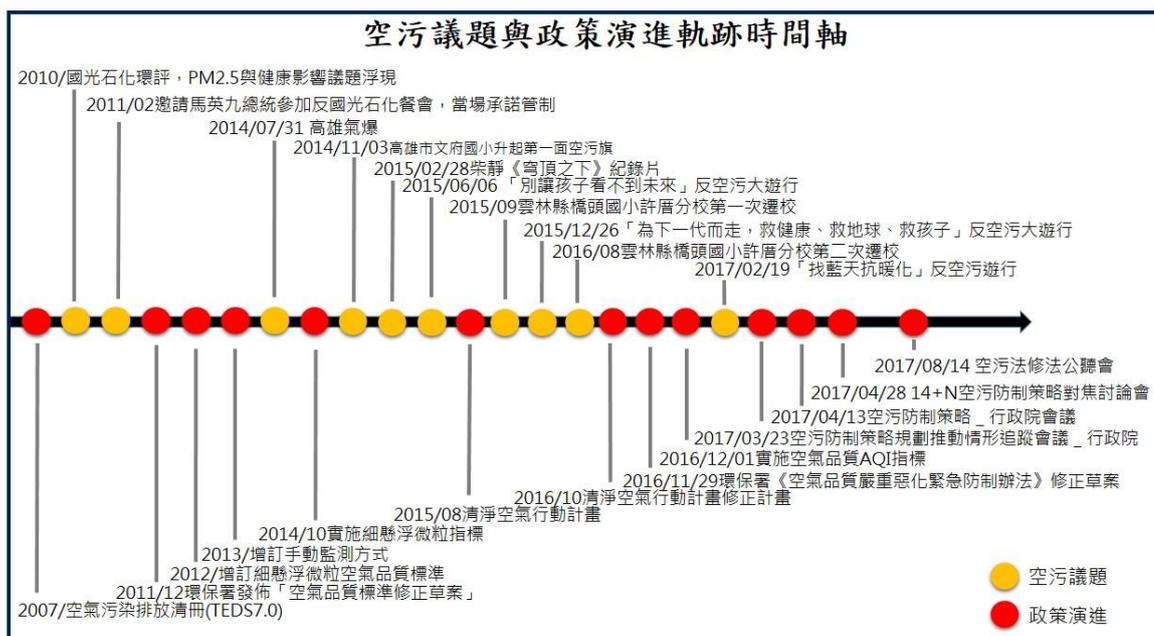


圖 15. 空污議題與政策演進軌跡時間軸

資料來源：本研究團隊整理繪製

軸線上方所敘述的，歷經 2010 年國光石化環評、PM_{2.5} 與健康影響議題浮現等，逐年盤點出與空污相關的重大事件及反空污遊行提出的訴求，而軸線下方則是從 2007 年重要的排放清冊（TEDs 7.0）完成開始，政府歷年空污防制對策等相互對照的時間順序。由此可知，公民社會開始關注討論空污議題，讓空氣污染與 PM_{2.5} 在國內政治與社會引起廣泛重視，始於 2010 年國光石化環評及 2011 年反國光石化運動。另外，也整理空污治理兩階段針對民間訴求行動與政策作為對照（如表 3）在民間壓力推動下，時任總統馬英九在反國光石化餐會中承諾 PM_{2.5} 的列入管制，乃於 2012 年增訂 PM_{2.5} 空氣品質標準；2013 年增訂了手動監測方式；2014 年 10 月實施納入 PM_{2.5} 的新空氣品質指標，但該指標被認為是權宜的組合版。該年 11 月地球公民基金會邀請高雄市港和國小及文府國小試辦校園升空污旗的行動，11 月 3 日文府國小升起第一面空污旗（王敏玲，2015）。2015 年 2 月「穹頂之下」紀錄片在中國遭到政府下架，間接卻掀起臺灣對 PM_{2.5} 的關注與重視，6 月份為空污議題發酵以來，由環保團體串聯組織舉辦「別讓孩子看不到未來」反空污大遊行，特別對於 PM_{2.5} 遲遲未能有效改善而對政府提出抗議。2015 年 8 月環保署提出「清淨空氣行

動計畫」，不過在年底正值冬天空污影響最劇時，環保團體再次高舉「為下一代而走，救健康、救地球、救孩子」訴求走上街頭，希望政府能正視空污的治理與改善。

2016 年政黨輪替後，10 月份新政府針對 2015 年的「清淨空氣行動計畫」提出了修正計劃，11 月環保署再提出《空氣品質嚴重惡化緊急防制辦法》的修正草案，12 月則實施空氣品質 AQI 指標。雖然新政府一連串政策宣示對抗空污，不過民眾不滿於全臺灣 PM_{2.5} 仍然嚴重超標，因此 2017 年 2 月反空污遊行又再度走上街頭抗議訴求。同年 3 月行政院召開空污防制策略規劃推動情形追蹤會議，4 月 13 日行政院議案環保署報告「空氣污染防制策略目標具體行動措施」並通過「14+N 空氣污染防制策略」，逐漸地看見政府對空污治理的決心，隨即於 4 月 28 日環保署會集交通部、經濟部針對空污改善舉行「14+N 空氣污染防制策略對焦討論會」，以民間訴求的角度和政府政策回應的方式，提出空污改善的目標與期程，繼 14+N 對焦討論會後，7 月 26 日在高雄召開「14+N 空氣污染防制策略燈號管制說明會議」，8 月份分別在北中南召開「空氣污染防制法」公聽會，於 12 月 14 日行政院會通過《空氣污染防制法》修正草案。然而一連串空污治理措施並沒有立即收到效果，到秋冬之際，特別是中南部空氣品質連續的「紅爆」，引起民眾再次集結，12 月 17 日再度走上街頭，以「終結一個天空，兩個臺灣」為主題串連中南部反空污遊行。

2017 年政府將空氣品質作為主要施政目標，並由環保署提出「14+N」措施作為分界，2010 年反國光石化運動到 2016 年清淨空氣行動計畫修正計畫期間，PM_{2.5} 健康影響議題的浮現，民間訴求於 2014 年高雄升起第一面空污旗，緊接著 2015 年分別在上下年度舉行兩場反空污大遊行，由北中南各地聲援，上半年為「別讓孩子看不到未來」，下半年則是「為下一代而走，救健康、救地球、救孩子」等訴求，故環保署針對 PM_{2.5} 有著一連串的政策作為，包括空品標準訂定、空污指標的實施。2017 年初仍延續「反空污找藍天大遊行」的訴求行動，推促著政府積極進行一連串作為，在反遊行之後更加密集展開，包括環保署針對空氣污染防制策略提出具體行動措施，以及召開 14+N 空氣污染防制策略對焦討論會，作為政府的對焦回應。儘

管民進黨政府上任以來針對空污的改善提出相對積極的改善策略，但在 2017 年末中南部空污問題持續不斷，促使居民標舉「終結一個天空 兩個臺灣」抗爭上街遊行。整體來說，自 2015 年開始反空污遊行成為每年定期發生的環境運動，由於民間針對空污議題的訴求不斷地拋出，政府也一直對空污提出作為，但民眾對於目前空氣品質仍然不滿，繼續走上街頭。

表 3. 空污治理兩階段－民間訴求行動與政策作為對照

階段	空污議題的民間訴求與行動	政策作為
<p>反國光石化到 2016年清淨空氣 行動修正計劃 (2010-2016)</p>	<p>1.國光石化環評，PM_{2.5}與健康影響議題浮現。(2010)。 2.邀請前總統馬英九參加反國光石化餐會，當場承諾管制。(2011) 3.高雄市文府國小升起第一面空污旗。(2014) 4.兩場反空污大遊行，由北中南各地區聲援，上半年以「別讓孩子看不到未來」為主軸，表達乾淨空氣的呼吸基本權力訴求；下半年高舉「為下一代而走，救健康、救地球、救孩子」，希望政府相關管制正視空污治理與改善。(2015/6、12) 5.雲林縣橋頭國小許厝分校第一次遷校爭議。(2015) 6.雲林縣橋頭國小許厝分校第二次遷校爭議。(2016)</p>	<p>1.環保署發佈「空氣品質標準修正草案」。(2011) 2.增訂PM_{2.5}空氣品質標準。(2012) 3.增訂手動監測方式。(2013) 4.實施PM_{2.5}指標。(2014) 5.清淨空氣行動計畫。(2015) 6.清淨空氣行動修正計劃、《空氣品質嚴重惡化緊急防制辦法》修正草案、實施AQI指標。(2016)</p>
<p>空氣污染成為主 要施政目標 14+N (2017-至今)</p>	<p>1.2017年初反空污大遊行以「219反空污找藍天大遊行」為主題，訴求為 (1) 政院、環署、經濟部南遷才是共體時艱。 (2) 緊急防制辦法分級下修、降低高濃度空污危害。 (3) 中火六輕減煤改燃氣，減少燃煤空污及減碳之訴求，提出中南部空污環境不正義。(2017/2)</p>	<p>1.環保署召開空氣污染防制策略規劃後續辦理情形追蹤會議。(2017/3) 2.再次針對空氣污染防制策略提出具體行動措施。(2017/4) 3.緊接著與交通部、經濟部於中南部召開</p>

	<p>2.2017 年末中南部空污問題持續不斷，促使居民標舉「終結一個天空 兩個臺灣」抗爭上街遊行，訴求為</p> <p>臺中場：</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) 中火立刻減煤二成（2018.01.26 前）再逐年減一成 (2) 各縣市前 30 大污染源減排二成（2018 年底前） (3) 空品資訊網速增加可即時反映的指標 <p>高雄場：</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) 國營事業污染實際排放量應在 3 年內降低 50% (2) 反對燃燒生煤 (3) 反對《空污法》、《環評法》不當修法及提高「空污費」 	<p>14+N 空氣污染防制策略對焦討論會。 （2017/4、5）</p> <p>4.於北中南召開《空氣污染防制法》修正草案公聽會。（2017/8）</p> <p>5.行政院會通過《空氣污染防制法》修正草案。（2017/12）</p>
--	--	---

二、空氣污染政策有多少實質進展？

體檢近年政府的空污政策改善策略目標及進展，本文從 2015 年「清淨空氣行動計畫」、2016 年「清淨空氣行動計畫修正計畫」及 2017 年「14+N 空氣污染防制策略」進行空污政策的檢視與盤點。首先，針對上述提及之三大改善時程依序進行改善策略目標及預期效益總覽，再依據固定污染源、移動污染源及其他污染源這三類別中幾項重要的政策作為討論。於 2015 年「清淨空氣行動計畫」中主要強化的措施以推動電動運輸（二輪車、電動公車）及柴油車加裝濾煙器、推動飯店使用天然氣鍋爐為重點；2016 年「清淨空氣行動計畫修正計畫」重點則是防制及掃除煙塵、鍋爐燃料的改變及改變燒香、金紙等民俗活動；2017 年「14+N 空氣污染防制策略」環保署對於空污的改善及減量成效策略措施，開始比較清楚盤點出固定污染源、移動污染源，以及其他污染源等細項種類的改善策略、預期達到之效益，空污政策的目標逐漸明確和執行，不過仍有待追蹤與檢視。

第二部分，將針對固定污染源、移動污染源及其他污染源這三大類別中，幾項關鍵性的政策及改善策略作為討論。第一類別「固定污染源」兩大項重點改善策略，其一是「鍋爐管制」（圖 16），在「清淨空氣行動計畫」中只推動全國飯店、旅館業鍋爐改用天然氣或其他乾淨能源之熱水供應設備，接著在「修正計畫」中則推動全國各式鍋爐減少使用燃煤或重油，直到今年在「空氣污染防制策略規劃推動情形追蹤會議」目標設定 2019 年起將加嚴 6000 座中小型鍋爐（含商用鍋爐 1000 座、工業鍋爐 5000 座）的排放標準，也提高了各污染物的減量目標，而預期減量效益為 PM₁₀ 減量 851 公噸/年、PM_{2.5} 減量 175 公噸/年、SO_x 減量 4962 公噸/年、NO_x 減量 2936 公噸/年、VOC 減量 7 公噸/年。

固定污染源__改善策略

• 鍋爐管制

改善時程	改善時程		
	清淨空氣行動計畫 (104年8月)	清淨空氣行動修正計畫 (105年10月)	空氣污染防制策略 (106年4月13日)
目標內容	推動全國旅館業鍋爐	推動全國各式鍋爐 減少使用燃煤或重油	108年起加嚴6000座 小型鍋爐 (商用1000座；工業5000座)
預期效益	減量成效： SOx減少395公噸/年 NOx減少103公噸/年 TSP減少3.72公噸/年 CO2減少247公噸/年	減量成效： SOx減少3000公噸/年 NOx減少1000公噸/年 TSP減少300公噸/年	減量成效： PM10減少851公噸/年 PM2.5減少175公噸/年 SOx減少4962公噸/年 NOx減少2936公噸/年

圖 16. 鍋爐管制

資料來源：環保署（2015、2016、2017c）

其二「電力設施管制」(圖 17)則是 2017 年才有目標內容，各部會配合項目重點將老舊高污染發電組除役、天然氣機組裝設空氣污染防制設備、提升發電機組空污防制效率、空品不良季節配合降載，預期減量目標 PM₁₀ 減量 205 公噸/年、PM_{2.5} 減量 143 公噸/年、SO_x 減量 12092 公噸/年、NO_x 減量 17163 公噸/年。

固定污染源__改善策略

• 電力設施管制

改善時程	改善時程		
	清淨空氣行動計畫 (104年8月)	清淨空氣行動修正計畫 (105年10月)	空氣污染防制策略 (106年4月13日)
目標內容	✘	✘	提升發電效率降低污染
預期效益	✘	✘	減量成效： PM10減少205公噸/年 PM2.5減少143公噸/年 SOx減少12092公噸/年 NOx減少17163公噸/年

圖 17. 電力設施管制

資料來源：環保署（2015、2016、2017c）

另外，則是移動污染源的部分分為兩塊，「汰換一、二期柴油大貨車」(圖 18)及「淘汰二行程機車」(圖 19)，「汰換一、二期柴油大貨車」在清淨空氣行動計畫中原本沒有目標的設定及預期效益，直到 2017 年 4 月的院會中才清楚設定要淘汰 8 萬輛並提高各污染物的減量目標，預期效益的減量成效 PM₁₀ 減量 6143 公噸/年、PM_{2.5} 減量 5395 公噸/年、NO_x 減量 71149 公噸/年、VOC 減量 7584 公噸/年；而「淘汰二行程機車」則是從一開始的整體政策演進中就有設定，預計在 2019 年淘汰 100 萬輛。目前預期效益的減量成效則是 PM₁₀ 減量 563 公噸/年、PM_{2.5} 減量 457 公噸/年、SO_x 減量 1 公噸/年、NO_x 減量 260 公噸/年、VOC 減量 7743 公噸/年。

移動污染源__改善策略

• 汰換一、二期柴油大貨車

改善時程	改善時程		
	清淨空氣行動計畫 (104年8月)	清淨空氣行動修正計畫 (105年10月)	空氣污染防制策略 (106年4月13日)
目標內容	✘	➡ ✘	➡ 至108年淘汰8萬輛
預期效益	✘	➡ ✘	➡ 減量成效： PM ₁₀ 減量6142公噸/年 PM _{2.5} 減量5395公噸/年 NO _x 減量71149公噸/年 VOC 減量7584公噸/年

圖 18. 汰換一、二期柴油大貨車

資料來源：環保署 (2015、2016、2017c)

移動污染源__改善策略

• 淘汰二行程機車

改善時程	改善時程		
	清淨空氣行動計畫 (104年8月)	清淨空氣行動修正計畫 (105年10月)	空氣污染防制策略 (106年4月13日)
目標內容	104年至109年 淘汰100萬輛	全面汰換5期機車	至108年淘汰100萬輛
預期效益	減量成效： CO ₂ 減量48700公噸/年 PM ₁₀ 減量2315公噸/年 PM _{2.5} 減量1390公噸/年 CO減量29840公噸/年 HC減量24245公噸/年 NO _x 減量593公噸/年	減量成效： HC減量19704公噸/年	減量成效： PM ₁₀ 減量563公噸/年 PM _{2.5} 減量457公噸/年 SO _x 減量1公噸/年 NO _x 減量260公噸/年 VOC減量7743公噸/年

圖 19. 淘汰二行程機車

資料來源：環保署（2015、2016、2017c）

最後一小部分，則是其他污染源改善的項目，以「餐飲油煙管制」（圖 20）為例，自「修正計畫」開始變要求業者設污染防制設備，減少餐飲業污染排放，而在今年 4 月的行政院空氣污染防制策略，目標內容至 2019 年推廣餐飲業者增設防制設備至少 7000 家，預期的減量成效目標為 PM₁₀ 減量 835 公噸/年、PM_{2.5} 減量 779 公噸/年。

其他污染源__改善策略

• 餐飲油煙管制

改善時程	改善時程		
	清淨空氣行動計畫 (104年8月)	清淨空氣行動修正計畫 (105年10月)	空氣污染防制策略 (106年4月13日)
目標內容	✘	要求業者 設污染防制設備	至108年推廣餐飲業者增設 防制設備至少7000家
預期效益	✘	✘	減量成效： PM ₁₀ 減少835公噸/年 PM _{2.5} 減少175公噸/年 SO _x 減少4962公噸/年 NO _x 減少2936公噸/年

圖 20. 餐飲油煙管制

資料來源：環保署（2015、2016、2017c）

總歸來說，2017 年上半年度，行政院召開空污防制策略規劃推動情形追蹤會議，以及環保署提出行政院議案報告「空氣污染防制策略目標具體行動措施」，逐漸可以看到政府對於空污治理的決心，然而空污的改善不僅只是環保署的責任，於 2017 年 4 月 28 日及 5 月 2 日分別於臺中、高雄由環保署會同經濟部、交通部等跨部會，共同出席「14+N 空氣污染防制策略對焦討論會」，對焦會議後環保署針對政策回應盤點並做成「政策紅綠燈」，作為檢視政策的執行或仍須再研議的政策情況(環保署,2017d),「14+N」為目前環保署針對空污改善並定期於中南部舉辦對焦會議的政策檢視方針。

然本節在於檢視與盤點空污政策的演進過程，整體來說，首先在「移動污染源」中，部分「淘汰一、二期柴油車」從 2015 年「清淨空氣修正計畫」開始至今的目標皆為一貫，特別是在二行程機車民進黨政府版本也沿用前朝的版本並追加經費；「固定污染源」值得注意的則是「電力設施」部分。目前的改善策略僅提到「提升發電效率降低污染排放」，應配合 2025 年的目標需達天然氣 50%、燃煤 30%、再生能源 20%之佔比，其中汽電共生、生煤的期程及變化量皆沒有在這些政策演進中呈現。儘管公民參與成為政府滾動政策的力量，但整體檢視空污政策的演進下，空污改善的政策目標逐漸明確化，而空污議題已從過去針對「單一污染源」轉變為全面「空氣品質」的問題。今日空污的發生也不再侷限於某一地方行政區域，而是時常遭受到其他縣市的影響，卻往往受限於非該行政區劃中而無法針對空污做切實的改善。在此方面政策的目標和研擬，缺乏了地方跨域治理概念的納入，現階段的空污防制策略雖已逐漸針對問題進行政策的改善。不過，目前環保署繼「14+N 空氣污染防制策略對焦討論會」後，便以「14+N 政策紅綠燈盤點表」作為政策進度的檢視，但此燈號盤點表的政策追蹤似乎沒有持續滾動，於 8 月份召開空污法修法草案公聽會，並於 12 月 14 日行政院通過草案至今，即便如此，空氣污染問題仍持續發生，所謂「好的空氣品質」空污政策 10 年來行走至今有待不間斷地監督追蹤及政府落實政策之執行。

肆、治理的改變與不足

一、14+N 措施未竟全功

於 2016 年政黨輪替後，民進黨政府對於解決空污問題，有別於過去的空污改善對策，在整個政策態度上可以說相對的積極，也針對各大污染源進行了分別的細項盤點及提出如何改善的策略作法。然而整個 14+N 空污管制策略推動的形成過程，回溯至 2016 年 6 月 3 日前行政院長林全在立法院的施政報告中，提及空氣污染的嚴重性尤其是細懸浮微粒（PM_{2.5}）的傷害和衝擊，將 PM_{2.5} 減量列為重要目標同時也承諾改善中南部空氣品質，便展開了一連串的政策規劃，於年底召集了環保署及相關部會召開空污防制策略規劃會議，並納入行政院例行的政策管制會議中討論（行政院，2017）。

不久後，2017 年 2 月 19 日反空污遊行再度走上街頭，行政院隨即緊鑼密鼓於 3 月召開「空污防制策略規劃推動情形追蹤會議」，4 月行政院議案中環保署報告「空污防制策略目標具體行動措施」，並以新的政策形象「14+N 空氣污染防制策略」分別於 4 月 28 日、5 月 2 日在臺中、高雄進行對焦討論會，並將對焦討論會中針對民間所關注的意見彙整後，盤點出政策是否已在執行、可評估後執行、需在研議或是短期內無法執行作政策燈號的對照顯示，再次到高雄進行「14+N 燈號管制說明會」。

基於此，本節將更細部的描述「14+N 空污防制策略」革新的空污政策，政府提出的各項改善策略目標及各項污染物的主要減量措施。其中，14 為政府即將執行的空污防制策略，N 即是可以再增加的解決路徑與方案作為對焦民間訴求的議題，值得關注的是此次「空氣污染防制策略」預計在三年內由政府投入 365 億（含空污基金與公務預算）、臺電投入 101 億元、民間投入 1684 億元，總計 2150 億元之經費預算（陳文姿，2017），而這次經費挹注相對過往空污政策的預算費用，可說是前所未見的重視。詳細的政府、民間、臺電三項經費投入與 14 項規劃，如下（表 4）：

表 4. 14+N 空污管制措施與各項經費投入（單位：億元）

管制措施		政府投入金額		民間 投入金額	臺電 (106-108 年)
		基金預算	公務預算		
固定 污染源	1.電力設施管制	-	-	46.2	101.2
	2.鍋爐管制	4.9	20	90	-
	3.農業廢棄物燃燒排煙管制	2.3	-	1.1	-
	4.營建及堆置揚塵管制	7.1	-	139.3	-
	5.餐飲油煙管制	2.4	-	7	-
	6.改變風俗習慣	2.1	-	-	-
	7.河川揚塵防制	3.1	2.7	-	-
移動 污染源	8.汰換一、二期柴油大貨車	137.5	-	1078-1725	-
	9.三期柴油車加裝濾煙器	26	-	68.4	-
	10.汰除二行程機車	11.5	-	244-390	-
	11.港區運輸管制	-	1.1	0.8	-
	12.提升公共運輸使用人次	-	140.9	5.3	-
	13.提升軌道貨運運能	-	0.1	0.3	-
	14.推動電動蔬果運輸車	3.5	-	3.6	-
合計		200.4	164.8	1684-2477	101.2

資料來源：環保署（2017c）

註：「改變風俗習慣」、「河川揚塵防制」在排放清冊中為面污染源，但環保署在 14+N 空污防制策略中將其歸類為固定污染源。

另外，「14+N 空氣污染防制策略對焦討論會」環保署說明當中 14 個細項類別的經費需求，分述如下（環保署，2017c）：

1. 「電力設施管制」經濟部 2019 年約 101.19 億元、2020 年約 221.56 億元；
2. 「鍋爐管制」環保署 2018 年約 4 億元、經濟部 2019 年約 20.8 億元；
3. 「農業廢棄物燃燒排煙管制」環保署 2019 年約 2.3 億元；

4. 「營建及堆置揚塵管制」環保署 2019 年約 7.05 億元；
5. 「餐飲油煙管制」環保署 2019 年約 2.4 億元；
6. 「改變風俗習慣」環保署 2019 年約 2.1 億元；
7. 「河川揚塵防制」環保署 2019 年約 3.1 億元、水利署 2019 年約 4.1 億元、林務局 2019 年約 1.3 億元；
8. 「淘汰一二期柴油大貨車」將評估藉助提高空污費率籌措財源 2017 年至 2019 年約 137.5 億元；
9. 「三期柴油車加裝濾煙器」環保署約 26 億元；
10. 「汰除二行程機車」環保署 2017 年至 2019 年約 11.5 億元；
11. 「港區運輸管制」現階段暫無經費需求，待各單位策略研擬及規劃；
12. 「提升公共運輸使用人次」約 140 億元；
13. 「提升軌道貨運運能」無編列特定經費支應，依規劃方案執行，提高貨櫃運量；
14. 「推動電動蔬果運輸車」環保署 2017 年至 2019 年 3.46 億元

接著，再根據兩大污染源的幾項重要改善措施，說明民間訴求與政策回應的對焦，在固定污染源部分，以「電力設施管制」和「鍋爐管制」為主要；移動污染源則以「淘汰一、二期柴油大貨車」和「汰除二行程機車」為討論。首先，「電力設施管制」的民間訴求為應減少燃煤的使用、立法禁燒煤與石油焦、減煤的時程等；在政策回應的部分，則將改善的策略重點為加嚴電力業排放標準、將老舊高污染發電機組除役、天然氣機組裝設空氣污染防制設備等。「鍋爐管制」的民間訴求為加嚴鍋爐的排放標準，以及建議各工業區設置天然氣管或儲槽；政策回應的改善執行重點則分為商用鍋爐約 1000 座，2017 年至 2018 年推動商用鍋爐改用天然氣等乾淨燃料、工業鍋爐約 5000 座將推動資源整合減少鍋爐使用及天然氣管線佈設。再者，移動污染源部分「淘汰一、二期柴油大貨車」、「汰除二行程機車」之民間訴求為老舊排污嚴重的汽機車及大型車已修法預告將加重罰鍰，應有配套措施，因此政策的回應將加強攔檢及通知到檢，減少烏賊車情形並研擬淘汰老舊大型柴油車補助辦法，提供誘因加速淘汰一、二期柴油大貨車，二行程機車預計到 2019 年淘汰 100 萬輛，並修訂淘汰二行程機車補助辦法。

14+N 空污對焦策略討論會中，分別針對「移動污染源」、「固定污染源」提出改善的目標內容及預期效益，預計至 2019 年推動各項管制之空氣污染物減量成效目標，包含懸浮微粒 (PM₁₀) 約 14000 公噸、細懸浮微粒 (PM_{2.5}) 約 8500 公噸、硫氧化物 (SO_x) 約 17000 公噸、氮氧化物 (NO_x) 約 92000 公噸、揮發性有機物 (VOC) 約 15000 公噸。另外，以「排放清冊排放量」為基準，其減量比率 PM₁₀ 佔 8.2%、PM_{2.5} 佔 10.9%、SO_x 佔 14.6%、NO_x 佔 23%、VOC 佔 3.4%。而 PM_{2.5} 年平均濃度預計從 2015 年的 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 改善至 2019 年 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，在這當中各項空氣污染物的主要減量措施及貢獻(表 5)。PM₁₀、PM_{2.5} 主要減量措施為「汰換一、二期柴油大貨車」，PM₁₀ 減量 6142 公噸，貢獻 44.6%、PM_{2.5} 減量 5395 公噸，貢獻 63.8%；SO_x 主要措施為「電力設施管制」減量 12092 公噸，貢獻 70.7%、NO_x 則是「電力設施管制」減量 17163 公噸，貢獻 18.7%及「汰換一、二期柴油大貨車」減量 71149 公噸，貢獻 77.6%；VOC 為「汰除二行程機車」減量 7743 公噸，貢獻 50.4%。

表 5. 各項空氣污染物的主要減量措施

各項空氣污染物 年排放量減量成效 (公噸)	懸浮微粒 (PM ₁₀)	細懸浮微粒 (PM _{2.5})	硫氧化物 (SO _x)	氮氧化物 (NO _x)	揮發性有機物 (VOC)
主要減量措施 及減量貢獻	汰換一、二期柴油大貨車：削減量 6142 公噸，貢獻度 44.6%。	汰換一、二期柴油大貨車：削減量 5395 公噸，貢獻度 63.8%。	電力設施管制：削減量 1209 公噸，貢獻度 70.7%。	汰換一、二期柴油大貨車：削減量 71149 公噸，貢獻度 77.6%。	汰除二行程機車：削減量 7743 公噸，貢獻度 50.4%。
減量合計	13770	8446	17093	91682	15346
減量比率	8.2%	10.9%	14.6%	23%	3.4%

資料來源：環保署 (2017c)

「14+N 空氣污染防制策略」作為革新的空氣品質政策，整體來說政府對於空污防制策略的藍圖與目標越趨清楚，不過仍有不足之處，就現階段所提出的僅只是針對各項空氣污染物（如：PM₁₀、PM_{2.5}、SO_x、NO_x）減量成效上「量」的提高，而在實「質」政策上的對策仍缺乏詳細的政策目標，比如以「固定污染源」電力設施管制為例，其所提出的策略僅說明會提升發電效率降低污染排放、加嚴電力業排放標準或除役老舊高污染發電機組，也只是概略性的說明，並沒有相對應的提出如何減「量」的明確執行作法。又 2017 下半年度進入空污季節，連續的空氣品質「紅爆」，民眾對於政府的政策無感，又再次集結舉行反空污運動，政策的進程也在 2017 年末行政院長賴清德公布針對「移動污染源」將分為三階段推動全臺電動車化，於 2035、2040 年新售機、汽車將全面電動化之目標。但距離達成日期甚遠，遙不可及。

已邁入 2018 年，「14+N 空氣污染防制策略」的推出也即將滿一年，除了肯定對於解決空污問題的政策態度外，14+N 作為革新的空品政策原先所進行的「14+N 燈號管制」對於政策進度的檢核似乎停擺以及缺乏對於政策執行進度的追蹤。另一方面，中南部長期空污問題政府強調民用汽機車、夜市、餐飲業等排放貢獻，但實際上已比過去大幅下降，除了宣示對於「移動污染源」的長期願景政策外，「固定污染源」當中「電力管制設施」及「鍋爐管制」亦是關注的重點。但在政策的強度上力道仍顯不足，如電力設施上，多在處理短期解決因應空污而降載等作為，缺乏長期完整的電力規劃、清楚的路徑圖。而在鍋爐管制，目前臺中市府推出管制及補助措施，目標預計在 2019 年前全市 181 座重油鍋爐全數汰換為燃氣鍋爐，除了地方政府為全改善空污問題祭出政策外，整體改善策略牽涉天然氣及包裹在能源轉型架構之中，亦是轉型的重要過程。

總歸來講，看得出政府在 14+N 措施上花了不少功夫，也頗能針對目前問題改善。然而，環保署政策著重技術性地，根據「空氣品質模式」相關研究，企圖先掌握 PM_{2.5} 等污染物在各地區的原生、衍生比例以及點源、線源、面源貢獻量，並針對貢獻量著手減量，以此實證科學作為政策基礎絕對是必要的。但第一個問題是，根據的實證科學項目是否充分？例如空氣品質模式顯示面源的、原生的車行揚塵 PM_{2.5} 濃度貢獻相當大，應優先解決（張良輝等，2016）。但健康風險研究可能指出濃度相同，毒性不同，健康 e

危害不同，因此鄰近石化工廠含重金屬的空污問題，需要優先解決。除此之外，更大的問題是如何處理能源、產業與交通，甚至生活方式轉型，屬於健康、經濟與社會面的跨界風險問題，牽動到國家整體戰略規劃。例如臺中火力發電廠應不應該降載，六輕汽電共生燃煤量應不應該增加，這些牽涉到的是國家能源安全與轉型問題，遠超目前 14+N 措施之內涵，但對於臺灣民眾能否呼吸乾淨空氣卻是至關重要的議題。無法處理上述這些問題，14+N 只能說是對於空氣品質革命未竟全功、有待努力的管制措施了。

二、空污法第九次修法：革命尚未成功

空污法第九次修法亦是面臨同樣問題，沒有從跨界風險角度去思考如何將國家減（非）煤、低碳社會、能源與產業轉型等戰略含納。不論是明訂有害空污物管理、加強生煤管制力道有意正式推動總量管制，或提高罰責與吹哨者制度落實，就像是 14+N 被社會條件限制一樣，修法亦難以突破既有污染條件。2017 年 6 月環保署公告修法，環保署在公聽會中歸納十項修法重點：（一）統一許可申請審查原則；（二）加強生煤管制力道；（三）總量管理制度檢討；（四）落實有害空氣污染物管理；（五）落實移動污染源管理；（六）增加揮發性有機物化學製品管理；（七）調整裁罰額度提高罰金；（八）健全吹哨者機制；（九）提供檢舉獎金鼓勵檢舉不法；（十）及資訊全面公開擴大公民參與。目前環保署所訂定的 2020 減量目標理想與經濟部提出的產業現實有所矛盾，若不允許地方政府有自訂管制規範的彈性，例如地方立法禁燒生煤石油焦，則勢必走向彰化臺化汽電共生廠遭地方政府停發排放許可證的衝突；另外汽機車排放加嚴標準勢必面臨強迫淘汰老舊車種的壓力，種種困難讓臺灣 2300 萬百姓要呼吸健康空氣的目標距離尚遠。

從根本架構上來看，本文提出至少有兩點需要改變。詹長權院長提倡應將溫室氣體納入管制。目前溫室氣體與空氣污染政策各行其是，兩者都高度相關於能源與產業轉型的國家戰略，但兩者在政治議程中經常分開進行，若能整合管制口徑，方能有效推估預期效益並管考政策成效，例如生煤管制效益就應該包含溫室氣體減量和健康、環境效益。此外，生煤使用未明確訂出年限，似乎希望國家在經濟與能源上位政策之無煤時程確立下，透過許可證制度微調來減煤。但先進的環境與健康論述，職責上應該就是由環

保署來提出，不可能等待行政與經濟部門進化。因此從治理面來看，通盤考慮我國行政資源，以及未來必需面對的產業、能源與交通轉型，才能調適與減緩溫室氣體、空氣污染對臺灣的損害，必須兩者合流、整合進行管制，最好的方法就是進入空污法。

另外就是，空污法應明訂「空氣品質管理」週期制度化。首先，美國清淨空氣法案 Section 108-109 明訂，美國環保署（EPA）得以根據最新科學研究成果，透過訂定、更新與執行「國家空氣品質標準」（National Ambient Air Quality Standards, NAAQS），各種具體政策規劃和工具都圍繞著達成「國家空氣品質標準」為目的。這套程序將週期性不斷循環，懸浮微粒至今已經完成五次完整標準程序，PM_{2.5} 則 1997 年、2006 年、2012 年完成三次。第二，由於美國的清淨空氣法 Section 110 (a) (1) 明訂 NAAQS 修訂後三年，各州必需訂出加入公民意見並符合標準的 SIPs（EPA, 2006: 2；CAA §110），因此美國訂出 NAAQS 後，EPA 將會根據一套公開的管理流程進行政策規劃與執行，在聯邦層級推動大型的空氣品質改善政策，同時要求各州三年內提出州實施計畫（SIPs），但臺灣的空氣污染防制法沒有相關規定。以管制涵蓋區域而言，臺灣全行政範圍只有美國州的大小，資源與能力不能要求縣市政府比照美國各州訂出計畫。反而可以仿效美國，要求環保署訂出空氣品質標準後，中央一定時間內提出執行規劃。⁶

我國在 2012 年公告 PM_{2.5} 空氣品質標準，於 2015 年提出清淨空氣行動計畫是 3 年時間。惟該計畫提出之減量規劃有些未見具體措施，有些則是改善力度過輕。一直要到 2017 年的「14+N」才能有明確的手段與目標一致的施政規劃，這樣就是 5 年的時間。我國環保署沒有美國 EPA 一樣強大的研究編制，因此管制決策所需之管制科學知識乃靠委託研究，但委託時間與被運用至決策的時間並沒有明確規範。PM_{2.5} 風險治理從國內開始有學者倡議、政府開始委託研究時間一過就是 17 年。過去 17 年間，空品治理進度就出現許多等候期。2015 年提出清淨空氣行動計畫，但馬上適逢總統選舉，結果又是政黨輪替、內閣改組，許多政策經費也先暫停，而後又要重新審查修改。若原先的工作延續部份，尚可在機關內部繼續推動，但若涉及興革事項，就會暫時擱置。2004 年健康

⁶ 雖然有學者檢討（Reitze, 2004：357-366）認為，直接由聯邦政策例如重工業化石燃料轉型、對化石燃料交通運輸的管制以及要求遵行更為嚴格的最大可達成控制技術（MACT），可能是更有效的方法，美國至今最有效的空氣品質改善，可能還要仰賴 EPA 的直接政策。而要求各州的 SIPs 經常拖延數年。不過這不減損設定執行時間週期的精神。

風險評估指引公告後，過了 5 年於 2009 年方著手進行標準研訂計畫。2006 年手動監測方法已經公告，卻在 4 年後的 2010 年才啟動手動採樣先驅計畫，到手動採樣建置完成已經是 2013 年。2012 年左右環保署委託以空氣品質模式結果做 PM_{2.5} 空氣品質政策，以至於要到 2013 年委託報告完成才逐漸產生各種管制政策。但其實這些委託計畫根據排放數據是早在 2009 年公布的排放清冊（TEDs 7.0），又是 4 年時間，無形中耗費不少時間。

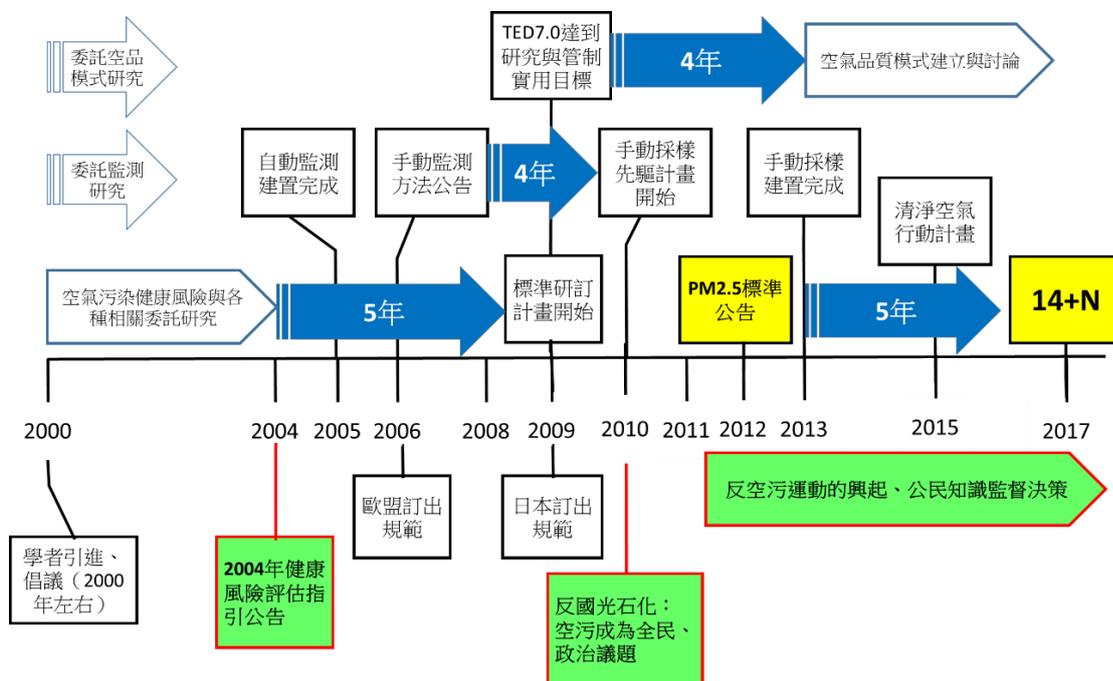


圖 21. PM_{2.5} 知識與治理時間演進

資料來源：本研究團隊整理繪製

因此，空污法首先應至少包含溫室氣體減量的國家戰略，對減（非）煤、低碳相關能源、產業與交通轉型，做治理統整與規劃。另外，空污法應要求按照最新的科學研究（主要是健康風險研究）更新空氣品質標準，並要按照標準於一定時間內訂出實施的政策。如此一來，才能解決臺灣過去訂管制標準的延宕，這次修法，恐怕無法解決上述所提出的問題，只能說是「革命尚未成功」，全民仍須努力了。

三、PM_{2.5} 濃度與排放清冊排放量變化

(一) PM_{2.5} 濃度變化與區域差異

有些專家質疑空氣污染物很多種，為何臺灣民眾和不少學者都在談 PM_{2.5} 風險，少談其他污染物？原因在於目前臺灣空氣品質指標六大污染物：CO、O₃、SO₂、NO₂、PM₁₀、PM_{2.5}，近年都獲得極大改善，唯有 PM_{2.5} 年平均濃度仍然嚴重超標。圖 22 可以看到，以全臺灣尺度而言，傳統空氣品質指標所列 5 大污染物，PM₁₀ 在 1997 年達到今日年均濃度標準，其他皆在 23 年以前就達到年均濃度標準。圖 23 則是環保署近十年主要污染物改善情況，確實獲得極大改善，2013 年 PM_{2.5} 開始手動監測校準統計以後，年均濃度也改善 17%。然而圖 10 可以看到，以法定 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的標準，全臺灣大多數人口集中地區，都在不及格區域。東部的宜蘭也是在 2016 年才低於標準，加上臺東站及花蓮站、陽明、恆春 5 個測站符合空氣品質標準，但其中兩個是國家公園測站。因此目前臺灣空污首要問題，確實在民眾最關切的 PM_{2.5}。

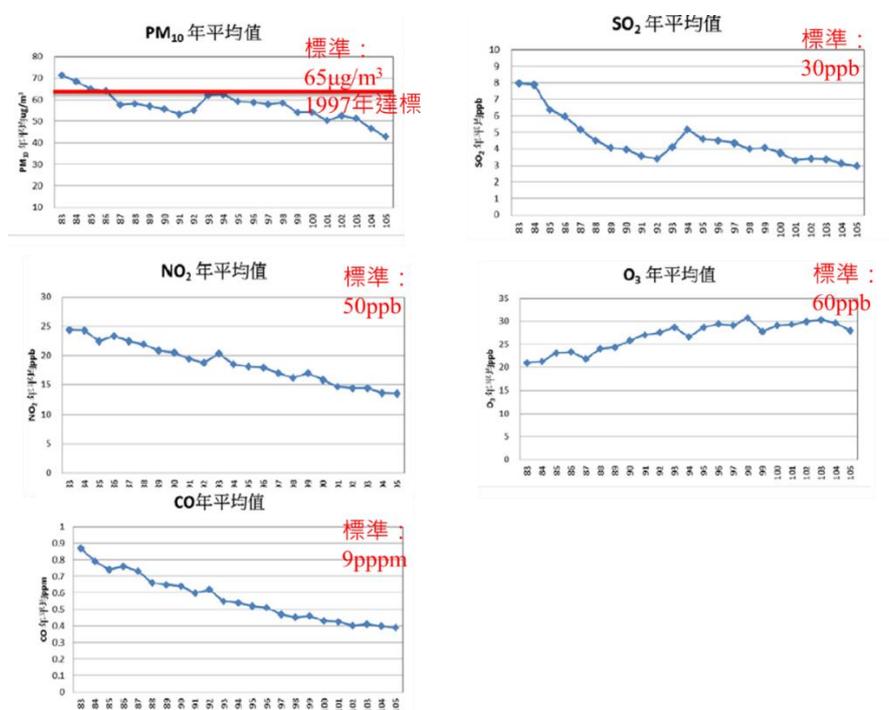


圖 22. 主要污染物年平均濃度趨勢

資料來源：本研究團隊整理繪製（環保署，2017e）

一般民眾關心的 $PM_{2.5}$ 改善來看，圖 26 藍色直條表過去四年（2013-2016）改善幅度，較紅色直條的過去兩年（2015-2016）要大，因此改善的邊際效益愈來愈小，民眾自然會擔憂是否已經到改善極限。最新的 14+N 空污防制措施只能把目標訂在 $18\mu g/m^3$ ，是否意味著現有管制手段已到極限？而 14+N 若真能按照理想實行，那麼改善效益應該要達到過去兩年（2015-2016）的大約兩倍。各地改善幅度有所差異，污染最嚴重地區改善也是趨緩。

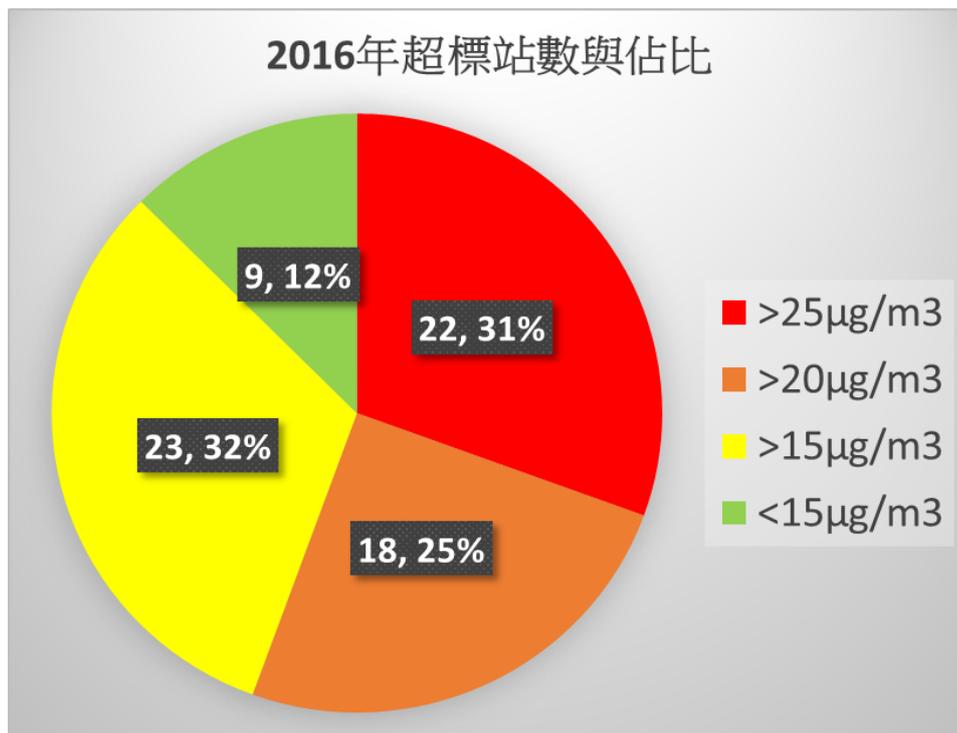


圖 25. 臺灣 2016 年自動測站 $PM_{2.5}$ 平均濃度分組百分比

資料來源：本研究團隊整理繪製，數據取自環保署（2016b：83-85）

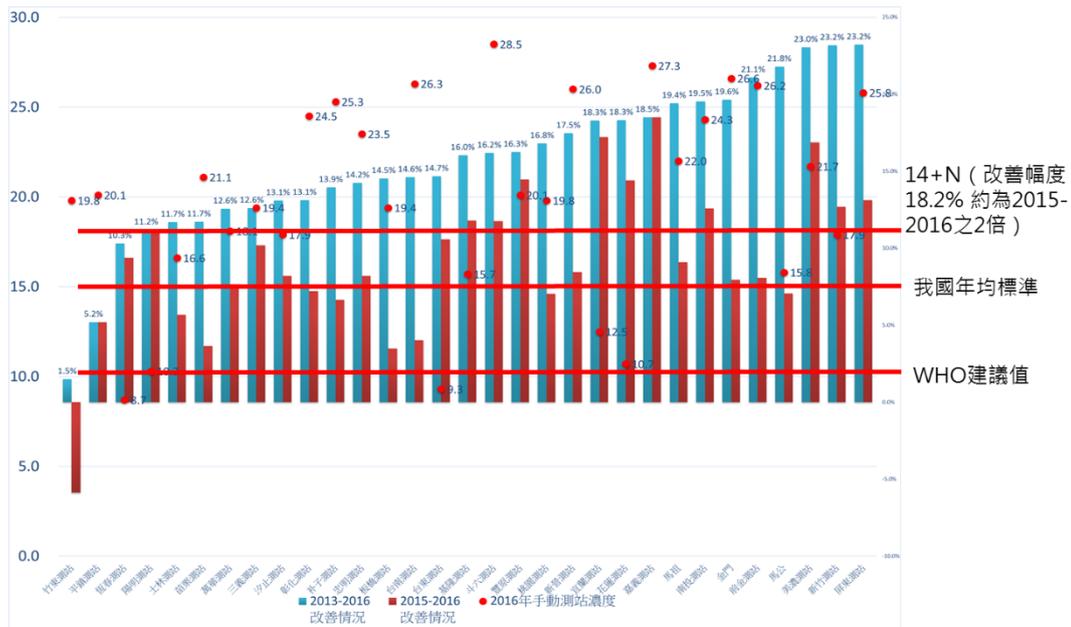


圖 26.臺灣 2013-2016 年 PM_{2.5} 改善百分比

資料來源：本研究團隊整理繪製，數據取自環保署（2016b：2-86）

2017 年 12 月 17 日全臺反空污遊行以「終結一個天空，兩個臺灣」為主題，顯見臺灣民眾對於區域空氣品質差異相當有感。臺灣各區域的改善情況如圖 27 所示。2013-2016 年 PM_{2.5} 濃度改善最多是大東部地區（宜花東）的 20.11%，其次是大北部（臺北、新北、基隆市）地區的 17.53% 和高屏地區的 17.29%。民眾關切的臺中、彰化、雲林、嘉義、臺南地區改善較少為 13.73%。值得注意的是埔里民眾開始爭好空氣之後，諸多管制措施使得 PM_{2.5} 濃度大幅改善。

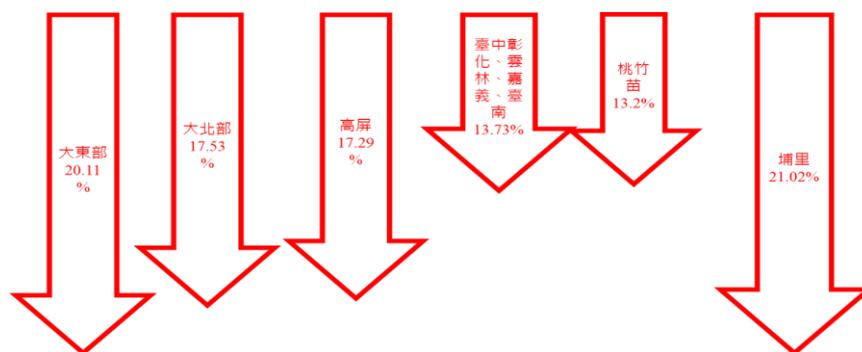


圖 27.臺灣 2013-2016 年分區域改善比例（不含工業、交通與公園測站、改善統計

以自動測站校正資料確認後 2013-2016 年）

資料來源：本研究團隊整理繪製，數據取自環保署（2016b：2-83-85）

是否能夠針對重災區優先改善的部份，圖 28 比較臺灣 PM_{2.5} 濃度最高前十名與改善前十名。左列為 2016 年 PM_{2.5} 濃度最高的前十名，右列則是改善最多的前十名，黃色標記四個測站有進入改善前十名。正面意義是，四個污染最嚴重地區有獲得最多改善，但負面意義是，最多改善情況下仍然名列前十。並且有六個測站位於污染最重地區，卻沒有獲得較多改善，改善較多僅其中之嘉義、前金、屏東、南投 4 站（名列前 10）。

PM _{2.5} 濃度前十名		PM _{2.5} 改善前十名	
手動測站名稱	2016年手動測站濃度	手動測站名稱	2013-2016改善情況
斗六測站	28.5	屏東測站	23.2%
嘉義測站	27.3	新竹測站	23.2%
台南測站	26.3	美濃測站	23.0%
前金測站	26.2	前金測站	21.1%
新營測站	26.0	南投測站	19.5%
屏東測站	25.8	嘉義測站	18.5%
補子測站	25.3	花蓮測站	18.3%
彰化測站	24.5	宜蘭測站	18.3%
南投測站	24.3	桃園測站	16.8%
忠明測站	23.5	豐原測站	16.3%

圖 28. PM_{2.5} 濃度最高前十名與改善前十名比較（不含工業、交通與公園測站、改善統計以自動測站校正資料確認後 2013-2016 年）

資料來源：本研究團隊整理製表，數據取自環保署（2016b：2-83-85）

PM _{2.5} 濃度前十名		PM _{2.5} 改善最少十名（不列已及格之恆春）		PM _{2.5} 改善最少十名（不列已及格之恆春）	
手動測站名稱	2016年手動測站濃度	手動測站名稱	2013-2016改善情況	手動測站名稱	2015-2016改善情況
斗六測站	28.5	竹東測站	1.5%	竹東測站	-5.9%
嘉義測站	27.3	平鎮測站	5.2%	板橋測站	3.5%
台南測站	26.3	士林測站	11.7%	苗栗測站	3.7%
前金測站	26.2	苗栗測站	11.7%	台南測站	4.0%
新營測站	26.0	萬華測站	12.6%	平鎮測站	5.2%
屏東測站	25.8	三義測站	12.6%	士林測站	5.7%
補子測站	25.3	汐止測站	13.1%	補子測站	6.6%
彰化測站	24.5	彰化測站	13.1%	桃園測站	7.0%
南投測站	24.3	補子測站	13.9%	彰化測站	7.2%
忠明測站	23.5	忠明測站	14.2%	萬華測站	7.7%

圖 29. PM_{2.5} 濃度最高前十名與改善最少十名比較（不含工業、交通與公園測站、改善統計以自動測站校正資料確認後 2013-2016 年）

資料來源：本研究團隊整理製表，數據取自環保署（2016b：2-83-85）

圖 29 左列同樣是 2016 年 PM_{2.5} 濃度最高的前十名，右兩列分別為 2013-2016 四年間與 2016-2016 兩年間的改善幅度最少十名。結果發現，竟然也有紫色標記的四個測站，在不同時段中被列在改善最少的十個測站。**代表有些重災區沒有得到相對的更多改善。**臺南市、嘉義朴子、彰化市、臺中忠明濃度高但改善少。意即最嚴重的地區，仍有 4 個區域改善相當有限。

因此針對重災區改善情況，依據「PM_{2.5} 濃度」將自動測站按照 25µg/m³，20 µg/m³，高於 18µg/m³，低於 18µg/m³ 進行分組。結果改善最多的是年均濃度最低的 18µg/m³ 組高達 22.57%，其餘分組介於 15%-12%之間。年均超過 18µg/m³ 災區，有豐原、竹東、平鎮三站較過去差。正面的解釋是過去高度改善，使得目前有良好的表現。負面解釋則是污染較重的地區並沒有顯著改善，全臺灣改善的數據很多是集中在非重災區。南投市、嘉義縣、臺南新營、臺南市、高雄前金、左營、屏東潮州、臺中西屯、彰化市、苗栗市、新竹縣、桃園市，12 站未達分組平均改善幅度。

年均超過25ug/m3重災區				年均超過20ug/m3一級災區				年均超過18ug/m3				已低於18ug/m3			
縣市別	測站	2016	2013-2016	縣市別	測站	2016	2013-2016	縣市別	測站	2016	2013-2016	縣市別	測站	2016	2013-2016
高雄	左營	30.1	7.22%	南投	竹山	24.7	27.43%	新北	林口	19.9	18.05%	新北	新莊	17.6	16.90%
雲林	崙背	29.5	12.69%	台中	西屯	24.3	11.48%	桃園	大園	19.7	17.51%	新北	葉寮	16.7	22.06%
屏東	潮州	29	12.68%	彰化	彰化	24	14.17%	桃園	桃園	18.9	20.25%	台北	古亭	16.7	20.95%
高雄	前金	28.7	12.29%	台中	豐原	23.2	-5.27%	新北	板橋	18.8	17.50%	台北	松山	16.6	15.29%
屏東	屏東	27.7	17.60%	台中	東明	22.7	17.70%	新北	淡水	18.8	2.65%	新竹	新竹	16.5	28.41%
南投	南投	27.5	6.76%	高雄	美濃	22.6	21.24%	桃園	平鎮	18.4	-2.06%	台北	士林	16.4	14.37%
嘉義	嘉義	27.3	18.36%	台中	大里	22.5	19.41%	台北	萬華	18.2	13.81%	新北	汐止	16.2	20.39%
高雄	大寮	27.2	19.57%	苗栗	苗栗	22.4	5.80%	台北	中山	18.2	3.35%	新北	土城	16.1	28.86%
高雄	仁武	27	16.73%	彰化	二林	22.2	22.24%	新北	新莊	18.1	20.50%	苗栗	二義	15.2	30.68%
台南	臺南	27	10.30%	台中	沙鹿	21.5	20.26%	平均			12.40%	基隆	仁愛	14.7	21.70%
雲林	斗六	26.7	20.43%	南投	埔里	21.3	28.85%					新北	萬里	14.3	26.62%
台南	安南	26.5	13.14%	新竹	竹東	21.3	-6.59%					花蓮	花蓮	13	-0.35%
嘉義	朴子	26.5	7.83%	新竹	湖口	20.6	11.23%					宜蘭	宜蘭	11.8	22.99%
台南	善化	26	16.26%	桃園	龍潭	20.4	13.58%					宜蘭	冬山	9.2	39.95%
台南	新營	26	14.47%	平均			14.40%					台東	台東	8.9	17.87%
高雄	小港	25.8	20.76%									屏東	恆春	6.3	34.39%
高雄	楠梓	25.7	21.40%									平均			22.57%
高雄	林園	25.5	23.46%												
嘉義	新港	25.4	10.79%												
平均			14.88%												



圖 30. PM_{2.5} 濃度分組與改善情況比較 (不含工業、交通與公園測站、改善統計以自動測站校正資料確認後 2013-2016 年。)

資料來源：本研究團隊整理製表，數據取自環保署 (2016b：2-83-85)

若是按照「PM_{2.5} 改善情況」做五分位比較。污染濃度超過 20µg/m³ 的 41 站中，有

8 站惡化。含工業測站 4 個、一般測站 2 個、交通測站、背景測站各 1 個，分別為：**豐原、雲林麥寮、臺西工業區、彰化線西工業區、高雄前鎮、鳳山、桃園觀音**。餘 33 個改善的測站，改善最少的第一分位平均僅為 7.7%，與改善最多的組 24.1% 相較，相差 3.1 倍。同樣都是年均濃度超過 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的地區，有部份不但沒有改善反而變嚴重。**嘉義新港、臺南市、高雄橋頭、高雄左營、嘉義朴子、南投市、苗栗市改善最少。五個工業測站，竟然有線西、臺西、麥寮、前鎮比過去嚴重**。同一行政區改善效果仍有很大差異。高雄最高與最低五分位相差 3.2 倍。臺中相差約 2 倍。單一行政區差異最大為南投，相差 4.2 倍。顯見空氣品質分區在政策措施與治理上，仍有調整空間。

縣市別	測站	2013	2014	2015	2016	2013-2016	改善率
高雄市	復興				28.8	25	13.19%
南投縣	埔里	29.94	32.22	30.8	21.3	28.85%	
南投縣	竹山	34.04	34.42	32.2	24.7	27.43%	
高雄市	林園	33.32	29.79	28.1	25.5	23.46%	
彰化縣	二林	28.55	33.42	28.2	22.2	22.24%	
高雄市	楠梓	32.70	31.80	23.4	25.7	21.40%	
高雄市	美濃	28.70	27.09	23.8	22.6	21.24%	
高雄市	小港	32.56	31.43	29.3	25.8	20.76%	
雲林縣	斗六	33.56	34.42	29.7	26.7	20.43%	
台中市	沙鹿	26.96	28.68	19.7	21.5	20.26%	
高雄市	大寮	33.82	32.58	29.7	27.2	19.57%	
台中市	大里	27.92	29.49	27.8	22.5	19.41%	
嘉義市	嘉義	33.44	32.67	27.4	27.3	18.36%	
台中市	忠明	27.58	27.96	25	22.7	17.70%	
屏東縣	屏東	33.62	29.91	26.6	27.7	17.60%	
高雄市	仁武	32.42	32.47	26.5	27	16.73%	
台南市	善化	31.05	30.12	28.2	26	16.26%	
台南市	新營	30.40	29.99	25.6	26	14.47%	
彰化縣	彰化	27.96	29.20	23.8	24	14.17%	
桃園市	龍潭	23.60	23.24	20.9	20.4	13.58%	
台南市	安南	30.51	29.49	24.5	26.5	13.14%	
雲林縣	崙背	33.79	31.34	31.2	29.5	12.69%	
屏東縣	潮州	33.21	29.85	27.1	29	12.68%	
高雄市	前金	32.72	30.42	25.9	28.7	12.29%	
台中市	西屯	27.45	26.55	24.5	24.3	11.48%	
新竹縣	湖口	23.21	23.86	16.1	20.6	11.23%	
嘉義縣	新港	28.47	29.28	25.2	25.4	10.79%	
台南市	臺南	30.10	28.22	24	27	10.30%	
高雄市	橋頭			24.7	22.6	8.50%	
嘉義縣	朴子	28.75	31.18	24.1	26.5	7.83%	
高雄市	左營	32.44	31.54	27.9	30.1	7.22%	
南投縣	南投	29.49	32.85	26.2	27.5	6.76%	
苗栗縣	苗栗	23.78	25.71	23	22.4	5.80%	
雲林縣	臺西			24.7	24.8	-0.40%	
高雄市	前鎮			22.6	23.1	-2.21%	
雲林縣	麥寮			24.7	25.4	-2.83%	
高雄市	鳳山			25.30	26.4	-4.35%	
台中市	豐原	22.04	23.46	21.9	23.2	-5.27%	
新竹縣	竹東	19.98	20.73	18.6	21.3	-6.59%	
彰化縣	線西			24.3	26.3	-8.23%	
桃園市	觀音			19.00	21.3	-12.11%	

圖 31. PM_{2.5} 改善五分位比較 (含工業、交通與公園測站、改善統計以自動測站校正資料確認後 2013-2016 年。工業、交通、背景測站則按空氣品質年報公布 2015-2016 為準。)

資料來源：本研究團隊整理製表，數據取自環保署 (2016b：2-83-85)

(二) 排放清冊排放量變化地區、產業差異

對治理而言，排放源管制是最直接的行政管制，因此空氣品質治理先決之一就是掌握排放清冊。從排放的變化排放量對污染濃度貢獻，儘管需要經過空氣品質模式計算才能正確看出污染源對臺灣影響程度。檢視排放量變化，能檢視管制成本效益、政策影響評估與社會正義的重要。本研究將原生性 PM_{2.5}、NO_x、SO_x 進行換算後。⁷ 圖 32 可以

⁷ 本研究做衍生性排放推估乃以巨觀呈現跨域細懸浮微粒污染與產業排放地理區域情況描述，達到足夠作為社會科學研究與政策治理之參考資料。因此採 Adema and Heeres (1995) 方法，經莊秉潔 (2011) 換算後之等式：
$$PM_{2.5} = 0.85 * Emi_SO_2 * \frac{M(NH_4)_2SO_4}{MSO_2} + 0.58 * Emi_NO_x * \frac{MNH_4NO_3}{MNO} + Emi_PM_{2.5}$$
精確的模擬推估不是本研究之重

看到，空污爭議最大的雲林和臺中市，總體排放量是不減反增的。雲林石化業與汽電共生增加最多。關鍵在水上運輸 TEDs 9.0 增加了，麥寮港 2002 年就啟用了，不可能以前沒有。因此對六輕資料掌握仍要繼續加強。假設水運一致，整體仍然增加約為 2%。石化業、電力與燃氣供應、陸上與水上運輸加起來就佔全雲林的 86% 排放量。

臺中整體上升了 2.2%，電力業其實過去是有下降的，製造業與水上運輸上升最多，也呈現了臺中製造業與航運近年在超趕高雄的態勢。柴油大型客貨車排放在工業大都市甚多且增加。值得注意的是，**攸關民眾的臺中市之家庭（天然氣、自用車與自用機車），住宿餐飲實際上顯著下降 28.3% 和 40.6%**。但清冊基準時間只能追溯到 2010-2013，希望儘速推出才能反應出近年快速能源、產業轉型的排放鉅變。

	TED8.1	TED9.0	變化%	變化分析	TED8.1	TED9.0	變化
高雄市	180315.4	154335.8	-14.4%	雲林縣			20.4%
台中市	109223.2	111634.1	2.2%	廣義石化業	20042.7	21366.2	6.6%
桃園市	71428.2	62754.3	-12.1%	電力與燃氣供應	6610.2	7000.6	5.9%
雲林縣	43530.0	52410.1	20.4%	陸上運輸業	8282.8	8664.2	4.6%
新北市	55238.0	44608.4	-19.2%	水上運輸業	0.0	8043.8	
臺南市	42505.9	37027.0	-12.9%	總和	34935.7	45074.8	29.0%
花蓮縣	34138.0	34631.0	1.4%	上述行業佔全部比例	80.3%	86.0%	7.2%
彰化縣	28752.9	26030.5	-9.5%	上述行業變化佔全部變化比例	114.2%		
基隆市	31839.3	26242.9	-17.6%	變化分析	TED8.1	TED9.0	
苗栗縣	22723.1	22251.6	-2.1%	臺中市			2.2%
宜蘭縣	17316.7	19185.8	10.8%	電力與燃氣供應	54395.6	51644.4	-5.1%
屏東縣	16464.3	17743.8	7.8%	陸上運輸業	22051.4	23138.7	4.9%
嘉義縣	18642.1	16678.7	-10.5%	水上運輸業	5315.3	9385.6	76.6%
新竹縣	14793.4	13437.3	7.8%	製造業	12038.8	15686.4	30.3%
臺北市	17346.9	12718.5	-10.5%	住宿及餐飲業	1875.671	1113.676	-40.6%
南投縣	10353.4	10249.7	-9.2%	家庭（天然氣、自用車、機車）	9486.675	6801.086	-28.3%
臺東縣	6577.3	7502.9	-26.7%	總和	105163.4	107769.9	2.5%
新竹市	5939.8	5281.0	-1.0%	上述行業佔全部比例	96.3%	96.5%	0.3%
嘉義市	3321.453	2963.961	14.1%	上述行業變化佔全部變化比例	108.1%		
全國	752903.4	701220.9	-11.1%				

圖 32.本島各縣市與雲林縣、臺中市 2010-2013 排放量變化分析

資料來源：本研究團隊整理製表，數據取自（TED8.1-TED9.0）

高雄市一項都是臺灣空污最嚴重地區。但過去排放有所下降。值得注意的是，**高雄市、臺北、新北、臺中大都會。家庭（天然氣、自用車、自用機車）、住宿餐飲業顯著下降。高雄市家庭下降 28.9%、住宿餐飲下降 54.9%、臺北市下降 21.3%、52.5%、新**

點，重點在呈現相對值與趨勢。因此未經更精細之銨鹽與硝酸鹽離子、硫酸鹽離子比例校正，或各地區轉換率進一步換算處理。

北市下降 25.6%、42.9%。TEDs 9.0 版面源差異較多，新版增加夜市排放資料（增加在餐飲業），如此結果竟然餐飲業還是大幅下降。

	TED8.1	TED9.0	變化		TED8.1	TED9.0	變化
變化分析				變化分析			
高雄市			-14.4%	新北市			
廣義石化業	34177.8	24034.7	-29.7%	家庭(天然氣、自用車、機車)	12240.7	9103.0	-25.6%
電力與燃氣供應	42830.89	38746.41	-9.5%	陸上運輸業	21808.7	16609.0	-23.8%
鋼鐵業	37262.3	28551.6	-23.4%	住宿餐飲業	2751.9	1571.7	-42.9%
陸上運輸業	26043.6	25119.6	-3.5%	製造業	6427.6	5748.4	-10.6%
水上運輸業	13234.34	19623.31	48.3%	電力業	7073.1	6495.5	-8.2%
住宿及餐飲業	2156.251	972.8737	-54.9%	總和	50301.9	39527.6	-21.4%
家庭(天然氣、自用車、機車)	11609.0	8257.1	-28.9%	上述行業佔全部比例	91.1%	88.6%	-2.7%
總和	167314.3	145305.6	-13.2%	上述行業變化佔全部變化比例	101.4%		
上述行業佔全部比例	92.8%	94.1%	1.5%	變化分析			
上述行業變化佔全部變化比例	12.9%			宜蘭縣			
變化分析	TED8.1	TED9.0	變化	水泥業	6862.3	7975.8	16.2%
臺北市				礦業	757.4	338.6	-55.3%
家庭(天然氣、自用車、機車)	5454.5	4293.2	-21.3%	地表揚塵風蝕	115.7	459.9	297.5%
陸上運輸業	7795.7	5558.5	-28.7%	陸上運輸業	4264.2	4639.0	8.8%
住宿餐飲業	2267.8	1077.0	-52.5%	住宿及餐飲業	378.8	182.0	-51.9%
總和	15517.9	10928.6	-29.6%	總和	12378.4	13595.4	9.8%
上述行業佔全部比例	89.5%	85.9%	-3.9%	上述行業佔全部比例	71.5%	70.9%	-0.9%
上述行業變化佔全部變化比例	99.2%			上述行業變化佔全部變化比例	65.1%		

圖 33. 高雄市、臺北市、新北市、宜蘭縣 2010-2013 排放量變化分析

資料來源：本研究團隊整理製表，數據取自（TED8.1-TED9.0）

總結來說，臺灣全國 PM_{2.5} 濃度普遍偏高，過去數年有顯著改善，問題是仍然污染相當嚴重，且過去 2015-2016 年改善減緩。正面來看是改善有所成效，負面來看是改善可能來到投入的邊際效益下降，2017 年的 14+N 期待有超過過去數年（約 17%）改善的幅度 18.2%，且大約為 2015-2016 的兩倍左右，目標值得嘉許。從工業測站的增加可以印證，若不配合臺灣整體能源、產業與交通轉型，要從 14+N 未達法訂標準的目標 18 μg/m³ 到法定 15 μg/m³，甚至達到美國現在的 12 μg/m³ 或 WHO 建議的 10 μg/m³，恐怕道阻且長。

排放量方面，從排放量的變化對污染濃度貢獻，需要經過空氣品質模式計算，才能正確看出污染源對臺灣影響程度。不過，張良輝教授研究提出面源（家庭、餐飲、地表揚塵大宗）貢獻最多，吳義林教授則認為線源優先改善。但從排放看來，過去數年間面源都一直扮演改善最多的角色，若按此，難道過去環保署所說的改善很多，竟然都是由家庭、餐飲、掃路來承擔？值得深思。

四、能源轉型架構下空污排放分析

於 2017 年底空污議題討論時，諸多論點均聚焦在現行非核家園的能源轉型政策方向下，是否會導致空氣污染物排放量之增加。且在去年年底 COP23 舉辦期間，英國、加拿大領銜成立「棄用燃煤發電聯盟」(POWERING PAST COAL ALLIANCE)，共計有 34 個國家與州政府，承諾將加速淘汰燃煤發電。在此國際趨勢下，國內在能源轉型政策中，不僅需達成已經法定的 2025 年非核家園目標，更需同時大幅度的削減燃煤發電需求。本研究在此則分就短、中、長三個時間構面，探討近年來空污季的電力結構變化以及未來能源轉型路徑下如何加速減煤，以期可在能源轉型政策推動下，同時達成改善空污的目標。

(一) 近年空污季發電結構分析

近年空污爭議時，均有論者指出乃是因為核一一號機以及核二二號機無法重啟所致。而本研究彙整 2014 年以來，近四年空污季(10 月至隔年 3 月)時的發電結構變化。因停機之故，空污季時核電占比較過往的 15% 以上，降至 10% 以下，但此削減的缺口，並非全由燃煤火力電廠填補。與 2014 年相較，目前空污季中燃煤火力的占比由 33.5% 增加至 34.7% 左右，而另一方面，燃氣機組占比則由 27.4% 增加至 33.7%，故由此趨勢分析可知，現行主要採用燃氣機組因應核電機組停機時的發電缺口，相較於增加燃煤機組占比，可減輕對空污的影響。

且在去年起修正「空氣品質嚴重惡化緊急防制辦法」，臺電於電力調度上於空氣品質不良日時配合燃煤電廠降載，以及雲林縣政府削減六輕操作許可證的使用配額，致使麥寮電廠於去年 11 月停機下，整體而言，使去年度 10 月至 12 月間空污季期間全臺燃煤發電量較於去年削減。

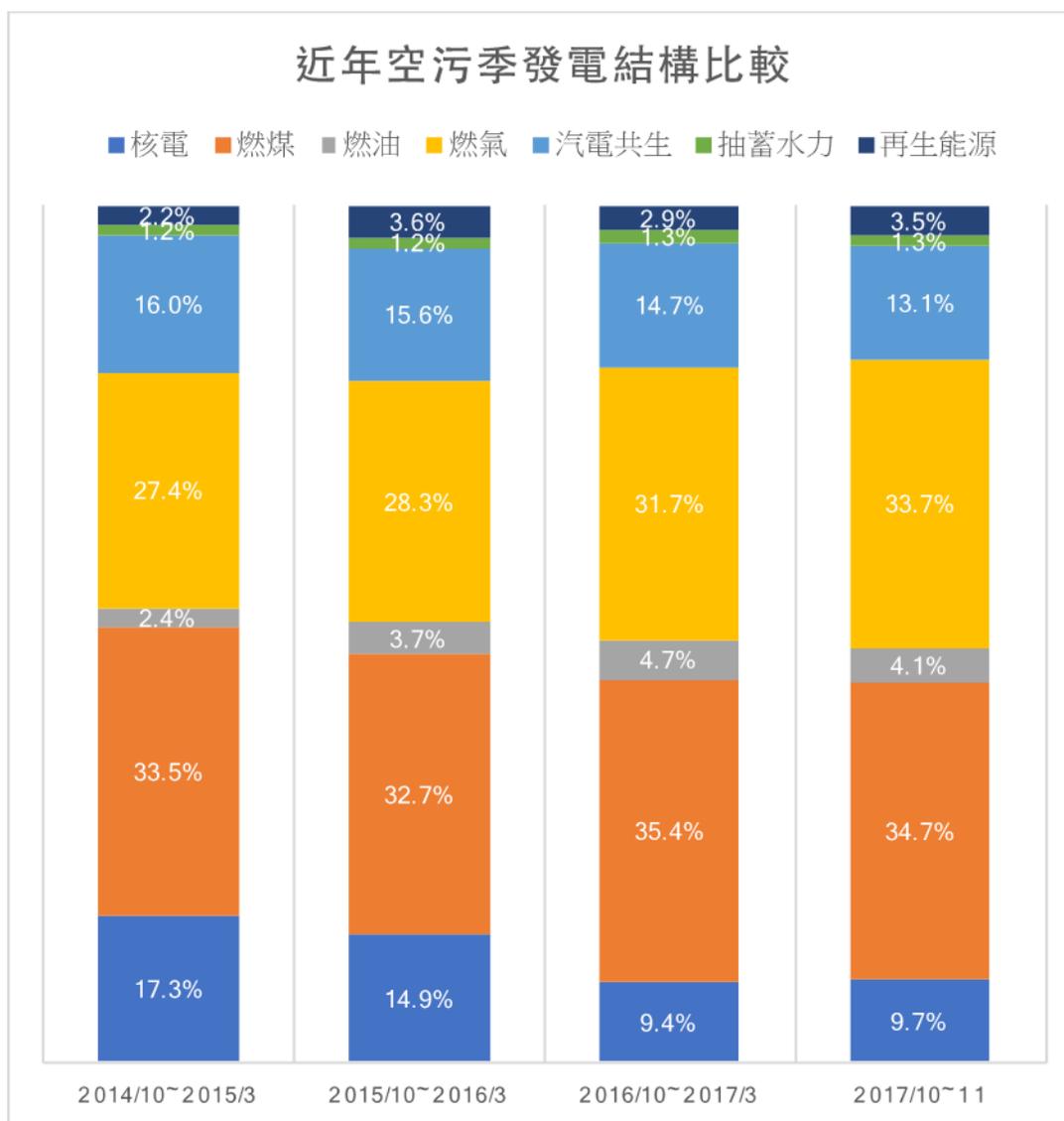


圖 34.近四年空污季中發電結構變化

資料來源：本研究整理自能源統計資料查詢系統

(二) 能源轉型的空污改善效益

為綜整性分析能源轉型政策對空污改善之影響，在此以經濟部能源局於 2015 年 11 月提出的能源開發政策評估說明書（初稿）中所提出的「穩健減核」情境為比較基礎，以分析其與近期能源轉型政策情境下的差異。

情境規劃思維及供電組合		台電10405 案	2030年 再生能源目標	2035年 再生能源目標	核能政策情境		2030年新增發電 機組選擇順序		2035年新增發電 機組選擇順序	
穩健 減核	C1: 核四商轉+核一二三不延役+再生能源(18,734 MW)+燃氣擴大(2,600萬噸)+新增燃煤	既設與規 劃中發電 機組	再生能源 (17,250MW)	再生能源 (18,734MW)	核四 商轉	核一二三 不延役	燃氣 (供氣上限2,050萬噸)	燃煤	燃氣 (2,600萬噸)	燃煤
非核 家園	C2: 核四不商轉+核一二三不延役+再生能源(18,734MW)+燃氣擴大(2,600萬噸)+新增燃煤				核四 不商轉	核一二三 不延役	燃氣 (供氣上限2,050萬噸)	燃煤	燃氣 (2,600萬噸)	燃煤
成本 考量	C3: 核四商轉+核一二三延役+再生能源(18,734 MW)+新增燃煤				核四 商轉	核一二三 延役	燃煤	燃煤		
	C4: 核四不商轉+核一二三延役+再生能源(18,734 MW)+燃煤				核四 不商轉	核一二三 延役	燃煤	燃煤		
減核 考量	C5: 核四商轉+核一二三延役+再生能源(18,734 MW)+新增燃氣(不設限)				核四 商轉	核一二三 延役	燃氣 (供氣不設限)	燃氣 (供氣不設限)		
	C6: 核四不商轉+核一二三延役+再生能源(18,734 MW)+燃氣				核四 不商轉	核一二三 延役	燃氣 (供氣不設限)	燃氣 (供氣不設限)		

圖 35. 2015 年能源開發政策評估說明書所提出的電力結構規劃原則

資料來源：能源局（2015）

本分析中設計六個情境（表 6），以分析核四有無、用電成長率以及能源轉型強度下的 2020 年與 2025 年的電源結構變化，進而估算電力系統的二氧化碳排放量。依據其能源開發政策評估說明書情境，在興建核四情境下，2020 年燃煤發電占比在 47%-52% 之間，2025 年則在 41%-48% 之間。

而在能源轉型政策方向下，2020 年時，燃煤發電占比則為 41%-44% 之間，而 2025 年時則可降至 30% 以下。且若可積極推動節能，達到全國國土計畫中所設定的用電需求零成長之目標，則 2025 年的燃煤占比更可降至 23%。反觀若未能抑制用電需求成長，導致年均用電量成長幅度達 1.3% 時，則 2025 年時不僅再生能源占比僅能達到 18%，燃煤占比亦無法降至 30% 以下。

表 6. 情境說明

政策方向	穩健減核（續建核四、既有核電除役）			能源轉型		
情境名稱	政策環評中需求	政策環評低需求	需求抑制與有核四情境	全國國土計畫	供電穩定	溫室氣體減量方案
今日至 2025 年年均用電成長率	1.9%	1.2%	0.7%	用電零成長	1.3%	0.7%
說明	引用 能源開發政策評估說明書(2015.11) 中在中需求成長時的「核四運轉、其餘如期除役」之情境，以代表馬政府時穩健減核政策方向。	引用 能源開發政策評估說明書(2015.11) 中在低需求成長時的「核四運轉、其餘如期除役」之情境，以代表馬政府時穩健減核政策方向。	為在同一用電量基準下進行比較，引用 能源開發政策評估說明書(2015.11) 「核四運轉、其餘如期除役」之電力結構，輔以目前官方於溫室氣體減量推動方案中所設定的總發電量。	於 2017 年 10 月公布之 全國國土計畫 中，提出 2025 年電力需求為 2575 億度。亦即達到民間能源轉型聯盟長期倡議的用電需求零成長。	2017 年 11 月 8 日行政院（經濟部）提出的產業穩定供電策略簡報中，提出未來的尖峰負載變化，在此假設用電需求成長幅度與尖峰負載一致。以分析若節能成效不彰，導致高用電成長時，對碳排放量的影響。	引用 2017 年 11 月 8 日環保署所公布的溫室氣體減量推動方案，能源部門的評量指標為 2025 年時再生能源發電量為 546 億度，占比達 20%。此情境下年均用電成長率約 0.7%

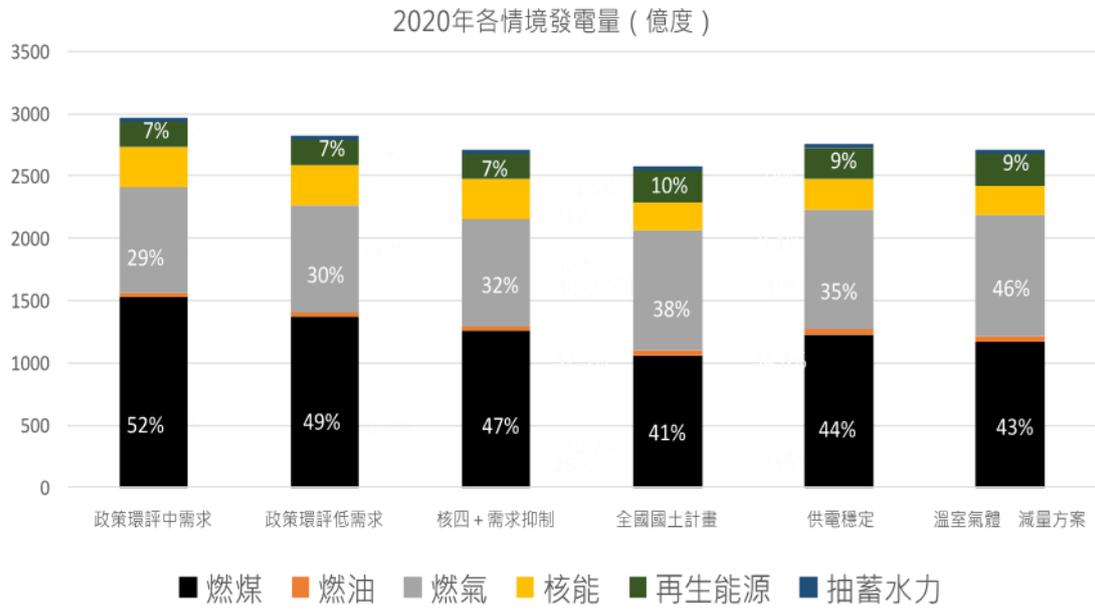


圖 36. 2020 年各情境之電力結構

資料來源：本研究團隊整理製表

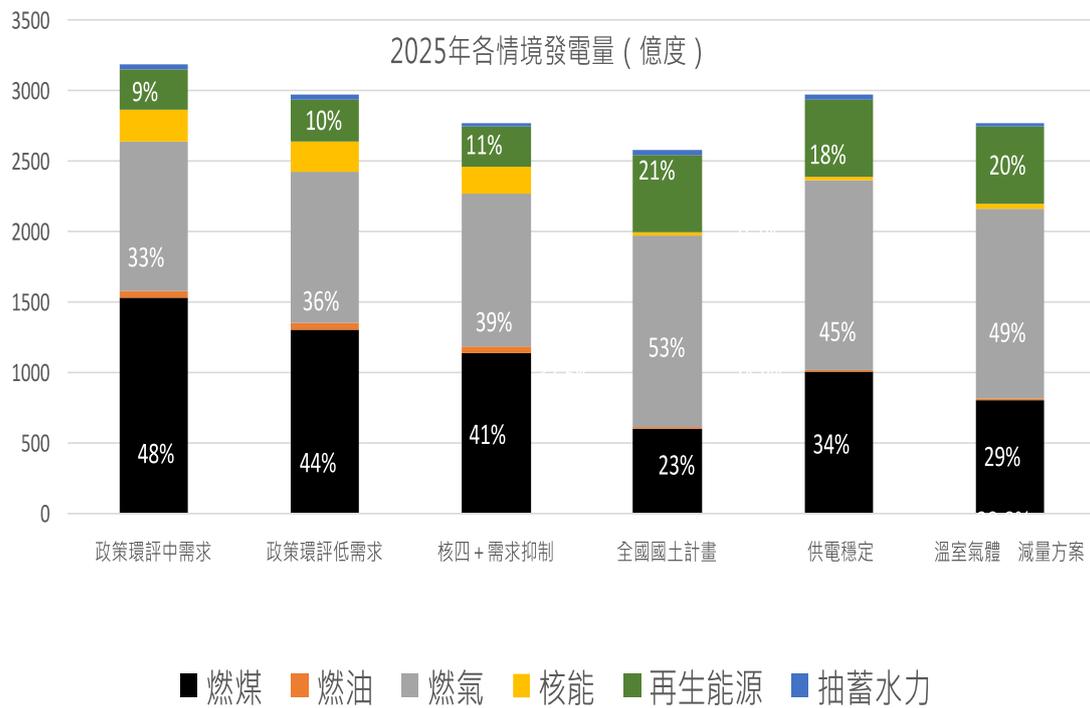


圖 37. 2025 年各情境之電力結構

資料來源：本研究團隊整理製表

本研究中依據上述結構變化，引用臺灣 2050 能源供需情境模擬器 (Taiwan 2050 Calculator) 所提供的空氣污染物排放係數，估算各情境下 2020 年與 2025 年電力系統的主要空氣污染排放量之差異。⁸

如圖 38 所示，在相近的電力需求成長率時，現行能源轉型政策方向下，2020 年與 2025 年時整體空污排放量均較「穩健減核」的情境時為低。然在能源轉型政策方向下，若未能採取積極的節能政策，將用電量抑制在 1.3% 以下時，則 2025 年電力系統排放量僅較 2015 年削減 30% 左右。反之若可達到用電需求零成長，則 2025 年時電力系統的排放量則可較 2015 年削減 47% 以上，將有助於將臺灣達成年均 PM_{2.5} 濃度降至 15 μg/m³ 的空氣品質標準。

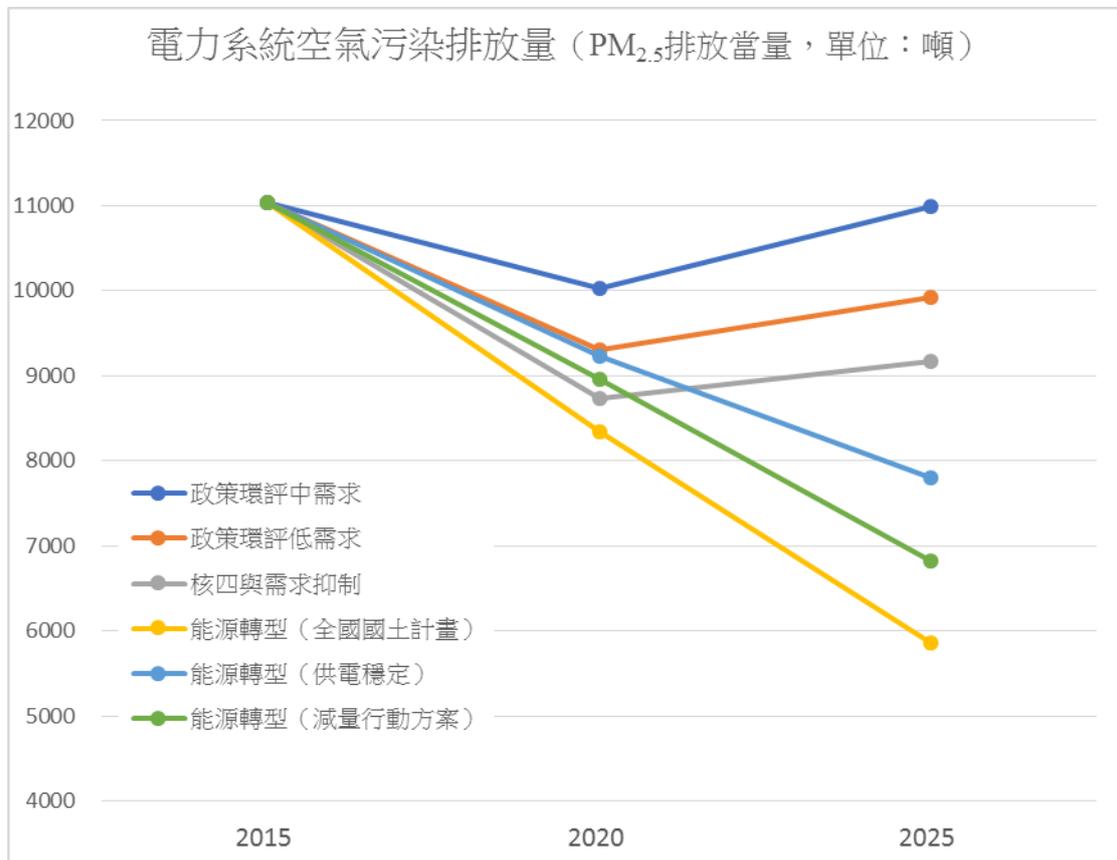


圖 38. 各情境下電力系統空氣污染物排放量比較

資料來源：本研究團隊整理製表

⁸ 由於本研究中無法再細分至不同壽齡的機組，各引用臺灣 2050 能源供需情境模擬器提供排放係數，燃煤發電排放係數上，則引用超臨界機組之排放係數，已反映優先削減老舊機組之趨勢。燃氣發電上，則引用新機組發電量，已反映未來將新增大量燃氣機組之趨勢。而本次考量的空氣污染物為 PM_{2.5}、SO_x、NO_x，並引用莊秉潔教授研究，將個別污染物排放量彙整為 PM_{2.5} 排放當量。

（三）急速減煤的政策條件

前節分析指出現行的能源轉型政策方向下，可於 2025 年時將燃煤發電占比降至 29%，若可導入積極的節能政策，則可降至 23%，但此目標相較於前述國際「棄用燃煤發電聯盟」成員國中，如英國提出的 2025 年淘汰所有燃煤發電，或是荷蘭訂定的 2030 年目標，則應有更為積極之作為。而檢視目前提出的能源轉型路徑規劃中，則除了節能政策以外，燃氣發電以及再生能源占比則仍可提高。

燃氣發電占比提升的關鍵乃是天然氣供應量，依據能源局估算，2025 年燃氣發電量從 2017 年的 931 億度增長至 1354 億度時，總天然氣的需求為 2354 萬噸。而依據現行天然氣接收站擴增規劃，2025 年時總接收量可達 3270 萬噸，顯見燃氣發電量仍有增加空間。而目前天然氣擴增規劃中，關鍵爭議乃為第三接收站的設置，然若以臺北港為替代方案，興建時程有所延後時，2025 年天然氣卸收容量仍可達到 2670 萬公噸，相較於該年的需求量仍高出 300 萬噸左右。若將 300 萬噸的供給餘裕用於增加天然氣發電量，則可使燃氣發電量增加至 1573 億度，促使其占比提升至 56.7%（溫室氣體減量方案情境）-61.1%（國土計畫情境）。

而再生能源方面，目前離岸風力發展上，目前擬將 2025 年的目標量由 3GW 提升至 5.5GW，發電量則可由規劃的 118 億度增加至 217 億度。總體再生能源發電量則可由 546 億度增加至 645 億度，故可使再生能源占比提升至 23.3%-25%。

綜合以上述規劃，藉由增加燃氣發電量與離岸風力發展，則在「溫室氣體減量方案情境」下，可將燃煤發電占比進一步削減至 17.3%。若導入積極的節能政策，在「國土計畫情境」下，燃煤發電占比則可降至 11%，燃煤發電量可較今大幅度削減 65% 左右，可加速臺灣減煤時程。

（四）小結

綜合前述分析，本研究指出在核一與核二停機下，其主要發電缺口主要由燃氣發電填補，而非燃煤發電。且在環保調度與地方政府管制作為下，此次空污季中的燃煤發電量已較去年削減。而相較於過往的「穩健減核」的政策規劃，目前所規劃的藉由加速再

生能源發展以及擴大天然氣占比的能源轉型方向，是可在達成非核家園目標下，大幅改善空氣品質。然而若可強化節能政策的推動，進一步擴大天然氣發電並加速離岸風力發電的佈建，則加速減煤時程，促使燃煤占比在 8 年之間由 47% 降至 11%，有助於大幅改善空氣品質。

伍、治理架構議題

一、銜接政策與民眾感知（爭議）之科學與風險溝通

2017 年小英政府將空污治理視為重點。環保署推動 14+N、空污法修法、有害空氣污染物管理以及多項政策，為近年規模最大的空氣品質政策。2017 上半年較 2012-2016 中部地區確有所改善。但下半年進入空污季節，連續的空氣品質「紅爆」，造成民眾對政府努力無感，再次集結反空污運動。政府今年對於餐飲業、大型集會活動等措施，也被民眾質疑捉小放大。相對於民眾對於空氣污染現況的不滿，以及要求政府對火力發電廠與石化等高排放設施，政府說法經常與民眾訴求產生分歧。首先政府對外報告場合或環保署對中央報告，都會以不同方式提出「已經改善很多」的資訊（如圖 39）。這是不爭的事實，環保署也做了很多努力是看得見的。但另一個明顯的事實就是，目前仍然全臺普遍嚴重超標的 PM_{2.5} 與能見度高度相關，加上臺灣產生「空氣污染」的風險感知與認識論是反國光石化運動後逐漸加強的（周桂田，2017：219-220；Chou, 2015: 14590-14591），因此民眾直觀感受，就是「空氣不好，天空灰濛濛」。

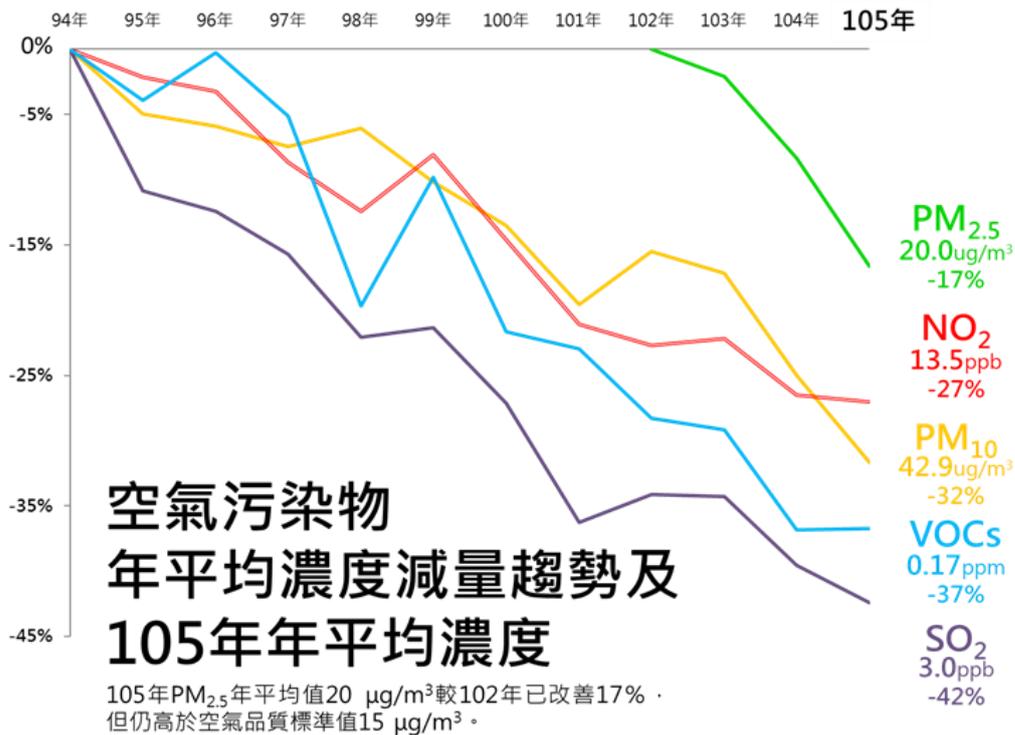


圖 39.空氣污染物年平均濃度減量趨勢

資料來源：環保署，2017f

其次是對改善方法的要求差異，環保署政策主要參考的委託研究，包括吳義林教授強調線源即交通運輸的改善優先（公視，2017），張良輝教授則提出面源改善最有效果（張良輝，2016），這些是基於空氣品質模式模擬出來的技術性的所謂實證科學結果，也是環保署不斷強調空污管制應根據「科學實證」之政策所引用的主要知識。但「科學實證」範圍無窮，用哪些科學來證實成為關鍵？因此 EPA 要求專業學術審查進行完整文獻回顧後，再進行科學評估。以臺灣的情況而言，莊秉潔教授 GTx2007 年通過審查認可、TAQM2010 年通過認可、張良輝教授 ISCST3 2011 年通過認可，多種空品模式環保署如何選擇？近年許多爭議，圍繞在幾種模式間對排放源對濃度貢獻有若干差異。因此模式選擇應有更周延的科學審查與資訊公開制度。

再者，實證科學運用到管制上，即成為管制科學。它作用的場域不再是實驗室內的客觀數據而已，乃是進入社會複雜多元的實踐場域，從本文第貳章第三節可以看到，工業測站污染不減反增，一些重災區污染改善並不顯著。而這些改善較少地區，出現在雲林、彰化、臺南一些沒有大都會交通運輸負擔的地區，民眾當然會把矛頭指向大煙囪、

大工廠。而從排放減量來看，過去數據顯示，餐飲業（新版含夜市）與家庭（天然氣、自用汽機車）其實排放量過去大幅減少了。因此從民眾端，會質疑過去一直增加自用汽機車環境成本，對餐飲業營業用廢氣排放有所管制，但高污染產業、大型柴油車政府管制力道是否成比例？而從數據來看，確實這些排放減量都不如餐飲業與家庭減量的多。

長期以來一直爭論的點源（工業）、線源、面源數字爭論，無益於風險治理品質。實證科學數據是決策基本，無誤。但成功的治理絕非只根據有限的實證數據。去社會價值化的策略，是數字上哪個污染源貢獻多，按比例多減量來訂策略。真正的治理，存在人所生活的經濟與社會。爭點在不再只是有限的數字貢獻，應以跨界風險角度制訂政策。圖 40 所示即包含實證科學、經濟與政治與社會價值文化因素的治理模式。按照實證科學，以貢獻量為基礎來制訂減量，絕對是必要條件，但並非充分條件。另外，EPA 空氣品質治理概念中，「實證科學」必需先經過「完整文獻回顧」。就臺灣情況來看，地表揚塵與工業排放毒性不同，在特定地區如何權重？實證科學細緻度永無止境，不僅是空氣品質模擬，通常應有完整暴露評估、流行病學調查，提供政策和社會影響評估研究，對於特定工業地區，目前環保署有專門監測，這是第一步，必須對重災區、敏感地區、族群根據健康風險研究，才能訂出維護健康之政策。



圖 40. 空氣品質的跨界風險治理

資料來源：本研究團隊繪製

EPA 在制訂空氣品質政策時，必須進行政策影響評估，並從 2004 年之後強調治理效果的課責性。課責性是個公共行政上常用但複雜的概念。運用在此舉個簡單例子，北京當時的 APEC 藍，是用行政命令強制停工、停業的「不冒一縷煙」達到的。固然有效，但它在課責性上是失敗的，因為它把所有污染源一視同仁的做處理，而沒有正確課責。在工程地區進行灑水，減少煙塵或許是減少「地表揚塵」的好方法，但誰該提供水？灑多少水？公共行政上運用罰則來找到該負責的對象進行課責，或者立法規定其責任，或用課稅等手段正確課責。如果未能正確課責，就容易落入「為了少數污染者」不但「污染全民買單，還要付出補貼」。當然要做到這些事情，實證科學就非常重要。但決定如何管制，還必需作成本效益分析。成本效益分析優劣差異甚大，好的成本效益分析甚至能反應到社會價值與文化。去年民眾對宗教文化集會的建議、餐飲業等措施的反彈，就是民眾感受長期民用載具、民生相關都在加嚴，集中焚燒金紙、環保香爐也在推廣，但政府似乎對於工業排放卻增加沒有辦法，除了需要釐清管制成本效益，莫低估民眾承擔成本。甚至考慮「生活習慣改變的成本」，都是成功政策的要素。

社會價值與文化牽涉到民眾感知與對健康權的追求，有些研究強調火力發電降載對空氣品質減量貢獻不顯著。但臺灣的國家戰略若跟隨國際趨勢減（非）煤、低碳來發展，火力發電廠考慮就不是降載的問題，而是能源轉型問題。臺灣民眾對於減（無）煤、綠能的轉型願景，期待以創新（如 AI）產業取代高環境負擔產業的期盼。技術面來說，目前空氣品質政策還缺乏中長期規劃，配合未來能源轉型與產業轉型，未來如果能源結構，創新智能產業與運輸方式取代高耗能產業，整個數據基準都非常不同。光是全臺灣公共汽車能改用電動，加上能源結構改變，這些規劃確實是超過環保署本身能量，因此空氣品質跨界風險治理，實為國家層級的戰略項目。上述這些點，是民眾會去關切的跨界議題，因此政府提出政策的時候，若考慮的層面僅是實證科學，當然民眾更廣的訴求，常會與政府發生對話困難。

透過臺灣傳播調查資料庫，2016 年以「風險與危機傳播」為主題，對臺灣民眾空污感知進行調查。表 7 問到當空污發生時，最常透過哪些管道蒐集相關資訊？當空污發生時，最常透過電視（71%）及網路（50.7%）的管道為最多，其次則為親朋好友、報

紙等。顯示出民眾獲得空污信息相當即時，全天播放的電視與隨時可得的網路一旦顯示空污發生（例如紅爆），民眾對比室外的「灰濛濛」，馬上就會有即刻的受害感受。

知識傳播發達的今日，多數民眾對空污的人體健康風險有相當程度的感知。表 8 呈現高達 90.7% 多數認為空氣污染對人的健康影響是嚴重的。而臺灣民眾自身也已經盡量採取降低空污風險的個人措施，70% 以上民眾空氣品質不良時會戴口罩、關閉窗戶，50%-70% 的民眾進入室內會強化個人衛生防護、定期保養車輛以及在空污時期避免出門，並且 49% 民眾已經會減少燒香、燒金紙與放鞭炮，46% 會減少油炸、燒烤方式烹調食物。這一切顯示出民眾認識空污健康風險，而且也採取許多個人降低風險措施，當然會要求政府對他們做不到的柴油大客車、大工廠進行加嚴管制。

表 7. 當空污發生時，最常透過哪些管道蒐集相關資訊？

K2 請問當空氣污染發生時，你最常透過哪些管道蒐集更多空氣污染相關資訊？

資料庫
一期五次
2016

題號	變數名稱	K2	K2
選項		次數	%
電視		1,491	71.1
報紙		364	17.3
廣播		240	11.4
網路		1,065	50.7
親朋好友/街坊鄰居/同儕（同事）		497	23.7
空氣污染相關的 APP		182	8.7
雜誌		55	2.6
其他		3	0.1
都沒有		156	7.5
總數		4,052	193.1

資料來源：臺灣傳播調查資料庫（2017）

表 8.你覺得空氣污染對人的健康影響嚴不嚴重?

K5 請問你覺得空氣污染對人的健康影響嚴不嚴重？

		資料庫 一期五次 2016	
題號	變數名稱	K5	K5
選項		次數	%
很不嚴重		34	1.6
不太嚴重		161	7.7
有點嚴重		703	33.5
很嚴重		1,200	57.2
總和		2,098	100.0

資料來源：臺灣傳播調查資料庫（2017）

表 9.當空氣污染發生時，你覺得政府有沒有辦法解決？

K10 當空氣污染發生時，你覺得政府有沒有辦法解決？

		資料庫 一期五次 2016	
題號	變數名稱	K10	K10
選項		次數	%
沒辦法		625	29.8
應該沒辦法		727	34.7
應該有辦法		662	31.5
有辦法		84	4.0
總和		2,098	100.0

資料來源：臺灣傳播調查資料庫（2017）

然而表 9 卻顯示，有 64.5%認為空氣污染發生時政府沒有辦法解決。這是對政府的信心問題。這是 2016 年的數據，希望 2017 年調查能因環保署多項措施信心有所提升。近期政府對於改善空污做了很多措施，但民眾仍然感覺空氣不好，對政府施政、管制對象經常意見不一致。這件事情不能將民眾感知視為非理性、非科學。雖然臺灣年平均來看，各種空氣污染物有所下降，然而本文指出，實證數據指出全臺 PM_{2.5} 仍然普遍且嚴重超標，民眾透過即時的電視、網路資訊，對照灰濛濛的空氣感受深刻。民眾希望多管制火力發電、高污染產業與柴油大客車，環保署則比較全面的進行管制，包括民生的餐飲、自用汽機車都管制。並根據委託研究強調火力發電、高污染產業濃度貢獻並沒有民眾想像的多。但從濃度數據來看，工業測站五站有四站不降反升，高污染災區並沒有全部獲得較多改善，各高污染地區改善不一，一些測站的改善少或惡化，鄰近的就是點源

為最大排放源。以圖 41、圖 42 臺中、彰化、雲林、嘉義與臺南 PM_{2.5} 排放地理資訊圖為例。臺中市區當然可以理解都會區交通、住家等線源、面源排放很多，但到彰化、雲林一帶，就看到麥寮與國道的點源與線源排放而已，到臺南才又有密集的工業與都會排放。如此一來，當民眾看到彰化市、雲林崙背、嘉義朴子改善不盡理想時，當然歸因於濃度升高、排放增加的工業測站所代表的工業區。

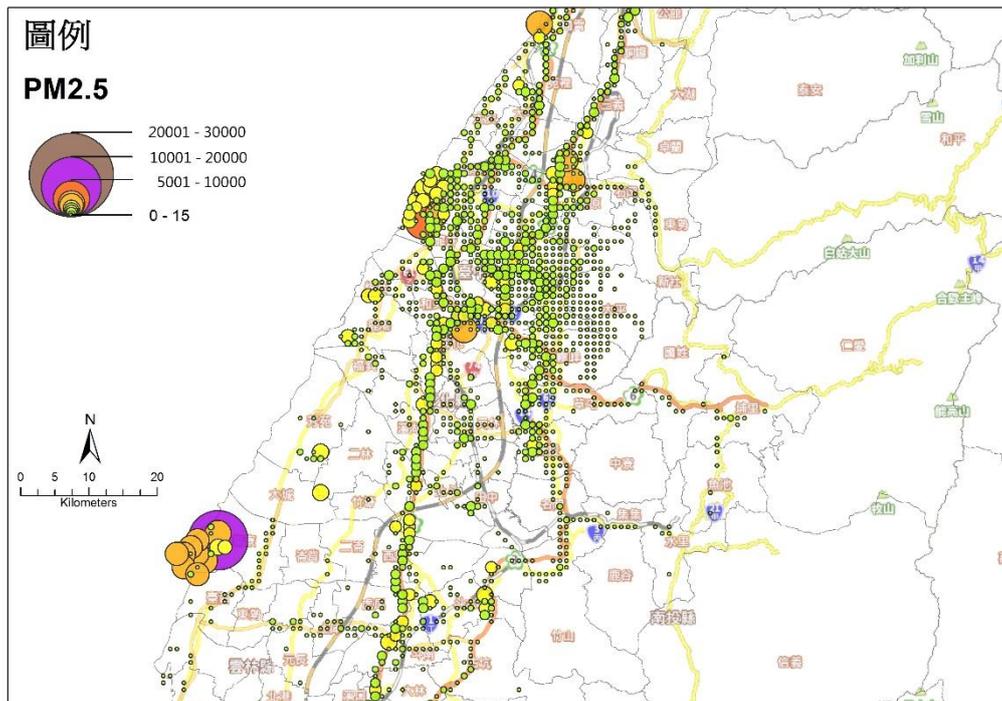


圖 41.臺中、彰化與雲林地區排放清冊 9.0 地理資訊

資料來源：本研究團隊整理自排放清冊 9.0 地理資訊繪製

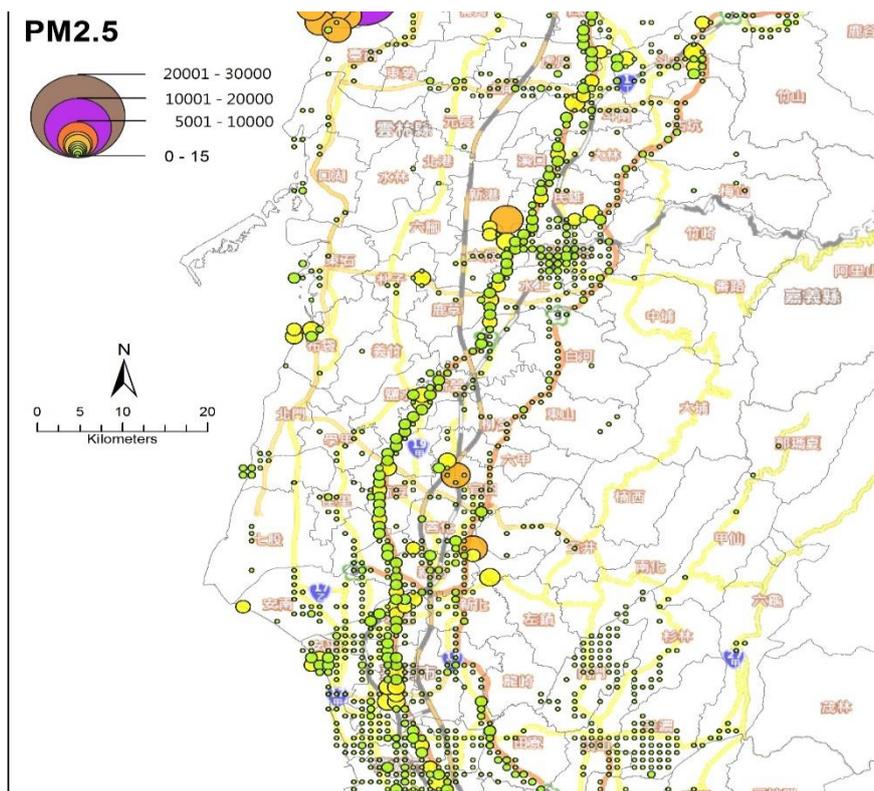


圖 42.嘉義、臺南地區排放清冊 9.0 地理資訊

資料來源：本研究團隊整理自排放清冊 9.0 地理資訊繪製

綜觀上述風險感知，引出銜接政策與民眾感知（爭議）之科學與風險溝通的小結。有效的空氣品質治理，要從圖 40 的跨界風險治理來規劃。實證科學是必要的，但必須有充分文獻回顧。民眾的訴求具有科學價值，事實就是不同分區、產業的污染與排放是不一致的。經濟與政治層面牽涉到管制成本效益、管制正當性與課責性問題，除了考慮管制標的，該管制標的如何課責要充分考慮。例如柴油大貨車是由全民納稅來補貼，或是企業應當負的社會責任？最後，空氣品質治理牽涉到能源、產業與交通運輸，甚至生活方式的轉型，這些是考慮社會價值與文化國家戰略高度的議題。風險溝通不是教育民眾，而是理解民眾需求，銜接管制科學資料，正確處理問題。上述所提及是跨界風險治理內涵，這樣的空氣品質治理規劃的政策與執行，才能回應真正民眾需求改善空氣品質。

二、公民科學促進治理創新

（一）公民科學促進治理創新

空污問題不是單純的空氣污染而已，還延伸出空污對健康造成危害的問題、影響生活品質等問題。然而空污具有高度的複雜性，目前的科學能力尚無法訂定出絕對安全的曝露劑量，而且對空污的相關科學知識掌握有限、以及空污所影響的利害相關人範圍更為廣大，橫跨的議題面向也多元，因此需要跨領域互動、協商。在這種情況下，當代的环境治理越來越重視發展更包容多元的決策模式，讓更多常民知識進場，打開科學知識與風險決策的黑盒子（Wynne, 1991; Fischer, 2009）。

特別是科技與社會（STS）等理論，瞭解到獨尊實驗室產出的科學知識無法有效解決環境風險爭議（Heinrichs, 2005; Nowotny et al., 2001; Wynne, 1991），也認為科學知識的生產無法脫離社會脈絡性與價值取向，因此必須強化公眾參與，以廣納更多元的社會與專業意見，檢視不同的價值體系與權力關係，增進公眾與科學社群的建設性對話，並修正科技主義工具理性的盲點（Douglas, 2005; Fischer, 2009; Barber and Bartlett, 2005）。唯有重視知識的多元性，跨越不同知識型態、疆界的藩籬，讓廣大的利害相關人可以參與相關資料蒐集分析以及環境爭議解決機制的選擇，形成以「問題解決導向」的知識建構基礎，這種奠基於專業者與常民合作方法上的聯合事實認定（joint fact-finding）過程，才能有效解決環境健康爭議（Corburn, 2005: 11）。

近年來強調公民作為主體，參與在具體科學知識生產過程的公民科學，已逐漸獲得社區與環保機關的重視。決策相關知識不再僅限於傳統科學評估數據的資料生產，而是在具有高度脈絡化與地方性環境問題所需的相關知識需求，透過良好的行政程序設計，提供科學專家與具有在地知識的常民產生連結的機會，促使居民的經驗與證據在問題解決上有所貢獻，讓地方知識能夠產生增進環境治理決策的正當性、縮短知識與政策間的距離，使科學與政治決策更具公信力（Moore, 2006; Yearley et al., 2003; Corburn, 2005; Yearley, 2006）。

雖然各界對於公民科學仍有許多不同的想像，但一般而言，公民科學指的是無受過正式科學訓練的個人，參與在知識生產的活動中。在美國，2012年成立的公民科學聯盟，其自許為公眾參與科學研究領域的實務社群，並舉行會議與發行期刊，其網站上對於公

民科學的定義即為「一般大眾執行的科學工作，通常是與專業科學家與科學機構的合作或指引下進行」。⁹ 一般公民參與科學是為了個人的旨趣，或自我防護 (Cavalier, 2016)。

1. 公民科學的內涵

公民科學的運作模式相當多元，若以公民參與在知識生產過程中的角色與協助程度來區分，可分為貢獻型 (contributory/一般公民志願性地蒐集資料，如紀錄生態變化)；協力型 (collaborative/公民同時分析資料並可能影響資料蒐集的方法論)；共創型 (co-created/志願者協助界定研究問題與假設，並參與在資料的蒐集、詮釋與傳播) (Bonney et al, 2009; 2016)。而長期觀察與投入到社區空污監測行動科學發展的學者 Gwen Ottinger 則是依據知識生產的目的、主體性，將公民科學區分為「科學權威驅動的公民科學」 (Scientific Authority-Driven Citizen Science)，以及「社會運動為基礎的公民科學」 (Social Movement-Based Citizen Science)。

(1) 「科學權威驅動的公民科學」 (Scientific Authority-Driven Citizen Science)

科學權威驅動公民科學的發展動力，在於深化科學教育與提升科學的知識生產，通常是在科學專業社群所設計的研究問題意識下展開，公民在此的參與是以蒐集資料為主，擴大資料蒐集尺度，或協助大型資料的分析 (Bonney et al, 2016)。運作上強調公民協助學院科學家生產出一個符合既有科學規格的知識，強化既有的知識生產權威，將其正當性建築於理想化的科學標準之上，並認為透過科學教育 (讓大眾更了解科學) 過程，並想像這個富有權威光環的生產結果會帶來可能的社會與政策的改變。

除了擴張資料的蒐集以外，此種公民科學也強調提升公民理解科學的好處，包括促使參與者的行為改變與支持環境保護政策。這樣的公民科學倡議存在自然科學與科普傳播的研究領域上，依存於既有的知識權力結構，並無法善用多元化價值來豐富與拓展科學研究的內涵與方法，對於科學與治理的革新效果有限 (Ottinger, 2017)。

(2) 「社會運動為基礎的公民科學」 (Social Movement-Based Citizen Science)

⁹ 原文為“Scientific work undertaken by members of the general public, often in collaboration with or under the direction of professional scientists and scientific institutions.” 可參見 Citizen Science. org 網站 <http://citizenscience.org/about/>。

社會運動為基礎的公民科學核心，是強化組織網絡與弱勢社群的主體性。在此社會運動的脈絡下，公民科學成為在社區審議過程中有力說服的工具（Scott and Barnett, 2009），促成社區動員以及充權（empowerment）（Ottinger, 2010a）。

因此社會運動為基礎的公民科學批判與挑戰傳統科學規範下的方法與標準，並嘗試發展出不同於主流科學的替代性工具與方法，協助解答社區關心的問題。

Ottinger（2017）指出，社會運動為基礎的公民科學不只批評傳統標準化的科學操作，也拒絕將其質問與根植於集體行動的社會改造願景分開。因此路線上強調科學的運作是回應社區的關懷，其研究問題意識來自公民科學家；在科學運作的實作現場上，有科學背景的專家是結盟的伙伴，提供資源與建議而非研究的驅動者，而公民是行動研究的參與者，不只提供對於數據的詮釋，更可提出相關因果關連認定的社會倫理主張，以及標準選擇與合理性的質疑（Ottinger, 2010a; 2010b）；在方法運用上，他們強調自己可以製作組裝的工具，這類新型態的科學實作運作方式，也深受一些資訊與技術開源社群如公共實驗室（Public Lab）¹⁰的支援（Ottinger, 2016）。不過，這種公民科學常被定義為「政治」，因此被許多科學家視為不夠客觀而難以提供可靠的知識貢獻。而這類的否定，也常常使此類公民科學面臨「增加其主張的科學權威」與「擴充對科學權威批判」中的取捨（Ottinger, 2016：98-100）。

2.從知情到公民賦權

社會運動為基礎的公民科學強調問題意識來自於社區居民，而社區居民的問題意識，往往是來自於身體感官感受經驗，例如居民在日常生活當中聞到惡臭、感到窒息胸悶等，但人們多不曉得這些問題來自於何處，對健康會有何影響。因此為了嘗試了解這些問題，一開始是為了「知情」、為了讓身體經驗有對應的知識基礎而展開公民科學行動。但在尋求問題答案、尋求相關資訊證據的同時，也會隨著相關資訊的取得與知識的生產，讓居民通過社區空氣品質監測來掌握周邊產業的污染狀況，獲得論述的能力，這讓居民在議題中掌握主動性，通過公民賦權（empowerment）取得議題的詮釋權，藉此

¹⁰ 有關公共實驗室的介紹，可參閱其網站 publiclab.org

來影響政府的管制，以及工廠污染問題的改進，而產生後續相對應的公民賦權效果。

Ottinger (2010a) 指出公民科學帶來的公民賦權效果，有三個層次：第一，社區居民擁有界定問題的能力。這包括了居民如何認知社區問題，通過何種方式獲取資料，以及如何詮釋這些資料。Paul Ryder稱「採取主動 (taking the initiative)」，當社區居民主動採取監測行動並定義議題，這意味著廠商、政府都必須要針對該行動進行回應，社區因此得到了重新界定空氣品質議題的機會。第二，社區居民擁有法律訴訟的能力。潛在受害居民或是環保團體藉由公民科學，得以檢測特定空氣污染物質，以使用於訴訟或調解之中。並強調特定空氣污染物雖然沒有管制標準，但仍存在健康風險，得根據此特定空氣污染物存在的質化結果，要求將舉證責任分配到政府或危害性設備所有權人，進行該空氣污染物的環境、健康風險評估。第三，居民具有選擇居住或是離開的權利。當居民透過社區的空氣品質監測得知污染事實，可以選擇從社區離開或者留下，以及進一步挑戰既有的行政管制模式。透過資訊生產彌補居民與專家間的知識落差，也確保居民可以持續表態同意與否的權利，使地方居民在充分知情下做出選擇。這也意味著必須確保居民不是「只同意一次就代表永久同意」，而是「持續有表態同意的權力」，當發現新證據指出危害身體健康時，社區居民仍有權利反對。

3. 公民參與科學在國外的發展

公民科學家最常參與的模式，是資料蒐集（特別是環境監測），另外也參與線上共同合作以詮釋圖片或其他更大的資料庫。透過社區賦權，強化社區的能動性與主體性。如社區為主的監測 (Community-based monitoring, CBM)，涉及公民、政府機關、工業、學術界、社區團體和當地機構，一起合作監測、追蹤、回應、關注共同社區環境問題的過程，或是以社區為基礎大學跨領域的教學，亦即將「公民視為科學家」，社區居民從身體經驗到運用自己DIY的監測工具來提出主張，並做出負責任的選擇。另一方面，科學家除了有相關專業知識外，也承認社區有能力確定抽樣地點和收集空氣樣本，作為「專家行動者 (expert-activists)」，需要同時兼顧維持科學可信度，並協助社運團體達到運動上的目標。

公民科學聯盟的發展與美國環保署的公民科學計畫，顯示科學社群與政府行政部門重視公民在資料蒐集與增進科學研究上的貢獻。而科技近用性的增加、通訊與社群網路的發達、資訊蒐集整理能力的提升，使公民參與科學的型態也更加多元。2015年美國聯邦政府指引各聯邦機關招募志工共同參與研究，認為此舉有助於科學研究、科技工程與數學教育，也發行《群眾外包與公民科學工具箱（Federal Crowdsourcing and Citizen Science Toolkit）》；此外，個別行政機關也發展自己的公民科學方案，例如美國環保署也於2015年發展《公民科學家的空氣監測工具箱（Air Sensor Toolbox for Citizen Scientists）》，¹¹ 希望協助公民選擇可攜式低成本的空污監測工具，透過提供相關指引，使社區居民了解所在地的空氣品質。

有關公民參與社區空氣監督計畫，在O'Rourke 與Macey（2003:406）討論美國加州與路易斯安納州的社區參與空氣監督計畫（bucket brigades/空氣監測桶隊），社區居民運用一種材料便捷、使用簡易而低成本空氣收集桶，發展出社區志願網絡與小型組織的支援系統，即時性地掌握傳統固定空氣監測所無法提供的更細緻精準資訊。

這類的公民空氣監測團隊計畫，不僅提供新的資訊來源，增進民眾社區意識，強化地方所主導的社區環境防護策略，更透過系統性空氣樣本採集的集體行動，促使工廠的空氣排放資訊更加透明，並迫使企業負起污染責任。而環境監測的政策辯論，也從傳統技術性的風險取向，轉移到社區本身所定義的健康與生活品質論述。而這類公民參與社區空氣監督的技術，更在這一、二十年來被推廣到南非、印度等世界其他角落（Scott and Barnett, 2009）。

在社區空污監測公民科學發展的研究中，Gwen Ottinger 關注石化廠附近社區污染承受問題，並從科技與社會（Science, Technology and Society, STS）的研究理論視角出發，探討與實踐環境正義運動的科學取徑。在其分析中，社區參與空污監測所發展出來的公民科學，不只協助在地社會擴充知識基礎與科學能力，從而挑戰公部門與企業不願

¹¹ 詳細介紹可見美國環保署網站：“Air Sensor Toolbox for Citizen Scientists”
<https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox>。

負起污染問題解決的責任，更對科學技術的轉化產生影響，包括促使環境暴露與健康資訊有更好的連結產出、強迫管制機關重新思考標準、舉證責任以及安全值等設定偏差問題、敦促專家尋找新的科學方式與模型，來取代原本以特定種族階級為基準的標準，以及促使科學實踐與技術創新必須考量正義、永續與健康等價值（Ottinger and Cohen, 2011）。

此外，在英國的公民參與空污問題政策。1998年開始，英國政府要求地方政府預估2005年的空氣污染狀況。審查和評估程序分四階段：第一階段由地方委員會（local councils）負責評估城市區域內的污染物來源和排放程度，指認出污染程度最高區域。第二階段委員會在高污染區進行監測，並與官方標準比較，以確定區域是否超標。在第三階段，地方政府（local authorities）依據評估結果劃設空氣品質管理區（air quality management areas, AQMAs）。第四階段則是制訂減污行動計畫。第三階段的詳細評估需要仰賴電腦模擬，協助評估模型建構的研究團隊，在英國 Bristol、York 與 Sheffield 等三個城市展開工作。為了讓模擬更能真切反應現實狀況，研究者透過公民參與地理資訊系統（Public Participation GIS; PPGIS），將公眾知識納入模型當中，並且由獨立第三方主持人來籌組焦點團體，建構一個專家與一般民眾能平等對話的平臺（Cinderby & Forrester, 2005; Yearley et al., 2003）。Yearley（2006）發現民眾參與地方污染地圖的建構，可以協助檢視傳統科技模型預測背後未被檢驗的假設。例如，模型通常會平均化汽車污染排放量，但事實上，貧窮區域可能有較多平均值以下的車輛而造成污染的熱區，模型預測因此可能低估一些貧窮區域的污染值。

4. 公民參與科學在臺灣的萌芽

臺灣的公民與科學關係之研究，從較早期以「缺陷模式」（deficit model）為基礎的「公眾理解科學」（public understanding of science, PUS）視角，將公眾視為科學素養不足，需要由科學家進行科學教育的模式，轉向強調互動與對話的「公眾參與科學」（public engagement of science）。因此有的研究強調在地知識對於科學的貢獻，以及在環境政策過程中忽略公民在地知識所引起的衝突和問題（范玫芳、張簡妙琳，2014）；

有些在科學教育領域的研究，則深入探討博物館等科學教育單位，如何扮演引導公民參與在科學知識生產當中的中介溝通角色（江淑琳、張瑜倩，2016）。此外，由泛科學網站與農委會特生中心共同合作的「臺灣公民科學入口網」，¹² 也可看到相關活動、研究與外部連結，提供公民以個人身份收集資料或進行觀測，如鳥類調查、路殺動物調查等，協助科學活動。若依上述 Bonney 等學者的分類來看，臺灣的公民科學通常會界定在貢獻型或協力型的位置上。

另一方面，公民參與空污監測的行動科學，在上述分類上，通常被界定為一種共創型的公民科學。在運用的層次上，較無涉及科學知識拓展的目標，而著重在將知識生產鑲嵌在具體的決策與組織行動中，嘗試回應社會需求，其認識論與驅動力上，是運用科學引領行動層次，而非為了生產科學知識而行動，接近 Ottinger 所描述的「社會運動為基礎的公民科學」。

高雄作為臺灣重要的工業重鎮發展多年，四十多年來大型產業如鋼鐵業、電力業、石化產業不斷發展。工業所帶來的各樣廢棄物與污染問題，也越來越嚴重。高雄的空氣品質因為臭氧及懸浮微粒濃度高，空氣污染成為高雄人無法迴避的課題。為了體現空氣污染問題的嚴重性，促成高雄空污總量管制的執行，地球公民基金會開始在空氣污染指標（PSI）達普通等級或臭氧值超標時，上網張貼即時空品監測資訊。從2012年2月1日開始至5月10日，連續100天在基金會辦公室窗臺，以定點定時方式，展開「高雄的天空」100天拍攝計畫，拍攝遠方地平線、柴山與天空，同時記錄環保署所公布的PSI值、PM2.5的小時值，以及當日能見度的觀察記錄，透過視覺化的資訊呈現空污問題的持續性與嚴重性。

在空污嚴重的時候，對空氣品質最為敏感的老人、小孩等族群，往往仍繼續從事戶外活動，顯示民眾並未意識到空氣品質對於健康的危害，不會主動搜尋環保署的即時資

¹² 引自網站介紹：「臺灣公民科學入口網」由泛科知識股份有限公司與行政院農業委員會特有生物研究保育中心（以下簡稱特生中心）共同合作管理。特生中心自 2009 年以來陸續推動多項與生物多樣性相關的公民科學計畫，並與大專院校、政府機關、民間團體與自然生態愛好者組織夥伴關係。在天文、氣象、環境、生態等領域的公民科學活動如雨後春筍般推出，我們藉由這個入口網整理各路公民科學的資訊，一覽臺灣與全球的鄉民參與科學的成果與力量。」網址：<http://pansci.asia/tw-citizen-science>。

訊，以及主動採取相關防護措施。為喚起空污意識，基金會更在2014年11月起與文府國小、港和國小合作發起「校園升空污旗活動」，在空污達警戒值（35微克以上）時升起紅色空污旗，以提醒校園師生必須戴口罩防護或減少戶外活動作為防範。

在資訊科學界也開始出現自製小型監測工具的行動。南投暨南大學資訊管理系戴榮賦教授，設計可偵測細懸浮微粒的低階微型感測器，在埔里地區佈點30個測站與建置雲端平臺記錄資訊系統，嘗試自己監測當地的空污狀況。2013年中央研究院資訊科學所陳伶志副研究員，因著自己的小孩氣喘，開始嘗試設計「高準確性」和「低成本」兼具的感測裝置。並且研究與推動「參與式感測系統」，透過群眾一起觀察所得的數據進行分析，找出問題的解決方法。爾後與認同參與式精神、喜歡自己動手設計的創客（Maker）所組成的LASS 社群（Location Aware Sensing System）共同合作，將此一小尺度、能提供即時數據的微型監測器「空氣盒子」散佈出去，做大規模的資料收集。並且希望透過即時濃度觀測的時間與空間資料的數據分析，預測空污擴散趨勢乃至追蹤空污來源¹³。另外，訊舟科技公司也與中研院資科所共同合作，將空氣盒子量產化，並且推廣到臺北、新北、桃園、臺中、臺南、高雄等六都的小學，進行廣泛布建，並且藉由 google map 的介面彙整資料，建立空品地圖，為民眾提供更具在地性的細懸浮微粒即時濃度資訊。

三、南韓空污政策

（一）南韓新空污政策概述

比較與臺灣鄰近國家南韓為例，南韓與臺灣在國家發展有著相似的政經背景，近來空氣污染嚴重的情形也與臺灣相仿，在南韓同樣面臨減煤、能源轉型的議題，和空氣污染的問題，南韓境內懸浮微粒空氣污染情形，自 2012 年為止 PM10 都呈現改善的趨勢，但 2013 年開始卻呈現惡化及停滯的狀態，而 PM_{2.5} 以 2016 年為基準，全國及首爾的年平均濃度皆為 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，都超過世界衛生組織 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的基準，甚至呈現高 2 倍的狀態。

¹³ 中央研究院「研之有物」網站。「空氣盒子推手：空氣變髒了，難道沒有辦法嗎？」。網址：<http://research.sinica.edu.tw/pm25-air-box/>

南韓政府於 2016 年 6 月 3 日擬訂「懸浮微粒管制特殊對策」推動至今，因近來 PM_{2.5} 濃度及空污警報次數逐漸增加的情形，民眾生活在空氣污染惡化的事實當中，隨著南韓政局的轉變，新任總統文在寅的競選過程中，首要將解決空污問題列為重要競選政見。

文在寅總統於 2017 年 5 月上任後即兌現政見，宣布將暫時關閉 10 座老式發電廠，且將在 5 年內完全停止營運為開端。隨後在 9 月 26 日新政府發表「懸浮微粒管理綜合對策」揭示了南韓對於改善空污的總目標及短中長期的政策方向，本節將針對南韓新空污政策的重點梳理，另一方面，也與臺灣「14+N 空氣污染防制策略」進行政策比較。

南韓新空污政策之總目標設定在 2022 年前（文在寅總統任期內）國內的排放量要縮減 30%，為達成減量目標整體的空污管制核心內容切分為二個階段時程，短期政策（2017 年 9 月—2018 年上半季）、中長期政策（2018 年下半季—2022 年）其相應的政策內容分述如下：

1、短期政策（2017 年 9 月—2018 年上半季）

（1）實施高濃度懸浮微粒緊急應變減量措施：

考量到在 2018 年上半季難以在短期內改善污染程度，首要在於強化空氣污染嚴重的緊急減量措施，以及生活尺度範圍的管制，於春季（3 月—6 月）暫時中斷老舊煤炭火力發電廠的啟動。另外，當空氣污染嚴重時，將實施車輛單雙號車牌管制（alternative-day-no-driving system）以及營建地調整等緊急措施。

（2）以保護敏感族群健康為優先的政策執行

至明年上半季為止將強化保護敏感族群的相關基礎設施及積極進行兒童、學童校園空間的特殊管制，包含學童通車之車輛更換為環保車輛，以及國小、國中、高中沒有體育館的學校，將設置室內體育設施（預計 2019 年完成），同時也為了改善室內空氣品質，也透過示範學校進行空氣淨化設施之裝置，另一方面，為更精確提供空氣污染資訊，將以學校周圍為中心擴充都市大氣測量網之建置。

2、中長期政策（2018 年下半季—2022 年）

（1）進行各領域重大減量計畫

中長期政策規劃政府在任期內為達成懸浮微粒國內減量 30%的目標，分別針對電

力、產業、交通運輸及生活範圍的減量對策。首先電力方面在任期內廢除 30 年以上老舊煤炭發電廠，進而調整煤炭發電比重及終極目標為推動再生能源的組合，至 2030 年為止再生能源比重要擴大為 20%；產業領域則是突破過去以首都圈為主的排放總量管制將擴大到首都圈以外的大型污染源的強化管制；交通運輸的改善策略將推動老舊柴油車並於任期內淘汰老舊柴油車 221 萬輛及至 2022 年為止環保車的普及要達 200 萬輛並建構；生活範圍部分意旨降低道路上的飛塵，道路清潔車輛擴充為 2 倍。

(2) 強化國際合作並擬訂針對國外影響的減量方案

主要在於強化周邊國家之間的國際互助，擬訂中國等國外造成空污縮減方案，為降低境外污將擴大對南韓境內影響較大的中國進行空品的共同調查與研究以及強化空污減量的環境技術，鞏固兩國的環境合作體系，另一方面，也在雙方的合作基礎下，進行空污問題的韓中高峰會議，討論具體的合作方案為目標。

(3) 強化並提供敏感族群的國民健康保護措施

幼童、年長者等空污敏感族群，南韓政府將強化並提供更保護國民健康的服務，如在空氣污染嚴重的地區，特別是托兒所、幼稚園、療養院等密集的地區，將限制老舊柴油車出入限制、縮短工地建設的運作時間，在照護體系方面，將加強相關呼吸道心血管疾病的宣導，以及獨居老人等敏感族群提供相關健康防護服務。

(二) 南韓新舊政策之對照

文在寅總統上任後所推出的空污新政策擬訂的短中長程改善策略目標，與前朝政府於 2016 年 6 月 3 日所提出的版本進行政策演進的對照比較，主要切分為 5 大塊：發電、產業、運輸、敏感族群、國際合作，兩個政策的比較在於新推出的改善方案與針對既有的改善方案進行加強，對照如下表 10：

表 10.南韓空污政策對照

		懸浮微粒管制特殊對策 (2016/6/3)	懸浮微粒管理綜合對策 (2017/9/26)
減量總目標		2021 年國內排出 14%↓	2022 年國內排出 30%↓
發電	燃煤	<ul style="list-style-type: none"> 原則上禁止設置新的煤炭發電 	<ul style="list-style-type: none"> 重新檢討〈強〉新發電廠〈9 機〉 老舊發電廠春季時中斷啟動與任期

		<ul style="list-style-type: none"> 強化新煤炭發電排出基準 	內提早廢機〈新〉
	再生能源	<ul style="list-style-type: none"> 2025 年擴大為 11% 	<ul style="list-style-type: none"> 2030 年擴大為 20%
產業	灰塵管理	-	<ul style="list-style-type: none"> 執行灰塵總量管制〈新〉
	排放繳費	<ul style="list-style-type: none"> 增加檢討 NOx 排放付費 	<ul style="list-style-type: none"> 新增 NOx 排放付費〈強〉
	總量管制	<ul style="list-style-type: none"> 首都圈總量管制 	<ul style="list-style-type: none"> 擴大首都圈以外總量管地區（忠清・東南・光陽灣圈〈強〉）
運輸	環保車		
	船隻、工廠、汽車	<ul style="list-style-type: none"> 降低工廠的排放 	<ul style="list-style-type: none"> 強化船隻、港灣的管制〈新〉 擴大工廠低空污化〈強〉 強化管制汽車與普及電動車〈新〉
	老舊柴油車	<ul style="list-style-type: none"> 首都圈行駛限制 	<ul style="list-style-type: none"> 擴大行駛限制地區〈強〉
敏感族群	環境基準	-	<ul style="list-style-type: none"> 懸浮微粒環境基準先進化〈新〉 新增敏感族群室內懸浮微粒基準〈新〉
	擴充基礎建設	<ul style="list-style-type: none"> 擴大懸浮微粒測量網 	<ul style="list-style-type: none"> 擴充教育設施鄰近的測量網〈強〉 新增敏感族群室內懸浮微粒基準〈新〉
	教育、環境服務	<ul style="list-style-type: none"> 準備手冊與教育訓練、宣傳 	<ul style="list-style-type: none"> 學童通學車輛更換為環保車〈新〉 關懷敏感族群的服務〈新〉 引進懸浮微粒管制區域指定制度〈新〉
國際合作	升格為議題	<ul style="list-style-type: none"> 韓、中、環境部長 	<ul style="list-style-type: none"> 韓、中高峰會議〈強〉
	締結協約		<ul style="list-style-type: none"> 積極討論締結懸浮微粒縮減國際協約〈新〉

資料來源：南韓環境部（2017）懸浮微粒管理綜合對策報導要點

（三）臺、韓空污政策比較

臺灣與南韓為解決自 2012 年以來空氣污染的問題，同時也是新政府上任的狀態下提出空氣污染的改善對策，故進行兩國的空污政策重點比較，如下表 11，在空氣污染排放量縮減的總目標臺灣至 2019 年減量成效為 19.1%；南韓至 2022 年減量成效縮減 30%；經費的投入皆為 2 千億元左右，固定污染源（電力）方面，老舊機組的除役運轉及再生能源的比例提高同樣在能源轉型的脈絡中；移動污染源淘汰老舊柴油車及環保車輛的普及皆為重要的趨勢。

相反地，在政策監督的機制上，臺灣原先針對 14+N 燈號政策紅綠燈之政策進度追

蹤目前也停滯無進展，反之南韓則組成政策對策小組執行徹底的政策執行狀況、進行週期性的檢驗及政策考核；另一方面，南韓與臺灣皆有境外污染的問題，然南韓採取的策略為要求國內自身污染源的相關改善，並加強南韓與周邊國家的共同調查與研究。

表 11、臺、韓空污政策比較

	台灣(14+N空氣污染防制策略)	南韓(懸浮微粒管理綜合對策)
總目標	*PM2.5年平均濃度 2015年22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ →2019年18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ *至2019年空污物年排放量減量成效 PM10約14000公噸 (8.2%) PM2.5約8500公噸 (10.9%)	*至2022年懸浮微粒排出量縮減30% *惡劣天數減少70% 2016年258天→2022年78天
投入經費	2150億元 (台幣)	7.2兆 (韓元) 相當於台幣2千億
監督檢查機制	*14+N燈號政策紅綠燈	*國務協調室主管組成執行對策小組，徹底管理執行狀況、週期性檢驗，政策執行考核
固定污染源 (電力)	*污染防制設備、燃氣、老舊機組除役、空污季降載因應 處於規劃、協商溝通	*短期因應：春季暫停老舊火力電廠運轉 *任期內廢除30年以上老舊煤炭發電廠7機
移動污染源	*柴油車：三期柴油車加裝濾煙器 *二行程機車：淘汰100萬輛	*柴油車：淘汰老舊221萬輛 *任期內達200萬輛環保車 (電動、氣動力車)、 *架構電力補充基礎設施
健康風險 (敏感族群保護措施)	暫無資料	*學童通車車輛更換為環保車 *設置室內體育設施、空氣淨化裝置 *以學校周圍為中心擴充都市大氣測量網
國際合作	無	*強化與周邊國家的國際互助 *與中國共同空品調查、研究

資料來源：本研究團隊整理繪製

(四) 小結

南韓新空污政策「懸浮微粒管理綜合對策」與臺灣「14+N 空氣污染管制策略」為比較，南韓對於我國空氣污染政策的啟示，特別是在健康風險方面，臺灣方面，在多次的公聽會中僅做出會將健康風險評估納入法規的結論，反之，南韓針對敏感族群的保護，進行相當明確具體的作為，包含建立以學校為中心的空氣品質監測系統以及相關的空氣品質清淨的設施，並將學童的通車車輛改為環保車

，我國在近幾年有著許厝分校遷校的爭議，儘管爭議不斷，但僅就保護學童的措施與南韓相比仍顯不足；再者，南韓與臺灣同樣有著境內及境外的污染，在境外，因兩者對於中國的政治因素不同，南韓採取和中國進行國際合作，不過南韓仍要求國內自身的改善為重要，反之，臺灣空污問題境外的來源比例不高，境內所導致的污染非常高，每當空

污嚴重時，總是先檢討境外所造成，而非要求境內針對污染源的削減，另一方面在國際合作上，由於政治因素的關係，無法與周邊國家建立合作關係共同研究與調查，皆為與南韓的不同之處。

陸、結論

2017 年執政黨將空氣品質改善作為主要施政目標。行政院為了讓環保署空污防制計畫能順利推行，將「改善空污」提升至院層級的正式協商與整合，4 月推出「14+N 空氣污染防制策略」是近年最具體的空氣品質改善措施。惟臺灣 PM_{2.5} 污染嚴重，2017 年冬季中南部經常「紅爆」以及全臺空氣品質不佳，2 月與 12 月民眾都走上街頭，串連全臺進行反空污遊行。民眾對空氣品質的憂慮與不滿，似掩蓋了過去數十年環保署改善空污的成效和 2017 年許多減量作為，然而最大的爭點確實在影響能見度、民眾容易感知及全臺仍然嚴重的 PM_{2.5}。政府既有的改善論調與民眾的不滿形成對比。然而本文認為臺灣空氣品質治理的展望，在於政策與民眾感知需要銜接，真正理解空污技術面與社會面雙重問題性，將空氣品質放在跨界風險治理架構來處理。

民眾的憂慮並非無根據。14+N 措施大刀闊斧，但最終目標也只能訂在全臺年平均濃度 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，與法定目標 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和美國標準 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的尚有差距。委託研究報告看到按照目前產業、能源、運輸與生活方式沒有轉型，這 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 很難達到。空污法修訂有許多突破，未能將空污法強制關連溫室氣體、碳排結構轉型之政策，並且空氣品質標準訂定與執行，未能在法條中明確訂出週期。使空污法第九次修法，可能仍未能對現有問題本質做出更大的改變。

2016 年全臺灣 PM_{2.5} 年均濃度，僅宜蘭站、臺東站及花蓮站、陽明、恆春 5 個測站符合空氣品質標準，但其中兩個是國家公園測站。2016 年空氣品質監測報告所列 PM_{2.5} 自動測站濃度，資料提供 72 站僅 9 站達標，不及格率高達 88%。真正問題不是在於「全臺灣尺度」，而是不同地區、產業別的差異性與政策公平性等問題。污染最嚴重的地區，沒有普遍獲得最多改善，過去四年反而是宜蘭、花蓮、臺東下降最多，過去改善最多的，

反而是現在濃度在 $18\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下的地區（改善 22.6%），污染超過 $18\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的其他地區改善則介於 12.4%與 14.9%之間。污染嚴重的地區中，臺中、彰化、雲林、嘉義、臺南反而較少。污染濃度最高的前 10 名，有 4 個是過去 4 年或 2 年間改善最少的地區。將超過 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 災區 41 站改善幅度，進行五分位分析。有 8 站惡化。含工業測站 4 個、一般測站 2 個、交通測站、背景測站各 1 個。改善最少的第一分位平均為 7.7%，與改善最多的 24.1%，相差 3.1 倍，顯見重災區、地區改善差異需要強化。特別要注意工業測站情況，相當影響民眾觀感。

工業的排放過去在臺中、雲林的增加亦相當影響民眾觀感。固然排放源排放量還要經過空氣品質模式才能推估對各地區的污染貢獻，但相對於臺北市、新北市、臺中市、高雄市等大都會在住宿餐飲業與家庭（天然氣、自用汽機車）都有顯著下降，前者減少 54.9%-42.9%，後者減少 21.3%-28.9%，固然不能排除統計方式改變，但事實上餐飲業最新統計方法是含納了夜市排放。因此，即便統計方法改變，民眾理性會認為，過去對於服務業、小店家、自用汽車、機車許多環保管制，已經付出很多成本，減量也相當具有成效，難道過去改善都是從民眾身上。雖然環保署強調對於點源已經有很多管制措施，都一直在做，但看到數據上工業測站增加與增排，當然會有公平性的強烈質疑。

從治理面來看，長期以來一直爭論的點源（工業）、線源、面源數字爭論，無益於風險治理品質。儘管更準確的空氣品質模式很重要，實證科學數據是決策基本無誤，但成功的治理絕非只根據有限的實證數據。真正的治理，存在人所生活的經濟與社會。爭點不再只是有限的數字貢獻，應以跨界風險角度制訂政策。也就是完整、跨領域的實證科學成果，放在經濟與政治和社會價值文化的跨界評估考量來推出政策。美國 EPA 的科學評估中，空氣品質模式資料只是民眾暴露評估的第一部份。以空品模式建立暴露評估資料後，EPA 對於空氣品質標準檢驗之實證與風險基礎考量，始終緊扣著流行病學和民眾健康風險研究。有了上述的「科學評估」，再透過政策影響評估與管制影響評估，提出一套健康、經濟的成本效益分析，然後才能順利推行空氣品質政策。其實我國已有社會效益與成本評估模式可用，蕭代基等（2011）《建立環境政策與開發計畫的社會效益與成本之評估模式》，就應該更多被運用在政策上。社會文化價值中，國家社會發展

戰略，民眾對風險感知、價值與健康權追求的願景，都會影響治理的大方向。

按照實證科學，以貢獻量為基礎來制訂減量，絕對是必要條件，但並非充分條件。去年民眾對宗教文化集會、餐飲業等措施的反彈，民眾感受長期民用載具都在加嚴，工業排放卻增加，除了需要釐清管制成本效益，莫低估民眾承擔成本。地表揚塵與工業排放毒性不同，實證科學細緻度永無止境，不僅是空氣品質模擬，應有完整暴露評估、流行病學調查，提供政策和社會影響評估研究，才能訂出維護健康之政策。此外，EPA 在制訂空氣品質政策時，強調治理效果的課責性。立法規定其責任，或用課稅等手段正確課責。如果未能正確課責，就容易落入「為了少數污染者」不但「污染全民買單，還要付出補貼」。

因有跨界風險治理豐富研究，美國 EPA 將 PM_{2.5} 加嚴為 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之政策，可以得到強健的風險論述支持，特別是強力的反駁了空污管制會阻礙經濟發展的論述。EPA 能夠提出在新修訂年均 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 標準之下，效益將遠超過成本 12-171 倍。採取 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 標準將達到超過成本 13-272 倍的效益；採取 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 標準將得到超過成本 8-90 倍的效益。這是目前環保署管制上，在面對各部會協調、政府中央與民眾，最缺乏的風險論述。

公民參與科學在臺灣已經開始萌芽，臺灣的公民與科學關係之研究，從較早期以「缺陷模式」(deficit model) 為基礎的「公眾理解科學」(public understanding of science, PUS) 視角，將公眾視為科學素養不足，需要由科學家進行科學教育的模式，轉向強調互動與對話的「公眾參與科學」(public engagement of science)，它理應是促進環保署空氣品質治理創新的利器。臺灣正在發展一種共創型的公民科學，著重在將知識生產鑲嵌在具體的決策與組織行動中，嘗試回應社會需求，運用科學引領行動層次，而非為了生產科學知識而行動，接近 Ottinger 所描述的「社會運動為基礎的公民科學」，這是環保署與民眾「協力治理」的契機。另外，南韓與臺灣在國家發展有著相似的政經背景，近來空氣污染嚴重的情形也與臺灣相仿，在南韓同樣面臨減煤、能源轉型的議題，和空氣污染的問題，亦相當值得臺灣政策制訂時參照砥礪。

本文期許，臺灣的空氣品質治理，能透過銜接政策與民眾感知，掌握跨界風險問題點，以實證科學、經濟與政治到社會與文化架構，處理的不只是技術面，而是臺灣社會

的產業、能源、交通運輸與生活方式的轉型。提升臺灣空氣品質，真正守護、捍衛臺灣民眾的健康權，呼吸健康空氣。

參考資料

- Yulin (2015)。〈戀戀風塵—紫爆是什麼？台灣君何處惹來的「塵埃」，12張圖細說台灣霧霾怎麼來〉。關鍵評論網：<https://www.thenewslens.com/feature/PM2.5/33147>。2017/01/04 檢索。
- 工業技術研究院 (2015) 臺灣 2050 能源供需情境模擬器。取自：<http://my2050.twenergy.org.tw/>
- 公共電視 (2016) 〈20161222 有話好說 找回臺灣藍天！空污來源與對策？〉 2016 年 10 月 1 日。https://www.youtube.com/watch?v=oI5ks_O4GAs。2017/4/9 檢索。
- 王建楠、李璧伊 (2014)。〈細懸浮微粒暴露與心血管疾病:系統性回顧及整合分析〉。《中華職業醫學雜誌》21 (4): 193-203。
- 王敏玲 (2015)。〈空氣遭透了 來升空污旗吧！〉。地球公民基金會。取自 <https://www.cet-taiwan.org/node/2103> 檢索日期：2018/1/6。
- 生活中心 (2016)。〈南部一早就紫爆！彭啟明：中南部空污夢魘來了〉。三立新聞網：<http://www.setn.com/News.aspx?NewsID=193880>。2017/01/17 檢索。
- 江淑琳、張瑜倩 (2016) 。〈更民主的科學溝通：科學類博物館實踐公眾參與科學之角色初探〉。《傳播研究與實踐》6 (1) : 199-227。
- 行政院 (2017)。〈林揆：全民凝聚共識 「空氣污染防制策略」〉。行政院新聞稿。取自：https://www.ey.gov.tw/news_Content2.aspx?n=F8BAE9491FC830&s=A7D84DB6E9EBEDB0。2017/11/30 檢索。
- 行政院環境保護署 (2015a)。〈中華民國空氣品質監測報告 104 年年報〉。取自：行政院環境保護署網站：<http://www.epa.gov.tw/ct.asp?xItem=11613&ctNode=31951&mp=>

epa。2017/01/17 檢索。

行政院環境保護署 (2015b)。〈清淨空氣行動計畫 (104 年至 109 年)〉。取自：行政院環境保護署網站：<http://air.epa.gov.tw/Download/UpFile/2015/CleanAir.pdf>。

2017/01/17 檢索。

行政院環境保護署 (2015c)。〈物物相聯 網網相接 多層式微型感測物聯網改善空氣品質〉。取自：行政院環境保護署環保新聞專區：http://enews.epa.gov.tw/enews/fact_Newsdetail.asp?InputTime=1041127115209。2017/01/04 檢索。

行政院環境保護署 (2016a)。〈環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫〉。行政院環境保護署空氣品質保護及噪音管制處提供。

行政院環境保護署 (2016b)。〈環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫〉。行政院環境保護署空氣品質保護及噪音管制處提供。

行政院環境保護署 (2016c)。〈環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫〉。行政院環境保護署空氣品質保護及噪音管制處提供。

余曉涵 (2016)。〈PM2.5 紫爆 高屏地區連續 8 天〉。中央通訊社：<http://www.cna.com.tw/news/firstnews/201611195002-1.aspx>。2017/01/04 檢索。

周桂田 (2017)。《氣候變遷社會學：高碳社會及轉型挑戰》。臺大出版中心。

周崇光 (2010)。〈「細懸浮微粒」：空氣品質管理的新重心〉，《中央研究院週報》(1276)：4-6。

洪敏隆 (2016)。〈「紫爆」將消失？環署棄 PM2.5 指標整合 AQI〉。蘋果即時：<http://www.appledaily.com.tw/realtimenews/article/new/20161129/1000252/>。2017/01/17 檢索。

范玫芳、張簡妙琳 (2014)。〈科學知識與水政治：旗山溪治水爭議之個案研究〉，《人文及社會科學集刊》26 (1)：133-173。

能源局 (2015) 能源開發政策評估說明書 (初稿)。

張良輝、張能復、陳王琨、莊秉潔、林文印、林清和、賴信志、陳律言、陳錦煌劉遵賢 (2016)。〈強化空氣品質模式制度建立計畫 (第一年)〉，(環保署委託研究報告

- EPA-103-FA11-03-A334)。臺北：行政院環保署。
- 張菁雅 (2016)。〈〈中部〉「空氣盒子」測 PM2.5 公民團體開放認養〉。自由時報：
<http://news.ltn.com.tw/news/local/paper/1020312>。2017/02/07 檢索。
- 細懸浮微粒 (PM2.5) 污染來源分析系統 <http://pm25.colife.org.tw/index.aspx>
- 莊秉潔 (2010)。〈國光石化營運造成 PM2.5 健康能見度之影響〉。2017/5/2 檢索。
- 許碩穎、鄭勝元 (2016)。〈【隱形殺手】PM2.5 紫爆 空污究竟誰的錯？〉。TVBS NEWS：
<http://news.tvbs.com.tw/health/686963>。2017/01/04 檢索。
- 陳文姿 (2017)。〈2150 億救空污 林全拍版 2019 年 PM2.5 降 18%〉。環境資訊中心。
取自：<http://e-info.org.tw/node/204215>。2017/4/17 檢索。
- 陳信宏、王蒞君、陳春秀、余蘭妮 (2011)。〈大放異彩的台灣資通訊產業〉，《科學發展》457：61-66。
- 陳薏安、何明修 (2017)。〈臺灣反空污運動 2.0〉，周桂田、張國暉 (主編)，《能怎麼轉》，頁 187-201。臺北：巨流出版社。
- 辜騰玉 (2015)。〈阿姆斯特丹發放免費 IoT 裝置，讓市民住家變身大資料感測器〉。
iThome：<http://www.ithome.com.tw/news/97980>。2017/01/13 檢索。
- 溫在弘、莊振義、江昭皚、孫志鴻 (2013)。《台北市區微型空氣品質監測網 (3/3)》(行政院國家科學委員會專題研究計畫 NSC 100-2218-E-002-006-)。臺北：行政院國家科學委員會。
- 經濟部 (2017)「產業穩定供電策略」記者會簡報。
- 鄭尊仁、吳焜裕、陳保中、郭育良、吳章甫、林先和、李崇德、陳主智、何文照、趙馨、周崇光、葉哲雯、謝安琪、劉季鑫、溫婷雯、林孟宏、顏雅慧、陳秉鈺、陳存軒、陳邦誠、蔡穎傑、陳郁茹、陳月詩、陳美 (2011)。《空氣品質標準檢討評估、細懸浮微粒空氣品質標準研訂計畫》(99 年度「環保署/國科會空污防制科研合作計畫」NSC 99-EPA-M-001-001-)。臺北：行政院環境保護署。
- 蕭代基、馬鴻文、吳珮瑛、黃宗煌、溫麗琪、錢玉蘭、林恒億、洪志銘、黃德秀、劉哲良 (2011)。《建立環境政策與開發單位計畫的社會效益與成本之評估模式》。中華

經濟研究院委託專案計畫。

蕭育仁、林育德、李彥希、薛丁仁 (2015)。〈環境室內空氣品質監測用電子鼻：微型氣體感測器〉，《國家奈米元件實驗室奈米通訊》22 (3)：40-43。

環保署 (2015)。〈清淨空氣行動計畫 104 年至 109 年〉。行政院環保署。

環保署 (2016a)。〈清淨空氣行動計畫修正計畫核定本〉。行政院環保署。

環保署 (2016b)。《空氣品質監測報告 105 年年報》。行政院環保署。

環保署 (2016c)。《2016 年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告》。行政院環保署。

環保署 (2017a)。〈空氣污染防制策略規劃推動情形__追蹤會議〉會議簡報。

環保署 (2017b)。〈空氣污染防制策略〉會議簡報。

環保署 (2017c)。〈14+N 空氣污染防制策略對焦討論會〉會議簡報。

環保署 (2017d)。〈14+N 燈號管制說明會〉會議簡報。

環保署 (2017e)。《空氣品質保護紀實》取自：<https://www.epa.gov.tw/public/Attachment/71215412188.pdf> 2017/4/14 檢索。

環保署 (2017f)。〈落實空氣污染防制策略 持續改善空氣品質〉會議簡報。行政院環保署空保處。取自：<http://a0-moenrhome.epa.gov.tw/epa-news-repository-web/news/8a80e52e5f0db9aa015f234d7c2801ac>

環保署 (2017g)。「能源轉型減污減碳」記者會簡報。行政院環保新聞專區。取自：http://enews.epa.gov.tw/enews/fact_Newsdetail.asp?InputTime=1061115101758

環保署 (2017h)。《溫室氣體減量推動方案 (草案)》。行政院環保署國家溫室氣體減量法規資訊網。

Barber, W. F., & R. V. Bartlett (2005). *Deliberative Environmental Politics*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Bonney, Rick, Caren B Cooper, Janis Dickinson, Steve Kelling, Tina B Phillips, Kenneth V Rosenberg, and Jennifer Shirk (2009). *Citizen Science: A Developing Tool for Expanding Science Knowledge and Scientific Literacy*. *BioScience* 59 (11):977-984.

Bonney, Rick, Tina B Phillips, Heidi L Ballard, and Jody W Enck (2016). *Can Citizen Science*

- Enhance Public Understanding of Science? *Public Understanding of Science* 25 (1): 2-16.
- Cavalier, Darlene (2016). *An Unlikely Journey into Citizen Science*. In Darlene Cavalier and Eric B Kennedy (eds.) *The Rightful Place of Science: Citizen Science*, 1-20. Tempe, AZ: Consortium for Science, Policy, & Outcomes.
- Chou, Kuei Tien (2015) *From Anti-pollution to Climate change risk movement: Reshaping Civic Epistemology*, *Journal of Sustainability* 2015, 7, 14590-14591
- Cinderby, Steve and John Forrester (2005). *Facilitating the Local Governance of Air Pollution Using GIS for Participation*. *Applied Geography* 25: 143–158.
- Corburn, Jason (2005). *Street Science: Community Knowledge and Environmental Health Justice*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Douglas, Heather (2005). *Inserting the Public into Science*. In Sabine Maasen and Peter Weingart (eds.) *Democratization of Expertise? Exploring Novel Forms of Scientific Advice in Political Decision-Making*. *Sociology of the Sciences*, 24, 153–169.
- EPA.(2006). *Guidance for State Implementation Plan (SIP) Submissions to Meet Current Outstanding Obligations Under Section 110(a)(2)(D)(i) for the 8-Hour Ozone and PM2.5 National Ambient Air Quality Standards*” Retrieval Date: 2017/07/18.
- Fischer, Frank (2009). *Citizen Participation and Deliberative Governance: The Problem of Knowledge and Complexity*. In *Democracy and Expertise*, 48-76. NY: Oxford University Press.
- Heinrichs, Harald (2005). *Advisory Systems in Pluralistic Knowledge Societies: A Criteria-Based Typology to Assess and Optimize Environmental Policy Advice*. In Sabine Maasen and Peter Weingart (eds.) *Democratization of Expertise? Exploring Novel Forms of Scientific Advice in Political Decision-Making*. *Sociology of the Sciences*, 24, 41-61.
- Hoek, G., Krishnan R.M., Beelen, R., Peters, A., Ostro, B., Brunekreef, B., & Kaufman, J.D.

- (2013). Long-term air pollution exposure and cardio- respiratory mortality: a review. *Environmental Health* ,12(43): 1-15.
- Huang, Y.T., Yang, H.I., Liu, J., Lee, M.H., Freeman, J.R., & Chen, C.J. (2016). Mediation Analysis of Hepatitis B and C in Relation to Hepatocellular Carcinoma Risk. *Epidemiology*,27(1): 14-20.
- IARC (2016). IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. *Outdoor Air Pollution*, 109 : 1-448.
- Irwin, A. (1995). *Citizen Science: A study of people, expertise and sustainable development*. New York: Routledge.
- Kim, K.H., Kabir, E., & Kabir, S. (2015). A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment international*, 74: 136-143.
- Moore, Kelly (2006). *Powered by the People: Scientific Authority in Participatory Science*. *The New Political Sociology of Science*, 299-326. Madison: University of Wisconsin Press.
- Nijman, H. (2014). *Dynamic Roles in Smart City Development-Blurring Boundaries in Smart City Pilot Projects*. Unpublished doctoral dissertation, University of Twente, Netherlands.
- Nowotny, Helga, Peter Scott and Michael T. Gibbons (eds.)(2001). *Re-Thinking Science: Knowledge and the Public in an Age of Uncertainty*. London: Polity Press.
- O'Rourke, Dara and Gregg P. Macey (2003). Community Environmental policing: Assessing New Strategies of public participation in Environment regulation. *Journal of Policy Analysis and Management*, 22 (3): 383-414.
- Ottinger, Gwen (2010a). Constructing Empowerment through Interpretations of Environmental Data. *Surveillance & Society*, 8 (2):221-234
- Ottinger, Gwen (2010b). Buckets of Resistance: Standards and the Effectiveness of Citizen Science. *Science Technology & Human Values*, 35 (2): 244-270.

- Ottinger, Gwen (2016). Social Movement-Based Citizen Science. In Darlene Cavalier and Eric B. Kennedy (eds.) *The Rightful Place of Science: Citizen Science*, 89-104. Arizona: Consortium for Science, Policy, & Outcomes.
- Ottinger, Gwen (2017). Reconstructing or Reproducing? Scientific Authority and Models of Change in Two Traditions of Citizen Science. In David Tyfield, Rebecca Lave, Samuel Randalls, and Charles Thorpe (eds.) *The Routledge Handbook of the Political Economy of Science*. London: Routledge.
- Ottinger, Gwen and Benjamin Cohen (2011). *Technoscience and Environmental Justice: Expert Cultures in a Grassroots Movement*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Reitze Jr, A. W. (2004). Air Quality Protection Using State Implementation Plans-Thirty-Seven Years of Increasing Complexity. *Vill. Envtl. LJ*, 15, 209-366.
- Scott, Dianne and Clive Barnett (2009). Something in the Air: Civic Science and Contentious Environmental Politics in Post-apartheid South Africa. *Geoforum*, 40 (3): 373–382.
- Wynne, Brian (1991). Sheep farming after Chernobyl: A case study in communicating scientific information. In B.V. Lewenstein (ed.) *When Science Meets the Public*. Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.
- Yearley, Steve, Steve Cinderby, John Forrester, Peter Bailey, and Paul Rosen (2003). Participatory Modelling and the Local Governance of the Politics of UK Air Pollution: A Three-city Case Study. *Environmental Values*, 12(2): 247–262.
- Yearley, Steven (2006). Bridging the Science- Policy Divide in Urban Air Quality Management: Evaluating Ways to Make Models More Robust through Public Engagement. *Environment and Planning C: Government & Policy*, 24: 701-714.