



國立臺灣大學社會科學院政治學系

碩士論文

Department of Political Science

College of Social Sciences

National Taiwan University

Master Thesis

臺灣空氣品質微型感測公私協力與群眾外包之研究

A Study on the Public-Private Collaboration and

Crowdsourcing in Measuring Air Quality with

Microsensors: Taiwan's Experience

戴廷宇

Ting-Yu Tai

指導教授：王宏文 博士

Advisor: Hong-Wen Wang, Ph. D.

中華民國 107 年 8 月

August 2018



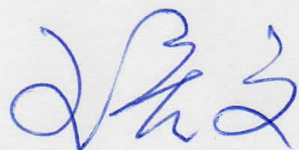
國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

臺灣空氣品質微型感測公私協力
與群眾外包之研究

**A Study on the Public-Private Collaboration and
Crowdsourcing in Measuring Air Quality with Microsensors:
Taiwan's Experience**

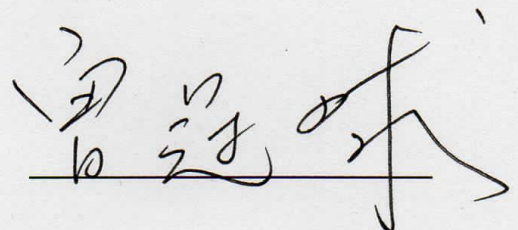
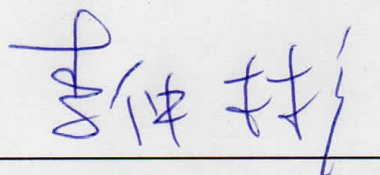
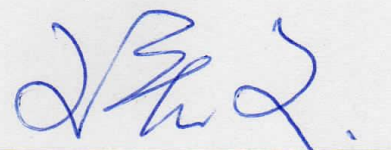
本論文係 戴廷宇 君 (學號：R01322020) 在國立臺灣大學政治學系完成之碩士學位論文，於民國 107 年 7 月 31 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：



(簽名)

(指導教授)





謝 辭



這本論文能在 5 個月間完成，必須感謝王宏文老師願意在如此緊湊的時間下擔任指導老師，既給我自由發揮的空間，又適時指點迷津；也感謝各受訪者，無論來自公部門、學界、民間企業或公民社會，並無論職位，都相當誠懇地知無不言、言無不盡；還要感謝曾冠球老師及李仲彬老師於口試時給予寶貴建議，協助釐清與聚焦研究問題。

在我就讀本系公共行政組及本所的期間，承蒙趙永茂老師、洪永泰老師、王業立老師、王宏文老師及洪美仁老師的教導與提攜，使我有擔任研究、教學及行政助理的珍貴經驗。而本系老師與學長姐於百忙之中，仍不吝分享經驗、展現體貼，令我感到十分窩心也受用無窮；趙永茂老師、洪永泰老師、蘇彩足老師、江瑞祥老師、陳淳文老師、李衍儒學長及王皓平學長的協助、關懷及經驗分享，此處難以一一詳述，但我都銘記於心。

我在 2013 年 12 月至 2016 年 10 月間服務於臺北市政府都市發展局住宅服務科，2016 年 10 月至今服務於國家發展委員會管制考核處政策追蹤科，有幸都遇到好長官與好同事；此處要特別感謝國家發展委員會何全德主任秘書、管制考核處李奇處長及政策追蹤科林賢文科長，他們對後輩從不吝於指點提攜、鼓勵讚美，並常常親切地表達關懷與問候。

我希望自己能以老師、學長姐與長官們為榜樣，不論服務機關及職位，都學有專精，但絕不傲慢、僚氣沖天，還要給人溫暖；並期許自己能先以「熱情」感受公共問題，具備有「聞聲就苦」的同理心，再「冷眼」（理性、有判斷力）分析問題，並以「巧手」（做人有情、做事有才）及「聞聲救苦」的責任感解決公共問題。

最後要感謝生命中最重要的人。我和妹妹在求學階段之所以能無後顧之憂，全賴爸爸和媽媽在那段掙扎的日子裡，竭盡全力支撐起這個家。感謝爸爸媽媽！



摘要



近年來，空氣污染議題（特別是細懸浮微粒 $PM_{2.5}$ ）廣受我國民眾高度關注，政府亦重視此公共問題並採取因應措施。在空氣污染治理過程中，空氣污染物濃度之感測為重要環節，因感測所得數據既可作為擬訂相關對策之基礎，亦可作為判斷對策成效之依據。由於目前「國家級」及「地方區域」專業測站空間分布不均，公部門、學界、民間企業及公民社會於是陸續運用低成本、輕而體積小之空氣品質微型感測器感測空氣品質，期使民眾可即時瞭解自身所處周遭環境之空氣品質資訊。

本研究針對我國定點式空氣品質微型感測之 5 個主要案例進行個案研究，案例包含「LASS 專案」、「訊舟捐贈 6 都專案」、「臺中（中部）原點計畫」、「環保署前瞻與試點計畫」及「中研院與學校前瞻計畫」。因各案例之發起者及參與者分別來自公部門、學界、民間企業及公民社會，並透過「公私協力」或「以群眾外包手段實踐公民科學」2 種方式運作；本研究遂以空氣品質微型感測、公私協力、群眾外包及公民科學等相關文獻之分析結果為基礎，對各案例之發起者及主要參與者進行半結構式之深度訪談，旨在探究各案例推動過程中，參與者參與之動機為何？彼此互動情形如何？而案例之成果、挑戰及精進方向為何？此外，同時存在「公私協力」及「以群眾外包手段實踐公民科學」2 種互動模式之可能原因為何？

本研究有以下 4 點發現：

- 一、 參與動機：公部門、民間企業和公民社會分別考量政策目的、利潤及理念而決定投入或參與空氣品質微型感測相關案例。
- 二、 參與者互動情形：
 - （一） 互動模式分為「公私協力」及「以群眾外包手段實踐公民科學」2 種，而前者又可進一步分為「民間企業驅動之公私協力」（企業捐贈予政府）及「公部門驅動之公私協力」（公部門委外辦理）。
 - （二） 由公部門發起之案例較偏重於「中央與地方政府間」及「政府與受委託廠商間」之互動，而公民社會發起之案例則較偏重於社群內公民之

互動，頂多與民間企業合作；至於分由公部門研究機關及民間企業發起之案例，則同時與公部門、民間企業及公民社會進行互動。

三、 案例成果：由政府環保機關發起之案例中，地方政府認為如此有助於其掌握污染，可有效運用稽查人力進行智慧稽查並發現違規情形；其餘案例則普遍認為成果在使民眾知情並可據以調整自身行為、有教育意義，同時促使政府必須採取改善空氣品質之措施以回應民意。

四、 2 種互動模式同時存在（公部門及非公部門同時投入）之原因：

（一） 不同感測器之定位不同：環保機關希望藉由精密且準確之數據進行智慧派遣及稽查，有效打擊不法；而其餘案例則主要希望提升公民環境意識。

（二） 因感測器有壽命，且難以期待民間企業及公民社會能持續基於熱情投入自身資源；若政府不投入資源，既有案例恐難永續經營下去，且無法兼顧區域均衡。

關鍵詞：PM_{2.5}、空氣污染、空氣品質、感測、公私協力、群眾外包、公民科學

Abstract



In recent years, issues related to air pollution (especially PM_{2.5})/ air quality are on the policy agenda in Taiwan. In order to determine what policies should be taken and the performance of taken policies, we must collect air quality data. The data collected by EPA's and local governments' monitoring sites have higher precision and accuracy, while they have lower temporal and spatial resolutions. However, the citizens have the need to know the air quality here and now, thus the public sector, the private sector, academia, and the civil society devoted themselves to measure air quality with microsensors.

This thesis focuses on 5 major air quality micro-sensing cases in Taiwan. After reviewing literature related to air quality micro-sensing, public-private collaboration, crowdsourcing, and citizen science, I took semi-structured in-depth interviews with the initiators and major participants of these cases. The research questions include: Who are the initiators and participants? Why do they participate in these cases? How do they interact with others? What are the results of these cases?

The findings are listed below. First, policy goals, profits, and missions, respectively motivated the public sector, the private sector, and the civil society. Second, the interaction patterns of the participants could be categorized into "public-private collaboration" and "the realization of citizen science by crowdsourcing", and the former could be divided into 2 types of "driven by the public sector" and "driven by the private sector". It seemed that the public sector and the civil society seldom interacted with each other. Third, the interviewees in the public sector thought that they can do "smart inspection" by analyzing the data collected by microsensors; while other interviewees believed that they gave the citizens the right to know, raised the awareness of the citizens, and urged the government to take actions to deal with air pollutions. Lastly, if the government did not devote resources to micro-sensing, the existed network established

by the private sector and the civil society may not be sustainable.



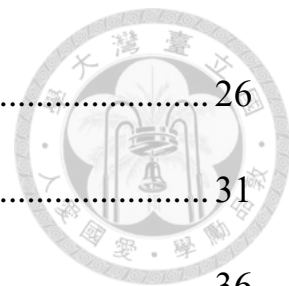
Keywords: PM_{2.5}, air pollution, air quality, sensing, public-private collaboration, crowdsourcing, citizen science

目 錄

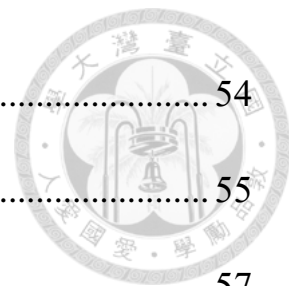


口試委員審定書	I
謝 辭	III
摘 要	V
Abstract.....	VII
目 錄	IX
圖目錄	XII
表目錄	XIII
第一章 緒論	1
第一節 研究動機.....	1
第二節 研究問題與章節安排.....	8
第二章 空氣品質微型感測簡介.....	11
第一節 緣起及感測器特色.....	11
第二節 感測器之類型.....	14
第三節 空氣品質微型感測之優點與挑戰	16
第四節 臺灣空氣品質微型感測案例	19
第三章 文獻回顧.....	25
第一節 公私協力之定義.....	25

第二節	群眾外包之定義、類型與實例啟發	26
第三節	公民科學之定義、類型與實例啟發	31
第四節	公私協力、群眾外包與公民科學之關聯	36
第四章	研究方法與範圍	37
第五章	臺灣空氣品質微型感測主要案例中之參與動機、互動情形與 成果	43
第一節	LASS 專案	43
壹、	參與動機	43
貳、	互動情形	44
參、	成果	44
第二節	訊舟捐贈 6 都專案	45
壹、	參與動機	45
貳、	互動情形	47
參、	成果	48
第三節	臺中（中部）原點計畫	49
壹、	參與動機	49
貳、	互動情形	50
參、	成果	52
第四節	環保署前瞻與試點計畫	53



壹、參與動機	54
貳、互動情形	55
參、成果	57
第五節 中研院與學校前瞻計畫.....	58
壹、參與動機	59
貳、互動情形	59
參、成果	60
第六章 結論與建議	61
第一節 研究發現	61
第二節 綜合討論與政策建議.....	63
參考文獻	69
壹、中文部分	69
貳、西文部分	72



圖目錄



圖 1 我國法定空氣污染物.....	3
圖 2 我國室外空氣品質感測體系	8
圖 3 「g0v 零時空污觀測網」視覺化成果	23
圖 4 「PM _{2.5} 開放資料入口網站」視覺化成果	23
圖 5 「EdiGreen AirBox 空氣盒子」視覺化成果.....	24
圖 6 「紫豹在哪裡」視覺化成果	24
圖 7 公私協力之行為者及要素.....	25
圖 8 群眾外包之內涵及要素.....	27
圖 9 公民科學之參與者、參與標的、民眾參與層次、好處及限制 ..	35
圖 10 我國空氣品質微型感測主要案例發展時序圖.....	66

表目錄



表 1 我國於「環境績效指數」評比中之分數及排名	4
表 2 各項空氣污染物之空氣品質標準.....	5
表 3 定點式、社區式及交通工具式三種布建模式之安裝地點及長處	15
表 4 專業測站與微型感測器特性之比較	18
表 5 前瞻計畫中與空氣品質微型感測相關工作項目及分年目標.....	20
表 6 我國定點式空氣品質微型感測案例	21
表 7 環保署空氣品質感測之資料公開網站	22
表 8 空氣品質微型感測之資料公開及視覺化主要網站.....	22
表 9 訪談對象、日期、對應案例及所使用之微型感測器.....	39
表 10 研究問題與相對應之訪談題綱.....	41
表 11 空氣品質微型感測器布建計畫中涉及所訪直轄市之工作內容.....	54
表 12 「空品物聯網產業開展計畫」之工作項目及權責單位.....	58
表 13 我國空氣品質微型感測主要案例中之參與動機、互動情形與成果	62
表 14 我國空氣品質微型感測主要案例之基本資料、參與者及互動模式	65



第一章 緒論



第一節 研究動機

空氣污染問題是受公眾關注之全球性重要公共議題。世界銀行與健康資訊暨評估學會 (World Bank & Institute for Health Metrics and Evaluation, 2016) 指出，2013 年時全球約有 550 萬人因空氣污染 (不論室內或室外) 而提早死亡，相當於每 10 個死者中即有 1 人死於空氣污染，也相當於造成 2,250 億美元之勞動收入損失及 5.11 兆美元之福祉損失，南亞、東亞及太平洋地區受損最嚴重。世界衛生組織 (World Health Organization, 2016) 則估算，2012 年時全球有 300 萬人因室外空氣污染致死，其中西太平洋 (Western Pacific) 區域及東南亞 (South-East Asian) 區域¹受害最深，因室外空氣污染致死者分別有 110 萬人及 79.9 萬人，我國正位處於此區域。

懸浮微粒 (particulate matter, 以下簡稱 PM)² 為空氣污染物之一，可分別依粒徑小於等於 10 微米 (μm)、 $2.5\mu\text{m}$ 及 $0.1\mu\text{m}$ 分為 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ (又稱細懸浮微粒) 及超細懸浮微粒 (ultrafine particles, UFPs)。相較於 1990 年，2015 年時全球 194 個國家中有 146 個國家 (約 75%) 之 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度下降，但全球年平均濃度卻自 1990 年之 39.57 微克/立方公尺 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 提升至 $43.98\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ritchie & Roser, 2017)。 $\text{PM}_{2.5}$ 因其粒徑小於或等於 $2.5\mu\text{m}$ ，呼吸時鼻腔無法過濾而足以穿透至肺部，與人體呼吸系統及心血管疾病³之發病率、急診率及死亡率顯著相關 (World Health Organization, 2016; 邱嘉斌等, 2017: 103-110; 詹長權等, 2014: 35-41); 若將 $\text{PM}_{2.5}$

¹ 依據世界衛生組織之分區，西太平洋區域包含紐西蘭、澳洲、新加坡、日本、中國、蒙古、大韓民國 (南韓)、菲律賓、越南、馬來西亞……等國 (而我國亦為受評估對象，應位處於此區域)，東南亞區域則包含朝鮮民主主義人民共和國 (北韓)、泰國、印尼、印度、孟加拉、斯里蘭卡……等國。

² 或稱「氣膠」(Aerosol)，如我國有「台灣氣膠研究學會」，或如國立中山大學於 2017 年 2 月成立「氣膠科學研究中心」。

³ 例如：咳嗽、氣喘、肺炎、慢性阻塞性肺病、肺功能降低、肺癌、缺血性心臟病、心律不整、腦中風……等。

致病致死貨幣化，為鉅額之經濟損失，如潘小川等(2012)估算，PM_{2.5}污染於2010年在北京、上海、廣州及西安共造成相當於人民幣61.7億元之經濟損失。

有鑑於空氣污染對國民健康及國家經濟之重大負面影響，自美國於1997年立法規定PM_{2.5}之24小時及年平均濃度標準後，世界各國(如加拿大、澳洲、歐盟、日本、英國、中國及印度等)陸續跟進予以管制(杜文苓等主編，2017:2);近年來，空氣污染於我國亦廣受民眾高度關注，政府亦重視此公共問題並採取相關因應措施，可謂已登上政府之議程。

我國民眾廣泛關注空氣污染相關議題，始於2010年之反國光石化運動。當時環保團體主張，國光石化營運後會帶來化學毒物及PM_{2.5}等空氣污染物，對民眾健康及能見度造成負面影響，後將關注層面從「單一污染源」(如國光石化)提升至「整體空氣品質」。如此風險論述使民眾廣為感知與認識空氣污染之風險，空氣污染成為我國主要風險議題之一(杜文苓、張景儀，2015;杜文苓等主編，2017:1;周桂田等主編，2018:5-6)。依據「空氣污染防治法施行細則」第2條規定，我國法定空氣污染物共有5大類35種(詳圖1)，其中臭氧(O₃)、細懸浮微粒(PM_{2.5})、懸浮微粒(PM₁₀)、一氧化碳(CO)、二氧化硫(SO₂)及二氧化氮(NO₂)等6種空氣污染物構成「空氣品質指標」(Air Quality Index, AQI)，⁴其中PM_{2.5}相關議題最受我國民眾關注。

⁴ 我國原以「空氣污染指標」(Pollutant Standards Index, PSI)衡量空氣品質，PSI包含臭氧(O₃)、懸浮微粒(PM₁₀)、一氧化碳(CO)、二氧化硫(SO₂)及二氧化氮(NO₂)等5種空氣污染物；後將細懸浮微粒(PM_{2.5})納入，自2016年12月起改以AQI衡量空氣品質。

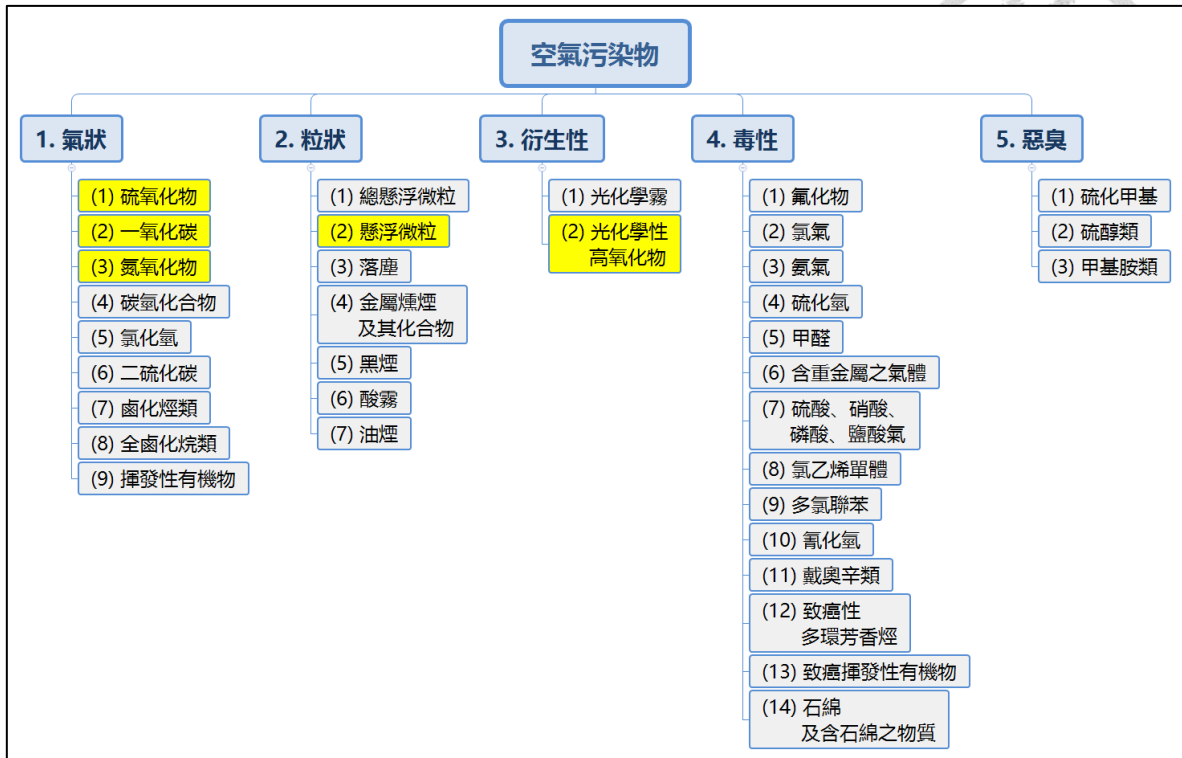


圖 1 我國法定空氣污染物

資料來源：本研究整理自「空氣污染防制法施行細則」第 2 條。

備註：以黃色網底標註之項目為構成 AQI 之項目。

雖然依據耶魯大學 2018 年「環境績效指數」(Environmental Performance Index, EPI) 之評比，我國在 180 個受評比之國家中名列第 23、亞洲第 2 (Yale Center for Environmental Law & Policy, 2018a)；⁵但若細究該指數中與空氣品質及污染相關之 10 項指標 (詳表 1) 可知，相較於約 10 年前，我國多數指標之排名及分數雖皆提高、甚至名列前茅，但在 PM_{2.5} 濃度方面卻確實仍有極大改善空間。AQI 中除 PM₁₀ 及 PM_{2.5} 外之 4 項污染物，年平均濃度早在 1994 年之前即達現行「空氣品質標準」(詳表 2)，而 PM₁₀ 之年平均濃度亦已於 1997 年達標(周桂田等主編，2018:24)；反觀 PM_{2.5} 年平均濃度雖然在過去 10 年來呈現下降趨勢，自動測站所測得濃度自 2008 年之 33.7μg/m³ 降至 2017 年之 20.7μg/m³，手動測站則自 2013 年之 24.0μg/m³ 降至 2017 年之 18.3μg/m³，但仍未達法定標準 15μg/m³(行政院環境保護署，2018a)：

⁵ 該指數分為環境衛生 (environmental health) 及生態系活力 (ecosystem vitality) 2 個子面向，並可再細分為 10 類、24 項指標。亞洲第 1 為日本、總排名為 20，亞洲第 3 至第 5 分別為新加坡、汶萊及南韓，總排名分別為 49、53 及 60。

3-37) 及民眾期待 (周桂田等主編, 2018: 5-10)。



表 1 我國於「環境績效指數」評比中之分數及排名

	2018 年		基期 (約 10 年前)	
	排名	分數	排名	分數
總評比	23	72.84	37	66.45
固態燃料不完全燃燒造成之風險	57	65.32	56	52.41
PM _{2.5} 慢性暴露	140	67.35	158	63.42
PM _{2.5} 急性過量暴露	132	75.70	158	69.33
總二氧化碳排放量	5	87.88	24	76.59
電力部門之二氧化碳排放量	67	43.81	67	43.81
沼氣排放量	1	100.00	1	100.00
一氧化二氮排放量	13	97.73	25	71.01
黑碳排放量	15	92.72	7	97.10
二氧化硫排放量	29	79.72	83	51.48
氮氧化物排放量	3	99.79	36	68.62

資料來源：本研究摘錄自 Yale Center for Environmental Law & Policy (2018b)。

備註：以綠色網底標註之項目代表進步，以紅色網底標註之項目代表退步，餘持平。

表 2 各項空氣污染物之空氣品質標準

項目	標準值		單位
總懸浮微粒 (TSP)	24 小時值	250	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (微克/立方公尺)
	年幾何平均值	130	
粒徑小於等於 10 微米 (μm) 之懸浮微粒 (PM_{10})	日平均值或 24 小時值	125	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (微克/立方公尺)
	年平均值	65	
粒徑小於等於 2.5 微米 (μm) 之懸浮微粒 ($\text{PM}_{2.5}$)	24 小時值	35	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (微克/立方公尺)
	年平均值	15	
二氧化硫 (SO_2)	小時平均值	0.25	ppm (體積濃度百萬分之一)
	日平均值	0.1	
	年平均值	0.03	
二氧化氮 (NO_2)	小時平均值	0.25	ppm (體積濃度百萬分之一)
	年平均值	0.05	
一氧化碳 (CO)	小時平均值	35	ppm (體積濃度百萬分之一)
	8 小時平均值	9	
臭氧 (O_3)	小時平均值	0.12	ppm (體積濃度百萬分之一)
	8 小時平均值	0.06	
鉛 (Pb)	月平均值	1.0	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (微克/立方公尺)

資料來源：本研究摘錄自我國「空氣品質標準」。

對此，雖然我國政府所採各行動間可能常需等候 4 至 5 年（周桂田等主編，2018：22-23），但面臨輿論壓力，政府確實以實際行動展現其對 $\text{PM}_{2.5}$ 污染問題之重視，並陸續推行相關措施以求改善此問題。就政府之重視而言，改善 $\text{PM}_{2.5}$ 年平均濃度乃主管機關（行政院環境保護署，以下簡稱環保署）、甚至是國家跨部會之重要施政目標。在主管機關層級，環保署自 2013 年起，連年（2016 年除外）將手動測得之 $\text{PM}_{2.5}$ 全國年平均濃度設為其機關關鍵績效指標（Key Performance Indicator, KPI），⁶2013 年至 2018 年（2016 年除外）之目標值分別為 22.5、21.5、21、20.5、 $19\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，2020 年之最終目標值則為達到「空氣品質標準」所訂之 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$

⁶ 2016 年之 KPI 及目標值為：空氣品質對人體健康無不良影響比率（PSI<100）達 99%。

(行政院環境保護署, 2015、2016、2017、2018b; 國家發展委員會, 2016)。而在國家跨部會層級, 加強管制以改善手動測得之 $PM_{2.5}$ 全國年平均濃度, 被列為 2013 年至 2016 年及 2017 年至 2020 年 2 次中長期國家發展計畫中之目標, 2016 年及 2020 年之目標值分別為 $20\mu g/m^3$ 及 $15\mu g/m^3$ (行政院經濟建設委員會, 2013: xvii; 國家發展委員會, 2017a: 141-142), 可見其甚至為不同執政黨皆重視之議題; 2018 年國家發展計畫中進一步將「改善細懸浮微粒 ($PM_{2.5}$) 年平均濃度」達 $19\mu g/m^3$ 列為 17 個跨機關績效目標之一, 展現此乃跨部會之重大政策(國家發展委員會, 2017b: 31-32)。⁷

再就政府所採措施而言, 除環保署於 2012 年訂定「空氣品質標準」規定 8 項空氣污染物之標準值(詳表 2)外, 行政院分別於 2015 年至 2017 年核定「清淨空氣行動計畫」、「清淨空氣行動計畫修正計畫」及「空氣污染防制策略(14+N)」, 且行政院會議於 2017 年 12 月通過「空氣污染防制法」修正草案, 並就環保署所陳報之「空氣污染防制行動方案(紅害減半大作戰)」予以備查。以上種種措施旨在兼顧處理境內/境外污染源、移動(如柴油車、二行程機車等)/固定(如工廠、發電廠等)污染源及原生性 $PM_{2.5}$ /衍生性 $PM_{2.5}$ 前驅物(如硫氧化物(SO_x)、氮氧化物(NO_x)、揮發性有機物(VOCs)及氨氣(NH_3))之排放。

在空氣污染治理過程中, 空氣污染物濃度之感測為重要環節, 因感測所得數據既可作為擬訂相關對策之基礎, 亦可作為判斷對策成效之依據。我國室外空氣品質感測體系分為 4 階層——「國家級」、「地方區域」、「智慧城市」及「校園與公民科學」(詳圖 2)。目前國家級空氣品質監測常規測站共 76 個, 而各地方環保機關、特殊性工業區及大型公營事業(如台電、中鋼及中油)亦設有地區性測站; 然有鑑

⁷ 但其實我國政府更早即意識到空氣污染監測與防制之相關議題, 如環保署與行政院國家科學委員會(即科技部之前身)早在 2000 年代初期, 運用空氣污染防制基金辦理大量空污防制科研合作計畫(委託研究), 研究主題中即包含 $PM_{2.5}$ 之生成機制、監測技術及其對空氣品質之影響(如蔣本基等(2003)), 以及研擬國內機車空氣污染管制策略(如蔡俊鴻等(2004))……等。空污基金研究計畫成果詳見 <https://www.epa.gov.tw/np.asp?ctNode=31928&mp=epa>。

於上開測站空間分布不均，⁸公部門、學界、民間企業及公民社會於是陸續運用低成本、輕而體積小之空氣品質微型感測器感測空氣品質，期使民眾可即時瞭解自身所處周遭環境之空氣品質資訊。具體而言，我國定點式室外空氣品質微型感測有 5 個主要案例，分別是：

1. 公民社會「環境感測器網路系統」(Location Aware Sensing System, 以下簡稱 LASS) 社群研發並布建 LASS Field Try 及 LASS4U。
2. 民間企業訊舟科技股份有限公司捐贈空氣盒子 (EDIMAX AirBox) 予 6 直轄市政府。
3. 由公民發起之「臺中(中部)原點計畫」(一開始以臺中市為範圍，後擴展至其他縣市)，號召公民以低於市價之公益專案價認養訊舟空氣盒子。
4. 政府「前瞻基礎建設—數位建設—建構民生公共物聯網計畫」中之「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」(含其前之試點計畫「智慧城市簡易空氣品質感測網資料服務計畫」)及「空品物聯網產業開展計畫」2 個分項計畫。

⁸ 以國家級空氣品質監測常規測站中之一般測站為例，全國共有 60 座一般測站，其中 35 座位於 6 直轄市(新北市 9 座、高雄市 8 座、臺北市及臺中市各 5 座、桃園市及臺南市各 4 座)，屏東縣 3 座，新竹縣、苗栗縣、彰化縣、南投縣、雲林縣、嘉義縣及宜蘭縣等 7 縣各 2 座，基隆市、新竹市、嘉義市、花蓮縣、臺東縣、澎湖縣、金門縣及連江縣等省轄市及花東離島地區 8 縣市則各 1 座(行政院環境保護署，2018a：附表 3-3)。

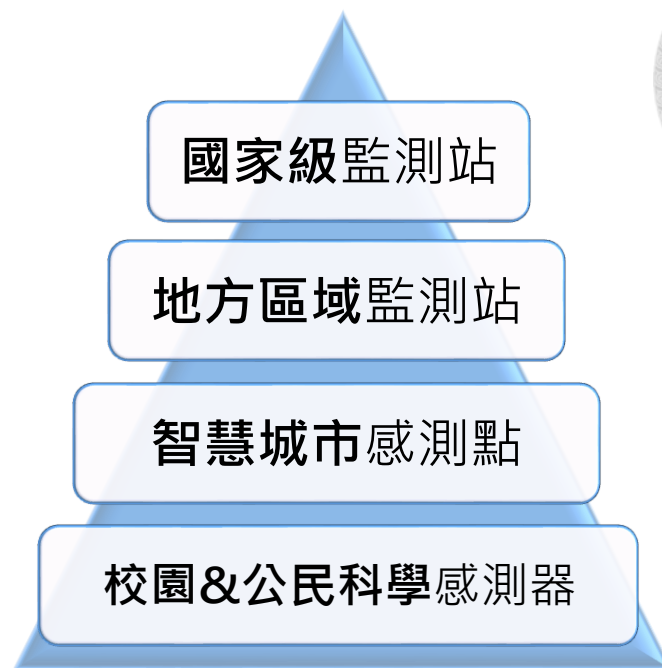


圖 2 我國室外空氣品質感測體系

資料來源：本研究修改自行政院環境保護署（2018c）。

在推動上述案例之過程中，發起者可能來自於公部門、私部門或公民社會，參與者則包含公部門、學界、民間企業及公民社會；而推行之方式可能是透過公私協力，或是透過群眾外包手段以實踐空氣品質微型感測此公民科學活動。因有多元案例、發起者及參與者，使本研究欲探究參與者之參與動機及彼此間之互動情形，以及案例之推行成果；而因有「公私協力」及「以群眾外包手段實踐公民科學」2種互動模式，使本研究欲一併探討2模式同時存在之可能原因。

第二節 研究問題與章節安排

基於上節所述之研究動機，本研究將依據空氣品質微型感測、公私協力、群眾外包及公民科學等相關文獻之分析結果，透過訪談公部門、學界、民間企業及公民社會之發起者及參與者，探究我國5個室外空氣品質微型感測案例之推動過程中，有誰參與？為何參與（即參與之動機或誘因）？彼此互動情形如何？有何成果，又是否創造參與者多贏之局面？面臨何等挑戰，又未來有何精進方向？而同時存在

「公私協力」及「以群眾外包手段實踐公民科學」2種互動模式之可能原因為何？

本研究分為六章，第一章為緒論，說明研究動機、研究問題與章節安排。第二章介紹空氣品質微型感測，包含其緣起、感測器特色、類型、微型感測之優點與挑戰，以及我國室外空氣品質微型感測案例。第三章為文獻回顧，釐清公私協力、群眾外包與公民科學之定義、類型、實例啟發及三者之關聯，據以研訂與研究問題相對應之訪談題綱。第四章說明研究方法與範圍，包含案例與訪談對象之選擇原因、訪談進行日期、時間與方式，以及訪談題綱。第五章依據訪談結果，分析 5 個室外空氣品質微型感測案例之推動過程中，參與者參與之動機為何？彼此互動情形如何？而案例之成果、挑戰及精進方向為何？第六章則是結論與建議，總結研究發現、進行綜合討論，並嘗試提出若干政策建議。



第二章 空氣品質微型感測簡介

空氣品質微型感測器 (microsensor, 或稱「節點」(node))⁹通常內含電源和電源控制模組、感測器 (感測環境和裝置之狀態並轉換為電子訊號)、微控制器 (接收並處理資料) 及收發器 (傳送資料), 並透過 Bluetooth、Wi-Fi、ZigBee、LoRa 等無線通訊技術構成無線感測器網絡 (Wireless Sensor Network, WSN), 乃是物聯網 (Internet of Things, IoT) 中之關鍵環節 (Borghetti et al., 2017: 10; International Electrotechnical Commission, 2014: 3, 20; O'Grady et al., 2016: 378; Othman & Shazali, 2012; Snyder et al., 2013; Yi et al., 2015: 31415)。而此種公民使用低成本科技 (含行動裝置) 以監測大環境之情形, 屬於公民科學中, 環境保護領域內環境監測/感測 (environmental monitoring/ sensing) 之一種應用,¹⁰可稱之為公民感測 (citizen sensing)、參與式感測 (participatory sensing)、社群感測 (community sensing) 或群眾感測 (crowdsensing) (Gabrys, 2016, 2017b; Gabrys et al., 2016; Ganti et al, 2011; Muller et al., 2015: 3187)。以下分別探討空氣品質微型感測之緣起、感測器特色、感測器類型, 以及空氣品質微型感測所具之優點與正面影響及挑戰與限制。

第一節 緣起及感測器特色

空氣品質保護是世界各國環境保護主管機關重要職責之一, 為作為相關政策擬定、調整、執行及績效衡量之依據, 有必要設置空氣品質監測網以掌握長短期之空氣品質情形。所謂「監測網」有 2 層涵義, 一是指網絡(network)或體系(system), 二是指公開資訊及資料之網站。就前者申言之, 空氣品質監測網是由各類型監測站點(sites)組成, 其中各站點之設置區位、測定項目及權責機關有所差異; 如我國空氣品質監測站依設置區位可分為一般、交通、工業、國家公園、背景及其他等 6

⁹ 亦有論者稱之為「微型感測單元」(micro-sensing units) (如 Fishbain et al. (2016))。

¹⁰ 除空氣品質監測外, 居家安全、動物行為及棲地、森林 (如盜伐、火警偵測)、水質等亦為應用範圍 (English et al., 2018: 341-343; Othman & Shazali, 2012)。

類，各測站之測定項目包含懸浮微粒、硫氧化物、一氧化碳、氮氧化物、臭氧及其他項目，¹¹權責機關則分為中央環保署、地方環保局、特殊性工業區及大型事業等。在國際上，美國稱此為「空氣品質體系」(Air Quality System, AQS)，中國大陸則稱之為「國家環境空氣品質監測網」。¹²雖然這些由政府設置之測站資料品質較高，但其設置及維護成本亦較高，因而無法深入至鄰里廣設站點以提供小尺度之監測資料，於是各類空氣品質微型感測器應運而生，成為空氣污染監測之新典範(Snyder et al., 2013)。

詳言之，空氣品質微型感測器有若干共通特色，如製造及維護成本相對較低、使用時耗電較低、因體積小且重量輕而為可攜式、採用可在短時間內測得數據之方法與儀器、易於操作或使用，且只要持續保持上網，即可持續提供即時性(real-time)及高時間與空間解析度(high temporal and spatial resolutions)之資料(Borghini et al., 2017: 1, 12; Broday & Citi-Sense Project Collaborators, 2017: 2; English et al., 2018: 341-343; Hu et al., 2016; Othman & Shazali, 2012; The Crowd & The Cloud, 2017; Yi et al., 2015: 31392, 31397-31399)，其之所以受廣泛應用，乃因有相關需求及技術發展之配合。

在技術發展部分，近年來電機工程領域之發展，包含微製程技術(microfabrication techniques)、微機電系統(Microelectro-mechanical Systems)、低耗電感測器、電腦運算能力提升、對使用者友善之資料視覺化，再加上無線網路之普及，有助於使微型感測器普及與增加應用(Snyder et al., 2013: 11369)。

在需求部分，則與以政府所設專業測站監測空氣污染之不足之處有關。空氣品質之時間與空間變異性大，同一地點於一天中之不同時間或一年中之不同季節，或同一時間或季節之不同地點，整體空氣品質及指標污染物種類皆可能有顯著差異

¹¹ 「空氣污染防制法施行細則」第 11 條至第 13 條分別明文規定空氣品質監測站之種類、站址選定之考慮因素、各類測站應測定項目與得測定項目。

¹² 美國之監測體系詳情請見：<https://www.epa.gov/aqs>；中國大陸之監測體系詳情則請見孫岩章等(2014：35-47)及<http://www.cnemc.cn/showReport.do?cateId=2092923&contentId=210003005&siteId=2002>。

(李崇德等，2017；張立農等，2015；張良輝等，2016；黃淑倫等，2016；葉惠中等，2014；詹長權等，2014)。例如，在其他條件相同之狀況下：

1. 交通尖峰時段之污染物濃度較離峰時段來得高。
2. 一般而言，各季節空氣品質由低至高為冬季、秋季、春季、夏季；不同季節氣溫、風向及風速不同，氣溫高易生大氣光化學反應而產生衍生性空氣污染物，風向及風速會影響空氣污染物擴散之方向與範圍。
3. 鄰近污染源（可能是境內或境外、固定或移動式）之區域，空氣污染物濃度較高。
4. 盆地地形易使污染物累積而不易消散。
5. 位於上風處或下風處、迎風面或背風面也有所差異。

此外，就我國而言，以下兩者可能同時是使微型感測器更加普及之成因與感測器普及化之結果：一是政府測站所提供之數據或政府對空氣污染現象所為之解釋，可信度遭受民眾質疑；例如，環保署曾發現林園測站於 2016 年 12 月至 2017 年 3 月間之 PM_{2.5} 數值較鄰近測站偏低，事後確認乃因儀器異常所致（行政院環境保護署環境監測及資訊處，2018）；又例如，針對 2018 年 4 月初臺西測站因 PM₁₀ 濃度達到 879 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，致 AQI 數值達到 500（危害等級）之情形，環保署認為是臺西本地揚塵及境外沙塵暴污染所致，但環保團體認為真正原因可能與濁水溪或六輕有關，否則無法解釋為何臺西周邊測站 AQI 數值僅為普通等級（台灣健康空氣行動聯盟，2018）。二是政府測站可能在關鍵時刻失靈，無法僅依賴政府測站所提供之空氣品質資料；例如在 2018 年 4 月初臺西測站 PM₁₀ 濃度達到 879 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之同時，鄰近之崙背測站卻於 2018 年 4 月 6 日及 7 日故障，而無法測得相關數據。¹³

¹³ 數據查詢自環保署「環境資源資料庫」中「大氣／環境及生態監測／空氣品質／空氣品質監測日值」項下。

而政府設置之專業測站為確保資料品質，須採用受認可之儀器並遵循特定之方法及程序，蒐集數據需要時間，¹⁴亦可能需要其他儀器（例如溫濕度控制器、空氣過濾器及內建校準器等）輔助，因而建置成本高昂、耗電、笨重且體積龐大而難以移動，勢必無法構成密集之監測網絡以有效衡量周遭未設有測站地區之空氣品質（即空間解析度不足）並提供近乎即時之資訊（即時間解析度不足）（Hu et al., 2016: 1448; Yi et al., 2015: 31397-31399）。

第二節 感測器之類型

空氣品質微型感測器可依據感測標的、感測原理及布建模式等 3 方面來分類。首先就感測標的而言，可分為氣體（gas，如一氧化碳、二氧化氮、二氧化硫、臭氧及揮發性有機物（Volatile Organic Compounds, VOCs）等）及懸浮微粒（PM，如 PM_{2.5} 及 PM₁₀ 等）感測器 2 類（Castell et al., 2017: 294; Yi et al., 2015: 31400-31406）。其次就感測原理而言，以氣體為衡量標的者，通常透過電化學反應（Electrochemical）、金屬氧化物（metal oxide）、光離子化檢測儀（photo ionization detector）及光學（Optical）方式感測；而以懸浮微粒為測量標的者，則通常是採用透過光學法感測。¹⁵

¹⁴ 例如歐盟之「歐洲聯盟 2008 年第 50 號準則」（Directive 2008/50/EU）、美國之「室外空氣監測參考方法」（Ambient Air Monitoring Reference and Equivalent Methods, 40 CFR Part 53）、中國大陸之「環境空氣品質標準」（GB 3095—2012）及我國「品質保證作業規範」等。再以 PM_{2.5} 為例，依據我國「空氣品質標準」第 5 條規定，「細懸浮微粒（PM_{2.5}）濃度監測之標準方法，以中央主管機關公告之空氣中細懸浮微粒（PM_{2.5}）手動檢測方法為之」；而依我國環保署環境檢驗所公告之「空氣中懸浮微粒（PM_{2.5}）檢測方法—手動採樣法」（NIEAA205.11C），PM_{2.5} 須經 24 小時之採樣。

¹⁵ 例如依據我國環保署環境檢驗所公告之「空氣中懸浮微粒（PM_{2.5}）檢測方法—手動採樣法」（NIEAA205.11C），PM_{2.5} 須經 24 小時之採樣。相關方法細節可見 Gerboles et al. (2017) 及之說明。值得一提的是，測量懸浮微粒濃度之方法有二，一是透過光學法，以光散射（light scattering）、直接成像（direct imaging）或光遮蔽（light obscuration）等方式於幾秒或幾分鐘內得到數據，並可連續測量，且因體積小、輕便、低成本而應用於微型感測。二是透過濾紙蒐集懸浮微粒，並定期拿至實驗室裡面秤重，如貝塔射線衰減法（Beta-ray attenuation method）及慣性質量法（Tapered element oscillating micro-balance technology, TEOM）等；此類方法雖然較為精準，但通常儀器體積龐大、笨重、高成本，無法應用於微型感測上，且因耗時且費力而會造成資料之時間延遲，但此乃多數政府機關使用之方法——例如我國環保署針對懸浮微粒所採方法即為貝塔射線衰減法及慣性質量法，由 31 個手動監測站每 3 天採樣 1 次，每次採樣時間為 24 小時（行政院環境保護署，2018a：1-3、附錄二-2）。



最後就布建模式而言，可分為定點式（Static Sensor Network, SSN）、社區式（Community Sensor Network, CSN）及交通工具式（Vehicle Sensor Network, VSN）等 3 種感測器網絡；定點式之感測器係安裝於路燈、電線桿上或其他慎選之地點，社區式之感測器則由民眾隨身攜帶，交通工具式則通常安裝於公共運輸交通工具（如公車、火車、計程車等）上。Yi et al. (2015: 31407-31420) 依據以下 6 個面向綜合評估 3 種網絡模式之優缺點：

1. 空間解析度 (spatial resolution) / 機動性 (mobility) / 地理涵蓋度 (geographic coverage)：指是否可在短時間內涵蓋足夠大之地理區域。
2. 時間解析度 (temporal resolution)：指一個定點被測量之頻率。
3. 成本效率 (cost efficiency)：指在感測節點方面是否須額外具備定位、傳輸或計算之裝置，及在感測系統層級要設多少節點才可涵蓋特定區域。
4. 耐久度 (endurance)：係指供電是否穩定。
5. 維護容易度 (maintenance)：係指為確保資料品質，定期換電池與零件及校準感測器之容易度。
6. 資料品質 (data quality)：係指資料之精準度 (accuracy & precision)。

其結論為，定點式 (SSN) 在資料品質、時間解析度及耐久度方面表現最佳，但空間解析度差；交通工具式 (VSN) 是在空間解析度及維護容易度方面表現最佳；社區式 (CSN) 則是在成本效率方面最佳、空間解析度尚可，但其他方面之表現都差（整理如表 3）。

表 3 定點式、社區式及交通工具式三種布建模式之安裝地點及長處

	定點式	社區式	交通工具式
安裝地點	路燈/電線桿/其他	民眾隨身攜帶	公共運輸交通工具
長處	資料品質 時間解析度 耐久度	成本效率	空間解析度 維護容易度

資料來源：本研究整理自 Yi et al. (2015: 31407-31420)。

第三節 空氣品質微型感測之優點與挑戰

運用空氣品質微型感測器，除在提高空氣品質資料之空間與時間解析度，彌補既有固定式專業測站不足之處外，尚有其他用途及正面影響。首先，微型感測器可提供民眾日常生活區域之室內外空氣品質數據，使民眾意識到空氣污染現象，並主動進一步瞭解空氣污染問題之成因及影響（例如是誰在排放哪些化學物質？空氣污染從何而來又為何而生？對社區環境及個人健康有何風險及影響？），有助於提升社區參與及社區意識（Borghi et al., 2017: 12; Gabrys, 2017b; O'Rourke & Macey, 2003: 398-399; Snyder et al., 2013: 11373-11374; The Crowd & The Cloud, 2017; 周桂田等主編，2018：53）。

其次，由於微型感測器所提供之數據相較於既有固定式專業測站，有較高空間與時間解析度，因而較貼近個別民眾之日常生活，對民眾較有感也有較高之參考價值，亦可供發展污染物擴散模型或進行預測（Broday & Citi-Sense Project Collaborators, 2017: 2; Gabrys, 2017a: 15-16）；且因空氣污染可能造成慢性病，若進一步結合諸如智慧型手機、GPS、APP、雲端運算、生理感測器（如測量心率、血氧等）等科技，可連結個別民眾之空氣污染物暴露量及其健康狀態，長期之監測數據可供醫療、公共衛生甚至是訴訟使用（Gabrys, 2017b: 172, 181-182; Hu et al., 2016: 1448; Snyder et al., 2013）。

最後，在掌握數據及瞭解相關知識後，民眾不再只是無助之受害者，而具有論述依據及能力，可積極地改變自身、產生污染之企業及政府之行為，以降低空氣污染及其所帶來之損害。就改變自身行為而言，可嘗試減少在戶外活動之時間或移動時改採替代路線，以減少個人對空氣污染之暴露時間及暴露量（Gabrys, 2017a: 15）。但若要從根本解決空氣污染問題，仍需從污染源本身著手進行污染減量，改變政府政策及產生污染之企業之行為，例如以微型感測器所蒐集到之資料為基礎，讓公部門及產生污染之企業感到受監督與課責之壓力，促成其與社區三方對話。公部門可能為確保資料品質而採取更進一步之採樣，或研究空氣污染對民眾健康之影響，或



調整空氣品質監測策略及相關政策；而企業則可能採取污染減量措施或睦鄰政策（Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2016; Gabrys, J. 2017b: 185-186; O'Rourke & Macey, 2003: 398-404; 周桂田等主編，2018：53）。

儘管微型感測有以上諸多好處，但其所受最大挑戰在於其有無適當之品質保證（Quality Assurance, QA）及品質控制（Quality Control, QC）機制，以確保所測得數據之資料品質（如精密度（precision）及準確度（accuracy）等）。¹⁶隨著微型感測器之普及，公部門及學界之廣為關注其測量原理、取樣工具與方法、使用方式、是否經過校準及在實驗室與實地不同環境下之績效表現有何差異等議題，甚至有污染者會質疑測量者本身所持立場將使數據有所偏誤，而嘗試貶低該數據之價值（Borghi et al., 2017: 12; Borrego et al., 2016; Broday & Citi-Sense Project Collaborators, 2017; Castell et al., 2017; Fishbain et al., 2016; Gabrys, 2017b; Gabrys et al., 2016: 1-2; Gerboles et al., 2017; Muller et al., 2015: 3194-3197; O'Rourke & Macey, 2003: 399-403; Snyder et al, 2013: 11374; Yi et al., 2015: 31397-31399）。舉例來說，「歐洲空氣污染控制和環境可持續性新感測技術網絡」（European Network on New Sensing Technologies for Air-Pollution Control and Environmental Sustainability, EuNetAir）於 2014 年曾衡量 27 種微型感測器所測得數據與依據參考方法及儀器所測得數據之間之相關係數（ R^2 ），發現微型感測器較能精準衡量臭氧（ R^2 可達 0.77）、一氧化碳（ R^2 可達 0.87）、一氧化氮（ R^2 可達 0.80）及二氧化氮（ R^2 可達 0.89）等 4 種氣體之濃度，而微型感測器所測得之二氧化硫（ R^2 最高者僅 0.20）、 $PM_{2.5}$ （ R^2 最高者僅 0.27）及 PM_{10} （ R^2 最高者僅 0.36）數據與依據參考方法及儀器所測得數據之相關係數則偏低（Borrego et al., 2016）。事實上，針對空氣品質微型感測器資料品質之問題，我國環保署以 2018 年 4 月 10 日環署資字第 1070027208 號公告，委託財團法人工業技術研究院（以下簡稱工研院），辦理空氣品質感測裝置性能測試驗證作業，即工研院受理市售微型感測器廠商申請，將市售感測器與美國聯邦參考方法

¹⁶ 依據我國環保署「品質保證作業規範」之定義，精密度係指「指一組重覆分析其測定值間相符的程度」，而準確度係指「一測定值或一組測定值之平均值與真實值接近的程度」。

(Federal Reference Methods, FRM) 及美國聯邦等效方法 (Federal Equivalent Methods, FEM) 進行平行比對 (空氣品質感測器測試服務平臺, 2018)。不論如何, 或許微型感測器所測得資料難以用來做法律上之主張或作為開罰依據, 但卻可能是足以引起關注、揭發某些污染事件正進行中、開啟對話或爭取更多投注於環境監測上資源之「夠好的」(just good enough) 資料 (Borrego et al., 2016: 247; Gabrys, 2017a: 16; Gabrys et al., 2016: 2)。

除了資料品質之外, 微型感測器亦應確保其供電穩定、資料傳輸可靠避免「丟包」(packet loss)、耐用 (例如避免因潮濕而短路)、機動性、維護之可行性, 及是否有擴充和調整軟硬體之彈性以因應感測目標之調整 (Othman & Shazali, 2012; Yi et al., 2015: 31421)。綜合本章第一節及第三節所述, 專業空氣品質測站與微型感測器之優缺點整理如表 4。

表 4 專業測站與微型感測器特性之比較

		專業測站	微型感測器
目的		確保資料品質	提升時空解析度 獲即時&切身數據
感測器	製造及維護成本	高	低
	耗電		
	是否可攜	否 (大、重)	是 (小、輕)
	測得數據所需時間	長	短
資料	即時性	低	高
	時間解析度		
	空間解析度		
	品質	高	低

資料來源：本研究整理。

第四節 臺灣空氣品質微型感測案例

在定點式、社區式及交通工具式 3 種室外空氣品質微型感測器之布建模式中，目前我國之社區式則尚在發展中，而定點式案例較多且規模較大。先就社區式（指由民眾隨身攜帶）而言，目前僅有「PM_{2.5} 及奈米微粒監測與控制技術聯盟」¹⁷會員研能科技股份有限公司研發之「隨身空污鼻」（Mobile Nose），其甫於 2018 年 7 月上市。

次就定點式而言，我國定點式室外空氣品質微型感測 5 個主要案例，依據發展時間先後順序，分別是：

1. 公民社會發起：「環境感測器網路系統」（LASS）社群研發並布建空氣盒子 LASS Field Try 及 LASS4U。¹⁸截至 2018 年 7 月 23 日，全國分別有 63 個及 57 個感測器，共 120 點。¹⁹
2. 民間企業發起：訊舟科技股份有限公司捐贈空氣盒子予 6 直轄市政府。截至 2018 年 7 月 23 日，全國 2,734 個訊舟空氣盒子之中，有 1,376 個屬於此類。
3. 公民社會發起：由公民發起之「臺中（中部）原點計畫」，號召公民以低於市價之公益專案價認養訊舟空氣盒子。截至 2018 年 7 月 23 日，全國 2,734 個訊舟空氣盒子之中，有 148 個屬於此類。
4. 政府發起：「建構民生公共物聯網計畫」中之「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」²⁰分項計畫，由環保署辦理，預計於 2017 年至 2020 年

¹⁷ 該聯盟屬科技部補助產學技術聯盟合作計畫，由交通大學、中央大學、明志科技大學及元培醫事科技大學等 4 校之學者專家組成，旨在利用過去於科技部累積之研究成果，協助聯盟中廠商提昇 PM_{2.5}、前趨氣體及室內空氣品質之監測技術（交通大學 PM_{2.5} 及奈米微粒監測與控制技術聯盟，2018）。

¹⁸ LASS4U 是接續於 FieldTry 和空氣盒子後之新專案，繼承兩者優點並加入觸控螢幕與二氧化碳感測器。詳細介紹請參 <http://lass-net.org/projects/>。

¹⁹ 此下 3 個案例之數據來源皆為「PM_{2.5} 開放資料入口網站」（<https://pm25.lass-net.org/AirBox/>）。

²⁰ 環保署先於 2017 年推動「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」（2016 年核定），2017 年 7 月奉核之前瞻基礎建設計畫「建構民生公共物聯網」計畫項下，則納入「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」及「空品物聯網產業開展計畫」。

在全國工業區、社區、交通密集處及無測站地區布設都會及工業區空品感測器 1 萬 200 點，並首先於 2017 年於臺中市布建 500 點(實際為 511 點)。此計畫進行前已先辦理試點計畫「智慧城市簡易空氣品質感測網資料服務計畫」，於 2016 年至 2017 年間於桃園觀音工業區 (100 點)、新北市鶯歌區 (78 點) 及高雄市大林蒲地區 (22 點) 共布建 200 點 (行政院環境保護署，2018c；柏昇企業股份有限公司，2017；科技部等，2017)。

5. 政府發起：「建構民生公共物聯網計畫」中之「空品物聯網產業開展計畫」分項計畫，則由科技部、經濟部、教育部、中研院及國網中心共同辦理，其中有關空氣品質感測點之布設及汰換，係由中研院及教育部共同辦理，預計於 2017 年至 2020 年於各地學校布建及汰換共 1 萬 100 點，並已於 2017 年於嘉義縣市、雲林縣、新竹市及金門縣共布建 500 點。以上 2 個分項計畫之工作項目及分年目標整理如表 5。

表 5 前瞻計畫中與空氣品質微型感測相關工作項目及分年目標

「建構民生公共物聯網計畫」 之分項計畫	工作項目 (部分)	2017 年 (9月至12月)	2018 年	2019 年	2020 年	總計
環境品質感測物聯網 發展布建及執法應用計畫	布建都會及工業區 空品感測器	500	2,000	2,700	5,000	10,200
空品物聯網 產業開展計畫	空氣感測點布設	600	2,000	1,800	2,700	7,100
	空氣感測點汰換	0	500	1,200	1,300	3,000
	布設+汰換小計	600	2,500	3,000	4,000	10,100

單位：點。

資料來源：本研究整理自科技部等 (2017: 141)。

此 5 個案例之所以能謂之「主要」，乃因其數量多且分布範圍廣，且第 4 個及第 5 個案例屬於我國當前重要政策「前瞻基礎建設計畫」之「建構民生公共物聯網」計畫項下。

除上述 5 個主要案例之外，我國亦有其他定點式微型感測器（如表 6），包含：學界開發者如中研院之 MAPS 及暨南大學所開發之微型感測器，民間企業開發者如 BRISE「AI 抗敏天使」、擎亞國際科技股份有限公司之「氣質寶」（Air Mentor）及其他市售產品，公民社會開發者如柯大物聯網研究室之 Mini AirBox 及 g0v 之 Indie/ProbeCube 等，而臺北市政府甚至嘗試將空氣品質監測作為智慧路燈功能之一（臺北市政府資訊局，2018）。其中值得一提的是，暨南大學曾於 2015 年至 2017 年受環保署委託辦理「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」及「中部地區空氣污染物微型感測器系統及推動空氣污染防制志工制度計畫」，其透過校內跨科系及與地方政府及非營利組織合作，辦理低階 PM_{2.5} 感測器開發、資訊呈現網頁與行動裝置 APP 開發、整合與分析監測數據資訊並運用大數據預測空氣品質變化、公民科學志工培訓及政策倡議與論述等事宜，可謂公私協力、公民科學與空氣品質感測結合之本土案例。戴榮賦等（2017、2018）對上開 2 計畫之運作有詳盡之說明。

表 6 我國定點式空氣品質微型感測案例

發起單位		案例
公部門	環保署 中研院+教育部	「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」、 「智慧城市簡易空氣品質感測網資料服務計畫」（試點） 「空品物聯網產業開展計畫」
學界	中研院	MAPS
	暨南大學	受環保署委託計畫
民間企業	訊舟科技	空氣盒子（EDIMAX AirBox）
	BRISE	AI 抗敏天使
	擎亞科技	氣質寶（Air Mentor）
公民社會	環境感測器網路系統 （LASS 社群）	LASS Field Try & LASS4U
	臺中（中部）原點計畫	臺中（中部）原點計畫
	柯大物聯網研究室	Mini AirBox
	g0v	Indie/ProbeCube

註：以網底並加粗體標示者，為本研究關注之主要案例。

資料來源：本研究整理。

而在感測器之開發、推廣、布建與維護之外，感測所得數據之公開與視覺化亦屬必要，如此可以滿足公民知的需求，使公民可依空氣品質數據決定是否進行戶外活動，並對政府進行課責。就國家級空氣品質監測常規測站而言，其所測得數據公開於「空氣品質監測網」、「環境資源資料庫」、「環境資源資料開放平臺」、「環保統計查詢網」等網站（如表 7）及「環境即時通」行動裝置 APP，並每年出版空氣品質監測報告（如行政院環境保護署（2018a））；而除「環境資源資料開放平臺」外，其餘皆有資料之視覺化展現，²¹此外亦有 10 多個利用這些數據開發出之網站或行動裝置 APP。²²另就微型感測器而言，目前主要透過表 8 之 4 個平臺公開與視覺化感測所得數據，其視覺化成果如。

表 7 環保署空氣品質感測之資料公開網站

網站	網址
空氣品質監測網	https://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/default.aspx
環境資源資料庫	https://erdb.epa.gov.tw/
環境資源資料開放平臺	https://opendata.epa.gov.tw/Home/
環保統計查詢網	https://stat.epa.gov.tw/

資料來源：本研究整理。

表 8 空氣品質微型感測之資料公開及視覺化主要網站

網站	開發與維護者	網址
g0v 零時空污觀測網	g0v 零時空污觀測專案	https://airmap.g0v.asper.tw/v5/#/map
PM _{2.5} 開放資料入口網站	中研院及 LASS	https://pm25.lass-net.org/
EdiGreen AirBox 空氣盒子	訊舟科技	https://airbox.edimaxcloud.com/ https://ab2.edimaxcloud.com/
紫豹在哪裡	黃維嘉	https://purbao.lass-net.org/

資料來源：本研究整理。

²¹ 另有「空氣品質監測資訊整合展示平臺」資料視覺化平臺（網址：<http://airtw.gitech.com.tw/GISPlatform.aspx#>），惟目前仍在建置中。

²² 這些應用服務之清單詳見：<https://opendata.epa.gov.tw/AppArea/AppList/>。

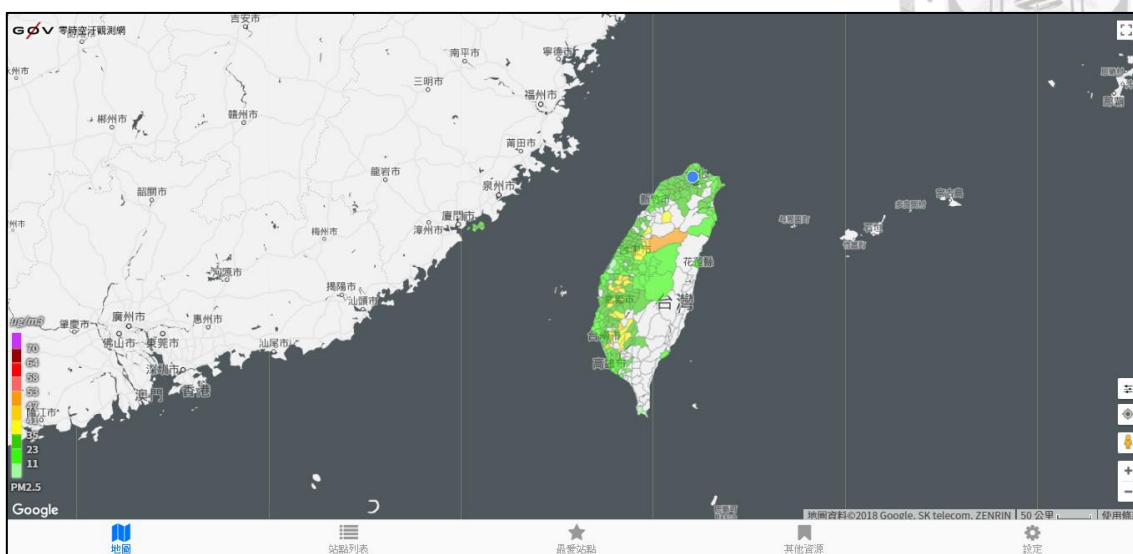


圖 3 「g0v 零時空污觀測網」視覺化成果

資料來源：g0v 零時空污觀測網

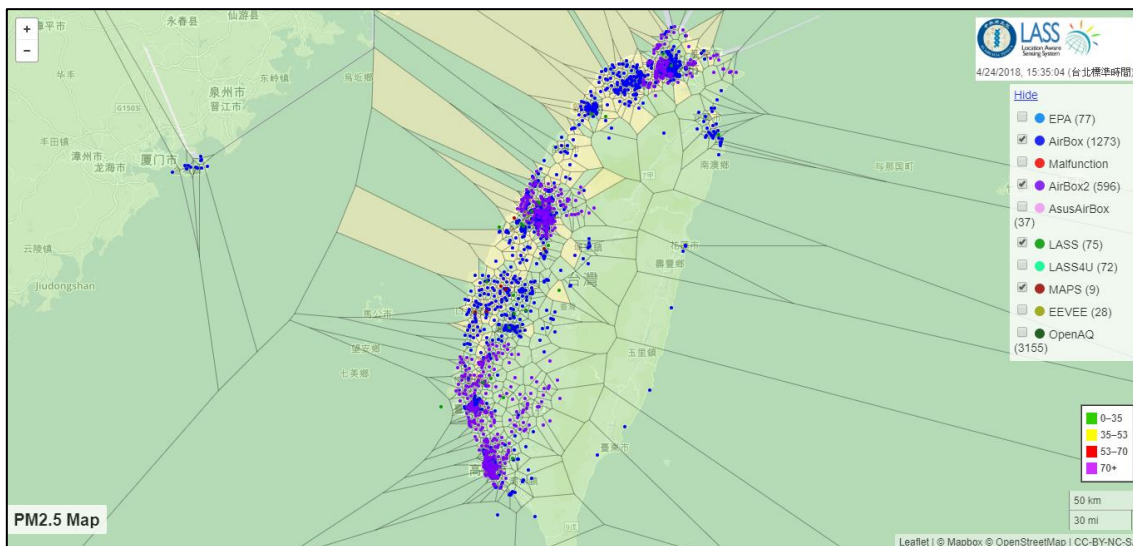


圖 4 「PM_{2.5}開放資料入口網站」視覺化成果

資料來源：PM_{2.5}開放資料入口網站



圖 5 「EdiGreen AirBox 空氣盒子」視覺化成果

資料來源：EdiGreen AirBox 空氣盒子網站

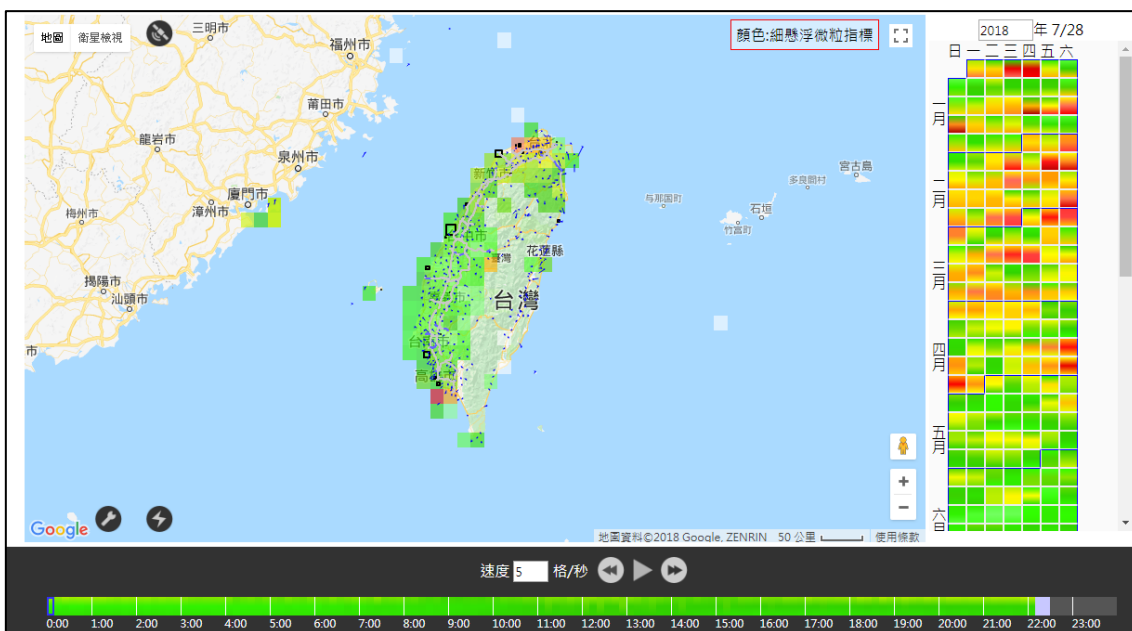


圖 6 「紫豹在哪裡」視覺化成果

資料來源：「紫豹在哪裡」網站



第三章 文獻回顧

第一節 公私協力之定義

「公私協力」(public-private collaboration)係指公共政策之規劃與執行過程中，有公部門與非公部門（包含私部門、公民社會之個人與團體）行為者之參與；所謂參與，其頻率有定期或不定期之分，涉入程度則可能是較低之諮詢或討論、或是較高而對政策有實質影響力，甚至是公部門與私部門發展出長期的、共同分擔風險的契約夥伴關係（Ansell & Gash, 2007: 2-3; Bevir, 2009: 47-48; OECD, 2012: 18），其行為者及要素可整理如圖 7。一般而言，文獻認為公私協力有若干優點，例如：加速決策過程，廣泛照看到政策各面向與各利益，帶來新技術、專業與觀點而有助於產生創新政策，使政策有正當性，賦權予公民等；但也有論者認為會造成效率低落（Bever, 2009: 48-49）。在空氣品質微型感測領域，感測器之開發、推廣、布建、使用與維護，以及感測資料之蒐集、分析、視覺化與增值應用等方面，需要公部門、學界、民間企業及公民社會分別貢獻自身所長。

行為者	第一、二、三部門
要素	共同參與決策 結合各自長處 提供公共財貨&服務 共同分擔資源&風險 互信互賴之互動網絡 互蒙其利 互惠性

圖 7 公私協力之行為者及要素

資料來源：本研究整理。

第二節 群眾外包之定義、類型與實例啟發

「群眾外包」(Crowdsourcing)由「群眾」(crowd)與「外包」(outsourcing)兩字結合，乃 Jeff Howe 與 Mark Robinson 於 2006 年創造之詞彙。其作為一項運用科技及社群解決問題之工具，起初用於企業和電腦科學領域，之後漸漸拓展到公共治理層面，廣納公民參與並賦權予公民，旨在解決影響公民生活之公共問題(如社會與環境議題)，並可收指引政府施政方向、增加政府效能及正當性之效(Brabham, 2013: 7-9; Certomà et al., 2015: 99-100, 103; Liu, 2017: 656, 663; Muller et al., 2015; Williams, 2013: 22)。

Howe (2006) 對群眾外包之定義為：透過公開號召，將傳統上由公司或機構受雇者執行之工作，外包給不特定之人群網絡。美國參眾兩院於 2016 年 12 月通過並經歐巴馬總統於 2017 年 1 月簽署之「群眾外包及公民科學法」(Crowdsourcing and Citizen Science Act of 2016，即美國法典第 15 篇第 3724 條 (15 U.S. Code § 3724))，則將「群眾外包」定義為「是透過請求一群個人或團體(特別是線上社群)自願貢獻，以取得所需服務、點子或內容之方法」。Estellés-Arolas 及 González-Ladrón-de-Guevara (2012: 191-197) 則自 2006 年至 2011 年之 40 個原創定義中，進一步將群眾外包之內涵歸納為群眾、發起人及過程等 3 個面向、共 8 個要素，分述如下，並圖示如圖 8：

1. 群眾 (the crowd)：

- (1) 組成：一群人，該群人所需之數量、知識及異質性視個案而有所不同。
- (2) 所做工作：群眾自願投注努力、金錢、知識及經驗等，以完成有具體目標之任務，任務之複雜度視個案而有所不同。
- (3) 所獲回報：滿足某種需要，不論是經濟性、社會認同、自尊或個人技能發展。

2. 發起人 (the initiator)：

- (1) 身分：可能是個人、機構、非營利組織或公司



(2) 群眾之努力為其帶來之利益：解決問題之對策

3. 過程 (the process) :

(1) 過程類型：線上群眾參與

(2) 號召方式：公開號召

(3) 媒介：網路

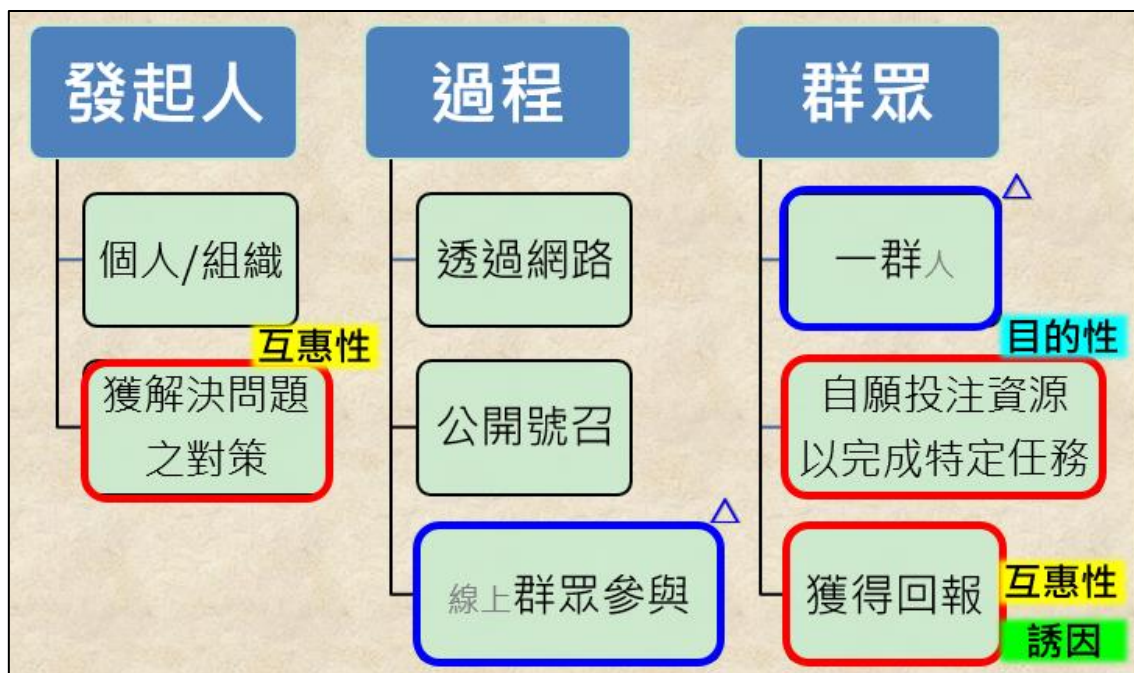


圖 8 群眾外包之內涵及要素

資料來源：本研究整理。

具體而言，群眾外包之實際案例包含開放公眾協作編輯地圖之 OpenStreetMap，其可產生 Goodchild (2007) 所謂「自願性地理資訊」(Volunteered Geographic Information, VGI) (Certomà et al., 2015: 93, 100)；而 Google Map 亦運用群眾外包機制 (Bradley, 2017)，開放公眾提供某地點之照片及造訪者評價等資料，經分析後產生如某地點各時段造訪人潮等之有用資訊，或是藉由使用者上傳資料而能提供即時路況資訊 (Zhang, Yanru et al. 2018: 604)。經由許多個人之檢視、貢獻及回饋，可提升資訊之數量及品質 (如精確與即時)，對其他使用者帶來利益。

雖然 OpenStreetMap、Google map、Wikipedia、Flickr、ResearchGate 及 YouTube 等平臺都需要群眾透過網路參與，有論者也認為屬於群眾外包之實例；但若以

Estellés-Arolas 及 González-Ladrón-de-Guevara 之定義來評斷，這些案例或因無明確目標、或因無明確發起群眾外包者等原因，而不足以算是群眾外包之案例。而 InnoCentive 及 Amazon Mechanical Turk 網站平臺則屬此最嚴格定義下之群眾外包，因為在該網路平臺中，有發起人公開提出某些需被解決之問題，再由群眾提出對策或代為解決；最後發起人之問題可獲解決，而群眾可獲得報酬，雙方皆獲益。

就群眾外包之類型而言，Brabham (2013: 10-20) 強調，群眾外包是以解決問題為導向之過程，可依實務工作者所欲解決之問題分為 4 類，包含：

1. 資訊管理—蒐集資訊：知識探索及管理 (knowledge discovery and management)。
2. 資訊管理—分析資訊：分散式人類智慧任務分包 (distributed human intelligence tasking)。
3. 點子發想—解決經驗上之問題：問題解決挑戰賽 (broadcast search)。
4. 點子發想—發想並可選擇落實哪些創新之點子：同儕審閱提案並決定 (peer-vetted creative production)。

上述 4 類亦為美國加州「2017 年群眾外包及公民科學法」(Crowdsourcing and Citizen Science Act of 2017) 中所肯認群眾外包保護與促進公共衛生之可能方式，除此之外，該法認為可能之利用方式亦包含蒐集與分享資料、加強環境保護時之公共參與、提升對污染/危險地點/執法活動之意識等。

Muller et al. (2015: 3186-3194) 在分析氣候及大氣科學中之群眾外包案例時則認為，群眾外包有 3 個值得注意之面向。首先是依據有無人為參與，可分為有生命的 (animate) 和無生命的 (inanimate) 群眾外包，前者係指需要某些形式之人為介入，後者係指藉由環境感測器及其網絡取得資料。其次是資料蒐集與上傳之自動化程度，可分為全自動化 (雖然環境感測器之安裝時可能需要人為介入，但會自動蒐集與上傳資料)、半自動化 (如感測器自動蒐集但需人為上傳) 及手動 (即蒐集與上傳都需由人來做)。其三為參與者之主被動性，主動式 (active) 群眾外包係指人們需時常介入如蒐集與上傳資料之工作，被動式 (passive) 群眾外包則係指人們



僅為個別環境感測器之看守人，僅負責安裝並確保其持續運作。基於此，Muller et al.將群眾外包之案例分為以下 6 類：

1. 公民科學 (Citizen science)：即為有生命之群眾外包。
2. 社會媒體 (Social media)：如 Web2.0 之互動性自願性地理資訊。
3. 在原地之感測器 (In situ sensors)：如 Air Quality Egg 之類低成本、體積小且可連網之個人空氣感測站。
4. 智慧裝置 (Smart devices)：將感測器與智慧型裝置做連結，如以 AirBeam 感測懸浮微粒數據並上傳至 AirCasting 平臺。
5. 移動式平臺 (Moving platforms)：如以水上或陸上交通工具搭載空氣品質監測裝置。
6. 「隱藏」網絡 ('Hidden' networks)：被動且無生命之群眾外包，做某些裝置設置目的外之觀測，例如透過空中交通管制雷達觀測風與溫度。

Williams (2013: 5) 則將眾多群眾外包之案例歸納為 8 類，包含：社會生產 (social production, 如 linux、Wikipedia、OpenStreetMap)、群眾募資 (crowdfunding)、微型工作 (microwork, 如 Amazon Mechanical Turk)、危機地圖 (crisis mapping, 如 Ushahidi)、創新挑戰賽 (innovation challenges, 如 Innocentive)、數位腦力激盪 (digital brainstorming)、參與式預算 (participatory budgeting) 及公民科學 (citizen science, 如 Galaxy Zoo、Outbreaks Near Me)。

事實上，已有公部門開始運用群眾外包機制，將公民作為政府規劃及執行政策之夥伴，期能透過加強公共參與獲得線上社群之集體智慧，解決公共問題或達成政策目標 (Liu, 2017: 657-658; Mergel & Desouza, 2013; U.S. General Services Administration, 2018a); 如美國總務署 (U.S. General Services Administration, GSA) 之 Challenge.gov 平臺於 2010 年上線，聯邦政府中超過 102 個機關於該平臺上舉辦競賽並提供獎金，向公眾尋求解決問題之方法。²³

²³ GSA 甚至認為，此種尋求公眾建議之方式由來已久，如 18 世紀時美國國會大廈設計圖廣邀競圖即屬之 (U.S. General Services Administration, 2018a)。



至於公部門從過往案例中可獲得之啟發 (Brabham, 2013: 21-28; Liu, 2017: 659-663; Mergel & Desouza, 2013: 885-888; Williams, 2013: 23-24), 包含:

1. 清楚界定問題與目標，並規範對策之格式與內容，使產出可符合需求與期待，精準解決問題。
2. 適當切割任務，使之符合參與者之能力。
3. 要有促進和維持社群運作之計畫。
4. 給予參與者學習和建立技能之機會。
5. 設計相關機制，賦權予參與者審閱或選擇最終方案。
6. 應建立社群分享成功與失敗之經驗，並編製指南以利後人參考。²⁴

其中，由於群眾外包之要素即為群眾之參與，因此如何以適當之誘因吸引群眾注意、參與及持續參與即至關重要。上開文獻指出，群眾可能因為自利或利他、物質或非物質之動機而參加。所謂物質動機主要是金錢，例如有參與者視參與群眾外包為工作，以此賺錢維生，或是為了讓自身履歷更豐富而有助於未來獲得更好之工作；金錢雖然重要，但並非唯一因素。非物質動機則廣泛許多，例如基於道德感，或為求挑戰自我、樂趣、聲譽、成就感（如看到自己所提方案獲採納並執行）、獲得感謝及社交（如擴大自身專業社群或與文官之網絡）等，甚至單純打發時間。雖然每個人參與某一群眾外包方案之動機不必然相同，我們仍須瞭解可能之動機，才能設計出相對應之誘因，吸引群眾參與並維繫該群眾外包方案之運作。在空氣品質微型感測領域亦然，為使感測網絡永續經營，發起者及參與者基於何等動機而參與感測器之開發、推廣、布建、使用與維護，以及感測資料之蒐集、分析、視覺化與加值應用，乃值得探討之問題。

²⁴ 例如美國 Digital.gov 上就提供挑戰賽之相關資源 (<https://digital.gov/resources/>)，包含運用 Challenge.gov 進行群眾外包之概覽 (<https://digital.gov/services/challenge-gov/>) 及公部門實務工作者之社群 (<https://digital.gov/communities/challenges-prizes/>)，另於 Challenge.gov 上建立工具箱 (<https://www.challenge.gov/toolkit/>)，給予執行挑戰賽各階段（準備、擬定、執行、頒獎、移轉）及各類型挑戰賽（詮釋與分析資料、創意設計、新創企業、以創新方法解決問題、科學、軟體、科技技術）之注意事項。


第三節 公民科學之定義、類型與實例啟發

「公民科學」(citizen science)一詞，早於 1997 年出現於主流學術文獻中，但相關文獻數量自 2007 年起才顯著成長，而 2014 年之相關文獻數量又大約是 2007 年之 10 倍 (Follett & Strezov, 2015)；由此可見，公民科學乃是近 10 年來備受學界關注之重要議題。不過，公民科學之實例，其實至少可回溯至美國奧杜邦學會 (National Audubon Society) 自 1900 年聖誕節起執行之「聖誕節鳥類統計」(Christmas Bird Count) (Conrad & Hilchey, 2011: 275)，該統計於每年聖誕節前後進行，所得數據可作為採取保育行動之依據。

根據歐洲聯盟委員會公民科學綠皮書及白皮書之定義 (European Commission, 2013, 2014)，一般大眾 (公民) 以其腦力勞動、對周遭之知識或工具及資源，積極參與及貢獻於科學研究活動中，即謂之「公民科學」；此乃開放、跨領域、協力之網絡，可加強決策者、科學社群及社區民眾之連結。而美國之「群眾外包及公民科學法」(Crowdsourcing and Citizen Science Act)，將公民科學定義為「一種個人或團體自願參與於科學過程之開放協力形式」，參與方式包含形成研究問題、創造並精進方案設計、執行科學實驗、蒐集與分析資料、詮釋資料結果、開發技術及應用、發現新事物、解決問題；加州之「2017 年群眾外包及公民科學法」(Crowdsourcing and Citizen Science Act of 2017) 則進一步補充，參與方式亦包含監測鄰里尺度之污染、完善監管之監測、蒐集資料以衡量污染減量措施 (例如法規、許可、執法等) 之績效。

延續歐盟及美國之官方定義，「公民科學」之內涵可分為參與者 (誰參與?)、參與標的 (參與做何事?) 及參與層次及所欲達成之目標等 4 方面進一步闡述。

首先，參與者包含公民、科學社群、企業及公部門等不同性質之個人或團體，不論其規模 (如可能為個別公民、社區或跨地域之公民團體) 及層級 (如可能為中央或地方政府機關)。



其次，參與者參與之標的，乃是參與於科學活動中，因此公民科學相關計畫亦可謂「參與式研究」(participatory research)。所謂科學活動，包含界定研究問題、進行研究設計、開發技術、執行科學實驗、蒐集/編輯/呈現/分析/詮釋資料與數據、傳播研究結果及促成其他公民或政府行動等階段；若計畫係由政府或學術機構發起，還會包含組成專家(如科學家及技師)團隊並由其擬定訓練手冊/選擇與校準測量儀器/提供諮詢、招募並訓練參與者及評估計畫執行成效等階段(Bonney et al., 2009; English et al., 2018: 339-341; U.S. General Services Administration, 2018b)。

其三，就參與層次而言，雖然不同公民科學計畫之參與者可能都包含政府、職業科學家和一般民眾，但參與者涉入程度之深淺及主動性會有所差異。依據公眾涉入程度深淺度，可將公民科學分為以下 3 層次(Den Broeder et al., 2016: 2-3; English et al., 2018: 337-338; Follett & Strezov, 2015)：

1. 群眾外包及自願性地理資訊：只主動或被動參與資料蒐集。
2. 有限的參與式研究(Limited participatory research)/參與式科學(participatory science)：參與問題界定和資料蒐集。
3. 共同創造型(co-created)／終極的公民科學(Extreme citizen science)：公民全程參與各科學活動階段，包含界定問題、建立研究假設、資料蒐集/分析/詮釋、傳播研究成果、促成行動。

而若依據不同參與者(主要是公部門及一般民眾)之主動性，則可將公民科學分為以下 3 類(Conrad & Hilchey, 2011: 276-279)：


1. 諮詢性/功能性(consultative/functional)：政府機關借助公眾取得資訊，或於決策時納入地方民眾參與；即係由政府辨識問題並主導，社區負責執行。
2. 協力型(collaborative)：盡可能由可代表社群中不同各面向者(如政府、企業、大學及一般大眾等)組成委員會，並共同做成決策。
3. 轉換型(transformative)：係由以社區為基礎之草根民眾由下而上發起，自行辨識問題(通常專注於特定地方議題)、領導行動、執行及支應經費，並希望政府引起政府之注意進而採取行動。

其四，公民科學相關計畫之目標可能是為瞭解答特定科學研究問題，或提升公民之知識及認知，或希望參與者攜手合作解決如公共衛生、疾病管制、保育及管理自然資源等公共問題，以促進公共利益（Den Broeder et al., 2016; Follett & Strezov, 2015）。

公民科學相關計畫廣泛應用於自然科學領域（Bonney et al., 2009; Conrad & Hilchey, 2011: 285-288; English et al., 2018; European Commission, 2013; Follett & Strezov, 2015; O'Grady et al., 2016: 383; Williams, 2013: 18-20），包含：

1. 生物觀測：如鳥類、陸生無脊椎動物、兩棲類、哺乳類、植物、魚群、寄生蟲及野生動物等。
2. 生態環境與環境保護：如海洋科學、水資源/水質（包含河川、湖泊、海灣、海岸、海洋等，如水資源守護者聯盟（Waterkeeper Alliance）及歐盟資助之 WeSenseIt 與 Citclops）、空氣品質與污染物（如歐盟資助之 CITI-SENSE）、噪音、異味（如歐盟資助之 OMNISCIENTIS）、雨林生態、冰層、生物圈（如歐盟資助之 COBWEB）。
3. 天文學：如 Zooniverse 平臺中之 Galaxy Zoo 計畫，請公民協助歸類銀河系與辨識新星球。
4. 醫學與公共衛生：如 Outbreaks Near Me，讓民眾可即時追蹤傳染病之爆發並進行回報。

公民科學之所以於近年來蔚為風潮，原因之一即為其可能創造決策者、科學社群、社區整體與個別公民及自然環境之多贏（Bonney et al., 2009; Conrad & Hilchey, 2011: 279-281; Den Broeder et al., 2016: 3-4; English et al., 2018: 344-345; European Commission, 2014: 10；杜文苓、張景儀，2015：22-40）。對決策者而言，透過公民蒐集更為在地之小尺度觀測資料數據，可作為「循證決策」（evidence-based policy-making）之基礎。對科學社群而言，除自社區民眾獲得資料數據外，亦可能獲得社區在地知識或民眾自發提出之研究問題，使研究問題與觀測更為「入世」（relavant/relevance）（例如得知挑選空氣採樣之適當季節、時間與地點）、對社區



更有幫助，或產出品質較好之研究及推升研究效率與量能。對社區個別公民而言，除可獲得新科學知識及技能（如科學思考、研究設計、實驗方法與操作及科學資訊識讀能力等），亦可增加其自我效能感（self-efficacy）；對社區整體而言，可促成社區培力/賦權（empowerment）、培養社會資本並提升信任感。對自然環境而言，當公民具有環境意識並實行監測時，開放透明之資訊可作為環境議題之早期預警機制。最終，甚至可改變社會、企業或政府之態度，進而影響政策或法令，以改善生活環境。以上所述優點，亦可謂參與者之參與動機。

事實上，公部門體認到公民科學之優點，已開始重視並運用之。除了歐盟及歐盟各國之外（European Commission, 2013: 12, 2018）之外，美國總務署及 Woodrow Wilson 國際學者中心（Woodrow Wilson International Center for Scholars）更建置 CitizenScience.gov 平臺（U.S. General Services Administration, 2018b）。該平臺主要內容分為目錄、社群及工具箱 3 部分，首先是提供聯邦政府所支持公民科學計畫之目錄並以地圖呈現，截至 2018 年 5 月 15 日，共有 26 個機關之 424 項公民科學計畫登錄於該平臺上；²⁵其次是建立社群，成員包含公部門中從事群眾外包與公民科學之實務工作者及各機關之協調專員，以利彼此分享經驗；其三是提供聯邦群眾外包及公民科學工具箱，參考 Bonney et al.（2009）之論述，將群眾外包與公民科學方案之規劃及執行分為界定問題、設計方案、建立社群、管理資料、維持與改善等 5 個步驟，並說明各步驟之工作項目及注意事項，同時提供案例研究及相關參考資源，以利聯邦實務工作者參考。²⁶此外，我國行政院農業委員會特有生物研究保育中心設有「臺灣生物多樣性網絡」平臺，內含數個公民科學計畫，主題包含植物、蛾類、蜘蛛、陸生蝸牛、路死動物、鳥類（如類似北美洲「聖誕節鳥類統計」之「臺灣新年數鳥嘉年華」（Taiwan New Year Bird Count, NYBC））等，亦與泛科知識股份有限公司共同合作管理「臺灣公民科學入口網」。

²⁵ 詳見：<https://ccsinventory.wilsoncenter.org/index.html>。

²⁶ 詳見：<https://www.citizenscience.gov/toolkit/>。

然而，公民科學亦面臨若干挑戰及應用之限制（Conrad & Hilchey, 2011: 281-282; English et al., 2018: 346-348）。公民科學相關計畫可能無法招募到足夠之志願者、缺乏資金或適當之專門技能與知識，使得計畫無法開始或開始後無法維繫下去；或是缺乏適當之研究設計及品質確保（assurance）與品質控制（control）相關機制，使所獲資料之品質（如完整性及精準性等）不易受職業科學家及政府之認可；或是參與者未有足夠知識與技能將資料分析、詮釋及視覺化，或無適當管道提供或溝通研究成果，進而影響政策。公民科學儘管有前述限制及挑戰，但其亦有諸多好處，Conrad 和 Hilchey（2011: 282-283）認為，其限制與好處相較是瑕不掩瑜，我們應著力於化解或預防前述限制及挑戰之發生，例如確保資金充足、給予志願者足夠訓練及正增強誘因。綜上所述，公民科學之參與者、參與標的、民眾參與層次、優點及限制整理如圖 9。至於在空氣品質微型感測領域，民眾可能參與感測器之開發、推廣、布建、使用與維護，或感測資料之蒐集、分析、視覺化與加值應用等科學活動。

參與者	個人/團體 (公私部門、學界、公民社會)
參與標的&民眾參與層次	科學活動 2 界定研究問題、研究設計、 開發技術、執行實驗、 1 資料蒐集/分析/詮釋、 傳播研究結果、促成行動
好處	創造多贏，互惠性 解決科學問題、 提升公民知識、 促進公共利益
限制	資料品質疑慮 資金不足 志願者數量、知識或技能不足 缺乏適當管道溝通成果及影響政策

圖 9 公民科學之參與者、參與標的、民眾參與層次、好處及限制

資料來源：本研究整理。

第四節 公私協力、群眾外包與公民科學之關聯

由上述分析可知，公私協力、群眾外包及公民科學理論上有 2 個共通之處：

1. 皆有公部門、私部門及公民社會等多元行為者之參與。
2. 皆重視互惠，即經由參與，對參與者皆有好處。

而群眾外包與公民科學之關聯在於：有一類群眾外包之案例應用於科學領域，借助群眾（特別是線上社群）從事公民科學，有一類公民科學之案例，是運用群眾外包手段執行計畫（例如蒐集資料）；因此，線上社群自願參與於科學活動中，即可謂群眾外包與公民科學之結合。而不論群眾外包或公民科學，皆強調公民之自願參與，且可創造發起者、參與者甚至是社會整體之互惠多贏局面（English et al., 2018; Muller et al., 2015; Williams, 2013; U.S. General Services Administration, 2018b）。

實務上，美國政府課責署（U.S. Government Accountability Office）視群眾外包及公民科學為 5 個政府驅動開放創新之策略之一（U.S. Government Accountability Office, 2016）；²⁷又美國聯邦政府因認為群眾外包及公民科學有諸多好處，包含可加速科學研究、使納稅錢之利用達到最大效益、解決社會需求、使公眾親身實踐 STEM（科學、技術、工程及數學）之學習及將公眾與聯邦科學機構之使命連結在一起等，遂進一步制定「群眾外包及公民科學法」，鼓勵聯邦科學機關借助群眾外包及公民科學以執行相關方案。結合群眾外包與公民科學、由線上社群自願參與於科學活動中之具體實例，包含請公民協助歸類銀河系與辨識新星球之 Galaxy Zoo 計畫、讓民眾可即時追蹤傳染病之爆發並進行回報之 Outbreaks Near Me 計畫及空氣品質感測相關案例。就我國空氣品質微型感測案例而言，同時存在「公私協力」及「以群眾外包手段實踐公民科學」2 種互動模式。


²⁷ 其餘 4 個策略則為：提點子（ideation/ idea generation）、公開資料協力（open data collaboration）、公開對話（open dialogue）及獎金競爭或挑戰賽（prize competition or challenge）（U.S. Government Accountability Office, 2016）。

第四章 研究方法與範圍



本研究採取文獻回顧、深度訪談及個案研究 3 種途徑（冷則剛、任文姍譯，2011：415-417；吳嘉苓，2012：34-35、40；劉鶴群等譯，2010：134；謝雨生，2012：66、90），探討我國空氣品質微型感測公私協力與群眾外包之情形。具體而言，本研究先透過網路新聞及資訊，釐清我國有哪些實際案例及可能之訪談對象；再藉由分析空氣品質微型感測、公私協力、群眾外包及公民科學之學術文獻，瞭解此類案例之運作機制、成果及有哪些值得關注之面向，據以研訂與研究問題相對應之訪談題綱。在選擇本研究特別關注之案例後，立意抽樣（purpose sampling）出可能有助於解答研究問題之適當受訪者，進行半結構式（semi-structured）之深度訪談（in-depth interview/ intensive interviewing），即事先準備好由開放式問題（open-ended questions）構成之訪談題綱，但實際提問順序及問題方向將視訪談當時情形而可能有所調整；若受訪者引介其他受訪對象，亦將視情形決定是否接受滾雪球抽樣（snowball sampling）。而深度訪談之目的，在深入瞭解本土個案於文獻回顧時所得各面向上之實際情形及回答研究問題。

在案例選擇方面，定點式、社區式及交通工具式 3 種空氣品質微型感測器之布建模式中，目前我國之定點式案例較多且規模較大，本研究因而鎖定此類型中數量多且分布範圍廣之 5 個主要案例（詳如第二章第四節所述），包含：LASS 社群之 LASS Field Try 及 LASS4U（以下簡稱「LASS 專案」）、訊舟科技捐贈空氣盒子予 6 直轄市政府（以下簡稱「訊舟捐贈 6 都專案」）、公民發起之「臺中（中部）原點計畫」、政府前瞻基礎建設計畫「建構民生公共物聯網計畫」中之「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」（含其前之試點計畫「智慧城市簡易空氣品質感測網資料服務計畫」，以下簡稱「環保署前瞻與試點計畫」）及「空品物聯網產業開展計畫」（以下簡稱「中研院與學校前瞻計畫」）2 個分項計畫。



在訪談對象選擇方面，因我國空氣品質微型感測案例中有多元之發起者及參與者，且互動模式包含「公私協力」及「以群眾外包手段實踐公民科學」，故須包含公部門、學界、民間企業及公民社會。公部門部分，一方面，6 直轄市為訊舟捐贈空氣盒子之對象，我國已布建之 2,734 個空氣盒子中，即有超過一半（1,376）乃訊舟捐贈；另一方面，6 直轄市亦為政府布建微型感測器之重點地區，2017 年已於桃園市、新北市及高雄市共布建 200 點，又於臺中市布建 500 點，另 2018 年將再分別於高雄市、桃園市、新北市及臺南市布建 500 點、400 點、100 點及 100 點。考量布建時間先後、規模及與筆者居住地之距離後，最終選擇新北市、臺北市、桃園市及臺中市政府進行訪談。此外，中央研究院資訊科學研究所研究人員（屬學界）及 LASS 社群（屬公民社會）為微型感測器開發、布建及資料公開之推手，訊舟科技股份有限公司（屬民間企業）為微型感測器布建普及化及資料視覺化之要角，而「臺中原點—空氣盒子認養計畫」社群則為公民號召公民社會自主認養及布建微型感測器之案例，皆為應訪談之重要對象。

本研究於 2018 年 6 月 12 日至 7 月 13 日間，透過電話或至新北市、臺北市、桃園市及臺中市等地當面拜訪，進行共 8 場次之訪談，訪談時間為 40 分鐘至 2.5 小時不等；受訪者共 9 位（另有 1 位受訪者僅提供書面資料），分別來自公部門（4 位）、學界（1 位）、民間企業（2 位）及公民社會（2 位），職位包含承辦人員、基層主管、中階主管、研究人員、中階經理人、高階經理人及發起人等。值得一提的是，一個受訪對象可能同時參與不只一個微型感測案例。例如，新北市政府及臺中市政府環保局主要參與「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」，但也同時受到訊舟捐贈案之影響而需採取因應作為；中研院研究人員 B1 則直接參與「空品物聯網產業開展計畫」及 LASS 相關專案；而訊舟科技除直接捐贈空氣盒子予 6 直轄市政府外，亦以低於市價之價格提供空氣盒子予「臺中（中部）原點計畫」，並於「空品物聯網產業開展計畫」中供應空氣盒子。綜上所述，受訪機關/單位、受訪者身分、受訪日期、對應案例及所使用之微型感測器整理如表 9。



表 9 訪談對象、日期、對應案例及所使用之微型感測器

群組	代號	受訪機關/單位		受訪者身分	訪談日期	對應案例及所使用之微型感測器				
						前瞻及其前 試點計畫 (環保署)	前瞻計畫 (中研院+學校)	訊舟 捐贈	臺中(中部) 原點	LASS 相關
						委外	訊舟	訊舟	訊舟	LASS 創客版
公 部 門	A1	新北市政府	教育局	基層主管	2018/06/29*			V		
	A2		環保局	基層主管	2018/07/05	V		V		
	A3	臺北市政府	智慧城市 辦公室	承辦人員	2018/06/21			V		
	A4	桃園市政府	環保局	承辦人員	2018/07/03	V				
	A5	臺中市政府	環保局	中階主管	2018/07/13	V		V		
學 界	B1	中央研究院		研究人員	2018/07/09		V			V
企 業	C1	訊舟科技 股份有限公司		高階經理人	2018/06/21		V	V	V	
	C2			中階經理人	2018/06/21					
公 民 社 會	D1	LASS 社群		發起人	2018/06/12					V
	D2	臺中(中部)原點— 空氣盒子認養計畫		發起人	2018/06/29				V	

*為提供書面資料。

資料來源：本研究整理。

而本文旨在探究我國 5 個室外空氣品質微型感測案例中，參與者參與之動機、彼此之互動情形，以及案例之成果、挑戰與精進方向；為解答這些研究問題，深度訪談題綱如下，並可整理如表 10：



1. 瞭解案例背景：請問貴機關/單位/社群/您曾參與或主/協辦哪些空氣品質微型感測計畫？又於這些計畫中從事哪些類型的活動？
2. 瞭解參與動機：在相關計畫進行之初，貴機關/單位/社群/您預期相關計畫可發揮哪些作用或達成哪些目標？又是考量哪些因素後而決定投入資源參與或主/協辦相關計畫？
3. 瞭解互動情形：在相關計畫的執行過程中，貴機關/單位/社群/您曾與哪些團體或個人（包含政府、企業、學界及公民社會）互動或協力？彼此如何互動或協力？又曾遭遇哪些面向的困難及挑戰（如人力、資金、時間、技術、與他人的互動、民意壓力……等）？如何克服？
4. 瞭解成果：依據貴機關/單位/社群/您的觀察，計畫執行後為公私部門及社會帶來哪些正負面影響？又未來有何精進方向（如感測器改良、資料公開與增值應用、計畫執行方式……等）？
5. 其他有助於瞭解互動過程之問題：貴機關/單位/社群/您建議由誰採取哪些改進措施以化解或降低人們對於微型感測資料品質的疑慮？建議一般民眾如何解讀與使用微型感測器所測得的數據比較恰當？針對貴機關/單位/社群/您所參與的計畫，有何確保各感測點盡可能每天且整天在線並受妥當維護的機制？依貴機關/單位/社群/您的看法，在空氣品質微型感測領域，政府、企業、學界及公民社會分別有哪些可以貢獻之處？彼此可以如何互動與協力？

表 10 研究問題與相對應之訪談題綱

研究問題	訪談題綱
案例背景	空氣品質微型感測計畫中，可能包含感測器的開發、推廣、布建、使用與維護，以及感測資料的蒐集、分析、視覺化與加值應用等活動。請問貴機關/單位/社群/您曾參與或主/協辦哪些空氣品質微型感測計畫？又於這些計畫中從事哪些類型的活動？
參與動機	在相關計畫進行之初， 1. 貴機關/單位/社群/您預期相關計畫可發揮哪些作用或達成哪些目標？ 2. 貴機關/單位/社群/您考量哪些因素後而決定投入資源主/協辦相關計畫？
互動情形	在相關計畫的執行過程中， 1. 曾與哪些團體或個人（包含政府、企業、學界及公民社會）互動或協力？彼此如何互動或協力？ 2. 曾遭遇哪些面向的困難及挑戰（如人力、資金、時間、技術、與他人的互動、民意壓力……等）？又如何克服？
成果	依據貴機關/單位/社群/您的觀察，計畫執行後為公私部門及社會帶來哪些正負面影響？又未來有何精進方向（如感測器改良、資料公開與加值應用、計畫執行方式……等）？
其他有助於瞭解互動過程之問題	1. 有人對微型感測器的資料品質（如資料精密度與準確度等）及感測項目（如一臺感測器的感測項目可能僅有溫度、濕度及PM _{2.5} ）有所疑慮，請問貴機關/單位/社群/您如何看待此疑慮？貴機關/單位/社群/您建議由誰採取哪些改進措施以化解或降低這些疑慮？ 2. 民間有許多空氣品質微型感測器（如訊舟科技的空氣盒子、LASS社群的LASS Field Try及LASS4U等），有民眾會以微型感測器所測得的數據質疑環保機關專業測站的數據，貴機關/單位/社群/您建議一般民眾如何解讀與使用微型感測器所測得的數據比較恰當？ 3. 針對貴機關/單位/社群/您所參與的計畫，有何確保各感測點盡可能每天且整天在線並受妥當維護的機制？ 4. 依貴機關/單位/社群/您的看法，在空氣品質微型感測領域，政府、企業、學界及公民社會分別有哪些可以貢獻之處？彼此可以如何互動與協力？

資料來源：本研究整理。



第五章 臺灣空氣品質微型感測主要案例中 之參與動機、互動情形與成果



本章分析 5 個室外空氣品質微型感測案例推動過程中，參與者參與之動機為何？彼此互動情形如何？而案例之成果、挑戰及精進方向為何？

第一節 LASS 專案

壹、參與動機

「環境感測器網路系統」(Location Aware Sensing System, LASS) 之理念很單純，即是希望感測器的值能顯示於一個大範圍區域的地圖上，至於要多少種感測器、如何部署、系統如何整合、多少錢，並不太能預期。LASS 第 1 個活動是 2015 年 11 月開始之 LASS Field Try，由受訪者 B1 及 D1 共同籌劃，至 2016 年 3 月大量在臺北市布建，LASS 想做的事基本上在這半年已完全達到，其速度及數量可謂超乎一開始之想像（受訪者 B1、D1）。

其實，LASS 開發之空氣品質微型感測器點數並不多，目前 LASS Field Try 及 LASS4U 全國分別有 63 個及 57 個感測器，共 120 點。點數不多之原因可能有二，一是因其屬創客產品，需自行組裝、寫程式，對一般民眾有一定之進入門檻，且價格對僅有單純看數據之需求者也不夠有吸引力；二是因 LASS 社群本身也未花太多力氣去推廣，認為認同理念者自然會前來（受訪者 D1）。

LASS 號召人們投入之方式有二，一是秉持「開放」精神，二是不碰金錢。「開放」之內容包含文件、資料、製作方式及程式碼等，如此可達到效率及永續，當某人沒時間繼續於社群內貢獻或無能力完成某事時，其他人可以接手；而不碰金錢之好處在於，因為沒錢，所以人們願意進來就擺明不是為了賺錢，而都是來貢獻的。

比方說，g0v 網站做得很讚，但其實沒跟我們講過很多話，實際上都是自

己做的，做完才跟我們說。這就是開放的價值，我東西做好，資料全部開放，下一段視覺化就交給別人做，而且別人可以自己做，不求於我。(受訪者 D1)

在 LASS 的成長過程中，到後來才發現不要錢根本就是絕招。LASS 沒錢、不要錢、也沒錢給人賺，就不會有人跟你談錢，結果這不是壞事，反而是好事；因為不感興趣、沒有理念的人不會來，來的人全部都自帶資源，而且一定都超強，因為有信念的人通常比較強。(受訪者 D1)

貳、互動情形

LASS 是個線上虛擬社群，其內之參與者同時具有 LASS 社群成員及其他身分，因此其與中研院、訊舟、g0v 及紫豹等之關係，難以明確具體切割，且各參與者會視自身需求聯繫彼此。

可以把 LASS 想像成是個生態系，中研院、g0v 及紫豹的系統，概念上都算是 LASS 的一部分。如果沒有 g0v，人家根本就看不到 LASS 的資料。而訊舟與 LASS 的關係有點扯不清，說是 LASS 的一環，好像是吃人家的豆腐，但說不是 LASS 的一環也不太對，因為他們很多時候在 LASS 裡面跑來跑去。而中研院算是政府的一部分，LASS 核心的實作裡，中研院在中間凝聚，像訊舟在前瞻計畫中有出貨給中研院；LASS 有很大一塊是中研院 B1 老師做滿多東西，包括發表文章、做系統、資料在那維護，中研院基本上就是 LASS 的一部分，所以中研院的所有東西，都是打中研院跟 LASS 的品牌。社團裡面每個人都跟每個人有關係，大部分都認識彼此，會發展自己的東西。(受訪者 D1)

我們名稱的使用比較彈性，游移在 2 個 (LASS 和中研院) 之間，因為適當的時候用適當的名字會有好處。用 LASS 對民眾比較有親切感，因為民眾會覺得他是 LASS 的一群，所以我這東西是給 LASS 的；但你如果對外講中研院，別人就覺得是學術研究，其實我們也有做過類似的參與式的東西，如果學術單位去做的話，民眾參與意願不會很高，因為他們都覺得學術單位都做做就丟了、就不管了，或是好像我是幫你做研究案，對我有什麼好處。所以對外我們就會說這是 LASS 的後臺，雖然其實就是中研院在 support 這個後臺。可是 LASS 是一個虛擬的東西，所以我對政府單位就會說是中研院在運作的。(受訪者 B1)

參、成果

LASS 帶來之影響可分為 2 部分，對國內最重要之影響，為產生關注空氣品質之民意；對國外則是引起國外之重視，因為我國布點之範圍與密度，全世界絕無僅有，且又是以由下而上之特殊方式布建。

我覺得，LASS 帶來最大、最重要、最有價值的貢獻，就是產生民意，大家都關心空氣了。其實 PM_{2.5} 在之前有很多前輩已經努力很久了，但相對來說，一直都不太有效，實際上大家開始關注，武斷一點來說，可以說是因為 LASS 的存在。……LASS 沒什麼廢話，就是專心做感測並把系統做出來，但你可以看到很多人關心、討論這件事情，有很多報導，甚至引起了政治上或讓高層必須面對這些問題；現在民意就是要空氣好，不用去討論空氣要不要好，有民意的支持其實解決掉一些很大的問題。(受訪者 D1)

外國的很多東西我們現在看過去就是小打小鬧，例如這個計畫我布了 5 個點來試試看，蒐集一下資料、做個分析、出篇 paper……不像是一個實體想解決真實的問題的情形。……外國人會想你要怎麼布建？哪個地方給你放？怎麼維護？他們都會遇到同樣的問題，但他們就做不到。(受訪者 D1)

第二節 訊舟捐贈 6 都專案

壹、參與動機

訊舟自 2016 年 3 月至 2017 年 6 月間，依據 6 直轄市之公立國民小學數捐贈空氣盒子；時至今日，我國已布建之 2,734 個空氣盒子中，有超過一半 (1,376) 乃訊舟捐贈，故訊舟可謂促使微型感測器布建普及化之要角。回顧 2016 年 3 月，當時先是由瑞昱半導體 (Realtek) 發起，與華碩雲端共同向臺北市政府提出空氣盒子之智慧城市提案，瑞昱捐贈主板、華碩捐贈雲端後臺，B1 則依據其於 LASS 布建 100 多個微型感測器之經驗，貢獻其知識技能；訊舟為當時實際代工之系統整合商，但名稱並未出現於檯面上，後來訊舟決定不需由瑞昱捐贈主板，而是創造自家品牌並繼續捐贈予其他直轄市(受訪者 B1)。以市場生態而言，一樣電子產品僅售 3,000、4,000 臺並無法算是一門生意，遑論捐贈上千臺，如此乍看之下實在有違企業追求利潤之使命；其實，訊舟之目標仍在追求企業之利潤，只是其採取不一樣之策略，並希望在追求利潤之同時，亦對社會有所助益。訊舟之策略分析如下：

1. 選定企業投入之領域 (如 IoT、空氣品質)：

據我所知，他們 (訊舟) 當時想做物聯網的案子，可是不知道要做什么，所以就 survey 當時臺灣和物聯網相關的 maker community，發現 LASS 當時感覺好像是個做得還不錯、有點規模的社群，而且滿適合他們要的 IoT style，就想說那就來做 PM_{2.5}



好了，因為反正我們都 release 了，他們也可以很快承接，所以就下去做。(受訪者 B1)

……我們認為這是一個全球最大的 IoT 布建，目前沒有看到任何一個成功的案例優於空氣盒子，有廣域性布建，而且能夠持續、永續地在發酵與經營。我們必須選擇一個議題，是大家都在乎，但又不要太敏感，所以我們的切入點是以物聯網和資訊教育看待這件事。當然空氣品質這件事有相對的敏感度，但我們認為這是環境教育，倒不是以環境監控的概念在看待。(受訪者 C2)

2. 透過捐贈及對公共議題有所貢獻，有助於提升品牌形象與名聲，進而有助於獲得利潤。

……對我們來說，其實是不管 donate 出去 3,000 臺 device 或銷售了一些部分，他持續的使用或發酵、影響力和運作，事實上會使機器永續存在。這後面的市場效益是存在的，也有助於我未來下一代產品的 delivery，例如我們目前是戶外機型，下一代是室內機型，有各種不同的需求會跑出來。我們其實是在 create 自己在這個業界上面的……說是名聲也好啦。……我不可能所有的產品都以營利來看待，我有一些策略性的產品，希望不只是對公司的 branding 有幫助，對整個社會也有幫助。²⁸ (受訪者 C2)

3. 可接受產品需要經過一段時間之發酵才能獲得利潤。

……應該說營利的方式不一樣，不可能有一個公司設定一個產品就是以不營利為目標，只是他的營利方式和需要多久時間去發酵才會開始轉為正向。(受訪者 C2)

4. 顧客不一定是終端使用者，也可能是政府等特定族群。

就 outdoor 的機種來看，我們一開始就不是設定由終端客戶 (end user) 來購買的概念，並不是把他放在譬如說 pchome 上面去做銷售。因為我們希望是一個廣域型的戶外安裝，所以如果是一個 end user 來買的話，你裝在住家的廚房，其實就跟我們設定的產品目標不一樣。我們設定的目標、target user，是政府機關之類的特定族群。(受訪者 C2)

5. 除可透過銷售產品而獲利，銷售服務或資料亦可能。

其實我們在推廣這個產品時，盡量不去推廣到 end user (就是說家用的人自己去買)，而是推廣到系統整合商 (SI)，讓系統整合商用租賃的方式，跟使用者收月費，因為這種產品其實是需要服務的 (例如定期維護)。由 SI 去推我們的產品比較有道理，他們可以去 target 某些族群，比如說去偵測辦公室環境、旅館、商場等室內的空氣品質，這樣的需求遠大於個體戶去看自己家裡面

²⁸ 所以受訪者 D2 認為訊舟是個「不正常的營利公司」，詳情請見本章第三節之貳部分。

的空氣品質是怎麼樣。我覺得，在這樣的模式之下，我們的收入就不會只有買斷的收入，而是在賣服務。……現在賣產品很難去做差異化，透過賣服務或雲端技術去做差異化，是我們認為未來重要的趨勢之一。(受訪者 C1)



貳、互動情形

訊舟空氣盒子開發、捐贈、維運、資料開放之過程中，與 LASS 社群、中研院及地方政府有所互動。在開發階段，訊舟從中研院資訊研究所獲得之幫助，小至感測器元件選用之建議、大至大數據之分析，亦於整體系統之建置及開發上與該所合作。在捐贈予地方政府階段，訊舟考量小學在空間分布上較為均勻，可因此使空氣盒子發揮更大效益，所以一開始即設定依據公立國小數捐贈空氣盒子，並與各直轄市之教育局洽談，請其協助發文通知學校。

畢竟這樣的布建是很大規模的，憑訊舟一己之力是很困難的。所以當初我們請教育局幫我們發公文，我們辦了很多次的教學、研討會，去教育所有學校不管是總務處或資訊組的老師，告訴他們怎麼安裝(其實這東西安裝難度真的非常低)，由教育局去協助他們。我們也花了一些客服人力去協助，如果安裝真的有問題，也有雲端的 desk help 去幫忙回應他們。(受訪者 C2)

在維運階段，訊舟於捐贈時曾承諾保固 1 年，2016 年第 1 批捐贈之空氣盒子已過保固期，訊舟希望政府有預算或開標案，以助維護、整新或汰換；而在政府資源未進場前，仍是盡可能協助排除障礙，並想辦法透過後端平臺減少現場所需人力或因人員漏未交接而導致機器從此失聯之情形。

我們目前設定的目標是希望生態能夠持續下去，我們一定是以上線率較低的地方，先進場替換跟 troubleshooting，看看他們中間遇到什麼問題。……所以為什麼我們現在著手下一個 stage 的講專案也好、標案也好，我們還是得設法讓他營運。(受訪者 C2)

我們其實就是看學校的配合。如果學校壞了，他真的配合，我們還是會盡量優先協助，如果是簡單的設定問題我們會協助，但如果真的是 device 掛在一個不正常的使用環境、風吹日曬，那我們可能就比較難處理。(受訪者 C2)

另外臺中市政府主動關注民間空氣盒子之數據，當數據異常時會聯繫教育局或訊舟，以瞭解該異常之成因(受訪者 A5)。



在資料開放階段，訊舟與中研院間有協議，其願意提供資訊予中研院，支持研究及社群（受訪者 B1）。此外，訊舟不諱言，LASS 社群是其行銷管道及資訊交換平臺。

這本來就是一個產官學和社群一起的合作案，我們彼此之間都沒有任何利益上的關係。我擁有的企業資源比較多，在這件事情上，我們在產業界的代表立場來講，我們可以快速 create 產品甚至生產行為等等。LASS 就是社群，對我們來說其實是一個市場 marketing 的一個發酵，一個網路上的行銷管道，協助去 deploy，在整個網路世界裡面讓這個生態活躍起來。（受訪者 C2）

……LASS 就是一個資訊交換的平臺。（受訪者 C1）

參、成果

訊舟認為，在空氣盒子產品尚未問世之前，一般民眾對於空氣品質不是很重視；而空氣盒子出現後，使民眾重視空氣品質（例如目前 EdiGreen app 每天使用量約 3 萬至 4 萬次），讓政府可以採取一些改善措施，或是讓民眾可以去避免接觸到空氣污染，有益健康、讓生活品質更好（受訪者 C1、C2）。

從地方政府之實際行為來看，空氣盒子確實受一般民眾及公部門之注意，可能是因為民眾之高度關注而使公部門必須同步關注，不論是主動關注，或是被動地、等有民眾陳情時才關注。以新北市為例，

有些民眾會透過訊舟的 APP 或網頁密集地關注空氣盒子，他們可能會看到數值之間的差異之後來詢問，或是向市府反映，問說有沒有去瞭解數值偏高的原因；或是民眾發現說為什麼原本這間學校的空氣盒子有數值，後來卻不見了，就想瞭解原因到底是什麼，然後就會到市府的陳情系統做反映。……（雖然空氣盒子非環保局所管）但畢竟是跟空氣品質資訊有關，所以我們還是會協助瞭解一下原因，看那是布在哪一間學校的空氣盒子，我們就會協助去跟校方聯繫，瞭解為什麼感測器沒訊號了？如果是供電中斷，那就恢復供電；如果是網路沒有訊號，那看是不是換個 Wifi 可以接收到的地點。（受訪者 A2）

再以臺中市為例，臺中市政府環保局每天都有同仁在線觀察布建於主要工業區及幹道 511 點感測數據之變化，同時也會關注民間空氣盒子之資訊。

……因為現在網路社群和平臺很多，也許他們會講到一些現象（例如我小孩的學校紫爆了，你們怎麼還在上體育課？）；如果我們能夠跟他們一起關注空氣盒子的話，當他們產生疑義的時候，我們政府第一時間比較好回

應。(受訪者 A5)

甚至為了關注學生健康，確保空氣盒子長期在線上並資訊公開，臺中市環保局環境檢驗科及教育局體育保健科自 2018 年 6 月起於 LINE 上建立空氣盒子異常通知之群組；此群組之附加功能是，若議員針對同樣議題分別質詢環保局及教育局時，雙方可以聯繫確認，以免引起爭議。

因為我們有在關注訊舟空氣盒子的數據，就發現有些學校的值常常異常，……，所以我就透過教育局去跟他們瞭解一下；……，也許他們不是負責環保業務，也都很忙沒有辦法關注這件事，所以透過我們環保局的提醒，也可以幫助他們掌握這件事情，或建議他們可以怎麼做，例如是否要送修、拆除或是更換新品。甚至我們也會把這樣的訊息轉達給訊舟知道，看這個設備儀器是不是壞掉，然後也許就會請使用者去送修，或是遇到問題的時候，問他們到底這樣的現象是什麼樣的問題。(受訪者 A5)

第三節 臺中（中部）原點計畫

壹、參與動機

受訪者 D2 分別於 2016 年 5 月及 2017 年 6 月發起 2 波訊舟空氣盒子認養計畫，訊舟以低於市價（3,490 元）之公益專案價（2,000 元）供應空氣盒子予受訪者 D2，有興趣認養之公民在填寫 google 表單表達認養意願後，再與受訪者 D2 以 2,000 元面交空氣盒子。第 1 波以臺中市為範圍，第 2 波擴及其他縣市（彰化、南投、嘉義、雲林、花蓮、臺東及澎湖等）甚至是海外（例如墨西哥、香港、泰國及中亞等），總共布建將近 260 臺。²⁹

受訪者 D2 關注臺中之環境已邁入第 17 個年頭，大約 3 年前，其主觀感受到臺中之空氣品質急遽惡化，使其開始關注空氣污染議題。受訪者 D2 陸續於媒體上看到一些學者建置簡易測站，又於 2016 年 4 月中旬臺中市政府環保局所辦之專家會議中聽聞有人提議要在該市大量布建簡易測站，與會專家卻認為技術層次可能仍有進步空間；其想布建簡易測站，以找回公民之環境知情權，亦期盼公民能依據

²⁹ 受訪者 D2 指出，截至 2018 年 6 月，布點數狀況如下：臺中 167 臺、彰化 42 臺、南投 14 臺、嘉義 6 臺、雲林 5 臺、澎湖 1 臺，另寄了 10 臺至臺東與花蓮。



空氣盒子感測所得之客觀數據、輔以主觀感受，積極地自我防護或調整生活習慣，於是發起第 1 波認養計畫。

我們推公益認養的目的之一，是要找回人民的環境知情權……。(受訪者 D2)

對政府最好的監督就是實實在在的科學數據，不會因為你是什麼黨就去扭曲操作這個數據。……微型測站（不特指空氣盒子這個商售品牌）作為公民科學最大的價值在於，他真實地呈現科學的數據，讓更多人民具體有感，不然都很主觀。(受訪者 D2)

……我鼓勵所有的認養人和朋友，看空氣盒子的客觀數據，然後感受不同空氣品質時的感受是怎麼樣。……如果汗會黏，就是空品不好，如果汗如水，就是沒有空污；……如果可以看到環山，那空品一定非常好，但如果大肚山是模糊的，數據就大概是 40、50，如果近的稜線或建築物都看不到，那一定是紫爆了。(受訪者 D2)

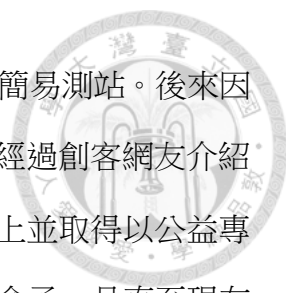
對我而言，我強調的是自我防護。……我常跟朋友講，如果你有選擇的話，家庭旅遊全年都去東部絕對沒有問題，夏天因為吹南風，南部的空品會非常好，反而北部不好，所以就盡量到南部，而秋冬就盡量到北部。也例如，我跟我太太很喜歡慢跑，但如果數據 35 以上，我們不會去慢跑，以下才考慮去，當然數字越低更好，不要笨到紫爆了還去慢跑路跑。……希望用這個客觀的數據，去通盤瞭解造成數字高低的原因，並去調整生活習慣……。(受訪者 D2)

後來之所以繼續發起第 2 波，一來是因為後來陸續出現空氣污染預報之系統，受訪者 D2 認為，簡易測站密度越高，理論上分析和預報之準確度應也會提高，所以希望可布建地更均勻；二來則是因為發現布點有城鄉差距，所以往南投、雲林、彰化、嘉義等地推廣。基本上，D2 憑藉的是一股熱情：

……不是只有布建空氣盒子而已，而是希望由下而上，讓這樣的空污意識種子各地萌芽或至少在臺中市遍地開花，這樣的心意是為了下一代。……那是真正由下而上的公民運動、公民科學。將來產出來的價值，我也不知道，可是在這個當下，我已經享受到這個成就了，就很微妙，這樣的成就感會讓我想一直做下去，他不是一個工作而已，他是一個享受。我願意花很多時間去闡述這個，很辛苦，可是不會累。就很微妙，我也不知道，我不會解釋。(受訪者 D2)

貳、互動情形

受訪者 D2 在推廣空氣盒子之過程中，主要與 LASS 社群、訊舟及認養人維繫良好之互動，以下分述其與這些行為者之互動。一開始，受訪者 D2 自行上網購買



材料包，在創客（maker）網友之協助下組裝並布建 5 臺、10 臺簡易測站。後來因覺得藉此掌握空氣品質之效果不錯，希望在臺中遍地開花，輾轉經過創客網友介紹 LASS 社群、LASS 社群中受訪者 B1 牽線，而與訊舟科技聯繫上並取得以公益專案價（2,000 元）購置空氣盒子之共識；後陸續向訊舟購買空氣盒子，且直至現在亦持續保持聯絡，以使用者需求之角度提供精進系統之建議。

我 2016 年跑去參加 LASS 年會，……。我當天向 B1 提 2 個需求，……。我知道臺北有空氣盒子，那時候又還沒商售，所以問說可不可以介紹空氣盒子的廠商給我？隔天 B1 就介紹訊舟的 PM 給我，……。我說我預計買 100 臺，他們也嚇一跳……。之後我就提個要跟他們買機器的 proposal，我跟他們說，我不是營利單位而是公益計畫，所以希望價格不要訂太高而讓我有財務壓力，所以希望用 2,000 元的公益認養價購買（因為 B1 跟我講，成本大概 2,000、3,000 元左右）。他們答應用這個特別的公益專案價，……，還有我得先付現金，貨才會到，所以我只好跟我太太商量解定存 20 萬左右。……我現在是 20 臺、20 臺買，一箱一箱這樣做庫存，隨時都有貨，像我家裡現在 10 幾臺，有人願意來投入就來找我。（受訪者 D2）

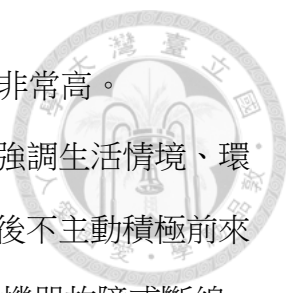
其實目前為止，我跟訊舟科技的 PM 還是有透過 LASS 的平臺在交流，或是私底下 message，我們「許願」、提供 end user 的需求讓他們精進系統。但這方面幾乎是無償，只能靠廠商的公益思維，哪時候能夠達成也不知道，如果達成就是賺到了。……訊舟科技是一個很不正常的營利公司，我下單當時 app 還沒有出來，我跟業務說我們希望的 app，後來就真的 release 出來，讓我們嚇一跳，甚至後來還一直改版，連 LASS 的、官方測站資料、風向風速都納進來。（受訪者 D2）

受訪者 D2 於 2016 年 5 月底向訊舟下訂單之後，其鎖定利基族群（以親子共學團為主）去推廣。據其觀察，會自願來參與認養計畫之公民，絕大部分是對空氣污染很有感、特別關心或注重空氣品質者，而其中大約 3 成至 4 成是親子共學團之夥伴，屬於積極之公民。

親子共學團積極地投入所有的環境運動和公共議題，像護樹、空污、多元教育、性別平權，我們認為那才是真正的生活教育和公民教育……。所以空氣盒子的布建才會鎖定親子共學，我不用再去溝通、解釋了……。我願意行動，他們就來協助……。（受訪者 D2）

為彰顯空氣盒子作為公共財之價值，確保其能持續運作、發揮效益，受訪者 D2 自謂其於接受申請認養之階段，有些「龜毛」之堅持。例如：

1. 認養人必須透過 google 表單申請認養，因為若認養人連 google 表單也不



會填寫，空氣盒子網路故障一定也不會處理，失聯機率非常高。

2. 認養人原則上必須親自面交領機，因為 D2 會藉此機會強調生活情境、環境正義及空氣盒子作為公共財之概念；且若認養人填單後不主動積極前來領取，通常機器也較可能失聯，因可設想到，日後若是機器故障或斷線，認養人應該也同樣不會採取行動。
3. 要求認養人必須將空氣盒子裝在適當地點，須放在非室內、半開放式、空氣流通之處，又要避免直接淋雨，以免數據失準；同時還需要具備 110V 之室外供電及穩定之 Wifi 連線。

……即便我們這樣呼籲，還是有好幾個室內機，數據很明顯，那個真的浪費資源，但也沒辦法，因為這是個公民認養。(受訪者 D2)

因為這樣的堅持，那時上線率可以到 9 成以上，反而現在我們有一點怠惰，現在大概 5 成已經很低了。……但終究其實還是要看認養人，你自己的機子都不關心了怎麼辦？這需要很積極的公民，所以我找利基族群去做，都在同溫層所以很好溝通。(受訪者 D2)

而空氣盒子布建完成並上線後，受訪者 D2 鼓勵認養人將空氣盒子所測得之空氣品質狀況截圖下來，併同說明其生活周遭情境，上傳至臉書或透過 LINE 分享。

原因在於：

……如果大家看到那邊一個紫爆，一般使用 app 的人一定不知道原生污染源因素是什麼；但因為我是認養人，我很清楚可能是我家隔壁阿伯在燒落葉，或隔壁剛好在拜拜、燒金紙，應該把這個情境跟大家講，不然大家會恐慌。而如果是一個區域型的原生大污染(例如資源回收場在燒東西)，那邊的 5 臺、10 臺數據都會異常。(受訪者 D2)

參、成果

受訪者 D2 認為，推動臺中（中部）原點計畫之 2 個目的皆已達成。首先，在找回人民之環境知情權並據以自我防護部分，所謂環境知情權之內涵有三，一是引起公眾注意，二是顛覆「市郊之空氣品質比市區好，山區之空氣品質比市區好」之傳統認知，三是官方撒謊時可戳破其謊言。而在有了客觀之數據後，公民即可據以



判斷是否要進行慢跑等戶外活動。

……臺灣的空污可能南部比較嚴重，臺中次之；可是這 2 年來，空污的新聞和焦點似乎全部在臺中，我主觀地認為，空氣盒子的布建和這樣的傳播機制可能是關鍵因素。(受訪者 D2)

……(市郊之空氣品質比市區好，山區之空氣品質比市區好)其實不一定，要看時間。臺中白天吹海風、晚上吹陸風，在秋冬空污期我們可以很明顯看到，如果紫爆早上 7、8 點在海線的話，透過海風，差不多 11 點就到大肚山麓，中午跨過大肚山往臺中盆地吹，下午 3、4 點就到東邊的山了，晚上 8、9 點換吹陸風，又把空污往盆地推。(受訪者 D2)

如果吹東北季風時，北高都沒事，結果臺中紫爆，那怎麼可能是境外移入？(受訪者 D2)

其次，在期盼感測所得數值可由專家進行分析與應用部分，亦已有相關系統問世。

在我們第一線布建、盡公民義務，產生數據後，B1、D1、LASS 和很多專業人士就能發揮他們的專業。例如 g0v、B1 團隊或訊舟 app 之類各個系統，那是我們賺到的。(受訪者 D2)

雖已有上述之效益，但受訪者 D2 仍感覺一般市民對空氣污染可能還是無感，從訊舟 EdiGreen app 下載次數僅幾萬次即可窺見一斑；因此，在布建感測器之外，更應持續推廣對感測所得資料之關注。

……我們覺得，因為基礎的空氣盒子已經有了，我們希望把效益更發揮，讓更多市民去理解、使用、善用這個系統。以我們民間有限的資源，我們現在印貼紙去推使用量，比去推空氣盒子建置，效益會更高。(受訪者 D2)

第四節 環保署前瞻與試點計畫

本節所涉之空氣品質微型感測器，屬我國室外空氣品質感測體系中之第 3 階層「智慧城市感測點」。環保署先於 2016 年至 2017 年推動「智慧城市簡易空氣品質感測網資料服務計畫」，於桃園觀音工業區（100 點）、新北市鶯歌區（78 點）及高雄市大林蒲地區（22 點）共試點布建 200 點，再於 2017 年至 2020 年辦理「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」，將廣於全臺布建共 1 萬 200 點。2 項計畫中涉及本研究所訪直轄市之布建地區、點數、地方是否須分擔經費及完成年度整理如表 11。

表 11 空氣品質微型感測器布建計畫中涉及所訪直轄市之工作內容

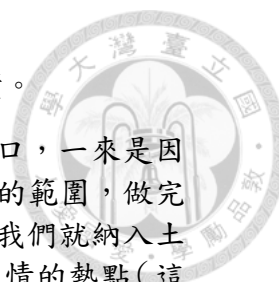
計畫	直轄市 (部分)	布建地區	布建 點數	地方是否 需分擔經費	布建完成 年度
智慧城市 簡易空氣品質感測網 資料服務計畫	桃園市	觀音工業區及其周邊	100	否	2017
	新北市	鶯歌	78		
環境品質感測物聯網 發展布建 及執法應用計畫	臺中市	主要工業區、 工業區周邊社區、 重要道路	511		
	桃園市	平鎮、龜山、大園、 觀音等工業區， 華亞科技園區， 龍潭科學園區	400	是	2018 (預定)
	新北市	土城、樹林、 三峽、林口	100		

資料來源：本研究整理自行政院環境保護署（2018c）、柏昇企業股份有限公司（2017）、科技部等（2017）及訪談內容（受訪者 A2、A4 及 A5）。

壹、參與動機

政府基於 4 個原因而推動相關計畫，包含：「物聯網科技突飛猛進且布建成本降低」、「民眾對於日常空氣品質資訊需求殷切」、「高污染天氣需精準預測以利緊急應變」及「民眾陳情環境污染事件仍然居高不下」（科技部等，2017：4）。簡而言之，乃因空氣污染問題深受國人重視，且國人有獲得高時空解析度空氣品質資料之需求，而物聯網科技亦已發展出滿足此需求之解決方案。

整體來說，地方政府向環保署爭取或配合布建空氣品質微型感測器之主因，在希望透過分析感測所得資料，更為精準地掌握污染模式、時間與熱區，再派員實地瞭解是否確有污染發生，期能驅動智慧稽查，有效運用稽查人力及發現違規情形；而民眾對污染之陳情，可能是促使地方政府必須採取措施之原因之一。首先就新北市之案例而言，當初之所以優先選擇鶯歌設點，乃因鶯歌無自動監測站，且會燒東西、產生懸浮微粒之磚瓦窯業也較多，亦是民眾陳情熱區，新北市政府環保局因而希望透過微型感測器之布建與監測，獲得可參考之具體數據，用以掌控及瞭解污染源之變化；而若是發現某個感測點數值長期異常偏高，會再去瞭解成因（受訪者



A2)。未來設點時，污染熱區及民眾陳情熱區亦是重要考量因素。

2018 年要布的 100 點目前規劃設在三峽、樹林、土城和林口，一來是因為鶯歌區已經有了 78 個感測器，我們想從鶯歌擴散到附近的範圍，做完整區域的布建，而土、樹、三、鶯在地區上比較接近，所以我們就納入土城、樹林、三峽，再加上林口；二來是因為這些地區是民眾陳情的熱點（這也是我們面臨的主要外部壓力），這可能是因為這些地區污染源比較密集，而且民眾剛好距離污染源也不遠，例如可能就住在工業區或工廠附近。（受訪者 A2）

其次就桃園市之案例而言，


（我們）每個月都會例行性地分析，配合當月盛行的風向去看污染的模式，看上游是什麼、有哪些污染熱點；我們會把數據特別高的前百分之多少的幾個點抓出來看，大概可以篩出 3 到 4 個點，我們就會實際去現場巡查。……光看數據比較難判斷是機器本身有問題，或真的是有污染發生而使數據偏高，必須去實地看才可能知道為什麼會有異常發生。（受訪者 A4）

最後就臺中市之案例而言，臺中市政府環保局掌握到中央政策後即積極向環保署爭取至臺中市布建，主要是希望能增加臺中地區空氣品質資料之解析度，並藉由觀察工業區等污染熱區之排放情形，驅動智慧稽查，以降低稽查人力不足之影響。

當我們掌握到環保署有這樣微型感測器的政策之後，我們就跟環保署積極地來申請、爭取，讓他們來臺中市布建、裝設。這主要是考慮到，目前感測器的技術已在發展中，而且整個臺中市的空氣品質測站有限（環保署 5 站、環保局自設 6 站、台電 5 站，總共 16 站），所以我們想要增加空氣品質解析的能力。另一方面，環保署會這樣布建，有一部分是希望做智慧稽查，就是希望布建在一些比較高污染或工業區的地方，去觀察工業區的排放情形，我們覺得這部分可以來輔助我們稽查人力的不足。（受訪者 A5）至於（2017 年布建完成的）這 511 個站點的選定，環保署有給建議，但最後決定的還是地方政府。環保署建議的 4 大標的是工業區、受工業區影響的周邊社區、重要道路，和其他地方政府想放的地方；臺中市最後鎖定的點就是工業區、工業區周邊和幾條重要道路，臺中市主要的工業區在這 511 點裡面基本上都包含進去了。布點時，我們有把污染源熱區和陳情熱區一併考量進去。（受訪者 A5）

貳、互動情形

2 項計畫推動過程中，桃園觀音工業區、新北市鶯歌及臺中市之布點，全部經費係由環保署負擔，委託廠商辦理相關事宜，因此主要涉及「中央與地方政府」及「政府與受委託廠商」間之協力。以下分別分析上述 3 案例中主要行為者之互動。



首先就桃園觀音工業區案例而言，桃園市政府環保局大約自 2016 年 8 月開始執行，至 2017 年 4 月測試後正式運作。其間，該局負責尋找安裝點位並辦理與工業區服務中心簽約事宜，經濟部工業局負責聯繫觀音工業區內維護路燈之廠商，受環保署委託之廠商則負責安裝感測器。對該桃園市政府環保局而言，經費因由環保署支應而不成問題，最大之挑戰乃是溝通與協調出布點之位置相當耗時，約費時半年，相較之下實際布建僅費時約 1 個月。一開始，該局希望布點於某些比較可能產生 PM_{2.5} 污染之工廠中，但因各工廠之工安流程不同，需一一協調且難以施工而作罷；後來經過討論，覺得設於路燈上或許可行，而觀音工業區之路燈由該工業區服務中心所管，該局於是直接與工業區服務中心統一對口聯絡，於簽訂租借路燈之合約後始得順利安裝。

在計畫推動的過程中，最需要的就是時間。因為要一直去協調，就很花時間，真的太久了，行政協調真的是最難的。……最一開始是先跟工廠協調，因為最直覺的就是放在有污染的地方，就是工廠；但因為每個工廠工安的流程都不一樣，假如說要裝 1 臺，每家都要講 1 次，裝 100 臺，就要不斷拜訪協調講 100 次，真的很耗時，而且很難施工，所以大概 2016 年 10 月就換跑去和工業區服務中心討論。和服務中心接洽後，因為環保局和服務中心還要簽合約，就要有個紙本的東西說我跟你借這個路燈，把微型感測器附掛到路燈上，中間資料又退來退去，也是弄很久，大概到 2017 年 2 月、3 月才簽好。但簽好之後還要施工，100 個不是 1、2 天就可以弄好的，簽好約後承商才能開始安裝，裝設大概耗時 1 個月。(受訪者 A4)

跟行政協調相比，裝設本身並不是太困難的事。路燈下面都有一個電源控制，反正就是上面打一個洞，把空品盒子掛好，線再拉下來、接起來就行了。只是前面幾個裝設會比較久一點，因為沒有人裝過這東西，而且工業區維護路燈的廠商和裝盒子的廠商不同家，他們就要一起討論要怎麼裝；鑽孔是路燈維護的廠商要弄的，設備商是在現場說要怎麼裝、高度有沒有對之類的，他們兩家要一起在現場才可以裝那個東西。像我們大概前 2 次有去現場瞭解看要怎麼裝，後面就會快一點。(受訪者 A4)

其次就新北市鶯歌案例而言，因新北市政府環保局乃配合環保署辦理，僅是協助之角色，所以覺得執行過程中並無碰到特別之挑戰，主要是和受環保署委託之廠商合作即可。

……環保署那邊的得標廠商就需要跟我們做一些溝通，譬如說應該設哪裡、怎麼設。當初預計要掛在哪幾根路燈上是局裡面建議，請廠商掛上去；但實際上去掛的時候可能會碰到一些困難，比如說腹地不夠(因為必須要有高空作業車，才可以把感測器附掛到燈桿上)，他們就會跟局裡面反映，

再選擇合適的地點去做布建。另外，因為路燈的維護廠商和去裝盒子的廠商是不同的，所以他們之間也是要做個協調。(受訪者 A2)

最後就臺中市案例而言，在計畫執行之前，環保署曾召會分享桃園觀音工業區之經驗；而在執行計畫過程中，臺中市政府環保局與其他行為者互動或協力之情形，可分為「建置」和「資料運用」2 階段討論。就建置階段而言，在「附掛電桿」部分，需先知會工業區之管理單位（經濟部工業局之工業區服務中心、科學園區屬中科院管理局、臺中市政府南屯工業區屬市府經發局）及路燈之管理單位（市府建設局），再請環保署委外廠商來布建；而在「用電需求」部分，則需瞭解用電量並知會電力維護廠商。

……不過有時候到現場會勘，因為我們之前也有上過新聞，所以有些民代會來瞭解一下我們在做什麼，或是民眾就想說要放在哪個地方。因為我們布點量是多的，所以就可以配合一下，反正原則上大概平均 300、500 公尺 1 個間距。布建時並沒有碰到太大困難。(受訪者 A5)

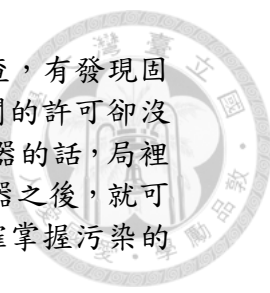
因為我們去用別人的電，就要考量用電會不會超過包燈制的額度，超額就要多付費，後來還好沒有超額……。再來，政府機關也是委外做電力的維護，所以要讓這些廠商知道這是公部門對公部門接電，不然他們會以為是盜電，就把你剪掉，就要加強聯繫；但到現在還是會有不小心剪斷的，因為廠商的工人不是很清楚啊。(受訪者 A5)

就資料運用階段而言，在「異常熱區稽查」部分，需和環保稽查單位（環保局、環保署督察總隊）合作；在「大數據分析」部分，雖曾有做數據演算之科技廠商想協助，但因環保署目前尚未將資料開放，所以該局無法分享相關資料，並希望日後有民間企業或學術單位協助分析。

參、成果

至於布建這些微型感測器之成效，受訪者普遍給予肯定。意即，先分析感測所得資料，找出異常情形，可更明確掌握污染之可能範圍，再進行實地瞭解，以更有效運用稽查人力及發現違規情形。

……我們每個月都例行會做長期分析。數值會有高有低，我們就是找看有沒有重複的情形，配合當月盛行的風向去看污染的模式，看上游是什麼、有哪些污染熱點；大概可以篩出 3 到 4 個點，我們就會實際去現場巡查。……環保署有時候會找我們一起去稽查，他們會把他們分析好的東西給我們，就是找個時間大家一起去，但最近是比較少一點。(受訪者 A4)



我們從 2017 年到現在，有實際運用到感測器的資料去做稽查，有發現固定污染源沒有照許可的規範在操作，或是應該取得環保機關的許可卻沒有取得許可就進行操作之類的情況。……如果沒有這些感測器的話，局裡面會很難抓得到，因為這些污染可能都在暗地裡；有了感測器之後，就可以讓我們觀察這個地方好一段時間，也可以幫助我們更明確掌握污染的可能範圍。(受訪者 A2)

如果看到一些異常的狀況，我們會去看趨勢是不是持續很久居高不下，再通知稽查大隊派員到現場瞭解一下，主動出擊。……環保署的介面裡面，除了有感測器的位置外，也有標定污染源的位置，我只要 switch 一下，這些污染源就會出現。像我昨天就發現在中港加工出口區，上風處是綠色的，但下來之後顏色就紅一片，這就代表這位置可能有污染。我就趕快把工廠位置打開，跑出幾家工廠，我就把這些工廠轉給稽查大隊長，他就派人去現場看；但我說這些只是給你參考，我不是在檢舉他，因為我不知道他有沒有在操作。後來他們到現場，發現有 2 家沒有在操作，有 1 家塑膠工廠有在操作，所以這家塑膠工廠就是未來我們稽查人員要特別關心的。(受訪者 A5)

第五節 中研院與學校前瞻計畫

本節所涉之空氣品質微型感測器，屬我國室外空氣品質感測體系中之第 4 階層「校園與公民科學感測器」。事實上，「空品物聯網產業開展計畫」由科技部、經濟部、教育部、中研院及國網中心共同辦理，而由中研院及教育部共同辦理之空氣品質感測點布設及汰換事宜，僅為該分項計畫之一部分(各工作項目及權責單位詳參表 12)，並預計於 2017 年至 2020 年於各地學校布建及汰換共 1 萬 100 點，2017 年已於嘉義縣市、雲林縣、新竹市及金門縣共布建 500 點。

表 12 「空品物聯網產業開展計畫」之工作項目及權責單位

項次	工作項目	權責單位
1	空品感測元件、模組國產化	經濟部技術處 經濟部工業局 科技部工程司
2	強化場域布建及實證	中研院 教育部
3	建構空品分析及預報模式	科技部自然司 國網中心
4	空品物聯網運算營運平臺	國網中心
5	空品物聯網推動及資源整合	空品物聯網專案辦公室 (環保署為主)

資料來源：本研究整理自科技部等 (2017: 31-74)。



壹、參與動機

促成此計畫之原因有二，一是空氣盒子之壽命大約 2 年，訊舟當初於 2016 年捐贈之空氣盒子已屆汰換之時，後續維運機制待建立；二是訊舟僅捐贈空氣盒子予 6 直轄市，其他無空氣盒子縣市之民眾需求尚待照顧。

政府現在投入，可能有一些考量：針對那些目前還沒有被布到的地區去投入資源，照顧到整個臺灣；希望布建可以比較 organized，不要很零散地一個一個冒出來；如果依靠民間捐贈，機器壽命到了後沒有人負責。由政府來接手，讓他變得慢慢上軌道，這是一個方法。(受訪者 B1)

在推動空氣品質感測點布設及汰換之同時，考量核心感測器為大陸製(攀藤)，作為物聯網時代裡最賺錢、一切創意起源點之感測器，臺灣卻沒有人做，只是拿元件出來做系統整合，政府便希望能夠同時扶植臺灣之硬體廠商投入感測器製造。

盒子我和 maker 和訊舟都會做，不能說訊舟做的只是殼比較漂亮、可防水這樣而已，而是裡頭一定要有些人家不能 copy 的東西（例如說資安的要求、感測器要做成模組化可抽換），在國際上才有競爭力。……政委的概念是，他要的是一個產業發展、產業推動計畫，帶動的是整個物聯網產業，希望是從感測器（工研院現在正研發 PM_{2.5} 感測器）、系統整合、布建、資料蒐集（國網中心）與應用（科技部自然司要用 AI 人工智慧去做模式預測）的 total solution，之後這東西可以外銷，所以後來就變成這樣一個很大的前瞻計畫。……但現在會發現其實有一段好幾年的落差必須要追回來，這個不容易，真的不容易，很難。(受訪者 B1)

貳、互動情形

布設及汰換之地點為校園及社區，在校園部分，中研院主要與地方教育局、學校及民間得標廠商互動；在社區部分，則是透過 LASS 之社群經營與參與，布得多更廣。

我們 2017 年在嘉義縣、嘉義市、雲林縣、新竹市和金門縣布的 500 點，是由訊舟得標，目前是只有訊舟投標，但未來未必是。他們會想辦法在捐贈 6 都之後，讓生態系維繫下去。……今年其他縣市全部都要裝，……；因為我都裝學校，所以我都找教育局。(受訪者 B1)

官方現在找我做前瞻計畫，看中的其實是社群經營和社群參與，因為政府就是希望讓民眾有感，LASS 很迷人的地方就是因為這是社群參與，是由下而上長出來的一個系統，所以他們找我做的時候希望能繼續經營這一

塊，做得更大。(受訪者 B1)



參、成果

因為我們難以期待以營利為目的之民間企業會無限期地捐贈與義務維護下去，故若無政府資源挹注，在訊舟 2016 年捐贈之空氣盒子需要維修時或壽命到期之後，此空氣品質微型感測網絡恐難以繼續運作下去，且 6 直轄市以外之區域更是無從獲得高時空解析度之空氣品質資訊。因此，此計畫可謂透過維護或汰換，維持空氣盒子一定之上線率，延續既有空氣品質微型感測網絡，並因進入校園而具有教育意義。

具體而言，為提高空氣盒子之上線率，今年暑假過後預計採取 2 種措施，一種可能較為有效，即將空氣盒子之安裝及維護納入地方政府之資訊設備標案；另一種則應較有教育意義，即和交通大學服務學習結合，理工科學生數人 1 組認養 1 個學校，於學期初安裝空氣盒子，接著於學期中帶入環境教育或創客教育，並做資料分析 (受訪者 B1)。同時，

我覺得現在透過這個計畫，是讓微型感測器進入學校、教育單位，希望是影響下一代，讓下一代更重視環境議題，讓他們看得到數字，不是空談而已。……微型感測器測到的資料，可用於環境教育、提升環境意識，還有很多，但我覺得環境教育、對下一代的宣導就很夠了。(受訪者 B1)

第六章 結論與建議



第一節 研究發現

本節總結第五章所述各案例重要行為者之參與動機、彼此互動情形與案例之成果。首先就參與動機而言，公部門、民間企業和公民社會分別考量政策目的、利潤及理念而決定投入或參與空氣品質微型感測相關案例。具體而言，地方政府係為掌握污染情形並進行智慧稽查；訊舟期盼先透過捐贈，未來一段時間後可透過服務政府等特定族群而獲得利潤，並嘗試同時兼顧公共利益；而公民社會則基於特定理念而行動，如「臺中（中部）原點計畫」發起人期盼藉此賦予公民環境知情權，並據以積極自我防護與調整生活習慣，又如 LASS 單純希望透過開源方式，將環境感測資料顯示於地圖上。至於在公民社會發起之案例中，受號召者則是因為認同發起人之理念而參與。

其次就參與者彼此之互動情形而言，由公部門發起之「環保署前瞻與試點計畫」，較偏重於「中央與地方政府間」及「政府與受委託廠商間」之互動；而公民社會發起之「臺中（中部）原點計畫」及「LASS 專案」，則較偏重於社群內公民之互動，頂多與民間企業合作。至於由公部門研究機關發起之「中研院與學校前瞻計畫」及由民間企業發起之「訊舟捐贈 6 都專案」，則同時與公部門、民間企業及公民社會進行互動。

最後就案例之成果而言，「中研院與學校前瞻計畫」、民間企業發起之「訊舟捐贈 6 都專案」及由公民社會發起之「臺中（中部）原點計畫」與「LASS 專案」，咸認為成果在使民眾知情並可據以調整自身行為、有教育意義，同時促使政府必須採取改善空氣品質之措施以回應民意；而在由政府發起之「環保署前瞻與試點計畫」中，地方政府則認為如此有助於其掌握污染情形並進行智慧稽查，可有效運用稽查人力及發現違規情形。綜上所述，我國空氣品質微型感測主要案例中重要行為者之參與動機、彼此互動情形與案例成果整理如表 13。

表 13 我國空氣品質微型感測主要案例中之參與動機、互動情形與成果

案例		環保署 前瞻與試點計畫	中研院與學校 前瞻計畫	訊舟捐贈 6 都	臺中（中部） 原點計畫	LASS 專案
參與動機	發起人	感測器定位： 第 3 階層 「智慧城市感測點」	感測器定位： 第 4 階層 「校園與公民科學感測器」 1. 機器壽命將屆 2. 區域均衡	兼顧獲利+公共利益： 1. 方向：IoT+空氣品質 2. 手段：捐贈 3. 獲利時間：需發酵 4. 顧客：政府等特定族群 5. 獲利來源：產品+服務/ 資料	1. 第一波： (1) 主觀感受空氣品質惡化 (2) 盼找回公民環境知情權 並自我防護 2. 第二波： (1) 盼協助提升預報準確度 (2) 布點有城鄉差距	單純理念： 把環境感測資料 顯示在地圖上
	受號召者				1. 利基族群（親子共學團） 2. 關心空氣品質者	1. 開放精神 2. 不碰金錢
互動情形		中央與地方政府、 政府與受委託廠商 1. 桃園：環保局、經濟部工業局、 環保署委外廠商 2. 新北：環保署委外廠商 3. 臺中： (1) 建置階段： A. 附掛電桿：工業區及路燈管理單位、 環保署委外廠商 B. 用電需求：電力維護廠商 (2) 資料運用階段： A. 異常熱區稽查：環保稽查單位 B. 大數據分析：盼企業或學界協助	地方教育局、 學校 及民間得標廠商	1. 開發時：中研院 2. 捐贈時：地方政府教育局、 研考/資訊單位 3. 維運時：地方政府、學校 4. 資料開放時：中研院 5. LASS 社群：行銷管道 及資訊交換平臺	1. 網友→LASS→受訪者 B1→ 訊舟 2. 和認養者：面交、灌輸觀念。 3. 和政府：很少，且多是磨擦	LASS 社群 作為異業結合之平臺
成果		1. 分析資料，找出異常 2. 限縮範圍，實地瞭解 3. 有效運用稽查人力及發現違規情形	1. 延續既有空氣 品質微型感測 網絡 2. 因進入校園而 具有教育意義	使民眾重視空氣品質： 1. 政府採取改善措施 2. 民眾避免接觸空污	1. 環境知情權+自我防護：引起 公眾注意、顛覆傳統認知、戳 破官方謊言 2. 感測所得數值可供專家加值 應用	1. 國內：產生關注空氣 品質之民意，使 政府須採取措施 2. 國外：因由下而 上、分布廣、數量 多，而引起重視

資料來源：本研究整理。

第二節 綜合討論與政策建議




上一節已總結我國空氣品質微型感測主要案例中之參與動機、互動情形與案例成果，本節將進一步分析各案例屬於「公私協力」或「以群眾外包手段實踐公民科學」之模式，並探討各案例所面臨之挑戰及案例間之競爭合作關係。

在分析各案例屬於「公私協力」或「以群眾外包手段實踐公民科學」模式之前，先扼要回顧三者之內涵。所謂「公私協力」，係指公部門與非公部門行為者共同參與公共政策之規劃或執行過程，不論參與之頻率或涉入程度皆可屬之。而「群眾外包」係指，為獲得解決問題之對策，由個人或組織發起，透過網路公開號召線上群眾自願投注資源以完成特定任務，且群眾可獲得回報；寬鬆一點來說，若是參與不在網路上，或人們看守感測器以確保感測器自動化感測並上傳資料，亦可屬之。至於「公民科學」，則指公民投注資源以參與科學活動。

5 案例中最早發展者為始於 2015 年 12 月之「LASS 專案」，其係以群眾外包手段實踐公民科學。原因在於，「LASS 專案」當初由公部門學界（中研院）人士 B1 及產業界人士 D1 發起，透過 LASS 線上虛擬社群號召群眾投入微型感測器之開發及布建，希望能夠感測空氣污染，蒐集科學數據，並將值顯示在一個大範圍區域之地圖上；在此過程中，LASS 夥伴須自行購買元件，投入時間進行組裝、程式碼及網路相關設定，並確保供電及網路穩定，若發生障礙亦須自行設法排除。此處有 2 個問題需進一步探究，一是既然是由公部門學界人士及產業界人士共同發起，難道不算是公私協力模式？二是參與群眾獲得什麼回報？就第一個問題而言，雖然本案例確實由公部門學界人士及產業界人士共同發起，但行為者在社會上本就有多重身分，在 LASS 社群中，2 人並非代表其所屬組織，因此視 2 人為關心環境議題之「公民」可能較為恰當。就第二個問題而言，雖然無從一一探詢眾參與者各異之動機，但因為 LASS 本身沒有經費，至少可確定參與者並非想藉此直接從 LASS 社群身上獲得金錢報酬。

在「LASS 專案」之後，於 2016 年 3 月開始之「訊舟捐贈 6 都專案」則屬於



公私協力模式。原因在於，此專案係由訊舟主動發起，6 直轄市政府接受捐贈，並提供國小及少數公家機關作為布建場域。或許在訊舟捐贈之前，空氣品質微型感測並非公共政策，但 6 直轄市接受捐贈時紛紛表示支持，顯示如此議題及措施已開始受到重視。

此後，「臺中（中部）原點計畫」於 2016 年 5 月啟動，其如同「LASS 專案」，係以群眾外包手段實踐公民科學。其實，發起人（受訪者 D2）於計畫啟動前，於 2016 年 4 月即先如 LASS 夥伴，自購相關元件組裝感測器，後來因覺藉由感測器客觀數據掌握空氣品質之成效不錯，而決心推動此計畫。此計畫中，發起人係同步透過網路及既有人際關係網絡（親子共學團），號召公民自費認養訊舟空氣盒子，期能藉此提升公民之環境知情權；而參與之公民所獲得者，即為可掌握自己常處處所之 PM_{2.5} 數據，據以調整生活型態及決定是否進行戶外活動，以減低 PM_{2.5} 對健康所造成之危害。事實上，欲達成知情並因應之目的，並不一定得自行購買空氣盒子不可，若是周遭已有布點，「搭便車」逕行參考即可；但這些公民仍願意積極採取行動，自費 2,000 元購買空氣盒子。

至於「環保署前瞻與試點計畫」及「中研院與學校前瞻計畫」2 計畫，係由政府投注經費，簽訂合約委託民間廠商進行布點、汰換及維護，以達成政策目標，自屬公私協力模式。就其中之試點計畫而言，其於 2016 年 3 月 17 日公告招標、5 月決標、6 月開始執行，若考量準備招標文件所需時間，其啟動時間難謂落後，但第一批微型感測器直至 2017 年 4 月始於觀音工業區布建完成。

綜上，可知空氣品質微型感測領域中，有「公私協力」及「以群眾外包手段實踐公民科學」2 種模式（整理如表 14）。在 LASS 專案問世後（屬以群眾外包手段實踐公民科學），訊舟嗅到物聯網相關商機，鎖定政府為顧客並先行捐贈，期望日後可帶來效益（企業捐贈予政府，屬民間驅動之公私協力）；而某些公民看到 LASS 及訊舟之案例，基於對環境議題之關懷，也隨之投入（屬以群眾外包手段實踐公民科學）；在 LASS、訊舟及公民社會相關案例進行之同時，政府亦決意投入（公部門委外辦理，屬公部門驅動之公私協力）（時序整理如圖 10）。

表 14 我國空氣品質微型感測主要案例之基本資料、參與者及互動模式

案例		環保署 前瞻與試點計畫	中研院與學校 前瞻計畫	訊舟捐贈 6 都	臺中（中部） 原點計畫	LASS 專案
開始時間		試點：2016 年 3 月~6 月 正式：2017 年 9 月	2017 年 9 月	2016 年 3 月	2016 年 5 月	2015 年 12 月
布建範圍		試點：觀音、鶯歌、大林蒲 正式：全臺	全臺	6 直轄市	臺中（中部） 地區為主	全臺
感測器來源		受委託之民間廠商	受委託之民間廠商 （但目前都是訊舟）	訊舟	訊舟	LASS 創客版
規模		試點：已布建 200 點 正式：已布建 511 點， 目標 4 年 10,200 點	已布建約 498 點 （占 2,734 點*中 之 18.22%） 目標 4 年 10,100 點	已布建約 1,376 點 （占 2,734 點*中 之 50.33%）	約 148 點 （或 260 點） （占 2,734 點*中 之 5.41%）	120 點
發起者		公部門		民間公司	公民社會	
主要 參與 者	環保署	V				
	地方 政府	教育單位（含學校）		V	V	
		環保單位	V		V	
		研考或資訊單位			V	
	中央研究院		V			V
	訊舟科技股份有限公司		V	V	V	
	環保署委外廠商	V	V			
LASS 社群					V	
臺中（中部）原點社群				V		
互 動 模 式	公私協力	V 公部門委外辦理	V 公部門委外辦理	V 企業捐贈予政府		
	以群眾外包手段 實踐公民科學				V 僅使用層面	V 開發且使用

*此總點數已扣除韓國空氣盒子點數。

資料來源：本研究整理。

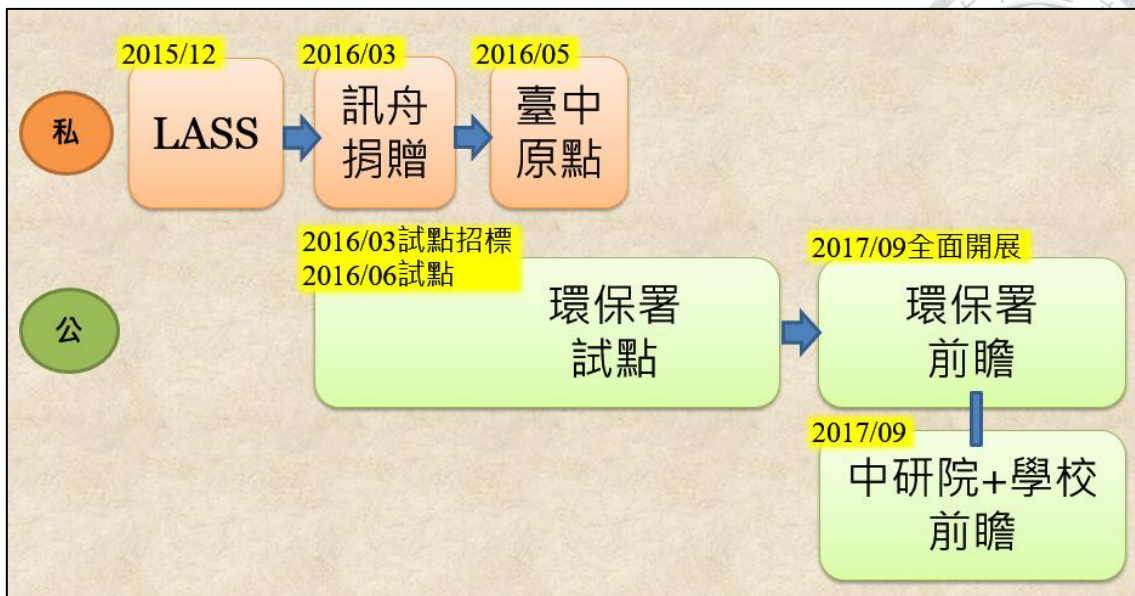



圖 10 我國空氣品質微型感測主要案例發展時序圖

資料來源：本研究整理。

隨之而來的問題是，微型感測器及感測所得資料屬於使用上非敵對且非排他之公共財，又具有外溢效果，理論上一開始即會有市場失靈之情形，但為何我們卻看到公民社會及民間企業投入，甚至還走在政府之前？本研究無法回答為何公民社會及民間企業投入且甚至較政府先行，但可以分析為何同時存在 2 種模式？或說既然民間已有相關專案，為何政府仍決意投入資源以發展相關政策？

原因有二，一是不同微型感測器有不同功能定位，二是若政府不投入資源，既有案例亦恐難永續經營下去。就第一個原因而言，政府將「LASS 專案」、「訊舟捐贈 6 都專案」及「臺中（中部）原點計畫」定位為我國室外空氣品質感測體系中之第 4 階層「校園與公民科學感測器」，其與第 3 階層「智慧城市感測點」之關鍵差異，在於感測器本身是否會定期維護及感測所得資料是否經過校正。申言之，微型感測器為求提高資料之時空解析度，必須廣為布建；若需廣為布建，則必須將價錢、體積、重量等控制在一定範圍內。既然得將價錢控制在一定範圍內，則勢必無法兼顧精密度（指一組重覆分析其測定值間相符的程度）及準確度（一測定值或一組測定值之平均值與真實值接近的程度）；微型感測器之測量結果若不夠準確，尚可透過與標準檢驗方法之測量結果進行比對並校正，即能趨近準確，但若測量結果不夠



精密，則資料難以做後續利用，故目前微型感測器通常優先追求精密度。目前之狀況是，上開 3 項案例缺乏定期維護、比對及校正機制，因此「環保署前瞻與試點計畫」應運而生。在此同時，該計畫希望不僅止於提升公民環境意識，而能藉由精密且準確之數據，更進一步協助環保機關進行智慧派遣及稽查，有效打擊不法。

就第二個原因而言，目前「LASS 專案」、「訊舟捐贈 6 都專案」及「臺中（中部）原點計畫」，乃是依靠公民及企業熱情投入自身資源方得進行。若無「訊舟捐贈 6 都專案」捐贈上千臺空氣盒子廣為布建，僅布點 120 臺之 LASS 專案恐無法產生太大效益；而訊舟捐贈之後，雖然當初有承諾保固一年，但也實在難以期待營利公司會不斷無償投注資源進行布建、維護及汰換，因而無法使此生態系永續經營下去；此外，訊舟捐贈之對象為 6 直轄市，但其他空氣污染嚴重之地方仍缺乏微型感測器。因此，「中研院與學校前瞻計畫」應運而生，盼能進行有組織且兼顧區域均衡之微型感測器布建與汰換。同時，政府考量若是日後必須不斷從海外購買感測元件以供汰換，倒不如藉此機會同時發展我國相關產業。

綜上所述，本研究透過訪談公部門、學界、民間企業及公民社會之參與者，瞭解我國主要 5 個室外空氣品質微型感測案例推動過程中關聯之行為者、參與動機、彼此互動情形與案例之成果，並發現其中有「公私協力」及「以群眾外包手段實踐公民科學」2 種模式；其中政府之所以主動投入，乃為確保感測所得資料之精密度及準確度，並使微型感測網絡永續經營下去。

最後，本研究有 3 項政策建議：一是建議環保署儘速開放微型感測器之資料，以滿足公民知的權利，並尋求業界及學界對資料加值應用；二是目前社會上對感測所得數據於公開前是否需經校正仍有不同聲音，建議加強溝通；三是目前部分公民對於資料之使用與解讀方式有改進空間（例如看「面」的資料會比看「點」的資料來得恰當），建議亦加強溝通。



參考文獻



壹、中文部分

台灣健康空氣行動聯盟，2018，《推給境外沙塵？灑水因應 PM10 褐爆？！政府愚民無能！》，取自 <https://www.facebook.com/AirCleanTaiwan/photos/a.1234252333257207.1073741828.1234106229938484/2103603026322129/?type=3&theater>。

交通大學 PM_{2.5} 及奈米微粒監測與控制技術聯盟，2018，《聯盟簡介—宗旨及願景》，取自 http://pm25.nctu.edu.tw/intro/super_pages.php?ID=intro1。

行政院經濟建設委員會，2013，《國家發展計畫（102 至 105 年）》，臺北市：行政院經濟建設委員會。

行政院環境保護署，2015，《行政院環境保護署 105 年度施政目標與重點》，取自 <https://www.epa.gov.tw/public/Data/62239361971.pdf>。

行政院環境保護署，2016，《行政院環境保護署 106 年度施政目標與重點》，取自 <https://www.epa.gov.tw/public/Data/79616562571.pdf>。

行政院環境保護署，2017，《行政院環境保護署 107 年度施政計畫》，取自 <https://www.epa.gov.tw/public/Data/792517111971.pdf>。

行政院環境保護署，2018a，《中華民國空氣品質監測報告 106 年年報》，臺北市：行政院環境保護署。

行政院環境保護署，2018b，《行政院環境保護署中程施政計畫(106 至 109 年度)》，取自 <https://ws.ndc.gov.tw/Download.ashx?u=LzAwMS9hZG1pbmlzdHJhdG9yLzEwL3JlbGZpbGUvMC8xMTU5My9lZTQ1OTc4OC05MWRkLTQ4NzUtYWl2Zi0xYTdkZDI5MjY4NDZlZm9udG93d%3d&icon=..pdf>。

行政院環境保護署，2018c，《空氣品質感測物聯網推動進程》，取自
<https://www.ey.gov.tw/File/2C05697489286D6C?A=C>。

行政院環境保護署環境監測及資訊處，2018，《回應 1 月 29 日媒體報導空氣品質
監測相關事宜》，取自
https://enews.epa.gov.tw/enews/fact_Newsdetail.asp?InputTime=1070129165731。

冷則剛、任文姍譯，2011，《經驗性政治分析：量化與質化研究方法》，臺北市：五
南。譯自 Jarol B. Manheim et al. *Empirical Political Analysis: Quantitative and
Qualitative Research Methods*, 7th Edition. Pearson Education, Inc. 2008.

吳嘉苓，2012，〈訪談法〉，瞿海源等主編，《社會及行為科學研究法（二）：質性研
究法》，臺北市：臺灣東華，頁 33-60。

李崇德等，2017，《細懸浮微粒（PM_{2.5}）化學成分監測及分析計畫》，行政院環境
保護署委託研究報告。

杜文苓、張景儀，2015，《久聞不知其毒：台灣空污治理的挑戰》，臺北市：臺大風
險政策中心。

杜文苓等主編，2017，《臺灣空氣污染之風險治理與制度研究》，臺北市：臺大風險
政策中心。

周桂田等主編，2018，《臺灣空氣品質治理展望》，臺北市：臺大風險政策中心。

空氣品質感測器測試服務平臺，2018，《系統介紹》，取自
https://airsensortest.blogspot.tw/p/blog-page_12.html。

邱嘉斌等，2017，《中部空品區細懸浮微粒暴露評估及成因分析》，行政院環境保護
署委託研究報告。

柏昇企業股份有限公司，2017，《智慧城市簡易空氣品質感測網資料服務計畫成果
報告》，行政院環境保護署委辦計畫成果報告。

科技部等，2017，《建構民生公共物聯網計畫》，取自 <https://goo.gl/KZ8H7F>。

孫岩章等，2014。《兩岸空氣品質監測合作規劃研究計畫》，行政院大陸委員會委託
研究報告。

國家發展委員會，2016，《行政院環境保護署 104 年度施政績效報告》，取自
<https://ws.ndc.gov.tw/Download.ashx?u=LzAwMS9hZG1pbmlzdHJhdG9yLzEwL3JlbGZpbGUvNjExMC8yNTgyNS9hYWFlOWEyZS0zYjFmLTQ1MjUtYjI0Zi1iZTBmM2I5NTJINzMucGRm&n=6KGM5pS%2f6Zmi55Kw5aKD5L%2bd6K23572yMTA05bm05bqm5pa95pS%2f57i%2b5pWI5aCx5ZGK5YWs5ZGK54mILnBkZg%3d%3d&icon=..pdf>。

國家發展委員會，2017a，《國家發展計畫：106 至 109 年四年計畫暨 106 年計畫》，
臺北市：國家發展委員會。

國家發展委員會，2017b，《107 年國家發展計畫：建設臺灣 看見執行力》，臺北市：
國家發展委員會。

張立農等，2015，〈台灣交通空氣品質監測站 PM10 變異影響因素之研究〉，《水
土保持學報》，47(1)：1235-1246。

張良輝等，2016，〈減量挑戰與空氣品質再升級〉，《中華技術》，109：30-45。

黃淑倫等，2016，〈嘉南地區細懸浮微粒濃度與氣象因子相關性分析：2006-2014〉，
《台灣公共衛生雜誌》，35(6)：575-586。

葉惠中等，2014，《細懸浮微粒（PM_{2.5}）時空分佈特性之研究》，行政院環境保護
署/行政院國家科學委員會空污防制科研合作計畫。

詹長權等，2014，《中部空品區細懸浮微粒暴露評估及成因分析》，行政院環境保護
署委託研究報告。

臺北市政府資訊局，2018，《台北市路燈化身全方位物聯網尖兵 讓城市更智慧！》，
取
自
https://doit.gov.taipei/News_Content.aspx?n=4B2B1AB4B23E7EA8&sms=72544237BBE4C5F6&s=BC62F56FBABD7CCD。

劉鶴群等譯，2010，《社會科學研究方法》，臺北市：新加坡商聖智學習。譯自 Earl
Babbie. *The Practice of Social Research*, 12e. Wadsworth. 2010.

潘小川等，2012，《危險的呼吸：PM_{2.5} 的健康危害和經濟損失評估研究》，北京：



中國環境科學出版社。

蔡俊鴻等，2004，《機車污染防治技術趨勢探討及管制策略研擬子計畫三：國內機車空氣污染管制策略研擬及排氣定檢執行成本與成效調查分析》，行政院環境保護署/行政院國家科學委員會空污防制科研合作計畫。

蔣本基等，2003，《空氣污染涵容量研究—子計畫二：PM_{2.5} 氣膠碳成分之生成機制、監測技術及對於空氣品質之影響》，行政院環境保護署/行政院國家科學委員會空污防制科研合作計畫。

戴榮賦等，2017，《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》，行政院環境保護署委託研究報告。

戴榮賦等，2018，《中部地區空氣污染物微型感測器系統及 推動空氣污染防治志工制度計畫》，行政院環境保護署委託研究報告。

謝雨生，2012，〈研究設計〉，瞿海源等主編，《社會及行為科學研究法（一）：總論與量化研究法》，臺北市：臺灣東華，頁 63-102。

貳、西文部分

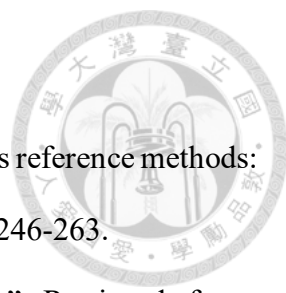
Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2016. "Health Consultation: Brooklyn Township PM_{2.5}." Retrieved from https://www.atsdr.cdc.gov/HAC/pha/BrooklynTownship/BrooklynTwmsp_pm2-5_HC_Final_04-22-2016_508.pdf.

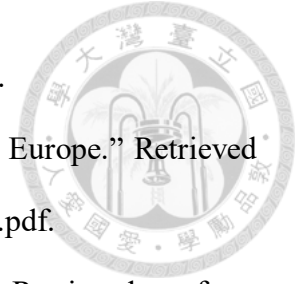
Ansell, C. & A. Gash. 2007. "Collaborative Governance in Theory and Practice." *Journal of Public Administration Research and Theory*, 18: 543-571.

Bevir, M. 2009. "Key Concepts in Governance." Thousand Oaks, CA: Sage Publications.


Bonney, R. et al. 2009. "Citizen Science: A Developing Tool for Expanding Science Knowledge and Scientific Literacy." *BioScience*, 59(11): 977-984.

Borghini, F. et al. 2017. "Miniaturized Monitors for Assessment of Exposure to Air Pollutants A Review." *International Journal of Environmental Research and Public*

- 
- Health, 14(8): 909. doi: 10.3390/ijerph14080909.
- Borrego, C. et al. 2016. “Assessment of air quality microsensors versus reference methods: The EuNetAir joint exercise.” *Atmospheric Environment*, 147: 246-263.
- Brabham, D. C. 2013. “Using Crowdsourcing In Government.” Retrieved from <http://www.businessofgovernment.org/sites/default/files/Using%20Crowdsourcing%20In%20Government.pdf>.
- Bradley, B. 2017. “How Crowdsourcing Tools Are Building More Powerful Maps.” Retrieved from <https://www.geotab.com/blog/crowdsourcing-tools/>.
- Brodsky, D. M. & Citi-Sense Project Collaborators. 2017. “Wireless Distributed Environmental Sensor Networks for Air Pollution Measurement—The Promise and the Current Reality.” *Sensors*, 17(10): pii: E2263. doi: 10.3390/s17102263.
- Castell, N. et al. 2017. “Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates?” *Environment International*, 99: 293-302.
- Certomà, C. et al. 2015. “Crowdsourcing urban sustainability.” *Futures*, 74: 93-106.
- Conrad, C. C. & K. G. Hilchey. 2011. “A review of citizen science and community-based environmental monitoring: issues and opportunities.” *Environmental Monitoring and Assessment*, 176: 273-291.
- Den Broeder L. et al. 2016. “Citizen Science for public health.” *Health Promotion International*, 1–10.
- English, P.B. et al. 2018. “From Crowdsourcing to Extreme Citizen Science: Participatory Research for Environmental Health.” *Annual Review of Public Health*, 39: 335-350.
- Estellés-Arolas, E. & F. González-Ladrón-de-Guevara. 2012. “Towards an integrated crowdsourcing definition.” *Journal of Information Science*, 38(2): 189-200.
- European Commission. 2013. “Green paper on Citizen Science for Europe: Towards a society of empowered citizens and enhanced research.” Retrieved from



- http://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=4122.
- European Commission. 2014. "White Paper on Citizen Science For Europe." Retrieved from http://www.socientize.eu/sites/default/files/white-paper_0.pdf.
- European Commission. 2018. "Citizen Science." Retrieved from <https://ec.europa.eu/research/openscience/index.cfm?pg=citizen§ion=monitor#foldit>.
- Fishbain, B. et al. 2016. "An evaluation tool kit of air quality micro-sensing units." *Science of The Total Environment*, 575: 639-648.
- Follett, R. & V. Strezov. 2015. "An Analysis of Citizen Science Based Research: Usage and Publication Patterns." *PLoS ONE* 10(11): e0143687.
- Gabrys, J. 2016. "Program Earth: Environmental Sensing Technology and the Making of a Computational Planet" Minnesota: University of Minnesota Press.
- Gabrys, J. 2017a. "The Becoming Environmental of Computation. From Citizen Sensing to Planetary Computerization." *TECNOSCIENZA: Italian Journal of Science & Technology Studies*, 8(1): 5-21.
- Gabrys, J. 2017b. "Citizen sensing, air pollution and fracking: From 'caring about your air' to speculative practices of evidencing harm." *The Sociological Review*, 65(2): 179-192.
- Gabrys, J. et al. 2016. "Just good enough data: Figuring data citizenships through air pollution sensing and data stories." *Big Data & Society*, July-December: 1-14.
- Ganti, R. K. et al. 2011. "Mobile Crowd-Sensing: Current State and Future Challenges." *IEEE Communication Magazine*, 49(11): 32-39.
- Gerboles, M. et al. 2017. "Measuring air pollution with low-cost sensors." Retrieved from <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/brochures-leaflets/measuring-air-pollution-low-cost-sensors>.
- Goodchild, M.F. 2007. "Citizens as sensors: the world of volunteered geography."

- 
- GeoJournal,69(4): 211-221. <https://doi.org/10.1007/s10708-007-9111-y>
- Howe, J. 2006. "Crowdsourcing: A Definition." Retrieved from http://crowdsourcing.typepad.com/cs/2006/06/crowdsourcing_a.html.
- Hu, K. et al. 2016. "Design and Evaluation of a Metropolitan Air Pollution Sensing System." *IEEE Sensors Journal*, 16(5): 1448-1459.
- International Electrotechnical Commission. 2014. "IEC White Paper: Internet of Things: Wireless Sensor Networks." Retrieved from <https://basecamp.iec.ch/download/iec-white-papers-internet-of-things-wireless-sensor-networks/>
- Liu, H. K. 2017. "Crowdsourcing Government: Lessons from Multiple Disciplines." *Public Administration Review*, 77(5): 656-667.
- Maisonneuve, N. et al. 2010. "Participatory noise pollution monitoring using mobile phones." *Information Polity*, 15: 51-71.
- Mergel, I. & K. C. Desouza. 2013. "Implementing Open Innovation in the Public Sector: The Case of Challenge.gov." *Public Administration Review*, 73(6): 882-890.
- Muller, C. L. et al. 2015. "Crowdsourcing for climate and atmospheric sciences: current status and future potential." *International Journal of Climatology*, 35(11): 3185-3203.
- O'Grady, M. J. et al. 2016. "Intelligent Sensing for Citizen Science." *Mobile Networks and Applications*, 21(2): 375-385.
- O'Rourke, D. & G. P. Macey. 2003. "Community environmental policing: Assessing new strategies of public participation in environmental regulation." *Journal of Policy Analysis and Management*, 22(3): 383-414.
- OECD. 2012. "OECD Recommendation on Principles for Public Governance of Public-Private Partnerships." Retrieved from <http://www.oecd.org/governance/budgeting/PPP-Recommendation.pdf>.
- Othman, M. F. & K. Shazali. 2012. "Wireless Sensor Network Applications: A Study in Environment Monitoring System." *Procedia Engineering*, 41: 1204-1210.

- 
- Ritchie, H. & M. Roser. 2017. “Air Pollution.” Retrieved from <https://ourworldindata.org/air-pollution>.
- Snyder, E. G. et al. 2013. “The Changing Paradigm of Air Pollution Monitoring.” *Environmental Science & Technology*, 47(20): 11369–11377.
- The Crowd & The Cloud. 2017. “Free Speech in Citizen Science: Q&A with Denny Larson.” Retrieved from <https://medium.com/@crowdandcloud/free-speech-in-citizen-science-q-a-with-denny-larson-f9142a6957cb>
- U.S. General Services Administration. 2018a. “About.” Retrieved from <https://www.challenge.gov/about/>.
- U.S. General Services Administration. 2018b. “About CitizenScience.gov.” Retrieved from <https://www.citizenscience.gov/about/>.
- U.S. Government Accountability Office. 2016. “OPEN INNOVATION: Practices to Engage Citizens and Effectively Implement Federal Initiatives.” Retrieved from <https://www.gao.gov/products/GAO-17-14>.
- Williams, A. D. 2013. “Crowdsourcing Solutions to Global Problems.” Retrieved from <http://gsnetworks.org/wp-content/uploads/Williams-Crowdsourcing.pdf>.
- World Bank & Institute for Health Metrics and Evaluation. 2016. *The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action*. World Bank, Washington, DC.
- World Health Organization. 2016. *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*. Geneva: World Health Organization.
- Yale Center for Environmental Law & Policy. 2018a. “Executive Summary.” Retrieved from <https://epi.envirocenter.yale.edu/2018-epi-report/executive-summary>.
- Yale Center for Environmental Law & Policy. 2018b. “Taiwan.” Retrieved from <https://epi.envirocenter.yale.edu/epi-country-report/TWN>.
- Yi, W. Y. et al. 2015. “A Survey of Wireless Sensor Network Based Air Pollution

Monitoring Systems.” *Sensors*, 15(12): 31392-31427.

Zhang, Yanru et al. 2018. “Multi-Dimensional Incentive Mechanism in Mobile Crowdsourcing with Moral Hazard.” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 17(3): 604-16.

Zooniverse. 2018. “Projects” Retrieved from <https://www.zooniverse.org/projects>.

