

利用地理加權迴歸進行台北都會區

二氧化氮之模擬分析

翁佩詒¹ 吳治達^{2,3} 蘇慧貞^{4*}

摘要

二氧化氮(NO₂)為都會區最重要的空氣污染物之一。本研究以台北都會區為研究區，結合環境保護署 18 個監測站於 2000 年至 2013 年月平均空污濃度監測資料、以及土地利用的 GIS 資料，利用地理加權迴歸(Geographically Weighted Regression, GWR)推估 NO₂ 的時空變異。結果指出，研究期間台北都會區的 NO₂ 濃度呈現逐漸下降的趨勢，由 2000 年的 25.94ppb 減少為 2013 年的 21.48ppb；模型分析結果指出，道路與污染具正相關，森林、水體與污染則呈負相關；所建模型之 R² 達 0.89，具有高度之預測與解釋力。最後利用所建模型推估台北都會區 NO₂ 濃度之空間變異，結果顯示，污染物濃度較高的地區主要集中在台北市以及新北市人口稠密、道路交通發達之地區。

關鍵詞：空氣污染、二氧化氮、土地利用、地理加權迴歸

1. 前言

二氧化氮已知是空氣中一種高反應性氣體，且為二次污染物之一，大氣中氮氧化物之人為排放來源，主要來自石化燃料的高溫燃燒，例如加熱、火力發電廠等固定污染源，或是移動污染源汽機車燃燒石油所排放之廢氣(Brunckreef & Holgate, 2002、Kampa & Castanas, 2008)。過去生理學及環境流行病學研究指出，吸入二氧化氮可能導致肺泡巨噬細胞及上皮細胞的損傷，使呼吸系統疾病加重，提高肺部感染的風險(Chauhan *et al.*, 1998、Frampton *et al.*, 1989)，亦可能提高心血管疾病之住院率及死亡率(Peters *et al.*, 2000)。

為了控制污染物濃度對於健康的影響，過去探討都市中暴露大氣二氧化氮之研究，使用的方式包含使用少數固定監測站(Ding *et al.*, 2017、Zhang *et al.*, 2019)，或是使用地理資訊系

統中的空間內插模型以獲取濃度值(Chan *et al.*, 2009)，然而上述方法僅能以少數測站當作代表點位值，推估大範圍地區暴露空氣污染物對健康風險的影響，而使用粗略估計之空氣污染物代表濃度值則有可能會導致暴露的錯誤分類，進而使健康風險估計值發生高估或低估的現象，因此使用高解析度的暴露評估模型來探討暴露空氣污染與健康的關係有其必要性。

土地利用迴歸模型(Land-Use Regression, LUR)為近年來廣被使用之空氣污染物空間推估方法。此模型考慮在地不同污染物逸散源對於空氣污染濃度的影響，進而透過線性迴歸方法建立空氣污染物推估模型，相較於單純使用固定監測站獲取濃度值之方法，可更精確的估計都市內污染物暴露的時空變異情形。基於傳統土地利用迴歸模型的發展基礎上，近年來學界亦發展出考量更多變異因子之模型，其中地理加權迴歸模型(Geographically Weighted

¹ 國立成功大學工業衛生學科暨環境醫學研究所 研究生

² 國立成功大學測量與空間資訊學系 副教授

³ 國家衛生研究院國家環境醫學研究所 兼任助研究員

⁴ 國立成功大學工業衛生學科暨環境醫學研究所 特聘教授

* 通訊作者, E-mail: hjsu@mail.ncku.edu.tw

收到日期：民國 108 年 11 月 26 日

修改日期：民國 108 年 12 月 18 日

接受日期：民國 109 年 01 月 14 日

Regression, GWR)在模型中融入了地理座標，進而考量不同污染物逸散源在空間上所產生之空間自相關和空間異質性問題，故可更精確描述污染物在各個區域影響程度之差異(陳章瑞，2013)，而此項技術過去亦曾被應用於國外空氣污染物濃度推估之研究(Hu *et al.*, 2013、Song *et al.*, 2019)，結果亦發現，地理加權迴歸模型之解釋力較傳統土地利用迴歸方法更為精進；然而台灣目前尚未見有相關研究案例。

為了更精確的推估二氧化氮在都市內之濃度分布情形，以分析二氧化氮對國人之健康風險與影響，本篇研究選擇台灣人口及交通密度最高之台北都會區為例進行前導性研究，進而探討地理加權迴歸模型推估島內二氧化氮濃度分布之可行性，研究成果可做為未來國內空氣污染空間模擬之參考。

2. 材料方法

2.1 研究試區

台北都會區(圖 1)為台灣經濟及交通繁盛且人口密度高之地區，包含台北市及新北市在內共有 41 個行政區域，其總面積約為 2,774.3697km²，其中台北市面積約為 271.7997km²，新北市為 2,502.57km²，其中交通流量分布之機動車輛登記數在兩個縣市分別為

1,802,910 及 3,233,275(輛)，而人口密度分別為 9,884 及 1,927 (人/平方公里)(中華民國統計資訊網, 2019)，由上述統計資料顯示，此兩都市不僅交通流量密度高居全台之冠，台北市之人口密度亦是全台最多的地區，因此本研究以台北都會區作為二氧化氮污染物模擬分析之區域。

2.2 研究材料

本研究所使用之資料庫包含環保署空氣污染物資料、交通部運輸研究所路網數值資料、地標資料庫(Point of Interest, POI)、國土利用調查資料以及衛星環境綠蔽度資料庫，以下分別介紹。

2.2.1 空氣污染物資料

環保署依據污染源分布、類型及污染物濃度分布、地形、地勢及氣象條件、人口分布及交通狀況等考量，將全台測站分為一般空氣品質監測站、工業空氣品質監測站、交通空氣品質監測站、國家公園空氣品質監測站、背景空氣品質監測站以及其他空氣品質監測站，而此研究則使用環保署於台北市及新北市所設置之 18 個空氣品質監測站(圖 1)，蒐集 2000 年至 2013 年之 NO₂、SO₂、CO、O₃、PM₁₀ 等空氣污染物濃度以及溫度之月平均值。

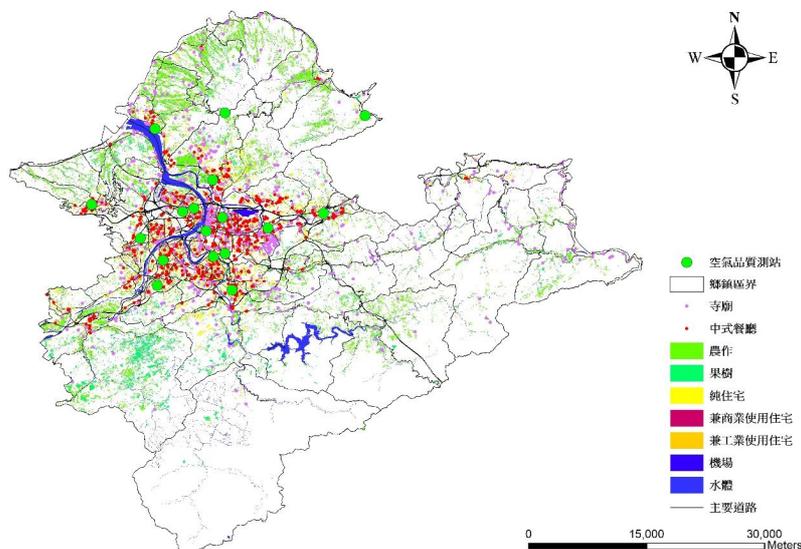


圖 1 台北都會區及其內空氣品質監測站示意圖

2.2.2 交通部運輸研究所路網數值資料

路網資料使用 2006、2015 年交通部運輸研究所提供之全島 1/5000 比例尺 GIS 路網數值圖，此資料圖層分為 8 類，包含國道、省道、縣道、鄉道、都市道路等，本研究欲利用此資料庫以獲取台北市及新北市道路分布圖，並將道路分為三大類：包含主要道路(國道、省道、縣道、省道快速道路以及市區快速道路)、當地道路(市區道路(路、街)、市區道路(巷、弄)鄉鎮道路以及產業道路)和所有道路，計算台北市及新北市道路長度，作為交通流量的替代指標。

2.2.3 地標資料庫

地標資料庫來自於勤崑國際科技股份有限公司所建立的 Point of Interest(POI)資料庫，該資料庫亦被 Google Earth 以及 Google Map 選用，做為表示地圖上之地標特徵。POI 資料庫每季均會進行更新，其內之分類主要包含三個階層，分別為主分類、次類別以及細項別，本研究為配合監測時間，選用 2008 年以及 2010 年之資料庫為研究材料，其中主分類包含政府機關、公用事業、金融證券等 12 以及 14 大項，進一步又可分為 119 和 160 項，以及 920 和 1350 項之細項別。考慮到亞洲地區特有污染源如寺廟燒香、燃燒紙錢，以及中式餐廳以大火烹調所產生之空氣污染對於二氧化氮的影響，本研究使用資料庫中寺廟及中式餐廳之地標資料進行後續分析。

2.2.4 國土利用調查資料

本研究採用內政部國土測繪中心建立之第二次及第三次國土利用調查資料，進一步獲取 2000-2013 年之土地利用分布狀態，此資料系統為階層式樹狀結構，共分 3 級，以第二次國土利用調查資料為例，第一級包含農業、森林、交通利用、建築、公共、遊憩、礦鹽及其他土地

使用等 9 大類，第二級進一步細分為 41 類，第三級再基於前者細分為 103 類。本研究使用水體、住宅區、綠地和農業土地使用資料等作為模型中之空間變項。

2.2.5 衛星環境綠蔽度資料庫

美國太空總署(National Aeronautics and Space Administration, NASA)透過遙測及衛星技術建立地球觀測系統(Earth Observing System, EOS)，以長期監測地球之大氣圈、水圈、生物圈、及植群等地表參數之變化情形，此資料基於 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 衛星影像之紅光(645-nanometers)與近紅外光(858-nanometers)波段為基礎進行 NDVI 植生指標演算，如式(1)，其空間解析度為 250m × 250m，相關資料經美國地質調查所(The U.S. Geological Survey, USGS)整理後，提供給全世界的專家學者進行學術研究之用。本研究將採用 2000-2013 年之 NDVI 圖幅，作為研究中的綠度指標，表示當時植生情況。

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \dots\dots\dots(1)$$

其中，NIR 為近紅外光；R 為紅光。

2.3 研究方法

本研究利用地理資訊系統與遙感探測技術進行大範圍空間預測變數資料蒐集與分析，使用 ArcGIS 10.5 版軟體中環域分析及最近距離分析功能，計算空氣品質測站方圓 25 m、50 m、100 m、250 m、500 m、750 m、1000 m、1250 m、1500 m、1750 m、2000 m、3000 m、4000 m、5000 m，共 14 項環域範圍內空間排放源之分佈狀況以及測站與變數間之距離等資訊，以進行後續污染物推估模型建立；整體研究流程如圖 2 所示。

在傳統土地利用迴歸模型方面，首先將各空間預測變數與二氧化氮濃度進行 Spearman 相關性分析，將相關方向與預期方向有誤者剔除，

爾後將所選擇的變數以監督式逐步迴歸方式，搭配納入及排除標準，以顯著水準 p 值表示，分別為 $p < 0.1$ 及 $p < 0.3$ 之標準逐步選取納入模型中之預測變數，同時以變異數膨脹係數因子 (Variance Inflation Factor, VIF) < 3 之共線性標準，檢驗模型中所有變數，將不符合之變數從模型中剔除 (Beelen *et al.*, 2013、Wu *et al.*, 2017)；上述統計分析以 SPSS 22.0 及 R 3.5.2 版完成。

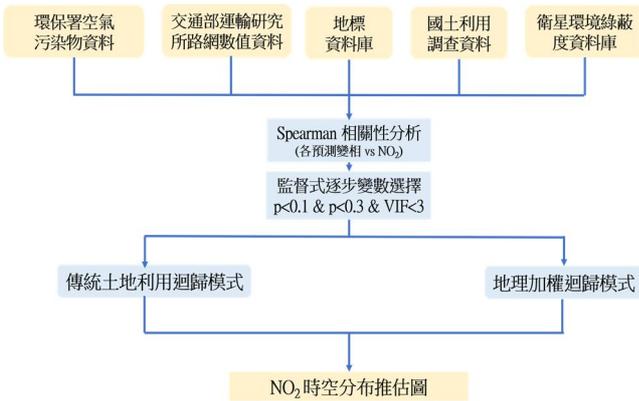


圖 2 研究流程圖

在傳統土地利用迴歸模型建立完成後，本研究將其最終納入之變數直接導入地理加權迴歸模型中，進行模型的建立以及變數的篩選，模型所需設定參數包含 Kernel 以及 Bandwidth，將模型中參數 Kernel type 設為 Fixed，可考慮固定距離內不同測站的影響，寬帶 (Bandwidth) 選擇以交叉驗證 (Cross Validation, CV) 作為判定標準，可在研究區域中擬合最佳結果，地理加權

迴歸模型如下：

$$Y_i = \alpha_0(u_i, v_i) + \sum_k \alpha_k(u_i, v_i) X_{ik} + \varepsilon_i \dots\dots\dots(2)$$

其中：

Y_i = 推估之二氧化氮濃度

X_{ik} = 空氣污染物濃度、溫度、道路長度、綠地及水體面積與 NDVI 等

(u_i, v_i) = 第 i 個樣本點的空間座標

$\alpha_k(u_i, v_i)$ = 第 i 個樣本點的第 k 項參數值

ε_i = 點 (u_i, v_i) 的誤差項

3. 結果

3.1 NO₂ 濃度之敘述統計

2000 年至 2013 年間，台北都會區 18 個測站之 NO₂ 之平均濃度為 26.28ppb，其月平均濃度之最小值、中位數及最大濃度值分別為 1.29、22.15 及 60.60ppb。圖 3 為研究期間 NO₂ 濃度之逐年盒型圖，整體來說，於 2000 年至 2013 年的 14 年間，台北都會區的 NO₂ 濃度呈現逐漸下降的趨勢，由 2000 年的 25.94ppb 減少為 2013 年的 21.48ppb。圖 4 為 NO₂ 季平均濃度盒型圖，由圖中可以發現，冷季(如春季及冬季)之污染濃度較高，分別為春季的 25.85ppb 及冬季的 23.84ppb，而暖季(如夏季及秋季)濃度較低，夏季平均為 19.75ppb，冬季為 19.57ppb。

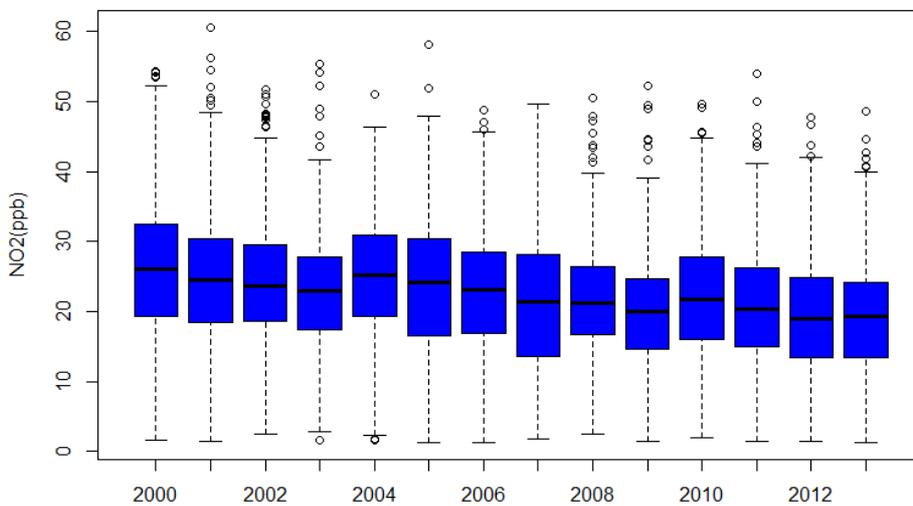
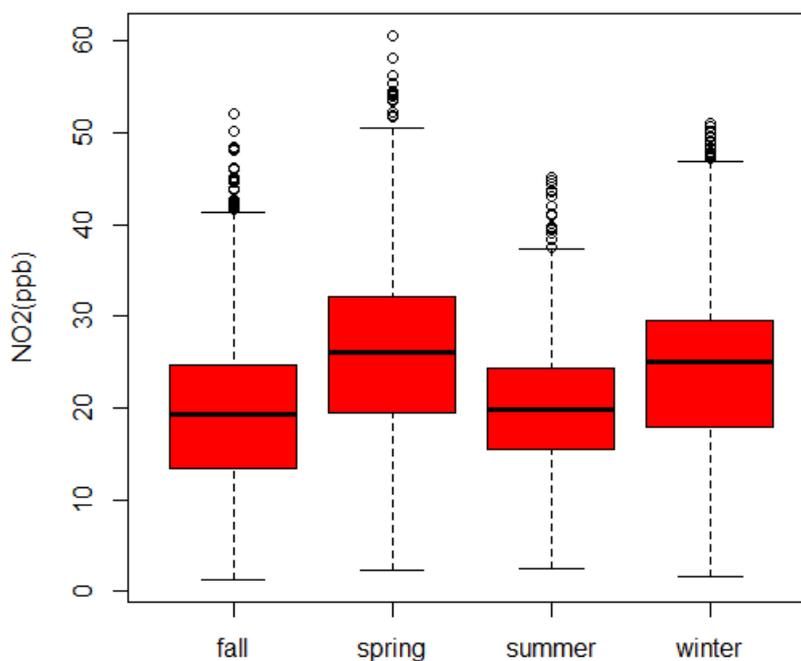


圖 3 2000 年至 2013 年台北都會區 NO₂ 逐年濃度盒型圖

圖 4 NO₂ 季平均濃度盒型圖

3.2 模型分析結果

表 1 為利用傳統土地利用迴歸模型與地理加權迴歸模型兩種方法進行模型建立之結果。在傳統土地利用迴歸模型的部份，主要被選入的土地利用空間變數包含環域範圍 25 m 內主要道路長度、2000 m 內所有道路長度、1000 m 內森林面積、100 m 內公園綠地面積、250 m 內水體面積、至最近機場之距離以及 1000 m 內 NDVI 最大值等。其中道路與污染濃度為正相關，若在環域範圍 25 m 內主要道路、2000 m 內所有道路越多，影響程度越大；機場的部份亦顯示，距離機場愈近，濃度愈高；森林綠地及水體等變數則為負相關，代表環域範圍 1000 m 內森林或 100 m 內公園綠地愈多、環域範圍 250 m 內水體愈多，污染濃度愈低。此外模型中亦選入如 SO₂、O₃、PM₁₀ 等污染物、以及溫度等氣象變數，當 SO₂ 及 PM₁₀ 之濃度愈高、溫度愈低時，NO₂ 污染亦會隨之上升；其中較有趣的是在 O₃ 部份，由於 NO₂ 為 O₃ 之前趨污染物，故當 O₃ 濃度愈高時，NO₂ 之濃度反而愈低。透過模型 R² 值可知，傳統土地利用迴歸模型可解釋研究區 85% 污染濃度變數，整體來說已具有不錯之解釋能力。

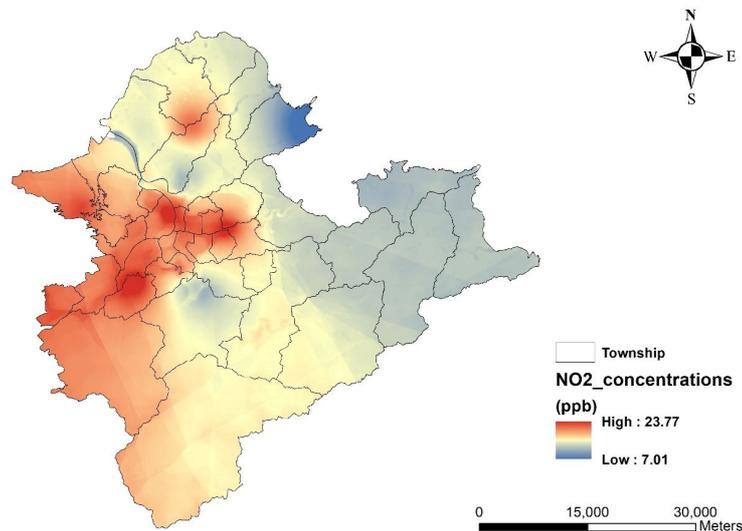
進一步將 LUR 選擇的空間變數，透過地理加權迴歸模型進行模型建立，整體結果與傳統土地利用迴歸模型相似，道路與污染具正相關，森林、水體與污染則呈負相關；然而主要道路長度、公園綠地及機場等變數，於地理加權迴歸模型中並未被選入。在模型解釋能力方面，地理加權迴歸模型之 R² 為 0.89，進一步使得整體模型解釋能力上升了 4%，具有高度之預測與解釋力；以 2014 年與 2015 年外部資料進行模型驗證結果顯示，其模型 R² 分別為 0.80 與 0.80，整體模型解釋能力降低 9%，仍具有高度的模型推估效益。

3.3 台北都會區 NO₂ 濃度空間變異模擬結果

透過所建之地理加權迴歸模型，推估 2013 年台北都會區 NO₂ 濃度之空間變異，結果如圖 5。由圖中可發現，污染物濃度較高的地區主要集中在台北市以及新北市人口稠密、道路交通發達之地區，如三重、中永和、土城等地，並且在淡水北投地區亦有一個高值之熱點出現；濃度較低之地區則落於瑞芳、貢寮、平溪、雙溪、石門、金山等郊區。

表 1 模型建立結果

	土地利用迴歸模式		GWR 模式		外部驗證
	係數	模型結果	係數 ¹	模型結果	模型結果
(Intercept)	18.50	R ² : 0.85	18.86	R ² : 0.89	2014 年:
SO ₂	0.98	Adj R ² :	0.91	Adj R ² : 0.89	R ² : 0.80
O ₃	-0.25	0.85	-0.19	RMSE: 2.89ppb	Adj R ² : 0.80
PM ₁₀	0.21	RMSE:	0.21		RMSE: 4.70ppb
溫度	-0.18	3.34ppb	-0.21		
主要道路長度 _{25m}	0.03		-		2015 年:
所有道路長度 _{2000m}	1.9343E-05		1.45E-05		R ² : 0.80
森林面積 _{1000m}	-1.82E-06		-6.4E-06		Adj R ² : 0.80
公園綠地面積 _{100m}	-2.06E-04		-		RMSE: 4.67ppb
水體面積 _{250m}	-9.244E-05		-7.9E-06		
最近機場之距離	-2.357E-05		-		
NDVI 最大值 _{1000m}	-5.24		-4.36		

¹median圖 5 2013 年 NO₂ 濃度推估成果

4. 討論

本研究利用 LUR 及地理加權迴歸模型二種空間建模方法，針對台灣首善之台北都會區，模擬 NO₂ 之空間變異。整體來說，二種方法所建立之推估模型皆可良好解釋 NO₂ 的空間變異；其中地理加權迴歸模型在考慮各影響變數於不同空間位址之權重差異進行模型建立，所得模型之整體解釋能力約達九成左右，透過本研究之成果可知，具有地理加權特性之地理加權迴歸模型確實適合用以推估台北都會區的空污變異。

在變數重要性之比較方面，如不計其他污染物，在所有選入之變數中，以“所有道路之總長度”變數的 partial R² 最高，可解釋 13% 之 NO₂ 變異，由前人研究可知，道路系統上之交通排放為都會區中 NO₂ 之主要來之一 (Carslaw, 2005、Wang & Xie, 2009)，故本研究之發現與前人研究頗為一致。此外如進一步將濃度推估圖與主要道路分布圖(圖 6)進行比對可發現，NO₂ 高值分布之區域，與主要道路較密集地區亦頗為一致。許多文獻均已證實，NO₂ 之吸入對於心血管、呼吸道等疾病均有負面效應健康效應 (Bowatte *et al.*, 2015、Peters *et al.*, 2000)，故本研究建議，政府

在擬定 NO₂ 之防治策略時，應優先考量道路交通之排放與影響。

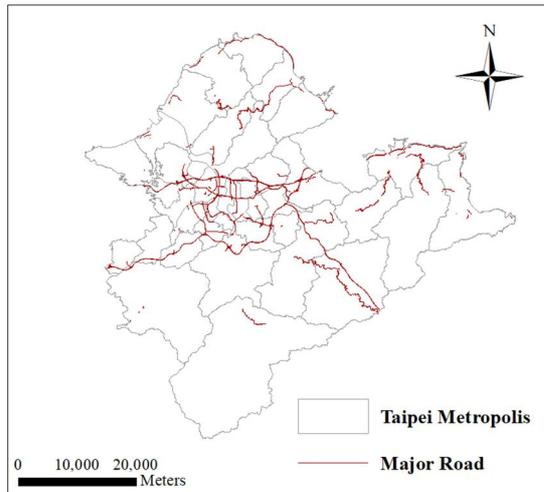


圖 6 台北都會區主要道路分布圖

在另一方面，透過模型分析之結果亦可知，森林與綠地對於 NO₂ 之減量具有統計上的顯著意義。前人文獻亦指出，都市中之森林綠地可透過枝葉攔截、植物生理作用等方式來減少都市內之空氣污染程度(Dadvand *et al.*, 2015、Lee & Maheswaran, 2011、Nowak *et al.*, 2006)；加上近年來都市綠地於全球暖化減緩之重要性亦屢屢被提及(Demuzere *et al.*, 2014、Gill *et al.*, 2007、Kabisch *et al.*, 2016)，有鑑於此共效應(Co-benefits)，增加都市綠地的綠蔽度，或許是改善空氣污染問題的可行選項之一。

本研究亦面臨了部份限制，如上所述，道路交通為 NO₂ 之主要排放因子，然受限於資料上之限制，本研究之模型中並未考慮交通流量之相關影響，未來建議後續研究如可取得相關資料，亦應加以納入分析。再者，寺廟與中式餐廳燃燒紙錢與大火烹調之方式皆會影響 NO₂ 濃度，然而此兩變項在逐步迴歸時卻沒有被納入模型中，可能因為本研究之研究試區為台北都會區，相較於交通等因子，寺廟與中式餐廳在該地區對 NO₂ 之影響較小。建議後續研究在分析台灣其他地區之空污變化時，仍應考慮上述二項因子之影響。此外，受限於調查次數及

資料取得之因素，本研究僅能以可取得之土地利用資料進行分析，未來如可取得逐年之土地利用變化資訊，對於所建模式之準確度應有所幫助，建議後續研究可針對此部份加以探討。另一方面，不同地區之污染來源及空污排放特性均不相同，本研究僅針對台北都會區進行探討，未來亦可分別就中部及南部等都會區建立模型，分析各區域影響 NO₂ 濃度之重要土地利用排放源，相關成果將可做為地方政府及有關單位進行空污減量、排放控制等政策擬定之參考。

5. 結論

本研究利用地理資訊系統，結合衛星遙測資料，以探討地理加權迴歸模型於台北都會區 NO₂ 污染模擬之適用性。研究結果發現，所建立之模型約可解釋研究區 NO₂ 濃度 89% 之變異情形，具有高度之解釋與預測能力；此外，道路相關因子為影響 NO₂ 濃度的最重要土地利用因子，建議有關單位在進行空污管控時，應加以優先考量。

參考文獻

- 中華民國統計資訊網，2019。縣市重要指標查詢系統，
<https://statdb.dgbas.gov.tw/pxweb/Dialog/staffile9.asp>，引用 2019/11/01。[National Statistics, R.O.C. Taiwan, 2019. Statistical Database, Available at: <https://statdb.dgbas.gov.tw/pxweb/Dialog/staffile9.asp>, Accessed November 1, 2019. (in Chinese)]
- 陳章瑞，2013。以地理加權迴歸模型之空間分析探討都是公園之寧適效益，造園景觀學報，19(1)：17-46。[Chen, C.J., 2013. Using spatial analysis of geographically weighted regression model on the amenity benefits of urban park, *Journal of Landscape*, 19(1): 17-46. (in

- Chinese)]
- Beelen, R., Hoek, G., Vienneau, D., Eeftens, M., Dimakopoulou, K., Pedeli, X., Tsai, M.Y., Kunzli, N., Schikowski, T., Marcon, A., Eriksen, K.T., Raaschou-Nielsen, O., Stephanou, E., Patelarou, E., Lanki, T., Yli-Tuomi, T., Declercq, C., Falq, G., Stempfelet, M., Birk, M., Cyrus, J., von Klot, S., Nador, G., Varro, M.J., Dedele, A., Grazuleviciene, R., Molter, A., Lindley, S., Madsen, C., Cesaroni, G., Ranzi, A., Badaloni, C., Hoffmann, B., Nonnemacher, M., Kraemer, U., Kuhlbusch, T., Cirach, M., de Nazelle, A., Nieuwenhuijsen, M., Bellander, T., Korek, M., Olsson, D., Stromgren, M., Dons, E., Jerrett, M., Fischer, P., Wang, M., Brunekreef, B., and de Hoogh, K., 2013. Development of NO₂ and NO_x land use regression models for estimating air pollution exposure in 36 study areas in Europe—The ESCAPE project, *Atmospheric Environment*, 72: 10-23.
- Bowatte, G., Lodge, C., Lowe, A.J., Erbas, B., Perret, J., Abramson, M.J., Matheson, M., and Dharmage, S.C., 2015. The influence of childhood traffic-related air pollution exposure on asthma, allergy and sensitization: A systematic review and a meta-analysis of birth cohort studies, *Allergy*, 70(3): 245-256.
- Brunekreef, B., and Holgate, S.T., 2002. Air pollution and health, *The Lancet*, 360(9341): 1233-1242.
- Carslaw, D.C., 2005. Evidence of an increasing NO₂/NO_x emissions ratio from road traffic emissions, *Atmospheric Environment*, 39(26): 4793-4802.
- Chan, T.-C., Chen, M.-L., Lin, I.-F., Lee, C.-H., Chiang, P.-H., Wang, D.-W., and Chuang, J.-H., 2009. Spatiotemporal analysis of air pollution and asthma patient visits in Taipei, Taiwan, *International Journal of Health Geographics*, 8(1): 26, DOI: 10.1186/1476-072X-8-26.
- Chauhan, A., Krishna, M., Frew, A., and Holgate, S., 1998. Exposure to nitrogen dioxide (NO₂) and respiratory disease risk, *Reviews on Environmental Health*, 13(1-2): 73-90.
- Dadvand, P., Rivas, I., Basagana, X., Alvarez-Pedrerol, M., Su, J., Pascual, M.D., Amato, F., Jerret, M., Querol, X., Sunyer, J., and Nieuwenhuijsen, M.J., 2015. The association between greenness and traffic-related air pollution at schools, *Science of The Total Environment*, 523: 59-63.
- Demuzere, M., Orru, K., Heidrich, O., Olazabal, E., Geneletti, D., Orru, H., Bhave, A. G., Mittal, N., Feliu, E., and Faehnle, M., 2014. Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure, *Journal of environmental management*, 146: 107-115.
- Ding, L., Zhu, D., Peng, D., and Zhao, Y., 2017. Air pollution and asthma attacks in children: A case-crossover analysis in the city of Chongqing, China, *Environmental pollution*, 220: 348-353.
- Frampton, M.W., Smeglin, A.M., Roberts, N.J., Finkelstein, J.N., Morrow, P.E., and Utell, M.J., 1989. Nitrogen dioxide exposure in vivo and human alveolar macrophage inactivation of influenza virus in vitro, *Environmental Research*, 48(2): 179-192.
- Gill, S.E., Handley, J.F., Ennos, A.R., and Pauleit, S., 2007. Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure, *Built environment*, 33(1): 115-133.
- Hu, X., Waller, L.A., Al-Hamdan, M.Z., Crosson, W.L., Estes, M.G., Estes, S.M., Quattrochi, D.A., Sarnat, J.A., and Liu, Y., 2013. Estimating ground-level PM_{2.5} concentrations

- in the southeastern U.S. using geographically weighted regression, *Environmental Research*, 121: 1-10.
- Kabisch, N., Frantzeskaki, N., Pauleit, S., Naumann, S., Davis, M., Artmann, M., Haase, D., Knapp, S., Korn, H., Stadler, J., Zaunberger, K., and Bonn, A., 2016. Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: Perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action, *Ecology Society*, 21(2): 39, DOI: 10.5751/ES-08373-210239.
- Kampa, M., and Castanas, E., 2008. Human health effects of air pollution, *Environmental pollution*, 151(2): 362-367.
- Lee, A.C., and Maheswaran, R., 2011. The health benefits of urban green spaces: A review of the evidence, *Journal of Public Health*, 33(2): 212-222.
- Nowak, D.J., Crane, D.E., and Stevens, J.C., 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States, *Urban Forestry Urban Greening*, 4(3-4): 115-123.
- Peters, A., Liu, E., Verrier, R.L., Schwartz, J., Gold, D.R., Mittleman, M., Baliff, J., Oh, J.A., Allen, G., Monahan, K., and Dockery, D.W., 2000. Air pollution and incidence of cardiac arrhythmia, *Epidemiology*, 11(1): 11-17.
- Song, W.Z., Jia, H.F., Li, Z.L., Tang, D.L., and Wang, C., 2019. Detecting urban land-use configuration effects on NO₂ and NO variations using geographically weighted land use regression, *Atmospheric Environment*, 197: 166-176.
- Wang, T., and Xie, S.D., 2009. Assessment of traffic-related air pollution in the urban streets before and during the 2008 Beijing Olympic Games traffic control period, *Atmospheric Environment*, 43(35): 5682-5690.
- Wu, C.D., Chen, Y.C., Pan, W.C., Zeng, Y.T., Chen, M.J., Guo, Y.L., and Lung, S.C.C., 2017. Land-use regression with long-term satellite-based greenness index and culture-specific sources to model PM_{2.5} spatial-temporal variability, *Environmental Pollution*, 224: 148-157.
- Zhang, Y.W., Ni, H., Bai, L.J., Cheng, Q., Zhang, H., Wang, S., Xie, M.Y., Zhao, D.S., and Su, H., 2019. The short-term association between air pollution and childhood asthma hospital admissions in urban areas of Hefei City in China: A time-series study, *Environmental Research*, 169: 510-516.

Estimation of NO₂ Variability in Taipei Metropolis Using Geographically Weighted Regression

Pei-Yi Wong¹ Chih-Da Wu^{2,3} Huey-Jen Su^{4*}

Abstract

Nitrogen Dioxide (NO₂) is one of the major air pollutants in urban area. In this study, NO₂ concentration observations during 2000 to 2013 were obtained from 18 EPA monitoring stations. Geographically Weighted Regression (GWR) coupled with GIS land-use data was then applied to assess the spatial-temporal variability of NO₂ in Taipei metropolis. The results showed that, a slightly decreasing trend was found in the pollutant level during the studied fourteen years. For example, the averaged NO₂ concentration level was 25.49ppb in 2000 but decreased to 21.48ppb in 2013. Several land-use related variables were selected as important predictors in the developed GWR model. Among them, roads were positively correlated to pollutant levels. Forests and waterbodies showed a negative association. Moreover, the resultant model had a highly explanatory power with the model R² of 0.89. Finally, NO₂ variability was illustrated using the developed model. Higher pollutant levels were clustered in the densely populated areas with heavy traffic.

Keywords: Air pollution, Nitrogen Dioxide (NO₂), Land-use, Geographically Weighted Regression (GWR)

¹ Graduate Student, Department of Environmental and Occupational Health,
National Cheng Kung University

² Associate Professor, Department of Geomatics, National Cheng Kung University

³ Adjunct Research Fellow, National Institute of Environmental Health Sciences, National Health Research Institutes

⁴ Distinguished Professor, Department of Environmental and Occupational Health, National Cheng Kung University

* Corresponding Author, E-mail: hjsu@mail.ncku.edu.tw

Received Date: Nov. 26, 2019

Revised Date: Dec. 18, 2019

Accepted Date: Jan. 14, 2020