

港都如何用樹蔭抵抗熱浪？基隆市人行道街道增樹的空間可行性、降溫效益、颱風韌性與環境公平之情境分析

How Can a Port City Use Tree Shade to Withstand Heatwaves? A Scenario Analysis of Spatial Feasibility, Cooling Benefits, Typhoon Resilience, and Environmental Equity for Street-Tree Expansion on Keelung Sidewalks

周秉漢 / CHOU, BING-HAN

ORCID : 0009-0000-7018-5096 | handson0102@hotmail.com

完成日期：2026-07-17 | DOI : 10.5281/zenodo.21405437

授權：CC BY 4.0僅適用於作者有權授權的原創內容

閱讀前請先確認研究邊界。

這份研究辨識的是『值得進一步現勘的線段』，不是可立即施工的樹位。本文沒有現有樹木、地下管線、產權、土壤、風場或實測降溫資料；所有樹位數均為透明假設下的規劃情境。

摘要

都市植樹常以「增加樹數」作為政策口號，但基隆的山海地形、既有人行道、地下設施與颱風暴露，使樹木是否有空間生長、行人是否仍能連續通行、以及後續養護能否承擔，至少與樹數同等重要。本研究使用內政部國土管理署 2026 年 6 月全國人行道圖資中的基隆市 462 筆紀錄，以及基隆市 2026 年 3 月行政區人口年齡資料，建立可重現的寬度初篩、門檻敏感度、樹位間距與行政區公平情境。主要規則保留至少 1.5 公尺人行淨寬，並把總寬減淨寬所得的 1.0 公尺視為研究假設的設施／植栽帶代理值；該值不是法定植穴尺寸，也不代表現地一定可種樹。

原始資料共記錄 181.197 公里，但信一路兩筆各 15.135 公里的長度明顯偏離其餘市區線段，本研究保留原值並標為「待查核異常值」，主要情境不使用這兩筆長度；品質篩選後為 150.927 公里。寬度初篩辨識出 80 筆、24.074 公里的「直接容納候選」，以及額外 62 筆、17.541 公里的「需道路空間重分配候選」；合計 142 筆、41.615 公里。若只把長度以 8 公尺間距向下取整，兩情境分別形成 2,981 與 5,150 個規劃樹位。這些數字是上限式規劃情境，不是現有樹數、核准樹位或預測存活樹數。直接容納候選長度在不同淨寬與植栽帶假設下介於 15.161 至 28.938 公里，顯示結論對門檻有實質敏感性。

降溫文獻支持樹蔭與蒸散有助降低行人熱暴露，但效果會隨樹冠、物種、供水、都市形態、量測指標與氣候而變；因此本文不把候選長度換算成固定降溫度數。公平檢視也只到行政區尺度：仁愛區 65 歲以上人口占比最高（25.4%），安樂區每千人候選長度最低（70.5 公尺），但不能據此判定街廓層級熱風險。研究提出「人行安全先行、樹位現勘、颱風風險篩選、分期試植、公開監測」的執行框架，並主張政策績效應由樹苗採購數轉向五年存活、連續遮蔭、人行淨寬、風災失敗率與弱勢受益程度。

關鍵詞：基隆市、行道樹、都市熱浪、人行道、颱風韌性、環境公平、情境分析、都市林

Abstract

Urban tree programs are often framed as numerical planting targets. In Keelung, however, steep terrain, constrained sidewalks, subsurface infrastructure, and typhoon exposure make growing space, uninterrupted pedestrian access, and long-term maintenance equally important. This study combines 462 Keelung sidewalk records from Taiwan's June 2026 national sidewalk inventory with March 2026 district-level age data. It develops reproducible width screening, threshold sensitivity, spacing, and equity scenarios. The primary rule preserves a 1.5 m pedestrian clear width and treats a 1.0 m difference between total and clear width as a research proxy for a potential facility/planting strip. This proxy is neither a legal planting-pit dimension nor proof of on-site feasibility.

The inventory reports 181.197 km. Two 15.135 km records on Xin 1st Road are retained but flagged as anomalies pending verification; the primary analysis therefore uses 150.927 km. Width screening identifies 80 records and 24.074 km as direct-fit candidates, plus 62 records and 17.541 km requiring road-space reallocation. At an assumed 8 m spacing, these scenarios yield 2,981 and 5,150 modeled tree positions, respectively. They are planning upper bounds, not inventories, approved sites, or survival forecasts. Direct-fit length ranges from 15.161 to 28.938 km across the tested thresholds. Because empirical cooling varies by canopy, species, water availability, urban form, heat metric, and climate, the study does not convert candidate length into a fixed temperature reduction. District-level equity results are exploratory and cannot identify block-level heat risk. The proposed implementation sequence is pedestrian-first screening, field audit, typhoon-risk assessment, phased pilots, and transparent monitoring, with performance measured by five-year survival, continuous shade, clear-width compliance, storm failure, and distributional benefit.

1. 研究問題與貢獻

本研究回答五個可檢驗、但層次不同的問題：

1. 依官方人行道寬度欄位，基隆有多少線段可在保留主要人行淨寬假設下進入增樹現勘名單？
2. 若允許重新分配停車、設施或道路橫斷面空間，候選範圍會增加多少？
3. 結果對淨寬、植栽帶與樹距假設有多敏感？
4. 行政區人口與高齡結構是否提示不同的公平優先順序？
5. 面對颱風，如何避免把「多種樹」誤寫成「多一點韌性」？

貢獻不是提出精確樹位圖，而是把容易被忽略的決策順序形式化：先保留行人通行，再確認地上與地下空間，才談樹種、樹距與降溫；同時把颱風後的失敗風險、維護能力與公平分配納入同一套公開查核框架。

2. 文獻、法規與基隆脈絡

2.1 樹木能降溫，但沒有可通用的固定度數

近年系統性回顧指出，都市樹木透過遮蔭與蒸散緩解熱暴露，但研究結果會因地表溫度或氣溫等量測指標、樹冠結構、葉面積、物種、空間配置、背景氣候與供水而改變[1,2]。街樹研究也顯示樹木可降低高熱暴露風險[3]。這些證據支持「應做基隆現地試驗」，不支持把其他城市的單一效果量直接套到基隆。本文因此只估計可進入現勘的空間與潛在遮蔭網絡，不估計攝氏降溫、死亡減少或醫療效益。

2.2 人行道不是空白植樹用地

內政部國土管理署的現行設計標準將公共設施帶定義為人行道或分隔島內供公共設施與植栽使用的空間，一般人行淨寬不得小於 1.5 公尺；12 公尺以下道路與既有受限情形另有較低門檻與主管機關同意條件。標準也要求無障礙通行連續、植栽不妨礙視線，且喬木植穴應考量面積與開展空間[4]。本研究採 1.5 公尺作保守的主要分析門檻，但這不是在替主管機關作法規適用判定。

2.3 基隆已有管理責任，不等於每一條路都適合增樹

《基隆市行道樹管理維護辦法》把防颱、巡視、倒伏搶修、補植與預算列為管理內容，也要求新闢或拓寬道路設置人行道時考量預留植樹空間[5]。《基隆市道路管理規則》允許管理單位在綠地、路肩及人行道植樹，但不得妨礙人車安全[6]。市府都市發展處公園管理科也公開列有都市計畫道路行道樹管理與緊急搶災職責[7]。2025 年施政成果記載維護 26 條都市計畫道路的行道樹與植栽[8]。這些資料證明已有治理基礎，卻沒有提供完整的現有樹木、樹冠、健康、土壤體積或地下管線清冊。

2.4 公平不能只看哪裡有空間

環境正義研究提醒，樹冠與降溫利益的分布可能與社會脆弱度不一致[9,10]。因此「最容易施工」不必然等於「最需要降溫」。然而本文僅有行政區年齡資料，沒有里級所得、冷房可近性、慢性病、行人量、日照、地表溫度或樹冠覆蓋率；公平分析只能作為第二階段資料蒐集的排序提示。

2.5 颱風韌性是系統結果

熱帶氣旋造成的都市樹木失敗受物種、樹體結構、根系與土壤、既有損傷、風暴強度、周邊建物及養護共同影響[11]。所以「耐風樹種」不能取代適當植穴、根域、樹冠結構、更新與風前巡檢；單一物種大量種植也可能放大病蟲害與氣候風險。

3. 資料與方法

3.1 資料來源與授權

資料	版本／擷取	用途	原授權與本站處理
內政部國土管理署「人行道」	SIDEWALK_202606；2026-07-17擷取	線段長度、總寬、淨寬、行政區、幾何	政府資料開放授權條款第1版；公開包僅含基隆衍生篩選表，原始全國ZIP由官方提供
基隆市現住人口按性別年齡	2026年3月底；2026-07-17擷取	行政區人口、0-14歲、65歲以上	政府開放資料；公開包提供衍生行政區統計與官方網址
法規、計畫與學術文獻	各頁標示版本；2026-07-17查核	研究設計、限制與政策脈絡	第三方內容不改以CC BY 4.0授權；僅提供必要摘要與連結

人行道資料說明列出道路名稱、起訖、方向、總寬、淨寬、斜坡、縣市與行政區等欄位，資料集授權為政府資料開放授權條款第1版[12]。人口資料取自基隆市政府公開的 2026 年 3 月資料集[13]。

3.2 品質檢查

程序先檢查長度、總寬與淨寬是否為非負數，並要求淨寬不大於總寬。另以「單筆長度超過 5 公里」作為研究者事前可說明的市區線段異常規則。兩筆信一路資料各記為 15.135 公里，均保留於衍生資料但標為待查核異常值；主要候選與樹位計算排除，未宣稱官方資料已被作者正式更正。此規則只是避免單一值支配結果，後續應向資料提供機關核對。

3.3 三類空間初篩

設總寬為 W 、官方淨寬為 C ，設施帶代理值 $F = W - C$ 。分類如下：

類別	研究規則	可以解讀為	不可以解讀為
直接容納候選	$C \geq 1.5\text{ m}$ 且 $F \geq 1.0\text{ m}$	寬度欄位允許進一步現勘	已有 1 m 植穴、地下無管線、可立即施工
需道路空間重分配	$W \geq 2.5\text{ m}$ ，但不符合直接容納	若重畫設施／停車／通行空間，可能進入設計	可以直接壓縮行人空間或停車一定能移除
非植樹優先／資料待查	其餘或異常值	應先查資料，或考慮棚架、騎樓、遮陽、冷鋪面等替代	該處永遠不能有樹

1.0 公尺是可重現的研究情境，不是法定植穴最小邊長；真正設計仍須滿足植穴面積、土壤體積、根域、無障礙、視距、排水與管線條件。

3.4 敏感度與樹位情境

直接容納敏感度交叉測試淨寬 1.2、1.5、1.8 公尺與設施／植栽帶代理寬 0.8、1.0、1.2 公尺。樹位則以每一候選線段長度分別除以 6、8、10 公尺並向下取整。此算法沒有扣除路口、車道出入口、站牌、消防栓、照明、坡道、既有樹與不連續區段，因此是上限式情境。

3.5 公平代理與分析界線

行政區公平表同時呈現 65 歲以上占比、每千人候選長度，以及每公里候選長度對應的高齡人口數。後者只反映粗粒度「需求壓力」：數值較高可能提示候選空間相對人口少，但不等於該區更熱、更弱勢或應優先施工。本文沒有個人資料，也不做個人暴露或健康判定。

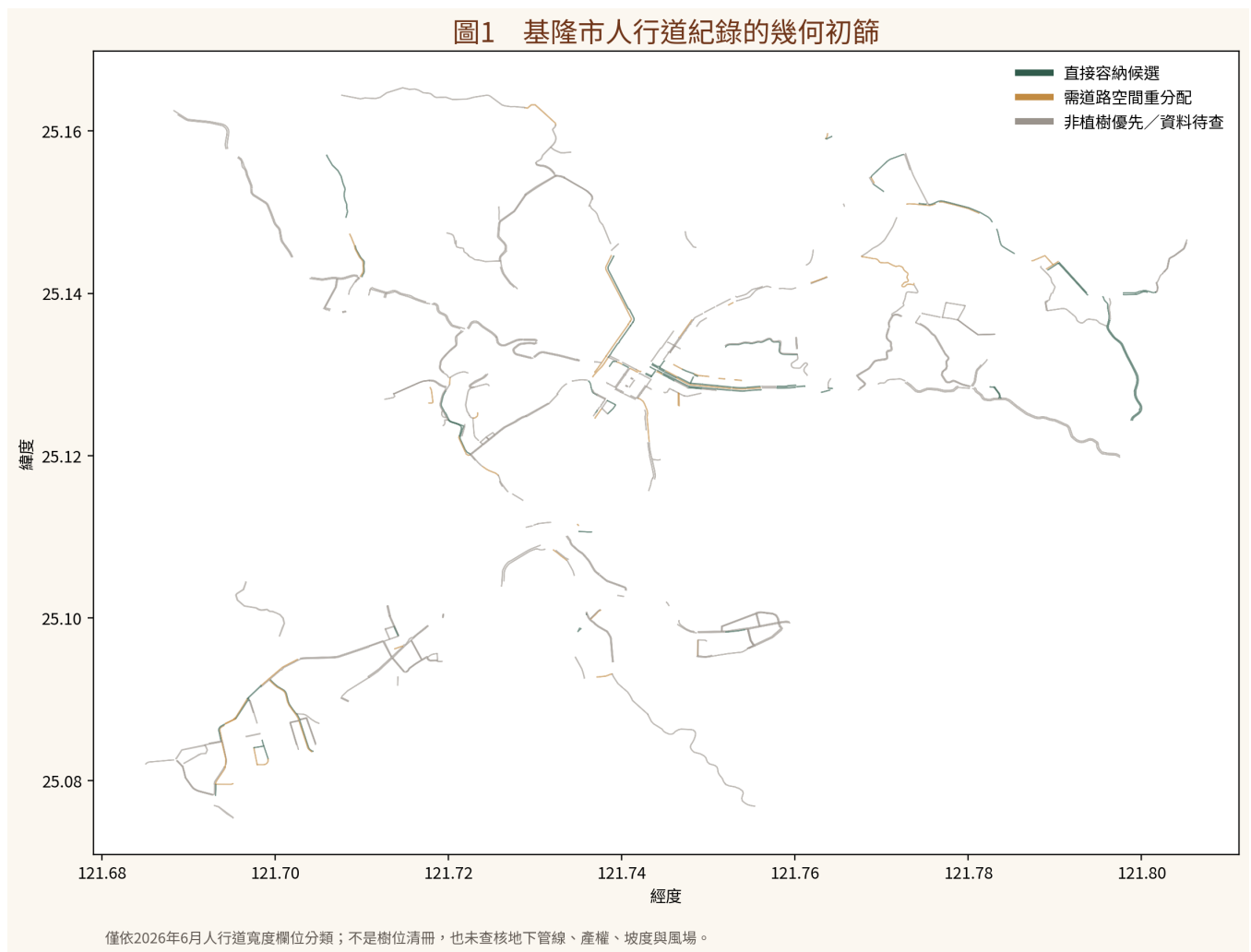


圖1 基隆市人行道紀錄的幾何初篩；不是核准樹位圖

圖2 人行道寬度欄位分布（8公尺以上截尾顯示）

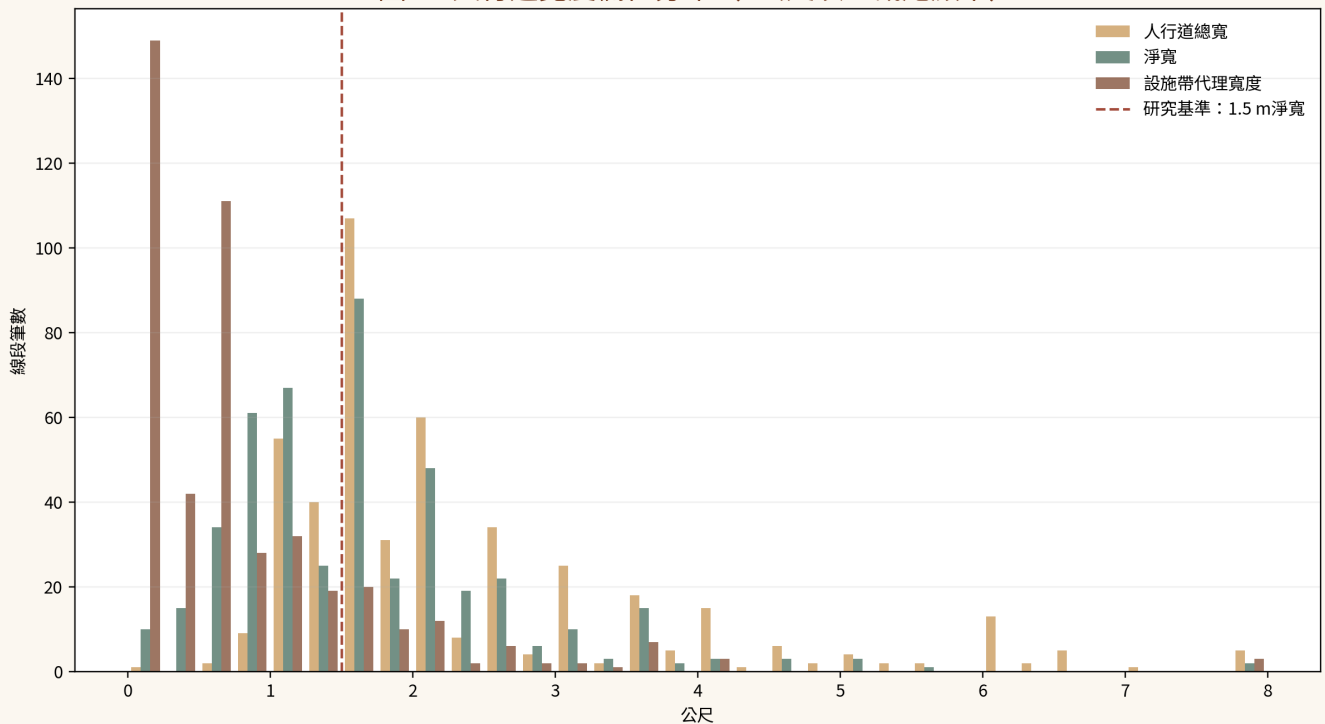


圖2 人行道寬度欄位分布

4. 結果

4.1 資料品質與總量

官方基隆檔含 462 筆，原始長度合計 181.197 公里；排除兩筆待查核長度後，主要描述長度為 150.927 公里。這兩個總數服務不同目的：前者忠實呈現來源欄位，後者避免異常值支配情境。本文不以多邊形面積或圖面外觀取代官方長度，也不把重複方向的兩側人行道合併成道路中心線。

4.2 主要空間情境

情境	線段筆數	長度	6 m間距	8 m間距	10 m間距
直接容納候選	80	24.074 km	3,975	2,981	2,383
加入道路空間重分配候選	142	41.615 km	6,875	5,150	4,116

「加入道路空間重分配」比直接容納多 62 筆與 17.541 公里。這反映政策選擇的核心：若不願重新分配路權，候選網絡會明顯較小；若願意重畫空間，則必須把行人安全、交通與公共設施協調列入成本，而不能把增加的 2,169 個八公尺情境樹位視為免費容量。

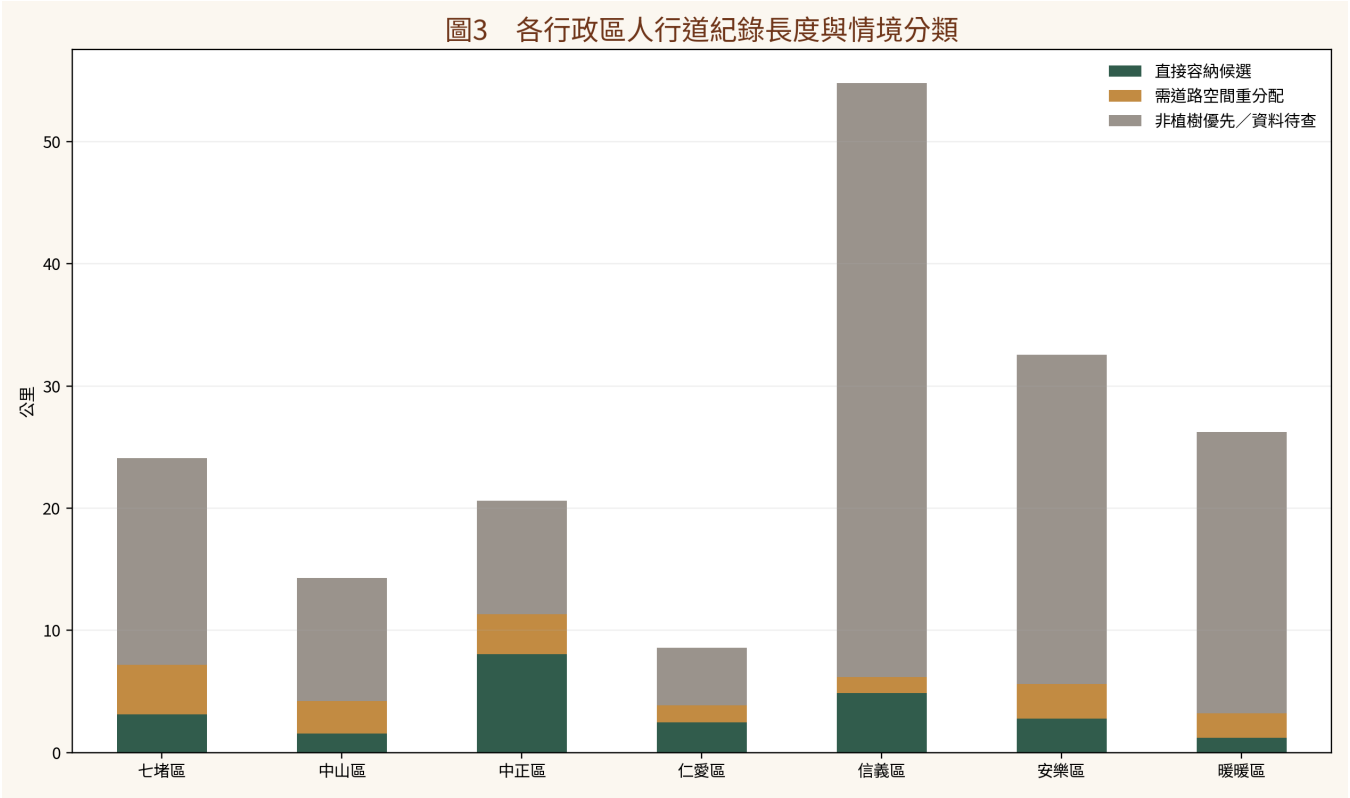


圖3 各行政區人行道紀錄長度與情境分類

4.3 門檻敏感度

九組「直接容納」門檻下，候選長度介於 15.161 公里（淨寬 1.8 m、代理帶 1.2 m）與 28.938 公里（淨寬 1.2 m、代理帶 0.8 m）。主要設定 1.5 m／1.0 m 得 24.074 公里。門檻敏感度表已套用相同的異常值規則；即使演算法透明，也不能消除來源值品質與門檻選擇對結果的影響。

圖4 直接容納候選長度的門檻敏感度

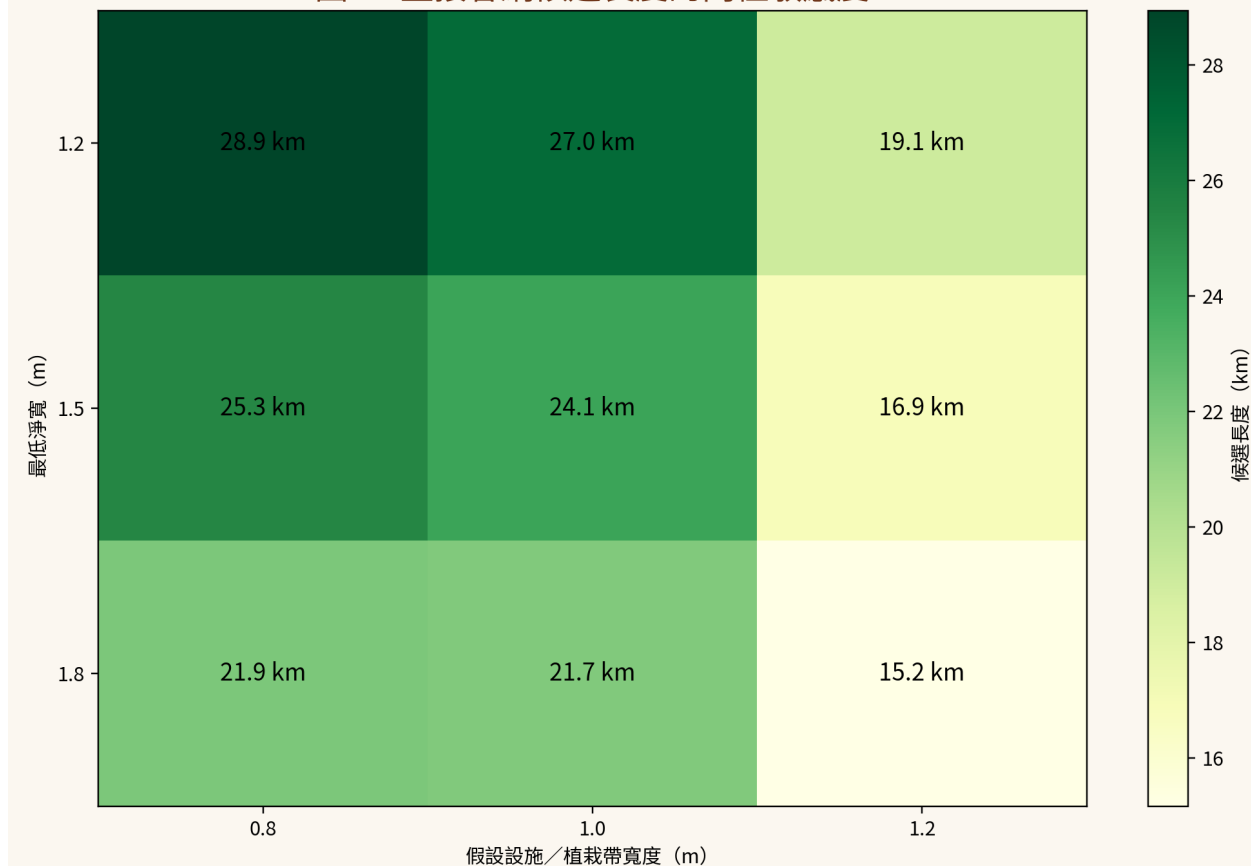


圖4 直接容納候選長度的門檻敏感度

4.4 行政區公平提示

行政區	人口	65歲以上占比	初篩候選長度	每千人候選長度
七堵區	52,168	21.8%	7.18 km	137.6 m
中山區	45,421	23.0%	4.21 km	92.7 m
中正區	51,490	23.8%	11.34 km	220.1 m
仁愛區	39,511	25.4%	3.86 km	97.8 m
信義區	52,389	22.9%	6.20 km	118.3 m
安樂區	79,714	21.5%	5.62 km	70.5 m
暖暖區	38,439	20.3%	3.21 km	83.6 m

仁愛區的高齡占比最高；安樂區人口最多、每千人候選長度最低；中正區的初篩候選長度相對人口較高。但缺少街廓熱暴露與樹冠現況時，不能把這些差異轉成工程排名。

圖5 行政區人口、老年人口與候選長度的粗粒度公平檢視

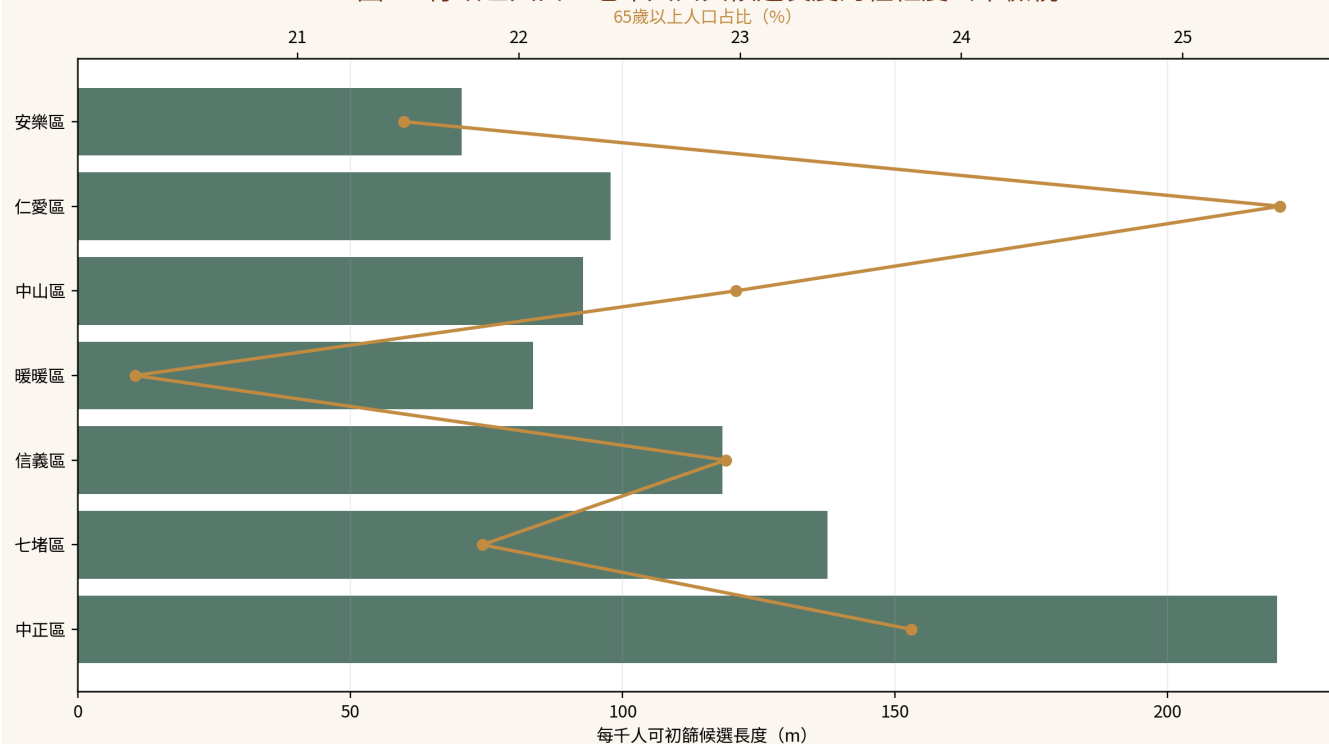


圖5 行政區人口、老年人口與候選長度的粗粒度公平檢視

圖6 不同間距下的規劃樹位情境

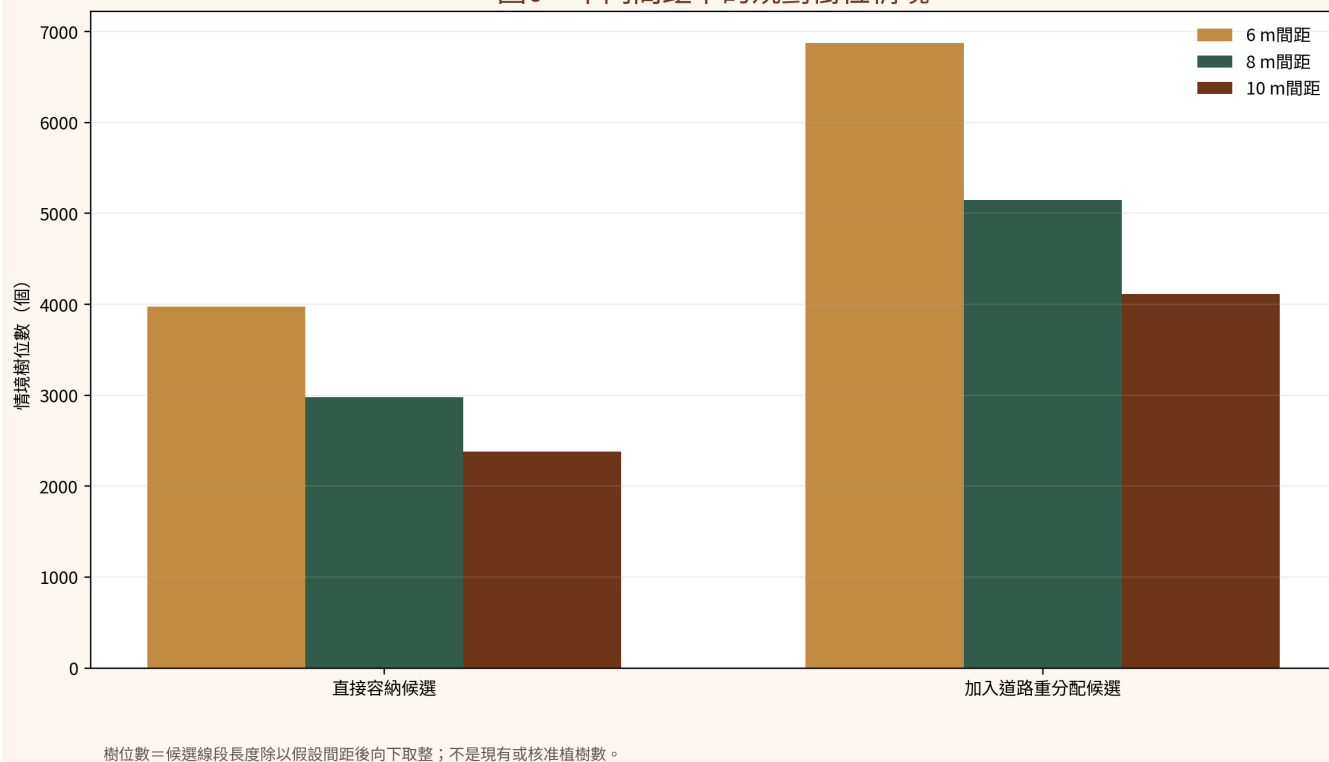


圖6 不同樹距下的規劃樹位情境

5. 從候選空間到可量測降溫

本文建議先做 6–12 個街廓的分層先導，而不是直接承諾全市溫度下降。街廓應跨行政區、街谷型態、日照方向與候選類別，並至少保留可比較的未處理對照。量測包括樹冠投影、天空可視因子、黑球溫度、氣溫、相對濕度、風速、路面溫度、UTCI 或同類熱舒適指標、行人量及土壤水分。量測應在相同時段、熱日與一般日重複，並報告遮蔭下與日照下的差異，而不是只選效果最大的照片或時刻。

三階段判準可以是：第一年成活與通行不惡化；第三年形成可量測的遮蔭連續性；第五年再評估熱暴露、風災失敗、維護成本與公平受益。若空間不適合喬木，替代方案可包括連續遮陽棚、騎樓通行改善、候車亭遮蔭、冷鋪面、口袋綠地或建築退縮植樹。

6. 颱風韌性設計

每一候選點進入施工前，至少需要下列檢核：

- 風與地形：海風、山谷加速、建物轉角渦流、迎風面與歷史倒伏紀錄。
- 樹體與物種：成熟尺寸、枝幹結構、根系、鹽風與積水適應、物種多樣性；不以單一「耐風排行榜」替代專業選種。
- 地下與地上空間：連續土壤體積、排水、管線、路燈、招牌、車行視距、消防及無障礙動線。
- 養護週期：建立期灌溉、支撐移除、結構性修剪、風前巡檢、風後分級處置與公開工單。
- 失敗學習：記錄倒伏、折枝、枯死、鋪面隆起與移除原因，以樹年（tree-years）計算失敗率，不用補植數掩蓋問題。

適合基隆的目標不是「永不倒樹」，而是讓可預防的失敗下降、倒伏後生命線快速恢復，並使資料能支持下一輪樹位與樹種修正。

7. 推動路徑與治理儀表板

7.1 五步驟

1. 資料校核：先核對兩筆 15.135 公里長度，建立現有樹木、樹冠與缺株清冊。
2. 現地現勘：對 142 筆候選逐段查核產權、管線、坡度、視距、車道出入口、日照、風與土壤。
3. 公平加權：加入里級熱影像、行人量、高齡與兒少設施、冷房可近性及公車站等待時間。
4. 分層先導：小規模隨訪，不同樹位設計保留可比較對照，公開成活、遮蔭與維護資料。
5. 適應性擴張：達標才擴張；未達標則更換設計或改採非樹木遮蔭。

7.2 建議公開指標

面向	不宜只看	建議指標
數量	當年種下幾棵	一、三、五年存活株數與樹年
降溫	單一晴天下的最低溫	配對時段的熱舒適分布、遮蔭連續長度

面向	不宜只看	建議指標
行人	施工完成長度	連續淨寬、障礙點、無障礙稽核
風災	補植株數	每千樹年折枝、倒伏、緊急封路與修復時間
公平	各區平均分配	高暴露／高需求人口的實際遮蔭受益
財務	樹苗單價	五年全生命週期成本與每公里有效遮蔭成本

8. 研究限制、權利與更正

8.1 研究範圍聲明

本研究僅描述指定來源於標示擷取日期可觀察之公開資訊。「未觀察到」或「未揭露」不表示相關個人、企業或機構實際未提供該能力、未遵守法令、服務品質較差或存在違法情形。本文不構成企業排名、法令遵循判定、投資、醫療、法律或交易建議。

8.2 主要限制

本文沒有現有行道樹清冊、樹冠影像、地下管線、產權、土壤體積、坡度、風場、日照、行人量、交通量或現地溫度。人行道多邊形不等於可植樹中心線；兩側人行道也可能同屬同一道路。樹位情境未扣除路口、出入口與既有設施。人口只到行政區尺度。本文沒有證明任何線段可施工，也沒有證明增樹後會降低固定度數或改善特定健康結果。

8.3 第三方權利及授權聲明

除另有標示外，CC BY 4.0 僅適用於作者有權授權的原創分析、文字編排、研究程式及原創圖表。第三方名稱、商標、網址、資料、圖片、文字摘錄及其他內容，仍依原權利人或來源授權條款使用，不因收錄於本研究而改以 CC BY 4.0 授權。

8.4 更正申請聲明

本研究依特定日期可取得的公開資訊製作。被提及之個人、企業或機構如認為資料有誤、已更新或缺乏必要脈絡，可提供具體來源申請更正。作者核實後將依版本政策修訂並保留修訂紀錄。更正申請：handson0102@hotmail.com。

8.5 AI使用、利益衝突與作者責任

生成式 AI（OpenAI Codex）協助來源線索整理、程式撰寫、圖表、語言起草與網站製作；AI 不列為作者。周秉漢負責研究問題、來源核對、分析規則、結果解讀、公開決策與後續更正。作者未接受基隆市政府、樹木工程業者、政黨或相關倡議團體委託，並聲明無已知財務利益衝突。

CRedit：概念化、方法設計、資料查核、軟體、視覺化、寫作一初稿、寫作一審閱與編輯：周秉漢。

9. 結論

基隆並非沒有街道增樹空間，但官方寬度資料只能把問題從「全市都種」縮小為「哪些線段值得現勘」。排除兩筆待查核長度後，保守直接容納情境為 80 筆、24.074 公里；若納入道路空間重分配，為 142 筆、41.615 公里。這代表真正的政策瓶頸不是

樹苗供應，而是路權協調、地下空間、養護能力、風災責任與公平排序。

最可行的策略是把樹蔭視為公共基礎設施：保留行人淨寬，以現勘確認樹位，用分層先導量測熱舒適與風災失敗，並以五年存活與遮蔭連續性而非年度植樹數問責。當道路不適合喬木時，也應公開改用其他遮蔭方案。如此才能讓「港都用樹蔭抵抗熱浪」從口號變成可驗證、可修正且不犧牲行人安全的長期制度。

資料、程式與重現

公開資料包包含 `analysis.py`、衍生線段篩選表、行政區人口統計、門檻敏感度、情境摘要、六張原創圖表、來源紀錄、本文 Markdown 與可搜尋 PDF。原始 94 MB 全國人行道 ZIP 不在本站重新散布；重現者應由官方資料頁下載 SIDEWALK_202606。所有輸出可由 `python analysis.py` 重建。公開資料不含個人資料、精確私人位置、第三方頁面完整 HTML、圖片或全文摘錄。

參考文獻

1. Li, X., et al. (2026). A Systematic Review of the Cooling Effects of Urban Forests. *Arboriculture & Urban Forestry*. <https://doi.org/10.48044/jauf.2026.003>
2. Alonzo, M., Ibsen, P. C., & Locke, D. H. (2025). Urban Trees and Cooling: A Review of the Recent Literature (2018 to 2024). *Arboriculture & Urban Forestry*, 51. <https://doi.org/10.48044/jauf.2025.023>
3. Ettinger, A. K., et al. (2024). Street trees provide an opportunity to mitigate urban heat and reduce risk of high heat exposure. *Scientific Reports*, 14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51921-y>
4. 內政部國土管理署 (2026年查核)。市區道路及附屬工程設計標準。
<https://www.nlma.gov.tw/ch/legislation/regsearch/87>
5. 基隆市政府。基隆市行道樹管理維護辦法。<https://exlaw.klccg.gov.tw/LawContent.aspx?id=FL055158>
6. 基隆市政府。基隆市道路管理規則。<https://exlaw.klccg.gov.tw/LawContent.aspx?id=FL048821&media=print>
7. 基隆市政府都市發展處 (2025-06-18更新)。公園管理科業務概況。<https://www.klccg.gov.tw/tw/urban/2965-110496.html>
8. 基隆市政府 (2026)。114年度施政績效成果報告。
<https://www.klccg.gov.tw/wSite/public/Attachment/01704/f1773905019827.pdf>
9. Baró, F., et al. (2019). Under one canopy? Assessing the distributional environmental justice implications of street tree benefits in Barcelona. *Environmental Science & Policy*, 102, 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.08.016>
10. Zhou, W., et al. (2021). Urban tree canopy has greater cooling effects in socially vulnerable communities in the US. *One Earth*, 4(12), 1764–1775. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.11.010>
11. Salisbury, A. B., et al. (2023). Predictors of tropical cyclone-induced urban tree failure: an international scoping review. *Frontiers in Forests and Global Change*, 6. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1168495>
12. 內政部國土管理署 (2026)。人行道 (SIDEWALK_202606)。政府資料開放平臺。<https://data.gov.tw/dataset/58791>
13. 基隆市政府 (2026)。115年3月基隆市現住人口按性別年齡。政府資料開放平臺。<https://data.gov.tw/dataset/59127>
14. 基隆市政府 (2021)。基隆市國土計畫。<https://www.klccg.gov.tw/wSite/public/Attachment/018/f1638789175605.pdf>