

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書  
(出國類別：開會)

「**2025 年國際噪音年會**」出國報告

服務機關：環境部

姓名職稱：丁培修科長

出國地點：巴西聖保羅

出國期間：**114 年 8 月 21 日至 8 月 30 日**

報告日期：**114 年 11 月 26 日**

## 摘要

2025 年國際噪音年會（2025 Inter-noise）係於 114 年 8 月 24 日至 8 月 27 日假巴西聖保羅（São Paulo）之世貿中心大樓（WTC events center）召開，同時舉行由國際噪音控制工程協會（International Institute of Noise Control Engineering, I-INCE）與巴西聲學品質協會（Brazilian Association for Acoustical Quality , ProAcústica）暨巴西聲學學會（Brazilian Society of Acoustics, SOBRAC）共同主辦的第 54 屆國際噪音控制工程大會暨展覽會。這是巴西迄今第 2 次舉辦世界性的國際噪音年會，距離上次在巴西里約熱內盧舉行已有 20 年之久，對於巴西聲學品質協會與聲學學會而言，本年度國際盛事能再重返巴西舉行是件非常具有歷史意義的事情。

此次噪音年會共有來自 42 個國家與地區及超過 700 位專家學者代表與會，超過 420 篇學術論文於該年會的 52 個技術會議進行發表，分別就各類噪音與振動管制與執行成果等類別進行專文報告及討論，另外亦有 40 家參展廠商於會場展出國際最新噪音量測儀器及創新吸音與隔音材料，顯示各國對噪音管理與改善控制相關創新技術越來越加以重視。本屆噪音年會主題為「連結更美好的聲音世界」（Connections for a better sounding world），強調聲學領域的合作與創新對於改善聽覺環境和促進每個人福祉的重要性。

大會討論議題包括聲學與振動工程科學（物理聲學介質、量測方法、模擬技術、振動聲學、氣動聲學、主動式噪音控制）、工業與交通應用（航空噪音、陸運交通噪音、流體噪音、螺旋槳噪音）、材料建築與環境應用（建築聲學、城市聲音傳播、聲學材料測量）、人因關係（社區噪音與健康、聲景、電動車感知與聲音設計）、多學科方法（噪音對生物多樣性影響、音樂與科學、教育與管理、噪音暴露與溝通之非聽覺效應）共計 20 個技術領域或管制策略。各場技術會議之舉行旨在透過實體交流以激發靈感與創意，鼓勵分享各國學術與實務研究成果，以提供可直接應用於創造更好聲音環境的實用工具。

主辦單位於本次年會安排共 52 場次技術會議，各國與會人員利用齊聚一堂的機會，針對各個議題內容以面對面方式進行交流討論，強調連結與創新是創造改變的關鍵，透過來自世界各地的噪音振動領域專家學者分享知識，推廣創新技術，共同攜手合作創造一個藉由聲音可提升生活品質的未來，相信未來一定能實現這個美好願景。

# 目 錄

壹、目的.....	3
貳、行程.....	5
參、過程.....	9
肆、心得及建議 .....	44
伍、附件	
附件一「2025 年國際噪音年會」出席與發表論文證明.....	47
附件二「2025 年國際噪音年會」發表之論文 .....	49

## 壹、目的

- 一、噪音一直以來是現代都會區普遍存在之環境污染課題，我國因地狹人稠，再加上都會區住商型態混合複雜，目前六大都會區人口佔比超過全國人口總數之八成，致使噪音污染常為近年各類環境陳情案件之首，再加上部分都會區住宅大樓社區開發案與高速公路及快速道路等陸上運輸系統相近，陸續有民眾向地方環保局陳情陸上運輸系統複合性噪音擾寧問題。本部為關心陸上運輸系統噪音之有效改善，除於近年來透過委辦計畫研發改善對策及精進稽查技術，並期望運用結合目前國際噪音管制技術與科技新知，進一步有效改善陸上運輸系統噪音擾寧情事，維護民眾環境安寧。
- 二、第一屆國際噪音年會係於 1972 年於美國華盛頓舉行，截至今年已為第 54 屆，是目前全世界噪音或振動領域相關之年度主要參與之代表性國際年會盛事，各國產官學界之專家學者均會紛紛踴躍出席，數千名專家人員透過參與不同分項主題之技術會議，齊聚一堂並透過面對面方式實體交流及進行意見交換，共享國際最新管制作為、研發技術及科技發展成果。
- 三、本年度（2025 年）國際噪音年會（2025 Inter-noise）係於 114 年 8 月 24 日至 8 月 27 日假巴西聖保羅（São Paulo）之世貿中心大樓召開，同時舉辦由國際噪音控制工程協會（International Institute of Noise Control Engineering, I-INCE）與巴西聲學品質協會（Brazilian Association for Acoustical Quality , ProAcústica）暨巴西聲學學會（Brazilian Society of Acoustics, SOBRAC）共同主辦的第 54 屆國際噪音控制工程大會暨展覽會。這次是巴西迄今第 2 次舉辦世界性的國際噪音年會，距上次在巴西里約熱內盧舉行已有 20 年之久，本年度國際盛事能再重返巴西舉行是件非常具有歷史意義的事情。
- 四、在本次噪音年會共舉辦了 6 場大會專題演講，及 52 場次技術會議，會議議題內容含括與噪音管制及聲學研究相關之各類主題，共包括聲學與振動工程科學（物理聲學介質、量測方法、模擬技術、振動聲學、氣動聲學、主動式噪音控制）、工業與交通應用（航空噪音、陸運交通噪音、流體噪音、螺旋槳噪音）、材料建築與環境應用（建築聲學、城市聲音傳播、聲學材料測量）、

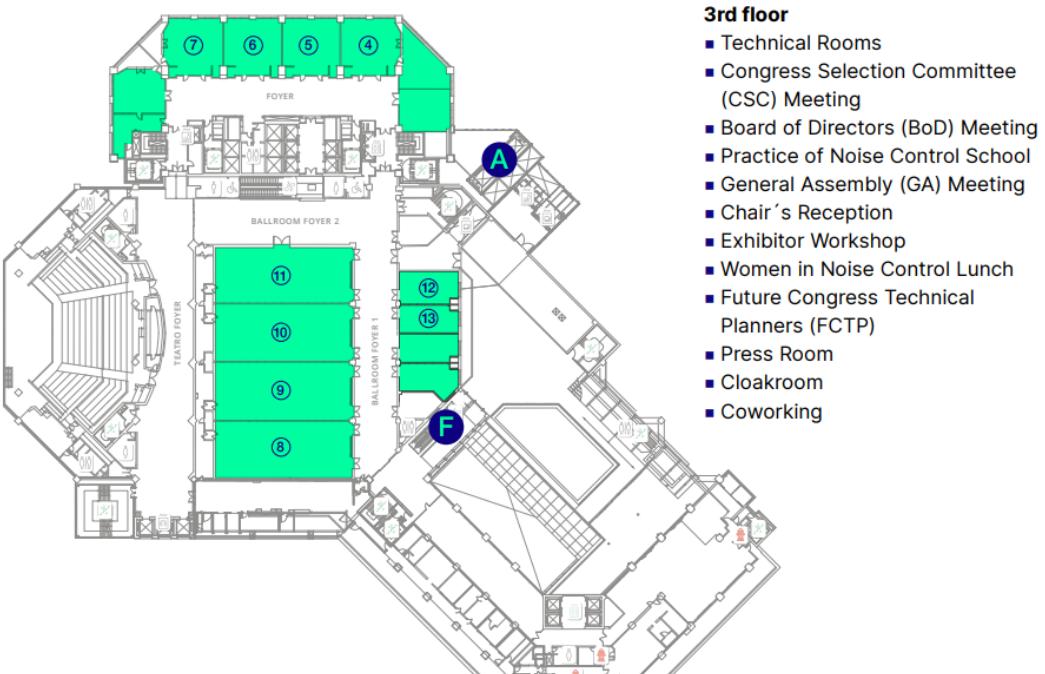
人因關係（社區噪音與健康、聲景、電動車感知與聲音設計）、多學科方法（噪音對生物多樣性影響、音樂與科學、教育與管理、噪音暴露與溝通之非聽覺效應）等技術領域或管制策略。噪音國際年會提供政策制定者、學術研究人員及產業界提供分享落實聲學管理應用與實踐之平台，讓與會者彼此交流與激盪學習，本屆年會主題為「連結更美好的聲音世界」(*Connections for a better sounding world*)，正是呼應會議舉辦之目的，促使各類噪音與聲學不同相關領域專業人士跨學科連結與合作，提出創新有效科技管理策略與改善技術來因應日益複雜之噪音污染相關挑戰，提供人類更好的生活環境品質。

五、我國屬地狹人稠地理環境，人民對環境品質要求日益提升，透過噪音年會之參與，我們看見許多與台灣共通性的噪音問題與挑戰，包括都會區噪音管理，弱勢族群之加強保護，多重性音源需藉由科技來釐清（包括模式建立與陣列麥克風之運用），環境教育之加強及創新性隔音材料之建置等，藉由參與國際噪音年會，不僅可讓世人看見台灣積極推動噪音污染管制之努力，更是應善盡地球村之國際成員一份子之責任，也透過環保外交讓世界持續看見台灣之存在。

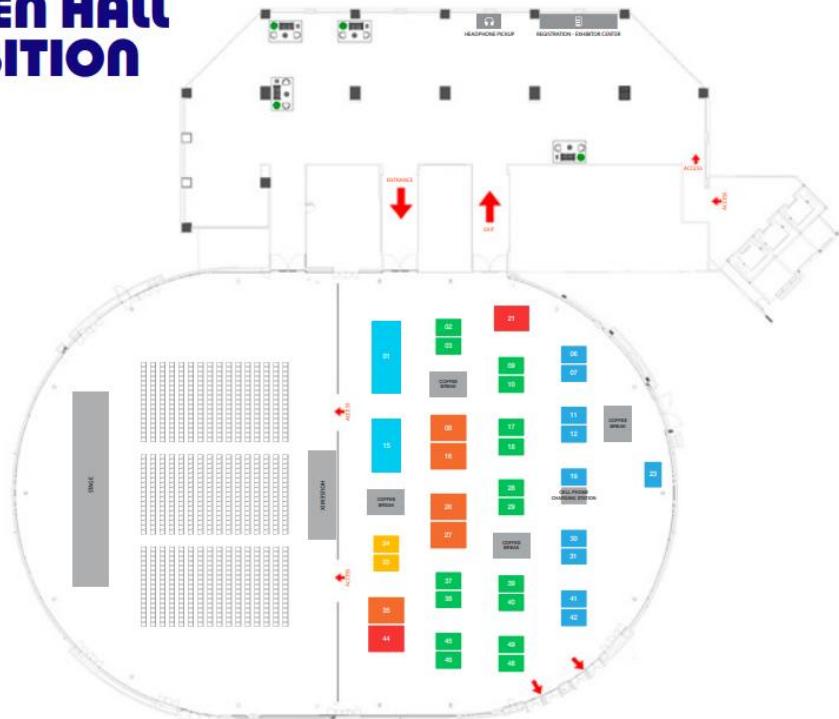
## 貳、行程

活動日期	行程及地點	工作內容
8/21(四)~8/22(五)	臺北至巴西聖保羅	去程（含日本及美國共 2 次轉機）， 8/22 抵達巴西聖保羅
8/23(六)	聖保羅	會議準備
8/24(日)	聖保羅	2025 年國際噪音年會-完成會場報到、開幕式及大會專題演講
8/25(一)	聖保羅	2025 年國際噪音年會-周邊儀器廠商參訪及參與各分場次主題演講
8/26(二)	聖保羅	2025 年國際噪音年會-本部發表噪音專題演講與交流，及聆聽各國演講者發表噪音研究成果與海報導覽
8/27(三)	聖保羅	2025 年國際噪音年會-聆聽大會專題演講、各國講者發表噪音研究成果及大會閉幕式
8/28(四) ~8/30(六)	巴西聖保羅至臺北	回程（含美國及日本共 2 次轉機），返抵台北





# GOLDEN HALL EXHIBITION AREA



## ■ DIAMOND

- 01 - SAINT GOBAIN - ECOPHON
- 15 - TRISOFT

## ■ PLATINUM

- 08 - GETZNER
- 16 - CRY SOUND
- 26 - KNAUF
- 35 - VEESCOM - DECOTRADING

## ■ GOLD

- 24 - ACOEM
- 25 - AMBI ACÚSTICA

## ■ SILVER

- 02 - ATENUA SOM
- 03 - SCALA ACÚSTICA
- 27 - GROM
- 09 - MASON
- 10 - SILENTIUM
- 17 - KR3 LAUDOS TÉCNICOS
- 18 - GERB
- 28 - DIARCO
- 29 - ARKFLEX
- 37 - AUBICON

## 38 - ZETA LAB

- 39 - OTERPREM
- 40 - 3R
- 45 - SENOR
- 46 - TÉCNICA ACÚSTICA
- 48 - MTS BRASIL

## ■ EXHIBITOR

- 06 - EVERISOL
- 07 - NORSONIC
- 11 - ODEON
- 12 - MULLER
- 19 - VIBTECH
- 23 - HBK BRASIL
- 30 - SEVEN BEL
- 31 - VIBRANIHIL
- 41 - BEDROCK AUDIO BV
- 42 - NTI AUDIO
- 49 - ZXONIC TECHNOLOGY INC.

## ■ INSTITUTIONAL

- 21: PROACÚSTICA
- 44: IN2026 AUSTRALIA

## Exhibitor workshops

During the Industrial Sessions scheduled just after the keynote session on Monday, August 25 and Tuesday, August 26, exhibitors will offer 40 minute workshops within dedicated time slots outside the scientific sessions. They are free to all congress delegates, and to OneDay Exhibition Visitors on their day of booking. Registration of participants to the workshops will be available by logging in to their online IN25 personal account. Subject to availability.

**Venue:** see IN25 app and website

**Date:** Monday, August 25,

15:20 - 16:00

**Date:** Tuesday, August 26,

15:20 - 16:00

## 參、過程

- 一、本次國際噪音年會共有來自 42 個國家與地區及超過 700 位專家學者代表與會，共超過 420 篇學術論文於該年會的 52 個技術會議進行發表，分別就各類噪音與振動管制與執行成果等類別進行專文報告及討論，另外亦有 40 家參展廠商於會場展出國際最新噪音量測儀器及創新吸音與隔音材料，顯示各國對噪音管理與改善控制相關創新技術越來越加以重視。
- 二、本屆噪音年會主題為「連結更美好的聲音世界」( Connections for a better sounding world )，強調聲學領域的合作與創新對於改善聽覺環境和促進每個人福祉的重要性。本次年會共舉辦了 6 場大會專題演講，及 52 場次技術會議，大會討論議題包括聲學與振動工程科學(物理聲學介質、量測方法、模擬技術、振動聲學、氣動聲學、主動式噪音控制)、工業與交通應用(航空噪音、陸運交通噪音、流體噪音、螺旋槳噪音)、材料建築與環境應用(建築聲學、城市聲音傳播、聲學材料測量)、人因關係(社區噪音與健康、聲景、電動車感知與聲音設計)、多學科方法(噪音對生物多樣性影響、音樂與科學、教育與管理、噪音暴露與溝通之非聽覺效應)共計 20 個技術領域或管制策略。各場技術會議之舉行旨在透過實體交流以激發靈感與創意，鼓勵分享各國學術與實務研究成果，以提供可直接應用於創造更好聲音環境的實用工具。
- 三、本次國際噪音年會之舉行，是在本年 8 月 24 日（星期日）假巴西聖保羅世貿中心大樓 5 樓主會場辦理開幕儀式及進行與會人員報到，主辦單位在開幕儀式特別安排英國劍橋大學工程學系 Alice Cicirello 教授進行 Noise and vibration challenges through the physics-enhanced machine learning (運用物理學增強機器學習以因應噪音與振動相關挑戰) 專題演講，教授是英國劍橋大學之數據、振動與不確定研究小組 (Data, Vibration and Uncertainty group) 創辦人與召集人，她在演講中提到物理增強機器學習 (Physics-Enhanced Machine Learning, PEML) 也被稱為科學機器學習 (Scientific Machine Learning)。它透過整合從現實世界數據、基於物理的模型以及特定領域與專家知識中提取的資訊來開發模型，從而為高風險決策的工程應用提供指導。



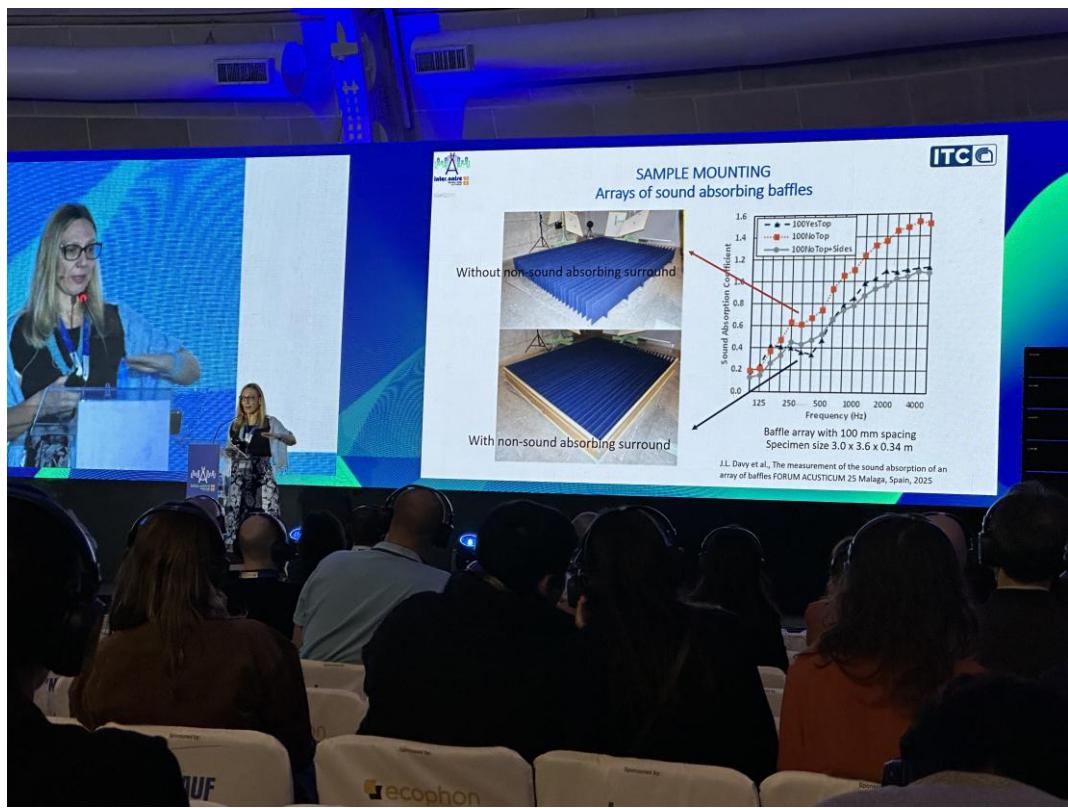
巴西聲學品質協會主席 Dr. Marcos Holtz 代表主辦單位致詞



國際噪音控制工程協會主席 Dr. Luigi Maffei 致詞



英國劍橋大學工程學系 Alice Cicirello 教授進行開幕式專題演講



義大利國家研究委員會建築技術研究所 Chiara Scrosati 博士進行專題演講

四、教授介紹三種廣泛運用的 PEML 方法，包括物理引導 (physics-guided)、物理編碼 (physics-encoded) 和物理啟發 (physics-informed)，並說明最近為噪音與振動應用開發的策略，包括振動聲學模型的有效不確定性量化，以及摩擦接觸等非平滑非線性的識別。在演講中提到該研究的核心在於解決一個重要的工程問題：「為什麼一個在電腦上看起來完美的設計，實際製造出來後效果卻不盡理想？」，研究人員發現傳統的噪音與振動控制材料，在設計時假設所有零件都一模一樣且排列完美。然而在現實製造過程中，總會出現無法避免的微小差異，例如材料本身不均勻、零件尺寸有些許誤差，或是組裝位置不完全精準。

五、這些看似無關緊要的「不完美」，卻會大大影響材料的最終減振效果。該研究主要成果就是提出一種名為「物理增強機器學習」的創新技術，來運用解決這個從「設計」到「現實」的落差。最後也討論在應對噪音與振動挑戰方面所面臨的開放性挑戰與潛在機會，包括透過此類創新且高效的解決方案，能幫助工程師在設計噪音與振動控制產品時，更精準地預測在現實世界的表現。這項技術的突破將能使我們能製造出更可靠、更具備穩定性能的產品，也為未來的聲學工程應用開啟新的可能性。

六、另外在 8 月 25 日（星期一）上午 9 點於世貿中心大樓 5 樓的 Golden Hall 1 舉行的第 2 場大會演講，是由義大利國家研究委員會建築技術研究所 (CNR-ITC) 研究員 Chiara Scrosati 博士進行 Measure for measure: getting meaningful numbers in building acoustic（建築聲學中的有意義測量：分寸必究）專題演講，她目前擔任 CNR-ITC 聲學實驗室的負責人，也擔任國際噪音控制工程學會 (I-INCE) 副主席。她指出現有數百萬人約 90% 的時間待在室內環境。依世界衛生組織估計其中約三分之二的時間是在家裡度過的，居住環境長期以來被認為是影響人類健康的關鍵因素。因此建築物在保護居住者免受外部噪音干擾以及降低內部噪音，扮演著至關重要的角色，藉此提升日常生活整體舒適度和幸福感，若要有效設計並改善聲學環境，對建築聲學數據進行可靠預測是不可或缺的。

七、該研究主要探討從實驗室測量中獲取數據的精確度和準確性，一旦單一測量的不確定性被確定後，考量抽樣技術就變得至關重要，她並提出關於隔音和混響

室內吸音性能的實驗室間測試和現場循環測試結果，指出即便是在實驗室內進行標準測試，測試環境的細節也會影響結果，強調在進行聲學測量時，標準化和精確控制環境之重要性，並呼籲業界應致力於推動實驗室間的比較測試，以進一步促進建築聲學領域的發展。

- 八、Chiara 博士在演講最後，以蘇格拉底的名言「唯一的真智慧，就是知道我們到底有多無知（The only true wisdom is in knowing how much we know nothing.）」作為結尾，指出在建築聲學領域，我們永遠不可能達到 100% 完美的精準度。真正的智慧不是宣稱我們能精確測量一切，而是謙虛地承認測量結果中存在的不確定性，並誠實地評估這些不確定性有多大。她指出真正的專業精神在於不僅要能測量，更要能理解測量結果的局限性。這項研究成果提醒所有相關專業人士，在進行建築聲學設計和評估時，必須保持嚴謹、懷疑和謙遜的態度。
- 九、本次噪音年會的 20 項討論主題係平均分配在 8 月 24 日至 8 月 27 日所召開的 52 場技術會議，並於世貿中心大樓之 5 樓主會場及 3 樓視聽會議室舉行，與會人員可依會議議程所列主題前往聆聽，同時在 5 樓主會場中央則是由 40 個參展商所展出各先進國家噪音量測儀器與創新隔音及吸音材料介紹。另為提高我國在國際上之能見度及參與度，本部於本次年會進行口頭發表專文「我國陸上運輸系統複合性噪音量測方法評估研究」(Evaluation of composite noise measurement methods in land transportation systems in Taiwan)。
- 十、我國因地狹人稠再加上都會區住商型態混合複雜，噪音污染常為近年各類環境陳情案件之首，近年來陸續有都會區民眾陳情高速公路與快速道路等陸上運輸系統複合性噪音擾寧問題，而本部在近年已針對北部都會區民眾陳情地點進行實地量測研究，透過採取陣列式麥克風、一級麥克風及道路噪音模式模擬等三種不同方法進行實驗量測與分析並獲得初步研究成果。本部代表於口頭報告後，獲得在場聽眾迴響，包括丹麥、挪威及日本等國專家學者皆詢問報告內容與進行意見交流。
- 十一、此外，本部於本次噪音年會針對都會交通噪音、建築噪音與振動、智慧城市與噪音量測、校園噪音改善、音景地圖及環境噪音與健康影響等不同噪音相

關議題，聆聽蒐集各國講者發表各類噪音相關研究成果，會場聽眾並與講者積極進行互動討論，相關資料蒐集可供未來檢討修訂噪音管制法規策略參考。

十二、另外在年會之主會場中央舉行的噪音控制工程展覽會參觀各國廠商參展的噪音量測與控制相關儀器設備產品，蒐集現行國際噪音偵測最新資訊，與國外噪音管制技術作法進行接軌。藉由出席國際噪音年會學習科技新知，可瞭解各國最新噪音防制技術、理論基礎研究及監測發展動向，將有助於本部未來規劃實施噪音防制措施之參考及業務推動，以維護國人生活環境安寧。



本部代表於會場進行我國研究成果論文口頭報告



本部代表於會場進行論文口頭報告後與主持會議瑞典學者合影



本部代表於會場參觀 HBK 丹麥廠商展示最新陣列麥克風儀器設置與操作



本部代表於技術會議聆聽論文發表與土耳其研究團隊合影



**inter.noise 20**  
SÃO PAULO - BRAZIL  
24-27 AUGUST

# PROGRAM AT A GLANCE

[www.internoise2025.org](http://www.internoise2025.org)

**SUNDAY,  
AUGUST 24**

Registration Desk  
12:00 PM - 6:00 PM

General Assembly (GA)  
meeting  
8 - Ballroom 1

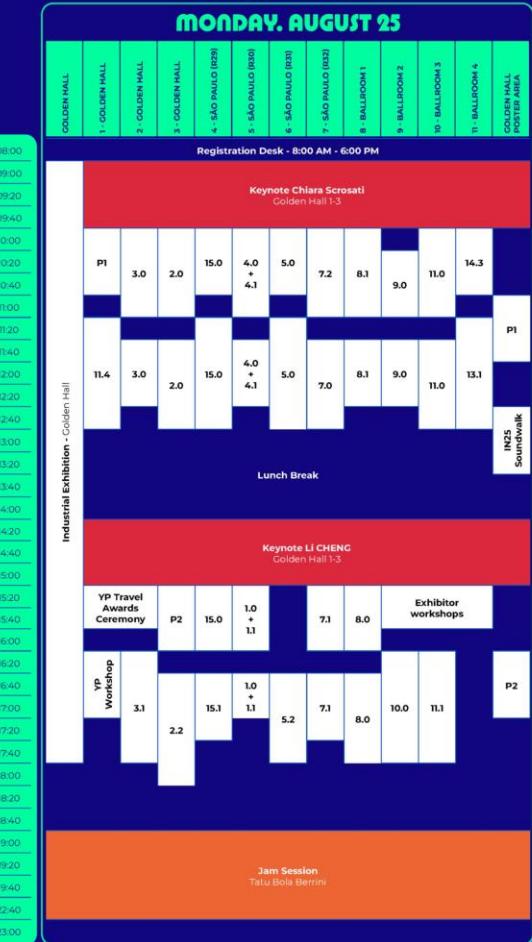
Plenary Alice Cicirello  
Golden Hall 1-3

Opening Ceremony  
Golden Hall 1-3

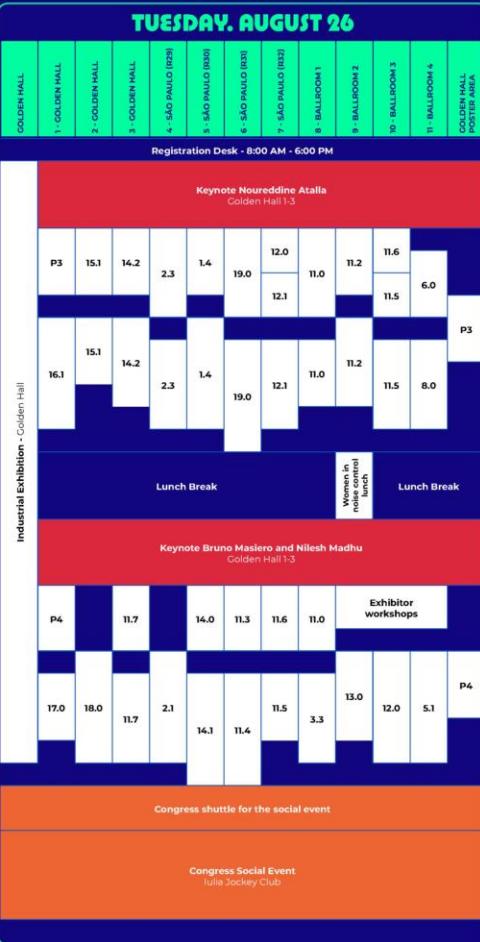
Welcome/Opening  
Reception  
Golden Hall

Chair's reception  
8 - Ballroom 1

Industrial Exhibition - Golden Hall



**TUESDAY, AUGUST 26**



**WEDNESDAY, AUGUST 27**



## 摘錄 2025 年國際噪音年會與本部相關之研究論文議題

項次	發表國家	論文題目
1	日本	A Review of Recent Trends in Airport Noise Issues in Japan
2	德國	The effects of road traffic noise exposure on children's well-being: Results of causal pathway analyses in the context of the exposome concept
3	比利時	Urban sound and tranquility in the context of early-life exposome
4	智利	Biophilic soundscape design in urban greenspaces
5	巴西	Assessment of Noise Pollution in Cidade dos Lagos, Guarapuava/PR: Noise Mapping as a Tool for Sustainable Urban Planning
6	土耳其	Urban Sound Mapping in Public Spaces of Istanbul: Sound Pressure Level Analysis in Kadıköy, Taksim, and Eminönü
7	巴西	Calibration of smartphone-based sound level measurements for reliable urban noise studies
8	中國	Research on Noise Control Techniques for Highways Adjacent to Residential Areas: A Case Study of a Section of the Guangzhou-Shenzhen Highway
9	巴西	Noise Reduction and Sustainability in Physical Education: Impacts on Health and the school Environment
10	波蘭	Impact of Traffic Parameters Prediction on the Accuracy of Noise Modelling
11	巴西	Method of interpreting the perception of everyday sounds in a listed urban and architectural complex
12	土耳其	Conceptual Transformations: From urban quiet soundscapes to acoustic quality spaces in search of urban acoustic comfort

## 一、 A Review of Recent Trends in Airport Noise Issues in Japan

### 日本機場近年噪音管制經驗與挑戰

- (一) 該論文回顧日本自 1970 年代以來系統性的機場噪音防制對策，並提出近年面臨的關鍵轉變與挑戰。日本國內機場噪音防制措施，與國際民航組織的防制規範作法一致，主要分為三大類，包括：1.噪音源頭減量（導入低噪音航空器）；2.機場結構與設施改善（興建離岸機場：如關西機場、設置緩衝綠帶等）；3.減緩與補救對策（包含土地使用規劃、夜間飛航限制，以及補救性賠償：如房屋隔音補助、居民搬遷）。日本政府在 1980 年代，已藉由投入大量預算完成大部分機場隔音補償措施。到了 1990 年代，隨著低噪音飛機的引進及離岸機場的建設，嚴重的噪音問題一度趨於平緩。
- (二) 然而自 2000 年以來，居民對噪音的接受度發生轉變，衍生出新的問題包括「低噪音、高煩擾」現象，儘管單次飛行的最大噪音值在過去 40 年降低了 10 分貝，但抱怨反而開始出現在距離機場較遠、噪音值低於環境標準的地區。這類問題並非來自單次噪音過大，而是源於新航路的開闢（如羽田機場飛越東京市中心的新航路）或是因航班頻率增加。這些地區的噪音雖未達補償標準，但頻繁的飛越仍引起居民顯著困擾。
- (三) 該論文提出日本政府面臨噪音標準與評估的困境，包括 1.評估指標的轉換：日本在 2013 年已將環境品質標準 (EQSAN) 的評估指標從 WECPNL 轉換為日夜均能音量。然而，其標準值（住宅區 57 分貝）實質上未有重大改變；2.現行標準的失靈：由於大量陳情主要發生在「符合標準」的區域，論文作者質疑，這個沿用近 50 年的標準可能已無法反映當前的社會接受度；3.缺乏夜間專門標準：隨著貨運和國際航班需求增加，機場開始放寬夜間限制。然而日本缺乏專門針對夜間（睡眠時段）的噪音評估標準，也引發居民對睡眠剝奪的擔憂。
- (四) 日本政府已在「飛機噪音防制法」規定了補償措施，例如大於 62 分貝之地區可獲隔音工程補助。然而，此補償僅適用於「指定日期」當時的既有住戶。至於在指定日期後才遷入的居民，即使身處同樣的噪音區，也無法獲得補助，造成民眾高度不滿。該研究指出地方政府和居民傾向將所有噪音

問題（包含未達標的）都視為機場營運方的責任，這種期待並不切實際。

- (五) 研究論文亦指出，部分主要機場（如大阪、福岡）仍受 50 年前的法院判決限制，實施嚴格宵禁（如 21:00 或 22:00 停止營運）。考量到飛機已大幅降噪且現代生活型態改變（調查顯示 22:00 前睡覺的日本人不到 30%），應考慮適度延長營運時間。
- (六) 目前日本缺乏機場與社區間的法定協商委員會，現有的委員會多半只關注噪音減量和經濟利益。該研究呼籲應建立如法蘭克福機場的協作模式，共同商討環境管理、噪音共享，以及機場的有效利用。另該研究也建議應進行符合當前局勢的日本本土性社會調查，以重新評估噪音的實際影響。

## **二、The effects of road traffic noise exposure on children's well-being: Results of causal pathway analyses in the context of the exposome concept**

道路交通噪音暴露對兒童福祉影響：暴露體概念下因果路徑分析

- (一) 該論文採用「暴露體」(Exposome) 的先進概念，並整合歐盟大型研究計畫 (ALPINE 及 NORAH 計畫) 共 2,467 名兒童的數據，不僅證實道路交通噪音對兒童福祉的負面影響，更重要的是，揭示了噪音（物理暴露）與家庭和諧等（社會暴露）因素如何交互作用，也指出透過「煩擾度」與「睡眠品質」這兩個中介因子，最終將影響兒童的幸福感與親近社會行為。
- (二) 該研究核心概念是「暴露體」(Exposome)，強調不應孤立地看待單一環境風險（如噪音），而是應評估其與其他物理及社會決定因素的互動。本研究所指暴露體包括：1.外在暴露體 (External Exposome)：包含道路交通噪音、空氣污染、綠地等；2.社會暴露體 (Social Exposome)：包含兒童發展的社會心理與社經背景，如家庭壓力、同儕關係、家庭和諧度等。
- (三) 本研究的因果路徑模型（如下圖）顯示，暴露體（物理層面及社會層面）會透過「噪音煩擾度」和「睡眠品質」這兩個中介因子，最終影響兒童的福祉（幸福感與親近社會行為），主要關鍵性發現結果如下：
1. 噪音是兒童的直接心理壓力源

在 ALPINE 和 NORAH 兩項研究計畫均發現一致且可比較的結果，包括道路交通噪音暴露的增加，與兒童的「噪音煩擾度」顯著正相關。這證實了交通噪音對兒童來說，是一個顯著的心理壓力因子。

## 2. 「社會暴露體」是關鍵的保護與風險因子

- (1) 家庭和諧（保護因子）：兩項研究均顯示「家庭和諧度」的提升與兒童「較佳的睡眠品質」顯著相關，這意味著透過家庭的和諧與支持能夠有效緩解環境壓力。
- (2) 社會關係（保護因子）：NORAH 研究發現，「同儕關係品質」與「家庭和諧度」均與兒童的幸福感及親社會行為有顯著正向關聯。
- (3) 電玩行為（風險因子）：NORAH 研究亦發現，較多的電玩使用時間，與兒童較低的親社會行為及幸福感相關。

主要結論為社會暴露體（如家庭、同儕）在決定兒童福祉方面，扮演著極為重要的角色，其重要性甚至可能超過物理噪音暴露。

## 3. 噪音損害兒童福祉的「間接路徑」

- (1) ALPINE 計畫研究的數據支持了完整的「間接傷害」路徑模型：  
路徑 1（煩擾度）顯示，道路噪音增加會提升兒童煩擾度，並降低兒童的「幸福感」與「親近社會行為」；路徑 2（睡眠）顯示，道路噪音增加會降低兒童睡眠品質，並降低兒童的「幸福感」
- (2) 此發現極為重要並指出「煩擾度」和「睡眠品質」是噪音暴露轉化為兒童心理健康與福祉受損的關鍵機制。

## 4. 噪音對兒童福祉的「直接路徑」

NORAH 計畫雖然未發現顯著的「間接路徑」，但卻發現了顯著的「直接傷害」路徑，亦即道路交通噪音的增加，與兒童「較低的親社會行為」呈顯著負相關。這表明長期噪音暴露可能不需要透過中介因子，就能直接對兒童的社會發展（如與他人互動、友善行為）造成負面影響。

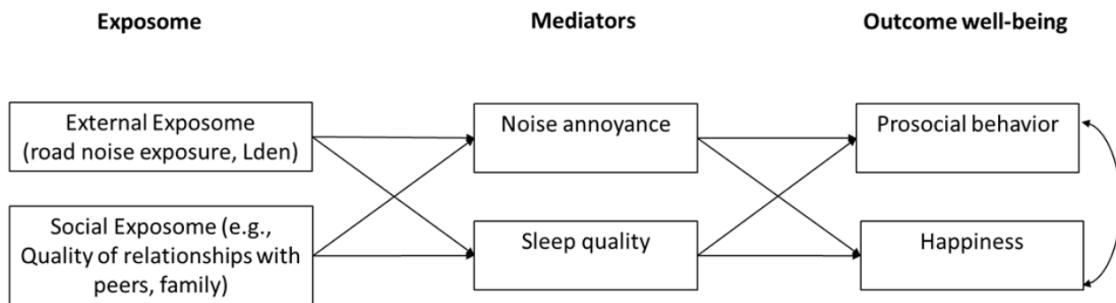


Figure 1: Mediation Model focusing on well-being as outcome

### 三、Urban sound and tranquility in the context of early-life exposome

#### 早期生活暴露體背景下的都市聲音與寧靜

- (一) 該論文提出一個關鍵性的政策挑戰：傳統的噪音管制方法已不足以應對複雜的環境健康問題。論文倡導採用「暴露體」(Exposome)的整體觀點，強調兒童早期生活所接觸的所有物理環境（含噪音）與社會環境（含家庭）的暴露，會共同影響其一生的心理健康、認知與福祉。在現實世界中，噪音與其他環境因素（如空氣品質、光線、溫度）及社會因素是高度互動且相關的。
- (二) 「暴露體」是指個體一生中（特別是早期生活）所面臨的所有環境暴露總和。兒童時期因大腦可塑性高，對環境暴露尤其敏感。這些暴露共同形塑了兒童的易感性(vulnerability)與恢復力(resilience)，進而影響其未來發展。該論文並指出，環境聲音（噪音）是透過「睡眠」及「寧靜與復原」這兩個關鍵中介因子影響健康。最佳的睡眠環境需要考量噪音、溫度、黑暗度和空氣品質，住宅本身也應是提供壓力恢復的理想環境，但是過度的環境噪音會使住宅喪失此重要功能。
- (三) 該研究認為傳統指標無法充分反映上述的複雜互動，因而提出了一系列更精確、更貼近健康衝擊的新型指標，例如：(1) 兒童作息的指標：如  $L_{en3-12}$ （針對 3-12 歲兒童睡眠時間加權），或是依年齡調整的「睡眠干擾指數」(SDI, Sleep Disturbance Index)；(2) 針對「恢復期」的指標：如「無恢復期」(ARP, Absence of Restorative Periods)，用以量化在下午 16:00 至 21:00 之間（兒童在家時段）

缺乏寧靜的時段；(3)針對事件噪音的指標：如「傍晚峰值突現度」(EPE, Evening Peak Emergency)，用以評估傍晚時段噪音事件的突顯程度。

(四) 該研究針對暴露體之各種因素高度相關性，建議採用創新數據分析方法，包括：

1. 聚類分析：透過數據驅動（如廣設感測器）的方式，結合專家知識，辨識出典型的「微環境」(micro-environments) 並進行噪音數據分析；2.知識圖譜：使用如 Gephi 等軟體，將所有已知的「指標」（噪音、建成環境、社會因素）與「健康結果」之間的關聯性，建立成視覺化的知識網絡。這些都將有助於釐清噪音指標如何與「道路長度」、「綠地」等其他指標叢集產生關聯。

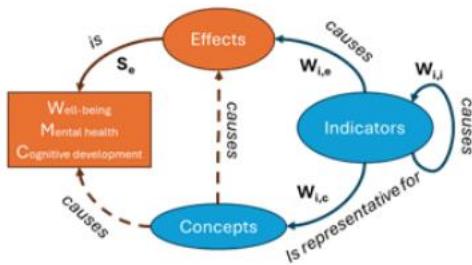


Figure 1: Relationship between indicator, exposome conceptual dimensions, effect indicators and overall wellbeing, mental health, and cognitive development.  $W_{i,c}$  rates how representative the indicator is for this concept.  $W_{i,e}$  rates the strength of the relationship between indicators and effects. Both are rates on a [0,1] scale.

#### 四、Biophilic soundscape design in urban greenspaces

##### 都市綠地的親自然聲景設計

(一) 該論文由智利大學與加拿大麥基爾大學學者共同提出，旨在解決「都市綠地因交通噪音干擾，導致其健康效益（如壓力恢復）喪失」之問題，論文的核心主要論點是傳統的「噪音消減」(Noise Mitigation) 策略成本高昂且接受度低，應轉向「聲景設計」(Soundscape Design) 的整體思維，將聲音視為一種需要積極管理的資源，而非僅是需要減少的污染物。

(二) 該研究提出一套完整的「親自然 (Biophilic) 聲景設計」方法學框架，目標是將目前被交通噪音主導的都市開放空間，轉變為以自然聲音感知為主、具健康恢復性的場域。「親自然設計」強調整合以自然為基礎的介入措施，利用植物、

樹木和水等元素作為設計組件。最關鍵的創新在於其嚴格的「親自然」定義，並提出在設計競賽的規範中，明確禁止使用「電聲（electroacoustic）或人為（anthropophonic）系統」（如：播放鳥鳴或音樂的喇叭）作為介入元素。設計的目標必須是透過永續的、以自然為基礎的元素（如樹木、花園、草地、土堤等），來實現將交通噪音的感知轉變為自然聲音的感知。

(三) 該研究之貢獻在於提出一套完整的方法學執行框架，該框架結合了實證數據收集、參與式設計與先進的虛擬實境（VR）評估工具：

1. 實證數據收集 (Soundwalk)：透過「聲景漫步」(Soundwalk)，同步收集研究場域的客觀聲學數據與主觀感知數據（如參與者問卷）。
2. 基線聽覺模擬 (Baseline Auralization)：使用 City Ditty 等聲景描繪工具，將收集到的數據建立成可互動的 3D 視覺與聽覺模型，精確重現「改善前」的聲景。
3. 基線聽力測試 (Baseline Listening Tests)：在實驗室中，讓參與者聆聽「現場錄音」與「聽覺模擬」的聲音，並使用標準化感知模型進行評估。
4. 跨領域工作坊與設計競賽 (Workshop and Design Competition)：邀請聲學家、建築師、都市規劃者等不同領域專家，舉辦跨領域工作坊。參與者將被分組並在禁止使用電聲系統的限制下，提出具體的「親自然聲景設計」提案。
5. 競賽聽力測試 (Competition Listening Tests)：將各組的設計提案進行處理，並再次進行實驗室聽力測試，使用感知模型評估哪個設計方案的聲景品質最高。
6. 模型優化與公開 (Optimization and Sharing)：獲選的設計將採用「適應性設計優化」方法，透過快速迭代測試，找出能最大化提升感知品質的最佳參數。最終的優化模型將作為沉浸式 VR 體驗向公眾分享。

(四) 本研究屬於「提出方法學框架」(proposing a framework)的論文，其主要成果在於「方法學的創新」與「未來預期」，而非已完成的實證數據。在方法學的創新性方面，包括：(1) 採用 City Ditty 等先進工具將地理資訊轉化為可聽、可互動的 3D 聲景模型；(2) 透過「設計競賽」與「聽力測試」相結合的方式，來評估設計方案的「感知效益」；(3) 採用適應性設計優化方法對設計進行「數據驅動的優化」。

(五) 本計畫預期成果為這是一個經過優化且可被大眾體驗 VR 的「親自然聲景設計」

方案。更重要的是，此框架的成功將樹立一個典範，有助於未來將「聲景的公共衛生概念維度」納入都市法規和綠色基礎設施標準中。



Figure 1: Participants engage in a reflective discussion following the soundwalk in the intervention area.

## 五、Assessment of Noise Pollution in Cidade dos Lagos, Guarapuava/PR: Noise Mapping as a Tool for Sustainable Urban Planning

巴西 Guarapuava/PR 市 Cidade dos Lagos 噪音污染評估：噪音地圖作為永續都市規劃工具

- (一) 該研究旨在透過噪音地圖對 Cidade dos Lagos 鄰里進行聲學診斷，以作為永續都市規劃的依據。研究案例極具警示價值，其研究對象 Cidade dos Lagos 是拉丁美洲第一個獲得 LEED 社區金級認證的智慧鄰里，一個以永續為標竿的全新規劃區。然而，本研究透過聲學模擬證實，即便是獲此殊榮的「永續社區」，其噪音污染程度依然嚴重超標，凸顯了現行都市規劃在聲學舒適度上的重大缺陷。
- (二) 本研究社區為一個佔地 300 萬平方公尺的大型混合使用開發案，內部包含住宅、商業區（購物中心）、以及噪音敏感設施（大學、區域醫院、癌症醫院）。其主要噪音來源為交通車流，研究團隊使用 QGIS 軟體，並整合 OpenStreetMap 的 DWG 圖資，建立該鄰里的 3D 幾何模型（含道路、建築、開放空間）。研究團隊於交通尖峰時段，在醫院、大學等敏感設施附近的關鍵點，進行現場車

輛計數（區分輕型/重型車輛）。另將交通流量、車種比例、車速等參數輸入至「Noise Modeling」聲學軟體，以模擬產生該鄰里之噪音分佈圖。又基於該市車輛成長率，推估 2030 年的預期車流量，並據此模擬出「2030 年預測噪音地圖」以預警未來噪音惡化的趨勢。

### (三) 本研究產出成果與建議說明如下：

1. 永續認證未能保證「聲學品質」：研究發現這個 LEED 金級認證的社區，其噪音地圖顯示在主要幹道（Avenida Guarapuava）沿線及多數分析點之噪音位準已普遍超過巴西國家標準及 WHO 建議的 55 分貝門檻。
  2. 噪音敏感區（醫院及學校）嚴重超標：模擬結果顯示，醫院和學校等敏感區域的噪音位準，已超過巴西國家標準建議的舒適範圍（35-55 分貝）。
  3. 現有減噪措施「成效不足」：該社區雖已導入圓環、速限等交通靜穩措施，但研究證實這些措施並不足以確保聲學舒適度。
  4. 透過 2030 年預測噪音地圖顯示，若不採取進一步的干預措施，隨著車流量的預期增長，該地區的噪音負擔將持續惡化。該研究並提出相關建議，包括未來的中大型開發案，應強制要求在審批前提交「聲學衝擊評估」，另外對於鄰近主要幹道的新建案，建議應採用具吸音性能的建築立面材料。



Figure 1: Study area - Cidade dos Lagos neighborhood, Guarapuava



Figure 2: Noise Map - Cidade dos Lagos

## 六、Urban Sound Mapping in Public Spaces of Istanbul: Sound Pressure Level Analysis in Kadıköy, Taksim, and Eminönü

伊斯坦堡公共空間都市聲音製圖：Kadıköy、Taksim 與 Eminönü 之聲壓級分析

- (一) 該研究針對土耳其伊斯坦堡三個功能多元（商業、觀光、交通樞紐）且人潮密集的重要公共空間，進行了高解析度的時空聲學評估。此研究不僅提供了量化的聲壓級（SPL）數據，更創新地整合了質化的「脈絡數據」。
- (二) 該研究採用「多維度」的評估框架，整合了客觀物理量測與質化脈絡紀錄，其方法學重點說明如下：

### 1. 儀器與標準：

- (1) 使用符合 IEC 61672-1 標準的 Class 1 專業聲級計（Brüel & Kjær Type 2250）進行量測。
- (2) 量測方法遵照 ISO 1996-1、ISO 12913-2 及 ISO/DIS 12913-3 等國際標準。

### 2. 量測指標：

- (1) 現場記錄的關鍵聲學指標包含均能音量、最大值、最小值及持續時間。
- (2) 量測時間至少 5 分鐘，架設高度為 1.5 公尺以模擬人耳高度。

### 3. 時空框架：為捕捉都市聲景的動態變化，研究人員在三個時段進行量測，包括上午（08:00-10:00）、下午（13:00-15:00）及傍晚（18:00-20:00）。

4. 脈絡數據收集（質化）：此為本研究的關鍵創新，在進行 SPL 量測的同時，研究人員同步收集了豐富的脈絡數據，包含：

- (1) GPS 地理定位及影音紀錄：使用 GARMIN 運動攝影機與智慧型手機，記錄現場的環境音訊、照片與影片。
- (2) 聲景紀錄：手動登錄「主導聲源」(Soundmarks)（如街頭藝人、交通、海浪、鳥鳴）、空間特性（如開放性）、人群規模及天氣等。

### (三) 研究成果

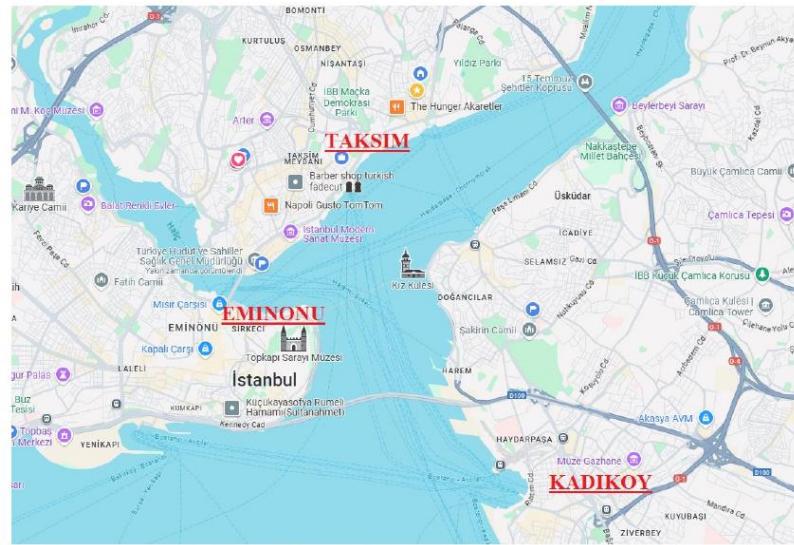
#### 1. 客觀噪音位準：

- (1) 普遍嚴重超標：所有三個地點的噪音位準都經常超過建議的閾值，尤其是在日間時段經常超過 75 分貝。
- (2) 高強度暴露：Kadıköy 區域在所有時段的平均最高（82.06 分貝）。
- (3) 時段差異：Taksim 廣場雖然日間很高，但其計算出的值最高（85.01 分貝），顯示其傍晚時段的噪音暴露問題尤為嚴重。

#### 2. 質化聲景特徵（Soundmarks）：

- (1) 質化紀錄成功地為高噪音位準提供了「聲學情境」。
- (2) Kadıköy（商業區）：聲音特徵從早上的「海鷗、掃街車」轉變為白天的「街頭藝人、人群喋雜聲、喇叭聲」。
- (3) Taksim（廣場）：聲音特徵從早上的「電車鈴聲、攤販」轉變為白天的「廣播、巴士、大量行人交通聲」。
- (4) Eminönü（交通樞紐）：聲音特徵包含「渡輪汽笛聲、海鳥、攤販叫賣聲、船隻馬達聲」。

3. 本研究結論為這些「聲景」構成了場所的聲學特性，例如 Eminönü 的高噪音（日間 83.98 dB）中，已包含了具有文化意義的渡輪汽笛和海鳥聲。



**Figure 1.** Map of measurement locations in Istanbul: Taksim Square, Kadıköy Bull Statue, and Eminönü Fishermen's Quay.



**Figure 3.** Field photos taken during morning, afternoon, and evening sessions at different locations: (a) Kadikoy, (b) Taksim, (c) Eminonu.

## **七、Calibration of smartphone-based sound level measurements for reliable urban noise studies**

### **智慧型手機聲級量測校準以用於可靠的都市噪音研究**

(一)該研究探討目前「民眾科學」( Citizen Science ) 的核心挑戰，智慧型手機雖普及且易於使用，但其量測數據缺乏校準，導致準確性堪慮。研究目的是為提供一個標準化的校準方法，用以提升手機量測數據的可靠性，使其能作為都市噪音研究的輔助工具。該論文研究核心在於量化未經校準的智慧型手機在不同頻率下的量測誤差，並提出一低成本的校準解決方案。

(二)該研究使用專業 Class 1 等級精密聲級計 (Brüel & Kjær Type 2250) 作為真值進行比對，並採用 4 款 Android 智慧型手機 (Samsung Galaxy S24+、Samsung Galaxy M34、Motorola Edge 50 Fusion) 及「NoiseCapture」應用程式，整體實驗都是在符合 ISO 10140:2021 標準的「殘響室」(reverberation chamber) 環境中進行。在殘響室中，該研究使用全向性音源發出「白噪音」(white noise)，產生約 94 dB(A) 的均勻音場。針對所有手機移除保護殼，於距離音源 2 公尺處進行 6 次量測，並分析比較手機與 Class 1 聲級計在 1/3 倍頻帶 (12.5 Hz 至 20,000 Hz) 的噪音數據偏差。

(三)該研究成果的關鍵發現為智慧型手機的量測誤差並非為單一固定值，而是在不同頻率範圍表現出巨大差異：

1. 中頻範圍 (200 Hz - 4 kHz) 表現優異：研究指出在此頻率範圍內，手機的量測偏差值非常低，接近零或略微負值，此範圍涵蓋了人類語音及多數常見的都市環境聲響，顯示手機在此區間具有高度可靠性。
2. 低頻範圍 ( $\leq 250$  Hz) 嚴重高估失真：手機在低頻的偏差極大，尤其在 100 Hz 和 125 Hz 頻帶，偏差峰值超過 25 dB(A)，這顯示出手機麥克風對於低頻噪音 (如引擎、大型機械) 極為敏感且易產生放大失真。
3. 高頻範圍 ( $\geq 2.5$  kHz) 顯著高估失真：從 2.5 kHz 開始，偏差值高估現象逐漸增加，並在 8 kHz 附近達到第 2 個高峰 (超過 20 dB)，且在 6.3 kHz 至 10 kHz 之間均存在嚴重高估。

(四) 該研究主要結論說明如下：

- 1.不可取代執法：**由於發現在頻譜兩端（低頻與高頻）存在系統性且巨大的誤差，智慧型手機不應被視為可取代專業認證聲級計的「法規」或「技術」量測工具。
- 2.可作為輔助工具：**智慧型手機在關鍵的中頻範圍表現可靠，因此可視為極具潛力的「輔助儀器」(complementary instruments)，非常適用於「初步評估」、「民眾科學計畫」及「大規模數據收集」等相關用途。
- 3.校準的必要性：**藉由本研究的標準化校準程序(如在殘響室建立頻率修正曲線)，可以顯著提升數據的可靠性，未來將有助於實現聲學監測的普及化。



Figure 1: Smartphone positioning inside the reverberation chamber.

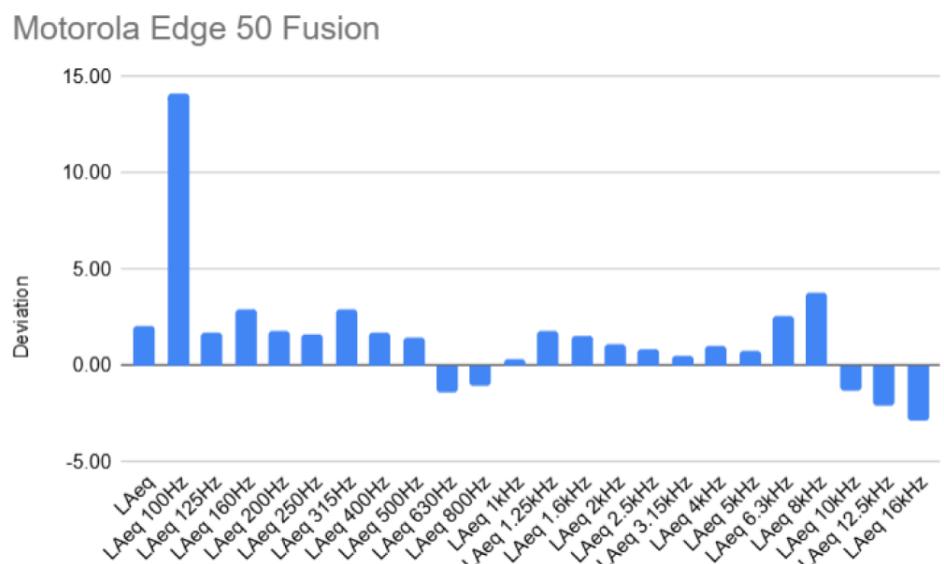


Figure 2: Motorola Edge 50 Fusion

## **八、Research on Noise Control Techniques for Highways Adjacent to Residential Areas: A Case Study of a Section of the Guangzhou-Shenzhen Highway**

鄰近住宅區高速公路噪音控制技術研究：以廣深高速公路某路段為例

(一)該論文係為研析鄰近住宅區高速公路噪音控制技術之研究，其研究背景為中國之廣東省廣深高速公路擴建（雙向 6 車道擴建為 12 車道），緊鄰高密度住宅區，其採用主要緩解措施為大規模設置「全罩式隔音結構」。然而，居民反映噪音問題依然顯著，該研究即是為解決此問題而進行。

(二)該研究結合了「動態實測」與「電腦模擬」，不僅評估了現有設施的成效，更診斷出問題的根源，並提出了優化方案。研究方法說明如下：

1.動態施工階段監測：該研究最具特色之處在於利用計畫仍在施工的動態特性，研究團隊在 2022 年至 2024 年間的六個階段（Phase I 至 VIII）進行長期追蹤量測。他們系統性地追蹤了不同施工里程碑（如隔音屏障安裝前 vs. 安裝後、舊匝道 vs. 新匝道通車）對於三棟代表性住宅大樓的實際噪音影響。此方法使其能在真實世界中，驗證隔音結構在不同交通配置下的實際減噪成效，而不僅僅依賴理論模擬。

2.聲學模擬診斷：該研究使用 Cadna A 聲學模擬軟體，建立該路段的 2D 噪音分佈模型。此方法用於分析複雜的噪音傳播路徑，並模擬了三種情境：(1) 僅有主線（無隔音罩）；(2) 僅有鄰近大道；(3) 主線與大道共存（有隔音罩）。

(三) 該研究主要成果說明如下：

1.「全罩式結構」成效具高度的位置敏感性

(1)模擬顯示全罩式結構確實有效，相較於無隔音罩，可有效降低 10-15 dBA。  
(2)然而實測數據顯示，減噪成效極不均勻，研究發現位於結構中段、遠離開口的住宅，減噪效果最顯著（約 8dBA）。但在靠近結構（隧道）開口端的住宅，減噪效果極差（僅 2 至 3dBA）。

2.「複合音源」是減噪失敗的主要原因

(1)實測數據顯示，即使在夜間車流量下降時，噪音降幅依然有限；且鄰近的住宅大樓在白天的噪音甚至上升了 0.7 dBA。

(2)透過 Cadna A 模式模擬可明確診斷問題所在，即是鄰近的「廣深大道」（Guangzhou-Shenzhen Avenue）就是一個主要的且未受控制的噪音源。

(3)研究初步結論是全罩式結構雖成功抑制了「主線」噪音，但來自鄰近大道（交流道系統）的噪音「繞射」，導致了整體減噪的失敗。

### 3. 「內部吸音」是結構優化的關鍵

(1)研究發現既有的全罩式結構（22 公分混凝土牆）在目前重型車輛佔比高（20-30%）分佈及高車流量時，隔音性能不足。

(2)研究團隊進一步模擬「優化方案」，發現最有效的措施是在結構內部採取加裝吸音材料（如吸音板、吸音棉）。

(3)透過模擬證實僅僅在匝道收費站兩側加裝內部吸音襯裡，就可使噪音衰減額外增加 9.7 dBA 至 11.2 dBA。這證明了原先設計（單僅有堅硬的混凝土表面）可能導致嚴重的內部反射，而惡化了開口端的噪音輻射。

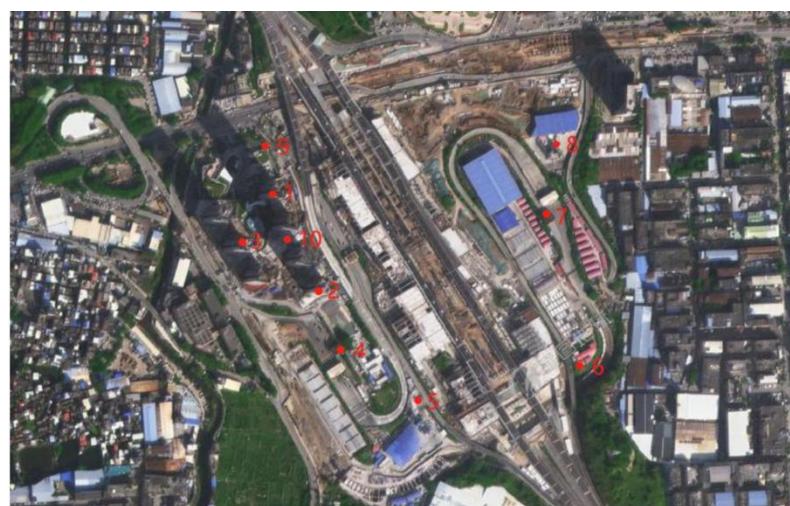


Figure 1: Distribution of measurement points

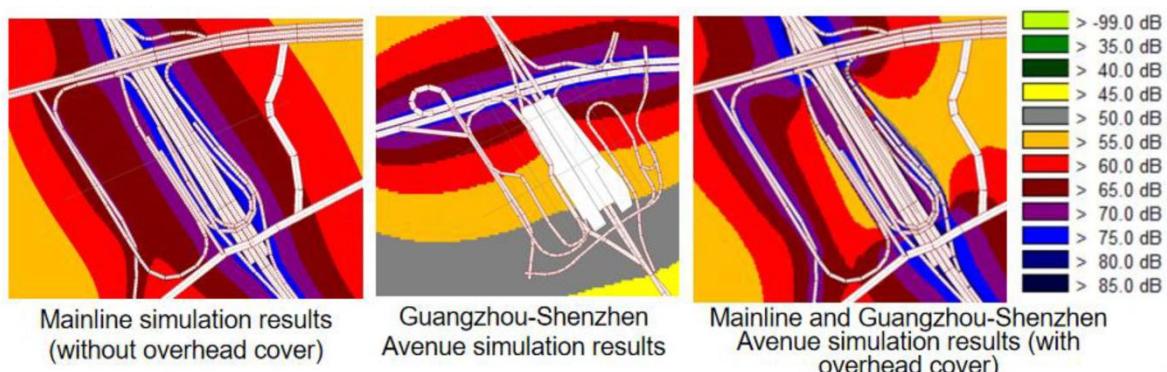


Figure 5: Noise simulation results

## **九、Noise Reduction and Sustainability in Physical Education: Impacts on Health and the school Environment**

### **體育教學中的降噪與永續性：對健康與校園環境的影響**

(一) 該論文的研究核心在於探討校園內部噪音（特別是體育課等多功能空間）的嚴重性，並強調使用永續性及回收材料作為聲學解決方案，對師生健康（特別是聽力與聲音健康）的正面效益。

(二) 該研究是屬於探討性的文獻研究，採用敘事性文獻回顧 (narrative literature review) 的方式進行。研究人員檢索了 Google Scholar、SciELO、Scopus 和 Web of Science 等學術資料庫，針對過去十年內以葡萄牙語、英語和西班牙語發表的文獻進行選取與分析，研究的重點在於分析三類主題的文獻，包括應用於校園環境的永續性聲學解決方案、噪音對師生身心健康的衝擊，及針對體育教學場域的特定干預措施。

(三) 該研究目的旨在系統性調查使用「可回收」和「永續性」材料來減少體育教學相關環境中的噪音，並評估其對公立學校師生健康的影響，透過文獻回顧作法，彙整出以下關鍵成果：

#### **1. 校園噪音問題的嚴重性：**

(1)內部噪音高於外部：研究指出校園內部的噪音水平（如體育課、餐廳）經常高於來自外部環境的噪音。

(2)健康危害：長期暴露於噪音是日益嚴重的公共衛生議題，會對師生的學業表現、身心健康產生負面影響。這不僅限於聽力損失，還包括對神經系統和心血管系統的健康損害。

(3)建築設計缺陷：在巴西以及許多國家，學校的建築設計普遍缺乏對聲學條件的考量，往往在對師生健康造成負面後果後，問題才被突顯。

#### **2. 噪音對師生的具體健康衝擊：**

(1)對教師（職業健康）：

A. 聲音健康：教師為了克服噪音，需要提高音量，導致普遍的聲音健康問題，包括聲音疲勞 (48%)、聲音中斷 (32%) 和聲音緊繃 (24%)。

B. 身心壓力：約有 74% 的教師每天暴露在噪音中，這與壓力相關疾病的發生率高、以及食物（50%）和煙草（42%）消耗量增加有關。

(2) 對學生（學習與健康）：

A. 認知影響：噪音會損害學生的健康、福祉、學習能力與認知技能發展。研究顯示，74% 的學生回報噪音損害了他們的注意力，46% 的學生感到自己受到操場噪音的負面影響。

B. 學習成效：噪音被證實會導致工作表現下降、錯誤率增加以及動機降低。

3. 永續性聲學材料的有效性：

(1) 證實有效：文獻分析顯示基於永續性聲學材料干預措施，有效降低噪音水平。

(2) 多元材料選項：

A. 天然纖維：天然纖維製成的吸音板（如巴西莓纖維）和植被覆蓋物。

B. 回收材料：使用回收材料製成的塗料或玻璃纖維。

C. 低成本方案：簡易策略如窗簾、木製家具和其他吸音元件，也被證實有效。

4. 具體應用與健康效益：在校園體育館內部安裝吸音板，被證實能有效降低內部噪音並減少對周圍區域的聲音洩漏。採用這些策略後，觀察到師生的聲音健康、專注力和整體福祉均獲得改善。

## 十、Impact of Traffic Parameters Prediction on the Accuracy of Noise Modelling

### 交通參數預測對噪音模擬準確度的影響

(一) 該論文研究目的係為量化交通預測的不準確性對道路噪音模擬結果的實際影響，藉由大規模的「預測數據」與「實際量測數據」的比對，量化了交通參數（車流量、車種比例、車速）的預測不準確性對噪音模擬結果的具體衝擊。

(二) 研究方法採用「事前預測」與「事後量測」的對比方式進行分析，說明如下：

1. 數據收集（事前預測）：

研究團隊分析了波蘭在 2005 年至 2013 年間，針對尚未興建的道路所做的 133 個路段的環境影響報告，並從這些報告收集「預測的」交通參數（車流量、車速、重車比例），作為「施工前階段」的數據。

## 2. 數據收集（事後量測）：

針對上述 133 個路段在道路完工營運後（2012 年至 2019 年間），再於相同地點實際進行現場的交通參數實際量測；這些「實際量測的」交通參數被視為「施工後階段」或「真實」數據。

## 3. 噪音模擬與比對：

研究團隊透過建立標準模型方式，將「預測數據」和「真實數據」這兩套交通參數，分別輸入四種不同的噪音計算模型（NMPB-Routes-96、RLS-90、CNOSSOS-EU 和波蘭 PK 模型）。最後再進行比較兩組數據（預測數據，真實數據）所產生的噪音計算結果，並完成統計分析。

(三) 該研究成果發現交通預測數據的不準確性及對噪音模擬具顯著影響，說明如下：

### 1. 交通參數預測的不準確性：

(1)總車流量：預測值與實測值的相關性僅為 0.54，顯示在許多情況下存在顯著差異。整體而言，預測沒有明顯高估或低估趨勢，但數據非常分散也顯示預測的波動性極大。

(2)車速：重車的預測不準確性高於輕型車，重車車速的相關性很低，且數據分散性同樣顯著。

(3)重車分布比例：這是本研究最關鍵的發現，並觀察到呈現系統性低估的趨勢。約 75% 的案例中，預測階段都低估了實際的重車分布比例，這種低估在夜間尤其明顯，也會直接導致了在道路營運階段的噪音模擬結果被低估之情形。

### 2. 對噪音模擬結果的影響：

(1)相關性方面：研究發現 NMPB、RLS-90 和 CNOSSOS-EU 模型的  $R^2$  約在 0.79 至 0.82，顯示使用預測數據和真實數據的計算結果具有高度相關性。

(2)不準確性的量化：儘管具有高度相關性，但不準確性依然存在。該研究採用 95% 信賴區間方式計算出僅因「交通參數預測的不準確」，就導致噪音模擬結果產生了  $\pm 3.4 \text{ dB}$  至  $\pm 4.0 \text{ dB}$  的誤差區間。

### 3. 研究建議：

(1)交通參數具有噪音模擬預測不準確性，特別是被系統性低估的重車分布比

例，對於噪音模擬結果具有重大影響。

(2)施工前階段的噪音模擬必須考慮到這種潛在的極高不準確性，以避免失真情形發生。

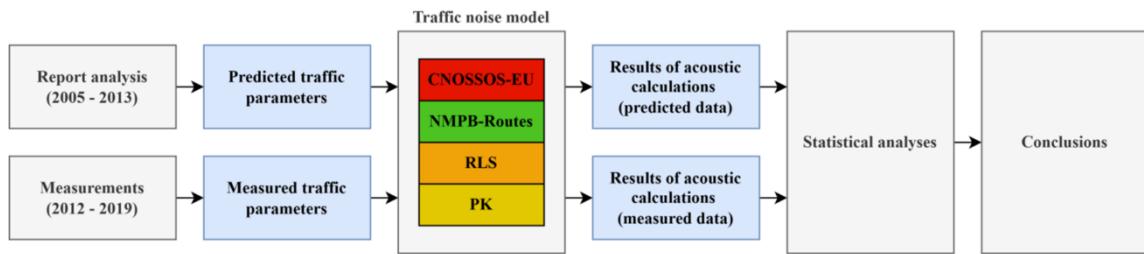


Figure 3: General scheme of research procedure

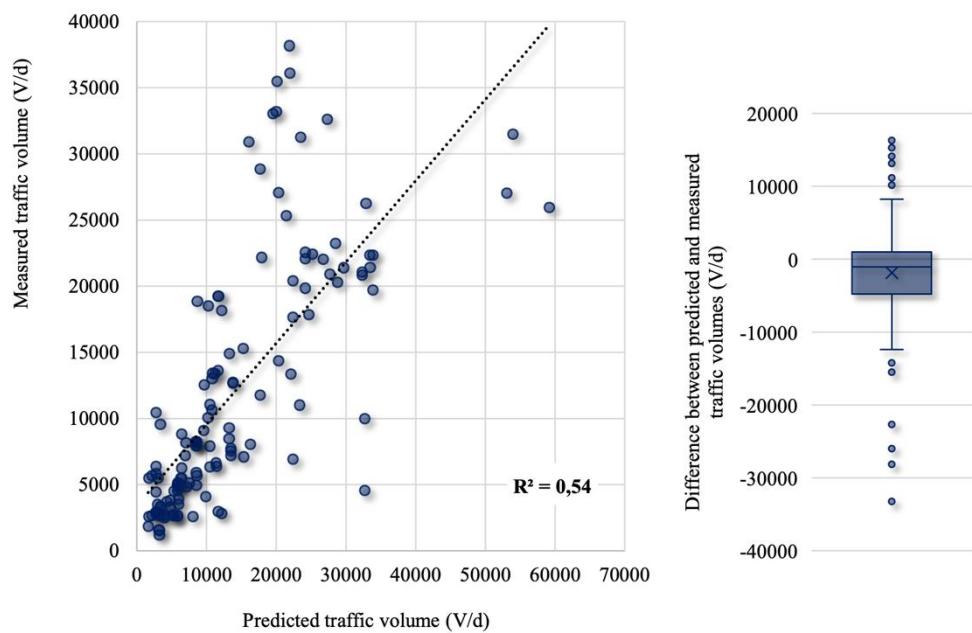


Figure 4: Summary results of predicted and real traffic volumes

## **十一、Method of interpreting the perception of everyday sounds in a listed urban and architectural complex**

### **闡釋列管城鄉與建築群中之日常聲音感知的方法**

(一) 該篇論文的核心論點是噪音不僅是聲學問題，更是社會學與人類學問題。傳統量測噪音的評估方法已不足夠，必須再納入居民的主觀感知，特別是考量「地方感」、「歸屬感」與「空間佔用」等社會心理因素。該論文以巴西貝倫市 (Belém) 的 Cidade Velha 歷史街區（已登錄為世界文化遺產區）為研究案例，採用「混合方法」(Mixed-methods approach)進行分析，目的係為開發一套能整合客觀數據與主觀感知的聲景評估方法學。

(二) 研究方法包括三個不同卻具有互補性的程序，分述如下：

#### **1. 客觀數據收集（實地物理量測）**

(1) 噪音地圖(Sound Mapping)：使用聲學預測軟體建立模擬，並在商業區和住宅區的指定測點進行現場實測，同步手動計算車流量（輕、中、重型車輛及摩托車）。另外再運用實測數據驗證模擬軟體產出日間與下午時段的交通噪音地圖。

(2) 聲景記錄 (Soundwalk)：藉由 5 位聲學專家沿著事先規劃的商業和住宅路線實地進行聲景漫步(Soundwalk)，同時使用數位錄音機錄製聲音，並在智慧型手機上記錄主觀感知，該步驟目的是為獲取專家的感知，且用於比對居民的訪談內容。

#### **2. 主觀數據收集（居民實地訪談）**

(1)問卷設計：研究的核心創新在於修正擴充原 ISO 12913-2:2018 的標準問卷內容，除了標準聲景感知問題，還額外納入「地方意義」、「歸屬感 (belonging)」和「地方依附 (place attachment)」相關議題的提問。

(2)居民訪談：共訪問了 248 位居民，訪談內容分為兩階段，並採用街頭便利抽樣。第一階段完成 102 位訪談，訪問對象為居民（不限居住時長）和在地工作者（每日至少 8 小時），在第二階段完成 146 位訪談，此階段排除了工作者，且只訪問在住宅區居住 10 年以上的居民。

### 3. 數據整合分析

(1)統計分析：使用非參數檢定（Kruskal-Wallis test）進行統計分析居住時長、感知強度與最吵時段之間的統計顯著性。

(2)質化內容分析：對訪談內容進行質化語意分析。

(3)交叉驗證：將「噪音地圖」、「專家聲景漫步紀錄」與「居民訪談語意」三者進行比較，以獲得更深入的詮釋。

(三) 研究成果證實居民的「地方感」顯著影響其對噪音的感知與容忍度，說明如下：

1.客觀噪音成果：外在環境噪音呈現普遍超標情形，由噪音地圖顯示該地區噪音已超過巴西國家法規標準，其中又以主要商業幹道 (Portugal Avenue) 之噪音最高（約為 72 至 78 分貝），車流量高峰時段（上午）每小時可超過 1,000 輛輕型車和 640 輛摩托車。住宅區的街道狹窄且建築相連（葡萄牙殖民時期遺產），這種都市形態有利於聲音反射，導致噪音在建築立面有被放大現象。

2.主觀感知成果：研究指出交通噪音是首要問題，在兩階段訪談中，居民都明確指出「交通噪音」是周圍最明顯的聲音，隨著該地區近年來明顯轉型（餐飲、休閒、文化場所增加），約有 20%的居民認為交通噪音增加，15%則認為酒吧和派對噪音增加。

#### 3. 「地方感」對噪音感知的關鍵影響

(1)針對第一階段問卷訪談（包含工作者和短期居民）結果顯示，「居住或工作時間長短」與「噪音煩惱度」沒有顯著性統計相關。但針對第二階段問卷訪談（僅限 10 年以上居民）則顯示出強烈的統計顯著相關。

(2)該成果證實了論文的核心假設，即居住時間越長，居民的感知越敏銳，這反映了「地方感」和「歸屬感」的增強，對噪音感知具有關鍵性影響。

(3)儘管居民深受噪音困擾（其中有 64% 認為噪音對福祉有中度至高度干擾），但對於居住 10 年以上民眾而言，仍有 70% 居民表示他們不打算搬遷離開這個社區，這也突顯了居民具強烈的地方歸屬感。

#### 4. 方法學的結論

(1)研究證實僅靠目前現有的 ISO 12913-2 標準問卷並不足夠，必須再納入測量「地方感」、「歸屬感」和「空間佔用」的變數。

- (2)限制受訪者為「僅限居民」且為「居住 10 年以上」的研究策略，經由本研究證實在統計上更為顯著，更能夠捕捉到聲景感知的細微差別。
- (3)對於「在地居民」而言，聲景漫步 (Soundwalk) 顯得吸引力不足，因為他們對日常生活中的聲源早已瞭若指掌，該方法可能比較適用於向「訪客」或「管理者」展示該區域的聲學問題。

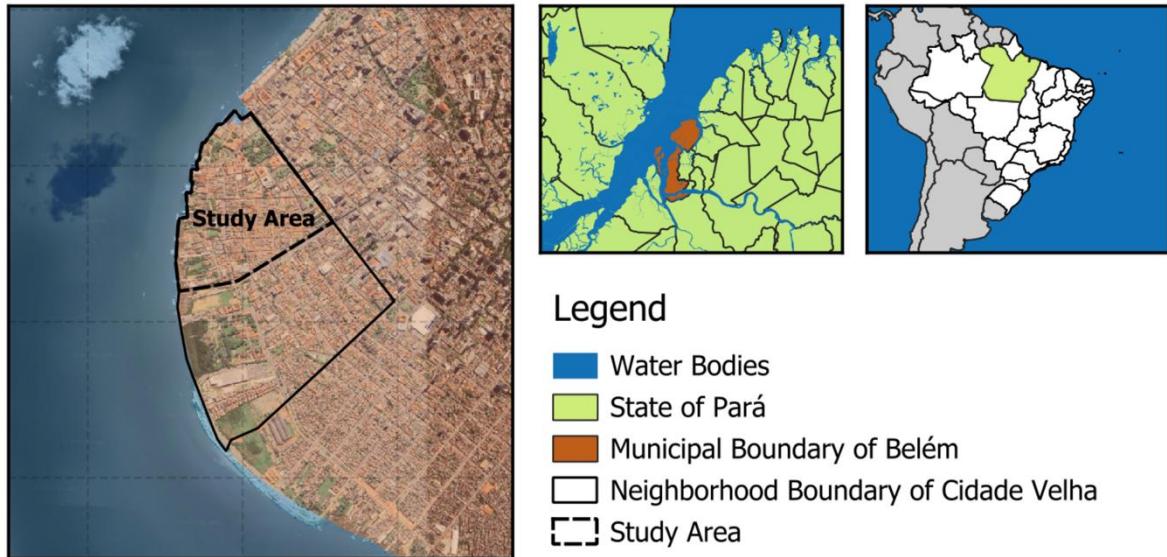


Figure 1: Area map of Cidade Velha neighborhood, Belém, Brazil<sup>6</sup>.

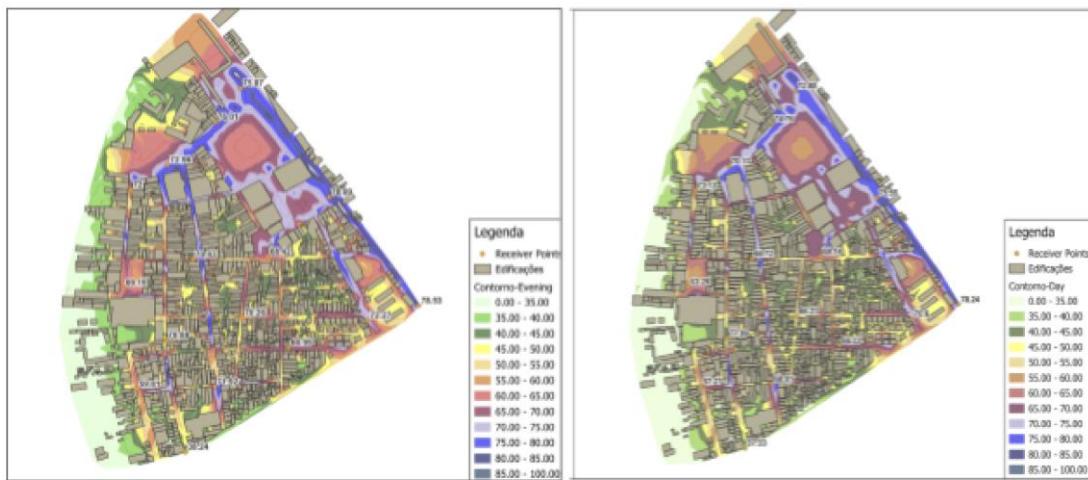


Figure 3: Daytime (left) and afternoon (right) sound maps of the study area. Simulation performed in Predictor-LimA software, 2024. Garcês [27].

## 十二、Conceptual Transformations: From urban quiet soundscapes to acoustic quality spaces in search of urban acoustic comfort

### 從城市靜謐聲景到追求城市聲學舒適度的優質聲學空間

(一) 該篇論文屬於理論探討型的研究，其核心論點在於批判性地反思歐盟的環境噪音指令(END)中「寧靜區域」(Quiet Areas)僅有依賴「噪音限值」(分貝數)的侷限性。該研究倡議噪音管制的最終目標不應只是「寧靜」，而應是「聲學品質空間」(Acoustic Quality Spaces)，這是一個更具包容性且更符合都市生活需求的進階概念。

(二) 該研究方法係採用「理論建構」與「文獻回顧」方式，透過對既有概念（聲學舒適度、寧靜區域、聲景）深入探討並定義聲學品質空間，說明如下：

1. 概念辨析：其核心方法是比較「寧靜區域」(Quiet Areas) 和「聲學品質空間」(Acoustic Quality Spaces) 這兩個概念的異同，研究並指出歐盟 END 指令係要求各個成員國需保護「寧靜區域」，但這種做法常被簡化為「保護低於特定分貝限值的區域」。研究團隊認為這種做法有侷限性，因為「聲學舒適度」不僅是低分貝，還涉及聲音的品質與脈絡。

2. 文獻整合與框架建立：

(1) 聲學舒適度：論文首先回顧影響「聲學舒適度」的多維度因素，研究指出聲學舒適度不僅受聲壓級(SPL)影響，還受到其他環境參數的顯著交互影響，例如熱舒適度（高溫會降低對噪音的容忍度）、風（微風可遮蔽噪音）、天空可視率（峽谷效應會增加反射）及光照。

(2) 寧靜區域：論文回顧有關定義「寧靜區域」的因子，這些因子除了「噪音限值」外，還包括「與周圍環境的聲級差異」、「自然聲音的主導性」、「無機械聲音」、「自然元素（樹木、水）」及「歷史文化價值」等。

(3) 聲學品質層級：論文引用一項正在進行的研究，該研究提出了「聲學品質層級」，這個框架將更為全面，除了聲學因子和空間因子外，還納入了大量的「非聲學因子」，包括使用者（年齡、性別、造訪目的）、環境（熱舒適度、視覺舒適度）和聲景（感知情感品質、聲音偏好、適當性）。

3. 比較分析：論文的核心產出是將「寧靜區域的影響因子」與「聲學品質層級」進行對應與分析，該分析旨在證明「聲學品質空間」是一個比「寧靜區域」更為上層及更廣泛包容的概念。

(三) 該論文主要研究成果是一個概念性的轉變，釐清了「寧靜」與「品質」的區別，並定義了「聲學品質空間」的內涵，分述如下：

1. 「寧靜區域」不等於「聲學品質空間」

(1) 論文明確提出「雖然每個寧靜區域都是一個聲學品質空間，但並非每個聲學品質空間都是一個寧靜區域。」。

(2) 寧靜區域：主要在於專注於低聲壓級、優勢聲音（如自然聲），目的是為了逃離都市生活、休息和恢復。

(3) 聲學品質空間：則不以低分貝為唯一前提，它更專注於「使用者的期望」和「聲音的適當性」。

2. 「聲學品質空間」的關鍵特徵：

(1) 包容性：它可以是充滿活力和熱鬧的，也可以是具有恢復性的。

(2) 功能性：它是能反映空間功能、讓人們實現活動和互動的場所，是都市生活的一部分，而非逃離都市生活。

(3) 偏好性：只要聲音是「被期望的」和「被偏好的」，即使聲壓級很高，也可以被視為聲學品質空間。

3. 「聲學舒適度」的重新定義：

(1) 舒適不等於安靜：該論文挑戰了「聲學舒適度」等同「安靜」的傳統觀念。

(2) 舒適度是一種主觀體驗，取決於活動、注意力需求和空間脈絡。

(3) 絶對的「沉默」反而在某些情境下甚至會造成不適。因此，「沉默」只是實現聲學舒適度的手段之一，而非最終目標。

4. 對歐盟 END 指令的批判：該研究指出 END 指令中「保護具有良好噪音品質的地方」這一措辭存在概念混淆，這種說法給人一種錯誤的印象，即「噪音（Noise，不想要的聲音）可以是高品質的，論文提出建議認為應追求的是「聲學品質」（Acoustic Quality），而非「噪音品質」（Noise Quality）。

Table 1: Factors affecting the perception of quiet areas [12]

Factors affecting the perception of quiet area		
	Acoustic Factors	Non-acoustic Factors
Sound Sources	Limit value according to noise indicator from noise map	User
	LAeq	Area size
	LA5, LA10, LA50, LA90, LA95 percentile levels	Area function
	Sound level difference between the area and its surroundings	Historical and cultural value
	Dominant sound type	Cleanliness, maintenance, safety
	Presence of natural sounds	Presence of natural elements (trees, flowers, etc.)
Absence of mechanical sounds		Accessibility

Table 2: Acoustic quality layers extracted from acoustic comfort and soundscape research (Factors are referred to as “layers” in the relevant study) [13]

Acoustic Quality Layers		
	Acoustic Layers	Non-acoustic Layers
Sound Sources	LAeq	Gender
	SPL(A)	Age
	Signal-to-noise ratio (SNR)	Educational level
	LA10, LA50, LA90 percentile levels	Occupation
	Fluctuation strength	Visit frequency
	Loudness	Aim of the visit
Soundscape	Sharpness	Human behavior patterns
	Roughness	Average time spent
	Sound Source Type	Monthly income status
	Annoyance by type of noise source	Visitor density
	Perceived affective quality	Landscape elements
	Degree of natural soundscape	Urban space quality parameters
Sensory	Soundscape/landscape diversity	Day time
	Soundscape/landscape comfort	Season
	Sound Preference	Distance to nature
	Soundscape appropriateness	Weather conditions of the visit
		Thermal comfort
		Audio-visual harmonies
Space		Visual comfort
		Nighttime light value

## 肆、心得與建議

- 一、很榮幸能代表本部出席這次在巴西聖保羅召開之國際噪音年會，除了實地瞭解目前世界各國關注的噪音研究議題與執行成果之外，也發現到各國並非皆以環境保護為主要考量因素，部分國家係以弱勢孩童族群健康保護為研究目的，例如土耳其安卡拉 Bilkent University 研究團隊針對該大學校園內屬於注意力不足過動症(ADHD)學生與非 ADHD 學生進行調查，對處於同一校園內之圖書館、宿舍、藝術學院及科學院等 4 種非正式學習環境進行探討如何感知周遭聲音與環境，同時進行客觀之噪音量測及紀錄這兩組學生對這些環境之個人感受。
- 二、研究結果發現這兩組學生對環境的感知存在明顯差異：ADHD 學生對感官刺激較為敏感，他們認為這些學習環境更為混亂、更不平靜，且整體上較不舒適；非 ADHD 學生則給予了這些環境更高的評價，認為它們更舒適、更令人滿意。對於 ADHD 學生，我們需要創造一個感官上平衡的環境，單純追求「安靜」不一定就是最好的解決方案，一個能提供適度且一致感官刺激的空間，對於幫助 ADHD 學生有效學習和集中注意力至關重要。
- 三、藉由出席噪音年會召開之各場次技術會議，也發現到部分國家對噪音管制議題，已從傳統防制改善作法，提升到都市規劃與社會文化層次議題，例如巴西貝倫的帕拉州聯邦大學研究團隊針對貝倫的老城區探討人們在環境中如何感知聲音，該研究核心在於聲音不只是物理上的「音量」，更是一種關乎人類感受和文化的複雜體驗。研究團隊想了解在一個有著密集建築的古蹟城市區域裡，聲音是如何影響人們的生活品質、歸屬感和社交互動的。研究團隊採取物理測量與人類感知調查等兩種方法綜合運用以進行調查分析聲音，透過測量實際音量發現在這繁忙區域內主要噪音來源是車輛交通，顯示該區域存在噪音污染問題，另對當地居民進行問卷調查，詢問他們對周圍聲音的感受。
- 四、研究結果發現人們對聲音的感知並非單純取決於音量大小。該研究最重要的結論是「聲音」對人們的影響，不僅僅在於它有多大聲，更在於人們如何解讀它。也建議包括（1）物理噪音與主觀感受不完全一致：人們對不同聲音的反應截然不同，他們喜歡鳥叫聲帶來的寧靜感，卻厭惡施工噪音帶來的混亂感；（2）建築設計應考量「聲音」：呼籲未來的城市規劃和建築設計，除了考慮外觀和

功能，也應該把聲景（soundscape）納入考量，並應創造一個能讓居民感到舒適、能促進社交互動的聲學環境，而不僅僅是減少分貝數；(3)「噪音」是一個社會文化議題：最終，研究強調「噪音」不僅僅是一個物理問題，更是一個社會和文化問題。對噪音的解讀與個人的生活經驗、社會文化背景息息相關。總體而言，研究成果指出要真正改善城市環境，需要從單純地「降低音量」，轉變為「理解和塑造聲音」。這意味著未來的城市不只要更安靜，還要擁有更豐富、更和諧的聲音體驗，也是符合本屆噪音年會主題「連結更美好的聲音世界」（Connections for a better sounding world）的精神，強調跨域及無界的合作與創新對促進每個人福祉的重要性。

五、在本屆國際噪音年會與各國噪音專家學者實地交流發現，不同國家由於國情差異及管制目的不同，採取多元因應措施與管理作法。然而噪音仍屬有限區域內之民生議題，易對民眾直接或間接影響，然而對弱勢族群也應採取不同因應作為，除參考他國推動作法與管制經驗，仍需採用因地制宜及適合解決方式，方能有效改善噪音對民眾影響。此外，值得一提的是在與各國人員進行交流時，部分友人表示沒聽過台灣，但向他們談到提供 Apple 手機相關科技產品使用之台積電晶片與捷安特自行車時，才知道這些品牌都是來自台灣，也藉機推銷台灣觀光旅遊，深感環保工作也是一種國際外交觸媒，透過國際性會議的持續參與，也能兼顧國民外交之多重效益，相信未來將能有效提升台灣在國際能見度，並對世界具有一定實質之貢獻。

# 附件

附件一 「2025 年國際噪音年會」出席與發表論文證明



We certify that Pei-Hsiou Ding participated as a Delegate in  
the 54th International Congress & Exposition on Noise  
Control Engineering from August 24 to 27 at WTC Events  
Center in São Paulo.

DAVI AKKERMAN  
Congress President  
Brazil

CAROLINA MONTEIRO  
Technical Program Chair  
Brazil





Verify the authenticity code 18271535.81689841.8651686.8.82715358168984186516868 at <https://www.even3.com.br/documentos>

We certify that the work entitled

**Evaluation of composite noise measurement methods in land**

**transportation systems in Taiwan,**

submitted by **Yi-Hui Hsieh and Pei-Hsiou Ding**, was presented at the  
event Inter-Noise 2025 in the city of São Paulo on 08-24-2025 - 08-27-  
2025.

São Paulo, 08-24-2025 - 08-27-2025

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'D. Akkerman'.

**DAVI AKKERMAN**  
Congress President  
Brazil

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carolina Monteiro'.

**CAROLINA MONTEIRO**  
Technical Program Chair  
Brazil

## 附件二 「2025 年國際噪音年會」發表之論文



### Evaluation of composite noise measurement methods in land transportation systems in Taiwan

Pei-Hsiou Ding<sup>1</sup>, Yi-Hui Hsieh<sup>2</sup>

Department of Atmospheric Environment, Ministry of Environment  
83, Zhonghua Rd. Sec. 1, Taipei City, Taiwan (R.O.C.)

#### ABSTRACT

*In recent years, noise pollution has become a significant environmental concern for the Taiwanese public, with a notable upward trend in complaints concerning noise generated by multi-modal land transportation systems. To elucidate the respective contributions of various types of land transportation system noise, this study selected three residential locations with significant noise complaints for measurement and analysis. The investigation employed three scientific measurement and intelligent analysis tools, including Class 1 sound level meter, microphone arrays, and noise modeling simulations. Field measurements in this study revealed that the primary noise source was the at-grade highway section, consistently contributing over 70% to the total noise. A comparison between field measurements obtained with a Class 1 sound level meter and computer model simulation results showed a discrepancy within  $\pm 3\text{dB(A)}$ , exhibiting a consistent overall trend. Furthermore, 24-hour continuous monitoring indicated stable noise levels, unaffected by transient background noise, thereby confirming the dominant contribution of the at-grade highway section. The findings of this research provide scientific evidence for local environmental agencies to determine the responsibility of noise sources and serve as a crucial reference for addressing noise complaints related to complex transportation systems.*

#### 1. INTRODUCTION

In recent years, Taiwan's metropolitan areas have experienced increasing population density, with numerous newly constructed residential buildings often situated near land transportation systems. Consequently, a growing number of urban residents are lodging complaints regarding noise from these systems. However, road systems including freeways and expressways, generate noise with continuous line source characteristics. The inability to halt vehicular traffic renders the measurement of background noise infeasible. Consequently, when dealing with noise emanating from two or more adjacent road systems, it is challenging to discern the individual noise contribution of each system, thereby impeding the effective demand for noise mitigation plans and measures from road management authorities. The purpose of this study is to use a variety of innovative measurement techniques to clarify the contribution of noise from various transportation systems, to provide evidence for local governments to request transportation authorities to improve noise in the future.

<sup>1</sup> phding@moev.gov.tw

## 2. RESEARCH METHODS

This study selected three locations where the public complained about land transportation system noise for measurement. Three scientific and intelligent analysis tools were used, including array microphones and Class 1 noise meter and traffic noise model simulation. These measurements were conducted continuously for 24 hours to clarify the noise contribution ratio of each road system. And these three measurement results were discussed and analyzed.

### 2.1. Measurement Methods

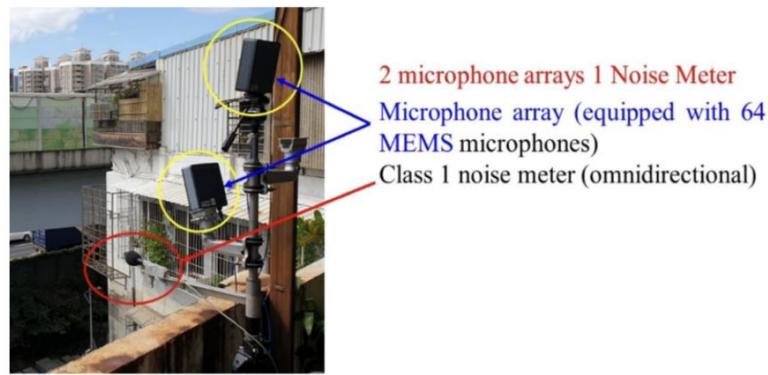
This study selected locations where residents repeatedly complained about noise from composite road systems (including two or more road systems) for measurement (as shown in Figure 1). Measurements were conducted 24-hour continuously at residents' homes in Taipei City and New Taipei City.



(1)6th Floor (rooftop), Lane 33, Section 2, Lixing Road, Sanchong District  
(2)6th Floor (rooftop), Alley 48, Lane 7, Section 1, Chengtai Road, Wugu District  
(3)7th Floor (rooftop), Alley 117, Lane 190, Section 6, Minquan East Road, Neihu District

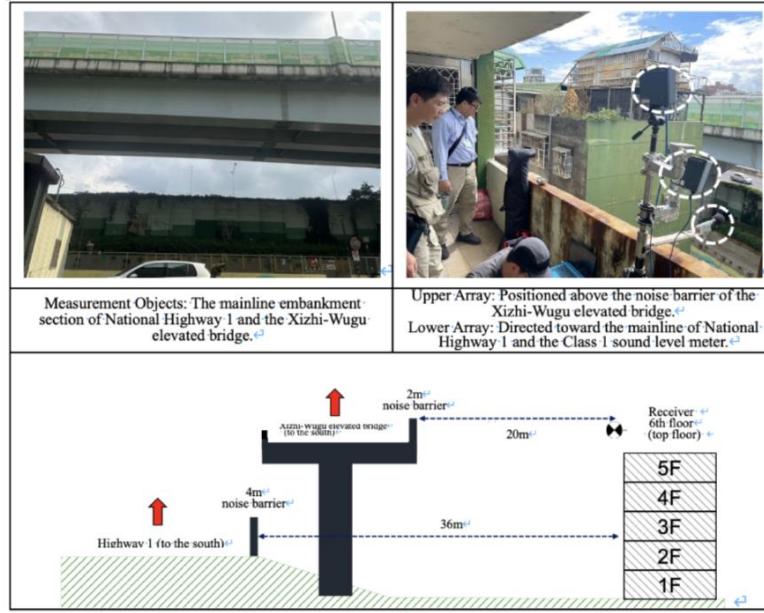
**Figure 1 Three measurement locations for composite noise sources in land transportation systems**

Two sets of microphone array were used to measure the sound levels of the composite sound sources from the two road systems separately and to determine their energy ratio. This energy ratio was then used to decompose the combined sound level measured by a Class 1 sound level meter, as illustrated in Figure 2. These array microphone systems used in this study were all Sorama L642 array microphones (equipped with 64 MEMS microphones) from the Netherlands, coupled with Class 1 sound level meters from France. The mutual distance between the three sets of instruments did not exceed 2 meters. Continuous 24-hour measurements and the calculation of hourly equivalent sound levels were performed in accordance with the standard measurement methods for environmental noise stipulated by the Taiwan Ministry of Environment.



**Figure 2 Schematic diagram of measurement equipment**

In this study, a Class 1 sound level meter was positioned 1.5 meter above the ground and mounted beneath two microphone arrays to simultaneously conduct an overall measurement of the composite noise sources. Regarding the directivity of the microphone arrays, the design primarily adopted the international practice of utilizing acoustic hoods for the separation of composite sound sources from road systems, simulating the concept of directionality for sound acquisition. Specifically, the two microphone arrays were oriented towards the target line sources: one directed towards the elevated highway section above the measurement point, and the other towards the at-grade highway section below the measurement point, as detailed in Figure 3.



**Figure 3 Field experiment and schematic diagram of the first case of composite noise sources in land transportation systems**

## 2.2. Source Separation Calculation Methods

In this study, the noise levels measured by the two microphone arrays ( $L_1$  and  $L_2$ ) were initially used to calculate an energy ratio (r), as detailed in Equation 1. Subsequently, the noise level measured by the Class 1 sound level meter was separated based on this energy ratio, as shown in Equation 2 and Equation 3. The separated noise measurements were then individually subjected to background noise correction. Additionally, this research employed the Cadna A software, developed by the German company Data Kustik, for noise modeling simulation analysis. This software is widely utilized internationally and is also a model software approved for use by Taiwan's Ministry of Environment. In this study, ISO 9613-2 was applied to predict the noise levels at representative points along the complaint road sections.

$$r = 10^{0.1(L_1 - L_2)} \quad (1)$$

Where the  $L_1$  and  $L_2$  are the noise levels in dB(A) , which measured by microphone arrays.

$$L'_1 = L_0 + 10 \log \frac{r}{1+r} \quad (2)$$

$L'_1$  means the separated noise level of the first noise source.

$$L'_2 = L_0 + 10 \log \frac{1}{1+r} \quad (3)$$

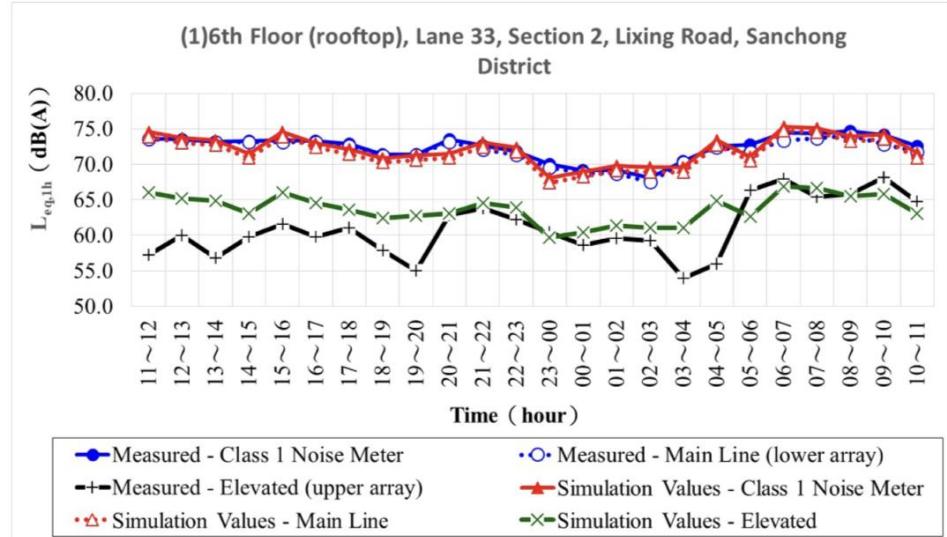
$L'_2$  means the separated noise level of the second noise source.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

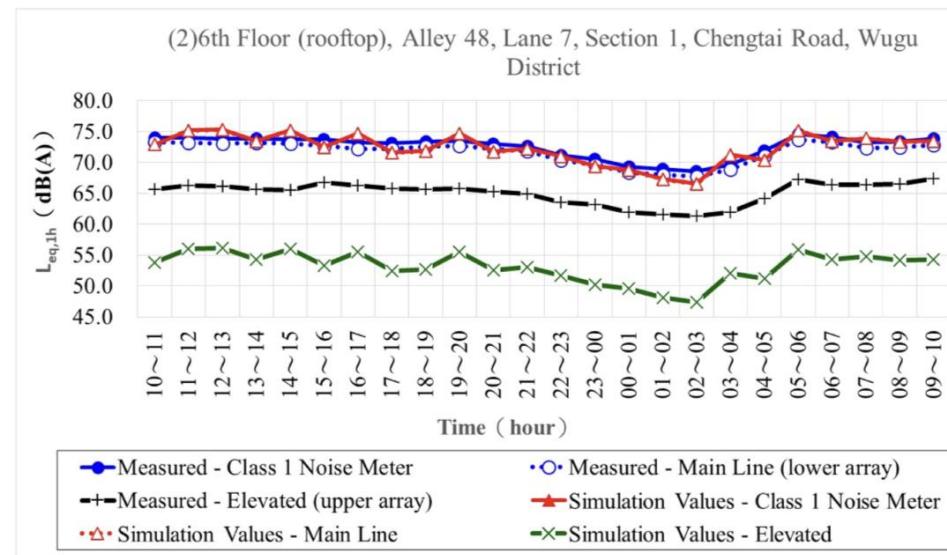
### 3.1. Measurement Results and Model Simulation

The primary purpose of measuring composite sound sources from land transportation systems in this study was to evaluate the effectiveness of using a Class 1 sound level meter and array microphones in separating different types of linear road sound sources. Therefore, three case studies were selected, focusing on the nighttime period (22:00 to 23:00) when residents reported significant noise annoyance and disruption to their daily lives. This timeframe served as the reference for sound source separation calculations and comparisons with computer model simulation analyses. The field measurement results of this study revealed that the measurements obtained using the Class 1 sound level meter were consistent with the results from the lower array microphone, indicating that the primary noise source was the mainline traffic noise from the

highway. This consistency demonstrates significant representativeness and comparability (as shown in Figure 4 to Figure 5).



**Figure 4 Comparative analysis of measurement results from Class 1 sound level meter, microphone arrays and simulation model for case 1**



**Figure 5 Comparative analysis of measurement results from Class 1 sound level meter, microphone arrays and simulation model for case 2**

### **3.2. Discussion**

Field measurement and model simulation results for the three case studies in this research revealed that, in terms of overall hourly equivalent sound level ( $Leq,1h$ ), the error between the model simulation values and the Class 1 sound level meter measurements was within  $\pm 3.0$  dB(A) for all three cases. When comparing the hourly equivalent sound level ( $Leq,1h$ ) of the 'National Highway No. 1 mainline (at-grade section)', the error between the model simulation values and the measured values obtained through array microphone separation was also within  $\pm 3.0$  dB(A) for all three cases. Regarding the hourly equivalent sound level ( $Leq,1h$ ) of the 'National Highway No. 1 Elevated Section', the error between the model simulation values and the measured values obtained through array microphone separation was within  $\pm 3.0$  dB(A) for the first and third cases.

Furthermore, the second case exhibited a significantly higher discrepancy exceeding 3.0 dB(A). Potential reasons for this include: (1) In the second case, located in Wugu District, New Taipei City, the error for the elevated highway section reached 11.8 dB(A) (with measured values higher than simulated values). Based on the site environment, this discrepancy could be attributed to the presence of four-meter-high transparent polycarbonate noise barrier extending above the parapet on the elevated highway section. Additionally, the measurement point was situated within the 'sound shadow zone' of the elevated structure, suggesting that, according to acoustic principles, the noise contribution from the elevated highway section to the measurement point should be relatively low. (2) It is hypothesized that the lower height of the building housing the microphone array directed towards the elevated highway section might have resulted in an increased influence from the noise of National Highway No. 1 mainline, leading to elevated measured values.

This study, employing two array microphones for measurement and analysis, encountered challenges in clearly separating continuous line sources originating from adjacent and distinct road systems. The primary reasons for these difficulties include limited spatial resolution, interference between multiple sound sources, the diffuse nature of continuous line sources, and limitations in signal processing techniques. Road traffic noise typically constitutes a continuous line source, meaning the noise emanates from multiple points along an entire road segment (such as the sound of numerous vehicles in motion), unlike point sources, the sound waves from line sources spread across a wider spatial area. Sound sources from adjacent roads can overlap or partially overlap, leading to interference or mixing of their sound waves, making it difficult for the two microphones to distinctly differentiate noise from different roads. In real-world road environments, sound is subject to reflections and refractions (e.g., reflections from buildings, vehicles, and other obstacles), further complicating the ability of the two array microphones to distinguish between these reflected sounds and the direct sound from different sources.

The fundamental signal processing techniques for microphone arrays are typically designed for point sources. When applied to road traffic noise, which exhibits line source characteristics due to the continuous emissions from multiple vehicles, the measurement performance may be suboptimal. The field measurement results of this study indicate that if microphone arrays are positioned within the sound shadow zone of the target source (i.e., a shielded area), they may significantly overestimate its noise level, potentially due to interference from the increased noise of other road line sources. Consequently, this imposes considerable limitations on the selection of measurement points, including the logistical challenges of deployment at noise complaint locations on different building floors. Furthermore, the microphone arrays utilized in this study were Class 2 sound level meters, possessing lower precision. This presents a challenge in meeting

the current high-accuracy requirements for noise measurement and imposes certain constraints on their applicability in composite sound source measurement.

#### 4. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

Through field measurements in this study, it was observed that the elevation difference between the at-grade and elevated sections of the highway ranged approximately from 12m to 15m. The measurement results indicated that the primary noise source was the at-grade highway section, consistently contributing significantly, exceeding 70% of the total noise. Furthermore, 24-hour continuous monitoring revealed stable noise levels, unaffected by sudden or transient background noise interference. A comparison between the field measurements obtained using a Class 1 sound level meter and the simulation results from computer model demonstrated a discrepancy within  $\pm 3$ dB(A), with a consistent overall trend. This suggests the reliability of the computer model simulation and confirms its reasonableness for the preliminary assessment of road traffic noise prediction.

In the second case study, a significant discrepancy was observed between the field measurements and the computer model simulation results. It is hypothesized that this overestimation in measured values was due to the lower elevation of the measurement point for the microphone array directed towards the elevated highway section. Consequently, this likely resulted in an increased influence from the noise of National Highway No. 1 mainline (at-grade section). This finding underscores the importance of carefully considering the elevation of microphone array placement during future measurement site selection to mitigate potential influences on sound acquisition.

The findings of this study represent a limited number of scenarios. To substantiate the analysis of noise contribution ratios from composite transportation systems, it is recommended to accumulate more data across diverse configurations (such as freeways and expressways, freeways and provincial highways). This will contribute to enhancing the technical capabilities of local governments in addressing noise complaints related to composite transportation systems. Regarding strategies and techniques for background noise measurement, continuous collection and compilation of relevant international measurement case studies are advised to serve as a reference for background noise assessment in Taiwan's land transportation systems.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the authors for submitting their work to INTER-NOISE 2025, which will be held in São Paulo, Brazil, August 24-27, 2025.

#### REFERENCES

1. Blumstein, D. T., & Daniel, J. C. Soundscape Analysis Using Array-Based Microphones for Traffic Noise Analysis. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 89(1), 243-254 (2003).
2. Ma, X., & Sommerfeldt, S. D. Noise Source Identification in Reverberant Environments Using Beamforming Techniques. *Journal of Sound and Vibration*, 277(1-2), 223-238 (2004).
3. Zhou, H., & Melvin, W. A Study on the Limitations of Microphone Array Systems in Road Noise Analysis. *Journal of Applied Acoustics*, 66(4), 457-474 (2005).
4. Kuttruff, H. Room Acoustics Considerations in Sound Source Localization with Microphone Arrays. *Acoustical Society of America Journal*, 126(6), 3145-3155 (2009).
5. Murphy, E., & King, E. A. Environmental Noise Pollution and the Economic Challenges of High-Precision Noise Measurement. *Jounal of Noise and Health*, 16(71), 167-171 (2014).