

許同學	回饋建議
書審老師 A	本作展現了極高的數據素養與學術嚴謹度，能將 SQL 與 Python 工具靈活應用於解決感測器雜訊問題。優秀之處在於深刻反思了「技術迷思」，體認到專業應在於工具與任務的適配性而非盲目追求高深技術。其文獻引用規範且輔以 Obsidian 關聯圖，架構完整。建議未來可進一步實測學生專注度數據以強化迴歸模型的實證基礎。
書審老師 B	許同學，你好。看完這份報告，我感到非常欣慰。在高中階段，許多學生容易陷入「為了使用工具而學習」的誤區，但你展現了極為難得的「批判性工具選擇力」。你原想實踐 SQL 的運用，但在面對 CO2 這種時序型數據時，能察覺到工具與需求的落差並靈活轉換至 Excel 與 Python，這正是解決現實問題時最重要的核心能力。
書審老師 C	總評：本作品主題為教室空氣品質，使用溫度、濕度與二氧化碳濃度感測器蒐集真實教室數據，再以 Python 進行清洗與視覺化分析，並透過 Obsidian 整理文獻、數據分析與過程紀錄，展現出良好的自主學習規劃、工具應用與資料處理能力。作者能從前一次 SQL 自主學習延伸到本次數據專案，並以「學習環境是否影響學習效率」作為問題意識，具備真實性與延續性。第 6、7 頁呈現不同情境下教室二氧化碳濃度變化，例如上課 30 分鐘由 914 ppm 上升至 1259 ppm，窗戶全開時 30 分鐘僅上升 26 ppm，能提出具體通風建議。本作品尚未達「卓越」理由：作品標題與研究目的強調「對學習環境與學習效率的影響」，但實際量測的是空氣品質變化，並未直接測量學生專注度、認知表現或學習效率，因此目前只能說明「二氧化碳濃度可能(間接)影響學習效率」，不能直接證明「本班學生學習效率下降」。此外，研究設計仍可補強人數、開窗狀態、課堂型態、空調狀態、感測器位置、資料期間與統計檢定。 簡言之，這是一份完成度高、反思真實、具科學實作精神的優秀作品。 作品優點： 1. 主題具有真實問題情境 從教室中學生可能頭昏、嗜睡、注意力下降等現象出發，進一步探討二氧化碳、溫濕度與學習環境的關係，這使主題具有真實性與校園改善價值。

2. 能將前一次學習經驗延伸成新的探究
作者明確指出本次探究源於前一次 SQL 自主學習，希望在整理數據時實踐資料工具。這一點很重要，顯示作者能將舊經驗轉化為新的問題解決任務。
3. 數據真實且有明確量測工具
使用溫度、濕度、二氧化碳感測器，每 2 秒測量一次、每 30 秒上傳一次平滑後資料，並用 Python 分析。這讓作品具備實測基礎，而不是只引用文獻或主觀觀察。
4. 圖表呈現清楚，能支持通風建議
第 6 頁比較三種情境：上課時二氧化碳濃度明顯上升、下課後下降、窗戶全開時上升幅度大幅降低。這組圖表能清楚支持「開窗通風能降低二氧化碳累積速度」的建議。
5. 反思深度佳
最值得肯定之處是作者能從「想使用 SQL」轉變為「依任務選擇工具」，展現了作者問題解決思維與自我修正能力。

作品可再改進調整處：

1. 研究主題與實際證據需更精準對齊
作品主題是「教室空氣品質對學習環境的影響」，前言也提到學習效率，但目前實際量測的是二氧化碳、溫度與濕度，並未直接測量學生學習效率，因此結論應避免過度推論（超譯）。
2. 應補強『學習效率』的操作型定義
若要探討學習效率，必須說明如何量測學習效率，否則只能談「可能影響」，不能談「已造成影響」。
3. 應補充研究設計中的控制變因
二氧化碳濃度受人數、門窗狀態、空調、教室大小、感測器位置、課堂活動量影響。目前有觀察，但控制變因說明不足。
4. 應增加統計分析，而非只做趨勢描述
目前圖表很清楚，但多以觀察描述為主。若能加入平均值、標準差、斜率、相關係數或差異檢定，會更具研究說服力。
5. 文獻與實測數據之間的連結宜再嚴謹
引用文獻指出二氧化碳超過 1000 ppm 可能影響認知，但應清楚區分「文獻發現」與「本研究數據發現」。
6. 未來研究計畫應說明研究方法的改變為何
已提出多元線性迴歸與 Stroop Test，但尚未說明如何執行。若能補上完整方法，將大幅提升未來展望的可行性。

7. 註解的專用寫法為參考文獻，不應只有提供文獻，更應寫出閱讀文獻的成果

給作者的省思提問：

1. 你如何證明「二氧化碳濃度升高」真的影響本班學生的學習效率？
目前作品主要證明的是二氧化碳濃度會隨上課時間上升，也證明開窗可以降低上升速度；但「學習效率下降」仍是根據文獻推論。下一步，你是否能加入 **Stroop Test**、短期記憶測驗、反應時間測驗或課堂專注度自評，讓研究從「環境監測」進一步變成「環境與學習表現關聯研究」？
2. 你的數據比較是否已控制足夠的情境差異？
不同課堂可能有不同人數、活動量、開門次數、空調狀態、教師授課方式與學生移動情形。若這些條件不同，二氧化碳變化可能不完全由「通風」造成。你能否建立一張「情境紀錄表」，每次測量都記錄人數、門窗狀態、冷氣狀態、課堂型態與感測器位置？
3. 如果要把這份成果變成校園改善方案，你會如何設計可執行的通風 SOP？
現有數據已顯示第三節後二氧化碳濃度可能接近或超過 1000 ppm，也提出第三節下課開窗通風的建議。若要真正落實到班級管理，你會如何設計？例如：何時開窗、開多久、由誰負責、是否設置二氧化碳警示值、雨天或冷氣開啟時如何替代？這個問題能讓作品從「研究報告」進一步升級為「校園行動方案」。

註：本作品應參加「探究實作獎」，而非「跨域整合獎」。

自主學習歷程檔案

教室空氣品質對學習環境的影響

學校：臺北市芳和實驗中學

科別：普通科

班級：1145 班

學生：許同學

百字簡述

本專案探討教室環境對學習效率的影響。過程中最大的收穫，在於體認到處理真實數據時**不應執著單一工具**。面對雜訊，我靈活轉換軟體完成分析，不僅驗證通風成效，更深化了我的數據實作與解題能力。

目錄

壹、前言

貳、使用

參、數據分析

肆、結論

伍、學習反思

陸、註解

壹、前言

會想要做這次的自主學習，是因為前一次的自主學習：「SQL（結構化查詢語言）自主學習」，我想要試著在整理數據時運用這項工具，因此我選擇來做一個專案來實踐我的想法。

另外，我發現教育部主張「**主動式學習**」，強調透過思考、討論、實驗、主動回憶等實作活動，讓學習者積極參與建構知識，將短期記憶轉化為長期記憶。然而，學習環境的因素卻常常被忽略：若有學生上課頭昏昏的、嗜睡，過去常將此歸咎於學生個人的**睡眠習慣或課程枯燥**，卻很少人注意到，學生的學習效率其實跟環境有很大的關係。教室作為一個高密度的人員群聚空間，其**室內微氣候的變化**（特別是數十人呼吸產生的二氧化碳累積），以及溫濕度波動，極可能是影響大腦認知功能的隱形殺手。這引發了我想要以數據驗證「環境品質」與「學習效率」之間關聯的好奇心。

因此，本研究有以下兩個目的：

- 一、探討學習環境對學生學習效率可能的影響
- 二、提出改善學習環境以增加學習效率的方法

貳、使用工具

一、溫度、濕度、二氧化碳濃度感測器

感測器每 2 秒測量一次數據、每 30 秒上傳一次平滑處理過後的數據至雲端資料庫（如下圖）。

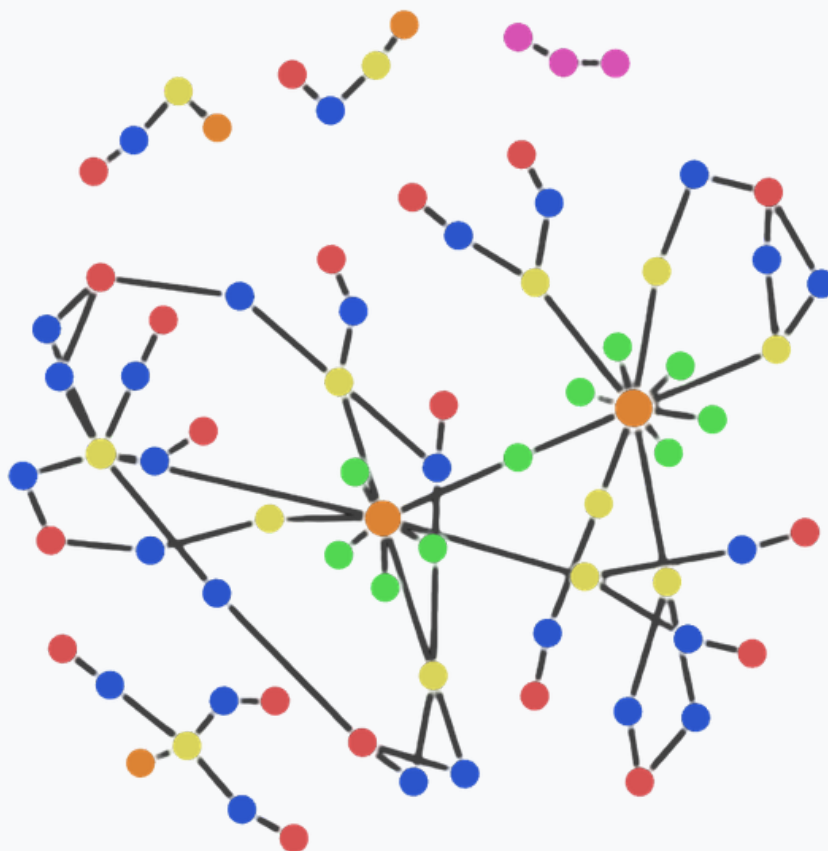
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	日期	時間	CO2	溫度	濕度							
2703	2026-01-06	11:30:49	1115	20	61							
2704	2026-01-06	11:31:19	1115	20	61							
2705	2026-01-06	11:31:49	1115	20	61							
2706	2026-01-06	11:32:19	1111	20	61							
2707	2026-01-06	11:32:49	1107	20	61							
2708	2026-01-06	11:33:19	1103	20	61							
2709	2026-01-06	11:33:49	1100	20	61							
2710	2026-01-06	11:34:19	1099	20	61							
2711	2026-01-06	11:34:49	1098	20	61							
2712	2026-01-06	11:35:19	1083	20	60							
2713	2026-01-06	11:35:49	1024	20	61							
2714	2026-01-06	11:36:19	1039	20	60							
2715	2026-01-06	11:36:49	1025	20	60							
2716	2026-01-06	11:37:19	1034	20	61							
2717	2026-01-06	11:37:49	1066	20	61							
2718	2026-01-06	11:38:19	1065	20	61							
2719	2026-01-06	11:38:49	1064	20	60							
2720	2026-01-06	11:39:19	1063	20	61							
2721	2026-01-06	11:39:50	1060	20	61							
2722	2026-01-06	11:40:20	1029	20	60							
2723	2026-01-06	11:40:50	1025	20	60							
2724	2026-01-06	11:41:20	1040	20	60							
2725	2026-01-06	11:41:50	1017	20	60							

二、Python

用於數據清洗與數據分析。

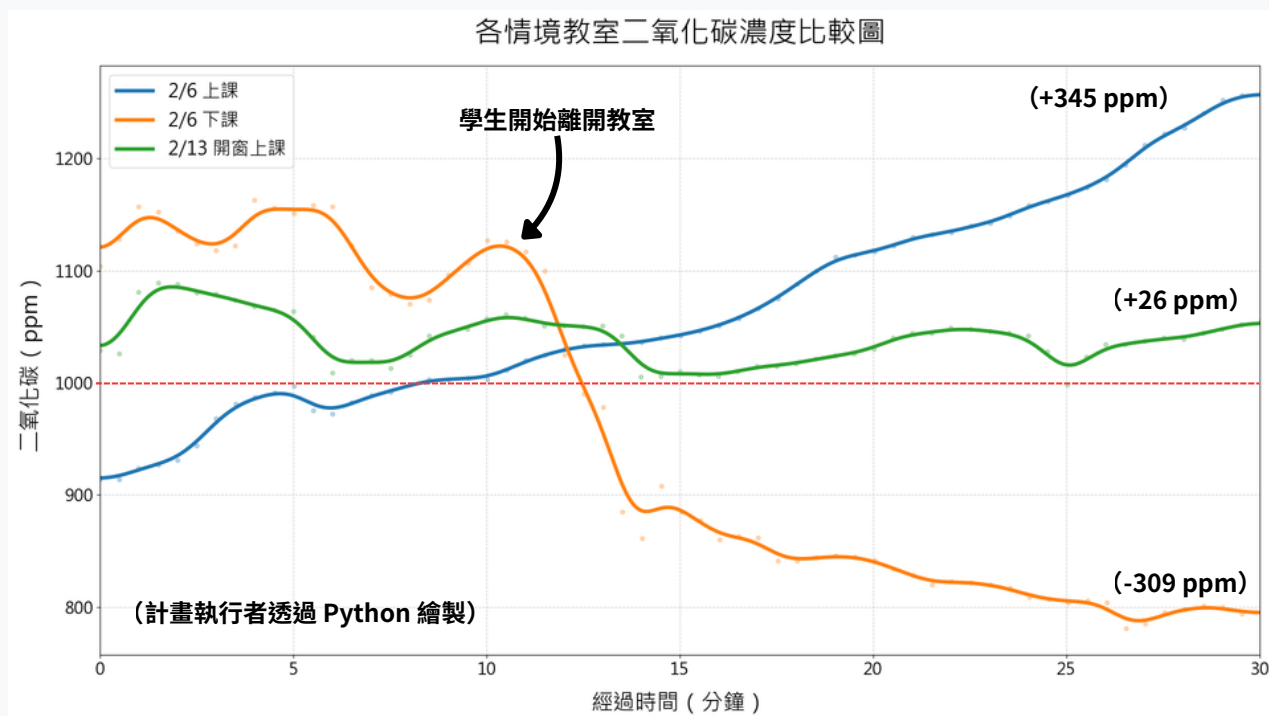
三、Obsidian

用於整理文獻、數據分析、過程紀錄（如下圖，圖中為 Obsidian 筆記關聯圖）。



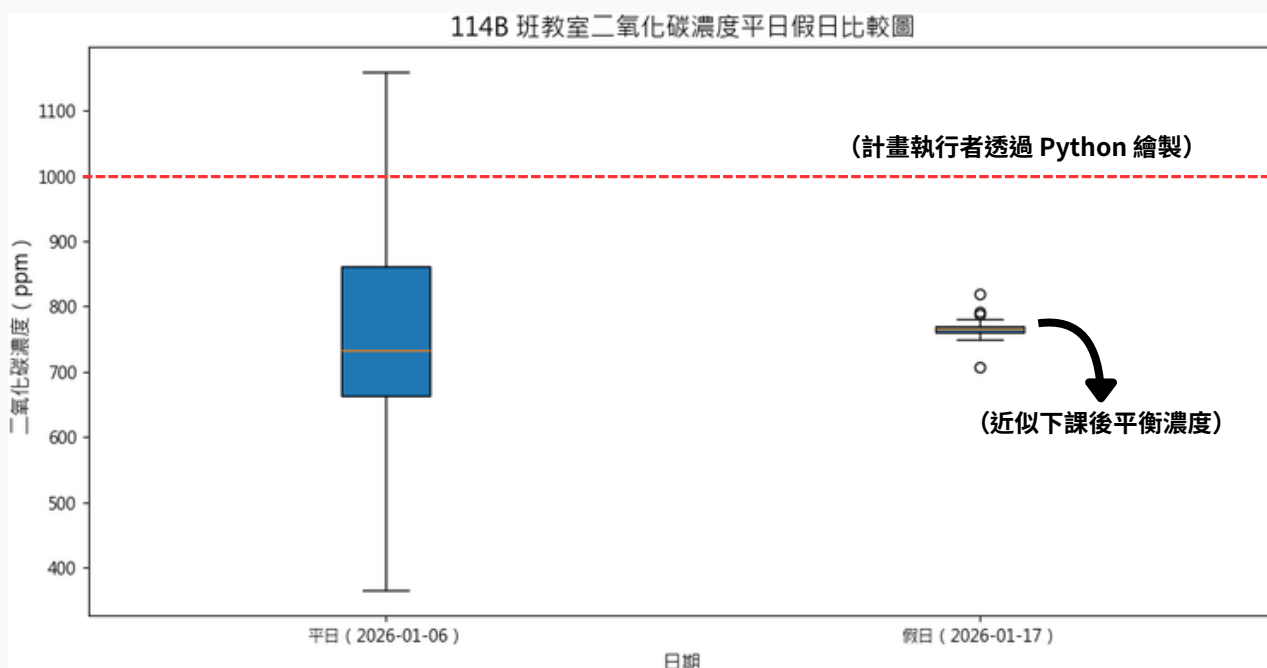
- 紅色：文獻來源
- 藍色：文獻節錄
- 黃色：資訊統整
- 橘色：段落文字
- 綠色：數據分析
- 粉色：遇到的困難與解決方式（過程紀錄）

參、數據分析

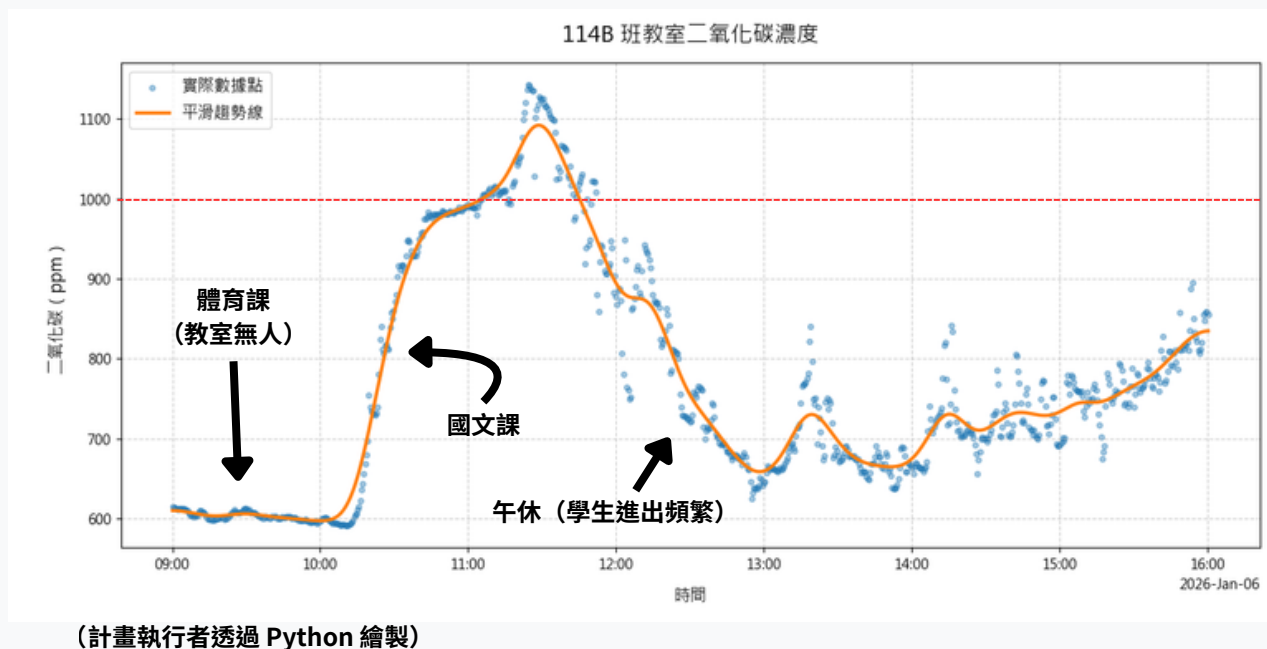


從上方的「各情境教室二氧化碳濃度比較圖」中可以看出來，教室從開始上課到過了三十分鐘後，二氧化碳濃度從 914 ppm 上升到 1259 ppm，共**上升 345 ppm**。上課後二氧化碳濃度有超過 1000 ppm，因此學生與老師的認知能力與生產效率都有可能因此下降。教室從下課到過了三十分鐘後，二氧化碳濃度從 1104 ppm 下降到 795 ppm，共**下降 309 ppm**。顯示下課後的二氧化碳濃度下降速度比上課時的上升速度還要慢。

上課前教室內的二氧化碳濃度是 1029 ppm，在教室窗戶全開的情況下，上課後 30 分鐘的二氧化碳濃度為 1055 ppm，共**上升 26 ppm**。此結果顯示提升教室的空氣交換率可以有效的降低二氧化碳濃度上升的速度。



從上方的「114B 班教室二氧化碳濃度平日假日比較圖」中可以看到，假日時教室內不會有學生與老師呼吸影響二氧化碳濃度，因此平日日內的二氧化碳濃度變化幅度比假日的還要大。假日不會有人開門窗讓空氣流通，因此假日二氧化碳濃度不會太接近城市新鮮空氣的二氧化碳濃度（約 500 ppm）。



從上方的「114B 班教室二氧化碳濃度」中，我發現只要教室有人在上課，教室中的二氧化碳濃度就會迅速攀升，第四節上課時甚至達到認知能力與生產效率顯著降低的 1000 ppm。我推測造成這個現象是因為學生沒有開啟窗戶的習慣，導致累積的二氧化碳濃度持續升高，直到超過 1000 ppm。

肆、結論

一、最舒適、生產力最高的環境

溫度 18~24°C^[1]、相對濕度 40~60%^[1]、二氧化碳濃度小於 1000 ppm^[2]。

二、溫度、濕度與二氧化碳濃度的關係

溫度、濕度與二氧化碳濃度呈高度正相關^{[3][4]}。本專案實際測得的數據，也與文獻指出的高度正相關趨勢相符。因為人體呼吸與代謝本身就會同時排出富含二氧化碳、帶有溫度的水氣。

三、窗戶對室內二氧化碳濃度的影響

在通風不良的情況下，學生口鼻周圍的局部二氧化碳濃度甚至會比教室整體的背景濃度高出許多^[5]。開啟窗戶可有效降低室內二氧化碳濃度。

四、改善學習環境的方法

根據數據觀察，教室在連續上課後，約於國文課下課前後（約 11:10）期間二氧化碳濃度會正式突破會影響認知的 1000 ppm 門檻，因此建議在第三節下課進行開窗通風。

伍、學習反思

一、數據出現雜訊

感測器測量並上傳的資訊在 2026/1/10 的資料中突然出現另一組數據，與原本數據之數值有所差距，而且也是每 30 秒出現一次。

我猜測是因為**灰塵卡入感測器**，造成錯誤訊息的傳送。因為如果是小蟲等東西撞到的話，雜訊不會很有規律。在清除灰塵後，感測器恢復正常運轉。

但有個問題：要如何刪除錯誤的資料？

二、數據清洗

為了刪除多餘的錯誤資訊，我不想直接從原數據中刪除，所以我打算把數據提取出來後，做統計處理前再用 SQL 語言刪除，但我不知道要用什麼平臺來執行 SQL 程式碼。

我原本打算使用 SQL 的 delete 語法來處理錯誤的資訊，但我發現這樣的話會讓我連其他天的數據都被刪掉，所以我決定改成使用 update 語法來讓錯誤的資訊變成無資料 (Null)。

實際要做的時候，我發現我不知道如何在 Excel 上面使用 SQL，所以我就上網做了查詢。最後發現 Excel 有內建功能能更快的做數據清洗。

我最後選擇的方法是使用 Excel 的「取得與轉換資料」功能解決，只留下正確的資訊，最後才分析。

雖然沒能用上先前學的 SQL 語言，但我在這次數據清洗的過程中發現**不用那麼執著於某種工具，要能因應每件事做調整。**

三、描述性統計

完成數據清洗後為了分析數據，我使用了 Python 程式碼來算數據的中位數、平均、第一四分位數、第三四分位數、最小值、最大值、離群值判定邊界、標準差、樣本總數、全距、眾數、標準誤差、四分位距與離群值。

因為我的數據是屬於一個區間內會不斷變化的數據，所以我只取其中的「中位數、平均、第一四分位數、第三四分位數、最小值、最大值、離群值判定邊界、標準差與樣本總數」記錄下來。

四、未來發展：多元線性迴歸預測模型

在未來我將會繼續蒐集資料，並導入認知功能測試（例如：Stroop Test 顏色字詞測驗），並在最後透過多元線性迴歸分析建構一個預測模型，可透過教室的二氧化碳濃度、人數、流場情況預測學生的學習效率。

五、研究限制

本研究僅討論溫度、濕度與二氧化碳濃度對學習效率的影響，並未考慮其他因素（如環境噪音等）造成的影響。另外，本專案對「學習效率下降」的推論，是建立在「二氧化碳濃度大於 1000 ppm」的文獻基礎上，而非實際量測學生的專注度。

六、總結

在進行數據清洗初期，我陷入了「技術迷思」。一開始我以為，只要運用 SQL 這類專業的資料庫語言，就能展現數據分析的專業度，並將其視為如同 Python 一樣可隨時呼叫的萬用程式語言。

但在實際處理感測器雜訊的過程中，我發現 SQL 的執行高度依賴資料庫環境的建置。對於當下單純的雜訊排除任務，強硬套用進階工具反而成為解決問題的瓶頸。

因此我改變做法，退回使用看似基礎的 Excel 內建功能進行初步數據清洗，再搭配 Python 完成視覺化。這段「捨棄複雜工具」的過程，讓我真正理解到數據科學的核心價值：專業不在於盲目堆疊艱澀的技術與語法，而在於能否洞察「任務規模」與「系統環境」的**適配性**，找出最佳解法。

未來在建構多元線性迴歸等預測模型時，我將以「**架構與效率導向**」取代「工具導向」作為思考原則。在動手寫程式前，我會先全面評估資料特性與環境限制，以更宏觀的**系統性思維**來規劃分析流程。

陸、註解

[1] Ade, R., & Rehm, M. (2020). Home is where the health is: what indoor environment quality delivers a “healthy” home? *Pacific Rim Property Research Journal*, 26(1), 1–17.
<https://doi.org/10.1080/14445921.2019.1707949>

[2] Satish, U., Mendell, M. J., Shekhar, K., Hotchi, T., Sullivan, D., Streufert, S., & Fisk, W. J. (2012). Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance. *Environmental Health Perspectives*, 120(12), 1671–1677.

[3] Lan, L., Wargocki, P., Wyon, D. P., & Lian, Z. (2011). Effects of thermal discomfort in an office on perceived air quality, SBS symptoms, physiological responses, and human performance. *Indoor Air*, 21(5), 376–390. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00714.x>

[4] Sensirion. (2025, May). *Humidity at a glance* (Version 2.1) [Technical note].
https://sensirion.com/resource/application_note/sht/glance

[5] Pantelic, J., Liu, S., Pistore, L., Licina, D., Vannucci, M., Sadrizadeh, S., Ghahramani, A., Gilligan, B., Sternberg, E., Kampschroer, K., Wellbuilt for Wellbeing Project Team, & Schiavon, S. (2019). Personal CO₂ cloud: Laboratory measurements of metabolic CO₂ inhalation zone concentration and dispersion in a typical office desk setting. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*.
<https://doi.org/10.1038/s41370-019-0179-5>