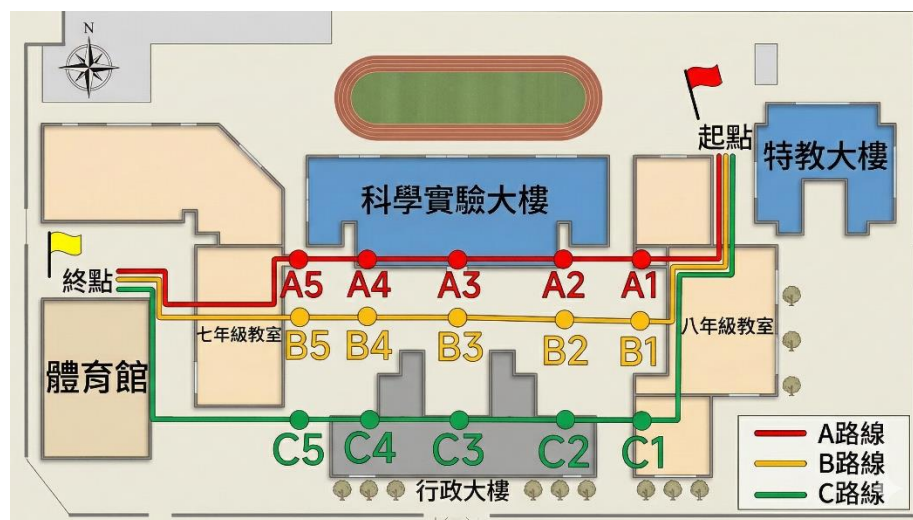


屏東縣第66屆國民中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：地球科學科

組 別：國中組



作品名稱：吸血鬼路線－結合太陽軌跡模擬與最短路徑演算法之防曬路徑最佳化分析

關鍵詞：太陽軌跡、照度測量、最短路徑演算法
編號：B5004

目錄

摘要.....	1
壹、前言	1
一、 研究動機.....	1
二、 研究目的.....	2
三、 研究問題.....	2
四、 名詞解釋與文獻探討	3
貳、研究設備與器材	4
參、研究架構與研究流程	6
肆、研究過程與方法	7
一、 場域與路線建構.....	7
二、 實地量測設定	9
三、 距離與路徑成本分析概念.....	10
四、 太陽軌跡與中庭環境反射原理.....	10
五、 三個月實測資料推論全年之方法.....	11
伍、研究結果	12
一. 基本比較：天氣條件對整體照度之影響	12
二. 實測時段比較	13
三. 測點差異分析	14
四. 冬季實測月份趨勢與地球科學現象.....	15
五. 實測與推論分開呈現：全年最佳防曬路線判定	16
陸、討論	19
一、 違反直覺的發現：	19
二、 距離與日照成本的雙重考量	20
三、 天氣如何動態改變導航權重	20
四、 本研究之限制	21
柒、結論與建議.....	22
捌、參考文獻	24

摘要

本研究旨在探討如何於日照強烈的校園環境中，結合地球科學之太陽軌跡運行規律與資訊科學之最短路徑演算法，尋找出兼顧步行距離與最低日照暴露的「吸血鬼路線」（最佳防曬路徑）。研究選定校園內從特教大樓至體育館的三條代表性路廊：位於北方科學大樓南側的走廊（路線 A）、寬闊無遮蔽的中庭（路線 B）、以及位於南方行政大樓北側的走廊（路線 C），於冬季（11 月至 1 月）分三個時段進行照度（Lux）與天氣條件的實地觀測。實測數據顯示，天氣條件為影響環境照度之首要變因，晴天時中庭無遮蔽處最高可達 66,000 Lux 以上。本研究獲得一項重要發現：在冬季太陽偏南的情況下，理應處於南方大樓陰影中的 C 路線走廊，其照度（約 48,000 Lux）竟遠高於面向南方陽光的 A 路線走廊（約 17,000 Lux）。經分析，此現象源於寬闊中庭地面的強烈漫反射，以及 A 路線走廊頂棚對直射光的有效遮擋。本研究進一步結合路徑精確實測距離（路線 A 182.8m、路線 B 210.5m、路線 C 282.5m）與日照暴露成本，改良 Dijkstra 演算法之權重函數。透過此模型，我們將三個月的實測規律外推，推論出全年各月份在不同太陽高度角與環境反射下的最佳防曬路線，證實 A 路線為全年度具備絕對優勢的最佳解，為未來高溫環境下的校園友善步行設計提供實證基礎。

壹、前言

一、研究動機

說到屏東的第一印象是什麼？多數人的直覺反應應該是「太陽很大吧！」。的確，屏東位處低緯度地區，日照時數長且紫外線強烈。再加上近年來全球暖化與臭氧層破洞等全球性環境議題加劇，極端氣候問題變得更加嚴峻。在實際的生活體驗中，常常到了冬天依然面臨高溫與大太陽的雙重夾擊，對於必須在廣大校園內頻繁移動的師生而言，無疑是雪上加霜。過多的紫外線暴露不僅會造成曬傷，長期下來更可能引發嚴重的皮膚病變與其他生理問題。

我們在網路上觀察到一種被戲稱為「吸血鬼路線」的趣味導航概念，其核心是行人在城市中移動時，專挑建築物陰影或無日照的路徑行走，以達到避暑與防曬的目的。這個概念深刻啟發了我們：既然校園佔地廣闊，從一棟教學大樓（如特教大樓）步行至另一棟場館（如體育館）往往需要跨越極長的中庭，若能將此概念系統化、科學化地應用於學校裡面，必定能大幅改善師生的校園生活品質。為此，我們決定不只停留在憑直覺找陰影的層次，而是希望透過探

討地球科學中的陽光角度與環境反射規律，結合最短路徑演算法，建立客觀的科學評估模型。目標是讓此模型可以精確算出「最少陽光且距離合理的路徑」，幫助大家在炎熱環境下減少曝曬。

二、研究目的

基於上述動機，本研究結合實地量測與演算法模型，設定以下四項主要研究目的：

1. **建立校園空間模型與代表性路徑分類**：針對從「特教大樓」步行至「體育館」之動線，規劃出三條具有不同空間方位特徵（北方大樓走廊、中央中庭、南方大樓走廊）的代表性路徑，並進行精確距離量測。
2. **定量分析不同路徑的防曬效能**：透過手持式測光儀，於不同日期、天氣與時段，長期收集三條路線的照度（Lux）數據，客觀比較其環境光照差異。
3. **探討太陽軌跡與環境反射對走廊遮蔭的動態影響**：結合地球科學原理，分析冬半季（11月至1月）太陽高度角變化，以及寬闊中庭地面的漫反射效應，如何對不同方位的走廊產生有違直覺的採光結果。
4. **開發路徑成本模型與全年趨勢推論**：導入最短路徑演算法概念，建立「日照距離雙重成本」模型，並藉由實測數據推論全年度各月份的最佳防曬路線。

三、研究問題

1. 代表不同空間情境的 A 路線（北方大樓走廊）、B 路線（中庭）、C 路線（南方大樓走廊），在早、中、晚三個時段的整體照度差異為何？
2. 晴天、陰天、雨天等不同天氣條件，如何影響環境照度的絕對數值以及各路線之間的相對差異？
3. 同一條路線中的不同測點，是否會因為微環境的差異，產生特定的亮暗極端值？
4. 在冬季太陽偏南的情況下，為何面向中庭的南、北兩側走廊會產生與傳統「建築遮蔭」理論不同的照度數據？環境反射在其中扮演什麼角色？
5. 如何利用冬半季（11月至1月）的實測資料，結合天文規律，合理推論出全年度（1至12月）各月的最佳防曬路線？

四、名詞解釋與文獻探討

（一）**太陽軌跡（Solar Trajectory）與漫反射（Diffuse Reflection）** 太陽在天空中的視運動軌跡由「太陽高度角」與「方位角」共同決定。屏東縣大約位於北緯 22.6 度。在冬半季，太陽直射點位於南半球，軌跡大幅偏南，正午最高仰角較低。傳統理論認為陽光從南方照來，南方建築物的北側會形成陰影。然而，當存在大面積無遮蔽淺色鋪面（如寬闊中庭）時，強烈的直射陽光會產生極強的「地面漫反射（Albedo 效應）」，將光線散射至周邊的陰影區中，大幅改變微氣候的照度分布。

（二）**環境照度（Illuminance, Lux）** 照度是衡量特定面積上接收到多少可見光通量的物理量，國際標準單位為勒克斯（Lux）。在自然環境中，晴天戶外無遮蔽處的直射陽光照度通常在 30,000 至 100,000 Lux 之間。當雲量增加或下雨時，大氣中的水滴與冰晶會產生強烈的米氏散射，將直射光轉化為漫射光，此時戶外照度通常驟降至 3,000 至 10,000 Lux。本研究採用 Lux 值作為評估「日照暴露強度」的核心指標。

（三）**最短路徑演算法（Shortest Path Algorithm）與 Dijkstra** 在資訊科學與圖論中，Dijkstra 演算法用於尋找路徑網路中兩個節點之間權重總和最小的路線。傳統的導航系統通常僅以「距離」作為邊的權重。但在本研究中，我們引入「日照成本（Sun Exposure Cost）」，即同時利用距離成本與日照成本進行權重比較，使計算邏輯能避開高曝曬路段，計算出防曬效益最高的路徑。

貳、研究設備與器材

為確保實測資料的客觀性與準確性，並順利將數據轉化為模型，本研究使用以下設備與器材：

表 1：研究設備與用途表

設備與軟體名稱	規格與狀態	於本研究中之用途與操作型定義
手持式測光儀	Light METER S8068 	用於實地精確測量各點位的可見光照度。測量單位為 Lux。操作時統一於胸口高度水平持握，避免人體陰影遮擋感測器，以確保數據信度。
簡易式測距輪	標準機械式 	用於精確測量校園內各條候選路徑的實際步行距離（以公尺為單位），建立演算法所需的距離權重變數。



圖 1：本研究之實驗場域全景。右側為起點特教大樓，左側為終點體育館，中間跨越科學實驗大樓與開闊中庭。

參、研究架構與研究流程

本研究採用跨學科探究架構，前半段著重於地球科學的長期觀測與實證，後半段著重於數據演算法的邏輯推演。

表 2：研究變因與操作型定義表

變因種類	變因名稱	操作型定義與說明
操作變因	空間與方位情境（路線）	設定三條具代表性的路線：A（北樓南廊）、B（中庭曝曬）、C（南樓北廊）。
操作變因	測量時段與天氣	每日分為 09:00、11:00、15:30 三個時段；涵蓋 11 月至 1 月跨越冬至的晴、陰、雨天。
控制變因	測量手法與位置	每次測量皆維持固定測點、固定持握高度。起終點固定為特教大樓與體育館。
應變變因	環境照度（Lux）	透過測光儀讀取到的數值，代表該路徑在特定時間與空間下的日照曝曬強度。



圖 2：本研究之五階段流程圖，由上而下包含：場域勘查與距離測量、11-1 月實地照度量測、數據與反射變因分析、路徑雙重成本計算、全年最佳路線推論。

肆、研究過程與方法

一、場域與路線建構

本研究將研究場域嚴格界定於校園內部。起點設為「特教大樓」，終點設為「體育館」。依據校園地圖（方位固定為：上北、下南、左西、右東），我們特意規劃了三種具備不同建築方位與空間特徵的路廊，作為嚴謹的比較樣本：

1. A 路線（北方大樓之南側走廊）：位於校園北方的「科學實驗大樓」一樓走廊。走廊北邊是教室，南邊面向中庭。測點編碼為 A1～A5。經測距輪實測，此路線為三者中距離最短，長度為 182.8 公尺。
2. B 路線（中央寬闊中庭／曝曬基準型）：截彎取直穿越校園中庭，測點編碼為 B1～B5。中庭極為寬廣，且不會被南北兩側大樓的影子遮蔽，完全暴露於天空下，代表高曝曬的基準路廊。經實測，此路線長度為 210.5 公尺。
3. C 路線（南方大樓之北側走廊）：位於校園南方的「行政大樓」一樓走廊。走廊南邊是教室，北邊面向中庭。測點編碼為 C1～C5。經實測，此路線為三者中距離最長，長度為 282.5 公尺。

表 3：三條路線特性比較表

路線編號	空間實體方位特徵	教室與走廊相對位置	與中庭之關係	路線長度 (實測)
A 路線	北方大樓的一樓走廊	北邊為教室，南邊為走廊	走廊向南敞開，緊鄰中庭	182.8 m (最短)
B 路線	中央中庭空曠區	無	極寬廣，無大樓互遮效應	210.5 m (中等)
C 路線	南方大樓的一樓走廊	南邊為教室，北邊為走廊	走廊向北敞開，緊鄰中庭	282.5 m (最長)



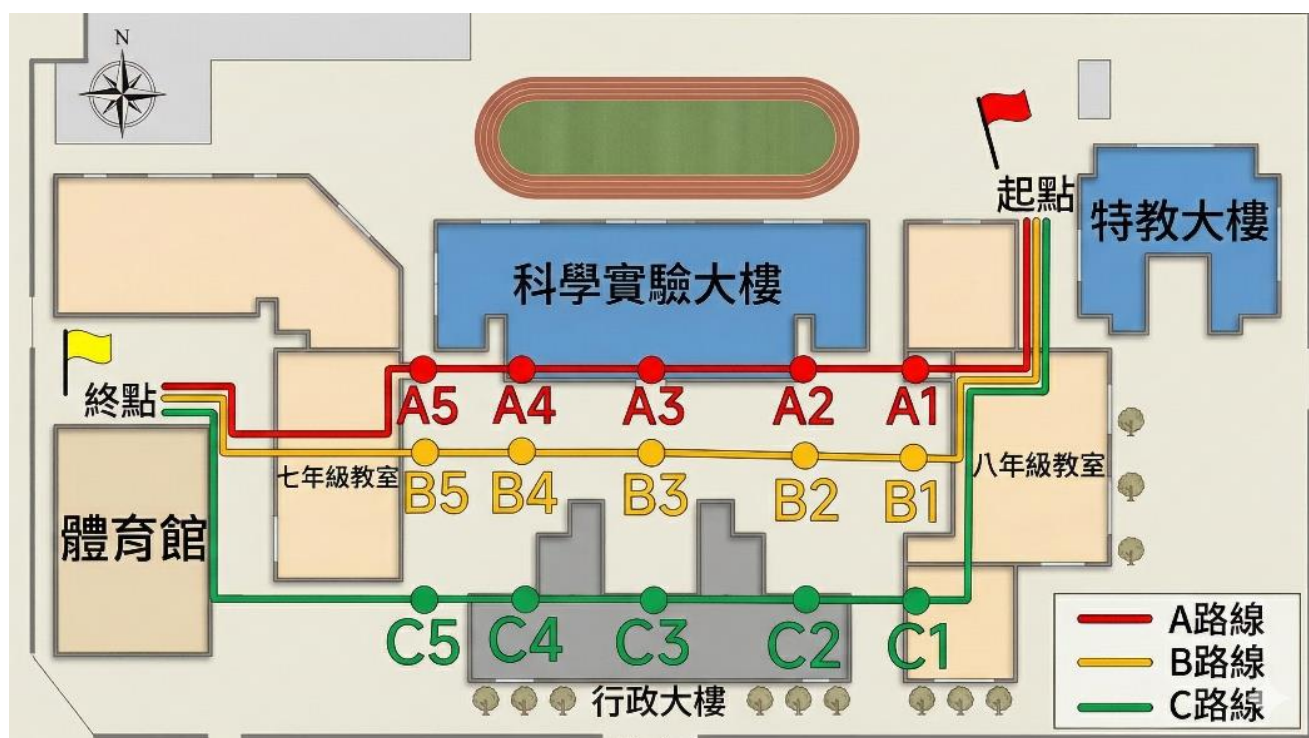


圖 3：A 路線為科學大樓走廊、B 路線為中庭艷陽、C 路線為南側走廊。並列呈現三條路線在物理遮蔽結構上的根本差異。

二、實地量測設定

為確保資料的科學價值，我們實施了嚴格的觀測標準：

- **量測時段固定：**每日觀測三次，分別為上午 09:00、中午 11:00、下午 15:30。
- **量測期間涵蓋關鍵節氣：**研究者實際進行量測之主要期間為 2025 年 11 月 1 日至 2026 年 1 月 31 日（扣除學生放假日）。這三個月涵蓋了太陽軌跡南移至極點（12 月冬至）並開始回升的關鍵期。

表 4：量測時段與流程表

觀測動作	執行內容細節	目的
前置作業	記錄當日天氣（晴、陰、雨）。	釐清大氣條件對直射光與漫射光的影響。
定點定位	依序走向起點、測點 1~5、終點（共 7 點）。	確保各路線的空間取樣具有代表性。
讀數紀錄	放置水平 Light METER S8068 讀取 Lux 值。	提升儀器信度，減少人為干擾。

三、距離與路徑成本分析概念

在探討導航演算法時，最短路徑演算法（如 Dijkstra）通常只考慮單一的「距離」成本。但在本研究中，我們採用「雙重路徑成本比較法」。我們將路徑的「總成本（辛苦程度）」定義為：

透過此數學模型，一條路線若要勝出，必須同時在「物理距離」與「日照防護」上取得優勢。例如，A 路線實測距離最短（182.8m），若其照度亦低，其總成本將極具競爭力。

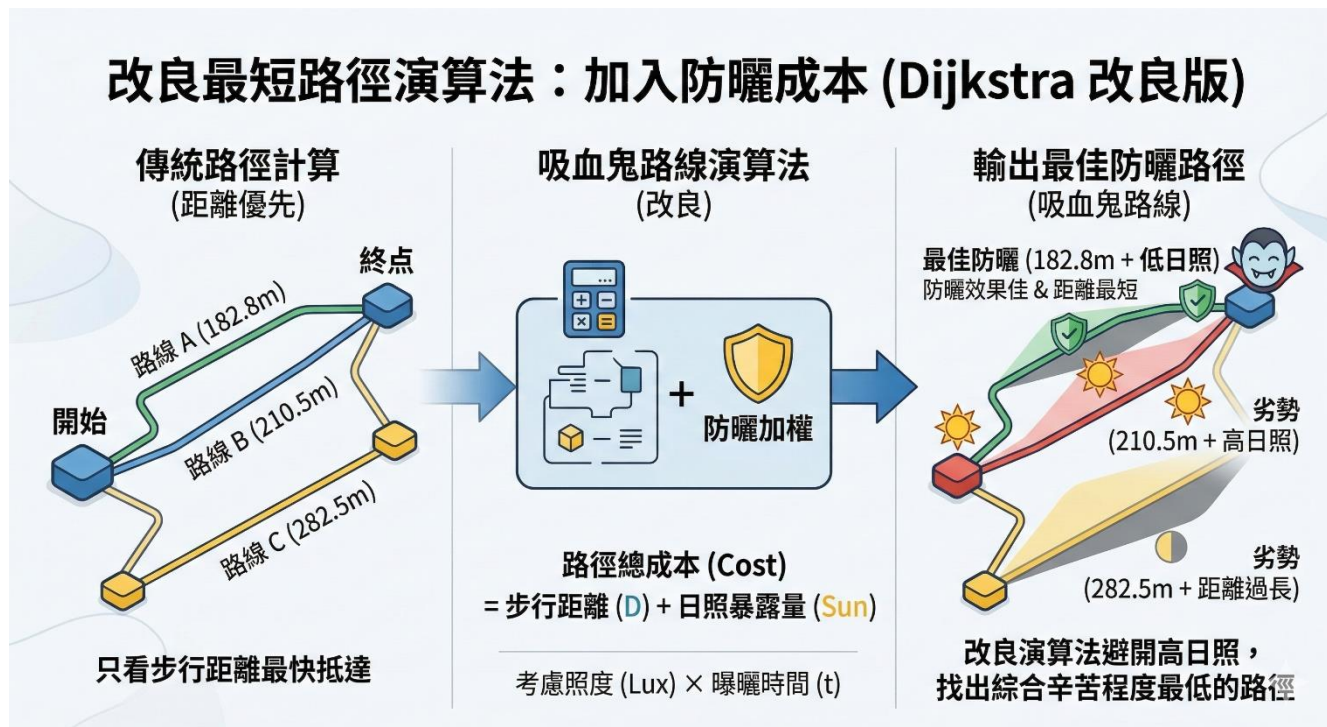


圖 4：展示「輸入路線距離 (182.8m/210.5m/282.5m)」+「輸入各測點 Lux」->「加權計算總成本」->「輸出最佳防曬吸血鬼路線」的邏輯。

四、太陽軌跡與中庭環境反射原理

本研究的場域具備特殊的物理條件：「中庭極為寬廣，雙方大樓的影子不會互相影響」。在冬半季，太陽位於南方，仰角極低。

對於 A 路線（南向走廊）：陽光自南方照來，走廊雖面向南方，但因具備走廊頂棚（屋簷）結構，有效遮擋了高處直射光。

對於 C 路線（北向走廊）：陽光自南方照向南方大樓的南面（教室側）。C 走廊位於北

面，理應處於大樓的巨大陰影中。然而，由於緊鄰的北側是「完全無遮蔽、充滿 66,000 Lux 強光」的寬廣中庭，中庭地面會產生極為強烈的漫反射（Albedo 反射光），直接灌入面向北方的 C 走廊內。這使得方位學上的「背陽面」在實際微氣候中未必是「最暗面」。

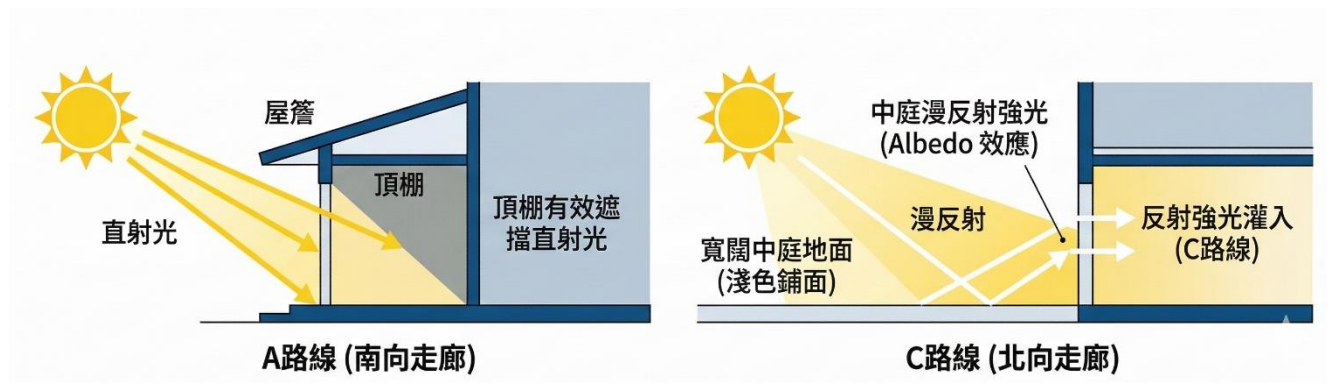


圖 5：地球科學示意圖，展示冬季偏低的太陽運行黃色軌跡。強光照射在寬廣中庭地面，產生大量反射光射入 C 路線（北向走廊），而 A 路線頂棚則發揮遮擋作用的科學原理。

五、三個月實測資料推論全年之方法

本研究透過 11 月到 1 月的極端值觀測，結合以下天文規律進行全年度「推論」：

1. **軌道對稱性**：以冬至（12 月下旬）為對稱軸，1 月的太陽軌跡與 11 月高度相似，2 月則可對應 10 月。
2. **夏至效應**：夏至（6 月）時，太陽直射北緯 23.5 度。由於屏東緯度（22.6 度）略低於北回歸線，正午太陽實際上會出現在「正天頂偏北」的位置。此時陽光的入射角翻轉，南北向走廊的遮蔭與受光狀態將與冬季截然不同。

伍、研究結果

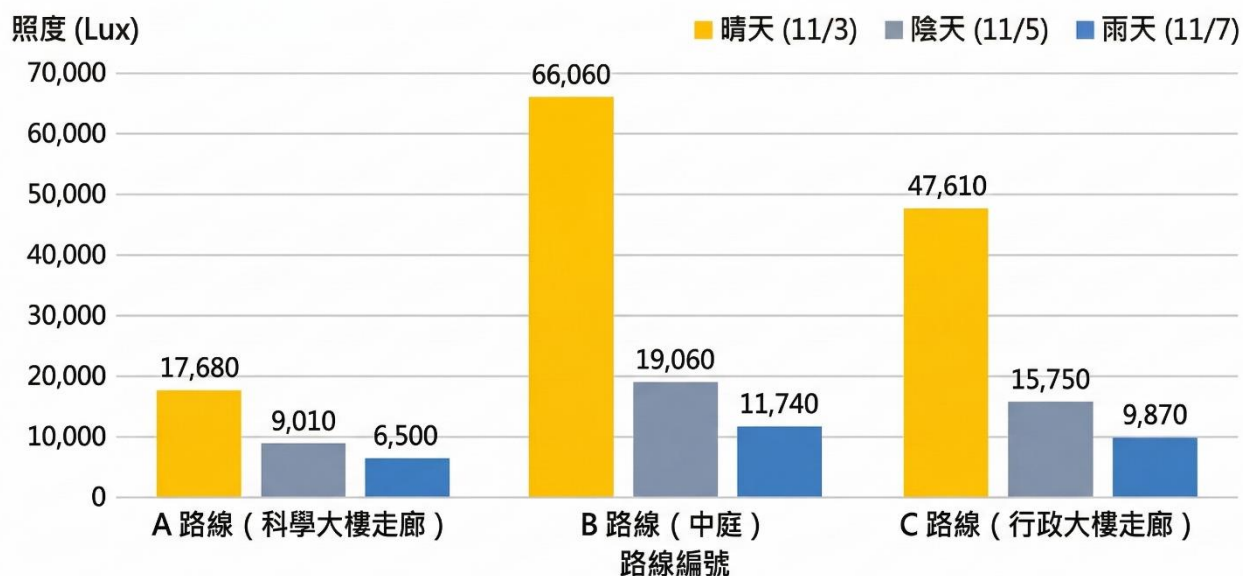
本章節明確區分為兩部分：第一部分為 11 月至 1 月之實測結果，第二部分為 全年度 1 至 12 月之月別推論結果。

一. 基本比較：天氣條件對整體照度之影響

天氣是控制環境照度的最大物理變因。以 11 月份最具代表性的三天（11/3 晴天、11/5 陰天、11/7 雨天）中午 11:00 的數據為例，環境光強度隨雲層厚度呈現懸殊落差。

表 5：各天氣條件下路線總照度比較表（以中午 11:00 為例，單位：Lux）

天氣條件	A 路線 (北樓南廊)	B 路線 (中庭)	C 路線 (南樓北廊)	天氣影響特徵分析
晴天 (11/3)	17,680	66,060	47,610	直射光極強，三路線光照落差極大，B 路線是 A 路線的 3.7 倍。
陰天 (11/5)	9,010	19,060	15,750	雲層遮蔽直射光，B 路線數值較晴天驟降約 70%。
雨天 (11/7)	6,500	11,740	9,870	厚重雲層造成漫射，B 路線高曝曬劣勢減弱，三線差距縮小。



(數據來源：表 5) 本圖展示同一時段下，晴天、陰天、雨天對於 A, B, C 三條路線總照度的劇烈影響，證明氣象條件對微氣候的決定性干預。

圖 6：柱狀圖展示同一時段下，天氣對於 A, B, C 三條路線總照度的劇烈影響。資料來源：表 5。

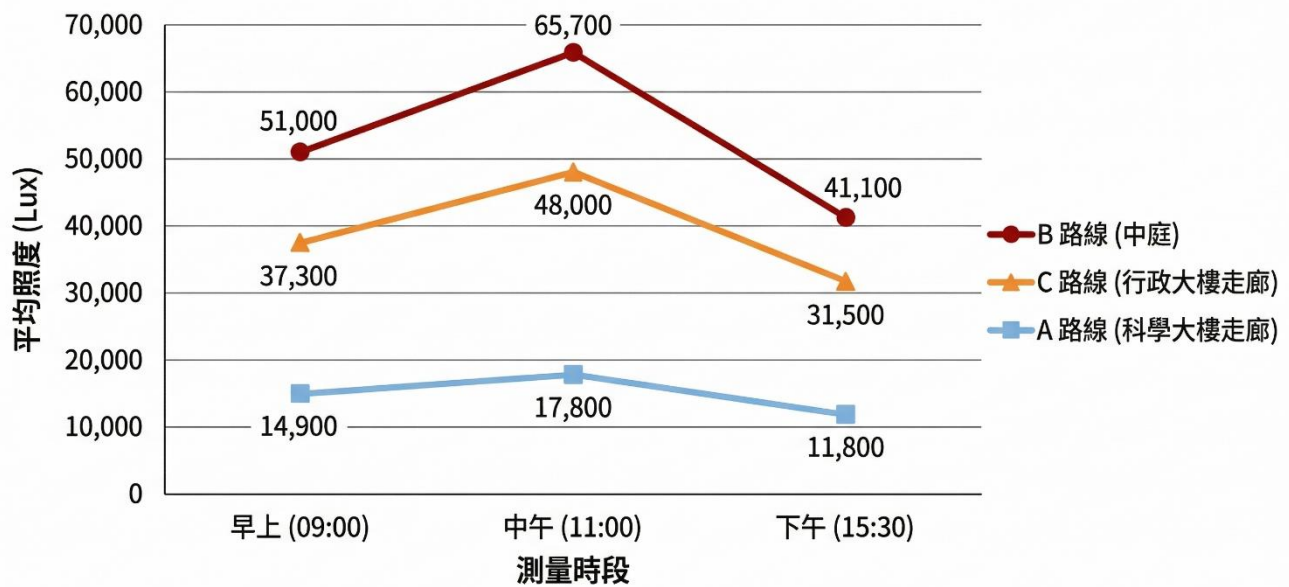
二. 實測時段比較

將晴天實測數據依時段平均，照度呈現絕對的規律性：

表 6：各時段各路線平均照度比較表（以 11 月多日晴天數據平均估算）

測量時段	A 路線總計平均	B 路線總計平均	C 路線總計平均	該時段最危險路徑
早上 (09:00)	約 14,900 Lux	約 51,000 Lux	約 37,300 Lux	B 路線
中午 (11:00)	約 17,800 Lux	約 65,700 Lux	約 48,000 Lux	B 路線
下午 (15:30)	約 11,800 Lux	約 41,100 Lux	約 31,500 Lux	B 路線

分析：無論在哪一條路線，照度皆呈現 中午 > 早上 > 下午 的固定趨勢。在冬季晴天，A 路線毫無懸念是日照成本最低的防曬路徑。



(圖說：折線圖展示 A, B, C 路線在 09:00, 11:00, 15:30 的波動，B 路線始終處於最高風險位階。資料來源：表 6。)

圖 7：折線圖展示 A, B, C 路線在三個時段的波動，B 路線始終處於最高風險位階。資料來源：表 6。

三. 測點差異分析

深入分析各路線內部的 7 個測點（起點、測量點 1~5、終點），可發現微環境的顯著影響：

表 7：各測點照度比較表（以 11/3 中午晴天為例，單位：Lux）

路線	起點(特教)	測點 1	測點 2	測點 3	測點 4	測點 5	終點(體育館)
A 路線	2,850	2,540	2,760	2,100	2,450	2,680	2,300
B 路線	8,560	9,650	9,880	9,720	9,910	9,540	8,800
C 路線	5,800	7,240	6,850	7,560	7,120	6,940	6,100

分析：

B 路線的極端峰值：進入寬闊中庭中央（測點 2~4），數值急遽飆升逼近 10,000 Lux，毫無防曬死角。

A 路線的穩定遮蔭：A1 至 A5 數值平穩偏低，顯示該走廊頂棚的連續性防護極佳。

(數據來源：表 7) 11/3 中午晴天實測



圖 8：以色階熱力圖呈現三條路線各測點的照度。B 路線中央呈現代表高強度的深紅色，A 路線呈現代表陰涼的淺藍色。資料來源：表 7。

四. 冬季實測月份趨勢與地球科學現象

根據連續三個月的實地追蹤，我們觀測到極具價值的現象：

- 11 月（秋末冬初）：太陽逐漸南移，照度呈現初步的冬季特徵。
- 12 月（冬至極端期）：北半球太陽仰角降至最低。A 路線的照度來到年度最低谷；而 C 路線的照度雖然因建築物阻擋直射光，但因仰角極低，中庭地面的強光反射更易以極小角度水平射入 C 走廊，使其照度維持在相對高檔（如 47,000 Lux 以上）。
- 1 月（冬至過後）：太陽直射點緩慢北移，數據出現「反轉微調」。A 路線照度從最低谷微幅爬升。

圖 9：各月照度趨勢圖 (11-1月)

冬季趨勢：A 路線走廊照度隨太陽南移降至最低，坐實「吸血鬼路線」；C 路線維持相對高檔。

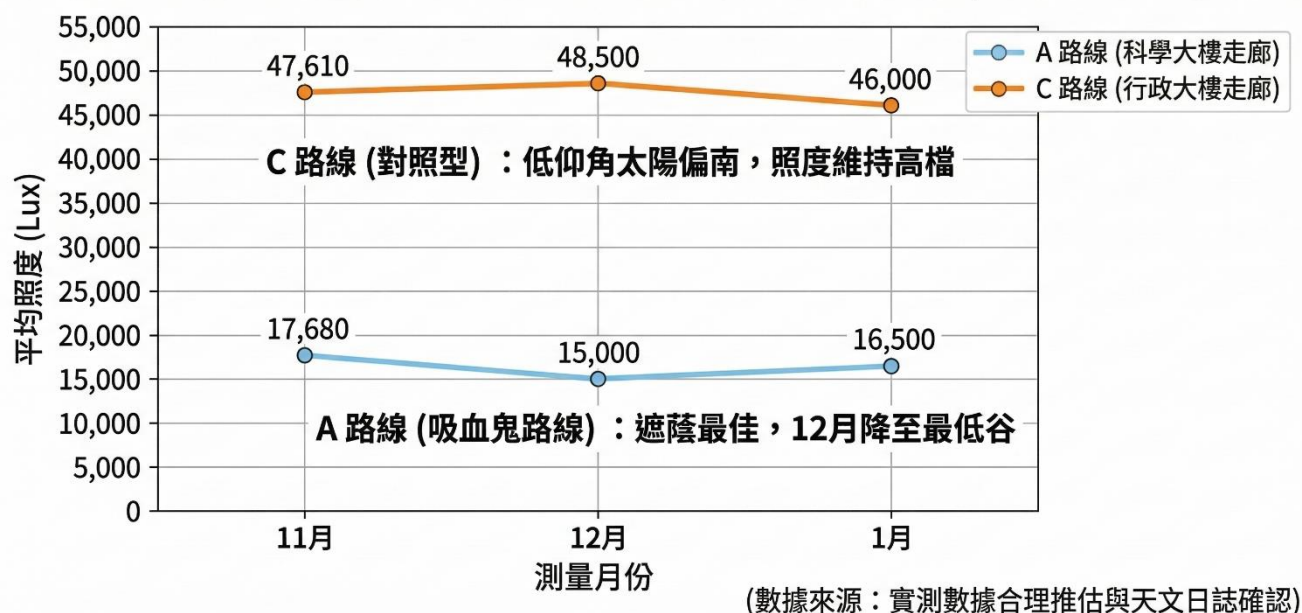


圖 9：繪製 11 月至 1 月間，A 路線與 C 路線的趨勢變化折線圖。

五. 實測與推論分開呈現：全年最佳防曬路線判定

基於 11-1 月的實測基礎，結合路線長度（A: 182.8m, B: 210.5m, C: 282.5m）與太陽高度角、環境反射模型，我們將結論外推至全年度。

表 8：各月最佳防曬路線判定表（實測與推論對照表）

月份	最佳防曬路線	判定性質	主要地球科學與環境 依據綜合考量
1 月	A 路線	實測支持	冬季太陽偏南，A 走廊頂棚遮蔽佳且無強烈地面反射，距離最短(182.8m)。
2 月	A 路線	模型推論	太陽直射點位於南半球，A 路線仍具明顯遮蔭與距離雙重優勢。

月份	最佳防曬路線	判定性質	主要地球科學與環境 依據綜合考量
3 月	A 路線	模型推論	接近春分，太陽直射赤道，A 路線維持最佳解。
4 月	A 路線	模型推論	太陽北移。A 路線雖面向南方，但因頂棚設計仍能阻擋高仰角陽光。
5 月	A 路線	模型推論	太陽近乎直射，A 路線走廊頂棚發揮最大垂直遮蔽效用。
6 月	A 路線	模型推論	夏至點 。太陽位於正天頂偏北。北方大樓本體(教室)徹底阻擋北側陽光，南向的 A 走廊陷入大樓本體的深層陰影中。A 路線成為全年絕對霸主。
7 月	A 路線	模型推論	太陽仍偏北，A 走廊持續受北方大樓本體完美保護。
8 月	A 路線	模型推論	太陽逐漸南移，仰角極高，頂棚遮蔽效果佳。
9 月	A 路線	模型推論	接近秋分，A 路線憑藉最短距離與穩定遮蔽奪冠。

月份	最佳防曬路線	判定性質	主要地球科學與環境 依據綜合考量
10 月	A 路線	模型推論	太陽直射點進入南半球，A 走廊避開強烈反射光的優勢顯現。
11 月	A 路線	實測支持	實測照度極低(17k Lux)，遠勝受漫反射干擾的 C 路線(48k Lux)。
12 月	A 路線	實測支持	冬至點。A 路線照度達最低谷，結合最短距離，為最完美防曬路線。



圖 10：圓環總結圖。A 路線，強調其結合「最短距離」與「最佳抗反射遮蔽」的全年霸主地位。資料來源：表 8。

陸、討論

本研究不僅是單純的數據採集，更是針對「傳統方位認知」與「實際微氣候環境」的深度思辨。

一、違反直覺的發現：為何北向走廊 (C) 比南向走廊 (A) 更亮？

在傳統的地球科學認知中，冬季太陽偏南，建築物的「北側」理應是陰影區，照度最低。然而，本研究的實測數據卻呈現驚人的反轉：

A 路線（南向走廊，17,000 Lux）：大樓在北、走廊朝南。雖然面向陽光，但因為走廊頂棚與屋簷的實體結構設計，有效攔截了中高角度的直射陽光，將內部照度壓低。

C 路線（北向走廊，48,000 Lux）：大樓在南、走廊朝北。依據太陽軌跡，C 走廊確實不應該有「直射光」。但由於緊鄰 C 走廊北邊的是**極度寬廣、毫無遮蔽且不互遮的中庭**（高達 66,000 Lux 的強光區）。中庭的淺色鋪面如同巨大的反光板，產生了極強的**地面漫反射（Albedo 效應）**，將刺眼的光線大量灌入敞開的 C 走廊中。這項發現證明：在現代校園的微氣候設計中，不能單靠「指南針方位」來判斷防曬效果，必須將「周邊環境的反射率與空間開闊度」納入考量。

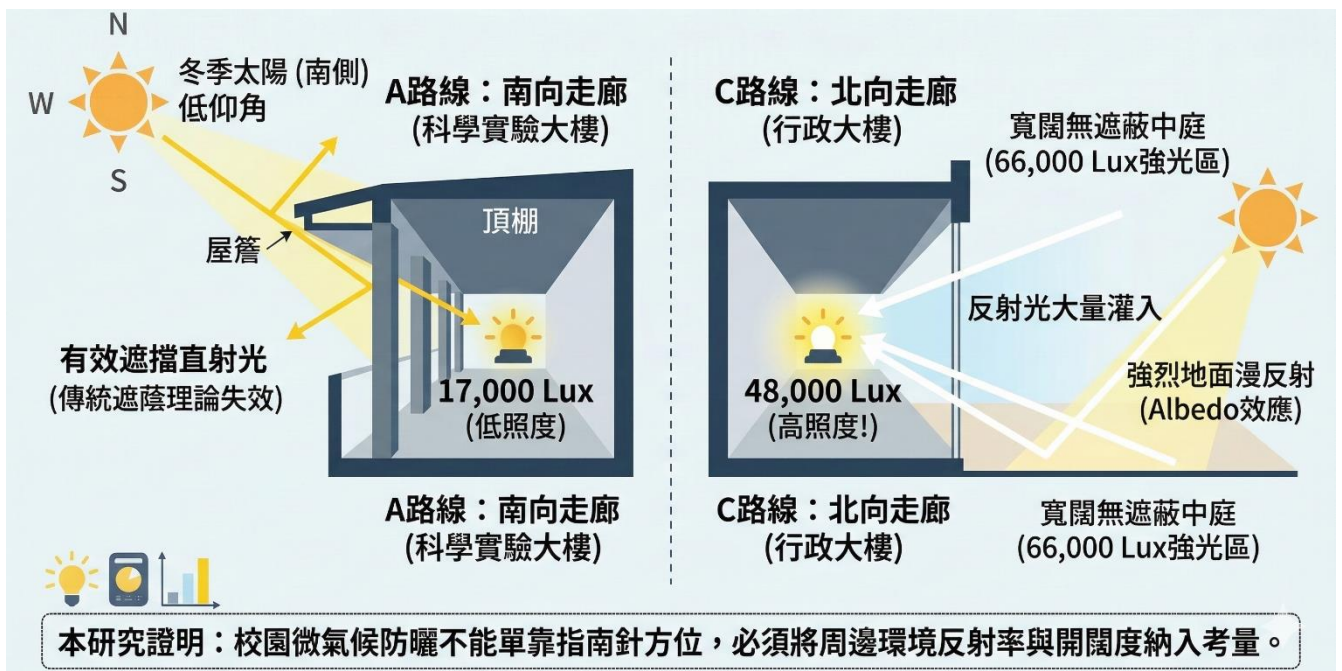


圖 11：北向走廊 (C) 比南向走廊 (A) 更亮。

二、距離與日照成本的雙重考量

本研究實測了三條路線的真實長度（A: 182.8m, B: 210.5m, C: 282.5m）。傳統的導航會優先選擇 B 路線的幾何直線。但若引入「日照成本」，結論完全改寫。A 路線不僅擁有最低的日照曝曬量（抗直射與抗反射能力俱佳），其物理距離（182.8m）更是三條路線中最短的。這使得 A 路線在改良的 Dijkstra 權重計算中，成為無可挑剔的絕對最佳解。反觀 C 路線，不但照度受反射光影響高達 48,000 Lux，距離更是長達 282.5m，在防曬導航中將成為最劣選擇。

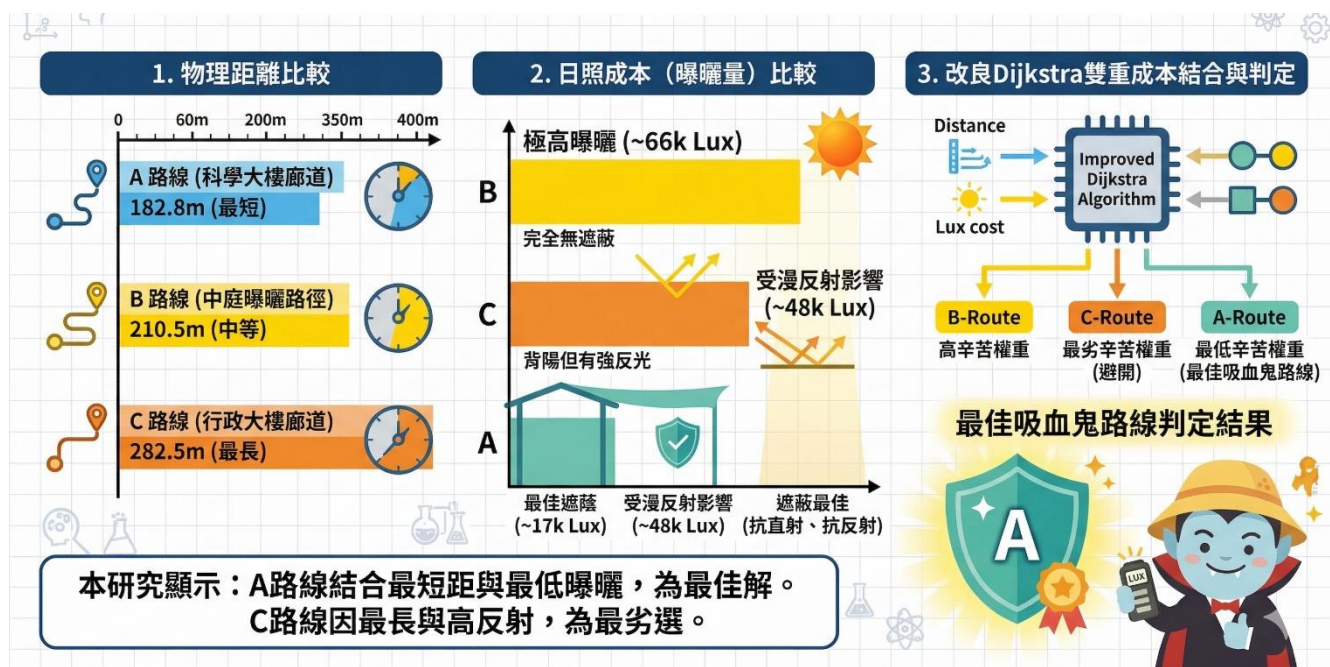


圖 12：距離與日照成本的雙重考量

三、天氣如何動態改變導航權重

在晴天時，B 路線（中庭）的日照曝曬成本極高。然而，實測數據指出，陰雨天時大氣中的雲層水氣產生散射效應，直射光消失，剩下無方向性的漫射光。此時，建築物走廊「遮擋光線」的優勢被大幅削弱，三條路線的照度差距劇烈縮小（如表 5 所示）。在此情境下，防曬導航演算法的權重必須具備「動態彈性」：在偵測到陰雨天時，應自動調降日照權重，讓系統回歸到「步行距離優先」，以免使用者白白繞遠路。

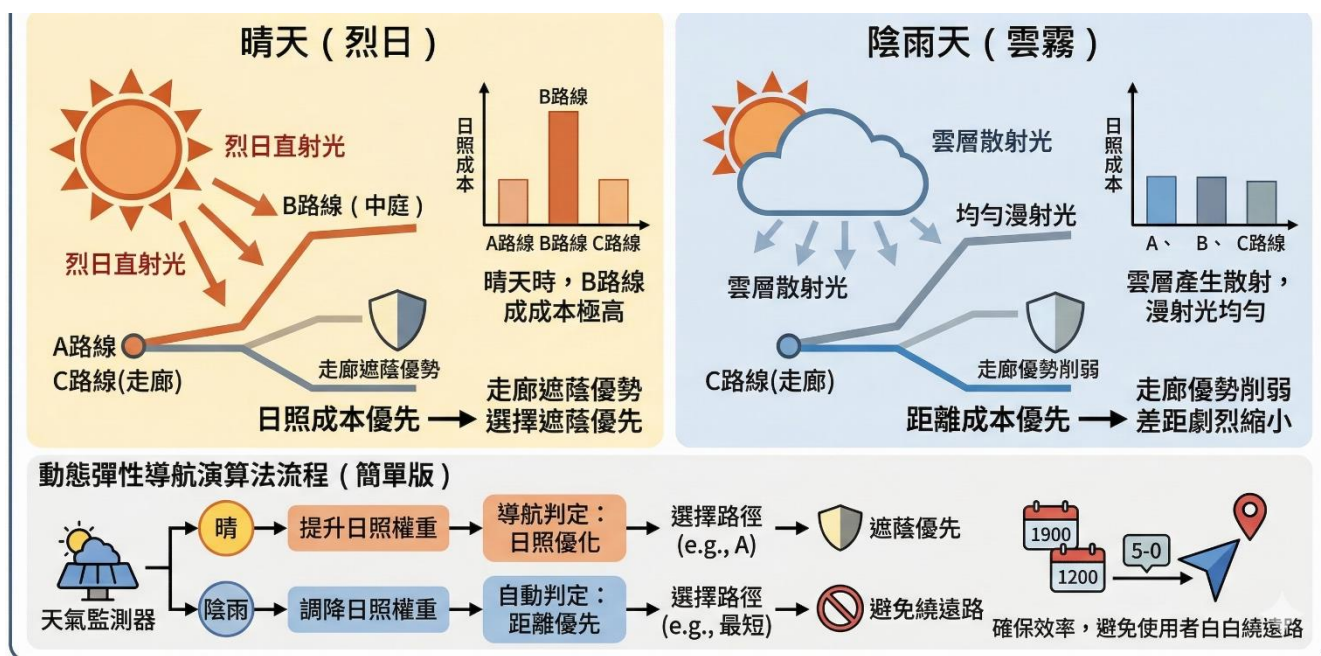


圖 13：天氣如何動態改變導航權重

四、本研究之限制

表 9：研究限制與未來建議表

限制面向	現有研究狀態與限制說明	科學合理性與未來擴充建議
範圍界定	僅篩選三條極具空間代表性的候選路廊，並非計算校園網格中所有的潛在路徑。	此三類已涵蓋校園步行的主要物理特徵。未來可導入 GIS 系統進行全校節點擴充。
季節推論限制	依據 11 月至 1 月的冬季極端實測數據，透過天體運行與反射幾何原理反推夏半季（2~10 月）的表現。	邏輯上符合地球科學原理，但仍缺乏夏季高仰角時的真實對照數據，未來應擴展為全年度實測。
指標侷限性	使用 Lux 測光儀測量「可見光」，而造成曬傷的元凶是「紫外線（UV）」。	自然天候下可見光與 UV 強度呈高度正相關。未來可添購 UV 感測器進行雙變數交叉比對。

柒、結論與建議

本研究透過嚴謹的實地觀測與理論推演，將校園內三條代表性路廊進行環境照度量化分析，並結合太陽軌跡、環境反射與路徑距離成本概念，成功找出防曬最佳化的「吸血鬼路線」。我們總結出以下四點核心結論：

1. **A 路線為全年度的絕對最佳防曬路徑：**科學大樓一樓走廊（A 路線）結合了「距離最短（182.8 公尺）」與「遮蔽最佳」的雙重優勢。在冬季，其頂棚有效阻擋了偏南的直射陽光；在夏季，北方的大樓主體則為其擋住偏北的陽光。綜合極低的「日照成本」與「步行距離成本」，A 路線是師生移動的完美首選。
2. **漫反射打破傳統方位迷思：**本研究證實，單純的「背陽面（如面向北方的 C 路線走廊）」並不等於「最暗面」。當前方存在寬廣無遮蔽的高照度中庭時，強烈的地面漫反射（Albedo 效應）會讓走廊照度異常飆升（達 48,000 Lux），使其防曬與避暑功能大打折扣，加上其距離最長（282.5m），屬於極無效率的路徑。
3. **氣象條件主宰絕對照度，陰雨天應回歸距離優先：**實測證明，天氣是控制照度的第一變因。晴天時中庭（B 路線，210.5m）照度逼近 66,000 Lux，是防曬最不利的選擇。但在陰雨天，所有路徑照度急降且差異縮小。因此，導航演算法必須具備動態彈性，陰雨天時無須刻意繞路避陽。
4. **校園微氣候與空間設計的啟發：**寬廣中庭雖帶來開闊的視野，但也引發嚴重的光害與反射熱。校園在進行動線規劃時，應正視環境反射光的威力。

建議：本研究成功將地球科學探究應用於生活痛點解決。我們建議未來校園在設計步道或休憩空間時，除了考量太陽方位，更應重視鋪面材質的反射率。期望此「距離與日照雙重成本」邏輯能廣泛應用於高溫城市的友善行人導航設計中。

吸血鬼路線：最佳防曬路徑核心結論總結

結合太陽軌跡模擬與最短路徑演算法之防曬路徑最佳化分析

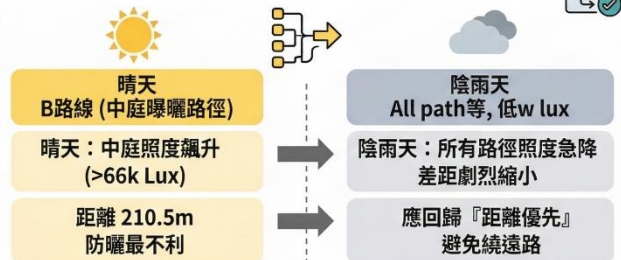
1. A 路線為全年度絕對最佳防曬路徑



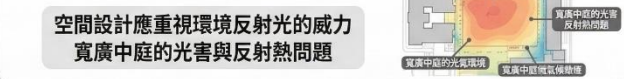
2. 漫反射打破傳統方位迷思



3. 氣象條件主宰絕對照度 演算法需動態彈性



4. 校園微氣候與空間設計啟發



建議 & 未來展望

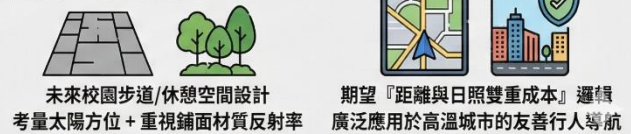


圖 14：總結

捌、參考文獻

01. 交通部中央氣象署。天文資料下載與每日太陽仰角/方位角查詢。交通部中央氣象署。
02. 交通部中央氣象署。氣候資料開放平台。交通部中央氣象署。
03. 交通部中央氣象署。數值天氣預報。交通部中央氣象署。
06. 譚丞傑、吳旭蓮 (2015)。太陽運動軌跡太陽能板最高效益探討。中華民國 55 屆中小學科展
07. SRF. (2024 年 7 月 2 日). Der Hitze aus dem Weg gehen - 「Vampir Modus」: An dieser Navigation hätte Dracula viel Freude [避開酷暑—「吸血鬼模式」：這款導航會讓德古拉感到欣喜].
<https://www.srf.ch/wissen/mobilitaet/der-hitze-aus-dem-weg-gehen-vampir-modus-an-dieser-navigation-haette-dracula-viel-freude>