

臺中市政府 104 年度市政發展研究論文獎助計畫

論文節錄重點

都市光害構成因子與夜空亮度之研究-以原臺中市為例

Analysis of urban light pollution factors and night sky
brightness in Taichung City

研 究 生：林義盛

指導教授：趙又嬋

學 校：逢甲大學

系 所：建築系

中華民國 104 年 2 月

壹、摘要

本研究針對都市構成因子與臺中市夜空亮度之研究，針對臺中市 17 條主要道路與主要商圈等主要地標共計 133 個測點進行實測。本研究使用 SQM-L 夜空亮度計測量夜空亮度，並進一步使用 Surfer 軟體繪製臺中市光害地圖，爾後分析夜空亮度與都市構成因子之相關性，包括「人口密度」、「使用分區」及「立面輝度」等，作為台灣都市夜空亮度光害基礎資訊。

根據調查結果，臺中市平均夜空亮度為 $15.62 \text{ mag/arcsec}^2$ ，為自然夜空亮度之 246.67 倍，顯示臺中市光害嚴重。臺中市之夜空亮度呈現以環中路、南屯路及鐵路為劃分之現象。可知環中路西側遠離市區之夜空亮度介於 $17\sim 18 \text{ mag/arcsec}^2$ 之間，其東側靠近市區之夜空亮度介於為 $13\sim 15 \text{ mag/arcsec}^2$ 之間，推測由於環中路以東範圍內商業活動頻繁、人口密度反映人流量大，人潮聚集，商業活動興盛，光害情形也較嚴重。

進一步分析都市構成因子與夜空亮度的關係，在「人口密度」的部分，密度以環中路以東、縱貫線以西為最高；相對密度較低之區域，如環中路以西之工業區，所測得之夜空亮度也較暗，顯示人口居住密度較高，人類活動確會對夜空亮度造成影響。在「土地使用分區」的部分，其商業區夜空亮度最亮為 $15.08 \text{ mag/arcsec}^2$ ，綠地、農業區夜空亮度最暗為 $16.73 \text{ mag/arcsec}^2$ 與都市規劃使用類別、性質相吻合。「立面輝度」的部分，商圈平均立面輝度 31.88 cd/m^2 ，工業區平均立面輝度為 3.36 cd/m^2 ，立面輝度反映建築物樓高、使用行為、人造光源數量不同，確實會增加夜空亮度。

本研究有助於了解臺中市夜空亮度分布的現況，並透過都市構成因子的解析，了解夜空亮度與都市規劃、人類活動的關係，可做為後續都市光害研究參考依據。

關鍵詞：光害、光害地圖、天空輝光、夜空亮度、地理資訊系統

貳、目錄

參、研究緣起	5
肆、研究目的與重點	8
伍、文獻探討	9
陸、研究設計、研究架構及分析方法	12
柒、分析結果及研究發現	15
捌、結論及政策建議	26
玖、參考文獻	28

[圖目錄]

圖 1 全球天空輝光影響地圖(Cinzano et al., 2001)	5
圖 2 光害種類與形成	6
圖 3 夜間都市中的天空輝光	6
圖 4 光害影響之成因	8
圖 5 過多的照明設備向天空溢散	8
圖 6 霓虹燈看板、LED 廣告招牌、電視牆	8
圖 7 臺中市行政區域圖	12
圖 8 繪製臺中市光害地圖處理流程	14
圖 9 臺中市光害地圖	18
圖 10 拍攝角度與建築距離之關係	19
圖 11 主要道路測點立面輝度與夜空亮度、路面照度比較	21
圖 12 標的立面輝度與夜空亮度、路面照度比較	22
圖 13 人口密度圖套疊流程	22
圖 14 立面輝度與夜空亮度、路面照度比較	23
圖 15 商業區與光害地圖之套疊	24
圖 16 住宅區與光害地圖之套疊	24
圖 17 立面輝度與夜空亮度、路面照度比較	25

[表目錄]

表 1 光害的環境的影響分類	7
表 2 各國光害條例或規範之制訂與主要內容	9
表 3 CIE 戶外照明光害限制基準(CIE 150-2003)	10
表 4 各研究方法的特性比較表	11
表 5 測量工具使用表	13
表 6 測量模式設定說明	13
表 7 「道路測點」及「標的測點」表	14
表 8 主要道路夜空亮度測點資料 (單位: mag/arcsec ²)	15
表 9 標的測點夜空亮度測點資料 (單位: mag/arcsec ²)	16

表 10 測量工具使用表	19
表 11 「道路測點」立面輝度測點資料	20
表 12 「標的測點」立面輝度調查資料	21
表 13 平均人口密度與夜空亮度、路面照度、立面輝度分析對照表	23
表 14 使用分區與夜空亮度、路面照度、立面輝度比較表	25

參、研究緣起

人造光源是隨著人類文明、科學技術的發展逐漸製造出來的光源，然而伴隨著照明過度的氾濫、不當的照明系統已經對環境產生造成衝擊，導致了巨大的能源消耗與金錢的浪費。這些夜間照明所溢散的光線對於環境產生負面干擾與影響即為光害(light pollution)，光害主要分成天空輝光(sky glow)、光侵擾(light trespass)及眩光(glare)三大類，其中與都市關係最為密切的天空輝光(sky glow)，對天文觀測、人類活動、生態圈以及能源使用都會造成影響。

一、 天空輝光的定義

義大利學者 Cinzano 透過衛星定位拍照蒐集資料合成世界光害地圖，顏色越亮、越接近紅色表示天空受到的光害程度越嚴重(圖 1) (Cinzano et al., 2001)。全世界先進國家的城市如美國、中國、日本、甚至鄰近的香港同樣飽受光害之苦，在台灣，有將近 6 成的人口居在光害影響的區域(圖 1-6)，而居住地夜空亮度已是自然亮度的 9 倍以上，超過 7 成的人晚上被天空輝光擋住視線看不見星空(林憲德，2009)。

天空輝光(Sky glow)原是散佈在大氣上的一種自然現象，然而都市因建築物密集產生過多的人造光源向天空發散多餘的光，這些直接上射光(uplight)以及間接光線，經由大氣懸浮塵埃的散射形成輝光，使得夜間靠近天際線的天空蒙上一層微微亮光，特別是在惡劣的天氣與空氣污染的狀況下，增加夜晚天空亮度(圖 2)。

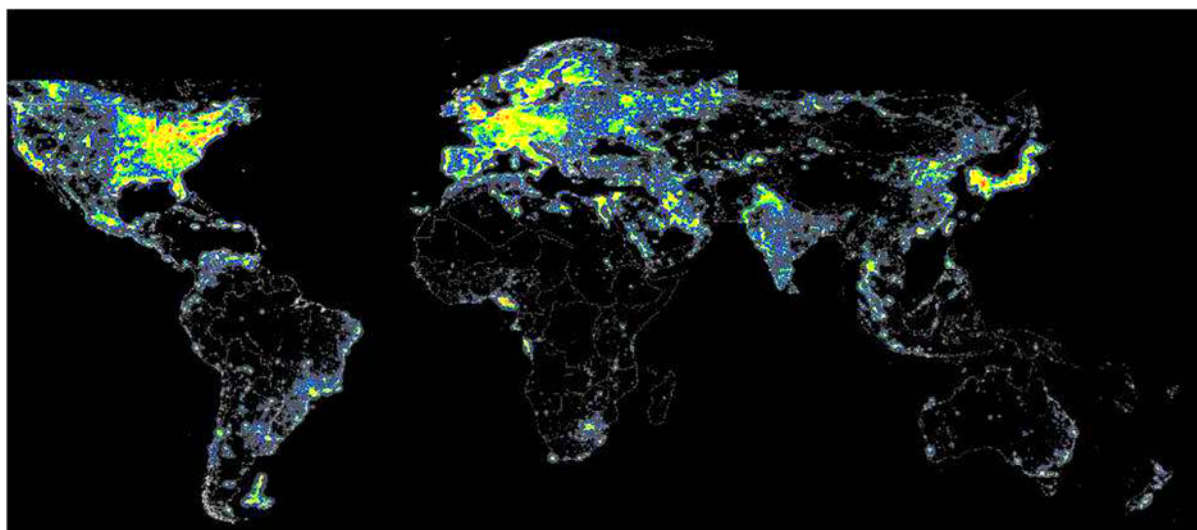


圖 1 全球天空輝光影響地圖(Cinzano et al., 2001)

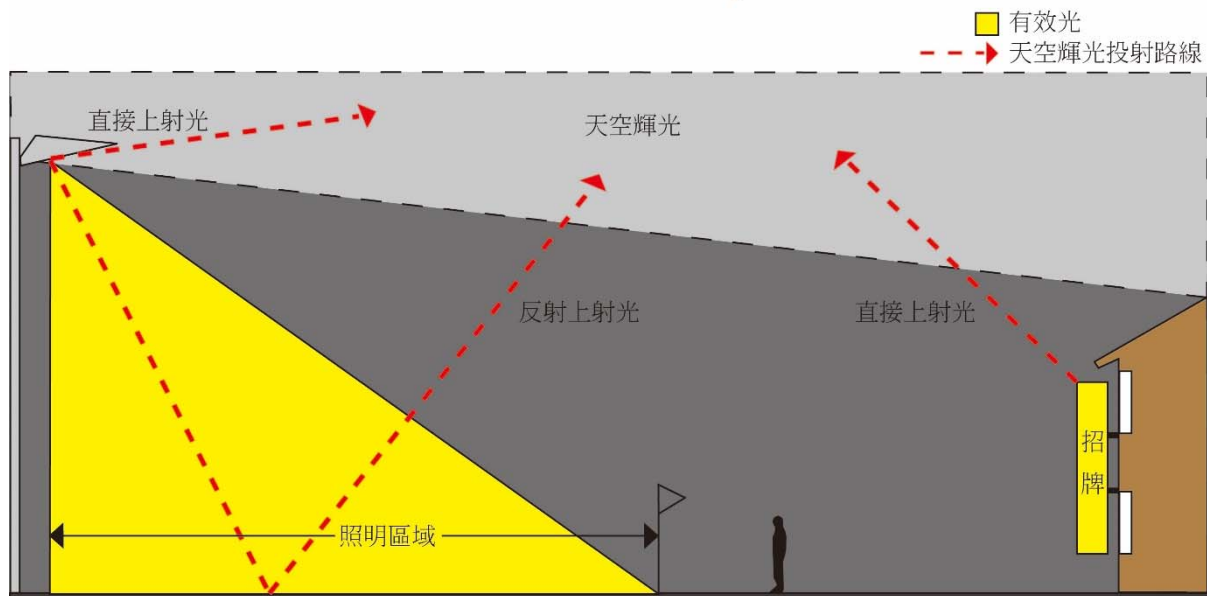


圖 2 光害種類與形成

天空輝光 (Sky Glow) 一般以「夜空亮度 (NSB, Night-Sky Brightness)」做為評定天空輝光的程度，單位以輝度 (cd/m^2)、等每平方角秒或星等表示，1850 年英國天文學家普森發現 1 等星比 6 等星亮 100 倍 (圖 3)，每星等之間亮度則相差 2.512 倍。而自然夜空亮度範圍(圖 2-4)在 $16\text{-}21.6 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$ 之間；輝度在 $0.2 \text{ cd}/\text{m}^2$ ；波特爾暗空分類法為級別 1。



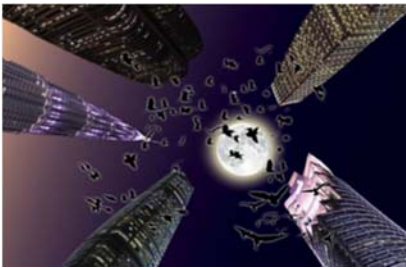
圖 3 夜間都市中的天空輝光

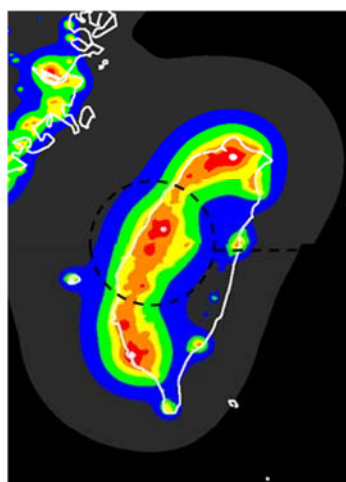
二、 天空輝光的影響

然而過度或不當的使用燈具與燈源，所產生的隱憂，不僅致使生態環境失衡，對人類的生活也帶來了危機，自從 1976 年國際天文協會首次提出光害現象對天文觀察的影響之後，天空輝光的議題已漸漸成為國際間天文界與照明相關領域內熱門的研究議題，而天空輝光對於地球環境的傷害可歸類於對天空、交通、人體、生態環境、都市環境與能源的影響 (CIE, 1997; Narisada & Schreuder, 2004; 劉鳴等, 2008) (表 1)。

圖 4 為台灣光害地圖(Cinzano et al., 2001)，可發現台灣西半部主要城市如台北市、臺中市、高雄市等地夜空亮度高、光害最為嚴重。本研究主要動機有二：(1) 目前台灣光害相關研究仍在起步階段，尚無在地性且具體詳實的調查研究；(2) 大尺度的光害地圖僅能知道大範圍的光害分布，不能進一步從都市規劃或建築設計的角度解析光害成因。本研究為國內首度針對大型都市進行天空輝光的量測，以縣市合併前的臺中市為調查對象，並試著從人口、土地利用等都市構成因子來解析都市光害的成因，這即為本研究的價值與貢獻之所在。

表 1 光害的環境的影響分類

類別	項目	影響	示意圖
生態環境	動物	對於利用星月之光來巡航的鳥類，大樓的燈會混淆遷徙中鳥類的方向感，估計每年有難已算計的鳥類撞死於燈火通明的建築物上。	
環境與能源	天文觀測	目前世界大部分的天文觀測站都已遭受到天空輝光的干擾，其中有 467 個站只能觀測到 1 等星亮度的天空，絕大多數的觀測站也只能觀測到 3~4 等星的夜空，天空輝光的影響已經無所不在。	
	能源	溢散光與天空亮度的增加看似與大眾生活無關，但實質代表不必要的能源浪費、增加 CO ₂ 排放量，以及更多的光害影響。單就美國而言，一年浪費在戶外照明射向天空的光線就超過十億美元 (CIE, 2003)，在日本也高達 2 億美元，日本環境廳曾統計，若能有效抑制這些不必要的光線，就能減少 18% 的戶外照明用電量，等同於一年減少 20 萬公噸的 CO ₂ 排放量 (日本環境廳，2000)	



大範圍光害影響之現象



夜間照明所溢散的光

圖 4 光害影響之成因

肆、研究目的與重點

台灣都市住商混合使用分區的特殊現象，到了夜晚伴隨而來的如壓克力透光式、招牌大型投光式廣告看板、霓虹燈看板、LED 廣告招牌、電視牆等照明設備(圖 5、圖 6)造成過多的燈光存在於你我生活環境之中。這些都市光害常引發民眾抱怨，卻未有法令可管，甚至缺乏相關基礎研究，全國目前僅台北市研擬光害防治管理自治條例送議會審查。臺中市是台灣前三大重要城市之一，隨著環境永續意識的提升，光害不僅代表著夜空亮度，背後也代表著生態、人類活動、能源耗用與 CO₂ 排放等指標，也將是臺中市未來發展所必須面對的環境議題。

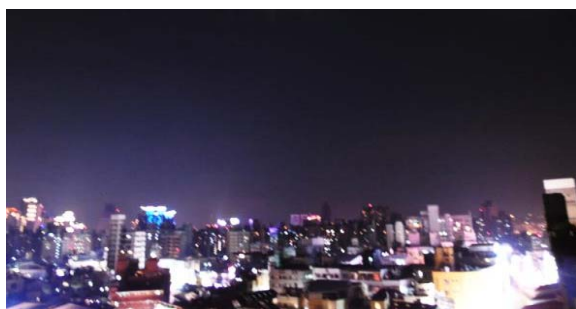


圖 5 過多的照明設備向天空溢散



圖 6 霓虹燈看板、LED 廣告招牌、電視牆

國內對於台灣天空輝光實測數據數量鮮少，使得光害的議題談論僅限於光侵擾方面，事實上，天空輝光的來源為城市中建築物密集所衍生過多的夜間照明所溢散的光，因此本研究即以與城市關係最為密切的「天空輝光」光害做為研究主題。主要研究目的如下：

- 一、 掌握臺中市天空輝光現況
- 二、 繪製臺中市區域性光害地圖
- 三、 解析臺中市人口密度、土地使用分區等都市因子與天空輝光之關係
- 四、 提供後續都市光害研究參考依據

伍、文獻探討

一、 天空輝光的規範與限制

1. 國際對天空輝光的防治現況

國際天文學會 (IAU) 於 1979 年釐定了「暗黑天空國際標準」，定義在沒有人為光害（光污染）的影響下，無月夜的夜空亮度，標準為天空輝光 21.6mag/arcsec^2 (等每平方角秒)，滿月時的自然夜空亮度為 16mag/arcsec^2 。國際天文學會 (IAU) 和國際照明委員會 (CIE) 在 1978 年即開始正視光污染問題，並在隔年的 CIE 第 19 屆大會上首次發表了防制光害的研究成果(表 2)。

表 2 各國光害條例或規範之制訂與主要內容

國家	光污染條例或規範制訂現況	主要內容
美國	由各州自行訂定，唯光污染法令不盡相同	雖然各州法令相異，但仍以「 控制水平面上的光束 」為主要原則
義大利	已有 6 個行政區自行制訂光污染條例	以「 控制水平面上的光束 」為主要原則，同時也管制部分廣告招牌
捷克	為世界上第一部全國性的光污染防制法令，違者並處以罰款	
日本	官方有日本環境廳制訂《光害對策準則》做為參考，地方也有自訂的光害防制條例，如《保護美麗星空美星町光害防止條例》	《光害對策準則》推薦基準項目包括：光源效率、燈具效率、 上方光束比限制 、眩光限制、廣告溢散光的考量
中國	天津、上海、北京等大城市已有夜景照明規範，但僅為參考規	包括住宅障害光、眩光限制、招牌輝度限制、 上方光束比 、泛光照明等，並需確保基本的

	範，無強制效力	照度水準
台灣	列於「CNS 15015 戶外景觀照明燈具」之中，但僅為參考規範，無強制效力	參考日本《光害對策準則》，針對燈具的照明率、向上光束比、眩光、節能等進行建議

二、 天空輝光的相關規範標準

目前國際間對於天空輝光的規範均以 CIE 戶外照明光害限制為參考標準 CIE 150-2003 戶外照明設施侵擾光線的限制指南(Guide on the Limination of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations)(CIE,2003) 為主要的相關限制依據 (表 3)，其內容「上射光通比」即限制天空輝光光污染部分，可參考 CIE 對燈的上射光通量與燈具全部光通量之比的限制基準，以了解測量數據結果是否超過其基本限制。

表 3 CIE 戶外照明光害限制基準(CIE 150-2003)

指標	內容	環境區域			
		E1	E2	E3	E4
上射光通比 (ULR) 最大值 (%)	燈的上射光通量與燈具全部光通量之比	0	5	15	25
注：環境區域： E1—環境暗的地區，如公園、自然風景區 E2—環境輝度低的地區，如田園地、村落 E3—環境輝度中等的地區，如都市近郊、工業區或都市住宅區 E4—環境亮度高的地區，如城市中心、商業區					

三、 天空輝光的預估與相關調查方法

測量天空輝光需考慮許多的組成因子。不單只是照明的考量，燈具逸散的佈光角度、地面反射的光、大氣中濕度的影響、浮質的多寡與光線的交互影響都可能是影響測量的原因。然而大規模的測量而有其必要，同時這些技術必須簡單、經濟，甚至天文業餘者也能使用評估。

(1) 衛星遙測法

透過衛星拍攝可以進行直接且全面的城市光害分布情形。許多研究即運用美國國防氣象衛星 (DMSP, US Air Force Defense Meteorological Satellite Program) 拍下的衛星夜景照片進行光害地圖的繪製與解析。此種方式可測得一般常使用的戶外燈具的光線發散，如水銀燈、高壓鈉氣燈、低壓鈉氣燈

等，並以不同顏色表示對應「人工光天空亮度」與「自然天空亮度」的比率，顏色越明亮表示比率越高，相關的研究諸如於不同海拔高度及天空方位角測點，繪製天空輝光分布圖（Garstang, 1986）；運用 DMSP – OLS 解析空間人口分布(Elvidge et al., 1997)；建置都市光害模型等（Chalkias et al., 2006）。

（2）輝度計測量法

夜空亮度（NSB）為評估天空輝光的量化值，故直接以輝度計測量天空亮度為可行性及操作型佳的測量方式。例如李奇峰等人曾對上海市區進行環境亮度（此處指建築物背景之夜空亮度）調查，該研究使用 TOPCON BM-3 輝度計及特製的失能眩光透鏡，於地面 1.5m 處向八個方位之 0° 、 30° 、 60° 、 90° 仰角測量，得出上海的夜空亮度約為東京的 4 倍（Li et al., 2006）。劉鳴等人（劉鳴 等，2008）也曾使用 TOPCON BM-7 彩色輝度計進行天津城區的夜空亮度調查，得出夜景熄燈前後之夜空亮度可相差至 2~14 倍。

（3）夜空亮度計 Sky Quality Meter 測量法

Sky Quality Meter (SQM) 為一經濟、便利的夜空亮度計，測量單位為「等每平方角秒（,magnitude per arcsecond square）」，由於體積小、攜帶便利，故近來成為夜空亮度測量研究以及天文活動使用的儀器之一。SQM 之感應器結合了近紅外線的濾鏡，故其與人眼的感知結果相近，同時狹小的感應範圍可避免受到周圍照明的影響，其最狹的半峰半寬（HWHM, Half Width Half Maximum）視野為 10° ，半峰全寬（FWHM, Full Width at Half Maximum）視野為 20° 。香港大學教授曾於 2008 年起，使用 SQM 儀器進行耗時 15 個月進行香港夜空光害的監測，動用 171 名志願實驗者，於 199 不同的觀測點，蒐集 1,957 的夜空亮度數據（Pun & So, 2012）。

表 4 各研究方法的特性比較表

作者	篇名	研究方法
Bortle, John E	The Bortle Dark-Sky Scale. Sky & Telescope. Sky Publishing Corporation. February 2001	波特爾暗空分類法
Merle Walker	Estimating the Level of Sky Glow Due to Cities	數學模型預估法
Cinzano et al	The first World Atlas of the artificial night sky brightness	衛星遙測法

李奇峰	城區環境照明研究—上海市區調查及評價	輝度計測量法
Chun Shing Jason Pun Chu Wing So	Night-sky brightness monitoring in Hong Kong A city-wide light pollution assessment	SQM 夜空亮度計 測量法

陸、研究設計、研究架構及分析方法

由於本研究為首次於台灣地區進行大規模的區性尺度夜空亮度調查，考量到調查範圍、調查完整性、與相關因子盤查的困難度、並解掌握目前臺中市天空輝光現況，本研究的架構與層級如下：(1) 蒐集文獻 (2) 確立天空輝光（夜空亮度）調查方法 (3) 進行試調查 (4) 進行臺中市全面調查 (5) 夜空亮度結果分析 (6) 以都市構成因子「立面輝度」、「人口密度」及「土地使用分區」與代表性測點之夜空亮度進行相關性分析。

一、調查範圍界定與方法

本研究以原臺中市做為研究範圍，使用 SQM-L 夜間亮度計進行研究範圍以原臺中市行政區域中區、東區、西區、南區、北區、南屯區、北屯區與西屯區八個行政區為主。



圖 7 臺中市行政區域圖

(圖 7)量測臺中市主要道路、地標，

蒐集夜空亮度數據，掌握目前天空輝光現況，做為後續都市光害研究參考依據。

1. 天空輝光之調查方法

A. 儀器與紀錄

考慮到測量的便利性與準確性，本研究採用「夜空亮度計 Sky Quality Meter (SQM)」做為測量天空亮度 NSB 的儀器，其單位為「等每平方角秒 ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$, magnitude per arcsecond square)」，讀數越小，代表光害程度越大(表 5)。

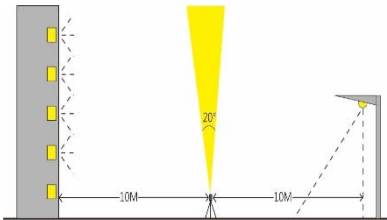
表 5 測量工具使用表

名稱	SQM(Sky Quality Meter) 夜空亮度計	相機及腳架	智慧型手機
圖示			
使用說明	測量天空輝度 (NSB)，評估天空輝光之情形。	拍照記錄各區實地現況。	用於拍照及 GPS 記錄方位判斷所在地的經緯度。

B. 調查基本條件設定

由於夜空亮度主要會受到「天文矇影」、「雲量」與「月相」的影響，故需審慎選擇測量時段。至於測量位置也有條件限制，一般而言，具有廣泛視野的室外測點是較合宜的測點，然而都市中的置高點因安全性與隱私性問題，不易取得，因此在平地測量時，測量時應避開街燈或其他人工光源的直接照射，也應避免感應器被建築物或樹的陰影所屏蔽(表 6):

表 6 測量模式設定說明

調查基本條件設定	條件	說明	圖示
	地點	測點應對光源至少保持 10m 以上的距離。	
	時段	避開天文矇影，時間選在 20:30 ~22:30。	
	天氣	選擇晴天，天空少雲且雲量變化輕微。	
	月相	無月光干擾，避開滿月。	

2. 實測測點選擇

若要瞭解一地區內的光害分布情形，測點以等距離網格佈點，且同時進行量測最為理想。然而網格佈點常會受限於該點為建築物或障礙物而無法順利測量，故本研究考慮測量移動之便利性，改以「都市路網」的概念，以貫穿原臺中市的 17 條主要道路為測量路線，每 1 km 測量一次，藉由「道路測點」獲得臺中市的網狀測量數據；此外，本研究也選擇都市中具代表性的地標或區域進行天空亮度的測量，以補充道路測點的不足，故最後選定 6 個主要的「標的測點」，分別為臺中都會公園、臺中工業區、七期市政商圈、一中商圈、逢甲商圈、SOGO 商圈。

表 7 「道路測點」及「標的測點」表

測點類型	測點位置	測點說明
道路測點	臺中市 17 條主要道路，包括：台灣大道、文心路、進化路、建成路、五權路、五權南路、國光路、復興路、崇德路、大雅路、中清路、北屯路、河南路、黎明路、西屯路、福星路、南屯路、公益路	每條主要道路每間隔 1km 記錄一次，共 134 個測點
標的測點	臺中市 6 個主要地標，包括：臺中都會公園、臺中工業區、七期市政商圈、一中商圈、逢甲商圈、SOGO 商圈	於地標範圍中心測量

3. 臺中市光害地圖繪製

將每個測點的資訊轉換為 XYZ 三維座標，而後利用 Surfer 軟體將資料網格化 (Gridding) 並轉為網格數值檔。第三步繪製等高線圖 (Contour) 並選擇呈現方式，再結合 Google Earth 進行衛星影像疊圖，依上述步驟可得臺中市之光害 (夜空亮度分布) 地圖(圖 8)。

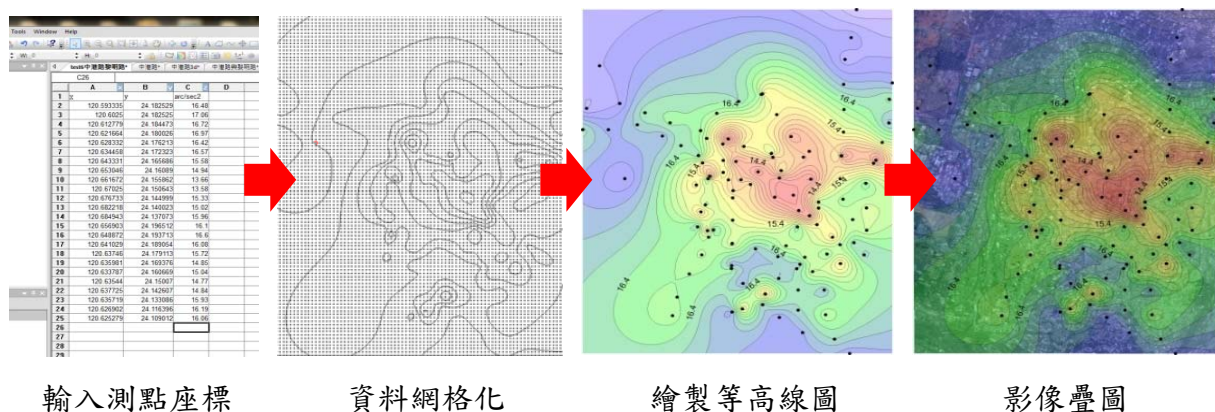


圖 8 繪製臺中市光害地圖處理流程

4. 都市光害構成因子與夜空亮度之解析

雖然天空輝光的成因與都市中的溢散光有最為直接的關係，但是溢散光來自於道路路燈、建築立面投光、廣告招牌，或可簡化為都市規劃或建築設計所能掌握的基本因子，若能找出這些都市構成因子與夜空亮度之相關性，就可在設計階段進行天空輝光的預測，或做為光害改善之對策。故本研究預計解析之都市光害構成因子包括「人口密度」、「路面照度」及「沿街建築立面輝度」，並將其與代表性測點之夜空亮度進行相關性分析。

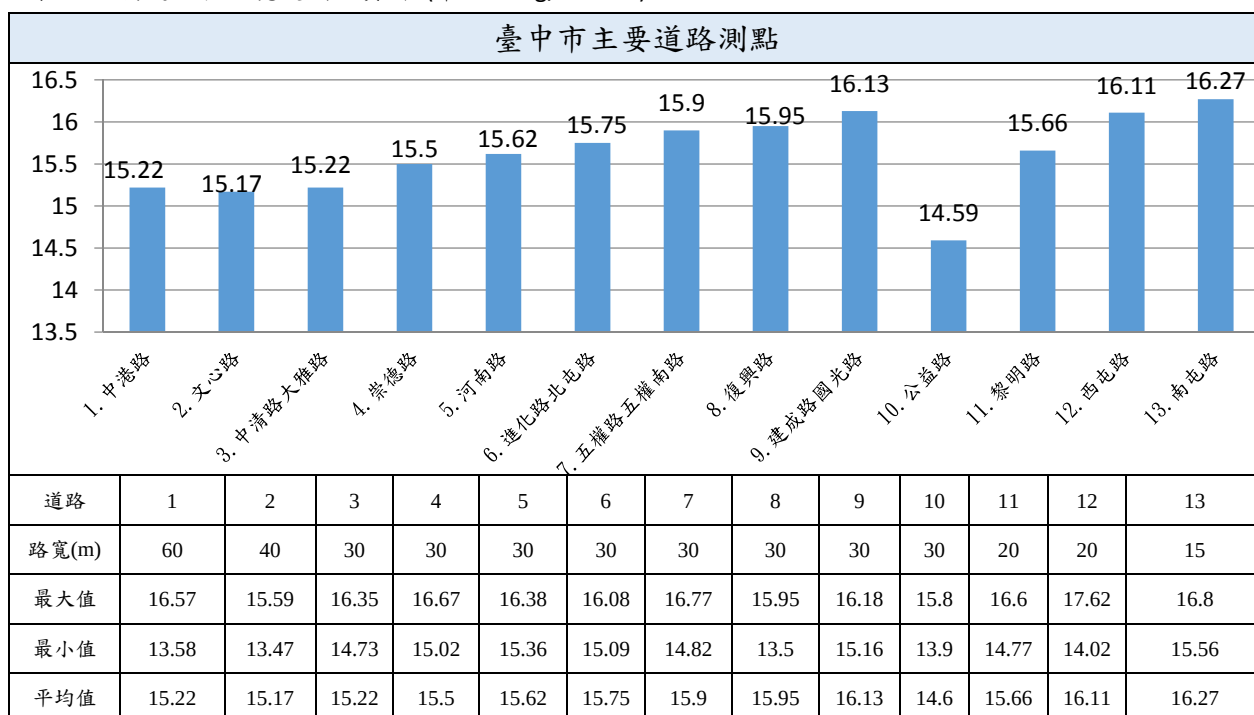
柒、分析結果及研究發現

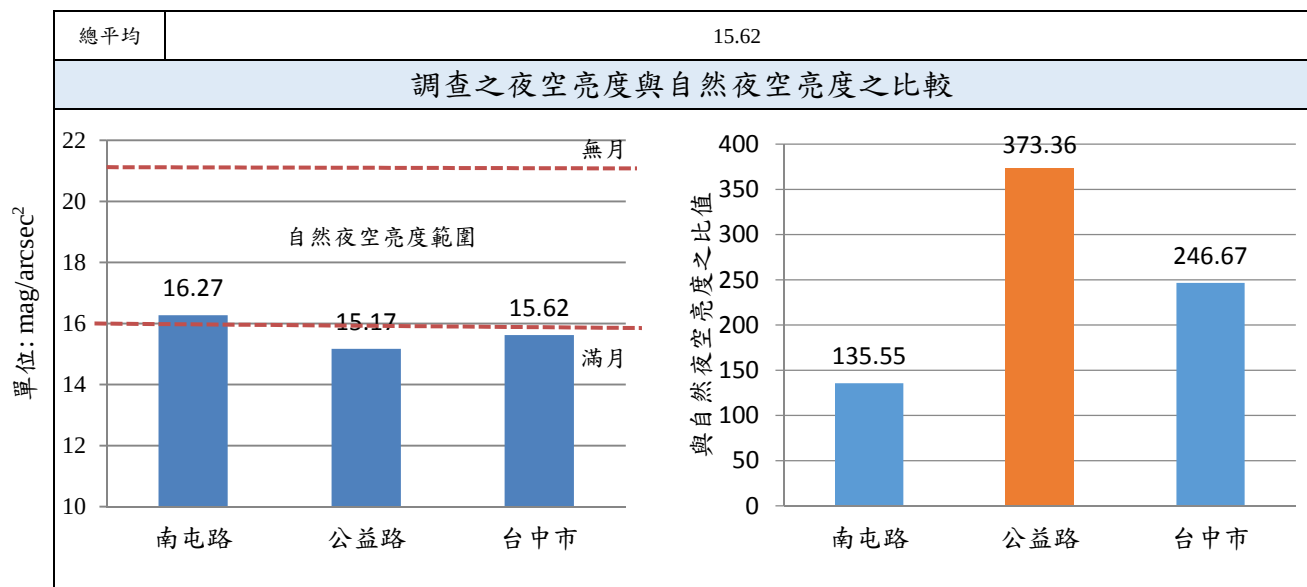
1. 夜空亮度之調查結果

(1) 「主要道路測點」之調查結果

整合所有臺中市 17 條主要道路測點之調查結果（表 8），平均最暗之道路為南屯路，夜空亮度 $16.27 \text{ mag/arcsec}^2$ 。平均最亮之道路為公益路，夜空亮度 $14.59 \text{ mag/arcsec}^2$ 。所有道路所測得之平均夜空亮度為 $15.62 \text{ mag/arcsec}^2$ ，由於本研究測量範圍已遍佈原臺中市範圍，故可將此數據視為臺中市平均夜空亮度，為自然夜空亮度 246.67 倍。

表 8 主要道路夜空亮度測點資料 (單位: mag/arcsec^2)

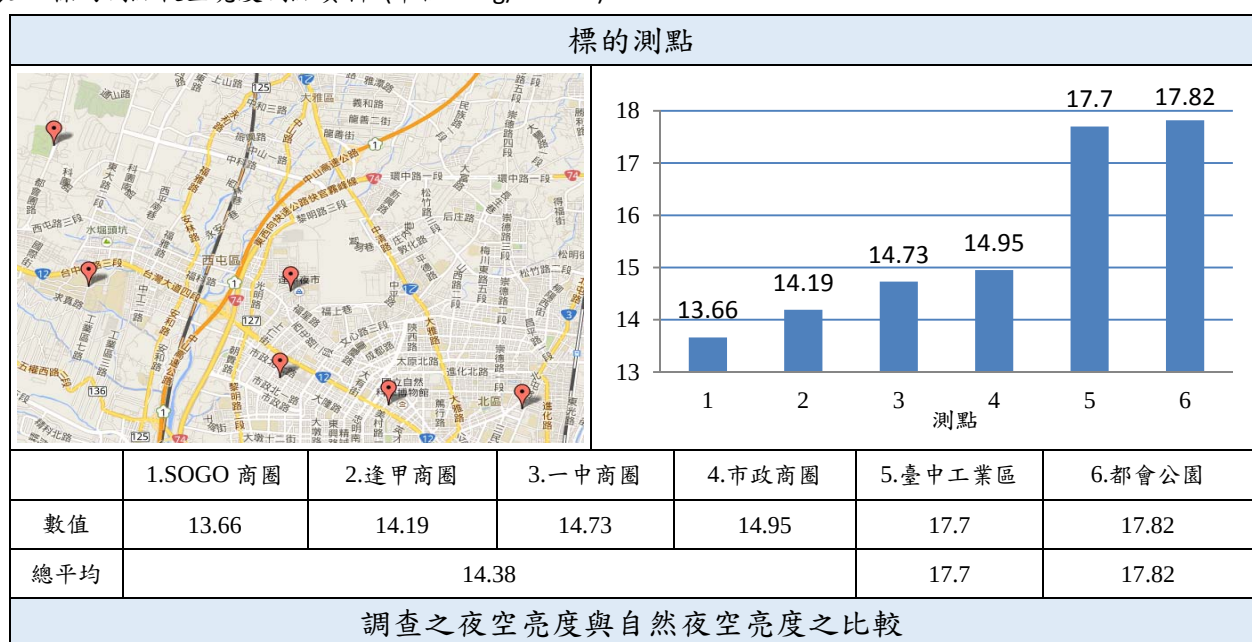


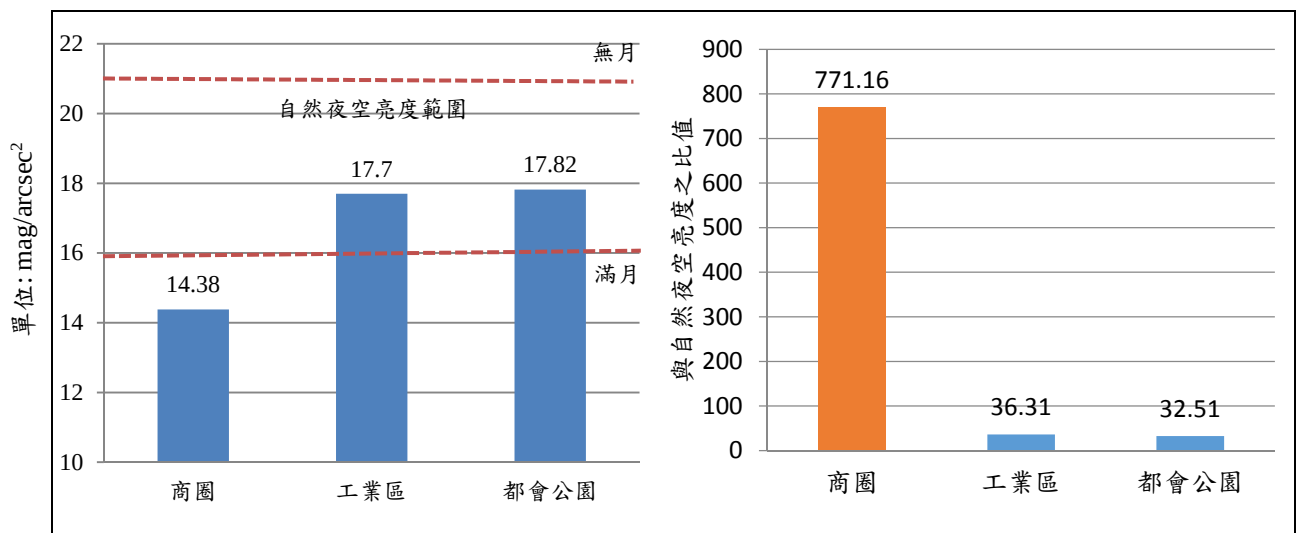


(2)「標的測點」之調查結果

本研究另外以臺中市主要地標為調查對象(表 9)，調查結果發現商圈(逢甲商圈、一中商圈、SOGO 商圈、市政商圈)光害影響最為嚴重，其平均夜空亮度高達 14.38 mag/arcsec²，進一步分析其他分區，臺中市工業區平均夜空亮度為 17.7 mag/arcsec²，都會公園平均夜空亮度為 17.82 mag/arcsec²，反觀都會公園、臺中工業區則因夜間人類活動較少，故光害影響較為輕微。商圈平均夜空亮度為自然夜空亮度的 771.16 倍，臺中市工業區、都會公園為自然夜空亮度的 30 倍可推估人類活動確實對夜空亮度造成影響。

表 9 標的測點夜空亮度測點資料 (單位: mag/arcsec²)





2. 臺中市光害（夜空亮度）地圖繪製與分析

透過上述步驟，將本研究實測得 133 個數據逐筆輸入 Sufer 軟體後，得知臺中市之光害地圖（圖 9），顏色越亮、越接近紅色表示天空受到的光害程度越高。臺中市之夜空亮度呈現以環中路及鐵路為劃分之現象。

（1）「道路測點」夜空亮度分布之分析

進一步對照本研究實測所得之各道路路寬及夜空亮度數據之結果後，由圖可知中港路、文心路、中清路、大雅路、公益路光害程度最為嚴重，黎明路、河南路、崇德路、進化路、北屯路、五權路、西屯路則有部分路段有嚴重程度的光害，復興路、文心南路、建成路、國光路、文心南路光害程度較輕微，顯示雖路寬可反映車流、人潮、商業活動，但如圖 13 表示光害嚴重程度以該路段經過的多寡做判定。

（2）「標的測點」夜空亮度分布之分析

綜觀「臺中市光害地圖」，可知環中路西側靠近工業區之夜空亮度介於 $17\sim18 \text{ mag/arcsec}^2$ 之間，其東側靠近市區之夜空亮度介於為 $13\sim15 \text{ mag/arcsec}^2$ 之間，推測由於環中路以東範圍內商業活動頻繁、人口居住密度較高，顯示人類活動確會對夜空亮度造成影響。

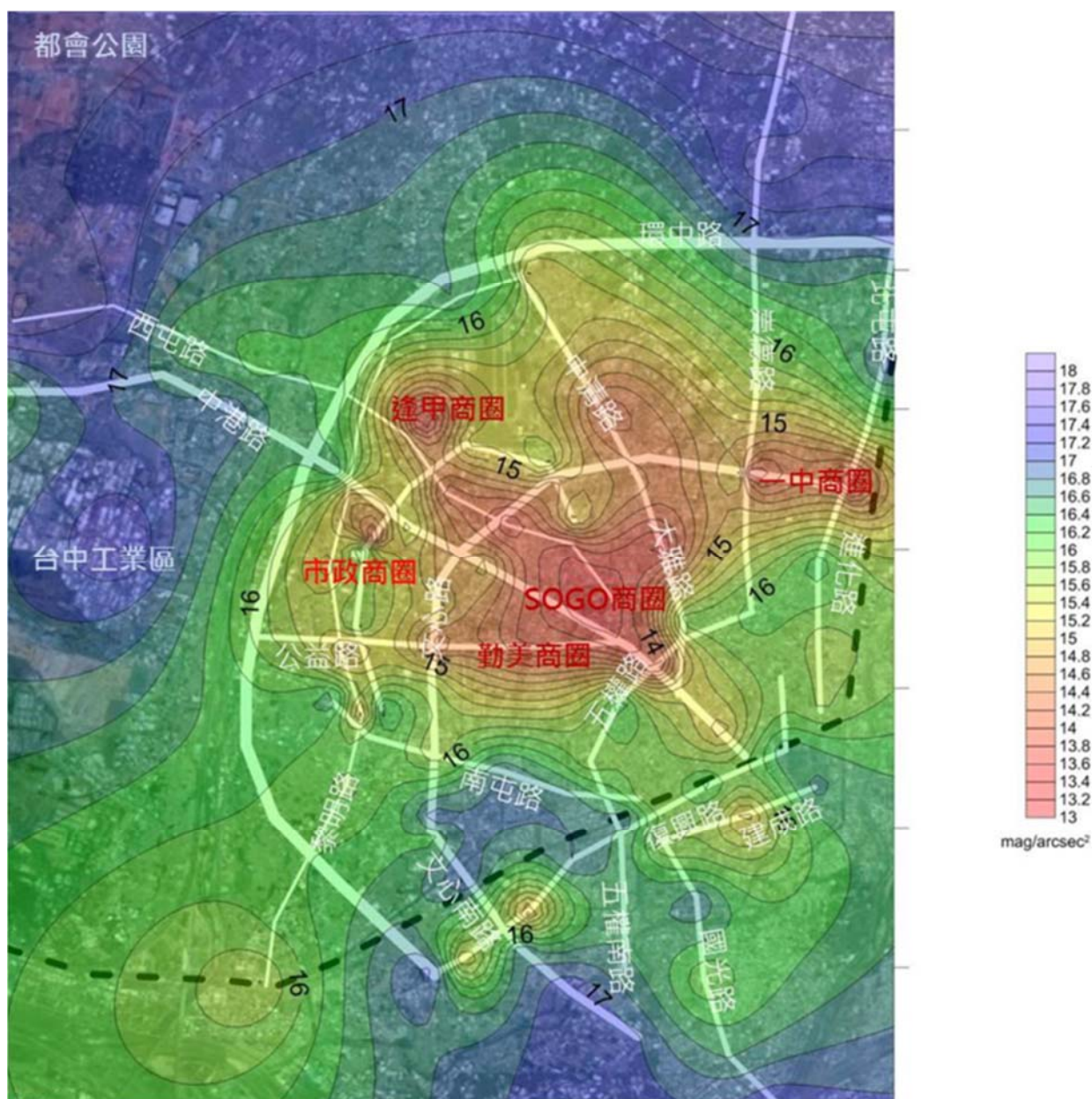


圖 9 臺中市光害地圖

3. 都市構成因子與夜空亮度之關係

前階段所得之光害地圖雖能有助於得知都市或某地區的整體夜空亮度情形，然而僅能呈現光害現象的「結果」，卻無法具體光害現象之「成因」。本研究主要在於解析都市光害構成因子與夜空亮度之關係，為相對於其他研究不同之處。由於本研究之實測點分布於各區域，測點周圍的環境狀況將有助於解析。

(1) 臺中市道路沿街立面輝度與夜空亮度之分析

由於街道尺度大，以單點測量方式無法有效獲得大量數據，因此本研究採用「數位影像色彩分析儀 (Digital Imaging Colorimeter)」，量測流程是由數位單眼拍攝待測照明場景之照片，再以量測程式將此 raw 檔做轉換，經由軟體計算可獲得此場景的 XYZ 分布與各種導出量 (表 10)。

實地拍照測量時為了反應真實的立面輝度，應避開街燈、車、樹等其他會影響拍攝建築立面的任何障礙物，也應避免相機在拍攝時搖晃照片成像模糊，拍攝距離沒有一定限制，鏡頭角度約 120° 的拍攝範圍，應找較合宜的拍攝點(圖 10)。

表 10 測量工具使用表

名稱	Labview 8.6 軟體	數位影像色彩分析儀
圖示		
使用說明	本數位影像色彩分析儀，係利用 Labview 8.6 撰寫軟體，將 raw 檔校正為亮度色度分布。	數位單眼相機搭配廣角鏡頭，經各種校正程序，以使用於輝度色度分布量測。
名稱	Minolta T-10 照度計	Minolta LS-100 輝度計
圖示		
使用說明	測量路面照度。搭配輝度計使用可求得材質反射率 ρ	測量建築立面、廣告招牌之實際輝度。

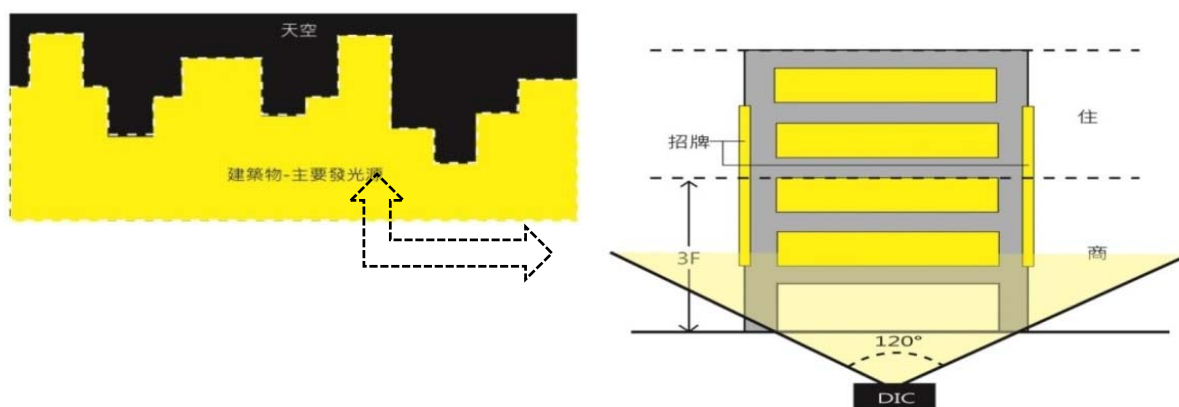


圖 10 拍攝角度與建築距離之關係

A. 「道路測點」立面輝度之調查結果

立面輝度、夜空亮度與路面照度比較之中台灣大道、文心路、中清路-大雅路、崇德路與河南路、進化路-北屯路、五權路、五權五路、復興路、建成路-國光路、公益路比較之中，發現立面輝度、路面照度數值呈現向下的趨勢，而夜空亮度也呈現越來越暗，可證明隨著道路路寬變窄，立面輝度逐漸變小，可推估道路路寬反映建築物單一用途樓高、建蔽率、容積率不同確實會對立面輝度造成影響(表 11、圖 11)。

表 11 「道路測點」立面輝度測點資料

道路測點基本資料													
測點計算													
道路	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
cd/m ²	29.10	29.34	7.95	6.89	5.98	4.87	5.06	4.75	7.21	12.37	8.9	6.58	3.83
arc/sec ²	15.22	15.17	15.32	15.5	15.62	15.75	15.9	15.6	16.13	14.6	15.66	16.1	16.3
Lux	28.16	29.34	27.95	18.6	15.98	14.87	14.1	10.78	8.4	3.63	8.9	6.58	3.83

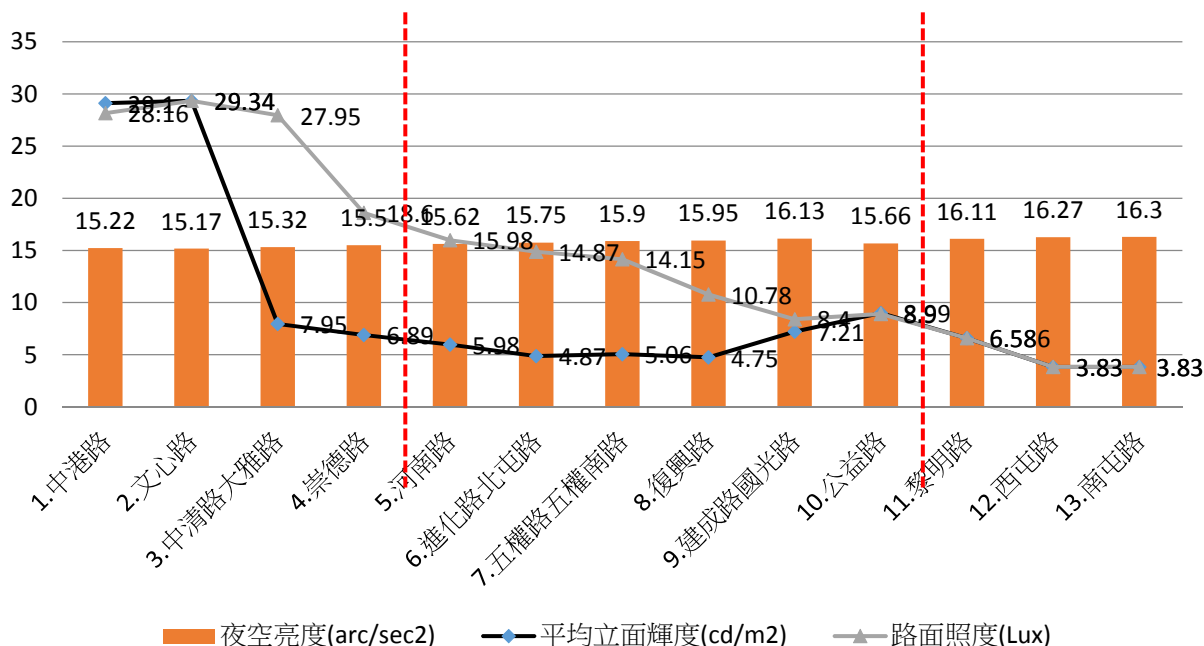
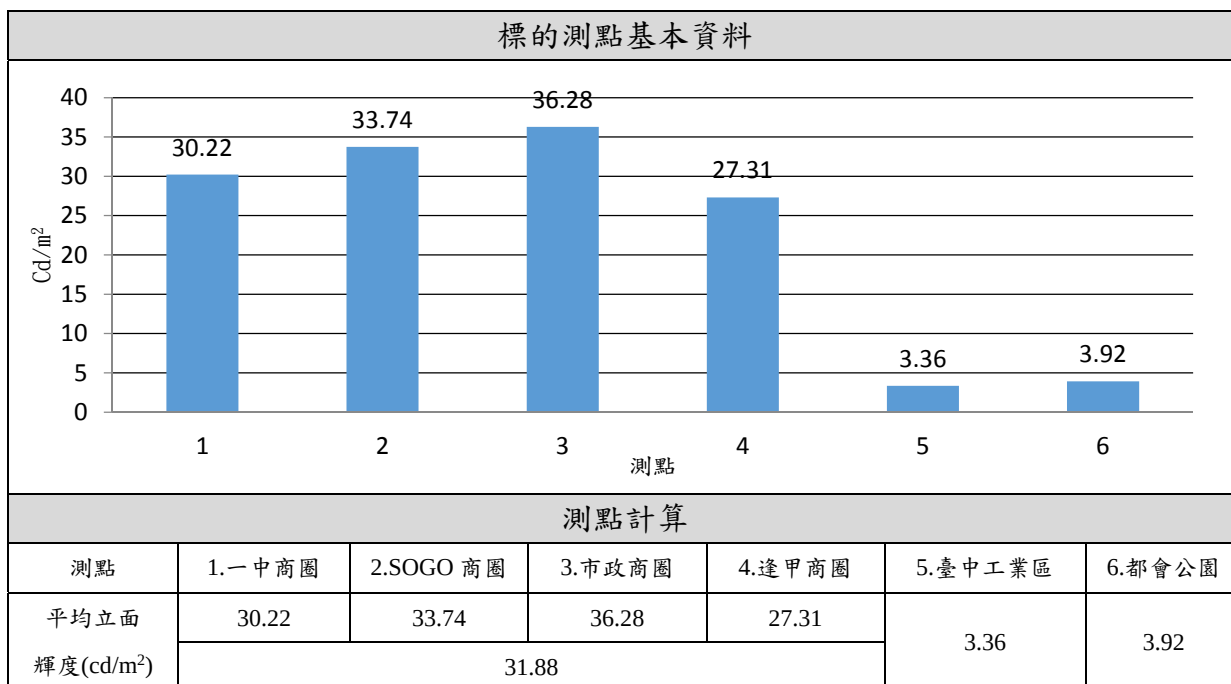


圖 11 主要道路測點立面輝度與夜空亮度、路面照度比較

B. 「標的測點」之立面輝度調查結果

由表 12、圖 12 之調查結果發現，商圈立面輝度與路面照度較高、夜空亮度較亮，主要因為商圈各種大型廣告看板、LED 廣告招牌、電視牆等照明設備造成過多的光線為主要立面輝度的成因。反觀都會公園照明設備主要以交通照明設備為主，臺中工業區建築物多為廠房商業照明設備較少，故立面輝度相對低，可推估商業行為確實對立面輝度造成影響。

表 12 「標的測點」立面輝度調查資料



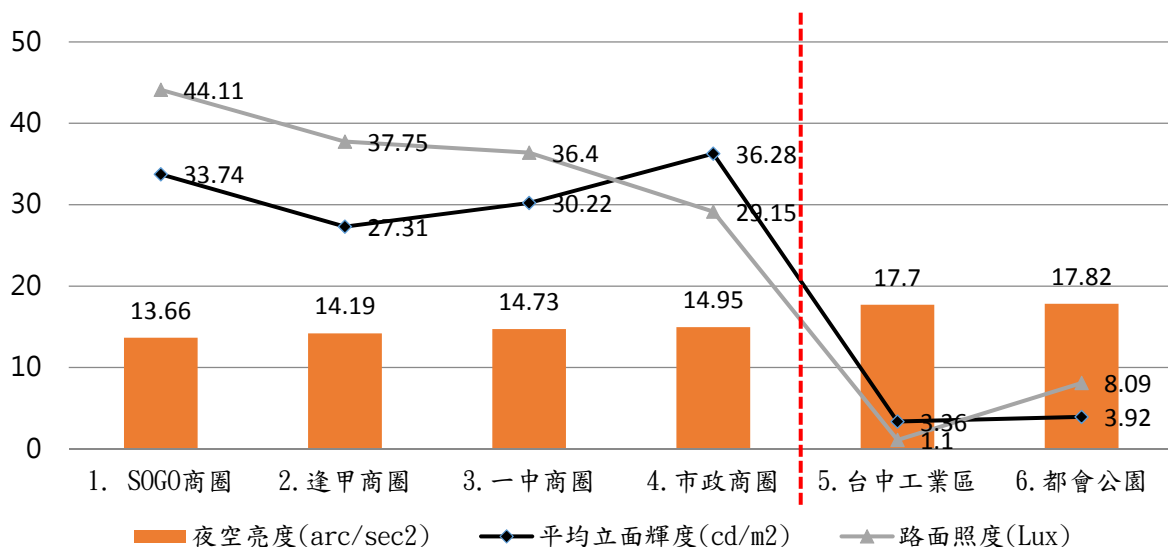


圖 12 標的立面輝度與夜空亮度、路面照度比較

2. 臺中市人口密度與夜空亮度之分析

臺中市的平均人口密度為 1,224 人/km² 為台灣第三大都會區，本研究根據臺中市各里平均戶籍人口密度資料，以實地測量之測點數據繪製光害地圖，進行與臺中市各里之平均戶籍人口密度台灣省政府主計處，2014)圖套疊分析。圖中臺中市之人口密度，圖形越大、越接近紅色表示人口密度越高。其中操作流程如下(圖 13)：

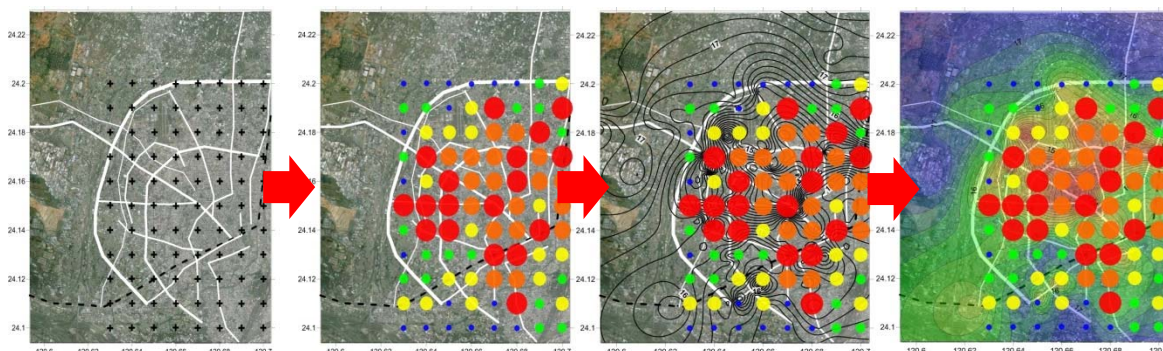


圖 13 人口密度圖套疊流程

研究結果顯示，人口密度在 13000~16000 人/km² 時，平均夜空亮度最亮為 14.89 mag/arcsec²，人口密度在 4000~7000 人/km² 時，平均夜空亮度為 16.35mag/arcsec²，夜空亮度最暗。

進一步推測，人口密度介於 13000~16000 人/km² 時，表示此區域建築物密集為商業集中區、高密度住宅區、人類活動頻繁伴隨商業用照明設備如：大型廣告招牌等，導致夜空亮度變亮；人口密度介於 1000~4000 人/km² 時，相對建築物散落鄰近農業區、低密度住宅區、發光源鮮少，夜空亮度變暗。

夜空亮度與路面照度、立面輝度數值比對吻合，可推估商業行為確實對立面輝度、造成影響。

表 13 平均人口密度與夜空亮度、路面照度、立面輝度分析對照表

平均人口密度	夜空亮度(arc/sec ²)	路面照度(Lux)	立面輝度(cd/m ²)
1000~4000 人/km ²	16.26	8.45	3.16
4000~7000 人/km ²	16.35	6.64	9.01
7000~10000 人/km ²	16.08	9.52	6.14
10000~13000 人/km ²	14.93	24.4	8.82
13000~16000 人/km ²	14.89	24.46	20.54

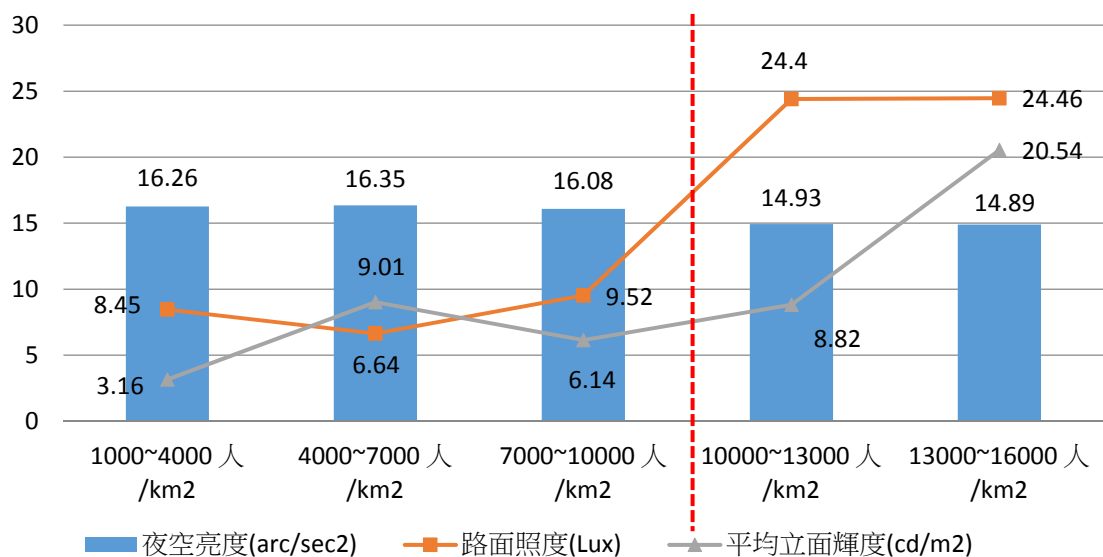


圖 14 立面輝度與夜空亮度、路面照度比較

3. 土地使用分區與夜空亮度之分析

原臺中市土地使用以舊市區商業區及重劃地區為發展核心，住宅區分佈於其市中心及其它外圍地區，工業區則分布於環中路西側一帶，公共設施用地多靠近重劃區發展，其餘地區則為一集農業用地與水域、空地或不能發展之地區，希望能先對該區的土地使用狀況能有初步的瞭解，以利後續解析。

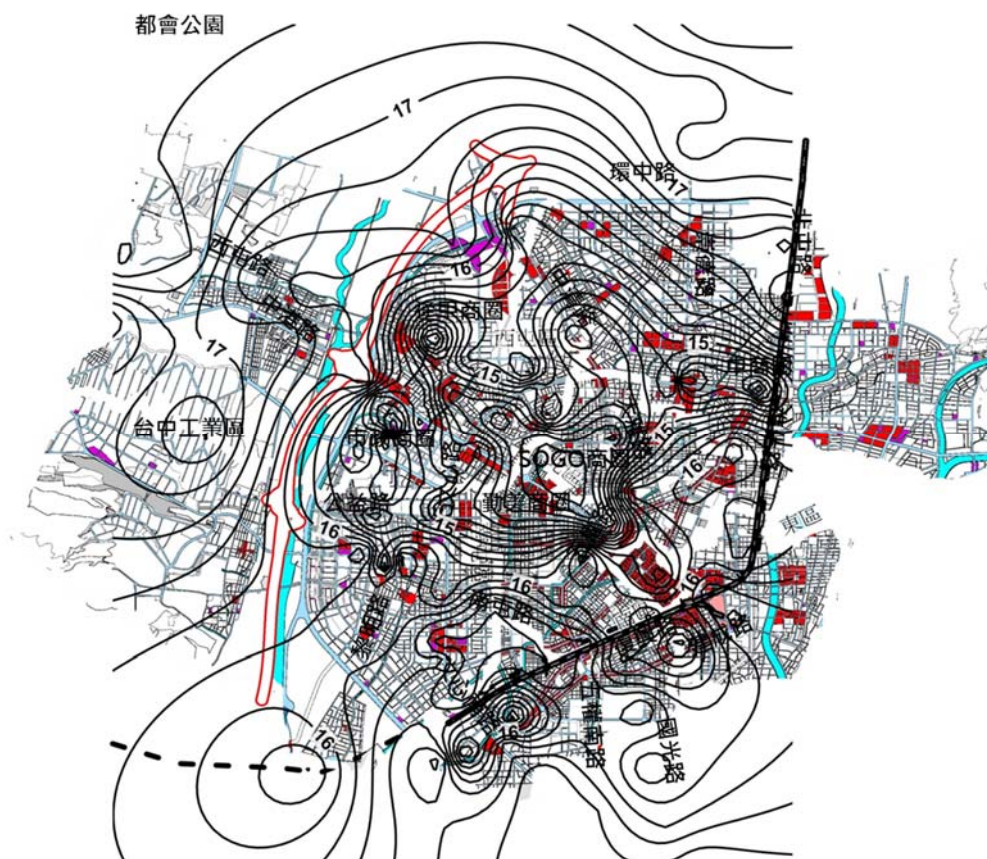


圖 15 商業區與光害地圖之套疊

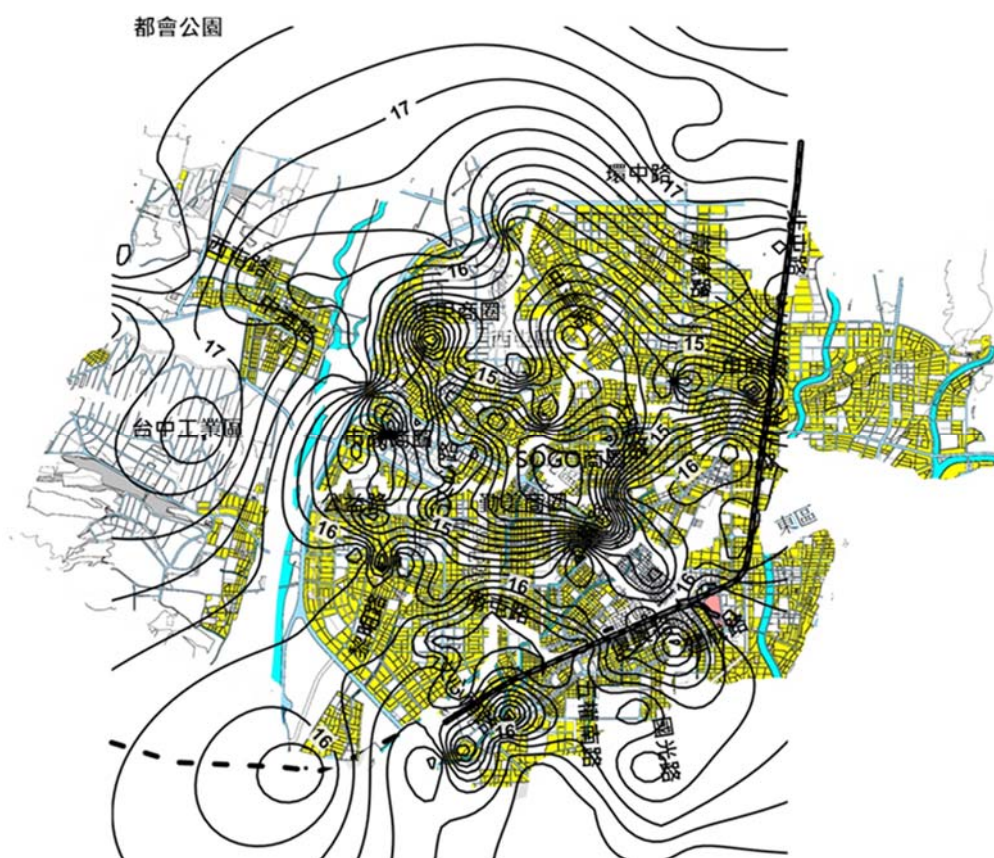


圖 16 住宅區與光害地圖之套疊

如表 14 所示，臺中市商業區平均夜空亮度最亮為 $15.08 \text{ mag/arcsec}^2$ ，與自然夜空亮度相差 405.3 倍，綠地、農業區平均夜空亮度最暗為 $16.73 \text{ mag/arcsec}^2$ ，與自然夜空亮度相差 89.56 倍，與都市規劃使用類別、使用性質相吻合。商業區為多種具有商業功能的建築設施密集之地，其商業用照明設備相對其他使用分區多，夜空亮度相對最亮；工業區夜間除必要的戶外照明設備其夜空亮度暗，綠地、農業區無任何立面照明是夜空亮度中最暗的。

從各使用分區(圖 17)的夜空亮度、路面照度、立面輝度進行比較，可知商業區其數值均為最大值，相較工業區、綠地、農業區數值，夜空亮度與路面照度、立面輝度數值比對吻合，可推估商業行為確實對立面輝度造成影響。

表 14 使用分區與夜空亮度、路面照度、立面輝度比較表

道路/標的	夜空亮度(arc/sec ²)	路面照度(Lux)	立面輝度(cd/m ²)
商業區	15.08	23.69	16.16
學校、政府機關區	15.88	14.51	10.50
住宅區	15.72	12.72	8.47
工業區	16.76	8.25	5.17
綠地、農業區	16.73	6.97	8.02

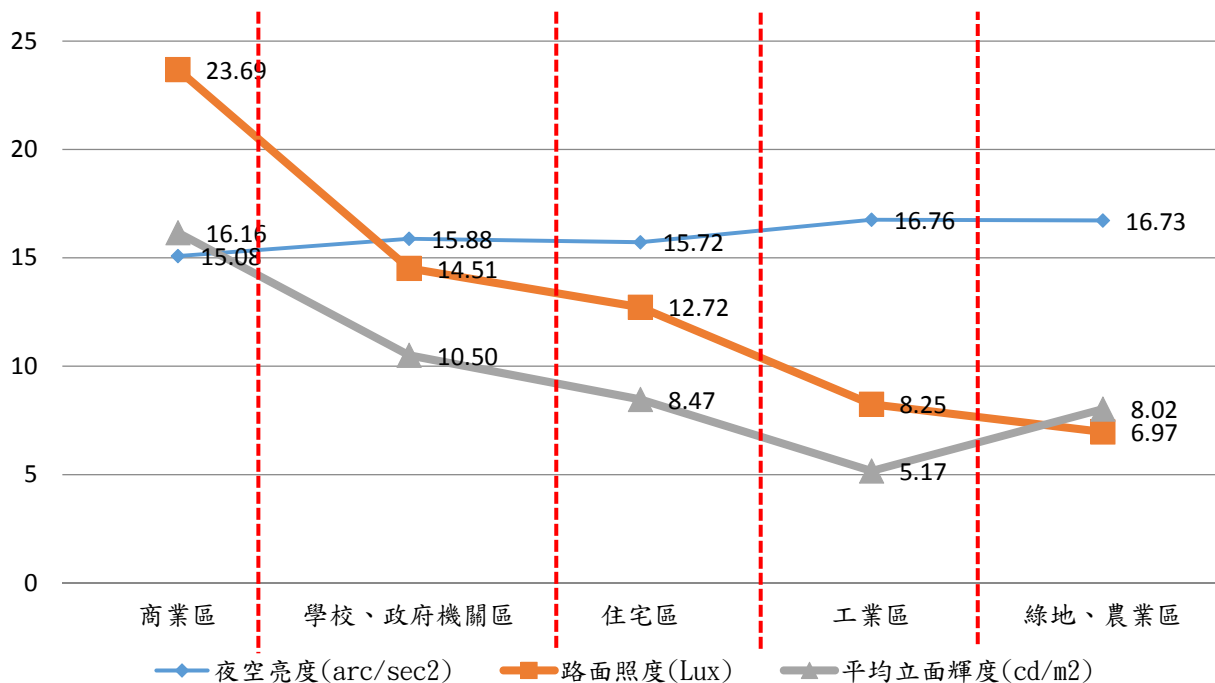


圖 17 立面輝度與夜空亮度、路面照度比較

捌、結論及政策建議

一、 結論

1. 臺中市平均夜空亮度 $15.62 \text{ mag/arcsec}^2$ 為自然夜空亮度之 246.67 倍

臺中市光害呈環狀分布，中港路、文心路、中清路、大雅路光害程度較為嚴重，顯示路寬可反映車流量大，人潮聚集，商業活動興盛，環中路以外光害程度較小。臺中市平均夜空亮度為 $15.62 \text{ mag/arcsec}^2$ ，其亮度差異為 246.67 倍，顯示臺中市光害嚴重。

2. 根據光害地圖顯示人類活動確實會對夜空亮度產生影響

根據臺中市光害地圖之現象，可知商圈(逢甲、一中、SOGO、市政商圈)光害影響最為嚴重，其平均夜空亮度高達 $14.38 \text{ mag/arcsec}^2$ ，環中路西側靠近工業區之夜空亮度介於 $17\sim 18 \text{ mag/arcsec}^2$ 之間，其東側靠近市區之夜空亮度介於為 $13\sim 15 \text{ mag/arcsec}^2$ ，推測由於環中路以東範圍內人口居住密度較高，顯示人類活動確會對夜空亮度造成影響。

3. 調查結果顯示立面輝度越大夜空亮度越亮

臺中市平均立面輝度為 10.04 cd/m^2 ，商圈各種大型廣告看板、LED 廣告招牌、電視牆等照明設備造成過多的光線為主要立面輝度的成因。可推估立面輝度數值確實會對夜空亮度造成影響。

4. 人口密度可反映人潮聚集，商業活動興盛對夜空亮度造成影響

由「道路測點」、「標的測點」與人口密度分布圖，可知靠近環中路之人口密度介於 $1000\sim 7000 \text{ 人/m}^2$ 之間，其東側靠近市區之人口密度介於為 $10000\sim 16000 \text{ 人/m}^2$ 之間，推測與臺中市夜空亮度分布之分析結果幾乎吻合，再次證明，人口密度可反映人流量大，人潮聚集，商業活動興盛。

5. 土地使用分區可推估商業行為確實對立面輝度造成影響

商業區平均夜空亮度最亮為 $15.08 \text{ mag/arcsec}^2$ ，與自然業空亮度相差 405.3 倍，可知商業區其數值均為最大值，相較工業區、綠地、農業區數

值，夜空亮度與路面照度、立面輝度數值比對吻合，可推估商業行為確實對立面輝度、造成影響。

二、 政策建議

城市的溢散光來自於各種光源的直接上射光、間接反射光，街道垂直面的溢散光包括道路路燈、建築立面的泛光照明、各式廣告招牌看板、以及其他景觀照明等。因此要降低城市整體的光害（光污染）程度，同時減少不良城市照明的危害、降低城市不必要照明能源的消耗與 CO₂ 排放，本研究從政策面有以下幾點建議：

1. 現有戶外照明不良燈具的汰換

戶外照明的改善，在於防止眩光危害、超量設計與低效率燈具，尤其不良的燈具相對溢散較多不必要的光線，不僅會加劇城市的天空輝光，也往往會造成都市光侵擾（light trespass），影響燈具附近的民眾生活作息。因此建議市政府能進行不良路燈、景觀照明的汰換

2. 制訂無光污染廣告招牌設計標準

廣告招牌是常見的光污染源，傳統的投射式招牌除了常見的投光方向不佳之外，近年來新興的大型 LED 廣告看板大幅增強了沿街立面輝度，更是都市中最主要的眩光、溢散光等光污染源。本研究建議應制訂無光污染廣告招牌設計標準，嚴禁住宅區設置動態閃爍式招牌，並限制廣告開啟時間，

3. 推動綠色照明節能計畫

不當的戶外照明設計，其實也是浪費能源、助長 CO₂ 排放的殺手，因此透過科學的照明設計，採用效率高、壽命長、安全又性能穩定的照明產品，來創造有效率、舒適、安全、經濟、有益的現代照明環境，就是「綠色照明」的理念。建議本市應推動「綠色照明節能計畫」，制訂戶外照明用設計基準，使用低光污染、高效率的照明燈具，並控制夜間景觀照明的使用時間。政府單位也應帶頭示範，制眩光光源的使用，並且控制照明時段，力行綠色照明。

玖、參考文獻

一、中文文獻

1. 臺中市政府民政局，2014，臺中市 103 年 12 月份戶籍人口密度資料
2. 王文伶，2006，都市夜間環境之光害調查-以台北市為例，國立臺北科技大學碩士論文
3. 李奇峰，俞麗華，楊公俠，幸海穩，2005，上海市區環境亮度及建築物泛光照明亮度調查，同濟大學學報(自然科學版)，Vol.33, No.5
4. 林憲德、趙又嬋，2009，都是愛迪生惹的禍：光害，新自然主義出版社
5. 陳仲林，翁季，胡英奎，張青文，黃珂，張晟鵬，劉英嬰，2005，用數碼相機測量亮度分布，照明工程學報，Vol.16, No.3,p 11-14
6. 趙又嬋，2009，住宅區戶外照明光侵擾之研究，國立成功大學建築研究所博論
7. 劉鳴、馬劍、張寶剛，2008，城市夜景照明中的光污染和夜天空保護的研究，城市規劃，No.8,p 70-73
8. 顧冰，詹慶璇，祝志強，2003，利用數碼相機測量亮度分布的實驗研究，照明工程學報，Vol.14, No.1,p 15-23
9. 譚滿清、郝允祥，1994，北京夜間天空亮度的研究，照明工程學報，第 5 卷 1-2 期，p.51-55

二、日文文獻

1. 日本環境庁大気保全局，2002，《地域照明環境計画策定マニュアル》，日本：日本環境庁
2. 魚住拓司，上野朋子，川上幸二，2000，DV カメラによる輝度分布の計測：各種光源下における輝度補正方法の検討，日本照明學會第 33 回全國大會，p240-241

三、英文文獻

1. Cinzano, P., Falchi, F., Elvidge, C.D., Baugh, K.E., (2000). The artificial night sky brightness mapped from DMSP Operational Linescan System measurement. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 318, 641–657.
2. Cinzano, P., Falchi, F., Elvidge, D., (2001) The first World Atlas of the artificial night sky brightness, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 328, pp.689-707
3. Cinzano P. (2005) Night Sky Photometry. with Sky Quality Meter. Internal Report n. 9, v.1.4. Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso (ISTIL)
4. Chalkias, C., Petrakis, M., Lianou, M., Psiloglou, B., Kartalis, K., (2006) Modeling of Light Pollution in Suburban Areas Using Remotely Sensed Imagery and GIS. Journal of Environmental Management, Volume 79, 57-63

5. CIE Proceedings (2003) 25th Session of the CIE instalation, Technical Report. Publication No.150. ,CIE ,Vienna
6. CIE(1997)Guidelines for Minimizing Sky Glow, Technical Report. Publication No.126. ,CIE ,Vienna
7. CIE(2003)Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting
8. Falchi, F.& Cinzano, P. Falchi, F., Cinzano, P., (2000) . Measuring and modeling light pollution, Cinzano P. ed., Mem. Soc. Astron. Ital. 71, 139.
9. Pun, C.S.J., & So, C.W. (2012) Night-sky brightness monitoring in Hong Kong- A city-wide light pollution assessment. Environ Monit Assess, 184: 2537-2557

四、網站

1. GLOBE at night (2013) <http://www.globeatnight.org/analyze.html>
2. Sky Quality Meter - L, <http://unihedron.com/index.php>
3. The International Dark-Sky Association, <http://www.darksky.org/>
4. 中文維基百科, <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%85%89%E5%AE%B3>
5. 臺中市里區地圖查詢系統, <http://gismap.taichung.gov.tw/tcmap/index.cfm>
6. 臺中市都市計畫書、圖及樁位查詢系統, <http://www.e-zone.taichung.gov.tw/taichung/>
7. 香港夜空光度監測網絡, <http://nightsky.physics.hku.hk/>