

# 熱成像視界—— 台灣野生哺乳動物的 體溫表現

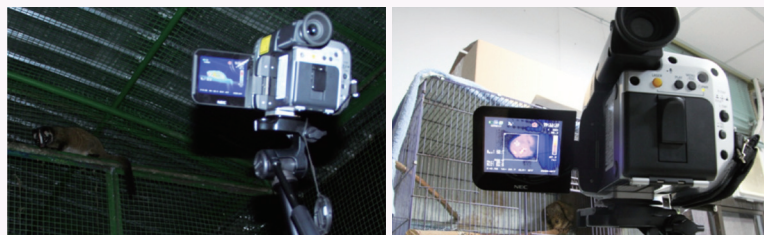
張育誠、周政翰、毛祈鈞、鄭錫奇

人類肉眼或透過相機鏡頭在全黑暗環境中無法看見任何物體，但紅外線熱像儀卻可以。紅外線熱像儀的視界與肉眼或相機鏡頭下的視界有何不同？運用在野生哺乳動物的研究調查上又提供了哪些資訊？

## 熱能傳遞及測溫原理

哺乳動物及鳥類藉由新陳代謝產生熱能來維持恆定的體溫，但我們無法直接量測這些熱能，而是透過測量物體表面的熱能效應，即體溫表現，經過運算來得知。熱能通常由高溫傳至低溫，傳遞方式主要有熱傳導、熱對流和熱輻射三種。其中，熱輻射不需任何介質便可傳遞熱能，而且物體溫度只要大於絕對零度（攝氏  $-273.15$  度）便會放射紅外線輻射。

如何量測物體的溫度呢？大致可區別為兩大類，一類是接觸式量測，主要依據熱傳導及熱對流效應來量測溫度，如熱電偶溫度計和電阻式溫度計；另一類屬非接觸式量測，主要是依據物體熱輻射效應來量測溫度，即紅外線熱像儀。紅外線熱像儀是以熱感型檢知器偵測受



利用紅外線熱像儀進行白鼻心（左）及台灣小鼯鼠（右）測溫的實際作業情形。

把肉眼不可見的紅外線輻射經過影像處理成為可視圖像，  
便能顯現受測物體的表面溫度。

在動物研究上應用紅外線熱像儀的優點，除了不須直接碰觸動物外，在不干擾野生動物作息狀況下就可獲得牠們的體表溫度。

測物體放射的紅外線輻射，並把它轉換成電子訊號，然後經過運算得知溫度的數值，再藉由影像處理後產生以不同顏色標示不同溫度的熱成像。簡單說，是把肉眼不可見的紅外線輻射經過影像處理成為可視圖像，來顯現受測物體的表面溫度。

為求精確獲得溫度資訊，利用紅外線熱像儀量測溫度時，需修正放射率、周邊環境溫溼度、儀器與受測物距離等參數。在修正的參數中，以物體放射率最為重要，它是物質放射輻射能量的能力，介於 1 與 0 之間。以動物毛皮來說，放射率是 0.98，已知的不同材質物體放射率可查閱放射率表。

## 紅外線熱像儀

在動物研究上應用紅外線熱像儀的優點，除了不須直接碰觸動物外，在不干擾野生動物作息狀況下就可獲得牠們的體表溫度。再者，不僅可獲得量測視野範圍內整體的溫度分布，並且可獲得受測物體某特定單點或數點的溫度資料。此外，由於拍攝熱影像只與物體的熱輻射相關，因此可在各種不同的光源條件下，甚至是全黑暗環境中拍攝、錄影並測溫。

為了研究台灣野生哺乳動物各種行為下的體溫表現，行政院農業委員會特有生物研究保育中心（以下簡稱特生中心）於 2011 年添購了一部紅外線熱像儀，它的基

本規格是：波段範圍 8 ~ 14  $\mu\text{m}$  熱感型檢知器；鍍塗料鏡面光學標準鏡頭（視角是 24°）；解析度是 320×240，相當於每個熱影像畫面有 76,800 個溫度數據；敏感度是攝氏 0.05 度，也就是最小可區別的溫差是攝氏 0.05 度；分析軟體是 InfReC Analyzer NS9500 Standard。

本文描述的受測哺乳動物除了台灣葉鼻蝠是野外族群外，其餘種類都是特生中心研究用的圈養個體，以及經由特生中心野生動物急救站傷病救治後，經評估無法野放的救傷個體。

## 紅外線熱成像視界

受測的台灣野生哺乳動物計有 10 種：台灣黑熊、白鼻心、台灣野山羊、台灣山羌、台灣獼猴、台灣小鼯鼠、彩蝠、台灣長耳蝠、黃胸管鼻蝠、台灣葉鼻蝠。

台灣黑熊是台灣特有亞種，體長範圍 120 ~ 150 公分，肩高 60 ~ 70 公分，尾長 20 ~ 30 公分，體重最重約 200 公斤。紅外線熱像儀測量的台灣黑熊是靜坐的雌性成體，測得體表最高溫攝氏 34.4 度位於眼窩處。根據特生中心野生動物急救站健檢資料，此個體在 2015 年 4 月 16 日體檢時，當時量測的體溫（直腸溫）是攝氏 36.7 度，其他圈養的台灣黑熊個體體溫（直腸溫）範圍在攝氏 35.4 ~ 37.5 度之間，明顯比

由於拍攝熱影像與物體的熱輻射相關，因此可在各種不同的光源條件下，甚至是全黑暗環境中拍攝、錄影並測溫。

紅外線熱成像體表最高溫的眼窩處（攝氏 34.4 度）高。

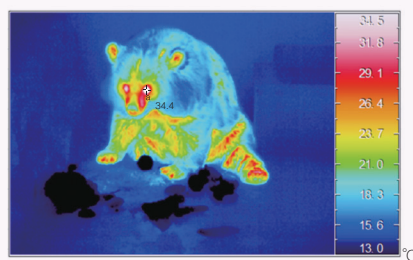
白鼻心是台灣特有亞種，成體體長約 50 公分，尾長約 41 公分，體重在 3.5 ~ 5.0 公斤之間。受測的白鼻心是靜坐休息的個體，性別不明，紅外線熱像儀測得體表最高溫是位於眼窩處的攝氏 31.6 度。根據吳永惠等人 1999 年發表「台灣白鼻心例行性臨床檢查之參考值」以及特生中心野生動物急救站資料，白鼻心的體溫（直腸溫）範圍是攝氏 37.1 ~ 40.7 度，明顯高於紅外線熱成像體表最高溫的眼窩處（攝氏 31.6 度）。

台灣野山羊是台灣最大型的特有種哺乳動物，不論雌雄的頭頂都長有一對洞角，體長 80 ~ 114 公分，尾長約 6.5 公分，體重 25 ~ 35 公斤。受測的台灣野山羊是救傷治癒後收容的雄性個體，牠的左後肢因受傷僅存四分之三殘肢，平時活動時僅能用 3 隻腳支撐身體前進，測量當時正在覓食。

測得體表溫度最高溫是眼窩處的攝氏 36.3 度，並發現臉部耳朵和鼻吻部的溫度（至少達攝氏 33.5 度以上）也較高，比較特別的是表面是死組織的洞角溫度也頗高（約攝氏 33.5 度上下）。根據余珍芳 2012 年「協助運送大陸劉公島公園之長鬃山羊生產協助與幼獸看護」報告資料，初生的台灣野山羊仔羊體溫（直腸溫）是攝氏 38.8 度，明顯高於紅外線熱成像體表最高溫眼窩處（攝氏 36.3 度）。

台灣山羌是台灣特有亞種，是台灣最小型的野生鹿科動物，雄性有一對鹿角，雌性則無，體長 40 ~ 70 公分，尾長 5 ~ 10 公分，體重 8 ~ 12 公斤。受測個體有 3 隻，分別是雌性成體、雄性成體和雌性亞成體。

台灣山羌生性緊張敏感，受測當時 3 隻個體都呈活動警戒狀態。從紅外線熱成像顯示體表溫度最高溫都在臉部的眼窩處，

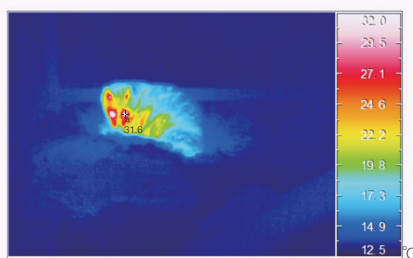


紅外線熱成像



可見光影像

台灣黑熊紅外線熱成像（左）及可見光影像（右），體表最高溫度是攝氏 34.4 度（點 a）。紅外線熱像儀與受測動物距離約 2 公尺，環境溫度是攝氏 18.1 度，溼度 76%，放射率修正為 0.98。

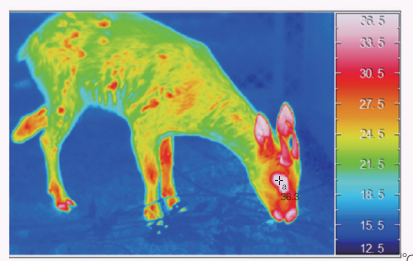


紅外線熱成像



可見光影像

白鼻心紅外線熱成像（左）及可見光影像（右），體表最高溫度是攝氏 31.6 度（點 a）位於眼窩處。紅外線熱像儀與受測動物距離約 1 公尺，環境溫度是攝氏 18.2 度，溼度 71%，放射率修正為 0.98。



紅外線熱成像



可見光影像

台灣野山羊紅外線熱成像（左）及可見光影像（右），體表最高溫度是攝氏 36.3 度（點 a）。紅外線熱像儀與受測動物距離約 1 公尺，環境溫度是攝氏 21.0 度，溼度 63%，放射率修正為 0.98。



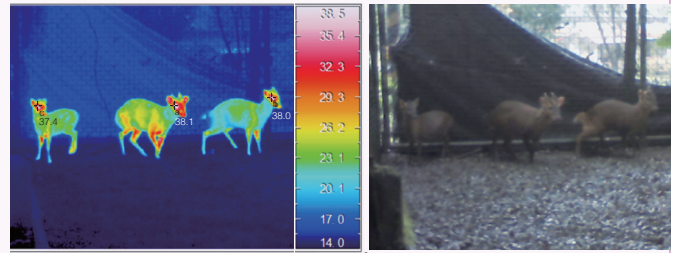


台灣獼猴直腸溫度測量工作情形，以多功能生理監測儀搭配溫度探頭進行直腸溫度測量。

但三者略有溫差，其中雄性成體體溫攝氏 38.1 度最高，雌性成體體溫攝氏 38.0 度次之，雌性亞成體攝氏 37.4 度較低。根據特生中心野生動物急救站資料，雄性山羌的體溫（直腸溫）是攝氏 38.2 度，與紅外線熱成像體表最高溫眼窩處（攝氏 38.1 度）相近。

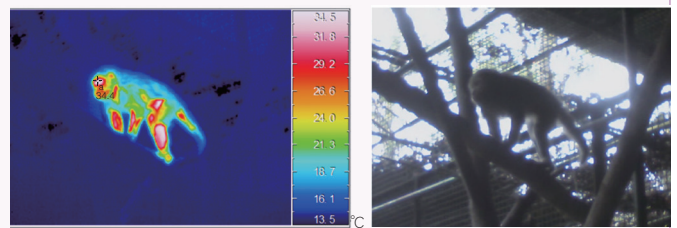
台灣獼猴是台灣特有亞種，體長 36 ~ 45 公分，尾長 26 ~ 46 公分，體重 5 ~ 12 公斤。受測的台灣獼猴是正在樹上攀爬的個體，性別不明。從紅外線熱成像中可知體表最高溫攝氏 34.4 度位於眼窩處。根據吳永惠 1997 年發表「台灣獼猴與食蟹獼猴臨床資料之比較」以及特生中心野生動物急救站資料，台灣獼猴體溫（直腸溫）範圍是攝氏 37.2 ~ 40.3 度，明顯高於紅外線熱成像體表最高溫眼窩處（攝氏 34.4 度）。

台灣小鼯鼠是台灣特有亞種，是台灣最小型的鼯鼠（俗稱飛鼠），體長 17 ~ 20 公分，尾長約 17 公分，體重約 200 克。受測的台灣小鼯鼠是正在樹枝上休息的雄性個體，從紅外線熱成像中可知體表最高溫位於眼窩處的攝氏 35.7 度，目前尚未有直腸溫度資料可供比較。



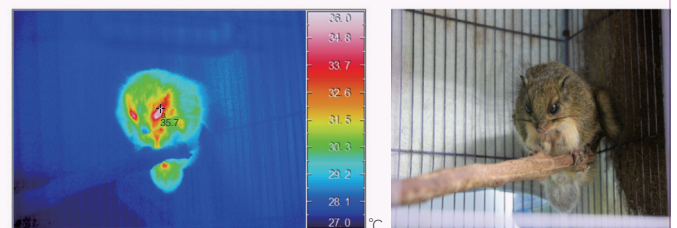
紅外線熱成像 可見光影像

山羌紅外線熱成像（左）及可見光影像（右），3 個個體的體表溫度由高至低分別是雄性成體最高攝氏 38.1 度（點 a），雌性成體攝氏 38.0 度（點 b）次之、雌性亞成體攝氏 37.4 度（點 c）最低。紅外線熱像儀與受測動物距離約 3 公尺，環境溫度是攝氏 16.6 度，溼度 87%，放射率修正為 0.98。



紅外線熱成像 可見光影像

台灣獼猴紅外線熱成像（左）及可見光影像（右），體表最高溫度是攝氏 34.4 度（點 a）。紅外線熱像儀與受測動物距離約 1 公尺，環境溫度是攝氏 18.3 度，溼度 77%，放射率修正為 0.98。



紅外線熱成像 可見光影像

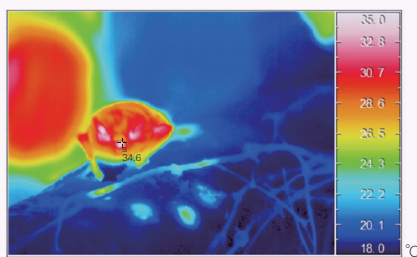
台灣小鼯鼠紅外線熱成像（左）及可見光影像（右），體表最高溫度是攝氏 35.7 度（點 a）。紅外線熱像儀與受測動物距離約 1 公尺，環境溫度是攝氏 27.2 度，溼度 62%，放射率修正為 0.98。

黃胸管鼻蝠是一種中型蝙蝠，是台灣特有亞種，前臂長 3.7 ~ 4.2 公分，體長 4.7 ~ 4.9 公分，尾長 4.1 ~ 4.5 公分，體重 6.2 ~ 11.3 克。受測的黃胸管鼻蝠雖然是在樹枝上休息的個體（性別不明），但從紅外線熱成像中可得知牠全身體表的溫度都很高（紅色區域顯示約攝氏 30.7 度上下），其中以鼻吻部的溫度攝氏 34.6 度最高。目前沒有直腸溫度資料可供比較。

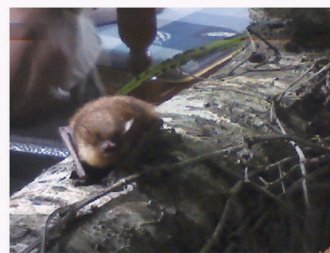
台灣長耳蝠是一種小型蝙蝠，是台灣特有亞種，前臂長 3.7 ~ 4.1 公分，體長 3.8 ~ 4.5 公分，尾長 4.3 ~ 5.4 公分，體重 5 ~ 8 克，牠的耳殼很大，長度幾乎與體長相當。受測的台灣長耳蝠雖然是在樹枝上休息的個體（性別不明），但從紅外線熱成像中可得知牠全身體表的溫度都很高（紅色區域顯示約攝氏 30.3 度上下），其中仍以眼窩處的溫度攝氏 35.4 度最高。目前尚未有直腸溫度資料可供比較。

彩蝠也是一種小型蝙蝠，前臂長 3.0 ~ 3.7 公分，體長 3.8 ~ 5.0 公分，尾長 3.9 ~ 4.9 公分，體重 3.4 ~ 6.8 克。受測的彩蝠是正在樹枝上休息的個體（性別不明），從紅外線熱成像中可知體表最高溫攝氏 29.1 度位於眼窩處，但相對於上述的台灣長耳蝠，這一隻彩蝠的最高溫顯然偏低，且全身僅部分呈紅色（紅色區域顯示僅約攝氏 25.8 度上下），應尚處於日休眠狀態。目前尚未有直腸溫度資料可供比較。

台灣葉鼻蝠是台灣食蟲性蝙蝠中體型最大的物種，主要棲息在天然洞穴、廢棄坑道、隧道等的人工建築內，是典型的穴居性蝙蝠，棲息的群集通常是數十隻至數百隻，偶可發現數千隻的群集。筆者選擇南投縣中寮鄉（海拔約 300 公尺）的台灣葉鼻蝠群集，約有六百多隻。

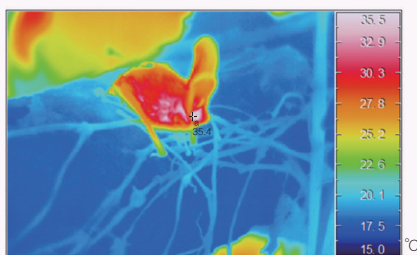


紅外線熱成像

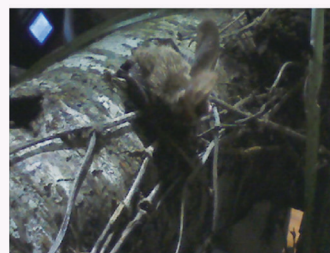


可見光影像

黃胸管鼻蝠紅外線熱成像（左）及可見光影像（右），體表最高溫度是攝氏 34.6 度（點 a）。紅外線熱像儀與受測動物距離約 1 公尺，環境溫度是攝氏 17.2 度，放射率修正為 0.98。



紅外線熱成像



可見光影像

台灣長耳蝠紅外線熱成像（左）及可見光影像（右），體表最高溫度是攝氏 35.4 度（點 a）。紅外線熱像儀與受測動物距離約 1 公尺，環境溫度是攝氏 17.2 度，放射率修正為 0.98。

筆者在 2012 年 6 月 14 日下午 3 點進入棲所（廢棄隧道）內，以紅外線熱像儀進行蝙蝠個體體表溫度測量。由測得的紅外線熱成像發現，絕大部分的蝙蝠個體呈現綠色約攝氏 28 度（體溫較低，是仍處於日休眠的個體），僅少數個體呈現紅色約攝氏 32 度（溫度較高，是逐漸自日休眠甦醒的個體）。紅外線熱像儀自動標定出溫



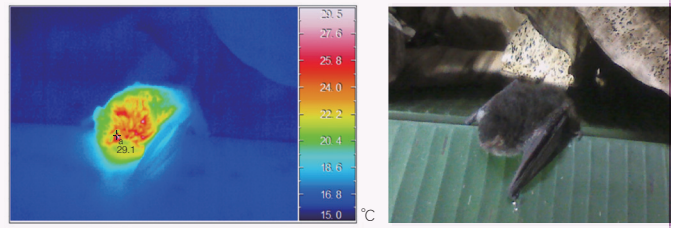
度較高的前 20 個個體 (p1 ~ p20)，最高溫者 p1 的體溫是攝氏 34.30 度，p2 ~ p20 則是其餘 19 個次高測溫點，20 隻個體的平均溫度是攝氏 31.77 度。

透過紅外線熱像儀，初步獲得各個受量測野生動物體表最高溫分別是：台灣黑熊攝氏 34.4 度、白鼻心攝氏 31.6 度、台灣野山羊攝氏 36.3 度、台灣山羌攝氏 38.1 度、台灣獼猴攝氏 34.4 度、台灣小鼯鼠攝氏 35.7 度、黃胸管鼻蝠攝氏 34.6 度、台灣長耳蝠攝氏 35.4 度、彩蝠攝氏 29.1 度和台灣葉鼻蝠的攝氏 34.3 度。

其中最高溫者是處於活動警戒狀態的台灣山羌的攝氏 38.1 度，而最低溫者是正處於日休眠狀態的彩蝠的攝氏 29.1 度，雖然符合哺乳動物行為表現時的體表溫度呈現，但不同種間的落差竟達到攝氏 9.0 度。而同樣是蝙蝠類，已甦醒個體（如黃胸管鼻蝠、台灣長耳蝠）和正處於休眠狀態的個體的體表溫度最大差距也達攝氏 6.3 度。

另就紅外線熱成像資料的最高體表溫度與文獻報告中的 5 種哺乳動物（台灣黑熊、白鼻心、台灣野山羊、台灣山羌、台灣獼猴）的直腸溫度來看，除台灣山羌外，其餘 4 種體表溫度都明顯較直腸溫低，吻合動物皮膚溫度低於體內核心溫度的通則。

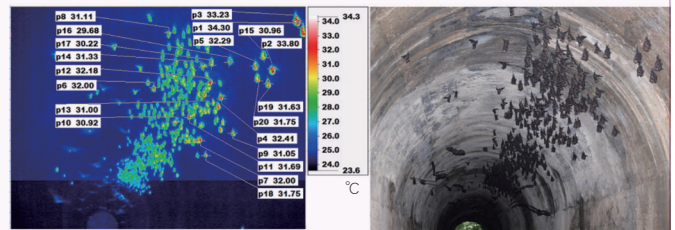
此外，單位時間內可獲得個體較大範圍的體溫表現或不同個體體溫表現，是紅外線熱像儀測量動物體表溫度的優勢之一，可以讓研究者在較短時間內較全面地了解動物全身的體溫。這些體表溫度的資訊，以個體而言可以做為可能病變徵兆的初步篩檢判斷依據（如有無異常溫度點位或區塊），而以族群而言，可運用於族群量的估算（如台灣葉鼻蝠的棲息族群數量估算）。



紅外線熱成像

可見光影像

彩蝠紅外線熱成像（左）及可見光影像（右），體表最高溫度是攝氏 29.1 度（點 a）。紅外線熱像儀與受測動物距離約 1 公尺，環境溫度是攝氏 15.6 度，溼度 83%，放射率修正為 0.98。



紅外線熱成像

可見光影像

南投縣中寮鄉棲所台灣葉鼻蝠個體體表溫度，左是紅外線熱成像資料，右是數位單眼相機拍攝照片。熱成像資料 p1 ~ p20 是前 20 個較高測溫點，後接數字是該點溫度（單位：攝氏度）環境溫度是攝氏 26.2 度，放射率設定為 0.98。

紅外線熱成像技術自 1968 年起就開始運用在生物科學及生態學的研究上，近年來由於技術提升，例如設備體積減小便於攜帶、解析度增加提升測量精確度、設備價格降低等，再加上可全面地了解個體、族群或牠們所處棲地環境的各種溫度表現，以及能即時獲得動物活動狀態下的動態溫度變化等優點，增進了紅外線熱像儀運用於野外環境中的調查研究或尋找隱棲動物的可行性。

目前在台灣，紅外線熱像儀主要應用在國防軍事、消防救災、中西醫醫療診斷、工廠高溫機械監控、海關檢疫、發燒篩檢等方面，幾乎尚未運用於動物疾病偵測或野生動物的生理、行為研究上。本文所描述的嘗試試驗尚屬首見。

不過需要注意的是，不同材質的受測物其放射率修正與否可能會影響測得的數值表現（約占 52%），因此當比較不同物質的表面溫度時，應考量各項量測參數的影響並予以修正，如哺乳動物的放射率應修正為 0.98，紅磚牆材質則需修正為 0.93。

此外，紅外線熱像儀與受測物間的量測距離（理論上量測距離越遠，熱輻射耗損會越多），和受測物所處環境溫溼度、風速等微氣候因子也會影響測得的數值（約

占 18%），應詳加記錄並予以調整修正。如此一來，紅外線熱像儀探索發現的紅外線視界能量表現及動物體表溫度數值會更為精確。

未來，可透過紅外線熱像儀獲得更多哺乳動物的生理資訊及體表溫度變化的資料，以及做更廣泛的應用。

---

張育誠、周政翰、毛祈鈞、鄭錫奇  
行政院農業委員會特有生物研究保育中心

---

