

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 物理科

030105

紅外線的異想世界

學校名稱：高雄縣立鳳西國民中學

作者：	指導老師：
國二 田弘毅	黃止紂
國二 顧郁珩	顧錦濤
國二 田欣	

關鍵詞：紅外線、灰階、CCD 攝影機

紅外線的異想世界



摘要

我們所進行的研究，是利用最近相當盛行的紅外線攝影，來探索自然界中紅外線世界的科學原理和現象；透過特殊的紅外線濾鏡，搭配攝影機的 CCD 特殊功能，揭露有機世界、無機世界之間的紅外線特質，做為後續研究發展的基礎。

發現紅外線世界和我們熟悉的可見光多采多姿，最大的不同點就在於單純的量化，紅外線表現出來的只有能量的多寡－利用電腦圖像軟體 Photoshop 解析其中的色階強度，雖然在研究過程中感受到的是如圖片的黑白灰階，但呈現出來的科學現象卻遠比可見光世界來得精采；讓我們能以紅外線的量化數據，來嘗試解讀各種自然現象。

這整個實驗設計約可分為三大類，一是包含日月雲天體的探索，二是有機世界的表象，三則是人造與無機世界的紅外線特質。

壹、研究動機

墾丁也會飄下大雪，這個令我們十分訝異的圖像，原來是紅外線攝影所製造出來的，紅外線攝影也逐漸成為網路上流傳甚廣的討論議題，但都是在如何呈現雪景，是不是能夠利用紅外線攝影來揭開更多眼睛所見不到的世界奧秘—紅外線。透過約近數個月的研究，借用了許多標榜著能夠強化夜視 NightShot 及 NightFrame 等利用紅外線之攝影器材，有數位相機、數位攝影機等，發現最合用的是 2003 年後生產的 SONY 牌數位攝影機，CCD 的紅外線感光範圍為 760-2000 nm (屬於近紅外線 NIR 波段；所謂的透視或人體紅外線波段位於遠紅外線波段，並不在此研究的範圍內)，配合上各種紅外線濾鏡、影像處理軟體等，開啟一系列有關紅外線自然世界的實驗。

貳、研究目的

- 一、紅外線下的天空
- 二、紅外線下的生產者世界
- 三、紅外線下的七彩色光
- 四、各種物質的紅外線反射率
- 五、熱與紅外線的關聯
- 六、太陽的紅外線環暈
- 七、水與紅外線的關聯

灰階強度：指的是反射光的強弱，全白代表反射光達到 CCD 所接收到的最大光能，強度為 100 %；反之如果全黑，則代表 CCD 根本沒有接收到光能，強度為 0 %。

參、研究設備與器材

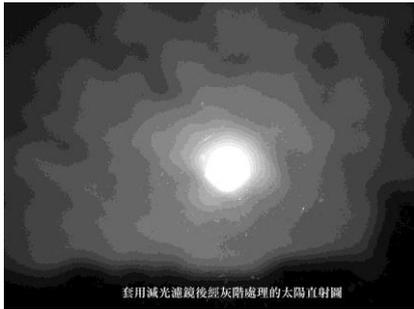
- 一、SONY DVD 803:紅外線攝影機，接收紅外線波段範圍 760-2000 nm。
- 二、SONY TRV22：紅外線攝影機，用來做為紅外線補充光源用(850 nm LED)。
- 三、紅外線濾鏡：760(紅外線)、850(監視器)、950(遙控器) nm 濾鏡片。
- 四、雄獅牌不透色水彩顏料。
- 五、水槽及各種耗料樣本。

肆、研究過程與推論

一、紅外線下的天空

我們知道天空中的紅外線都源自於太陽，雖然設備只能夠偵測到 760-2000 nm 波段的紅外線，但可利用現有的紅外線濾鏡，幫助了解各個天體－太陽、月亮甚至雲朵等對於紅外線的影響。

- (一) 利用減光鏡(縮減入光量達八倍)來降低 CCD 的感光，避免感光過度，無法進行判讀。
- (二) 分別套用不同紅外線濾鏡針對各天體進行紅外線各個波段的拍攝。
- (三) 利用 Photoshop 軟體進行灰階轉換強度分析；觀察各天體在不同可見光成色部份在紅外線下的反射特質。

樣本	圖例	紅外線波段	灰階強度
直射陽光 (PM0400) (ND-8)	 <small>套用減光濾鏡後經灰階處理的太陽直射圖</small>	可見光	100 %
		>760 nm	100 %
		>850 nm	100 %
		>950 nm	100 %
月亮(PM0800)	 <small>700 nm 紅外線濾鏡片所拍攝影像</small>	可見光	99 %
		>760 nm	99 %
		>850 nm	78 %
		>950 nm	50 %
雲朵(PM0400) (向陽面)	 <small>950 nm 紅外線濾鏡片所拍攝</small>	可見光	96 %
		>760 nm	98 %
		>850 nm	95 %
		>950 nm	91 %

穹蒼背景 (PM0400)		可見光	73 %
		>760 nm	60 %
		>850 nm	48 %
		>950 nm	38 %

推論：

- (一) 在減光鏡的作用下，太陽直射光線中的 NIR 波段，不管哪一個部份，都呈現著相當強烈的灰階比例，代表太陽光釋放出很強烈的紅外線；受限於儀器設備的精密度，無法探測各個波段的強弱對比。
- (二) 月亮的反射光線強度不如太陽直射光線，雖然沒有減光，但每個 NIR 波段都有，月亮能夠反射太陽的紅外線，灰階強度明顯出現隨著波段增長而遞減之現象。
- (三) 由水滴和冰晶所構成的雲朵，可以吸收太陽的紅外線並加以反射，但隨著紅外線波長的增加，反射灰階率跟著減少。
- (四) 穹蒼背景部份也能夠反射微弱的紅外線，也呈現著隨著波長愈長，反射率愈低的特質。



- (五) 對照右方兩圖，分別是同一場景，不同紅外線波段的顯像圖，左圖為>850 nm，右圖為>960 nm 波段；從雲朵的觀察中可知，波段愈長的紅外線受到雲朵厚度影響愈大，因為出現了較暗淡的區域，愈厚的雲朵吸收愈多的紅外線；而波長較短的>850 nm 則仍是全白。

二、紅外線下的生產者世界

這個實驗的重點在於探索可見光下的植物萬象(不論是甚麼顏色),在紅外線的世界中是否有完全不一樣的呈像,因此挑選同一種植物但擁有不同色彩的植物,利用大自然給予的紅外線光源,透過軟體分析,探索其灰階能力的變化(純白的灰階強度為 100%,代表反射紅外線程度最大;反之則為純黑,灰階強度為 0%,代表完全無紅外線的反射)。

- (一) 取擁有不同色系或顏色深淺的植物為樣本。
- (二) 分別進行可見光與紅外線(>760 nm)進行拍攝。
- (三) 利用 Photoshop 軟體進行灰階轉換強度分析;觀察植物不同可見光成色部份在紅外線下的反射特質。

植物 可見光圖						
						
反射 強度%		可見光	紅外線		可見光	紅外線
	嫩葉(翠綠)	85%	89%	嫩葉(綠)	56%	91%
	萹葉(深綠)	45%	82%	紅椹(紅)	30%	89%
	果實(黃綠)	64%	88%	青椹(橘)	48%	90%

植物 可見光圖						
						
反射 強度%		可見光	紅外線		可見光	紅外線
	熟果(紅橘)	75%	83%	紫花(淡紫)	61%	87%
	淡熟(黃橘)	82%	85%	熟葉(綠)	72%	85%
	未熟(綠)	89%	86%	枯葉(黃褐)	81%	84%

植物樣本名稱	檸檬	桑葚	番茄	蓮花
可見光灰階範圍	40%	26%	14%	20%
紅外線強度範圍	7	2%	3%	3%

推論：

- (一) 當我們將可見光的彩色世界，轉換成灰階模式，只計算植物不同部位的灰階百分比，可發現可見光的灰階範圍差異甚大，例如檸檬的分布範圍即高達 40% 的差異，代表不同色光有不同的灰階表現，有相當大的反射光能範圍。
- (二) 對比於 760 nm 以上的紅外線波段，可發現植物的常見色澤，雖然在可見光是多麼地變化，但是透過灰階強度分析，卻發現紅外線差異度甚小，也就是說，在植物在紅外線的世界中，反射環境中的紅外線能力強度差不多，遠比可見光還要小。

三、紅外線下的七彩色光

- (一) 以雄獅牌不透明彩色水彩為色彩調配原料。
- (二) 調配濃度為 1g/100 ml，為不透光呈色。
- (三) 分別與以自然光拍攝；並在暗室下投射攝影機的紅外線補充光源，拍攝各種紅外線波段圖片。



- (四) 透過 Photoshop 軟體，來分析每種顏色在各波段下的灰階強度。

拍攝波段	透明	全黑	靛色	藍色	綠色	黃色	橙色	紅色
自然光	84%	9%	11%	25%	21%	65%	36%	32%
>760 nm	7%	7%	58%	69%	50%	82%	60%	43%
760-850 nm	3%	1%	4%	5%	1%	7%	6%	6%
>850 nm	4%	6%	54%	64%	49%	75%	54%	37%
850-950 nm	0%	2%	38%	43%	35%	46%	40%	27%
>950 nm	4%	4%	16%	21%	14%	29%	14%	10%



※左圖為 Photoshop 軟體利用灰階模式轉換，透過色彩選取方式，可由右上角的灰階強度比例圖來了解該點的灰階強度，圖例是上圖透過灰階後，分析紅色部分的灰階強度為 68，也就是反射強度為 32。

推論：

- (一) 先由對照組來看，透明與全黑在自然可見光下是完全不同的表現，透明純水將所有色光反射回去，而全黑則是將所有色光吸收起來；但是到了紅外

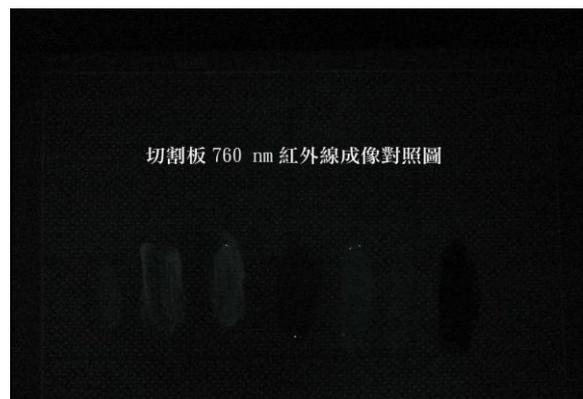
線世界時就不一樣了，透明純水和全黑卻是相同的表現，反射紅外線的比率相當地低，可以說是大幅度地吸收紅外線(尤其是 NIR 這個波段)。

- (二) 其次如果將灰階比率的量化數值進行區段來探討的話(對比於表中的灰階部分)，可發現 760-850 nm 這個波段的反射率，遠較 850-950 nm 波段來得少；這代表著這些色彩比較容易反射 850-950 nm 波段嗎？真正的答案在於攝影機的紅外線補充光源為 850 nm



的 LED，可知透過物體的吸收或反射之後，會改變其原本所吸收的紅外線特質—波長。

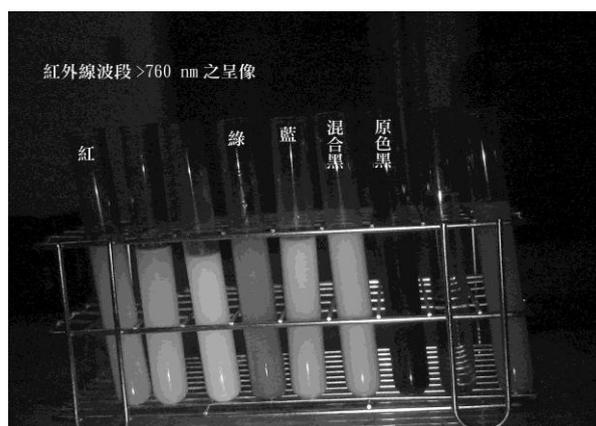
- (三) 除綠色以外，所有的色彩顏料相對於對照組而言，幾乎都能夠反射紅外線；且反射率隨著紅外線濾鏡波段的加大而減少。
- (四) 仍利用相同的水彩在不同的介質上，如下圖的木板與切割板，所有顏色的灰階強度均較試管實驗小了许多，比方木板上的黃色在 >760 nm 的灰階強度只有 21 而已，對比試管的 82，相距甚遠；切割板幾乎都成為黑色，可見得背景材質或介質對於紅外線的吸收與反射有相當的影響力。



三(1)、各色光的紅外線量化特質

從七彩色光實驗中，可發現黑色水彩可大幅度的吸收紅外線而不反射，其他的顏色則各自有反射現象，將這些反射現象以灰階率來表示，不就成了紅外線的量化特質；但發現可見光世界中可以利用其他顏色來混合調配成黑色，因此補充這個實驗。

- (一) 利用紅綠藍三種基本色水彩來調製成黑色不透光狀態。
- (二) 在暗室下，以攝影機的紅外線補充光源進行照射並拍攝影像(>760 nm)。
- (三) 分析紅、綠、藍、混合黑、原色黑等五根試管紅外線灰階率。



樣本	紅	綠	藍	混合黑	原色黑
可見光灰階率	37	28	35	12	9
紅外線灰階率	48	42	62	59	11

推論：

- (一) 從對照圖中可明顯發現，混合黑與原色黑雖然在可見光下的灰階表現相當一致，但是紅外線卻有不同的呈像，明顯地，混合黑的紅外線灰階率幾乎與其他顏色一樣，能夠反射攝影機給予的紅外線。
- (二) 如果以灰階率的數字來看，紅外線的世界的確是個量化世界，每個物質都可以用數字來表示，混合黑源自於紅綠藍，因此混合黑的灰階率就在這三種來源數字之間。

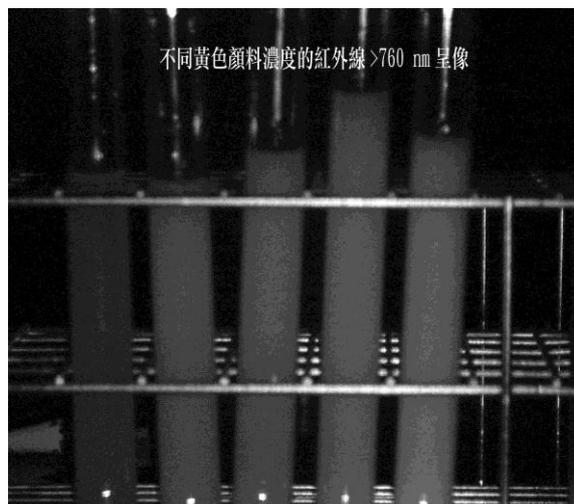
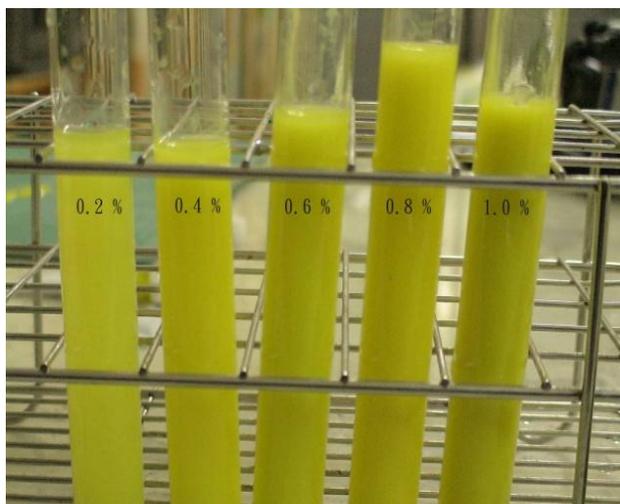
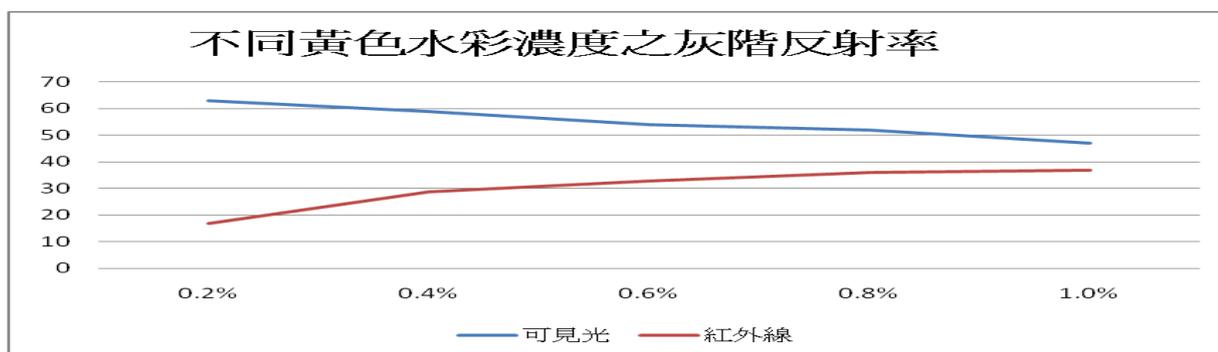
三(2)、濃度是不是也會影響紅外線的反射呢？

在調配水彩的過程中，發現黃色水彩可說是反射紅外線效率最高的染料，可是調配是使用能夠大幅度吸收紅外線的水和水彩混合而成，難道水不會造成影響嗎？亦或是有更奇特的

現象等待著我們去揭開呢！

- (一) 調配不同濃度的黃色水彩。
- (二) 在暗室下，以攝影機的紅外線補充光源進行照射並拍攝影像(>760 nm)。
- (三) 分別分析可見光與紅外線的灰階率。

濃度	0.2%	0.4%	0.6%	0.8%	1%
可見光 灰階率	63	59	54	52	47
紅外線 灰階率	17	29	33	36	37



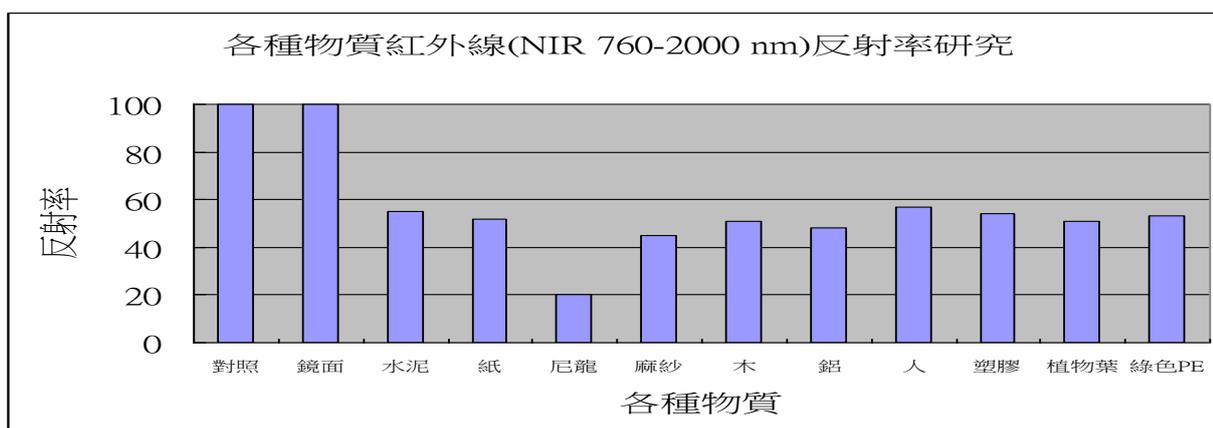
推論：

- (一) 從圖表數據中可知，不管是可見光或是紅外線的世界，濃度不同都會造成反射灰階率的不同；但是兩個世界的變化卻正好相反，可見光世界的灰階率隨著濃度成反比，濃度愈高，反射出的可見光灰階率則愈低，代表吸收較多的可見光；反之，紅外線世界中，濃度愈高，反射出的紅外線灰階率則愈高，代表吸收掉的紅外線較少。

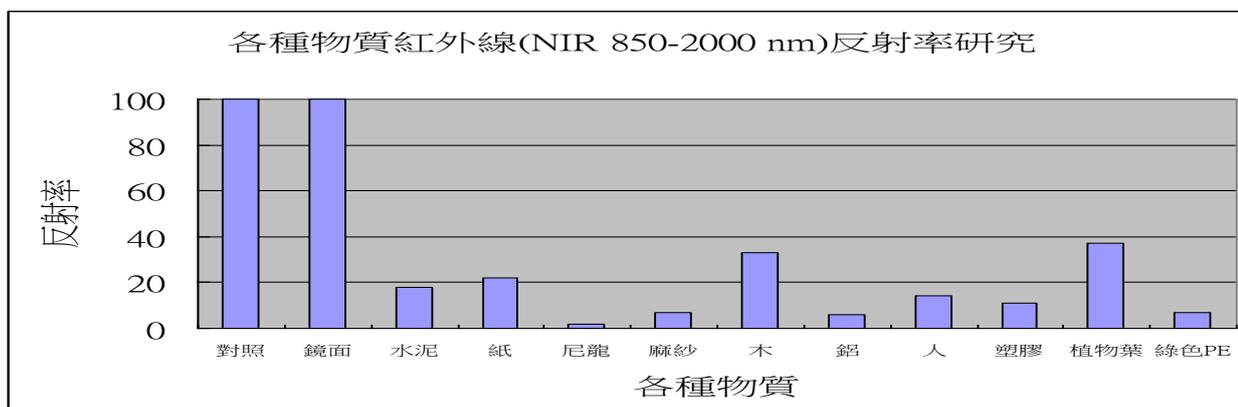
四、各種物質的紅外線反射率

- (一) 以攝影機紅外線補充光源固定為 source；並在暗室內進行，避免受外界紅外線幅射所影響。
- (二) 直接拍攝 source 的紅外線圖，並以其中最亮點為對照組。
- (三) 固定 source 和拍攝攝影機之間的距離(1m)。
- (四) 將各種物質調整到固定距離後，拍攝紅外線圖，分析其中最亮點的紅外線灰階能量數據，進行各種物質的反射率分析比較。

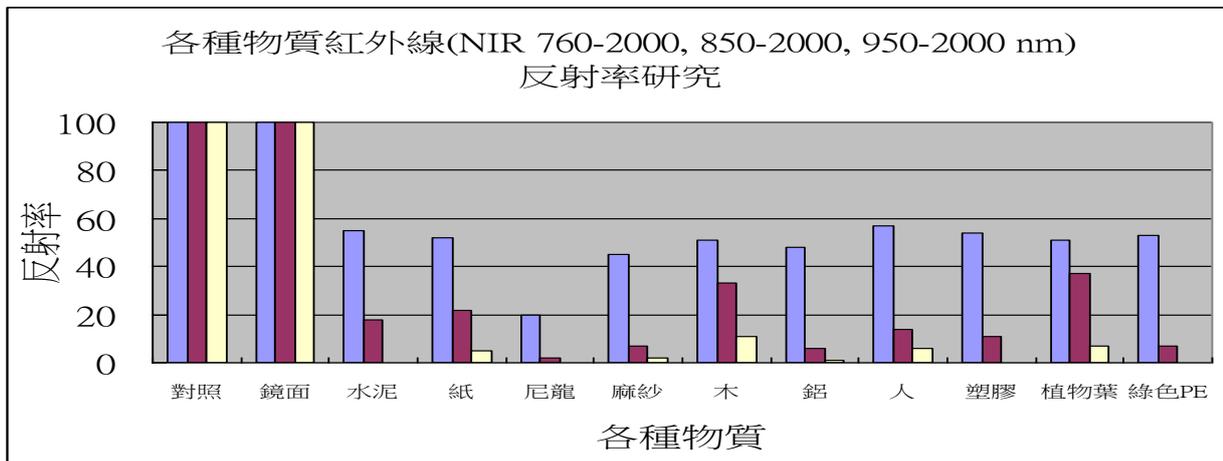
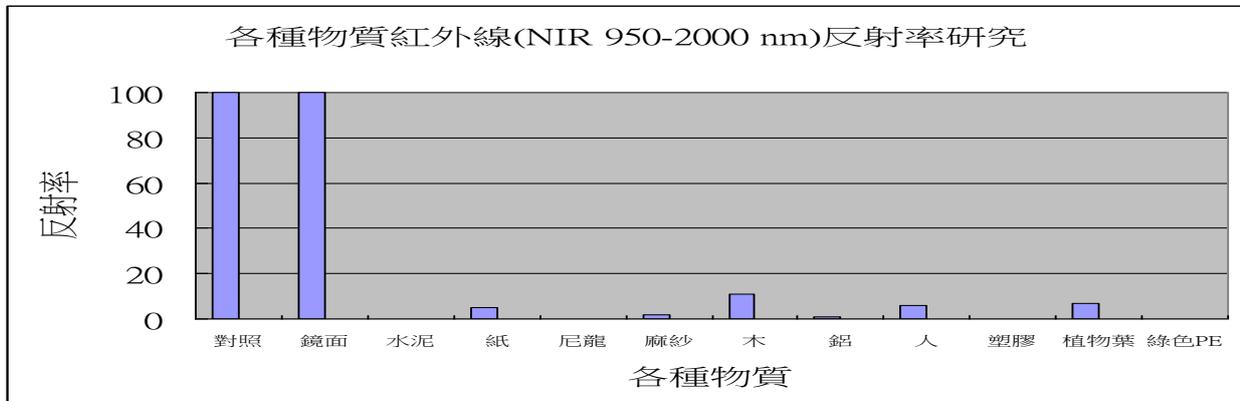
樣本(>760)	對照	鏡面	水泥	紙	尼龍	麻紗	木	鋁	人	塑膠	植物葉	綠色PE
灰階 反射率%	100	100	55	52	20	45	51	48	57	54	51	53



樣本(>850)	對照	鏡面	水泥	紙	尼龍	麻紗	木	鋁	人	塑膠	植物葉	綠色PE
灰階 反射率%	100	100	18	22	2	7	33	6	14	11	37	7



樣本(>960)	對照	鏡面	水泥	紙	尼龍	麻紗	木	鋁	人	塑膠	植物葉	綠色PE
灰階 反射率%	100	100	0	5	0	2	11	1	6	0	7	0

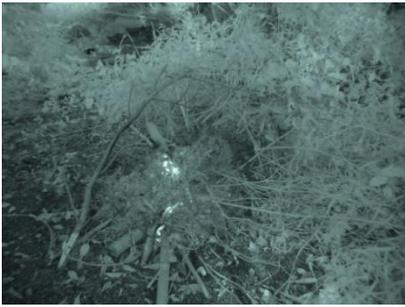


推論：

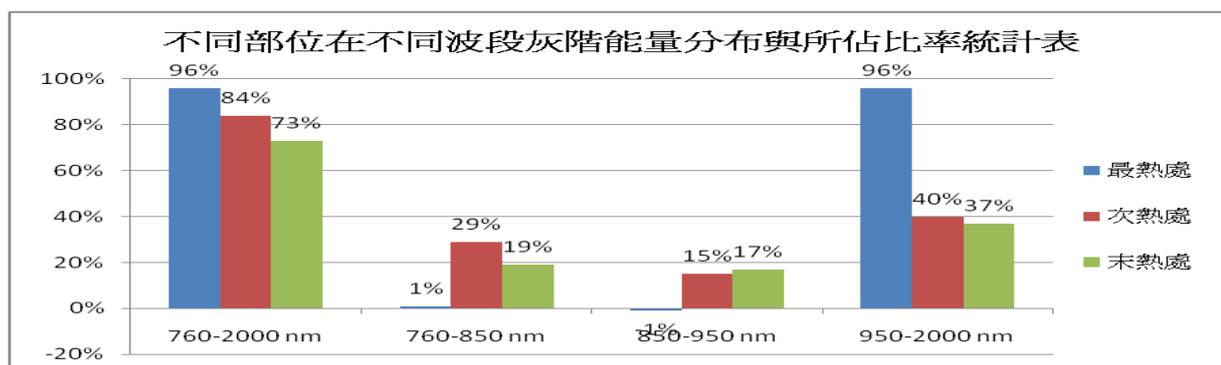
- (一) 從上述圖表可知，鏡面處理之後的物質，反射紅外線的趨勢遠較其他處理為強，甚至 950 nm 波段上也達 100%的；證明可以利用鏡面與紅外線的吸收、反射，來進行各種紅外線設備的設計。
- (二) 各種不同物質的紅外線反射率也有相當明顯的差異，例舉來說，尼龍(人造纖維)的紅外線吸收率遠大於其他物質，因其反射率相當的低，而其他物質在 760-2000 nm 波段，反射率差異度不大。
- (三) 不同波段範圍的紅外線反應明顯與波長成反比，在對照組與鏡面組均呈現 100%的反射率下，明顯發現波長範圍愈長，其反射率愈低。

五、熱與紅外線的關聯

- (一) 選取正在燃燒而後熄滅的構火為樣本。
- (二) 觀察該構火最熱處(如木炭紅熱部位)與其他部位在不同紅外線波段下的灰階反射強度；尋找長溫灰燼的紅外線反射強度，(對比第一個原始圖和760-2000 nm 左下角的灰燼—為上次構火時留下，已經與背景環境溫度相同，遠比高於環境溫度的灰燼之紅外線反射強度來得低)，所以可不考慮背景紅外線的影響，端視為該溫度所釋放出的紅外線灰階強度。
- (三) 儘量在同一時間內完成，可觀察不同溫度是否有不同的紅外線特質。

條件	圖例	選取部位	色階分析
正常可見光		最熱處	98 %
		次熱處	87 %
		末熱處	48 %
760 - 2000 nm		最熱處	96 %
		次熱處	84 %
		末熱處	73 %
850 - 2000 nm		最熱處	95 %
		次熱處	55 %
		末熱處	54 %
950 - 2000 nm		最熱處	96 %
		次熱處	40 %
		末熱處	37 %

選樣部位	760-2000 nm	760-850 nm	850-950 nm	950-2000 nm
最熱處	96 %	1 %	-1 %	96 %
次熱處	84 %	29 %	15 %	40 %
末熱處	73 %	19 %	17 %	37 %



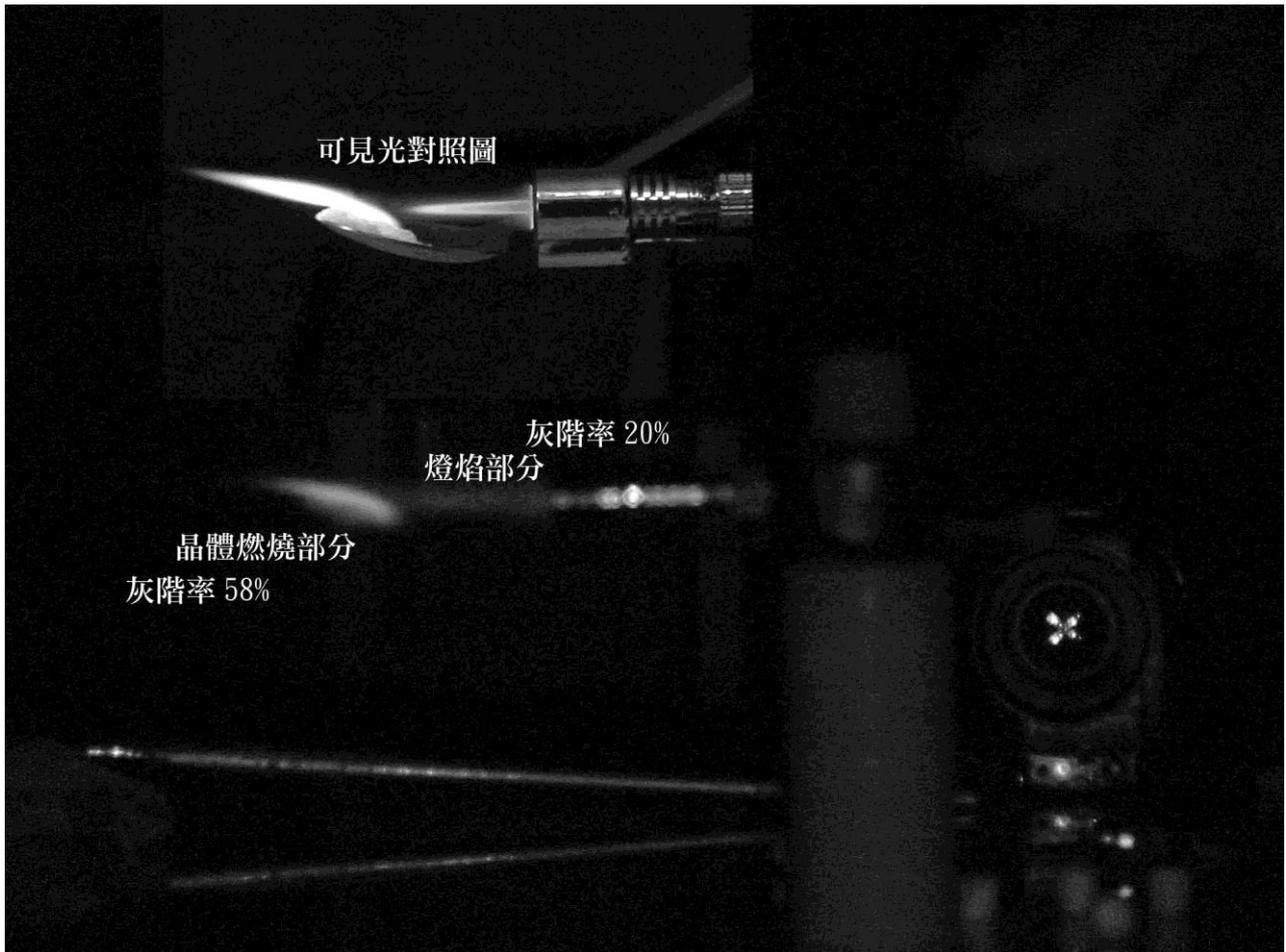
推論：

- (一) 最熱處的灰燼紅外線灰階高達 95-98 之間，可見釋放出的灰階光能並沒有縮減，因此可知此紅外線的波段當位於 950 nm 以上。
- (二) 次熱處灰近紅外線於 760-950 之間有相當大的減少趨勢，約有 44 灰階強度削減，所以可推估這個溫度範圍在 760-950 nm 之間有相當大的能量輻射，如直接量化可知 44/87，約近一半的能量。
- (三) 從上可分析，不同溫度部位，所釋放出來的灰階能量，可以透過不同波段加以區分，而得到很大的差異；例如溫度最高處的灰階能量，幾乎都集中於 950-2000 nm 波段，而次熱處與末熱處的灰階分布，則類似凹字型分布。

五(1)、熱與紅外線的關聯

理化實驗課中，了解到晶體燃燒會釋放出不同的色光，這些色光可成為辨識晶體組成的重要依據，是否也適合於紅外線呢？

- (一) 取鹽巴和長柄勺、高溫噴燈來進行晶體的燃燒。
- (二) 遮蔽紅外線補充光源，直接以攝影機來拍攝紅外線圖片－觀察晶體火焰所釋放出的紅外線特性。

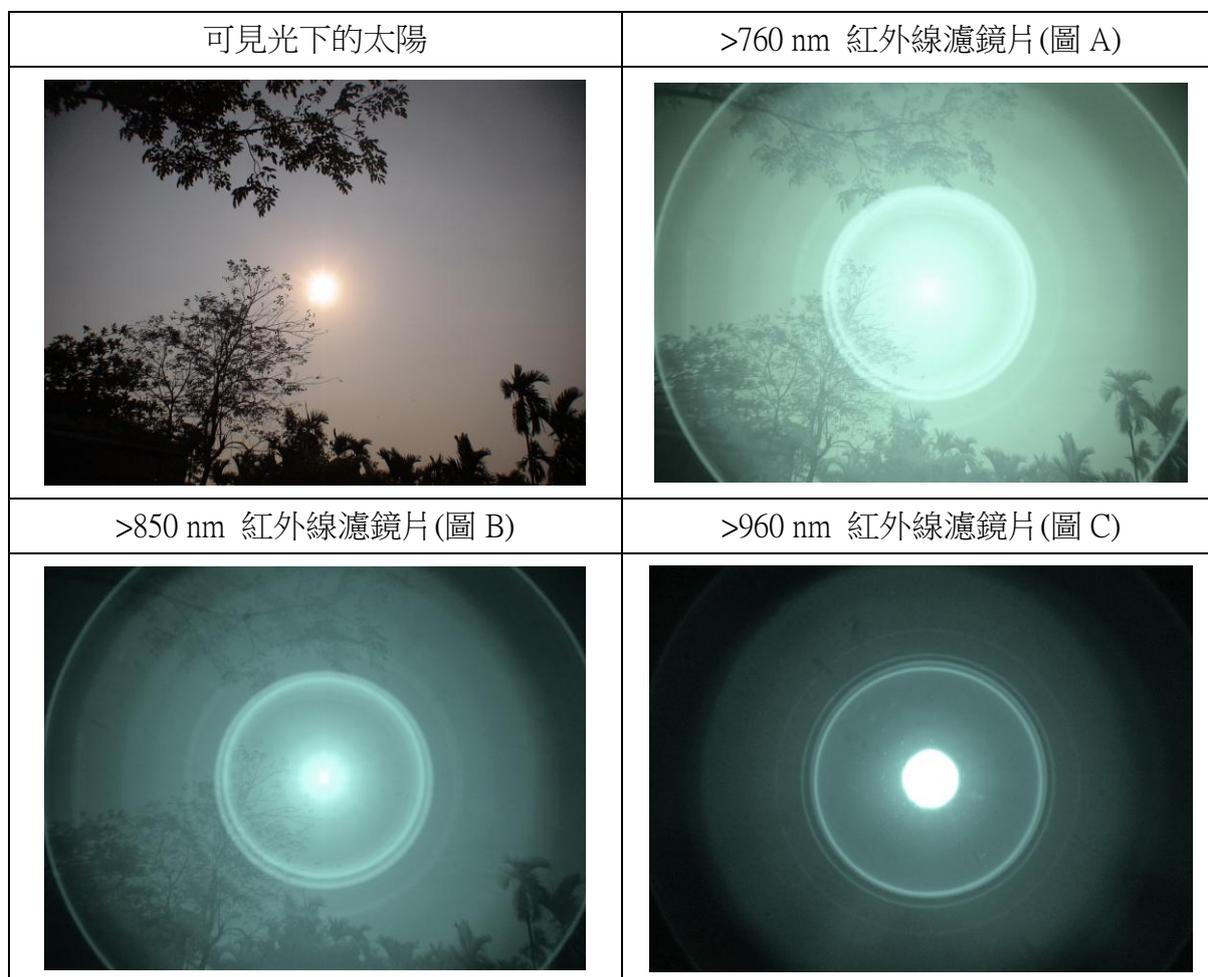


推論：

- (一) 邏輯來看，溫度的高低，以噴燈焰心頂處最高、外焰次之；而後鹽晶體所釋放出的火燄；然而對比於紅外線的灰階率，可發現順序不一樣，只呈現兩種顏色，鹽晶體的火燄、噴燈火燄，但鹽晶體的紅外線灰階率要高於噴燈，所以紅外線灰階率無法代表溫度高低的變化。

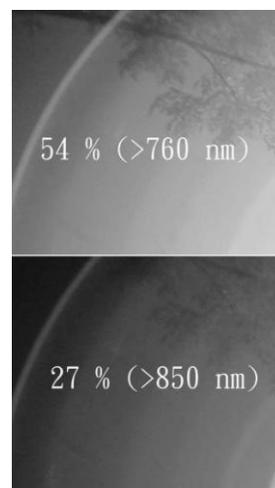
六、太陽的紅外線環暈

經過長期的拍攝經驗發現，裝上紅外線濾鏡來拍攝發光物體－太陽或是另一台紅外線的補充光源時，往往會出現環暈的現象，隨著更換濾鏡，這些環暈也會跟著有些改變－消失或減弱，因此或許由這些環暈的變化，能夠幫助解析出哪一個環暈代表著哪一個波段的紅外線。



推論：

- (一) 從圖 A 到圖 C 的系列中，可發現，環暈的數目明顯減少，而且環暈的灰階亮度也明顯地減少，可知某些環暈能夠代表某些波段的紅外線。
- (二) 對比圖 B 和圖 C，明顯地最外層的環暈不見了，而在圖 A 和圖 B 中還存在著，這代表這個環暈的波段應該是屬於 760-950 nm 的紅外線波段，而由內向外的第二環暈也明顯出現幾近消失現象；至於其他的環暈，似乎只有出現灰階強度減弱的現象；而進一步分析灰階，在>760 nm 紅外線濾鏡片，得到灰階為 54%、>850



nm 外線濾鏡片則為 27%，可見得這條太陽環量的灰階能量組成，至少有兩個部分，一個是 760-850 nm 擁有 27% 的灰階能量、另一個則是 850-950 nm 波段擁有另 27% 的灰階能量。

- (三) 但令人納悶的一點是在中央區，>950 nm 濾鏡拍攝應該灰階度會最暗才對，怎麼反而有最亮的感覺，幾乎每次拍攝都這樣，徵詢許多專業攝影師的看法，認為這屬於強化對比、消噪的功能所導致。

七、水與紅外線的關聯

許多文獻都提到海洋顏色與色光吸收的關聯，那是否也能夠找出與紅外線的關聯呢？是否水能夠有效地吸收紅外線，遍尋這個推論的證明時，發現香水蓮花最為適用，因為有的葉子直接平鋪水面，可以反射背景中的紅外線，而有些葉子卻沉在水底，可以反射受到水吸收影響的紅外線特質。



- (一) 挑選同顏色系列的香水蓮花葉子為樣本。
- (二) 以浮水葉和沉水葉進行對比(光線經過的距離為 40 cm)。
- (三) 分別拍攝不同波段的紅外線圖像，並進行灰階差異比較。

樣本條件	未經水的灰階強度	經水反射灰階強度	灰階差異
可見光(<760 nm)	67 %	64 %	3 %
>760 nm	96 %	95 %	1 %
>850 nm	94 %	65 %	29 %
>960 nm	77 %	35 %	34 %

推論：

- (一) 單從波段來看，>850 nm 的波段範圍，受到水的影響最大，因為灰階差異幾乎都在 30% 左右，代表著 40 cm 的水就可以吸收掉 30% 的灰階光能。

- (二) 如果單以 $>760\text{ nm}$ 來推論的話(當然也涵蓋了之後的波段)，可能會誤認紅外線不受水的影響；可見光的差異度也不大；另外也可以了解背景紅外線中超過了 960 nm 以後的波段，迅速地減少(如 94% 下降到 77%)。
- (三) 對比於日常生活中的經驗，會發現到海水愈深顏色愈深，可知水深也會對於光能的吸收有影響；對照圖中不同深淺的沉水葉，也呈現著愈深，灰階率愈小的狀況，甚至其他無沉水葉的地方，幾乎都呈現無灰階反射的黑色。

伍、討論與結論

- 一、幾乎所有天體—只要能夠得到太陽光源，都能夠反射出紅外線；但隨紅外線波段範圍而有變化，波段愈長、灰階反射率跟著下降；而天空中的雲朵，雲層厚度對於紅外線 $850\text{-}950\text{ nm}$ 波段，有明顯的吸收影響。
- 二、綠色生產者世界，在紅外線下不如可見光般地多采多姿，也就是有或無而已，強或弱而已，而且對比於可見光的灰階率範圍，綠色生產者世界，不管是甚麼色系，表現出來的差異度都相當地小，也就是幾乎都呈現著約略同樣深淺的白色世界；更證實了紅外線的雪景效果。
- 三、無機物質的染料世界，在紅外線的世界中，可以用量化數字來代表，也就是每一種染料都有一個數字(灰階反射率)，就連由不同顏色所組成的黑色，所得到的灰階反射率約為其來源原料的範圍內，並不是等同於純黑色的色素，說不定這可以幫助我們解析各種顏色的組成；當然還受到該染料的濃度所影響—因為水也有自己特定的紅外線影響效果。
- 四、同樣的染料在不同的介質環境中，出現不同的紅外線特質，比方在塑膠刻字版上，不管是反射率多高的黃色顏料，幾乎反射不出紅外線，可知，介質材料對於紅外線的吸收，有相當大的影響力。
- 五、各種不同物質的紅外線反射率也有相當明顯的差異，例如，尼龍(人造纖維)的紅外線吸收率遠大於其他物質，因其反射率相當的低，而其他物質在 $760\text{-}2000\text{ nm}$ 波段，反射率差異度不大。隨著波段範圍增加，反射率也跟著下降。
- 六、溫度的變化與紅外線，這個部份存在著許多不確定，應該需要更多更廣的研究才行；以灰燼來說，雖然肉眼感受不到顏色的變化，但是紅外線卻能夠清楚地看出灰階變化，但每個溫度點，釋放出的灰階能量分布卻不盡相同；此外，溫度愈高、長波段灰階能量愈多的推論，卻不能適用於鹽晶體的燃燒。
- 七、利用紅外線濾鏡片能夠分析太陽的環暈組成，比較各個不同波段的濾鏡結果，可發

現某些環暈是由某些波段所組成，當然隨著波段增長，環暈數目與亮度呈現反比趨勢。

八、水對於紅外線(>850 nm)有相當的吸收能力，相較之下，可見光與近紅外線(<850 nm)幾乎無法同比；水的深度也是影響吸收的要素之一，背景輻射中的紅外線，也隨著波段範圍增長而逐漸減少。

陸、參考文獻

- 一、修伊特著 觀念物理(IV) 天下文化書坊－科學天地 27。
- 二、奧斯朋出版編輯群 圖解物理辭典 小天下 工具書館 003。
- 三、NASA Official: Ruth Netting. The Electromagnetic Spectrum. <http://www.nasa.com.tw/>.
- 四、臺灣師範大學物理系 紅外線透視與波長的關係 .
<http://home.pchome.com.tw/education/gintabo/>
- 五、SONY Website. SONY DVD 803. <http://www.sony.com.tw/>

【評語】 030105

透過紅外線攝影機，本作品討論自然界紅外線世界所表現的現象，是件有趣的作品，唯在資料分析上仍有改善的空間。