

# 新竹市第 44 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

科 別：地球科學

組 別：國中甲組

作品名稱：「海」納百「光」—

探討不同海水性質對反照率之影響

關鍵詞：反照率、海水性質

編號：115JA-E001

# 摘要

本研究想探討影響海水反照率的各項變因，我們設計小型觀測裝置，模擬光照入射角、風浪、表面狀況（如浮冰、油汙、清潔劑等）及水體性質（如鹽度、溫度、混濁物等），測量其對反照率的影響。結果顯示，光照入射角為最主要影響因素，角度越大反照率呈非線性顯著上升。此外，風浪會改變海面的反射結構，影響光反射回大氣的機率。若海面存在油汙、清潔劑等物質，會使反照率大幅降低。相對而言，海溫與鹽度對反照率影響不大，容易被大入射角的影響所掩蓋。本研究證實海洋汙染會降低海水反照率，可能會加劇全球暖化，所以維持海洋純淨有助於減緩暖化；其大角度掩蓋鹽度效應的實證，可為現今衛星遙測技術提供數據校正的參考。

## 壹、前言

### 一、研究動機

因為看到一篇海水顏色逐年變深的報導，我們很好奇為什麼海水的顏色會變深？與其他地理環境、氣候有關係嗎？所以我們想藉由探討一些海水性質對海水反照率的影響來了解。

### 二、研究問題

影響海水反照率的因素相當複雜，我們查詢資料後了解海水反照率與表面反射和水中散射有關，但並不清楚如何影響，因此我們模擬可能的海水環境情境，設計小型裝置，想就下列項目做初步的探討：

#### (一)海水表面反射對反照率的影響

1. 光由不同入射角照射對反照率之影響
2. 風吹拂海水對反照率之影響
3. 海水表面狀況對反照率之影響

#### (二)海水水中散射對反照率的影響

1. 不同鹽度水體對反照率之影響
2. 不同海水溫度對反照率之影響
3. 海水中浮游生物、混濁物質對反照率之影響

### 三、 文獻回顧

(一)根據 Cox & Munk 與 Jin *et al.* 的研究，水面反照率受太陽高度角影響明顯。依據菲涅耳定律，當入射角增大時，鏡面反射比例會隨之上升，導致反照率數值增加。鏡面反射與入射角的「三階段」關係：

平緩區（0 ~ 45 度）：反照率極低且變化小，大部分能量進入海洋。

過渡區（45 ~ 70 度）：隨著角度增大，曲線開始明顯上揚。

激增區（70 ~ 90 度）：曲線最陡峭。當角度超過 80 度，反照率會從約 35% 迅速衝向 100%。

(二)根據勞倫茲-勞倫次方程理論，水的折射率會隨鹽度增加而微幅提升。不同鹽度（淡水、一般海水、高濃度海水）會改變光線在海面上的反射多寡。

(三)根據水文光學理論，認為水溫變化會改變海水密度和折射率。雖然溫度的影響不明顯，但在極端溫差下，仍可能對光線的反射和散射比例產生變化。

(四)根據海面參數化的研究，海面的物質組成會破壞單純的鏡面反射，如：浮冰會增加散射；而油汙與清潔劑（界面活性劑）則會改變水面張力與界面特性，進而大幅改變光能反射的量值。

(五)根據瑞萊散射指出當光線遇到比波長更小的微粒時，會向四周彈射。

(六)根據米式散射指出當光線遇到與波長大小接近或更大的微粒時光線會向前方散射。

## 貳、研究設備及器材

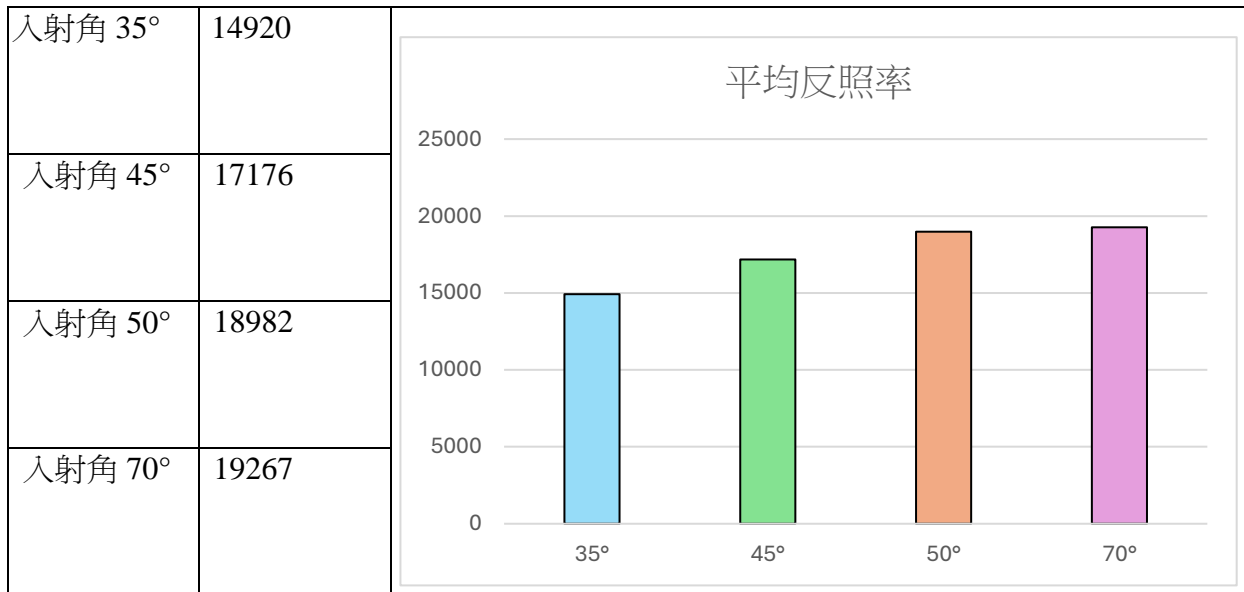
### 一、研究器材:

紙箱、海水素、雷射筆(綠光、雷射功率:<1mW、放射波長:501nm)、水、測光計、盆子、油、清潔劑、溫度計、藍色食用色素、綠色食用色素、浮冰、加熱器、沙子、燒杯、風扇、風速計、藻水。

入射面(箱子+盆子)	反射面(箱子+盆子)	海水素	油
			
測光計(Lux)	雷射筆	清潔劑	加熱器
			

## 參、研究過程或方法

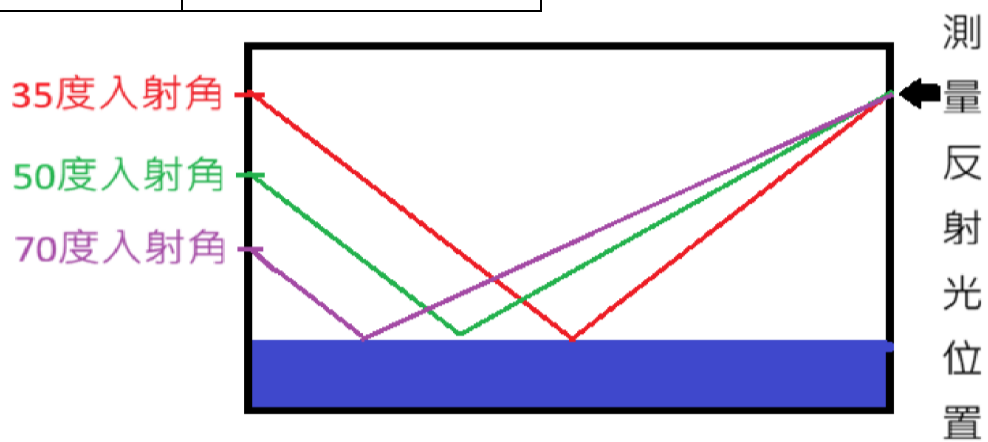
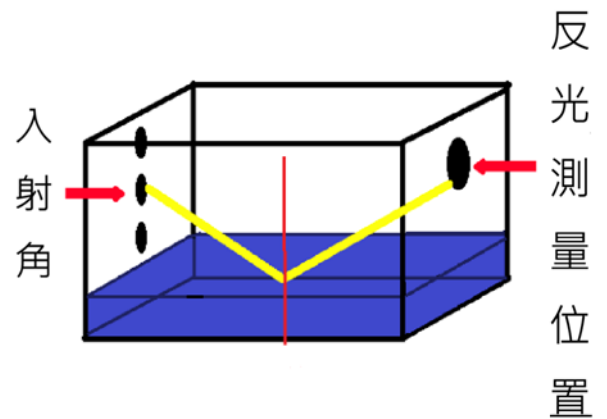
一、前置實驗: 受限於觀測儀器與實驗裝置，我們用鏡子模擬全反射情形，將光照在鏡子上再測量反射光照度，將此照度視同入射光照度。考量後續實驗設計，我們在不同入射角照光測試是否影響反照率，發現差異不大，因本研究均使用同一光源，我們將測得反照光強度(如下表)經過平均後當作入射光照度(lux)。計算 $\text{反照率} = \text{反射光照度} / \text{入射光照度}$ 。



二、光源選擇: 測量「反照率」原先應測量太陽光射進海水後的反射強度。我們一開始也嘗試用白光照射水面，但結果發現光強度數據只有 1 或 2 流明，幾乎沒變化。我們推測是因為白光太過發散，進入實驗箱後產生散射，導致強度大幅衰減。雖然試過加裝凸透鏡來聚光，但效果還是不理想。為了讓數據更明顯，我們決定改用雷射筆作為光源，利用它高指向性與光強度集中的特性，讓入射角與反射光的差異更容易被觀察。

三、實驗裝置: 在實驗設計上，我們將測量反照率強度的感測點固定在同一個位置。雖然雷射光會從不同角度打入，導致在水面的落點不同，但如果測量點不固定，測光計就必須移動。這樣做有兩個原因：第一是為了提升操作的穩定性，因為頻繁移動感測器容易造成角度偏差，產生不必要的人為誤差；第二是為了維持測量基準的一致性，固定在同一個位置可以確保接收到的光強度只受到角度變化的影響，而不會因為測量位置不同而產生數據跳動，這

樣能讓實驗結果更具說服力。示意圖如下:



## 第一部分、海水表面反射對反照率的影響

### 實驗一：光由不同入射角照射對反照率之影響

一、器材: 水、海水素、盆子、箱子、測光計、雷射筆、燒杯。

二、步驟:

(一)架設箱子與標記：分別在 35 度、50 度、70 度三個入射角照光處挖好孔洞，並將裝有樣本液體的盆子放置於箱內中心，蓋上蓋子確保內部不被環境光干擾，裝置設置如前置實驗說明。

(二)分組測量反射光照度: 將雷射筆依序由各入射角照光處射入光線，每次照射時，測光計需對準箱內的反射光點記錄反射照度並重複操作六次。

(三)數據整理並計算各組反照率，以 Excel 進行資料分析及繪製統計圖。

### 實驗二：風吹拂海水對反照率之影響

一、器材: 水、海水素、盆子、箱子、測光計、雷射筆、燒杯、風扇、風速計。

## 二、步驟:

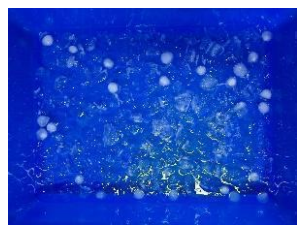
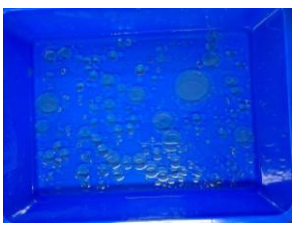


- (一)架設裝置與風扇：將可調風速的風扇架設在箱子上方，並確認風可吹拂到液面（此實驗使用一般海水）造成擾動；照光與收光裝置設置如前述實驗說明。
- (二)分組測量反射光照度: 分別用不同風速大小(1.8m/s、2.1m/s、2.3m/s)的風吹盒內的海水造成擾動。再將雷射筆依序由各入射角(35 度、50 度、70 度)照光處射入光線，每次照射時，測光計需對準箱內的反射光點記錄反射照度並重複操作六次。
- (三)數據整理並計算各組反照率，以 Excel 進行資料分析及繪製統計圖。

## 實驗三:海水表面狀況對反照率之影響

一、 器材: 水、海水素、盆子、箱子、測光計、雷射筆、燒杯、碎冰塊、油、清潔劑、沙子。

## 二、 步驟:

- (一)配置一般海水：2850ml 水加入 100g 海水素。
- (二)設計表面變因：將配好的海水樣本分別模擬不同的表面狀況(配置好的樣本表面狀況如下圖所示)：
  1. 原始組：一般海水表面，不做任何處理。
  2. 浮冰組：於水面加入碎冰塊，模擬極地海面。
  3. 油污組：於水面加入油，表面張力模擬油污污染狀況。
  4. 清潔劑組：於水面加入清潔劑（可觀察改變或產生泡沫後的變化）。
  5. 混濁物組（沙子+澱粉）：於水中加入沙子，模擬混濁的水體。
- (三)架設箱子與標記：分別在 35 度、50 度、70 度三個入射角照光處挖好孔洞，並將待測樣本放置於箱內中心，蓋上蓋子確保內部不被環境光干擾，裝置設置如前置實驗說明。
- (四)分組測量反射光照度: 將雷射筆依序由各入射角照光處射入光線，每次照射時，測光計需對準箱內的反射光點記錄反射照度並重複操作六次。
- (五)數據整理並計算各組反照率，以 Excel 進行資料分析及繪製統計圖。

浮冰組	油汙組	清潔劑組	懸浮組
			

## 第二部分、海水水中散射對反照率的影響

### 實驗四:不同鹽度水體對反照率之影響

一、 器材: 水、海水素、盆子、箱子、測光計、雷射筆、燒杯。

二、 步驟:

(一)準備三種不同鹽度水體：

1. 淡水組：準備 2850ml 加入 14g 的海水素，模擬淡水。
2. 一般海水組：2850ml 水加入 100g 海水素，模擬一般海水。
3. 高鹽海水組：2850ml 水加入 655g 海水素，模擬高鹽度海水。

(二)架設箱子與標記：分別在 35 度、50 度、70 度三個入射角照光處挖好孔洞，並將裝有樣本液體的盆子放置於箱內中心，蓋上蓋子確保內部不被環境光干擾，裝置設置如前置實驗說明。

(三)分組測量反射光照度: 將雷射筆依序由各入射角照光處射入光線，每次照射時，測光計需對準箱內的反射光點記錄反射照度並重複操作六次。

(四)數據整理並計算各組反照率，以 Excel 進行資料分析及繪製統計圖。

### 實驗五:不同海水溫度對反照率之影響

一、 器材: 水、海水素、盆子、箱子、測光計、雷射筆、燒杯、加熱器冰塊。

二、 步驟:

(一)配置海水: 將一般鹽度海水以加熱器和冰塊調整成三種水溫樣本:

1. 水溫 5 度組: 用冰塊降溫至 5 度, 模擬寒帶海水。
2. 水溫 15 度組: 加熱器加溫至 15 度, 模擬溫帶海水。
3. 水溫 25 度組: 加熱器加溫至 25 度, 模擬熱帶海水。

(二)架設箱子與標記: 分別在 35 度、50 度、70 度三個入射角照光處挖好孔洞, 並將裝有樣本液體的盆子放置於箱內中心, 蓋上蓋子確保內部不被環境光干擾, 裝置設置如前置實驗說明。

(三)分組測量反射光照度: 將雷射筆依序由各入射角照光處射入光線, 每次照射時, 測光計需對準箱內的反射光點記錄反射照度並重複操作六次。

(四)數據整理並計算各組反照率, 以 Excel 進行資料分析及繪製統計圖。

### 實驗六: 海水中有浮游生物對反照率之影響

一、 器材: 水、海水素、盆子、箱子、測光計、雷射筆、燒杯、海水擬球藻(海中常見浮游生物之一)。

二、 步驟:

(一)配置海藻水: 2850ml 水+100g 海水素+300ml 藻水

(二)架設箱子與標記: 分別在 35 度、50 度、70 度三個入射角照光處挖好孔洞, 並將裝有樣本液體的盆子放置於箱內中心, 蓋上蓋子確保內部不被環境光干擾, 裝置設置如前置實驗說明。

(三)分組測量反射光照度: 將雷射筆依序由各入射角照光處射入光線, 每次照射時, 測光計需對準箱內的反射光點記錄反射照度並重複操作六次。

(四)數據整理並計算各組反照率, 以 Excel 進行資料分析及繪製統計圖。

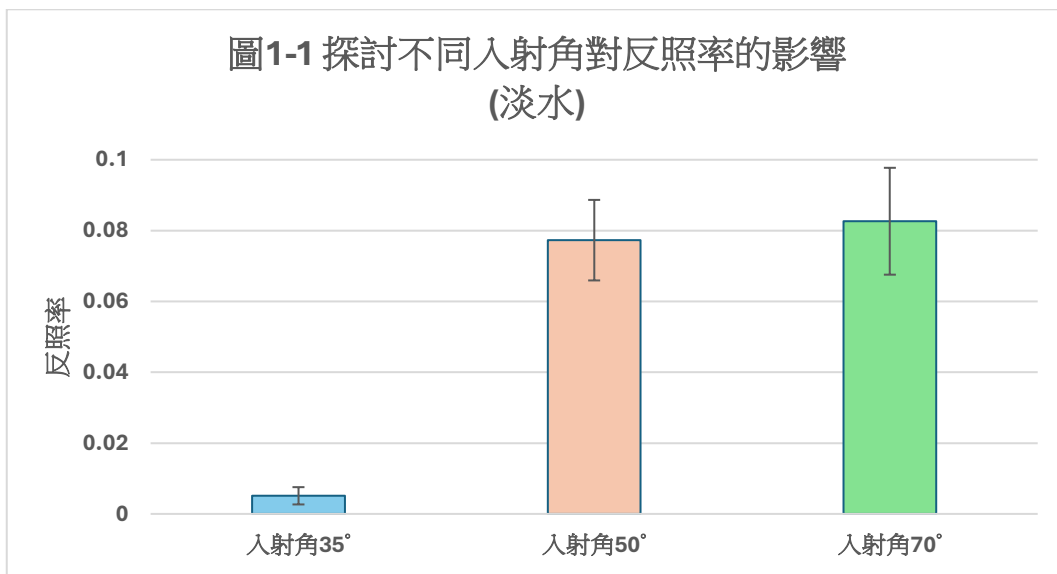
## 肆、研究結果

### 第一部分、海水表面反射對反照率的影響

#### 一、光由不同入射角照射對反照率之影響

##### (一)淡水

入射角/項目	入射光(單位:lux)	反射光(單位:lux)	反照率
35°	17500	89.6	0.005
50°	17500	1352.6	0.077
70°	17500	1446.1	0.082



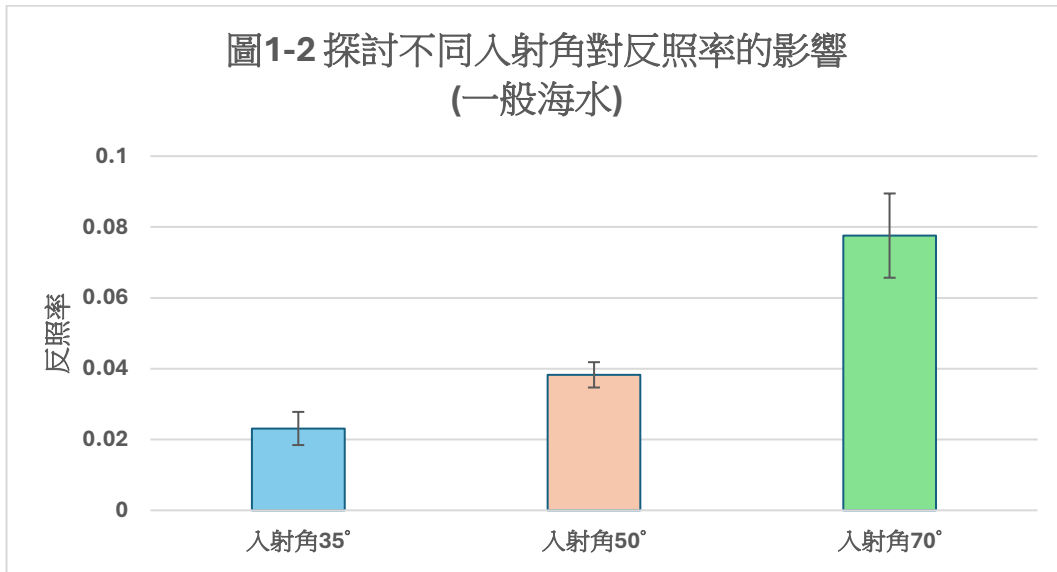
根據圖 1-1:

水體為淡水時，反照率由高至低為:入射角 70° > 入射角 50° > 入射角 35°。

經兩兩比較，入射角 35°與入射角 50°的反照率 (p 值<0.05)、入射角 35°與入射角 70°的反照率(p 值<0.05)相比均有顯著差異。

(二)一般海水

入射角\項目	入射光(單位:lux)	反射光(單位:lux)	反照率
35°	17500	404.5	0.023
50°	17500	669.5	0.038
70°	17500	1357.5	0.077



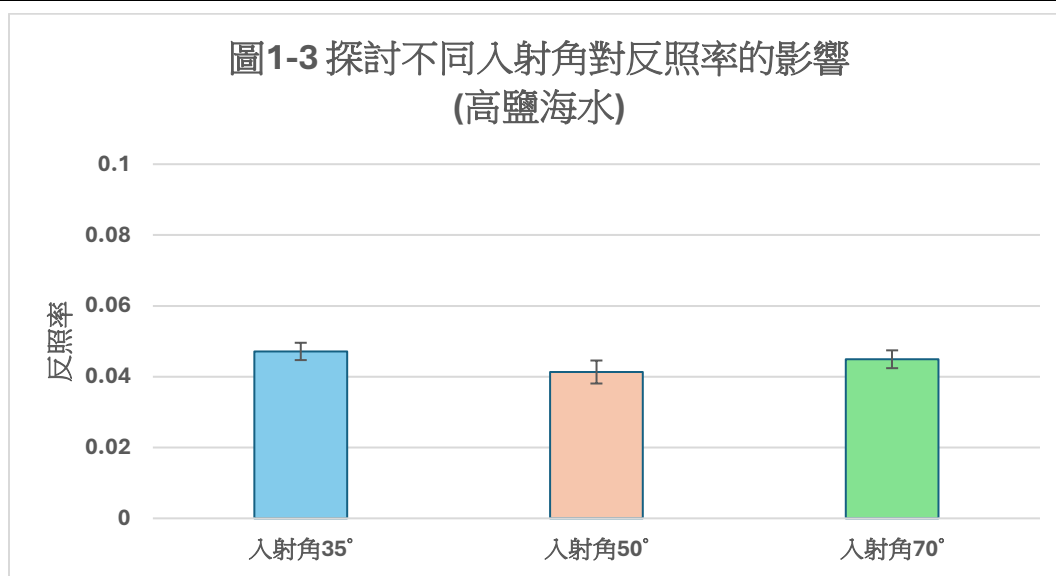
根據圖 1-2:

水體為一般海水時，反照率由高至低為:入射角 70° > 入射角 50° > 入射角 35°。

經兩兩比較，入射角 35°與入射角 50°的反照率 (p 值<0.05)、入射角 35°與入射角 70°的反照率(p 值<0.05)相比均有顯著差異。

### (三)高鹽海水

入射角\項目	入射光(單位:lux)	反射光(單位:lux)	反照率
35°	17500	824.8	0.047
50°	17500	924.7	0.041
70°	17500	786.1	0.044



根據圖 1-3:

水體為高鹽海水時，反照率由高至低為:入射角 70° > 入射角 50° > 入射角 35°。

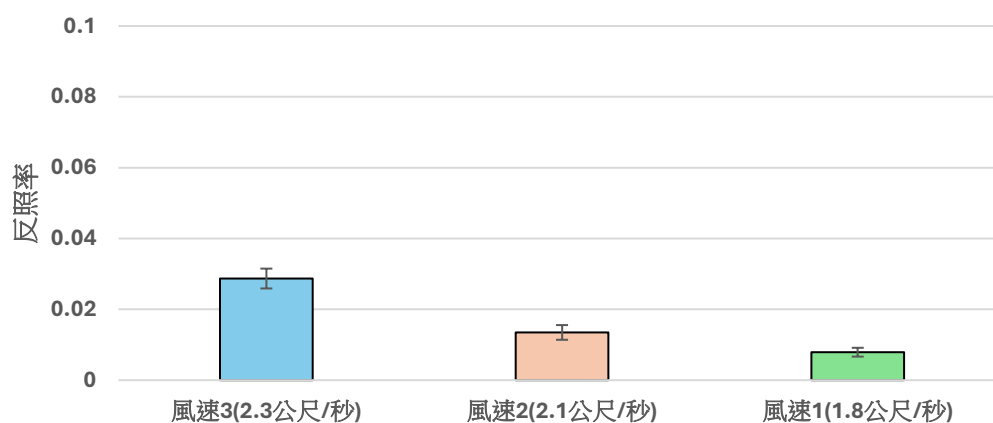
經兩兩比較，入射角 35°與入射角 50°的反照率 (p 值 < 0.05) 有顯著差異、入射角 35°與入射角 70°的反照率 (p 值 > 0.05) 相比則無顯著差異。

## 二、 風吹拂海水對反照率的影響

### (一)入射角 35°

入射角/項目	入射光(單位:lux)	反射光(單位:lux)	反照率
風速小(1.8 公尺/秒)	17500	138.3	0.007
風速中(2.1 公尺/秒)	17500	235.9	0.013
風速大(2.3 公尺/秒)	17500	502.3	0.028

圖2-1 探討不同風速對反照率的影響  
(入射角35°)



根據圖 2-1:

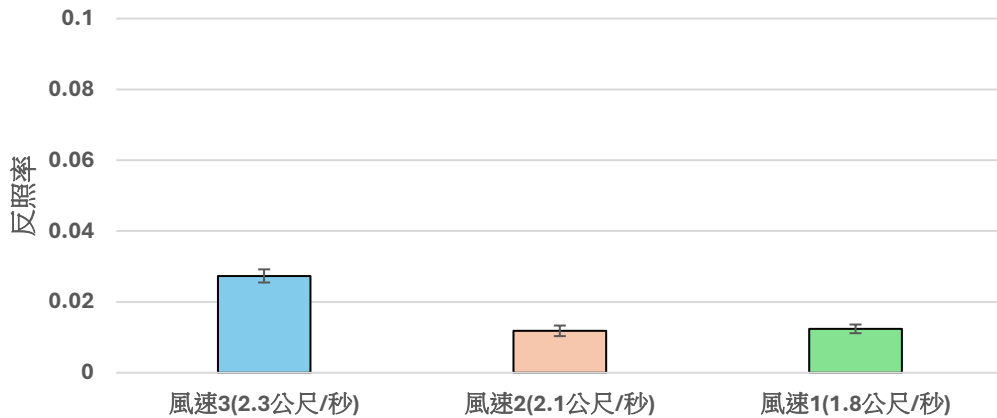
入射角為 35 度時，反射率由高至低依序為：風速大 > 風速中 > 風速小。

經兩兩比較，風速大與風速小的反射率、風速大與風速中(p 值<0.05)相比均有顯著差異。

### (二)入射角 50°

入射角/項目	入射光(單位:lux)	反射光(單位:lux)	反照率
風速小(1.8 公尺/秒)	17500	216.8	0.012
風速中(2.1 公尺/秒)	17500	207.1	0.011
風速大(2.3 公尺/秒)	17500	478.3	0.027

圖2-2 探討不同風速對反照率的影響  
(入射角50°)



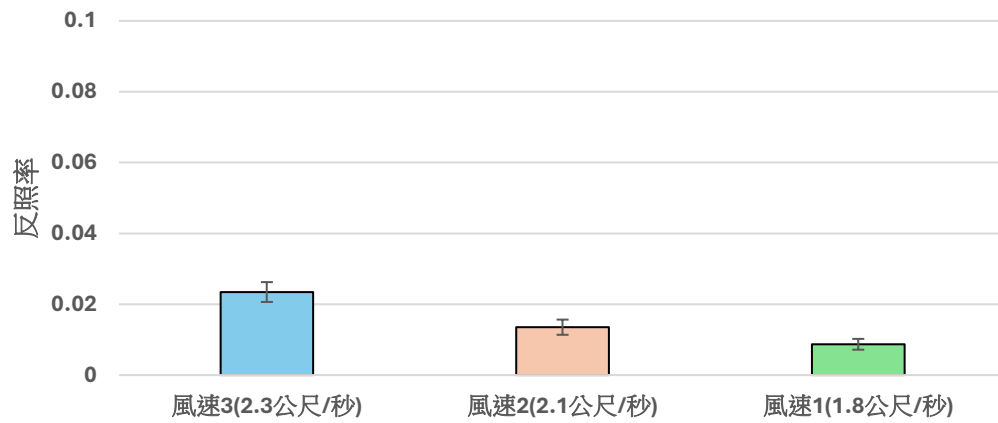
根據圖 2-2:

入射角為 50 度時，反射率由高至低依序為：入射角 70° > 入射角 50° > 入射角 35°。經兩兩比較，風速大與風速小的反射率、風速大與風速中的反射率 ( $p < 0.05$ ) 均具有顯著差異。

(三)入射角 70°

入射角/項目	入射光(單位:lux)	反射光(單位:lux)	反照率
風速小(1.8 公尺/秒)	17500	152.1	0.008
風速中(2.1 公尺/秒)	17500	236.6	0.013
風速大(2.3 公尺/秒)	17500	410.3	0.023

圖2-3 探討不同風速對反照率的影響  
(入射角70°)



根據圖 2-3:

水體為一般海水時，反射率由高至低依序為：風速大> 風速中> 風速小。

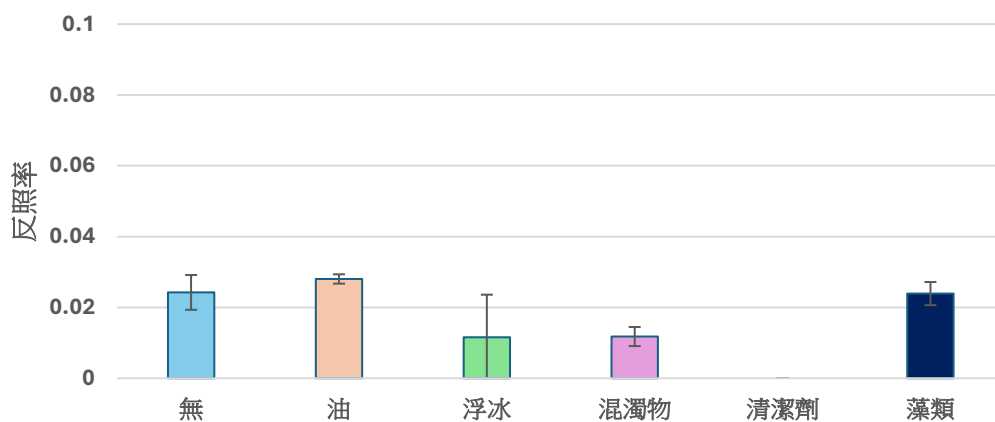
經兩兩比較，風速大與風速中的反射率 ( $p < 0.05$ )、風速大與風速小的反射率 ( $p < 0.05$ )均具有顯著差異。

### 三、 海水表面狀況對反照率的影響

#### (一)入射角 35 度

表面狀況\項目	入射光(單位:lux)	反射光(單位:lux)	反照率
無漂浮物	17500	404.5	0.023
油污	17500	490.67	0.028
浮冰	17500	61.3	0.003
混濁物	17500	206.33	0.011
清潔劑	17500	0	0
藻類	17500	418.5	0.023

圖3-1 探討不同海水表面狀況對反照率的影響  
(入射角35°)

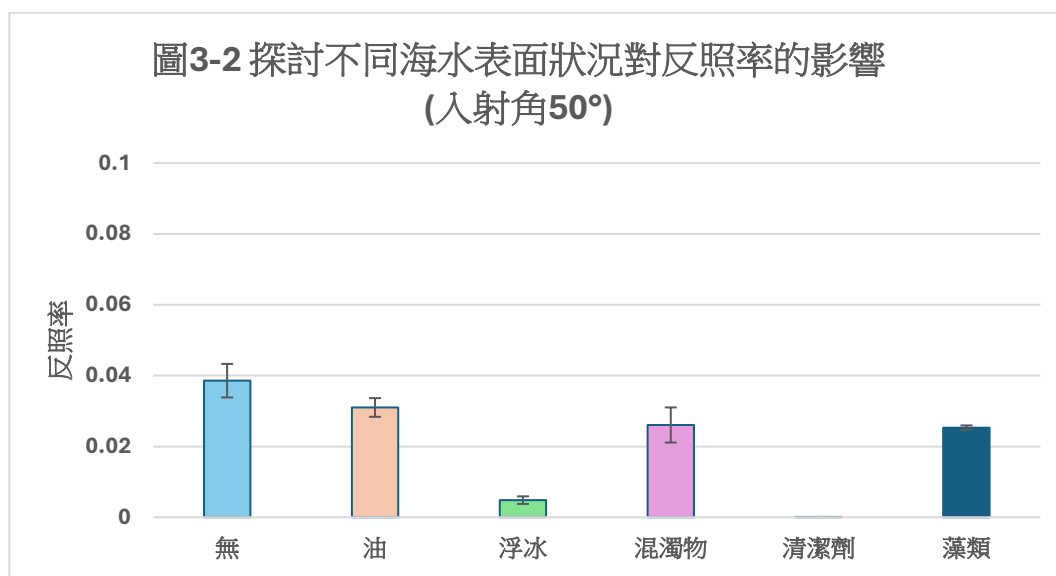


根據圖 3-1:

入射角 35 度時，反照率由高至低為：油 > 無漂浮物 > 混濁物 > 浮冰 > 清潔劑。  
經兩兩比較，無漂浮物與油的反照率 (p 值<0.05)、無漂浮物與浮冰的反照率 (p 值<0.05)、無漂浮物與混濁物的反照率 (p 值<0.05)、無漂浮物與清潔劑的反照率 (p 值<0.05)相比均有顯著差異。

(二)入射角 50 度

表面狀況\項目	入射光(單位:lux)	反射光(單位:lux)	反照率
無漂浮物	17500	669.5	0.038
油污	17500	542.5	0.031
浮冰	17500	84.6	0.004
混濁	17500	455.8	0.026
清潔劑	17500	1.1	0.00006
藻類	17500	442.3	0.025



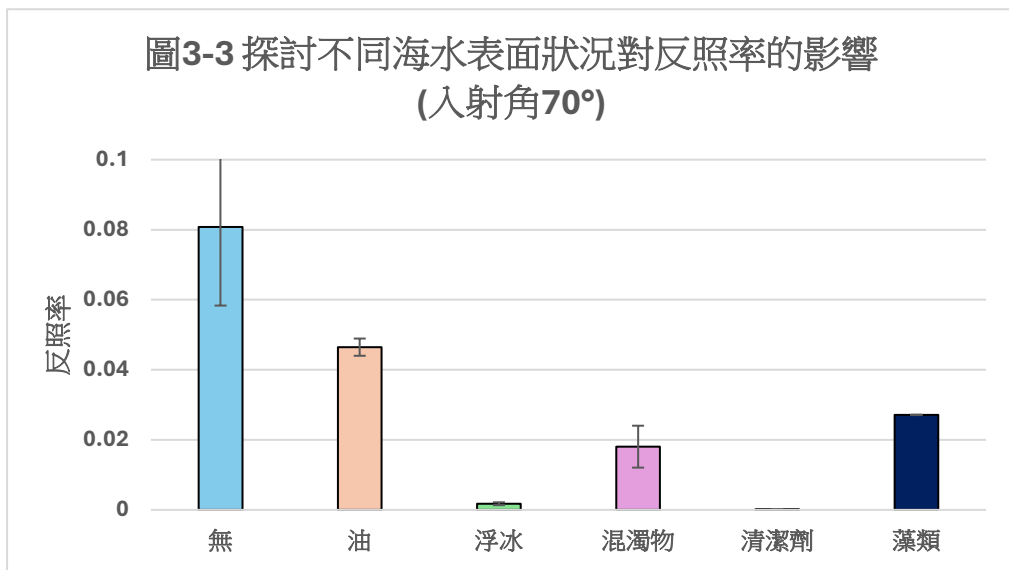
根據圖 3-2:

入射角 50 度時，反照率由高至低為：無漂浮物>油 > 混濁物 > 浮冰 > 清潔劑。

經兩兩比較，無漂浮物與油的反照率 (p 值<0.05)、無漂浮物與浮冰的反照率 (p 值<0.05)、無漂浮物與混濁物的反照率 (p 值<0.05)、無漂浮物與清潔劑的反照率 (p 值<0.05)相比均有顯著差異。

(三)入射角 70°

表面狀況\項目	入射光(單位:lux)	反射光(單位:lux)	反照率
無漂浮物	17500	1357.5	0.077
油汙	17500	813	0.046
浮冰	17500	30.6	0.001
混濁	17500	315.8	0.018
清潔劑	17500	2.17	0.0001
藻類	17500	474.6	0.027



根據圖 3-3:

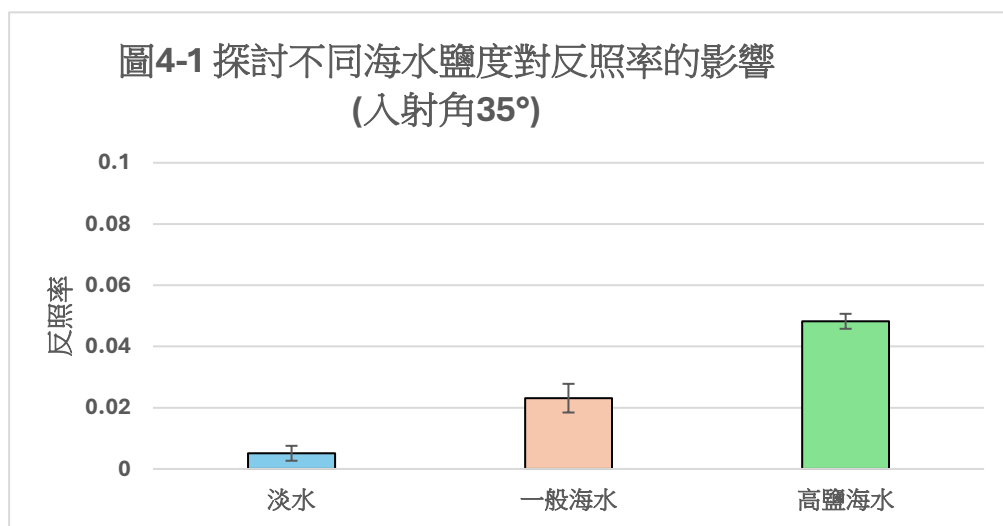
入射角 70 度時，反照率由高至低為：無漂浮物>油 > 混濁物 > 浮冰 > 清潔劑。  
經兩兩比較，無漂浮物與油的反照率 (p 值>0.05)相比無顯著差異、無漂浮物與浮冰的反照率 (p 值<0.05)、無漂浮物與混濁物的反照率 (p 值<0.05)、無漂浮物與清潔劑的反照率 (p 值<0.05)相比則有顯著差異。

## 第二部分、海水水中散射對反照率的影響

### 一、 不同鹽度水體對反照率的影響

#### (一)入射角 35 度

鹽度\項目	入射光(單位:lux)	反射光(單位:lux)	反照率
淡水	17500	89.6	0.005
一般海水	17500	404.5	0.023
高鹽海水	17500	824.8	0.047



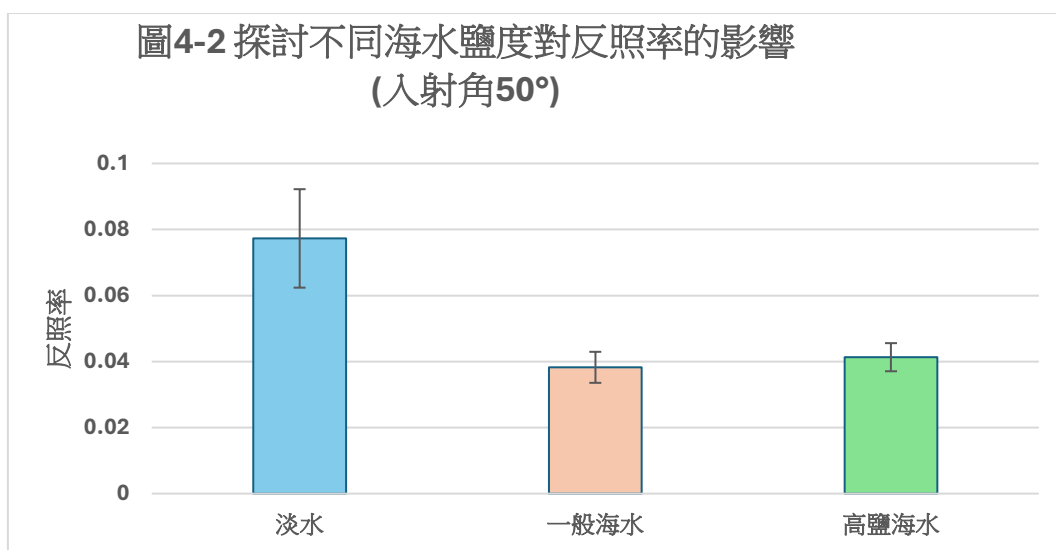
根據圖 4-1:

入射角 35 度時，反照率由高至低為:高鹽海水 > 一般海水 > 淡水。

經兩兩比較，淡水與一般海水的反照率 (p 值<0.05)、淡水與高鹽海水的反照率(p 值<0.05)相比均有顯著差異。

(二)入射角 50 度

鹽度\項目	入射光(單位:lux)	反射光(單位:lux)	反照率
淡水	17500	1352.6	0.077
一般海水	17500	669.5	0.038
高鹽海水	17500	924.7	0.041



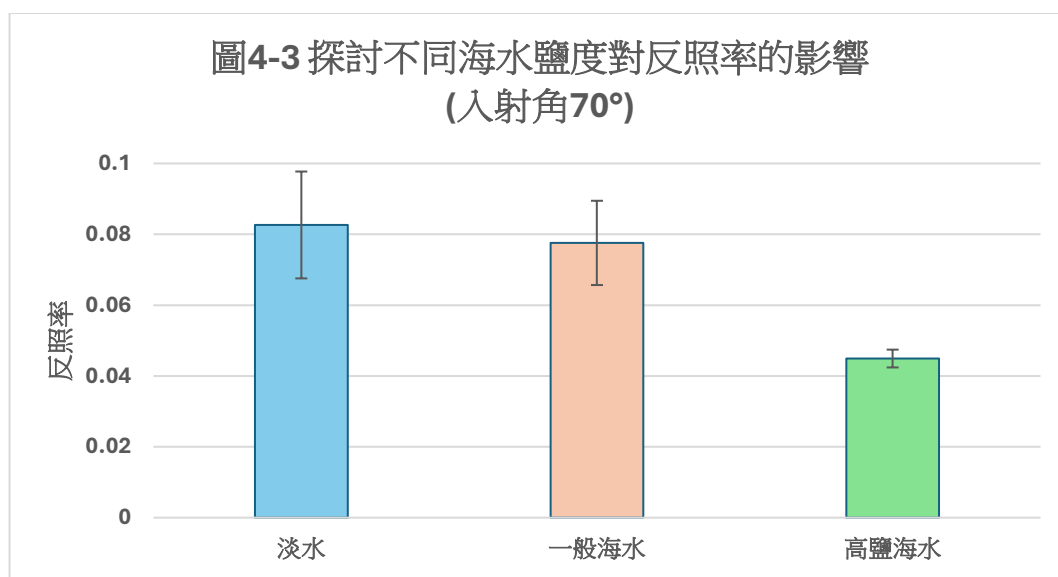
根據圖 4-2:

入射角 50 度時，反照率由高至低為:淡水 > 高鹽海水 > 一般海水。

經兩兩比較，淡水、一般海水的反照率(p 值<0.05)有顯著差異、淡水與高鹽海水的反照率(p 值>0.05)則無顯著差異。

(三)入射角 70 度

鹽度\項目	入射光(單位:lux)	反射光(單位:lux)	反照率
淡水	17500	1446.1	0.082
一般海水	17500	1357.5	0.077
高鹽海水	17500	786.1	0.044



根據圖 4-3:

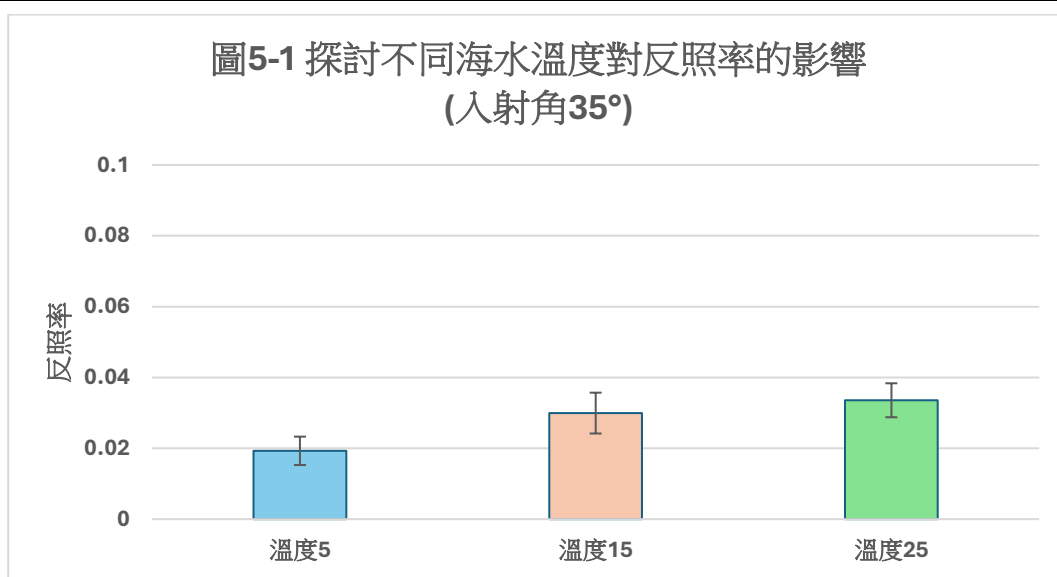
入射角 70 度時，反照率由高至低為:淡水 > 一般海水 > 高鹽海水。

經兩兩比較，淡水、一般海水的反照率(p 值>0.05)、淡水與高鹽海水的反照率(p 值>0.05)相比均無顯著差異。

## 二、 水溫對海水反照率的影響(一般海水)

### (一)入射角 35 度

水溫\項目	入射光(單位:lux)	反射光(單位:lux)	反照率
5°C	17500	337.6	0.019
15°C	17500	524.1	0.029
25°C	17500	587.5	0.033



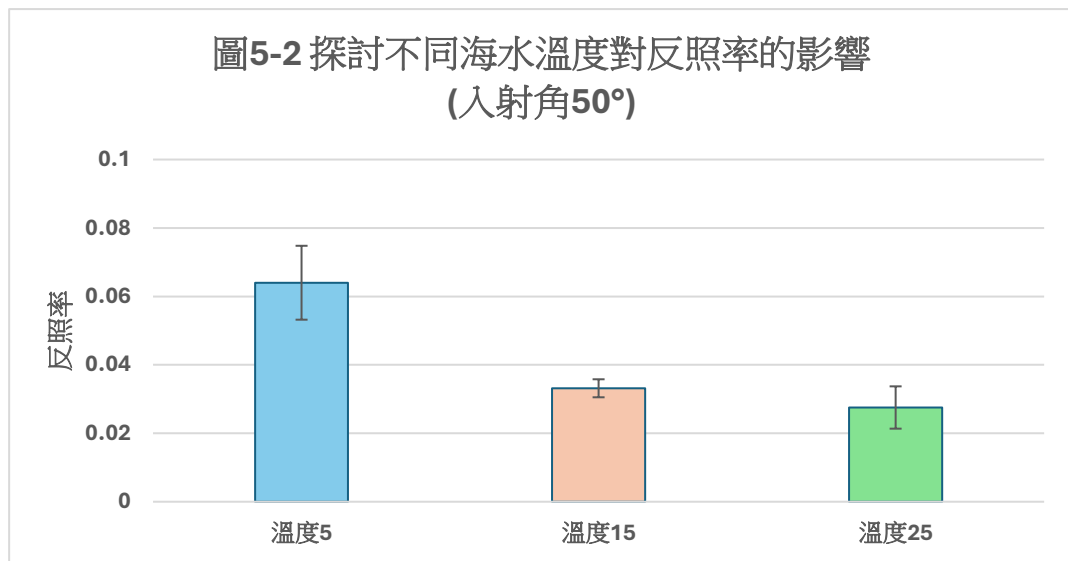
根據圖 5-1:

入射角 35 度時，反照率由高至低為:水溫 25 度 > 水溫 15 度 > 水溫 5 度。

經兩兩比較，水溫 5 度與 15 度的一般海水的反照率(p 值<0.05)、水溫 5 度與 25 度的一般海水的反照率(p 值<0.05)相比均有顯著差異。

(二)入射角 50 度

水溫\項目	入射光(單位:lux)	反射光(單位:lux)	反照率
5°C	17500	1120	0.064
15°C	17500	580.1	0.033
25°C	17500	481.8	0.027



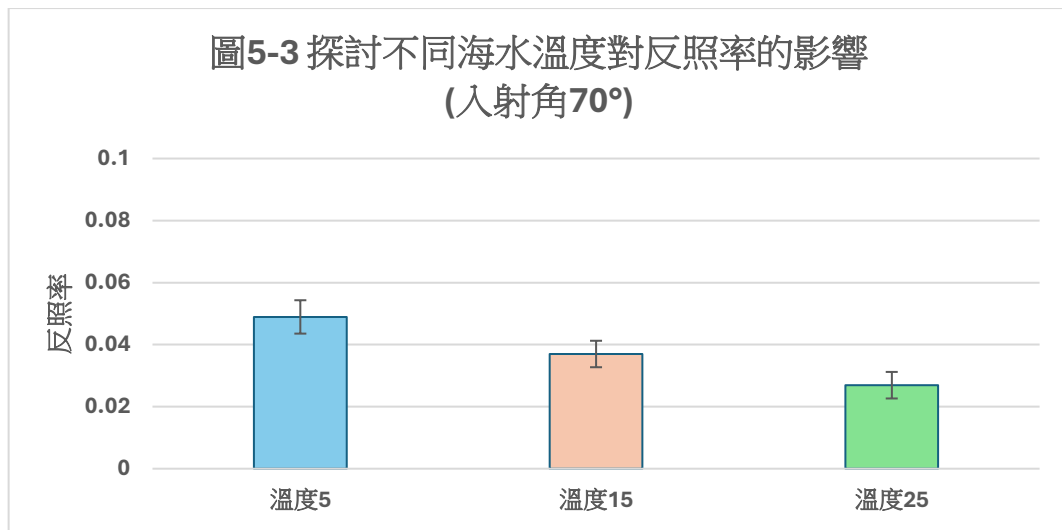
根據圖 5-2:

入射角 50 度時，反照率由高至低為:水溫 5 度 > 水溫 15 度 > 水溫 25 度。

經兩兩比較，一般海水 5 度與 15 度的反照率(p 值<0.05)、一般海水 5 度與 25 度的反照率(p 值<0.05)相比均有顯著差異。

(三)入射角 70 度

水溫\項目	入射光(單位:lux)	反射光(單位:lux)	反照率
5°C	17500	856.3	0.048
15°C	17500	647.1	0.036
25°C	17500	471.1	0.026



根據圖 5-3:

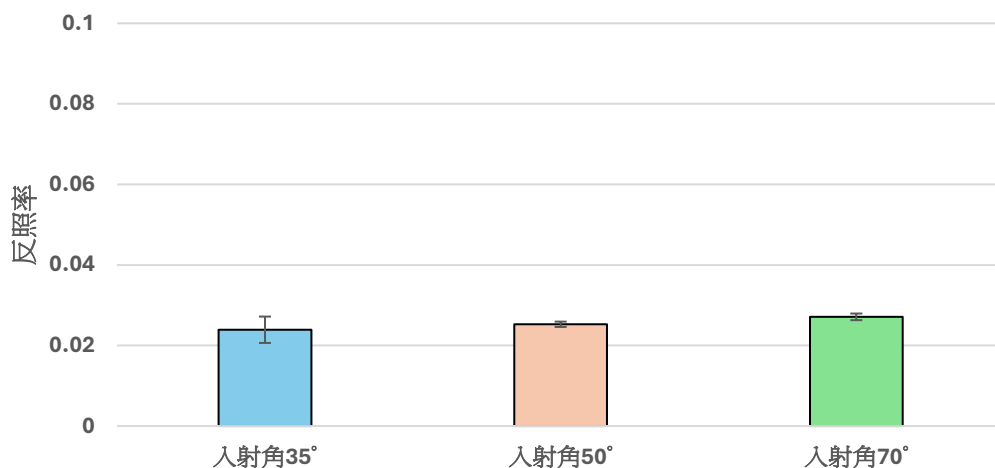
入射角 70 度時，反照率由高至低為:水溫 5 度 > 水溫 15 度 > 水溫 25 度。

經兩兩比較，一般海水 5 度與 15 度的反照率(p 值<0.05)、一般海水 5 度與 25 度的反照率(p 值<0.05)相比均有顯著差異。

### 三、 加入藻類(浮游生物)後對反照率的影響

入射角/項目	入射光(單位:lux)	反射光(單位:lux)	反照率
入射角 35°	17500	418.5	0.023
入射角 50°	17500	442.3	0.025
入射角 70°	17500	474.6	0.027

圖6-1 探討加入藻類對反照率之影響



根據圖 6-1:

加入藻類後，反射率由高至低依序為：入射角 70° > 入射角 50° > 入射角 35°。

經兩兩比較，各入射角間的反照率 ( $p > 0.05$ ) 均無顯著差異。顯示在加入藻類的水體中，改變入射角度對於整體反照率的影響並不明顯。

## 伍、討論

根據文獻回顧，反照率應受到入射角、折射率和表面狀況等因素影響。然而，本實驗部分研究結果與理論不完全一致，因此，本章將分析實驗結果與探討誤差原因。

### 一、海水表面反射對反照率的影響

#### (一)光由不同入射角照射對反照率之影響

由實驗數據呈現的趨勢，我們發現在入射角 35°→50°→70°時，淡水與一般海水的反照率皆呈現上升趨勢。特別是在入射角 70° 時，反照率增加的幅度最為明顯。若細看數據的變化規律，我們發現 35° 到 50° 之間的反照率增加速度，明顯比 50° 到 70° 快得多。此結果

符合菲涅耳方程式所描述的反射率曲線規律，反照率並非呈線性成長，而是在角度較小時變化比較劇烈，等到角度變大後，增加趨勢才逐漸變得平緩。

推測原因:

1. 光以較小入射角射入時，光束會集中的打在水面上，能量密度高且多被海水吸收，反射回來的光因此較少，所以反照率較低。
2. 當光以較大入射角射入時，光線更容易被水面波動干擾而形成反射條件，使測得的反射光變多，照度較大。

此外，若比對至實際太陽光入射角，我們發現這個結果可以解釋在一天當中，清晨或黃昏時看海面更容易有波光粼粼的現象，因此時太陽光入射角較大，反照率較高。

**小結論 1:光線照射海面的入射角可能是影響反照率的主要因素。**

## (二)風吹拂海水對反照率之影響

在理想狀態下，菲涅耳方程式僅適用於「平滑鏡面」，然而，真實的海面充滿波浪，波浪會改變局部表面的傾斜度，使原本單一的太陽入射角變成一組隨機分布的入射角，而粗糙的海面會使低角度的反照率降低，但會增加高角度時的反照率。本實驗結果顯示，當風速越大，其反照率就隨之升高。

推測原因:

1. 當光線射入凹凸不平的波峰與波谷之間時，光線可能會在波浪兩側間進行反射與散射。對於某些特定入射角，這種散射會增加光線回到大氣中的機率，而不是被海水吸收。
2. 在低入射角時，平滑水面反射低，但波浪的傾斜面會讓部分光線以較大的入射角接觸水面，反而增加了反照率。

**小結論 2:風吹拂海水會影響反照率。**

## (三)海水表面狀況對反照率的影響

根據菲涅耳方程式，表面平滑程度會影響鏡面反射效果，若表面粗糙或有覆蓋物，則反射將由鏡面反射轉為漫射，反照率應會減少。在本研究中，我們模擬海水中可能會出現浮冰、油汙、汙染物、清潔劑、浮游生物等情況，結果顯示當海水表面有懸浮物時，反照率均

會降低，推測應是懸浮物造成漫射增加，反射光不集中，反照率因此下降。下面分項討論可能的原因：

### 1.浮冰組：

(1)根據觀察，浮冰表面有稜角並非完全平滑，光線射入後會產生漫射現象。因為測光計的接收範圍有限，只能偵測到特定方向的反射光，無法完全接收冰面反射出的總反射能量，因此測出來的數會明顯偏低。此外，因為冰塊在水面上的漂浮分布並不規則，擋住部分反射路徑，這也是影響數據準確性的因素。

(2)此外，我們發現實驗結果與現有部分文獻指出浮冰有較高反照率不同的原因，可能與實驗尺度差異有關。不同於極地大面積且平整的冰原，本實驗使用的冰塊體積較小且形狀不規則，當入射光照射到細碎的冰塊與水面交界處時，會產生明顯的漫射，導致光線向四周散射，使得測光器接收到的反照率數值與理論值產生偏差。

### 2.油汙組

我們在水面上滴油時，因油水分離會形成大小不一的油滴，油膜的厚度其實很難抓到完全均勻，加上油跟水接觸的地方會有一些微小的晃動，這會干擾光的反射。而油跟水的反射率差異小，所以光線經過時的變化幅度有限，這代表單靠油膜，可能不足以徹底改變整體的反射比例。

### 3.清潔劑組

(1)泡沫是由無數個小氣泡所組成，而這等同於大量的氣、液界面。光線射進去後，在氣泡之間來回反射，就是『多重散射效應』，因此光線無法集中反射至測光計，測得反照率極低；此外，清潔劑為界面活性劑，在現實生活中，海水內有許多物質，清潔劑具有乳化效果，容易讓海水變混濁，導致吸收光變多，反照率變低。

(2)清潔劑組數據與現有部分文獻指出清潔劑讓反射光增加的結論不符，我們推測可能因為實驗容器面積較小，導致清潔劑產生的氣泡直徑相對較大，這些氣泡在水面上如同固體浮冰，形成了不規則的反射面。當入射光照射時，會產生明顯的漫反射，導致光線向四周散射，而非形成文獻中所述細緻泡沫形成的均勻反射層，造成觀測數據偏差。

本研究顯示，海水反照率並非僅由材料本身決定，而是由表面幾何結構、懸浮物分布與多重散射機制共同影響。由實驗結果推論，海洋污染與表面結構改變可能降低有效反照率，增加太陽輻射吸收，進而強化暖化正回饋機制。因此我們推論，

在實際環境中，若希望提升海水表面反照率，減少海水中的懸浮物，維持表面平滑，可能是一種可行方式。

**小結論 3:**海水表面的反照率取決於物質本身的反照係數之外，更會受到表面狀況及散射的影響。

## 二、海水水中散射對反照率的影響

### (一)不同鹽度水體對反照率之影響

入射角\反照率	35°	50°	70°
淡水	0.01	0.08	0.08
一般海水	0.02	0.04	0.08
高鹽海水	0.05	0.04	0.04

在文獻探討中，根據勞倫次方程式，溶液濃度增加會使折射率跟著提升；再結合菲涅耳方程式來看，當兩種介質（空氣與水）的折射率差異越大，反射率會越高。因此，理論上高鹽度海水的反照率，應比淡水還要高。

然而，本實驗結果顯示：

1. 在 35° 時：高鹽海水 > 一般海水 > 淡水。
2. 在 50° 時：高鹽海水與一般海水差不多，都小於淡水。
3. 在 70° 時：淡水與一般海水差不多，都大於高鹽海水。

綜合來看，實驗結果只有部分符合折射率理論。

推測原因：

1. 濃度會改變折射率，但鹽度造成的折射率變化非常小。在我們簡易的實驗設備下，這種細微的差異可能很難被精確地捕捉到。
2. 入射角變大時，角度因素的影響大於折射率差異，使鹽度效應被掩蓋。

查閱文獻時我們發現當衛星觀測海溫或鹽度時，須考慮入射角對反照率的干擾。本實驗證實大角度會掩蓋鹽度效應，由此推論分析高、低緯度海域反照率資料時，應採用不同的修正模型以提升準確度。

**小結論 4:**鹽度對反照率的影響沒有規律性，因此非影響主因。

## (二)不同海水溫度對反照率之影響

根據勞倫茲-勞倫次方程式，水溫上升(5°到 15°及 15°到 25°)會使水的密度下降，折射率略為降低。而依據菲涅耳方程式推論，當折射率下降時，界面反射比例理應略微減少，因此理論上高溫水體的反照率應稍低於低溫水體，吸收熱能較多。

然而本實驗結果顯示:在入射角 35° 時，反照率比較為 25°C > 15°C > 5°C； 在入射角 50°、70° 時：5°C > 15°C > 25°C，結果並非完全符合折射率單一變因的理論預測。在這兩個入射角時，因低溫時反照率較高，海水吸收熱能較少；而當高溫時反照率較低，海水吸收較多熱能。因此推測若要使海洋溫度降低，增加反照率是可行的方式。

推測原因：

1. 溫度升高可能使水面產生微小對流與波動，影響鏡面反射的穩定性。
2. 溫度對折射率的影響幅度極小，在本實驗尺度下容易被水面物理狀態改變所掩蓋。

此外，本研究發現當水溫升高時，海水在某些角度下反射陽光的能力會變弱（反照率降低），導致更多熱量被吸收。這可能會造成一個危險的現象：海水越熱，就越容易吸熱，進而讓暖化速度加劇。

**小結論 5：水溫可能影響反照率，但其影響並非單純來自折射率變化，可能與水面穩定度有關。**

## (三)海水中有浮游生物、混濁物質對反照率之影響

海水中有許多浮游生物存在，藻類是其中很重要的生產者，會吸收光進行光合作用，推測光能被其吸收後反射出的能量較少，因此不易測得反射光。此外，藻類與混濁物組成複雜，照光後除了光被吸收外，也有多重散射的狀況，使光無法集中反射，測得反照率較低。

**小結論 6：海水中有浮游生物或混濁物質會使反照率降低。**

## 陸、結論

本研究模擬不同的海水環境情境來討論對海水反照率的影響，發現影響反照率的最主要因素為光線照射的入射角，角度越大時反照率越高，且呈現非線性成長；同時，風浪會改變海面的反射結構，將單一入射角轉為隨機分布，進而影響光線反射回大氣的機率。此外，若海面存在油污、清潔劑等覆蓋物，或是水中有泥沙與浮游生物等懸浮物時，會引發多重散射與光能吸收，破壞原有的鏡面反射，導致有效反照率大幅降低。相較之下，鹽度與溫度對海水折射率的影響極為微小，極容易被大入射角的影響所掩蓋。

將這些發現延伸應用至現實環境:首先，水溫升高恐致使特定角度下的反照率降低，讓海洋吸收更多熱量，可能加劇全球暖化的危險正回饋機制；其次，海洋污染物會降低反照率並增加地球吸熱，凸顯了維持海洋純淨有助於減緩暖化；最後，大角度會掩蓋鹽度效應的證實，提醒了科學家在觀測不同緯度海域時須採用不同的修正模型，為現今衛星遙測技術提供校正依據。

## 柒、參考文獻資料

- 1、 Cox, C., & Munk, W. (1954). Measurement of the roughness of the sea surface from photographs of the sun's glitter. *Journal of the Optical Society of America*, 44(11), 838–850.
- 2、 Jin, Z., Charlock, T. P., Smith, W. L., Jr., & Rutledge, K. (2004). A new parameterization of ocean surface albedo. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109(D15107).
- 3、 Mobley, C. D. (1994). *Light and water: Radiative transfer in natural waters*. Academic Press.
- 4、 Preisendorfer, R. W. (1976). *Hydrologic optics*. U.S. Department of Commerce.