

沙奇盤調查設備暨透視度水深關係式

Investigation Instrument of Secchi Disk and Relations of Water Depth and Transparency

鍾文彥 ¹	李佩珊 ¹	白敏思 ²	蕭輔導 ³
Jung, Wen Yan	Lee, Pei shan	Pai, Min Szu	Hsiao, Fu Dao
內政部土地測量局	內政部土地測量局	內政部土地測量局	內政部土地測量局
Land Survey Bureau	Land Survey Bureau	Land Survey Bureau	Land Survey Bureau

【摘要】

我國目前正積極辦理海域測量，以完整建置海域基本圖資提供各界應用。海域資料為各項國家建設之重要基礎，其中海洋水色資料可反應出生態環境、河川排放、水中植物生長資訊，進而可瞭解海洋的生產潛力。海洋水色可以衛星遙測方式大範圍地獲取，而本研究則採沙奇盤進行。沙奇盤調查因受環境、人為等因素引入誤差以致獲得不同結果，本研究設計一客觀之調查設備，係採數值照相方式記錄沙奇盤在水面下之影像，可藉以建立一較客觀且精度一致之透視度測量成果。

光學系統率定包括傳遞參數值及像場的亮度均勻性，以率定後調查設備於海邊港區內實驗，並以 10 公分為間距記錄沙奇盤之水下影像至沙奇盤無法判釋。結果以軟體處理沙奇盤亮部與暗部之灰度值，並分別以二項式及線性式進行迴歸，迴歸結果發現亮部影像灰度值隨水深增加而越趨變暗，呈現反比關係，然暗部影像變化較不顯著。經由實驗過程，另構思設計透視度棒，配合光學系統以船隻為載具，將可以同時具備效率及精度之方式獲得大範圍水體之透視度與水深間關係，未來並將測試沙奇深度與平均衰減係數關係。

關鍵詞：透視度、沙奇盤、光學

The hydrographic survey plans are being performed positively to completely map ocean charts. Ocean colors reflect the ecological environment, river pollution, plankton. All of the above can lead to the understanding of ocean productivity. Ocean color can be obtained from satellite images, Secchi disk is used in this study. The survey procedure of Secchi disk is affected by the observation system—the human eyes and surrounding environment, as a result, certain errors are introduced. We design an objective investigation instrument, in which digital camera and related accessories were combined to record the image of Secchi disk under water.

The optics are calibrated by using modulation transfer function and also testing whether the illumination of digital photos are uniform or not. The experiment is done by take pictures of the Secchi disk under water with the interval of 10 cm until it disappeared. The reflected grey values of Secchi disk from different depths are being analyzed and using the technique of regression to gain the relationship of water depth and Secchi depth.

¹內政部土地測量局海洋測量課測量員

²內政部土地測量局海洋測量課課長

³內政部土地測量局前局長

The regression result of the white part of Secchi disk shows a direct proportion, however the result of the black part is not very conspicuous. A transparency bar is designed and expected to accompany the optic system and a ship to gain the relationship of transparency and water depth with efficiency. We also look forward to test the Secchi depth and average attenuation coefficient.

Keywords: Transparency, Secchi Disk, Optics

一、緣起

臺灣為海島型國家，豐富之海洋與陸地資源對國家的重要性不相上下。海洋的探究，除了採用聲音以獲取海底之深度及了解地殼性質厚度外，太陽輻射能與海水的反射折射作用對海水造成之影響，則須藉由光的研究以獲致。海水顏色除光在水體中自然之衰減外，主要隨著海水深度、海底底質、浮游生物、河川污染物等因素而變化，海洋水色的重要性即在其可反應海洋中生物，其中浮游生物又為海洋生物鍊重要的一環，因此可以從海洋水色的資料了解海洋的生產潛力。

海洋水色之研究，國際上於 1978 年發射 Nimbus-7 衛星為首先以其酬載之（Costal Zone Color Scanner, CZCS）觀測海洋水色，其於 1986 停止任務。接續的是 1996 年發射的 ADEOS-I 衛星酬載之（Ocean Color and Temperature Sensor, OCTS）、1997 年發射之 SeaStar 衛星酬載之海視廣角感應器（Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor, SeaWiFS）及我國於 1999 發射之 ROCSAT-1 衛星酬載之海洋水色照相儀（Ocean Color Imager, OCI）。

與海洋衛星遙測採用被動式接收太陽波譜感應器不同，測深光達（Bathymetric Lidar）則是主動式以雷射產生器經倍頻後產生之綠光，其出射波波長包含 1064nm 及 532nm。其中 532 nm 波長屬綠光波段，具透水能力；另因水體中氫氧鍵與綠光產生之飛彈性碰撞，回訊時產生一紅光波段，可藉以經確定義水面（史天元，2005），因此測深光達可獲致水深及水面資訊。

此外，沙奇盤（Secchi Disk）又稱賽氏盤則可直觀地獲取水體透視度或稱透明度（visibility, transparency, clarity），或反稱為濁度（turbidity）。沙奇盤廣泛地使用於水體監測，如丹麥哥本哈根大學發表「以沙奇深度資料探勘研究北海與波羅的海的透視度」，澳洲海洋資料中心亦訂定以沙奇盤觀測須記錄基本格式及資料...。本研究即採用沙奇盤進行調查，並分析調查成果獲致水體關係，亦研發一改良之沙奇深度調查設備。

獲得海水透視度最直接的方法為利用沙奇盤觀察水的沙奇深度，但此方法常因環境、人為等因素而獲得不同結果，為更客觀有效地獲取沙奇深度紀錄，本研究利用數位相機拍攝水中沙奇盤上白色部份及黑色部分（以下簡稱為亮部及暗部），來代替人眼觀察，並藉由影像記錄其亮度反應值，推導出沙奇盤水下光學模型，建立海水透視度及水深關係式。

再者，因採用沙奇盤進行實驗之過程中，需在同一地點，以精確的水深間隔進行採樣，方能獲得一測量點位之整體透視度變化情形，且僅能獲致不連續之點狀成果，不甚便利，又耗時不經濟，本研究乃為推得一區域性之透視度狀況，因此設計改良沙奇盤為一棒狀調查設備（暫稱為透視度棒），原理乃在一面積不大之範圍其

透視狀況應可視為一致，經由設計透視度棒與水面之夾角，即可一次獲取由水面至透視度棒消失點之透視狀況，再經適當換算，即可將透視度棒上等間距之間隔與數位相機拍攝影像進行對應，預期以透視棒獲取之連續性透視度資料將可獲取更大面積之透視度資料。

二、光學系統率定

本研究採用目前市售中高階數位單眼相機（詳細規格如附件一）作為記錄工具，與一般消費型數位相機相較可提供使用者更多元及更彈性設定，如鏡頭焦距、光圈、快門（曝光時間）、感光度，惟使用攝影系統仍有諸多光學上系統誤差及限制須作先行研究，諸如：鏡頭光學解析力、感光元件（CCD、COMS）的解析力及感光能力、像場的亮度均勻性等。

由於拍攝的對象為沙奇盤，就頻率域上屬低頻目標，且依先前（謝東發等，2006）以傳遞函數值（Modulation Transfer Function, MTF）分析影像對比情形，發現縱使影像出現嚴重失焦，對成果並不構成影響，如圖 1，即攝影系統之空間解析力對沙奇盤影像之紀錄影響不大，傳遞函數值一般常指成像系統對特定空間頻率之物體轉移對比能力，該值包含了「解析度」與「對比」的意義。其計算公式如下

$$\text{對比(調制度)} \% = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \times 100 \% \quad (1)$$

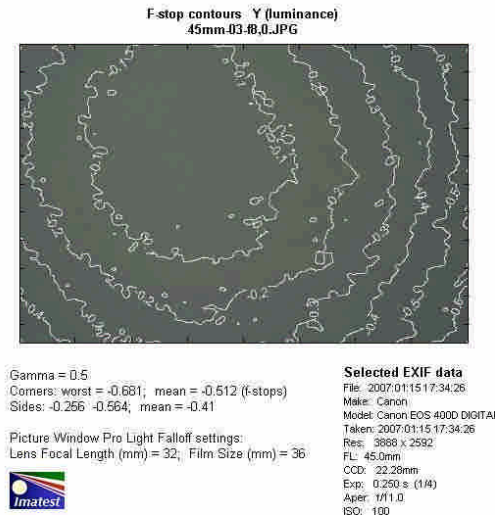
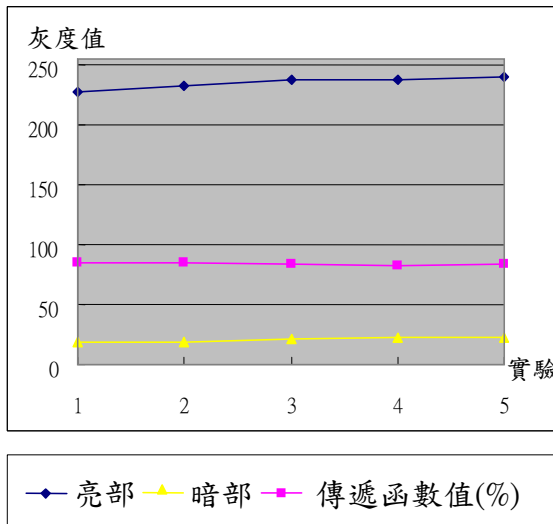


圖 1、傳遞函數值實驗結果（橫軸：實驗次數；縱軸：灰度值）（謝東發等，2006）
圖 2、像場的亮度均勻性測試之等 F-stop 圖

故本文就像場的亮度均勻性加以分析，因其攸關成像影像之光度擷取能力及其隱含的系統誤差，故須先作事前的測試及率定。

一般光學攝影系統常有開大光圈拍攝，其成像中央與周邊之亮度不均一的問題，俗稱暗角，而縮小光圈後會得改善這種情形，本測試表 1、4 種不同焦距於不同光圈條件下，成像中央與週邊之亮度差（單位：F-stop）

焦距 \ 光圈	27 公釐	37 公釐	45 公釐	55 公釐
27 公釐				
37 公釐				
45 公釐				
55 公釐				

在於了解所用鏡頭之光學特性，可於實地拍攝沙奇盤影像時避免使用錯誤的光圈，造成亮度值記錄之系統誤差。藉由拍攝亮度均勻的目標物，如：於採光均勻的條件下，空白的 A3 紙或灰卡垂直拍攝，並拍攝不同焦距 (focal length) 及光圈 (f-stop) 組合下影像，再利用 Imatest 軟體計算，計算出各種條件下成像中央與周邊之絕對照度差異 (如表 1 及圖 2 所示)，供爾後使用。

4	-1.55	-	-	-
5.6	-1.08	-0.93	-0.646	-1.19
8	-0.85	-0.887	-0.516	-0.753
11	-0.85	-0.714	-0.512	-0.493
16	-0.9	-0.769	-0.459	-0.466

三、實驗

外業地點為嘉義布袋港內岸邊，水深約 1.2 公尺，時間約為下午 3 時許，水面無陽光強烈反射及波紋，並應背對太陽在身影下觀察，實際操作流程參照水體透明度測定方法 (環保署, 1998)，所用沙奇盤為直徑 25 公分之黑白相間圓板 (如圖 3)，以目視觀察實際海水沙奇深度為 0.9m。

拍攝水下沙奇盤影像流程如下：1、將 Kodak 灰卡 (其一面是中灰度無彩色，另一面則是純白。灰色面反射率為 18% (±1%)，白色面反射率為 90%) 置於接近海面約 30 公分，灰面朝上，以相機內設測光錶，測得該正確曝光值，以此曝光作為此次拍攝之標準值 (如圖 4)。2、設定鏡頭之焦距為 45 公釐，光圈為 f8，物距調整至 3 公尺 (因相機置於水面上方 2 公尺處)。3、由水面開始以 10 公分為一間距，拍攝水中之沙奇盤影像，至目視無法辨視沙奇盤影像之之深度拍攝最後一張 (即 0.9 公尺)。實際水下沙奇盤影像拍攝狀況 (如圖 5)，拍攝成果如表 2。



圖 3、沙奇盤



圖 4、以 Kodak 灰卡測得標準曝光值狀況

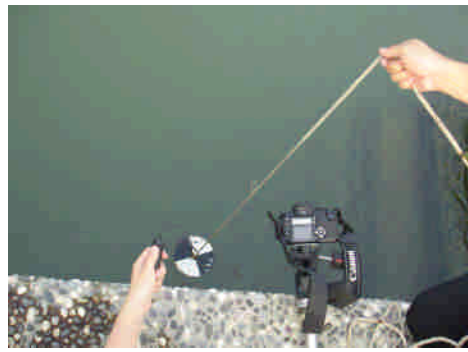
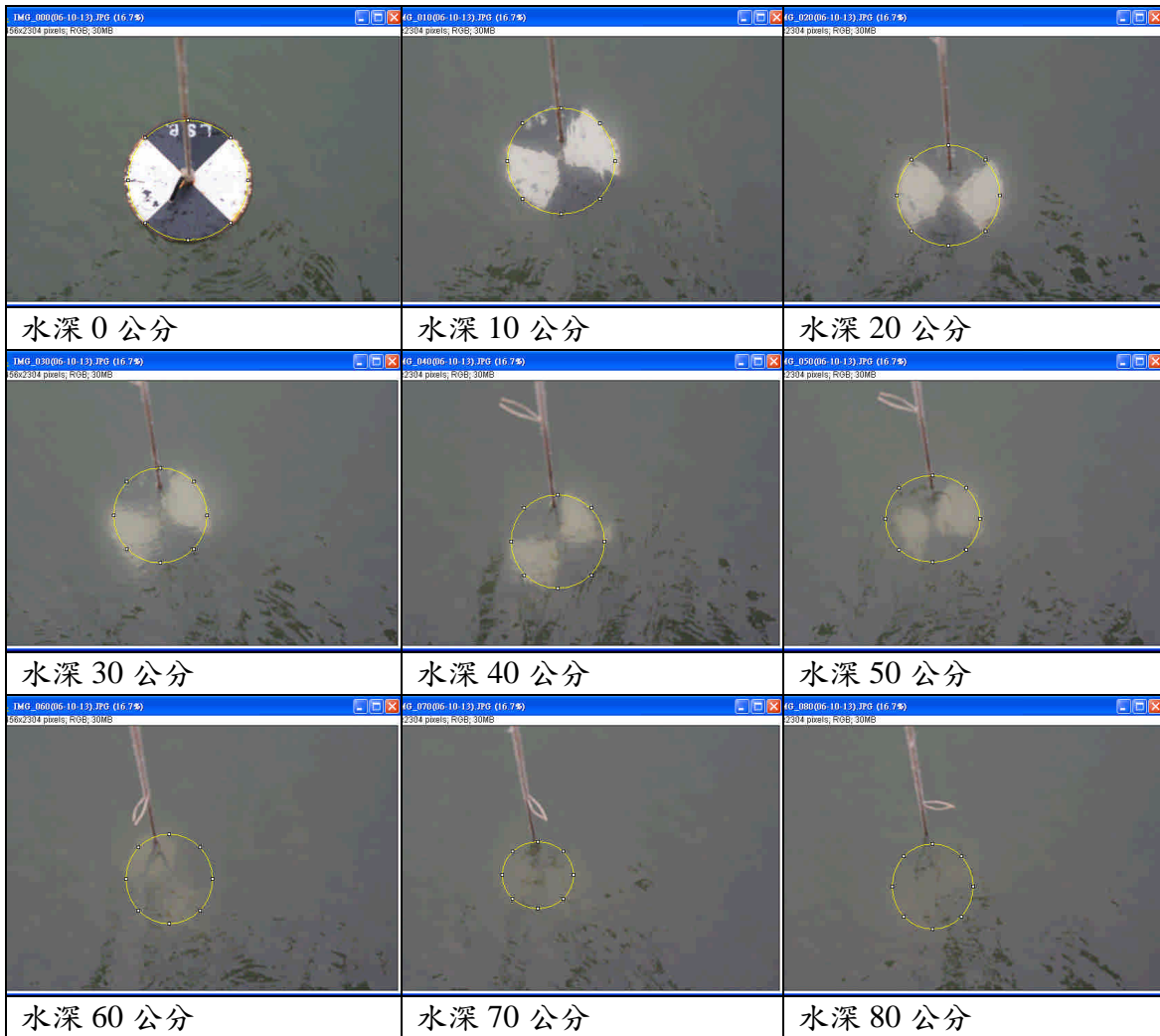


圖 5、實際水下沙奇盤影像拍攝狀況

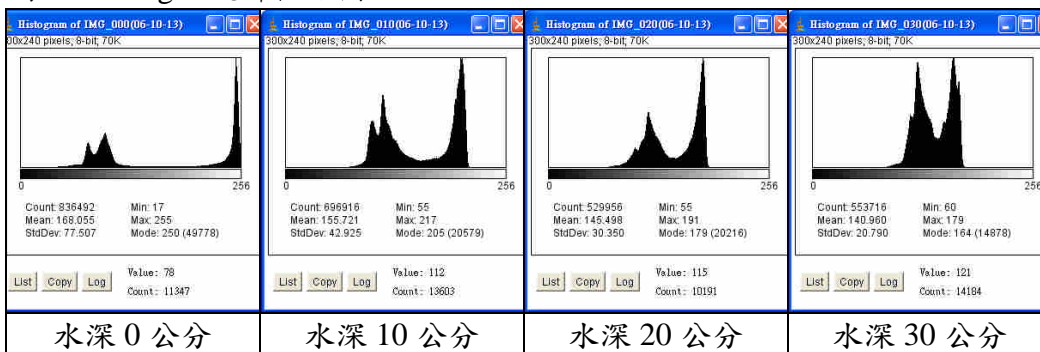
表 2 水下沙奇盤影像拍攝之影像



四、 成果與分析

採用由美國 National Institute of Mental Health 的研究員 Wayne Rasband 所寫的 ImageJ 免費影像處理軟體，作為圖面灰度值量測及統計的工具，統計資料如表 3，沙奇盤之亮部與暗部灰度值則為量測表 3 中 2 個峰頂灰度值，可得亮部及暗部灰度值量測結果如表 4，亮、暗部之量測與迴歸成果繪製如圖 6。

表 3、ImageJ 統計值方圖



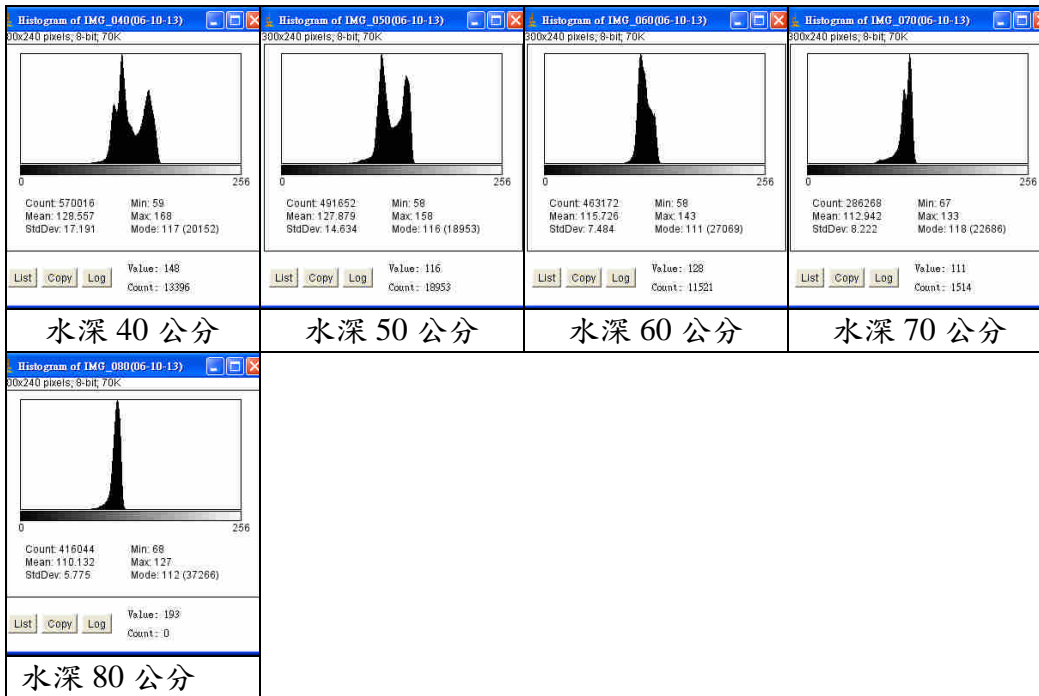


表 4、亮部及暗部灰度值量測資料

水深 (公分)	暗部灰度值	亮部灰度值
10	112	217
20	115	179
30	121	164
40	117	148
50	116	143
60	111	128
70	111	118
80	112	112
90	112	112

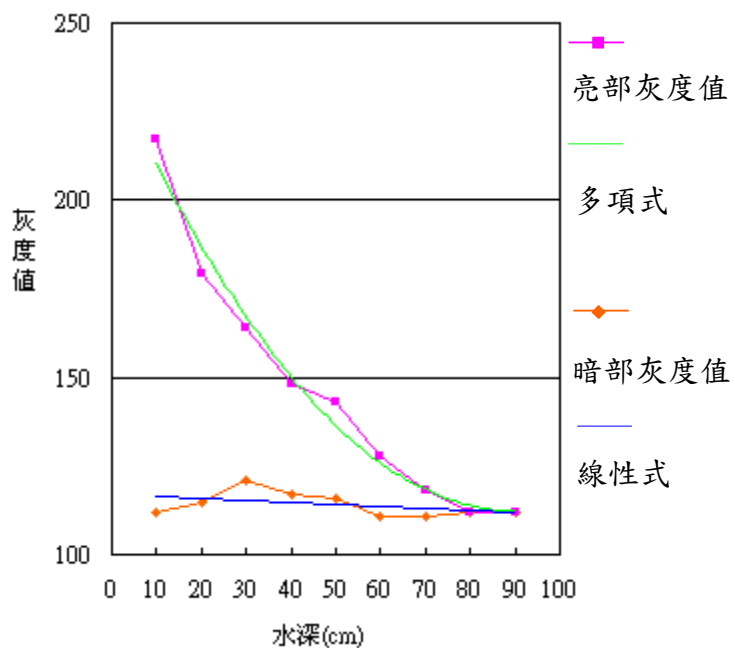


圖 6、水深與影像灰度值之迴歸式

圖 6 中，亮部灰度值用二次多項式進行迴歸

$$y = 0.0156x^2 - 2.7812x + 236.45 \quad (2)$$

$$R^2 = 0.982$$

暗部灰度值用線性式進行迴歸

$$y = -0.0583x + 117.03 \quad (3)$$

$$R^2 = 0.2198$$

式中 y ：灰度值

x ：水深

R^2 ：相關係數

經採用固定間距獲取沙奇盤深度值，已可由離散點位獲取一近似之關係式，其中亮部灰度值之相關性佳，而暗部灰度值之相關性稍差。並可發現沙奇盤的亮部影像灰度值隨水深增加而越趨變暗，呈現反比關係，且最後等於水面之灰度值。沙奇盤的暗部影像灰度值隨水深增加而越趨變亮，但變化不甚明顯，最後亦等於水面之灰度值。沙奇盤上白色（亮部）與黑色（暗部），依本研究方法測試，發現暗部的偵測及量測，影像中的灰度值變化較不明顯。

本測試成果，可發現透視度與水深之關係，因此，未來針對大範圍海域，則可運用相似方法獲致不同區域之透視度變化，其意義在於，沙奇盤作用將不僅獲得該區域之透視度，亦可經由本關係式瞭解不同水深之透視度變化情形。

五、 結論與展望

因考量沙奇盤傳統人為主觀作業上之誤差，本文採用數值照相方式獲取水下沙奇盤影像進行分析，經由傳遞函數值與像場亮度均勻性之測試，以降低數位相機之系統誤差。實際於嘉義縣港邊進行固定間距水深沙奇盤數值照相，分別分析各深度之沙奇盤亮部與暗部之統計值後，分別獲致亮、暗部初步迴歸成果，因此歸納幾點結論如下：1、數位相機拍攝前須先率定或測試，方能發現系統誤差，避免造成後續分析之誤差。2、沙奇盤深度係以目視水下沙奇盤隱沒時之水下深度，就影像而言此時亮部與暗部的灰度值變均等於水面灰度值。3、海水深度與亮部灰度值似乎存有一反比關係，明顯之數學關係模式，究竟是使用何種迴歸模式最能貼近實測數值，本研究嘗試利用二項式進行迴歸，相關係數可達 $R^2=0.971$ ，若利用對數方式迴歸，相關係數可達 $R^2=0.992$ ，何者較為恰當未來將進一步測試。

由於本方法須拍攝一組不同深度奇深盤深度影像，所得之數據也僅僅是離散性的資料，認為若能獲得連續性之實驗成果，定能更精確地獲取該關係式。未來考慮仍採用與沙奇盤相同之原理，僅將形狀作一改良，即以一長條型反射亮度均之白板（黑板）斜置於水中，在此暫稱為透視棒，並以一次拍攝方式，可更方便地取得連續性的資料（如圖 7）。

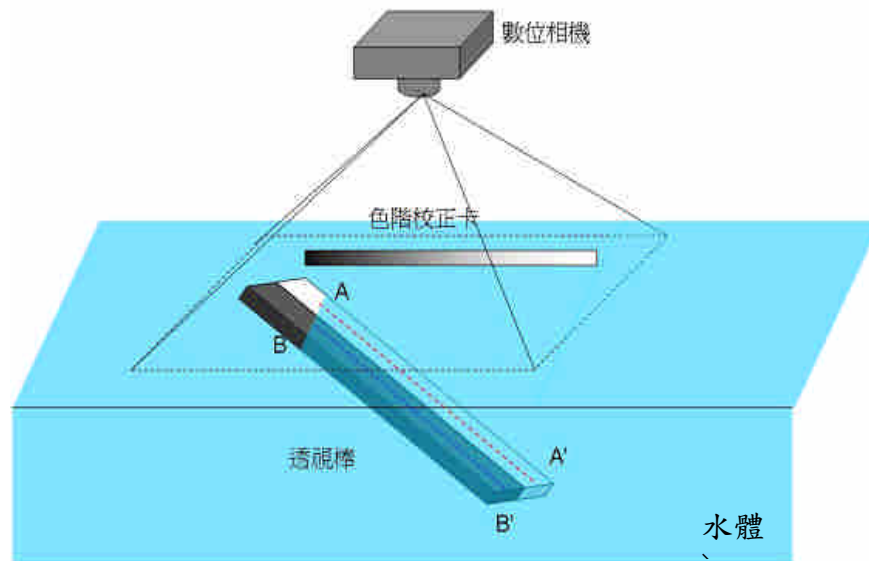


圖 7、改良式透視度棒偵測法

且考慮將以船隻作載具，透視度棒架設於船側，將可以連續拍攝快速獲得帶狀測線之沙奇影像，勢必將有效率地掌握整體海域之透視度狀況。

此外，1978年美國加州大學學者發表生光效應 (bio-optical)，指出海中輻照度的衰減係數可用於瞭解海中生物和海水光學之關係 (Smith&Baker, 1978)，而1991年有學者指出於波長400~700nm間，沙奇深度和平均衰減係數成雙曲線關係 (Wang et al., 1991)，呂麗華 (1996) 曾針對此理論加以測試，然該文中因資料點數不多，尚未有明確實驗結果符合該理論。未來本團隊將嘗試採用改量式透視度棒偵測法針對該雙曲線關係式進行測試。

參考文獻

- (1) 史天元，2005，測深光達原理與國外測試成果，內政部「辦理LIDAR測區之高精度極高解析度數值地形測繪、資料庫建置與應用推廣工作案」成果發表暨應用研討會，頁120-122。
- (2) 呂麗華，1996，臺灣東北部沿岸海水光學特性，國立臺灣海洋大學海洋科學研究所碩士學位論文。
- (3) 謝東發、李佩珊、鍾文彥、林文勇、白敏思、蕭輔導，2006，沙奇盤海水透視度調查之研究，台中市：內政部土地測量局自行研究報告。
- (4) 環保署，1998，(87)環署檢字第0037650號公告，自中華民國87年9月10日起實施NIEA E220.50C。
- (5) Smith, R. C., Baker, K. S., 1978, USA: The bio-optical state of ocean waters and remote sensing, Limnol. Oceanogr., Vol23, pp. 247-259.

附件 1：Canon 400D 單眼數位相機規格

感光元件：22.2x14.8 mm 有效 1010 萬像素 RGB 原色 CMOS，前置防塵 LPF

低通濾波器影像大小：3888x2592 (sRGB, Adobe RGB 等)。

手動操控模式：光圈優先，快門優先，全手動。

快門：Auto：30s~1/4000s，支援 B 快門。

最大光圈：依鏡頭本身規格。

測光模式：評價 (對焦點連動)，區域點測光 (9%)，中央重點。

曝光補償：-2 ~ +2 EV, 1/3 或 1/2 級距調整。

ISO 感光度：Auto，100，200，400，800，1600。

白平衡：自動，陽光，陰天，陰影，鎢絲燈，螢光燈，閃燈，自訂。

對焦方式：9 點對焦；TTL-CT-SIR，支援手動對焦

外接閃燈：熱靴，支援 E-TTL II 閃燈，同步快門 1/200 秒

連拍：3fps 連拍 27 張。

遠端遙控：支援。

記錄格式：RAW (RAW+JPEG)，JPEG：Fine，Normal。