

衛星水色遙測及台灣周邊海域 基礎生產力之初步觀測

林志遠·曾振德·陳世欽·徐崇仁

水產資訊系、秘書室

一、前言

海洋水色之觀測對研究海洋基礎生產(primary production)及生物地化學(biogeochemistry)的海洋學家而言極其重要。基礎生產主要是由初級生產者(primary producer)所生產的有機物質,這些初級生產者包括藻類及一些細菌,其去除大氣中之碳的速率與陸地上的植物相當,至於其年間變化,目前仍所知有限。從海洋生物的營養位階(trophic level)及食物網(food web)中得知,植物性浮游生物(phytoplankton)乃屬最低階的初級生產者,海水中其含量之多寡會直接或間接影響該海域次級生產者及更高階消費者之生物生存量。基礎生產力較高的海域,由於營養鹽豐富及光合作用的結果,使得植物性及動物性浮游生物繁生,通常可形成重要的漁場。因此,利用衛星遙測水色影像間接推估海域的基礎生產力,再依據生態系中食物鏈內營養位階之高低,經逐層依其能量轉換效率(efficiency of energy transfer)換算,即可大略推估該海域範圍內之漁業資源。

海洋植物性浮游生物的密度可以由衛星觀測及量化海洋水色(ocean color)來求得,主要是因為海洋在可見光領域(波長400-700nm)所呈現的水色,隨水中葉綠素及其他植物色素的濃度而變,而植物性浮游生物愈多,植物色素的濃度將愈高。因此,植物性浮游生物的繁生、時空分佈及其與海洋物理過程的關係也可因而定量。同時,海洋的光學特性可用以研究陸源沉積物及營養鹽的變化,及其與冷暖水渦

周緣和黑潮等邊界流之混合,進而探究其與海洋生物及魚類資源分佈的關係。由於衛星可每日觀測同一無雲的海域,提供了觀測海洋生物相及量的一個甚有價值的工具,並可用以評估全球碳循環中海洋所扮演的角色。

目前在漁場的水文調查及研究多已將海洋水色列為海洋觀測項目中重要海況參數之一。但由於傳統船舶觀測方式曠日費時,無法即時獲取中大尺度海域之海洋水色分佈特性,使得海洋水色分析及其相關的應用研究也較少。直到1978年雨雲七號(Nimbus-7)實驗衛星成功發射後,其上裝載沿岸域水色掃描器(Coastal Zone Color Scanner, CZCS),從此才突破以船舶觀測水色的傳統方式,不再受到時間及空間之限制。因此,近年來各國開始陸續發展並發射海洋水色觀測衛星,例如我國之中華衛星一號ROCSAT-1/OCI、日本ADEOS/OCTS及美國OrbView-2/SeaWiFS等。未來海洋水色影像之研究分析將更為深入廣泛,且有逐漸普及達到商業化應用之趨勢。至目前為止,共計有4顆搭載海洋水色輻射儀之衛星已發射升空,其儀器特徵如表1所列。以下詳述各衛星之沿革、特性、應用及其對台灣周邊海域之初步觀測。

二、美國Nimbus-7衛星觀測之CZCS影像

在1996年全球開始密集發展水色觀測衛星以前,Nimbus-7是唯一曾裝載水色感測器的衛星。Nimbus-7實驗衛星搭載有8種具備不同探測任務之感測器,其中沿岸域水色掃描器

(CZCS) 專責海洋水色之探測。CZCS 水色儀共使用 6 個頻道，包含 4 個可見光波段、1 個近紅外光波段及 1 個遠紅外光波段，其波長範圍如表 1 所示。各波段的應用範疇不一，大致上，利用可見光頻道處理獲得之水色影像，可應用於海洋基礎生產量之估算、漁場環境分析及海況季節動態等相關研究，而紅外光波段則可應用於核電廠溫排水或海面水溫之探測等。由處理完成之 CZCS 水色影像，可看出不同水團間海水色調互有差異，影像之顏色及灰度值則可由色標表示不同之海水特性。

美國西海岸的漁民即曾利用 Nimbus-7 衛星之水色影像，來辨識植物性浮游生物密集區，作為尋找重要漁場位置的指標。該水色分類分佈圖(圖 1)可顯示 4 種顏色之代表數字——從沿岸的淺綠色(1)、綠色(2)、淺藍色(3)至深藍色(4)分別代表不同浮游生物含量。此水色圖視雲層分佈狀況約每週發佈一次，每次涵蓋範圍約可達 70 萬平方公里。當 Nimbus-7 衛星通過太平洋東岸時，CZCS 資料被即時地接收及處理，然後透過無線電傳真給海上作業漁船參考應用。當時在美國西海岸應用此水色圖，主要是

以長鰭鮪及鮭魚為對象之漁撈業者，以及在南加州的一些遊釣業者為主。

圖 2 為 Nimbus-7 衛星於 1984 年 12 月 14 日觀測台灣周邊海域之 CZCS 水色假彩色(pseudo color)影像，由影像中色標顯示之海水葉綠素甲(chlorophyll-a, Chl-a)濃度高低大致

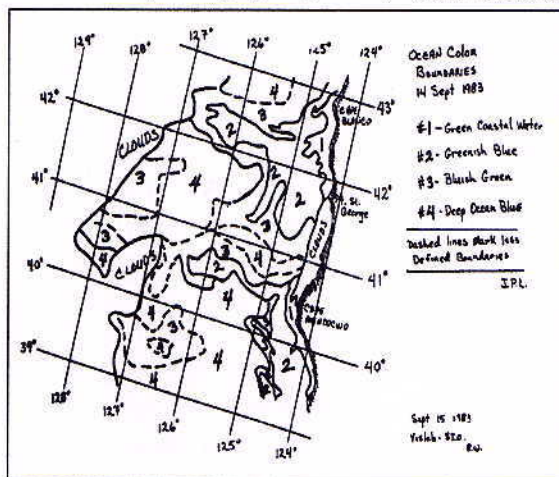


圖 1 美國Nimbus-7 衛星海洋水色分析之速報圖(淺綠色(1)、綠色(2)、淺藍色(3)至深藍色(4) 分別代表不同浮游生物含量)

表 1 不同衛星搭載之水色感測器簡介

受載衛星	Nimbus-7	ADEOS	OrbView-2	ROCSAT-1
發射國家	美國	日本	美國	中華民國
發射日期	1978/10/24	1996/08/17	1997/08/01	1999/01
預計壽命	至 1986 年止	至 1997.06 止	5 年	4 年
水色感測器	CZCS	OCTS	SeaWiFS	OCI
星下分解能	0.8 km	0.7 km	1.1 km	0.8 km
各頻道平均波長(μ m)及所屬頻道				
可見光波段	0.44,0.52 0.55 0.67	0.41,0.43 0.49,0.50 0.57,0.67	0.41,0.44 0.49,0.51 0.56,0.67	0.44,0.49 0.51,0.59 0.67
近紅外光波段	0.75	0.77,0.87	0.77,0.87	0.87
中紅外光波段	---	3.73	---	---
遠紅外線波段	11.5	8.5,10.9 12.0	---	---
總波段數	6	12	8	6

CZCS : Coastal Zone Color Scanner

SeaWiFS : Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor

OCTS : Ocean Color and Temperature Scanner

OCI : Ocean Color Imager

可看出，台灣東部海域黑潮流區 Chl-a 含量低，基礎生產力較低，此乃因為東部海岸地形陡峭，離岸數哩水深即達數百米以上，加上黑潮流速湍急，使得水中營養鹽易隨海流移動。相反地，該水色影像亦顯示台灣西部淺海水域 Chl-a 含量較高，基礎生產力較佳，這是由於西海岸潮間帶大且沿海水深較淺，內陸河川富含營養鹽，淡水入海後分佈於各水層，加上水淺太陽光穿透容易，因此真光層內基礎生產力較高。其中澎湖西南海域之台灣淺堆 (Taiwan Bank) 於影像上呈現近紅色，顯示所含葉綠素甲濃度(大於 $2\text{mg}/\text{m}^3$) 較四周海域為高。由漁撈作業活動資料，可發現台灣淺堆為台灣尤其是澎湖地區之重要傳統漁場。由水文調查資料，亦顯示台灣淺堆海域易受黑潮支流或南海西南季風流之作用而形成湧昇(upwelling) 流域，使得較底層具高營養鹽海水上升至中表層，促使該海域光合作用旺盛，提高基礎生產力。

雖然 Nimbus-7 衛星已在 1986 年結束其探測任務，但它開啟了衛星遙測於海洋水色觀測之應用，提供了無數海洋生物及海況動態變化之分析研究。過去十餘年來之研究，顯示衛星水色掃描儀確實能夠提供即時且可重複觀測之海面水色影像，可作為海洋基礎生產量之估算、油污染海域之鑑定、沿岸廢棄物擴散之防治、赤潮的發生與監測、沿海河口漂砂之監測、漁場環境分析及海況季節動態等之應用。

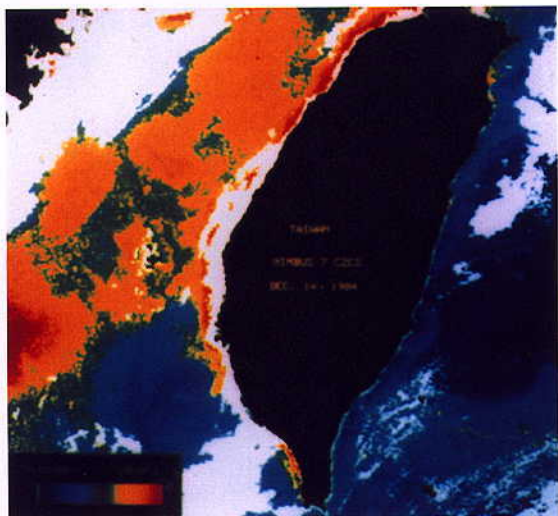


圖 2 Nimbus-7 衛星於 1984 年 12 月 14 日觀測台灣周邊海域之 CZCS 水色假彩色影像

三、日本 ADEOS 衛星觀測之 OCTS 影像

Nimbus-7 衛星結束其任務後，時隔十年，日本才於 1996 年成功發射搭載有水色感測器之 ADEOS 衛星。其上酬載之海洋水色水溫儀 (Ocean Color and Temperature Scanner, OCTS) 共有 12 個頻道，包含 6 個可見光波段、2 個近紅外光波段、1 個中紅外光波段及 3 個遠紅外光波段，星下點可提供空間解像力為 0.7 公里的水溫及水色影像 (表 1)。為石等即曾利用 ADEOS 衛星 OCTS 之旬別水溫與葉綠素影像，分析日本海庫頁島鮭 (*Calanus plumchrus*) 漁場之分佈特性，發現葉綠素濃度鋒面線 (front) 及水溫帶之移動與庫頁島鮭漁場之分佈及推移有一致性，亦即，鮭漁場之變動受該海域之水溫及葉綠素分佈型態之影響。

圖 3 為 ADEOS/OCTS 水色儀於 1997 年 4 月 12 日所獲得東亞沿海水色分佈影像，顯示長江出海口往北延伸至黃海及渤海灣等海域，水色濃度較高，屬高基礎生產力海域，台灣西岸亦可明顯見到黑潮支流暖水突入台灣海峽造成之低葉綠素濃度區域。不過，ADEOS 於 1997 年 6 月 30 日因衛星太陽能板結構故障受損而失去控制，使得 OCTS 水色儀僅獲取近 7 個月水色資料即告結束。

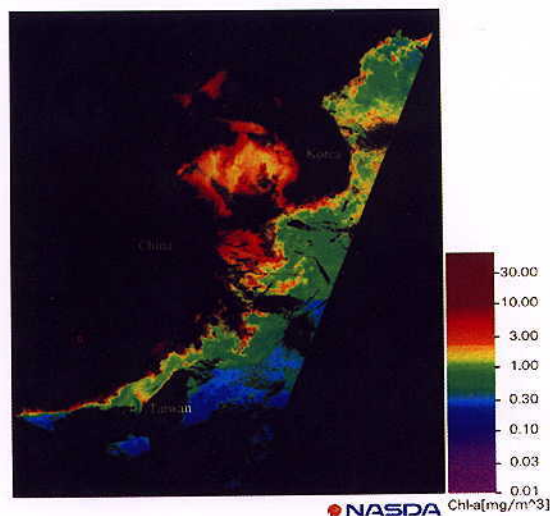


圖 3 日本 ADEOS/OCTS 水色儀於 1997 年 4 月 12 日所獲得東亞沿海之水色影像

四、美國OrbView-2衛星觀測之SeaWiFS影像

ADEOS 衛星失敗之後，美國 NASA 與 OSC (Orbital Sciences Corporation) 公司於 1997 年 8 月 1 日成功發射 SeaStar (後改名為 OrbView-2) 水色衛星，同為近繞極軌道衛星，唯一酬載之感測器 SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) 水色儀，即是改良自 Nimbus-7/CZCS 設計，用來進行為期 5 年之全球海域水色探測。SeaWiFS 共計使用 8 個波段，含 6 個可見光及 2 個近紅外光波段(表 1)，處理獲得之水色影像在星下點其空間解像力可達 1.1 公里，與本所接收之 NOAA/AVHRR 水溫影像解像力一致，可相互配合對照分析。圖 4 為 1998 年 8 月 27 日之 NOAA-14 衛星水溫影像及 OrbView-2 衛星葉綠素濃度影像，顯示台灣東北部大型圍網漁場之湧升流域表層結構，初步發現湧升流域(cold eddy)之低溫區(25~28 °C)，其葉綠素濃度(1 mg/m³ 左右) 較周邊海域為高，是造成良好漁場之主要因素。

目前 OrbView-2/SeaWiFS 運作正常，國內具有 NOAA/HRPT 系統之衛星接收站，僅需更新部分軟體設備並取得水色影像接收權，即可接收臺灣周邊海域海面水色影像資料。本所早於 1997 年初即已向美國 NASA 登記成為 SeaWiFS 之資料接收站及資料使用者，自 1997 年 12 月開始接收，至今共已儲存將近 800 航次衛星資料，範圍可涵蓋日本海、東海、南海、菲律賓海等西太平洋海域，為國內最早接收 SeaWiFS 水色影像之單位，且曾支援海洋大學海洋系 OCI/SDDC 之水色影像資料庫半年期資料(1997/12~1998/06)。但由於 OrbView-2 衛星係屬於美國 OSC 公司所擁有之商業衛星，即時 (real-time) 接收各分級影像資料均需付費，每幅約美金 300~500 元，若要由本地接收站接收即時資料，其權利金更高達每年 10 萬美金，而若提供如圖 5 之漁場分析圖 (Fish Finding Map)，則每艘船每年收費 8 萬美金，其各項價格均相當高。而另一方面，由 NASA 與 OSC 簽約免費提供全球科學研究人員使用之

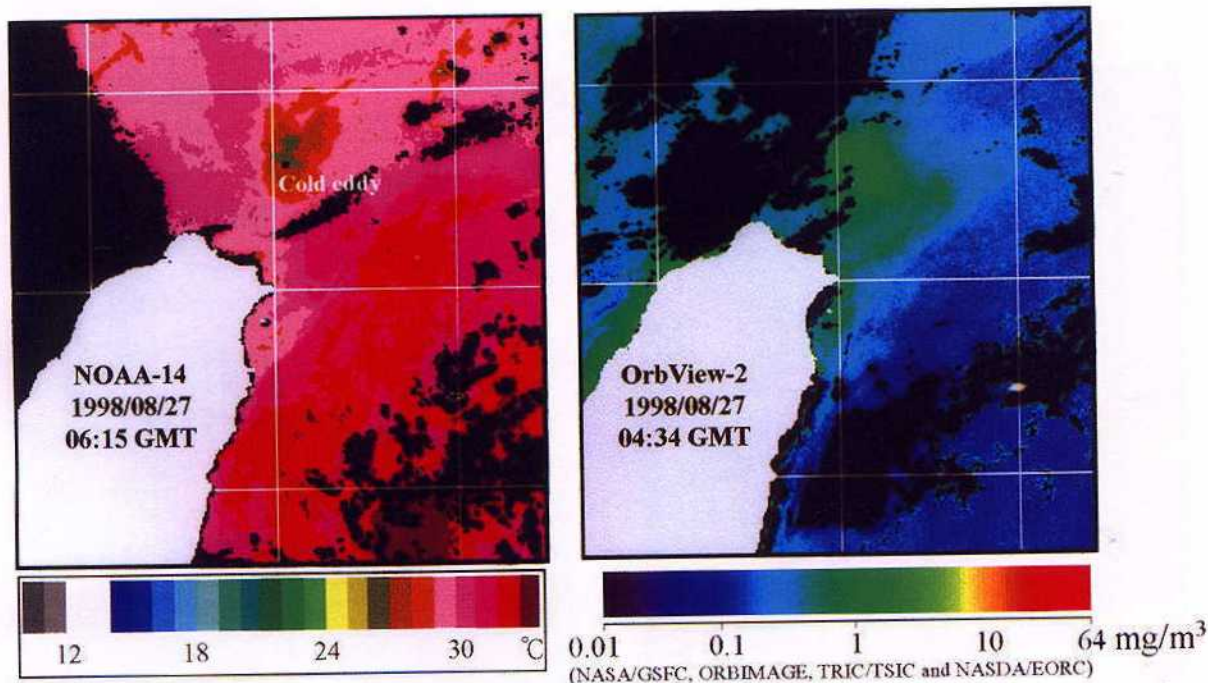
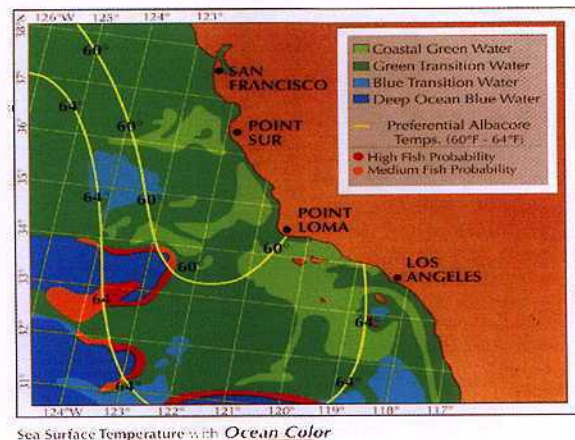


圖 4 1998 年 8 月 27 日之 NOAA-14/AVHRR 衛星水溫影像及 OrbView-2/SeaWiFS 衛星葉綠素濃度影像顯示台灣東北部大型圍網漁場湧升流域表層結構

SeaWiFS 影像，其解碼器僅允許使用 2 星期至 1 個月前之舊資料。因此，本所目前使用者乃過期的 SeaWiFS 影像資料，於漁場漁海沉關係研究上並無困難，但若要进一步服務漁民，提供即時之海面基礎生產力分佈圖，則可能需尋求我國 ROCSAT-1 衛星之 OCI 影像。



SeaStar Fish Finding Map

圖 5 美國 OCS 公司根據 SeaStar(OrbView-2) SeaWiFS 水色影像及 NOAA/AVHRR 水溫影像套繪後之美國加州沿岸鮪魚漁場分析圖

五、中華民國 ROCSAT-1 衛星 OCI 影像

我國中華衛星一號 (ROCSAT-1)，已於 1999 年 1 月於美國佛羅里達州卡那維爾角 (Cape Canaveral) 發射升空。ROCSAT-1 為一低軌道衛星，搭載有 3 項科學實驗感測器，其中海洋水色照相儀 (Ocean Color Imager, OCI) 共含 6 個頻道，包括 5 個可見光及 1 個近紅外光波段，可處理獲得空間解像力 0.8 公里 (表 1) 之水色影像。ROCSAT-1/OCI 水色儀之用途在於提供海洋研究學者獲取海面水色資料，作為海洋環境污染監控、海岸工程執行與評估、沿岸資源管理、漁撈作業及相關理論研究等之應用，並加速我國利用衛星遙測於海洋漁業之應用發展及研究水準。圖 6 為 1999 年 6 月 2 日之 NOAA-12 衛星水溫影像及 ROCSAT-1 衛星葉綠素濃度影像，顯示澎湖西南方台灣淺堆之湧升流域表層結構，初步發現本海域與台灣東北海域之相關結構類似，湧升流域中之低溫區 (24~26°C)，分佈相對較高之葉綠素濃度 (1~3mg/m³)，與 1984 年 CZCS 觀測之結果 (圖 2) 相似。

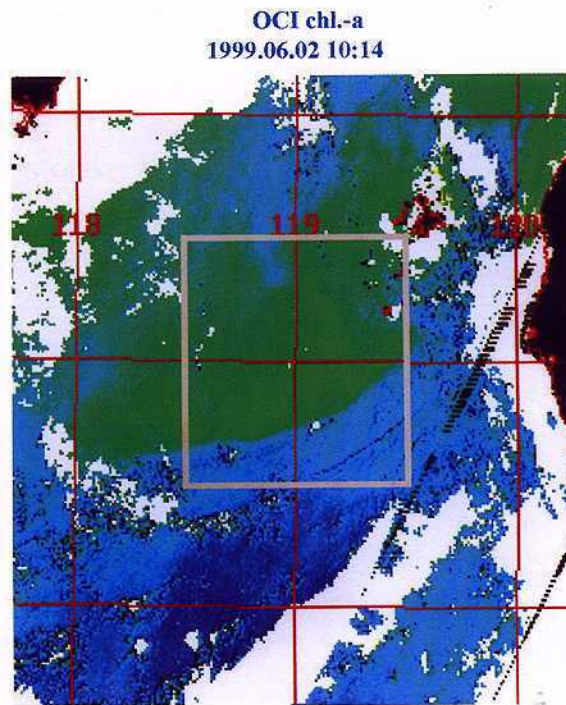
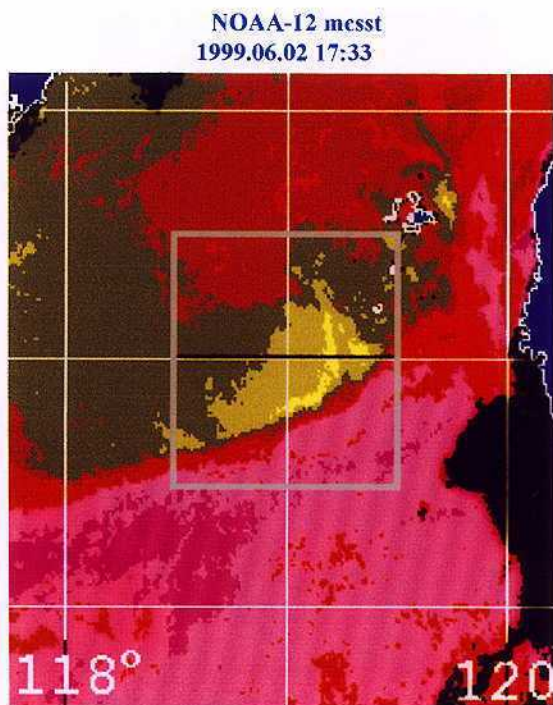


圖 6 1999 年 6 月 2 日之 NOAA-12/AVHRR 衛星水溫影像及 ROCSAT-1/OCI 衛星葉綠素濃度影像分析澎湖西南方台灣淺堆之湧升流域表層結構

目前 OCI 影像之接收流程為：首先由中壢接收站（北站）接收原始影像後，傳送至新竹太空計畫室初步處理後，再以 ISDN 專線傳送至海洋大學海洋系之資料處理中心（SDDC），由該中心分類處理出各項水色影像產品，在一星期內提供國內外使用者免費使用。ROCSAT-1 在 1999 年元月升空後，OCI 影像則遲至同年 10 月始開放申請。但在實際應用 OCI 影像時，卻遭遇到一些限制。以 1999 年 OCI 影像月別接收量之分析（表 2）觀之，各月之最後「台灣附近可用影像總量」均偏低。3~12 月間，SDDC 共接收處理 1108 幅影像，其中涵蓋台灣之影像僅 109 幅（約佔 1 成左右），而可用之影像（扣除雲遮、太陽反照嚴重等影像）只有 30 幅（約 2.7%）。造成此現象之原因有二：其中之一為 OCI 酬載儀器上，為減低衛星負重及避免元件在大氣中故障而設計之特有 CCD 光感測元件上之殘影（Anti-blooming）問題，此將造成 ROCSAT-1 衛星飛行路徑上大區塊陸地之西側掃瞄錯誤而致影像空白，使得可利用之影像數減少；另一原因即為 ROCSAT-1 衛星當初為增加每天與台灣接觸次數，以及為另一酬載儀器 IPEI（離子層電漿電動儀）而設計之 35 度軌道傾角（如圖 7），加上每日約 9:00AM~15:00 PM 之可見光觀測時間限制，將造成在 26 天之掃瞄回歸週期中，約有過半數之日期，無法掃瞄觀測台灣附近海域。

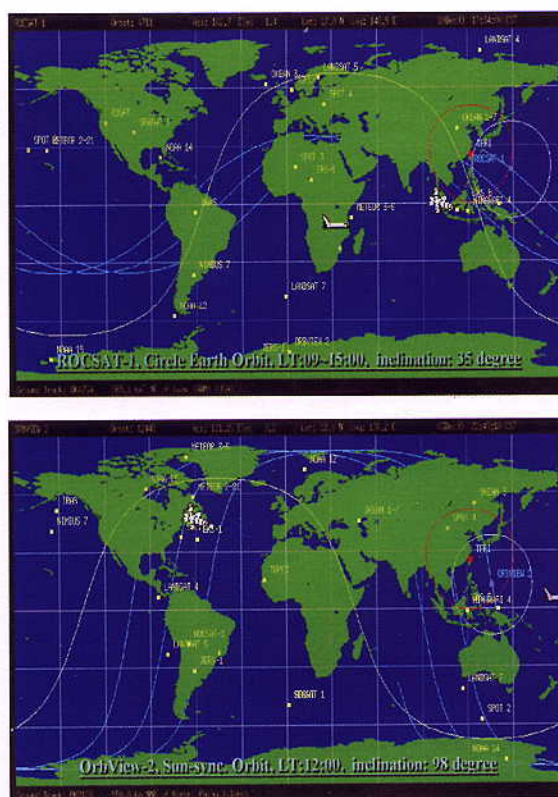


圖 7 ROCSAT-1 及 OrbView-2 衛星軌道比較圖，其軌道傾角分別為 35 度及 99 度

表 2 1999 年 OCI 影像接收量分析

	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月*	10 月	11 月	12 月	合 計
資料庫瀏覽 影像總量	17	38	51	192	201	114	21	103	188	183	1108
涵蓋台灣影 像總量	7	13	16	9	20	6	3	13	7	15	109(9.8%)
台灣附近可 用影像總量	2	2	2	6	7	3	0	6	2	0	30(2.7%)

*1999.09.09~10.02 SCC missed communication with ROCSAT-1

以上為先天上無法克服之難題，尚有其他因軟體及人為處理之問題，而至今仍未解決者：（1）大氣訂正模式之改進；（2）太陽反照（Sunglint）濾除模式之改良；（3）軌道修正模式之改進；（4）生物-光學推導模式之改良。其中以第4項最為重要，因關係最終海面葉綠素濃度之推算，而最受 OCI 審核小組之關切。目前本所對於 OCI 影像之軟體處理技術均已完備，若生光模式可於 OCI 審核小組規定之 2000 年底前完成改良，再進一步與 SDDC 協商提供近即時（約隔天）之影像，則可同時在本所網頁上提供台灣周邊海域之葉綠素濃度及水溫分佈速報圖。

六、展望

由於衛星水色探測儀每數天即可掃瞄其軌跡下全部海域一次，可獲得全球海洋無雲區域之水色資料。因此在決定一廣海域海洋生產之豐度分佈時，衛星水色資料不失為一有利之工具。而海洋中二氧化碳的循環，以及大氣與海洋交互作用中，臨界元素(critical elements)和氣體(gases)的交換過程，也可經由衛星水色資料來加以評估。

目前我國正積極朝向栽培漁業及海洋牧場開發，而漁業資源之有效評估與管理及漁場位

置之正確探測，將成為漁業永續經營之關鍵因素。同時，近年來海洋科技亦列入我國重點科技之中，故對台灣周邊之海洋資源及基礎生產力，宜作有效且正確之評估。因此，發展衛星觀測海洋水色以探測台灣周邊海域基礎生產力分佈之經驗模式，以資運用實屬需要，並可配合海洋物理、化學、地質、生物及漁業方面進行多方面之研究。

多年來各國不同衛星水色影像(Nimbus/CZCS, ADEOS/OCTS 及 OrbView-2/SeaWiFS 及 ROCSAT-1/OCI) 之分析研究與運用，已證實水色影像可有效運用於海洋環境及漁業等之各不同領域。未來，由於影像資料之商業化以及在海洋及漁場環境觀測及應用上之有效性，各國將繼續發射相關之水色探測衛星，例如近年即將發射之 OSMI(韓國)、MERIS(歐盟)、GLI(日本)、POLDER-2(法國)及 MODIS-PM(美國)等感測器，可望將海洋水色研究推向更高海面解析、頻道解析及資料解析之應用研究時代。

七、謝辭

感謝所長廖久院士之策勵與指導，以及農委會對於本所衛星遙測漁場系統軟硬體設備之部分經費補助，特此致謝。