

# 長期觀測東海隱形森林的重要性與可行的方法

台灣海洋大學海洋科學系 龔國慶

## 一、海洋中隱形森林的角色

在陽光可以穿透的海洋中（約在水深 100 公尺以內）存在有許許多多各式各樣無法由肉眼看到之非常微小的漂浮性生物（直徑約可從小於 1 微米到 200 微米，微米=百萬分之一米），我們稱她們為浮游植物（phytoplankton），也就是本文所指的隱形森林（引述 2002 年 10 月號第 8 期「科學人」雜誌的報導）。她們雖然微小但卻不容忽視，她們除了是這世界上生命的起源之外，更扮演著可調節地球氣候的關鍵角色，未來更可能被用來做為拯救全球溫室效應的先鋒部隊，原因在於她們每年經由光合作用可攝取的二氧化碳量幾乎可與所有陸地上的花草樹木相庭抗禮（每年攝取的碳量約在 450 億噸上下）。另一方面，她們更是推動海洋生態系食物鏈運轉的動力，有了她們的存在我們人類才有享用不盡的海鮮佳餚，運轉動力的產量就是所謂的初級生產量（primary production），也就是浮游植物在光合作用的過程中將海水中二氧化碳轉換成有機物的能力，足見瞭解海洋初級生產量的重要性。對於全球海洋隱形森林的角色與重要性讀者可進一步閱讀 2002 年 10 月號第 8 期「科學人」雜誌的報導。

## 二、長期觀測東海隱形森林產量的重要性

東海位於台灣北部海域，是西北太平洋最大之邊緣海，陸棚面積廣達約  $0.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，由於受到台灣東北海域黑潮湧升作用以及大陸沿海河川輸送高營養鹽的影響（尤其是全球第三大川，長江），是東北亞地區漁產量最為豐富的場所之一。根據國科會正在推動之東海長期觀測與研究整合計畫的研究成果顯示目前東海的年初級生產量約在 1 億噸（以碳為單位）左右，雖然僅約佔全海洋的 1/450，但由其陸棚面積卻只有全海洋面積的 1/7200 來算，其重

要性不可言喻。不過相當令人遺憾的是中共當局已在長江三峽建築大壩，號稱是全世界最大的水壩工程，預計 2003 年 6 月就將進行首期的截流蓄水發電，整個工程也將預定於 2009 年完成，截流後勢必會造成進入東海的淡水量以及營養元素的減少，進一步將改變靠近長江口外舟山群島以及台灣東北外海澎佳嶼等傳統豐富漁業資源處所的食物鏈，更令人憂心的是若中共當局不妥善管理經由長江輸入東海淡水的水體品質，則東海更將可能是全世界最大的污水排放場，屆時污染物亦將會伴隨著東海環流飄送至台灣海峽，最終殃及整個台灣海域以及東海的生態。

## 三、長期觀測隱形森林產量的有效方法

有鑑於此，吾人必需對東海的海洋生態進行有系統以及長期性的觀測，觀測結果將是制定海洋環保政策必要之依據。如前所述，海洋生態系的運轉動力是浮游植物的初級生產量，因此初級生產量便是瞭解生態系變遷過程中最重要也是最關鍵的指標因子。然而直接量測海水初級生產量是一件相當不容易的事情，不但耗時耗力更是無法在短時間之內獲得全面性的結果，舉例而言，國內海洋學家即使傾全力在東海進行初級生產量的測量，累積了 5 年的觀測也只不過取得了約 80 筆資料片段，因此想藉由海上直接測量的方式來洞悉東海初級生產量的變動，簡直就是「緣木求魚」。不過令人振奮的是自 1997 年起，世界各國相繼發射可以觀測海水顏色變化的人造衛星，亦即所謂的海洋水色衛星(satellite ocean color)，經由海洋水色衛星約在 2 天之內（指飛行與太陽同步的衛星）就可以偵測到全世界海洋表面海水顏色的變化，海水顏色的變化基本上是反應海水中葉綠素(chlorophyll)濃度的多寡，葉綠素就是浮游植物用來吸收陽光將無機碳轉換成有機物的色素，其濃度的高低約可正比於光合作用的

表一 計算東海初級生產量所需各項參數可供利用之衛星名稱與資料來源

參數	衛星名稱	網站
$C_S$	Sea Wild Field Sensor (SeaWiFS)	<a href="http://daac.gsfc.nasa.gov/data/dataset/SEAWIFS/index.html">http://daac.gsfc.nasa.gov/data/dataset/SEAWIFS/index.html</a>
$P_{opt}^B$	Advanced Very High Resolution Radiometers (AVHRR) (NOAA-7, 9, 11, 14 polar orbiting satellite)	<a href="http://podaac.jpl.nasa.gov/sst/">http://podaac.jpl.nasa.gov/sst/</a>
$K_d$	由 SeaWiFS 資料推算	

初級生產量，因此只要我們能夠建立由葉綠素濃度至初級生產量的推算方式，則「緣木求魚」之事便可輕易變成「彈指可得」。圖一分別是為美國與我國在 1997 年 9 月及 1998 年 1 月所發射具有偵測海洋水色功能的「海洋廣角感測儀」(Sea Wild Field Sensor 簡稱 SeaWiFS)與「海洋水色照相儀」(Ocean Color Imager 簡稱 OCI)。圖二是由美國「海洋廣角感測儀」觀測到之全球海洋表面海水葉綠素濃度的分佈實例。

#### 四、利用衛星資訊推算東海隱形森林產量的模式

近期在國科會推動下之「東海長期觀測與研究」整合性研究計畫中已成功地發展了一個可以藉由不同功能的衛星資料推算初級生產量的模式，公式如下：

$$IP = 2.512 * [C_S * P_{opt}^B * K_d^{-1}]^{0.957}$$

上述模式中各項參數的意義如下：

$IP$ ：指初級生產量

$C_S$ ：指表面海水葉綠素濃度

$P_{opt}^B$ ：指光飽和之單位初級生產量

$K_d$ ：指有光層內平均之光消散係數，相當於有光層的厚度 ( $Z_e$ ) ( $Z_e = 4.605 / K_d$ )

其中  $P_{opt}^B$  可以進一步以海面溫度 ( $SST$ ) 或是全天的日光在可見光範圍的總亮度 ( $E_d$ ) 計算得到，而  $K_d$  根據過去的研究報導亦可合理地從表面海水葉綠素濃度 ( $C_S$ ) 推算得到 (Morel and Berthon, 1989)。

以上即顯示東海的初級生產量可以從海面的葉綠素濃度、海面溫度或是海面日可見光總亮度計算得到，而這些資訊目前均可從現行衛星所探測到之資料取得。表一舉例說明目前用較普遍被用來推算初級生產量模式中各項參數

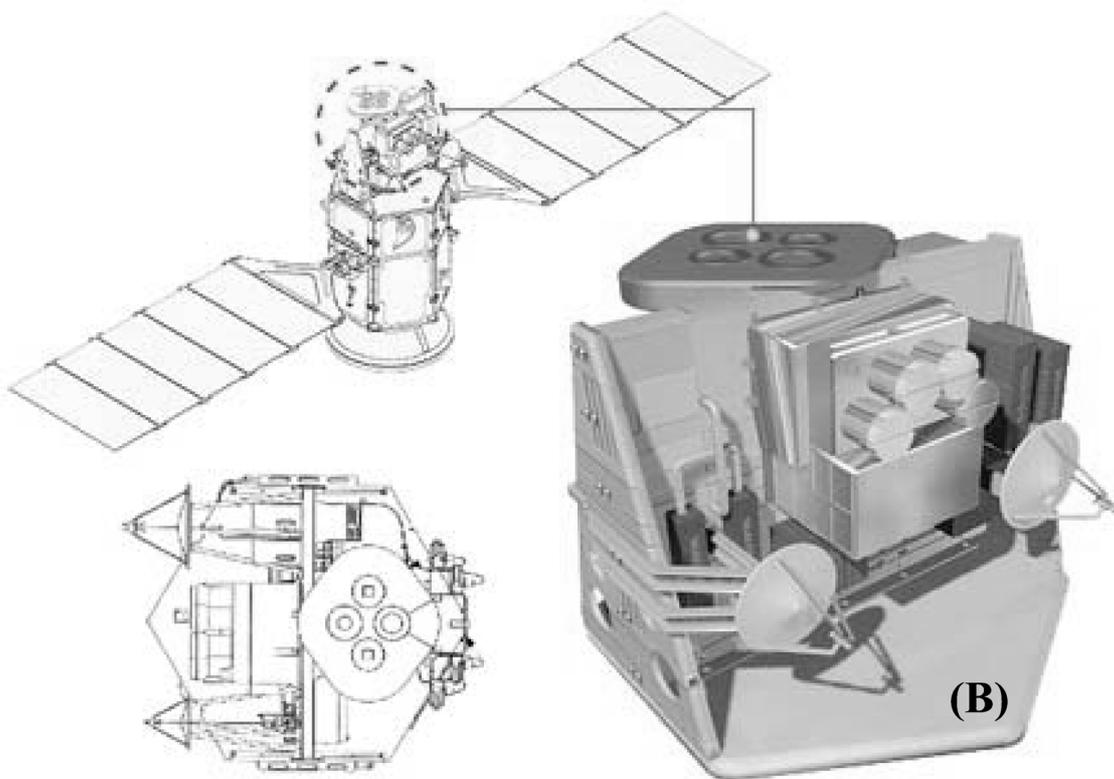
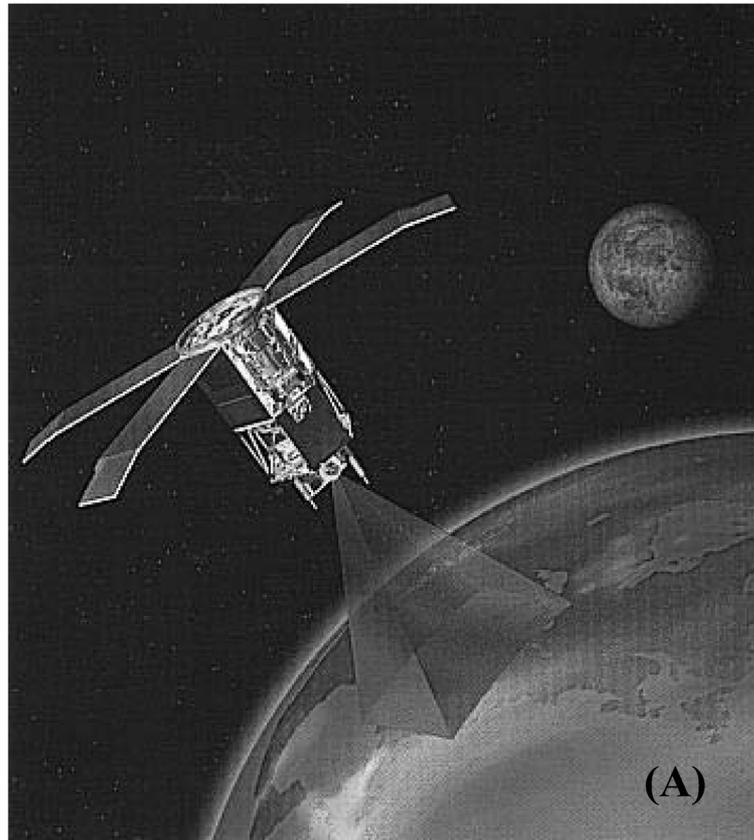
之衛星名稱與可取得之資料來源。對於推算東海初級生產量模式的細節讀者可以進一步閱讀龔國慶與劉功仁等人 (Gong, G.-C. and Liu, G.-J.) 發表在 2003 年第 23 卷第 2 期之 *Continental Shelf Research* 期刊中論文的報導。

#### 五、利用衛星資訊觀測到東海隱形森林產量的情況

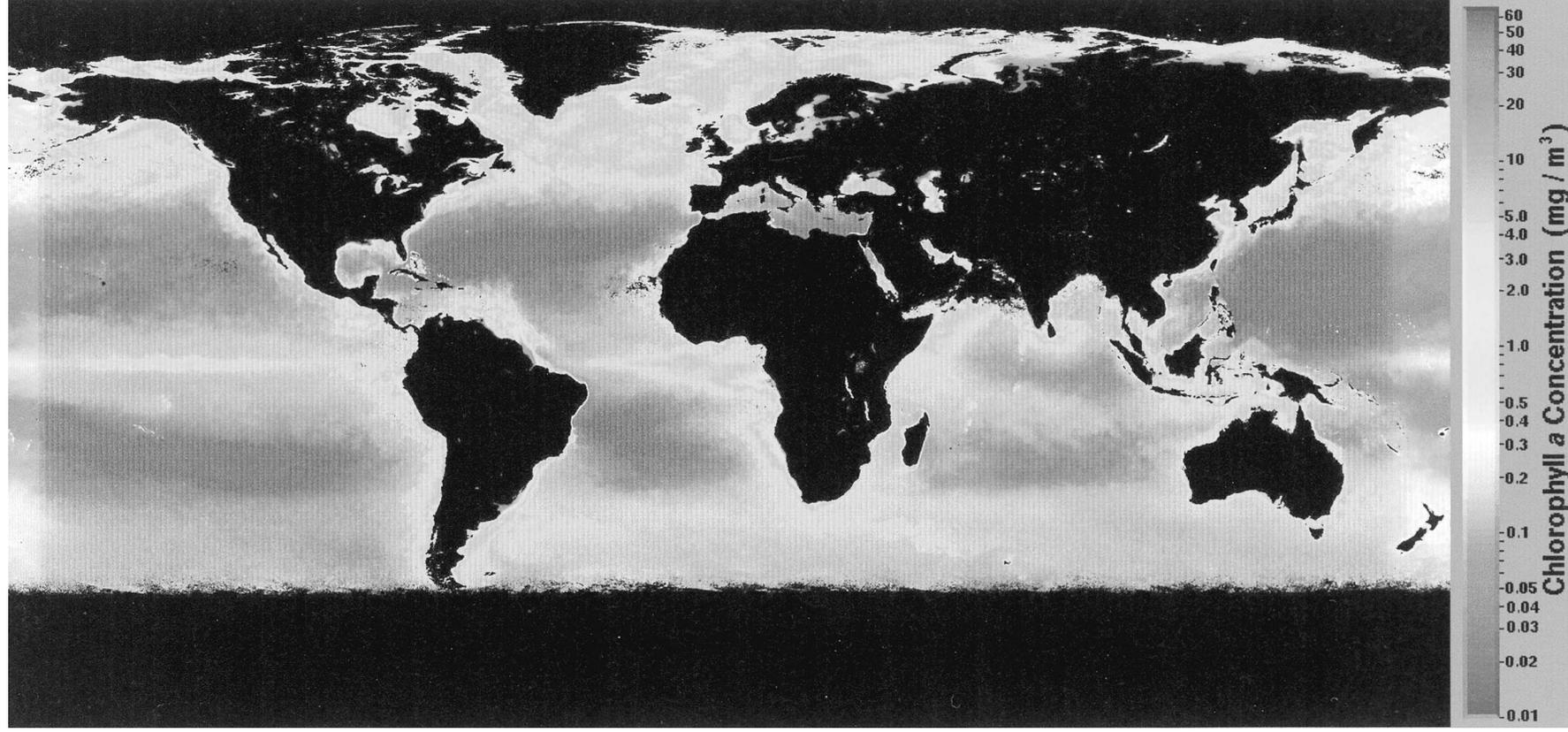
有了以上之推算模式，我們即可利用相關之衛星資訊計算出任一時空環境下東海初級生產量的分佈，圖三係分別以 1998 年 7 月與 11 月的海洋水色 (SeaWiFS) 與海面溫度衛星 (SST) 取得之月平均資料計算出的東海初級生產量空間分佈情況。由 1998 年 7 月 (圖三 A) 的結果可以清楚地看到在長江口以東的近海有非常高的初級生產量，此位置就是前述東海具有豐富漁業資源舟山群島漁場的所在地。由 1998 年 11 月 (圖三 B) 的結果可以看到除了長江口外近海的高區之外，在台灣東北海外海附近也可以看到高值出現，此位置就是因為黑潮湧升流所形成的澎佳嶼漁場。

#### 參考文獻

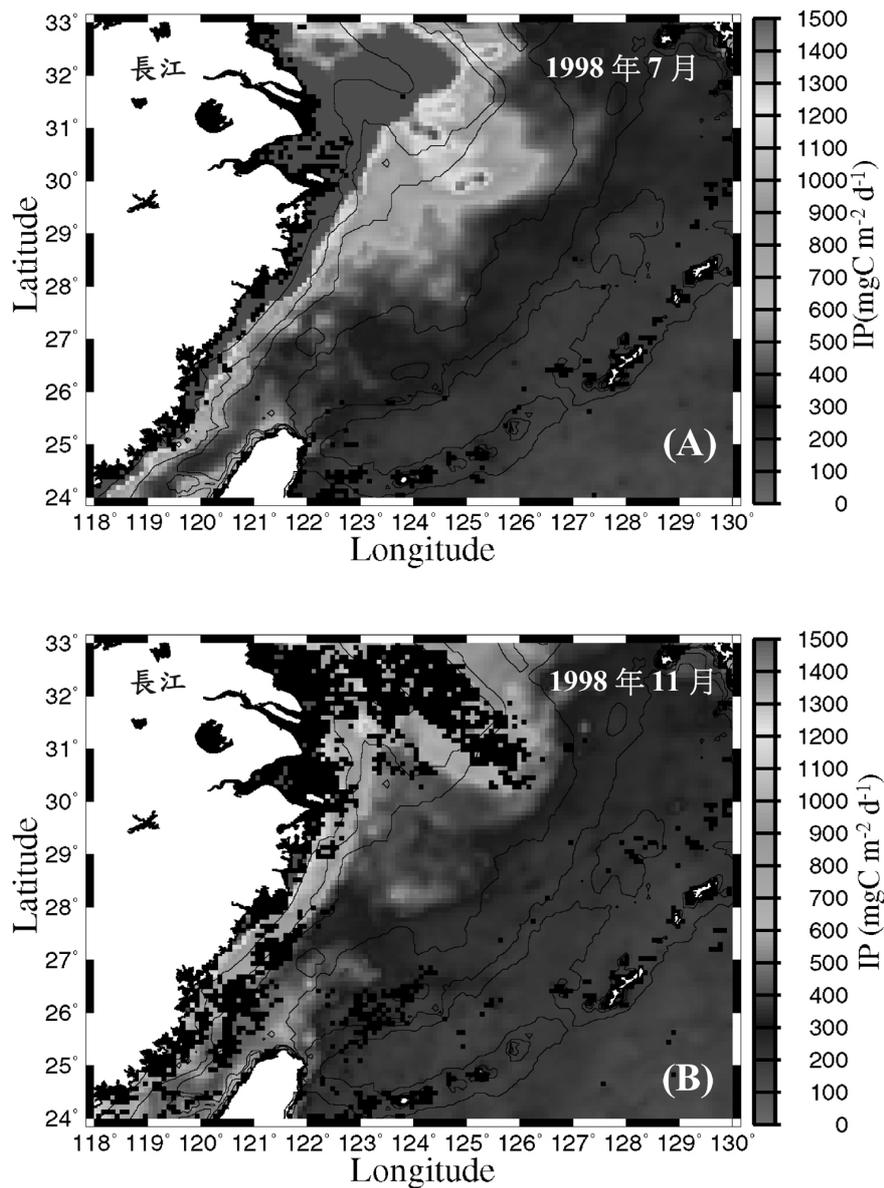
- Gong, G.-C. and G.-J. Liu (2003) An empirical primary production model for the East China Sea. *Continental Shelf Research*, **23**, 213-224.
- Morel, A. and J. F. Berthon (1989) Surface pigments, algal biomass profiles, and potential production of the euphotic layer: Relationships reinvestigated in view of remote-sensing applications. *Limnology and Oceanography*, **34**, 1545-1562.
- 姚若潔譯(2002)：大海中的隱形森林，科學人 (Scientific American 中文版)，十月號第八期，30-37 頁。



圖一 海洋水色衛星範例。(A) 美國 SeaStar 衛星上酬載之 SeaWiFS，(B) 台灣中華衛星一號 (ROCSAT-1) 上酬載之海洋水色照像儀 (OCI)。



圖二 年平均海面葉綠素濃度影像（美國 SeaWiFS 衛星所拍攝，影像取自於<http://seawifs.gsfc.nasa.gov>網站）。



圖三 利用月平均之海洋水色與海面溫度衛星資料經由東海初級生產量模式計算得到之東海初級生產量分佈。(A) 1998年7月，(B) 1998年11月。