

衛星遙測在海洋地形變化之偵測應用研究

台灣省政府交通處
港灣技術研究所

台中 梧棲

中華民國八十四年六月卅日

衛星遙測在海洋地形變化之偵測應用研究

執行單位：海岸工程組

計畫主持人：莊甲子 副所長

共同主持人：吳基 助理研究員

摘 要

本研究蒐集了法國SPOT衛星高解析度可見光影像及歐洲ERS--1衛星的合成孔徑雷達波影像，對台中港地區及外傘頂洲海域作分析研究，同時配合現場水樣採集檢驗，探討近岸水域水深模式可行性研究及海岸地區地形變遷及海岸線與潮位間關係研究。在近岸水深方面建立影像幅射值與海水透視度間的關係模式，此模式在較清澈水域將可用來推定水深。另外利用海域影像所顯示的波浪現象，由波浪折射理論反推求水深，經用台中港區1993年12月8日衛星影像推求之水深，與海圖標示的水深數據比較結果相當接近。本研究同時對外傘頂洲的歷年來變遷現象作定性及定量描述，以印證現場實地量測的結果，並建立外傘頂洲海岸線與潮位間之關係模式，研究結果經由內插法可得到任一潮位的海岸線邊界圖。

衛星遙測在海洋地形變化之偵測應用研究

目 錄

摘 要.....	I
目 錄.....	II
表目錄.....	III
圖目錄.....	IV
壹、前言.....	1
貳、衛星遙測資料特性.....	3
參、衛星影像與海域特性關係模式.....	7
3.1 理論及估算模式.....	7
3.2 解析方法.....	8
3.3 測試結果討論.....	10
肆、海岸地區地形變遷與潮汐修正模式.....	17
4.1 彩色影像分割.....	17
4.2 外傘頂洲地形變遷量測.....	20
4.3 外傘頂洲邊界與潮位關係模式.....	21
4.4 台中港變遷之偵測.....	23
伍、由波浪現象解析近岸水深變化.....	24
5.1 折射理論.....	24
5.2 實施方法.....	25
5.3 結果分析.....	27
陸、結論.....	29
參考文獻.....	30

表 目 錄

	頁次
表 2.1 SPOT衛星影像位置參數.....	5
表 2.2 衛星影像相關數據.....	6
表 3.1 台中港外海採樣點檢驗結果.....	13
表 3.1(續) 台中港外海採樣點檢驗結果.....	14
表 3.2 台中港外海採樣點檢驗結果.....	15
表 3.3 雲林縣外海採樣點檢驗結果.....	16
表 5.1 台中港外海1993年12月8日分區波長與波向計算表..	28
表 5.2 由波長、波向推算各分區水深表.....	28

圖 目 錄

頁次 31~86

- 圖 3.0 理想模式與真實模式
- 圖 3.1 光譜光度減衰變化過程
- 圖 3.2 光譜折射理想模式
- 圖 3.3 光譜折射實際模式
- 圖 3.4 10/16/1994 台中港外海海面採樣點位置圖
- 圖 3.5 10/16/1994 台中港外海採樣點之深度
- 圖 3.6 10/16/1994 台中港外海採樣點之SS
- 圖 3.7 10/16/1994 台中港外海採樣點之濁度
- 圖 3.8 10/16/1994 台中港外海採樣點之透視度
- 圖 3.9 10/16/1994 台中港外海採樣點之6、5、4、3、2之深度與SS之關係
- 圖 3.10 10/16/1994 台中港外海採樣點之7、8、9、10之深度與SS之關係
- 圖 3.11 10/16/1994 台中港外海採樣點之6、5、4、3、2之深度與濁度之關係
- 圖 3.12 10/16/1994 台中港外海採樣點之7、8、9、10之深度與濁度之關係
- 圖 3.13 10/16/1994 台中港外海採樣點之6、5、4、3、2之深度與透視度之關係
- 圖 3.14 10/16/1994 台中港外海採樣點之7、8、9、10之深度與透視度之關係
- 圖 3.15 4/16/1995 台中港外海海面採樣點位置圖
- 圖 3.16 4/16/1995 台中港外海海面採樣點之深度
- 圖 3.17 4/16/1995 台中港外海海面採樣點之SS
- 圖 3.18 4/16/1995 台中港外海海面採樣點之透視度
- 圖 3.19 4/16/1995 台中港外海採樣點1、2、3、4之深度與SS之關係
- 圖 3.20 4/16/1995 台中港外海採樣點8、7、6、5之深度與SS之關係
- 圖 3.21 4/16/1995 台中港外海採樣點1、2、3、4之深度與透視度之關係
- 圖 3.22 4/16/1995 台中港外海採樣點8、7、6、5之深度與透視度之關係
- 圖 3.23 10/16/1994 台中港SPOT衛星影像
- 圖 3.24 10/16/1994 SPOT衛星影像所推導的透視度，越亮的部份代表透視度越大的地方
- 圖 3.25 12/8/1993 台中港SPOT衛星影像

- 圖 3.26 12/8/1993 SPOT衛星影像所推導的透視度，越亮的部份代表透視度越大的地方
- 圖 3.27 12/12/1994 外傘頂洲海面採樣點位置圖
- 圖 3.28 12/12/1994 外傘頂洲海面採樣點之深度
- 圖 3.29 12/12/1994 外傘頂洲海面採樣點位之SS
- 圖 3.30 12/12/1994 外傘頂洲海面採樣點之濁度
- 圖 3.31 12/12/1994 外傘頂洲海面採樣點之透視度
- 圖 3.32 12/12/1994 外傘頂洲海面採樣點之深度與SS之關係
- 圖 3.33 12/12/1994 外傘頂洲海面採樣點之深度與濁度之關係
- 圖 3.34 12/12/1994 外傘頂洲海面採樣點之深度與透視度之關係
- 圖 3.35 3/27/1994 潮位為132cm的外傘頂洲SPOT衛星影像
- 圖 3.36 由3/27/1994 SPOT衛星影像所推導的透視度，越亮的部份代表透視度越大的地方
- 圖 4.1 4/17/1994 潮位72cm的外傘頂洲SPOT衛星影像
- 圖 4.2 3/4/1994 潮位2cm的外傘頂洲SPOT衛星影像
- 圖 4.3 2/6/1994 潮位48cm的外傘頂洲SPOT衛星影像
- 圖 4.4 潮位132cm、72cm、48cm及2cm的外傘頂洲邊界圖
- 圖 4.5 9/28/1986 潮位為-24cm的外傘頂洲SPOT衛星影像
- 圖 4.6 9/28/1986 外傘頂洲邊界圖(潮位-24cm)
- 圖 4.7 7/13/1993 潮位為-25cm的外傘頂洲SPOT衛星影像
- 圖 4.8 7/13/1993 外傘頂洲邊界圖(潮位-25cm)
- 圖 4.9 9/28/1986(潮位-24cm)至7/13/1993(潮位-25cm)外傘頂洲的變遷圖
- 圖 4.10 1/22/1992 潮位為72cm的外傘頂洲SPOT衛星影像
- 圖 4.11 1/22/1992 外傘頂洲邊界圖(潮位72cm)
- 圖 4.12 4/17/1994 外傘頂洲邊界圖(潮位72cm)
- 圖 4.13 1/22/1992(潮位72cm)至4/17/1994(潮位72cm)外傘頂洲的變遷圖
- 圖 4.14 由潮位2cm及72cm所內插成的48cm潮位
- 圖 4.15 內插潮位48cm與真正潮位48cm之比較
- 圖 4.16 由3/4/1994(潮位2cm)及4/17/1994(潮位72cm)的SPOT衛星影像所推導的海底坡度， $A=0.04^{\circ}$ 、 $B=0.46^{\circ}$ 、 $B'=0.12^{\circ}$ 、 $C=0.34^{\circ}$
- 圖 4.17 2/3/1994 潮位101cm的台中港SPOT衛星影像
- 圖 4.18 12/24/1993 潮位265cm的台中港SPOT衛星影像

- 圖 4.19 6/8/1994 潮位443cm的台中港SPOT衛星影像
- 圖 4.20 1/27/1994 潮位461cm的台中港SPOT衛星影像
- 圖 4.21 1/11/1994 潮位480cm的台中港SPOT衛星影像
- 圖 4.22 10/3/1986 潮位490cm的台中港SPOT衛星影像
- 圖 4.22 潮位為132cm、72cm、48cm及2cm的外傘頂洲邊界圖
- 圖 5.1 台中港外海研究海域分區位置圖
- 圖 5.2.a 台中港外海A、C區波數譜圖
- 圖 5.2.b 台中港外海E、G區波數譜圖
- 圖 5.2.c 台中港外海I、K區波數譜圖
- 圖 5.2.d 台中港外海M、O區波數譜圖
- 圖 5.2.e 台中港外海Q、S區波數譜圖
- 圖 5.3.a 台中港外海 1/4/1995 SAR 影像
- 圖 5.3.b 台中港外海 4/26/1995 SAR 影像
- 圖 5.3.c 外傘頂海域 1/4/1995 SAR 影像
- 圖 5.3.d 外傘頂海域 4/26/1995 SAR 影像

壹、前言

1-1 源起

國內各界因感於衛星遙測於各科技領域上之應用日漸廣泛，因此於民國八十二年六月在國立中央大學完成資源衛星接收站之建站，並於七月開始運轉，開啓了我國衛星遙測的新紀元。目前接收的衛星資料，包括法國 SPOT 2號、3號衛星、美國 Landsat衛星、歐洲ERS-1衛星等。由於衛星遙測影像具有廣域涵蓋，及重覆涵蓋及經濟快速等特性，港研所乃於八十三年七月著手成立預算開始進行「衛星遙測在海洋地形變化之偵測應用研究」，正式踏入衛星遙測應用之領域。希望藉由不同時間各種衛星影像之解析，發展判釋的技術，來瞭解遙測影像在解析海洋地形變化乃至海象觀測上應用的潛力。並與以往傳統方法觀測的結果相互比較，期達相輔相成之效果。

1-2 計畫內容

本計畫研究的主要內容有三項：

1. 由衛星影像所顯示的海域現象配合現場採水作業等資料，研究影像反應與海水水深或水質之間的關係模式，進而研究由影像來判斷水深變化之可行性。
2. 由短時間不同潮位的影像資料研究海岸地區潮間帶之範圍界定。
3. 藉著研究地區同一潮位以往的衛星影像與目前蒐集之影像的比對，判釋海岸或外海沙洲之變遷情形。

1-3 執行方法

為達到上述三項目標，本計畫按照下列步驟逐一進行：

1. 蒐集研究地區之衛星影像。選取之標準為儘量涵蓋不同季節、不同潮位、不同時間之同一地區影像，以便作時間與空間區隔下之判釋分析與比較。
2. 於衛星通過時間，在研究海域實施現場水質採樣，除當場檢驗某些水質因子外，並將水樣攜回以作其他項目之檢驗分析。
3. 結合影像數據與水質檢驗結果，進行建立近海衛星影像與水深或水質關係模式之可行性研究。
4. 描述不同潮位時所顯示的研究區海岸線變化情形。
5. 利用影像處理技術進行調查地區海岸地形變遷偵測。
6. 調查地區地貌變遷之定量描述。
7. 由衛星影像所顯示的現象研究推定水深變化之可行性。

貳、衛星遙測資料特性

2-1 資源衛星簡介

§ 法國史波特衛星(SPOT)

SPOT 是一個太陽同步衛星，平均航高832公里，通過赤道的時間為當地時間上午10點30分，通過台灣上空約為10點45分。軌道與赤道傾斜角98.77度，週期為101.4分，一天可轉14.2圈，衛星通過同一點的週期為26天，在赤道相鄰兩軌道最大距離108.6公里，全球共有369個軌道(Track)，以網格參考系統(GRS)之K, J座標系，台灣地區處於K為 298-300, J為 300-306之間，通過相鄰軌道之時間差五天，而次一天的軌道在東邊第五條軌道上。

SPOT HRV(High Resolution Visible) 感測器，其多光譜態(XS)之地面解析力為 20公尺x20公尺，全色態(pan)為10公尺x10公尺。多光譜態有三個波段，分別為綠光段(XS1: $0.5\mu\text{m}$ - $0.59\mu\text{m}$)，紅光段(XS2: $0.61\mu\text{m}$ - $0.68\mu\text{m}$)與近紅外光段(XS3: $0.79\mu\text{m}$ - $0.89\mu\text{m}$)，全色態的波長範圍在 $0.51\mu\text{m}$ - $0.73\mu\text{m}$ 。HRV的視角FOV(Field of View) 為4.125度，垂直觀測時涵蓋地區寬度60公里。

§ 美國大地衛星六號(Landsat 6)

Landsat 5 於1984年3月1日升空，亦為太陽同步地球資源衛星，在赤道上空705公里，高度運轉傾斜角為98.2度。每次約上午9點42分，由北向南越過赤道，繞地球一圈週期約98.9分，每天繞行約14圈，每16天掃瞄同一地區。全球共有233個軌道，以全球參考系統(WRS)表示，定為Path, Row座標系，台灣地區處 Path 117-118, Row 42-45。

Landsat 掃瞄覆蓋地面每一像幅(scene)約185km x 170km，掃瞄一個像幅約費時 26.31秒，在赤道附近相鄰兩張影像重疊量為百分之7.3，越向兩極重疊越多，在台灣地區重疊約14%。

Landsat TM (Thematic Mapper)有7個波段，其中1-5和7的IFOV(Instantaneous Field of View)為 $4.25\mu\text{ rad}$ ，相當地面解析力30公尺，(為可見光及近紅外光)，波段6的IFOV為 $7\mu\text{ rad}$ ，相當地面解析力為120公尺，(為熱紅外光波段)。TM 以垂直飛行方向做來回掃瞄，掃瞄張角為14.7度，相當地面185公里寬，每個像幅有 5996行掃瞄線，有6320像點。

§ 歐洲資源一號衛星(ERS-1)

ERS-1 是歐洲太空總署(European Space Agency, ESA)負責之衛星，是以太陽同步軌道運行，軌道高度約為 785公里，軌道傾斜角約為98.5度，軌道週期目前是以35天週期運作。

ERS-1上合成口徑雷達影像(SAR)系統是以23度入射角斜視地面物攝取雷達回波資料，掃瞄軌跡寬約100公里，掃瞄軌跡中心距離衛星軌道投影中心約為294公里。

因合成口徑雷達影像不受天候影響，應有助於未來台灣地區遙測應用。

2-2 影像資料說明

由於資源衛星上的感測系統包括有 Landsat 衛星的MSS (Multi-spectral Scanner)，主題測驗儀(TM, Thematic Mapper)及SPOT衛星的 HRV (High Resolution Visible)感測器，各感測器均具有多波段的掃瞄功能，不同的波段之影像相互組合後所顯示的圖像，對於不同的主題判釋有不同之效果。感測器的任一波段掃瞄結果，均以0~255的灰度數值加以儲存，每一個影像的基本解像力，即所謂像元(PIXEL, picture element)。而各衛星不同波段之空間解像力各有不同，如 Landsat 5 TM Band 1~5為30m, MSS Band 1~4為79m, SPOT衛星 XS Band 1~3為20m, P Band 為10m。

將三個波段的影像，經加色重疊後，可得到一個新彩色影像，如 SPOT 取Band 1, 2, 3分別以 B/G/R 之方式重疊，則會得到一個彩色影像，吾人稱之為假色影像。也就是一般我們所看到的衛星圖片影像。在這類衛星圖像中，陸地上的綠色植物呈現紅色，清澈的水體為深藍色，較混濁的水體則呈現淺藍色，裸露地或是都市水泥建築物則多呈灰白色的反應。

本研究計畫所蒐集的衛星影像包括台中港地區和雲林沿海至外傘頂洲海域之 SPOT衛星影像及ERS-1衛星影像。兩個地區的SPOT影像位置參數如表2.1。

表 2.1 SPOT衛星影像位置參數

台中港海域 CORNERS PARAMETERS:

CORNER	LATITUDE	LONGITUDE	NORTHING (TM2)	EASTING (TM2)
UL:	24.3507939	120.4333042	2694000.0000000	192500.0000000
UR:	24.3512041	120.5564957	2694000.0000000	205000.0000000
DR:	24.1886829	120.5570594	2676000.0000000	205000.0000000
DL:	24.1882757	120.4340245	2676000.0000000	192500.0000000

外傘頂洲海域 CORNERS PARAMETERS:

CORNER	LATITUDE	LONGITUDE	NORTHING (TM2)	EASTING (TM2)
UL:	23.7524737	119.9699758	2628000.0000000	145000.0000000
UR:	23.7537355	120.1808666	2628000.0000000	166500.0000000
LR:	23.3790267	120.1831870	2586500.0000000	166500.0000000
LL:	23.3777871	119.9728934	2586500.0000000	145000.0000000

本研究用於分析的衛星影像共19幅，其中台中港部份SPOT影像8幅，外傘頂洲部份SPOT影像7幅，ERS1影像4幅，各影像攝得的時間及當時潮位如表2.2所示。

表 2.2 攝取時間及當時潮位表

地 區	日 期	種 類	潮 位
台中港	1986 10/03	SPOT	4.90 米
	1993 12/08	SPOT	1.06 米
	1993 12/24	SPOT	2.65 米
	1994 01/11	SPOT	4.80 米
	1994 01/27	SPOT	4.61 米
	1994 02/03	SPOT	1.01 米
	1994 06/08	SPOT	4.43 米
	1994 10/16	SPOT	3.70 米
	1995 01/04	ERS-1	
	1995 04/26	ERS-1	
外傘頂洲	1986 09/28	SPOT	-0.24 米
	1992 01/22	SPOT	0.72 米
	1993 07/13	SPOT	-0.25 米
	1994 02/06	SPOT	0.48 米
	1994 03/04	SPOT	0.02 米
	1994 03/27	SPOT	1.32 米
	1994 04/17	SPOT	0.72 米
	1995 01/04	ERS-1	
	1995 04/26	ERS-1	

SPOT影像之台中港區影像範圍，北界是大甲溪口，南界為大肚溪口。海域與陸地部份各半，海域部份離岸最大之垂直距離約 9公里，陸地部份則涵蓋台中港全區、梧棲鎮、沙鹿鎮及龍井鄉部份地段，影像面積為 225 平方公里。外傘頂洲影像的範圍則北起彰化麥寮海岸，南至布袋海岸。海域部份至外傘頂洲最南端往西約1公里，陸地部份東界則自海岸線往內約2公里，全影像面積約為八百八十平方公里。部份影像在左上端未有資料。

參、衛星影像與海域特性關係模式

3.1 理論及估算模式

陽光多波段光譜經過大氣與水面達水底折光復返大氣後達到衛星偵測器時的光度(radiance)減衰變化過程如圖3.1。過程中的光能(light energy)減衰強度受水粒子特性、有機物與無機物的含量、水中懸浮粒子的多寡等之影響而有所不同。理論上，電磁波由太陽輻射出經大氣，穿透水打至海底反射，然後為衛星所偵測，在這過程中為沒有任何能量的增減。但實際的情形是，大氣中的雲及水滴的散射、吸收，地表的反射等因素，常使得電磁波傳送的模式複雜得遠超過我們所想像。因此，為簡化模式的推導，常假設在觀測區內任一點，其大氣效應、地表反射等因素都相同，且可獨立分離出來而在模式中以一加成成份來表示。電磁波穿過了大氣，在進入水中之前，仍有一部份被水面反射(如紫外線)，一部份被水吸收(如近紅外光)，只有可見光能穿透水體。而進入體後的可見光，受到海水中懸浮物、藻類、及水分子等的影響，而產生散射及衰減的效應。在假設觀測區域內海水份為均質(homogeneous)的前提下，依Jerlov(1976)的研究，這種衰減效應可以下式表示：

$$T_r = e^{-\alpha z} \quad (3.1)$$

式中 T_r ：在深度為 z 處的輻射通量(radiant flux)佔入射的輻射通量的比例量。

α ：均勻介質假設下之總量減衰常數(volume attenuation constant)

Jupp(1988)進一步對上式的減衰效應提出了更一般化的敘述法(a more generalized version)以表示出光度(radiance)

$$L_E = (e^{-2kz})\lambda_b + (1 - e^{-2kz})L_w \quad (3.2)$$

式中 I_r : 經由水體後發出的光度
 L_b : 溼底床時之光度
 L_w : 深水時之反射光度
 k : 水體之有效減衰係數

由於反射度(reflectance)為正比於光度(radiance), 故反射度的正常化關係式可依上式原則引申出(Beerwirth, 1993)為

$$R_E = (e^{-2kz})R_b + (1 - e^{-2kz})R_w \quad (3.3)$$

式中 R_E : 經由水體後之反射度(reflectance)
 R_b : 經由底床的反射度
 R_w : 經由水體水分子(molecules)與粒子(particles)之反射度

從(3.1)式中可以看出, 當水深到某一限度後, 那裡將沒有任何光線可以到達, 因此利用可見光估算海水深度將有其限制。Ploycn(1976)指出, 對於完全清澈的海水, 在深22m的範圍內所得水深資料可靠度較高。換句話說, 對於非清澈的海水, 便只能估算其透視度。因此, 在海域現場取樣點實地量測時所採用的方式大抵只能以透視度為主, 並依此準則以建立海水透視度的估算模式。

3.2 解析方法

今在忽略大氣效應(atmosphere effect)的理想與真實狀態下(分別如圖3.2及3.3), 衛星感受器上所接收到的光度可用下式表示

$$R_s = R_a + R_w = R_a + R \cdot e^{-2kz} \quad (3.4)$$

$$R_w = R_s + R_a = R \cdot e^{-2kz} \quad (3.5)$$

故

$$\ln(R_{wi}) = \ln(R_i) - 2k_i; i = 1, n \quad (3.6)$$

式中

R_s : 感受器(sensor)上所接收到的光度

R : 太陽在大氣上的明亮度(illumination)

R_w : 經水面折射後的反射光度

R_a : 散射光(back scatter)

z : 產生全反射之水深

n : 衛星接收光度之波段數

由(3.6)式, 當選取衛星影像之 n 波段作分析時可得

$$z = \sum_{i=1}^n \frac{\ln R_{wi}}{(-2k_i \cdot n)} - M \quad (3.7)$$

$$M = \sum_{i=1}^n \frac{\ln R_i}{(-2k_i \cdot n)} \quad (3.8)$$

式中 M 稱為諸多像元(pixel)底床反射光度之幾何均值標準化常數。由於反射度介於0與1, 故 M 值為正值且在完全反射時其值趨近於零。

今如由實得衛星影像之二波段中加以分析, 由式(3.6)可得

$$i=1 \text{ 時 ; } \quad z = \frac{\ell_n(R_{w1})}{-2k_1} - \frac{\ell_n(R_1)}{-2k_1} \quad (3.9)$$

$$i=2 \text{ 時 ; } \quad z = \frac{\ell_n(R_{w2})}{-2k_2} - \frac{\ell_n(R_2)}{-2k_2} \quad (3.10)$$

故式(3.7)及(3.8)分別可改為

$$z = \sum_{i=1}^2 \frac{\ell_n(R_{wi})}{(-2k_i)} - M \quad (3.11)$$

$$M = \sum_{i=1}^2 \frac{\ell_n R_i}{2(-2k_i)} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\ell_n(R_1)}{-2k_1} - \frac{\ell_n(R_2)}{-2k_2} \right\} \quad (3.12)$$

利用遙測衛星影像中之二波段的反射光度值(R_{wi})及海面的透明度深度(z)可定出各波段之衰減係數(K_i)，最後再利用各波段的衰減係數值可推求預測出遙測透明度預報值。

3.3 測試結果討論

前述方法為求得 k_1 及 k_2 值，必須先有實際量測值 Z (透視度)及所對應的影像反應值，才能用迴歸方法來得。本研究目前以台中港外海為測試區，配合SPOT衛星通過的時間，共進行了兩次海上採樣調查。其日期分別為10/16/1944及4/16/1955。圖3.4為10/16/1944採樣點的位置。表3.1則為本次採樣點水質的檢驗結果。過去的研究顯示，水質的化學性因子(如重金屬元素)與衛星遙測的相關性不高，因此採樣樣本的進一步分析是以物理性因子(如SS, 濁度, 透視度)為主。本次現場調查的採樣點共有11點，但第一點與第十一點分別在港區附近，因此這兩點在所有分析中僅作為參考用。圖3.5至圖3.8分別為各採樣點的海水深度，SS，濁度及透視度與測點間的變化關係。圖3.5之深度變化是由二條航道所組成的，點2、3、4、5、6構成一條越來越淺的航道，而點7、8、9、10則是另一條越來越深的航道。其次，圖3.9為點6、5、4、3、2之深度與SS之關係圖，圖3.10則為點7、8、9、10之深度與SS之關係圖，圖3.11與圖3.12則分別為採樣點6、5、4、3、2與點7、8、9、10之深度與濁度之關係。圖3.13與3.14則分別為採樣點6、5、4、3、2與點7、8、9、10之深度與透視度之關係。進一步的分析結果顯示台中港外海之水深與SS及濁度之關係很難找到相關性，但水深與透視度卻呈現近乎正比關係(圖3.14)。亦即海水越深的地方，透視度越大。

圖3.15為4/16/1995採樣點的位置圖。表3.2為其各採樣點水質的檢驗結果。由於重金屬與衛星影像的相關性不高，因此本次的採樣調查省略了重金屬的分析，只檢驗了SS及透視度（此次採樣濁度計發生問題，因此沒有濁度的分析結果）。港外採樣點共七點，圖3.16至圖3.18分別為各採樣點的深度，SS及透視度與各測點間之變化關係。整個採樣過程亦可由點1、2、3、4及點5、6、7分為兩航道。各航道採樣點之深度與SS及透視度之關係見圖3.19至3.22。海上採樣及分析的目的主要是嘗試與衛星影像建立水深之關係模式。由3.1節及3.2節可知本研究所用的模式主要是由採樣點的透視度及衛星影像所對應位置的反應值來推導的，因此兩次海上採樣(10/16/1994及4/16/1995)都是配合SPOT衛星通過的時間進行。但因4/16/1995當天天氣狀況相當不穩，以致測試區上空的雲量在衛星影像上涵蓋相當大的面積，因此無法與採樣點的檢驗結果一起配合分析。所以本研究是以10/16/1994的採樣及當天SPOT衛星影像進行水深關係模式之推導。圖3.23為10/16/1994台中港及其外海之SPOT衛星影像。利用採樣點之透視度(Z)及所對應的影像像元值，可經由式(3.6)透過線性迴歸求得海水的衰減係數(K)。

在計算線性迴歸時，利用點7, 8, 9, 10作為計算的數值，然後再以所求得的 k_1 及 k_2 來估算點2, 3, 4, 5, 6的透視度，如此可以和量測值做比較。 k 在SPOT綠色波段(k_1)，紅色波段(k_2)的線性迴歸圖及數值如下(近紅外波段因海水吸收的關係，不予考慮)：

衰減係數(K)	像元值視窗1*1	像元值視窗3*3
k_1 (綠色)	0.13	0.12
k_2 (紅色)	0.34	0.37

其與點2, 3, 4, 5, 6透視度量測值之比較如下：

	像元值視窗1*1	像元值視窗3*3
RMS(m)	0.015	0.187

由RMS值可知由線性迴歸所求得的衰減係數在實際量測值比較時，其結果相當合理。由以上的分析，可將衰減係數透過式(3.11)應用在影像上每一個像元，然後估算出每一像元所對應的透視度，其結果應用在 10/16/1994 SPOT 衛星影像，其估算的透視度圖見圖3.24，基本上透視度呈現越往外海越大(影像上越亮的部份)。亦即越往水深的地方，則透視的程度越好，此與實際採樣的量測結果相當吻合。另由10/16/1994之現場採樣及當日衛星影像所計算出的衰減係數也嘗試用來推算另一日期衛星影像(12/8/1993)的透視度。圖3.25為12/8/1993的SPOT衛星影像，圖3.26則為其所對應的透視度。結果亦顯示越往外海水深的地方，透視度越大。由兩張衛星影像所估算出的透視度結果顯示本研究所用的模式基本上可用於估算衛星影像與透視度間的關係。其次，本研究另一測試區為外傘頂洲。海水採樣調查於12/12/1994進行。其採樣點位置分佈圖見圖3.27。表 3.3則為其檢驗結果。圖3.28至圖3.31為各採樣點的深度與SS，濁度及透視度。圖3.32至圖3.34分別為採樣點的深度與SS，濁度及透視度之關係。由圖3.34中可見深度與透度亦約略呈現正比關係，即水深之處透視度較佳，不過，由於外傘頂洲的當天之量測因衛星接收站天線臨時出狀況，因此沒有當天的衛星影像以做進一步的分析，殊為可惜。但上述以台中港海域影像及海面調查資料所求得的衰減係數(k_1 及 k_2)則可用於本研究所收集的3/27/1994 之外傘頂洲的SPOT衛星影像(圖3.35)當天潮位為132cm。影像透視度經分析結果如圖3.36。

表 3.1 台中港外海採樣點檢驗結果

日期：1994.10.16

(1/2)

測定項目	深度	測點1	測點2	測點3	測點4	測點5	測點6	測點7	測點8	測點9	測點10	測點11
採樣起始位置 (N24° E120°)		N18.32'	N19.02'	N18.94'	N18.70'	N18.30'	N17.97'	N18.47'	N18.76'	N19.00'	N19.19'	N17.44'
		E28.98'	E29.26'	E29.74'	E30.20'	E30.43'	E30.68'	E31.33'	E31.00'	E30.78'	E30.15'	E30.70'
採樣離開位置 (N24° E120°)		N18.50'	N19.09'	N18.98'	N18.66'	N18.23'	N17.94'	N18.46'	N18.72'	N18.99'	N19.20'	-
		E29.03'	E29.32'	E29.81'	E30.24'	E30.46'	E30.72'	E31.35'	E30.98'	E30.78'	E30.34'	-
採樣起始時間		09:50	10:07	10:19	10:31	10:41	10:51	11:04	11:14	11:22	11:37	12:22
採樣離開時間		10:00	10:14	10:25	10:36	10:46	10:56	11:09	11:18	11:28	11:50	12:27
pH		7.66	7.79	7.83	7.84	7.84	7.86	7.87	7.88	7.86	7.85	7.82
溫度(°C)		29.6	28.8	28.2	28.9	28.5	28.6	29.1	28.5	28.5	28.3	28.6
導電度(ms/cm)		47.2	49.3	50.6	50.5	50.7	49.9	50.6	49.8	50.5	50.7	50.6
DO(mg/l)		9.1	9.2	9.1	8.6	9.4	9.2	8.6	8.3	9.2	8.7	7.8
濁度(NTU)		7	12	8	10	8	14	13	8	7	6	14
鹽度(‰)		3.18	3.24	3.33	3.31	3.33	3.28	3.33	3.28	3.33	3.34	3.33
SS(mg/l)		22	20	20	23	22	24	15	25	20	20	22
pH		7.79	7.81	7.83	7.84	7.85	7.87	7.84	7.85	7.86	7.85	7.81
溫度(°C)		29.1	29.1	28.2	28.4	28.7	28.7	29.1	28.4	28.9	28.5	29.3
導電度(ms/cm)		49.2	49.5	50.7	51.1	50.4	50.4	50.4	51.1	50.1	50.4	50.2
DO(mg/l)		8.9	9.3	9.4	8.9	8.9	8.9	9.3	9.3	8.7	8.7	8.7
濁度(NTU)		12	7	8	9	9	11	14	7	12	7	12
鹽度(‰)		3.23	3.24	3.34	3.34	3.32	3.31	3.31	3.36	3.31	3.31	3.31
SS(mg/l)		22	23	22	24	22	26	20	32	24	20	21

表 3.1 台中港外海採樣點檢驗結果(續)

日期：1994.10.16

(2/2)

測定項目	深度	測點1	測點2	測點3	測點4	測點5	測點6	測點7	測點8	測點9	測點10	測點11
pH	底層 (海平面 下10m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.86	-
溫度(°C)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	27.7	-
導電度(ms/cm)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	51.2	-
DO(mg/l)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.4	-
濁度(NTU)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-
鹽度(‰)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.37	-
SS(mg/l)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	23	-
油脂(mg/l)	表層水樣	4.46	5.54	3.57	3.51	4.06	2.54	3.31	3.33	2.03	2.88	2.77
COD(mg/l)	混合水樣	8.24	12.18	5.04	13.02	9.24	6.31	6.93	7.56	5.88	5.88	5.04
Ni(ppb)	混合水樣	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cd(ppb)	混合水樣	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fe(ppb)	混合水樣	640	680	780	710	230	930	940	950	900	980	1070
Cu(ppb)	混合水樣	ND	25	ND	ND	20	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Pb(ppb)	混合水樣	7	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4	ND
Zn(ppb)	混合水樣	41	23	25	24	17	13	5	14	9	4	43
Cr(ppb)	混合水樣	13	16	15	12	10	10	16	16	13	16	8
透視度(Secchi disk)(m)	混合水樣	2.5	2.5	2.5	2.1	2.5	1.9	1.7	2.1	2.5	2.5	1.8
海底深度(m)		25	27	24	21	9	3	2	5	14	22	4

表 3.2 台中港外海採樣點檢驗結果

日期：1995.4.16

測定項目	深度	測點1	測點2	測點3	測點4	測點5	測點6	測點7	測點8
採樣起始位置 (N24° E120°)		N17.89'	N18.23'	N18.48'	N18.78'	N18.77'	N18.52'	N18.06'	N17.48'
		E29.42'	E29.25'	E28.73'	E28.28'	E29.27'	E30.25'	E31.04'	E30.78'
採樣離開位置 (N24° E120°)		N17.97'	N18.26'	N18.53'	N18.83'	N18.82'	N18.49'	N18.08'	-
		E29.45'	E29.28'	E28.77'	E28.32'	E29.36'	E30.26'	E31.04'	-
採樣起始時間		10:38	10:49	11:01	11:13	11:28	11:42	11:55	12:40
採樣離開時間		10:44	10:53	11:05	11:16	11:32	11:46	11:59	12:43
SS(mg/l)	表層	13.48	17.12	14.79	15.94	16.01	12.63	14.27	17.51
SS(mg/l)	中層	12.17	15.22	15.31	14.57	16.59	14.43	13.69	17.11
SS(mg/l)	底層	18.97	16.73	10.44	15.46	13.99	13.29	27.83	16.24
透視度(Secchi disk)(m)		4.5	5.1	4.6	5.5	4.8	5.3	5.8	3.8
海底深度(m)		21	23	27	30	25	16		

表 3.3 雲林縣外海採樣點檢驗結果

日期：1994.12.12

測定項目	深度	測點1	測點2	測點3	測點4	測點5	測點6	測點7	測點8
採樣起始位置 (N23° E120°)		N34.00'	N33.91'	N34.61'	N35.46'	N35.58'	N35.78'	N36.06'	N34.49'
		E07.16'	E05.62'	E03.66'	E02.98'	E02.79'	E01.13'	E119° 59.90'	E01.13'
		-	-	N34.61'	N35.45'	N35.56'	-	-	-
採樣離開位置 (N23° E120°)		-	-	E03.64'	E02.98'	E02.75'	-	-	-
		10:03	10:18	10:35	10:50	10:56	11:15	11:27	11:46
		10:08	10:22	10:40	10:54	11:01	11:18	11:30	11:49
採樣離開時間		30	28	27	28	28	28	28	28
		14	11	12	11	8	4	3	5
		16.75	14.75	15.5	25.75	12	17.75	4.5	14.75
溫度(°C)		30	28	27	28	28	27	28	27.8
		22	16	16	14	9	12	4	9
		25	21	28	19.75	24.75	32.5	18.5	17.25
濁度(NTU)		-	-	27	28	27	27	27	27.9
		-	-	19	16	14	13	5	11
		-	-	32.5	23.5	36.25	31.5	25.5	36.5
SS(mg/l)		0.8	1.4	1.6	1.6	1.6	3.1	5.1	2.9
		5	8	10	16	21	16	26	10
		海底深度(m)							

肆、海岸區地形變遷與潮汐修正模式

要做到自動化的海岸地形變遷量測，首先要克服的問題即是如何將海岸地形從衛星影像中萃取出來，如此，我們才能進一步的分析其形狀及面積等特性。此種萃取的過程，也就是影像分割(images segmentation)所探討的問題。

4.1 彩色影像分割法

一般而言，影像分割的技術是基於"在某種特性(feature)的度量下，就每一被分割的區域內而言，該特性有其均勻性(homogeneous)，而在不同區域之間，該特性有突然的變化"的假設而發展出來。按影像分割所依據的準則不同，基本上，影像分割可以分為五大類：

- (1) 區域長成法(region growing methods)
 - (2) 邊偵測法(edge detection methods)
 - (3) 群集法(clustering methods)
 - (4) 依背景而定的分類法
(context-dependent classification methods)
 - (5) 門檻端始值法Thresholding methods
-
- (1) 區域成長法：這類演算法都定義有一個表示均質性的準則，然後由一些種子點開始，藉著比較鄰近點與已成長區域特性相似的程度，而決定是否將鄰近點包括進來。其中如何選擇種子點、以何種方式衡量相似性、成長到何時停止及如何決定區域的數目，都是這類方法必須先克服的問題。
 - (2) 邊偵測法：利用兩個均勻區域間某種特性突然的變化，將物體的邊界找出而達到影像分割的目的。邊偵測法是一種簡單、計算量少的方法，但應用時常容易受雜訊的影響而產生片段的邊及假的邊。如何去蕪存菁，再將不連續的邊連成一個個完整而有意義的輪廓乃是本法的一個大問題。
 - (3) 群集法：彩色影像或多頻影像(multispectral image)的分割最常見的方法就是群集法。對這類方法而言，影像分割是一個圖訊識別的問題：給定一些特徵空間(feature space)上的點，找出最好的分割方式

使得特性向量(feature vector)的變異(variation)在群集內最小,而在群集間最大。

- (4) 依背景而定的分類法：它考慮到各像元點(pixel)間的相互關係,並以 contextual information或spatial information來考慮像元點的分類。這類方法最適合處理模糊不清的影像,其最大的缺點是耗費大量的計算時間。
- (5) 門檻端始值法：相對(1)、(3)、(4)等方法來講, thresholding methods是一種簡單、計算量又少的方法。它依據每一pixel的值計算其統計分佈圖(histogram),然後依據該分佈圖的形狀選擇波谷的灰度值為threshold value。這類方法只能處理非單峰分佈的影像,而如何選擇適當的threshold value是此法必須解決的問題。

了解各類影像分割方法的優缺點後,乃就外傘頂洲衛星影像的特性為例,選擇適當的方法,以獲得正確而有效率的分割影像。經仔細觀察幾數外傘頂洲衛星影像後可發現外傘頂洲SPOT 2衛星影像具有下列幾種特性：

- (1) 灰度值的動態範圍(dynamic range)小,且是單峰分佈。
- (2) 雜訊大。
- (3) 海水、沙洲的顏色受照度影響在不同影像間變化很大。
- (4) 低潮位時,淺灘處水陸分界極難定義。

經分析出這四種特性後,可發現若直接以衛星影像進行影像分割將變的十分複雜。因此,我們希望能將原來的multispectral image轉換至另一featurespace上,在此空間上便能以較簡單的方式以完成影像分割。實驗後發現Onta[4]所提出的I1、I2、I3 color space能幫助我們達成目標。

Onta證明下面三種相互正交的特性向量,因有極佳的分割能力,最適合於彩色影像的問題中使用。

$$\begin{aligned}I1 &= R + G + B / 3 \\I2 &= R - B / 2 \\I3 &= 2G - R - B / 4\end{aligned}$$

SOPT 2衛星影像中我們令 $IR=R$, $R=G$, $G=B$, 計算I2 plane後可發現, 在I2 plane上, histogram為雙峰分佈, 因此, 我們將I2 image藉由 threshold selection method便可得到一張二元化的影像(binary image) X 。

在影像 X 中, 除外傘頂洲外還可能有一些區域也被萃取出來, 為了將這些區域消去, 只留下外傘頂洲, 可利用外傘頂洲地形上是西南—東北走向這樣的資訊, 並假設在此方向上外傘頂洲是最長的物體, 再利用數學形態學的技術(mathematic morphology)[6]將外傘頂洲萃取出來。

為了進一步說明數學形態的觀念, 方便外傘頂洲萃取及潮位內插過程說明, 此處必須先定義一些符號。

假設 A 及 B 是在 N 維空間 E^n 上的集合。 $a_1=(a_1, a_2, \dots, a_n)$, $b_1=(b_1, b_2, \dots, b_n)$ 是集合中的某一元素, B 在形態學中稱為結構性元素(structuring element)。

定義一 膨脹(dilation)運算 $A \oplus B = \{C \in E^N \mid C = a + b, a \in A, b \in B\}$

定義二 收縮(erosion)運算 $A \ominus B = \{x \in E^N \mid x + a \in A \forall b \in B\}$

定義三 開(opening)運算 $A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$

定義四 閉(closing)運算 $A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$

直覺上來說, 開運算的結果是將 A 中容納不下 B 的部份移去, 而閉運算則是將 A 的complementary set中容納不下 B 的部份除去。因此, 我們若定義一個 45° 的直線為 B_1 , 它的長度只有外傘頂洲能容納的下, 我們就能夠用開運算消去非外傘頂洲的區域, 而得影像 Y 。

$$X \circ B_1 = Y$$

4.2 外傘頂洲地形變遷量測

將二張不同時間的外傘頂洲衛星影像做XOR 運算所得結果即是二張影像不同之處。由前節的方法可自動將外傘頂洲從影像中萃取出來。因此可用來偵測其地形的變遷。海岸線的變遷受到潮汐的影響非常大，因此，偵測過程必須將潮汐的影響考慮進來，不同潮汐對外傘頂洲的影響可由本研究所收集的SPOT衛星影像很明顯的看出，其資料如下：

日 期	潮 位(cm)
3/27/1994	132
4/17/1994	72
2/ 6/1994	48
3/ 4/1994	2

其所對應的SPOT衛星影像如圖3.35、4.1、4.3及4.2，將此四張影像重疊在一起，潮汐之影響便一目了然(圖4.4)。最理想的情況是不同時期的兩張影像正好在低期。本研究共收集了兩組資料分別是在不同年代，但相同潮位的資料。

日 期	潮 位(cm)
9/28/1986	-24
7/13/1993	-25
1/22/1992	72
4/17/1994	72

圖4.5為9/28/1986外傘頂洲的SPOT影像，圖4.6則為用影像分割技巧自動萃取出的邊界。而圖4.7及圖4.8則分別為7/13/1993外傘頂洲的SPOT衛星影像及其邊界。圖4.9為將這二張相差7年(1986—1993)同時近乎相同潮位(-24cm及-25cm)的邊界重疊在一起結果，整個外傘頂洲的變遷於是是很明顯的呈現出來。在這7年中，外傘頂洲因侵蝕原因，總共消失了約 $17 \times 10^6 \text{ m}^2$ 的面積，大部份集中於外傘頂洲的兩側。在外端的侵蝕速度每年往東南方向最大移動約93m，外傘頂洲內側往西北最大移動則約170m。因此，外傘頂洲越來越細狹。但在南端約增加了 $2 \times 10^6 \text{ m}^2$ 的面積。總體來講，外傘頂洲的外側及內側在逐漸消失中，唯一增加的地方是在南端。

此外，由兩張相同潮位(72cm)但只相隔兩年(1/22/1992-4/17/1994)的SPOT衛星影像及其邊界(圖4.10，圖4.11，圖4.1及圖4.12)兩張影像的

變遷圖如圖4.13。故從1992至1994兩年間，在潮位72cm的狀況下，外傘頂洲的兩側亦在消失中，兩年之間往東南方向之最大移動約150m，往西北方向之最大移動約700m。很明顯的，外傘頂洲靠內海部份，正以相當快的速度在消失中。

4.3 外傘頂洲邊界與潮位關係模式

傳統上，潮位線或等高線的內插都是以TIN的技術來完成。在本研究中，則為利用骨架(skeleton)的觀念所發展出之之一新的海岸線間之關係的內插方法。

骨架定義[6]：圖形X的骨架，以 $S(X)$ 表示，是所有含在X內的最大內接圓的圓心所成的集合。若令 $Sr(X)$ 代表半徑為r且在X內為最大內接圓的圓心所成集合，則

$$S(X) = \bigcup_{r>0} Sr[X] \quad (4.4)$$

上列圖形X的骨架 $S(X)$ ，有下述的關係存在[6]

$$S(X) = \bigcup_{r>0} Sr(X) = \bigcup_{r>0} [(X \ominus rB) / (X \ominus rB) \circ drB] \quad (4.5)$$

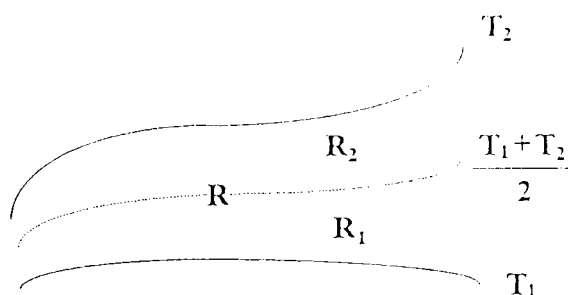
其中 rB 代表半徑為r的圓， dr 為r的微分量。

注意到在(4.5)式的關係下，我們可以很容易的利用 $Sr(X)$ 重構出X。

$$X = \bigcup_{r>0} Sr(X) \oplus rB$$

從骨架的定義可知道， $S(X)$ 將X等分為二，並且保有X的形狀。利用這種特性，我們便能解決內插過程中，由於高、低潮位線大小不同而造成對應點不易決定的問題。在本研究所發展出的演算法如下：

假設現有兩不同潮位線 $T1$ 及 $T2(T1>T2)$ 如下圖，其中 R 為 $T1$ 和 $T2$ 潮位下所包圍的區域。



就某潮位 X 而言，潮位線可就下列方式求得：

1. 以(4.5)式求得 $S(R)$ 得到一潮位為 (T_1+T_2) 的潮位線，此潮位線將 R 分割為 R_1 ， R_2 兩區域。
2. 若 $X > (T_1+T_2)$ 則令 $T_1=T_1$ ， $T_2=(T_1+T_2)$ ， $R=R_1$ 。否則，則令 $T_1=(T_1+T_2)$ ， $T_2=T_2$ ， $R=R_2$ 。
3. 重覆1、2步驟，直至 $X - (T_1+T_2) < \text{衛星影像地面解析度}$ 。

利用上述方法，我們可利用有限的衛星影像及對應的潮位來內插任何需要的潮位。本研究所測試的資料是收集在短時間內不同潮位的衛星影像。其基本假設是外傘頂洲在短時間內不會有顯著變化，因此，唯一的變化是由潮汐所引起。所蒐集到的資料如下：

日	期	潮 位 (cm)
3/	4/1994	2
4/	17/1994	72
2/	6/1994	48

首先利用潮位為2cm的3/4/1994之影像(圖4.2)及潮位為72cm的 4/17/1994之影像(圖4.1)來內插成48cm的潮位。而潮位為48cm的2/16/1994之影像(圖4.3)則是用來作為驗證的潮位。內插的結果見圖4.14, 其與真正潮位的比較見圖4.15。很明顯的，內插結果與真正的潮位相當吻合，唯一有差異的地方是在北端內海部份，因侵蝕所造成的形狀，變異比較大。

由3/4/1994潮位為2cm及4/17/1994潮位為72cm的SPOT影像，我們亦嘗

試推算海底坡度。兩張影像重疊後(圖4.16), 潮位差70cm, 代表水深的變化, 而外傘頂洲邊緣的變化代表不同潮位所引起的沙灘變化, 因此可由兩者的變化程度來推算坡度。上圖中各點的坡度如下: $A=0.04^{\circ}$, $B=0.46^{\circ}$, $B'=0.12^{\circ}$, $C=0.34^{\circ}$ 。很明顯的, 外傘頂洲北端的海底比南端較平坦, 而外海的海底則較陡峭。

4.4 台中港變遷之偵測

本研究也收集了不同潮位的台中港SPOT衛星影像, 所用的影像拍攝日期及對應的潮位如下:

日 期	潮 位(cm)
2/ 3/1994	101
12/24/1993	265
6/ 8/1994	443
1/27/1994	461
1/11/1994	480
10/ 3/1986	490

圖4.17至圖4.22分別為上述不同潮位的SPOT影像。不同潮位對台中港水域的影響不大, 但對於大甲溪及大肚溪出海口附近的淺灘側則有相當大的影響。在低潮位時, 露出的淺灘非常明顯(圖4.17)。此外, 由1986年10月 3日所拍攝得的台中港海域SPOT衛星影像(圖4.22)。與圖4.21比較, 由於兩者潮位均相當高, 因此大甲溪及大肚溪出海口附近之變遷無法從影像上直接獲得。

伍、由波浪現象解析近岸水深變化

5-1 折射理論

當波浪在外海生成之後，我們可以用 Dispersion 方程式來加以描述

即
$$\sigma^2 = gk \tanh kh \quad (5.1)$$

式中 σ 表 角頻率數(angular frequency)

k 表 波數(wave number)

h 表 水深

g 表 重力加速度

而波速
$$C^2 = \frac{g}{k} \tanh kh \quad (5.2)$$

波長
$$L = \frac{g}{2\pi} T^2 \tanh \frac{2\pi h}{L} \quad (5.3)$$

在深水區時 $kh > \pi$

$$L_0 = \frac{g}{2\pi} T^2 = 1.56 T^2$$

(單位: 米)

$$C_0 = \frac{g}{2\pi} T = 1.56 T$$

(單位: 米/秒)

當波浪由外海向海岸推近，進入淺水區時，由於水深 h 的變小，會產生許多變化，如波高變大，波長變短，波向也向岸邊彎曲。波長與波速之變化可分別以下式表示

$$L = L_0 \tanh kh \quad (5.4)$$

$$C = C_0 \tanh kh \quad (5.5)$$

假設海岸為平直海岸，等深線亦平行於海岸，則波向的改變可用 Snell's 定律來表示，即

$$\frac{\sin\theta}{c} = \frac{\sin\theta_0}{c_0} \quad (5.6)$$

C_0 與 θ_0 分別表示深水波的波速及波向線與垂直於海岸之法線之夾角， C 與 θ 則表示波浪進入水深變化區後的波速與夾角，此式的意義為波浪在行進當中，波速(Wave Celerity)的變化將伴隨著波向之改變。事實上， C 與 θ 值均會隨波浪之接近海岸而逐漸變小。因此在近岸地區，波峰波谷線將漸平行於海岸線。在衛星影像中，我們可以量測到波浪的波長與波向的空間變化數值，因此利用(5.4)、(5.5)、(5.6)式之關係即可推斷出水深 h 之變化。

5-2 實施方法

為了驗證波浪受水深變化之影響所產生的折射現象，我們選定1993年12月8日台中港區衛星影像圖(圖3.25)的左邊部份，由北向南帶狀區域加以分割作為研究區。當天的衛星影像顯示風浪相當大，根據天氣圖之分析，當天是吹東北風，風力在六級以上，波浪的來向大致由北向南，而在衛星圖中，台中港海岸是東北--西南走向，因此在選定區域由北端開始水深約在50米左右，而愈往南方，水深愈淺，至南端大肚溪口時，已為近0米之淺灘，波浪行進過程中可看出波向之變化，然而海面狀況往往是紛亂的，若要定出波浪的波向與波長，是無法用肉眼直接準確判定的，因此必需應用波數譜的觀念來加以處理。

對衛星影像而言，可獲得瞬間之波數波譜，即

$$S_{(k)} = S_{(k_x, k_y)}$$

設影像強度為 $I(x, y)$ 則利用二維傅氏轉換可得波譜如下：

$$S_{(k_x, k_y)} = \iint I(x, y) e^{-jk_x x - jk_y y} dx dy$$

實際之作法將 $I(x, y)$ 等分為 $L_1 \times L_2$ 個次影像，每一次影像大

小為 $N_1 \times N_2$ ；

$$\begin{aligned} I(x, y) &= I_{ij}(n_1, n_2) = I[n_1 + (i-1)d_1, n_2 + (j-1)d_2] \\ 0 \leq n_1 &\leq N_1, \quad 0 \leq n_2 \leq N_2 \\ 0 \leq i &\leq L_1 - 1, \quad 0 \leq j \leq L_2 - 1 \end{aligned}$$

d_1, d_2 為正整數，為相鄰次影像間之空間位移。

若 $S(k_1, k_2)$ 估算後，波長及波向可計算出如下：

$$\begin{aligned} k_m^2 &= (k_{1m}^2 + k_{2m}^2) \\ L &= 2\pi / k_m \\ \theta &= \tan^{-1}(k_{1m} / k_{2m}) \end{aligned}$$

其中 k_m 為 $S(k_1, k_2)$ 之峰點波數

L 為波長

θ 為波向

本研究是將圖3.25左端自上至下區隔成A, B, C, D, S等方塊(Block)，每一個方塊為128 pixel×128 pixel。所處理的影像為全色態波段(P Band)數據。其對應於海圖中的位置如圖5.1所示，其中A, B, C三區已超出海圖範圍，因此僅用作波長、波向之計算，不作水深之推定，經過上述波數譜處理後可得到波數譜圖（圖5.2），如果以各圖中心點為原點，畫垂直與水平線，則水平軸代表波數K在X方向的分量，垂直線則代表波數K在Y方向上的分量，亮點離原點愈遠，表示波數愈大，也就是波長愈短。

5-3 結果分析

利用1993年12月 8日台中港區衛星影像所得的二維波數譜圖(圖5.2)所示,亮區的位置是以中心原點呈對稱之形式,由於影像獲取的時間正吹襲東北風,因此我們只看第一象限的亮點,比較各分區的結果可以看出由A區至S區(由北向南)最亮點的位置由第一象限逐漸向Y軸逼近,至M區時已移至Y軸上,然後續向第二象限移動,而亮點與中心原點的距離則有逐漸增大的趨勢。這些現象所顯示的意義是波浪自北方傳來,因為水深逐漸變淺,使得波向漸次彎向海岸,而波長則逐漸變短。

由圖5.3我們量出最亮區的位置距離X, Y軸的距離就可以用上節的方法計算出主要成份波的波長與波向,其結果如表5.1。

在A區時主成份波之波長為114米,而波向為 18° (正北為 0° ,順時針方向旋轉),至M區時波長變為83米,波向則為正北,至S區時,波長已變為68米,波向則為 350° 。

得到表5.1的結果後,先定出海岸線之走向,再計算各分區波向線與垂直岸的法線間的夾角 θ ,由Snell's Law即可得出 C/C_0 ,再由(5-5)式即可求得計算水深 h ,表5.2即為計算的結果。對於各分區的真正水深,本年度並沒有實地測量,而表中最後一欄的水深(h_r)係採用民國八十三年六月三十日海軍海洋測量局製作的台中港海圖的相關數據,由計算的 h 與實測的 h_r 相比較,可發現其差異並不大,因此,由這種方法推求近岸地區的水深變化應是可行的。而求解的過程中許多技巧及相關的問題仍有賴進一步的研究。至於 ERS-1衛星所獲得的SAR影像,如圖5.3所示,用同樣的方法分析,波數譜圖中並無明顯的尖峰區,因此未用於推算。

表 5.1 台中港外海1993年12月8日分區波浪、波向計算表

分區	波長(米)	波向
A	114	18°
C	107	16°
E	101	15°
G	101	14°
I	92	6°
K	88	3°
M	83	0°
O	81	356°
Q	75	353°
S	68	350°

表 5.2 由波長、波向推算各分區水深表

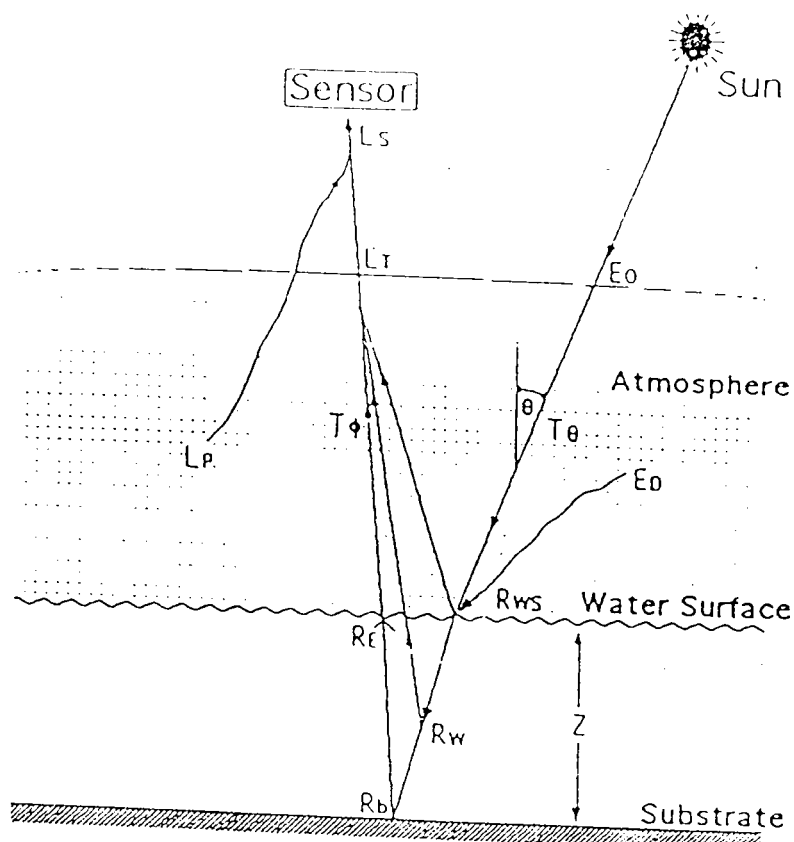
分區	$\sin \theta$	C/C_0	k	h	h_r
A	0.985	1.00	0.055	-	-
C	0.978	0.99	0.059	44	-
E	0.974	0.98	0.062	41	43
G	0.951	0.97	0.062	40	46
I	0.927	0.94	0.068	26	30
K	0.906	0.92	0.071	22	20
M	0.883	0.90	0.076	19	19
O	0.848	0.86	0.078	17	17
Q	0.819	0.83	0.083	14	15
S	0.788	0.80	0.092	12	10

陸、結 論

1. 本研究建立出近岸水域透視度與衛星影像輻射值之關係模式，由於台灣西海岸漂沙活動，波浪作用及污染物排放之影響，使得近岸海水混濁，較不適於用衛星影像與水質關係模式來推定水深，但如應用於澄淨的水域，則應可用衛星影像來推定水深，此點有賴進一步推求與驗證。
2. 利用衛星影像分析研判海岸地區漲退潮間不同潮位之海岸線的方法具有正確、快速之功能，而利用內差之原理，可描繪出高、低潮位間任一潮位之海岸線狀況圖形，節省大量之海上實測人力與經費，本研究完成外傘頂洲邊界與潮位間之關係模式。
3. 蒐集不同時間的相近潮位衛星影像，可用來研判海岸線之侵蝕與淤積現象，並可瞭解長時間之海岸線變化趨勢。
4. 經分析歷年外傘頂洲影像，可發現外傘頂洲於高潮及低潮時，沙洲露出水面的面積變化極大，在潮位1.32米時，僅殘留西南端極小之部份，其他較低潮位時，雖在衛星影像上有較大之面積，但多為潛沙洲。
5. 由1986年及1993年低潮位(分別為-24cm及-25cm)的外傘頂洲影像比對分析，可發現整個外傘頂洲面積已經縮小，並向東南方的陸地接近，沙洲外側每年往東南方移動約93米，而最南端部份則有向西南延伸之趨勢，此現象與本所於1990, 1991, 1992年現場量測之數據相符合。
6. 利用海域影像所顯示的波浪現象，經由二維波數譜的處理可計得海面之波長與波向，而利用波浪折射之理論可用來反推水深之變化。初步研究可發現其差異性不大，模式推定應為可行，值得進一步探討。

參考文獻

2. Daen, R. G. Dean and Robert A. Dalrymple "Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists", Chapter 3, 4, 1984.
1. Bierwirth, P.N., Lee T.J., and Burne R.V.: "Shallow Sea-Floor Reflectance and Water Depth Derived by Unmixing Multispectral Imagery", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 59, No. 3, PP. 331-338, 1993.
3. Jerlov, N.G. "Marine Optics", Elsevier, Amsterdam, 1976.
4. Oht, J.: Takeo Kande and Toshiyuki Sakai, "Color information for Region Segmentation", Comput. Graphics Image Processing, Vol. 13, PP. 222-248, 1980.
5. Ploym, F.C.: "NASA/Cousteau Ocean Bathymetry Experiment - Remote Bathymetry Using High Gain Landsat Data, Tech. Rep. NAS5-22597, NASA/GSFC, Washington, DC, 1976.
6. Serra, J.: "Image Analysis and Mathematical Morphology", London, Academic, 1982.
7. 黃清和等: "台灣西海岸沖淤調查研究(三)", 台灣省政府交通處港灣技術研究所82年研(五)研究報告, 1993年6月。
8. 國立中央大學太空遙測中心衛星遙測實驗室: "使用者手冊", 1993年12月。



- Factors influencing the amount of radiance reaching a sensor over a water mass.
- E_0 solar illumination at the top of the atmosphere
 - T_0, T_θ atmospheric transmittance
 - E_0 diffuse sky irradiance
 - R_{ws} reflectance from the water surface
 - R_w reflectance from molecules and particles in the water column
 - R_b substrate reflectance
 - R_e effective reflectance of the water body (not including R_{ws})
 - L_p atmospheric path radiance (back-scatter)
 - L_r radiance from the target transmitted by the atmosphere
 - L_s radiance received at the sensor

圖 3.1 光譜光度減衰變化過程

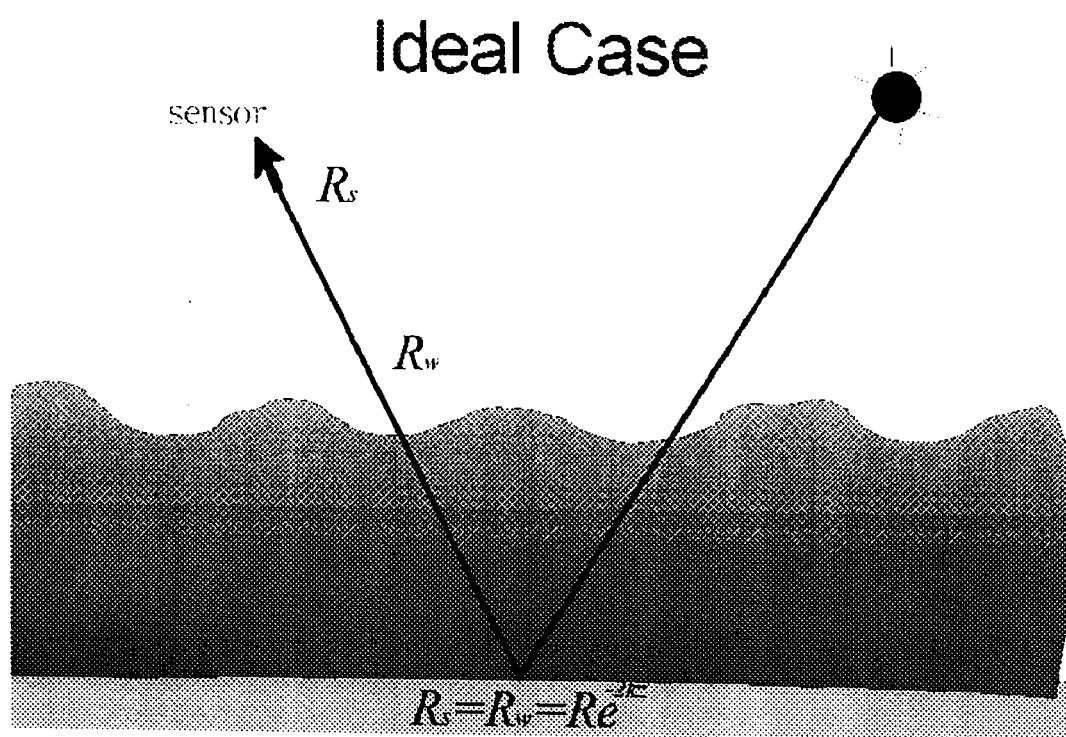


圖 3.2 光譜折射理想模式

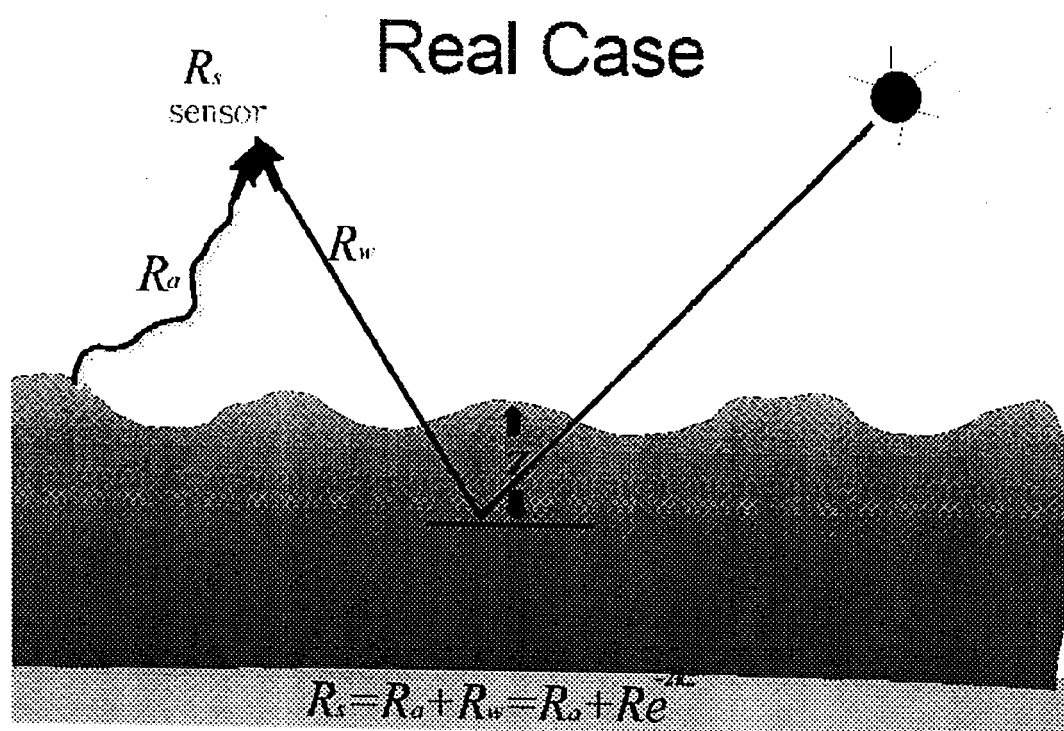


圖 3.3 光譜折射實際模式

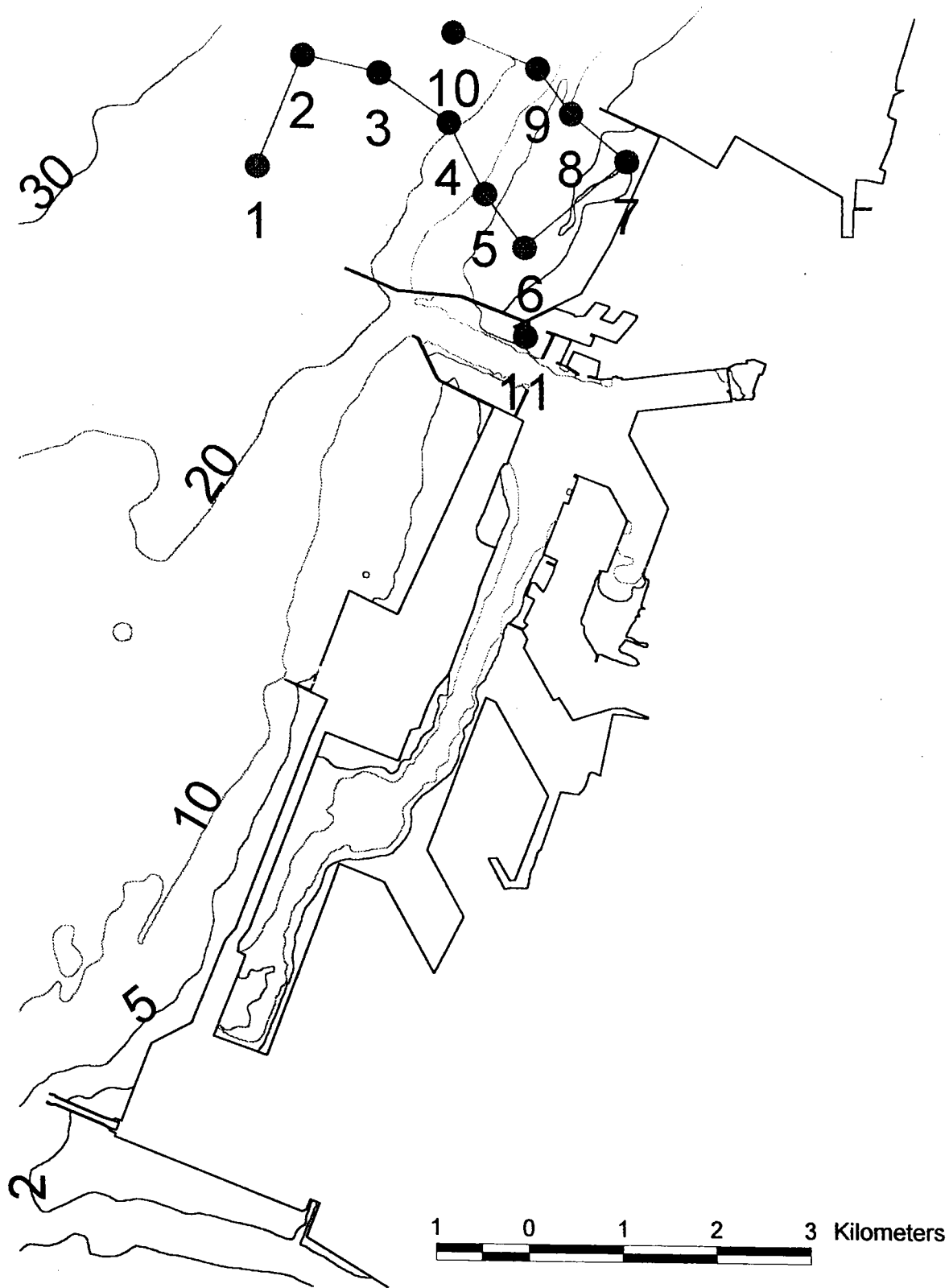


圖 3.4 10/16/1994 台中港外海海面採樣點位置圖

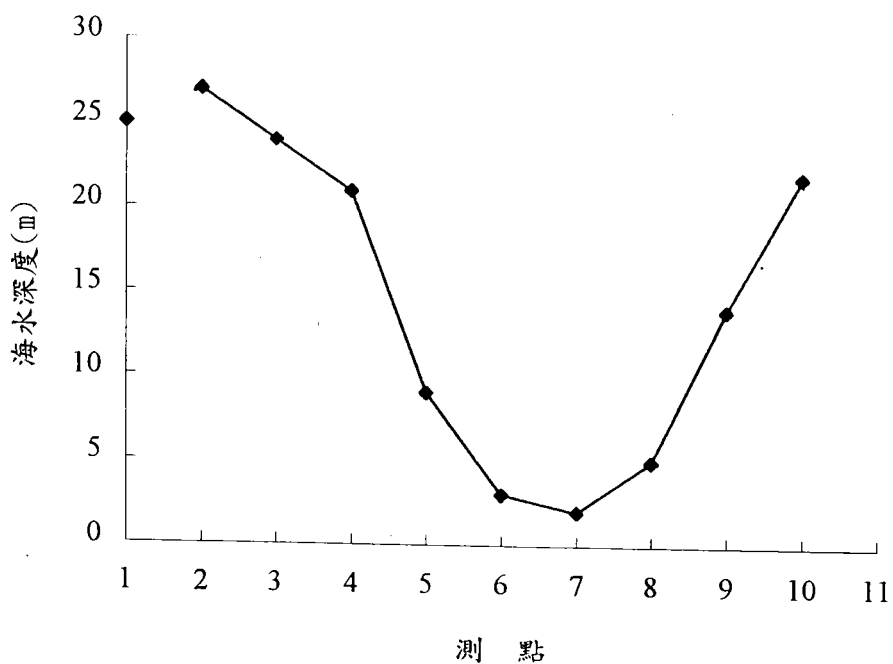


圖 3.5 10/16/1994 台中港外海採樣點之深度

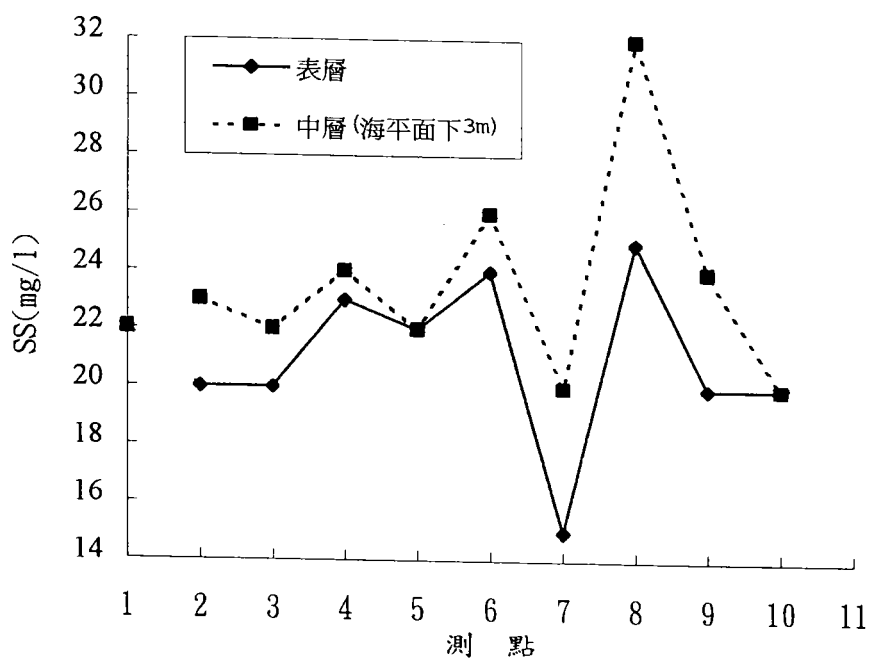


圖 3.6 10/16/1994 台中港外海採樣點之SS

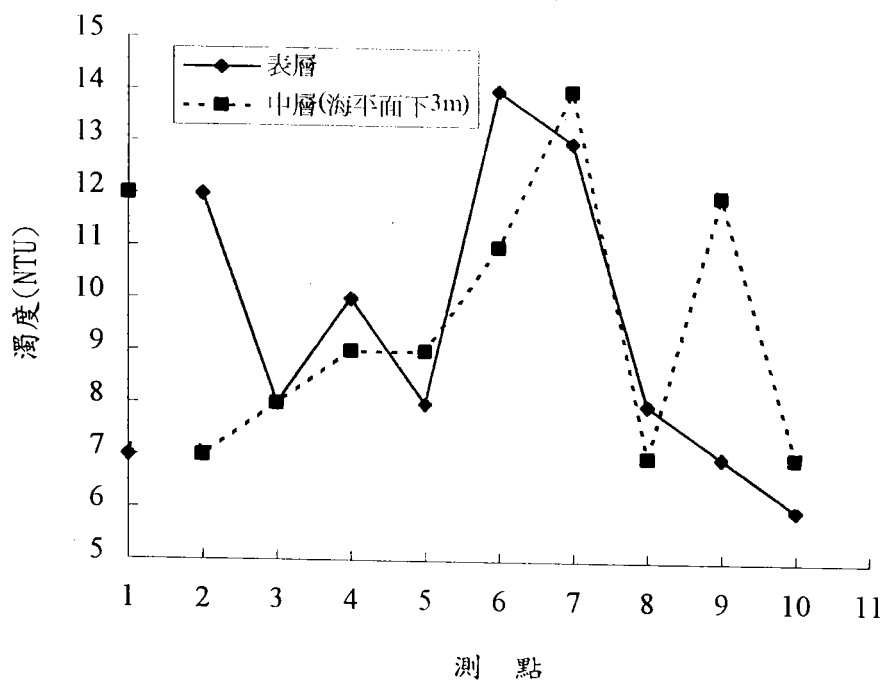


圖 3.7 10/16/1994 台中港外海採樣點之濁度

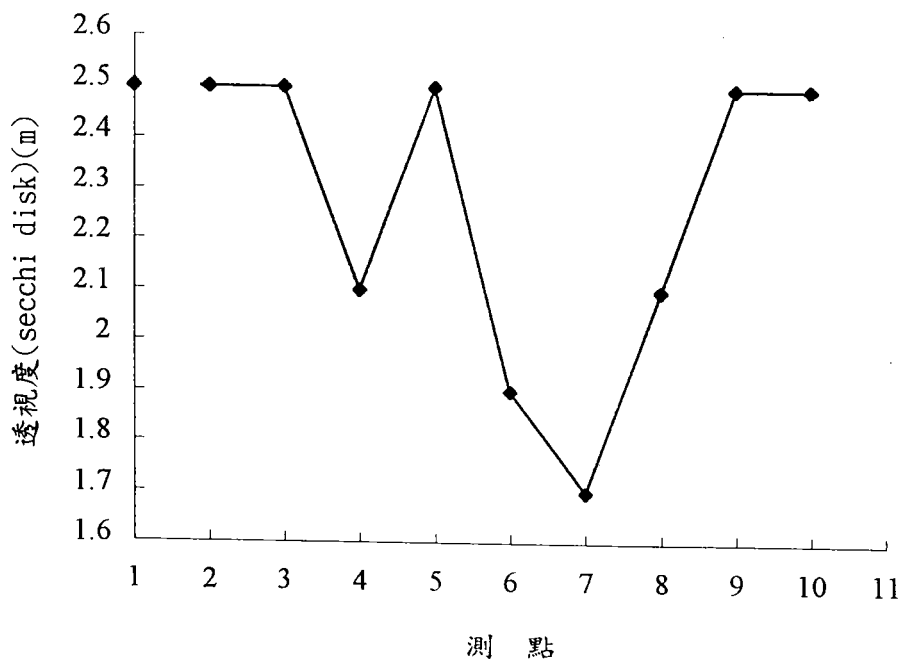


圖 3.8 10/16/1994 台中港外海採樣點之透視度

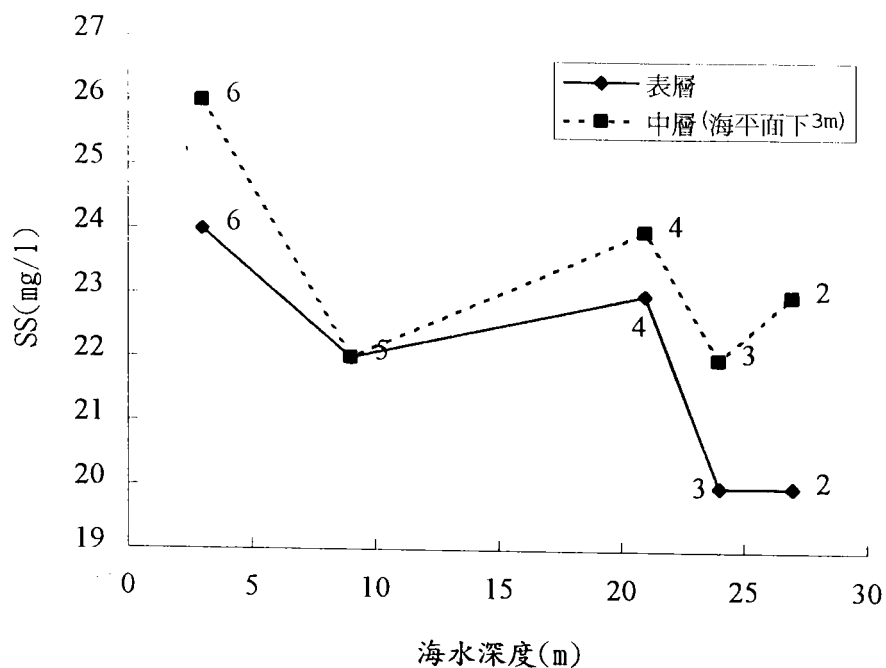


圖 3.9 10/16/1994 台中港外海採樣點之6、5、4、3、2之深度與SS之關係

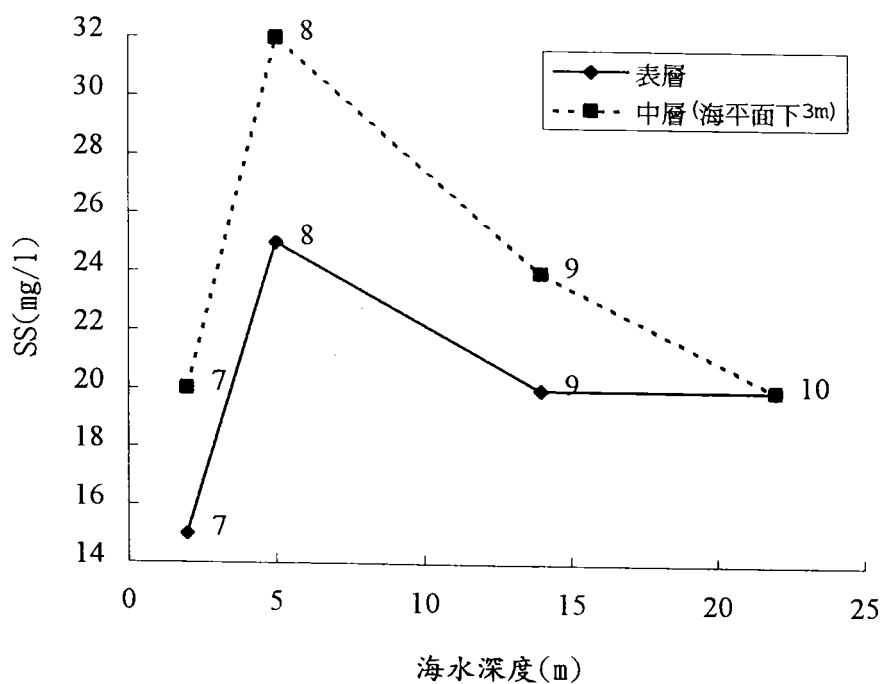


圖 3.10 10/16/1994 台中港外海採樣點之7、8、9、10之深度與SS之關係

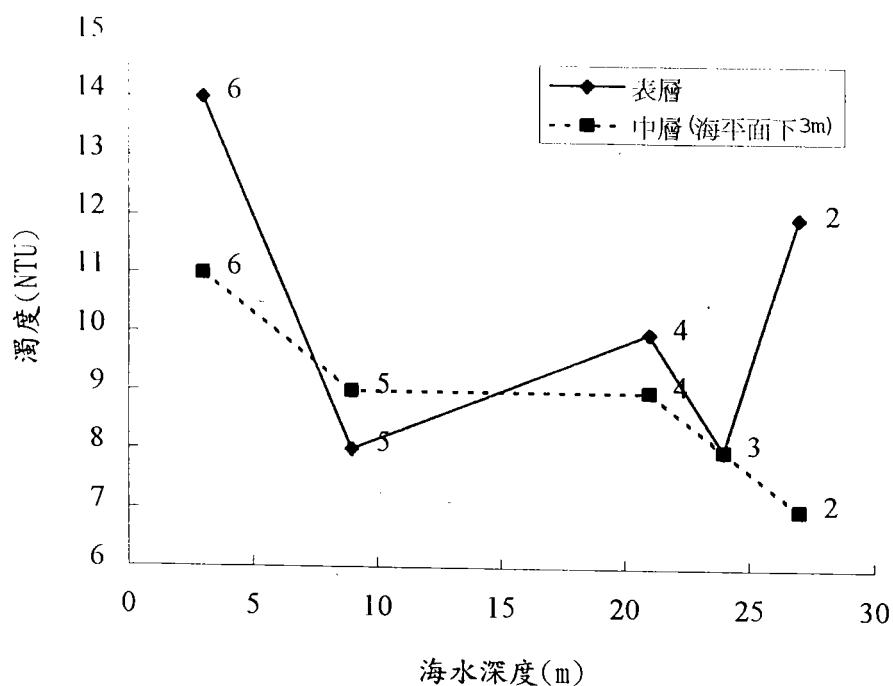


圖 3.11 10/16/1994 台中港外海採樣點之6、5、4、3、2之深度與濁度之關係

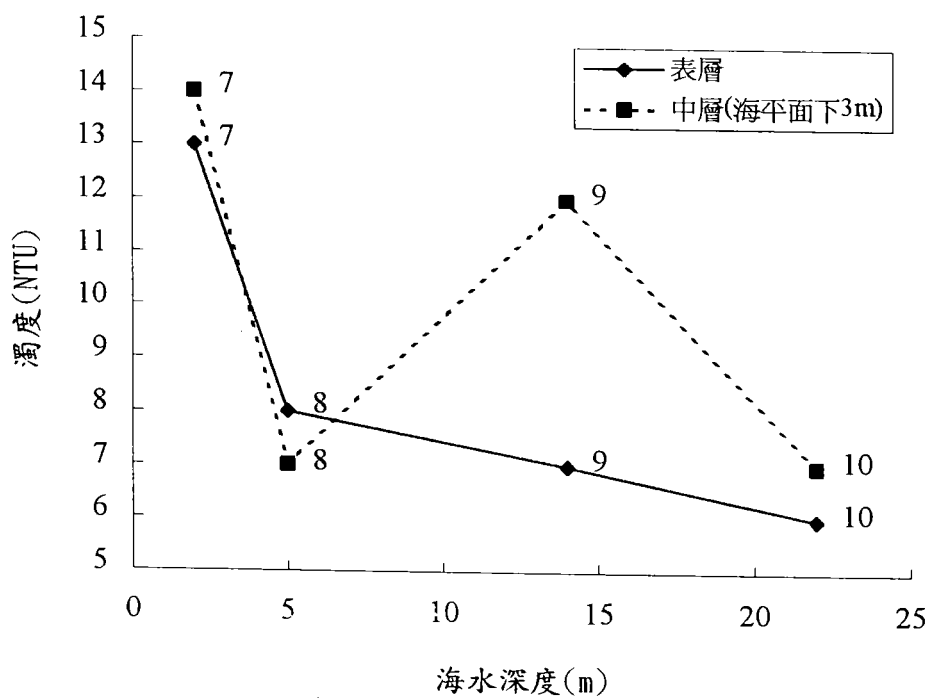


圖 3.12 10/16/1994 台中港外海採樣點之7、8、9、10之深度與濁度之關係

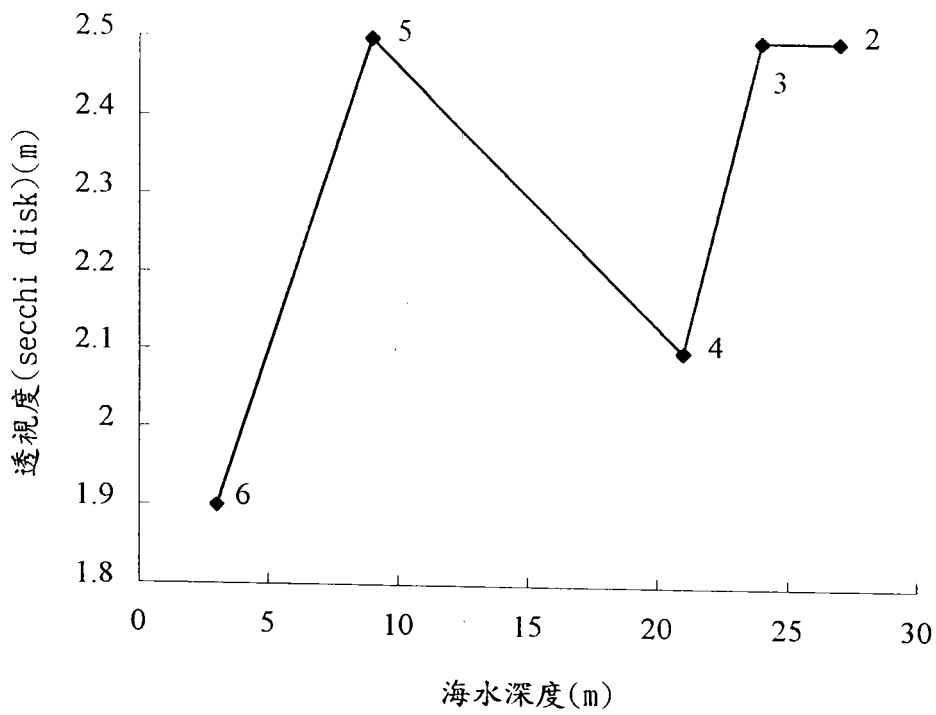


圖 3.13 10/16/1994 台中港外海採樣點之6、5、4、3、2之深度與透視度之關係

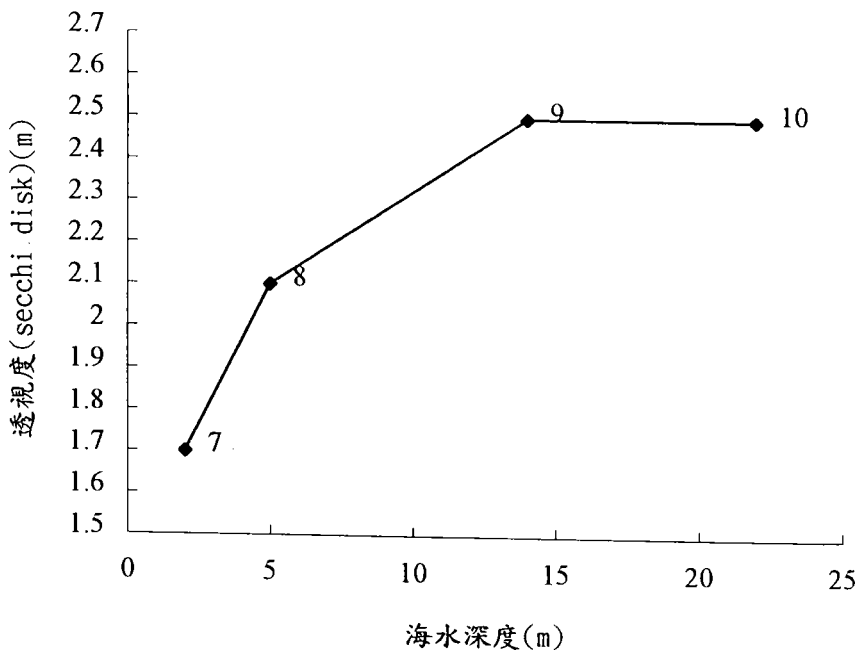


圖 3.14 10/16/1994 台中港外海採樣點之7、8、9、10之深度與透視度之關係

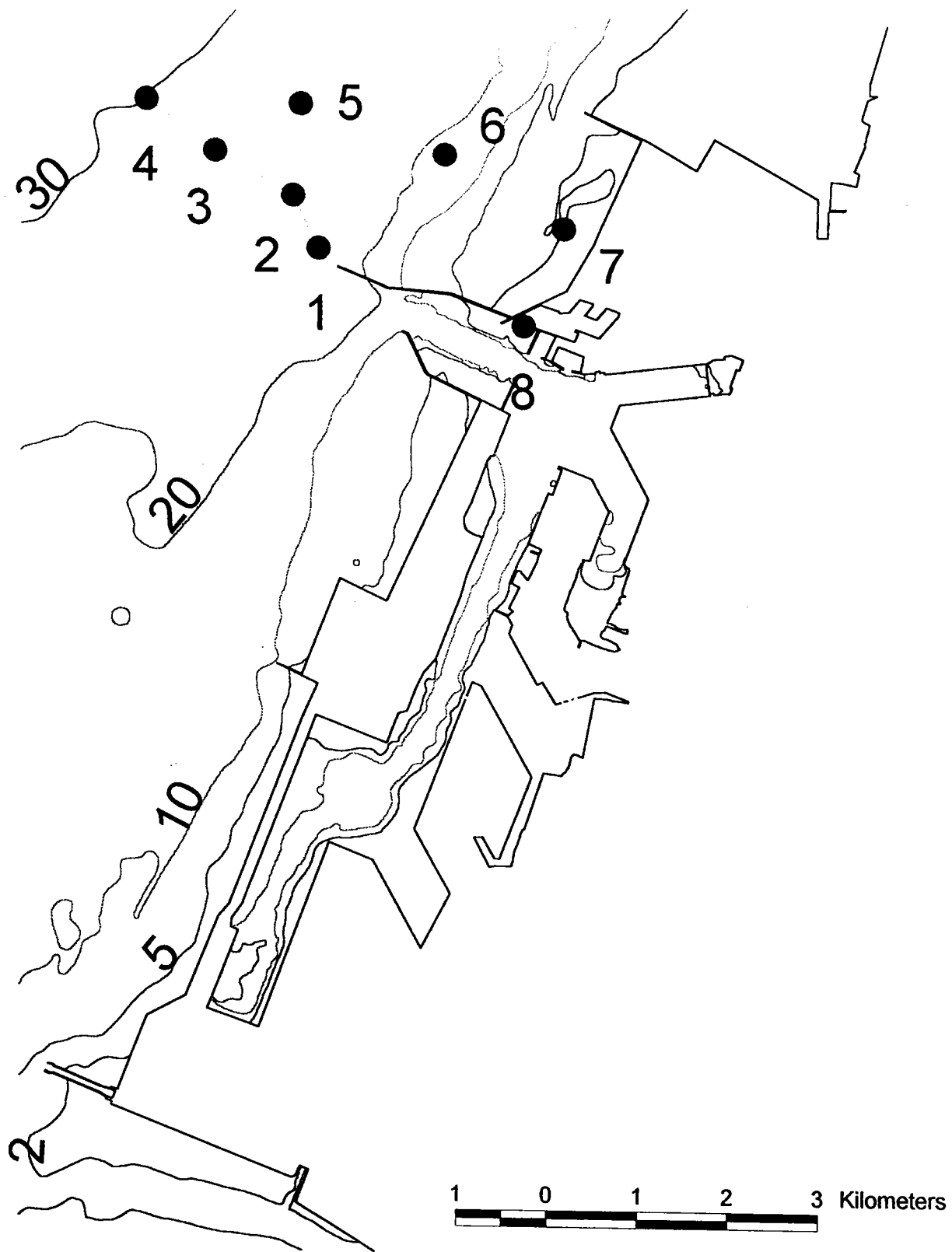


圖 3.15 4/16/1995 台中港外海海面採樣點位置圖

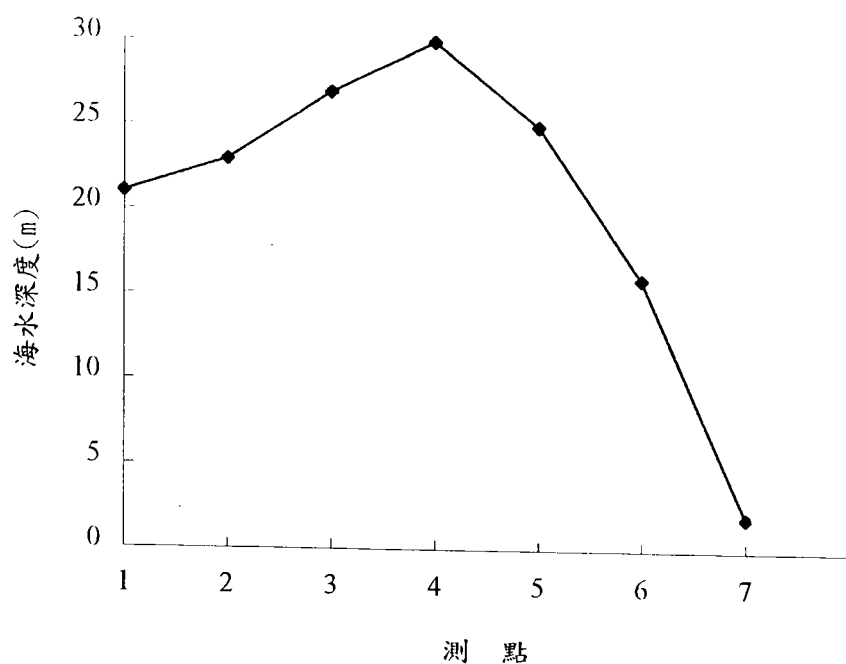


圖 3.16 4/16/1995 台中港外海海面採樣點之深度

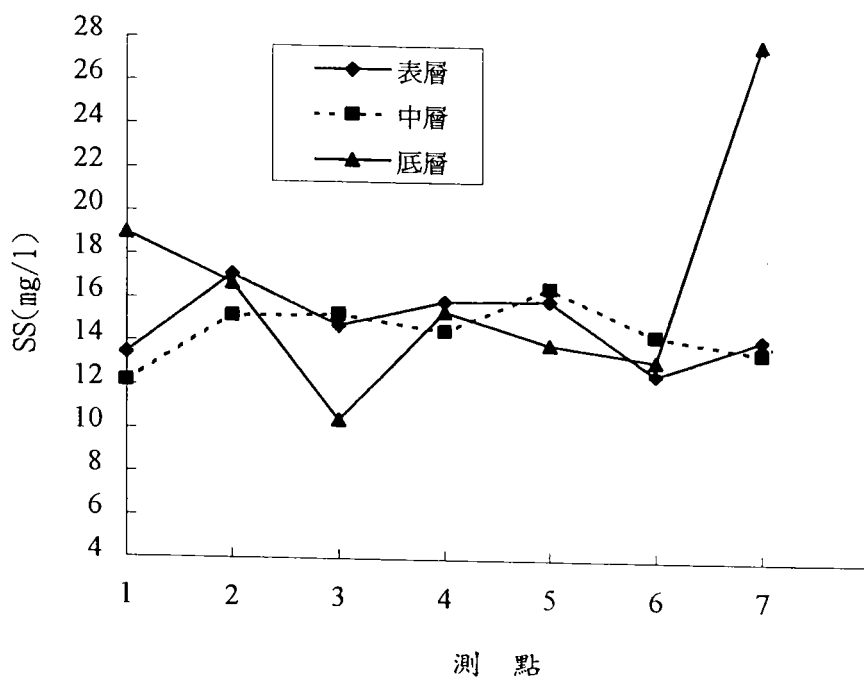


圖 3.17 4/16/1995 台中港外海海面採樣點之SS

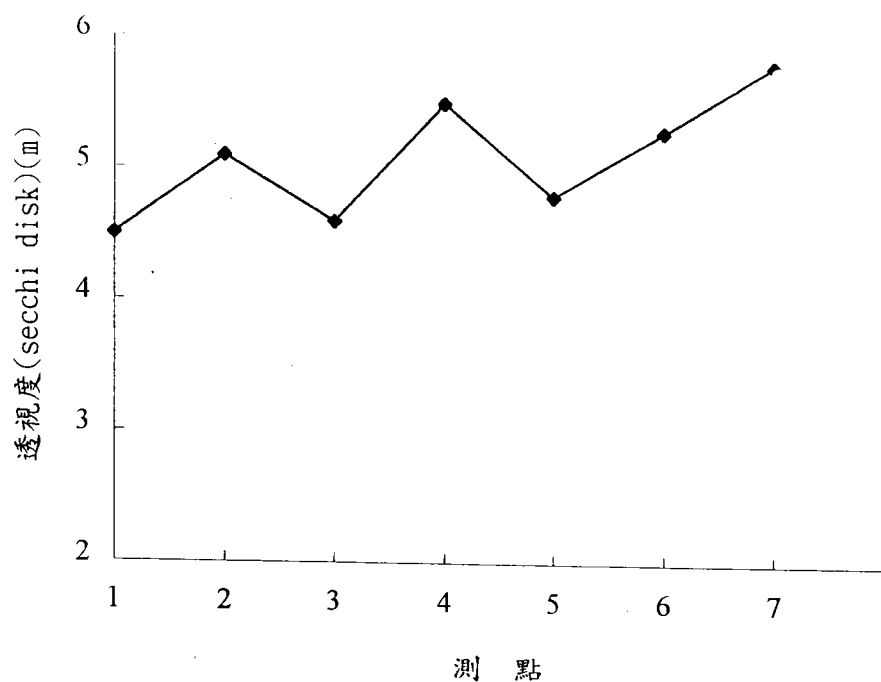


圖 3.18 4/16/1995 台中港外海海面採樣點之透視度

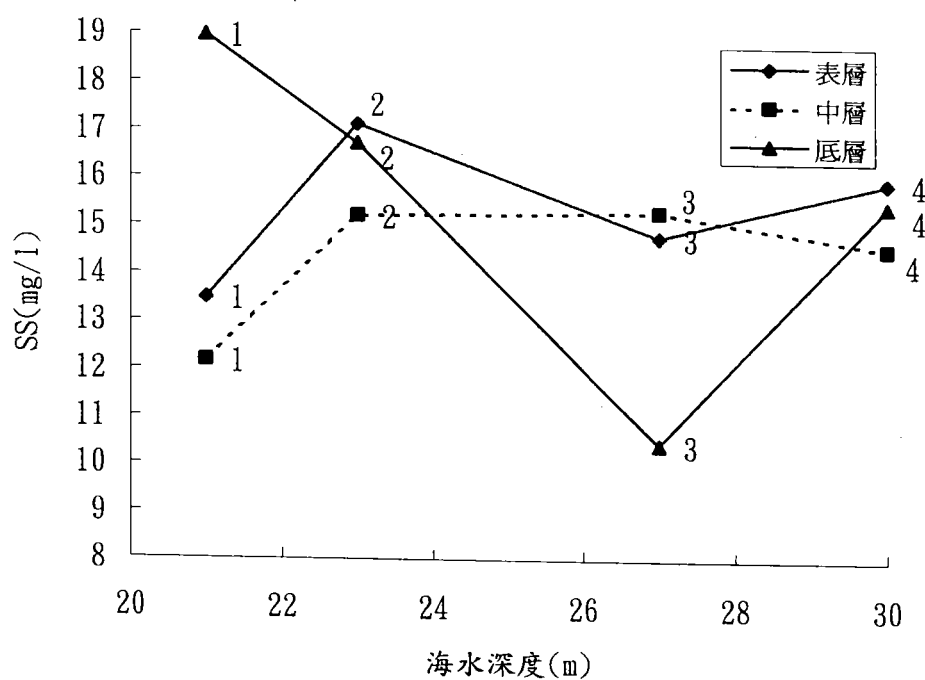


圖 3.19 4/16/1995 台中港外海採樣點1、2、3、4之深度與SS之關係

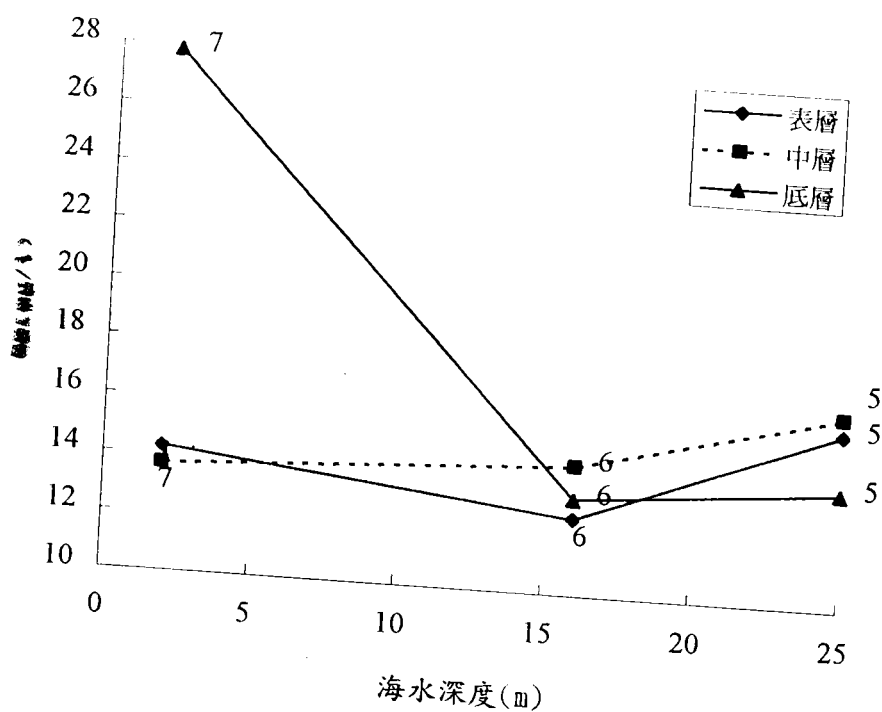


圖 3.20 4/16/1995 台中港外海採樣點8、7、6、5之深度與SS之關係

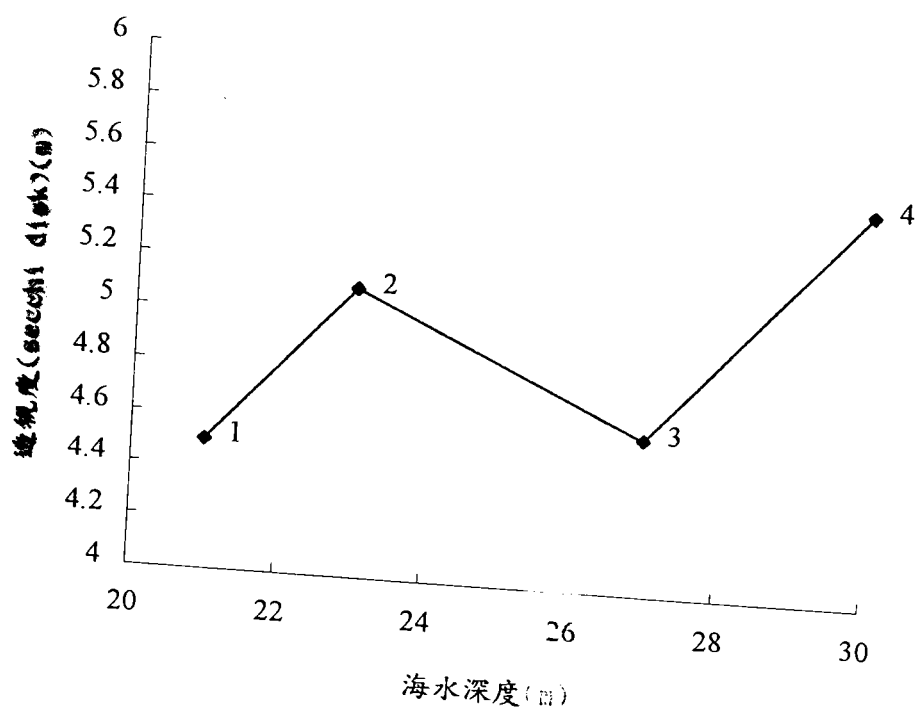


圖 3.21 4/16/1995 台中港外海採樣點1、2、3、4之深度與透視度之關係

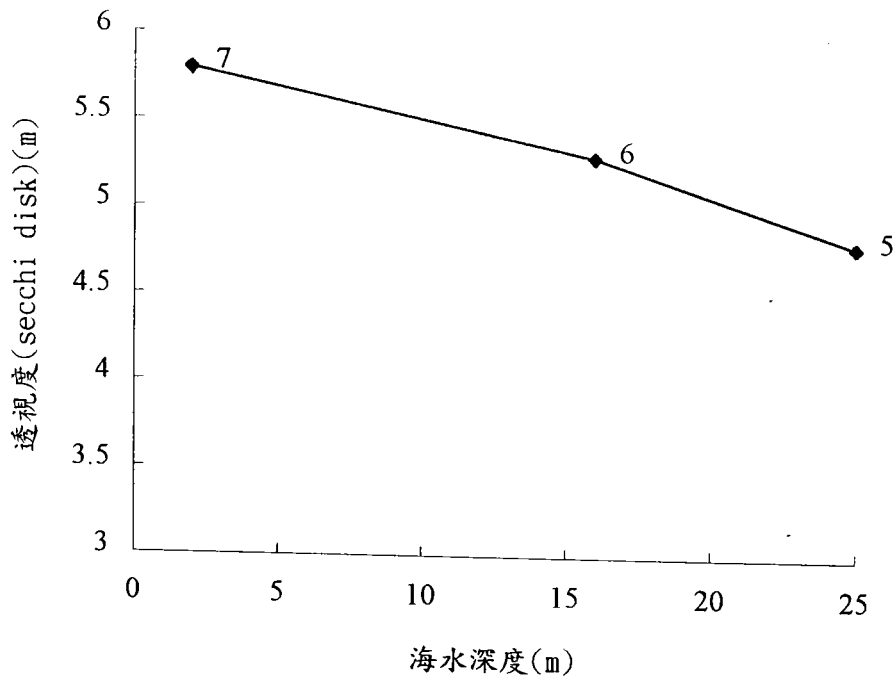
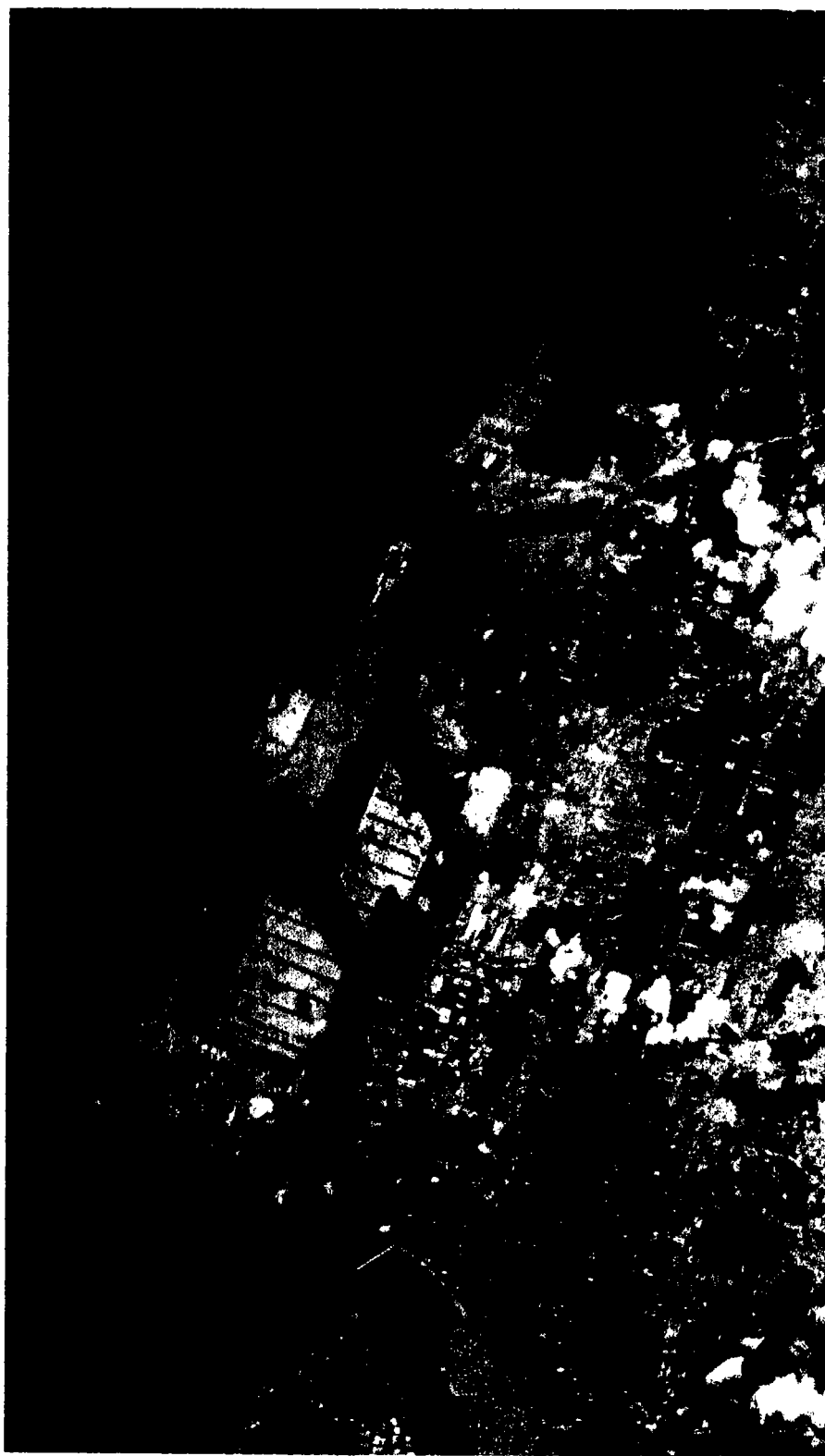


圖 3.22 4/16/1995 台中港外海採樣點8、7、6、5之深度與透視度之關係



(C) CNES

圖 3.23 10/16/1994 台中港SPOT衛星影像
(比例尺1:83300)

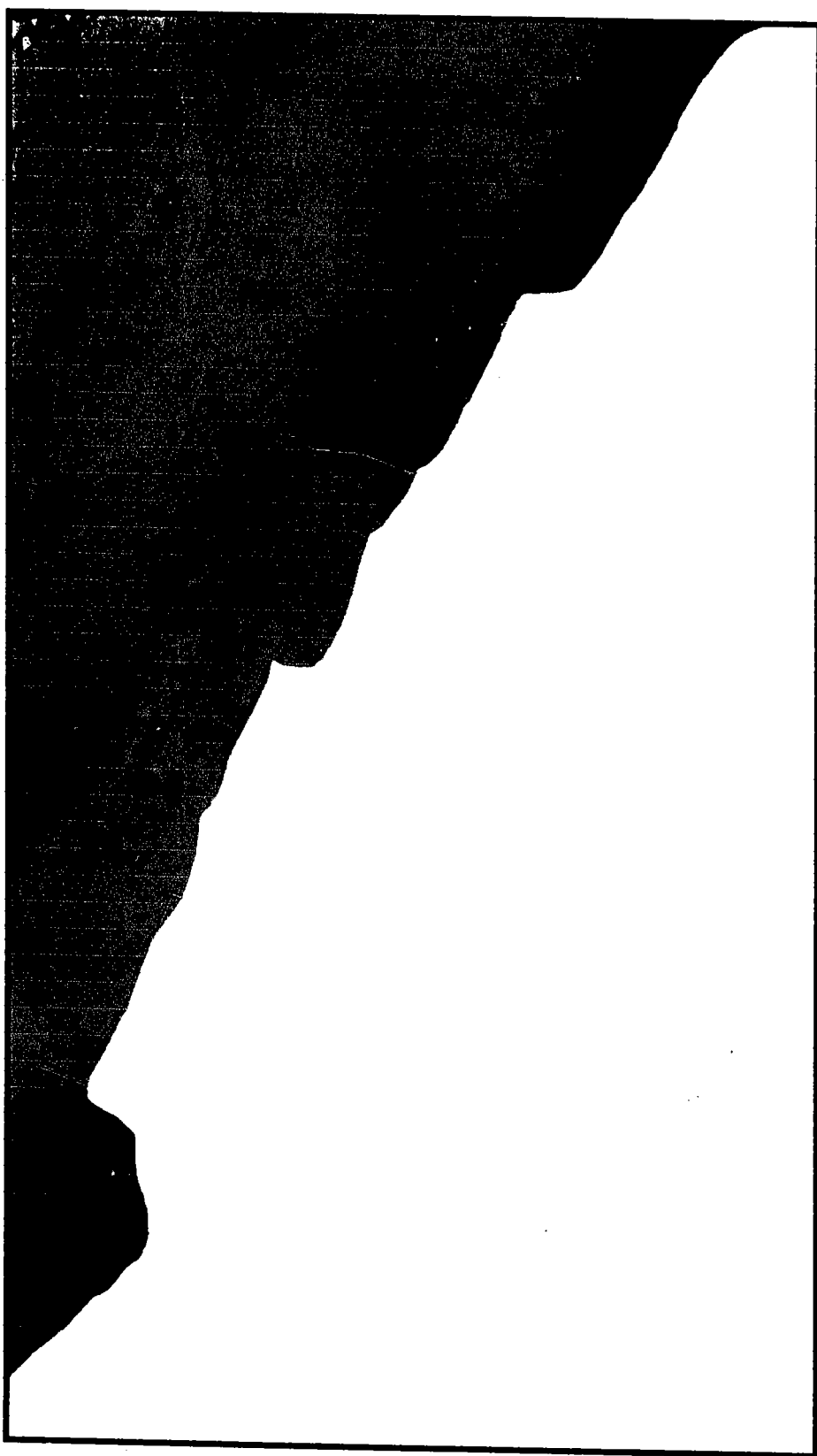


圖 3.24 10/16/1994 SPOT衛星影像所推導的透視度，
越亮的部份代表透視度越大的地方。
(比例尺1：83300)



圖 3.25 12/8/1993 台中港SPOT衛星影像
(比例尺: 1:76200)

(C) CNES

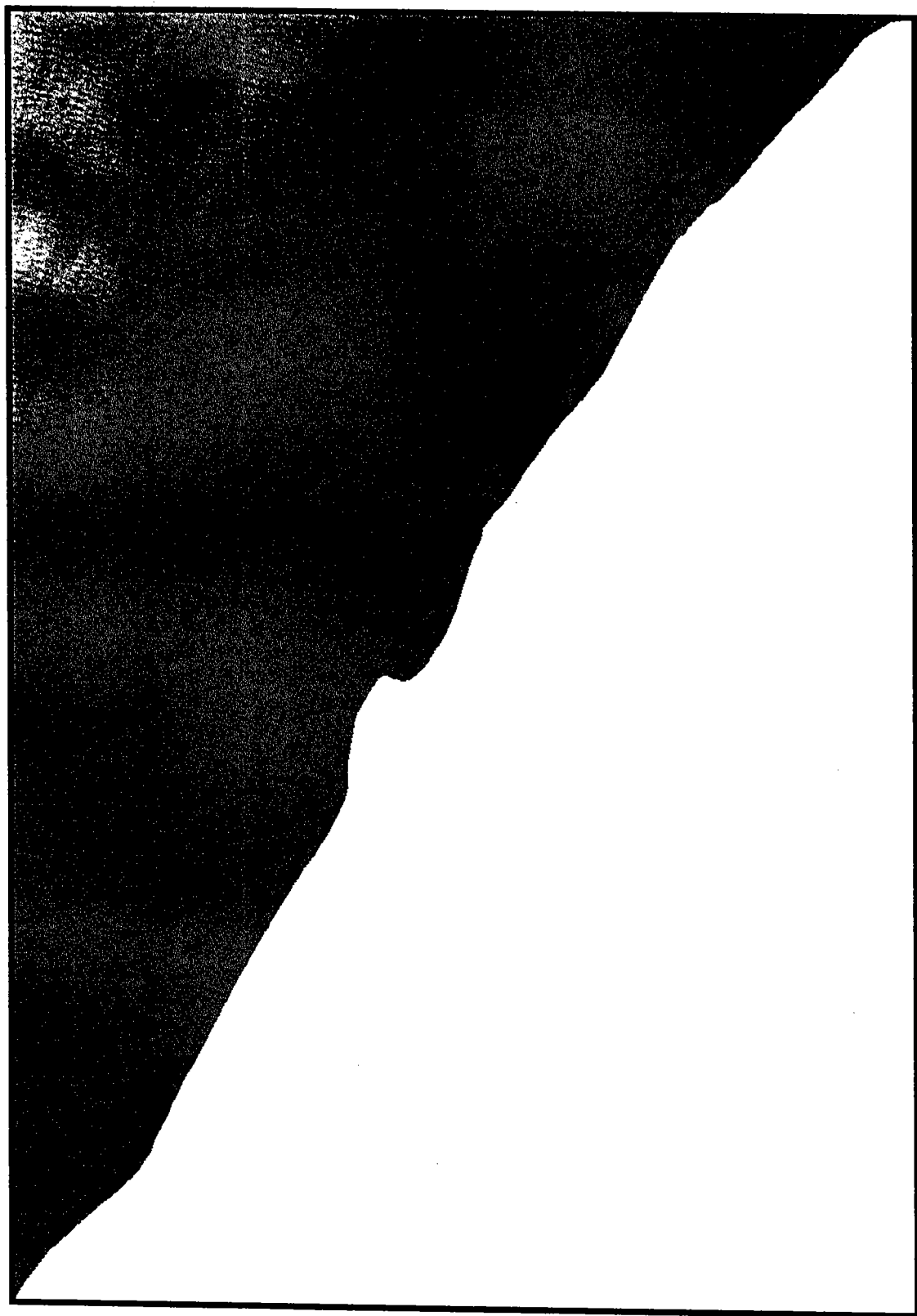


圖 3.26 12/8/1993 SPOT衛星影像所推導的透視度，
越亮的部份代表透視度越大的地方。
(比例尺1：76200)

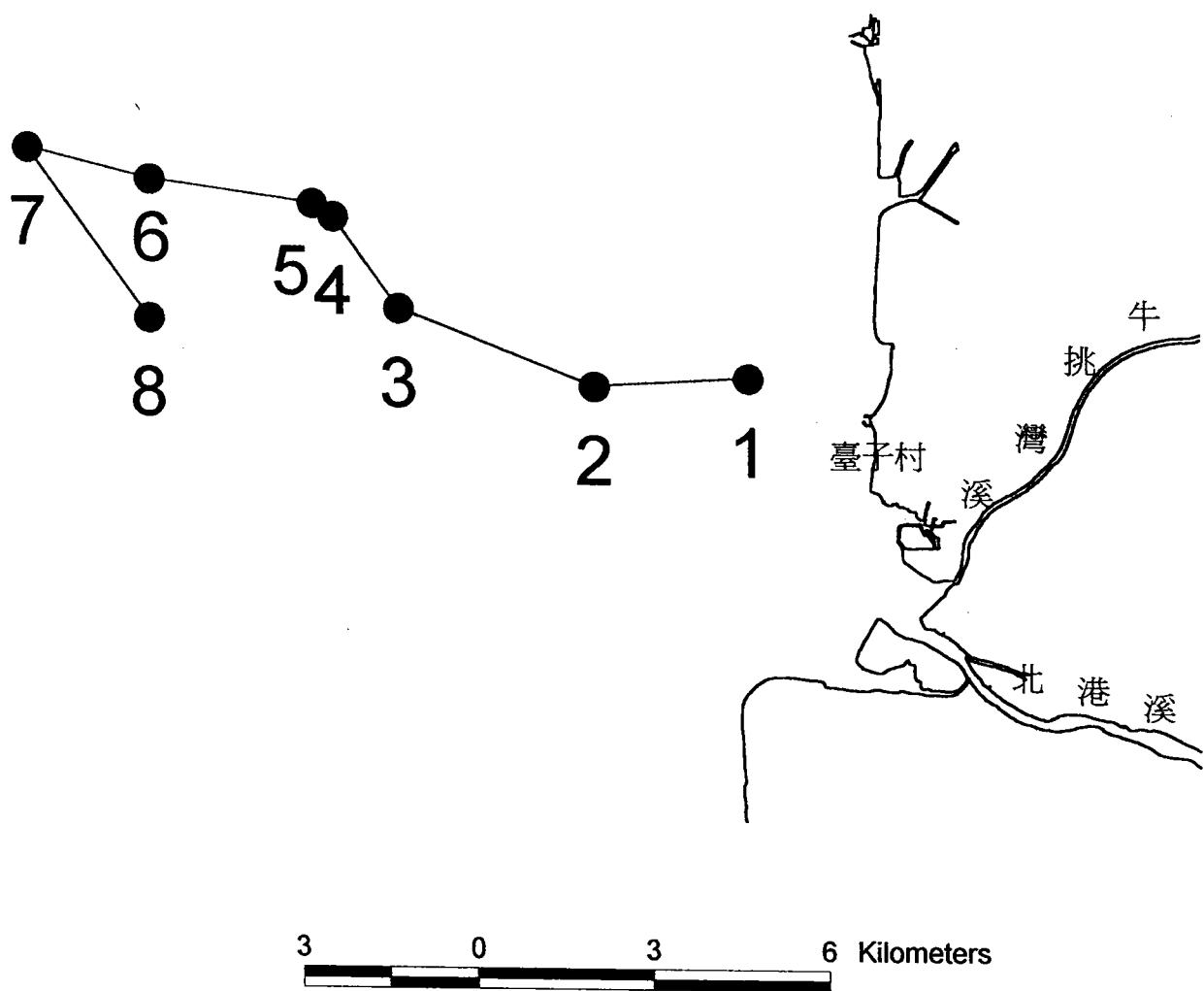


圖 3.27 12/12/1994 外傘頂洲海面採樣點位置圖

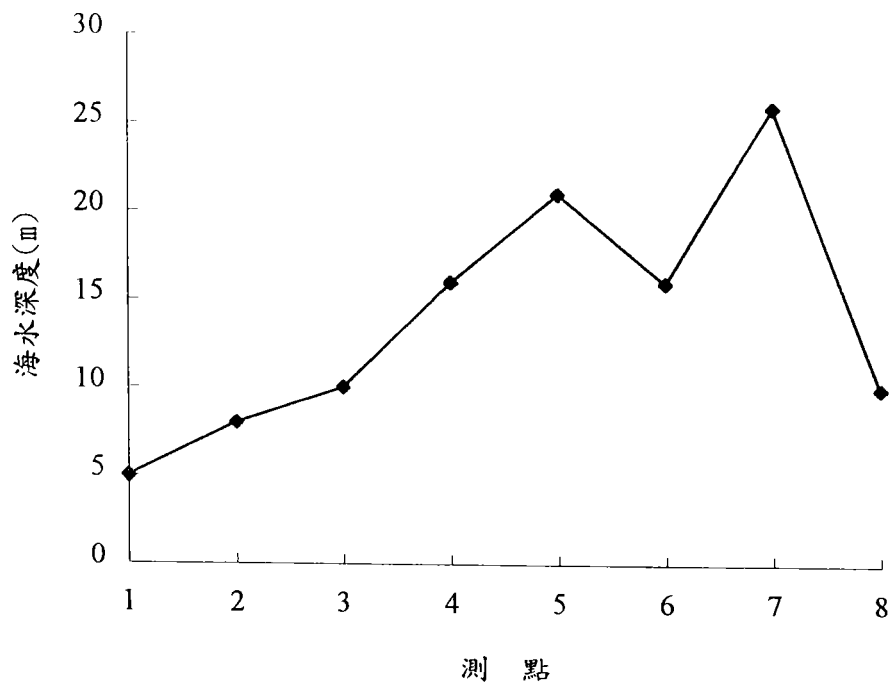


圖 3.28 12/12/1994 外傘頂洲海面採樣點之深度

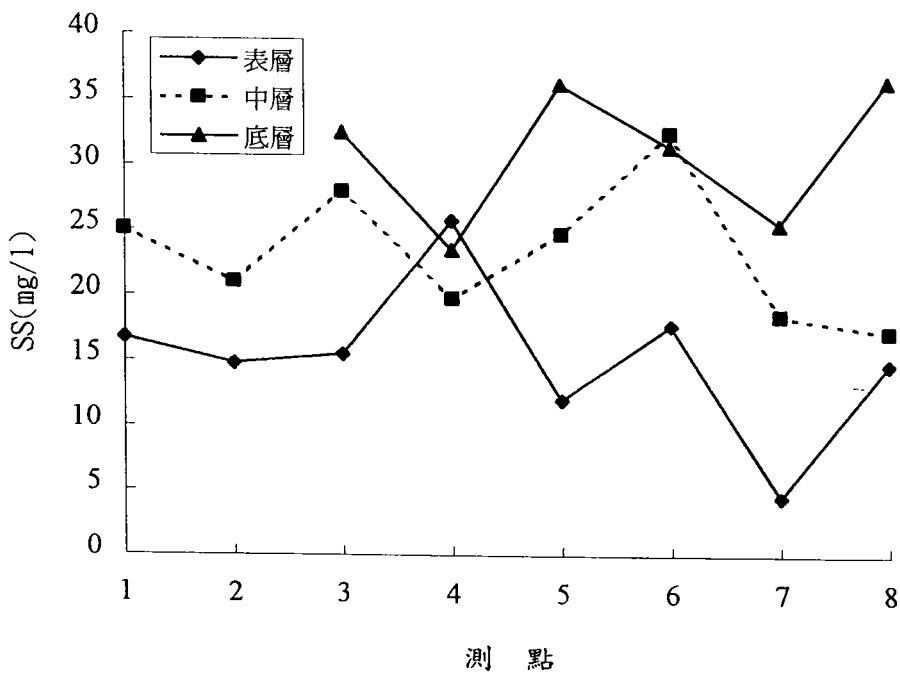


圖 3.29 12/12/1994 外傘頂洲海面採樣點位之SS

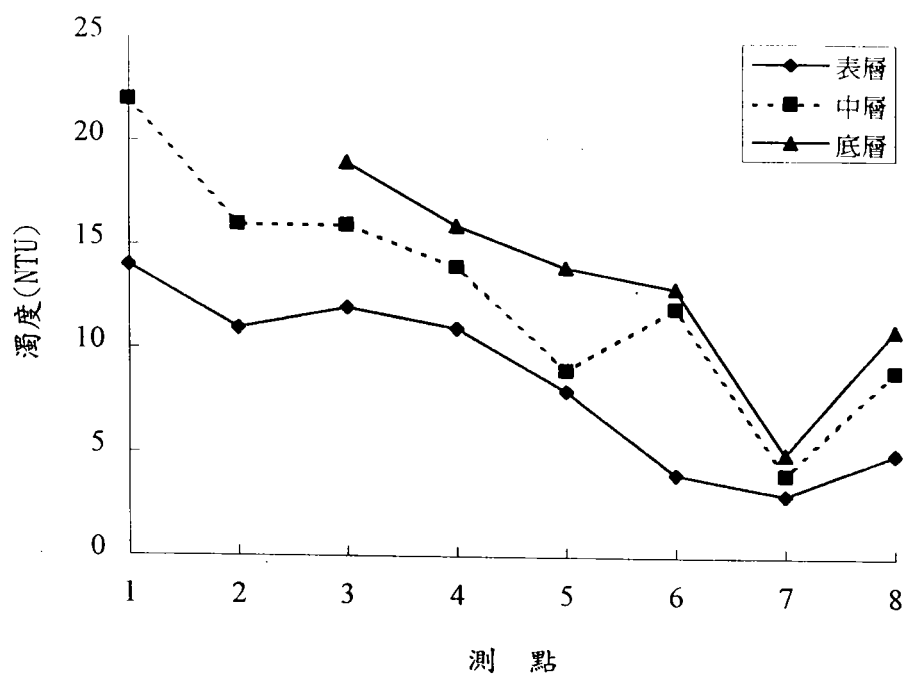


圖 3.30 12/12/1994 外傘頂洲海面採樣點之濁度

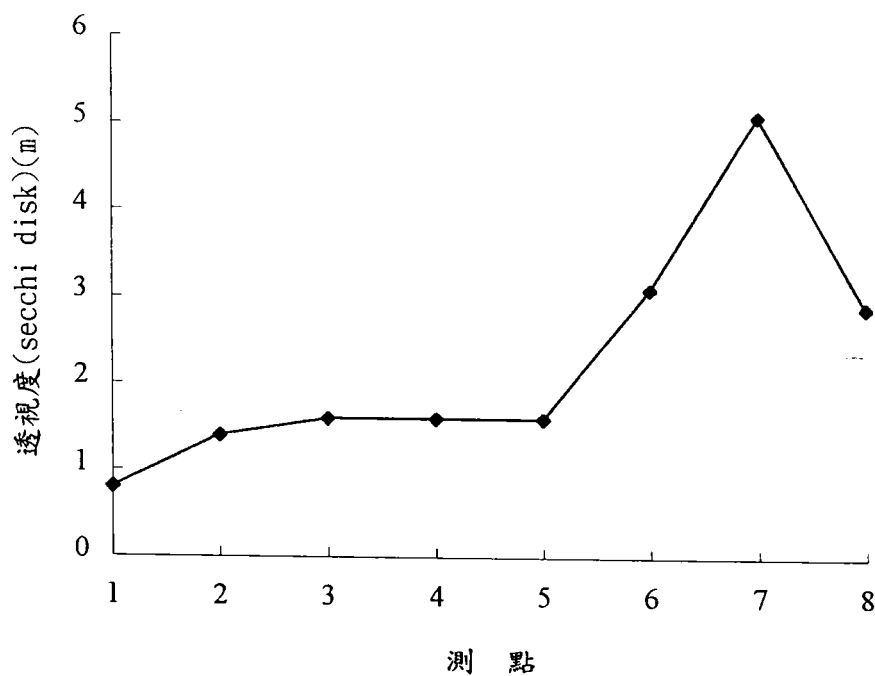


圖 3.31 12/12/1994 外傘頂洲海面採樣點之透視度

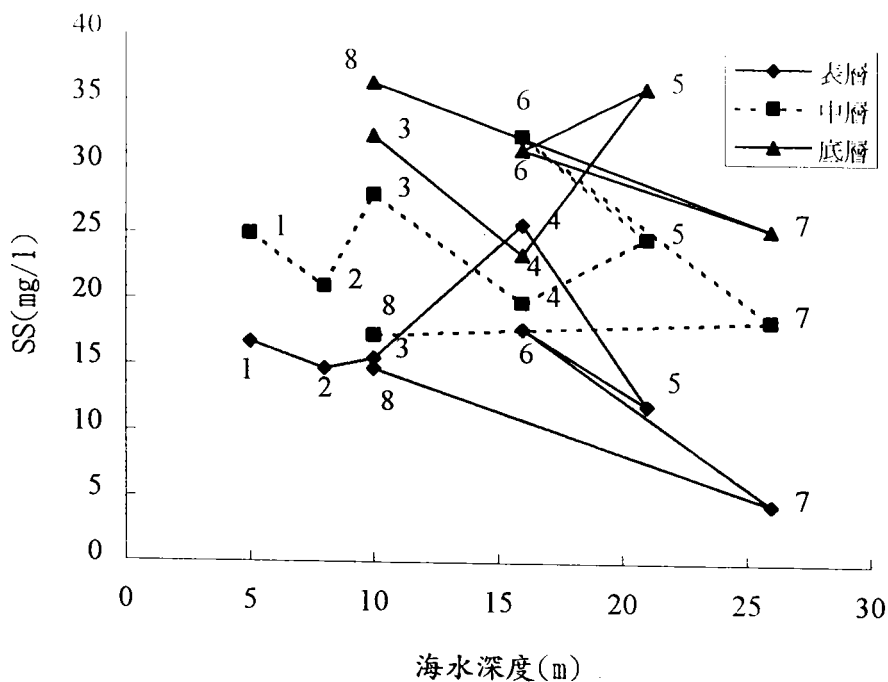


圖 3.32 12/12/1994 外傘頂洲海面採樣點之深度與SS之關係

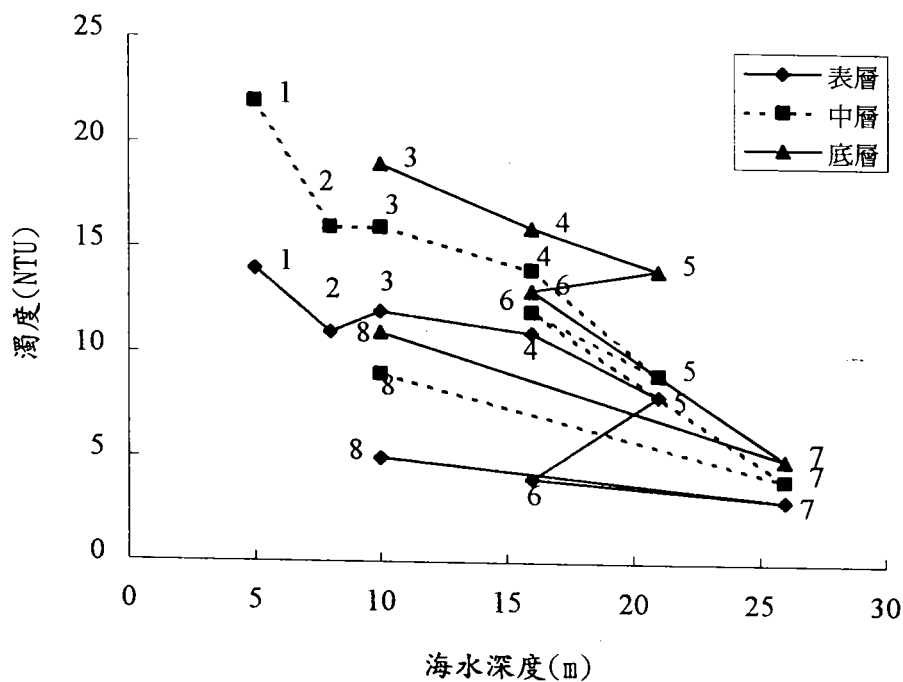


圖 3.33 12/12/1994 外傘頂洲海面採樣點之深度與濁度之關係

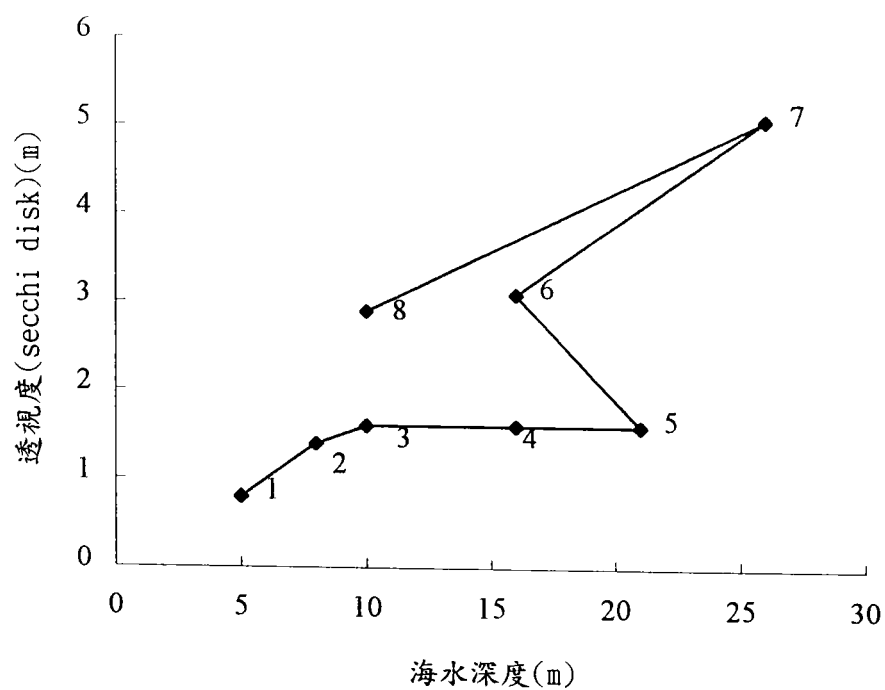


圖 3.34 12/12/1994 外傘頂洲海面採樣點之深度與透視度之關係



圖 3.35 3/27/1994 潮位為132cm的外傘頂洲SPOT衛星影像
(比例尺1:75600)

(C)CWES



圖 3.36 由3/27/1994 SPOT衛星影像所推導的透視度，
越亮的部份代表透視度越大的地方
(比例尺1：75600)



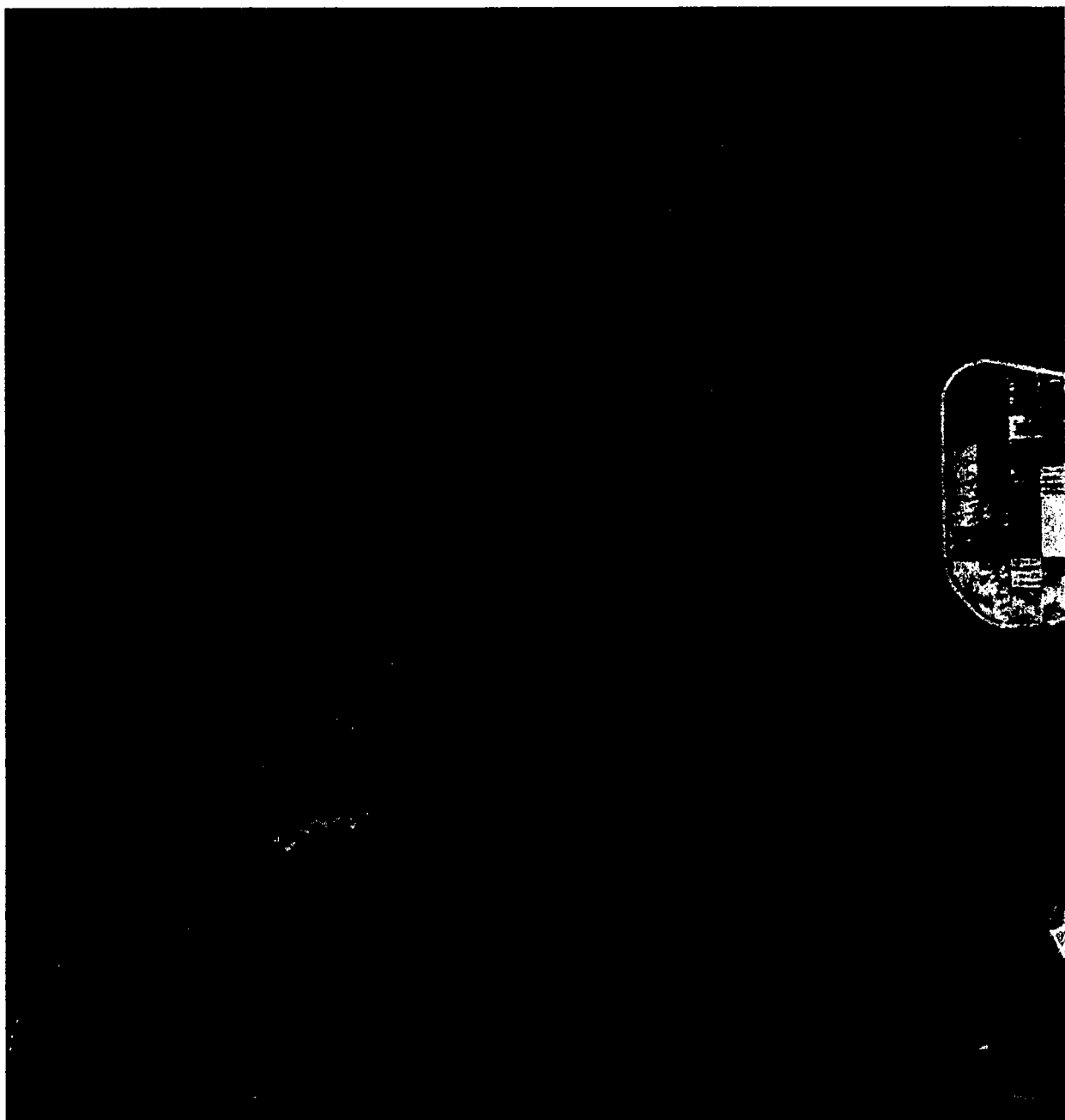
(C) CNES

圖 4.1 4/17/1994 潮位72cm的外傘頂洲SPOT衛星影像
(比例尺1:75600)



(C) CNES

圖 4.2 3/4/1994 潮位2cm的外傘頂洲SPOT衛星影像



(C) CNES

圖 4.3 2/6/1994 潮位48cm的外傘頂洲SPOT衛星影像
(比例尺1:75600)

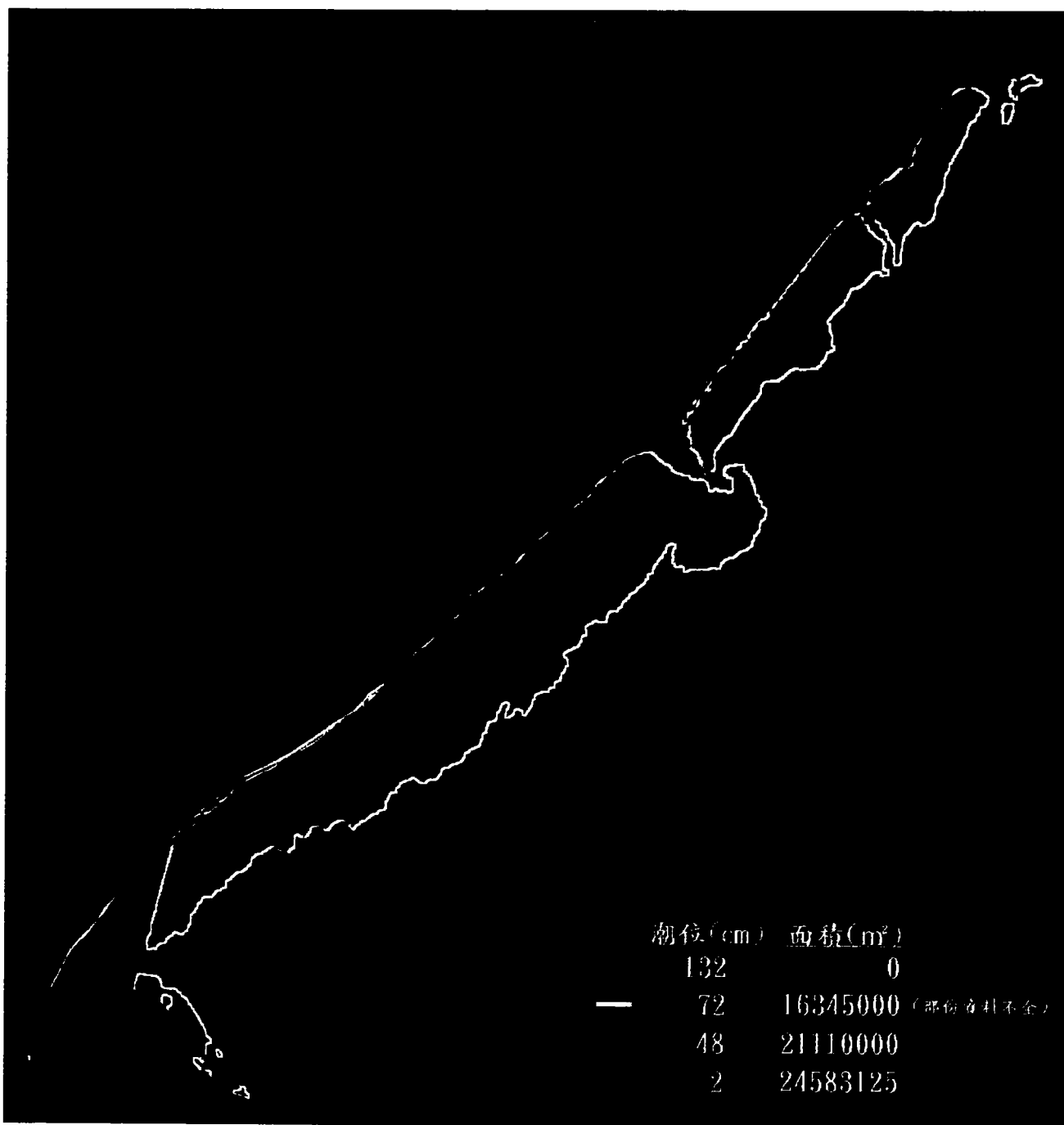
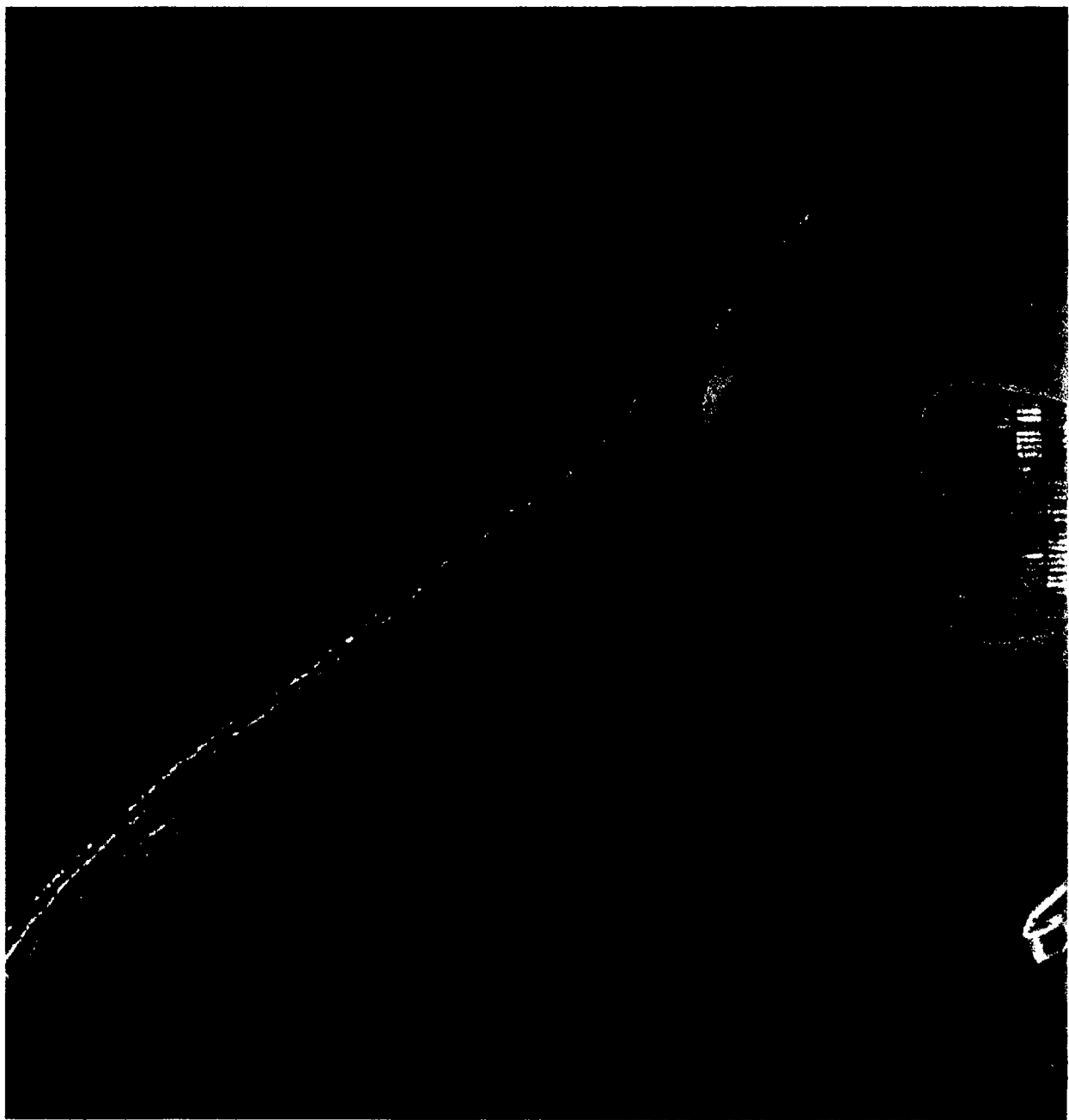


圖 4.4 潮位132cm、72cm、48cm及2cm的外傘頂洲邊界圖
(比例尺1:75600)



(C) CNES

圖 4.5 9/28/1986 潮位為-24cm的外傘頂洲SPOT衛星影像
(比例尺1:75600)



圖 4.6 9/28/1986 外傘頂洲邊界圖(潮位-24cm)
(比例尺1:75600)



(C) CNES

圖 4.7 7/13/1993 潮位為-25cm的外傘頂洲SPOT衛星影像
(比例尺1:75600)

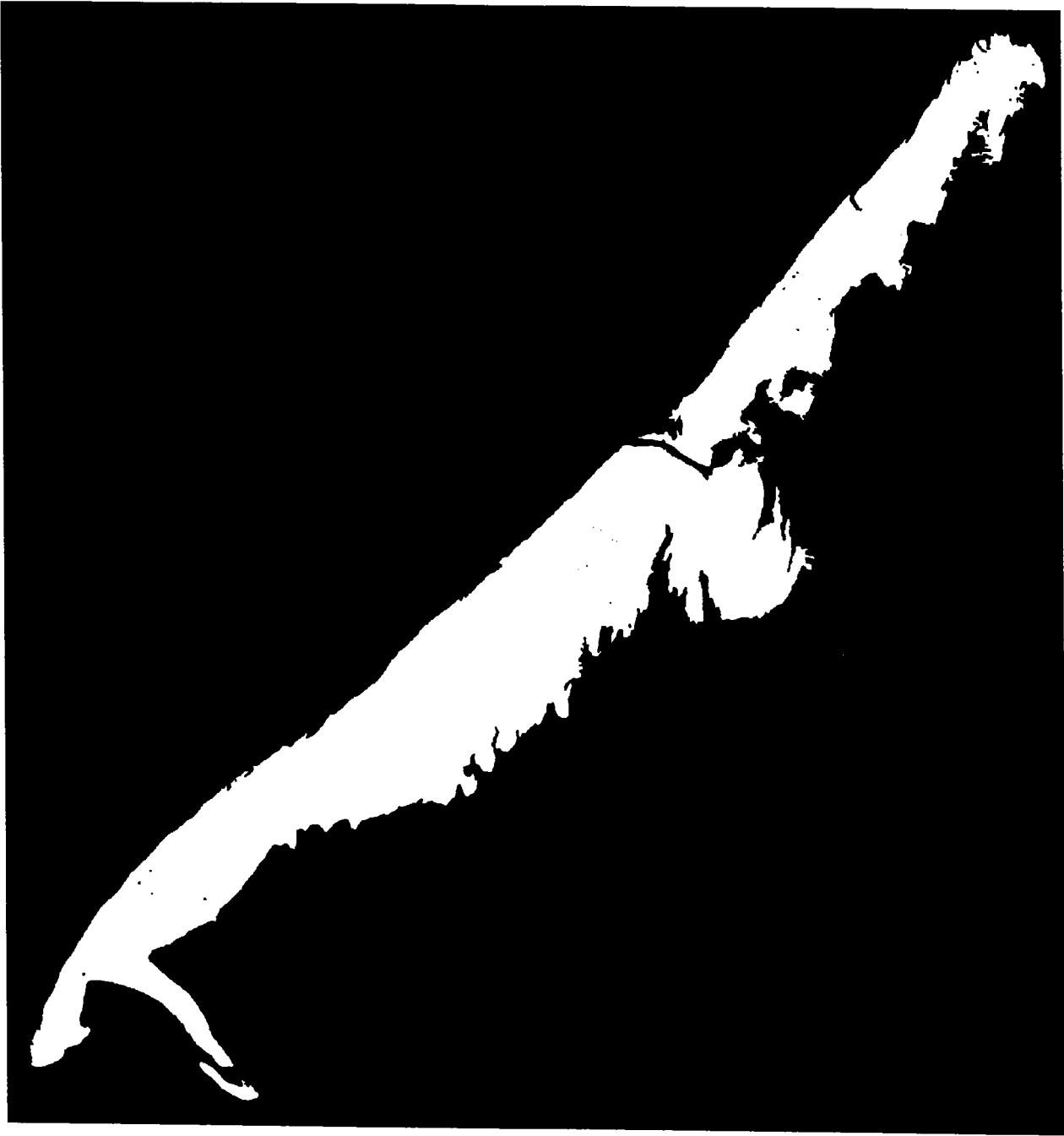


圖 4.8 7/13/1993 外傘頂洲邊界圖(潮位-25cm)
(比例尺1:75600)



圖 4.9 9/28/1986(潮位-24cm)至7/13/1993(潮位-25cm)
外傘頂洲的變遷圖 (比例尺1:75600)

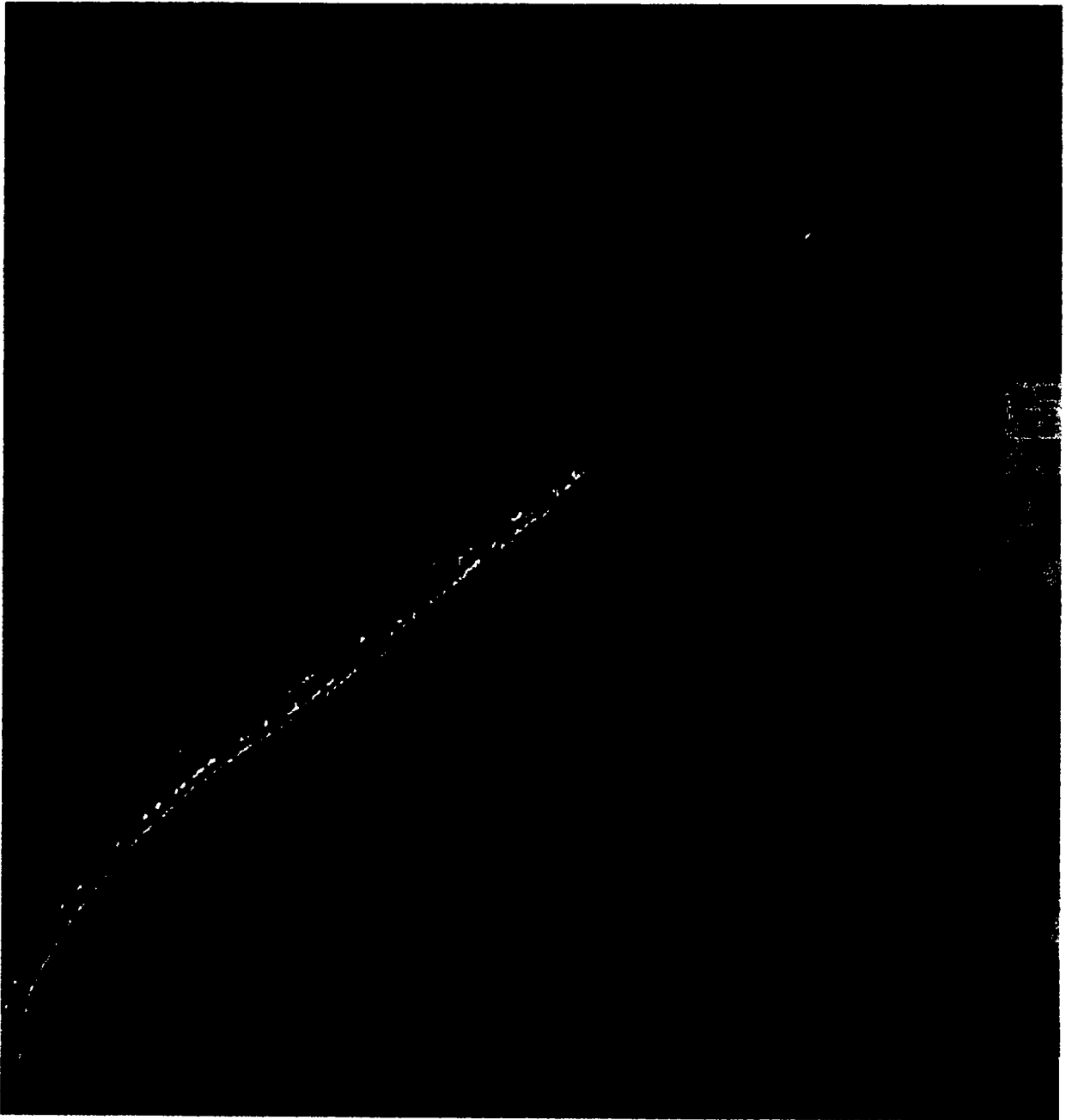


圖 4.10 1/22/1992 潮位為72cm的外傘頂洲SPOT衛星影像
(比例尺1 : 75600)

(C) CNES

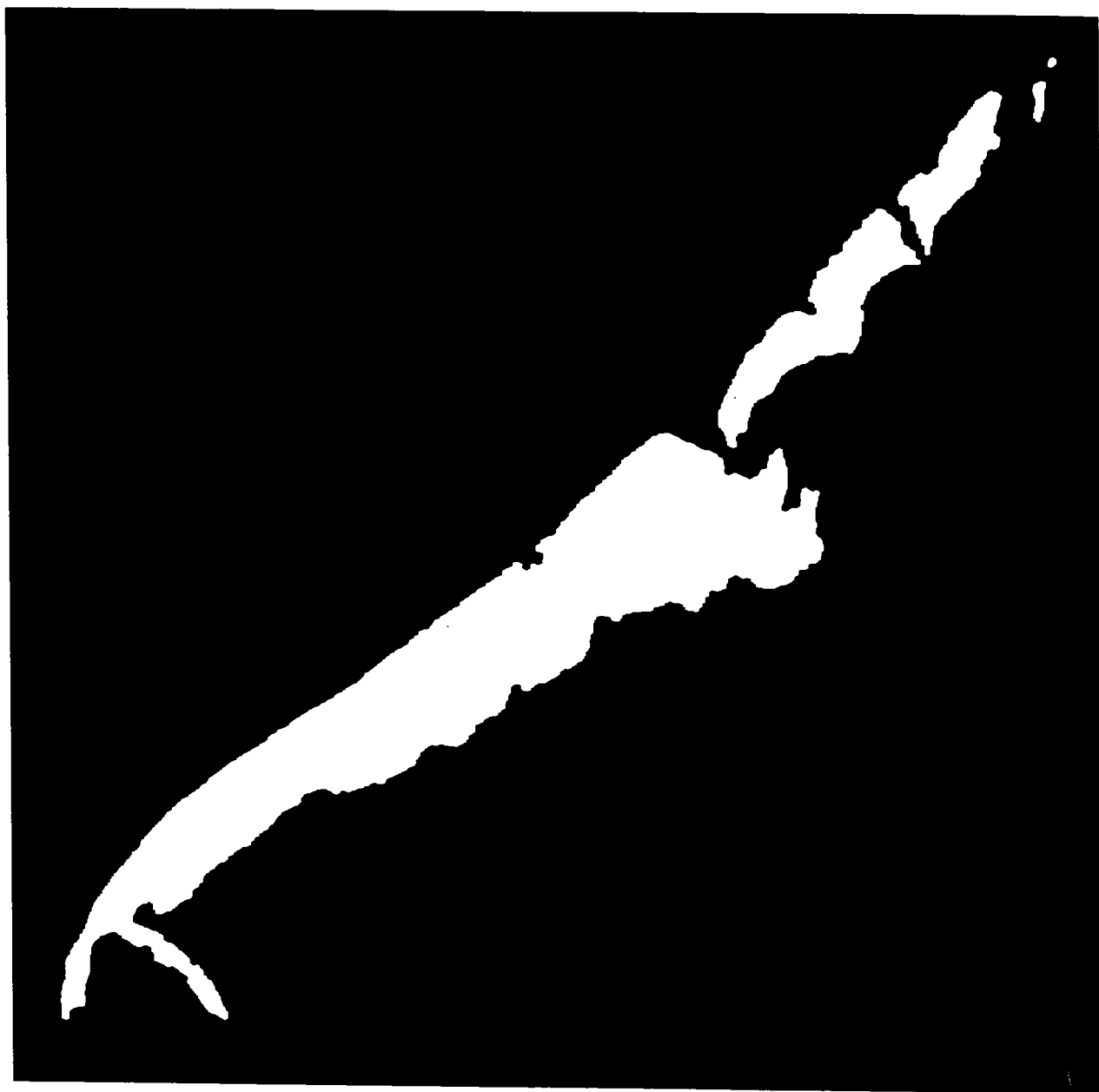


圖 4.11 1/22/1992 外傘頂洲邊界圖(潮位72cm)
(比例尺1 : 75600)



圖 4.12 4/17/1994 外傘頂洲邊界圖(潮位72cm)
(比例尺1:75600)



圖 4.13 1/22/1992(潮位72cm)至4/17/1994(潮位72cm)
外傘頂洲的變遷圖 (比例尺1:75600)

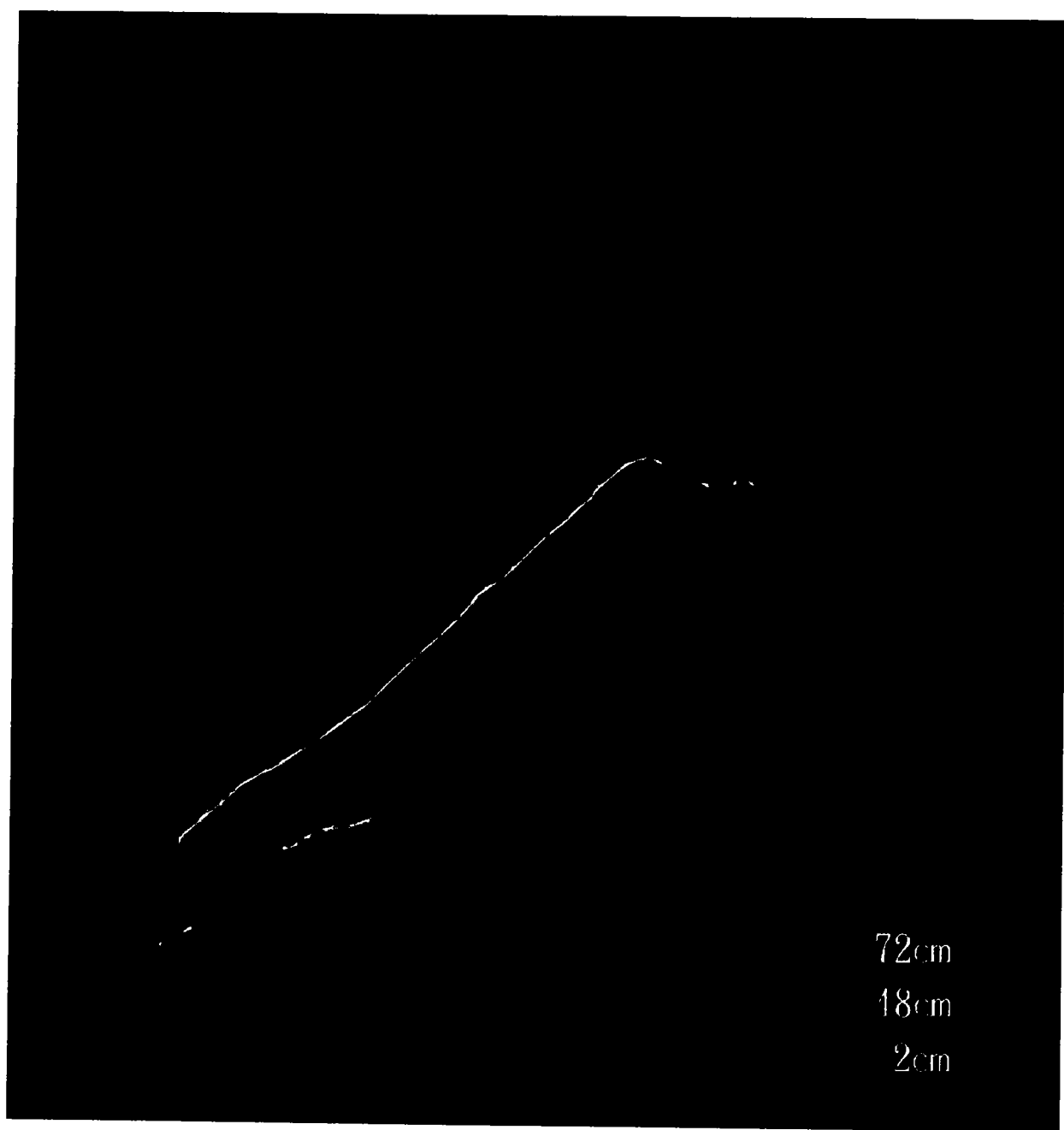


圖 4.14 由潮位2cm及72cm所內插成的48cm潮位
(比例尺1:75600)



圖 4.15 內插潮位48cm與真正潮位48cm之比較
(比例尺1:75600)

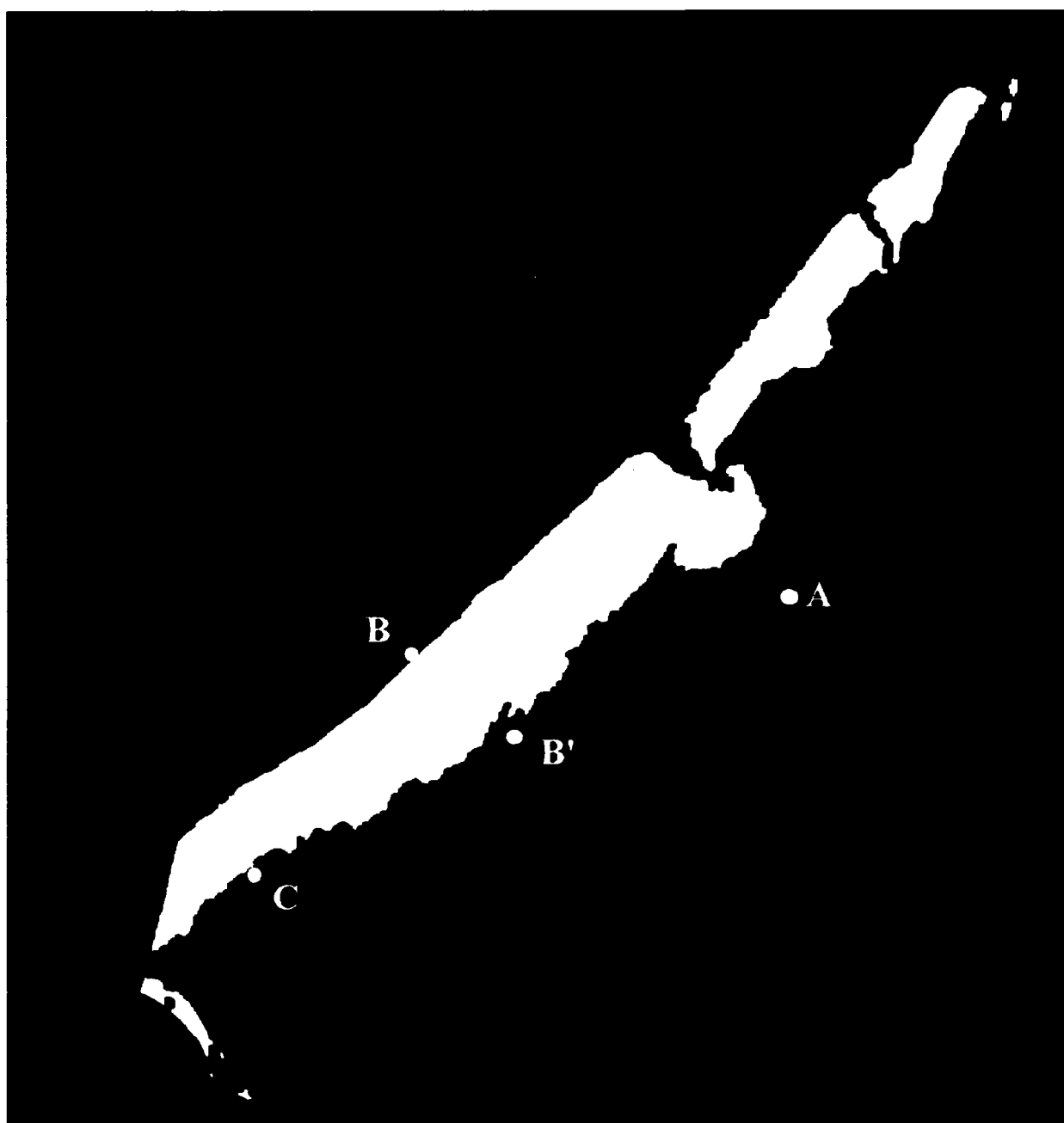
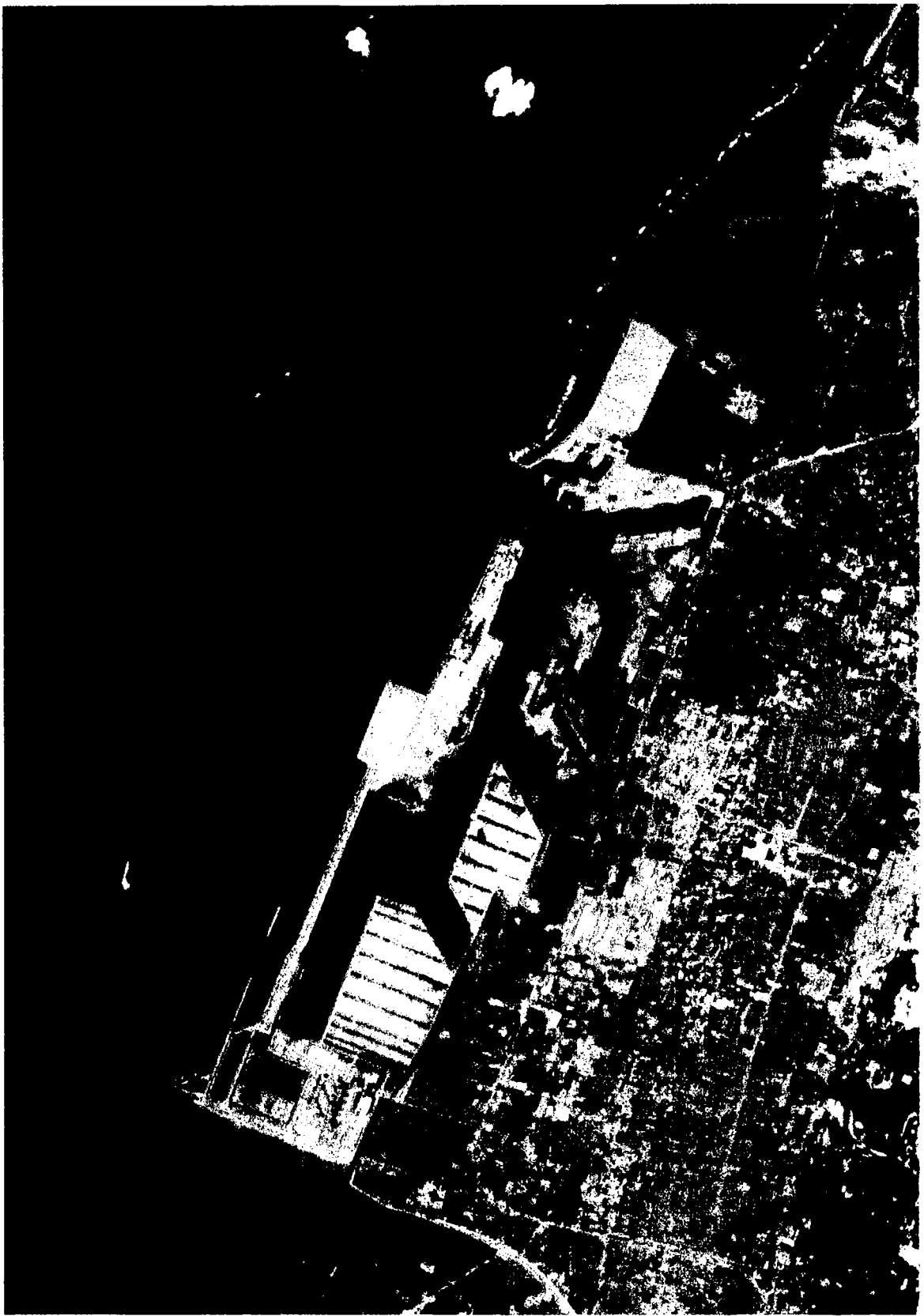


圖 4.16 由3/4/1994(潮位2cm)及4/17/1994(潮位72cm)的SPOT衛星影像所推導的
海底坡度, $A=0.04^{\circ}$ 、 $B=0.46^{\circ}$ 、 $B'=0.12^{\circ}$ 、 $C=0.34^{\circ}$
(比例尺1:75600)



(C) CNES

圖 4.17 2/3/1994 潮位101cm的台中港SPOT衛星影像
(比例尺1 : 76200)



(C) CNES

圖 4.18 12/24/1993 潮位265cm的台中港SPOT衛星影像
(比例尺1 : 76200)



(C) CNES

圖 4.19 6/8/1994 潮位443cm的台中港SPOT衛星影像
(比例尺1 : 76200)



(C) CNES

圖 4.20 1/27/1994 潮位461cm的台中港SPOT衛星影像
(比例尺1:76200)



(C) CNES

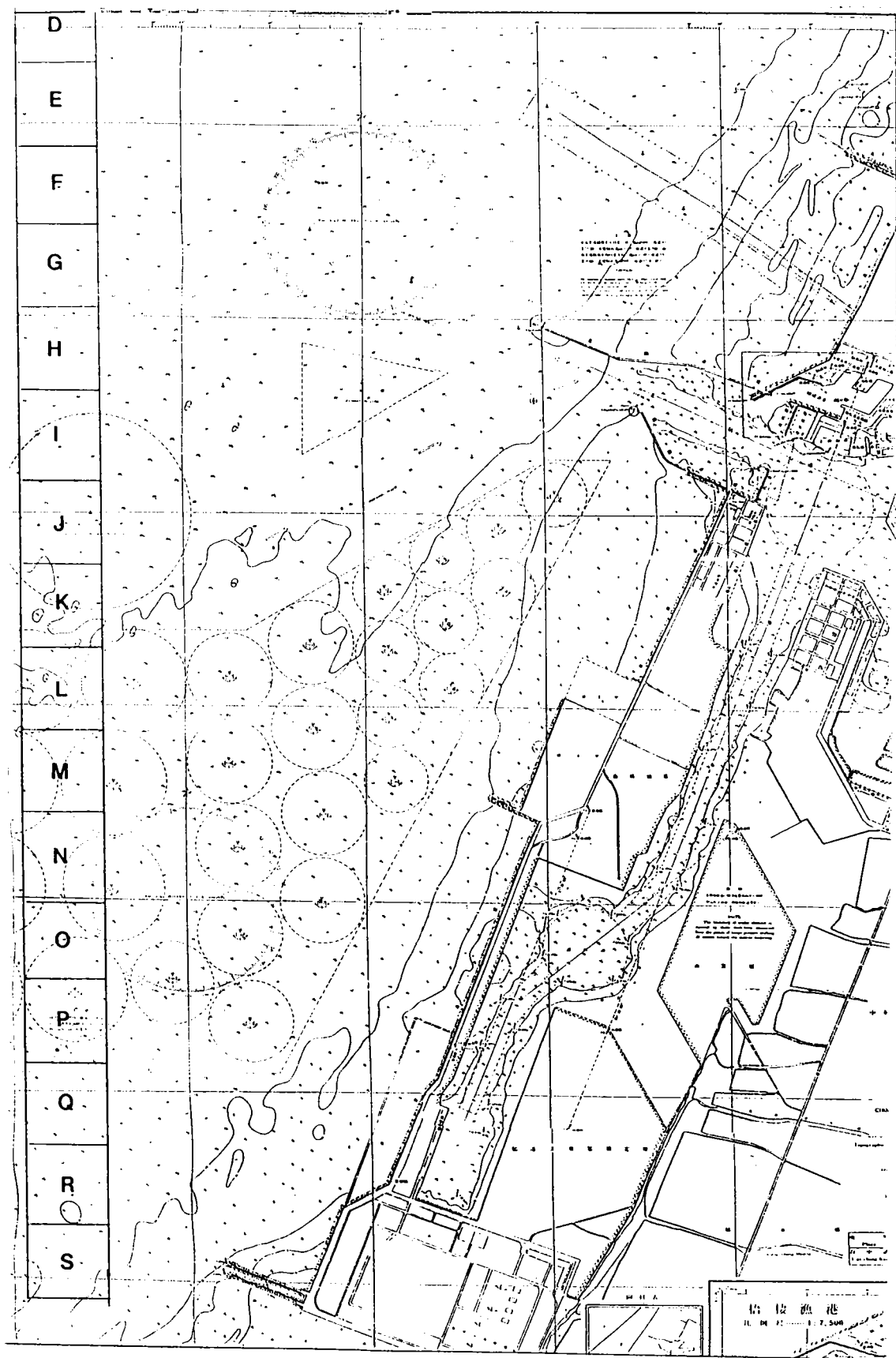
圖 4.21 1/11/1994 潮位480cm的台中港SPOT衛星影像



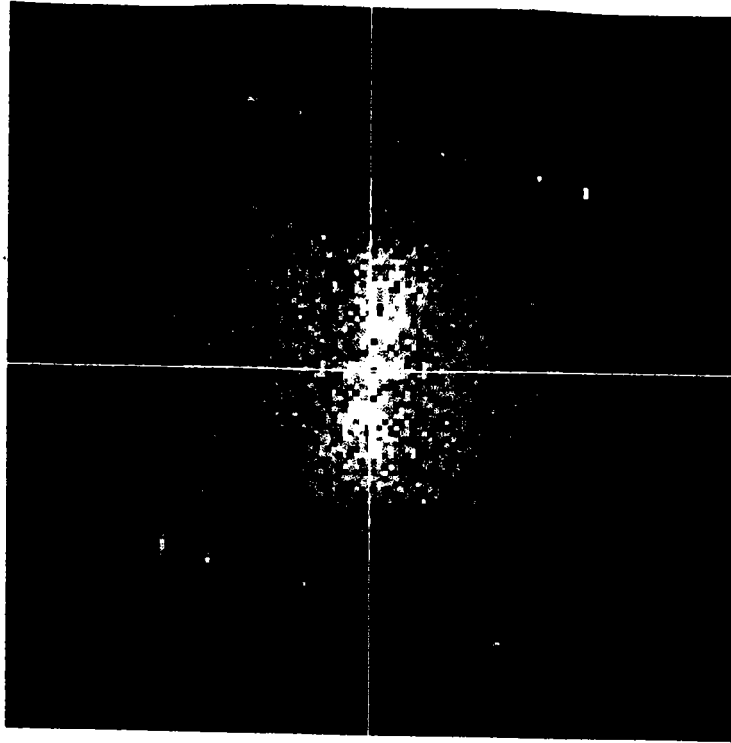
(C) CNES

圖 4.22 10/3/1986 潮位490cm的台中港SPOT衛星影像

圖 5.1 台中港外海研究海域分區位置圖



A 區



C 區

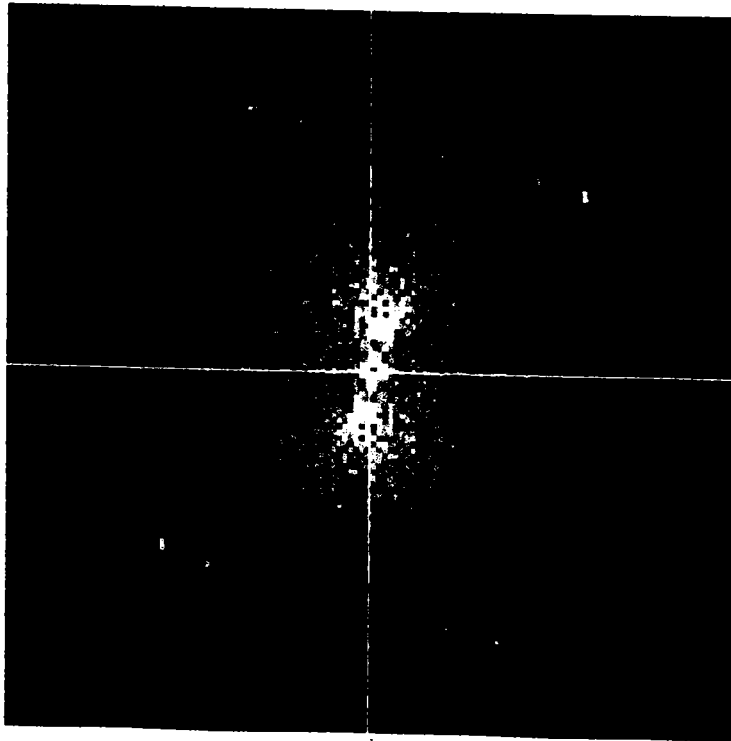
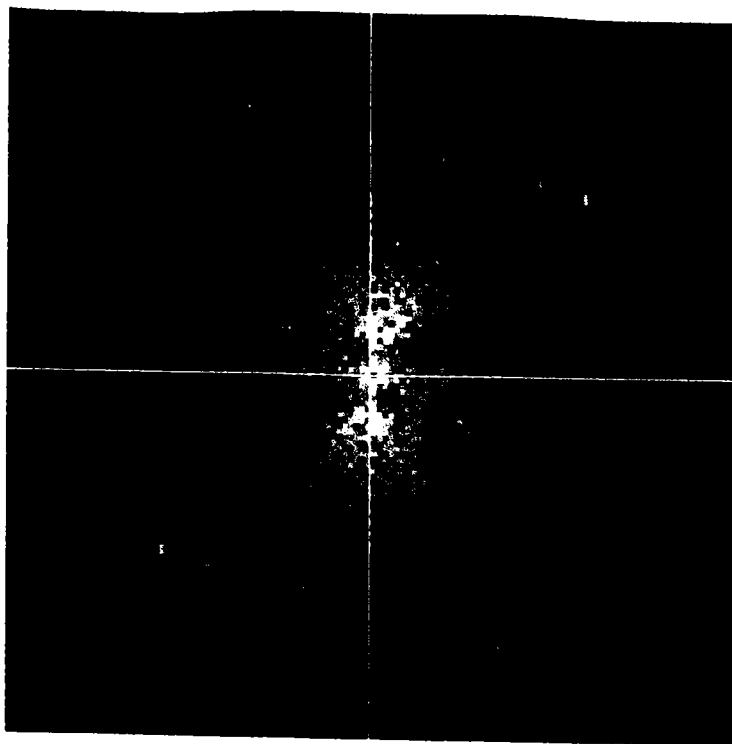


圖 5.2.a 台中港外海A、C區波數譜圖

比 區



G 區

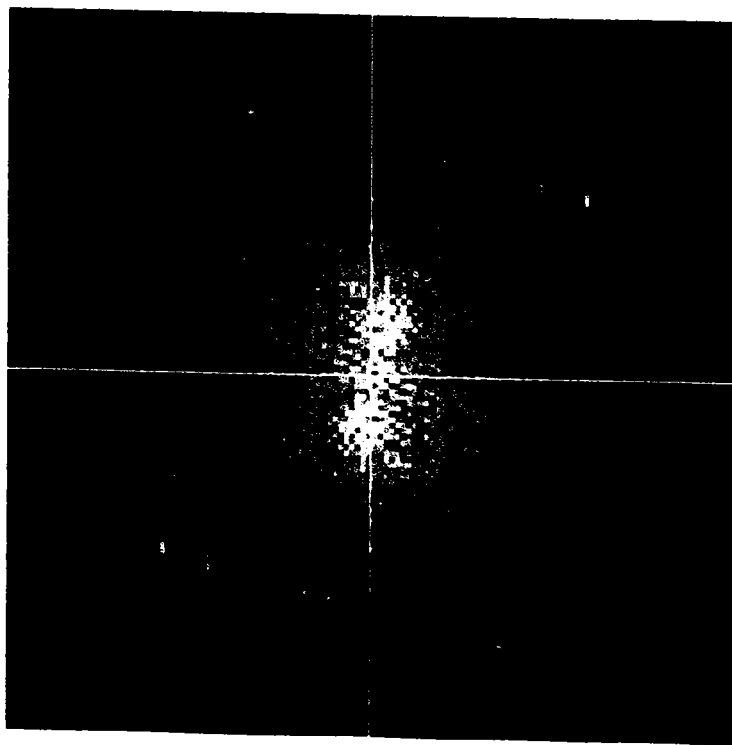
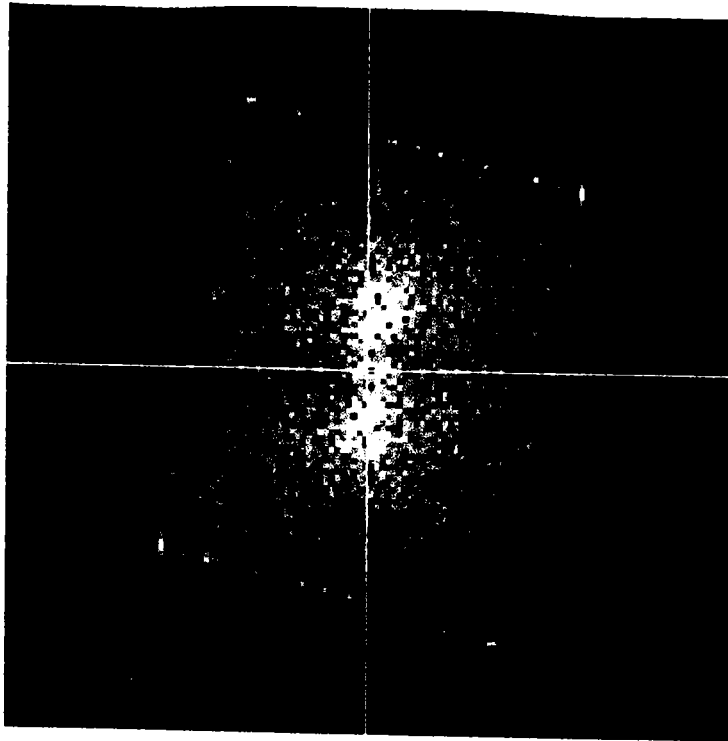


圖 5.2. b 台中港外海E、G區波數譜圖

I 區



K 區

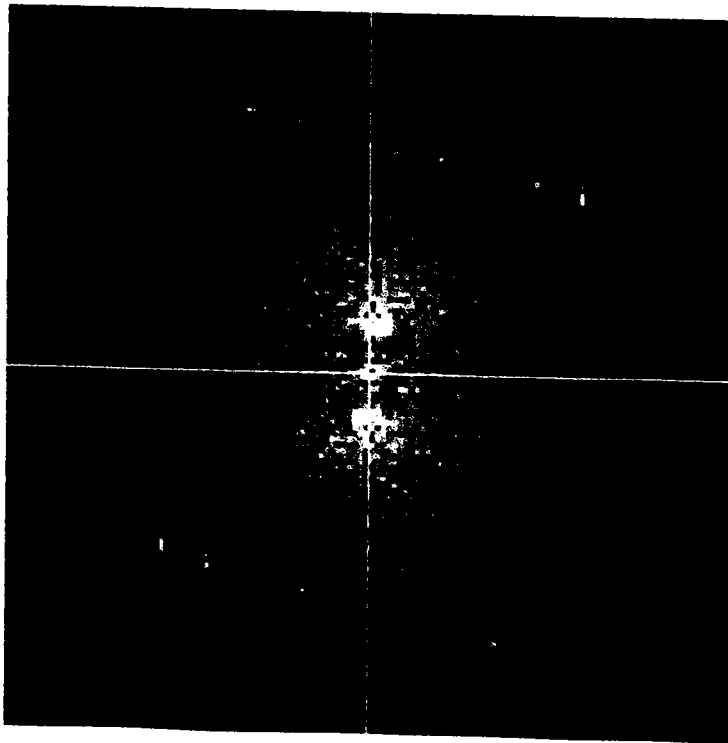
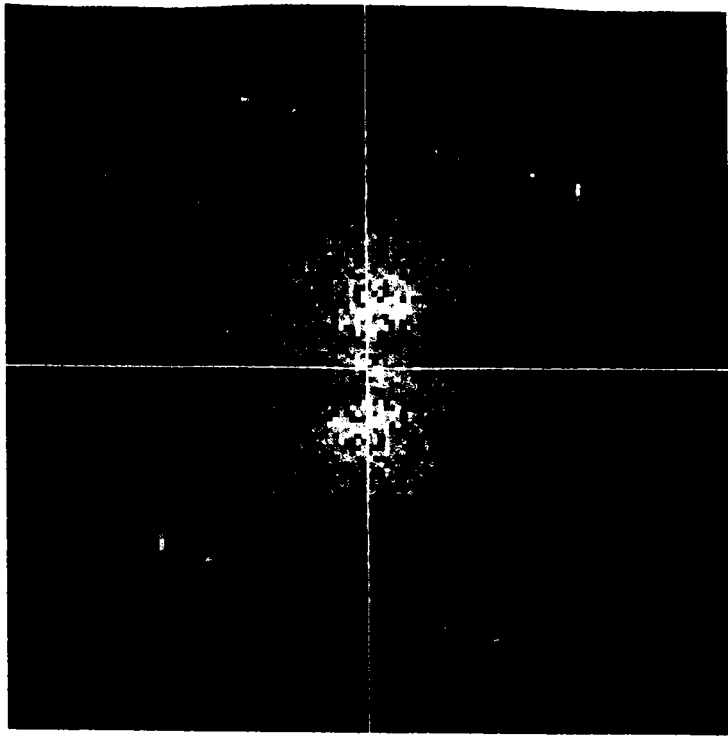


圖 5.2.c 台中港外海I、K區波數譜圖

M 區



O 區

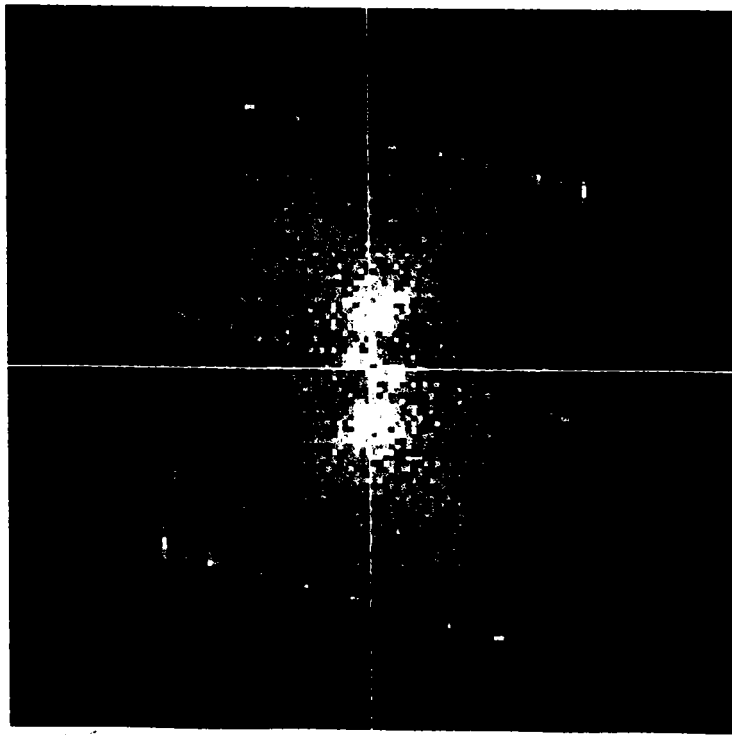
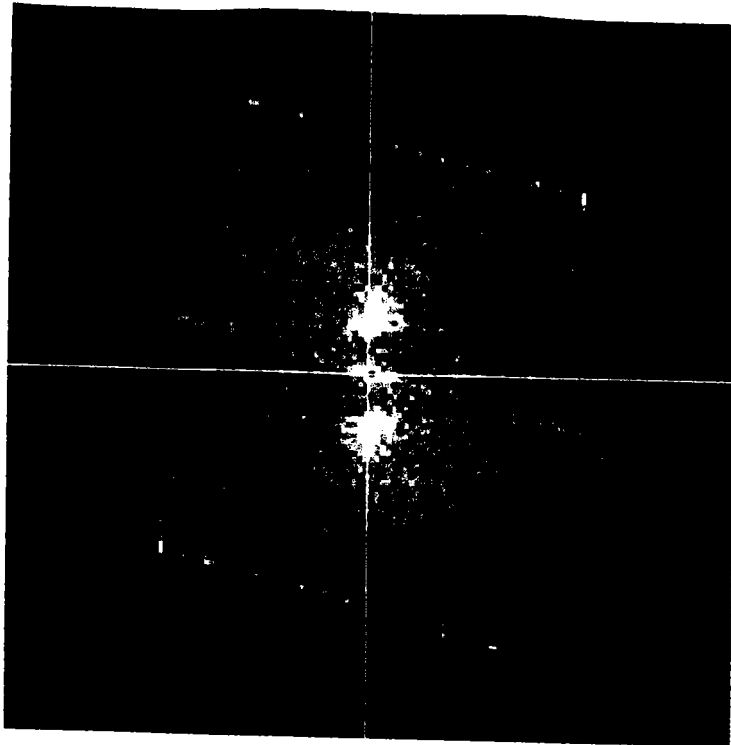


圖 5.2.d 台中港外海M、O區波數譜圖

Q 區



S 區

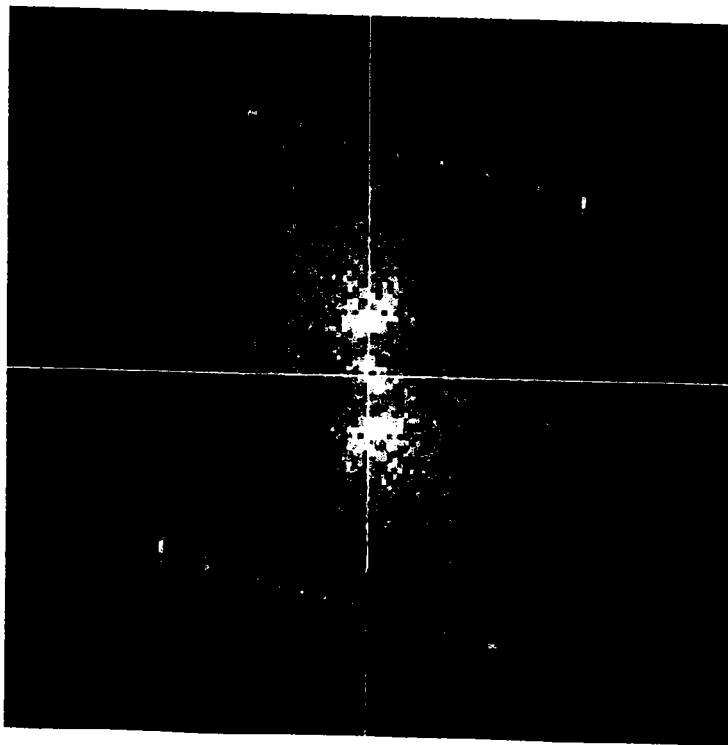


圖 5.2.e 台中港外海Q、S區波數譜圖

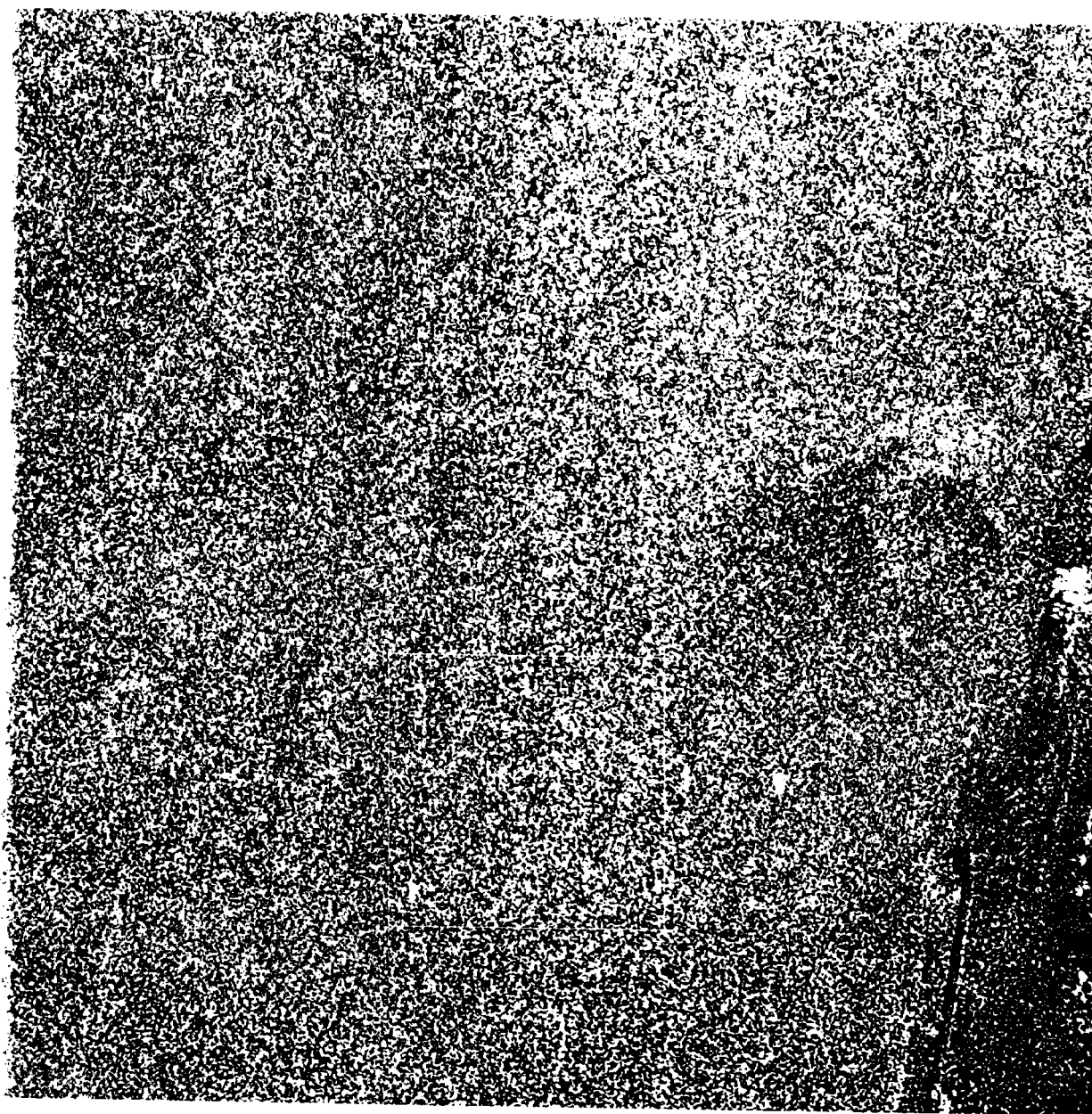


圖 5.3.a 台中港外海 1/4/1995 SAR 影像

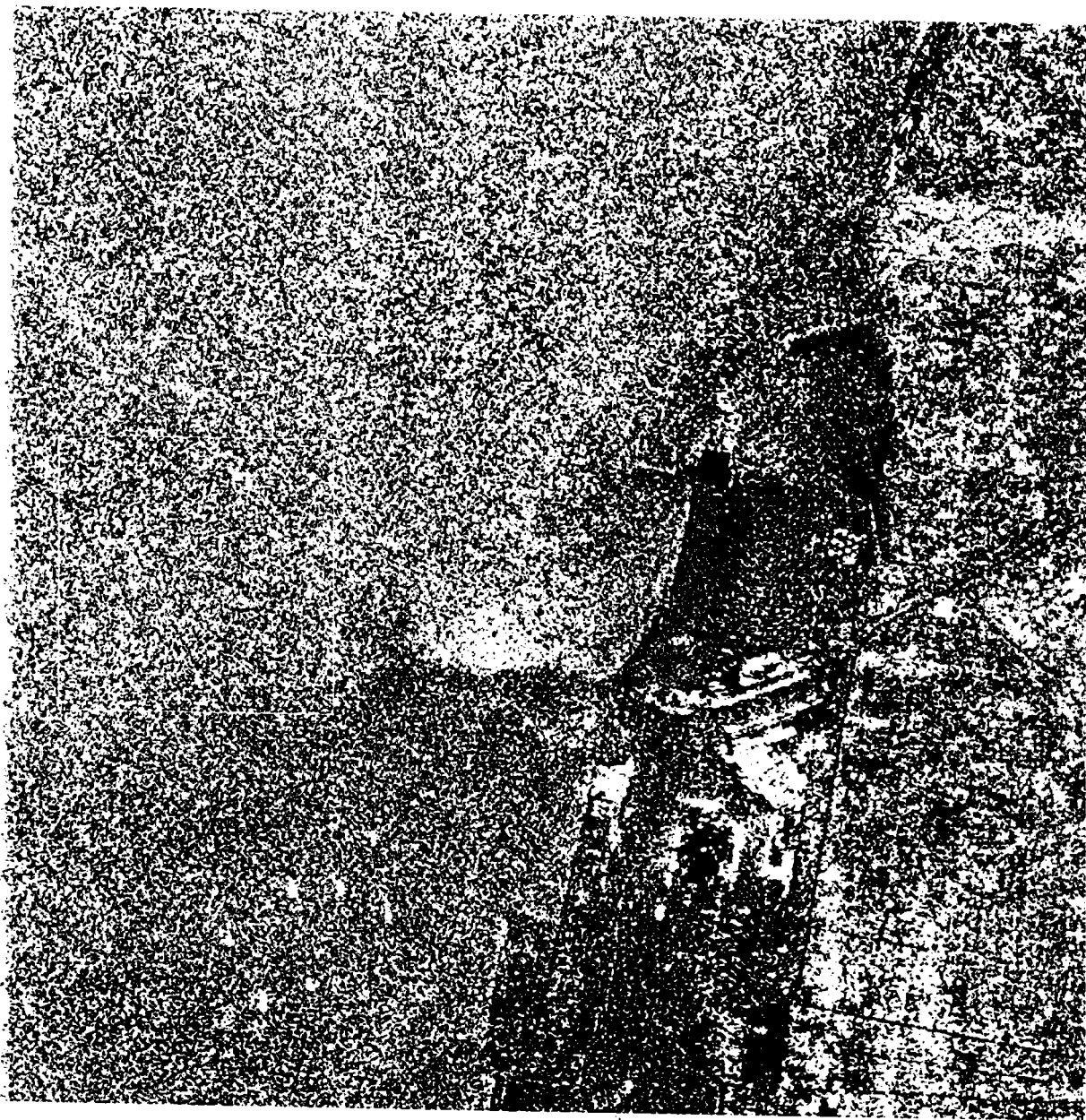


圖 5.3.b 台中港外海 4/26/1995 SAR 影像

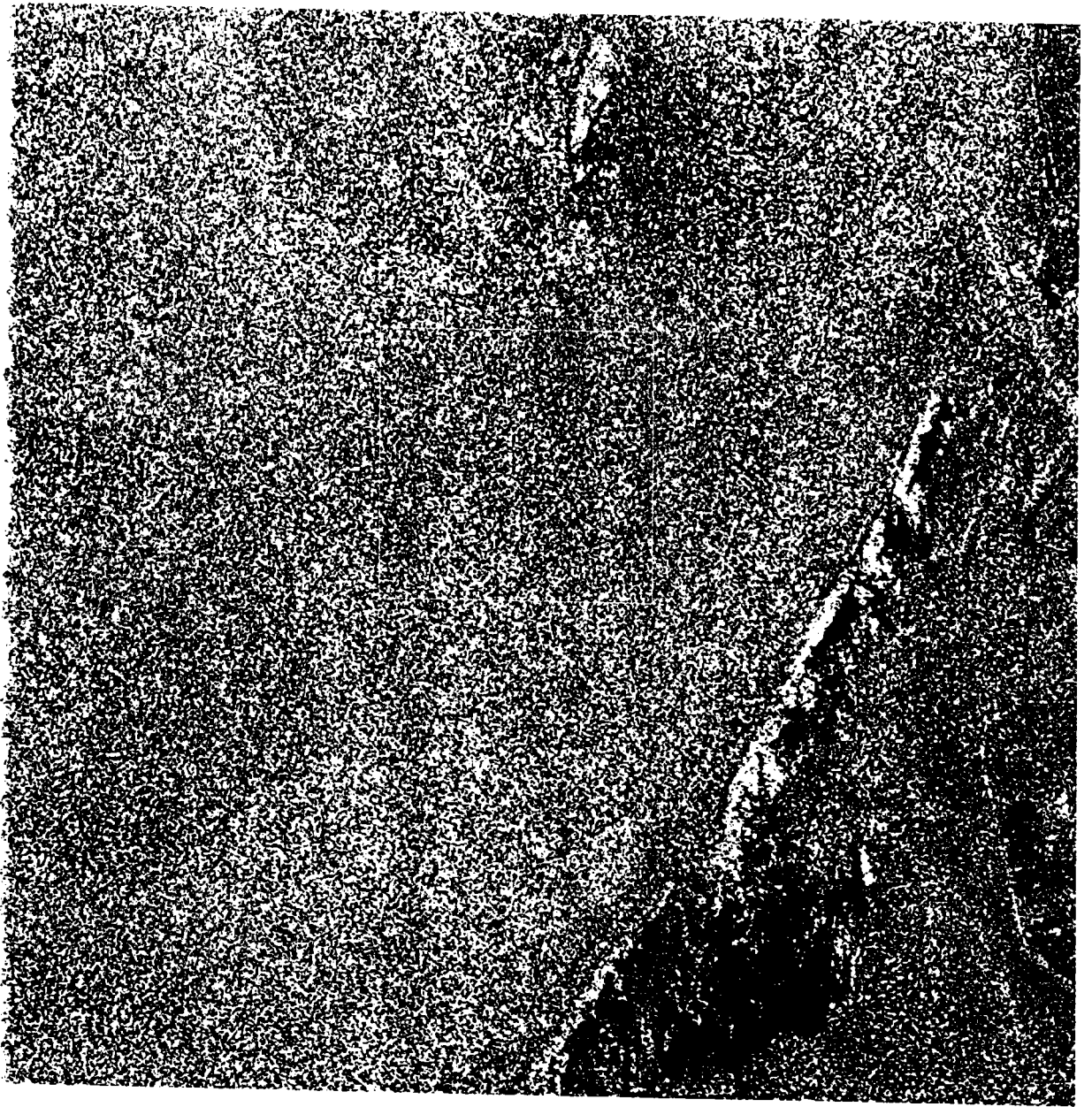


圖 5.3.c 外傘頂海域 1/4/1995 SAR 影像



圖 5.3.d 外傘頂海域 4/26/1995 SAR 影像