

水之混合。

3.2 南沖繩海槽水體中懸浮顆粒之空間分佈

3.2.1 顆粒消光係數與懸浮顆粒濃度的關係

如前文所言，水體之顆粒消光係數可由透光度換算而來： $C = -\ln T/b$ ， C 為顆粒消光度， T 為透光度。若水中顆粒體的光學性質相近，顆粒消光度與懸浮顆粒濃度成正比： $C = C_w + K(TSM)$ 。在開放海洋中的光透層內，浮游生物佔水中懸浮顆粒的大多數；由於浮游生物之大小、形狀與組成較不規則，故其光學性質之差異甚大，因此光透層內水體之顆粒消光度與懸浮顆粒濃度的線性關係並不明顯；但比對各站顆粒消光度於光透層內之高值皆與螢光高值的深度相當，因此於光透層內，顆粒消光度在定性上仍具參考價值。光透層以下，懸浮顆粒多非生物，顆粒大小、形狀組成都較為均勻，故光學性質亦較相似，顆粒消光度與懸浮顆粒濃度的相關性較佳。本研究海域之光透層深度約為 100 米左右，523 航次於 100 米以下顆粒消光度與懸浮顆粒濃度之關係如圖 3.5，二者之相關性良好，因此光透層以下顆粒消光度可反映水體中之懸浮顆粒濃度。

3.2.2 懸浮顆粒在表水中的分佈與其垂直變化

本節所討論之懸浮顆粒濃度資料皆由過濾測量而得，詳細數據列於附錄。本區表水之懸浮顆粒濃度分佈如圖 3.6，以台灣東北沿海最高，超過 0.40 mg/L，除了陸源輸入之無機懸浮顆粒外，尚因河川輸入高營養鹽的淡水，使沿海局部區域浮游生物富集。分佈趨勢大致由台灣東北沿海沿黑潮主軸流向逐漸向外洋遞減至低於 0.15 mg/L，應是由於稀釋效應所致。陸棚測站高於 0.20 mg/L，而在湧升流區，由於顆粒濃度低之黑潮次表層水湧升，表水懸浮顆粒濃度低於其周圍海

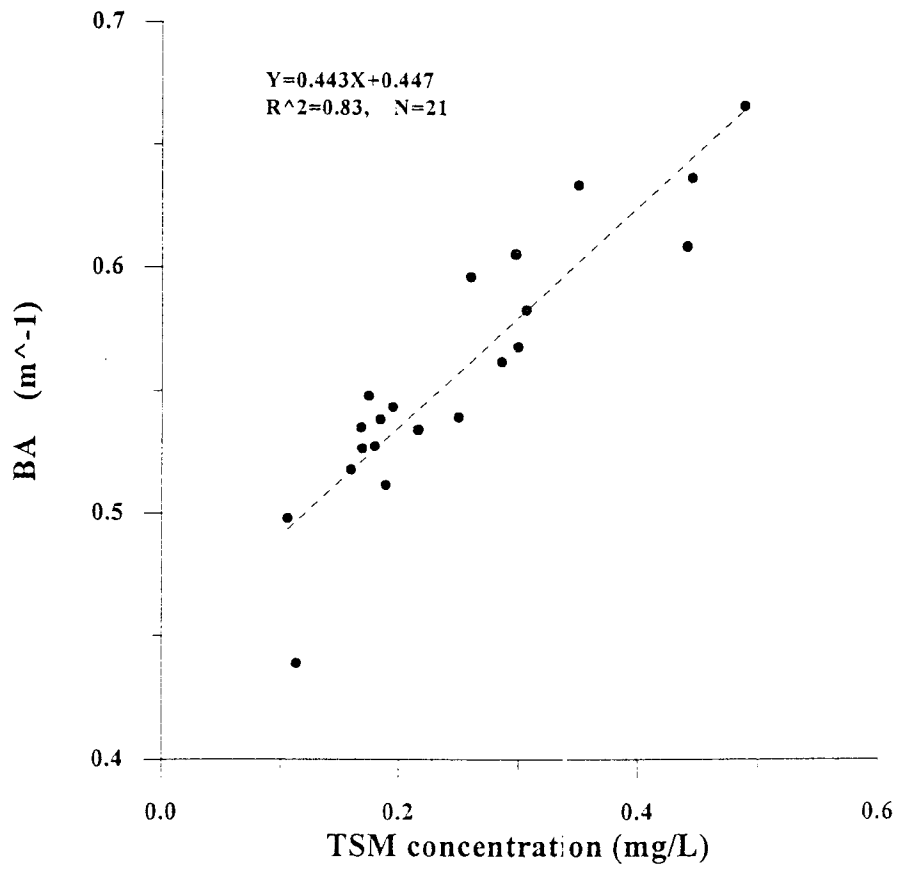


圖 3.5 523 航次水樣之顆粒消光度與總懸浮顆粒濃度的關係

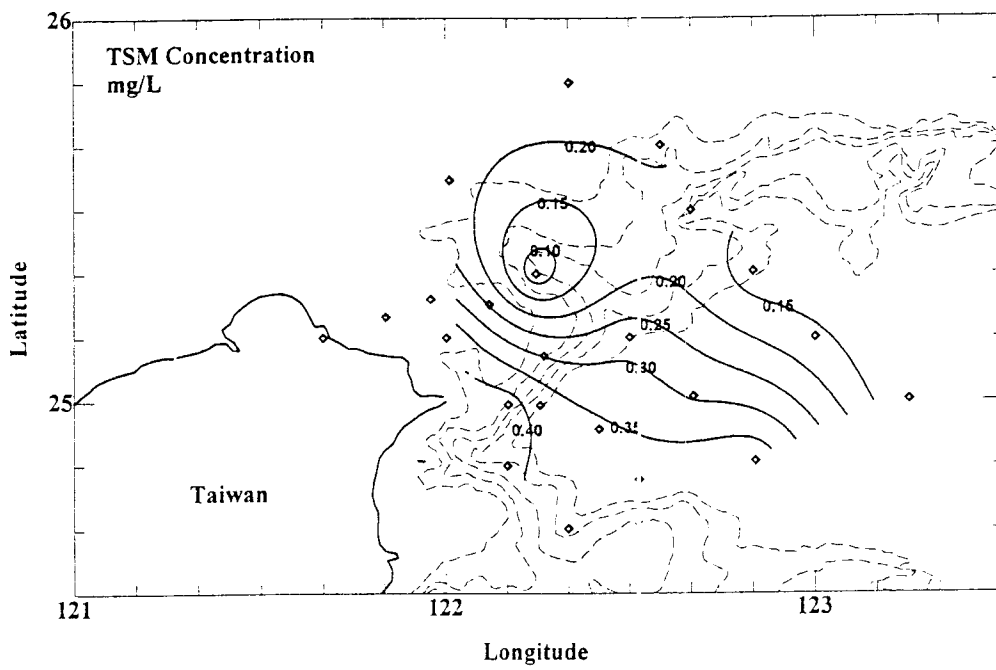


圖 3.6 表水中的總懸浮顆粒濃度

域，第 8 站甚至低於 0.10 mg/L。

圖 3.7 為 7、8、9、11、13 五站水體之懸浮顆粒濃度剖面圖，圖 3.8 為水體中懸浮顆粒濃度對位密作圖。大致上為次表層（位勢密度小於 24）與深部水體（位勢密度大於 26.5）高，中層水體較低。光透層內之懸浮顆粒以生物性顆粒為主，位於湧升流區的第 8 站與第 7 站次表層之懸浮顆粒濃度高值可達 0.40 mg/L 左右，位於東海陸棚外側的第 9、11 兩站，光透層內之懸浮顆粒濃度小於 0.25 mg/L，第 13 站為外洋測站，生產力更低，其光透層內之顆粒濃度多小於 0.20 mg/L。

光透層以下的中層水中，浮游生物稀少，另一方面，自上層水體沉降的生物遺骸與排泄物在下降過程中被分解或溶解成為溶解態物質，故中層水中，懸浮顆粒濃度相較於其上下水體為低。第 8 站與第 7 站的顆粒體來源較豐，因此懸浮顆粒濃度較第 13 站為高。比較第 7 站與第 13 站中層及深層水體中之懸浮顆粒濃度，第 7 站約為第 13 站的兩倍，Tang and Tang (1994) 於 1992 年夏季調查東海陸棚邊緣之流場，指出自台灣東北沿海至棉花峽谷間海流的流向為東南向，棉花峽谷與北棉花峽谷之間則為西南向或西向，此流場上的差異可能造成有較多的東海陸棚與陸坡上的顆粒體經由橫向傳輸而進入第 7 站之中層水體中。

此外，第 7 站與第 13 站分別位於棉花峽谷與北棉花峽谷出口處，於 700-900 m 處可見懸浮顆粒濃度高值，此即過去學者所觀測到東海陸坡與南沖繩海槽交界處之顆粒擴散舌（nepheloid plume），此顆粒擴散舌含有高錳值，由 Wei *et al.* (1991) 於南沖繩海槽深水處（600-1000 m）首先觀測到，之後亦陸續於棉花峽谷出口（接近於本文中之第 7 站）約 600-900 m 處觀測到顆粒擴散舌（Liu *et al.*, 1995、

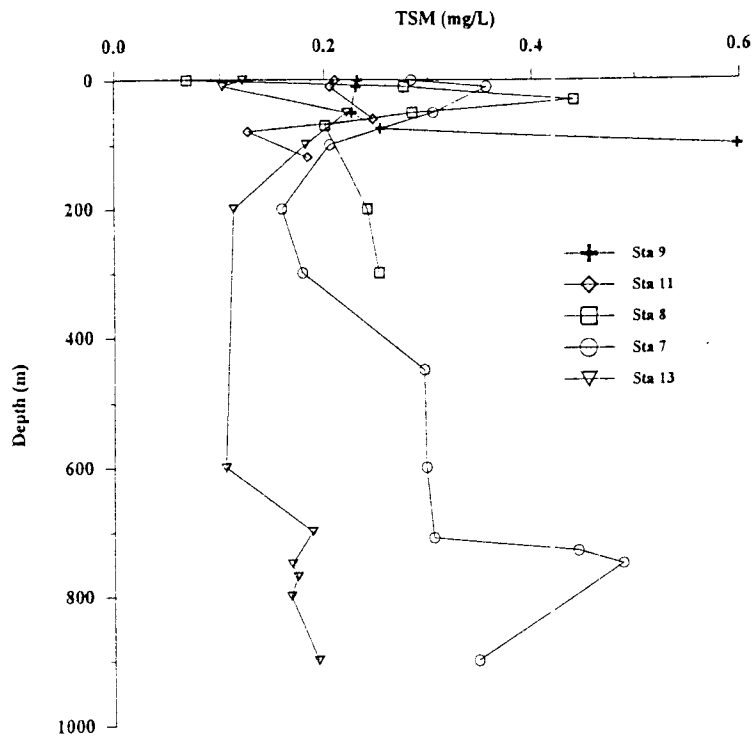


圖 3.7 523 航次各重點測站水體中總懸浮顆粒濃度之垂直變化

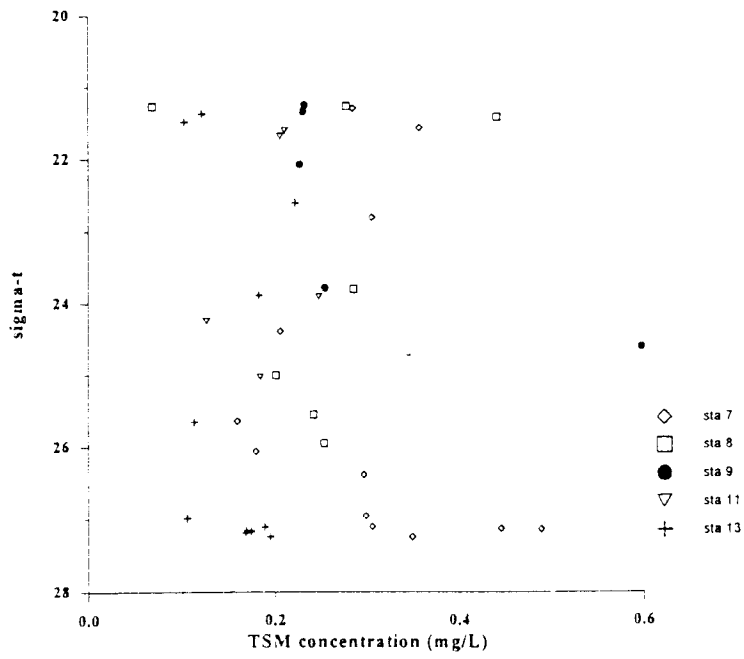


圖 3.8 523 航次各重點測站水體中總懸浮顆粒濃度對位密作圖

李，1996），顯示此位於陸坡上的顆粒擴散舌為經年存在之現象。此外，Liu *et al.* (1995) 於此處測量得顆粒相有機碳 (POC) 之高值；Chung and Chang (1995) 測量此區陸坡沈積物之鉛-210 亦指出陸坡上、中段缺乏細顆粒沈積物之累積，咸認為是東海陸棚顆粒體向沖繩海槽輸送之證據。顆粒擴散舌於第 7 站深水處相當明顯，總懸浮顆粒濃度 0.49 mg/L，甚至高於次表層，可見深部水體中顆粒體的橫向傳輸作用相當重要。第 13 站深部顆粒擴散舌不若第 7 站明顯，懸浮顆粒濃度僅有 0.19 mg/L，但仍高於中層水，表示仍有陸坡再懸浮之沉積物向沖繩海槽輸出，但較不重要。

3.2.3 由顆粒消光度看南沖繩海槽水體中懸浮顆粒的分布情況

由東海陸棚各沿基隆海谷、基隆海谷與棉花峽谷之間、棉花峽谷與北棉花峽谷切過陸坡至沖繩海槽之顆粒消光度斷面如圖 3.9a-d。光透層內顆粒濃度較高為浮游生物富集所致。陸棚與陸坡交界處的懸浮顆粒高值為陸棚上的顆粒體向外輸送而後掉落於陸坡上的現象，以基隆海谷最為顯著，其次為基隆海谷與棉花峽谷間的第 19、20 站，其中基隆海谷陸棚與陸坡交界處之顆粒消光度可高達 1.22，相當於懸浮顆粒濃度為 1.7 mg/L；此特徵愈向東北愈不明顯，至北棉花峽谷已不見此特徵。

由圖中可看出陸坡不同深度上有多處舌狀懸浮顆粒高值（圖 3.9b、圖 3.9c），為陸坡沉積物再懸浮沿等密面向外擴散的特徵，以 700-1000 m 左右的顆粒消光度最高；同樣的，此特徵至北棉花峽谷已相當微弱（圖 3.9d）。顆粒消光度由基隆海谷與棉花峽谷間陸坡（18 站）之 0.66 以上（相當於懸浮顆粒濃度為 0.5 mg/L），向北逐漸減至北棉花峽谷出口處（13 站）之 0.56（相當於懸浮顆粒濃度為 0.3 mg/L）。另外，沿北棉花峽谷測線上，第 13 站水體之懸浮顆粒濃度

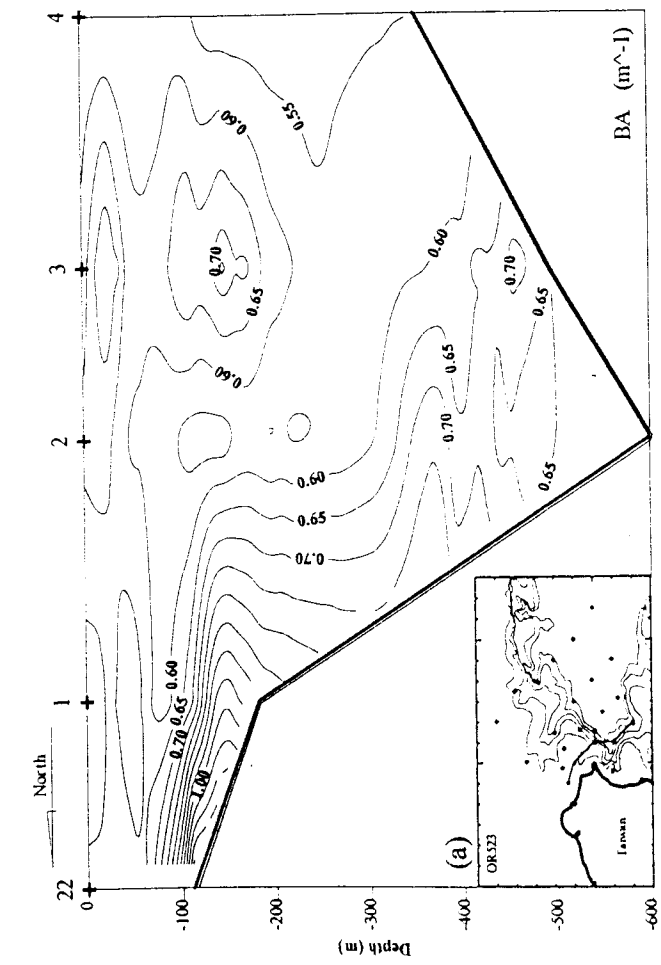
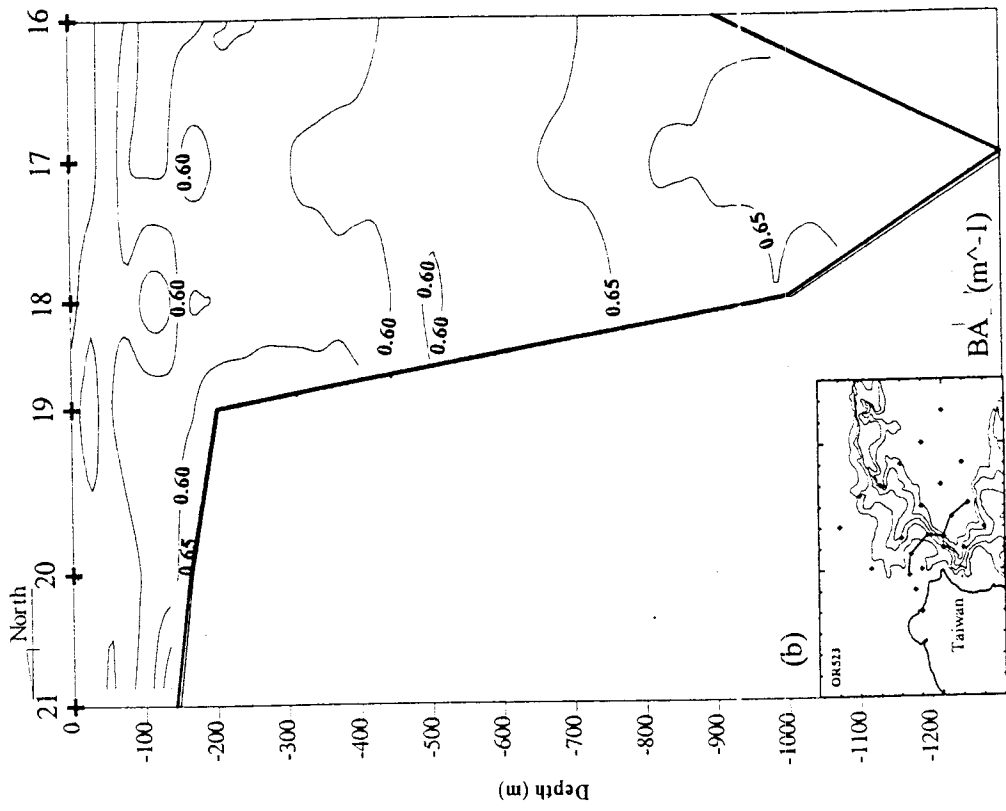


圖 3.9 由陸棚切過陸坡到沖澗海槽之消光度斷面：(a)沿基隆海谷、(b)基隆海谷與棉花峽谷間

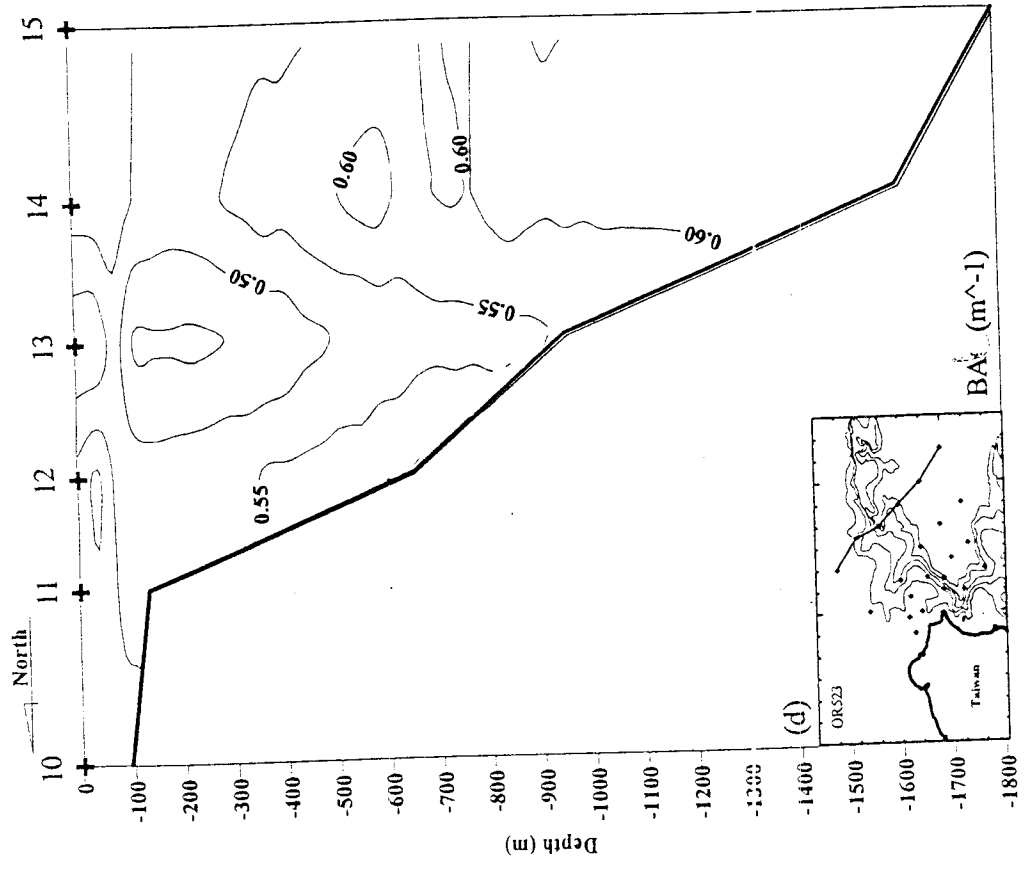
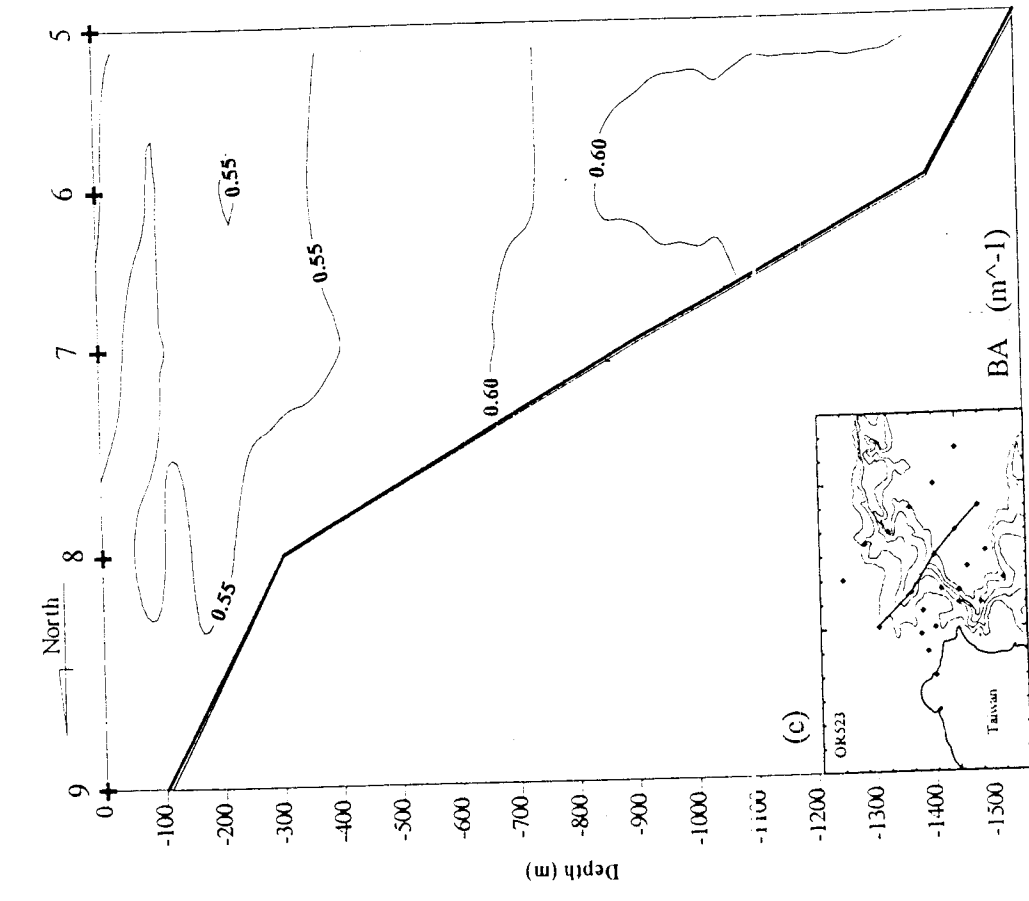


圖 3.9 (續) 由陸棚切過陸坡到沖澗海槽之消光度斷面：(c)沿棉花峽谷、(d)北棉花峽谷

比起其兩邊都來得低，而第 14、15 站約 500 呎以下懸浮顆粒濃度再度增加，此處水體中之顆粒體與陸坡上的顆粒體似乎為不同之來源，同樣的，棉花峽谷測線上，第 5 站深部水體中之顆粒體來源可能亦與第 7 站深部不同。

圖 3.10a-d 為大致平行於等深線之顆粒消光度斷面。其中圖 3.10b 之斷面位於各峽谷之出口，可見沿此斷面水體中有數處懸浮顆粒濃度高的地方，分別位於次表層、400-500 m、650-800 m 左右，底部亦有較高的懸浮顆粒濃度，將第 18、7、13 站的顆粒消光度對位勢密度作圖如 3.11a，可看出愈靠近岸，整層水體中的懸浮顆粒濃度愈高，並於不同等密面上有數層懸浮顆粒濃度高值。次表層之高濃度懸浮顆粒主要為浮游生物。深部水體之顆粒擴散舌大約對應於位密 27.07，3.11b 為 27.07 等密面上的顆粒消光度的變化趨勢，吾人推測東海陸坡的顆粒擴散舌範圍應可達將近第 6、19 站附近，而與宜蘭海脊再懸浮之沉積物顆粒相連。至於海流如何輸送顆粒體與影響的程度則有待收集當地流場與流速的資料才可確知。

所有顆粒濃度高值的特徵都是由基隆海谷向北棉花峽谷逐漸減少。其他個別的特徵方面，第 3 站 100-200 m 有顆粒體富集的現象，由分佈型態觀之，此處富集之顆粒體並非來自陸棚；其東北方不遠處的第 18 站對應深度亦如此，顆粒體之真正來源於本研究中無法確定。由於第 3 站位於蘭陽溪出口東北方，因此有可能為蘭陽溪輸出之大量陸源顆粒被往東北搬運沉降所致，然亦可能為上層水體顆粒沉降至此堆積或有其它來源，必須進一步分析顆粒組成或於更近岸處採樣才可獲致較肯定的結論。

此外，沖繩海槽屬弧後擴張地區，地質活動旺盛，近年來學者於

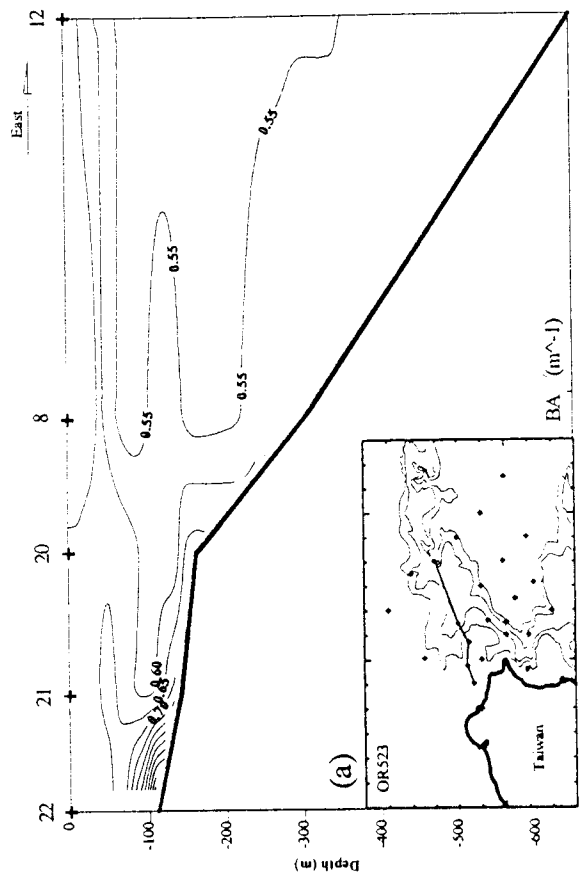
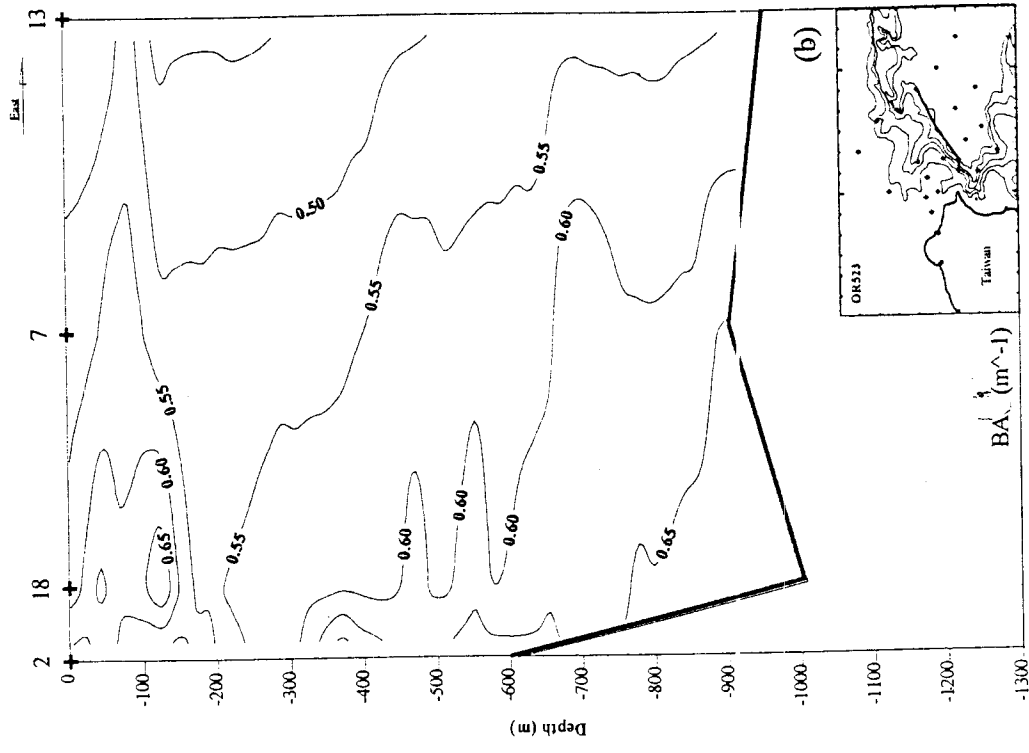


圖 3.10 與等深線大致平行之消光度斷面圖，其相對位置如小地圖所示，(a)-(d)愈來愈向東南。

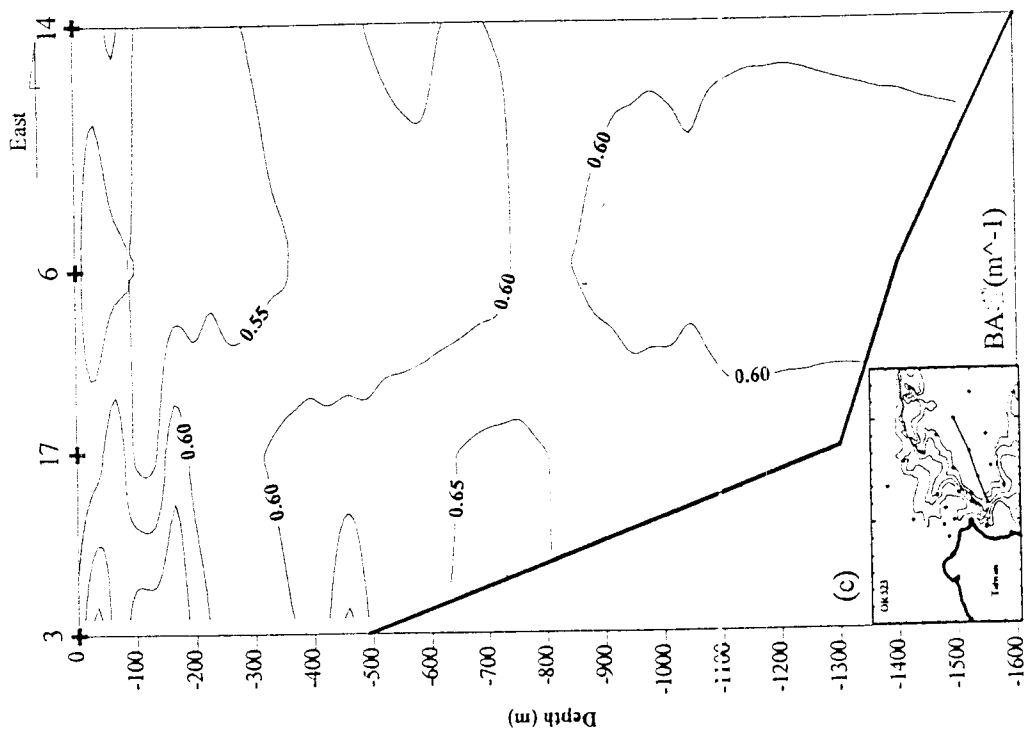
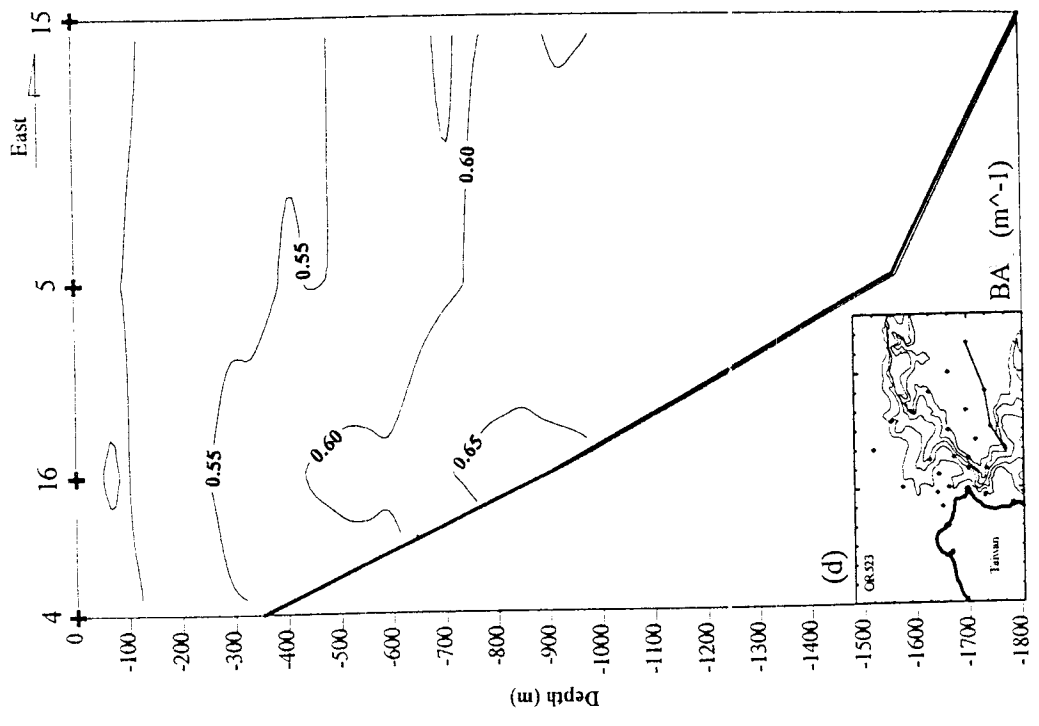


圖 3.10 (續) 與等深線大致平行之消光度斷面圖(c)、(d)，其相對位置如小地圖所示

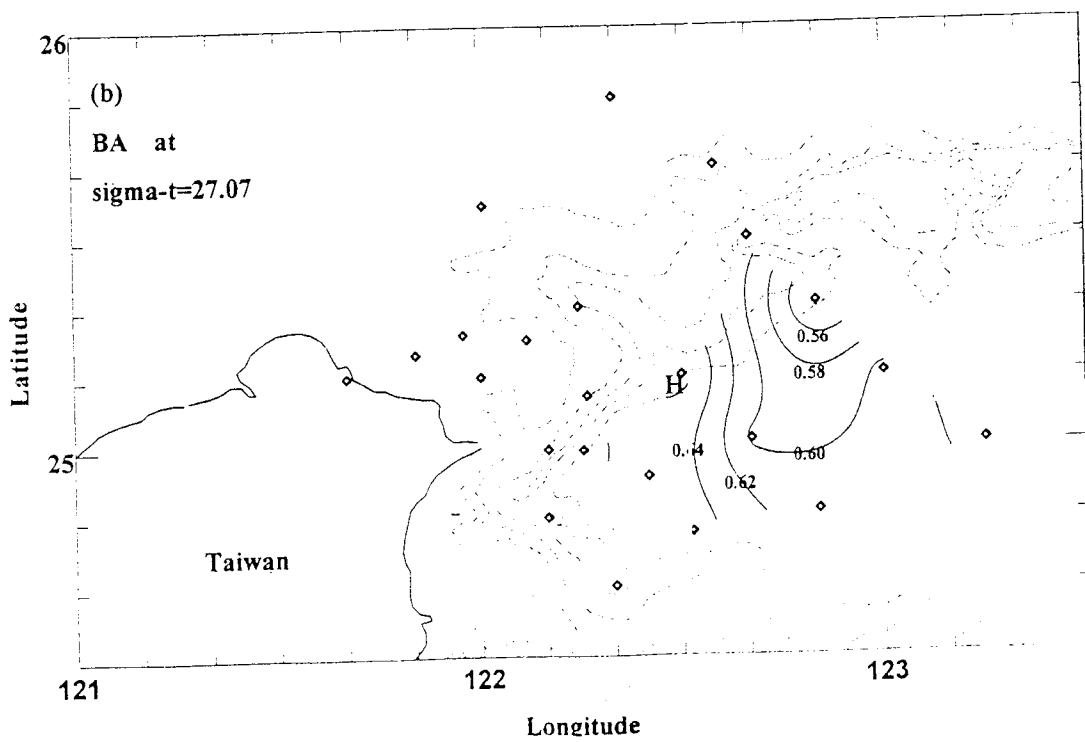
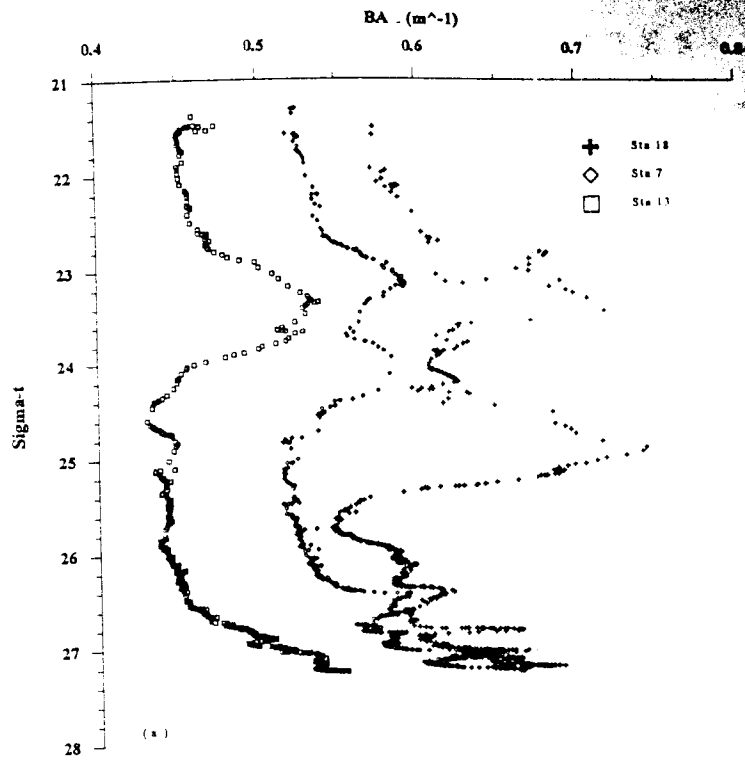


圖 3.11 (a)第 18、7、13 站水體顆粒消光度對位密作圖，可見在不同的等密面上有許多顆粒濃度高值。(b)位密 27.07 之顆粒消光度。

海槽底發現許多海底火山，本航次第 14、15 站以及第 5、16 與 17 站附近都有許多高熱流值之海底熱泉被發現，這些熱泉噴出時會將大量地殼物質與海底沉積物帶至水體中，有的熱泉噴發的高度甚至可達 300 米（蔡等，1998），這幾站深部水體中之懸浮顆粒濃度有增加的情況，來源可能是這些海底火山。

3.3 本研究海域鈷-234 活度之空間變化

海水中溶解相的鈷-234 會經由許多物理、化學與生物作用吸附於顆粒體表面而自水中被清除，因此水中溶解相鈷-234 之活度低於其母核種鈷-238 之活度時，即為水中懸浮顆粒清除之結果。由鹽度計算本研究海域水體中鈷-238 之活度為 2.38-2.46 dpm/L，溶解相鈷-234 之活度與鈷-238 之活度差距愈大，表示清除現象愈明顯。

溶解相鈷-234 被懸浮顆粒清除而成為顆粒相鈷-234。顆粒體或因沉降作用，或被海流攜帶出水體，吸附於其表面的鈷-234 亦隨之被移除，因此總量鈷-234 活度與鈷-238 活度差距愈大，表示顆粒體將水體中鈷-234 移除之速率愈快。

3.3.1 表水中鈷-234 的空間分布

3.3.1.1 溶解相鈷-234 在表水中的空間變化

圖 3.12a 為本海域表水中溶解相鈷-234 活度之分布，表水中鈷-234 之各項分析數據列於附錄 I。表水中溶解相鈷-234 之活度於此一小範圍海域中有相當大的變異，最高與最低之活度可相差五倍以上

（0.48-2.36 dpm/L），且其活度分布形態與水文上之分區頗為類似，顯示此區域表水中之清除現象受不同水團性質之影響很大。

溶解相鈷-234 活度於陸棚測站（第 9、10、11 站）最低，平均活度為 0.917 ± 0.387 dpm/L，顯示陸棚表水對鈷-234 之清除作用明顯，

其中第 11 站表水中溶解相鈾-234 活度僅 0.474 dpm/L，總量鈾-234 活度亦只有 0.682 dpm/L，顯示此處表水中的鈾-234 很快被清除至顆粒體上並被移出水體，一般而言，除沿岸之外甚少見到如此低的數據，而第 11 站位處陸棚外緣卻出現如此低的活度實不尋常。然第 11 站表水中並未有特別高的懸浮顆粒濃度與顆粒相鈾-234 活度，表示此強烈清除現象非單純因顆粒體之吸附作用所致；生物的捕食作用亦可能造成特別快速之清除作用：草食性橈腳類（herbivorous copepods）與膠質浮游動物（gelatinous zooplankton）攝食時，能將水中的鈾-234 連帶攝入並將之快速被包裹至糞粒（fecal pellets）中排出（Dagg and Grill, 1970、Madin, 1974）。大顆粒的糞粒沉降速率很快，可高達 100-1000 m/d（Bruland and Silver, 1981、Komar *et al.*, 1981），故可將鈾-234 迅速自水體中移除。此處是否有此現象有待進一步調查。東南方黑潮表水流經之區域因顆粒濃度較稀疏，既得不到陸源顆粒的輸入，又沒有大族群的浮游生物提供排泄物，導致鈾-234 於此區之清除現象相當不明顯，溶解相鈾-234 與鈾-238 活度幾呈平衡。黑潮水與陸棚水混合區則介於二者之間，為混合作用所致。在台灣東北外海處，雖然懸浮顆粒濃度很高，但此區表水中鈾-234 之清除現象反而不若其北方陸棚區強烈，推究其可能原因，其一為此區顆粒輸入之通量雖高，但顆粒體在水層內的滯留時間非常短，以致無法對水中之鈾-234 作有效之清除；其二為顆粒體旺盛的原地再循環（in situ recycling）作用：Coale and Bruland（1985）於加利福尼亞洋流與北太平洋量測鈾-234 的數據，提出光透層上半部生產力高，原地再循環作用強烈，顆粒體在水層內很快地被分解或溶解，使吸附於其上的鈾-234 再度釋放於水中，導致淨清除現象（net scavenging）並不顯著。由於夏季台灣沿海接受大量高營養鹽之淡水輸入，推測生物活動應更加旺

盛，故而可能類似於上述之情況。

3.3.1.2 顆粒相鈷-234 在表水中的空間變化

本海域表水中顆粒相鈷-234 之活度變化如圖 3.12b，除少數測站外，大都介於 0.1-0.3 dpm/L 之間，其空間分布形態與懸浮顆粒濃度並無顯著關係，應受顆粒組成的影響。計算顆粒相鈷-234 之比活度（specific activity，即每單位重量懸浮顆粒上所吸附鈷-234 之活度），（圖 3.13、圖 3.14），可見表水中顆粒相鈷-234 之空間分布亦受顆粒體濃度稀釋的影響，且其程度大於受顆粒體本身性質之影響。第 15 站表水之比活度高達 3.84 dpm/mg，與 Tsunogai and Minagawa (1976) 於開放海洋之觀測結果相似。

3.3.2 水體中鈷-234 活度之垂直變化

鈷-234 活度於各測站水體中之垂直變化如圖 3.15，溶解相、顆粒相與總量鈷-234 隨位密的變化如圖 3.16，由圖中可見溶解相鈷-234 活度於表層海水中變異很大，中層水體（位密 24-26.5）中活度最高，至深部水體中（位密大於 26.5）則再度變低；總量鈷-234 活度之垂直變化大致與溶解相雷同，顆粒相鈷-234 活度於光透層與中層水體中約隨位密略為增加，至深部水體則驟增。第 18 站水樣未過濾，僅作總量鈷-234 之活度分析，各剖面之分析數據列於附錄 II。水體中鈷-234 多以溶解相形態存在，顆粒相鈷-234 占鈷-234 總量的比例大多在百分之十至二十之間（圖 3.17）。第 7 站與 13 站的深部水體中，鈷-234 的存在則以顆粒相為主，顆粒相鈷-234 占總量鈷-234 之比例可達百分之五十至七十左右，可見深部水體的清除作用特別強烈。

3.3.2.1 光透層中鈷-234 之活度變化

在光透層中，生物活動較為旺盛，鈷-234 或被生物攝取，或吸附於排泄物顆粒上隨之沉降被帶出光透層，故其活度明顯較低；本區水

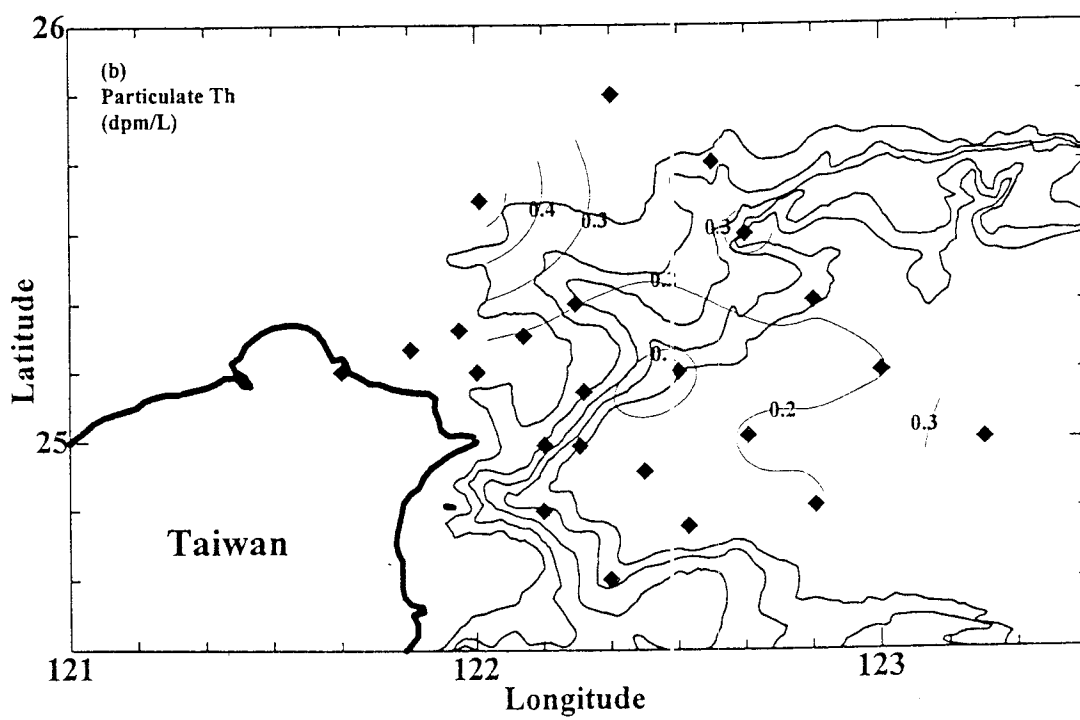
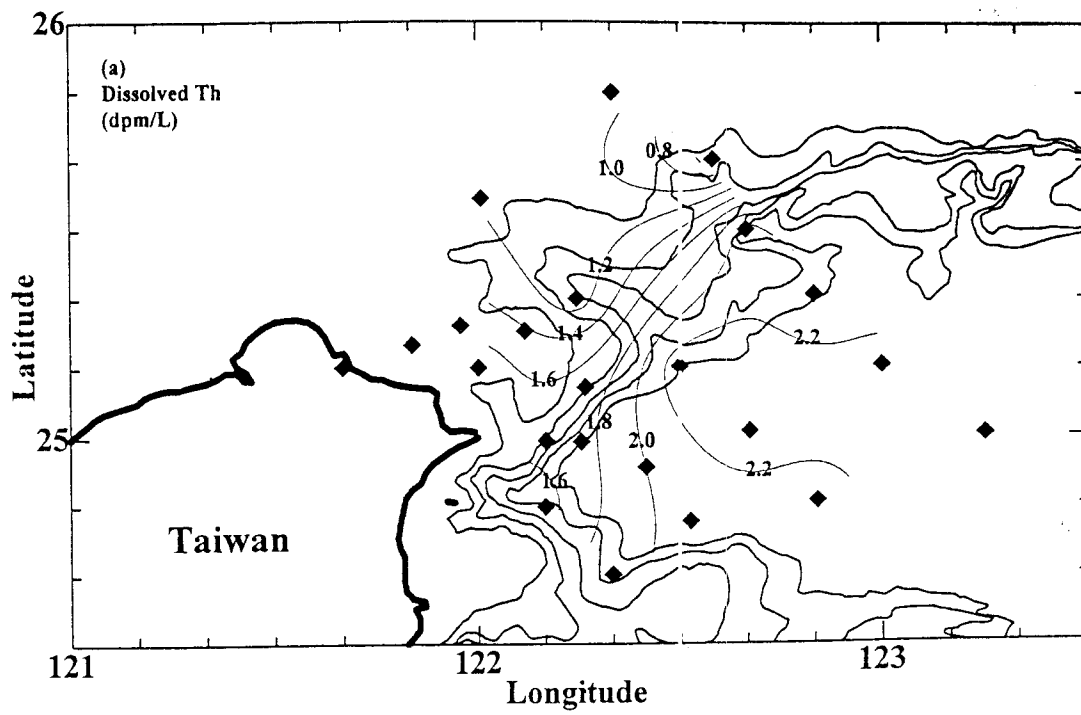


圖 3.12 表水中鈷-234 活度分佈 (a)溶解相鈷-234 活度 (b)顆粒相鈷-234 活度

體光透層內溶解相鈷-234 與鈾-238 之活度比為 0.716 ± 0.194 ，總鈷-234 與鈾-238 之活度比為 0.811 ± 0.203 ，較之於北太平洋中心，清除速率相當，但顆粒體對鈷-234 之移除作用明顯較為強烈 (Bruland and Coale, 1986)。若再以陸棚與陸坡為區分，則可看出溶解相與總量鈷-234 與鈾-238 之活度比皆為陸坡高於陸棚，而顆粒相鈷-234 與鈾-238 之活度比則為陸棚高於陸坡 (表 3.1)，顯示陸棚光透層水體對鈷-234 的清除與移除作用都較陸坡為強烈，且清除環境的變異性也較大。但由前文知，位於陸棚外緣之第 9、11 兩站其光透層內的懸浮顆粒濃度都較陸坡上的第 7、8 兩站為低，卻有較強烈的清除現象，Coale and Bruland (1985)以一維不可逆清除模式計算水體中鈷-234 的清除速率常數，指出溶解相鈷-234 之清除速率與顆粒相有機碳 (POC) 通量有良好的正相關，Liu *et al.* (1995)於 KEEP-Key 測線之調查結果，指出表層 POC 高值出現在湧升流邊緣；而第 9 站即位於湧升流外緣，故如此強烈之清除環境可能與水體中之高濃度 POC 有關。第 11 站則可能如前文所述，為生物作用的結果。

3.3.2.2 中層水體鈷-234 之活度變化

光透層以下，浮游生物數量很少，水體中懸浮顆粒較低，且自上層水體沉降之顆粒體或分解成較細顆粒，使中層之顆粒沉降速率減低，顆粒滯留時間增長，故總鈷-234 與其母核種鈾-238 呈活度平衡狀態，總鈷-234 與鈾-238 活度比平均為 0.959 ± 0.102 。或因溶解而將吸附於其上之鈷-234 再度釋放於水體當中，以至溶解相鈷-234 活度占總量鈷-234 活度之比重大多較光透層高。第 8 站光透層下部與以下總鈷-234 活度則有過平衡的現象，但此處並無較高的懸浮顆粒濃度，顆粒相鈷-234 活度較之其他各站亦不特別高，表示此過平衡現象並非由於顆粒體堆積之結果，較有可能的原因是此處顆粒的分解作用特別快，自其

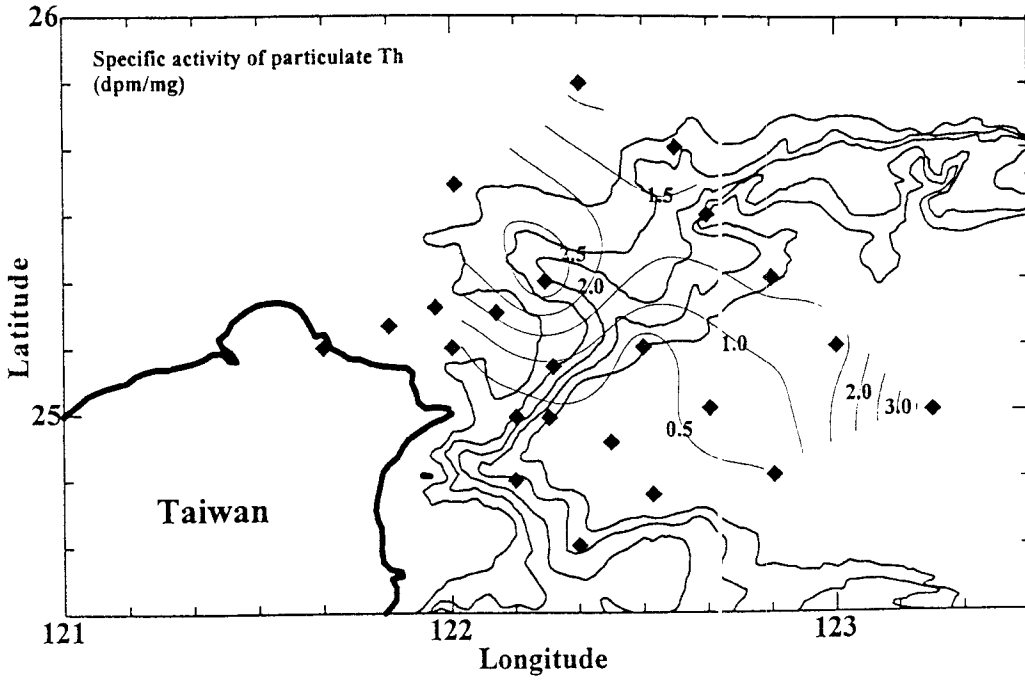


圖 3.13 表水中鈷-234 比活度之空間分佈

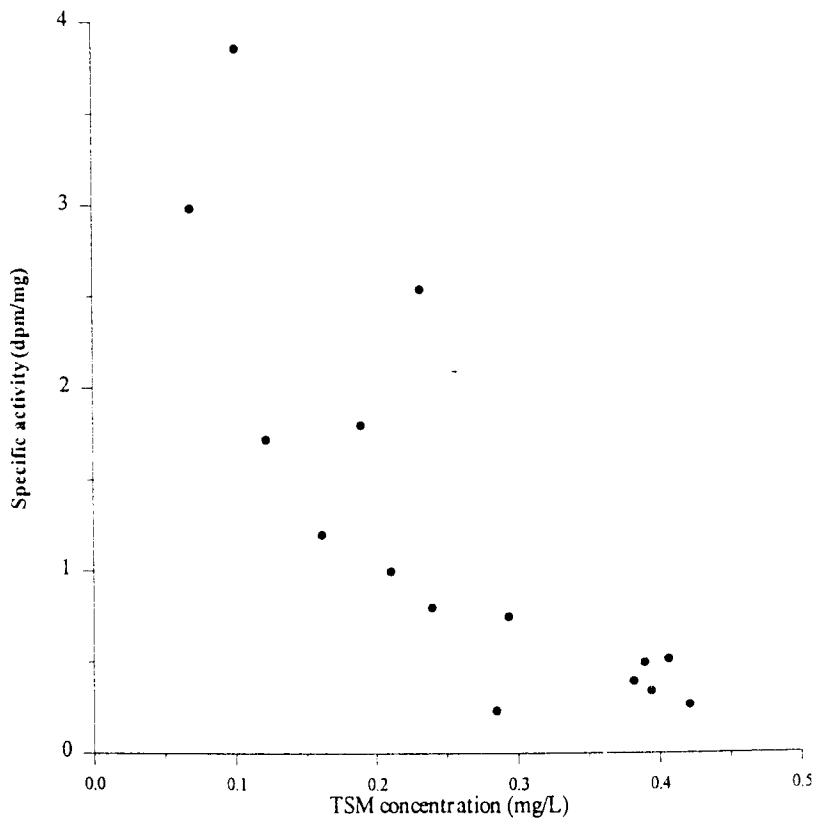
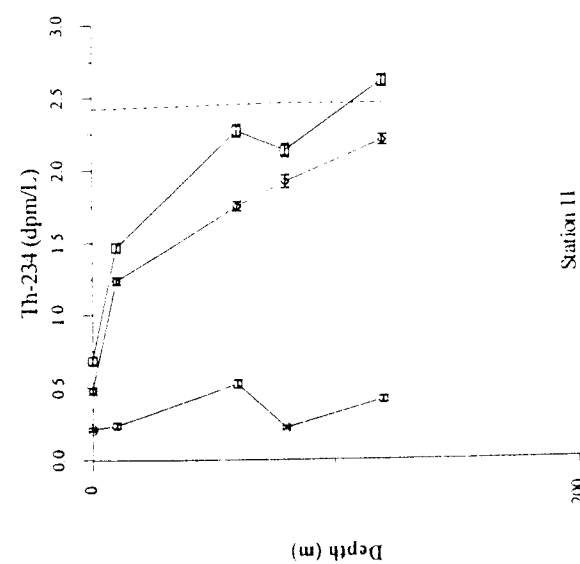
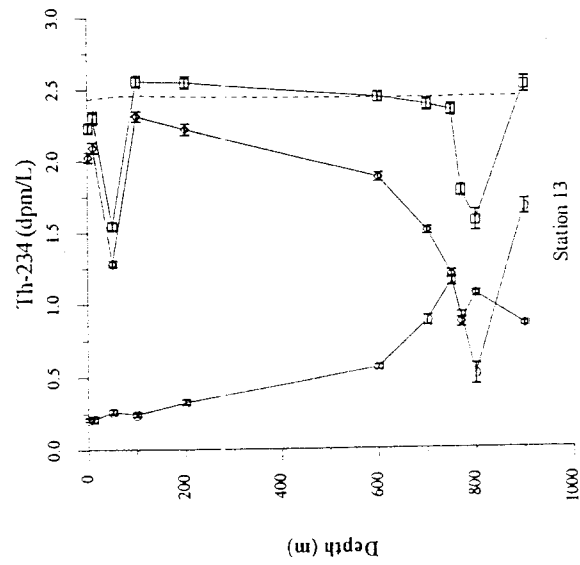
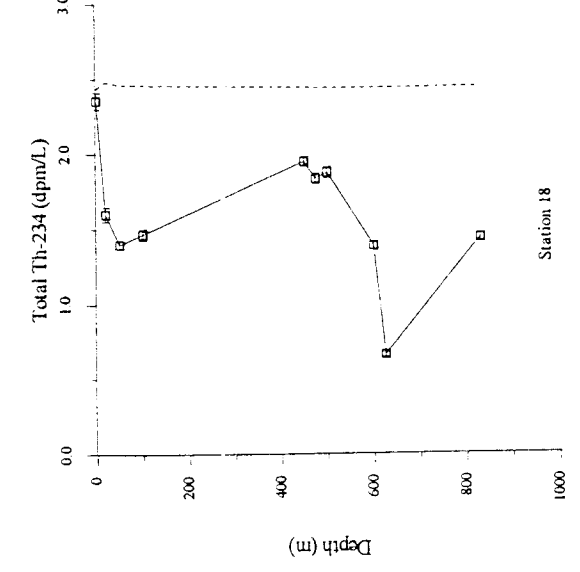
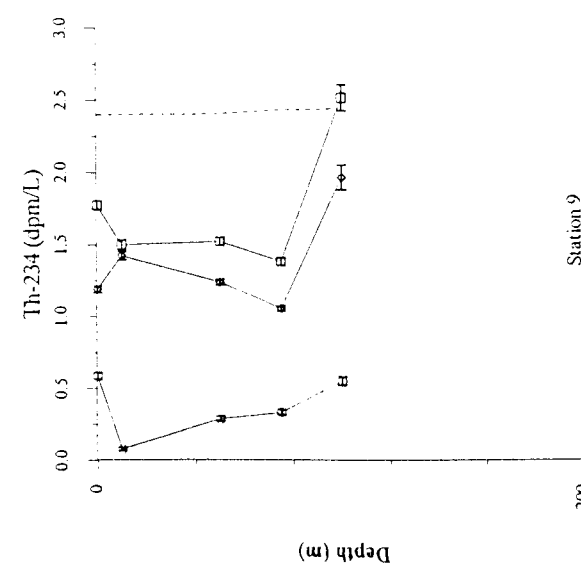
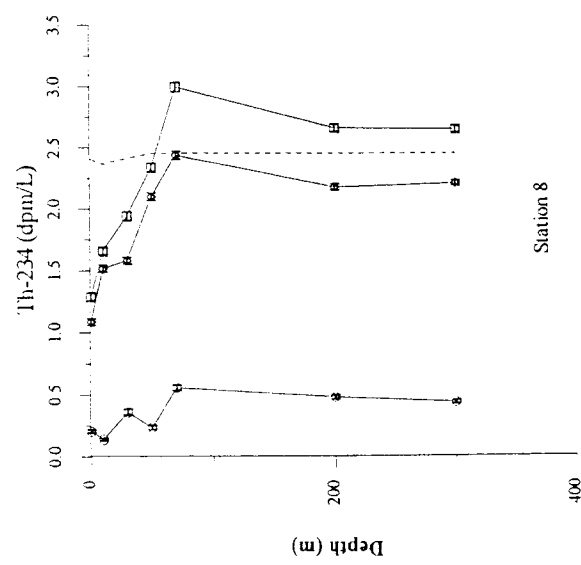
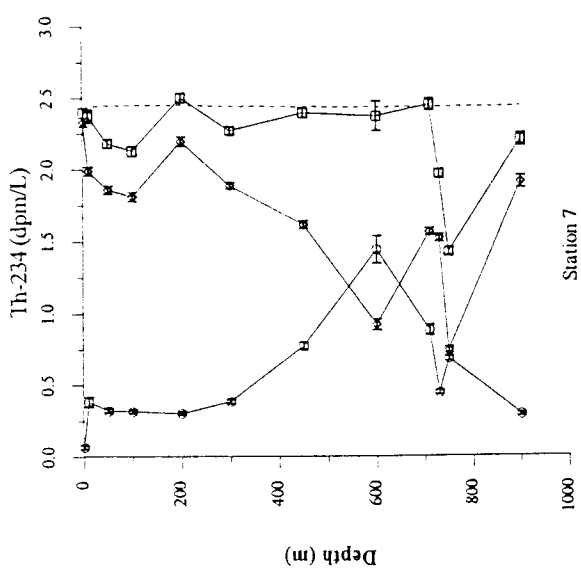


圖 3.14 表水中鈷-234 之比活度與懸浮顆粒濃度



◆ Dissolved
 ○ Particulate
 □ Total

圖 3.15 各站水體中鈾-234 活度之垂直變化

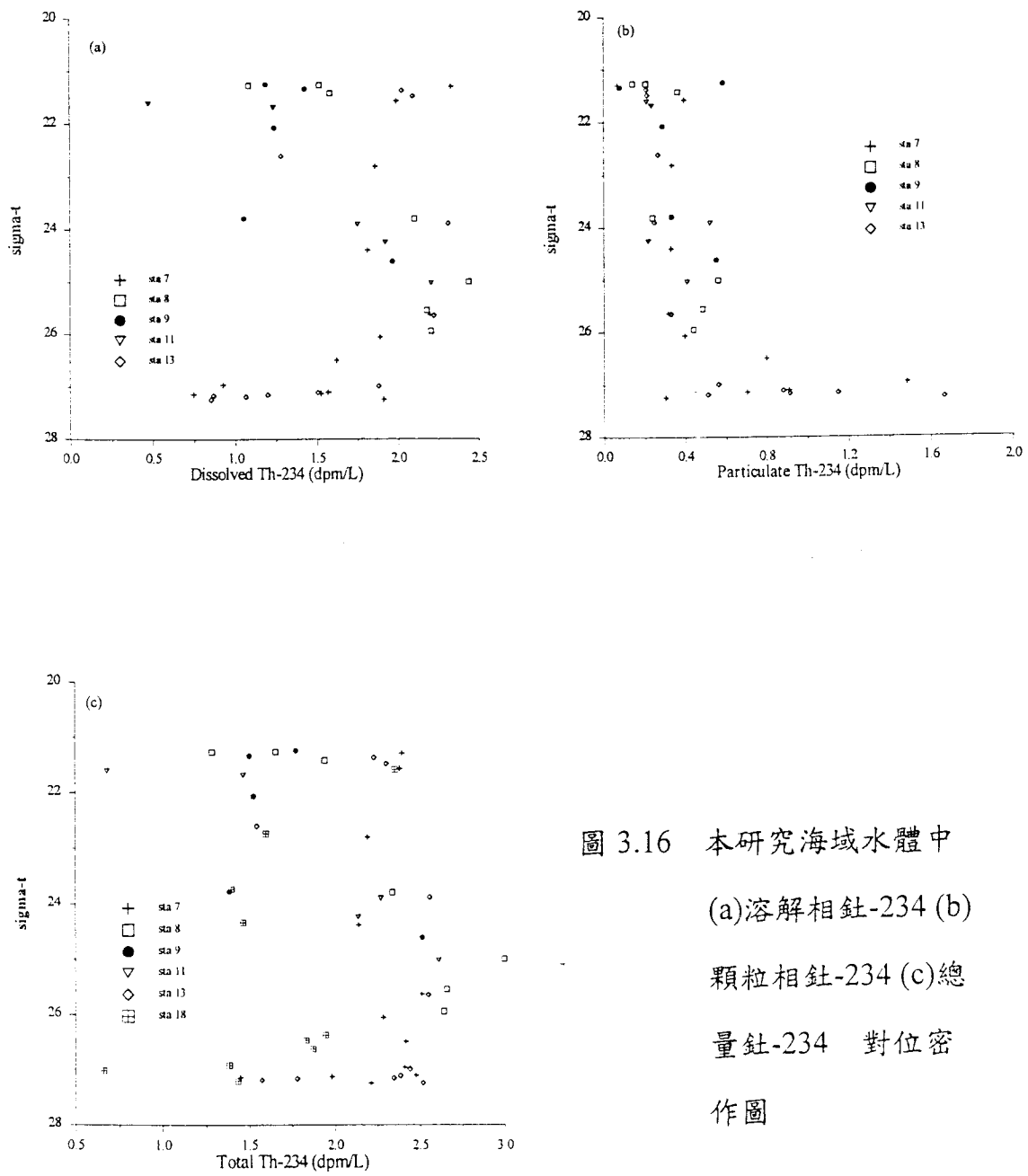


圖 3.16 本研究海域水體中
 (a)溶解相鈷-234 (b)
 顆粒相鈷-234 (c)總
 量鈷-234 對位密
 作圖

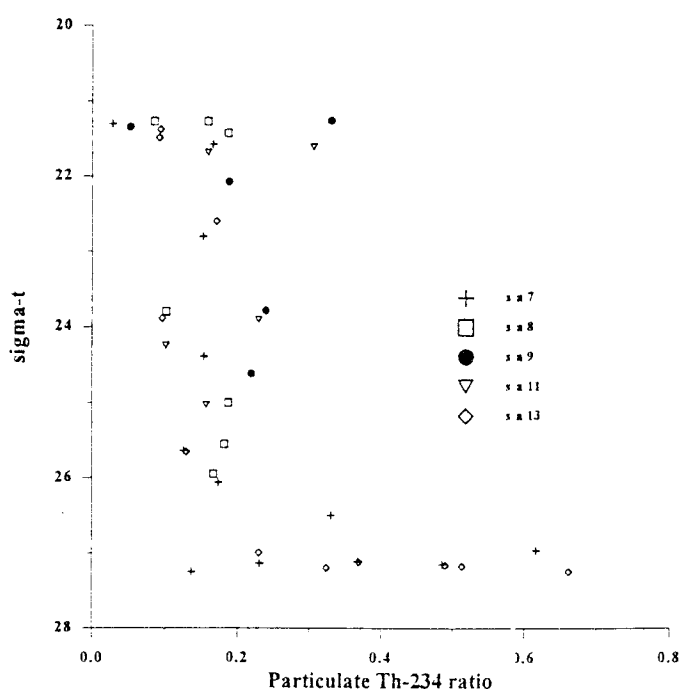


圖 3.17 本研究海域水體中顆粒相鈷-234 占總量鈷-234 之比例對位密作圖

表 3.1 陸棚與陸坡測站光透層內鈷-234 與鈾-238 之活度比

	A_{Th}^D/A_U	A_{Th}^F/A_U	A_{Th}^T/A_U
陸棚	0.593 ± 0.197	0.128 ± 0.069	0.721 ± 0.225
陸坡	0.777 ± 0.162	0.114 ± 0.049	0.890 ± 0.178

上高生產力之水層沉降或經水平輸送至此之顆粒體被分解，將鈷-234 釋放於水體中造成溶解相鈷-234 活度過高。較特別的是第 18 站中層水體中總鈷-234 活度呈現明顯不足，總量鈷-234 與鈾-238 活度比僅 0.773 ± 0.023 ，應是受到近岸顆粒與宜蘭海脊再懸浮沉積物顆粒體所移除。另外，第 7 站 450-710 m 處，雖然總量鈷-234 活度幾與鈾-238 達平衡，但此範圍內之顆粒相鈷-234 占總量鈷-234 之三成至六成左右，有相當明顯之清除現象；Lin *et al.* (1992) 調查台灣東北方陸坡沉積物之有機碳含量發現，大約於 500-1400 m 之陸坡沉積物有高量有機碳 (0.6-0.8%)，因此富含有機碳的沉積物顆粒經再懸浮而隨海流輸送時亦使水中之 POC 通量增加，而加速對鈷-234 的清除。另外，此處之懸浮顆粒濃度較其上層水體高很多，表示有顆粒體堆積的現象，受沉降與橫向傳輸的影響。

3.3.2.3 深部水體中鈷-234 之活度變化

分別位於基隆海谷與棉花峽谷間陸坡、棉花峽谷與北棉花峽谷出口之第 18、7、13 站，其深部顆粒擴散舌處，鈷-234 明顯不足，且此處顆粒相鈷-234 佔相當大的比重，甚至有高過溶解相活度的情形，顯示此處屬於高度清除速率的環境。第 7 站深部之總鈷-234 並低於高生產力之光透層，可見這些由陸坡輸出之顆粒體能有效地清除水中的鈷-234 並迅速將之自水體中移除，與一般開放海洋深部所觀測到接近平衡的現象 (Coale and Bruland, 1985、Bruland and Coale, 1986) 大異其趣。比較陸坡上的第 18、7、13 三站深部總鈷-234 與鈾-238 活度比值，分別為 0.590 ± 0.200 、 0.771 ± 0.160 、 0.870 ± 0.171 ，顯示深部顆粒移除作用向東北減弱，主要受水體中懸浮顆粒濃度的影響。第 7 站與第 13 站深部溶解相鈷-234 與鈾-238 之活度比分別為 0.525 ± 0.190 及 0.428 ± 0.068 ，顯示第 13 站深部為較第 7 站強烈的清除

環境，根據 Lin *et al.* (1992)之調查結果，第 13 站附近之沉積物含較高量之有機碳，因此造成第 13 站深部對鈷-234 的清除速率較高。

底部水體除了接受沉降之顆粒體外，沉積物尚會經由再懸浮進入水體中，顆粒滯留時間很長，故總鈷-234 活度與鈾-238 多呈平衡。但對於鈷-234 的清除能力則視顆粒體的性質而各不相同，例如第 7 站底部之懸浮顆粒濃度 (0.349 mg/L) 高出第 13 站底部 (0.194 mg/L) 將近一倍，但其顆粒相鈷-234 活度 (0.301 ± 0.012 dpm/L) 僅為第 13 站 (1.666 ± 0.054 dpm/L) 的五分之一左右，其清除能力差異之大由此可見。而底部如此強烈之清除作用於本航次中亦僅見於第 13 站。

3.4 鈷-234 對顆粒體之親和力

3.4.1 鈷-234 的分佈係數

元素對於顆粒表面親和性的強弱，通常可用元素之分佈係數 (distribution coefficient ，簡稱 K_d) 作為指標。其數學式表示如下：

$$K_d = \frac{P_{\text{element}}}{D_{\text{element}}} \times \frac{1}{[\text{TSM}]} \times 10^6$$

K_d 元素的分佈係數 (ml/g)

P_{element} 鈷-234 在顆粒相的活度 (dpm/L)

D_{element} 鈷-234 在溶解相的活度 (dpm/L)

[TSM] 總懸浮顆粒濃度 (mg/L)

鈷-234 的分佈係數非常大，常在 10^5 - 10^7 左右，因此為說明方便，

常取對數表示。此外，由於總懸浮顆粒濃度通常相當低，量測時之相對誤差比較大，取對數亦可去除懸浮顆粒濃度項造成的誤差。

3.4.2 水體中鈷-234 分佈係數之差異

本區表水中鈷-234 之對數分佈係數 ($\log K_d$) 大約介於 5.0-6.4 之間 (圖 3.18a)，比洪 (1993) 於此處觀測的結果稍低。分佈係數大小主要受顆粒組成、顆粒性質 (大小、形狀等) 及總懸浮顆粒濃度所影響。圖 3.18b 為表水中鈷-234 之對數分佈係數與總懸浮顆粒濃度的關係圖，明顯可見二者成負相關。

顆粒體對鈷-234 的清除效率相當時，懸浮顆粒濃度愈高，分佈係數應當愈大，然而表水中的測量結果與此相反，表示水中懸浮顆粒濃度高的地方 (台灣東北沿海)，顆粒體對於鈷-234 的清除效率較低。然而本研究區中顆粒濃度低的外洋與湧升流區，與台灣東北沿海相比，較缺乏陸源輸入之顆粒，其顆粒組成應較為偏向生物性顆粒 (浮游生物之活體)；而生物性顆粒對於鈷-234 的清除能力較差，若就顆粒組成的觀點而言，台灣東北沿海中鈷-234 的分佈係數亦當較大，因此造成台灣東北沿海清除現象不顯著的原因，應如前文所述，為顆粒體在水中的滯留時間過短，以致無法將鈷-234 作有效的清除。

本航次五個重點測站中鈷-234 對數分佈係數的垂直變化如圖 3.19，各站間並無明顯的趨勢，較為明顯的特徵為光透層下半部的低值與第 7、13 兩站深部的高值。

若單獨就同一測站水體比較，光透層內浮游生物的富集使懸浮顆粒濃度高且偏向生物性，稀釋效應與顆粒體性質的影響致使分佈係數降低。至於第 7、13 兩站深部，懸浮顆粒濃度較高，第 7 站甚至高過其光透層，然而此處鈷-234 之分佈係數相較於其上之水體還來得較高，顯示稀釋效應幾乎不影響鈷在水體深部之分佈係數，主要受顆粒

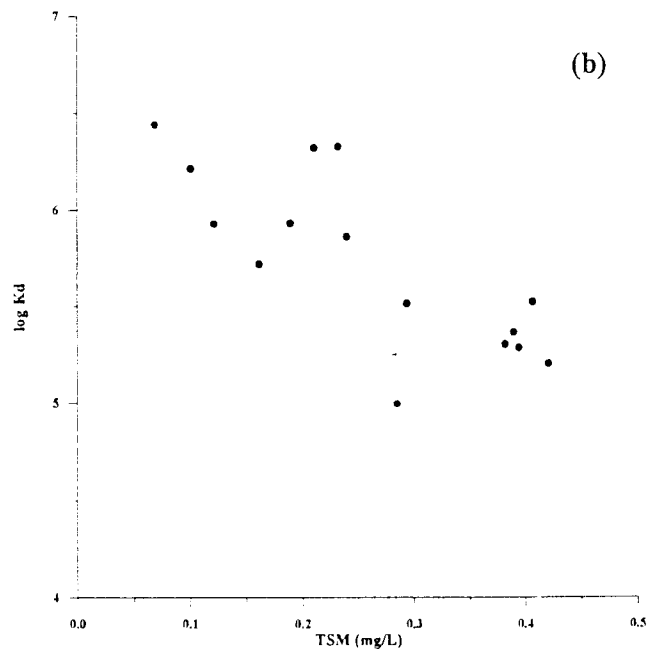
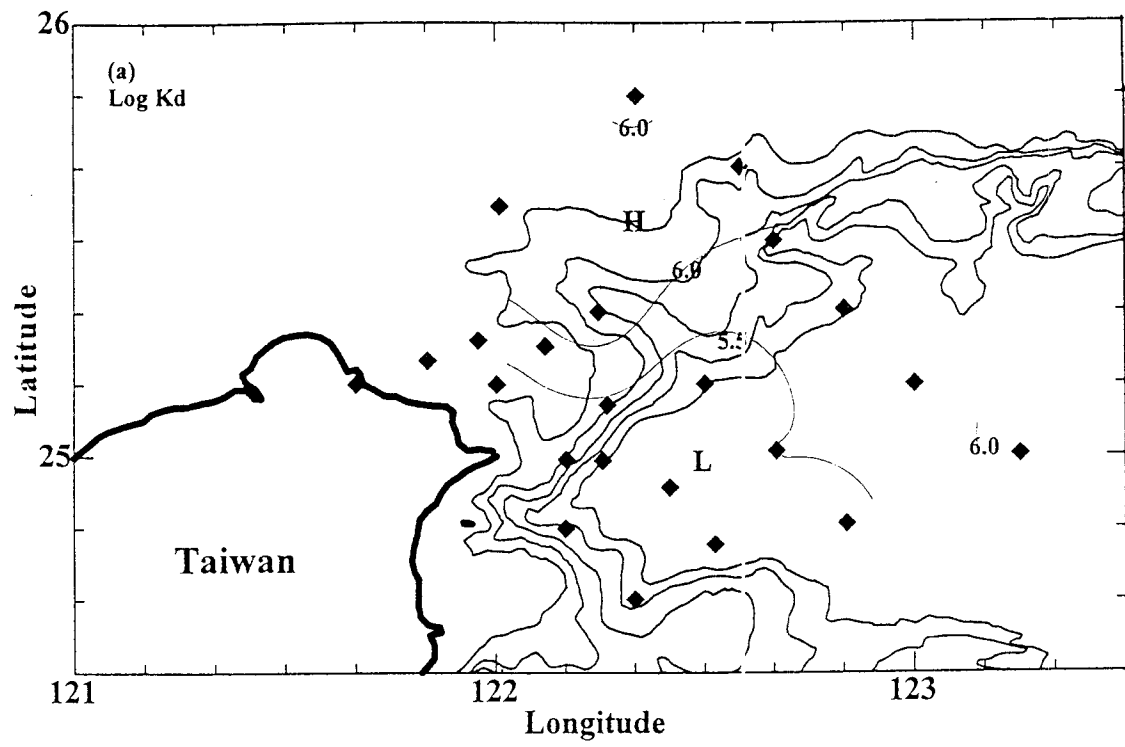


圖 3.18 (a)表水中鈷-234 分佈係數之空間變化 (b)表水中鈷-234 分佈係數與懸浮顆粒濃度的關係。

體性質影響；東海陸坡上的沈積物富含有機碳，且所含顆粒多半較細，經再懸浮進入水體中，對鈷-234 的吸附能力較高。

第 7 站 730 m 以下與第 13 站 750 m 以下，分佈係數的趨勢與懸浮顆粒濃度的趨勢相同，可見深部水體中的顆粒體組成較為均勻，鈷-234 的分佈係數主要受顆粒濃度所影響。第 7 站 600 m 處為此站水體中鈷-234 分佈係數最高處，與 Liu *et al.* (1995) 於棉花峽谷出口觀測到的 POC 高值的深度相當。而顆粒體性質在區域上的差異亦可由第 7 站與第 13 站深部之比較看出，如前章所述，由於第 13 站附近之陸坡沉積物有機碳含量比第 7 站附近高，故第 13 站深部的顆粒濃度雖較低，鈷-234 的分佈係數卻較大。

圖 3.20a 為所有水樣中對數分佈係數與懸浮顆粒濃度的關係圖，二者大體上成負相關，大多數介於兩界線之間：下界為第 7-9、13-15 站表層水，上界為第 7、9、13 站之深層水；下層水體中鈷的分佈係數大多比表層高，且與懸浮顆粒濃度的負相關不若表層水中顯著，意謂著下層水體中鈷-234 對懸浮顆粒的親和力較佳，且顆粒體的稀釋效應對於鈷-234 在溶解相與顆粒相間的分佈影響不若表層顯著。圖形左上半的點多為第 7 與 13 兩站的中層及深層，顆粒性質的歧異度較低，因此較為密集，右下半則多位於各站光透層內，顆粒歧異度大，因此比較分散。

李 (1996) 於 1994 年 11 月在 KEEP-Key 測線調查過鈷-234 的清除現象，其位於本區內測站水體中鈷-234 分佈係數對懸浮顆粒濃度作圖如圖 3.20b，分佈係數較為一致，無明顯趨勢，表層水與中、下層水體中的懸浮顆粒對鈷-234 的親和力差異不大。

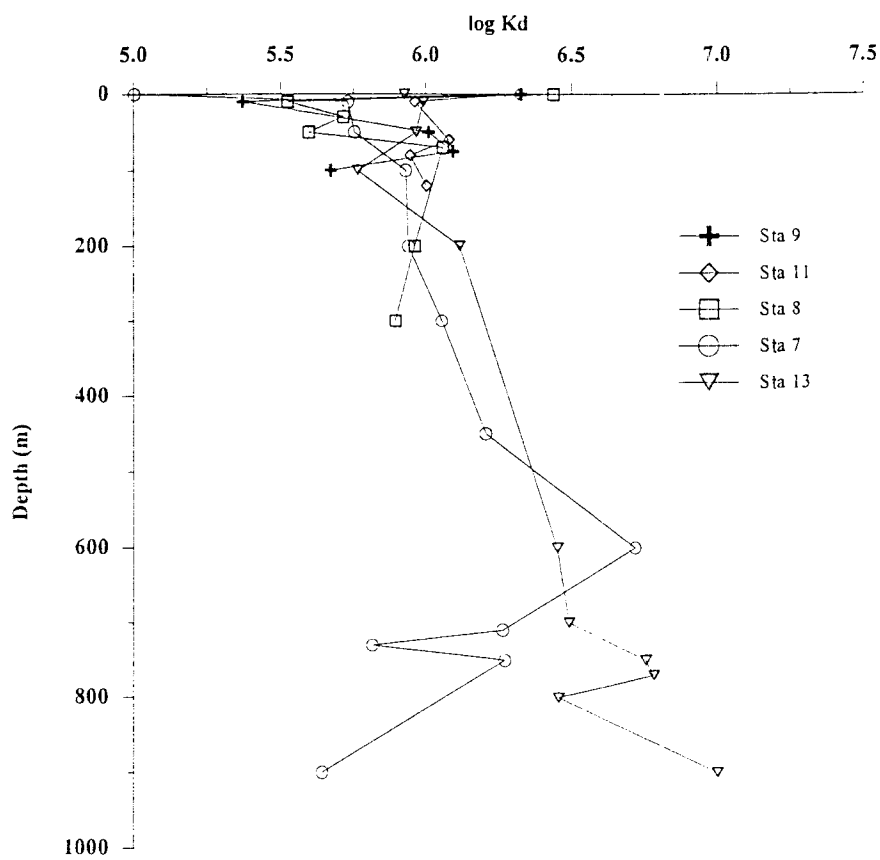


圖 3.19 523 航次五個重點測站水體中分佈係數的垂直變化。

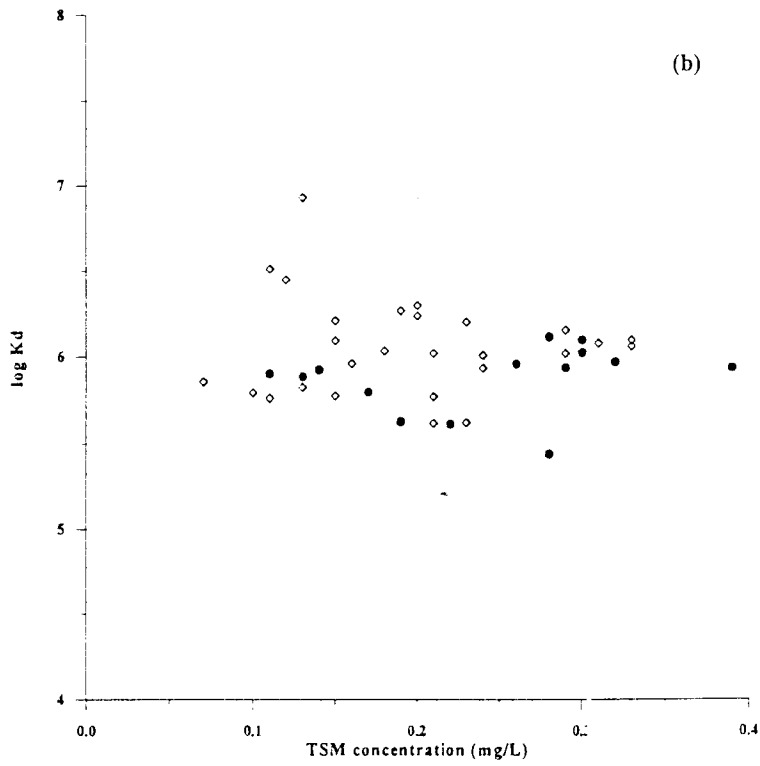
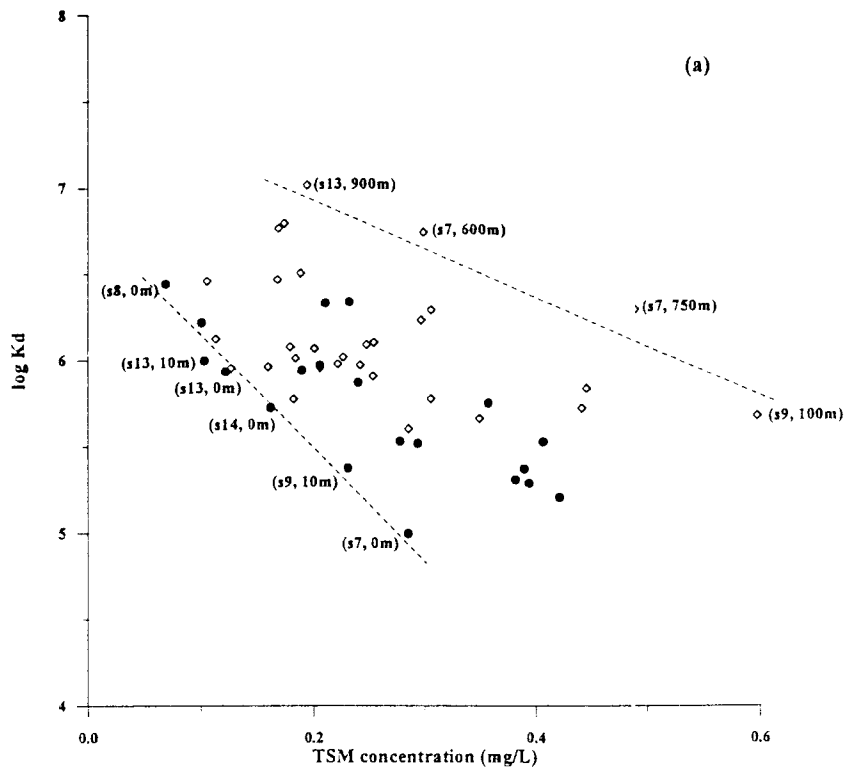


圖 3.20 (a)523 航次 (夏季) 水體中鈷-234 分佈係數與懸浮顆粒濃度的關係 (b)405c (冬季) 航次水體中鈷-234 分佈係數與懸浮顆粒濃度的關係；實心黑點為表層水，空心菱形點為中層與深層水。

3.5 鈷-234 的清除現象

3.5.1 不可逆清除模式之簡介

Coale and Bruland (1985) 首先使用量測的溶解相與顆粒相鈷-234 數據，以一維不可逆清除模式估算懸浮顆粒對於鈷的清除速率與移除速率：水體中溶解相鈷-234 活度的變化量等於由鈷-238 蛻變而來的鈷-234 扣除溶解相鈷-234 本身衰變失去的活度與被顆粒體清除的量；顆粒相鈷-234 的活度變化量則為顆粒體經由清除作用所吸附鈷-234 的活度扣除其本身衰變失去的活度與隨顆粒體沉降而移出水體的量。於穩定狀態 (steady state) 下，溶解相與顆粒相之活度不隨時間改變，由質量守恆可列式如下：

$$\frac{dA_{Th}^d}{dt} = 0 = \lambda A_U - \lambda A_{Th}^d - J$$

$$\frac{dA_{Th}^p}{dt} = 0 = J - \lambda A_{Th}^p - P$$

A_{Th}^d 溶解相鈷-234 之放射活度 (dpm/L)

A_{Th}^p 顆粒相鈷-234 之放射活度 (dpm/L)

A_U 鈷-238 之放射活度 (dpm/L)

λ 鈷-234 之蛻變常數 (0.02876 d⁻¹)

J 清除速率 (dpm/L/d)

P 顆粒移除速率 (dpm/L/d)

可得鈷-234 之清除速率及顆粒移除速率：

$$J = \lambda (A_U - A_{Th}^d)$$

$$P = \lambda (A_U - A_{Th}^d - A_{Th}^p)$$

溶解相與顆粒相鈷-234 之滯留時間分別為：

$$\tau_{dTh} = \frac{A_{Th}^d}{J}$$

$$\tau_{pTh} = \frac{A_{Th}^p}{P}$$

τ_{dTh} 溶解相鈷-234 之滯留時間 (d)

τ_{pTh} 顆粒相鈷-234 之滯留時間 (d)

上述方程式皆假設溶解相鈷-234 被顆粒體吸附後，不發生脫附作用。

一維不可逆清除模式之示意圖如圖 3.21。

3.5.2 表水中的清除現象

表 3.2 為經由一維不可逆清除模式算得表水中各項清除參數。負數表示當地總鈷-234 活度高於母核種鈷-238 活度，其中第 6、12、14 站超量鈷-234 活度在分析誤差範圍內，可視為總鈷-234 與鈷-238 達活度平衡；第 15 站過量鈷-234 則超出實驗誤差範圍，其顆粒相鈷-234 活度相較於周圍幾個外洋測站偏高，可能有顆粒相鈷-234 經由水平輸送於此累積，而造成過平衡的現象，然而本研究並未於此站以外採樣，無法由顆粒相鈷-234 的分佈趨勢作進一步的判斷，故亦可能是實驗上的失誤所致。依水文特性大略將測站表層區分為台灣東北沿海、東海陸棚、黑潮邊緣與陸棚水混合區與黑潮主軸四區，如表 3.3 所示，清除通量 (scavenging flux) 與移除通量 (removal flux) 皆以陸棚區最大，黑潮區則最小；除第 9 站外，陸棚區與近岸測站的移除通量都占了清除通量的八成以上，顯見在這些地區，顆粒體對鈷-234

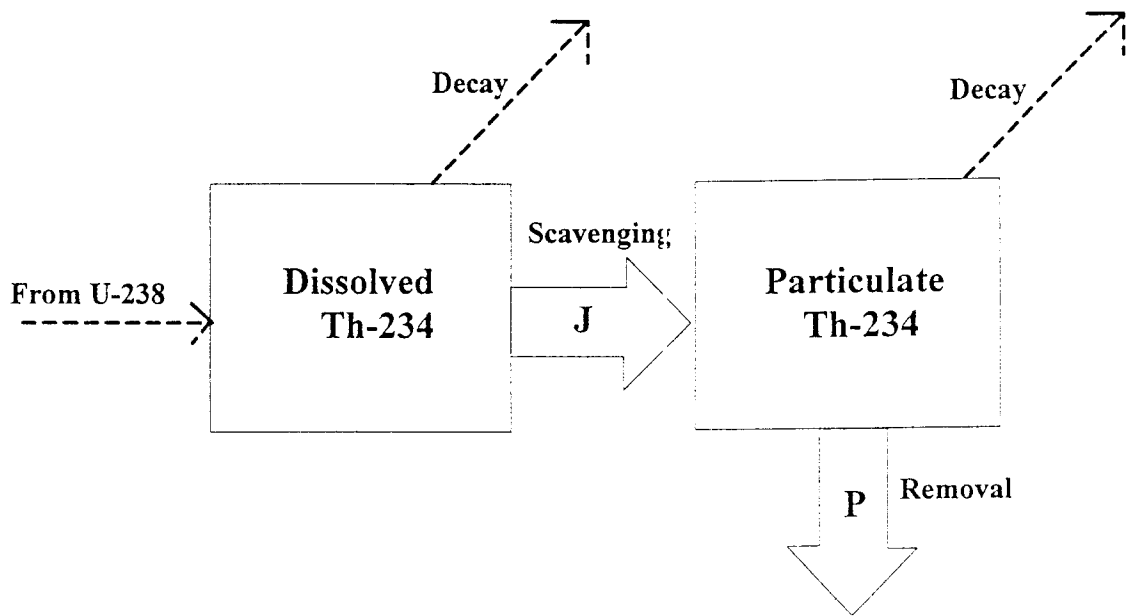


圖 3.21 清除模式之示意圖

表 3.2 以不可逆清除模式計算本研究海域表水之各項清除參數

Station	A_U dpm/L	A_{TM} dpm/L	A_{PTM} dpm/L	A_{TM} dpm/L	A_{TM}/A_U	A_{PTM}/A_U	A_{TM}/A_U	J^* dpm/m ² /d	P^* dpm/m ² /d	τ_d day	τ_p day	Particle flux mg/m ² /d
1	2.40	1.733	0.132	1.864	0.723	0.055	0.778	19.1	15.3	91	9	45.8
2	2.41	1.636	0.110	1.746	0.680	0.046	0.726	22.1	19.0	74	6	72.8
3	2.43	1.530	0.207	1.737	0.630	0.085	0.716	25.8	19.9	59	10	39.0
8	2.41	1.083	0.204	1.287	0.450	0.085	0.535	38.0	32.2	29	6	10.8
9	2.40	1.188	0.585	1.773	0.495	0.244	0.739	34.8	18.0	34	33	7.1
10	2.38	1.090	0.190	1.279	0.458	0.080	0.538	37.1	31.6	29	6	39.9
11	2.42	0.474	0.208	0.682	0.196	0.086	0.282	56.0	50.0	8	4	50.5
4	2.43	1.942	0.149	2.091	0.800	0.061	0.861	14.0	9.7	139	15	24.9
7	2.43	2.330	0.065	2.395	0.960	0.027	0.987	2.8	0.9	840	74	3.9
12	2.43	2.090	0.338	2.428	0.862	0.139	1.001	9.7	-	216	-	0.0
5	2.44	2.115	0.191	2.306	0.867	0.078	0.945	9.4	3.9	226	49	7.9
6	2.44	2.279	0.218	2.497	0.934	0.089	1.024	4.6	-	495	-	-
13	2.43	2.023	0.208	2.231	0.833	0.085	0.918	11.7	5.7	173	36	3.4
14	2.43	2.285	0.193	2.477	0.940	0.079	1.019	4.2	-	543	-	-
15	2.44	2.357	0.386	2.743	0.965	0.158	1.123	2.5	-	952	-	-

*以 1 m 為盒子厚度作盒子模式之計算結果

表 3.3 本研究區域表水清除現象之盒子模式

Box	J dpm/m ² /d	P dpm/m ² /d	τ_d day	τ_p day	τ_{TM} day	avg. TSS mg/L	Particulate flux mg/m ² /d
TWC	67.1	54.2	73	8	99	0.407	49.2
ECS	165.9	131.8	23	9	38	0.188	20.8
KS-mix	26.4	10.5	241	52	656	0.285	5.4
KS	32.4	-2.0	342	-	-	0.213	-

TWC:台灣東北沿海； ECS:東海陸棚； KS-mix:黑潮與陸棚水混合區； KS:黑潮區

的移除作用於鈷-234 的清除過程中扮演相當重要的角色，而愈往外洋，顆粒體的移除作用愈不重要。將鈷-234 的移除通量除以鈷-234 的比活度可得到水體中的懸浮顆粒通量，可見於近岸處（第 1-3 站）及北棉花峽谷與東海陸棚交界（第 10、11 站）有較高的顆粒通量，外洋黑潮區最低，然而側向傳輸對顆粒通量影響的程度則無法以簡單清除模式估算出來。溶解相鈷-234 的滯留時間都比顆粒相鈷-234 的滯留時間長。大體而言，溶解相鈷-234 的滯留時間，陸棚區約一個月左右，台灣沿海約二至三個月，而其外海域則約一年至數年，差異很大；顆粒相鈷-234 的滯留時間在陸棚與沿海測站為一至二星期，其餘測站則變化很大。

以上述分區為清除模式的四個盒子計算表水中的各項清除參數列於表 3.3，可對本海域不同水文性質表水中鈷-234 之清除現象有較明顯的比較。東海陸棚區的清除速率明顯高出台灣東北沿海甚多，而移除速率則略低於台灣東北沿海。Coale and Bruland（1985）指出捕食性浮游動物的含量與種類影響顆粒體對於鈷-234 的移除作用，而洪（1993）於台灣東北以電子顯微鏡觀察顆粒組成發現沿海的懸浮顆粒中，浮游生物佔有很重要的比例，而生物性的顆粒對溶解相鈷-234 的親和力較低，因此沿海的清除現象較弱，而移除作用較強。黑潮區的溶解相鈷-234 滯留時間與北太平洋貧養區表水觀測到的大於 320 天類似，顆粒相鈷-234 的移除現象則看不出來。

3.5.3 垂直水體中鈷-234 的清除現象

表 3.4 為 523 航次五個重點測站垂直水體中的清除模式計算表列，大致上陸棚區的表層 30 米有較高的清除與移除通量，越往下層越不重要。而位於東海陸坡上的第 7 與 13 站之清除與移除通量則位於次表層，但因生物活動較弱，強度不若陸棚區，顆粒體對鈷-234 的

表 3.4 523 航次各重點測站水體之清除參數

Station	Depth m	A_U dpm/L	A_{dm} dpm/L	A_{pTh} dpm/L	A_{Tm} dpm/L	A_{dm}/A_U	A_{pTh}/A_U	A_{Tm}/A_U	J dpm/m ² /d	P dpm/m ² /d	τ_d day	τ_p day	Particle flux mg/m ² /d
7	0	2.426	2.395	0.065	2.395	0.960	0.027	0.960	2.8	0.9	840	74	3.9
	10	2.440	2.382	0.393	2.382	0.815	0.161	0.815	13.0	1.7	153	235	1.5
	50	2.450	2.190	0.332	2.190	0.759	0.135	0.759	17.0	7.5	109	44	6.9
	100	2.451	2.139	0.327	2.139	0.739	0.133	0.739	18.4	9.0	99	36	5.6
	200	2.450	2.510	0.314	2.510	0.896	0.128	1.024	7.3	-	301	-	-
	300	2.443	2.282	0.395	2.282	0.772	0.162	0.934	16.0	4.6	118	85	2.1
	450	2.437	2.415	0.797	2.415	0.664	0.327	0.991	23.6	0.6	69	1252	0.2
	600	2.433	2.407	1.484	2.407	0.380	0.610	0.989	43.4	0.7	21	2002	0.1
	710	2.436	2.473	0.908	2.473	0.643	0.373	1.015	25.0	-	63	-	-
	730	2.436	1.979	0.457	1.979	0.625	0.187	0.813	26.3	13.1	58	35	12.8
	750	2.435	1.447	0.702	1.447	0.306	0.288	0.594	48.6	28.4	15	25	19.8
	900	2.437	2.210	0.301	2.210	0.783	0.123	0.907	15.2	6.5	126	46	7.6
8	0	2.405	1.287	0.204	1.287	0.450	0.085	0.535	38.0	32.2	29	6	10.8
	10	2.363	1.656	0.140	1.656	0.641	0.059	0.701	24.4	20.3	62	7	40.2
	30	2.412	1.942	0.362	1.942	0.655	0.150	0.805	23.9	13.5	66	27	16.5
	50	2.454	2.337	0.236	2.337	0.856	0.096	0.952	10.2	3.4	207	70	4.1
	70	2.456	2.996	0.559	2.996	0.992	0.228	1.220	0.5	-	4473	-	-
	200	2.451	2.658	0.482	2.658	0.888	0.197	1.085	7.9	-	276	-	-
9	0	2.398	1.773	0.585	1.773	0.495	0.244	0.739	34.8	18.0	34	33	7.1
10	2.403	1.503	0.077	1.503	0.594	0.032	0.626	28.1	25.9	51	3	77.4	
50	2.407	1.526	0.286	1.526	0.515	0.119	0.634	33.6	25.4	37	11	20.1	
75	2.434	1.385	0.331	1.385	0.433	0.136	0.569	39.7	30.2	27	11	23.2	
100	2.441	2.514	0.550	2.514	0.804	0.225	1.030	13.7	-	143	-	-	
11	0	2.422	0.682	0.208	0.682	0.196	0.086	0.282	56.0	50.0	8	4	50.5
	10	2.426	1.467	0.232	1.467	0.509	0.096	0.605	34.3	27.6	36	8	24.4
	60	2.453	2.270	0.520	2.270	0.713	0.212	0.925	20.2	5.3	87	99	2.5
	80	2.463	2.136	0.215	2.136	0.780	0.087	0.867	15.6	9.4	123	23	5.5
	120	2.458	2.611	0.407	2.611	0.897	0.166	1.062	7.3	-	301	-	-
13	0	2.430	2.231	0.208	2.231	0.833	0.085	0.918	11.7	5.7	173	36	3.4
	10	2.436	2.303	0.211	2.303	0.859	0.087	0.945	9.9	3.8	212	55	1.9
	50	2.451	1.545	0.263	1.545	0.523	0.107	0.630	33.6	26.1	38	10	21.9
	100	2.459	2.558	0.245	2.558	0.941	0.100	1.040	4.2	-	551	-	-
	200	2.450	2.549	0.328	2.549	0.906	0.134	1.040	6.6	-	337	-	-
	600	2.433	2.440	0.561	2.440	0.772	0.231	1.003	15.9	-	118	-	-
	700	2.435	2.384	0.880	2.384	0.617	0.362	0.979	26.8	1.5	56	594	0.3
	750	2.435	2.345	1.148	2.345	0.491	0.472	0.963	35.6	2.6	34	441	0.4
	770	2.436	1.778	0.912	1.778	0.355	0.375	0.730	45.2	18.9	19	48	3.6
	800	2.436	1.573	0.510	1.573	0.436	0.209	0.646	39.5	24.8	27	21	8.2
900	2.437	2.517	1.666	2.517	0.349	0.684	1.033	45.6	-	19	-	-	

移除作用更明顯比陸棚區低很多；中層則無明顯的清除現象，至深部顆粒擴散舌之處，清除作用又變得相當重要。

將各站水體垂直分為光透層（0-100 m）、中層（100 m 以下至約 700 m）與底層（700 m 以下至底）三個盒子計算鈷-234 之清除通量、移除通量、溶解相與顆粒相鈷-234 之滯留時間列於表 3.5-表 3.8。其中第 8 站與第 13 站中層之鈷-234 移除通量小於光透層，暗示著這兩站中層有較多的鈷-234 經橫向傳輸作用進入水層，第 8 站則亦受到再懸浮顆粒的影響。光透層內溶解相鈷-234 之滯留時間皆由陸棚的 42 天向外增加到 122 天，顆粒相鈷-234 之滯留時間在棉花峽谷測線有比較明顯的差異，從陸棚的 13 天到黑潮區的 55 天，北棉花峽谷則差異不大，約 20 天左右。中層水體中鈷-234 的清除速率與移除速率，棉花峽谷都高於北棉花峽谷，深部顆粒滯留時間棉花峽谷少於北棉花峽谷甚多，然而對於溶解相鈷-234 的清除速率則是北棉花峽谷較大。

鈷-234 的清除速率常數為溶解相鈷-234 滯留時間之倒數，Bruland and Coale（1986）整理過去的資料，指出鈷-234 的清除速率常數與水體中顆粒相有機碳的通量成正比，顯示水體中鈷-234 的清除速率與顆粒相有機碳的通量有密切的關係： $\log(\text{POC flux}) = 1.3 * \log(\text{scavenging rate constant}) + 3.15$ ，此關係適用於各種海洋環境（河口、沿岸湧升流、海洋深部、開放海洋貧養區中央）。我們以此關係估算本研究海域水體中顆粒相有機碳的通量（表 3.9），依此估算第 7 站與第 8 站光透層內的顆粒相有機碳通量為 2.7 mmol C/m²/d 及 3.6 mmol C/m²/d 與，Liu *et al.*（1995）於同樣海域中所估量的 3.3 mmol C/m²/d 很接近。依照上述盒子模式計算各盒子顆粒相有機碳的通量，可見陸棚與陸坡交界處的顆粒相有機碳通量很低，而第 7 站與第 13 站的深部則有很高的顆粒相有機碳通量（11.0 mmol C/m²/d 與 19.5

表 3.5 以盒子模式計算鈷-234 清除通量之垂直變化

	Scavenging flux (dpm/m ² /d)				
	Sta 9	Sta 8	Sta 7	Sta 11	Sta 13
Euphotic zone	3131	1262	1563	2172	1924
Intermediate		1885	14202	458	7185
Bottom			6048		7892

表 3.6 以盒子模式計算鈷-234 移除通量之垂直變化

	Removal flux (dpm/m ² /d)				
	Sta 9	Sta 8	Sta 7	Sta 11	Sta 13
Euphotic zone	2289	671	606	1357	1226
Intermediate		142	1594	1457	396
Bottom			4753		2496

表 3.7 以盒子模式計算溶解相鈷-234 滯留時間之垂直變化

	Dissolved residence time (day)				
	Sta 9	Sta 8	Sta 7	Sta 11	Sta 13
Euphotic zone	42	99	122	55	92
Intermediate		212	70	180	169
Bottom			42		27

表 3.8 以盒子模式計算顆粒相鈷-234 滯留時間之垂直變化

	Particulate residence time (day)				
	Sta 9	Sta 8	Sta 7	Sta 11	Sta 13
Euphotic zone	13	31	55	21	20
Intermediate		591	288	9	703
Bottom			21		81

表 3.9 以盒子模式估算顆粒相有機碳通量之垂直變化

	Estimated POC flux (mmol/m ² /d)				
	Sta 9	Sta 8	Sta 7	Sta 11	Sta 13
Euphotic zone	10.8	3.6	2.7	7.7	3.9
Intermediate		1.3	5.6	1.7	1.8
Bottom			11.0		19.5

mmol C/m²/d)，表示深部顆粒擴散舌的來源為東海陸坡富含顆粒相有機碳的沈積物顆粒。

3.5.4 由模式計算顆粒體通量探討顆粒體的傳輸

第 7 站 50 m 水體有較高的懸浮顆粒濃度與顆粒通量，而其上層之顆粒通量顯然低很多，故此處的懸浮顆粒來源主要是原地產生的生物性顆粒與少量自上層沉降之顆粒。100 m 之顆粒通量類似於 50 m 處，且顆粒相鈦-234 占總量鈦-234 的比重亦相似，因此吾人推測此處顆粒來源主要為自其上層水體所沉降，而 100 m 以下顆粒通量驟減，表示並經由沉降進入下層水體的顆粒並不多，則顆粒體移出此水體的可能途徑有二：其一為橫向輸出水體，其二為顆粒沉降過程中被分解。深部 730-750 m 處的顆粒通量又驟增，而其上下水體並無高顆粒通量，可見垂直方向的顆粒通量並不顯著，此處顆粒體的橫向傳輸明顯比沉降作用重要。第 13 站則類似於第 7 站，但深部顆粒擴散舌之橫向傳輸則不如第 7 站明顯。

第 8 站與第 9 站 10 m 的顆粒通量都高出其下水體甚多，顯示經由沉降進入下層水體的顆粒體佔其移出顆粒體的比例不多，表示在此海域光透層內顆粒體的移除受橫向輸送以及沉降過程中顆粒體的分解作用影響亦很顯著。

第四章 結論與未來研究方向

4.1 結論

本文就南沖繩海槽水體之懸浮顆粒之空間分佈做較大規模的探測，初步結果摘要如下：

- 一、由透光度計所量得知顆粒消光係數於光透層以下與懸浮顆粒濃度成良好線性關係，可充分反映光透層以下之懸浮顆粒濃度。
- 二、大致上，表水中的懸浮顆粒濃度為向外洋遞減的趨勢，湧升流區的懸浮顆粒濃度特別低。
- 三、東海顆粒體向沖繩海槽傳輸，以基隆海谷到棉花峽谷為主要途徑，北棉花峽谷顆粒輸出的重要性明顯不如前二者。
- 四、台灣東北沿海表水中的清除現象主要受旺盛的原地再循環作用所影響，且顆粒體滯留時間很短，故清除效率不佳。陸坡深部顆粒擴散舌對鈷-234 有非常強烈的清除能力，並能有效的將之自水體中移除；而比對第 7 站與第 13 站深部清除現象的差異，恰與東海陸坡沉積物中有機碳含量的區域性差異吻合，表示深部顆粒擴散舌之來源極有可能為富含有機碳之東海陸坡沉積物。
- 五、表水中鈷-234 的分佈係數主要受顆粒體稀釋效應的影響，在中層與深層水體中則受顆粒體本身性質的影響較大，且鈷-234 對懸浮顆粒的親和力較佳。
- 六、光透層內顆粒體的移除受橫向輸送以及沉降過程中顆粒體的分解作用影響亦很顯著。

4.2 未來研究方向

本文對南沖繩海槽水體中懸浮顆粒濃度之空間分佈作大範圍的調查，對於其分佈型態已有初步的了解。然就現有資料而言，對於顆

粒體由東海陸坡輸出的數量以及其機制、顆粒體的來源等僅能作粗略的估算與推測，欲獲致更進一步的資訊，則需調查當地深水流場以及分析顆粒體的組成加以比對。

此外，在透光度計的應用方面，由過去及本航次的結果已知在光透層以下，消光係數可理想地反映現場懸浮顆粒濃度，然而不同航次的透光度數據並未有人作一系統性的比對與整理，若能蒐集過去的數據找出能代表台灣鄰近海域顆粒消光係數與懸浮顆粒濃度間的關係，對於類似的調查將有莫大的幫助。

參考文獻

- Baker, E. T. (1984) Patterns of suspended particle distribution and transport in a large fjördlike estuary, *J. Geophys. Res.*, 89, 6553-6556.
- Bishop, J. K. B. (1986) The correction and suspended particulate matter calibration of Sea Tech transmissometer data, *Deep-Sea Res.*, 33, 121-134.
- Bishop, J. K. B. and T. M. Joyce (1986) Spatial distributions and variability of suspended particulate matter in warm-core ring 82B, *Deep-Sea Res.*, 33, 1741-1760.
- Bishop, J. K.B. (1999) Transmissometer measurement of POC, *Deep-Sea Res.*, 46, 353-369.
- Bruland, K. W. and M. W. Silver (1981) Sinking rates of fecal pellets from gelatinous zooplankton (salps, pteropods, dolioids), *Mar. Biol.*, 63, 295-300.
- Bruland, K. W. and K. H. Coale (1986) Surface water $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ disequilibria: spatial and temporal variations of scavenging rates within the pacific ocean, in: *Dynamic Processes in the Chemistry of the Upper Ocean*, New York, 159-172.
- Buesseler, K.W., M. P. Bacon, J. K. Cochran and H. D. Livingston (1992) Carbon and nitrogen export during the JGOFS North Atlantic Bloom Experiment estimated from $\text{Th-}^{234}:\text{U-}^{238}$ disequilibria. *Deep-Sea Res.*, 39, 1115-1137.
- Chen, C.-T. A. and S.-L. Wan (1998) Influence of intermediate water in the western Okinawa Trough by the outflow from the South China Sea, *J. Geophys. Res.*, 103, 12683-12688

- Coale, K. H. and K. W. Bruland (1985) ^{234}Th : ^{238}U disequilibria within California Current, *Limnol. Oceanogr.*, 30, 22-33.
- Coale, K. H. and K. W. Bruland (1987) Oceanic stratified euphotic zone as elucidated by Th-234:U-238 disequilibria, *Limnol. Oceanogr.*, 32, 189-200.
- Chung, Y. and W.-C. Chang (1995) Pb-210 fluxes and sedimentation rates on the lower continental slope between Taiwan and the South Okinawa Trough, *Cont. Shelf Res.*, 15, 149-154.
- Dagg, M. J. and D. W. Grill (1980) Natural feeding rates of *Centropages* typicus females in the New York Bight, *Limnol. Oceanogr.*, 25, 597-609.
- Gardner, W. D. (1983) Suspended sediment transport in Baltimore Canyon and adjacent slope, Canyon and Slope Process study, II, 135-241.
- Gardner, W. D., P. E. Biscaye, J. R. V. Zaneveld and M. J. Richardson (1985) Calibration and comparison of the LDGO nephelometer and the OSU transmissometer on the Nova Scotian rise, *Mar. Geol.*
- Goldberg, E.D. (1954) Marine Chemistry 1. Chemical scavengers of the sea. *J. Geol.*, vol. 62, 249-265.
- Hodge, V.F., M. Koide, and E.D. Goldberg (1979) Particulate uranium, plutonium and polonium in the biogeochemistries of the coastal zone. *Nature*, 277, 206-209.
- Komar, P. D., A. P. Morse, L. F. Small and S. W. Fowler (1981) An analysis of sinking rates of natural copepod and euphausiid fecal pellets, *Limnol. Oceanogr.* 26, 172-180.

- Ku, T.L., K.G. Knauss, and G.G. Mathew (1977) Uranium in open ocean: concentration and isotopic composition. *Deep-Sea Res.*, 24, 1005-1017.
- Langmuir, D. (1978) Uranium solution-mineral equilibria at low temperature with application to sedimentary ore deposits. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42, 547-569.
- Lin, S., K.-K. Liu, M.-P. Chen, P. Chen and F.-Y. Chang (1992) Distribution of organic carbon in the KEEP area continental margin sediments, *TAO*, 3, 365-378.
- Liu, K.-K., Z.-L. Lai, G.-C. Gong and F.-K. Shiah (1995) Distribution of particulate organic matter in the southern East China Sea: implications in production and transport, *TAO*, 6, 27-45.
- Madin, L. P. (1974) Field observations on the feeding behavior of salps (Tunicata: Thaliacea), *Mar. Biol.*, 25, 143-147.
- Milliman, J. D. and R. H. Meade (1983) World -wide delivery of river sediment to the oceans, *J. Geol.*, 91, 1-21.
- Pak, H., J. R. V. Zaneveld and J. Kitchen (1980a) Intermediate nepheloid layers observed off Oregon and Washington, *J. Geophys. Res.*, 85, 6697-6708.
- Pak, H., L. A. Codispoti and J. R. V. Zaneveld (1980b) On the intermediate particle maxima associated with oxygen-poor water off western South America, *Deep-Sea Res.* 27A, 783-797.
- Peterson, R. E. (1977) A study of suspended particulate matter: Arctic Ocean and Northern Oregon Continental Shelf, PhD thesis, Oregon State University, Corvallis, Oregon. 122.

- Tanaka, N., Y. Takeda and S. Tsunogai (1983) Biological effect on removal of Th-234, Po-210 and Pb-210 from surface water in Funka Bay, Japan. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47, 1783-1790.
- Tang, T.-Y. and W.-T. Tang (1994) Current on the edge of continental shelf northeast of Taiwan, *TAO*, 5, 335-348.
- Tsunogai, S and M. Minagawa (1976) Vertical particulate flux of organic material in the ocean estimated from Th-234 in seawater, in: Joint Oceanographic Assembly 1976, Edingburg, 156.
- Turner, D.R., M. Whitfield, and A.G. Dickson (1981) The equilibrium speciation of dissolved components on freshwater and seawater at 25 °C and 1 atm pressure, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, 855-882.
- Wei, C.-L. (1990) Studies of marine scavenging by naturally occurring radionuclides., Ph.D Thesis, University of Washington, Seattle, 199.
- Wei, C.-L., T-F. G. Wong, S.-J. Sun and G.-C. Gong (submitted) Dissolved manganese in the Southeastern East China Sea and the Okinawa Trough, *Oceanol. Acta*.
- Wei, C.-L., S.-J. Sun and C.-S. Huang (1991) Manganese distribution in the water column off northeast Taiwan-a preliminary investigation, *Acta Oceanog. Taiwanica*, 26, 85-93.
- Wei, C.-L. and J. W. Murray (1992) Temporal variation of ²³⁴Th activity in the water column of Dabob Bay: Particle scavenging. *Limnol. Oceanogra.*, 37, 296-314

- 李佳明 (1996) 臺灣北部海域水體之清除現象-鈾-238/鈾-234 不平衡之應用，國立臺灣大學海洋研究所碩士論文。
- 洪慶章 (1993) 利用鈾-234/鈾-238 不平衡探討臺灣附近海域水體中之清除現象，國立臺灣大學海洋研究所碩士論文。
- 洪慶章、魏慶琳、陳民本 (1994) 臺灣東北黑潮陸棚混合(KEEP)區表層海水的清除現象：鈾-234/鈾-238 不平衡之應用，台灣海洋學刊，33, 81-96。
- 楊明權 (1996) 利用放射性核種 ^{210}Pb 及 ^{210}Po 研究台灣北部海域的清除現象，國立臺灣大學海洋研究所碩士論文。
- 蔡慶輝、李昭興、王正松 (1998) 沖繩海槽海底火山的新發現，八十七年度海洋科學學門研究成果發表會論文摘要。

附錄 523 航次之分析數據

I. 各站表水之分析數據

Station	Salinity (psu)	U-238 (dpm/L)	TSM (mg/L)	Diss. Th-234 (dpm/L)	Part. Th-234 (dpm/L)	Total Th-234 (dpm/L)
1	33.846	2.397	0.394	1.733 ± 0.029	0.132 ± 0.014	1.864 ± 0.032
2	33.980	2.406	0.421	1.636 ± 0.023	0.110 ± 0.018	1.746 ± 0.029
3	34.289	2.428	0.406	1.530 ± 0.021	0.207 ± 0.010	1.737 ± 0.023
4	34.301	2.429	0.381	1.942 ± 0.039	0.149 ± 0.015	2.091 ± 0.041
5	34.472	2.441	0.389	2.115 ± 0.032	0.191 ± 0.018	2.306 ± 0.036
6	34.442	2.439	0.293	2.279 ± 0.032	0.218 ± 0.023	2.497 ± 0.039
7	34.260	2.426	0.285	2.330 ± 0.032	0.065 ± 0.012	2.395 ± 0.034
8	33.965	2.405	0.068	1.083 ± 0.027	0.204 ± 0.012	1.287 ± 0.030
9	33.869	2.398	0.232	1.188 ± 0.023	0.585 ± 0.022	1.773 ± 0.032
10	33.595	2.379	0.240	1.090 ± 0.026	0.190 ± 0.014	1.279 ± 0.029
11	34.200	2.422	0.210	0.474 ± 0.025	0.208 ± 0.012	0.682 ± 0.028
12	34.259	2.426	0.189	2.090 ± 0.035	0.338 ± 0.023	2.428 ± 0.042
13	34.319	2.430	0.121	2.023 ± 0.035	0.208 ± 0.013	2.231 ± 0.037
14	34.329	2.431	0.161	2.285 ± 0.034	0.193 ± 0.022	2.477 ± 0.040
15	34.498	2.443	0.100	2.357 ± 0.031	0.386 ± 0.039	2.743 ± 0.050

II. 水體剖面之分析數據

(a) 第 7 站

Depth (m)	Salinity (psu)	U-238 (dpm/L)	TSM (mg/L)	Diss. Th-234 (dpm/L)	Part. Th-234 (dpm/L)	Total Th-234 (dpm/L)
0	34.260	2.426	0.285	2.330 ± 0.032	0.065 ± 0.012	2.395 ± 0.034
10	34.460	2.440	0.357	1.989 ± 0.030	0.393 ± 0.034	2.382 ± 0.045
50	34.594	2.450	0.305	1.859 ± 0.028	0.332 ± 0.015	2.190 ± 0.032
100	34.608	2.451	0.205	1.812 ± 0.032	0.327 ± 0.015	2.139 ± 0.035
200	34.602	2.450	0.159	2.196 ± 0.032	0.314 ± 0.012	2.510 ± 0.034
300	34.498	2.443	0.179	1.887 ± 0.023	0.395 ± 0.015	2.182 ± 0.027
450	34.417	2.437	0.297	1.618 ± 0.025	0.797 ± 0.026	2.415 ± 0.036
600	34.362	2.433	0.299	0.924 ± 0.038	1.484 ± 0.095	2.407 ± 0.102
710	34.397	2.436	0.306	1.565 ± 0.024	0.908 ± 0.035	2.473 ± 0.042
730	34.399	2.436	0.445	1.523 ± 0.025	0.457 ± 0.014	1.979 ± 0.029
750	34.394	2.435	0.489	0.745 ± 0.021	0.702 ± 0.017	1.447 ± 0.027
900	34.413	2.437	0.349	1.909 ± 0.043	0.301 ± 0.012	2.210 ± 0.044

附錄 523 航次之分析數據 (續)

II. 水體剖面之分析數據 (續)

(b) 第 8 站

Depth (m)	Salinity (psu)	U-238 (dpm/L)	TSM (mg/L)	Diss. Th-234 (dpm/L)	Part. Th-234 (dpm/L)	Total Th-234 (dpm/L)
0	33.965	2.405	0.068	1.083 ± 0.027	0.204 ± 0.012	1.287 ± 0.030
10	33.367	2.363	0.277	1.516 ± 0.025	0.140 ± 0.012	1.656 ± 0.029
30	34.070	2.412	0.441	1.580 ± 0.023	0.362 ± 0.023	1.942 ± 0.036
50	34.653	2.454	0.285	2.101 ± 0.031	0.236 ± 0.017	2.337 ± 0.036
70	34.686	2.456	0.201	2.371 ± 0.033	0.546 ± 0.021	2.918 ± 0.039
200	34.613	2.451	0.242	2.036 ± 0.025	0.455 ± 0.018	2.491 ± 0.031
300	34.550	2.447	0.253	2.144 ± 0.023	0.429 ± 0.014	2.573 ± 0.027

(c) 第 9 站

Depth (m)	Salinity (psu)	U-238 (dpm/L)	TSM (mg/L)	Diss. Th-234 (dpm/L)	Part. Th-234 (dpm/L)	Total Th-234 (dpm/L)
0	33.869	2.398	0.232	1.188 ± 0.025	0.585 ± 0.022	1.773 ± 0.032
10	33.932	2.403	0.230	1.426 ± 0.030	0.077 ± 0.011	1.503 ± 0.032
50	33.997	2.407	0.226	1.240 ± 0.021	0.286 ± 0.017	1.526 ± 0.027
75	34.371	2.434	0.254	1.054 ± 0.020	0.331 ± 0.018	1.385 ± 0.027
100	34.478	2.441	0.598	1.964 ± 0.086	0.550 ± 0.030	2.514 ± 0.091

(d) 第 11 站

Depth (m)	Salinity (psu)	U-238 (dpm/L)	TSM (mg/L)	Diss. Th-234 (dpm/L)	Part. Th-234 (dpm/L)	Total Th-234 (dpm/L)
0	34.200	2.422	0.210	0.474 ± 0.025	0.208 ± 0.012	0.682 ± 0.028
10	34.267	2.426	0.205	1.234 ± 0.024	0.232 ± 0.019	1.467 ± 0.031
60	34.641	2.453	0.248	1.750 ± 0.034	0.520 ± 0.028	2.270 ± 0.044
80	34.787	2.463	0.126	1.921 ± 0.045	0.215 ± 0.012	2.136 ± 0.047
120	34.715	2.458	0.184	2.204 ± 0.036	0.407 ± 0.022	2.611 ± 0.042

附錄 523 航次之分析數據 (續)

II. 水體剖面之分析數據 (續)

(e) 第 13 站

Depth (m)	Salinity (psu)	U-238 (dpm/L)	TSM (mg/L)	Diss. Th-234 (dpm/L)	Part. Th-234 (dpm/L)	Total Th-234 (dpm/L)
0	34.319	2.430	0.121	2.023 ± 0.035	0.208 ± 0.013	2.231 ± 0.037
10	34.402	2.436	0.103	2.092 ± 0.039	0.211 ± 0.022	2.303 ± 0.044
50	34.610	2.451	0.222	1.281 ± 0.022	0.263 ± 0.016	1.545 ± 0.027
100	34.726	2.459	0.182	2.313 ± 0.036	0.245 ± 0.016	2.558 ± 0.040
200	34.601	2.450	0.113	2.221 ± 0.040	0.328 ± 0.017	2.549 ± 0.043
600	34.361	2.433	0.105	1.879 ± 0.031	0.561 ± 0.018	2.440 ± 0.035
700	34.389	2.435	0.188	1.503 ± 0.025	0.880 ± 0.035	2.384 ± 0.043
750	34.394	2.435	0.169	1.196 ± 0.028	1.148 ± 0.032	2.445 ± 0.043
770	34.397	2.436	0.174	0.866 ± 0.033	0.912 ± 0.022	1.778 ± 0.040
800	34.401	2.436	0.168	1.063 ± 0.022	0.510 ± 0.071	1.573 ± 0.074
900	34.410	2.437	0.194	0.851 ± 0.017	1.666 ± 0.054	2.517 ± 0.056

(f) 第 18 站

Depth (m)	Salinity (psu)	U-238 (dpm/L)	TSM (mg/L)	Diss. Th-234 (dpm/L)	Part. Th-234 (dpm/L)	Total Th-234 (dpm/L)
0	34.638	2.434	-	-	-	2.353 ± 0.057
20	35.026	2.480	-	-	-	1.597 ± 0.048
50	34.740	2.460	-	-	-	1.398 ± 0.025
100	34.698	2.457	-	-	-	1.465 ± 0.039
450	34.425	2.438	-	-	-	1.944 ± 0.032
475	34.410	2.437	-	-	-	1.830 ± 0.037
500	34.372	2.434	-	-	-	1.871 ± 0.038
600	34.354	2.433	-	-	-	1.384 ± 0.022
625	34.370	2.434	-	-	-	0.661 ± 0.016
830	34.407	2.436	-	-	-	1.434 ± 0.022