

# 激盪之淡水河

(國立臺灣大學國家海洋科學研究中心 溫良碩、簡國童、楊益)

## 一、水的洄漾

地球的水循環圈是一個複雜的系統，隨著時空環境條件持續變化，而產生多樣的生物地球化學組成。這些變化除了時空尺度的不同外，參與反應的尺度也有極大的差異，小至微觀尺度的分子層次，大至巨觀的全球尺度。至於水環境中的生物，尤其是微生物，藉由其新陳代謝作用過程中對化學物質的反應性或需要性的不同，扮演著控制或改變作用的角色。河口及近岸是地球上最大的水圈，為陸地連接海洋的關鍵控制輸送帶，也是人類與海洋直接接觸的地方。近代文明的發展造就沿海及河川流域內的人口密度急劇增高，伴隨而來之文明的最終產物—廢棄物質，卻又排入滋養人類文明的水體之中。人類持續利用河川和沿岸水體作為提供資源及休憩的場所，卻造成惡性循環似的嚴重的污染。加重程度的污染，過度的資源取用，更造成生態環境沉重的負擔。近年在工業發展、經濟開發之餘，我們漸漸了解及重視文明對自然環境的影響與壓力，例如：沿岸溼地、紅樹林等被持續開發而逐漸減少水生生物棲地面積及植被；河口持續接受都市、工業及農業廢水而造成污染（營養鹽、有機物、重金屬等），進而毒害水中生物（如：有毒西施舌、赤潮、綠牡蠣、祕雕魚），社會大眾也因此付出極其慘重的代價。

聯合國與許多國際組織極力呼籲進行整合型近岸環境管理計畫，分工進行近岸海洋生態環境的管理經營。因此，以保護生態考量為主的環境管理是非常迫切需要的。然而這一切仍然需要在我們能夠先清楚的了解複雜的近岸生態環境中所有相關的生物地球化學組成

及反應，仰賴我們徹底調查和探討生態環境中交互作用的環節，並適當的保護資源方能保持河口及沿岸環境不因人類的影響失去寶貴的價值。

## 二、河的傳說

淡水河包括大漢溪，新店溪及基隆河，主流長度為一百五十九公里，流域面積約達二千七百二十六平方公里，佔全台灣地區的百分之七點六，年平均流量約為六十六億立方公尺，是唯一具有河口地型之台灣第二大河川。大約三萬年前，自桃園入海的大漢溪及基隆入海的基隆河改道流進台北盆地，匯合形成淡水河流域。距今五千年前左右，原本一片汪洋的台北盆地海水退去，陸地、沼澤、淡水河系自此成型。淡水河系流域內人口聚居達五百萬人以上，工商業發達，是政治、經濟及文化中心。新店溪、大漢溪及基隆河上游更是自來水水源，中下游則成為排水河道，與居民的生活關係極為密切。大漢溪在江子翠會合新店溪後，成為淡水河主流。主流至關渡和基隆河匯流後，在淡水鎮油車口附近注入台灣海峽。淡水河昔日人口稀少不甚發達時，河水常年清澈，曾是多種魚類的理想棲所，蘊育著極為豐富的生物資源，且一向為沿海主要魚類孵卵育幼的場所，漁業生產一度盛極。然近數十年來，因受都市化及工業化的影響，整個生態系蒙受嚴重破壞，使漁業生產連帶受到極大打擊。

## 三、滄傷與激盪

河口與沿岸海洋是全球生產量最豐富的



生態環境，含有豐富的營養鹽和有機物，支持著龐大的初級生產量與動植物種類。全球氣候變遷導致海平面上升，人為土地變更使用率加速，河口沿岸地形逐漸異動，原有地區物質之反應與平衡勢將變動，更由於河口沿岸海具備強烈的物理化學升降率與生物作用，一些由環境變遷造成的生態反應常有放大現象，突顯生物地球化學研究重要性。國家海洋科學中心於民國 89 年 8 月 1 日起正式開始執行我國首次使用國際先進之整合性研究運作方式，探討陸源物質與人為污染物在河口與近岸海域之生地化行為之『河口與沿岸海洋環境計畫』。目前之研究重點為淡水河口及鄰近沿岸海域，已於研究區域建立全國唯一之高解析度地形資料(圖 1)，區域與季節性沿岸海水與淡水河內之基本物理水文(溫度、鹽度、密度)、流況(潮流)、生地化水文(懸浮顆粒量、營養鹽、葉綠素)等環境因子之全面性基礎背景資料，並已裝置現場及時水質監測系統與發展三維環流數值模式。以下將研究之結果以重點方式敘述於讀者。

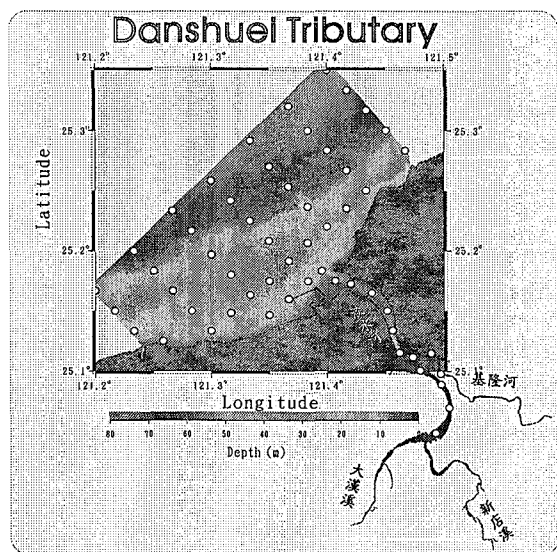


圖 1. 淡水河流域與近岸海域之測站與高解析度地形圖。

在河口與沿海甚至任何水體環境，許多生物與無機/有機物質是以自由懸浮體的方式在

水體中存在，它們的位置隨時間不同，受制於現場環境的流體變化，被傳送與散播。所以河口沿岸的水質環境，受到流量與流場的重大影響，當然物質或甚至污染物是否在此沈積或送出大洋，都與其流體的變化息息相關。另一方面，近岸的海流狀況會受到地形的影響，海流的流向與振幅在空間上會呈現複雜的分佈狀況。河水流量的季節年變化差異性，近岸的海流狀況、及氣候變化都會對水質與物質運送有重大衝擊。所以，瞭解河水流量與河口沿岸的流場是探討污染物排放後的擴散情況與任何海洋地球生物化學通量與平衡的基本步驟。

我們使用都普勒聲學流剖儀在淡水河口內外與沿海研究範圍進行多次海流觀測，結果顯示淡水河沿海潮流振幅約 2.5 節(125cm/s)，流向與海岸線平行，漲潮流向西南，退潮流向東北(圖 2)。淡水河口內，由於同時受到潮流、逕流量與地形影響，漲潮時高鹽的海水以約為 3 節之流速沿著河道入侵淡水河，形成層層梯度鋒面，退潮時淡水河流出之低鹽水在近岸形成一道明顯的鋒面，再加上氣候乾濕季節演替，河水逕流量與上游輸入物質大幅變化，河道中段地形隆起形成遮蔽淺灘，海淡水交換不易，與颱風之肆虐，這些環境因子之重要性相互演替與激盪，造成淡水河內生物地球化學與水文動力非常複雜。由河口至關渡之鹽度縱深剖面圖可清楚顯現(圖 3)，混濁淡水隨漲退潮形成的擴散舌也可在 SPOT 衛星影像上清楚看到(圖 4)。

生態環境受到水質污染與否，或觀察浮游生物的生長與產量受『水質優養化』情形的發生，研究人員常以水體溶解氧含量、無機氮及磷含量為監視目標。優養化又稱為富營養化，是由於水中的氮、磷等營養鹽過量增加，導致藻類的大量繁殖，因而引起水質惡化，其實這也是形成赤潮的主要原因。自然水體依所含營養鹽濃度高低，一般區分其優養程度為：



- 1) 貧養 (Oligotrophic)：其水體中營養鹽濃度較低，沒有任何污染，浮游動植物含量少，歧異度較高，此時水質狀況相對較佳；
- 2) 中養 (Mesotrophic)：此階段是由貧養階段到優養階段的過渡期，此時水體中營養鹽漸高，浮游動植物含量也逐漸增加，歧異度逐漸降低；
- 3) 優養 (Eutrophic)：此時由於營養鹽大量的增加，藻類大量繁殖。造成水體缺氧，懸浮顆粒及殘留物質都會增加，水體透明度明顯降低，浮游動植物大量繁殖，歧異度低。一般來說，每升海水中含 0.5 毫克無機氮與 0.045 毫克無機磷含量為已屬優養化與中度污染。

水中溶氧量 (Dissolved Oxygen) 受四個因素所控制；一為水體形成時本身的溶氧飽合度，二為與生物因光合作用生成的增加，三為因呼吸作用或有機物氧化作用的消耗，四為與大氣的直接交換。在水質良好的區域，水體溶氧分佈大致是均可達 100% 的飽合，或濃度在每升水中 200 毫莫耳 ( $\mu\text{mol/L}$ ) 以上。淡水河口內水體溶解氧含量隨潮汐變化劇烈，但基

本上大多在貧氧狀態，水質狀況極度不佳。來至中游之低氧水體隨潮汐沿著河道上下游振盪 (圖 5)。再加上氣候乾濕演替，淡水河內水中溶解氧含量季節性變化相當明顯 (圖 6)，造成獨特之強烈氧化還原交互性環境。

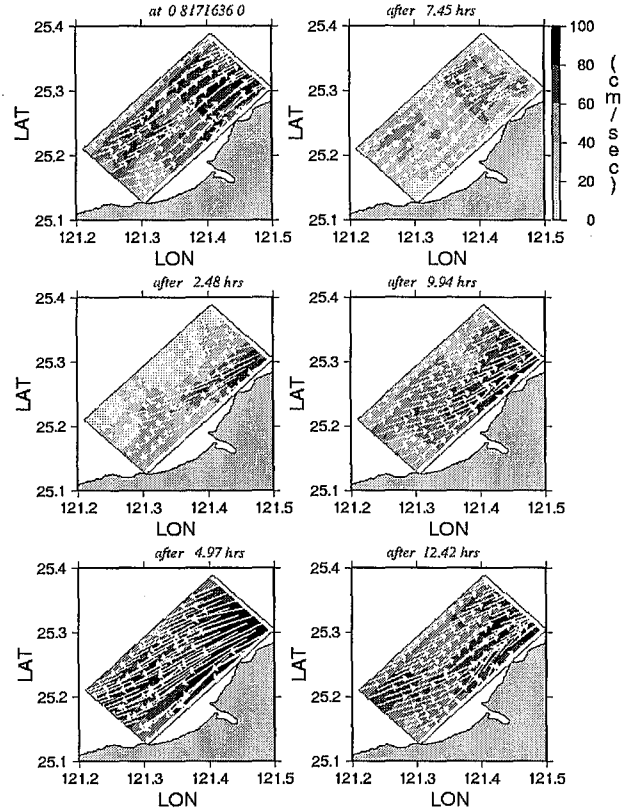


圖 2. 淡水河沿岸海域觀測之海流隨潮汐運動方向。

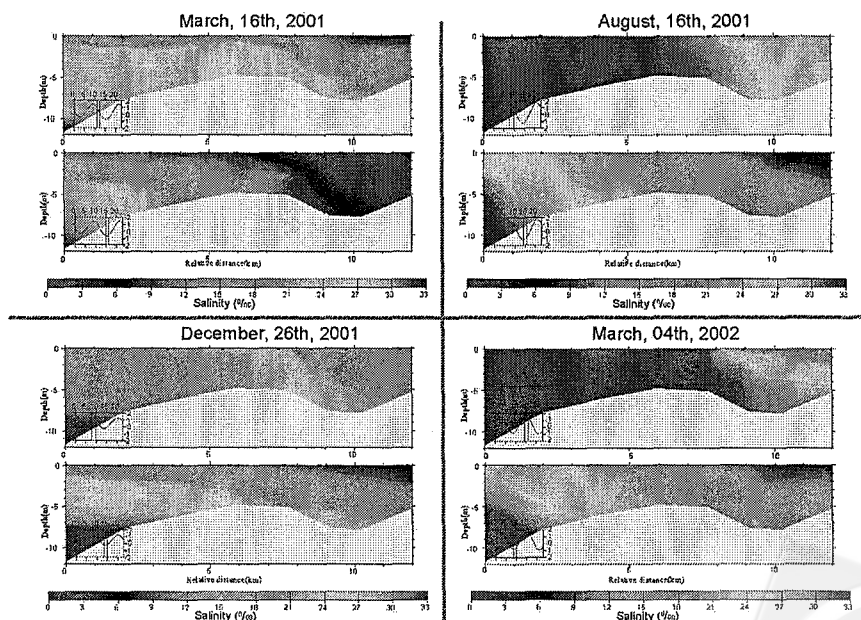


圖 3. 淡水河口至關渡之鹽度縱深剖面圖。

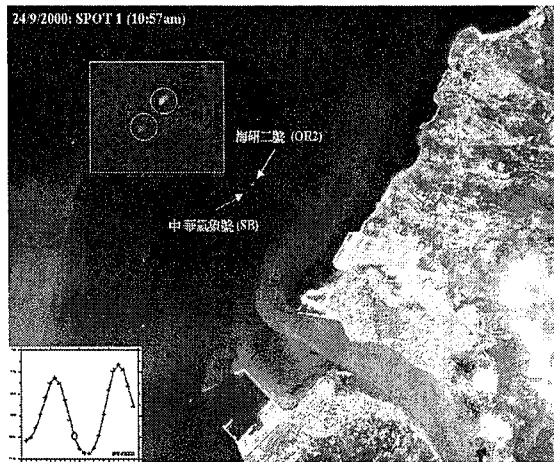


圖 4. 淡水河口之 SPOT 衛星影像。

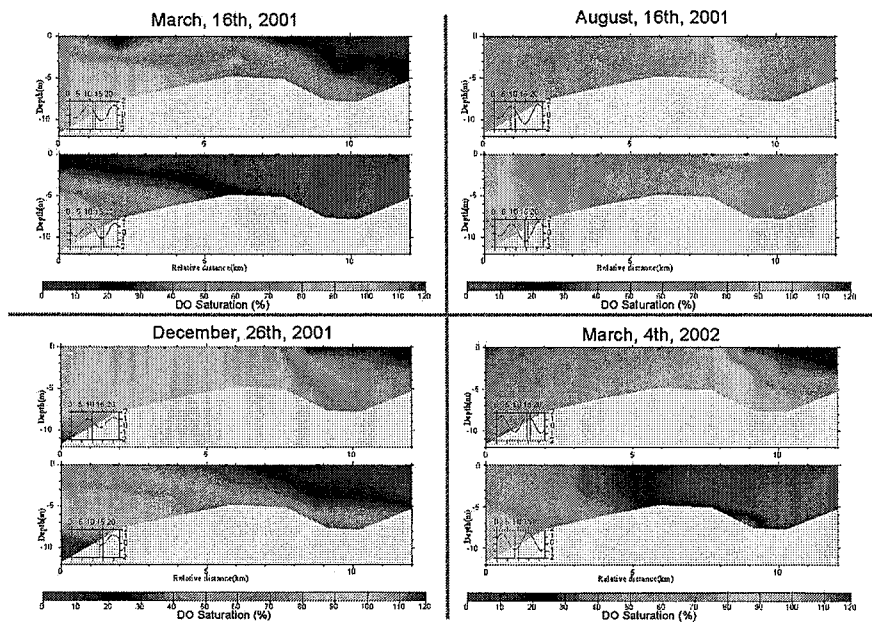


圖 5. 淡水河口至關渡之溶氧飽和度分布縱深剖面圖。

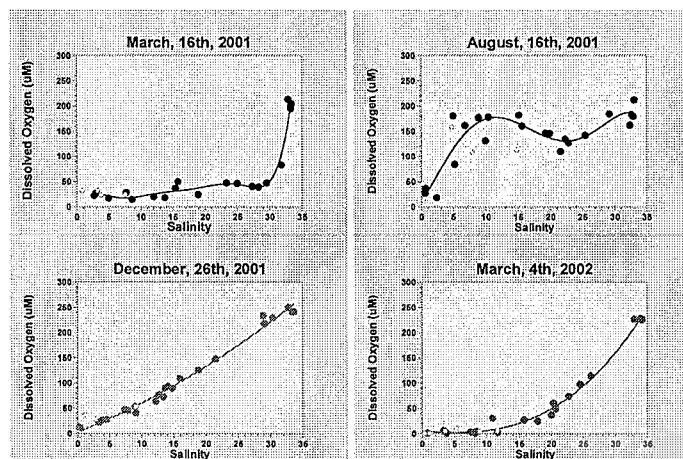


圖 6. 淡水河道內之河水中溶氧濃度對鹽度之平面分布。





水環境中的無機態營養鹽來源，尤其是氮和磷，是控制浮游植物物種、總量、及生長的重要因素。土地使用的改變、表面水體流入河川和近岸海域流量的增加、固定污染源的增加會嚴重的改變生態系統中營養鹽和有機質在水域內的組成、濃度、及收支。一旦水域中的營養鹽和有機質有變化，就會直接影響水域中生態系統內浮游植物的結構和特性。我們的研究結果顯示，內河口沿海地區至關渡橋範圍內，營養鹽濃度分佈、物種與平衡動力演替變化幅度相當大，隨著環境因子之重要性相互演替與激盪，守恆或非守恆型營養鹽生地化特性

皆會呈現。基本上矽酸鹽濃度分佈與其他世界河川比較還算相當正常，以守恆型為主，不過在極端環境因子影響下，會顯現非守恆增加或移除性，矽酸鹽動力平衡化學變化幅度與激盪實屬全球首見（圖 7）。磷酸鹽濃度明顯偏高，以非守恆型生地化特性為主，然而其他世界河川絕大多數為非守恆增加型，淡水河道內卻是非守恆移除型，顯現強烈之缺氧還原性環境地球化學行為。新店溪、大漢溪及基隆河上游水質優良，中下游則與居民的生活關係極為密切，水質明顯受到污染（圖 8）。

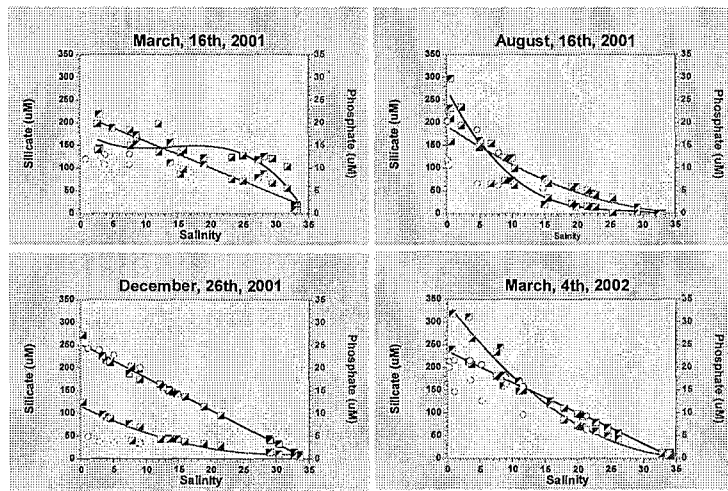


圖 7. 淡水河道內之矽酸鹽與磷酸鹽對鹽度之平面分布圖。

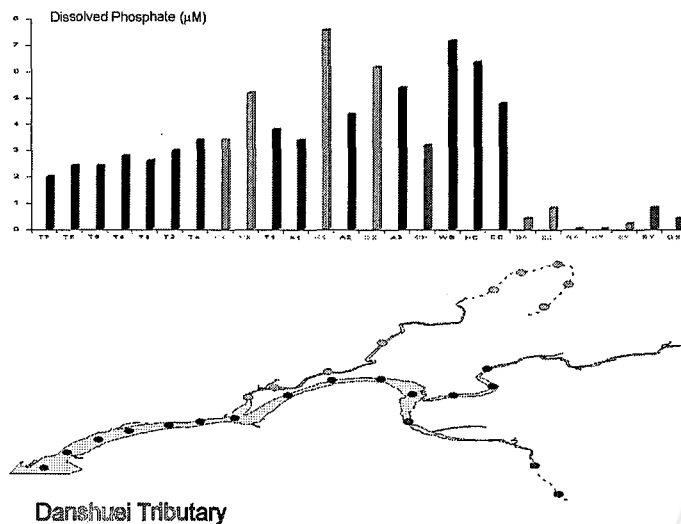


圖 8. 淡水河全流域河水磷酸鹽濃度平面分布圖。



亞硝酸在自然水體中為硝酸根還原過程的中間產物，同時也為氨氧化過程之中間產物。生物氧化分解後，先形成氨根，氨根經過中間步驟後轉換成亞硝酸根，最後才形成化學性質穩定的硝酸根。水體中亞硝酸根或氨的濃度愈高，水質愈是明顯受到污染。我們的研究結果顯示淡水河中溶解性無機氮鹽分佈極不正常，氨氮濃度高達 8000  $\mu\text{M}$ ，是為世界第一，連河口沿岸海水皆含有極過量之氨氮與硝

酸鹽（圖 9），由於強烈之缺氧還原性環境，無機氮物種與動力平衡演替變化幅度相當大，硝酸鹽、亞硝酸鹽與氨氮在河道內濃度隨著環境因子之重要性相互演替與激盪（圖 10）。保守計算每年淡水河最少注入台灣海峽約一萬六千公噸之溶解無機氮鹽與一萬兩千公噸之溶解無機磷，約是世界第三大河川美國密西西比河的十分之一，輸送量驚人。

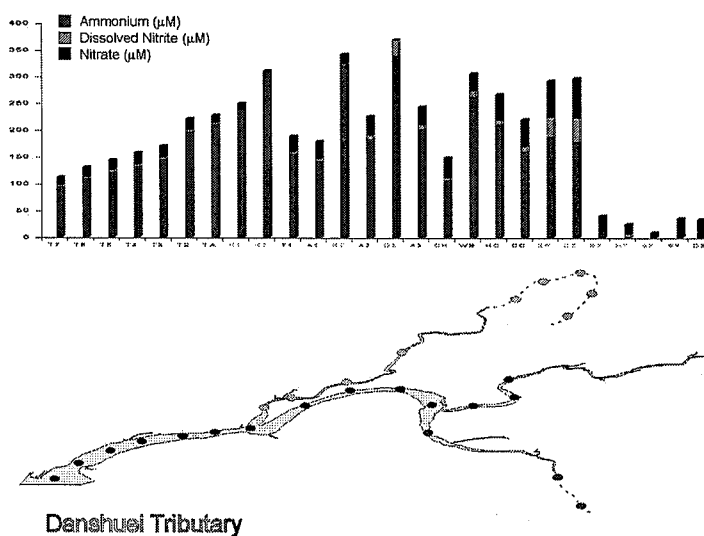


圖 9. 淡水河道內之無機氮物種濃度之平面分布圖。

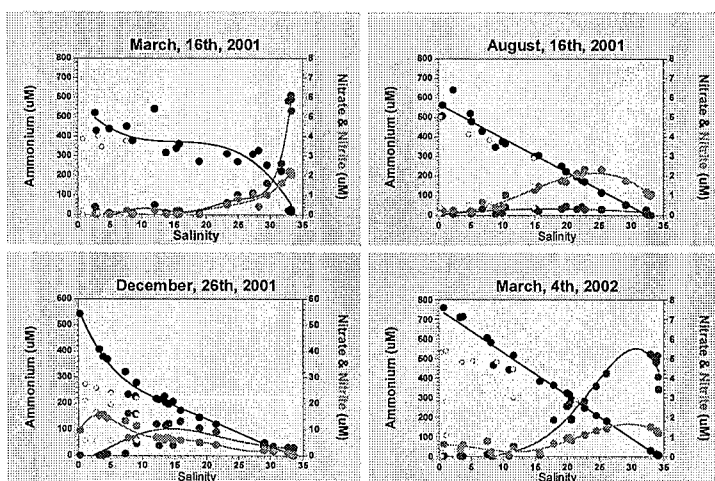


圖 10. 淡水河河道內河水無機氮物種濃度對鹽度之平面分布圖。

微量元素，特別是一些重金屬元素，不僅是生物不可或缺的營養元素，但其濃度升高時，亦成為它們的致命因子。微量元素當然更與污染物質息息相關，是研究環境污染無法忽略的重要縈結，也是台灣近沿海、及河口溪流等水域生態系最嚴重且最待解決的課題。重金屬元素的生物使用性與毒性，除了與其濃度有關外，更與本身的物理化學性質種類有關密不

可分。研究調查顯示，重金屬元素濃度分佈、物種與載體演替變化幅度劇烈。以溶解性銅為例，2001年10月與2002年1月濃度範圍相似，但十月之主要存在型態為可交換性離子與無機水合分子態（圖11），而在一月之資料顯示其主要存在型態卻轉為大分子有機膠體與超微細之無機自生金屬硫化礦物（圖12）。

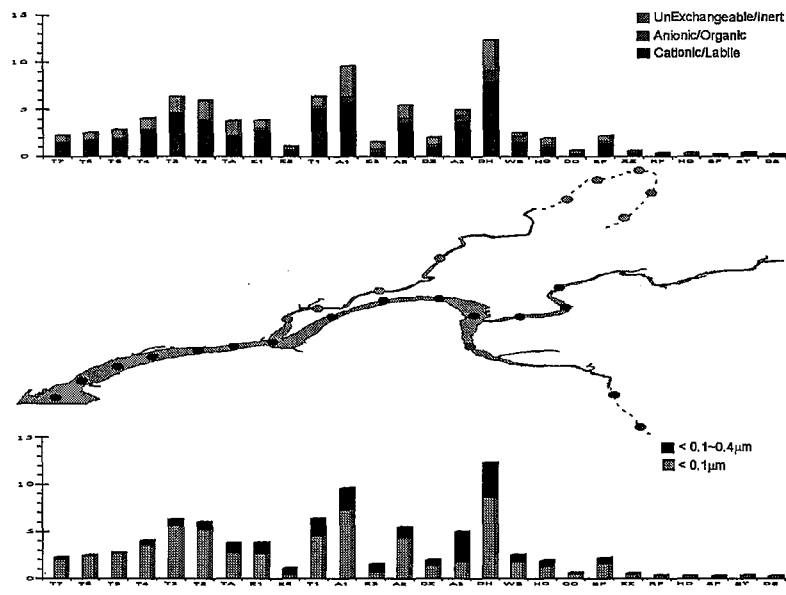


圖 11. 2001 年 10 月淡水河道內溶解重金屬銅物種之平面分布。

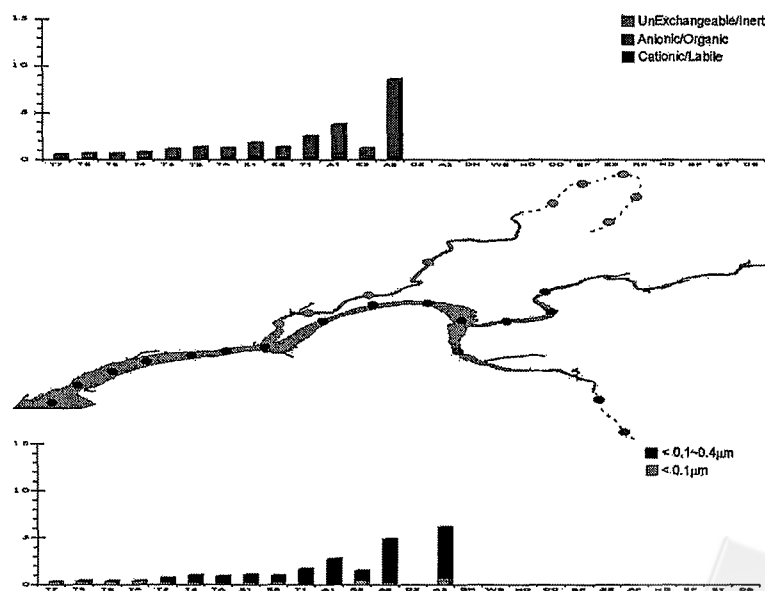


圖 12. 2002 年 1 月淡水河道內溶解重金屬銅物種之平面分布。

淡水河流域潮流與物理水文狀況較易了解與研判，但生物地球化學動力非常複雜，片面與短期之研究皆不能洞悉全貌。氣候是最重要之控制因子，乾濕季節演替加上颱風或短暫暴雨之肆虐，造成河水逕流量與上游終端輸入物質大幅變化；再加上大台北地區工業與生活廢水輸入，河道中段地形隆起形成遮蔽淺灘，海淡水交換不易等環境因子之影響，控制因子相互演替與激盪，形成複雜之生物地球化學反應爐。法規上的「環評作業」或其他學者之個人研究往往是制式化的，只針對海水某些項目

進行檢驗或水質分類，對真正欲瞭解該區域的環境背景特性是不足的，且常有以偏蓋全之現象。唯有高素質、系統性、整合性的探討，才能全窺整體的變化，更能對於控制機制與過程的瞭解。以我們現在研究海洋的整體學術素養與所注入的資源來說，其實是做得到的，但國家科學研究如果持續以股市般短線操作，不尊重專業學者，仿間濫竽充數，從事海洋研究的人員不斷減少，在後繼無人之窘境與國家財力日益衰退的相逼下，雖然政府一再呼籲「海洋立國」之精神，卻也只能徒嘆嗚乎哀哉。