

# 海洋污染

方天熹  
海洋大學海洋科學系副教授

## 前言

今年年初國內環保發生兩件較大爭議事件，一為一月中旬希臘貨輪阿瑪斯號在墾丁龍坑保護區擱淺造成漏油，另一為二月初國內媒體頭版新聞報導國內學者在英國專業學術雜誌投稿，文章指出國內市場所販售的一些魚，其魚體中含有機氯濃度過高，若長久食用這些魚將產生致癌危險性。前者事件導致環保署署長下台，後者事件初期導致市場魚價大落，漁民團體嚴重抗議，逼使投稿學者召開記者會說明，在一般正常的飲食情況下，食用這些魚產生致癌的機率是微乎其微，比中六合彩的機率還小，此事件在不再是新聞之後收場。此二事件之善後完全依照傳統模式：官員下台以示負責，學者召開記者會呼籲社會大眾安心食用。魚體中有機氯事件處理較以往相似事件文明了一些——學者不用當場表演吃沙西米。此二事件看似不相關，其實有共同性即跟海洋污染有關，本文就海洋污染做一簡介說明，期望社會大眾對海洋污染有所瞭解，並喚起政府對海洋事務的重視，確確實實落實綠色執政，生活品質保證，而非一群政客天天呼喊海洋立國，每當筆者聽到政客呼喊海洋立國，猶如時光倒回三十年前聽先總統蔣公呼喊反攻大陸一樣，讓人精神抖擻血脈貫張。

## 1. 海洋污染

所謂海洋污染係指經由人類直接或間接排入物質或能量進入海洋環境造成危害生物資源，人體健康，降低海域活動如捕魚、海上娛樂等等稱之。海洋污染性質上可分為物理性、化學性及生物性污染，以下文章依不同污染性質分別闡述。

### 1.1 物理性污染：

所謂物理污染係指水中聲音頻率改變或水溫溫度變化較大，前者係由船舶、潛艇或海中施工爆破所引起，因時間通常短暫，因此聲音污染對於海洋

生物的影響為何，海洋科學家對此研究甚少。後者通常係由電廠或工廠的溫排水所致，因溫排水導致海水溫升高且時間持續不斷，此水溫污染對海洋生物或生態的影響較大，在一般電廠附近海域所產生的珊瑚白化(coral bleaching)或是北部核二廠溫排水附近海域發現畸形魚(俗稱秘雕魚)(邵廣昭, 83年)，即是海水水溫過高所造成。

### 2. 化學性污染：

基本上造成海洋污染絕大多數都是由化學物質所引起，其對生態的影響也較為嚴重，大部份的海洋污染研究也都集中在此領域，化學污染可分成無

機及有機物質污染。

## 2.1 無機化學污染:

無機物質部份依元素型態不同可分成三種污染:

1. 營養鹽元素(氮、磷、矽元素)
2. 重金屬元素(鎘、鉻、鈷、銅、鎳、鉛、鋅、汞等元素)
3. 放射性核種元素可分成天然核種( $^{235}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{238}\text{U}$ )、核分裂核種( $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ )及活化核種( $^{60}\text{Co}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$ 等)。

海洋上營養鹽除了氮、磷外尚包括矽元素，海水中因有矽藻因此矽亦為浮游植物生長所需之元素。環境中氮的主要來源為細菌行固氮作用，將空氣中氮氣轉換成氮化合物提供生物能量，環境中磷、矽的主要來源為岩石礦物的風化。由於自然環境中氮、磷、矽的來源並不廣因此它們在環境中的濃度維持在微量( $10^{-6}\text{M}$ )左右，不會造成濃度過高使水體營養過剩產生優養化現象，但由於人類開墾土地種植農作物需使用肥料，肥料主要成份為氮、磷等元素，另外家庭及工業廢水亦含有較高濃度的氮、磷元素，這些廢水排入河川輸送至近海海域，因此有可能造成近海海域產生優養化現象，嚴重的優養化將造成海域水質缺氧及浮游動、植物生長高豐期過後開始大量死亡，釋放出毒性物質嚴重影響海域生態，這也常常造成生物性污染的原因。

所謂重金屬元素係指週期表中 B 族之過渡元素，因其密度通常大於  $5\text{ g/cm}^3$ ，因此常被稱為重金屬。有些重金屬元素是生物生長所需要，例如鈷、銅、鎳、鋅等元素是生物體內酵素新陳代謝所需之催化劑，若生物缺乏或攝取不足便會造成新陳代謝

不良，但攝取過量將產生中毒而引起疾病。有些元素則是生物生長完全不需要的物質，若攝取超過身體所能負荷的濃度將造成嚴重疾病。以人為例鎘中毒產生高血壓、腎危害、睪丸組織破壞和紅血球細胞破壞，汞中毒產生神經損壞、麻痺、眼盲或神智不清等等。日本在 1945-1960 及 1950-1970 年代分別發生過鎘和汞中毒事件，造成日本居民死傷逾千人(Wittmann, 1983)。因此世界各國對於飲用水或工業排放水均定有標準以保護國民的健康及自然環境。

地球在形成時即有放射性核種(如  $^{40}\text{K}$ 、 $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ )的合成，主要儲存礦物岩石中，放射性核種經過四十六億年來的衰變，其在海洋環境中的強度已變的極弱約為  $750\text{dpm/l}$ ( $^{40}\text{K}$  佔 97%)，但自 20 世紀初人類發展核能(軍事、能源、醫學或工業用途)，有些海洋環境曾遭放射核種的污染，較有名的事件為英國雪樂飛(Sellafield)核能廠在 1975 年輻射外洩，當時在愛爾蘭海域捕獲魚體中  $^{137}\text{Cs}$  的強度為  $10\text{pCi/g}$  比北海正常魚體中  $^{137}\text{Cs}$  的強度  $0.1\text{pCi/g}$  高出 100 倍(Crouch, 1986)。生物體內蓄積高放射性核種將產生肌肉、骨骼等嚴重病變，嚴重者立即死亡，人亦同輕則致癌，產生畸形兒，嚴重立即死亡。

## 2.2 有機化學污染:

有機化學物質依化學型態不同可分成四種污染:

1. 石油及煤等天然碳氫化合物
2. 人類合成之有機碳氫化學物質
3. 電廠、工廠、船舶使用之抗生物塗料 (antifouling)

#### 4. 家庭及污水處理廠排放有機物質

海洋上產生大規模而明顯的污染事件大都是由石油污染所引起，海上油田開發、採油，海底裂縫滲油，船舶、油輪船難等等均會造成大規模油污染事件。國際救難協會(International salvage Union)報導在 1998 年全世界有 218 艘船舶發生船難有 1180000 噸石油漏至海洋環境中，此漏油量在 1999 年降至 434101 噸(News, 2000)。在近一、二十年來世界上油輪發生重大船難或其他事故，致使油污海洋經初步整理如表一所示。最近大眾比較熟悉的故事是 1989 年在阿拉斯加威廉王子港外海愛克森瓦拉茲(Exxon Valdez)發生船難，致使 35500 噸原油漏至海中，美國政府花費逾十億美金善後。

**表一：近一、二十年來世界上油輪發生船難或其他事故造成油污染海洋**

| 時間   | 油輪船難或其他事故    | 事故地點              | 漏出油量(噸)    | 善後花費或罰款     |
|------|--------------|-------------------|------------|-------------|
| 1978 | Amoco Cadiz  | 法國不列塔尼            | 250000     | 罰款壹億五千五百萬美金 |
| 1989 | Exxon Valdez | 阿拉斯加威廉王子港         | 35500      | 罰款十億美金      |
| 1990 | 伊拉克入侵科威特     | 科威特               | 1.5 - 2 百萬 | 估計花費五十億美金清理 |
| 1991 | Theomana     | 巴西 Rio de Janeiro | 50000      |             |
| 1996 | Sea Empress  | 威爾斯 Milford Haven | 6000       | 罰款壹百萬英鎊     |

資料來源:整理自 Marine Pollution Bulletin 雜誌

民國 66 年在基隆外海也曾發生過布拉格油輪船難，其漏油量遠遠超過阿瑪斯號，因此阿瑪斯號之漏油污染事件對台灣來講並非大姑娘坐花轎 - 頭一遭，但事隔 25 年後我們依舊束手無策，這應也是台灣另一奇蹟，不知再一個 25 年後，我們是否有能力面對此問題。石油除了油輪船難污染海洋外，原油提煉後之產物或煤及工業用油燃燒後會產生多

環芳香烴(PAHs)碳氫化合物，生物體內若累積過量此污染物質，會造成生物之新陳代謝不良及破壞免疫系統，而人增加致癌機率，目前多環芳香烴化合物對海洋環境的污染也是一個嚴重問題。

1940 年代以後由於科技精進，科學家開始研發合成有機化學物質，尤其是鹵素組碳氫化合物，依照其分子量大小可將此類碳氫化合物分成低分子量及高分子量鹵素碳氫化合物。低分子量鹵素碳氫化合物如四氯化碳(CCl<sub>4</sub>)、三氯甲烷(CCl<sub>3</sub>H)等等，此類物質通常用於工業用途如冷媒、噴霧等。高分子量的鹵素碳氫化合物有除病蟲害用途的殺蟲劑、滅菌劑(如滴滴涕-DDT、毒殺芬-toxaphene、五氯酚-PCP)，農藥、除草劑(阿特靈-aldrin、地特靈-dieldrin)等等，另外尚有工業及家庭用的表面活性劑。這些鹵素碳氫化合物對生物大都極具毒性，生物體內若累積過量此污染物質，會破壞生物體內之新陳代謝、免疫系統、生殖能力及產生致癌效果，因此先進國家基於保護環境生態及國民健康，此類化合物中對生態較具破壞力之化合物如滴滴涕等，於 1970 年代中被歐、美各國禁止製造及使用。然而世界上絕大多數是窮國，地球上一輩子沒摸過電腦的人可能超過 30 億人口，因此落後國家依舊製造使用，環境生態保護對窮國而言只是一個抽象名詞。近十年歐、美各國對鹵素碳氫化合物對環境生態的影響研究不遺餘力，幾乎為目前環境研究之主流，美國環境科學及技術雜誌(Environmental Science & Technology)近二年來每期幾乎有 60%以上的文章登載此方面的研究，國內在這方面的研究幾乎是微乎其微。

海洋生物繁殖快生命力強，一碰到可依附的東西即聚集繁殖，此結果會加強腐蝕性而破壞電廠或

工廠之工程設備及船舶之使用年限，為解決此問題，這些工程設備及船舶會漆上抗生物塗料 (antifouling) 以妨止生物聚集。使用在海洋上的抗生物塗料主要有二種分別以銅和三丁基錫 (tributyltin, TBT) 為主要材料，其中含有三丁基錫的抗生物效果比以銅為主的抗生物塗料為佳，因此在 1980 年以前歐美各國大都使用以三丁基錫為主要材料的抗生物塗料 (Anderson, 1993)。但在 1970 初在法國 Arcachon Bay 海域，一些養殖牡蠣的業者發現幼小牡蠣大量產生病變而致死，此 Arcachon Bay 海域也是遊艇碼頭。此事件後法國養殖業者陸續發現蝦、螃蟹、貝類等養殖生物也會產生病變致死，經過科學家長期調查研究，在 1980 年初發現是海水中三丁基錫濃度過高污染海洋所致，海水中三丁基錫的來源為漆在船隻的抗生物塗料慢慢溶解至海水，因而導至三丁基錫污染海洋環境 (Alzieu et. al., 1991; )。法國政府在 1982 年宣佈小於 25 公尺以下的船隻禁止使用含有三丁基錫的抗生物塗料，在 1986 左右歐洲各國及美國陸續擬定此政策，但因未完全禁止使用此抗生物塗料，因此直至目前為止海水中三丁基錫的污染仍時有報導，英國海洋污染雜誌 (Marine pollution Bulletin) 每期幾乎皆有含三丁基錫污染事件文章登載，國內在這方面的研究報告幾乎是遍尋不得。

壹個人每天大概會用掉 100-200 公升淡水，這些淡水除了少量用於飲用外，大部份用於個人清潔及廚房洗滌，因此會產生含有有機物質之家庭污水，環境中有機物質會分解，但其分解需要利用氧氣或含有氧之化合物如氧化錳、氧化鐵、硝酸鹽、硫酸鹽。水中若有機物質含量過高則會耗盡水中之溶氧，使得水中產生一系列之還原反應，產生對生

物具有毒性之化學物質如氨、硫化氫。有鑑於此先進國家均建築衛生下水道將家庭污水集中排放至污水處理廠處理後再排放至河流或逕流至海洋。國內大部份河川在中下游這十年來均無法水清見日讓魚、蛤、螺優活河中，河川反而產生臭味、異味即是拜工業及家庭污水直接排入河川所賜，無生命的河川需花 50 年至 100 年的時間整治，河川重生不易。

### 3. 化學物質如何神不知鬼不覺污染環境及生態

地球本身是一個相當大的水體 ( $1.37 \times 10^{21}$  kg)，雖然每年有大量的自然 (岩石風化) 及人類製造供各方使用的化學物質進入環境中，但重金屬元素和有機化學物質大都具有親顆粒的特性，因此在水體中易被懸浮物吸附而沉降於海底，或被生物利用或與其它化學物質反應形成固態而被去除，因此自然環境中未被嚴重污染的河水、地下水、泉水、雨水及海水等水體，其溶解態重金屬元素 (見表二)

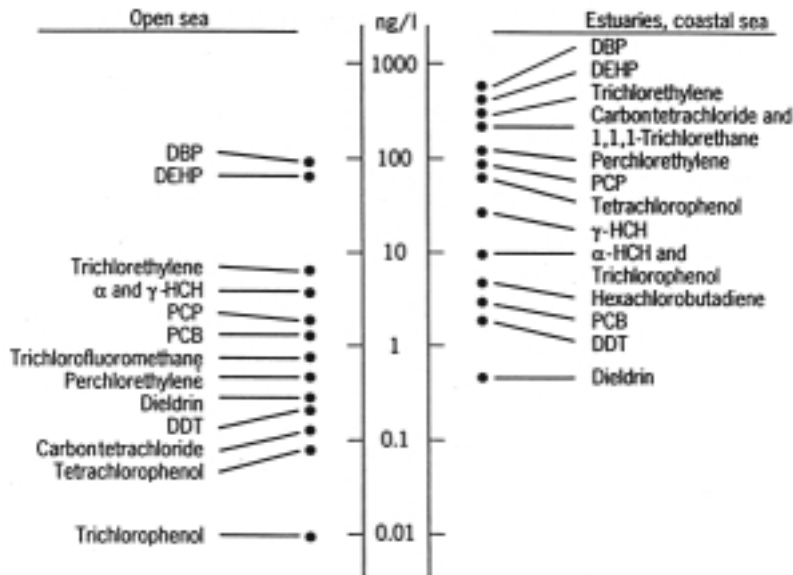
表二：文獻報導自然界河水、地下水、泉水、雨水、及海水中溶解態重金屬元素的濃度範圍 (含污染及未受污染之水體) 或是代表濃度。

(濃度單位:  $\mu\text{g}/\text{l}$ )

| 元 素 | 河 水        | 地 下 水      | 泉 水  | 雨 水       | 海 水  |
|-----|------------|------------|------|-----------|------|
| 鎘   | 0.001-0.56 | 0.006-3.0  |      | 0.041-0.8 | 0.05 |
| 鉻   |            | 0.04-6     | 1    | 0.064-0.6 | 0.2  |
| 鈷   | 0.006-0.18 |            | 0.2  |           | 0.05 |
| 銅   | 0.29-14.9  | 0.2-30     | 7    | 0.13-6.7  | 0.5  |
| 鐵   | 0.61-4.19  |            | 40   |           | 2    |
| 錳   | 0.55-140   |            |      |           | 0.2  |
| 鎳   | 0.12-3.81  | 0.02-22    | 2    | 0.13-1.0  | 0.5  |
| 汞   |            | 0.0001-2.8 | 0.07 |           | 0.03 |
| 鉛   | 0.01-0.83  | 0.06-20    | 1    | 0.04-15.4 | 0.03 |
| 鋅   | 0.04-6.54  | 0.9-740    | 30   | 0.05-33.4 | 2    |

資料來源：海洋污染教材 (方天熹整理，89 年)

及有機化學物質(圖一)的濃度大都維持在 ppb ( $\mu\text{g/L}$ )左右或更低,相當痕量不易分析,即使環境遭受嚴重污染,這些化學物質的濃度仍是維持在 ppb



圖一：溶解態殺蟲劑、除草劑及農藥等有機化學物質在海洋環境中的濃度(Ernst, 1980)

( $\mu\text{g/L}$ )左右。表三是筆者分析淡水河中下游河水中溶解態重金屬的濃度範圍並與歐、美污染較嚴重的

河川作一比較,眾所皆知淡水河是一條被污染極為嚴重的河川,表三也明確顯示淡水河河水中的溶解態重金屬高值濃度比歐、美污染較嚴重的河川還高

出一至二倍不等,其中以鎳污染較為嚴重,其最高濃度為河水世界平均值的 34 倍,縱使如此其濃度仍是在 ppb ( $\mu\text{g/L}$ )左右。因此當科學家發現海域環境化學物質濃度有異常時表示環境已經長期遭污染,化學物質早已經由食物鏈進入生物體內蓄積達到致病濃度。圖二說明在一個湖泊生態中, DDT 在水中及不同生物體內的濃度,愈高等生物其體內脂肪 DDT 的濃度含量愈高,鱷魚體內脂肪 DDT 的濃度為  $34200 \text{ ng/g}$  為水中濃度  $<0.02 \text{ ng/g}$  的一百

七十萬倍,此乃食物鏈累積所造成。這也說明像日本科技如此進步的國家,也常常發生嚴重的環境污

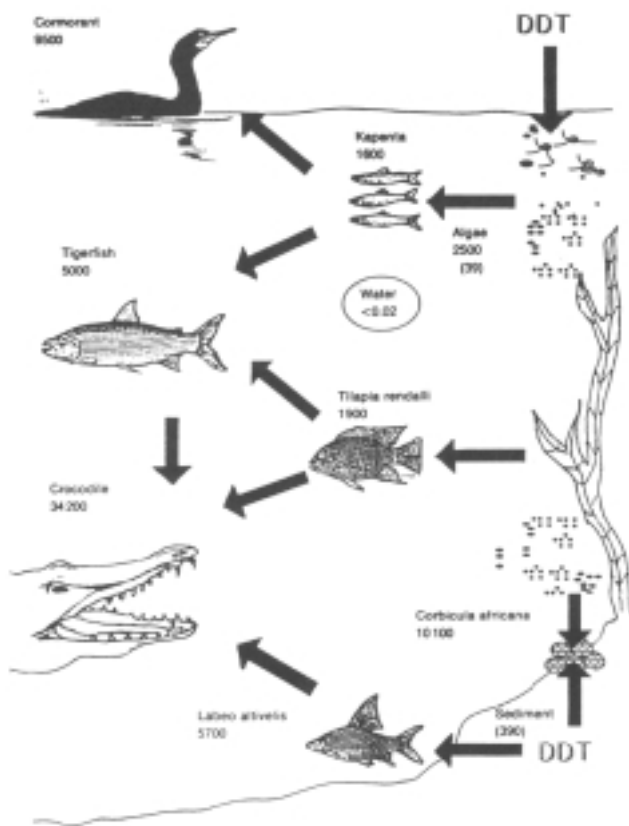
表三、淡水河河口與世界上污染較嚴重河口溶解態重金屬元素濃度比較

(濃度單位:  $\mu\text{g/l}$ )。

| 河流                       | 鈷           | 銅           | 鐵           | 錳           | 鎳           | 鋅           |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 淡水河                      | 0.02 - 0.36 | 0.32 - 3.37 | 21 - 187    | 3.13 - 120  | 0.41 - 18.2 | 11.5 - 54   |
| San Fransco Bay 三番市灣(美國) | 0.01 - 0.31 | 0.57 - 4.64 | 0.45 - 93.8 |             | 0.76 - 4.17 | 0.24 - 1.83 |
| Hudson 哈德遜河(美國)          |             | 0.95 - 6.16 | 0.84 - 40.2 | 0.44 - 60.4 | 2.05 - 8.98 | 2.94 - 30.1 |
| Delaware 德拉瓦河(美國)        | 0.01 - 0.20 | 0.45 - 3.50 | 0.56 - 30.7 | 0.55 - 71.4 | 0.47 - 3.82 |             |
| Humber 洪柏河(英國)           |             | 1.97 - 9.98 |             |             | 2.99 - 11.5 | 3.53 - 20   |
| Seine 塞恩河(法國)            | 0.08 - 0.22 | 1.65 - 2.54 |             | 1.09 - 24.7 | 2.47 - 3.82 | 5.88 - 13.1 |
| 河水世界平均值                  | 0.1         | 0.39        | 2.25        | 3.32        | 0.53        | 1.97        |

資料來源: Fang and Lin (2000)

染事件。汙染物質通常經由下列四種路徑:河流輸入、排放管排入、經由船海拋、空氣及降雨進入海洋環境,除了空氣及降雨外,其餘



圖二：Kariba 湖泊中不同生物體內脂肪(ng/g)和水中 DDT

三種污染路徑皆侷限在河口或近岸海域，因此海洋污染最嚴重的區域都發生在河口及近岸海域。

#### 4. 結語：

四十六億年前海洋孕育地球上最原始的生命，自此海洋付與萬物生命綿延不絕的資源，唯有不遭受污染的海洋，萬物生命得以永續發展，此有賴政府及人民共同努力力行，口號乃政客惑眾之蜜糖無法解決問題，政府應善用人民智慧規劃一系列可行政策，努力推廣實行，讓後代子孫得以生活在零污染的環境，讓萬物生生不息。讀者若對海洋污染有興趣可上網查詢以下網址獲得資料：

國內環保署 <http://www.epa.gov.tw>

英國海洋污染雜誌(Marine pollution Bulletin)

<http://www.elsevier.nl>

美國環境科學及技術雜誌(Environmental Science & Technology)

<http://pubs.acs.org/est>

#### 參考文獻

1. 邵廣昭(83年)一探秘離魚的成因，科學月刊第二十五卷第二期。
2. 方天熹(89年)海洋污染教材，海洋大學。
3. Anderson, C.D. (1993) Self-polishing antifouling: A scientific perspective. Ship Repair and Conversion: The Maintenance Conference and Exhibition. Olympia 2 London. November, 1993.
4. Alzieu, C. Michell, P., Tolosa, I., Bacci, E., Mee, L.D. and Readman, J.W. (1991) Organotin compounds in the Mediterranean: a continuing cause of concern. Marine Environmental Research 32, 261-270.
5. Berg, H., Kiibus, M. and Kautsky, N. (1992) DDT and other insecticides in the lake Kariba ecosystem, Zimbabwe. Ambio 21, 444-450.
6. Crouch, D. (1986) Science of the Total Environment 53, 201-216.
7. Ernst, W. (1980) Helgol Meeresunters. Biologische Anstalt Helgoland, Hamburg, Germany.
8. Fang, T.H. and Lin, C.L. (2000) Dissolved and particulate trace metals and their partitioning in a hypoxic estuary: the Tanshui estuary in northern Taiwan. Submitted to Estuaries.
9. News (2000) Marine Pollution Bulletin 40, 363.
10. Wittmann, G.T.W. (1983) Toxic metals. In: Metal Pollution in the Aquatic Environment (eds. U. Forstner and G.T.W. Wittmann), Springer-Verlag, pp.3-68.