

全球化的 環境污染

■ 李美慧

污染物的分布

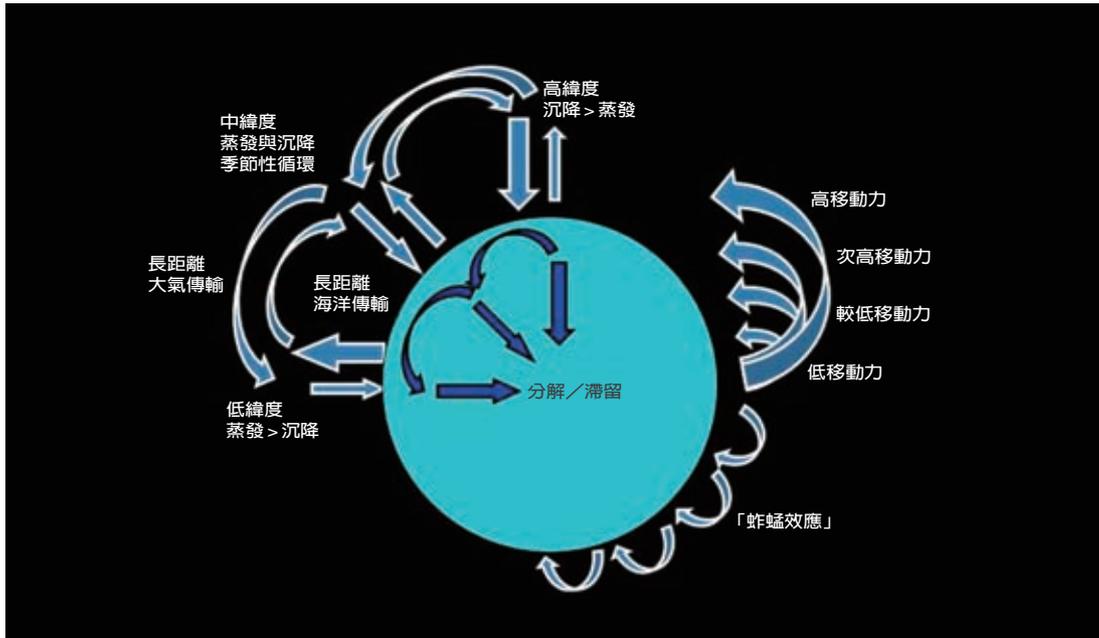
不一定都集中在污染源附近，
有可能會傳輸到千里之外。

污染的製造者

並不一定會直接受到影響，
其他或偏遠地區的人們和自然環境，
反而是污染的受害者。

許多生活周遭廣泛使用的日常用品，如塑膠、染料、清潔劑、化妝品、電器等，其組成中有一些化學物質容易釋放到環境中而四處擴散，卻不易在環境中自然地分解。於是這些化學物質成為目前全球性重要的環境問題，更引起國際間的重視，並促成跨國的合作和協議。例如不同地區的一百多個國家，針對12種持久性有機污染物（persistent organic pollutants, POPs），聯合簽署了斯德哥爾摩公約，並於2004年5月17日正式生效實施，以便對這些持久性有機污染物進行管制。

為什麼這些持久性有機污染物會引起國際間不同機構和國家的重視與行動呢？因為它們已擴散並廣泛分布在全球各地，具有跨洲和長距離傳輸的特性，不是局限於小地域或單一國家的污染，因此需要全球各地區國家的共同參與，才能有效地達到減少這些污染物擴散的目的。



圖片來源：改編自Wania and Mackay, 1996, Environmental Science and Technology, 30:390A-396A

不同化學污染物在環境中可能的移動和分布

到底環境中不同污染物是透過哪些方式傳輸而影響全球不同地區？這可說是非常有趣的問題。藉由討論這項議題，可以讓我們更加了解自然環境的運作機制，並進一步認識哪些重要因子會影響化學物質在環境中的分布和擴散。

化學污染物的特性

上述有機污染物的「持久性」，是指在自然環境中，不容易分解和轉變，因而有機會在不同環境中，長期存在和四處擴散。除了持久的特性外，這些污染物因水溶性和可揮發性不高，釋放於自然環境中後，僅有一小部分溶解於水中或揮發在空氣中。因此在不同環境中，例如大氣、海洋、河川、土壤和生物體內，都可發現它們的蹤影。

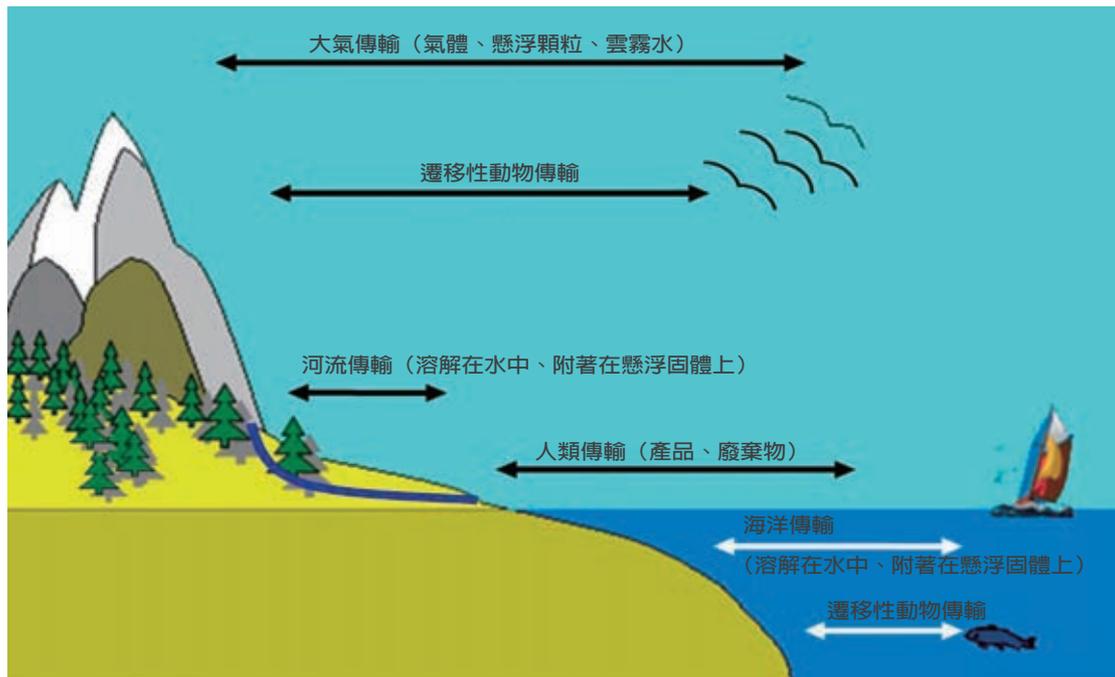
除了上述的化學特性外，會造成環境問題的污染物還對動、植物具有毒性，且會

在生物體內累積，對人體健康和生態系都產生不良的影響。因此這些造成環境問題的污染物，也常稱為持久性毒性物質（persistent toxic substance, PTS）。一物質須具化學穩定性、不易分解、可揮發但揮發性不太高，且會在不同環境中出現，又有毒性，才是所謂的持久性毒性物質。造成臭氧層破洞的氟氯碳化合物，因極易揮發，會一直以氣態方式存在於大氣中，不會沉降到地表，而且對動、植物的毒性極低，因此不屬於持久性毒性物質。

某化學物質如果在一般環境的溫度範圍內，可由氣相轉為液相或固相，就有可能經由大氣和地表的交互作用，而移動到較遠的地方。尤其是在日夜或季節的溫差變化的環境下，可使這現象更為顯著。因為低溫環境下，沉降作用會勝過蒸發作用，而高溫環境下，蒸發作用會強過沉降作用，因此，不同化學特性的持久性有毒物質，會

持久性有機污染物具有跨洲和長距離傳輸的特性，需要全球各地區國家的共同參與，才能有效地達到減少這些污染物擴散的目的。

持久性毒性物質在大氣中的傳輸，主要受到大氣環流流動路線的影響，例如在中緯度地區，西風帶氣流在空氣污染物的傳輸上就扮演重要的角色。



污染物在環境中的主要傳輸方式

有不同程度的地表和大氣間相互作用。

揮發性較低的化學物質比較不會移動，它的分布會接近污染源。而揮發性較強的化學物質，容易藉由大氣移動到比較遠的距離，當移動到溫度較低的環境中，就會再由氣相沉降，而附著在地表土壤或水體中時，這種現象稱為「冷凝結」或「全球分餾」。化學物質經由蒸發在大氣中傳輸後，沉降在地表的反覆作用，使化學物質可以移動到很遠的距離，也有人稱它為「蚱蜢效應」。許多學者也用這現象解釋為何在人跡罕至的偏遠地方，例如極區和高山，卻發現許多和人類活動有關的持久性毒性物質。

毒性物質的傳輸方式

因化學特性的差異，不同污染物的主要傳輸方式也會不同。一般認為持久性毒性物質可藉由下列幾種方式傳輸：以氣體方式吸



持久性毒性物質能以氣體方式吸附在大氣中的懸浮固體上或溶解在雲霧水中，傳輸到其他地方。



高山和極區環境類似，因溫度低，可能有「冷凝結」現象，而使部分持久性有毒物質出現在高山環境中。

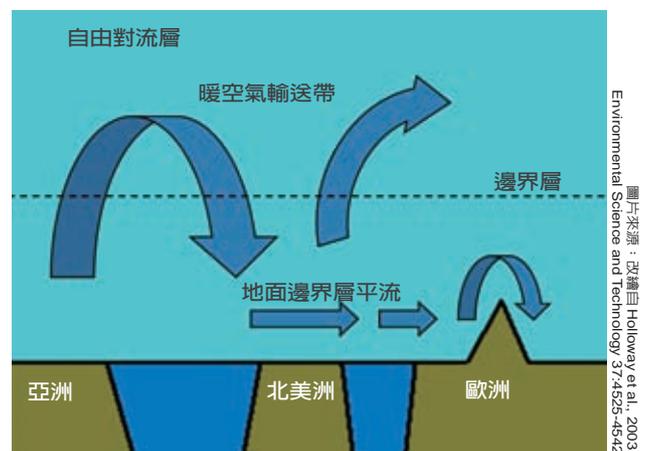
附在大氣中的懸浮固體上或溶解在雲霧水中；溶解在海洋水中或吸附在海水中的懸浮物上；溶解在河川的水中或吸附在河川的沉積物上；儲存在會遷徙的動物體內；透過人類不同的活動。

造成不同地區持久性毒性物質傳輸差異的主要原因，受該地區的氣候（如溫度、風速、降雨、鋒面影響等）、氣流流動路線、洋流流動途徑、地表覆蓋特色（海陸分布、地形、植物、土壤分布等）、水文循環等因素的影響。以下進一步討論不同自然環境因子如何影響持久性毒性物質的傳輸。

自然環境因子 持久性毒性物質在大氣中的傳輸，主要受到大氣環流流動路線的影響，例如在中緯度地區，西風帶氣流在空氣污染物的傳輸上就扮演重要的角色。因此，北大西洋常會有由西風氣流所攜帶，來自北美洲的持久性毒性物質；北太平洋則接受到由西風氣流所吹，來自亞洲的持久性毒性物質，形成所謂跨洲污染傳遞。基本上，主要

的跨洲污染傳遞有兩個機制，一是經由地表大氣邊界層的平流作用，另一是經由對流上升至自由對流層（指約在地表以上2～12公里高度的大氣）來傳輸污染物質。

此外，在北半球因陸地和海洋的面積分布不均，以及其吸收熱量能力的不同，也會造成北半球高、低氣壓分布在特定區域。例如，冬季西伯利亞高氣壓會使得在歐洲的氣團向北流動，而造成在歐洲的一



大氣的跨洲傳遞污染物的兩個主要機制

圖片來源：改編自 Holmway et al., 2003, Environmental Science and Technology 37:4526-4542



河川對於持久性毒性物質傳輸的重要性較低，只有對於一些易溶解在水中，但不易在水中轉變的化學物質才具重要性。

些持久性毒性物質隨著氣團傳送到北極。這種氣團傳輸污染物的現象，在北半球比南半球明顯，因此，南極洲比較不會受到南半球大氣環流傳輸的影響。

過去 10 年，有許多科學的研究發現，在北極的野生動物或原住民體內含有相當多的持久性毒性物質，顯示許多持久性毒性物質確實會傳輸到北極。值得注意的是，在南、北半球的氣流是各自獨立的，南半球的氣流不會吹達北半球，在北半球也是如此。因此，在北半球東南亞地區產生的持久性毒性物質，並未發現有傳輸到南半球澳洲的證據。小範圍內的氣流流動路線，也會受地形影響，例如喜馬拉雅山限制了印度洋地區、中亞和東北亞的污染物交流。

一般而言，海洋和河川對於持久性毒性物質傳輸的重要性較低，只對一些易溶解在水中，但不易在水中轉變的化學物質才具重要性。例如有機農藥六氯環己烷是水溶性很

高的化學物質，已發現它可從南美洲經由河川流入大西洋後，再藉由洋流傳輸到加勒比海的小島。

另外，全氟辛烷磺酸是在紡織品和皮革製品中，常見的防污處理劑的主要活性成分，廣泛應用於許多日常用品中，因易溶於水，使全氟辛烷磺酸也可藉由海洋和河川傳輸到全球不同的地方。一般而言，水溶性較高的污染物質，海洋循環的洋流

流動是速度較慢，但是相當有效的傳輸方式。

遷移性生物 許多鳥類和海洋生物具長距離遷徙的能力，而這些鳥類和海洋生物又常位於食物鏈最上層，且易在體內累積持久性毒性物質，因此當牠們從一個區域遷移到另一個區域時，也會把持久性毒性物質攜帶到另一個區域。大部分遷移性生物在傳輸持久性毒性物質時有下列特性：



遷移性動物也可能傳輸持久性有毒物質



候鳥易在體內累積相當大量的持久性毒性物質，當候鳥遷移時，會把持久性毒性物質攜帶到另一個區域。

一般遷移性生物遷移的方向是南北向，而非東西向；遷移性生物的遷移是來回循環的，因此，對於持久性毒性物質傳輸的路徑，往、返兩個方向都有可能。

不過相較於大氣的傳輸，經由遷移性生物傳遞的持久性毒性物質總量是較少的，但是在一些有大量遷移性生物聚集的地區，仍

有可能傳輸顯著的污染量。雖然目前相關的科學研究調查較少，但是已經有證據顯示，遷移性生物在偏遠地區可能是傳輸污染的關鍵途徑之一。

例如在北極區，屬於挪威巴倫支海熊島的 Ellasjoen 湖，就發現候鳥的糞便是該湖泊主要持久性毒性物質的來源之一。在南極大陸的東岸也有研究證據顯示，候鳥的糞便是 5 個蘇聯研究站的主要污染來源之一。另一有趣的例子是，北美洲的鮭魚會由北太平洋洄游到阿拉斯加的溪流和淡水湖泊產卵後死亡，這些死亡的鮭魚體內，會釋出一些常見的持久性毒性物質，而使該區的淡水魚類體內，累積相當程度的常見的持久性毒性物質。

人類活動 人類的許多經濟活動，都可能有意或無意地把持久性毒性物質，由



北極和南極雖是全球污染最少的地區，且人煙罕至，但仍然可偵測到許多持久性毒性物質。

一個地區運輸到另外的地區，例如透過全球化的經濟活動，可把含有持久性毒性物質的商品或廢棄物，由一個地區運輸到另外的地區。另外，在運輸商品或廢棄物的過程中，也有可能因一些意外事件，而造成對運輸途徑中其他地區的污染。

全球污染的概況

由於目前缺乏有系統和大區域的全球性監測持久性毒性物質的研究，現有的資料多以一些已開發國家所測量和觀察的結果為主，因此在研究證據和資料的分布上，有分配不均的情形，可能會造成在比較和討論全球不同地區污染現況時的限制和困難。但是由目前累積的資料，已能顯示全球持久性毒

性物質污染的概況。

對許多持久性毒性物質而言，大氣是傳輸的主要途徑，因此有許多研究分析空氣中的持久性毒性物質濃度，像是有機氯化物、多環芳香烴化合物等。以全球尺度來看，最常偵測到的有機氯化物是六氯環己烷和多氯聯苯。此外，在全球的都市地區也常測量到多環芳香烴化合物。基本上，全球不同區域都曾在空氣中偵測到 DDT、六氯環己烷、多氯聯苯、多環芳香烴等化合物。而一般在大氣中含較高濃度的農藥，常出現在熱帶和溫帶地區有農業活動的地區，特別是在印度、亞洲和非洲。

值得注意的是，在極區也發現有低濃度的有機氯農藥存在。至於空氣中多環芳



人類的許多活動可能會有或無意地把持久性毒性物質由一個地區運輸到另外的地區

香烴化合物，則在都市地區和鄉村地區都有發現。都市地區多環芳香烴化合物的來源，可能是工業活動或交通運輸；鄉村地區多環芳香烴化合物的來源，則可能來自生質燃燒等活動。大致上，多環芳香烴化合物在空氣中的濃度是冬季高於夏季，都市高於鄉村。此外，

戴奧辛和呋喃在工業地區和都市地區的空氣中，濃度也較高。

若以不同區域來看，北極和南極仍是全球污染最少的地區。不過這兩個地區雖然人煙罕至，仍然可偵測到許多持久性毒性物質，尤其是在北極的原住民體內或其他生態系食物鏈最上層的動物體內（如北極熊、海豹和鯨魚），都發現累積持久性毒性物質。而在北美洲和歐洲，過去曾大量使用的有機氯農藥和工業化合物，仍然存在於許多地方。但是在過去二、三十年間，在北美洲和歐洲的環境中或生物體內的持久性毒性物質濃度，都有降低的情形。相反地，在北極，這些持久性毒性物質濃度，近年來並沒有降低的情形。

至於印度洋地區，特別是印度和巴基斯坦，地表水或地下水所含的有機氯農藥濃度，對當地居民和生態系會有不良的影響。在東南亞的海岸地區，空氣中 DDT、可氯丹、六氯環己烷、多氯聯苯的濃度都相當高。

在越南和澳洲某些地點的土壤中，也發現相當高濃度的 DDT 和多氯聯苯。而在泰國和馬來西亞一些河川的水和沉積物中，也



污染物分布不一定都集中在排放的污染源附近，有可能被傳輸到千里之外的地區。

發現高量目前仍在使用的硫丹、靈丹等農藥，顯示這些地區在近期內曾使用這些農藥。目前，在中亞、太平洋島嶼、非洲、中南美洲等地，化學偵測資料相當貧乏，因此很難對這些地區的污染情形做一概述。

在環境中，穩定性高、可揮發和有長距離移動能力的化學物質，有可能影響大範圍的地區，若又具有毒性，則可能對人口和生態系產生衝擊。從環境正義的角度來看，污染物分布不一定都集中在排放的污染源附近，有可能傳輸到千里之外的地區。污染的製造者並不一定會直接受到影響，其他或偏遠地區的人們和自然環境，反而常是污染的受害者，這是不符合環境正義的。

考慮到這些情形，若是持久性有害物質具長距離移動的能力，一定要由國際間的共同參與和管制，減少這類物質的使用和生產，才能有效減輕其對全球人類健康和生態系的影響。 □

李美慧

台灣大學地理環境資源學系