

海洋性大氣之二甲硫 (DMS) 簡介

蘇世穎

空軍氣象中心

摘要

本文將分為幾個部分介紹二甲硫 (Dimethyl Sulfide, DMS) 的相關訊息。首先說明 DMS 相關研究之起源, 接著將介紹 DMS 的基本資料, 並解釋為何 DMS 會被重視。第三部分說明 DMS 生產來源, 並估計他們對 DMS 濃度所做的貢獻。第四部分展示 DMS 在時間上的變化與空間上的分佈情形, 並解釋造成這些變化的理由。第五部分介紹一些大氣中主要的 DMS 化學反應過程, 並找出對 DMS 濃度變化影響最大的化學因子。第六部分探討 DMS 對大氣中最重要的影響—氣體核化 (Gas-to-Particle) 過程。第七部分將利用最簡單的概念模式來描述海洋性大氣的硫循環過程。最後會簡述 DMS 對氣候上的影響, 並總結 DMS 對大氣的貢獻。

關鍵字：二甲硫、DMS

(2002 年 08 月 12 日收稿；2002 年 08 月 15 日完稿)

一、前言

二甲硫 (Dimethyl Sulfide, DMS), 原先只是大氣中硫化物的來源之一, 但是自從 Lovelock et al.(1972) 在一次由烏拉圭至倫敦的實驗航程之中, 由廣大且無人為污染的大西洋洋面上收集到 DMS 的樣本, 並推估這種硫化物是由生物所產生 (biogenic sulfur species), 之後 DMS 的問題就開始被重視。相關的研究實驗一直在進行中, 到最近幾年還有新的觀測結果發表。似乎 DMS 在大氣中扮演著十分重要的角色, 如此一來瞭解 DMS 的相關資訊似乎在大氣研究上是必須且重要的。所以這篇文章將針對 DMS 做一資料的整理與介紹, 並將探討 DMS 在大氣中扮演的角色。

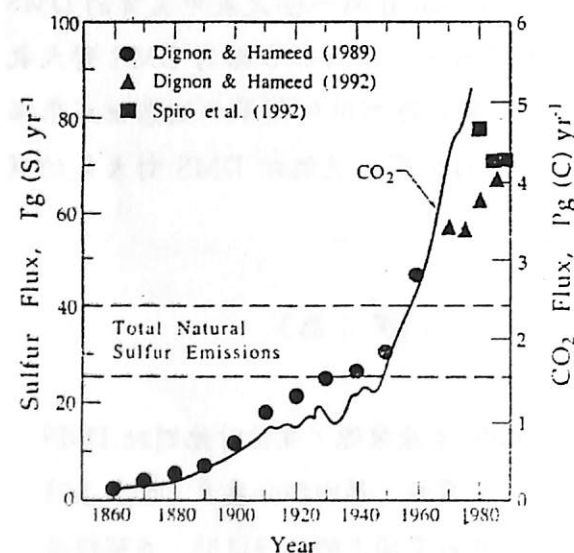
本文將分為幾個部分介紹 DMS 的相關訊息。第二部分將介紹 DMS 的基本資料, 並解釋為何 DMS 會如此被重視。第三部分

說明 DMS 生產來源, 並估計他們對 DMS 濃度所做的貢獻。第四部分展示 DMS 在時間上的變化與空間上的分佈情形, 並解釋造成這些變化的理由為何。第五部分介紹一些大氣中主要的 DMS 學反應過程, 並找出對 DMS 濃度變化影響最大的化學因子。第六部分探討 DMS 對大氣中最重要的影響—氣體核化 (Gas-to-Particle) 過程。第七部分將說明最簡單的概念式海洋性大氣硫循環過程。最後會簡述 DMS 對氣候上的影響, 並總結 DMS 對大氣的貢獻。

二、DMS 基本資料

在說明 DMS 的詳細化學資料之前, 先要瞭解為什麼 DMS 這個問題會受重視。圖一為全球大氣二氧化硫 (SO₂) 及二氧化碳 (CO₂) 排放量之歷史紀錄, 由圖中我們可以發現自人類工業革命以來, 大氣中硫化物

的含量就一直在增加。這個現象起初並沒有受到太大的重視，因為自然環境中就有硫化物的產生（如 DMS 等），而所產生的硫化物也會排放到大氣之中，所以硫化物排放量一直增加，增加速率到了 1940 年之後更為快速。一直到了 1960 年左右人為的硫化物排放量已經超越了自然的硫化物排放量，所已有許多人開始關心大氣中硫化物排放的問題，並做了許多觀測的工作。



圖一 自 1860 年後全球大氣二氧化硫 (SO₂) 及二氧化碳 (CO₂) 排放量之之歷史紀錄【Source: Seinfeld and Pandis(1998)】

Lovelock et al.(1972)由一系列的觀測資料中發現其實大氣中硫化物的主要來源並不是只有人為的排放，自然環境所產生的硫化物量也十分驚人，依照 Lovelock 所估計出來 DMS 的排放量幾乎就是人為排放量的一半。所以大家開始關心起這個由自然生物所排放出的硫化物，至於 Lovelock 所測量到的 DMS 排放量是否正確我們之後會有較清楚的比較與說明，在此我們並不多加討論。在這裡只是強調三個重點：

- 1.DMS 是生物源的硫化物
- 2.DMS 產生的位置是人為活動較少的

區域

3.DMS 有相當的排放量

表一是 DMS 的基本資料，包括 DMS 的化學性質與觀測到大氣中 sulfur gases 的混和比。

◇Dimethyl Sulfide (DMS)
Formula: CH ₃ SCH ₃
Oxidation State: -2
Chemical Structure: CH ₃ —S—CH ₃
Usual Atmospheric State: GAS
◇Observed mixing ratios of Atmospheric Sulfur gases: (ppt)
Marine surface layer: 80-100
Continental surface layer: 8-60
Free troposphere (2-5 km): 1.5-15

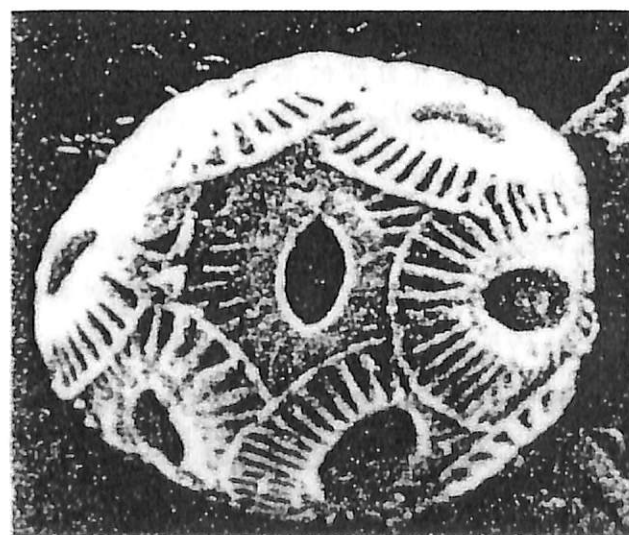
表一 DMS 的基本資料【Source: Seinfeld and Pandis (1998)】

DMS 在大氣中是以氣態存在的，這種性質有助於 DMS 在大氣中進行化學反應與產生氣體擴散過程，而這兩種過程將影響之後 DMS 在大氣硫循環所扮演的角色。而且也因為 DMS 在大氣中通常是以氣態存在，所以我們才需要特別討論 Gas-to-Particle 的過程。

三、DMS 的生產源

在前一節中曾經提過 DMS 是一種生物源的硫化物，所以他的生產源就是自然界的生物。這些生物種類很多，依照他們棲息生長環境的不同，大致可以分為海洋性與陸生性兩大類。接下來介紹四種主要的 DMS 生產源生物，分別是浮游植物 (Phytoplankton)，浮游動物 (Zooplankton)、陸生植物 (Terrestrial plants) 與土壤中的微生物 (Microbial population)。

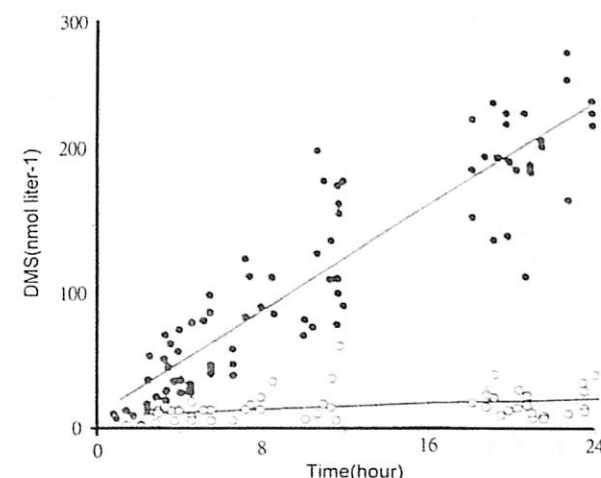
海洋中的浮游植物 (Phytoplankton) 在 Lovelock et al.(1972)的文章中就被認為是十分重要的 DMS 生產源，這一點在觀測中十分明顯的被表現出來。如圖七所示，在觀測中葉綠素 (Chlorophyll) 的濃度與 DMS 的含量成很好的正相關，而葉綠素的濃度可以是為海水中浮游植物的數量。但是再仔細的分析葉綠素與 DMS 含量之間的關係，我們可以發現並非葉綠素濃度最高的地方就是 DMS 含量最高的地方。這是因為並非所有的浮游植物都可以是放 DMS，而只有一些特別的種類可以。根據他們採樣的結果以黃金藻類 (Chrysophyta, Golden Algae) 所排放的 DMS 量較其他藻類要高，圖二是球菌藻 (Coccolithophorids) 就是屬於黃金藻類的一種，這類藻類的 DMS 排放量較一般藻類要多。這些浮游植物透過本身的新陳代謝與老化過程產生 DMS 並釋放出來，所以並不一定要有浮游植物死亡才会有 DMS 的出現。但是死亡的浮游植物殘骸所釋放出來的 DMS 量還是比較多。



圖二 球菌藻 (Coccolithophorids) 之遺骸，圖中看似瓶蓋的東西為骨板，骨板的數量隨種類的不同而有所改變【Source: 徐之平海

洋地質學講義】

海洋中除了浮游植物會產生 DMS 外，浮游動物 (Zooplankton) 對 DMS 的排放量也有很重要的影響。Dacey and Wakeham(1986)針對只有浮游植物存在的樣本做比較，發現同時有浮游植物與浮游動物存在的樣本中所產生的 DMS 排放量比只有浮游植物存在的樣本高很多，如圖三所示。而這是因為浮游動物會吃浮游植物，而透過消化及排泄的過程 DMS 就會被產生及釋放。所以同時有浮游植物與浮游動物存在的樣本在經過一段時間後 DMS 的含量會必較高。

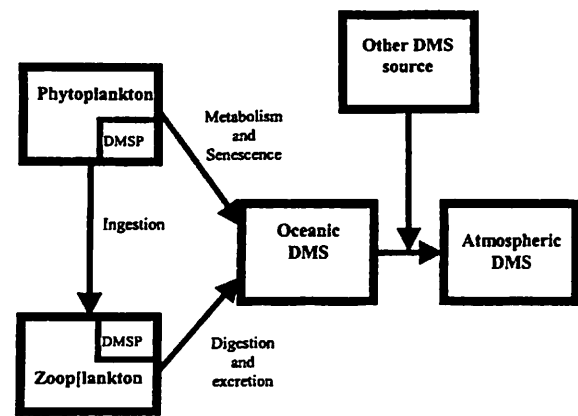


圖三 DMS 含量隨時間之變化；●為同時有浮游植物與浮游動物存在的樣本，○為之有浮游植物的樣本【Source: Dacey and Wakeham(1986)】

除了海洋中的浮游生物會產生 DMS 之外，陸生植物 (Terrestrial plants) 也會釋放出 DMS，就像是橡樹 (Oak)、棉花 (Cotton)、赤松 (Spruce) 與松樹 (Pine tree) 等。這協物的葉片會釋放出 DMS 不過量很少，反倒是這些植物的落葉腐敗時所釋放的 DMS 量較多，大概是尚未落葉前的 10~100 倍。而

土壤中的微生物 (Microbial population) 也會排放出 DMS, 但是量相較於海洋性浮游植物的排放量還是較少。

綜合上述關於 DMS 生產源的說明, 可以繪出如圖四的示意圖。主要的 DMS 生產源為海洋性的浮游生物, 而其他的 DMS 生產源因為生產量實在太少, 所以在計算時其實是可被忽略的。



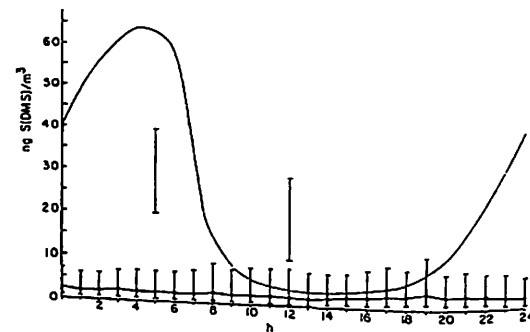
圖四 DMS 生產源示意圖【Source: Dacey and Wakeham (1986)】

四、DMS 的時間變化與空間分佈

在前言中就已經說過自從 DMS 被注意到之後, 就進行了許多的觀察實驗去測量 DMS 的濃度。在這些觀測資料中發現一個現象, 那就是 DMS 的分佈其實並不均勻, DMS 在時間與空間上都有變化, 這和大氣中其他氣體均勻分佈的特性並不相同。將這些資料整理分析後可以發現 DMS 濃度在時間上有日變化與季節變化 (Diurnal and seasonal variations), 而在空間上則隨深度與地區的不同而有不同的 DMS 濃度。

DMS 的日變化其實很早就被發現, 但是起初因為不瞭解 DMS 釋放的機制與測量方式不正確, 所以有部分的資料並無法顯示出明顯的日變化。如圖五所示, 細線是直接測量大氣 DMS 濃度的資料, 可以看出 DMS 的濃度有明顯的日夜變化; 而較粗的線則是

測量表層海水中 DMS 濃度所得的資料, 可以發現其實 DMS 濃度並沒有日夜變化; 而這樣的結果在之後的觀測中也被證實。由圖五中可以發現 DMS 濃度在日出後就急速下降, 最低值出現在太陽最強的中午時間; 而在太陽下山之後 DMS 濃度又開始累積, 最高值出現在凌晨日出之前。

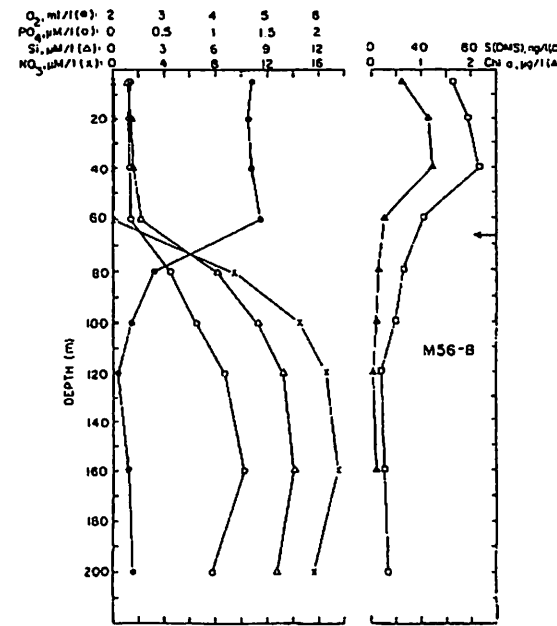


圖五 DMS 濃度之日變化; 細線為大氣中 DMS 濃度隨時間變化, 粗線為海洋表層 DMS 濃度隨時間變化【Source: Barnar et al.(1982)】

其實解釋大氣中 DMS 濃度變化的情形很容易, 因為在下一節討論 DMS 主要的化學反應時就可以知道 DMS 最主要的氧化物質就是 OH, 而 OH 的生產源為光化反應, 所以 OH 濃度在日間較高, 而夜晚幾乎沒有 OH 的形成。因此我們可以推斷 DMS 濃度的日變化受控於大氣中 OH 濃度的變化, 而 OH 濃度的變化會使 DMS 產生不同效率的氧化。至於 DMS 濃度的季節變化推論是和浮游生物的生長情形有關係, 而決定性的因素為日照量的多寡。關於 DMS 濃度的季節變化部分, 如果想更深入的瞭解可以參考 Turner and Liss(1985)的文章。

在海水中的 DMS 濃度和海水的深度有很大的關係, 其實最主要的因素還是浮游生物能否生存而釋放出 DMS。由圖六中我們可以看到 DMS 的垂直分佈趨勢與葉綠素濃度

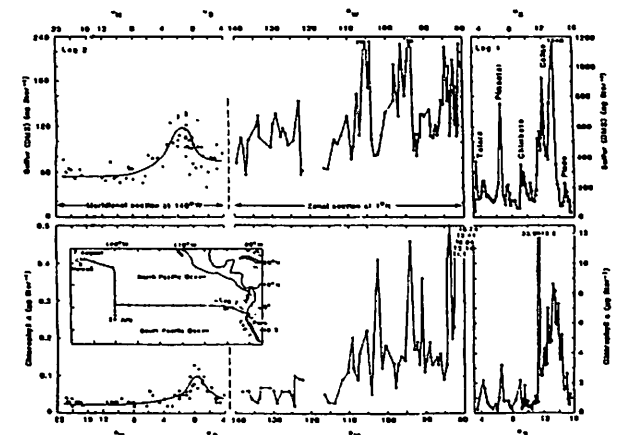
隨身度變化的趨勢相符, 葉綠素濃度會隨太陽光的透射率有關。當太陽光透射率降到 1% 以下時, 葉綠素大幅減少幾乎為零, 同時 DMS 的濃度也大幅減少, 但是要到較深的深度值才會趨近逾齡, 這是因為浮游動物與浮游植物的死亡也會釋放 DMS 的緣故。由圖六中還可以發現一個現象, 那就是 DMS 濃度最高的地方並非太陽光最強的海水表面, 濃度的極大值反而出現在距海表面大約 40 公尺身的地方。這是因為海水表面的混和作用所導致的 DMS 釋放到大氣中或是將大氣中的 OH 氣體混入海水中而使 DMS 氧化所致。



圖六 海水中 DMS 濃度隨深度之變化; ▲為葉綠素濃度, ○為 DMS 濃度【Source: Barnar et al.(1982)】

其實 DMS 在空間上的分佈變化最明顯的並不是隨深度的改變, 而是在水平空間上的分佈不均勻。圖七是 Andreae and Raemodonck (1983) 在 1982 年 7 月 22 日至 7 月 7 日, 一次由秘魯外海到夏威夷的研究實驗航程中, 所觀測到的 DMS 濃度和葉綠素

含量在水平空間中的分佈情況。就像前一節所說的一樣, 由圖中可以明顯的看出 DMS 濃度和葉綠素含量有很好的正相關; 除此之外我們也看 DMS 濃度在水平空間分佈上有極不均勻的分佈情形, 在航程的初期沿秘魯海岸航行時的 DMS 濃度要遠較航程後期在太平洋中夏威夷所測到的 DMS 濃度要高很多。而在沿岸的 DMS 濃度也不是一直維持穩定的高值, 而是在一些特殊的位置上出現 DMS 的極高值, 這些出現 DMS 濃度極值的地方稱之為『熱點 (Hot spot)』, 其水平範圍大約是直徑 50~200 公里。如果把這些熱點的地理位置特性加以統計分析, 可以發現這些位置上都是所謂『湧升流 (upwelling)』出現的地區, 因為湧升流會將身海水中的營養鹽帶到海水表面更有利於浮游生物的生長繁殖, 所以葉綠素含量會上升, 連帶的使 DMS 濃度也增加。但是這次航程中湧升流最強的區域並不是出現在 DMS 濃度最高的地方, 反倒是出現在航程最南段 DMS 濃度相對並不高的位置上, 這是因為此地的湧升流太過強烈, 使海水溫度下降太多使浮游生物的活動力減少 DMS 濃度也相對的較少。



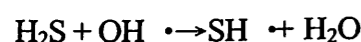
圖七 DMS 濃度與葉綠素含量水平空間分布, 上圖為 DMS 濃度, 注意 Leg1 與 Leg2 中 DMS 濃度的縱座標並不相同; 下圖為葉綠素含量的分布, 同樣的 Leg1 與 Leg2 中的

縱座標並不相同；左下方之小圖為航程示意圖【Source：Andreae and Raemdonk(1983)】

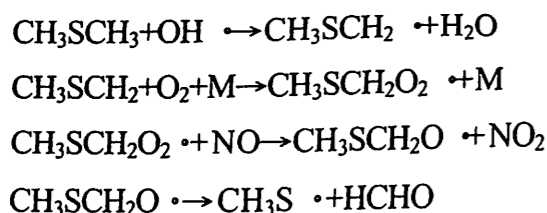
五、大氣中主要 DMS 化學反應

在之前兩節中我們曾經提及 DMS 濃度的分佈情況會受到大氣中的化學反應過程而影響，在下一節我們討論 Gas-to-particle 過程時，直接參與反應的並不是 DMS，而是其經過一系列化學反應後的產物 H₂SO₄。所以在這一個部分中將說明一些主要的 DMS 化學反應，並找出影響 DMS 濃度與之後 Gas-to-particle 過程效率的主要化學因子。

大氣中最為強大的清潔劑羥基 (hydroxyl radical, OH) 是 DMS 氧化過程的最關鍵化學因子。在 DMS 的氧化過程中，無論是去捕獲一個 OH 形成 DMSO₂ (Dimethyl sulfone) 或 MSA (Methane sulfonic acid)；或是和 OH 反應而脫出一個 H，最後形 H₂SO₄ 或 MSA；一開始都需要有 OH 參與反應。其實 OH 為大氣中硫化物反應源的觀點比 DMS 還早被確認，因為當大家還不清楚 DMS 在大氣中會扮演何種角色之前大家一直以為大氣中硫化物來源全都是由 H₂S 所產生，而 HS 氧化過程中 OH 就是最重要的物質。H₂S 被 OH 氧化反應的化學方程式如下：

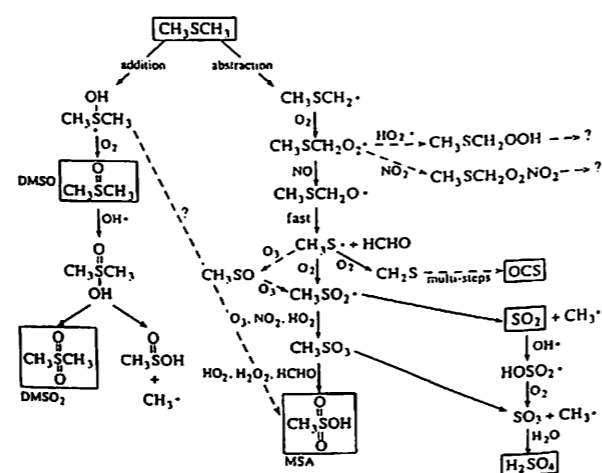


而 DMS 被 OH 氧化的化學反應式部分如下：



由上面四條化學式中我們就可以得到一個概念，那就是 DMS 氧化反應中最重要的幾個化學物質分別是 OH、Ox 與 NOx。這三

個化學物質的濃度將主導 DMS 氧化成 H₂SO₄ 的反應速率。完整的 DMS 氧化過程如圖八所示，其過程可分為捕獲一個 OH 或脫出一個 H 兩種，最終的產物為 DMSO₂、H₂SO₄ 與 MSA。



圖八 大氣中主要 DMS 之化學反應過程【Source：Seinfeld and Pandis(1998)】

知道大氣中主要的化學反應為何之後，比較重要的是大氣中 DMS 等硫化物的濃度變化為何。大氣中 DMS 濃度隨時間的變化可以寫成下面這種形式：

$$\frac{d(SO_2)_g}{dt} = F_{DMS} - k_{DMS}(OH)_s(DMS)_s$$

右手邊第一項是大氣中 DMS 的源 (Source)，物理意義是進入大氣 DMS 通量 (DMS flux)；第二項代表大氣中 DMS 的匯 (Sink)，物理意義是 DMS 和 OH 反應的速率，k_{DMS} 為 DMS 氧化的反應常數。這表示大氣中 DMS 濃度的變化十分單純，只需要考慮進入大氣的 DMS 通量和 DMS 被 OH 氧化的速率即可，其他物理化學過程其實並會影響大氣中 DSM 的濃度。

DMS 和 OH 反應後所形成的硫化物，並

不是我們所期待的 H₂SO₄ 而是 SO₂。而 SO₂ 的濃度隨時間的變化可以表示如下：

$$\begin{aligned} \frac{d(SO_2)_g}{dt} &= y_{so_2} k_{DMS}(OH)_g(DMS)_g \\ &\quad - K_{dep}^{SO_2}(SO_2)_g - k_{SO_2}(OH)_g(SO_2)_g \\ &\quad - R_{aeros} - R_{clud}^{SO_2} \end{aligned}$$

右手邊第一項是由 DMS 氧化成 SO₂ 的速率；第二項為 SO₂ 沉降 (deposition) 效應，K_{dep}^{SO₂} 為沉降速率常數；第三項是 SO₂ 被 OH 氧化的速率；第四項為氣懸膠 (aerosols) 吸附 SO₂ 的量；最後一項為雲滴 (cloud drop) 吸附 SO₂ 的量。所以說當 DMS 氧化成 SO₂ 後，其濃度隨時間的變化就必須考慮大氣當時的粒子濃度會對的移除速率有很大的影響。

SO₂ 和 OH 再次反應後就會形成 H₂SO₄，其濃度隨時間的變化可以表示如下：

$$\begin{aligned} \frac{d(H_2SO_4)_g}{dt} &= k_{SO_2}(OH)_g(SO_2)_g - L_{nucl} \\ &\quad - (K_{mt}^1 N_1 + K_{mt}^2 N_2)(H_2SO_4)_g \\ &\quad - K_{dep}^{H_2SO_4}(H_2SO_4)_g - R_{clud}^{H_2SO_4} \end{aligned}$$

右手邊第一項是由 SO₂ 氧化成 H₂SO₄ 的速率；第二項為核化過程消耗的 SO₂；第三項是 H₂SO₄ 吸附在不同粒子上的量；第四項是 H₂SO₄ 的沉降效應。K_{dep}^{H₂SO₄} 為沉降速率常數；最後一項為雲滴 (cloud drop) 吸附 SO₂ 的量。在下一章中我們會知道 H₂SO₄ 是異質和化最重要的物質，而其濃度隨時間的變化就變的十分複雜，需考慮的因素除了粒子濃度外，粒子的性質與核化過程也必須一併考慮。

六、Gas-to-Particle 過程

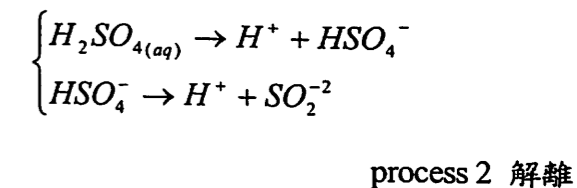
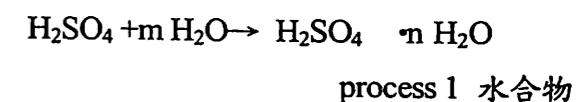
DMS 對大氣最大的貢獻就是他氧化後的產物 H₂SO₄ 會加速粒子的核化速率，使大氣中粒子數增加進而影響其他大氣現象。而這個過程簡單的說就是所謂的異質核化過程 (Heterogeneous Nucleation)。

其實所謂的核化過程就是要突破核化的能量障礙，而依溶質特性的不同與濃度的不同，其能量障礙也不同。我們假設有兩種物質的系統，其能量障礙可以寫成下面的形式：

$$\begin{aligned} \Delta G_T &= N_A(G_{wA} - G_{vA}) + N_B(G_{wB} - G_{vB}) + 4\pi r^2 \sigma \\ \Delta G_T &= G_{wi} - G_{vi} = -RT \ln \frac{P_i}{P_{sol,i}} \end{aligned}$$

P_{sol,i} 為溶液之飽和蒸汽壓，因為溶質效應所以溶液之飽和蒸汽壓比純質之飽和蒸汽壓要小，所以釋放出的能量會比純質時大。

我們就用 binary nucleation in the H₂SO₄-H₂O system 為例，來看異質核化的過程：



◆Process1

形成水合物，使溶液由雙組份變成多組份，降低 energy gap

◆Process2

HSO₄⁻ & SO₄²⁻ 會增加溶液的表面張力 (分子排列方式)，增加 energygap；但同時解離過程使溶液由雙組份變成多組份，降低 energy gap

⇒ 整體效應以溶液由雙組份變成多組份

所產生的降低 energy gap 效果較強

由此可見DMS氧化後形成的H₂SO₄可以使核化的能量障礙降低，而使核化速率增加，進而使大氣中粒子數量增加。這些物理化學過程，就是所謂的DMS Gas-to-Particle過程。

由上面的說明可已有一個大約的概念，那就是如果系統中有H₂SO₄有助於核化過程的發生。所以可以找出一個關係式來表示H₂SO₄對核化速率的影響，關係式如下：

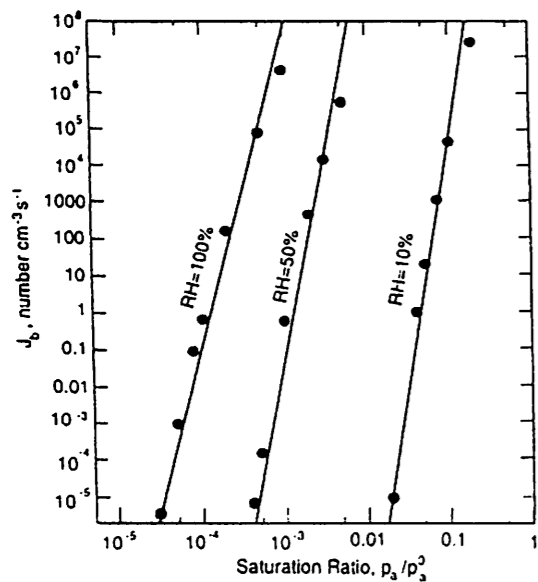
$$J_b = \alpha S^\beta$$

J_b : the nucleation rate(cm-3S-1)

S : the saturation ratio of H₂SO₄ vapor

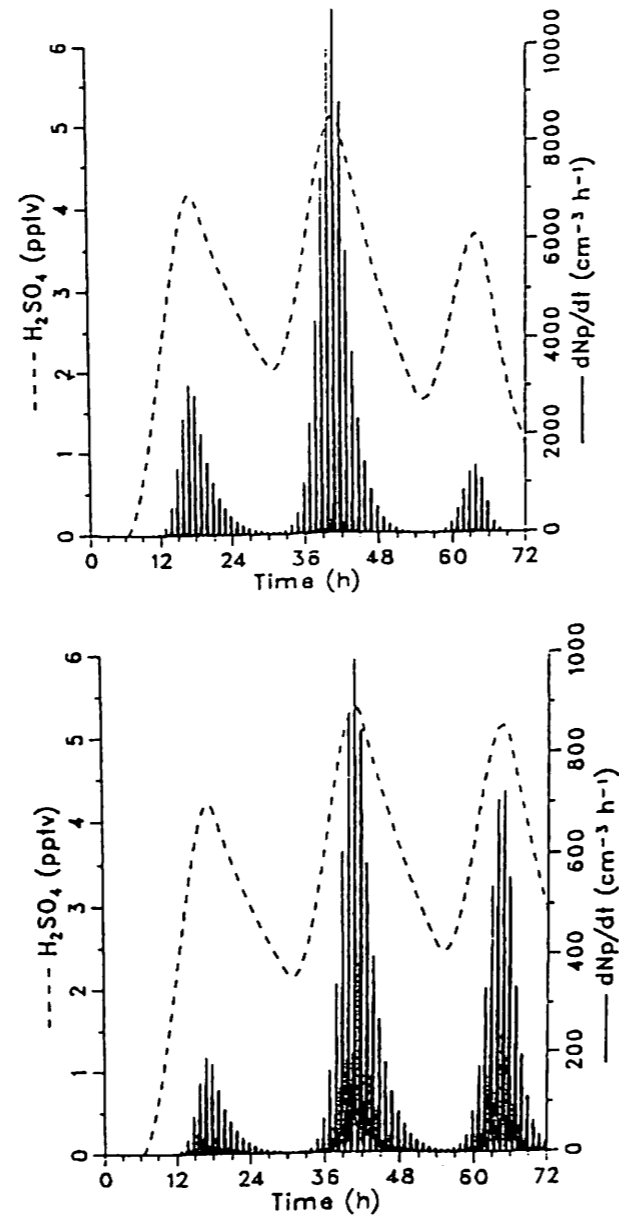
α & β : empirical parameters that depend strongly on relative humidity and weakly on temperature

而圖九就是利用上式計算出來在不同H₂SO₄濃度與相對濕度下的核化速率，可以看出在H₂SO₄濃度較高的情形下相對濕度並不需要達到100%，也就是說即使在大氣為飽和狀態下核化過程也可以進行。



圖九 不同 H₂SO₄ 濃度與相對濕度下的核化速率【Source: Easter and Peters(1994)】

其實核化速率除了受 H₂SO₄ 濃度與相對濕度的影響之外，溫度也會影響核化速率。圖十就是對不同溫度下的核化速率作的實驗，由實驗中可以看出核化速率對溫度的敏感度並不像相對濕度那樣強，必須經過兩天之後在第三天中才有明顯的不同。

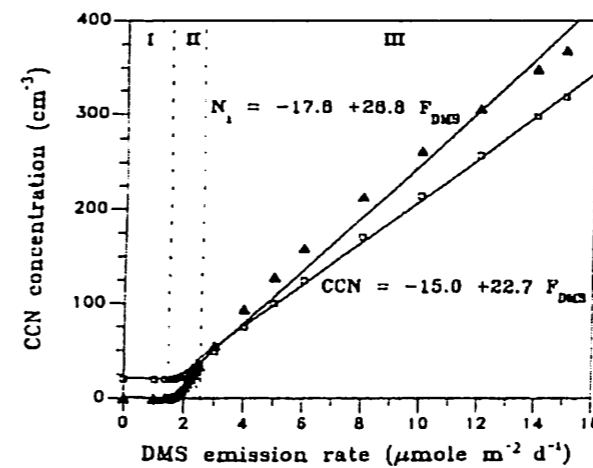


圖十 不同溫度下的核化速率，相對濕度為常數。上圖為溫度正負 2°C 之實驗，下圖為溫度正負 1°C 之實驗【Source: Easter and Peters (1994)】

在這一節的最後，利用圖十一總結一下

DMS 對大氣中粒子數的影響。圖十一是將DMS的釋放速率與CCN濃度的關係繪出，由圖中可以清楚的發現隨著DMS釋放速率的不同，和CCN濃度之關係也不同。依照兩者之間的關係，可以分為三個部分。

- 1.DMS 釋放速率低於 1.3(μ mole m-2 d-1)，DMS 的釋放量太低，所釋放出的DMS 定不會影響核化速率，CCN 濃度也沒有變化。
- 2.DMS 釋放速率介於 1.3~2.5(μ mole m-2 d-1)，DMS 濃度較高已經足以影響核化速率，所以和CCN濃度有正相關，但是並沒有良好的線性關係，且效果並不明顯。
- 3.DMS 釋放速率高於 2.5(μ mole m-2 d-1)，DMS 釋放率和CCN濃度有良好的線性關係。由此可知若想要CCN濃度有明顯的變化，則DMS的釋放率就必須要高於2.5(μ mole m-2 d-1)以上，太低的DMS釋放率對核化效率的影響並不明顯。



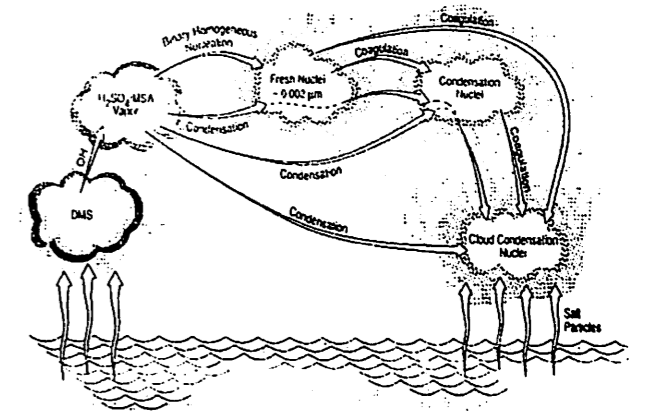
圖十一 DMS 的釋放速率與 CCN 濃度，▲核模(nuclei mode)，○累積模(accumulation mode)【Source: Pandis et al.(1994)】

七、海洋性大氣主要硫循環過程

(DMS 反應過程)

我們可以利用兩張示意圖說明海洋性大氣硫化物(以DMS為主要觀點)的循環過程。在這兩張圖中多少都有一些問題會使整個循環過程不夠周密，但是大部分的過程在圖中都會描述出來，所以在討論時我會說明哪些地方應該做一些程度的修正，會對整個循環過程又較好的描述。

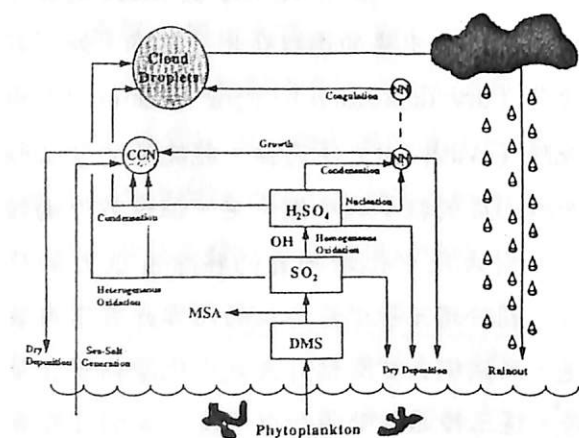
圖十二是海洋性大氣中DMS作用的示意圖。圖中的DMS源為海水對大氣的DMS通量，經過OH氧化後形成H₂SO₄或MSA。此時有H₂SO₄與MSA的匯有兩種過程同時發生，一是經過異質核化的過程形成粒子，另一種情形則是凝結吸附在已有粒子上。在這張示意圖中已經把DMS大部分的反應過程表現出來，但是在H₂SO₄與MSA的匯方面還有一些重要的過程在此被忽略，如同乾沉降(dry deposition)、雨除(Rain-out)與洗除(Wash-out)等過程。乾沉降的量必須是所形成的粒子大小做決定，但是另外兩種過程對大氣中化學物質的移除有很大的作用。關於這三種過程詳細的內容此處不再贅述，只強調在實際估計大氣中化學物質含量時，這三種過程必須加以考慮，否則可能會高估實際大氣中化學物值的含量。



圖十二 海洋性大氣中DMS作用示意圖，只

考慮氧化過程、異質核化過程與吸附凝結過程為 DMS 的匯【Source: Easter and Peters(1994)】

圖十三也是一章海洋性大氣中 DMS 作用的示意圖，這張圖比圖十二更為完整周詳。圖中將 DMS 的氧化過程作較為詳盡的表示，包括由 DMS 到 H_2SO_4 的過程，並且也有將大氣中各種化學物質的乾沈降與雨除過程納入。這張圖幾乎將所有 DMS 反應的過程都考慮到了，比較可惜的是依舊缺少了洗除的過程，而且少部分的硫化物會往高層大氣傳送，在較高層的大氣才會被氧化反應。不過整體來說這張示意圖上的各種過程已經足以用來估計大氣中 DMS 相關的反應。



圖十三 海洋性大氣中 DMS 作用示意圖，箭頭表示反應方向【Source: Pandis et al.(1994)】

八、DMS 對大氣的影響

本文最初說明了 DMS 為何被大家所重視，看起來似乎是 DMS 的排放量很驚人，對大氣中硫化物含量有很大的影響。但是隨著實際觀測技術的進步與觀測資料的累積，漸漸的發現其實 DMS 的排放量並不像最初 Lovelock 所估計的那般，會有人為硫化物排放量的一半之多。而 DMS 之所以重要也不

是在於其排放量多寡，而是在第六節中所強調的 Gas-to-Particle 過程。DMS 透過異質核化過程使大氣中的粒子數量增加，不但會直接影響大氣輻射的收支平衡，間接上對大氣中成雲降雨過程有很大的貢獻，而且一旦雲形成後對大氣輻射收支的影響會更加劇烈。而大氣輻射收支一旦被改變，整個大氣的氣候條件與環流的運作也會受到影響，詳細的過程與影響可參考其他相關的文章會有更詳細的討論。不過前面所說的效果是有部分是過於誇張的說法，DMS 所產生的影響並沒有那麼巨大足以影響全球氣候，但是對局部地方的氣候影響還是十分重要。因為在局部地區施放一些化學物質所導致的反照率 (Abedo) 增加情形會很明顯，例如如果在較淺的層積雲中使其 CCN 濃度增加，他的反照率可以由 0.5 在短短數小時間增加到 0.8，但是如果看全球平均值的話這值就不會變化如此劇烈了。

在目前的研究中 DMS 之所以還是很重要的原因，就是之前在第二節中所強調的三個重點的前兩項：

1. DMS 是生物源的硫化物。
2. DMS 產生的位置是人為活動較少的區域。

在大家一直強調地球系統概念的同時，DMS 正是一個由生物圈影響大氣圈的良好範例，而且 DMS 的作用是在人煙稀少的區域，其效果更是明顯。所以如果問 DMS 的釋放重不重要，這個問題當然是肯定的。但是並不是指 DMS 的排放量很大，大到足以影響全球的流循環或是能改變全球的氣候條件，而是在他作用的區域與他本身的角色是十分特殊且無法被取代。

九、參考文獻

徐之平 海洋地質講義

Andreae, M. O., and H. Raemdonck(1983)

Dimethylsulfide in the surface ocean and the marine atmosphere: a global view., Science,221,744-744

Barnard, W. R., M. O. Andreae, and W. E.

Watkins(1982)The flux of dimethylsulfide from the oceans to the atmosphere., J. Geophys. Res., 87, 8787-8793

Dacey, J. W., and S. G. Wakeham(1986)

Oceanic dimethylsulfide: production during zooplankton grazing on phytoplankton., Science,233,m1314-1316

Easter, R. C., and L. K. Peters(1994)Binary

homogeneous nucleation: Temperature and relative Humidity fluctuation, nonlinearity, and aspect of new particle production in the atmosphere., J. Appl. Meteorol., 33.775-784

Lovelock, J. E., R. J. Maggs, and Rasmussen, R.

A.(1972)Atmospheric dimethylsulfide and the natural sulfur cycle., Nature, 237452-453

Pandis, S. N., L. M. Russell, and J. H. Seinfeld

(1994)The relationship between DMS flux and CCN concentration in remote marine regions., J. Geophys. Res., 99,16945-16957

Turner, S. M., and P. S., Liss(1985)

Measurements of various sulfur gases in a coastal marine environment., J. Atmos. Chem., 2,233-232

Yvon, S. A., E. S. Saltzman, D. J. Cooper, T.

S> Bates, and A. M.

Thompson(1996)Atmospheric sulfur cycling tropical pacific marineboundary layer(120° S, 135° W): A comparison of field data and model results., J. Geophys. Res., 101, 6899-6909

Seinfeld, J. H., and S. N., Pandis(1998)

Atmospheric chemistry and physics , Chap.2,5,13,22

Campbell, N. A.(1996)Biology(Fourth

edition) ,Chap. 26

A Sketch of the Dimethyl Sulfide (DMS) in the Marine Atmosphere

Shih Hao Su

Weather Center, C.A.F., R.O.C.

Abstract

This paper discussed the Dimethyl Sulfide (DMS) with several sections. The first section was the introduction of DMS. The second section made descriptions of DMS, about the chemical properties of DMS and the role in the climate. The third section showed the source of the DMS. The fourth section exhibited the distribution of the DMS and the variation in time. The fifth section showed the major chemical reactions, and found the most effective chemical factor. The sixth section explained the Gas-to-particle process. The last two sections was illustrated the circulation of sulfide in the atmosphere with the simple ideal model, and expound the contribution of the DMS.