



國防科學——

氣體溶膠與降水之關係

Aerosols—Their Complex Role in Rainfall

樊滌兮譯

「氣體溶膠」或「浮游膠狀物」(Aerosols)——亦如空中任何其他小物質賜以粗略之定義——擔當大氣中複雜與常相令人困惑之角色。彼等之分佈，可謂無所不適，所孔不入，幾可進入每一大氣程序中——成雲、降水、大氣之電化、大氣之輻射平衡、及對人造污染體之反應等。其在大氣中，顯然並非永久裝置品。其生命週期——其源生，其遷徙及其返回地球表面——雖尚無滿意之追蹤調查，當其居留於大氣中時的大半，亦無法獲知其習性行誼。吾人不足為奇對目前數個大氣科學實驗室——美國的「國立大氣研究中心」(NCAR)即為其中之一——以大部份努力致力於有關氣體溶膠涉足其間之程序研究的事實。

NCAR之工作範圍，包括氣體溶膠研究之多方面姿態；總之，本討論將限於氣體溶膠之主要任務——成雲之水滴核與冰晶核及降水程序是。雖「核」之研究，多數之前鋒性之工作業已成就，然極大多數的氣象學家在形容敘述此核的知識情況時，僅足夠說明所需學習的有限知識。甚多討論在開始時就提出警告，如：「……在此計劃階段……據知……」。

極有用的污染體

如澳洲雲物理學家佛萊區(N. H. Fletcher)之簡潔敘述，水汽之成雲凝結「是一不易發生於純淨環境之程序。亦非過冷雲滴成冰晶之程序出現於該環境，而為一在「副熱帶緯度」構成「降水型態」之重要程序。二者均有助於隨此大氣的粒狀分子物之存在而出現。幸運的，(至少在這一方面)空氣呈確定性不純潔狀態。氣體溶膠之絕對數成間歇性(有時多有時少)排列。在污染的大氣中，其集中情形常見呈每立方公分之百萬數單位排列之；且即使在「清潔」空氣中亦呈千萬之情形。至少於每立方公分 100 者可謂僅有絕無。但適中者正為所需之易於造雨者；其中可能有甚多核子化氣體溶膠競相吸引降水而被抑制的可用性水蒸汽。

難以分析的小物質

在決定其生源及凝結與結冰核之詳細行為上，

一基本之困難是其存在體積的太渺小。其標準者是一其核之半徑小於 $1/10$ 微米(10^{-5} 公分)的氣體分子而其重量約 10^{-15} 克，小到難以用今日技術以行化學分析之程度，除非在極少數實質情況下。

當然，此氣體浮膠可以不同方法予以計數，所有的氣體浮膠涉及釋放分子做其核心所要做的——即釋放牠們對過飽和空氣或過冷却雲行使其機能，然後由所凝結之水滴數或所產生之冰晶數計算其集中量。進言之，吾人可用物理的化學知識和以實驗室試驗，以推論何種氣體份子將產生自然的或在一雲室中的觀測現象。就此二點出發，吾人即可達成此至少限度的試驗性質之結論。此結論即前述凝結及結冰核之生源與性質者。然而，在實際之執行上，其程序却極冗長，複雜且時屆1965年仍極不完全。

太多或恰好

凝結核之分子研究(結冰核與此差別甚大)，業已由英國物理學家安肯氏(John Aitken)認真開始，彼於1880年代曾設計一計量此種分子之工具，並使其受制於百分之數百的過飽和水汽之下。安肯核子數(此種核子之賜名，其核之規範為其半徑小於 $1/10$ 之微米之體積者)業經證明對氣體溶膠之傳播，大氣電能之傳導性及其他方面之研究甚具價值。但在真實雲型程序研究中，安肯數僅具邊界值。其原因為：形成水滴之雲區將有一少於百分之一或二的平均過飽和數；多數的安肯核在此值過飽和區呈不活躍狀態。似此，則需計算雲核——那就是，核在大氣中係以不同方式擔任着活躍的角色。此種方法於1950年代曾由瑞士的雲物理學家衛蘭氏(Walter Wieland)，在擴散室內建立一可控制的適中過飽和度。至雲核為降水物理之重要程序，則為1952年由派區克廣場(Patrick Squires)(後為澳洲之國家科學及工業組織，而現為美國立大氣研究中心之幕僚組織之一)所建議。經廣場 Sean Twomey(後與國家科學及工業組織結合，現與美海軍研究實驗室結合)及其他單位之工作，現已顯然變為雲核以宰制因素之姿態在一固定區域集中，以決定雲之微結構及其造雨之繼起能力。

大陸雲每立方公分可能包含有1000粒水滴，而其平均水滴之直徑僅約5—10微米。海洋雲每立方公分竟少至僅容10滴水，但却多數有50微米之直徑。因最小體積的水滴係以一公分（1,000微米）的1/10或更小之序列從雲中降落，故構成大陸雲之雨滴容量需達百萬滴或以上；但大型的海洋水滴却只



需不足一萬滴。在大陸雲中結合雨滴之工作較海洋雲者至為艱巨；如甚多內陸農夫所見者，當“乾雷雨”以隆隆之聲從頭頂掠過然後即行消散，其程序常完全失敗。雲的微結構之不同的主要原因，顯為陸上之雲核的集中較海上者為厚，而全在競相捕捉可用之濕氣。（參見圖一）



圖一 雲滴（圖中白色者）印跡之顯微照相放大圖。

（左圖）係飛機攝自阿里桑州旗杖（Flagstaff）上空之積雲中，其水滴量為每立方公分925滴，平均直徑7微米。（其中之氣體溶膠“雨核”清晰可見）
（右圖）係攝於去秋颶風達拉之眼壁中，水滴集中量為每立方公分12滴，平均直徑50微米。分析比較：二者之水滴含量比為360：1，颶風中者之水滴較大，部份由於海洋氣團之雲核稀少所致。

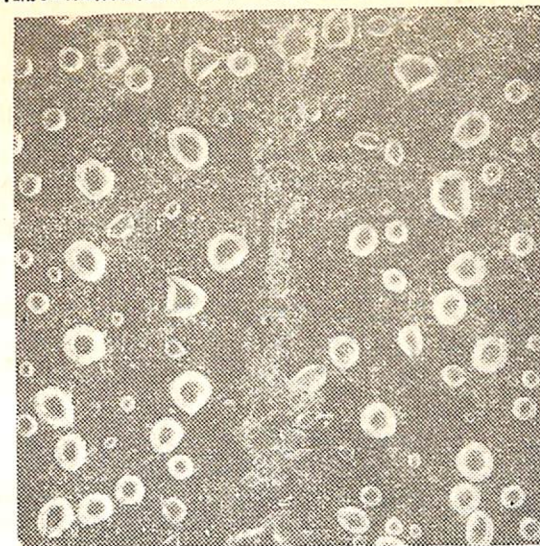
地球之鹽份

雲核之一般本性業已健全成立多年——其活動成分是數種易溶性鹽。其“大”及“巨”型者之化學分析，較著者已由德國梅因茲大學（The University of Mainz）的耶吉（Christian A. Junge）（其著名的氣體溶膠研究著作已名聞遐邇）及夏威夷大學之伍德卡（A. H. Woodcock）共同完成。耶氏發現大型質點者（0.1—1微米之半徑者）具有優勢的鉍化硫酸鹽，而巨型者（半徑超過1微米）主為氯化鈉，此可能主因屬於海洋家系之故。但甚多之安肯型核子的家系與混合物，因體積太小難於分析，而雲核之主要構成分子，至少大陸上空者如此是一令人困惑的秘密。一個試驗性的主要來源已由 Twomey 指出，其實驗室試驗暗示，鹽層

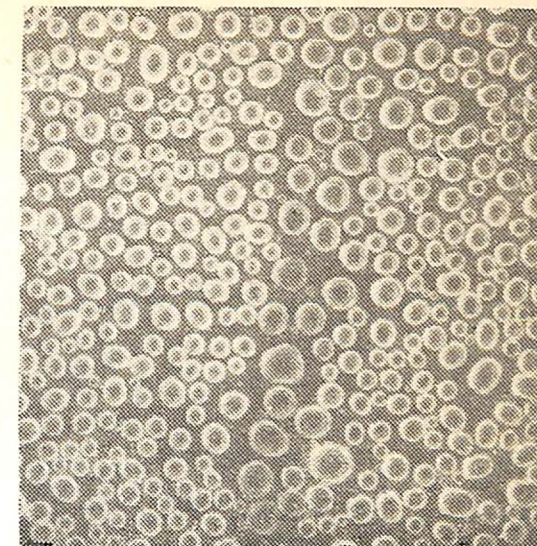
固着於土壤及沙礫質點，一被加熱即釋放出大量雲核。Twomey 的實驗室試驗尚未完全解釋所測得之大陸氣團雲核（即每立方公分1,000者）之集中量，但其程序却極顯明由爆炸的氣泡所產生之海鹽遠不及所產之雲核豐饒，而氣泡的爆炸主可製成巨型核——總量中之微量。燃燒氧化及人造污染物已確定其量甚微，除非在人煙輻輳的通都大邑區可能例外。在其他僚屬機構中，美國立大氣研究中心之廣場，目前正着手一項空中及地面為基地的雲核計算計劃，以嘗試不同表面所產生雲核之評估。

Twomey亦建議謂核可能因有機物之蒸發而含毒，例如：從蔬菜中滲出之松節油精。由皓埃茲（Alexander Goetz，彼從事加省理工學院及美國立大氣研究中心之聯合派職工作）於1964年1—2月份

在「第四屆黃石野外研究探測」期所從事之從雪面所捕捉凝結核的試驗中，亦觀測顯現出同樣的效果



。皓埃茲發現核子當用氯仿（一種無色味香的麻醉劑）將其有機物洗掉時呈現更活躍。（參見圖二）



圖二 顯微照相放大在黃石公園無擾動雪面上大氣中由皓埃茲所捕獲的粒狀分子之分析圖，以試驗其凝結核作用。二者分別表示以氯仿除去可能存在的任何有機外衣之先後圖。

（左圖）顯示凝於未處理粒狀分子上之水滴。
（右圖）顯示凝於同一物質上，以氯仿洗去後之水滴，所凝水滴較多，駐留有機外衣被從粒狀分子上除去後以至快速度而集中者。

冰型試嘗

結冰核之性質及其角色研究，在最近幾年來是一極其活躍的課目。此種情形部份乃因激於雲仔之發展，部份係着魔於大氣的水習性的離奇複雜稟性。當然，此研究之構成首先要述及白奇龍（Tor Bergeron）費德生（Walter Findeisen）及其他人於1930年代之理論性著作的發揚，彼等指出雲中之水晶在副熱帶的雨滴成長過程中擔當主要之角色；其次即為二次大戰後的蘭葛穆爾（Irving Langmuir），史凱佛（Vincent Schaefer）及佛尼格特（Bernard Vonnegut）等著作之承繼，他們認為用乾冰，碘化銀或其他物質之噴注，對過冷水滴之結冰可能以核之作用，僅能到達小的程度（鑒於天然核在高於-15°C的環境下，一般呈活躍狀）。此則人造核合理的將可能有助於雨滴之成長，然而相反的，如供以適宜溫度亦將永不能脫出雲滴階段。

如凝結核然，凍結核亦為質點，其體積多數為0.1—1微米之範圍；但不像雲核，牠們是不溶解的，且具可濕範圍——意即可允少量水通過其表面區域在薄層擴展。——廣泛種類之物質掃過地球——泥土、石英、其他礦物質及有某些有機氣體溶膠——對凍結核全部合格。其中如一普通泥土「白陶土」於溫度高達-9°C時，可為活動性成核之代用品。

就比較而言，現所一般採用的雲仔代用品——碘化銀——其活動溫度為-4°C。

愛水的點

總之，現仍爭論者為究竟什麼使物質如碘化銀者成為如此適當的雲核呢？迄今，一般仍被假設其主要之特質基本的在於一有效的成冰核，且此核之對稱水晶及其格狀寬厚度應儘可能近似於冰的本身。另一觀點近亦被着手進行，主其事者為李海大學（Lehigh University）的蘇特摩耶（Albert Zettlemoyer）及賓州州立大學的赫斯勒（C. L. Hosler），彼等認為碘化銀具有成核的素質可能更為重要。當曝光照相加熱分解時，銀及碘即分別出現，逸出之氯化碘讓喜水的銀的不純中子形成基本的恐水的碘化銀質點。此類喜水點之體積（0.0002—0.002微米）及成分（此點佔總質點之20—30%）此即可能至易使冰核附於此點上，續由通過喜水區的水晶成長予以「橋樑化」。蘇特摩耶亦曾就別種物質加以試驗，例如矽的熱處理及有同樣「恐水—喜水」（Hydrophobic-Hydrophilic）範圍比的「矽—銀」硝酸鹽混合劑，且在實驗室當溫度達-2°C時其核可見。

在核程序以此種試驗性知識處理之光明前途下，NCAR的巴龍高與羅吉（Farn parungo and

James P. Lodge) 及其他人等已由試驗各種集體有機物之成核能力而接近本問題，這類有機物之家如石炭酸，安息酸及氨基酸等。有機物對於成核與無機物之方法不同。牠們不能吸收水蒸氣於其表面並予結晶化，但却必需與先存之水滴不斷碰擊。至氣體分子釋放能量而核開始顯示其機能之溫度；屬於一特殊的有機家系或科系者之物質，其能量釋放愈高，所出現於該核之溫度亦愈高。這種試驗可能對小化學及結冰物理獲得進一步之瞭解。

有機物的另一可能核作用，亦在NCAR的巴龍高與羅森斯基 (Jon Rosinski) 之主持下進行調查中。其中數調查員，卡羅里達州立大學的葛蘭特 (Lewis O. Grant) 及澳洲國家科學與工業研組織的貝葛 (E. Keith Bigg) 業已觀測到當碘化銀雲仔之長期試驗中插入無仔期的試驗完成時，高於天然結冰的核子數在此相間期中顯出其持久性。羅森斯基與巴龍高已完成實驗室試驗，決定碘化銀的「光解」(Photolytic Decomposition) 是否會允許碘和從常綠植物跑出的蒸汽結合，以形成有高效能成核能力之碘——松節油精混合物。此一正確定識獲得後或將可解釋為何某些有關碘化銀的氣象改造試驗迄今尚無決定性結果的問題，且可能至少會影響吾人之研究態度，該態度即吾人未來之雲仔試驗係為製造滿意的意義重大的政策工具。

太空是一核源嗎？

以如此複雜的物質作凍結核的近似候用物，吾人不足驚奇於對彼等來源知識之不足，凍結核數可能森羅萬象，其數無窮，或可能為一實際的常態，如一物之永從陸地向海洋運動，或向上進入空中等。總之，人類有一經常的興趣專注於凍結核是「超地球」(Extraterrestrial) 的這一可能趨勢，其後，由國家科學及工業研究組織的鮑汶 (E. G. Bowman) 寫成闢此之非凡論文，於1953年發表，名震一時。其中穿插出現於各該年度世界各地某些定時的流星雨之反常現象。此種世界性雨之反常現象，可能是合理的，因如凍結核的撒佈於同時或多或少行之於全世界，則平均世界雨的總增加至有可能。從平流層來的核不會肇雨，該處無此自然現象，但真實或初期風暴強度之大增却可能。

一部份科學家，其中如羅森斯基即曾研究過被機械結構所引起之作用。如經證明屬實真有此種作用存在，特別是此種質點之從80—100km下達製雨層之傳遞運動之迅速程度與一致性一旦獲致，則此

問題亦隨之而決。羅森斯基假設謂，副質點當其進入大氣時，從流星質之蒸發中凝結，然後費時約六至十週降至上對流層。被史凱佛爾及貝葛及其他人根據已有決定，認為凍結核當噴射氣流掠過時，常呈驚人的增加，羅森斯基現正從事核之空中計數工作，以決定噴射氣流之位置是否有雙重關係，並記述其所可被建立的流星雨出現之時日（以適當之時間延續）。羅森斯基亦計劃蒐集一年期或再多的足夠凍結核資料，以決定流星質之是否存在。然後一正確決策即可為尋求詳細的機械結構作用（其中核能夠迅速降落通過熱而穩定的同溫層，然後對流層頂）而被蹈勵奮發，大力促成。

多面與層床疊架的研究工作

任何科學研究不可能採單線或僅祇一國式之排外姿態可促成，當然，大氣科學的肇雨成核研究亦不例外。是故針對氣體溶膠及其他有關降水問題之有增無已的大眾需要之層床疊架現象，自將無法避免。以美國的NCAR來說，其中科學家們所從事之有關研究工作約如下：

沙潼 (J. Doyme Sartor) 現正從事電場對水滴成長之機械結構研究（其作品已於1964年4月刊登於NCAR季刊）

亥岱 (George M. Hidy) 擔任大氣質點範圍分佈影響之理論研究，包括微質點之凝結。此微質點為如「布朗寧運動」(Brownian motion)——由熱震蕩所引起之「亂走」——結果之撞擊而致。

高夷爾 (Guy G. Goyer) 在調查對雲及降水程序之震波影響，為檢視氣體溶膠之集中，現正被發展為一種小技術。

雪德羅夫斯基 (Julian P. Shedlovsky)，彼主要之興趣為高空氣體溶膠樣品與微分析。但其技術可能對決定次微米型的氣體溶膠，發揮最後之助力。

牛頓 (Chester A. Newton) 及禮萊 (Douglas K. Lilly) 二人正從事雲動力學之大範圍姿態及其與其他中範圍與繪圖氣象範圍現象的研究。

此種方式不同，關係複雜的研究工作，證明降水程序及雲型大氣物理知識之需要，正醞釀顯現於時代科學之進展中。且亦證明現尚遙遠的雲物理學以超越降水程序之姿態大步向前，以有效的瞭解提出準確預報，或儘可能予以有效改造，此為今日人類所必需，亦為預報員之職責（完）

（取材於1965年1月NCAR季刊）