

美國對於放射性微塵預報之概況

Charles K. Shafer 著 殷來朝 譯



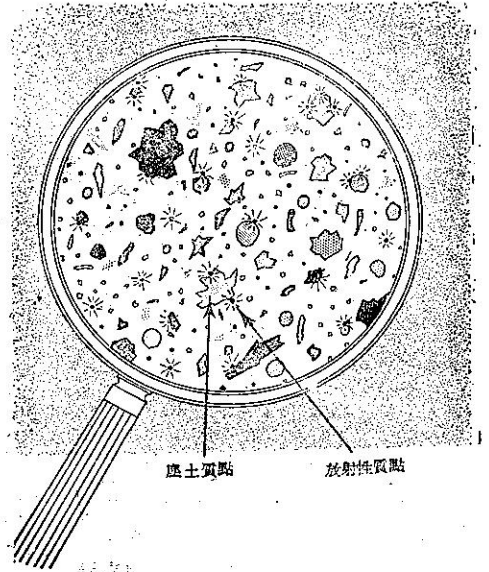
熱核子的爆炸與普通武器的爆破不同，第一是有幾百萬噸 TNT 的相當爆炸力發生於集中之一點，第二是放出核子輻射。由此種爆炸而發生的熱輻射和爆裂現象為其所放力量之大部份，而此種力量大都在數秒鐘之內即形消失。但是，核子的輻射，雖然僅佔有爆炸所放總能量的百分之十至二十，並不完全在起初幾秒鐘之內即消失。此種核子輻射係由加瑪射線 (Gamma Rays)、中子 (Neutrons)、阿發微粒 (Alpha Particles) 及貝他微粒 (Beta Particles) 所組成，我們將它分為二類：在第一分鐘之內所發生者為原始或瞬間輻射，在第一分鐘之後所發生者為殘餘輻射。

原始輻射主要包括由於分裂過程所發生之中子及強力之加瑪射線以及中子所掠取之輻射活動。殘餘輻射主要包括低能的加瑪射線及由分裂所產生之貝他微粒與由非分裂的核子爆炸物質如鈾或鏷所放射之阿發微粒。由於此等混合的分裂產物之殘餘輻射的放射性可繼續到幾年，其消滅極為緩慢。本文目的是在討論大氣中殘餘的放射性微塵之轉移，因其係受一般大氣環流之影響。

當一顆熱核子炸彈在或接近地面爆炸時，有幾百萬噸的地面物質被粉碎、溶化、蒸發，並被吸入核子雲中有時高達八萬呎。在這些氣體和固體的物質冷卻時，有許多由分裂過程所產生的極小的輻射性微粒及其他炸彈碎片，都和凝結的塵土相附着並結合在一起，塵土本身不必有輻射活動，但却携帶着極微細的放射活動的微粒返回到地面上來。第一圖係由「輻射塵與風」一書所轉載，表示地面塵土與放射體之結合，此種質點之直徑由10至450微米 (micron) 不等，受重力作用之影響，此等質點降回到地面，較大的降落得快，較小的降落得慢。「輻射塵」(Fallout) 這一名詞就是用來說明由上層空氣中降落到地面來的熱核子所產生的放射體的。

除了重力之外，降落質點在下降途中並被各層之風力所携行。根據氣體力學定律，對於中等大小的質點，一個120微米的球體質點其密度為每立方公分2.5克，約需七小時降落八萬呎之空氣高度，假若是一個60微米的質點，則需要二十二小時左右方可降落同樣之距離。因此，這些質點有許多鐘點是在風力控制之下，可能由爆炸點被帶走好幾百哩。美國原子能委員會自一九五四年三月一日起即開始報告輻射塵，在佈雷伏堡 (Castle Bravo) 之爆炸試驗，顯示會向下風延伸了二百二十哩，嚴重的染污了七千平方哩的面積，第二圖亦取自「輻射塵與風」一書，係表示各種風之組合如何影響在大氣中沉降之放射性質點的路徑。

由降落之輻射塵所發出之輻射能穿透力較之在爆炸時所發生之原始輻射為弱，不過殘餘的加瑪 (γ) 射線活動力足以深透人身組織而予以顯著之損害，而貝他 (β) 質點亦足以使皮膚受嚴重之傷害。按照聯邦民防部技術公報十九之一號內述，「全身暴露於加瑪 (γ) 射線其強度小於二十五樂琴 (Roentgens 輻射單位，為在標準溫度與氣壓下，X 或 γ 輻射使一立方公分之空氣產生一個靜電單位之正負電荷之輻射量)，過一短暫之時間，將不致有顯著的危害。在約一百樂琴 (100r) 時，有些人要作嘔作吐，但不致嚴重影響大隊人員之工作效率，如若在四百樂琴之下暴露，則有百分之五十的人要受致命傷。如若在六百樂琴以上時則全數致命。」因此，以熱核子用於作戰目的，尚另具有一種戰略的「清償」作用，其形式就是輻射微塵具有嚴重影響數百萬人民的生命與安全的潛能。



第一圖：菌狀雲之塵土與放射性質點相結合之放大情形。

早在一九五四年，聯邦民防部即接獲關於在佈雷伏堡地面爆炸的幾百萬噸炸藥力量的核子炸彈所發生輻射塵之效應，此後即請求美國氣象局決定設法作全國性的輻射塵預報，結果氣象局乃根據聯邦民防部致商務部之第三號委託函，被指定負責公佈平時與戰時的輻射塵預報並估計在敵人攻擊下輻射塵可能到達之地區——此項報告係供給聯邦、州、以及地方民防指揮部作為公佈之用。氣象局更被指定負責領導研究，以求對於輻射塵預報法之改進。

於是美國氣象局在一九五五年六月一日就開始作每日二次的全國性輻射塵預報，主要是為適應美國七十個大市民防工作之需要。此項工作利用了在美國大陸上三十二個 GMD 式雷文探空台之觀測。不過，因為攻擊軍事報復基地亦有同樣的可能，故自一九五六年二月一日起又加入此種可能遭遇之考慮將工作擴大範圍。使用美國本土五十二個雷文探空臺，在阿拉斯加的二個，及夏威夷的一個，都被應用在此項擴大之工作範圍中。

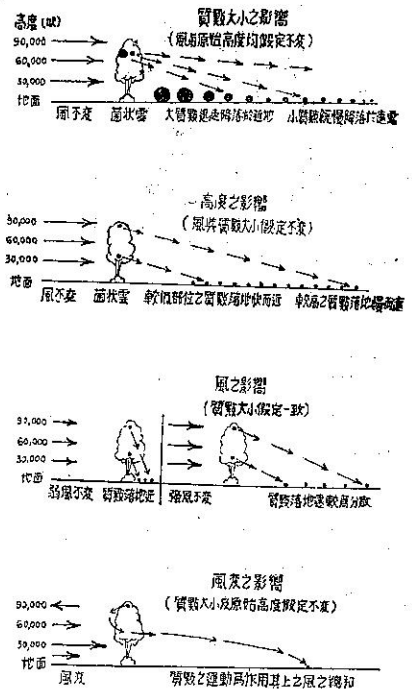
對於民防與軍事目標的基礎言，這些測報網已足敷應用。但對於那些敵方投彈差誤或敵機被我防空司令部擊落或使轉變了方向，這樣很可能在美國境內任何地區發生核子爆炸，或在沿各條可能進入的航路上發生爆炸。更因在加拿大南部地面爆炸核子炸彈，很有可能使輻射塵散佈入美國境內，故必須與加拿大政府協調合作，每天作兩次輻射塵預報之交換。其後，於一九五六年九月二十四日起，此測報網之利用已被擴大到六十八處，幾乎是全美國境內的雷文探空台在內，在加拿大南部的有八處，阿拉斯加二處，夏威夷一處。第三圖所示係北美洲大陸上之雷文探空台之分佈，此等探空台均參加每日兩次或四次工作。

此項輻射塵之散佈，並非嚴格的氣象意義上的預報，因為它們僅是將雷文探空觀測改變應用到民防方面，以方向和距離的項目表示出自彈着點開始每三小時期間熱核子塵的傳播。並不是使用大氣中各標準層上風的報告，也不假定此等風所保持之一定厚度，而是使用當時空間氣球之真確位置來表示出地面上之位置，就是輻射塵質點可能由該高度飄到之處。換言之，就是假定上升中之氣球，是代表其在上升途中各層風的淨效應總和（即向量和），其路線即描出了下降路線的鏡中倒影，其降落質點之大小則屬假想的，從此點吾人即可計算輻射塵風，此種風即可視為作用於所有全階段之大小質點的合成風，自某一指定高度以到達地面間之全程。最後，將由地面上升至觀測終點（可能時要到八萬呎高度）各層所測得的風總和起來用以表示輻射塵影響可能到達之地區，及爆炸後輻射塵粒到達之時間，因為這只是包括風之觀測與預報因素，所以輻射塵之預報可以在平時及非常時期作正常之例行預報。

氣象局在遇到實際觀測氣球沒有到達此等高度即行終止時，便利用外延法技術以推展到八萬呎高度，因為基本上相信如若氣球獲得一個最低的三萬呎紀錄而其周圍的氣流情況資料又已求得，則其觀測資料可以延伸到所需高度。根據統計，在一九五六年夏季美國的雷文探空觀測約有百分之七十五到達八萬呎高度或更高的要求——因此，正常使用外延法的場合不過百分之二十五而已。

平常在觀測沒有到達八萬呎高度時，其總平均終點高度係近於六萬呎，而外延法之最多使用只不過是上層之二萬呎大氣。不過應當注意的是當氣球實際觀測高度只要到三萬呎時，其外延法已可完成延伸到所需要的八萬呎高度。如觀測在三萬呎以下即終止了，便不發佈輻射塵預報。倘若獲得最低之三萬呎觀測而沒有到達八萬呎，則將最近一次在過去二十四小時以內的雷文探測加于現在一次的適當終點之上；倘若過去二十四小時內沒有八萬呎資料可用，則將所選定基本地區中之季節氣候資料加於終點之上。（在美國有十九區）

還有一種中間一步外延法須予以注意，就是假如觀測資料到了三萬呎但還不到四萬呎高度，可用外延法將此觀測延伸到四萬呎高度。在此等場合，是假定觀測在終點所得的風（三萬呎以上）繼續維持到四萬呎不變，然後再用最近一次觀測或季節的氣候資料加於上述方法所推得之四萬呎資料之上。此種中間步驟大多是由於噴射氣流之



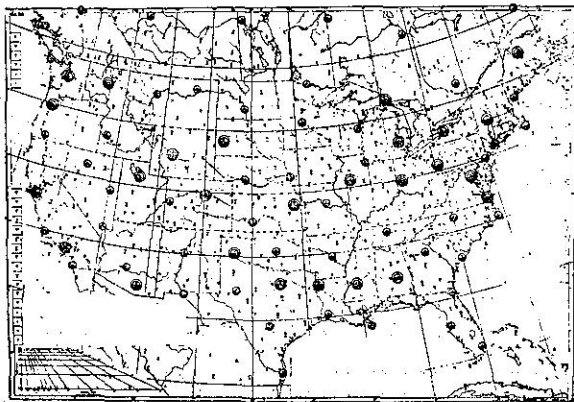
第二圖：各種質點之大小、高度、穩定風與變動風對於菌狀雲中輻射塵降落之影響。

影響而其觀測是在噴射層以下終止了（在美國噴射層高度普通在三萬五千呎至四萬呎）。此種技術在準確性上可能有問題，不過據經驗所示，如若大氣資料已測到三萬呎以上，則其淨的合成風影響是可以預報的，其誤差係在可能容許之限度以內。最近美空軍氣象勤務部高斯基博士（Dr. Adam B. Kochanski）曾著文一篇為「地面上十二萬呎內風之變率」（AWS TR 105-142），指出外延法之應用於輻射塵預報工作是很可以採取的。

很明顯的，在冬季中普通大氣環流較為活躍，氣球上所攜帶的雷文發射機被吹出雷達觀測之有限角度以外的次數常較夏季為多。結果，在冬季能到達所需要的八萬呎高度的觀測較少，所需外延法之機會較之在一九五六年夏季各月為多。嘗一九五五至五六年之冬季，用 GMD 式探空設備，在美國的雷文觀測平均高度為 75,700 呎，係使用 800 克之氣球；而 58,000 呎係使用 500 克氣球。前面用 800 克氣球者其中有 47.3% 到達八萬呎，67.4% 到達七萬呎，85.9% 到達五萬呎，用 500 克氣球者，其中有 17% 到達八萬呎，43.5% 到達七萬呎，59.7% 到達五萬呎。

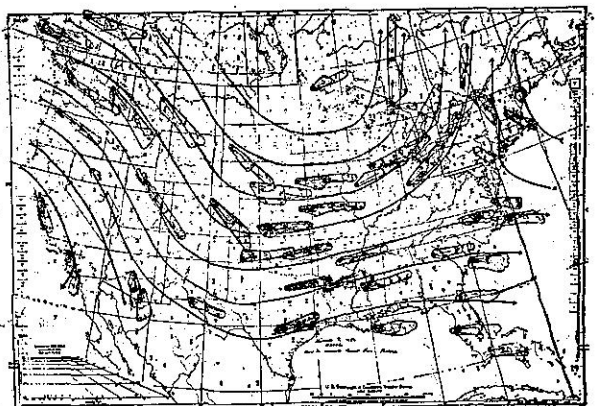
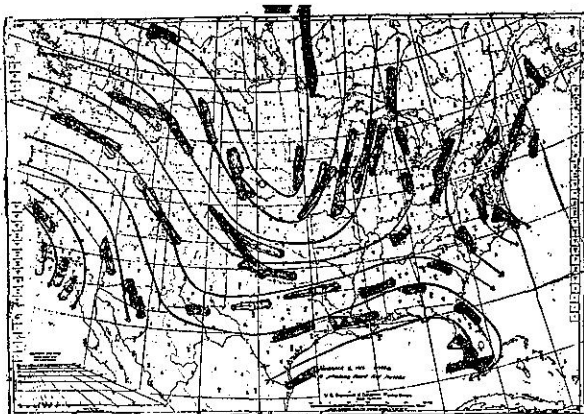
還有值得注意的是現在聯邦民防部正支持氣象局的一個計劃，以求改進現有觀測系統中所得高空風資料之確實性與最大高度，在最近之將來即可完成發展新技術，並決定實施全新的系統。

為求判斷此種預報之可靠程度，氣象局最近曾舉行一次對於其第一年所作預報的廣泛檢驗工作，檢驗其預報發佈以後六、十二、十八，及二十四小時所觀測到的風的變遷。此等檢查顯示現在每日二次預報可指出最強度之降落軸線或「熱線」之象限內有 91% 準確性；如係以每六小時發佈預報以代替十二小時，則其準確性可增進到 98% 左右。如將其面積縮小，由一個象限改至 40° 之扇形，則現在的預報有 75% 的時間能指出此較小之 40° 扇形；而且，如改為每六小時發佈預報，則其準確率可由 75% 增進到稍高于 90%。在氣象名詞來說，八萬呎總和起來的向量或「熱線」（hot line）在十二小時的間隔內有 91% 的時間仍是在正負四十五度之範圍內，在六小時的間隔內則有 98% 的時間仍是在四十五度之範圍內，為期增進此種準確率，輻射塵預報之次一發展就是擴充為每日四次預報，故自一九五七年六月一日起在美國的六十八個雷文探空台之中有二十六個台每日發佈四次輻射塵預報。這二十六個台均位於人口與工業最密集之地區，在第三圖中以雙圓圈表示之。



第三圖 製作輻射塵預報之高空探測台網，較大符號每日觀測四次，小者二次。

在一九五五年於內瓦大州（Nevada）作茶壺連鎖的野馬射擊（Türk shot of Teapot Series）試驗時其輻射塵之散佈方向與爆炸前八小時所作一次觀測者適相差一百八十度。像此種千噸炸藥級的武器在內瓦大州所試驗者，乃表示在八小時之中由地面至四萬呎之總合風向作了完全之轉變。在試驗地區的專家們於爆炸時間之前所作繼續觀測之結果已獲知此種風向之極端急轉。



第四～五圖：圖示在八萬呎高度之總合輻射塵氣流型式，向量表示預報下風之「熱線」，左圖為1956年11月6日0300GMT，右圖為遲後24小時者。

不過氣象局爲了完全明瞭此種極端的風向轉變，曾採取一個緊急計劃，以期獲得在迫近攻擊我們國家本土之當時輻射塵之預報資料。在其緊急動員計劃中，氣象局會命令所有雷達風之觀測員在遇有被攻擊之威脅時立即作高空風之特別觀測並以三個“Z”字符號發出特別輻射塵預報電碼，在全國電傳印字機上均屬優先，此種行動在危險存在時仍繼續每六小時舉行一次。因此，如警報時間在攻擊之前有九十分鐘可利用，則當時的全國性輻射塵預報之發佈不能超過一小時。

雖然此種預報已有高度可靠性指示出輻射塵所影響之面積，但須加強的是他們不能指出可能預期的輻射層高度，地區預報僅靠微塵降落所經過各層之風來決定，而強度的預測則不僅要看武器所產生之 TNT 爆炸力，而且更較重要的是武器所產生之輻射體或分裂的產物，以及風力的總和與更加複雜的事物，如遇到降水、地形阻擋等等，我們的政府無法在事先知道敵人在我們的目標地區配用何種大小之武器，我們也沒有一種迅速易行之方法來知道此種武器之清濁程度，甚至在爆炸之後亦復如是。沒有這類情報是不能作強度預報以每小時藥量（r）來表示或一個總數量來表示的。此種數量的情報只能經由輻射檢查的結果，或由有限的檢查與氣象技術的組合而獲得。

譯佈此種電碼之指示及製作輻射塵之填圖方法詳載於聯邦民防部的警報公報第一八八號及補述中。在遇到核子攻擊至本國時，民防部門應即使用此種預報以警告輻射塵可能到達之地區，及其預測到達之時間，並指導對輻射活動作更有效的監視。

爲期對民防人員提供直接之氣象諮詢與訓練，聯邦民防部會通過氣象局指派氣象專家至每一地區及總部辦公室，在戰溪（Battle Creek）之民防總部中並有全盤氣象講解業務。在其他各項工作之中，氣象專家每日並製備二次全美國由八萬呎到地面及由四萬呎到地面之合成風向量的三度動力分析。前者係指示出百萬噸級武器在地面上降落輻射塵最密集之軸線或稱「熱線」之地位，後者係指千噸級的。此種分析方式指出空間氣流瞬時的三度變化；而在總合垂直分佈風之氣流線有顯著的水平風變時，則根據單點分析法將預報予以改進。

這樣深厚的大氣層其三度分析在氣象的意義上講，在短期的時間內是很有保守性的，其槽線與脊線可以用標準的外延法作十二至二十四小時的成功預報。因此，如遇到首次攻擊之後，可利用的高空風資料可能極有限，我們仍可以使用此種時間與空間之變遷關係以供應非常時期之預報。第四圖第五圖係此種三度分析與由輻射塵預報所推定之輻射塵地區之實例。

爲協助各地民防局策定長期計劃，聯邦民防部會要求氣象局舉辦一種氣候的研究，關於美國大陸本土，及其屬地與加拿大南部所受輻射塵之可能性。結果，氣象局根據特別合同舉辦了對五十一處地方五年來之高空風資料，由地面以至八萬呎高度，作廣泛的研究，由此等風資料製成了幾乎十萬個輻射區，並以機械方法表列其遭遇之可能性，以期能適時供應所需之情報，此項研究工作業經完成正由聯邦民防部付印中。

目下正作進一步的工作，就是將第一次的研究縮小範圍，使用由七萬呎至地面的總合風力影響在六小時內的傳佈狀況，假定這是對於百萬噸級武器的淨的或總合的效應，可以決定其密集降落地區或「熱線」之所在，此種研究之結果可以指出嚴重的或密集的輻射塵降落情況之或然率。

氣象局在聯邦民防部第二組第三號委託之下並負責製備過去資料之分析，領導研究工作並發展技術與能力以促進輻射塵預報之方式。在氣象局內此項委託之責任會指定最具學力的馬起他博士（Dr. Lester Machta）爲特種計劃室主任。現在他的部屬已經訂定輻射塵預報計劃之實驗程序，以便與馬利蘭州蘇特蘭（Suitland, Maryland）地方的聯合數值天氣預報計劃中心共同使用其預報之計算方法。此項計劃係分別次序列出未來三十六小時內時間與空間之變移情形。

聯邦民防部的輻射塵預報計劃實施以來已近兩年，到目前爲止曾有三次改變。現在仍維持降落輻射塵現象各方面的研究，一俟此種研究有了結果，則輻射塵預報將作更進一步之改進。（完）

原文題目：A Survey of the Fallout Forecast Program in the United States

原文刊載：“Weatherwise” Vol. 10, No. 4, August 1957