

放射性散落物与气象

顧震潮

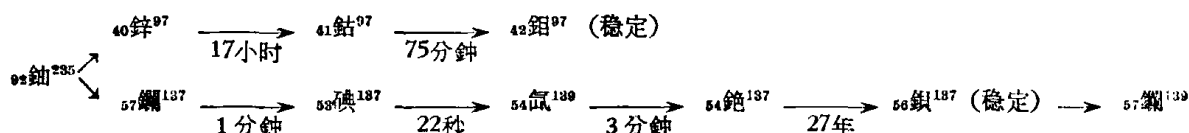
放射性散落物的性質

放射性散落物对人类的健康是有威胁的，因而在气象上对放射性散落物就作了不少研究。可以说，这方面的研究不仅是一个气象上的专题，并且已形成一個特殊的分支。

放射性散落物或者简称散落。散落就是原子弹爆炸后在空气中造成的带有放射性的灰尘。这种放射性的灰尘有的是原子核反应的放射性产物本身或逐渐蜕

变出来的东西。有的象碳¹⁴、氚，是空气中其他原先不带放射性的物质被原子核反应所造成的大量能量很大的中子撞击而成的。散落颗粒的大小常在 0.1μ 左右。

原子核反应的放射性产物形成之后有着一系列的蜕变过程，因此，它里面所含的放射性微粒是十分多样的，据说可以有 100 多种，它们从铀（原子序数 92）到铯（原子序数 55）都有。就利用铀分裂过程的原子堆来说，典型的蜕变反应之一如下（左下角是原子序数，右上角是原子量，时间是半衰期）：



当然还有许多其他方式的过程（共有 30—40 种）。每个原子弹所放出的这些多种多样的放射性灰尘一共大概有一公斤（按投在广岛的那种威力等于 2000 吨黄色炸药（TNT）的铀裂变弹而论）。但是由于原子弹爆炸时温度极高，这些物质最初是蒸气，冷却时就形成非常微小的粒子，因此总重量虽小，却是高度分散，可以随着空气的流动散在极为广阔的范围中。这些物质或者由于本身的重量，或者由于空气下沉或者由于沾在水滴尘埃上，最后迟早会下落到地面。我们就统称它为散落。

除了这种反应所放出的直接产物外，原子弹爆炸时也放出大量的高能量的中子，这些中子撞击到其他非放射性物质也会造成大量的放射性微粒。例如，对空气中所含的氢、碳等等就会使它们变成放射性的氚（氢³）和碳¹⁴。自然界中宇宙射线在空气中就经常制造着一些氚和碳¹⁴，但数量要少得多。

这些物质是十分多样的。按放射性减少到一半的时间即所谓半衰期来说，有的甚至不到一秒钟，有的却长到几十年，混合起来平均半衰期约是 25 天。其中最为持久的，因而有积累作用和长期威胁性的便是铯⁹⁰（铯⁹⁰等蜕变而来，半衰期 20 年）和铯¹³⁵（约 30 年）（当然半衰期的长短不是唯一的因素）。在原子弹爆炸后所产生的铯⁹⁰约占爆炸产物的 4—5%，看来似

乎不多，但是因为它的化学性质与钙一样，很容易被吸收到人的骨头中。

散落物混合在全球的空气里后，就使空气带有放射性。由于有镭等矿物和宇宙射线的作用，空气本身原先就有着微量的放射性。但是强度只到 10^{-10} — 10^{-9} 微居/公升。雨水中也有 10^{-7} 微居/公升。但是在有散落的时候，空气的放射性就会大到 10^{-7} 微居/公升以上，而雨水的放射性有大到 0.3—0.5 微居/公升的 [日本及美国。1952 年春美国 Nevada 州观测最强到 2.3×10^{-5} 微居/公升 (Eisenbud 等 1955)]。

散落物放射性到处传布，因此我们要研究散落物怎样在大气中分布、传布、循环。这些放射性颗粒下降到地面，地面上就带有放射性。一般地面上可以有几百个微居/（平方公里，天）那末强的放射性。如果地面是平坦而无穹大的，在室外的人员在带一个微居/平方公里放射性的地面上全身受到大约 1.5 伦琴/小时的放射剂量*，有的地方一天就有 67 伦琴。

散落物的本身原来是很小的粒子，但是由于爆炸条件的不同颗粒大小也有不同，在高空爆炸的情形下，爆炸的火球不接触到地面，地球尘土虽然也被吸上去，

* 平时只 0.001 伦琴/年。美国法定剂量不得超过每周 0.3 伦琴。R (伦琴) = $N/27 \times 10^{12}$ ，N 是每平方英尺的蜕变数目。又 1 微居/平方英里 = 4.1 伦琴/小时。

但这时放射性微粒已经在更高的高空，因此不与尘土相沾 (Kellogg 1957)，颗粒就比较细；而近地面爆炸或地上爆炸的时候，放射性微粒与大量尘土沾上，颗粒较大。颗粒的大小会影响到下降的速度。因此近地面爆炸所产生的散落大部分很快在邻近爆炸的地区下降，污染比较厉害。但是高空爆炸时也造成大量散落。

散落的不同种类

散落物可以按输送、传布、降落的情形分成三类 (Weller 1956, Libby 1956)：

第一种是早期散落，或者称做邻近散落、局地散落。这些散落一般占原子分裂物质的 70—80%。它们是较大的粒子，降落很快 (1—18 小时) [Kellogg]。降落地点也在爆炸的地点的几百公里以内。邻近散落的地区一般可以有几万平方公里。具体范围与爆炸情形及高空风向风速等有关；有不少人在研究其预报方法，但到现在还没有完全可靠的预报方法。

在近地面爆炸时，由于所生的散落物颗粒较大，邻近散落占 80% 以上，地下爆炸时邻近散落更多。

第二种是近期散落也叫做对流层散落。这些散落是爆炸时带到对流层高空中形成的。高空爆炸的原子弹所产生的散落颗粒很微小，所以对流层散落就比较多。因为它颗粒比较细，不象邻近散落那样颗粒大，所以降落到地面比较费时间一些。大约要一周到一个月左右。这些散落有一个共同特点就是下雨或有别种降水时，就很快被“洗刷”掉 (或许成为凝核，见后)，观测证明，降水“洗刷”散落物十分有效。只要二三个毫米的雨水就可非常有效地洗刷清空气中的散落物。因此降水时地面搜集到的散落特别强 (叫做雨水散落 Rainout 或降雪散落 Snowout)，有时比平时大 1000 倍，但过了一些时候马上就大为减弱了。

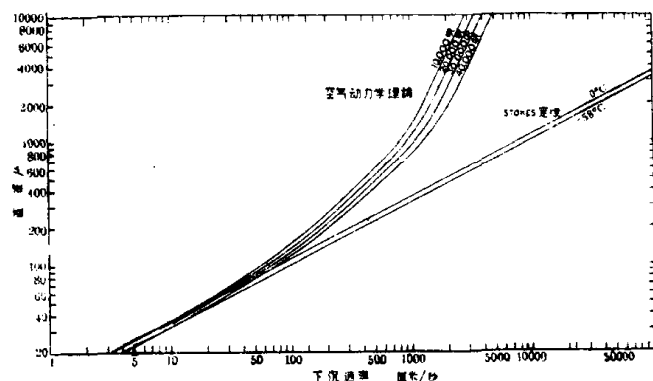


图 1 下降速率理论值。球形颗粒，比重 2.5 (依 Met. and Atomic Energy, 美国气象局出版, 1955)

究竟这些散落下降速度如何呢，这要看许多因子来决定，例如空气粘性，空气密度，颗粒形状等等，但最主要的还是空气的动力学特性和散落颗粒本身的大小。从图 1 可见，Stokes 定律只对比较小的颗粒才合适，一般说来，半径 5μ 的颗粒下降 13 公里大约要 70 天， 16μ 的下降 13 公里就只要 7 天。所以散落平均每天下降几百米到几公里不一。因为大气本身的垂直气流也有着很大的作用。一般大概可以绕地球二三次再降到地面 (Libby 1956)。

第三种是延迟性降落也叫做平流层降落。它主要是强大的原子爆炸 (一千万吨级的) 造成的。由于这种爆炸十分有力，形成的原子云往往一直侵入平流层内 (到 25 公里以上)，所以这些散落物也侵入了平流层。这种散落物颗粒比较细，并且对流顶有时也起阻挡的作用，下降很慢 (每年降落的只有 10—20%)，所以可以在平流层里保存十年左右。这些散落物到后来才侵入对流层里。例如 1954 年美国试验了原子武器后，在 6—10 个月英国才在 12 公里上空开始有散落物增加，并且这时高空中比地面散落物多。对流顶附近又比别的高度上更多 (但最近发现它在空中停留不那么久)。

所以现在看来，早期散落放射性很强，威胁人的生命很厉害 (一毫克“死灰”可以有 5218 居里/小时的放射能力)。而平流层散落长期不散，更容易积累，对人类的威胁也更是长久。

散落物的观测

自从有原子弹试验以来，人们就进行了散落物的观测。美帝国主义在进行原子备战试验工作中，在 1951 年就开始观测 γ -射线强度的变化，1952 年美国气象局设立了 121 个地面观测站 (Eisenbud 1953)，到 1952 年夏已搜集了三万钟分析样品 (同上)，1952 年 10 月美国把地面观测站扩充到国外，1954 年 1 月 1 日起不断观测，1954 年 2 月又加扩充，到 1956 年公开的国内观测站 22 个，国外 62 个，共 88 站 (Eisenbud 1956)，其中有台北一站 (美国在国外的观测网的分布大致如图 13，试验时另设临时的测站)。

散落物的观测可以按要求有几种不同的方法，最好的方法是用空气滤吸器滤出散落物，再测定某一时间每单位体积空气中的散落物放射性有多强。对于长时间中的地面散落是可以筒壁很高的瓶子让他作长时间的自然沉落来搜集。

但是如果普遍设台观测，那就得用更简便易行的方法。一般用的是胶纸法 (Eisenbud 1955, Wexler

1956)。不过胶紙搜集时一般比高颈瓶中搜集到的来得少(只 63%)。因此胶紙法得到的数据要乘上 1.6 (Eisenbnd 1956)。倒放和直放的胶紙上搜集到的只有平放的 40%，下雨时更比平放的少(只有平放的 1—4%)。

除了定时的間断观测以外，还有連續观测。連續观测可以由机械的自动抽气装置来做。有一种装置每分钟抽气 30 立方英尺，在离地 15—20 呎处取样，来测定 β 蜕变。这样就会有連續的纪录(图 2)。

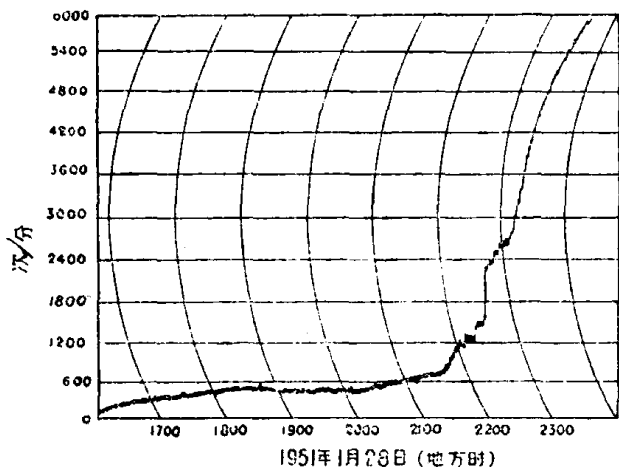


图 2 空气放射性自記记录。美 Illinois 州 Glenview 城 (Blifford, 1956)

这些观测誤差大致在 20% 左右 (Blifford 1956)，但日本也有說可以到 10% 的(日本 Tajina 及 Doke)。

除了地面观测之外，高空散落物的观测也很重要。

怎样来辨别少量带放射性灰尘是自然放射还是人工的散落物呢。这就要把样品保存几天做一下衰变观测。自然界放射物质衰变比較快。强度变化范围比較少，它們与人工散落物有着明显的区别。一般說来人工散落的平均(混合)半衰期是 25 天。它的 β 衰減合乎 $t^{-1.2}$ 定律(t 用小时計算)。時間加长 7 倍半，强度減到 1/10 那样小，一个月以后，强度就減到一万分之一。利用这个性質就可判別这些放射性物质的性質。

衰变情况的观测不但可以帮助分辨自然放射性物质和放射性人工散落物，并且也可定出这些人工散落物形成的時間，也就是原子彈試驗的時間。

除了 β 衰变的观测外，利用气象观测材料也可以确定原子彈試驗的地点和時間。这就是利用微压計，来测定第一个波到达当地的时刻(图 3)。較大水平范围里这种时刻的等时綫图不难作出波綫和波綫的交点而得到原子彈試驗的地点(图 4)。根据等时綫图也可求出波的传播速度而由此从观测到第一个波的時間向爆炸中心倒推回去求出原子彈試驗的日期和時間。此外由波幅与距离可以了解爆炸威力的大小，这和由

地震来探测原子爆炸是有点相似的。

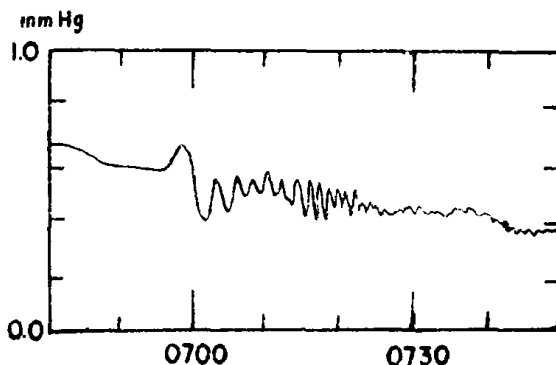


图 3 1954 年 3 月 27 日潮岬微气压計记录 (山本, 1955)

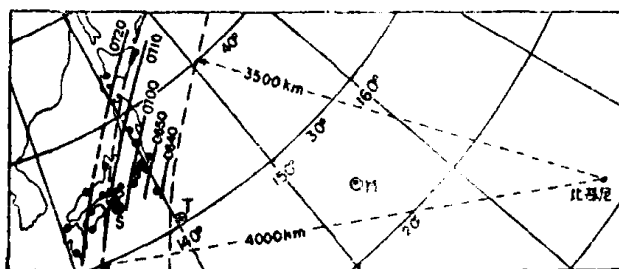


图 4 1954 年 3 月 27 日第一极小(槽)过境等时綫图，东經 1350 标准时。黑点是測站位置，S 是潮岬市，断綫是等距綫(山本, 1955)

除了放射强度等观测以外，对于散落物本身的放射化学分析可以使我們了解散落物中有些什么成分。这不但对于大气化学說来很有用处，就是对大气环流、云雾物理和其他地球物理問題，也是很重要的。

散落物的气象問題

有关散落物的气象問題很多，有的是为原子爆炸服务，有的是用它来为我們气象研究或改造自然服务

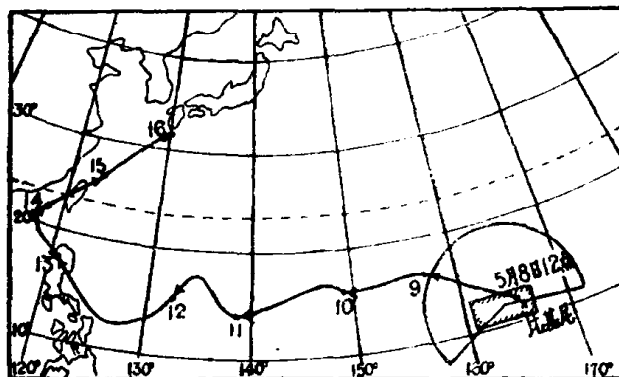


图 5 1954 年 5 月比基尼原子彈試驗西太平洋空气路径图。700 mb，小点旁的数字表示日期 (三宅泰雄, 1956)

* 最近有人提出由于平流层中的經向环流，平流层散落只要經過半年就下落了。

** 一說至 1956 年已有 250 站 (Wexler 1956)。

的。我們現在歸納成三方面來說：

第一是預報問題。大氣作為發生原子彈爆炸的場所，它的運場一定影響散落的分布。而在資本主義國家最感興趣的正是與原子爆炸試驗有密切關係的鄰近散落的預報問題。鄰近散落與許多因素有關，如大氣靜力穩定度，原子雲高度，高空風的水平與垂直分布，地面性質等等。一般先在24小時前作預報，8小時前

再作一次預報，以後不斷注視風的變化作出補充預報 (Kellogg 1957, U. S. Weather Bureau 1955)。預報的要求是畫出每個時間上放射性強度的等劑量錢。但是，由於鄰近散落是小尺度的現象，情況及定律都不大清楚。因此，儘管美國帝國主義在原子彈試驗時組織了大批的臨時觀測，但是預報仍然很不准。象前面所說，1954年福龍丸事件便是在美帝所預報的鄰近散

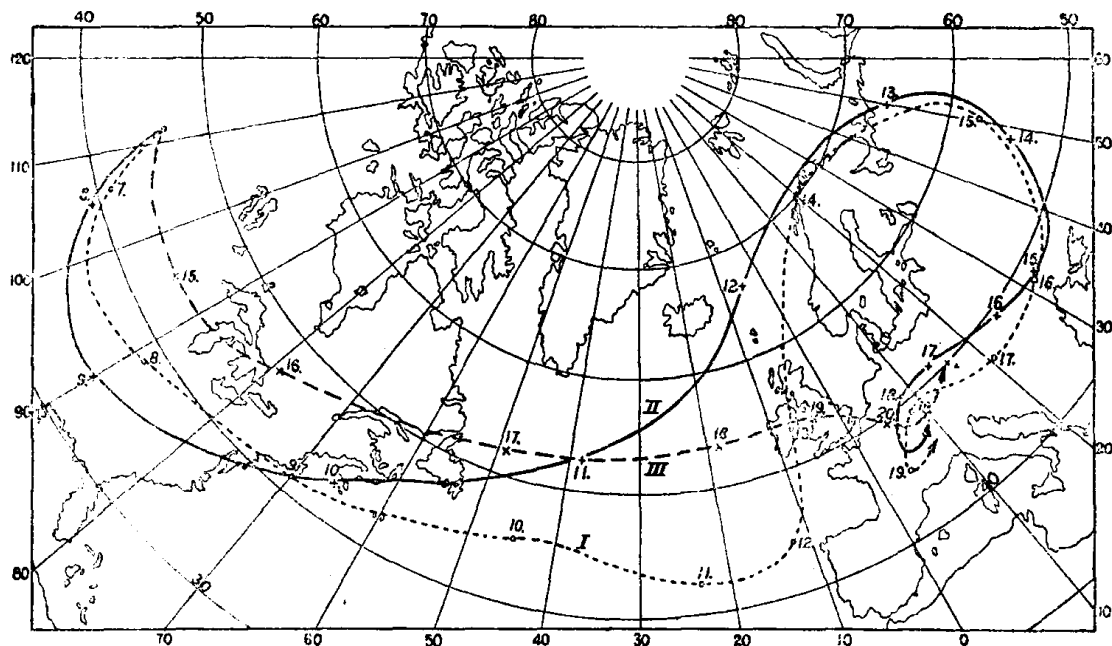


圖 6 500mb 上放射性散落的遠距離輸送路徑，由美國 Montana, Helena 城開始，1951 年 10 月 19 日及 21 日德國上空先後有兩次放射性散落的增大

落區外發生的。然而福龍丸上卻積上了不少鄰近散落——死灰。

散落物對人類生活影響很大，對流層與平流層里散落物的輸送、擴散也是需要注意的，因此第二類的問題就是散落物的循環問題。這類問題包含着兩種目的，一種是研究散落物本身的問題，研究的目的是為了人類健康而了解大氣環流被污染的情況；另一方面則是把散落物看作示蹤物質，而從它的分布變化來研究大氣環流和大氣化學里的一些問題。在放射性物質循環問題方面的研究，主要是為了大氣化學、地球化學的要求。特別是在散落物愈來愈多情況下，散落物對這些研究工作已發生了干擾作用。

根據散落物的輸送、擴散，人們已經獲得一些有趣的結果。從這些結果，我們對平流層環流的一些概念已經需要大加修改 (Bolin 1957)。利用空氣的路程人們很容易由在某時、某地上空放射性增強時由這點倒回過去計算出放射性散落的來處 (圖 5)。例如圖 6 是散落由美國 Montana 州到達柏林的路程。由圖上可以看出 1951 年 10 月 19—21 日間到達柏林的先后

兩條散落物的路徑 (把斷綫路徑與其他兩綫比較一下) 竟有如何的不同！

由於風向、風速上下不同，有許多例子中散落物的路徑在上層和下層是很不一致的 (圖 7)。特別是在太平洋上的試驗里，信風輸送與西風輸送方向幾乎完全不同 (圖 8, 9)。

一般說來在 300 mb 上風速很大輸送最快。平均說來常常到達 50 哩/時 (Goldshlak 1957)，所以上層大氣常常在 4—7 星期中繞地球一周。象美國 Nevada 州到英國一般就只要五天。但是在輸送過程中也不還有湍流性的擴散。一般說來三周後濃度要減一半。根據試驗推算對散落物的水平擴散系數約是 4.8×10^8 (厘米)²/秒 (Navada, 1957)。這個數字還是比較合理的。要對散落物的大尺度湍流水平擴散得到一些概念可以看一下圖 10。不難看出，擴散是很快的，然而這例子中水平擴散還不是特別強烈的。

由於原子爆炸時鄰近的實況不易精確觀測，于是就產生了如何由實況分析在時間上倒回去求原始的劑量分布的問題。這問題一般不難作出，但一般只倒推

到离开爆炸地点 500 英里左右的地方就停止了。范围再小一些不易算准确。

除了大气中的水平输送和水平扩散以外，垂直输送和垂直扩散也很重要。在对流顶附近的垂直输送及垂直扩散特别重要，因为它决定了平流层散落回到对流层里来的速率。可以想到在对流层顶断裂的地带象在中纬度西风急流附近，垂直输送和扩散是比较大的。对流层里的垂直运动也很重要。譬如在西风大槽后面原子弹爆炸的散落物很容易下沉到地面。因为与自由下沉速率比较起来，即使是大尺度的垂直风速也还是不小的。

作为一种示踪物质来说，散落物对云雾物理的研究有很多帮助。有人提出证据，在有降水时放射性散落物的增加不是它被雨水清洗下来了而是因为放射性散落物先在云中混合了 (Greenfiild 1957)。很可能它还与促进凝结核过程的作用。根据冰雹的放射性观

测，冰雹内层的放射性要比外层的来得大 (日本)。这事实是值得思索的。另一方面，放射性散落的增加

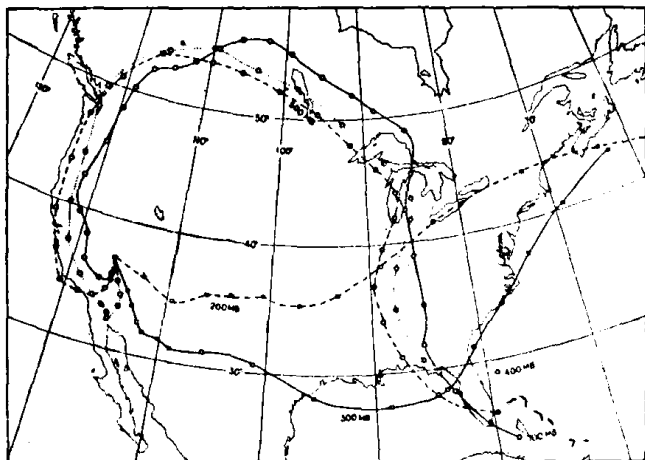


图7 1952年4月22日美 Nevada 第三次爆炸物的路径。黑点是 OOT 的位置，每 6 小时一点。开始的一点在 1952 年 4 月 22 日 18Z (List, 1954)

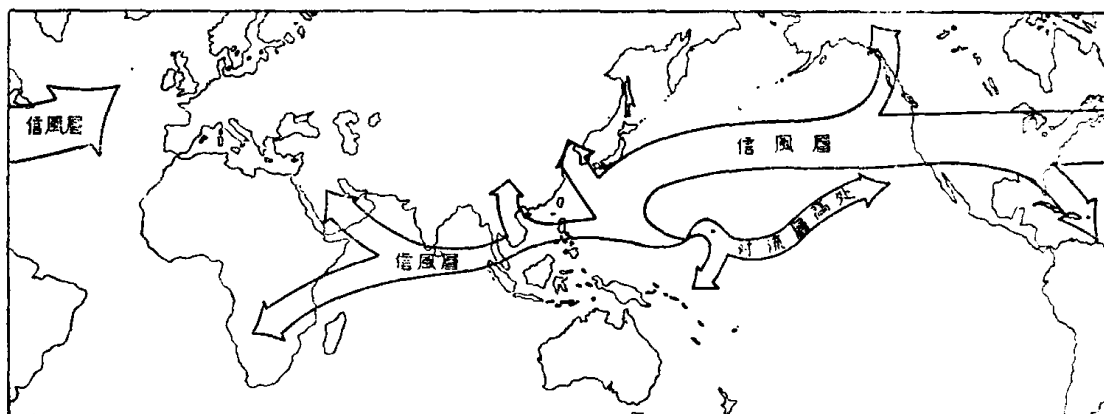


图8 Mike 云的传布(1952 年 11 月初美国所作名为 Mike 的核武器试验)。注意上下两层传布的方向路径大有不同 (Machta 等, 1956)

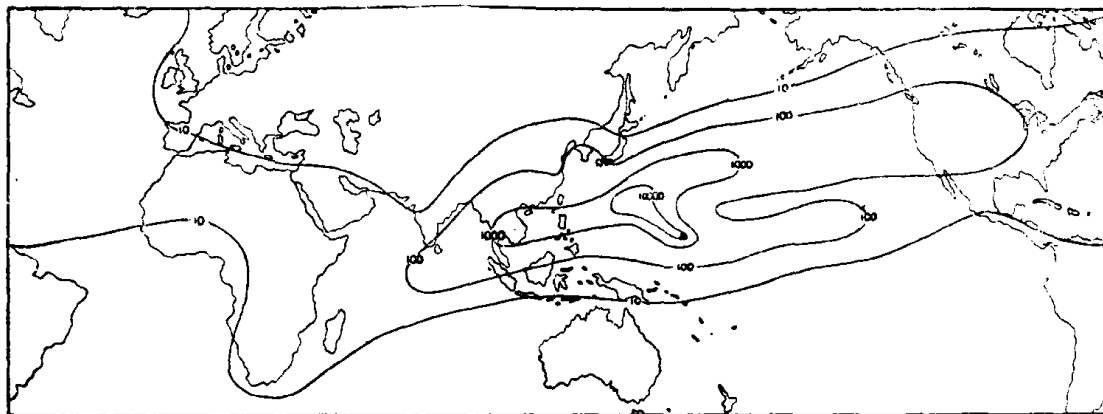


图9 爆炸后第 2—35 天之间 Mike 云的放射性散落。单位 $\text{mc}/(100\text{mi})^2$ ，相当于 $0.1\mu\text{c}/(\text{mi})^2$ 注意上下两条路径都在放射散落强度分布上反映出来 (Machta 等, 1956)



图 10 冬季 300mb 上质点的扩散，由美国旧金山起的一个理想情况 (Goldshlak, 1957)

也把一些自然放射物作为示踪物质的作用降低了。因为人们分不清某些放射性同位素究竟是哪儿来的。氦，碳¹⁴等都存在这问题。在过去可以利用雨水中氦的含量来测定形成雨水的水汽在空中已经停留了多少时间，从而配合空气路径来推定它的来源。这是因为氢原子在高空中受到更强的宇宙线的袭击，有很少一部分就形成氦。雨水中氦的多少就表示出形成雨水的水汽在高空中停留多久了。但是现在由于原子弹爆炸的积累高空有着不少的“人工”氦。因此这些办法就很难应用了。

最后一个问题是放射性散落对天气的影响。现在了解，原子弹对大气的影 响不外有三方面，即大量灰尘对云和降水的影响，放射性对大气导电率的改变和送入平流层里的微小尘粒对日射的吸收作用 (Смирнов 1956)。虽然这方面还不能有什么结论，但是这些方面都是与放射性散落有关的。原子弹直接给大气的能量 (热、动能) 反而是作用比较小的。例如，计算证明一个原子弹所放出的能量，只有一次普通的雷雨所放出能量的 1/13，但是由原子爆炸生成的原子云却有 20 公里

的高度，尘粒扩散后可以影响一大片地区。因此，不论是研究原子弹对天气的消极影响或者是利用原子爆炸来积极控制天气，都不能不注意到放射性散落的作用。

总的说来，放射性散落物的扩散、输送还是这方面目前最重要的问题，它的关键措施在于放射性散落物的高空观测。主要力量应该着重由扩散过程和平流过程研究日益增加着的平流层里散落的下降问题。由于对流层顶随天气系统和地形条件而有不同性质或者还影响对流顶的存在，这种放射性散落沉落的研究从卫生观点、从大气环流观点来说，都应该是一个重点。

结 尾

放射性散落已是一个严重的问题。近十年来，不断的原子弹试验已经使全球的放射性散落迅速增加。到 1956 年 1 月 1 日为止，仅仅计算 1952 年 10 月到 1955 年 9 月的原子放射散落，就已有很可观了。同时尽管苏联已经大公无私的停止核武器试验，美国与英国却还要不断地大规模地进行核武器试验。观测证明 1951 年 2 月以前大气里的放射性强度还随原子弹的试验而时强时弱，而 1951 年 2 月美国 Nevada 州试验以后大气放射性强度已经一直不退了 (Blifford, 1956)。如果这样下去，只要每年试上二、三个氢弹，不到三十年就要对人类发生显著的影响。而在公元 2000 年时，放射剂量一定就要超过最大容许量一倍以上。

因此，为了人民卫生健康进行放射性散落气象研究的同时，必须坚决反对美国帝国主义及其仆从国家继续进行核武器试验。我们应该把放射性散落的气象研究变成对美国帝国主义损害世界广大人民利益的控诉书。我们深信，只有按照苏联所号召的那样停止核武器试验，大规模发展原子能和平利用的工作，才能消除放射性散落的威胁，并且也能在气象研究中积极地有计划地广泛应用放射性物质。那时，人民所进行的放射性气象研究要比现在这样仅仅凭原子弹试验这样所得到任何的、消极被动的材料好到无法比拟，而气象学将因此取得更快的发展。