

第二十六冊

原子、大自然、以及人類

~~~~~自然界的人造放射性~~~~~

譯者：張世賢

# 原子，大自然，以及人類

——自然界的人造放射性——

原著：NEAL O. HINES

譯述：張世賢

## 導 言

聚集在地球上而日漸增多的人類，用無數精巧和難以預知的方法去調節我們住居的環境，可是，這種努力的影響稀少得對地球和人類都沒有產生多大助益。一直到二十世紀，這種影響遽爾變成重要起來，因為我們比從前更清楚地瞭解了生物的機構和我們四周環境的平衡狀態，並且，我們也試著學習去偵測自然界的變化，去瞭解它們包含的意思。

原子能的釋放使環境改變的可能擴展到一個新的幅度。在人類第一次涉及原子能的實驗裏，人們將少量而覺察得出的放射性加入地球所屬的自然界中；當原子時代來臨之後，他們無可避免地會將更多的放射性引進來。可是，在這些實驗的過程中，人們已經覺察到，如今為運用原子能而作的環境與生物學上的研究，將不只能幫助吾人解決原子能產生的問題，並且可以解決如何精明地使用這世界上有限的自然資源的更大問題。

這本小冊即欲描述自從 1945 年在接近新墨西哥州的阿拉摩哥多（Alamogordo）地方舉行第一次原子試爆以後所作的、藉助於原子儀器引導的環境調查（envriomental inuestigation）。

地球是神秘的，這種神秘並不容易被揭開，而我們用原子儀器所作的環境調查也只在起步階段。因此，這個故事是一個開端——指示我們前程的一個開端，我們希望，它將在未來的原子世紀裏，讓我們重新認識這個世界。

## 一些基本的觀念

生物學家對每種生物都會發生興趣的，當他們研究原子輻射與組織間的關係時，他們就進入放射生物學（radiobiology）的領域裏。實際上，放射生物學本身不是一種科學，它不過是生物學大前提下的一個分支而已。生物學家發現原子能在研究單一動植物以及動植物在它們自然的團體和棲息處所的研究上很是重要。

引入任何地區的放射性都可能被生物體系“吸收”掉，在食物鏈（food chains）中循環，或者沉積在動植物的組織裏。放射性的存在可使一個研究工作的系統大至一個海洋，或者可能不超過一棵樹的界限。而在每種情形下，我們都可據以觀察這種有機體再生的循環是如何相關於地球上較大的生命系統。

一個沒有穿衣的  
生物學家潛入太  
平洋的比基尼礁  
湖(Bikini La-  
goon)中珊瑚的  
底部去採集大蛤  
(giant clam)。

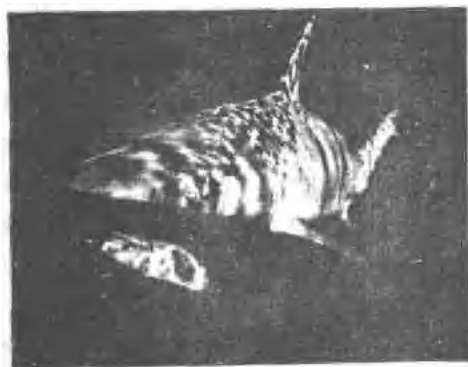


## 單一的環境

這個我們生長於斯的環境可被認為一個單獨的複合體，由許多副環境（subenvironments）——陸地、海洋、空氣以及氣層以外廣漠無垠的太空所組成。在森林中的小鹿，在荒地洞裏的蜥蜴以及草原上的瘋草（peavine），全是生長在看上去並不相同的環境下的異種生

物。每一種生物個體是它的環境的一部份，每個成員都是貢獻者，同時，更是整個生物世界的一部份。在它們依靠那些組成整個自然界的有限環境的生命過程中，所有生物都互相提携在一起，雖然這種關係很是淡薄。

我們知道了許多有關地球生命的事物，但我們尚未知道的比這更多。那種巨大的循環力量的瞭解常常持續著岔開我們，即使是在個別的有機體之間，那微小而看上去很隨便的生物關係，我們也尚未領悟——例如，捕食生物的動物和被捕食者之間的關係，以及在種（species）和族（family）之間的關係——像存在於共棲（symbiosis）的



在太平洋另一個礁湖裏獵得的灰鯊魚 (gray shark)。

和陸相處以及互相依靠的現象。經過幾個世紀的觀察，我們得到許多資料，然而，在我們心中還是遺留著沒有滿足的好奇，關於將小鹿、蜥蜴和瘋草的生命連繫在一起的微細的生物學線索，我們總沒法理解那種智能和力量。

### 瞭解的必要。

生長在地球上的生物都處於定量的游離輻射（ionizing radiation）照射的環境裏，這種輻射是地球自身本已具有的，或從地球之外的太空輻射而來，一般稱為背景輻射（background radiation）的。因此，環境研究的工作必須以背景放射性的認識為前提。

在 340 種已經發現存於自然界的原子之中，約有 70 種是放射性

元素。三系放射性同位素 \*——鈾 (uranium) 系、釷 (thorium) 系和錒 (actinium) 系——產生了一大部份的自然輻射 (natural radiation)。其他的放射核種 † (radionuclides) 則單獨存在，而不以一系列的形式出現，其中一些核種，像  $K^{40}$  和  $C^{14}$ ，是自然輻射的主要來源。事實上，在地球的所有物質裏，都能發現自然輻射的蹤跡。



這是太平洋椰子蟹，為通常住居於被潮水覆蓋的海灘上的動物之一，牠們依椰子樹以維生。

當人類開始作原子融合 (atomic fusion) 和原子分裂 (atomic fission) 的實驗時，他們就把在數量上可以度量出的輻射加在吾人所居處的環境——橫過廣原巨川，傳佈到海洋裏，到大氣中。這些人為產生的東西由 200 種生命期很長的原子輻射 (atomic radiation) 所組成。雖然這些附加物只構成背景輻射量的一部份，它們却代表了自從宇宙洪荒以來即已存在的放射平衡 (radiological balance) 的初度變易。因此，測定這種改變所能產生的影響勢必成為需要。在我們探究的過程中，有一些觀念顯現在眼前：

1. 人造輻射的增加表示有發生慢性或累積效應的可能性。從估定受到極微量輻射後所發生的生物效應而開始的長期研究，是很重要的。
2. 我們可以利用放射性物質，將它們加入環境中作多方面的研究，以追踪放射性核種的濃度及移動情形。同時，這些研究能在生物集合體及生物機能的探索上提出新穎的報導來。

---

\*同位素 (isotopes) 是相同元素原子的各種不同形態。

†核種 (nuclides) 是用以表示所有原子的所有形態的一個專門名詞。放射性核種 (radionuclides) 意指具有放射性質的核種。

一個飛行空際的物理實驗室正在飛過一個屬於美國原子能委員會的實驗區，研究放射性核種的濃度。其儀器夾在機翼下，收集空氣作為試樣(samples)以提供一項可視的放射現象記錄。



已經釋放到自然界的低度而半化期長的輻射量，將在今後的數十年裏提供我們研究的材料。尤其是，放射性同位素在化學性質上類似非放射性元素，對於它們生物因果的觀察將提供我們一些線索，以了解許多別種人造毒物的移轉、濃縮、淡化、消失以及環境污染的情形。



從哥倫比亞河(Columbia River)深處提取水試樣到一所實驗室中作放射化學分析(radio chemical analysis)。

## 一些工作上的概念

環境的問題最好依環境自身的情形去解決，許多不可知的因素和自然的千變萬化都會在我們的環境裏出現。實驗室的工作誠然是重要的，但沒有一個實驗室能與自然隔絕，也沒有一個實驗室能用人工做造這個大自然環境裏所有異樣奇妙複雜的事物。

環境研究的工作常常需要生態學家<sup>†</sup>，化學家，物理學家，地理學家，海洋學家，氣象學家，植物學家，動物學家以及其他學者賦與同等的留意，大家一塊工作，把環境當作一個同步的機械結構（synchronized mechanism），漸漸逼近它的門徑去探索。

最後，我們要強調的是，環境研究的工作要以一個特殊的知覺為前導，這種知覺即要我們保留“效應”（effect）意義的判斷，尤其是輻射效應（radiation effect）的判斷。即刻發生的顯著效應可能被偵測出來，最終的效應可能已經延續數代，距它們發生的時間和空間都很遙遠。因此，研究的工作乃集中在生命的過程以及長距離環境的隔絕和識別。



海洋學家從深海中將 50 加侖的海水試樣提到船上。即使在溫和的海上，這也是一種困難的工作。此照片是在大西洋上的 R. V. Grawford 號上拍攝的。

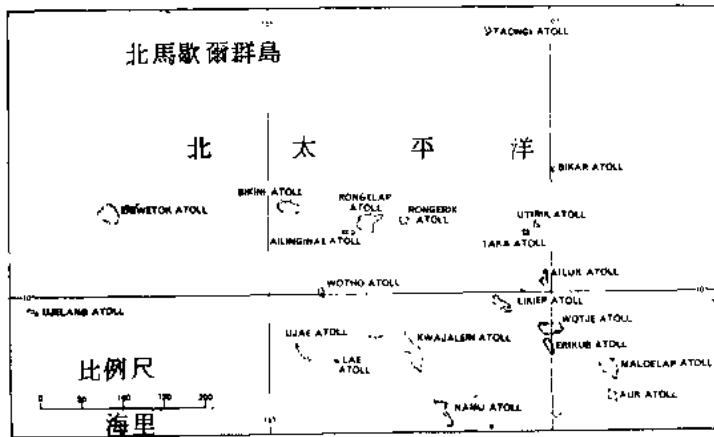
<sup>†</sup>生態學家是研究生物與其環境間相互關係的科學家。

從 1946 到 1963 年的透視

## 從 1946 到 1963 年的透視

在馬歇爾群島 (Marshall Islands) 的比基尼珊瑚島 (Bikini Atoll)，可以代表一個已經受過所有從核爆 (nuclear detonation) 引發急速的以及殘餘的力量的縮圖世界。

1946 年，人們在比基尼島舉行和平時期原子武器的第一次試爆，其中包括一次在珊瑚島的水上循環系統內部所作的海底原子裝置 (atomic device) 試爆。從 1954 到 1958 年的五年之間，比基尼島也被用作熱核裝置 \* (thermonuclear devices) 的試驗場所。這些群島和礁脈 (reefs) 都被原子熱 (atomic heat) 所燬，礁湖裏的水皆



因放射性落塵 (radioactive fallout) 的堆積而污染。因此，比基尼島——中太平洋上一個小小的突出的珊瑚礁，將近二十年來都被註明為最早的原子爆炸實驗場所。

\* 熱核裝置是一種基於融合反應 (fusion reaction) 造成的爆炸性武器。在他種原子武器中，能的產生乃由核分裂 (nuclear fission) 而來。



在試爆期間及其後數年，比基尼島也是重複做生物研究的地點。從 1946 到 1950 年以及從 1954 到 1958 年，每年有一隊科學家在比基尼島檢查一次。經過了六年不被武器試驗或旅客的干擾，科學家們在 1964 年再度到此做廣泛的生態觀察。

他們在比基尼的生態系統（ecosyotem）發現低度但其數量可覺察得出的放射性沉澱的痕跡。某些島上，由於核爆而產生的巨坑仍然在礁脈中造成裂口。這些試驗的場所至今還帶著傷痕，且在礁脈的某些區域裏，珊瑚和藻類皆因被爆炸引起的淤泥屯塞而枯死。但比基尼群島的生物體系顯然正處於恢復舊觀的過程中。大的島嶼已被再生的草木所覆蓋；在一些沐浴在晨光裏的濱海沙灘上，木蓮（magnolia）和露兜樹（pandanus）長得如此茂密，以致開道其間便有極大困難。科學家們相信，比基尼的珊瑚群島只須加以清理和開墾，即可再度適宜人類居住。

而從比基尼試驗的情形，我們能夠得到怎樣的結論？最後的答案

1952 年的試爆後一個星期，從一個太平洋的礁湖裏收集的浮游生物標本的自動放射攝影（autoradiograph）。



仍未確知。謂時間與自然的力量已使它復原實非一種真切的話語，雖然我們心知那應是如此一回事。對我們較為重要的乃是它們復原的過程。同時，它也有助於審查比基尼試爆的結果，而得知從第二次世界大戰末期到 1963 年核子禁試條約簽定期間的發展脈絡。

## 1946年在比基尼羣島的試驗

早期在大氣層中舉行的核子試爆將不會重行出現在未來的日子裏。這是科學空前發展時代的開端，也是全世界在感情上和智慧上都在調整認識這種無可估量的能源的年代。自從地球形成以來，這巨大的

能量即儲藏在原子核裏，如今却可被人們隨心所欲地釋放出來。

當第二次世界大戰結束時，人們試驗這種新式能源的衝動是無可抑止的。大家對於革命性的新型力量都抱持極度好奇的心理，同時也惶惑地認知，這種能量的釋放必得謹慎從事，並加以適度的控制。而由於核分裂所產生的放射產物（radioactive products）的混合物會造成一種非爆炸性的危險。“落塵”（fallout）這個字乃概括由於核爆而沉積在地表上的放射性物質。

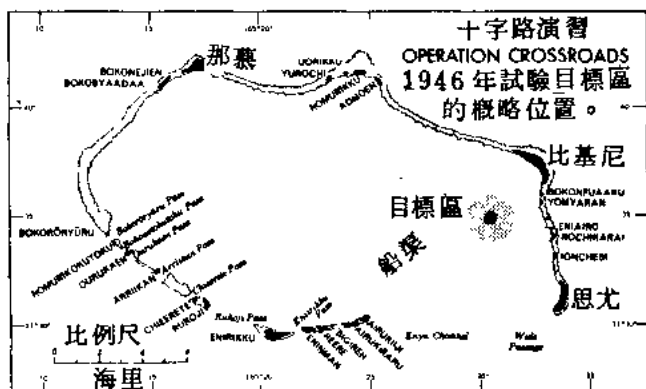
**第一聯合特遣艦隊** 和平時期的第一次核子試爆，是1946年在比基尼舉行定名為Operation Crossroads的軍事演習，用以估量核子武器對海軍艦隻的效能。這次試驗的機構，第一聯合特遣艦隊——一種為適應聯合作戰思想而編組的艦隊，是一枝龐大的海上武力，包括42,000名武裝士兵，一般的科學家、顧問以及觀測員。



試爆前的比基尼礁湖。

比基尼珊瑚島所以被選為試爆地點，主要原因是它遠離人口密集區域，能供給船舶一個隱蔽的停泊處所，並且，在比較上，它有穩定而可預測的氣象及海洋情況，這些情況對於危險常常陰森森地逼近的戰場是異常重要的。本來，當初計劃作三次試爆，後來才作了兩次。頭一次試爆（定名為Test Able）在1946年7月1日舉行，由70艘待試船隻組成的艦隊停泊在比基尼礁湖裏，一枚原子彈（atomic bomb）經空中投擲下來。第二次試爆（定名為Test Baker）則在7

月25日舉行，一艘小靶船停泊在礁湖裏，其下90呎深的地方懸掛著一枚原子裝置。



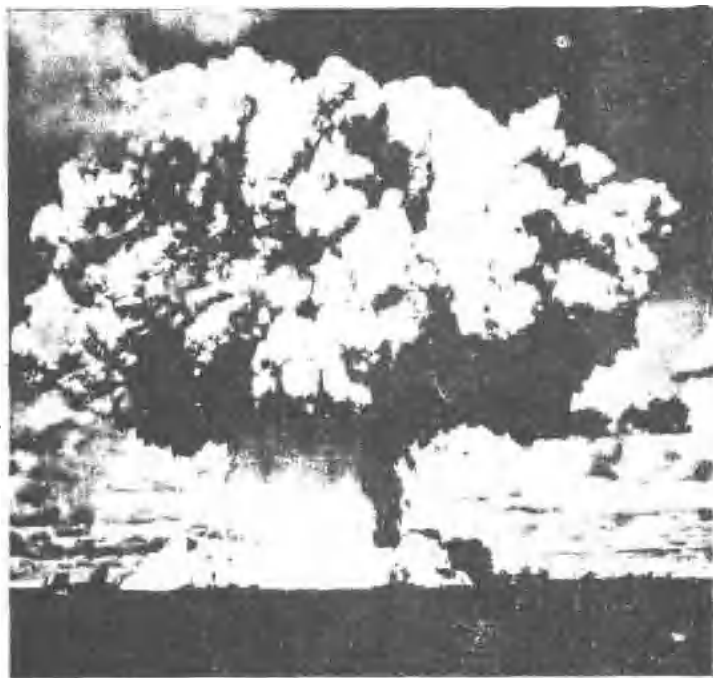
**科學上的助力** 雖然 Crossroads 只是一個軍事計劃，其所受科學上的助力却是值得大書特書的。試爆以前幾個月，海洋學家即着手研究中太平洋的水流及盤層（basin）構造，氣象學家則研究風及上層大氣的情況。地理學家、動物學家、植物學家以及其他有關的專家們都集合起來詳細地檢查這個珊瑚群島。直到目前為止，比基尼群島的海洋結構是最為世人所通曉的地區之一。

即使在那時候，人們也知道放射性是產生核效應的要素。這個特遣艦隊曾做了週全的準備，以確保人員的安全，並把成千的輻射偵檢儀器運到比基尼去。科學家計劃觀察放在靶船上的被試動物所受放射性的影響。

**水底爆炸**——定名為 Test Able 的第一次比基尼試爆，是用飛機將一枚原子彈載臨一枝艦隊上空而投擲爆炸的。這次爆炸使許多主要的船隻沉沒，剩下的也東倒西歪，殘破不堪，在那兒受輻射污染。同時，有大量落塵沿著珊瑚島的邊緣向北散布到海洋的水面上。而在 Test Baker 所舉行的水中試爆，則使比基尼有好幾年成為放射生物學家研究的對象。

貝克試爆（Test Baker）核分裂後的碎片第一次與大洋中的水

及浮冰混合在一起，然後又飄回爆炸地區。其爆炸裝置是後來稱為小型的一種，威力相當於 20,000 噸黃色炸藥（TNT）。這次的試驗至今仍被用作描述淺水原子爆炸現象的標準。



貝克試爆。在掀開了一百萬噸的水之後，一種花捲心菜 (Cauliffower) 形的雲飛揚在靶船停泊處的上空，投影於海面漸漸擴大的波濤裏。

在爆炸的瞬間，礁湖的水面最初被掀起來，然後，耀眼的水泡在數秒鐘內形成一條巨大的水柱而消散，這條水柱的直徑有兩千英尺（它的外壁足有 300 英尺厚），上昇海面高達 6000 英尺，舉起了一百萬噸的水量。在水柱底部泡沫上揚數百英尺，且當水柱下沉礁湖時，泡沫即從底部飛出，激起了高於 80 英尺的洶湧波濤。

水中的放射性是強烈的，當時估量的數字號稱約等於“數百噸的鏷”。放射材料 (radioactive materials) 的蛻變與稀釋迅速減低了放

射性總量。三天之後，污染區擴展到 50 平方英里的水域，從水中放出的劑量率（dose rate）對於停留短期的人們來說已在安全限度以內，觀測者和科學專家們可以花費數天以上的時間，在那殘存的靶船之中研究。

數月以後，海軍的潛水人員在爆炸地點的礁湖底部發現這次爆炸挖出了數千噸泥淖和珊瑚蟲的沉澱，產生一個半英里寬的淺水坑。經過泥土慢慢的堆積，這個小坑乃成為半化期很長的放射性進入比基尼生物體系的地區。

**初步的評定** 在 Test Baker 之後的最末三星期工作中，進入比基尼試驗區的科學研究隊員們從那些島上和礁湖裏取回數以百計的植物、珊瑚、巨蟹、魚類、浮游生物以及水的樣品。他們注意到從珊瑚島每一部份所取的樣品都有放射性存在，表明放射核種很快就被生物所吸收，並且暗示那兒有放射性物質不斷地在水中循環著。他們在珊瑚島外的海洋裏取回魚類樣品，同時，也在其他的珊瑚群島作同樣的收集。雖然用以分析輻射的工具和技術極不理想，但所有出現於眼前的證據都顯示著吾人尚須格外努力去檢定輻射對生物產生的效應。

## 1947年的重行勘查比基尼羣島

1947 年 7 月，即十字路演習的試驗之後一年，科學家們首次重行勘查比基尼，重點放在勘查環境所受強烈放射性的影響。這個科學探險隊分由兩船載運，其中包括 70 名科學專家以及數百位海軍人員。

勘查小組進入一個幾乎有一年之久沒被干擾過的海洋環境時，立即確認殘餘放射性的形跡還在比基尼群島的生態系統循環著。科學家們花了六個禮拜的時間，探查這珊瑚島環境裏的每一個區域，採集生物標本，編製植物和動物的種類目錄，並深入礁湖湖底收集樣品。數月之後，當資料審核齊全而將報告提出時，人們一致同意，比基尼群島已經不存在足以危害健康的放射性，同時，也可能不會有累積效應的問題發生。

當然，這兒還有未知的事物。只要放射性存留在生物的循環系裏，將來還會有變化的可能。1947 年的地球上，再也沒有其他地方提



在“十字路演習”之後  
的比基尼海灘景況。

供我們一個機會，以觀察輻射污染從環境中消失的自然過程。因此，似乎要很細心去編纂一種包含較廣而純然是在比基尼所作的、放射生物調查的長篇報告。

就在 1947 年，新近組成的美國原子能委員會（U. S. Atomic Energy Commission, 簡稱 AEC），從戰時的曼哈坦工程管理處將舉國傾力在原子能領域內發展的工作計劃接收過來。當時 AEC 的一個主要任務是領導加強核子武器的研究，但在生物學和醫學方面也有特殊的興味和職責。那時候，在比基尼以西 190 海里的安尼威吐克珊瑚島（Eniwetok Atoll）上，核子武器的試驗已經在一個新的試驗場裏揭開了序幕。

今日所見的安尼威吐克群島邊緣的小島。人們上陸後的痕跡，像速成的長形機場，用肉眼能夠看到，而再生的植物則清晰可見。注意那向島嶼兩端延伸的礁脈。



## 在試爆地點的研究，1948—1958

1948年在安尼威吐克進行的一系列試驗計劃——砂石演習（Operation Sandstone），並沒有正式加入放射生物學的研究，但訪問過比基尼的放射生物學家也在1948年和1949年到安尼威吐克作調查工作。隔了一些時間，即發生了震驚全球的事件。1949年，蘇俄爆炸了一枚原子裝置，韓戰又跟著在1950年爆發，這些重大的事件引起了全美一致建設國防的心緒。因為太平洋的風雨阻斷了試爆計劃的進行，美國原子能委員會乃在1951年建立了一個設於內華達的陸上試驗場。那一年當中，在安尼威吐克也作了多回試驗，以準備第一次熱核裝置的爆炸。

1951年以後，每一次的試驗計劃都加入了放射生物學的研究部份。在太平洋上，1952年的常春藤演習（Operation Ivy），1954年的城堡演習（Operation Castle），1956年的紅翼鵝演習（Operation Redwing）以及1958年的硬麵包演習（Operation Hardtack）都和放射生物學的調查工作有關。爲了生物學的研究，科學家們乃設立了一個小型的研究站——安尼威吐克海上生物實驗所（the Eniwetok Marine Biology Laboratory）。1953年，比基尼被畫入太平洋試驗場的範圍，而1954年以後的試驗也在那兒作新的生物調查工作。

1951到1958的這些年間，蘇俄都在用心試驗核子武器，正如



安尼威吐克海上生物實驗所。右邊的紀念碑乃紀念第二次世界大戰時登陸安尼威吐克群島之役。

1952年後的英國一樣。這些試驗所產生的落塵分佈到世界各地，使人造放射性顯著增加。

## 劃時代的事件

從建立太平洋試驗場直到1958年簽定延緩核試條約期間，是環境資料的探索無法與核能的急速發展並駕齊驅的年代。但在武器方面的增產却強調了獲取資料和在環境研究項目下做邁進一步發展的必要。

第一枚熱核裝置的爆炸引起了同溫層（stratosphere）甚至地球上每一部份的環境污染問題。這次實驗定名為邁克試爆（Test Mike），於1952年11月1日在安尼威吐克北部邊緣的Elujelab島舉行，是到那時為止發生在地球上的最大一次試爆。在該島已有的礁脈上，被炸成一個200英尺深而直徑達1英里的巨坑。在十五分鐘內，濃烈的輦狀雲（nuclear cloud）直升到130,000英尺高的天空中。

“邁克試爆”的實驗標示了一個改變點。在這以前，核爆產生的落塵只局限在一個區域，觸及珊瑚島上的礁脈，水面或是沙漠地帶；在這以後，落塵造成的煩惱顯然已遍及全球。

1954年在比基尼舉行的熱核試驗所帶來的損害則在擴大環境調查方面貢獻了兩條重要的途徑。這次試驗產生的落塵被料想不到的風吹送而遠離預定地點，使放射性碎片沉積在比基尼西邊人煙稠密的隆哲拉普（Rongelap）珊瑚島，也沉積到一艘正在比基尼——隆哲拉普區作業的日本漁船上。這次對隆哲拉普和日本都造成不幸的意外事件，還發生了其他更深遠的影響，從此促成了初度的國際合作，共同解決海洋污染的問題，以及後來在隆哲拉普的長期生物環境研究。

日本首先發起有關附於海洋的放射性的廣泛研究。漁民的經驗在日本造成了一種懼怕心理，深恐美國試爆的結果會使水產資源受到污染。其中一個成果是1954年夏季由政府支助而組織的海洋探測隊，從日本出發，遊弋於比基尼——安尼威吐克之間的水域上，以測定究竟有多少放射性是經由海水及水中生物的攜帶而流向日本沿海。

這個探險隊在海洋落塵對生物學の利用方面曾將浮游生物所扮演的角色作過很有意義的觀察。一些美國科學家們，隨著日本人的努力



之後，也作了性質相同而範圍更廣的探測，早於 1955 年即遊弋在西太平洋，並遠到日本與日人討論他們的發現。1956 年及 1958 年在太平洋的一系列試驗期中，和此後的年月，美國的海洋調查工作一直不曾中斷，研究心得報告的交換也繼續在日本和美國的科學家之間進行。

1964 年 8 月，成群結隊的 surgeonfish（一種有鮮艷顏色的熱帶魚），游開比基尼群島的阿枝（Arji）島。注意生長在礁湖底部的珊瑚。



隆哲拉普的事例則產生另一種結果。當地人民被證實已受到不算輕微的輻射曝露（exposure）而需藥物治療，並作持續的觀察。因為這些珊瑚島已成不安全的污染區域，人們就搬到其他的島上暫居下來，接受適度的關照。直到 1957 年，他們才回歸本島，此後即置於醫生的監管之下。

隆哲拉普的生物環境情況是獨一無二的。飄來的落塵使得這個珊瑚島成為世界上唯一受放射性碎片嚴重的沉積所污染而沒有直接被核爆所干擾的地方。1957 到 1958 年間，在隆哲拉普居民回到他們新建的村落後，該島已成為長期徹底研究這個水陸環境裏放射性核種循環情形的地點。

## 在 1963 年的禁試條約簽定以前

當核子俱樂部的幾個強國同意延緩一年的試驗後，核子爆炸在 1958 年首度中斷。世界的政治形勢及人們的情緒正在變遷。美國已在 1953 年 12 月宣佈了她的原子能和平用途計劃（Atoms — for — Peace Program），經五年以上的時間，美國都致力於將原子能利用到民生建設事業上。1954 年所立而放寬 1946 年法律條款的原子能法案（Atomic Energy Act）初次允許私人開發核能資源，並計議成