

CP 1050

**BIOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL  
EFFECTS OF NUCLEAR WAR**

---

---

**HEARINGS**

BEFORE THE

**SPECIAL SUBCOMMITTEE ON RADIATION**

OF THE

*U.S. Congress,*  
**JOINT COMMITTEE ON ATOMIC ENERGY**

**CONGRESS OF THE UNITED STATES**

**EIGHTY-SIXTH CONGRESS**

**FIRST SESSION**

**ON**

**BIOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL EFFECTS  
OF NUCLEAR WAR**

**JUNE 22, 23, 24, 25, AND 26, 1959**

**PART 1**

Printed for the use of the Joint Committee on Atomic Energy



**MAICO ENGINEERING/LIBRARY  
MAICO ELECTRONICS, INC.  
123 NORTH 3rd STREET  
MINNEAPOLIS 1, MINNESOTA**

**UNITED STATES  
GOVERNMENT PRINTING OFFICE  
WASHINGTON : 1959**

4828

Hearings before the special subcommittee on radiation of the joint committee on atomic energy congress of the United States  
Eighty-Sixth congress  
First session on Biological and environmental effects of nuclear war  
June 22, 1959

米国の原子力会議に関する合同委員会の放射線に関する特別小委員会の公聴会  
第 86 回議会核戦争の生物学的および環境的影響に関する最初のセッション  
1959 年 6 月 22 日

JOINT COMMITTEE ON ATOMIC ENERGY

CLINTON P. ANDERSON, New Mexico, *Chairman*  
CARL T. DURHAM, North Carolina, *Vice Chairman*

RICHARD B. RUSSELL, Georgia  
JOHN O. PASTORE, Rhode Island  
ALBERT GORE, Tennessee  
HENRY M. JACKSON, Washington  
BOURKE B. HICKENLOOPER, Iowa  
HENRY DWORSHAK, Idaho  
GEORGE D. AIKEN, Vermont  
WALLACE F. BENNETT, Utah  
CHET HOLIFIELD, California  
MELVIN PRICE, Illinois  
WAYNE N. ASPINALL, Colorado  
ALBERT THOMAS, Texas  
JAMES E. VAN ZANDT, Pennsylvania  
CRAIG HOSMER, California  
WILLIAM H. BATES, Massachusetts  
JACK WESTLAND, Washington  
JAMES T. RANEY, *Executive Director*  
JOHN T. CONWAY, *Assistant Director*

SPECIAL SUBCOMMITTEE ON RADIATION

CHET HOLIFIELD, California, *Chairman*

MELVIN PRICE, Illinois  
JAMES E. VAN ZANDT, Pennsylvania  
CRAIG HOSMER, California  
JOHN O. PASTORE, Rhode Island  
HENRY M. JACKSON, Washington  
BOURKE B. HICKENLOOPER, Iowa  
GEORGE D. AIKEN, Vermont

CLINTON P. ANDERSON, New Mexico (*ex officio*)  
CARL T. DURHAM, North Carolina (*ex officio*)

RICHARD T. LUNGER, *Staff Consultant*  
CAREY BREWER, *Special Consultant*

ii

CONTENTS

MONDAY, JUNE 22, 1959

	Page
Opening statement, Representative Chet Holifield.....	1
Outline and list of witnesses.....	3
Glossary of terms.....	8
BASIC ASSUMPTIONS AND PRESENTATION OF THE ATTACK PATTERN	
Quindlen, Eugene, Office of Civil and Defense Mobilization.....	12
BASIC EFFECTS OF THE SPECIFIED WEAPONS USED IN THE HYPOTHETICAL ATTACK PATTERN	
Shelton, Dr. Frank, Technical Director, Defense Atomic Support Agency, Department of Defense.....	15
INITIAL RADIATION AND PHYSICAL EFFECTS OF THE ATTACK AGAINST THE CONTINENTAL UNITED STATES	
Shafer, Charles K., Director, Meteorological Office, Office of Civil and Defense Mobilization.....	43
THE WORLDWIDE FALLOUT PATTERN	
Machta, Dr. Lester, U.S. Weather Bureau.....	56
BASIC PROPERTIES AND EFFECTS OF RADIOACTIVE FALLOUT	
Triffet, Dr. Terry, U.S. Naval Radiological Defense Laboratory.....	60
Formal statement.....	61
Statement for the record:	
Knapp, Harold A., Office of Operations Analysis and Forecasting, AEC, "A Review of Information on the Gamma Energy Radiation Rate From Fission Products, and Its Significance for Studies of Radioactive Fallout".....	113
Machta, Dr. Lester, U.S. Weather Bureau.....	127
Supplementary statement.....	139
FACTORS MODIFYING BEHAVIOR OF RADIOACTIVE DEPOSITS	
Hurst, Dr. G. S., Health Physics Division, Oak Ridge National Labora- tory.....	140
Statement for the record:	
Auxier, J. A., "Evaluation of Residential Structures for Shielding Against Fallout Radiation".....	148
Eisenhauer, Charles M., Atomic and Radiation Physics Division, NBS, "Shielding From Fallout Radiation".....	151

BASIC PROPERTIES AND EFFECTS OF FALLOUT

Composition of Debris

T. Triffet

U. S. Naval Radiological Defense Laboratory

フォールアウト（降下物）の基本的な特性と影響  
デブリ（破片体）の構成

T.Triffet

米海軍放射線防護研究所

Introduction

The following discussion will feature the properties of the fallout which would be produced by a nuclear explosion of about 5 megatons ( 50% fission- 50% fusion) occurring under two different conditions :

- (1) on the surface of silicate sand soil in a industrial area,
- (2) on the surface of a deep ocean water harbor among a group of ships.

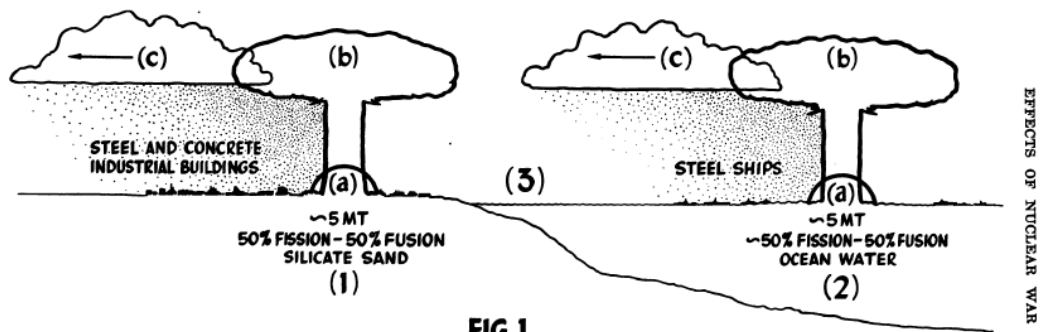
These two conditions (Figures 1-1, 1-2) were selected both because they represent likely conditions for the attack pattern specified, and because it is known that they would produce widely different kinds of fallout. Most other important conditions, such as detonation in a shallow harbor (Figure 1-3), will probably produce fallout whose properties lie somewhere in between these extremes.

Another reason for picking these two conditions is that they are those from the given attack pattern to which existing data most nearly apply. Several megaton yield range detonations have, for example, taken place on steel barges anchored in the lagoons of atolls in the Eniwetok Proving Grounds. Although these barges were ballasted with coral sand , and were sometimes located in water shallow enough to permit bottom material to be sucked up by the explosion , the total amount of sand was usually small relative to the amount of ocean water involved. It will be assumed for purposes of this study that the fallout from these events is representative of that for the deep harbor condition cited above.

前書き

以下の説明では、2つの異なる条件下で発生する約5メガトン（50%の核分裂－50%の核融合）の核爆発によって生成されるフォールアウトの特性を取り上げます。

- (1) 工業地帯のケイ酸塩土壌の表面、
- (2) 艦隊の間の深い海港の表面。



**FIG.1**  
**ASSUMED DETONATION CONDITIONS**

これらの2つの条件(図1-1、1-2)は、想定された攻撃パターンの可能性のある条件を表すこと、および広範で異なる種類のフォールアウトを生成することが知られていることから選択されました。浅い港での爆発(図1-3)など、他の重要な条件では、これら2つの両極端の条件間にある特性を持つフォールアウトが生成される可能性があります。

これら2つの条件を選択するもう1つの理由は、既知のデータが最もよく適用される特定の攻撃パターンの条件であることです。たとえば、エニウエトク実験場の環礁のラグーンに停泊している鋼のはしけで、数メガトンの核威力の範囲の爆発が起きました。これらのはしけはサンゴ砂で固定されており、爆発によって底部の砂が吸い上げられるほど浅い水に配置されていましたが、砂の総量は通常、関係する海水の量に比べて少なかったのです。この調査の目的のために、これらの爆発実験からの放射性降下物は、上記の深い海港の状態の放射性降下物の代表であると想定されます。

There have been no U.S. test detonations in the megaton range on silicate soil, however. Those in the right yield range have taken place on coral sand in the Eniwetok Proving Grounds, and those on the right kind of soil at the Nevada Test Site have all been in the kiloton yield range. Under these conditions it can only be assumed that the physical properties of the fallout for the land surface burst referred to above will resemble those of the Nevada fallout, while the magnitude of the effects and all other characteristics will be more like those of the Pacific events. It should be clearly understood that this is, at best, a questionable assumption, since both the yield of the bomb and the type of soil on which it is detonated critically affect the resulting fallout.

It is also true that substantial quantities of steel have been present in most past test explosion – the supporting tower for the majority of air bursts, the barge for water surface bursts, and large quantities of experimental equipment in all cases. There is reason to believe, as will appear later, that metals in general and iron in particular play a singularly important role in fallout formation processes. This is an additional reason why it was specified above that the land surface burst would occur in an industrial area and the water surface burst among a group of ships. The nature of the fallout which would result from bursts on bare soil or unobstructed water with no significant amount of metal

present has not been definitely established at the present time.

Besides the type of weapon, its total yield, and the nature of the environmental material, one other factor strongly influences the character of the fallout: the height of the burst above the surface. A pure airburst, for reasons which will become clear later, creates only very small particles which contribute to world-wide fallout but produces nearly no local fallout. A moderately deep underground or underwater burst on the other hand produces almost nothing but highly localized fallout. The surface conditions selected for this study will maximize local fallout areas and yet produce considerable amounts of world-wide fallout.

If for one reason or another a burst does not occur on the surface during the attack, different effects are to be expected. A deep underwater burst will, for example, produce a pulsating bubble filled with radioactive products. This will lead after a short delay to a surface eruption and a rapidly expanding ring of contaminated mist a thousand or more feet tall; little if any fallout in the usual sense of the word will take place. No attempt will be made to cover the effects of other burst heights in the following discussion. Before proceeding with descriptions of the fallout for the two conditions chosen, however, it is desirable to explain in a general way the overall processes of fallout formation and deposition.

しかし、ケイ酸塩土壌でのメガトン級の規模での米国内の爆発実験はありませんでした。強力な核威力の実験はエニウエトク実験場のサンゴ礁で行われ、ネバダ実験場の土壌での実験はすべてキロトン級の核威力の範囲にありました。これらの条件下では、地表爆発のフォールアウトの物理的特性はネバダのフォールアウトの物理的特性に似ていると想定できるだけですが、影響の大きさや他の特性は太平洋での実験の特性に似ています。爆弾の威力と、それが爆発する土壌の種類の間が結果として生じる放射性降下物に重大な影響を与えるので、ネバダの結果はせいぜい疑わしい仮定であることは明確に理解されるべきです。

また、過去のほとんどの爆発実験では、相当量の鋼が存在していたことも事実です。空中爆発の大部分をサポートするタワー、水面爆発のはしけ、および大量の実験装置などです。後で明らかになるように、一般に金属は、特に鉄はフォールアウトの形成プロセスにおいて非常に重要な役割を果たすと信じる理由があります。これは、陸域の爆発が工業地帯で発生し、水面では艦隊間で爆発することが上記で想定された追加の理由です。多量の金属が存在しない裸の土壌、または遮るものがない水面の爆発から生じる放射性降下物の性質は、現時点では明確に確立されていません。

核のタイプ、その総威力、および環境物質の性質に加えて、もう1つの要因がフォールアウトの特性に強く影響します。それは、爆発面の高度です。純粋な空中爆発は、後で明らかになる理由により、世界規模のフォールアウトに寄与する非常に小さな粒子のみを作成し、局所フォールアウトはほとんど生成しません。一方、適度に深い地下または水中の爆発は、ほとんど局所的なフォールアウトを生成します。この調査のために選択された地表面の状態は、その地域の放射性降下物の面積を最大化し、それでもかなりの量の世界的な放射性降下物を生成し

ます。

何らかの理由で攻撃中に地表面で爆発しない場合は、違った影響が予想されます。深い水中爆発は、例えば、放射性物質で満たされた脈動気泡（pulsating bubble）を生成します。これは、少し遅れて地表からの噴出と高さ 1000 フィート以上の急速に拡大する汚染された霧のリングにつながります。通常の意味での放射性降下物が発生する場合はほとんどありません。以下の議論では、他の爆発の高度の影響をカバーする試みは行われません。ただし、選択した 2 つの条件のフォールアウトの説明に進む前に、フォールアウトの形成と堆積の全体的なプロセスを一般的な方法で説明することが望ましいでしょう。

### Basic phenomena

When the nucleus of a heavy atom uranium fissions, or the nuclei of two light atoms such as hydrogen fuse, part of the mass of the original system is converted into energy. This appears in the form of the energy of motion of the product atoms, the excitation of the electrons of the atoms, and the energies of the nuclear radiations and particles, such as gamma-rays and neutrons, which are emitted. When the number of atoms fissioning or fusing is small or spread out in time, the resulting energy can be dissipated gradually in the surrounding medium: but when the number of atoms is large, and they fission or fuse almost simultaneously, a shock wave is formed in the medium as a means of dissipating the energy. Large quantities of neutrons, electrons and gamma-rays, are also released from the many nuclear reactions, and intense heat and light rays are generated as the rapidly moving atoms and excited electrons drop to lower energy levels. Taken all together, these phenomena constitute a nuclear explosion (Figure 2).

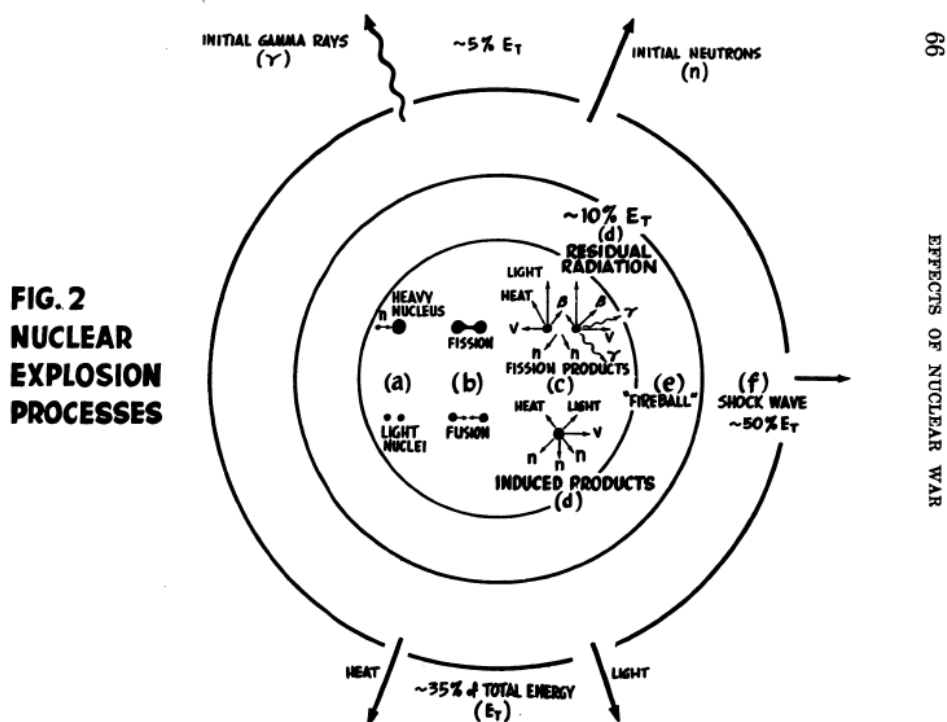
There are several significant differences between fission and fusion explosions, however. In the former most of the neutrons released are utilized internally to sustain the fission process, while in the latter a large part of the neutrons appear externally. This means that there are far more neutrons, which are capable of rendering certain materials in the bomb and surrounding environment radioactive (the sodium in the salt of seawater, for example), available from fusion weapons than from fission weapons. On the other hand the end products of fusion are harmless or only mildly radioactive products gases, while fission produces radioactive products which must then decay to more stable forms by the emission of nuclear radiations. There are over 40 ways in which a heavy nucleus of uranium or plutonium can divide in fission, leading to the production of 80 to 90 primary radioactive products (Figure 3). It is the residual radiations from these fission products and the materials activated by neutron irradiation, after they have been dispersed by the dynamic processes of the explosion, which constitute the fallout hazard.

### 基本的な現象

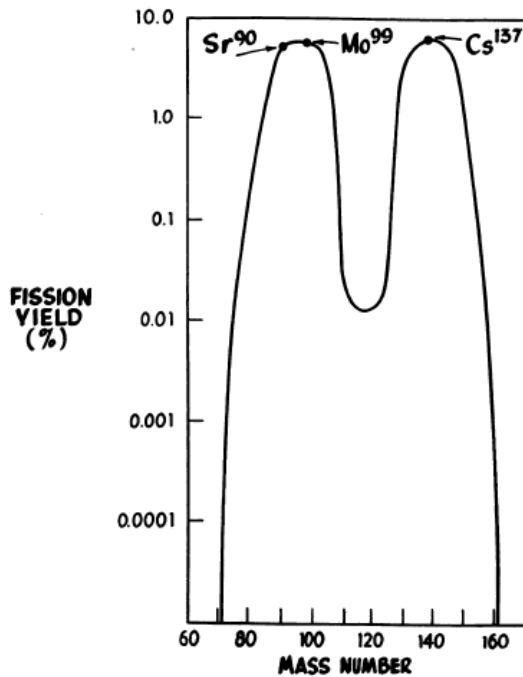
重い原子のウランの核が分裂したり、水素のような 2 つの軽い原子の核が融合したりすると、元の系の質量の一部がエネルギーに変換されます。これは、生成される原子の運動エネルギー、原子の電子の励起、および放出される核放射線とガンマ線や中性子などの粒子のエネルギーの形で現れます。核分裂または融

合する原子の数が少ないか、時間内に広がる場合、結果として生じるエネルギーは周囲の媒体で徐々に散逸する可能性があります。しかし、原子数が多い場合、それらがほぼ同時に分裂または融合すると、エネルギーを放散する手段としての媒体である衝撃波が形成されます。大量の中性子、電子、およびガンマ線も多くの核反応から放出され、急速に移動する原子と励起された電子がより低いエネルギーレベルに降下すると、強い熱と光線が生成されます。

まとめると、これらの現象は核爆発を構成します（図2）。



ただし、核分裂爆発と核融合爆発の間にはいくつかの重要な違いがあります。前者では放出された中性子のほとんどが内部で利用されて核分裂プロセスを維持しますが、後者では中性子の大部分が外部に現れます。つまり、爆弾や周囲の環境にある特定の物質（たとえば、海水の塩に含まれるナトリウム）を放射性にすることができる中性子が、核分裂兵器よりも核融合兵器にはるかに多く存在するということです。一方、核融合の最終生成物は無害または軽度の放射性生成物ガスで、核分裂は放射性生成物を生成しますが、その放射性生成物は放射線の放出によってより安定した形にまで崩壊しなければなりません。ウランまたはプルトニウムの重い原子核が分裂する可能性のある方法は40以上あり、80から90の一次放射性生成物が生成されます（図3）。



**FIG. 3  
FISSION PRODUCTS**

これは、これらの核分裂生成物および中性子照射によって活性化された物質からの残留放射線であり、それらが爆発の動的プロセスによって分散された後、放射性降下物としての危険を構成します。

It is to be emphasized that the fusion process is capable of producing sizeable quantities of induced radioactive products. Added to this, fusion bomb must be initiated by a fission trigger, and may contain uranium which can be activated or fissioned by the neutrons of fusion. Thus fusion weapons, sometimes called “clean weapons”, are actually capable of producing large quantities of radioactive fallout. They can only be considered “clean” relative to pure fission weapons, much as grey might be considered light relative to black.

Approximately 50% of the total energy of a fission bomb is usually thought to be dissipated in the shock wave and about 35% radiated as heat and light, although these proportions are recognized to vary in different burst environments. The remaining 15% would then appear in the form of nuclear radiations-roughly 5% being emitted initially, either directly from the fissioning atoms or from the fission products contained in the fireball, with the remaining 10% being available for residual radiation (Figure2). Certain recent work indicates that, almost regardless of the type of weapon, as much as 50% of the total energy could be dissipated as heat and light, with about 35% going to shock : since, however, the 15% going to nuclear radiations is the principal concern here, this subject will not be pursued further. There are situations where initial radiations could pose a more serious hazard at close distances than blast or thermal effects, but this is ordinarily not the cases. For this reason the following discussion will be concentrated entirely on that 10% of the bomb’s energy which takes the form of residual radiation.

The residual radiation is, of course, associated with contaminated particles. During the early stages of the explosion or fusing atoms is being transferred outward through successive layers of environmental material, the so-called “fireball” is produced. Since a



third or more of the bomb's energy is left behind in this fireball in the form of atomic or molecular motion, its internal temperature is very high –several hundreds of thousands of degrees centigrade. The bomb and everything in its immediate vicinity is vaporized ; in fact toward the center of the explosion, molecules are ripped apart and the electrons may even be completely stripped from the atoms (Figure 4a).

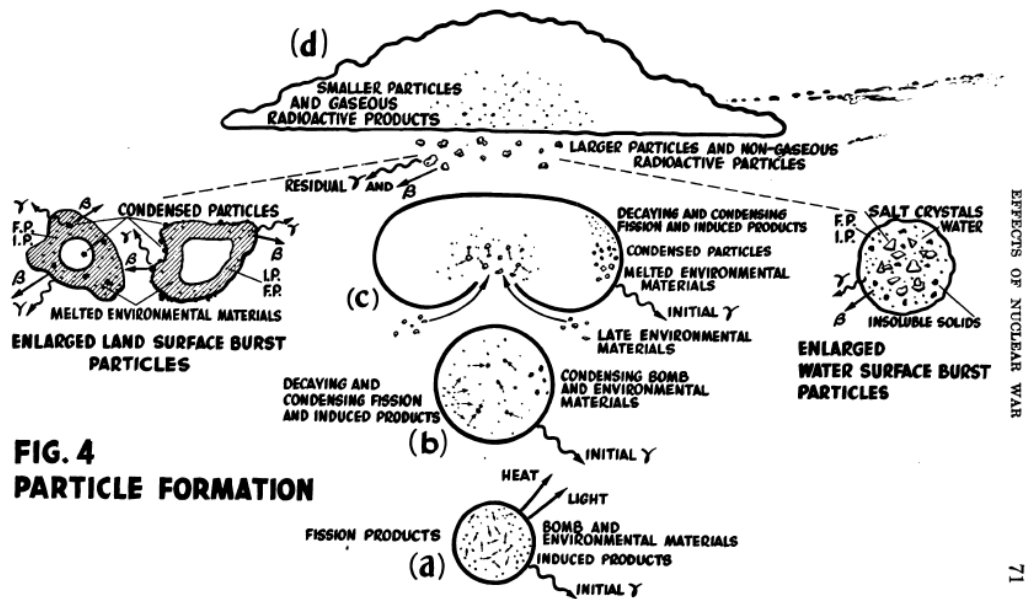
核融合のプロセスは、かなりの量の誘導放射性生成物を生成することができることを強調しておきます。これに加えて、核融合爆弾は核分裂トリガーによって開始されなければならず、核融合の中性子によって活性化または核分裂できるウランを含んでいる場合があります。したがって、「クリーンな武器」と呼ばれることもある核融合兵器も、実際には大量の放射性降下物を生成しています。純粋な核分裂兵器に比べて「クリーン」と見なすことができるのは、灰色が黒色に比べて明るいと見なされる可能性があることと同じです。

核分裂爆弾の総エネルギーの約50%は通常、衝撃波で放散され、約35%は熱と光として放射されると考えられています。これらの比率は爆発の環境によって異なると認識されています。その後、残りの15%が放射線の形で現れます。最初はおよそ5%が核分裂原子から、または火球に含まれる核分裂生成物から直接放出され、残りの10%は残留放射線として放出されます (図2)。

最近の特定の研究では、核兵器の種類に関係なく、全エネルギーの50%が熱と光として放散され、約35%が衝撃波を受ける可能性があることを示しています。このテーマにはこれ以上深入りしません。

初期の放射線は近い距離で爆風や熱の影響よりもより深刻な危険をもたらす可能性があります。これは通常のことではありません。このため、以下の説明はここでの主な関心事である残留放射線の形をとる爆弾のエネルギーの10%に完全に集中します。

もちろん、残留放射線は汚染された粒子に関連しています。爆発または融合の初期段階で、環境物質の連続する層を介して原子が外側に移動するときに、いわゆる「火の玉」が生成されます。爆弾の3分の1以上のエネルギーが原子または分子運動の形でこの火の玉に残されているため、その内部温度は非常に高く、摂氏数十万度です。爆弾とそのすぐ近くにあるすべてのものは蒸発します。実際、爆発の中心に向かって、分子は引き裂かれ、電子は原子から完全に剥ぎ取られることさえあります (図4a)。



As the fireball cools, the violent internal motion subsides; electrons, atoms and molecules recombine; and, eventually, condensation begins. This proceeds in the order of the boiling points, like iron, condensing first and those having lower boiling points remaining in a gaseous state until later (Figure 4b). During the cooling process, which is of the order of seconds for megaton bursts, large quantities of soil or ocean water will be drawn into the fireball. At first the temperature will be high enough to vaporize this too, but finally it will drop to the point where the soil grains from the land surface burst will only be melted (Figure 4c).

Such, then, is the early environment of the radioactive atoms produced by fission or neutron activation, and much of their subsequent history is determined by this environment. These also condense as a function of their boiling points; but, since only small quantities are involved, they probably condense for the most part on other particles, which exist in greater numbers, in the general temperature range from  $2000^{\circ}$  to  $2800^{\circ}$  centigrade. Metals, because of their high boiling points, may provide such particles at early times, while melted soil droplets could provide them at later times. This means that part of the radioactive atoms, particularly those which condense earliest, may become bound to small metallic particles (FIGURE 4b), which may themselves collide with and become trapped in the larger liquid soil particles (Figure 4c). Some of the remaining atoms will also condense directly on soil particles and other available materials. These larger particles then fall from the cloud to constitute that local fallout (Figure 4d).

火の玉が冷えると、激しい内部の動きが収まります。電子、原子、分子が再結合します。そして、結局、凝縮が始まります。これは、最初に凝縮する鉄などの沸点の高い順に進行し、沸点の低いガスは、その後までガス状のままです（図4b）。メガトン級爆発では数秒程度の冷却プロセス中に、大量の土壌または海水が火の玉に引き込まれます。最初は温度もこれを蒸発させるのに十分なほど高

くなりますが、最終的には地表の爆発から引き込まれた土壌粒子が溶け出すポイントまで低下します（図 4c）。したがって、それは核分裂または中性子による放射化によって生成される放射性原子の初期環境であり、その後の過程の多くはこの環境によって決定されます。これらはまた、それらの沸点の関数として凝縮します。しかし、少量しか含まれていないため、2000～2800°Cの一般的な温度範囲で、より多く存在する他の粒子に大部分が凝縮します。金属は沸点が高いため、早い時期にそのような粒子を提供する可能性があります。溶けた土壌の液体粒子が、後で提供される可能性があります。つまり、放射性原子の一部、特に最初に凝縮するものは、小さな金属粒子に結合する可能性があります（図 4b）、それ自体が衝突して大きな液体土壌粒子に閉じ込められる可能性があります（図 4c）。残りの原子の一部は、土壌粒子やその他の利用可能な材料に直接凝縮します。次に、これらのより大きな粒子が雲から落下し、局所フォールアウトを構成します（図 4d）。

Part of the radioactive atoms are noble gases, however, and thus do not become attached to other particles until they have decayed to more reactive kinds of atoms—by which times most of the larger particles have already fallen out. The result is a depletion of the decay products of these gases in the local fallout and a corresponding enrichment of the decay products in the small particles which tend to remain aloft longer and be deposited at greater distances. This process, known as fractionation, is an important one since it has been observed to occur for several important radioactive products in the fallout from land surface bursts – including strontium-90, which is a decay product of the noble gas krypton, and cesium-137, which also has gaseous precursors and is one of the principal gamma-ray emitters at very late times.

Water surface bursts on the other hand appear to be unfractionated in many important radioactive products and only slightly fractionated in others. The reasons for this are closely related to the condensation processes in the cloud, and may result from more of the radioactive gas atoms decaying and condensing on small particles of metals and sea salt before water droplets can form on condensed salt nuclei, collect some of the smaller particles, and grow large enough to fall out of the cloud. This surmise seems reasonable in any event in view of the lower boiling points of the components of seawater, as opposed to soil, and the observed characteristics of the fallout from such shots -- which consists of clusters of salt crystals loosely bound together with water and containing small quantities of insoluble solids.

Circulation processes in the fireball and early cloud also play an important role in fallout formation, since they determine the locations and concentrations of the various materials during condensation. Present theory pictures first a rapidly-rotating, doughnut-shaped ring containing all of the radioactive products and other materials initially vaporized by the explosion. This operates to help draw environmental materials into the contaminating cloud; it also determines the distribution of radioactive and inert material which exists when the energy of rotation is lost and consequently influences the ultimate distribution of the fallout on the ground.

Local fallout from the cloud continues until only the small particles defined as world-wide fallout (ordinarily less than about 0.02 millimeter in diameter) are left. The

question then is: how much of the total radioactivity, as well as of certain specific radioactive products like strontium-90 and cesium-137, produced by the bomb is deposited locally, and how much remains available for world-wide fallout. To really answer this question will require more complete measurements than have ever been made. The results of the most recent attempt will be quoted later; but it should be emphasized here that, because of fractionation, world-wide fallout from both land and water surface bursts may be enriched in such products.

ただし、放射性原子の一部は希ガスであるため、より反応性の高い種類の原子に崩壊するまで他の粒子に付着することはありません。これにより、より大きな粒子のほとんどがすでに降下しています。その結果、局所フォールアウトではこれらのガスの崩壊生成物が減少し、対応する小さな粒子の崩壊生成物が濃縮されます。これらの粒子は、より高い距離にとどまり、より遠くに堆積する傾向があります。このプロセスは、分別 (fractionation) として知られていますが、地表爆発からのフォールアウトでいくつかの重要な放射性生成物が発生することが観察されているため、重要なプロセスです。希ガスクリプトンの崩壊生成物であるストロンチウム 90 や、非常に遅い時期の主要なガンマ線放出体の 1 つであるセシウム-137 もガス状の前駆体を持っています。

一方、水面の爆発では多くの重要な放射性物質は分別されておらず、他 (の放射性物質) ではわずかししか分別されていないように見えます。この理由は、雲内の凝縮プロセスに密接に関連しており、水滴が凝縮塩の核に形成される前に、金属や海塩の小さな粒子上で放射性ガス原子が崩壊して凝縮を生じる可能性があります。この小さい粒子のいくつかが集まって、雲から落ちるほど大きく成長します。この推測は、土壌とは対照的に海水の成分の沸点が低いこと、さらにそのような爆発からのフォールアウトの観測された特性を考慮すると、いずれにしても合理的であると考えられ、水と緩く結合した塩結晶のクラスターで構成される少量の不溶性固形物を含みます。

火の玉と初期の雲の循環プロセスも、凝結中のさまざまな物質の位置と濃度を決定するため、放射性降下物の形成に重要な役割を果たします。現在の理論は、最初に爆発によって気化したすべての放射性生成物と他の物質を含む、急速に回転するドーナツ型のリングを描写しています。これは、汚染物質の中に環境物質を引き込むのに役立ちます。また、回転のエネルギーが失われたときに存在する放射性物質や不活性物質の分布を決定し、その結果、地上のフォールアウトの最終的な分布に影響を与えます。雲からの局所フォールアウトは、世界規模のフォールアウトとして定義された小さな粒子 (通常、直径が約 0.02 ミリメートル未満) だけが残るまで続きます。

次に、問題は、爆弾によって生成されたストロンチウム 90 やセシウム 137 などの特定の放射性生成物だけでなく、総放射能のどれだけが局所に堆積し、世界規模の放射性降下物に利用可能なまま残っているかです。この質問に本当に答えるには、これまでにないより完全な測定が必要になります。最新の試みの結果は後で引用されます。しかし、分別のために、地表と水面の両方の爆発からの世

界規模の放射性降下物がそのような生成物に富む可能性があることをここで強調する必要があります。

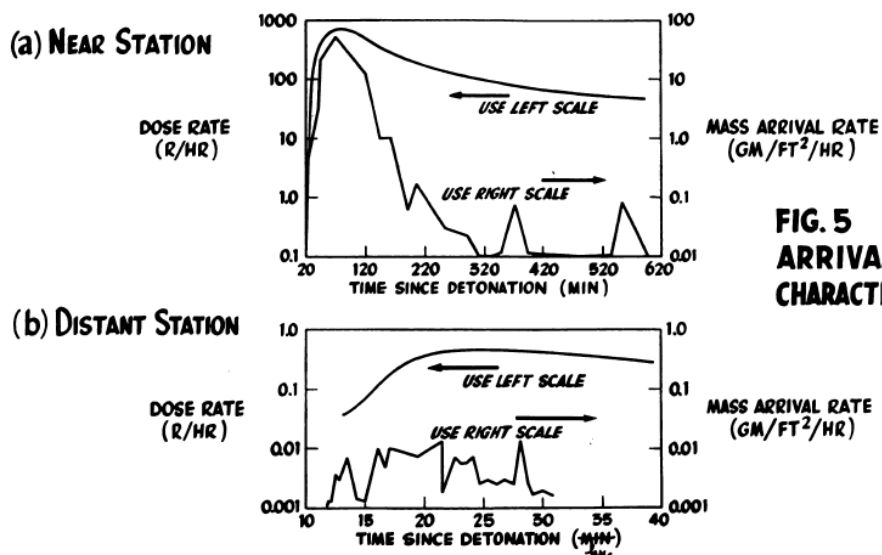
If one were standing just outside the range of blast and thermal damage, downwind (with respect to the high-level winds) from a megaton land surface burst of the kind assumed, what would be experience during fallout arrival? First of all be would receive a radiation dose from the penetrating, long-range gamma-rays emitted by the fallout particles when they had descended to within about 1000 ft from him. This part of the total dose is often referred to as transit radiation, and it is important to note that it can be delivered to a given point even though the actual particles may be blown by the point and deposited elsewhere.

A few minutes after the burst be would become aware of a rain of relatively large particles, glassy in appearance and varying from yellow to black in color, falling all around him. These would range from several millimeters to perhaps 1/2 millimeter in diameter, with the largest particles carrying the most radioactivity, and would be clearly visible against most backgrounds (Visual Aid 1, demonstrating 1000 r/hr fallout). The overall impression might be much like being in a mild desert sandstorm. While this was happening the concentration of the material passing through the air near him and the gamma radiation dose he was receiving would be building up steeply to a level of 1000 r/hr or more (Figure 5a); also the average energy of the gamma rays, reflected in penetrating power, would probably be higher at these early times (20 min). After about the same length of time it took for the particles to arrive in the first place, the rain of large particles would diminish; and radioactive decay would begin to predominate, as shown in the figure. It is to be noted that at first, because of the presence of induced products, the dose rate would probably not decrease as fast as the average usually estimated for mixed fission products, while later it would drop much more rapidly due to an overall decrease in the ionizing power of the radiation (Figure 6; note logarithmic scale). This decay might be interrupted by the late arrival of groups of particles from higher altitudes if the high-level winds reverse themselves. These large particles would not present a serious inhalation hazard, could be easily brushed off clothes and skin, and once on the ground would tend to resist movement by surface winds.

想定されている種類のメガトン級の地表爆発からの高レベルの風に対する風下の爆発および熱傷の範囲のすぐ外に立っていた場合、放射性降下物の到着時に何が起こるのでしょうか？まず第一に、放射性降下物粒子が約 1000 フィート以内に降下したときには、人は放射性降下物粒子によって放出された貫通する長距離ガンマ線から放射線量を受け取ります。総線量のこの部分は、しばしば透過放射線と呼ばれ、実際の粒子がポイントによって吹き飛ばされて別の場所に堆積する場合でも、所定のポイントに送達できることに注意することが重要です。爆発の数分後、ガラスのように見え、黄色から黒に変化する比較的大きな粒子の雨がその人の周りに降り注ぐことに気づくでしょう。これらは、直径が数ミリメートルからおそらく 1/2 ミリメートルの範囲であり、最大の粒子が最も多くの放射能を運び、ほとんどの背景に対してははっきりと見えます（画像資料 1、1000

r/hr のフォールアウトを示しています)。全体的な印象は、穏やかな砂漠の砂嵐のようです。これが起こっている間、その人の近くの空気を通過する物質の濃度とその人が受け取っていたガンマ線量は、1000 r/hr 以上のレベルまで急激に増加します (図 5a)。また、透過力に反映されるガンマ線の平均エネルギーは、おそらくこれらの初期 (20 分) の方が高くなります。粒子が最初の場所に到着するのとほぼ同じ時間の後、大きな粒子の雨は減少しました。図に示すように、放射性崩壊が支配的になり始めます。初めに、誘発された生成物の存在のために、線量率はおそらく混合核分裂生成物について通常推定される平均ほど速く減少しないでしょうが、放射線の電離力が後に全体的に減少するため、より急速に低下することに注意してください (図 6; 対数目盛に注意)。高レベルの風が逆転する場合、この減衰は、より高い高度からの粒子のグループの遅い到着によって中断される可能性があります。これらの大きな粒子は深刻な吸入の危険をもたらすことはなく、衣服や皮膚から簡単に払い落とすことができ、地面に付着すると地表風による動きに抵抗する傾向があります。

Original from

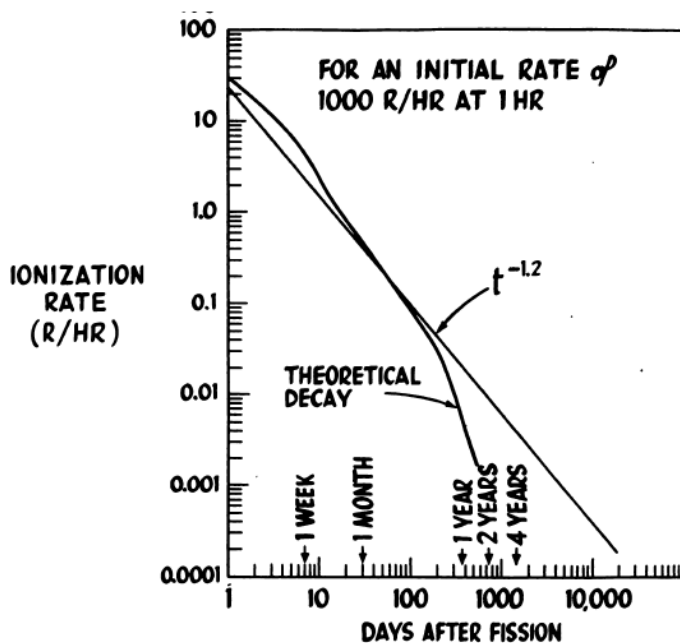


**FIG. 5  
ARRIVAL  
CHARACTERISTICS**

76

EFFECTS OF NUCLEAR WAR

Original from



**FIG. 6**  
**RADIOACTIVE**  
**DECAY RATE**

If on the other hand one were standing so far downwind from ground zero that he could see the flash and cloud from the burst but could not hear it, his experience would be quite different. After some much longer interval of time, perhaps even several hours, a disperse cloud of fine particles would begin to settle out around him. These particles might range in diameter from about 0.1 to 0.02 millimeter, again with the largest being the most active, and would be almost entirely invisible; they would, however, be of the same general type as the larger particles (Visual Aid 2, demonstrating 1-100 r/hr fallout). The concentration of material passing through the air and the radiation dose he was receiving would buildup gradually (Figure 5b), probably reaching a peak rate less than 1 r/hr at about twice the arrival time. At this time (20 hr) the average energy of the gamma-rays would probably be lower and their penetrating power less. The dose rate would then decrease in a slightly irregular fashion over a long period of time, representing the effects of radioactive decay interrupted by late fallout arrival. These small particles would represent an inhalation hazard and could not be as easily removed from skin, clothes and other types of solid surface. On the ground they would be subject to redistribution by the wind in the same way as the fine dust in the soil.

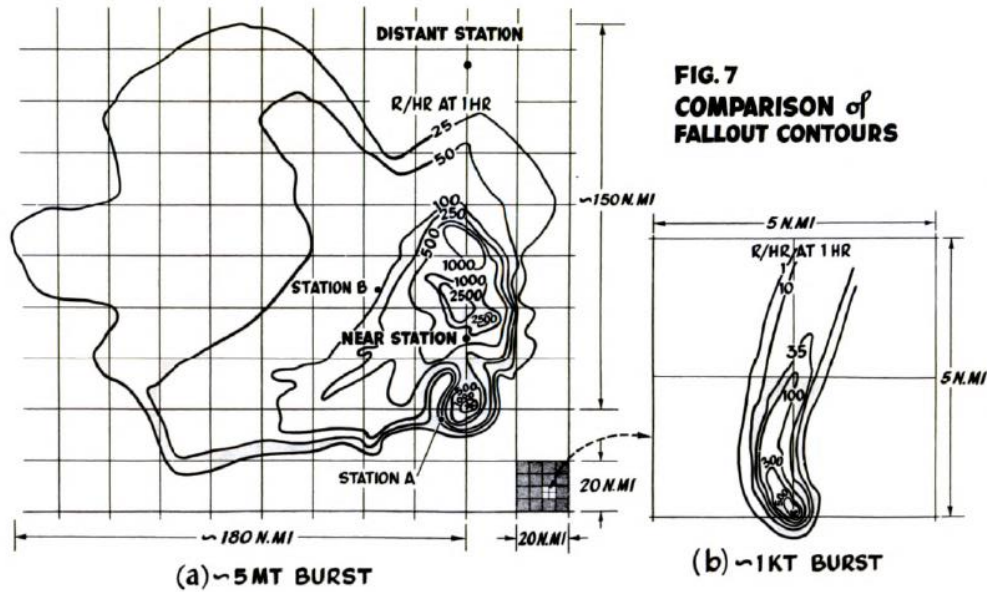
In case the burst occurred on an ocean surface instead of on land, the proportions of the particles would be different but the buildup characteristics, as reflected in the curves of Figure 5a and 5b, would be much the same. As indicated earlier, the fallout particles would consist of clusters of salt crystals containing a small amount of insoluble material and held together with a little water. These particles probably leave the cloud as ice pellets, but continuously change their size by evaporation and condensation as they fall through different zones in the atmosphere. In any event they tend to be quite uniform in size when they arrive—varying between about 0.1 and 0.3 millimeter in diameter—and would be virtually invisible. They would present an inhalation hazard in any location and would be very difficult to remove from most surfaces.

Figure 7a illustrates the appearance of the overall local area which might be contaminated by the fallout from a land surface burst of about 5 megatons. These are

isodose rate contours for one hour constructed as best possible from actual test measurements. Locations similar to those just discussed are indicated (Near and Distant Station) and representative contours for a land surface burst in the low kiloton range are shown for comparison (Figure 7b).

一方、グラウンドゼロから風下の遠くに立っていて、爆発の閃光と雲を見ることができたが、爆発音を聞くことができない場合、その人の経験はまったく異なります。かなり長い時間、おそらく数時間後、分散した雲からの細かい粒子が彼の周りに沈殿し始めます。これらの粒子は、直径が約 0.1 から 0.02 ミリの範囲で、最大の粒子が最も活性が高く、ほぼ完全に目に見えます。ただし、それらはより大きな粒子と同じ一般的なタイプになります（画像資料 2、1~100 r/hr のフォールアウトを示します）。大気中を通過する物質の濃度とその人が受け取っていた放射線量は徐々に増加し（図 5b）、おそらく到着時間の約 2 倍で 1 r/hr 未満のピーク速度に達します。この時点（約 20 時間）では、ガンマ線の平均エネルギーはおそらく低くなり、透過力は低くなります。線量率はその後、長期間にわたってわずかに不規則な形で減少し、放射性降下物の影響が後期フォールアウトの到着によって妨げられることを示します。これらの小さな粒子は吸入の危険を表し、皮膚、衣服および他のタイプの固体表面から簡単に取り除くことができませんでした。地上では、土壌中の細かい塵と同じように、風による再分配を受けます。爆発が地上ではなく海面で発生した場合、粒子の比率は異なりますが、図 5a と 5b の曲線に反映されているように、蓄積特性はほとんど同じです。先に示したように、フォールアウト粒子は、少量の不溶性物質を含み、少量の水と一緒に保持された塩結晶のクラスターで構成されます。これらの粒子はおそらく雲を氷のペレットとして残しますが、大気中のさまざまなゾーンを通過するときに、蒸発と凝縮によってサイズが連続的に変化します。いずれにしても、到着時にサイズが非常に均一になる傾向があり（直径が約 0.1 から 0.3 ミリメートルの間で異なります）、事実上見えなくなります。それらはあらゆる場所に吸入の危険をもたらし、ほとんどの表面から取り除くことは非常に困難です。図 7a は、約 5 メガトンの地表爆発からの放射性降下物によって汚染されている可能性のあるローカルエリア全体の外観を示しています。これらは、実際のテスト測定から可能な限り最良に構築された 1 時間の等線量率等高線です。先ほど説明した場所と同様の場所が示され（近距離および遠距離のステーション）、比較のために低キロトン範囲の地表面爆発の代表的な等高線が表示されず（図 7b）。





**FIG. 7**  
**COMPARISON of**  
**FALLOUT CONTOURS**

There are two particularly important points to notice about the contours for the megaton burst. The first is that they are highly irregular, and the second is that they contain isolated regions of higher radiation intensity at considerable distances from ground zero. Both of these are due largely to the fact that the winds at higher altitudes were blowing in various directions with different speeds following the shot. To obtain the smooth simplified contours usually shown requires simplified wind structures, which often do not exist. Although for prediction purposes it may be necessary to assume a simple wind structure and show idealized contours, it should be borne in mind that the real situation is apt to be very different. As may be seen, the same characteristics may be present to a lesser extent in kiloton burst contours, even though they will be less well-defined. The evidence is clear that, if a varying wind structure exists, the fallout pattern for megaton bursts can be such that widely different radiation doses can be received in closely adjacent areas. Notice, for example, that radiation fields less than 25 r/hr and greater than 2500 r/hr exist within relatively short distance of the Near Station in Figure 7a.

The remainder of this statement will be devoted to summarizing the estimated properties of the fallout for the two cases selected. Before doing so, however, it might be well to take advantage of the preceding discussion to bring out two points which sometimes cause confusion.

It should be clear from the foregoing development that contaminated particles and radiations from contaminated particles are two different things. The particles are contaminated in the sense that they carry radioactive atoms which are disintegrating and emitting nuclear radiations. A contaminated particle emitting gamma-rays might well be compared with an ordinary bulb emitting light. The bulb like the particle is a substantial physical object, while the light and the gamma-rays are concentrations of pure energy. The farther one moves away from a lighted bulb, the less light he receives, and this is also true of the radiations from a fallout particle. While gamma-rays are

considerably more penetrating than light, there are other nuclear radiations (alpha and beta particles) which are even less so and constitute no hazard except at very close distance.

Perhaps this will also make it clear that external and internal radiation hazards are two different things. If the source of the radiation, such as an X-ray machine or a fallout particle, is some distance away from the body of an observer, he will receive only the long-range X-rays or gamma-rays –thus constituting an external radiation hazard. If, however, the source of the radiation is inside his body, as in the case of a fallout particle which has been inhaled or swallowed, he will receive both the long and short range radiations –thus creating an internal radiation hazard. Certain radioactive products, such as strontium-90 and carbon-14, emit only short range radiations and consequently pose little or no external hazard. They do, however, pose a serious internal hazard, and this point should never be neglected in estimating the dangers of radioactive fallout.

メガトン級爆発の等高線については、2つの特に重要な点に注意してください。1つ目は、非常に不規則であること、2つ目は、グラウンドゼロからかなり離れた場所に放射線強度の高い孤立した領域が含まれていることです。これらは両方とも、主に、標高の高い風がさまざまな方向に吹いていて、爆発後の速度が異なるという事実によるものです。通常表示される滑らかな簡略化された輪郭を取得するには、単純化された風構造が必要ですが、これは多くの場合存在しません。予測のために、単純な風の構造を想定して理想的な輪郭を表示することが必要になる場合がありますが、実際の状況は非常に異なる傾向があることに注意してください。以上に見られるように、同じ特性は、あまり明確に定義されていない場合でも、キロトン級爆発の等高線ではあまり表示されない場合があります。変化する風の構造が存在する場合、メガトン級爆発のフォールアウトパターンは、非常に異なる放射線量を密接に隣接する領域で受けるようなものになる可能性があるという証拠は明らかです。たとえば、図 7a の近距離ステーションから比較的短い距離内に、25 r/hr 未満と 2500 r/hr を超える放射フィールドが存在することに注意してください。

このステートメントの残りの部分は、選択された2つのケースのフォールアウトの推定特性を要約することに費やされます。ただし、その前に、前述の説明を利用して、混乱を招く可能性のある2つの点を明らかにすることをお勧めします。

汚染された粒子と汚染された粒子からの放射線が2つの異なるものであることは、前述の展開から明らかでしょう。粒子は、崩壊して放射線を放出する放射性原子を運ぶという意味で汚染されています。ガンマ線を放出する汚染粒子は、光を放出する通常の電球と比較できるでしょう。粒子のような電球は実質的な物体であり、光とガンマ線は純粋なエネルギーの集中です。照明付き電球から遠ざかるほど、彼は受ける光が少なくなります。これは、フォールアウト粒子からの放射にも当てはまります。ガンマ線は光よりもかなり浸透しますが、他の放射線（アルファおよびベータ粒子）があり、それよりもはるかに少なく、非常に近

い距離を除いて危険はありません。

おそらくこれにより、外部と内部の放射線障害が2つの異なるものであることも明らかになります。X線装置や放射性降下物粒子などの放射線源が観察者の体から少し離れている場合、彼は長距離X線またはガンマ線のみを受け取るため、放射線の危険として外部被ばくになります。ただし、放射線源が彼の体内にある場合、吸い込まれたまたは飲み込まれた放射性降下物の粒子の場合のように、彼は長距離と短距離の両方の放射線を受け、したがって内部被ばくの危険を引き起こします。ストロンチウム90や炭素14などの特定の放射性生成物は、短距離放射線のみを放出するため、外部への危険性はほとんどありません。しかし、それらは深刻な内部被ばくをもたらすので、放射性降下物の危険性を推定する際にこの点を無視してはなりません。