

第 2 章

第2章 核爆発の状況

第1節 序 論

2.01 核爆発に伴って直接目に見える、又は、直接目に見えない数々の特有の現象が生ずる。これらの現象のあるものは、第1章に述べたような空中爆発、高空爆発、地表面爆発、地中爆発等の爆発形式によって変わってくる。爆発の形式による現象の変化は、核爆発と周囲の条件との一次のおよび二次的な相互作用によるもので、これらが爆発によって生じたエネルギー、爆風、衝撃及び熱輻射等の形になる割合を決定する。更にまた、核兵器のデザインが上述したエネルギー分布に影響することがあり得る。その他・気温・湿度・風・降雨・大気圧のような気象条件や、爆発が起った付近の地形の状態さえ、爆発の際、見られる効果に影響することがある。しかし、大まかな現象は、高空、空中、地表、水中又は地中程度の爆発形式によって異なるだけである。この章で説明されているのは、このような現象についてである。

2.02 ここでは、主としてほぼ1MTのTNTに等しいエネルギーを持つ核装置の、高空又は、地表面に近い空中においての爆発について述べる。

水中爆発の場合については、20～30KT等価の核兵器の、浅い水中、中程度の深さ及び深いところでの爆発に関する数少ない資料によっている。これらの記述から、上記以外の威力の核爆発の状況についても予測することができるであろう。

しかしながら、原則的には一定の条件下での核爆発における基本的な現象は、爆発のエネルギーの大小にはあまり左右されない。以下の記述では、先づ空中爆発は火の玉が最大になった時でも、それが地表面より十分上にあるような高度で核爆発した場合について述べる。さらに、地表面爆発や超高空爆発の際に生ずる特殊な効果や、空中爆発との差異、水中及び地中爆発における特異な現象についても述べる。

第2節 空中及び地表面爆発

火の玉

2.03 すでに述べたように、核兵器内のウラニウム（又はプルトニウム）や水素の同位元素の分裂は、非常に短い時間に、ある決まった量の物質から大量のエネルギーを放出する。この結果、核分裂生成物や爆弾の外殻その他の核兵器の部分は、太陽の中心温度と同様の高温に熱せられる。これらの物が作り出す最高温度は、数千万度であるが、これに比べて高性能爆発兵器の場合は、 $5,000^{\circ}\text{C}$ （又は $9,000^{\circ}\text{F}$ ）である。核爆発によって生じた非常に高い熱のために、あらゆる物質は気体になる。この気体は、爆発の瞬間に核兵器の中に押しこめられるので、そこに莫大な圧力が生じる。この圧力は、おそらく大気圧の百万倍以上、つまり1平方インチ当り数百万ポンドにもなる。

2.04 核爆発後の百万分の1秒以内に、超高温の核兵器残滓が主として目に見えないX線として大量のエネルギーを放出するが、このX線は周囲の大気中（標準海面）に数フィート以内で吸収される（§1.78）これが§1.32で述べた空気とガス状の核兵器残滓によって作られる超高温と、強く輝く球状の火の玉であり、空中爆発の際の典型的な火の玉を図2.04に示す。火の玉の表面の明るさは時間の経過につれて弱まるが、爆発の数ミリ秒⁽¹⁾後、1MTの火の玉は爆発点から50マイル離れたところで、真昼の太陽の何倍もの明るさに見える。ネバタ実験場で行われた低空爆発でエネルギー放出量100KT以下の数回の核実験では、夜明けの時刻に爆発の閃光が400マイル（又はそれ以上）離れた場所から見えた。これは、光の直進現象（視線方向）の結果ではなく、むしろ大気中のじんあいの微粒子や、水分によって光線が屈曲させられることによって生ずる散乱や回折のためである。しかし、MT級の核兵器の高空爆発の場合は、700マイル離れたところからでも閃光を直視することができた。

注：(1) 1ミリ秒は $\frac{1}{1000}$ 秒



図-2.04 距離50マイル高度1,200フィートで撮影したメガトン級の空中爆発の火の玉は凝縮雲のため部分的に影が生じている (§ 2.48参照)。

2.05 火の玉の明るさ(又は輝き)を左右する表面温度は、核兵器の全エネルギー放出量の大小には余り関係がない。したがって、核爆発で放出されるエネルギーの量にかかわらず、空中爆発の際に観測される火の玉の明るさは大体同じである。火の玉は形成されるとすぐに温度の低下がおこり、これと同時に火の玉は熱気球のように上昇する。爆発後 $\frac{1}{10}$ ミリ秒の1 MTの核兵器の火の玉の直径は440フィートあり、これは10秒以内に最大値5,700フィートにまで達する。そして毎秒250~300フィートの割合で上昇する。1分たつと火の玉は可視の輻射線を放出しなくなるまでに温度が下がる。このときまでに、火の玉は爆発点からおおよそ4.5マイル上昇している。

図-2.04は距離約50マイル、高度12,000フィートで撮影したMT級の空中爆発の火の玉。火の玉は爆発により生じた凝縮雲のため、部分的におおわれている。 (§ 2.48参照)。

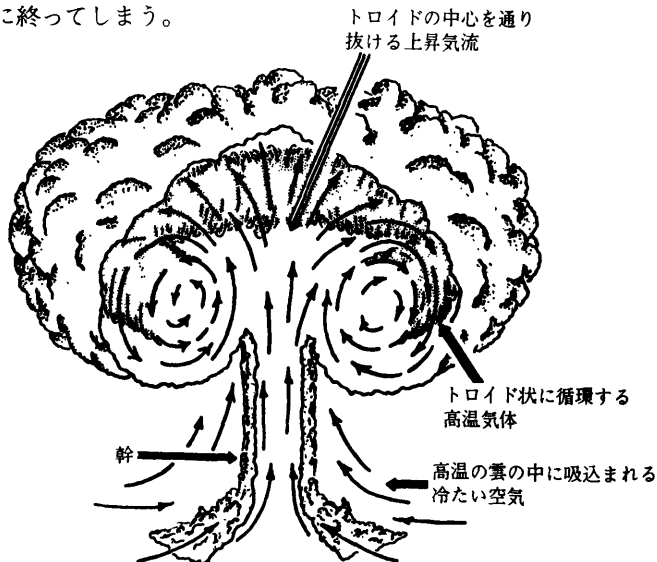
放射能雲

2.06 火の玉が明るく輝いている間は、すくなくともその内部は、非常に高温で、

すべての核兵器物質は気体である。これには放射性核分裂生成物や分裂しなかったウランウム（又はプルトニウム）核兵器外殻およびその他の物質が含まれている。火の玉が大きくなり温度が下がるにつれて、これらの気体は凝結して核兵器破片の固体粒子となり、上昇する火の玉に吸い込まれた空気から生じた多量の微水滴と共に放射能雲を形成する。

2.07 火の玉の上昇の初期に放射線放出に伴い外側が冷却され、火の玉は上昇により空気の抵抗を受けるために、しばしばその形態を変える。ほぼ球形だったものはトロイド（又はドーナツ）型に変化するが、その形と動きは放射能雲及び核兵器破片によって、すぐにかくされてしまうことが多い。火の玉の上昇にともない、トロイド型は図－2.07 a に示されるような激しい内部循環運動を行う。

トロイドの形成は図－2.07 b の比較的明るく輝いている部分に見られるように、通常可視の放射能雲の下方にみられるトロイドの内部循環運動は、トロイド底部から多量の空気を流通させ、そのため放射能雲は冷やされ火の玉のエネルギーは消滅する。その結果トロイド運動は遅くなり、放射能雲上昇が最大高度に達するまでには完全に終わってしまう。



図－2.07 a 核爆発で生じる放射能雲のトロイド状の循環内部の断面模型



図-2.07 b 低空爆発におけるトロイド状の火の玉と土砂雲の景状

2.08 放射能雲の色は最初赤もしくは赤褐色であるが、これは火の玉の表面の種々の有色の化合物（亜硝酸と窒素の酸化物）のためである。これらの化合物は空中の窒素、酸素及び水蒸気が、高温と核放射線の影響下での化学反応の結果生じたものである。火の玉が冷却し、凝結が起ると放射能雲の色は白に変わるが、これは主として通常の雲と同様に水滴によるものである。

2.09 核兵器の爆発高度および地面の状態に応じて、爆心のすぐ近くに爆心に吹き込み、強い上昇風となる^ミ吹き戻し、と呼ばれる風が生ずる。この吹き戻しが地表の塵や破片を放射能雲中に吸い込むが、その量は場合により異なる。

2.10 放射能雲中に吸い込まれる塵や破片の量が、あまり多くない（又は少量の）空中爆発では塵埃粒子のうちの一部分が放射能汚染を受けるだけである。これは、

核分裂生成物がまだ気状であって、これから凝縮が起ころうとしている段階では、吸い込まれた粒子が原子雲の中で放射能を帯びた兵器の残滓と十分に混ざり合わないからである。しかし、地表面近くでの爆発の場合は、大量の塵や破片が爆発初期に放射能雲にすい込まれ、放射能雲の形成と成長の段階で、これらの十分な混合が行われる。その結果、気化した核分裂生成物が、他の物質とともに凝縮して強度の放射性粒子を形成する（§ 2.23）。

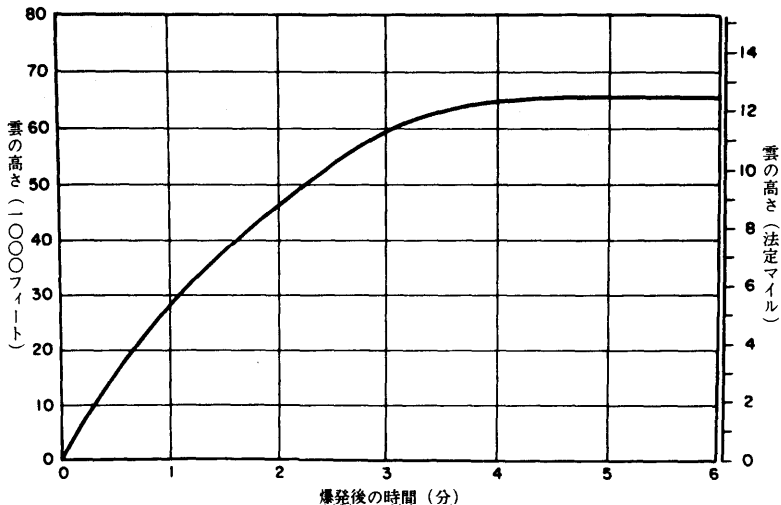
2.11 当初、核兵器残滓の塊の上昇は粒子を上方へ押し上げるが、しばらくすると、重力の影響により、その粒子の大きさにみあった割合で、ゆっくりと降下し始める。その結果、長く引きのばされた（そして幅の広がった）雲（又は煙）の円柱が生ずる。この雲は主として放射性の核分裂生成物の微粒子や水滴、核兵器外殻、そして吹き戻しのために吸いこまれた比較的大きな塵や破片を含んでいる。

2.12 放射能雲の先端が上昇する速度は、核兵器の威力と気象条件によって異なる。1 MTの核爆発で生じる雲のおよその上昇速度は、表-2.12の数値および図2.12の曲線から求めることができる。一般的に雲は30秒で3マイル、また、1分間で5マイル上昇することがわかる。最初の1分内外の平均上昇速度は、約300マイル/時（440フィート/秒）である。これらは大ざっぱな平均値と見るべきで、各々の異なった状況下では、大きな偏差があることが予想される（図-10、15f a・b・c参照）。

注：(2) 圏界面とは、対流圏と空気の比較的安定している成層圏との間との間の境界である。これは季節と緯度によって変わり、極付近の上空では約25,000フィート、赤道上空では約55,000フィートである (§ 9.128)。

表一2.12 1メガトン空中爆発により
生じる放射能雲の上昇比率

高 さ (マイル)	時 間 (分)	上 昇 率 (マイル/時間)
2	0.3	330
4	0.7	270
6	1.1	220
10	2.5	140
12	3.8	27



図一2.12 1メガトン核爆発における爆発後の時間経過と放射
能雲上端の高さ (低空爆発)

2.13 放射能雲が到達する最終高度は、核兵器の熱エネルギーと大気中の水分や大気の安定度といった大気の状態によって決定される。熱発生量が大きければ大きい程、浮力による上方への圧力は大きくなり、それに従って雲の上昇する距離も大きくなる。放射能雲の達する最大高度は、成層圏と対流圏の間にある圏界面⁽²⁾によって強い影響を受ける。これは、放射能雲が圏界面の高さまで上昇するものと考えられるからである。

2.14 放射能雲が圏界面に達すると、雲は側面、すなわち横向きに広がる傾向がある。しかし、この高さに到達した放射能雲に十分エネルギーが残っていれば雲の一部は圏界面を突き抜けて、成層圏のもとと安定した空気中へと上昇するであろう。

2.15 放射能雲は爆発の約10分後に最高度に達し、安定したと呼ばれる状態になる。雲は、横の方へ成長し続け核爆発の特徴であるキノコ型となる（図-2.15）。この放射能雲は風によって、周囲の大気中に散乱し、空中の天然の雲と混じり合ってしまう1時間以内の間に見ることができる。



図-2.15 爆発点から距離約50マイル高度12,000フィートで撮影したメガトン級爆発のキノコ雲

2.16 核爆発により形成される安定した放射能雲の大きさは、時間や場所によるさまざまな気象条件に左右される。アメリカ大陸で起こる可能性の大きい気象条件下で、低空又は地表面爆発における雲の高度及び半径の平均値（爆発後約10分の）と、爆発の威力との関係は、図-2.16に示されている。この高度曲線の20～100 K T、T N T等価の範囲の平坦部は雲の上昇を遅くしている圏界面の影響に

よるものである。威力が15 K T以下の場合、雲高は爆発点からの高さとして示されているが、15 K T以上のものは海面からの高さで示されている。地表面爆発の雲高の最大値は、爆発によりすい上げられた大量の土壌や破片のために図-2.16の値より多少小さくなる。

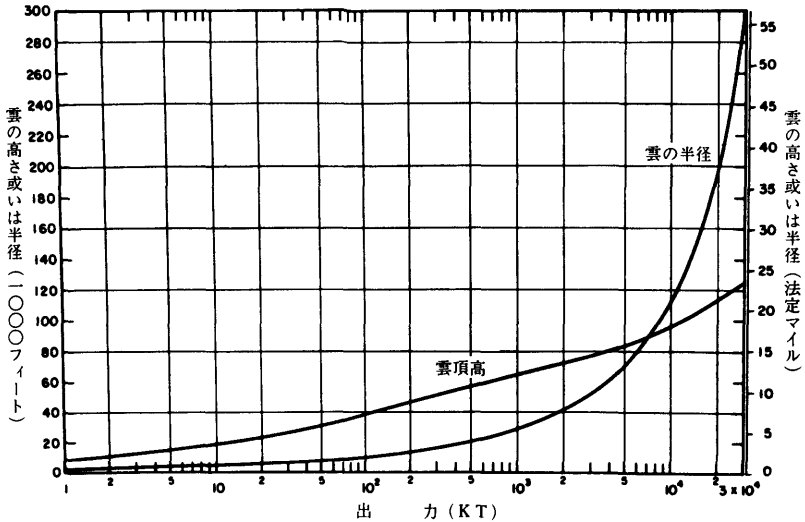


図-2.16 地表面或いは低空爆発における安定した雲の高さと半径。核出力の関数としての近似値。

2.17 威力が20 K T以下のものでは、キノコ雲の幹の半径は、雲の半径の $\frac{1}{2}$ である。威力が増加するにつれて、これらの大きさの比が小さくなり、M T級になると幹の大きさは雲の幅の $\frac{1}{5}$ ～ $\frac{1}{10}$ にすぎなくなる。圏界面を突き破ったキノコ雲の底部の高さは、大ざっぱに見て雲頂高度の $\frac{1}{2}$ である。威力が20 K T以上では雲底部が圏界面付近にまで達する。K T級からM T級に進むにつれて雲形が変化する。10 K Tの空中爆発の典型的な放射能雲は雲底の高さ約10,000フィート、雲頂上の高さ19,000フィートに達する。しかし、M T級の爆発では水平方向の大きさが全体の高さよりも大きくなる（図-2.16参照）。

2.18 地表面上もしくは地表面近くで起こる核爆発の現象と効果の多くは、空中爆発におけるものと類似しているので、更に記述を進める前に地表面爆発の特徴

について述べる。地表面爆発では、最初、火の玉は、地表面に接触しながら、極めて急速に成長する（図-2.18 a）。激しい熱のために爆発区域の岩石や土壌の一部その他の物質は、気化され火の玉に吸い込まれる。そのほかに完全に溶解したり又は表面だけが溶解した物質が火の玉内部に存在し、さらに火の玉の上昇に伴い、大量の塵や土が運び込まれる（図-2.18 b）。

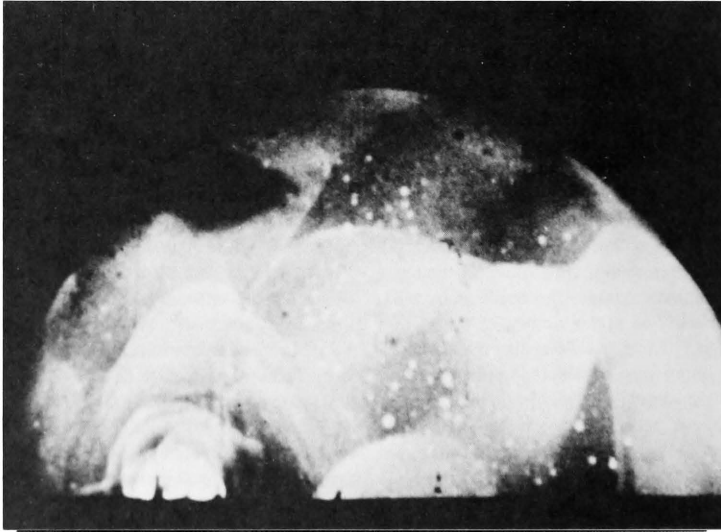


図-2.18 a メガトン級核爆発により生じる火の玉。(地表面爆発) 火の玉の最大直径は3 $\frac{1}{4}$ マイル。

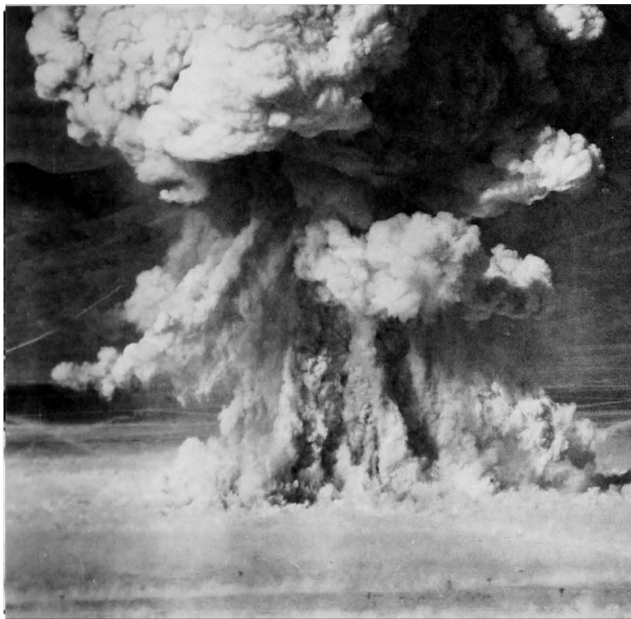


図-2.18 b 地表面爆発による土砂雲の生成

2.19 結局、地表面爆発と空中爆発の重要な相違は、地表面爆発の放射能雲が、より大量の塵を含んでいるということである。この中には、火の玉の凝縮により生じた微粒子から吹き戻しにより吸い上げられたずっと大きな塵や破片までが含まれる。これらの正確な組成は、地表面を構成している物質や、火の玉が接触した地表面の広さにより異なるのは言うまでもない。

2.20 地面に非常に近いところで行われた数回の核実験によると、中等度の量の塵を伴う地表面爆発では、放射能雲の上昇割合は、空中爆発の場合（表-2.12）と大差はない。放射能雲はキノコ形に広がる前に数マイルも上昇する。

2.21 火の玉が地表面に接するとき、爆発により塵やその他の物質は気化され、衝撃波及び爆風により土が吹き飛ばされる結果、爆破口が形成される。爆破口の大きさは、爆発エネルギーのほか爆発点の地表面からの高さ、地表面土質によって異なる。1 MT核兵器では、450フィート又はそれ以下の高度で爆発が起こらない限り、明瞭な爆破口は形成されないものと考えられる。

注：(3) これらの残留物は、核爆発時の中性子によって、種々の物質中で誘導される放射性物質を含む。

2.22 核兵器が水面近くで爆発すれば、大量の水が気化され、放射能雲中に吸い込まれる。この雲が上空に達したとき、水蒸気は凝縮し水滴となり、大気中の普通の雲と同じようになる。

フォールアウト

2.23 地表面爆発では、初期の段階で大量の土や水が火の玉に吸い込まれて、溶融又は気化する。十分な冷却がおこると、気化していた核分裂生成物やその他の放射性残滓が、溶融している土壤中で凝縮し、その結果、核分裂生成物等と土壤は混合物となる。さらに冷却されることにより生ずる固体微粒子の一部は、放射性核分裂生成物及びその他核兵器の残殻⁽³⁾で一様に汚染されているが、汚染の大部分は主に粒子の表面に近いすい外殻にのみ見られる。水滴にあっては、核分裂生成物の微粒子が水滴内に散在している。爆発の激しい振動がおさまると、汚染された微粒子や水滴がしだいに地上に降下し始める。この効果はフォールアウトとよばれ、地面に落ちた粒子のことをいう。フォールアウトは、長時間かけて減衰してゆく放射能を持つものであり、前の章で述べたように、残留核放射線の主要な源となるものである。

2.24 フォールアウトの大きさと性状は、場合によって極端に変わる。フォールアウトの実際の様相は、爆発威力、核兵器の構造、爆発高度、爆発点下の地表面の性状、気象条件等の組み合わせにより決まって来る。例えば、地表からかなりの高度での空中爆発においては、地表面の物質が大量には吸い上げられないので、汚染された粒子は、低密度で広くまき散らされる。その結果、フォールアウトによる被害の大きさは、地表面爆発の被害よりもはるかに小さくなる。こういうわけで、広島（威力約12.5 K T、高度1,670フィートにおける爆発）や長崎（威力約22 K T、高度1,640フィートにおける爆発）の場合は、フォールアウトによる被害は全くなかった。

2.25 一方、地表面あるいは地表近くで起る核爆発は、放射性フォールアウトにより、はなはだしい汚染をひきおこす。1954年3月1日にビキニ環礁で実験された、15 M T 熱核爆弾——カッスル作戦・ブラボー弾——は、7,000平方マイル以上

注：(4) 1 ミクロンは1メートルの100万分の1、つまり 10^{-6} メートルであり、約0,00004 (4×10^{-5}) インチである。

の広さに著しい汚染地域を形成した。汚染された地域は、ほぼ葉巻型をしておりその大きさは風上20法定マイル以上、風下350法定マイル以上に及んだ。風に直角方向の幅は一定でなく、最大の部分では60マイルを越えていた (§ 9.104)。

2.26 フォールアウトのパターンの形や大きさを決定する気象条件は、圏界面の高さ、風・雨・雪等の発生である。爆発の型、圏界面の高さ、威力が決まっていればフォールアウトパターンは、主として、フォールアウト区域を吹く地表から安定した放射能雲の雲頂の間の、高度約100,000フィートの風の方向及び風速に影響される。更に、爆発からフォールアウト粒子が、地面に到達するまでの時間（おおよそ数時間後になるが）における風の変化が、核爆発に伴うフォールアウトパターンに影響を及ぼす（9章参照）。

2.27 フォールアウトは、一定期間のうちに逐次広がる現象であることを知っておくべきである。例えば、ブラボー爆発では汚染された粒子が、7,000平方マイル地域の末端に降下し始めるまでに、約10時間を要した。その時まで放射能雲は目に見えない程度にまで薄れていた。このことは、放射能雲が見えなくなっても、フォールアウトが起こり得るという重要な事実を示している。しかし、最もひどい被害の起こる汚染地域は、目に見えるほど大きなフォールアウト粒子に起因する。これらの粒子の大きさは次のような範囲にわたっている。

フォールアウト地域のうちで、爆発点から比較的にはなれたところでは、粒子の大きさ100ミクロン(4)あるいはそれ以下から、爆発地点極めて近くの、直径約1センチ(0.4インチ)の大体おはじきの大きさまで種々ある。

2.28 この大きさの範囲にある粒子は、核爆発後1日以内に地面に落ちてしまうもので、風の影響により爆発地点から、それほど遠くまで（たとえば、200～300マイルまでであるが）飛ぶものではない。つまり目に見える大きさの粒子によるフォールアウトパターンは、爆発後24時間以内には完成することになる。この現象は、“初期フォールアウト”又は“局地フォールアウト”あるいは“閉鎖的フォールアウト”とよばれる。更に地表面の広大な地域にゆっくりと下降するごく小さな粒子の降下物がある。これは後期（又は極大）フォールアウトとよばれ、

核爆発の種々の型、例えば空中爆発、高空爆発、地表面爆発及び浅い地中爆発による残滓が含まれている（第9章参照）。

2.29 1954年3月1日の実験では、それまで記録された中での最も広範囲の初期フォールアウトを形成したが、この広範囲の汚染が熱核爆発に特有の（熱核爆発に限定された）ものであるとは限らない。もし、同じ熱核爆弾を大きな火の玉が地表面に接しないような条件で、さんご礁の上空の適当な高さで爆発させたならば、初期フォールアウトは、あまり重要な問題とはならない。

2.30 “浄化”という一般用語は、放射能雲中から放射能を除去して、それを地上に降下させるような、いろいろの過程を表現するのに用いられる。これらの過程の一つは、地表面（あるいは地表付近の）核爆発の際に吸い上げられる大量の塵及び破片を、放射能雲中に取り込む結果生ずる。核分裂生成物及びその他の放射性の蒸気が粒子に凝結し、結果としてそれらの粒子が比較的急速に地表面に降下することは、ある程度の浄化をもたらす。

2.31 放射能雲の発達段階で、常に起こり得るもう一つの浄化は、核兵器破片の間を通り抜け、汚染粒子を運び下ろす雨水によるものである。これは、初期フォールアウトパターン及び後期フォールアウトパターンのいずれの場合でも、周囲より著しく放射能の強い地域、いわゆるホットスポットを形成する一つの機構である。降雨（雷雨を除く）は通常先端が高度約10,000～30,000フィートの間にある大気中の雲から生ずるものであるから、雨による浄化は、おそらくこの雲の下方の部分にのみ起こるものと思われる。雨がひき起こすもう一つの効果は、フォールアウトの降下の間もしくは降下後、地表面から放射性塵を洗い去ることである。このことは、結局、いくつかの汚染地域を増やすことにもなり、また、他の地域にホットスポットを生じさせることにもなり、雨の浄化作用を減ずることになる。

爆 風 波

2.32 核爆発後、1秒の何分の1かで高圧波が起こり、火の玉から外側に向かって移動する（図-2.32）。これは§1.01で述べた“衝撃波”あるいは“爆風波”で、

空中爆発に伴う大量破壊の原因となるが、以下これについて更に考察する。爆風波の前面、すなわち、衝撃波面は火の玉から急速に広がって進み、高度に圧縮された動く壁のように作用する。爆発の10秒後、1 MT核兵器の火の玉が、最大（直径5,700フィート）の大きさに達したとき、衝撃波面は、3 マイル程先に進んでいる。爆発後50秒で火の玉がもはや見えなくなったとき、爆風波は約12マイルも移動している。そのとき爆風波は、秒速約1,150フィートになり海面における音速よりわずかに速い。

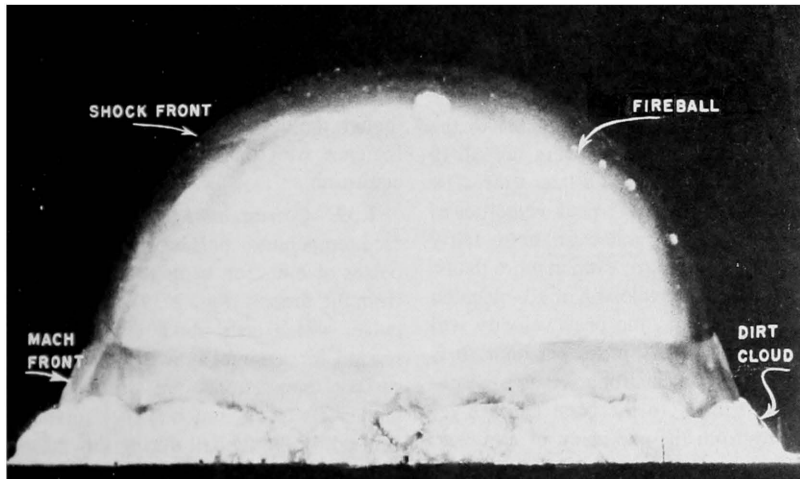


図-2.32 火の玉の衝撃前面方向に認められる微弱な発光。
これは間もなく消失する（§ 2.120参照）

2.33 爆風波が地表面にぶつかると、反響を生じる音波と同じような反射が起こる。この反射爆風波も、最初の（あるいは直接の）爆風波と同じく物質的被害を起こすことができる。地表面のある地域では直接波と反射波が重なり合うが、その位置は、主として爆発点の地上からの高度と爆発のエネルギーによって決まる。この重なり合う現象は“マッハ効果”とよばれる。マッハ波の前面における“超過圧力”すなわち、通常の大気圧の値を越えるこの圧力は、一般に直接波の圧力の2倍の大きさである。

2.34 高度6,500フィートでの1 MT核兵器の空中爆発においては、マッハ効果

- 注：(5) “ゼロ地点”という用語は爆発点直下（もしくは直上）の地表面の点を指す。水面上（または水面下）の爆発においては、それに相当する点を一般に“ゼロ地点”とよんでいる。
“ゼロ地点”又は“ゼロ地点表面”という用語はふつう地表面と地中爆発に用いられる。一部の出版物ではゼロ地点（ゼロ表面）は爆発の“直下中心”とよばれている。
(6) 海面のレベルにおける通常の大気圧は、1平方インチ当り14.7ポンドである。

は爆発後約4～5秒でゼロ地点(5)から、1.3マイルの円の位置で始まる。このときの爆風波面における地上の超過圧力は、1平方インチあたり約20ポンドであり、したがって、空気の全圧は通常の大気圧(6)の2倍以上になる。

2.35 最初マッハ波の前面の高さは小さいが、爆風波前面が外側に広がるにつれて、その高さを増してゆく。しかし、それと同時に初めの（又は直接の）爆風波の前面の地域が、絶えず大きくなってゆくのエネルギーが減少して行くのに対応して、超過圧力は小さくなってゆく。40秒の経過ののち、1MT核兵器から生じたマッハ波面がゼロ地点から10マイルのところに達したとき、超過圧力は1平方インチ当りほぼ1ポンドにまで減少している。

2.36 ゼロ地点から、マッハ効果が始まるまでの距離は爆発の高度によって変化する。図-2.32に見られるように、TRINITY（アラモゴード）実験の低空爆発（100フィート）の場合に、直接衝撃波の前面が、火の玉からわずかの距離を進んだときに、マッハ波はもう現われていた。一方、極端な場合、非常に高い空中爆発では、マッハ効果は認められない。（TRINITY実験は、1945年7月16日、ニューメキシコのアラモゴード附近で行われた最初の核（固定）兵器のテストで、出力は約19KTと見積られている。）

2.37 衝撃（又はマッハ）波面の通過に伴い、強い一過性の風が起こる。これらの爆風（§3.07）は、もっと後に生ずる火の玉の上昇に伴う上昇気流によって引き起こされる地上風（又は遅効風）よりも、はるかに強いものである。この爆風は、ゼロ地点に極めて近い地点で、風速数百マイル/毎時以上にもなる。このような強風が核兵器の爆発によって引き起こされる爆風損害に、大きな役割を果たすことは明らかである。

空中爆発からの熱線

2.38 爆発直後、初期熱線が放出される（§1.77）。この時非常な高温のために、この熱線の大部分はX線の形になっている。そしてこのX線は数フィート以内の空気層で吸収されてしまう。このエネルギーは紫外線、可視光線及び赤外線からなる長い波長の（二次的）熱線として火の玉から再放出される。火の玉内で生ずる

ある現象の結果、(§2.106以下参照)火の玉の表面温度は奇妙に変化する。内部温度はしだい下がってゆくが、見かけの表面温度は1秒の何分の1かの非常に短い時間に急速に低くなる。そして、見かけの表面温度は当初低下したときよりも少し多い時間をかけて再び上昇し、その後は連続的に低下してゆく(図-2.123参照)。言いかえれば、第一パルスは非常に短い持続時間のものであるが、第二のパルスはそれよりもずっと長く続いて、二つのパルスが存在することになる。一般的な空中(又は地表)爆発の作用のうち、熱パルスの持続時間は爆発エネルギーの増加により長くなるが、こうした現象は空中(及び地表)爆発においては、ごくありふれたものである。

2.39 二つの表面温度パルスがあるように、火の玉からの熱線放出にも二つのパルスがある。

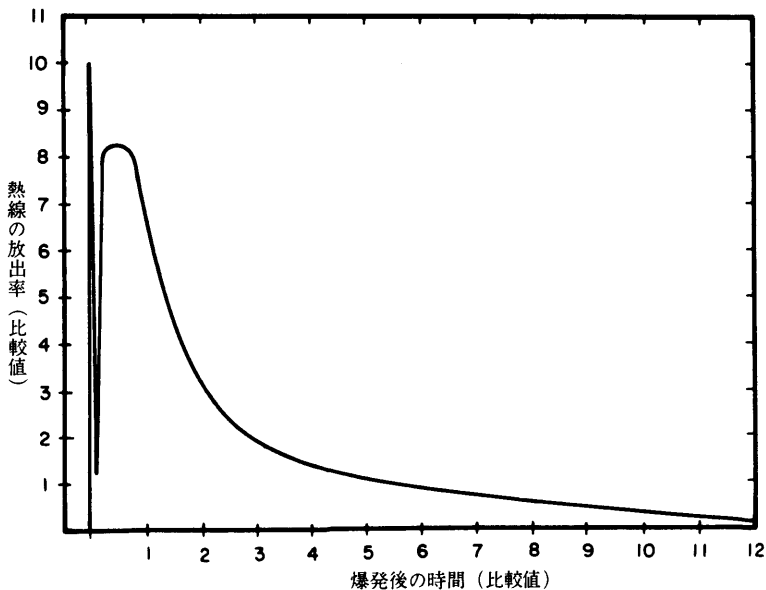


図-2.39 空中爆発において2つのパルスに含まれて放出される熱線

1 MTの爆発において、第一のパルスは $\frac{1}{10}$ 秒続き、その表面温度は、非常に高くなる。その結果、このパルスの間に、火の玉から放出される熱線の多くは、紫

外線領域にある。紫外線は、皮膚に火傷を起こさせるものであるが、通常の空中爆発においては、熱線の第一パルスは、いくつかの理由から、火傷という点に関しては、大した障害を起こさない。それらの理由のうち第一は、初期の熱パルス持続時間が短く、全エネルギーの1%程度しか放出されないからである。第二の理由は、紫外線は、まわりの空気によって容易に減衰されるので、爆発点から、やや離れた地点では、受ける量は、比較的少ないからである。それに、最初の熱パルスからの紫外線が人間の皮膚に大きな影響を与えるような強さの範囲であれば、他の熱線による効果は、極めて重大なものになる。最初の熱線パルスは、皮膚の火傷の原因とは見なされないが、偶然に爆発の方向を見ていた人間の目に対して、永久的あるいは一時的な影響を及ぼすことができる。

2.40 最初のパルスに比較して、第二の熱線パルスは、数秒間続き、例えば、1 MTの爆発では、約10秒続いて熱線エネルギーの線量の約99%を放出する。温度は、最初のパルスより低いので、地上に接する熱線のほとんどが可視光線か（目に見えない）赤外線である。1 MT核兵器の爆発点から12マイルかそれ以上離れた地点で熱線に曝された人間に対し、種々の程度の皮膚火傷を起こしたり、もっと遠い所にいる人間の目に影響を与えたりする。大きい威力の核兵器においては、実際の被害の範囲は、大きくなるが、これについては、第7章で説明する。第二パルスからの熱線は、適当な条件のもとでは、火災を引き起こすこともある。

空中爆発からの初期放射線

2.41 第1章で述べたように、核兵器の爆発は、中性子、 γ (ガンマ)線、 α (アルファ)粒子及び β (ベータ)粒子から成る種々の核放射線の放出を伴う。実際には中性子の全部と γ 線の一部は、核分裂反応過程において放出される。これらの放射線は、核爆発と同時に生ずるので、“即発核放射線”とよばれる。核分裂で放出される中性子の一部は、核兵器内に存在するいろいろの原子核に捕獲されるが、その他の中性子は、この原子核と“散乱衝突”をする。この過程は、しばしば γ 線の放出を伴う。更に、これをまぬかれた中性子の多くは、空気の原子核により、捕獲又は散乱される。このようにして、爆発点の周囲がある広がりを持つ

た γ 線源となる。残りの γ 線と β 粒子は、核分裂生成物が放射性崩壊する時期のある時間内に放出される。 α 粒子は、核兵器内で核分裂をまねがれたウラン（又はプルトニウム）が崩壊するにつれて、同時にある時間内に放出される。

2.42 初期核放射線は、一般に爆発後最初の1分以内に、火の玉と放射能雲の両方から放出される放射線として定義されている。これには、ほとんど瞬間的に放出された中性子、 γ 線と上昇している雲の中の核分裂生成物及び他の放射性核種から放出された γ 線も含まれている。ここでは、初期放射線の中にある α 粒子及び β 粒子は、考慮しなかったことを注意しておきたい。これは、 α 粒子や β 粒子が極めて吸収されやすいので、放射能雲からせいぜい数ヤード以上には、到達しないからである。

2.43 初期核放射線の持続時間が1分間であるといういくぶん、ばくぜんとした時間は、本来、次のような考慮に基づいている。すなわち、20 K T核爆発の核分裂による γ 線及び核分裂生成物からの γ 線の有効範囲は、空気によって減衰されるので、大ざっぱに言って約2マイルである。言い換えれば、2マイル以上の高度でこのような源から発生する γ 線の地表面に対する影響については、無視できるということである。従って、放射能雲が高さ2マイルに達したときは、初期放射線の効果は、もはや重要ではない。放射能雲が、この高さまで上昇するのにおよそ1分かかるので、初期核放射線は、爆発後の最初の1分間に放出されるものとして定義される。

2.44 前項の説明は、20 K T核兵器の特性に基づいたものであるが、より大出力の爆発では、 γ 線の有効到達距離の最大値は、前述のものより大きくなるだろう。しかし、同時に、雲の上昇率は、増大する。同様に小出力の核兵器においては、その有効距離は、小さいが、また、その雲の上昇割合も小さい。従って、初期放射能が広がる期間は、爆発時放出エネルギーに無関係に同じ時間、すなわち、1分間と考えてよいであろう。

2.45 §1.69で述べた熱核反応においては、中性子は、直接に生成される唯一の重要な核放射線である。 α 粒子（ヘリウム原子核）も作られるが、これらは、爆

発点から、それほど遠くまでは、飛ばない。中性子の一部は、外へ逃げ出すが、他の中性子は、爆発する核兵器内に存在する各種の原子核に捕獲される。これらの、核分裂性核種によって吸収される中性子は、 γ 線の放出だけでなく、さらに多くの中性子の放出をもたらすであろう。加えて、非核分裂性反応における中性子の捕獲にも、通常 γ 線の放出をとまなう。それ故核分裂及び核融合（熱核）過程の両方が起こる爆発からの初期核放射線は、ほとんど、中性子と γ 線から成り立っていることがわかる。これらの二つの放射線の相対的な割合は、全てのエネルギー放出が、核分裂のみによるものと比べて、いくぶん異なるかも知れないが、現在の目的に対しては、この差異は無視してもよいだろう。

電磁パルス

2.46 爆発が、地表面か、その近くで起こると、§ 1.39で述べられている数マイルもの広がりを持つ強い、電気と磁力の場が、兵器の出力に応じて形成される。この、爆発地点付近の閉鎖された地域は、高度にイオン化され、空中と地面に大量の電流が流れ、電磁輻射のパルスが作られる。電磁場の強さは、閉鎖された地域を越えると地面から遠ざかる（あるいは、近づく）につれて、急に弱まるがそれからは、爆発点からの距離が増大するにつれて、ゆっくりと弱くなる。この強い電磁場は、特に低出力の核武器の場合は、空中爆発の際起こる重大な被害をまぬがれる距離においても、無防備の電気及び電子の装置に被害を与えるだろう。

その他の核爆発現象

2.47 爆発の破壊効果、あるいは、他の有害な効果とは、関係ないが、空中爆発において、言及に値する興味深い現象がいくつかある。爆発後、間もなく、火の玉からかなり離れたところから見ると、特に夜、または、薄暗い明け方の場合に、紫色の輝きが観測される。この輝きは、放射能雲の頂上近くに、はっきりと認められ、かなりの時間にわたって続く。これは、空気中の窒素及び酸素に及ぼす γ 線的作用によって、引き起こされる複雑な一連の過程の最終的結果であると考えられる。

2.48 ある一つの状況下で、核爆発にともなって起こるもう一つの早期現象は、

“凝縮雲”の形成である。この“凝縮雲”は、科学者がウィルソン霧箱を利用しているものと似かよった条件によって生じたものであるので、しばしばウィルソン雲（又は霧箱効果）とよばれる。空中を高圧衝撃波面が通過すると、その後には、圧力の希薄な波（又は吸引波）が続くということが、第3章からわかるであろう。空気は、圧縮（又は爆圧）の段階では、温度が上昇し、減圧（又は吸引）の段階では、温度が下がる。適度に低い爆風圧力においては、空気の温度は、その初めのすなわち衝撃以前の値以下に下がり得るので、空気中にかなりの量の水蒸気が含まれていれば、凝縮が起こって、雲が発生するのである。

2.49 図-2.49に、1946年ピキニにおけるアブレエ実験の際に観測された凝縮雲が示されている。



図-2.49 水面上の空中爆発で生じた凝縮雲

核装置は、サンゴ礁湖のすぐ上で爆発したので、空気は、水蒸気でほとんど飽和されていて、ウィルソン雲の生成には、適当な条件であった。この写真から、雲が火の玉より大分前方で形成されていることがわかる。その理由は、後に起こる減圧段階で、低温になるまで十分な減圧が行なわれるまでには、衝撃波前面は、

かなりの距離を進むに違いないからである。凝縮が起こるのに必要な温度まで、温度が下ると、図-2.49にあらわれているように、爆風波前面は、さらに遠くまで移動している。この図では、水面上での円盤状の形が衝撃波の通過を示している。

22.50 1946年のビキニ実験のように、水面上（又は水面下）で起こった核爆発の場合のように、空気中の湿度が比較的高いことは、凝縮雲を形成するための最も都合のよい状況となる。この時の雲は、爆発後1～2秒間で発生し始め、空気が熱せられて水滴が気化するにつれて次の2秒ほどの間に完全に消散した。最初のドーム状の雲は、図-2.50に見られるように、リング型に変化し、その後、消滅した。

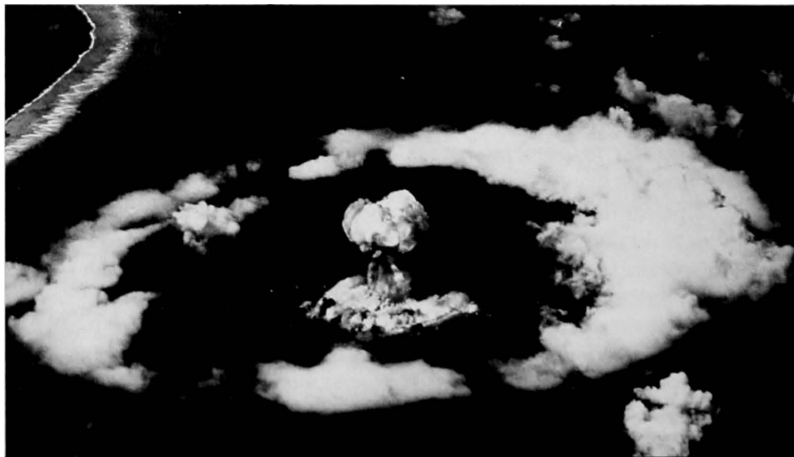


図-2.50 水面上の空中爆発における凝縮雲 その後の景況

22.51 ウィルソン凝縮雲は、火の玉がその熱線をほとんど放出したあとで発生するので、この雲の形成は、熱線には、ほとんど影響しない。かなり厚い雲、とりわけ煙雲が火の玉から地上に達する熱線を弱め得ることは事実であるが凝結雲においては、かなり後の段階で作られるという点において、また、凝結雲は、余りに希薄なので、熱線減衰という点については、効果は、ほとんど認められない。

第3節 高空爆発

概 要

2.52 1958年夏季の、太平洋におけるハードタック実験シリーズ及び南大西洋におけるアーガス実験の一部として核装置は高空で爆発させられた。さらに高空における核爆発実験は1962年の、フィッシュボール実験シリーズの間、続けられた。ハードタック実験シリーズでは、MT級の威力をもつ、二つの高空爆発がハワイ南西700マイルのジョンストン島付近で行なわれた。第一の装置はティークと名付けられ、1958年8月1日（グリニッチ時間）に252,000フィートつまり約48マイルの高度で爆発した。第二のものはオレンジとよばれ1958年8月12日（グリニッチ時間）に141,000フィート、つまり約27マイルの高度で爆発した。フィッシュボールシリーズの間、一つのMT級の装置と三つのMT以下の装置がジョンソン諸島付近の高空で爆発した。出力1－4 MTのスターフィッシュ・プライム装置は1962年7月9日（グリニッチ標準時）に約248マイルの高度で爆発した。チェックメイト、ブルージルトリプルプライム及びキングフィッシュの三つのMT以下の装置はそれぞれ1962年10月20日、1962年10月26日、1962年11月（グリニッチ標準時）に10マイルの高度で爆発した。

2.53 アーガス実験は核兵器の実験あるいはその破壊力を見る実験として計画されたわけではなかった。この実験は地球磁場内（§2.145）における電荷を帯びた粒子のトラッピングに関する情報を得るために計画されたものであった。この実験は三つの高空爆発から成りいずれも1～2KT、TNT等価の威力のものであった。爆発高度は約125～300マイルであった。

高空爆発にともなう現象

2.54 爆発が10～50マイルの高度で起こると、爆発エネルギーは低空爆発の場合よりもかなり空気容積が大きいにもかかわらず、X線として放出され、爆発付近の空域に吸収される。このように、オレンジ爆弾では、ほぼ球形の巨大な火の玉

が形成された。一般に火の玉の動き（形成）は、種々の放射線と、周囲の空気とともに膨張する核武器破片の動力的エネルギーとの、予想される相互関係と一致する（§2.130参照）。

2.55 火の玉形成のメカニズムは、X線が低密度の空気中ではより大きな距離を浸透するので、爆発高度がより高くなれば多少変化する。爆発高度は約50マイルから開始されたが、武器破片エネルギーと大気の相互関係は火の玉の形成に重要なメカニズムとなる。破片は高度にイオン化されているので（§1.38）地球磁場つまり地質磁場は高度50マイル以上の爆発から時間経過にともなう火の玉の位置、分布状態に影響する。

2.56 ティーク爆弾はハワイから700マイルも離れた水平線上に見ることができ、光の明るい、鋭いひらめきをともなった。爆発に極めて近いところの低密度の大気中の長波長のX線のために、火の玉の大きさは急速に増加する。0.3秒の間に、その直径はすでに11マイルに達し、3.5秒の間には18マイルにも増加している。また火の玉は極めて急速に上昇し、初期の上昇割合は毎秒約1マイルである。火の玉の周辺は非常に大きな赤い輝く球状の波が見られるが、これは、低密度の空気中の通過する衝撃波によって、電子的に励起された酸素原子が生成するからである（図-2.56）。



図-2.56 実験T E A Kの高空爆発後に認められた火の玉と赤色発光性球状波
(爆発点から780マイル離れたハワイで撮影)

2.57 爆発後の1分内外で、ティークの火の玉は90マイル以上の高さに上昇し、その火の玉はその時700マイル以上も離れたハワイから直接（視線方向）見られた。火の玉の上昇速度は毎秒約3,300フィートと推定され、毎秒約1,000フィートの速さで水平に広がった。大きな赤い輝く球は、数分間にわたって観測され、爆発のほぼ6分後には、球の直径は600マイル近くになった。

2.58 火の玉の形成と成長は、爆発高度が65マイル以上に増加するにつれて大きく変化する。X線は、吸収されてしまう前に低密度の大気中を長距離浸透することができるので、小さな火の玉はできない。爆発高度が190マイル以下では（核兵器の威力によるが）エネルギーは、最初比較的、局部的に放出される破片粒子の外側に向う急速な運動として現われ、次第に高度に熱せられイオン化された地域を形成する。地球磁場は、爆発高度の増加につれて、兵器破片の運動のコントロールに重要な役割を演ずる。空気の密度が極めて低い200マイル以上の上空では、地球磁場は磁場線を横切る破片の膨張をおそくするのに重大な要素となる。一方上方へ向うにしろ下方へ向うにしろ、磁場線に沿った運動は、それほど影響を受

けない (§ 10.64)。約75マイルの高度で破片が大気中にとどめられると、それは空気を十分に加熱イオン化して、結果として上昇し、膨張する層を作る原因となるだろう。このような現象は、次のスターフィッシュプライム実験に観測することができた。

2.59 高度20～50マイルの間の爆発の特別な現象は、火の玉の非常な明るさである。これは、数百マイルも離れたところから見ることができ、遠い距離であっても目に負傷を及ぼし得る (§ 12.79参照)。

2.60 高空爆発の更に重要な効果は、広範囲のイオン化と電離層として知られている上方の大気の部分の妨害である。これ等の妨害は、ラジオやレーダー波の伝播に影響し、時には、広大な地域に影響を及ぼした (10章参照)。

次のティーク実験では、高周波ラジオ通信 (表-10.91) が、真夜中直後から日が昇るまでの間、直径数千マイルの地域で悪化した。大平洋地区のある超高周波 (V H F) 通信回路は、スターフィッシュプライム実験後約30秒間機能しなかった。

2.61 約19マイル上空における爆発は、地上の広い地域上にE M P効果 (§ 2.46) を及ぼすことができるが、この効果は爆発の威力と爆発高度にともなって大きくなる。かなりの威力と爆発高度の場合に、E M P界は爆発点から視界内のほとんどすべての点いわゆる地平線まで及ぶであろう。この爆発点から遠く離れたE M P界は、地表面爆発の周囲の閉ざされた地域のものよりも弱いものであるが、無防備の電気機器及び電子機器に妨害を及ぼすには十分な強さである。この形成のメカニズム及びE M P効果については第9章で述べられている。

2.62 核兵器の高空爆発における、興味深い目に見えるもう一つの効果は“人工オーロラ”である。ティーク実験では、爆発の1～2秒以内に、火の玉の底部から輝くオーロラが現われ、紫色の射光が、北の方へ広がるのが観測された。ほとんど同時の一秒後、爆発点から2,000マイル以上離れたサモア諸島のアピアで、火の玉が実際に見える時間ではなかったけれども、オーロラは観測された。オーロラの形成は放射能分裂破片から放出された β 粒子 (電子) の地球磁場に沿った

における水の衝撃波の反射に起因すると思われる。白い輪のひろがりで“白跡”とよばれる。

2.66 ウィルソン雲 (§ 2.48) の形成に先だって、白跡の出現に直ぐ続いて、砕けた水と水煙とによる盛り上り (又は円柱)、いわゆる“水煙ドーム”が爆発点の上方に立ち上がる (図-2.66)。このドームは、衝撃波の反射が水面近くの水に伝わる速度と、引き続いて起こる、水面の層が崩壊して水煙となって行く速度によって生ずるものである。この水柱の初期の上昇速度は直接、衝撃波の圧力に比例するから、爆発点の真上が最大速度となる。従って、中心部の水が、周囲の部分の水よりも急速に (しかも長時間にわたって) 上昇する。その結果、水煙ドームの側面は水柱の上昇と共に傾斜が急になる。水の上昇運動は、下向きの重力と空気の抵抗とによって止められる。水の上昇の全時間と最大の高さは、爆発のエネルギーと爆発点の水面下からの深さによって決まる。また、なめらかな水面、白跡及び水煙ドームの現象は、衝撃波の水底からの反射と、ガス泡が十分な強さで水面に上がってくる圧縮波とによって生ずるものと言ってよい。



図-2.66 浅い水中爆発で水面上に現れた「水煙ドーム」

運動によるものである。爆発時にジョンストン島をおおった自然の雲のために、オレンジ実験の火の玉は、地上から直接見るができなかった。しかし低い雲の上を飛んでいた航空機からは観測できた。オーロラはティーク爆発よりはっきりしなかったが、オーロラは17分間続き、アピアからも見る事ができた。同様のオーロラ効果は§ 2.52で述べられているように他の高空爆発の後にも観測された。

第4節 水中爆発

浅い水中での爆発現象

2.63 水中爆発には、いくつかの特有の現象があるが、その細部は、兵器の威力、及び爆発の起こった点の水面までの距離、及び水域全体の深さと面積とによって、変化する。これから述べる内容は、主に1946年6月、ビキニで行われたベーカー実験の観測に基くものである。この実験では、ほぼ20 K Tの核兵器が深度200フィートのサンゴ礁に囲まれた水面からわずかの深さで爆発した。これらの条件は浅い水中爆発に相当するものと考えられる。

2.64 水中爆発においても火の玉はできるが、空中爆発の場合よりも小さい。ベーカー実験では、爆発点付近の水は火の玉によって明るく照らし出された。火の玉はサンゴ礁水面の波によって生じた歪みのため、はっきりとは見えなかったが、全体的には、すりガラス面を通して見た光の現象に似ていた。火の玉の輝きは千分の何秒か続いたが、火の玉を形成している高圧ガス（又は蒸気）および水蒸気の高温のガスの泡が水面に達すると同時に消滅した。このとき、ガスは追い出され、冷却されるので火の玉はもはや見られなかった。

2.65 急速に膨張が進行して、衝撃波が初めて現われたとき高温のガス泡は、まだ水面下にあった。衝撃波と水面との交叉を上方から見る事ができるが、黒っぽい輪のひろがり形成する。これは、油のなめらかな面に似ているため、しばしば、“なめらかな面”とよばれる、暗い区域に密接して、次に来るのは、水面

2.67 爆発点の深さがあまり大きすぎなければ、気泡はもとのままの状態、水面まで上昇する。そして、水蒸気、核分裂生成ガス及び破片が大気中に放出される。衝撃波の一部分は水面を通過して空中に出るが、湿度が高いために凝縮雲の形成に好適の条件となる（図-2.67 a）。気泡のもつ圧力が解放されるとその空間に水が殺到し、その結果、中空円筒又は煙突のような形に水が盛り上げられ、あるいは“羽柱”とよばれる複雑な現象を起こす。気泡の放射性含有物質はこの中空の円柱の中柱の中を吹き抜け、頂上にカリフラワー形の雲を形成する（図-2.67 b）。

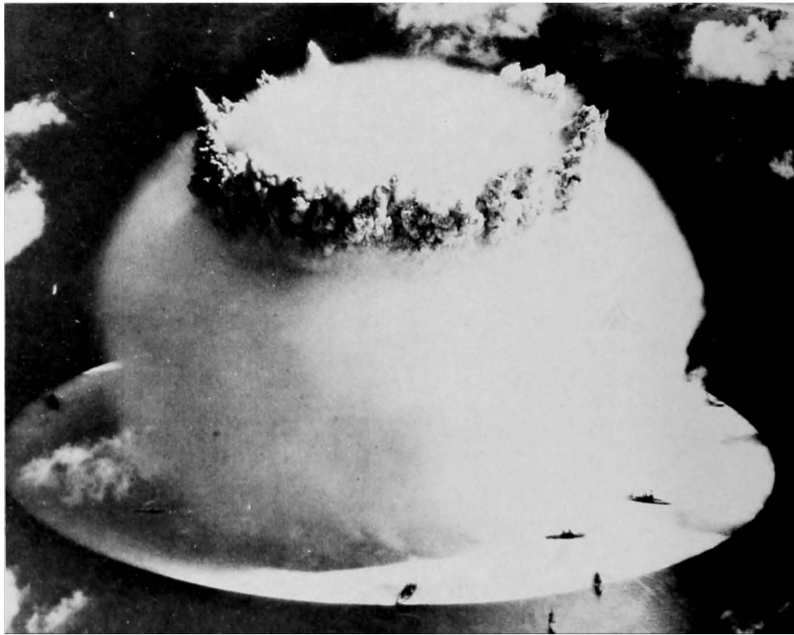


図-2.67 a 浅い水中爆発後に生じた凝縮雲
（衝撃波のため水面上に“ひび割れ”が見られる。）

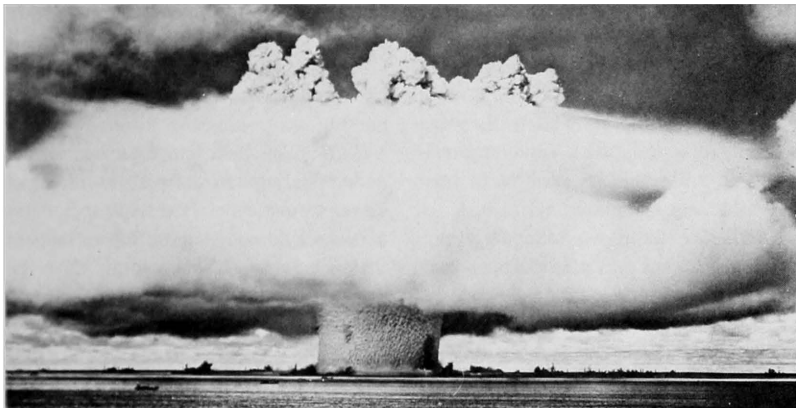


図-2.67 b 浅い水中爆発で生じた中空円柱：
頂上は後段階になると凝縮雲で囲まれる。

2.68 ビキニにおける浅い水中爆発（ベーカー）の際は、水煙ドームが爆発後、約4ミリ秒で形成され始めた。その初期の上昇速度は、毎秒、ほぼ2,500フィートであったが、この速度は空気抵抗と重力により急速に減少した。数ミリ秒後には、高温気体の気泡は、サンゴ礁の水面に達し、円柱の形成が始まり、速やかに、水煙ドームを追い越した。気体が中を通り抜けるこの中空円柱の達する最大高度は、上部が放射能雲に 囲まれたため正確に見積ることができなかった（図-2. その円柱は、おそらく高さ約6,000フィート、最大直径2,000フィートであっただろう。円柱の壁の厚さは300フィートで、およそ100万トンの水が円柱の中に押し上げられた。

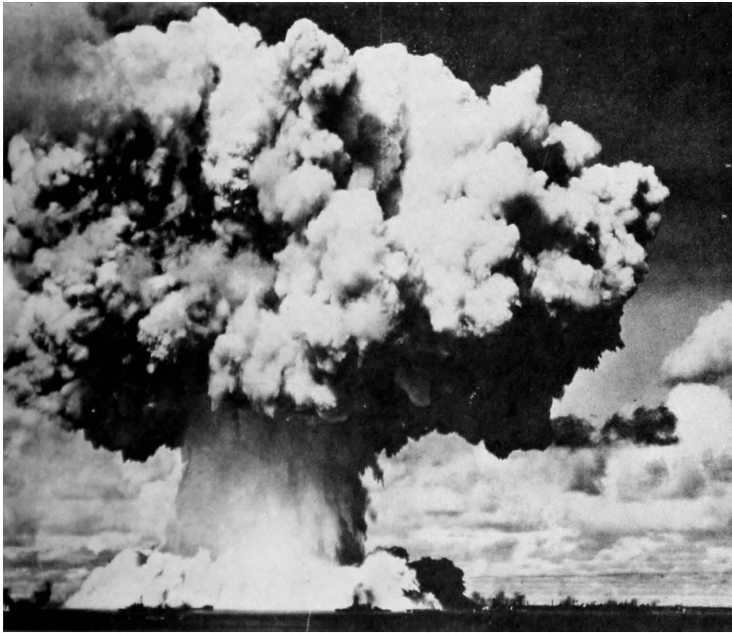


図-2.68 浅い水中爆発による放射能雲とベースサージ生成の初期段階。水柱の水が海面に落下し始めている。

2.69 円柱の上方部を包んだカリフラワー形の雲は、核分裂生成物のあるもの、その他の兵器残滓及び大量の小水滴を含んでいる。更にサンゴ礁の水底から吸い上げられた物質も存在したという証拠がある。それというのは、この雲から落下したに違いない石灰質（又は白質）の沈殿物が、爆発点からかなりの距離の船の甲板上で発見されたのである。その雲は、およそ、直径6,000フィートで消えてしまうまでに高さ10,000フィート近くまで上昇した。これは空中爆発の際の放射能雲の到達した高さに比べるとかなり低い。

2.70 水中爆発によって生じた動揺は一連の波を起こし、爆発の中心から外側へ向い、ピキニのサンゴ礁の水面を横切って広がった。爆発後11秒で第一波は、ゼロ水面から1,000フィート離れた地点で最大高さ94フィートになった。これは高速で外側に広がり、その後一連の波が続いた。ゼロ水面から22,000フィート離れた場所で一連の波のうちの9番目のものは、最大高度6フィートであった。

2.71 この波は、水中及び水面爆発が引き起こす、海岸付近の地域での洪水の際見られるものであるが、この洪水の深さは、しばしば、近づく波の二倍もあった。この洪水の大きさは、爆発の威力、爆発点の深さ、水の深度、底部の性状と輪郭、及び近づいてゆく波と海岸線との作る角度等の多くの要素と複雑に関連している。

目に見える“ベースサージ”

2.72 ベーカー実験で水と水煙の円柱（又は羽柱）がサンゴ礁の水面へ崩れ落ちたとき、円柱の底部をすっぽりと包んでいる巨大な霧の波（又は雲）が現われた（図-2.68）。このドーナツ型の雲は、水柱から外側に向い急速に広がったが、これは“ベースサージ”とよばれる。これは本質的には水滴の濃密な雲でナイアガラの滝（又はその他の高い滝）の基部に見られる水煙に、非常に似ているが均質流体であるかのような流動性を持っている。

2.73 ビキニ実験の際の“ベースサージ”は爆発後10～12秒で生じ始めた。“ベースサージ”は上方に盛り上り、急速に900フィートの高さに達して、毎分1マイル内外の最高速度で外側へと移動する。4分以内に、はじめ高速で、それから、やや、ゆっくりと成長し雲の外径は3 $\frac{1}{2}$ マイル近くになり、その時の雲の高さは1,800フィートに増加していた。この段階では、“ベースサージ”は次第に水面から上昇し、放射能雲、および上空のその他の雲と一諸になり始めた（図-2.73）。

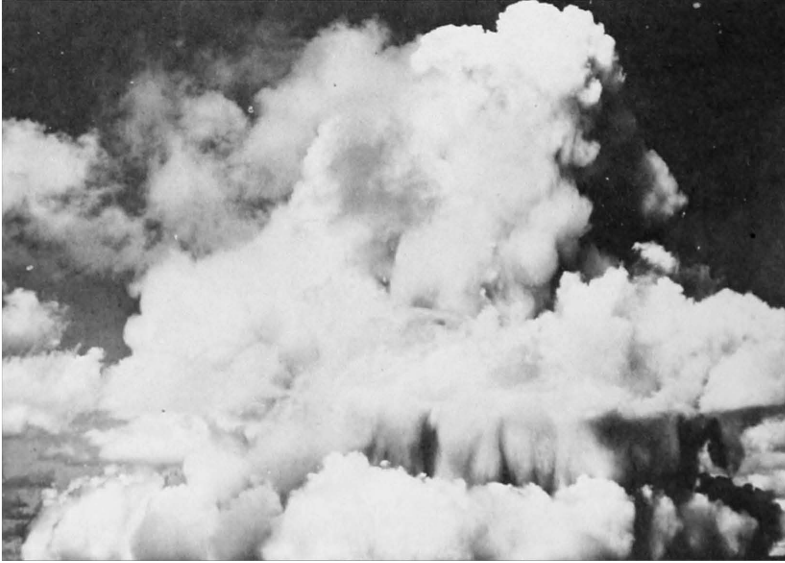


図-2.73 浅い水中爆発におけるベースサージの発達状態

2.74 約5分後“ベースサージ”は、最後には厚さが数千フィートにも達する、積層雲のかたまりのような状態を呈した（図-2.74）。この雲から生じた、中程度の激しさの雨が風をともなって一時間近く降り続いた。雨の降り始めた段階では小水滴が放射能雲からも降り注いだので分量が多かった。



図-2.74 ベースサージの発達終末状態

2.75 水上で見られたベースサージ形成の数少ない例では、目に見える形態は、極めて不規則であったが、“ベースサージ”の適当な近似値として、中空円柱の内径は、その外径の $\frac{2}{3}$ としてあらわされる。目に見える“ベースサージ”の高さは一般的に1,000~2,000フィートの間とみなされる。

2.76 十分に深い所の爆発においては、“ベースサージ”をとみなわないことが明白であるが、“ベースサージ”を形成するのに必要な条件は、明確に確立されてはいない。現在の分析の基礎となっている水中実験では、目に見える“ベースサージ”も、目に見えないものも両方発生した（§2.77）。種々の実験におけるいろいろの現象の中で唯一の、著しく相違しているのは、ビキニのペーカー実験で、核分裂破片や水蒸気から成る、空中に漂っている雲があったことである。その他の爆発は、いくぶんか深い所で行われたのでそのような雲は生じなかった。羽柱全体は、低くたれこめた雲のような“ベースサージ”が形成された水面に落下した。

放射性ベースサージ

2.77 核兵器の効果という見地からすれば“ベースサージ”が重要であるのは次の点にある。すなわち、初めから“ベースサージ”中に存在するにせよ、あるいは放射能雲から落ちこんでくるにせよ、核分裂残滓(及びその他の残滓)のために、これが強い放射能を帯びていることである。この“ベースサージ”はその放射能のために数マイルの距離にわたって、特に風下方向に重大な危険をもたらす。核分裂破片は早期に、すなわち最初の3～4分以内に、非常に小さな粒子の形となって、目に見える“ベースサージ”と同じ大きさに広がり空中に浮ぶ。しかし目に見える“ベースサージ”を作っている小水滴が蒸発し、消散するとき、放射性粒子と気体は空気中にとどまり、目に見えない放射性“ベースサージ”と同じ大きさに広がり空中に浮ぶ。おそらく放射性“ベースサージ”から水面(又は船上や、海岸地帯)へ多少のフォールアウト又はレイウアウトがあるものと思われる。しかし多くの場合、破片を全く沈着させないで水面を通過すると思われる。こういうわけで浅い水中核爆発の近辺のものの表面上に放射能汚染が起こったり起こらなかったりするかも知れない。

2.78 放射性ベースサージが、目に見え続けるものであれば、予測していたのと同じように広がり続ける。それはドーナツ型の雲又は中心に穴のない低く横にたなびく円板状の雲で、風下へ吹き流される。後者の形は、より深いところでの爆発で見られやすい。この“ベースサージ”が放射能を帯びている時間の長さは爆発の威力、爆発の深さ及び水底から爆発点までの距離によって決まる。更に気象条件は、降雨による破片の減少および大気中の風による拡散を左右するであろう。一般的に言って、水中爆発後最初の5～10分以内に放射性“ベースサージ”によるかなりの被害があり、30分、あるいはそれ以上経過すると被害は減少することが予測される。

2.79 残留放射線のうち初めから水中にあるものの割合、あるいは落ちて来る羽柱に捕えられて直ちに水面に戻るものの割合は、爆発点の位置、水深及び水底物質によって決定されるであろう。しかし核分裂生成物とその他の放射能の90%ま

でが水中に残されたとしても、可視及び不可視の“ベースサージ”は初期の段階ではやはり極度に放射性を帯びていた。

水中爆発における熱線と核放射線

2.80 火の玉が水中にある間に放射されるすべての熱線は、本来、周囲の水によって吸収される。高温の水蒸気とガスが水面に達し膨張するとき、冷却が極めて急速であるためその温度は、熱線の放出が認められないぐらいほとんど瞬間的に下がる。それゆえ、水中核爆発の場合には、熱線の人体への効果及び火災の原因として考える限りでは熱線は無視することができる。

2.81 おそらく、爆発開始後、短時間で放出された中性子及び γ 線の大部分もまた水に吸収されるだろう。しかし火の玉が水面に達し、空中に出る時には、核分裂生成物からの γ 線（及び β 粒子）は、初期放射線という形をとるだろう。更に、爆発の数秒以内に作られる水柱、放射能雲及び“ベースサージ”の三つの全ての中に存在する核分裂（及び誘導放射能）生成物からの放射線は、初期の効果の一因となるだろう。

2.82 しかしながら、放射能雲と“ベースサージ”からのフォールアウト（又はレインアウト）もまた前述のように残留放射線の原因となる。水中爆発については、空中爆発の場合に行ったような、初期放射線と残留放射線との明確な区別をしても意味が少ない。初期放射線は、核爆発にともないかなりの時間にわたって作り出されたこれら核放射線と絶えず併存している。

深い水中爆発により起こる現象

2.83 深い水中爆発の効果については、軍事的関心が非常に強いので、その諸現象を一般的用語で説明するが、浅い水中爆発よりは詳しく述べない。1958年、核兵器が水深500フィートで爆発したワホー実験の際、その観測に基づき次のような討議がなされた。深い水中爆発における大規模な波についての概要は、6章で述べよう。

2.84 ワホー爆発により形成された水煙ドームは水面上900フィートの高さまで上昇した（図-2.84 a）。最大の高さに達した直後、高温の気体と蒸気泡がドーム

を抜けて、破裂しあらゆる方向に多数の羽柱を噴出させた。最高の羽柱は1,700フィートの高さに達した（図-2.84 b）。浅い水中爆発のベーカー実験で見られたような、空中の放射能雲は、現われなかった。羽柱が崩壊して、目に見える“ベースサージ”を生じ、それは風下へ2½マイル以上の距離まで広がり最高約1,000フィートの高さに達した（図-2.84 c）。このベースサージは、当初毎時75マイル近くで外側に向かって移動したが、10秒以内に毎時20マイル以下に減少した。



図-2.84 a 深い水中爆発後5.3秒における水煙ドーム



図-2.84 b 深い水中爆発後11.7秒に見られたブルーム「羽柱」



図-2.84 c 深い水中爆発後45秒におけるベースサージの発達状況

2.85 ワホー爆発における火の玉は、爆発点の深さのために、ほとんど見えず、少量の熱線のみが出ただけだった。初期放射線は、浅い水中爆発からのものと同様であったが、フォールアウトを起こすことのできる放射能雲は空中に浮ばなかった。“ベースサージ”は、目に見えている間も、水滴が蒸発して目に見えなくなっても、放射能をとまっていた。不可視の放射性“ベースサージ”は膨張し続け、風下へと動いていった。しかし水面からは非常にわずかの放射能しか検出されなかった。

2.86 深い水中爆発によって形成された高温の気泡は、膨張し、速度が減少しながら、その大きさが最大になるまで上昇する。このとき、この気泡が水面か水底になれば、ほぼ球形のままである。気泡の周囲の水が、外側へ押しつけられる結果としてそのすぐ後は過膨張し、言うなれば、気泡の容積が、最大に達するとき、その部分の圧力は、まわりの水よりも小さくなる。気泡に比べて、外側の圧力が高いとその結果、気泡内の圧力が増加し、一部の水蒸気の凝縮が起こる。流体（水）圧は、上部の気泡より水底の気泡に対して大きいから、凝縮の段階の間、気泡は、球形を保つことができない。水底では上部より急速に上方へ移動し、（気泡が、変化しないで残ったとしても）上から見るとトロイド状の気泡となって上方に達する。これは、気泡含有物とまわりの水の、攪はん混合をひき起こす。

2.87 気泡の凝縮の動きにおける水の流れの惰性は、過凝縮の原因となり、気泡

の内部圧力は、再び周囲の水よりも高くなる。気泡の体積が最大に達すると、水中で、二次圧縮（衝撃）波が始まる。この圧縮波は、最初の衝撃波に比べ水中において、過圧の低いピークを持つが、持続時間は長くなる。それから気泡の膨張、及び凝縮の第二のサイクルが始まる。

2.88 1955年深度約2,000フィートで行われたW I G W A M実験のように、爆発が、水面から充分深いところで起こると、不思議なことだが、蒸気の凝縮が付加の振動を作るに十分な、完全な三回のサイクルの後でも気泡は振動しながら上昇する。気泡が上昇運動と振動をしている間に、気泡の周囲の水は、相当な上方への惰性を得、結局、高速度、たとえば、W I G W A M実験では、そのために羽柱を作る毎時200マイルという速さで水面を通過破壊する。もし、水面の突破が、気泡圧力が周囲よりも低いうちに起こるとすれば、この場合は“吹き込み”現象とよばれるだろう。そして、羽柱は垂直の水柱に似た形をしており、空気中に霧となって崩壊して行くジェット噴流として分散する。

2.89 “ベースサージ”の活動的平面は、気泡が水面を通過破壊するときの層に影響されるだろう。それゆえ、これらの平面はきわめて広範囲に見ることができるかも知れない。そして、初期の放射能が強烈であったとしても、その持続期間は短いのである。

第5節 地中爆発

浅い地中爆発の諸現象

2.90 浅い地下での核爆発は、地面や岩を追いつく結果形成する爆破口を作る一つ的手段として考慮される。爆発の威力、及び自然の岩石が平均的で、爆発が適当な深度であればそれは、最大の大きさの爆破口を与える。このような追いつき（又は穴ほり）爆破口の形成メカニズムはここで考察される。より浅い地下爆発では、その様相は地表面爆発に近づく（§ 2.18, 6.03参照）。それに対して、かなり深いところでの爆発による現象は、深い地下爆発の現象へ向う傾向になる

(§2.101参照)。

2.91 核武器が地下で爆発するとき、極めて高温、高压のガスの気化された兵器残滓を含んだ球形が形成される。これは、空中及び地表面爆発の際の火の玉と同質のものである。急速な気泡の膨張は、爆発点からあらゆる方向へ吹き出す地表衝撃波を作る。上方へ向う直接の衝撃（圧縮）波が地表に達する時、それは希薄な（又は圧力）波としてはね返る。この圧力が表面の物質の張力を超えると、地面の上層を砕き、いわゆる水平層を多かれ少なかれ吹き飛ばす。惰性がついている衝撃波により分裂したこれらの層は、おそらく毎秒150マイルかそれ以上の速さで上方へとんで行く。

2.92 希薄な波が地表面で反射し戻って来て、爆発によって作られたガス球（又は空洞）へと移動する。爆発があまり深いところで起こらなければ、この波はガス球の成長段階途中で頂上に達するだろう。ガス球が上方の地域で急速に膨張するので上方へ向うガス球の成長に対する地面の抵抗力は、弱くなる。膨張するガス、及び気体はこのようにして層を砕くだけの付加エネルギーを与えられ、そのために、これらの上方への運動は弱められながらもしばらく持続する。この効果は“ガス加速”といわれている。

2.93 地表面は、最初、ドーム状の形で上方へ動く。このドームの高さが増加するにつれて、割れ目から、ガスが大気中へと出る。そのとき地面は完全に崩壊し、岩石、土砂が上方及び外側へ吹き飛ばされる（図-2.93）。大量の物質が崩壊し、噴出し、落下するのにともなって、爆発口を形成し、周囲の“へり”を形成する。すぐに爆破口に落下して来る物質は、“フォールバック”とよばれるのに対して、へりの上に降下するものを“噴出物”とよぶ。爆破口の大きさは、爆発の威力及びえぐられた媒質の性状（土質）による。一般に、同じような状況では、爆破口の体積は、核兵器の威力に比例する。

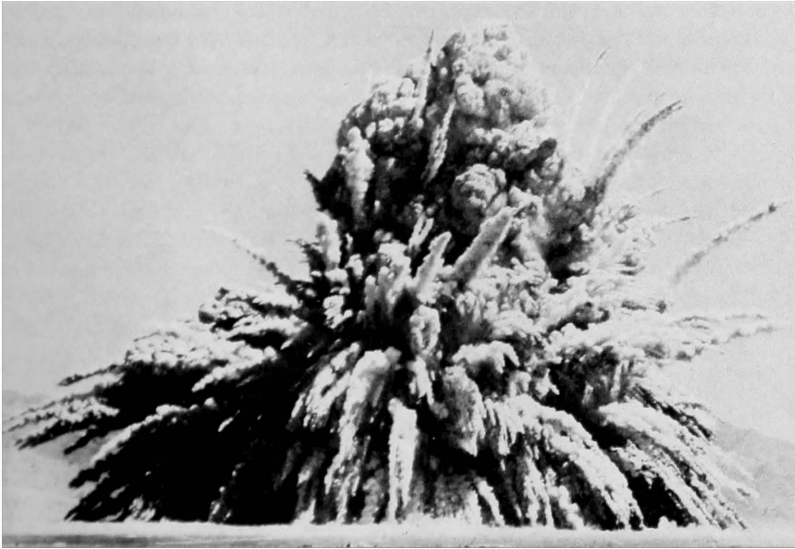


図-2.93 浅い地中爆発

2.94 割れ目とガス加速の相対的大きさは、岩石の水分の含有量の大きさにより決まり、それは爆破口の形成に奇与する。岩石中に適当な量の水があれば、ガス球圧力は水蒸気存在によって非常に高くなる。そのとき、ガス加速は爆破口の形成に重要な役割を演ずる。一方、乾燥した岩石の場合には、ガス加速の上方への運動の役割が概して小さく、目立たないかもしれない。

2.95 地中爆発のうち、浅い地下での爆発により放出されたエネルギーの一部は、空中爆風波として現われる。このエネルギーの一部分は本来、爆発点の深さにより与えられた全放出エネルギーのうちから、爆風として空気中に伝わる。より深いところでの爆発では、一般的に、同様に衝撃エネルギーの幾分かが空気中に逃げる。充分な深さの爆発では、言うまでもなく爆風波は現われない。

“ベースサージ”と中心雲

2.96 浅い地中爆発からのフォールバックが地表面に降下するとき、こまかい塵をのせた空気は風下に運ばれる。地面に達した塵をのせた空気は、外側へと広がり、その結果、惰性と密度によって、浅い地中爆発の際見られたと同様の

“ベースサージ”を作る。塵の粒子の“ベースサージ”は、外側へ移動し、それにとまって風下へと運ばれる。結局、この粒子は定着し、大きな地域にわたって放射能汚染地域を形成するが、この大きさは、爆発の威力、爆発の深さ、土壌の性質、及び大気の状態に左右される。乾燥した砂地は、特に地中爆発での“ベースサージ”形成を顕著にする。

2.97 爆破口形成時、常に“ベースサージ”をとまなう。しかしながらガス加速が起こると、いろいろな大きさの粒子より成る雲と、ガス球から逃れた熱いガスが両方とも数千フィート上昇する。これは通常“中心雲”と言われ“ベースサージ”と区別される。“ベースサージ”は、中心雲の基部をとりかこみ、最初より遠くまで広がる。セタン実験（100 K T、7%の水分を含む沖積土に635フィートの深さで埋められた。）で作られた中心雲と“ベースサージ”が爆発6分後に撮影された写真が図-2.97である。



図-2.97 実験SEDAN地中爆発の6分後における
中心雲とベースサージ

2.98 “ベースサージ”と中心雲は、両方とも放射能で汚染され、存在する粒子はフォールアウトとなる。大きな岩石片は、爆発点付近にたい積する。しかし、小さな粒子は、空気中にしばらく滞留し、降下するまでに長距離運ばれていく。

地中爆発における熱線と核放射線

2.99 地中爆発から生じた熱線と核放射線の状況は、水中爆発で述べた状況に極めてよく似ている。一般に、熱線は、ほとんど完全に土中物質に吸収されるので、重大な危害はない。中性子を捕獲した土壌中の種々の物質（§ 9.25）は、かなりの量の誘導放射能を発生するけれども、中性子及び初期γ線は除去される。誘導放射能は、残留放射線の一部を構成するが、爆発点に、ごく近いところのみが重視される。残留放射線の残りの部分は、汚染された“ベースサージ”、及びフォールアウトによるものである。

2.100 § 2.82において、水中爆発の際述べた同じ理由で、地中爆発から生ずる初期放射線と残留放射線は混じり合う傾向がある。従って、空中爆発の場合においてなされたこの二つの区別は、地表面下の爆発においてはあまり意味がない。

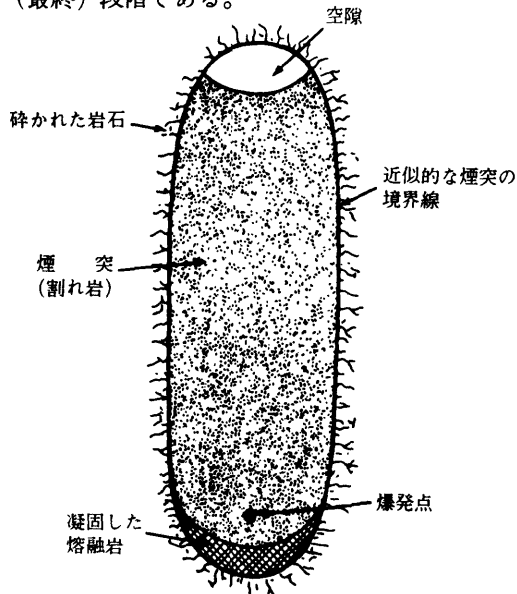
深い地中爆発現象

2.101 深い地中爆発は、核兵器の効果が本質的に全く漏れないような深さで起こる爆発である。爆発点の上の地表面は、浅い爆破口の沈下、又は盛り上がりのためにかき乱されるし、地面の振動は、やや遠いところでも見られる。凝縮しないガスのいく分かは、地表面を通じてしみにしみるが、兵器残滓が空中へ出る明白な抜け口はない。合衆国では、多数の深い地下での実験を、特に、1961年9月以来実施してきた。ほとんどすべての爆発エネルギーは、土中でおさえられる。残滓の小断片が、偶然にもれたり、又は、浸出したりする少数の例を除いては、爆発による放射能も又、閉じ込められる。深い地中での爆発による現象は、時間経過によって明瞭に区分できる四段階で説明される。

2.102 第1段階は、爆発エネルギーが、1秒の百万分の1以下、すなわち1マイクロ秒（§ 1.54注参照）以下で放出される。その結果、熱気泡の圧力は数百万気圧に上昇し、その温度は、数マイクロ秒以内に約百万度になるだろう。第二（動水力学的）段階は、おおむね10分の何秒か持続するが、高温のガスの圧力は、岩石質での音速と同じか、それ以上の速さであらゆる方向へ膨張して伝わる強い衝撃波を作る。流体層においては、最初よりも速度は遅いが高温のガスは膨張を続

け、相当な大きさの空洞を形成する。この段階の終りに、空洞は最大直径に達し、その壁は溶融した岩石との境界となる。衝撃波は、空洞の前方数百フィートの距離に達して、それが通過した範囲の多量の岩石に衝突し破碎するだろう。衝撃波は膨張し続け、そして強さが次第に減少し結局、地震波の先頭（先導）波となるだろう。第3段階で、空洞は冷却し溶融した岩石物質も空洞の底部にたい積して凝固するだろう。

2.103 最後には、空洞内のガス圧が、その過圧力を保てなくなった点まで減少する。そして、およそ数秒から数時間の間に、空洞の天井は落下し、これに続いて次々と上方に横たわる岩石が崩れてゆく。普通、“煙突”と言われる高い円柱は、崩れた岩石や割りぐり石で満たされ、次のように形成される（図－2.103）。煙突の先端が、地表面にとどいていなければ、空洞の体積とほぼ等しい空隙が煙突の先端に残る。しかし、煙突の崩壊が地表に達すると、地表面は間隙へ陥没し、そのために沈下爆破口を形成する（図－6.06 f 参照）。天井の崩壊、及び煙突の形成は地中爆発の第4（最終）段階である。



図－2.103 深い地中核爆発で空洞の崩壊した後に生成した煙突状の割れ岩

注：(7) この章の以下の節は省略して読んでも、全体としての続きをそこなわない。

2.104 1957年のプラムブーブ作戦におけるレイニア実験の効果は、深い地中爆発において、周囲の媒質が影響を及ぼす例として役立つであろう。レイニア実験は、 $6 \times 6 \times 7$ フィートの大きさの小容積の1.7 K T核装置が、地表面下790フィートのぎっしり詰った火山灰質の（地質学的には凝灰岩とよばれる）中で爆発した。爆発により、核装置のあった小容積の部分が膨張して、厚さ約4インチの溶融した岩石の境界を持つ、半径62フィートの球形の空洞を形成する。この衝撃が、周囲の130フィートの範囲の物質を碎き、180フィートの範囲のものを震動させる。地震の信号は、数百マイル離れたところで検知され、その弱い信号はアラスカにおいて記録された。煙突は、爆発点から上方に約400フィート広がる。爆発による煙突、及び空洞に関する更に詳しい事項は、6章で述べる。

2.105 深い地中爆発において、特に大威力の場合は、地震によって起こる“爆発後衝撃”とよばれるあまり重要でない震動が続いて起こる。この用語は、一般に大きな地震の主衝撃の後に生ずる副次的な震動を意味する。ネバダ及びアリューシャン列島のアムチッカ島での実験においては、人員及び実験場に対する危険は発生しなかった。実験場周辺地域において、地中爆発と自然の地震によって起こる事象との間に、相互関係は見られなかった（§6.24参照）。

第6節 核爆発現象の科学的考察⁽⁷⁾

概 要

2.106 核爆発において、非常に大量のエネルギーが極めて急速に放出されて起こる諸現象は、主に核分裂破片及び熱線と爆発地点周辺の媒体との相互作用の結果生じたものである。これらの相互作用の正確なほたらきとそれが生み出す、直接観測可能な効果及び間接的な効果、いわゆる核爆発の現象は、たとえば、温度・圧力・密度・組成といったような媒体の諸性質に左右される。この章の最初の部分で述べたように、空中・高空・地表面・地中等の爆発によって起こる色々な現象の違いは、核爆発の周囲の媒質の温度・密度・組成等の諸要素の変化によって

生ずることが説明できる。

2.107 爆発の直後には核兵器物質の温度は数千度もあり、圧力は数百万気圧になるだろう。核分裂破片の運動エネルギーは、多数の非弾性衝突の結果として、内部エネルギーと輻射エネルギーに変えられる。電子のいくらかは、原子から完全に離れるが、残りの電子は依然として原子核に拘束されている間は、比較的高いエネルギー(又は励起)状態にある。極く短時間内に、おそらく100分の1マイクロ秒で、核兵器残滓はほとんど完全に裸の原子となり、部分的に裸の原子の多くは励起された状態のものでそれに相当する自由電子と共存している。その時、この物質系は直ちに電磁(熱)輻射線を放出する。その性質は温度によって決まる。この温度は数千万度の程度であるから、エネルギーの大部分はマイクロ秒前後で、X線として放出される(§1.77, §1.75参照)。

2.108 爆発中の核兵器から出る第一次熱線は、周囲の媒体の原子及び分子によって吸収される。従って媒体は熱せられ、その結果生じた火の玉はそのエネルギーの一部分を、スペクトルの紫外、可視及び赤外の領域に主に存在する熱線として再び放出する。残りのエネルギーは次に述べる方法で、周囲の媒体中に形成する衝撃波に関与する。ほとんど全ての熱線(及び衝撃波エネルギー)は、広大な地域にわたって広がるが最終的には吸収されて熱として現われる。土あるいは水のような密な媒体中では、爆発点から近い距離内で減衰と吸収が起こるが、空気中では熱線はかなりの距離を進むであろう、後でわかるが、熱線の実際の動きは空気密度によって決まる。

2.109 前に述べたことにより明らかなように、核分裂破片の運動エネルギーは、全エネルギー放出量の85%近くを占めているが、周囲の媒体の性質によって一つは熱線として、その他衝撃及び爆風等に分配される。媒体の密度が高くなればなるほど、爆発する核兵器からのエネルギーと媒体との結びつきの度合は強くなる。結局、爆発が密度の高い媒体、すなわち水や土中で起これば、核分裂破片の運動エネルギーは密度の低い空気のような場合よりも、高い割合で衝撃及び爆風に変換される。一方超高空爆発においては、空気圧は極めて低くなり、ほんとうの火の玉

は存在せず、核分裂破片の運動エネルギーは広大な空域に消散する。どんな場合でも、爆発点からの距離でうける熱線の形態及び量は、その間にある媒体の性質によるだろう。

空中爆発における火の玉の発達

2.110 前述のように、核爆発から放出される最初の（又は第1の）熱線は、スペクトルのX線の領域にある。空気の密度が十分な大気中の低い位置で爆発が起こると、X線は、爆発の極めて近くで吸収され、その熱は空気を高温にする。この球形の熱空気はしばしば“X線火の玉”とよばれる。巻き込まれる空気の体積及び空気の温度等により、この火の玉は続いて変化するが、その動きは、爆発の状況によってすべて決定される。適度に低い（約100,000フィート以下）爆発では、X線は爆発点の上方数ヤード以内にあり、巻き込まれて高温に熱せられる空気に比較して、その体積は小さい。

2.111 X線のエネルギー（又は波長）は、広範囲をおおう核兵器残滓の温度で決定され、（§7.73参照）ごく一部の光子（§1.74）は平均より相当過剰のエネルギーを持つ。これらの、高エネルギー光子は容易に吸収されず、火の玉の前面から前方へ進む。X線は大気中の分子と相互に作用して、空気の化学的、放射性吸収特性を変化させる。そして、これは適度に低い空中爆発の場合、空気の不透明なベールを生じさせ、初期の火の玉の成長を不明りょうにする。そして不透明なX線のベールから火の玉の前面が現われる数マイクロ秒の間火の玉を見失わせる。

2.112 爆発が起こっている極めて高温の内部から、それより温度の低い外側へ放射線が移動して、“X線火の玉”は成長する。この“放射性成長”の段階の間ほとんどのエネルギーは次のようなやり方で熱気体へと移動を行う。第一に、原子分子イオン及び電子は放射線の光子を吸収しそれによって、励起状態に変化する。この原子や他の微粒子は短時間とどまりそれから通常より小さなエネルギーの光子を放出する。残りのエネルギーはそれ等微粒子の運動エネルギーとなる。放出された光子は、光速で四方八方へとび去り、そして別の励起粒子に再び吸収されるだろう。あとの再放出された光子もこれに続く放射線エネルギーは、このようにして同

時に気体中の一点から他へと伝達され光るエネルギーの平均（及び輻射線周波数）は減少する。このエネルギーは、光子が通過して移動した気体を大きく熱する作用を行い消滅する。

2.113 輻射線の平均自由行程、すなわち一つの相互作用から次の相互作用の間に光子が移動する平均値がガス状容積と比較して大きければ、小さい時に比べて、エネルギーは急速に火の玉の内側から低温の周辺部へ伝達される。これはガスを通して周辺部へ移動する光子は、短かい行程しか移動せず何回も再放出されるからである。再放出毎に光子は四方八方に動き、そのために周辺部に向うエネルギーの移動の効率は、光子が熱気体中で吸収及び再放出を全くしないかわずかしかない場合の、長い自由行程の効率より小さくなる。

2.114 放射性成長の段階では熱い火の玉の光子の平均自由行程は、非常に高温のために光子は敏速に吸収されているので、火の玉の直径のオーダー（又はそれより長く）になる。この結果エネルギー分布と温度は、熱いガスの体積全体を通じて均一になる。この段階の火の玉はそれゆえに“等温球”とよばれる。この名称は温度の変化度が、特に前進中の輻射前面の近くで現われるのでいくぶん誤称とも言える。

2.115 火の玉が冷却するにつれ光子の平均自由行程が減少するため、輻射エネルギーの移動及び放射性成長は遅くなる。等温球の平均温度が300,000℃に低下するとき、この拡張速度は普通の音響上の（音）速度に匹敵する価に減少している。この点において火の玉の前面で衝撃波が発達し、火の玉の成衰は、流体力学的成長とその衝撃によって抑制される。衝撃形成の現象は、しばしば“流体力学的分離”とよばれる。20 K Tの爆発の場合、それは火の玉の半径が約40フィートに達する爆発後約 $\frac{1}{10}$ マイクロ秒で起こる。

2.116 極めて初期の1マイクロ秒弱前後に、膨張する兵器破片によって衝撃波が激しく形成する。等温球内での衝撃はふつうの音速の速さで外側へ膨張する。内部衝撃は流体力学的分離の直後突然起こり外部衝撃と併合する。破片衝撃波の相対的重要性は、膨張する核装置の産出する放出エネルギーの割合と爆発高度と

に依存する（§ 2.136）。この破片衝撃の前面は紫外線輻射の強い源であり小威力の核兵器の場合は“X線火の玉”の放射性成長にとって重要なエネルギー源となる。

2.117 通常の空中爆発からの衝撃前面（併合した）が等温球の前方を移動するにつれ、周囲の空気にすさまじい圧縮を引き起こし、そのため温度は空気を白熱化するほど充分に高くなる。この光りきらめく外殻は、このようにして、火の玉の成長の“流体力学段階”の間に、進行する可視の火の玉を組みたて作り上げる。こうして火の玉は二つの同心球から成り立つようになる。内部の（より高温の）領域は一様な温度の等温球で、このまわりを内部よりもいくらか低いがやはり相当高温の衝撃加熱によって光輝を放つ空気の層が包圍している。高温の空気（8,000℃以上）は可視輻射線を不透明にすることができ、等温球は外部の衝撃を受けた空気を通して見ることはできない。

2.118 以上述べた現象を図式化して図-2.118に示す。これは20 K T核兵器の爆発後種々の時間間隔で撮られた一連の写真で、左側に定性的な温度の断面分布図、右側に圧力の断面分布図が示されている。最初の写真は、0.1ミリ秒における温度が火の玉の内部では一様で、その外部で急に鋭く降下していることを示している。それゆえに写真は火の玉の外部表面だけを示す。

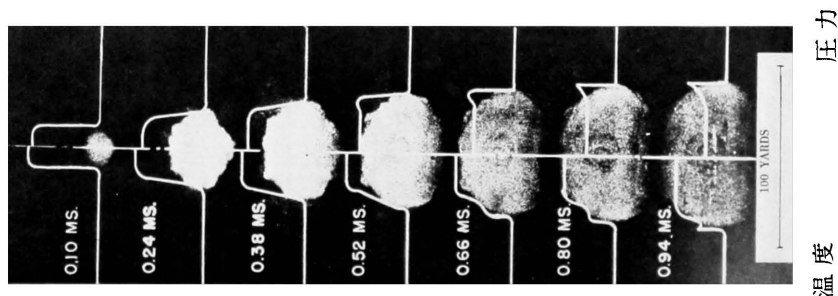


図-2.118 火の玉の温度及び圧力の変化（時間とディメンジョンは20 K T空中爆発に適用）

2.119 図-2.118の右側の曲線から、火の玉の中における圧力変化のようすが理解できる。等温の段階では圧力は全体にわたり一様であり外側で急に降下するが、短時間後に、衝撃波面が等温球から分離したときは、表面近くの圧力の方が火の

玉内部の圧力よりも大きくなっている。切り立った前面を持つ衝撃波は1ミリ秒以下の時間内に、等温領域からかなり前方へ進んでいる。火の玉の中がピークまで上昇しているが、これは衝撃波の特徴で圧力は火の玉の外部表面で急に鋭く低下している。このことは火の玉の外部表面が衝撃波面と同一であることを意味している。これに付け加えてこの写真から従来はあまりはっきりしていなかった火の玉の表面がはっきりと明示されていることが注目される。

2.120 火の玉はしばらくの間、衝撃波面が周囲の空气中を伝播して行く速度できまる割合で拡大し続ける。この期間中に衝撃を受けた空気は一様に減少し、不透明さが減少する。最後には透明となり写真にかすかに認められる衝撃波面を通して、非常に高温で光り輝く火の玉の内部、すなわち等温球が見えるようになる（図-2.32参照）例えば20K T核兵器の爆発後約15ミリ秒（0.015秒）でこの状態になるがこの開始は“離脱”とよばれる。

2.121 離脱に引続いて、目に見える火の玉の大きさは以前よりも遅い速度で増加し続け、約1秒後最大の大きさに達する。20K T核兵器の爆発後およそ0.1ミリ秒から1秒で火の玉の半径が時間の経過とともに増大するようすを図-2.121に示す。この図は両軸とも対数目盛であることに注意すべきで、従って曲線の下部分（左側の）は一定の成長率を現わしておらず、むしろ3時間経過とともに成長率が低下していくことを示している。それにもかかわらず、離脱後に火の玉の成長速度が著しく減少することはこの曲線の後の部分が平均になっていることから明白である。

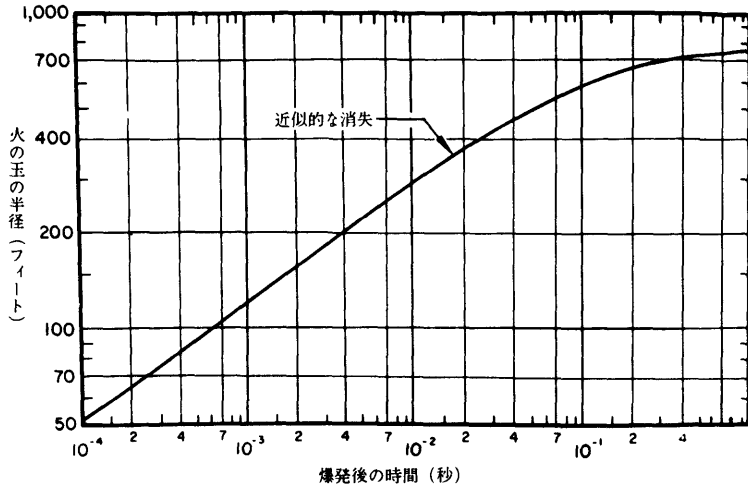


図-2.121 20 K T空中爆発における火の玉の時間経過に従う直径の変化

火の玉の温度

2.122 初めの方で指摘したように、火の玉の内部温度は、一様に減少するが、熱線の放出に影響を及ぼす見かけ上の表面温度は、ある値まで減少すると再び上昇に転じ、最大値に達して、その後は次第に様な傾度で下降する。この曲線の動きは、高温の空気が、急速に熱線の吸収及び放出の両方を行なうという事実に関係するが、温度が数千度以上に低下するにつれて、吸収及び放射の能力も低下する。

2.123 火の玉の温度が $300,000^{\circ}\text{C}$ に低下し、衝撃波面が、等温球に先立って移動を始める頃から、初めの温度の最小値 (§ 2.38) の時刻に近づくまで、火の玉は流体力学の法則に従って膨張する。ゆえに測定された衝撃波速度、すなわち、火の玉の成長率から、衝撃を受けた空気の温度を計算することができる。この方法で得られた衝撃波面の温度の時間的变化は、図-2.123に、20 K T爆発について、 10^{-4} 秒から 10^{-2} 秒まで、実線で示してある。しかし、前進している衝撃波面の表面の光輝について、遠方より行なった写真観測および分光観測では、図-2.123の破曲線であらわされ、かなり低い温度を示す。この相違が起こる理由は、爆発

の早期の段階で放出された核放射線と、熱線の両方が、衝撃波面の前方の大気の気体と深い所で相互作用を行い、オゾン・二酸化窒素及び亜硝酸等を生成するからである。これらの物質は、火の玉からの放射線の強い吸収体であり、そのため、実際に観測された光輝は衝撃波面の温度よりかなり低い温度になっている。

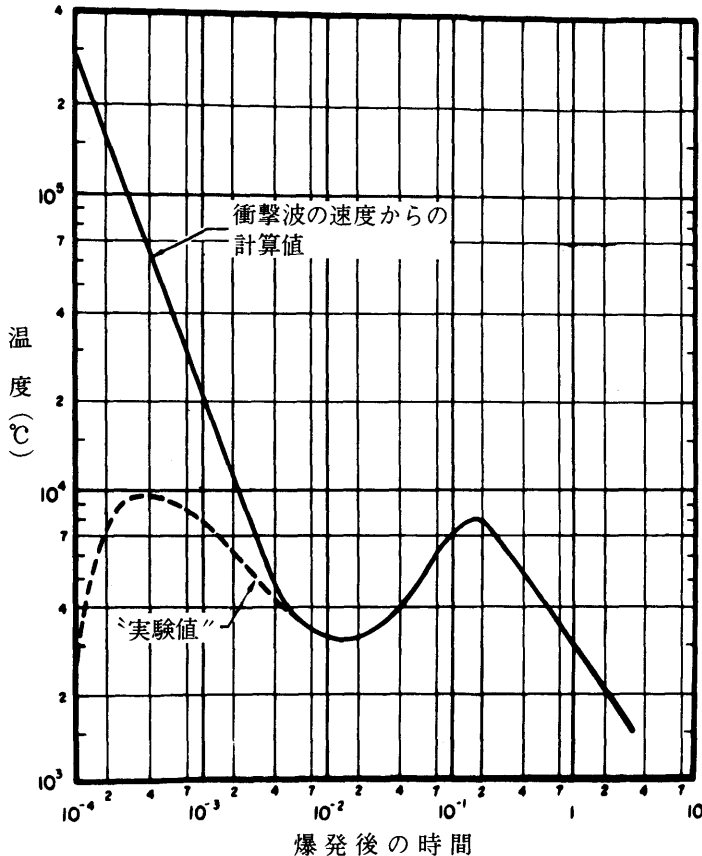


図-2.123 20 K T 空中爆発時の見かけの火の玉表面温度の時間経過に従う変化

2.124 衝撃波面の空気の温度が非常に高温の間は、等温球は目に見える (§ 2.117)。衝撃波面が放射線を放出(及び吸収)する割合は、その温度と半径によって決まる。この時の温度は、等温球の温度よりかなり低い、半径はより大き

い。しかし、衝撃を受けた空気の温度が $3,000^{\circ}\text{C}$ ($5,400^{\circ}\text{F}$) に近づくにつれて、衝撃波面での吸収（及び輻射）は少なくなる。このようにして、衝撃波面は等温球からの輻射線に対し、透明度が次第に増し、依然として高温の等温球が暴露し“離脱”を呈する。

2.125 等温球が暴露する結果、火の玉の見かけの表面温度（明るさ）は、衝撃波面による、約 $3,000^{\circ}\text{C}$ という最小値温度を経過した後増加する（図-2.123）。この温度の最小値は最初の熱パルスの終端を表わし、20 K T核武器の爆発後約11ミリ秒（0.011秒）に起こる。その後、見かけの表面温度は最小値から増加し続けるので、高温の内部（又は等温球）から直接放出される火の玉からの輻射線は、火の玉に先立つ衝撃波の冷却された空気には大して妨害されない。そのためエネルギーは、以前よりもさらに急速に輻射される。見かけの表面温度は約 $7,700^{\circ}\text{C}$ ($14,000^{\circ}\text{F}$) の最高点まで上昇するが、輻射線の放出及び空気との混合によって、火の玉が冷却される時期を過ぎると一定して減少する。熱線の大部分が空中爆発の際に放出されるのは、第2のパルスの期間中であり、放射率は表面温度が最高点に達するとき最大となる。

2.126 図-2.121と図-2.123における曲線は、20 K T核爆発の場合のものであるが、他の出力の爆発の場合にも類似した諸結果が得られる。輻射表面の最小温度及び温度の最大値は、爆発の威力によって決まる。しかし、空中爆発の際、これらの温度が起こる時間は、概算的に出力の0.4乗で増加する（7章）。離脱の時期は、通常熱的最小値が示された直後である。

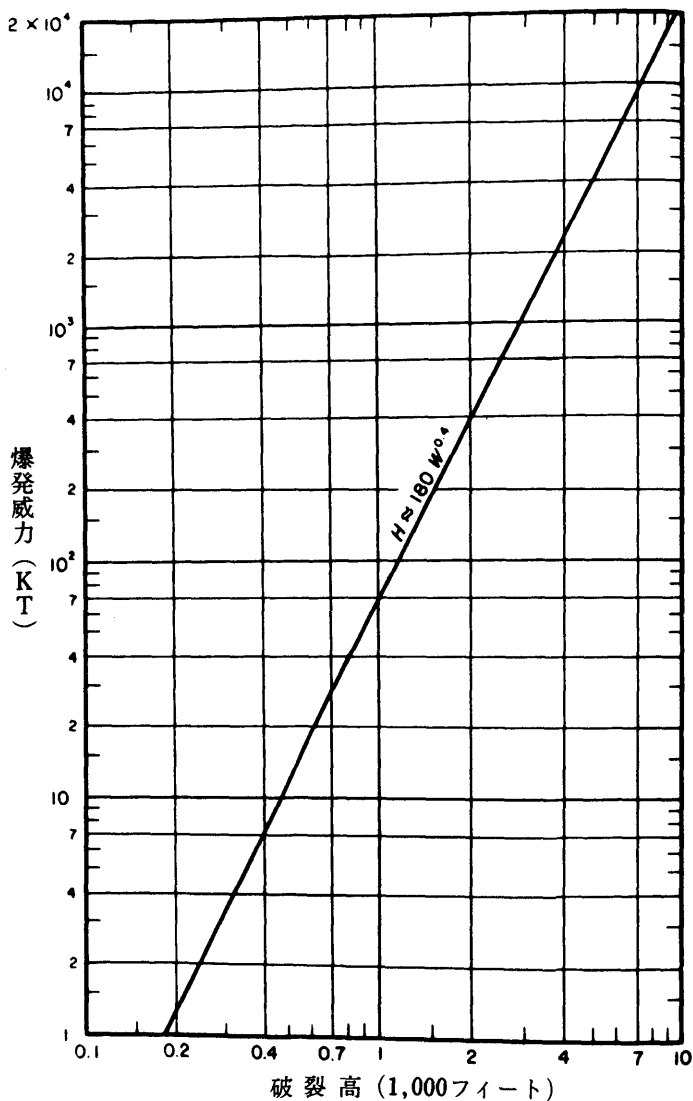
火の玉の大きさ

2.127 火の玉の大きさは爆発の威力により増加する。流体力学的要素に輻射的要素の複雑な相互作用のために、熱的最小時の火の玉の半径は、同一威力の空中及び地表面爆発の場合はほとんど同じである。その時の平均半径と威力との関係は半径（熱的最小時） $R \approx 90W^{0.4}$ により近似的に与えられ、ここではRはフィートであらわした火の玉半径で、WはTNT等価の爆発放出量（威力）である。一方離脱現象は、ほとんど流体力学的考察により決定されるので、空中爆発と地表面

注：(8) ほとんどの目的に対して、接触地表面爆発は地表面上5 W^{0.4}フィート以下の点で爆発したものに限定されるだろう。

爆発の場合は、はっきり区別されるべきである。空中爆発の火の玉半径は、R（離脱時） $\approx 110 W^{0.4}$ (2.127.1) により与えられる。接触地表面爆発、すなわち、爆発中の核兵器が実際に地表面(8)にある場合、爆風波エネルギーは地表面から火の玉の中へ戻り（§ 3.34）、方程式 (2.127.1) におけるWは、おそらく2 Wに置き換えてよいはずである。これより、接触地表面爆発については、R（離脱時） $\approx 145 W^{0.4}$ (2.127.2) となる。空中爆発と接触爆発との中間領域における地表面爆発の場合、離脱中の火の玉の半径は、式 (2.127.1) と (2.127.2) により与えられる数値の間のどこかにある。火の玉の大きさは、これより後の段階では十分に定義することができないが、大ざっぱな近似値として、離脱のときのおおむね2倍の大きさであると解釈されている（図-2.121参照）。

2.128 初期の（又は局地の）フォールアウトが重大な問題になるかならないかを左右するものとして、火の玉の大きさに関連する爆発高度の問題がある。一つの指標として、このことは、H（局地的フォールアウトに対する最大値） $\approx 180 W^{0.4}$ (2.128.1) 式により、大ざっぱに核兵器出力に関係づけられる。ここではHフィートは、多少の局地フォールアウトがある爆発の高さの最大値である。この関係式は、図-2.128に図示されている。1,000 K T、すなわち1 M Tの爆発の場合には、約2,900フィート以下の爆発高度になると、重要な意味を持つ局地的なフォールアウトが起こることを、図-2.128と、式 (2.128.1) から知ることができる。このようにして計算した爆発高度は、±30%の確率誤差を持つ近似値にすぎない。したがって爆発の高さが、方程式 (2.128.1) により与えられる値より大きいからといって、絶対に局地的フォールアウトがないと考えてはならない。しかし、たとえ起こるにせよその量は、緊急事態の場合で、がまんできる程度に十分小さいと予想される。



図—2.128 爆発にともない巻き上げられるフォールアウトの目に見える概略の高さ（最大値）

2.129 火の玉の大きさのもう1つの局面は、火の玉が上昇するときの状況で決定される。約4.3マイルの高さがある（§ 10.123）大気の層の厚さに比べて火の

玉が小さければ、末期の火の玉の上昇は、浅い水中における気泡の行動に類似した浮力によって引き起こされる。これは、“浮力”上昇とよばれる。そのとき火の玉は、上昇するにつれて周囲の空気と平衡状態にある圧力の中にある。もし、内部の火の玉の半径が測定高に匹敵するか、あるいは、それ以上大きければ、火の玉の底部の大気圧は頂上の圧力よりずっと大きくなるだろう。これは、火の玉の急速な加速を引き起こす、“発射”上昇と言われている。この上昇速度は、火の玉の膨張割合に較べて非常に大きく、ほとんど固体の発射体のように上昇する。このとき“オーバーシュート”が起こるが、ここで密度の大きい空気のかたまりは上空に運ばれ、周囲の空気の密度は低くなる。高密度の気泡は引き続いて膨張し、それによって密度が低くなり、やがて周辺と同等の密度の範囲まで下がってゆく。

高空爆発

2.130 約100,000フィート（19マイル）までの高度における核爆発では、爆発威力が小さく爆発高度も低い場合に限って、爆風と熱線の間の爆発エネルギー分布は変化する。しかし爆発高度が100,000フィート以上になると、爆発の高度が増加するにつれてエネルギー分布は著しく変化し始める（7章参照）。この理由のため、100,000フィートのレベルが空中爆発と高空爆発とを区別する選定の基準となっている。しかし、この高度での様相に鋭い変化はなく、そのため、高空爆発を100,000フィート以上の高さにおける爆発と定義するのはいく分あいまいではある。100,000フィート以上での爆発では、高度の増加と共に爆風エネルギーは次第に減少するが、有効な熱線として地上で受け取る爆発エネルギーの増加割合は、最初、ほんのわずかである。爆発高度の増加にともなって、地上で受け取る有効な熱線は減少し同じ爆発威力の空中爆発から等距離の点で受けるよりも、もっと小さくなる（§7.102）。

2.131 100,000フィートから約270,000フィート（51マイル）の間での核爆発の場合は、低い空気密度により火の玉の現象は影響を受ける。第一次熱線、すなわち、熱X線と空気中の原子や分子との相互作用の確率が著しく減少し、光子は長

い平均自由行程を持ち、平均してかなり長距離を進んだ後、吸収されるか、または、熱とより長波長の放射線（より小さな光子エネルギー）に低下する。放射線のエネルギーが蓄積された空気の容積は、ミリ秒そこそこの時間に数マイルも拡がりその大きさは爆発高度とともに増加する。空気と敏速な γ 線、中性子線及びX線等との相互作用は、蛍光放射線の強い閃光（§ 2.140）を発するが、空中爆発のときのように、X線のベールを生成する傾向は小さい（§ 2.111）。

2.132 高空爆発の第一次熱線エネルギーが、極めて大きな容積の空気に蓄積されるため、衝撃前面の発達に利用される容積単位あたりのエネルギーは、空中爆発の場合よりも小さくなる。外部の衝撃波は形成がゆっくりであり、放射性膨張は火の玉の成長の中の主役となっている。衝撃前面の空気は、放射前面を早く覆って不透明にしてしまうほど十分な温度になっていない。そして、火の玉は大部分のエネルギーを急速に放出する。空中爆発のケースでは、みかけの最小温度は存在しない。このように、高度が増加するにつれて、熱パルス現象における表面温度の最小値は不明確となり、最終的には消滅するという一連の変化が起こるが、そのために、非常に短い期間の一つのパルスで熱線は放出されてしまう。衝撃前面のあいまいな不透明さのために、火の玉は放射性成長の期間を通して目で見え、温度は低空爆発の場合よりも高くなる。これらの効果の両方が、熱線放出の増加の一因となる。

2.133 標準海面の大気中での1MT級の高空爆発に対する時間の関数として、爆発点から離れた所における熱線エネルギーの到達する割合を定性的に比較したものを、図-2.133に示す。低空（又は中程度の低空）爆発では、熱線は二つのパルスで放出されるが、高空爆発の場合は一つのパルスのみで大部分の熱線が比較的短時間に放出される。その上、高空爆発からの熱パルスは、空中爆発の（第二の）パルスよりも紫外線が多い。この理由は、形成されたオゾン・酸化物及び硝酸が、このスペクトル領域で強く吸収され減少するからである。

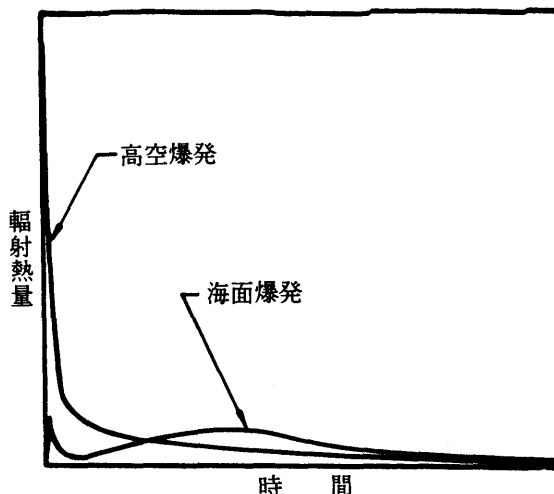


図-2.133 高空爆発と海面での爆発との一定距離
における熱線の到達の量的比較

2.134 270,000フィート以上の爆発高度では、上方に向って放出されるX線は吸収されることがない。下方に向うX線は、エネルギーの蓄積の結果発光するようになる“X線パンケーキ”とよばれる空気の層に大部分が吸収される。いわゆるパンケーキは、トウモロコシを平らに切り取ったような形によく似ており、上部がとがり、約30,000フィート（又はそれ以上）の厚さがあり、中間の高度での周囲は270,000フィートであるが、その半径は、爆発高度から、270,000フィートを減じたものに近似している。このパンケーキの大きさ及び高さは、初期X線として放出する温度によって大きく限定されるが、これは核兵器の出力と設計によって決まる。しかし、ここで述べた数値は平均値である。X線パンケーキ中の空気のかたまり及び体積が非常に大きいために、火の玉からかなり低いところの通常の空気の層にまでこの温度は到達する。種々の励起された原子及びイオンが形成され、これらによって再放出される低エネルギーの放射線（長波長）が、離れたところで見られる熱放射を演ずる。

2.135 270,000フィート以上の高さでの爆発では、初期の火の玉はほぼ球形であるが、高度がこれ以上になると火の玉は垂直に延長し始める。核兵器破片ときら

めく空気は、X線によってほぼ同時に加熱される。しかし270,000フィート以上では破片はX線パンケーキから分離する傾向にある。破片は、爆発高度と放出エネルギーによって高く上昇できるが、この行動及びイオン化の効果は、10章にくわしく記述されている。一方発光領域（X線パンケーキ）は、爆発高度にかかわらずある一定の高度に残る。この領域からの熱線は、総爆発エネルギーとほとんど同じ割合を有する一つのパルスとして放出されるが、約270,000フィート以下の爆発に比べいく分か時間が長い（§7.89参照）。

2.136 高空爆発時の大気中のエネルギー密度は、同一威力の空中爆発からの密度と比べれば小さいが、衝撃波は核兵器破片によって形成され、少なくとも、400,000フィート（75マイル）の高度に上る。例えば、ティーク爆発実験後、ハワイ周辺の電離層の乱れは、その当時衝撃波が毎秒約4,200フィートの平均速度で伝播していたことを示す。火の玉を取り囲む直径数百マイルもの大きな赤い発光球の形成は、爆風波のエネルギーによる酸素原子の電子的な励起に起因している。励起直後、その過剰エネルギーは、スペクトルの赤色端に及ぶ可視輻射線として放出される（6,300及び6,364°A）。

2.137 約400,000フィート以上での爆発では、地球磁場は核兵器破片の動きにますます重要な役割をなし、200マイルかそれ以上の爆発では（第10章）、主要要素となる。これらの高度においては、衝撃波は磁力流体力学（むしろ単に流体力学）的性質となるだろう。これらの衝撃波により生成される熱線は極めて少ない。

空気の蛍光現象

2.138 大気中における高空核爆発時、非常に短い時間に、可視及び紫外輻射線が放出され、一時的ないろいろの蛍光効果をもたらす。この効果は、火の玉からの高エネルギーX線、あるいは十分なエネルギーの γ 線、中性子、 β 粒子、または他の荷電粒子等が相互に作用する結果、空気中の分子及び原子を電子的に励起（及びイオン化）させる。励起原子及びイオンの過剰エネルギーは、蛍光として急速に放出させる。

2.139 100,000フィート以下での高度で起こる一般的な爆発では、爆発時の1マ

イクロ秒内外で短時間の蛍光があらわれるが、これは“識別光”とよばれる。励起粒子は当初、分裂過程にともなう敏速な（又は瞬時の） γ 線と大気中の核、及びもっと後の段階では、速中性子と大気中の核の相互作用によって生成される（§ 8.53）。

2.140 100,000フィート以上での爆発においては、高空であるために、密度の低い大気中での平均自由行程が局部の吸収に適合するくらい長いので、約15マイル（80,000フィート）の高さの範囲で、 γ 線及び中性子は蛍光を発しながら吸収される傾向にある（§ 10.29）。蛍光は比較的長い時間にわたって放出されるが、これは、光子や中性子が吸収されてしまう前に、それらが移動した距離に起因する飛行時間の遅れのためである。爆発域からもれ出た高エネルギーX線の一部は、火の玉の外部に蓄積されるが、これもまた蛍光を発する。X線蛍光の重要性は、爆発点の高度が上がるにつれて増大する。

2.141 高空爆発にともなう高エネルギー β 粒子もまた、蛍光を引き起こすことができる。約40マイル以上の爆発では、下向きの方角にある核兵器残滓から放出される β 粒子は、ほぼこの高度において空気中に吸収され、上方に向う広がりには地球磁場線に制止される。このとき形成される空気の蛍光層を“ベータパッチ”とよぶ。爆発が十分高いところで起これば、核兵器破片はそれ自身蛍光を発する。これ等イオンの一部は、大気によって制止されるが、約70マイルの高さにある地球磁場によって道を開かれ、（§ 10.29）空気から蛍光を発生させる適切な状態のもとでは、後述するように、蛍光は核爆発が起こった地球の反対側の半球にも β 粒子や破片イオンによって現われる。

オーロラ現象

2.142 高空爆発にともなうオーロラ現象（§ 2.62）は、放射性の核兵器残滓によって引き起こされ、そのイオンにより大きさが変化してゆく。大気とこれらの荷電粒子との相互作用は、天然オーロラ特有の可視輻射線を形成し、過剰エネルギーを放出する励起状態の分子・原子及びイオンを作る。この点が、上記の空気蛍光の生成に類似している。しかしながら、オーロラは低エネルギーの荷電粒子によ

って作られるのであり、かなり長時間持続する。すなわち、空気蛍光の場合は1秒の何分の1であるが、オーロラは数分間続く。その上励起された粒子の種類が色々混合して、規則的に放出されるので輻射は、やや異なった波長の特性を持っている。

2.143 地球磁場は、荷電粒子に影響を及ぼす。すなわち、このためにこれらの粒子は、磁場線に沿ったらせん状の通路を移動させられる。地球が磁石のように働き北極及び南極を有しているので、磁場線は“接合点”とよばれる二つの点、すなわち磁気赤道の一つは北、もう一つは南で地球に達している。したがって、荷電粒子の地球磁場でのらせん運動は、接合した地域の大気中に入り込む。この地域の中では、オーロラ形成が見られるだろう。

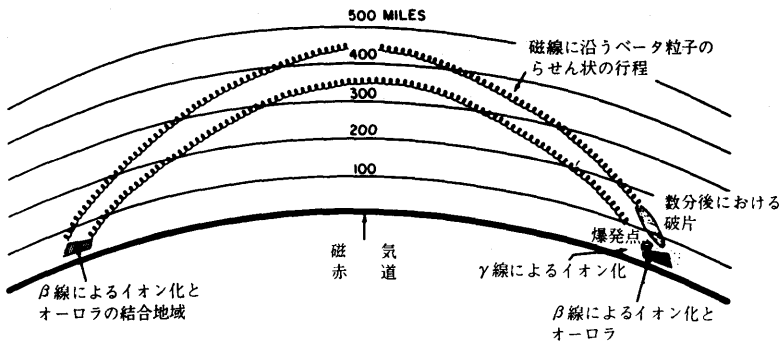


図-2.143 高空爆発における複合現象

2.144 ジョンソン島付近で1958年及び1962年に行われた高空爆発実験では (§ 2.52)、荷電粒子は、北半球ではジョンソン島とハワイ本島の間の大気中に入った。ところが、南半球における接合地域は、サモア、フィジー、及びトンガ島付近であった。これ等の地域では、核爆発に加えてオーロラを実際に観測することができた。

2.145 β 粒子は高速であるので、爆発点から遠く離れた南半球でもベータオーロラが現われるまで、数分の1秒しかかからない。しかし、破片イオンは、もっとゆっくり移動するので、形成されると仮定して、遠く離れた半球に破片オーロラ

ラが現われるのは、少し遅れてからである。ベータオーロラは、30から60マイルの高度で、おおむね最も激しく、これに反して破片オーロラは、60から120マイルの範囲で最も強い。25マイル以上で爆発がおこれば、遠隔接合のベータオーロラが現われるが、破片オーロラは200マイルをはるかに越える高さの爆発のときのみ現われる。

オーガス効果

2.146 高空の爆発の場合、地球の磁場線に沿って動く破片イオンは接合点付近の70マイルの高度に運び上げられる。ここでそれらはおとろえ続け、地球磁場線の周囲をらせん運動する一定の β 粒子源となる。粒子が、地球磁場の強度が急激に増加する地域に入るとき、接合点付近で、 β 粒子のあるものは逆戻り（反射）する。その結果、それらは後方及び前方へ、接触点から別のところへと移動し、最終的に大気中で捕獲されるまでに、いくらかの時間を費やす。（地球磁場と核爆発による荷電粒子及び放射線との相互関係について更に詳しいことは10章で述べられている。）

2.147 荷電粒子が磁場線に沿って動くほかに、磁場の強さが均一でない場合は、荷電粒子が磁場線を横切る傾向もある。その結果、接合点付近の地域のあちこちに、地球の回りを漂う東向き（経度方向）のらせん運動ができる。高空での核爆発後、数時間以内に β 粒子は完全に地球をとりまく外皮を形づくる。オーガス実験（§ 2.53）では、爆発は125から300マイルの高度で起こったが、明確な厚さ60マイルの測定できる電子密度の外皮が作られ、数日にわたり残存した。これは“オーガス効果”として知られるようになった。類似した現象が、スターフィッシュプライム以後及びこの他の高空核爆発で観測された。

オゾン層における効果

2.148 オゾンは、50,000から100,000フィート（約10から20マイル）付近の高さの、主に成層圏にある上空で酸素分子に対する太陽の放射線の作用によって形成される。オゾンの蓄積はその分解のために限界があるが、一部は2,100から3,000 Åの範囲にある波長の太陽紫外放射線に吸収され、また一部は、空中に存

在する窒素酸化物（及び他の化学物質）の影響で化学変化する。化学分解は複雑な一連の反応で引き起こされるので、少量の窒素酸化物がオゾンの分解の原因となる。オゾン濃度の平衡（又は安定状態）はどんな場合も生成と分解の割合のバランスとして表わされる。それゆえ、それは窒素酸化物存在の量に大きく左右される。太陽輻射線は、もちろんもう一つの重要な要素であり、通常のオゾン濃度は、緯度、季節、一日のうちの時間、太陽循環（黒点）の段階、及びその他の未確定要素によって左右される。

2.149 大気中での平衡量が少く、計量的には空気の100万分の10を減多に越えることはないが、オゾンは地球上での生命の維持に重要な関係を有する。もしオゾンによって大量の太陽紫外線が吸収されなければ、一般的な生存は海中でのみ可能となる。オゾン濃度の重大な変化は、すなわち、窒素酸化物の量が増加した結果であるが、ヒフ癌の増加の原因となり、植物、及び動物の生存上不利に影響するものと思われる。

2.150 § 2.08及び§ 2.123で分るように、核爆発は窒素の酸化物を生成する。例えば空中爆発においては、TNT等価のMTにつき約 10^{23} 分子の窒素酸化物を生成すると推定されている。中程度の適度な威力の空中、又は地表面に近いところでの核爆発の場合は、放射能雲は50,000から100,000フィートの範囲まで達し（図-2.16）、そのため、このような爆発からの窒素酸化物はオゾン濃度の減少の傾向にあるメカニズムを高められると思われる。過半の核実験の期間中及びその後を通じ、大気の日常的監視ではオゾン濃度に大きな変化はなく不安もない。しかしながら、オゾン層の大自然の変化及び測定における不確実性は、明確な結論を得ることを許していない。理論的な計算では戦争における核兵器の使用の拡大が、大気中のオゾン濃度を実質的に減少させる原因となり、紫外線による生物的影響をますます不利にしてしまうことが明らかとなっている。最終的にはオゾン層は回復するが、しかし25年間も必要とする。

参 照 文 献

- BAUER, E., and F. R. GILMORE, "The Effect of Atmospheric Nuclear Explosions on Total Ozone," Institute for Defense Analyses, January 1975, Paper P-1076, IDA Log. No. HQ 74-16726.
- *BETHE, H. A., *et al.*, "Blast Wave," University of California, Los Alamos Scientific Laboratory, March, 1958, LA-2000.
- Reinhold Publishing Corp., 1955, Vol. II, p. 395.
- BRODE, H. L., "Review of Nuclear Weapons Effects," *Ann Rev. Nuclear Science*, 18, 153 (1968).
- CHRISTOFILOS, N. C., "The Argus Experiment," *J. Geophys. Res.*, 64, 869 (1959).
- FOLEY, N. M., and M. A. RUDERMAN, "Stratospheric Nitric Oxide Production from Past Nuclear Explosions and Its Relevance to Projected SST Pollution," Institute for Defense Analyses, August 1972, Paper P-894, IDA Log. No. HQ 72-14452.
- GILMORE, F. R., "The Production of Nitrogen Oxides by Low Altitude Nuclear Explosions," Institute for Defense Analyses, July 1974, Paper P-986, IDA Log. No. HQ 73-15738.
- GLASSTONE, S., "Public Safety and Underground Nuclear Detonations," U.S. Atomic Energy Commission, June 1971, TID-25708.
- HESS, W. N., Ed., "Collected Papers on the Artificial Radiation Belt from the July 9, 1962 Nuclear Detonation," *J. Geophys. Res.* 68, 605 *et seq.* (1963).
- *HOERLIN, H., "United States High-Altitude Test Experiences," University of California, Los Alamos Scientific Laboratory, October 1976, LA-6405.
- *JOHNSON, G. W., and C. E. VIOLET, "Phenomenology of Contained Nuclear Explosions," University of California, Lawrence Radiation Laboratory, Livermore, December 1958, UCRL 5124 Rev. 1.
- *JOHNSON, G. W., *et al.*, "Underground Nuclear Detonations," University of California, Lawrence Radiation Laboratory, Livermore, July 1959, UCRL 5626.
- MATSUSHITA, S., "On Artificial Geomagnetic and Ionospheric Storms Associated with High Altitude Explosions," *J. Geophys. Res.*, 64, 1149 (1959).
- BOQUIST, W. P., and J. W. SNYDER, "Conjugate Auroral Measurements from the 1962 U.S. High Altitude Nuclear Test Series," in "Aurora and Airglow," B. M. McCormac, Ed., Reinhold Publishing Corp., 1967.
- BRICKWEDDE, F. G., "Temperature in Atomic Explosions," in "Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry," NELSON, D. B., "EMP Impact on U.S. Defense," *Survive*, 2, No. 6, 2 (1969).
- *"Proceedings of the Third Plowshare Symposium, Engineering with Nuclear Explosives," April 1966, University of California, Lawrence Radiation Laboratory, Livermore, TID-695.
- "Proceedings of the Symposium on Engineering with Nuclear Explosives," Las Vegas, Nevada, January 1970, American Nuclear Society and U.S. Atomic Energy Commission, CONF-700101, Vols. 1 and 2.
- "Proceedings for the Symposium on Public Health Aspects of Peaceful Uses of Nuclear Explosives," Las Vegas, Nevada, April 1969, Southwestern Radiological Health Laboratory, SWRHL-82.
- "Proceedings of the Special Session on Nuclear Excavation," *Nuclear Applications and Technology*, 7, 188 *et seq.* (1969).
- SNAY, H. G., and R. C. TIPTON, "Charts for the Parameters of Migrating Explosion Bubbles," U.S. Naval Ordnance Laboratory, 1962, NOLTR 62-184.
- STEIGER, W. R., and S. MATSUSHITA, "Photographs of the High Altitude Nuclear Explosion TEAK," *J. Geophys. Res.*, 65, 545 (1960).
- STRANGE, J. N., and L. MILLER, "Blast Phenomena from Explosions and an Air-Water Interface," U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1966, Report 1, Misc. Paper 1-814.
- TELLER, E., *et al.*, "The Constructive Uses of Nuclear Explosives," McGraw-Hill Book Company, 1968.
- VAN DORN, W. G., B. LE MEHAUTE, and L. HWANG, "Handbook of Explosion-Generated Water Waves, Vol. I—State of the Art," Tetra Tech, Inc., Pasadena, California, October 1968, Report No. TC-130.