

Congressional Research Service

米国調査局

“Dirty Bombs”: Technical Background, Attack Prevention and Response, Issues for Congress

Jonathan Medalia Specialist in Nuclear Weapons Policy

June 24, 2011

Congressional

CRS Report for Congress

"汚れた爆弾": 技術的背景、攻撃の防止と対応、議会の問題

ジョナサン・メダリア核兵器政策専門家

2011 年 6 月 24 日

Summary

Congress has long sought, through legislation and oversight, to protect the United States against terrorist threats, especially from chemical, biological, radiological, and nuclear (CBRN) weapons. Radiological dispersal devices (RDDs) are one type of CBRN weapon. Explosive-driven “dirty bombs” are an often-discussed type of RDD, though radioactive material can also be dispersed in other ways. This report provides background for understanding the RDD threat and responses, and presents issues for Congress.

Radioactive material is the necessary ingredient for an RDD. This material is composed of atoms that decay, emitting radiation. Some types and amounts of radiation are harmful to human health.

Terrorists have shown some interest in RDDs. They could use them in an attempt to disperse radioactive material to cause panic, area denial, and economic dislocation. While RDDs would be far less harmful than nuclear weapons, they are much simpler to build and the needed materials are used worldwide. Accordingly, some believe terrorists would be more likely to use RDDs than nuclear weapons. Key points include:

概要

議会は、立法と監督を通じて、特に化学、生物、放射線、核（CBRN）兵器からテロ脅威から米国を守ることを長い間追求してきた。放射線拡散装置（RDD）は、CBRN の武器の 1 つです。爆発型の「汚れた爆弾」は、しばしば論議されるタイプの RDD であるが、放射性

物質もまた他の方法で分散される可能性がある。このレポートは、RDD の脅威と対応を理解するための背景と、議会の課題を提示しています。

放射性物質は RDD にとって必要不可欠な成分です。この物質は崩壊して放射を放出する原子で構成されています。放射線の種類や量によっては、人の健康に有害です。

テロリストは RDD に関心を示している。彼らは、パニック、地域拒否、および経済的転落を引き起こすために放射性物質を分散させるためにそれらを使用することができます。

RDD は核兵器に比べてはるかに有害ではないが、構築がはるかに簡単であり、必要な材料は世界中で使用されている。したがって、テロリストは核兵器よりも RDD を使う可能性が高いと信じている人もいる。重要な点は次のとおりです。

- RDDs could contaminate areas with radioactive material, increasing long-term cancer risks, but would probably kill few people promptly. Nuclear weapons could destroy much of a city, kill tens of thousands of people, and contaminate much larger areas with fallout.
- Cleanup cost after an RDD attack could range from less than a billion dollars to tens of billions of dollars, depending on area contaminated, decontamination technologies used, and level of cleanup required.
- Terrorists would face obstacles to using RDDs, such as obtaining materials, designing an effective weapon, and avoiding detection.

・RDD は放射性物質の領域を汚染し、長期にわたるがんリスクを増加させる可能性があります。おそらく人々を殺すことはほとんどありません。核兵器は都市の大半を破壊し、何万人もの人々を殺し、大規模な地域を墜落して汚染する可能性がある。

・RDD 攻撃後のクリーンアップコストは、汚染された地域、使用された汚染除去技術、および必要なクリーンアップのレベルに応じて、10 億ドルから数千億ドルの範囲に及ぶ可能性があります。

・テロリストは、材料の入手、効果的な武器の設計、検出の回避など、RDD を使用する上での障害に直面するだろう

Governments and organizations have taken steps to prevent an RDD attack. Domestically, the Nuclear Regulatory Commission has issued regulations to secure radioactive sources. The Department of Homeland Security develops and operates equipment to detect radioactive material. The National Nuclear Security Administration (NNSA) has recovered thousands of disused or abandoned sources. Some state and local governments have taken steps to prepare for an RDD attack.

Internationally, the International Atomic Energy Agency has led efforts to secure radioactive sources. Its Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources offers guidance for protecting sources. The G8 Global Partnership has secured sources in Russia and elsewhere. A State Department program strengthens border security. Other nations and nongovernmental organizations have acted to secure sources as well. Key points include:

政府と組織は、RDD 攻撃を防ぐための対策を講じています。国内では、原子力規制委員会が放射性物質を確保するための規制を出している。国土安全保障省は、放射性物質を検出するための機器を開発し、運用しています。国家原子力安全保障局（NNSA）は、何千もの放棄または放棄された情報源を回収しました。いくつかの州と地方自治体は、RDD 攻撃への対応を進めています。国際的には、国際原子力機関（IAEA）は放射性物質の確保に努めてきた。放射性物質の安全と保安に関する行動規範は、発生源を保護するためのガイダンスを提供しています。G8 グローバルパートナーシップは、ロシアなどでの情報源を確保しています。国務省のプログラムは国境の安全保障を強化します。他の国や非政府組織も、情報源の確保に努めてきた。キーポイントは次のとおりです。

- ・ Nuclear Regulatory Commission actions have done much to instill a security culture for U.S. licensees of radioactive sources post-9/11.
- ・ Many programs have sought to improve the security of radioactive sources overseas, but some incidents raise questions about security

・核規制委員会の活動は、9/11 以降の放射能の米国ライセンシーのための安全文化を植え付けるために多くの努力をしてきた。

・多くのプログラムは、海外の放射性物質の安全性を向上させようと努めてきたが、いくつかの事案は安全性について疑問を投げかけている。

Should prevention fail, federal, state, and local governments have taken many measures to respond to and recover from an RDD attack. The National Response Framework “establishes a comprehensive, national, all-hazards approach to domestic incident response.” The federal government has resources for recovery. Key points include:

予防が失敗した場合、連邦、州、および地方自治体は、RDD 攻撃に対応し、回復するために多くの措置を取る必要があります。国家対応フレームワークは、「国内インシデント対応に対する包括的、全国的、全災害的アプローチを確立する」。連邦政府は回復のための資源を有している。キーポイントは次のとおりです。

- Government agencies have done much to prepare for and recover from an RDD attack. This work would help cope with other disasters. Conversely, planning for other disasters would help in the event of an RDD attack.
- Some experts have raised questions about the effectiveness of planning to respond to and recover from an RDD attack.

- ・政府機関は、RDD 攻撃の準備と復旧に多くの努力を払ってきました。この作業は他の災害に対処するのに役立ちます。逆に、他の災害の計画は、RDD 攻撃の場合に役立ちます。
- ・一部の専門家は、RDD 攻撃に対応して回復する計画の有効性について疑問を提起しています。

This report raises several issues for Congress, including:

- the priority for countering RDDs vs. other CBRN;
- the priority given to securing domestic vs. overseas radioactive sources;

- whether to establish a radiation detection system in cities;
- how best to prepare for decontamination following an RDD attack;
- how to dispose of potentially large volumes of waste generated by decontamination;
- whether to modify certain personnel reliability standards;
- whether to modify the pace of a program for implementing certain security enhancements for U.S. radioactive sources; and
- how to improve radiological forensics capability.

CRS Report R41891, "Dirty Bombs": Background in Brief, by Jonathan Medalia, is an abridged version of this report.

この報告書は議会のためにいくつかの問題を提起している：

- ・RDD と他の CBRN との対抗の優先順位。
- ・国内外の放射性物質を確保するための優先事項。
- ・都市に放射線検出システムを設置するかどうか。
- ・RDD 発作後の除染の準備に最適な方法。
- ・汚染除去によって発生する可能性のある大量の廃棄物を処分する方法。
- ・特定の人事信頼性基準を変更するかどうか。
- ・米国の放射性物質の特定のセキュリティ強化を実施するためのプログラムのペースを変更するかどうか。
- ・放射線医学捜査能力を向上させる方法。

CRS レポート R41891 「汚れた爆弾」：概要の背景は、Jonathan Medalia 氏によって、このレポートの要約版です。

Introduction

In one nightmare scenario, a terrorist “dirty bomb” spreads radioactive material across dozens of square miles, causing panic in the target area and beyond, costing tens of billions of dollars to remediate, costing further sums in lost wages and business, compelling the demolition and rebuilding of contaminated buildings, forcing difficult decisions on how to dispose of contaminated rubble and decontamination chemicals, and requiring people to relocate from areas with elevated levels of radiation.

But in other scenarios, a terrorist plot fails. Security measures keep terrorists from obtaining radioactive material. Terrorists use a weakly radioactive material that causes little contamination. They obtain too little material to be effective, or so much that it kills them before they could attack. Equipment detects the material overseas, at U.S. borders, or inside the United States. Material disperses over a small area, facilitating cleanup, or so widely that much of the area would not require decontamination. Some blows out to sea. Such factors as weather, form of material, and degree of remediation required affect cleanup cost by several orders of magnitude and greatly reduce the damage that terrorists could expect to cause. Terrorist awareness of such failure paths might deter an attack.

Radiological dispersal devices (RDDs) may be explosive-driven—a dirty bomb—or use nonexplosive means like a crop duster airplane. Radioactive material may be dispersed indoors to contaminate a building, though the scenario most commonly discussed involves detonation of a dirty bomb outdoors. Because of their potential disruptive effects, legislation includes RDDs as one type of weapon of mass destruction (WMD), along with chemical, biological, and nuclear weapons, and a U.N. commission in 1948 included “radio active material weapons” as a form of WMD. Congress has been deeply involved in efforts to protect the United States and other nations against terrorist attacks, especially since 9/11.

The large range of possible effects of radiation results in widespread misunderstanding of the characteristics and effects of RDDs, especially when augmented by fear of radiation that has existed for over a half-century. To address these and related problems, this report provides background on RDDs and issues they raise; it does not track policy actions concerning RDDs in detail. It attempts to help understanding of these weapons in order to aid Congress in its oversight and funding of programs to counter them. Understanding the threat that an RDD attack poses

1つの悪夢のシナリオでは、テロリストの「汚い爆弾」が数十平方マイルに渡って放射性物質を広げ、標的地域とそれ以降のパニックを引き起こし、修復に数千万ドルを要し、賃金や事業の喪失をさらに押し上げ、汚染された建物の再建、汚染された瓦礫および汚染除去用化学物質の処分方法の難しい決定を強制し、人々に放射線レベルの高い地域からの移住を要求する。

しかし、他のシナリオでは、テロリストが失敗する。安全保障措置は、テロリストが放射性物質を取得するのを防ぎます。テロリストは、ほとんど汚染を引き起こさない弱い放射性物質を使用します。彼らは効果があるには材料があまりにも少なく、攻撃する前にそれを殺すほどです。機器は、海外、米国の国境、または米国内の物質を検出します。物質は小さな領域に分散し、浄化を容易にするか、または広範囲に浄化を必要としないであろう。いくつかは海に吹きます。天候、材料の形態、修復の程度などの要因は、クリーンアップコストに数桁の影響を及ぼし、テロリストによる被害が大幅に軽減されます。このような失敗経路をテロリストが意識して攻撃を抑止する可能性があります。

放射線拡散装置（RDDs）は、爆薬を駆使して爆弾を投下するか、作物ダスター機のような非爆発的手段を使用することがあります。放射性物質は屋内に分散して建物を汚染することがありますが、最も一般的に論じられているシナリオでは、屋外の汚れた爆弾が爆発します。その潜在的な破壊効果のために、法律には、化学兵器、生物兵器、核兵器とともに、大量破壊兵器（WMD）の一種である RDD と、1948 年の国連委員会が「無線活物質兵器」、特に 9・11 以来、米国や他の国家をテロ攻撃から守る努力に深く関わってきた。

放射線の影響が広範囲に及ぶことは、特に半世紀以上にわたり存在していた放射線の恐怖によって増強された RDD の特性と影響の広範な誤解をもたらします。これらの問題および関連する問題に対処するために、このレポートは RDD とそれが提起する問題についての背景を提供します。RDD に関するポリシーアクションを詳細に追跡しません。これらの兵器の理解を助け、議会がその監視を支援し、それに対抗するためのプログラムの資金を援助することを目的としています 3 RDD の攻撃がもたらす脅威と同等の重要性 - 脅威の限界には、関連科学このレポートの後続のセクションは、攻撃を防止する RDD、攻撃に対する応答、および攻撃からの回復に変わります。このレポートは、議会のための観測と問題とオプションを提供します。RDD と核兵器を比較しますが、化学兵器や生物兵器は扱っていません。これは、何らかの形で RDD の脅威に対処する多くの国内外のプログラムの包括的な要約としては意図されていません。

Overview: Congress and “Dirty Bombs”

Congress has demonstrated a sustained interest in the threat that RDDs pose to the

United States and other nations. It has enacted legislation pertaining to RDDs, held hearings on them, and requested numerous reports from the Government Accountability Office (GAO). It has done so for a number of reasons. Radioactive materials are used worldwide for medical, industrial, research, and other beneficial purposes. Yet their security is far from airtight, especially in foreign countries, as evidenced by many reports of trafficking and attempted trafficking. Terrorists could create an RDD, though not necessarily an effective one, by stealing radioactive material and detonating an explosive charge next to it. Preventing an RDD attack and preparing to respond to and recover from an attack are thus matters of homeland security.

Terrorists, too, are interested in RDDs. An RDD has the potential to contaminate some square miles (ranging from less than one to perhaps 100, depending on how one defines contamination) with radioactive material. The attack could render an area off-limits for days to years, cause significant economic disruption (e.g., by forcing the closure of a port or evacuating the center of a city), cost tens of billions of dollars to remediate, impose further costs in lost wages and business, force the demolition and rebuilding of contaminated streets and buildings, increase the cancer rate over the long term, and cause panic and a climate of fear in the target area and far beyond.

Despite the seeming ease of launching a successful RDD attack, terrorists have not done so. The reasons are necessarily speculative, but may include difficulties in handling radioactive material, lack of sufficient expertise to fabricate material into an effective weapon, a shift to smaller-scale but simpler attacks using standard weapons and explosives, and improved security.

Of course, such factors cannot guarantee that no attack will occur. Accordingly, the executive branch, with congressional support and sometimes at congressional direction, has undertaken many measures to reduce the likelihood of an attack. These include increasing the security of radioactive material, augmenting counterterrorism efforts by intelligence and law enforcement agencies, conducting "stings" to catch would-be terrorists attempting to purchase radioactive material and those willing to sell it, and deploying radiation detectors worldwide. The government has also made extensive plans for responding to and recovering from an attack. Foreign governments and international organizations have taken similar measures, and some nongovernmental organizations have provided resources and analysis in support of counter-RDD efforts.

概要：議会と "汚い爆弾"

議会は、RDD が米国および他の国々に及ぼす脅威に持続的な関心を示している。 RDD に関する法律を制定し、公聴会を開催し、GAO (Government Accountability Office) から多数の報告を要求した。 それはいくつかの理由でそうしてきました。 放射性物質は、医療、産業、研究、およびその他の有益な目的のために世界中で使用されている。 しかし、売買及び売買の試みが数多く報告されていることから、特に海外では、その安全性は気密ではありません。 テロリストは、必ずしも効果的ではないが、放射性物質を盗み、隣の爆発物を爆発させることによって、RDD を作り出すことができる。 RDD 攻撃を防止し、攻撃からの復旧を準備することは、国土安全保障の問題です。

テロリストも RDD に興味があります。 RDD は、放射性物質で何平方マイル (汚染がどのように定義されているかに応じて、1 未満から 100 までの範囲) を汚染する可能性があります。 この攻撃は、数日から数年間、地域を出入制限外にし、重大な経済的混乱 (例えば、港の閉鎖や都市の中心部の避難など) を引き起こす可能性があり、修復のために数十億ドルのコストがかかり、賃金やビジネスの喪失、汚染された通りや建物の解体と再建を強制し、長期的に癌率を上昇させ、標的地域とそれをはるかに超えた恐怖と恐怖の原因となる。

成功した RDD 攻撃を開始するよう見えても、テロリストはそうしていない。 その理由は必然的ではあるが、放射性物質の取り扱いの難しさ、効果的な武器を作るための十分な専門知識の欠如、標準的な武器や爆薬を使用した小規模だが単純な攻撃への移行、もちろん、そのような要因では攻撃が発生しないことを保証することはできません。 したがって、執行部は、議会の支持を得て、時には議会の指示で、攻撃の可能性を減らすための多くの措置を講じている。 これらには、放射性物質の安全性の向上、情報機関や法執行機関によるテロ対策の強化、放射性物質を購入しようとするテロリストやそれを売却しようとするテロリストの摘発、世界中の放射線検出器の配備などが含まれる。 政府はまた、攻撃への対応と復旧のための広範な計画を策定している。 外国政府や国際機関も同様の措置を講じており、一部の非政府組織は対 RDD の取り組みを支援するための資源と分析を提供している。

The prospect of an RDD attack raises several issues for Congress, including:

- the priority to be given to countering terrorism using RDDs vs. other types of unconventional weapons;
- the priority to be given to domestic vs. overseas expenditures to secure radioactive sources;
- whether to use federal funds to develop and deploy radiation detection networks in

major cities and elsewhere;

- how best to prepare for decontamination following an RDD attack, such as the balance between R&D, stockpiling of equipment and supplies, training, rapid distribution of information, and analysis of the cost of decontamination vs. demolition and reconstruction;
- how to dispose of contaminated waste, including rubble from demolition and chemicals from decontamination, following an attack;
- whether to modify standards for permitting unescorted access to certain U.S. radioactive sources;
- whether to modify the pace of a program for implementing certain security enhancements for U.S. radioactive sources; and
- how to enhance U.S. capability for radiological forensics.

A Note on Terminology

Legislation, media reports, and the public use the term “weapon of mass destruction,” or “WMD,” extensively to refer to chemical, biological, radiological, and nuclear (CBRN) weapons. The term “WMD” is problematic from an analytic perspective, however, in that it lumps these unconventional weapons together and implies that they are similar even though each type differs greatly from the others in its mechanisms and effects. As a result, significantly different approaches are required to address the threats that each type poses. The term is also unclear. For example, does “destruction” refer to number of people killed, buildings destroyed, or economic damage? If the reference is to number of people killed, the various types of “WMD” would differ immensely. If “mass” refers to number of people killed, how many people constitute “mass”? If a biological weapon killed five people, as the anthrax attacks did in 2001, would that weapon count as a weapon of mass destruction, or would the threshold be, say, 5,000? As a result of these difficulties, many analyses, and this report, refer instead to “CBRN,” which explicitly states the types of weapons meant and avoids defining “mass” and “destruction.”

RDD 攻撃の見通しは、議会にとって次のようないくつかの問題を提起する。

- ・RDD と他のタイプの非武装兵器を使用してテロに対抗することの優先順位。
- ・放射性物質を確保するための国内支出対海外支出の優先順位。
- ・大都市やその他の地域における放射線検出ネットワークの開発と展開に連邦資金を使用するかどうか。 R&D、機器と備蓄の備蓄、訓練、情報の迅速な配布、除染と解体と再建のコストの分析などの RDD 攻撃後の除染にどのように最善の準備をするか。
- ・攻撃後の解体からの瓦礫や除染からの化学物質を含む汚染された廃棄物の処分方法。

・特定の米国の放射性物質へのエスコートされていないアクセスを許可するための基準を変更するかどうか。

・米国の放射性物質の特定のセキュリティ強化を実施するためのプログラムのペースを変更するかどうか。

・米国の放射線医学捜査能力をどのように強化するか。

専門用語について

法律、メディア報道、および一般大衆は、化学、生物、放射線、核（CBRN）兵器を指すために「大量破壊兵器」または「WMD」という用語を広く使用しています。しかし、「WMD」という用語は分析上の観点からは問題がありますが、これらの非慣習的な兵器は一体となっており、そのメカニズムや効果が各タイプと大きく異なるにもかかわらず類似していることを暗示しています。その結果、各タイプの脅威に対処するためには、大幅に異なるアプローチが必要です。この言葉も不明です。例えば、「破壊」とは、殺された人数、建物が破壊された人数、または経済的損害を指しますか？死刑囚の数に言及している場合は、さまざまな種類の「WMD」が大きく異なるだろう。「質量」が殺された人の数を指す場合、「質量」は何人ですか？生物兵器が5人を殺した場合、2001年に炭疽菌の攻撃が行われたように、その兵器は大量破壊兵器としてカウントされるのだろうか？これらの困難の結果、多くの分析とこの報告書は、武器の種類を明示し「質量」と「破壊」の定義を避ける「CBRN」を参照しています。

Efforts to Negotiate a Radiological Weapons Convention During World War II, in addition to developing nuclear weapons, the Manhattan Project considered the direct use of radiological materials as a weapon. This concept of a “radiological weapon” (RW) is the same as that of a radiological dispersal device (RDD). Development work on RWs continued after the war. During the Korean War, proposals were advanced for laying down a barrier of radioactive material along the Chinese border, but RW development appears to have ended by the mid-1950s.

In 1976, the Ford Administration identified the use of radioactive materials as a potential terrorist threat, and began discussions with the Soviet Union to ban RWs and the use of radioactive materials in war even if not weaponized. In 1979, the United States and Soviet Union tabled elements of an RW Convention at the Committee on Disarmament, and in 1983 the renamed Conference on Disarmament (CD) began multilateral negotiations on the Convention. In its 1983 report to the U.N. General Assembly, the CD included a draft RW Convention, with some provisions still to be agreed. Negotiations were hampered by the issue of attacks on nuclear facilities. At

least one delegation, Sweden, considered this issue more important than radiological weapons, and gave little support to the Convention. Further, when the CD's 1984 session began, the Reagan Administration declined to actively pursue the negotiations because of a concern that a convention might be seen as controlling nuclear weapons. The RW issue remains on the CD's agenda as part of the item "New types of weapons of mass destruction and new systems of such weapons; radiological weapons." However, it has not been accorded a high priority, and the CD is no closer to concluding a Convention, or resolving the issue of attacks on nuclear facilities, than it was in 1983. Provided by Pierce S. Corden, former RW lead officer on the U.S. CD Delegation, and currently a Visiting Scholar, Center for Science, Technology and Security Policy, American Association for the Advancement of Science, February 17, 2011.

放射能兵器条約交渉の努力核兵器の開発に加えて、第二次世界大戦中、マンハッタン計画は、放射線材料を武器として直接使用することを検討した。この「放射線兵器」(RW)の概念は、放射線拡散装置(RDD)の概念と同じです。RWの開発作業は戦後も続いた。朝鮮戦争では、中国国境に沿って放射性物質の障壁を敷設する提案が進められたが、RWの開発は1950年代半ばまでに終了したようだ。1976年、フォード政権は、潜在的なテロリストの脅威としての放射性物質の使用を確認し、武器化されていなくてもRWと戦争中の放射性物質の使用を禁止するためにソ連と議論を開始した。

1976年、フォード政権は、潜在的なテロリストの脅威としての放射性物質の使用を確認し、武器化されていなくてもRWと戦争中の放射性物質の使用を禁止するためにソ連と議論を開始した。1979年、米国とソ連は軍縮委員会でRW条約の要素を表明し、1983年に改正された軍縮会議(CD)は条約に関する多国間交渉を開始した。1983年の国連総会の報告書には、RW条約案が含まれており、いくつかの条項は引き続き合意されている。交渉は原子力施設に対する攻撃の問題によって妨げられた。少なくとも1人のスウェーデン代表団は、この問題を放射線兵器よりも重要視し、条約をほとんど支持しなかった。さらに、CDの1984年のセッションが始まったとき、レーガン政権は、核兵器の規制と見なされる可能性があるという懸念から、積極的に交渉を進めなかった。RW問題は、「新しい種類の大量破壊兵器とそのような武器の新しいシステム」という項目の一部として、CDの議題に残っている。しかし、それは1983年と比較すると優先順位が高くない。CDは条約の締結や原子力施設に対する攻撃の問題の解決に近いものではない。

Pierce S. Corden、元RWリード・オフィサーを務め、現在は米国科学振興協会の科学技術セキュリティ政策センター客員研究員である2011年2月17日に客員研究員を務める。

Radiation and Radiological Dispersal Devices

Radiation and Its Effects

This section provides a brief technical background; readers seeking detail should read Appendix A instead. Many atoms are stable; they will remain in their current form indefinitely. Some atoms are unstable, or radioactive. They “decay” or “disintegrate,” usually into atoms of a different element, often through emission of various particles. Decay is often accompanied by emission of gamma rays, a form of electromagnetic radiation, often of high energy. A radioactive atom is called a “radionuclide”; that term refers to properties of individual atoms, while “radioactive material” refers to bulk properties. Each radionuclide decays in a specific way. For example, when uranium-235 decays, it emits alpha particles and gamma rays, mainly of low energy; cobalt-60 emits beta particles and high-energy gamma rays when it decays. A unit called the curie (Ci) measures radioactivity; $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10}$ disintegrations per second. The time in which half the atoms of a mass of a radioactive material decay is called the half-life.

Radiation strikes people constantly, but much of it, like light or radio waves, is harmless or nearly so. Some high-energy radiation is “ionizing.” Most atoms have no net electrical charge because they have an equal number of positively-charged protons and negatively-charged electrons. Ionizing radiation knocks electrons off atoms, turning atoms into positively-charged ions that damage living cells. Very low doses of radiation produce few if any effects, but progressively higher doses may increase the risk of cancer or may cause radiation sickness or death.

Effects visible in individuals, such as nausea, are “deterministic”; their severity varies with dose. Effects detectable in populations, such as increased incidence of cancer, are “stochastic”; their probability varies with dose. In the United States, dose is usually measured in units of rem. This unit takes into account the amount of radiation absorbed and its biological effects. The average dose for the U.S. population is estimated at 620 millirem (mrem; $1,000 \text{ mrem} = 1 \text{ rem}$) per year, about half from medical sources and half from natural background. An RDD attack is likely to expose few people to a dose of more than a few rem per year, even using the unrealistic assumption that they remain in the affected area without sheltering for a year.

Any effects from a dose of a few rem per year are likely to be stochastic. Views differ on the harm from that dose. One view is that any amount of radiation increases cancer risk; another is that there is no evidence that radiation of less than about 10 rem per year increases that risk. The U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) uses the

former approach to be conservative in setting dose standards. Further, various standards imply different degrees of harm from a dose of a few rem per year. For dose to the public resulting from the nuclear fuel cycle (e.g., nuclear power plants), the Environmental Protection Agency uses a standard of 25 mrem per year of whole-body dose. NRC adopts that standard, and in addition has a dose standard of 100 mrem per year for members of the public from operations licensed by NRC. That agency also has established an occupational dose limit of 5 rem per year. The occupational dose limit in Japan was reportedly 10 rem per year, a figure raised to 25 rem per year in the wake of the Fukushima Daiichi incident. According to one expert, doses greater than 25 rem are often received in a short period of time, producing deterministic effects, the severity of which increases with dose. As the foregoing discussion shows, there is no single level that marks the line between an acceptable and unacceptable dose.

放射線および放射性分散装置

放射線とその効果

このセクションでは、簡単な技術的背景について説明します。詳細は付録 A 参照。多くの原子は安定しており、現在の形で無限に残っています。一部の原子は不安定であり、放射性である。それらは、通常、様々な粒子の放出によって異なる元素の原子に「崩壊する」。崩壊はしばしば高エネルギーの電磁放射の一種であるガンマ線の放出を伴う。放射性原子は「放射性核種」と呼ばれる。その用語は個々の原子の特性を指し、一方、「放射性物質」はバルク特性を指す。各放射性核種は特定の方法で崩壊する。例えば、ウラン 235 が崩壊すると、主に低エネルギーのアルファ粒子とガンマ線が放出されます。コバルト 60 は、崩壊するとベータ粒子と高エネルギーガンマ線を放射します。キュリー (Ci) と呼ばれるユニットは放射能を測定します。 $1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10}$ /秒の崩壊。放射性物質の塊の半分の原子が崩壊する時間を半減期といいます。

放射線は絶えず人々に襲いかかりますが、光や電波のようにその多くは無害です。一部の高エネルギー放射線は「電離」しています。ほとんどの原子は正の電荷を持つ陽子と負の電荷の電子を同数持っているため、正味の電荷はありません。電離放射線は原子から電子を奪い、原子を正に荷電したイオンに変えて生きている細胞に損傷を与えます。非常に低線量の放射線は何らかの影響があればほとんど発生しませんが、ますます高用量が癌のリスクを高めるか、または放射線の病気または死を引き起こす可能性があります。

吐き気のような個人に見える効果は「決定論的」である。それらの重症度は用量によって変化する。がんの発生率の増加など、集団で検出可能な影響は「確率的」である。その確率は投与量によって変化する。米国では、線量は通常 rem の単位で測定されます。このユ

ニットは、吸収された放射線の量とその生物学的効果を考慮に入れます。米国民の平均線量は、年間 620mrem (mrem; 1,000 mrem = 1 rem)、医療によるものから約半分、自然界から半分と推定されています。RDD 攻撃は、1 年間避難することなくその被爆した場所に留まるという非現実的な仮定を使用しても、年間数レム以上の線量に少数の人々を公開する可能性があります。

年間数レムの線量から任意の効果が確率的である可能性が高いです。線量からの害について異なる見解があります。一つの見解は、放射線の量があれば癌のリスクが高くなるということです。もう 1 つは、年間約 10 レーム未満の放射線がそのリスクを増加させるというエビデンスがないということです。米国原子力規制委員会 (NRC) は前者のアプローチを使用して線量基準の設定を控えめにしています。さらに、様々な基準は、1 年に数回の用量の傷害とは異なる程度の害を意味する。環境保護局は、核燃料サイクル (例えば、原子力発電所) に起因する公衆への線量に関して、全身投与量の年間 25mrem の基準を使用する。NRC はその基準を採用しており、さらに NRC の許可を受けた事業所からの公衆のために年間 100 ミリメートルの線量基準を持っています。その代理店はまた、年間 5 リットルの職業上の線量限度を設定している。日本の職業線量限度は、福島第一事故の発生後、毎年 10 rem、年間 25 rem に増加したと報告されています。1 人の専門家によれば、25rem を超える用量はしばしば短期間で受け取り、決定的な効果をもたらし、その重症度は用量とともに増加する。前述の議論が示すように、許容可能な線量と許容できない線量との間の線を示す単一のレベルは存在しない。

An RDD attack would elevate dose in the affected area beyond background. The Environmental Protection Agency (EPA) issued guidance in 1991 for protective actions following nuclear and radiological incidents except nuclear war, and the Federal Emergency Management Agency (FEMA) issued guidance in 2008 for protection and recovery following RDD and improvised nuclear device (IND, i.e., a terrorist-made nuclear weapon) incidents. Both agencies recommended “protective action guides” (PAGs). A PAG is “the projected dose to a reference individual, from an accidental or deliberate release of radioactive material, at which a specific protective action to reduce or avoid that dose is recommended. Thus, protective actions are designed to be taken before the anticipated dose is realized.” PAGs provide guidance on emergency actions like sheltering in place or evacuation.

RDD 攻撃は、被害を受けた領域の線量をバックグラウンドを超えて上昇させる。環境保護庁 (EPA) は 1991 年、核戦争以外の核・放射線事故後の防護措置について指針を出し、連邦緊急事態管理局 (FEMA) は 2008 年に RDD および即時型核兵器装置、テロリストの

核兵器) 事件。 両機関とも「保護行動ガイド」(PAG) を推奨した。 PAG は、「放射性物質の偶発的または意図的放出からの参照個人への予測線量」であり、その線量を低減または回避するための特定の防護措置が推奨される。 したがって、予測される線量が実現される前に、防護措置が取られるように設計されています。」 PAG は、避難所や避難所のような緊急措置についてのガイダンスを提供します。

FEMA divides the incident response into three phases. The early phase starts “at the beginning of the incident when immediate decisions for effective protective actions are required, and when actual field measurement data generally are not available.” The beginning is not necessarily clear. While an explosive-driven dirty bomb would announce its presence, FEMA observes that “in the event of a covert dispersal, discovery or detection may not occur for days or weeks.” For the early phase, for a PAG of 1 to 5 rem, the protective action recommendation is sheltering in place or evacuation. The intermediate phase after an attack “is usually assumed to begin after the incident source and releases have been brought under control and protective action decisions can be made based on measurements of exposure and radioactive materials that have been deposited.” For that phase, FEMA recommends “relocation of the public” for a projected dose of 2 rem for the first year and 0.5 rem per year for any subsequent year. PAGs assume that a person is in the affected area, unprotected, 24 hours a day, 7 days a week, for the entire period. This is unrealistic; sheltering and cleanup would reduce dose below the assumed level in the event of an RDD attack. The late phase starts when recovery and cleanup begin, and ends when such actions have been completed. FEMA does not have a PAG for the late phase because it would not be an emergency situation and because authorities would need to optimize among many factors (economic, land use, technical feasibility, etc.) in determining which areas need to be remediated to what levels.

FEMA は、インシデント対応を 3 つのフェーズに分割します。初期段階は、効果的な防護措置の即時決定が必要な現実の現場測定データが一般的に入手できない場合、事件の初めに始まります。 FEMA は、爆発的な汚れた爆弾(ダーティボム)の存在を発表する一方で、「秘密の分散、発見、または検出が数日ないし数週間は起こらないことがある」と FEMA は発表している。初期段階では、防護措置勧告は、避難所または避難所に避難している。攻撃後の中間段階は、通常、事象発生後に開始すると想定され、放出は管理され、曝露と放射性物質の測定値に基づいて防護措置を決定することができる」と同フェーズでは、初年度は 2 rem、その後の年は 0.5 rem と予測され、その際は「公衆の移転」を推進している。 PAG は、期間中、1 日 24 時間、週 7 日間、被爆個所にいるとみなすことは非現実的です。

避難し洗浄により、RDD 攻撃の場合に想定されるレベルよりも線量を減少させるであろう。後期フェーズは、復旧とクリーンアップが開始されたときに開始され、そのようなアクションが完了すると終了します。FEMA は緊急事態ではないため、また当局は分野および修復段階を決定する際に、多くの要因（経済、土地利用、技術的実現可能性など）を最適化するため、後期段階の PAG はありません。

As a guide to quantities of material that should be protected, in 2003 the International Atomic Energy Agency (IAEA) revised its Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources. The IAEA decided that the code “should serve as guidance to States for—inter alia— the development and harmonization of policies, laws and regulations on the safety and security of radioactive sources.” It lists 16 radio nuclides that are in common use and could pose a threat. For each radionuclide, the code lists three categories of radiation and the threshold radiation value for each category based on potential to cause deterministic effects. Category 1 sources are those that, if not safely managed or securely protected, could cause permanent injury to someone who handled them for a few minutes, and death to someone who handled them unshielded for a few minutes to an hour. For Category 2 sources, the corresponding figures are minutes to hours and hours to days. Category 3 sources, if not safely managed or securely protected, could cause injury to someone handling them for some hours.

NRC found, “Of the 16 radionuclides, only four are widely used in civilian applications in this country: Cobalt-60, cesium-137, iridium-192, and americium-241.” An expert panel highlighted the risk from cesium-137 chloride:

保護すべき物質の量の目安として、2003 年に国際原子力機関（IAEA）は、放射性物質の安全性と安全性に関する行動規範を改訂した。IAEA は、このコードは、「とりわけ、放射能の安全性と安全性に関する政策、法律、規制の開発と調和のための指針となるはずである」と決定した。これは、一般的に使用されている 16 種の放射性核種があげられる。各放射性核種について、決定論的効果を引き起こす可能性に基づいて、3 つのカテゴリーに分類され、放射線および各カテゴリーの閾値放射線値を列挙する。カテゴリ 1 の情報源は、安全に管理されていないか、安全に保護されていないと、数分間扱った人に恒久的な傷害を与え、数分から 1 時間は防護していない人を死亡させる可能性のあるものです。カテゴリ 2 ソースの場合、対応する数値は数分から数時間、数時間から数日です。カテゴリ 3 の情報源は、安全に管理されていないか、安全に保護されていないと、数時間扱っていた人に損傷をあたえます。

NRC は、「16 種の放射性核種のうち、コバルト 60、セシウム 137、イリジウム 192、アメ

リシウム 241 の民間用途では、4 種だけが広く使用されている」ことの発見、加えて専門家はセシウム 137 の危険を強調した。

Because of its dispersibility, solubility, penetrating radiation, source activity, and presence across the United States in facilities such as hospitals, blood banks, and universities, many of which are located in large population centers, radioactive cesium chloride is a greater concern than other Category 1 and 2 sources for some attack scenarios. This concern is exacerbated by the lack of an avenue for permanent disposal of high-activity cesium radiation sources, which can result in disused cesium sources sitting in licensees' storage facilities. As such, these sources pose unique risks.

その分散性、溶解性、透過性放射線、放射能活性にくわえ病院、血液銀行、大学などの大規模な人口中心に位置する施設での使用がある放射性塩化セシウムはほかのカテゴリ1、2 よりもより懸念されている。

この懸念は、高活性セシウム放射線源の永久処分の道がないことにより悪化し、セシウム源の使用が免許者の保管施設にある可能性がある。したがって独自のリスクが伴います。

The Energy Policy Act of 2005 (P.L. 109-58, Section 651 (d)) mandates certain security measures for Category 1 and 2 sources as defined by the IAEA Code of Conduct. While the thresholds for the various categories in the code are based on the potential to cause deterministic effects, NRC considers Category 2 sources to be risk-significant: "The theft or diversion of risk-significant quantities of radioactive materials could lead to their use in a radiological dispersal device (RDD) or a radiological exposure device (RED)." Since NRC judges that Category 2 sources could cause significant economic effects, the agency uses the lower threshold for Category 2 as the basis for mandating security measures beyond those in the Energy Policy Act.

Category 2 quantities are very small, often a fraction of a gram. For example, the quantity of concern for cesium-137 is 0.31 grams, which has 27 curies. Somewhat larger amounts can contaminate a substantial area. For example, 50 grams (1.8 ounces) of cesium-137 chloride would have about 1,000 curies. Figure 1 models an RDD attack on Washington, DC, using 1,000 curies of this substance, which contaminates, to different levels, zones ranging in area from 0.81 to 5.10 square miles.

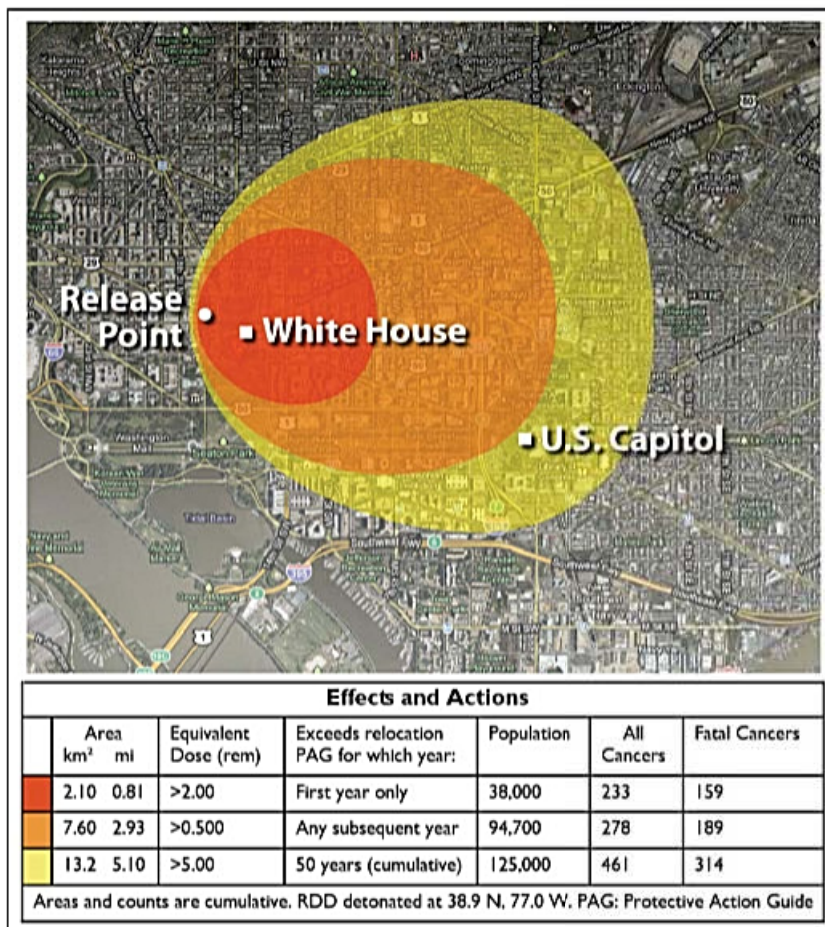
2005 年のエネルギー政策法（P.L. 109-58、セクション 651 (d)）は、IAEA 行動規範によって定義されたカテゴリ1および2の情報源に対する特定のセキュリティ措置を義務づけています。コード中の様々なカテゴリの閾値は決定的な効果を引き起こす可能性に基づ

いていますが、NRCはカテゴリー2の情報源がリスクに重大であると考えています。「リスク相当量の放射性物質の盗難や転用は、NRCは、カテゴリー2の発生源が重大な経済的影響を引き起こす可能性がある」と判断するため、エネルギー政策法以外のセキュリティ措置を義務づけるための基準としてカテゴリー2の下限を用いる。

カテゴリ 2 の量は非常に少なく、しばしばグラムの数分の 1 です。例えば、セシウム 137 についての懸念の量は 0.81 グラムであり、これは 27 キュリーである。幾分大きな量はかなりの領域を汚染する可能性があります。例えば、50 グラム (1.8 オンス) のセシウム 137 塩化物は、約 1,000 キュリーを有するであろう。図 1 はワシントン DC の RDD 攻撃をモデル化し、1,000 キュリーの物質を使用しています。この物質は 0.81~5.10 平方マイルの範囲の異なるレベルに汚染されています。

Figure 1. A Possible RDD Attack on Washington, DC Using 1,000 Curies of Cesium-137 Chloride

図 1. 1,000 キュリーのセシウム 137 を用いたワシントン DC での RDD 攻撃の可能性



Source: William Rhodes III, Senior Manager, International Security Systems Group, Sandia National Laboratories, September 2010; analysis by Heather Pennington; graphics by Mona Aragon.

出典：William Rhodes III、Sandia National Laboratories 国際セキュリティシステムグループ プシニアマネージャー、2010 年 9 月 ヘザーペニンントンによる分析; Mona Aragon によるグラフィックス。

Notes: (provided by William Rhodes): This map, based on an atmospheric dispersion model, shows where individuals are projected to have an increased risk of developing cancers due to radiation exposure over a year or more. The RDD in this scenario uses 1,000 curies of cesium-137 chloride (about 50 grams). The model assumes that all material used is dispersed, but that it is not dispersed evenly over the area. Wind is assumed to be from west to east at 7 mph. The model includes exposure from radioactive material both deposited on the surface and resuspended into the air and inhaled. EPA and FEMA have developed Protective Action Guides (PAGs) to indicate when long-term relocation of individuals should be considered. PAGs are primarily based on an assessment of the risk of developing cancer over an exposed individual's lifetime. They assume, conservatively, that individuals are unsheltered and remain in the area during the entire period described for each contour. Contours show where individuals, if not relocated per the PAG, are projected to receive at least a specified dose in a specified time, as follows: inner contour (red), dose in first year post-attack, >2.00 rem; middle contour (orange), dose in second year post-attack, >0.500 rem; and outer contour (yellow), cumulative dose in the first 50 years post-attack, >5.00 rem. The cigar-shaped plumes often seen in models of atmospheric dispersion occur for gases or very fine particles, which would be the case for chemical warfare agents or fallout from a nuclear weapon but not in the case depicted. Whether such plumes would occur for an RDD depends on such factors as wind speed, type of explosive, and particle size.

(Provided by CRS): This note compares lifetime incidence of, and deaths from, cancer to those resulting from the attack modeled in this Figure. For the United States, the lifetime risk of being diagnosed with cancer is 43.61 percent, and the lifetime risk of dying from cancer is 21.15 percent. (U.S. National Institutes of Health. National Cancer Institute. Surveillance Epidemiology and End Results (SEER). "SEER Cancer Statistics Review 1975-2007," Tables 1.14 and 1.17, http://seer.cancer.gov/csr/1975_2007/results_merged/topic_lifetime_risk.pdf) For the 125,000 people in the affected area, the estimated lifetime incidence of cancer would

thus be approximately 54,513 people, and the estimated lifetime deaths from cancer, 26,438. The attack would increase the lifetime incidence of cancer by 461 people, and lifetime deaths from cancer by 314. The Figure assumes no relocation, sheltering, or decontamination. All these actions would occur in the real world, significantly reducing cancer incidence and deaths caused by the attack.

ノート:(ウィリアム・ロードス提供): このマップは、大気分散モデルに基づいており、1年以上にわたって放射線被ばくによる癌の発症リスクが高いと予測される場所を示しています。このシナリオの RDD は、1,000 キュリーの塩化セシウム 137 (約 50 グラム) を使用しています。このモデルでは、使用されているすべての材料が分散されていると仮定していますが、領域全体に均等に分散されていません。風は西から東に 7mph であると仮定されています。モデルには、表面に堆積し空気中に再懸濁し吸入した放射性物質からのばく露も含まれる。EPA と FEMA は、個人の長期移転をいつ考慮すべきかを示す保護行動指針 (PAG) を開発している。PAG は、主に、暴露された個体の生涯にわたって癌を発症するリスクの評価に基づいている。彼らは、各輪郭について記述された全期間中、個体が遮られずにその領域に留まることを控えめに仮定する。輪郭 (赤)、攻撃後 1 年目の線量、> 2.00 rem のように、PAG ごとに再配置されていない場合に、指定された線量を指定された時間内に少なくとも受けると予測される輪郭を示す。中間輪郭 (オレンジ)、攻撃後二年目の線量、> 0.500 rem; (黄色)、攻撃後最初の 50 年間の累積投与量。 > 5.00 rem。

大気分散のモデルでしばしば見られる葉巻状のプルームは、化学兵器の場合や核兵器からの落下ではあるが、描かれている場合ではない、気体または非常に細かい粒子の場合に発生する。そのようなプルームが RDD のために発生するかどうかは、風速、爆発物のタイプ、および粒子サイズなどの要因に依存する。

(CRS 提供): このノートでは、生存率と死亡率を、この図でモデル化した攻撃の結果と比較します。米国では、癌と診断される生涯リスクは **43.61%** であり、癌で死亡する生涯リスクは **21.15%** である。(米国国立衛生研究所、国立がん研究所、サーベイランス疫学および最終結果 (SEER))」SEER Cancer Statistics Review 1975-2007、表 1.14 および 1.17、http://seer.cancer.gov/csr/1975_2007/results_merged /topic_lifetime_risk.pdf) 被災地域の 12 万 5 千人に対して、推定生涯発癌率は約 54,513 人であり、推定生涯死亡数は 26,438 人である。この攻撃は、生涯にわたりがんの発生率を 461 人増やし、生涯にわたるがんによる死亡を 314 人増やすことになるでしょう。この図は、移転、避難または除染がないと仮定しています。これらの行動はすべて、現実世界で起こり、発癌による癌の発生率と死亡率を大幅に低減します。

Might uranium or plutonium, the essential fuels of nuclear weapons, be used in an RDD? Technical experts rarely if ever consider uranium as an RDD material because the amount of radiation emitted per gram is extremely small, most of its gamma rays are of relatively low energy, and it poses less of a biological hazard than plutonium. Plutonium could be used in an RDD because of the biological hazards from alpha particles if inhaled. However, a terrorist group seeking materials for an RDD would probably find it easier to obtain radionuclides with common industrial uses; a terrorist group seeking to build a nuclear bomb would probably try to acquire uranium highly enriched in isotope 235 ("highly enriched uranium") rather than plutonium because only the former can be used in the simplest type of nuclear bomb; and a terrorist group seeking to build a nuclear bomb using plutonium would probably not squander any plutonium it acquired on an RDD. On the other hand, spent nuclear fuel, a highly radioactive mixture of many radionuclides including uranium and plutonium, could be used in an RDD.

核兵器に不可欠な燃料であるウランやプルトニウムは、RDD で使用されるだろうか？ 1 グラムあたりの放射量が非常に少ないため、ウランを RDD 材料とみなすことはめったにありません。そのガンマ線の大部分は比較的低いエネルギーであり、プルトニウムよりも生物学的危険性が低いです。吸入するとアルファ粒子の生物学的害があるため、プルトニウムは RDD に使用することができます。しかし、RDD のための材料を求めているテロリスト集団は、おそらく一般的な産業用途の放射性核種を入手する方が容易であると分かっている。核兵器を建設しようとするテロ集団は、最も単純なタイプの核爆弾で使用できるだけなので、おそらくプルトニウムではなく同位体 235（高濃縮ウラン）を高濃縮したウランを取得しようとするだろう。プルトニウムを使用して核爆弾を建設しようとしているテロ組織は、おそらく RDD で取得したプルトニウムを浪費しないであろう。一方、ウランとプルトニウムを含む多くの放射性核種の高放射性混合物である使用済み核燃料は、RDD で使用することができます。

RDDs and Nuclear Weapons

The type of RDD most commonly referenced in the press and in public discussion is the "dirty bomb," in which conventional explosives like dynamite disperse radioactive material, but a dirty bomb is only one type of RDD. There are other ways to disperse such material, such as placing it in traffic or dropping it from an airplane. Terrorists might also use a "radiological exposure device" (RED), in which radioactive material is

placed (but not dispersed) so as to expose people to radiation. REDs would harm only people who remained near them for a length of time, and would contaminate little or no area; accordingly, they are of less concern than RDDs and this report makes only brief reference to them.

It is important to clear up a common misconception. The public and the media tend to lump nuclear weapons and RDDs together, probably because both involve radioactive materials.²⁹ However, the materials and processes used are very different, and so are the results. An RDD simply disperses radioactive material. The danger comes from radiation. The main physical effect of an effective RDD attack would be as an area denial weapon, contaminating perhaps several square miles to the extent that the affected population would have to relocate and requiring costly cleanup. An attack would likely have economic and psychological effects as well, but would cause no destruction (except that resulting from the explosion of a dirty bomb) and would probably kill few if any people promptly. A nuclear weapon uses uranium and plutonium, which are much less radioactive than the materials most effective in an RDD. The process is that fission and fusion of uranium, plutonium, and other materials release a vast amount of energy. The resulting explosion produces immediate blast and heat effects that can destroy a large part of a city and kill tens of thousands of people, and generates radioactive fallout whose impact would be felt over a longer term and a wider area. Estimates differ as to the area an RDD and a nuclear weapon would contaminate with radioactive material, depending on the height of burst of a nuclear weapon (and thus the quantity of material it lofted into the atmosphere that would become fallout), dispersibility of RDD material, wind patterns, radiation level at which an area is considered contaminated, and so on. A ground-burst nuclear weapon would contaminate a far larger area than an RDD.

While an attack using a nuclear weapon, such as a terrorist-made improvised nuclear device (IND), would be far more destructive, many see an RDD attack as more likely. It would be difficult for terrorists to make an IND on their own. They would need "special nuclear material" (SNM, mainly uranium highly enriched in isotope 235 or plutonium), which is heavily guarded, as well as extensive design work, precision equipment, and people with specialized skills. In contrast, radioactive materials that might be of use in an RDD are in use around the world, often in unguarded facilities. If terrorists obtained such material, they could disperse it using conventional explosives or other low-tech means. They could not manufacture the active materials for an IND or RDD, so would have to acquire them through other means.

RDD と核兵器

プレスや公開討論で最も一般的に言及されている RDD のタイプは、「ダーティボム」であり、ダイナマイトのような従来の爆発物は放射性物質を分散させるが、汚れた爆弾は RDD の一種に過ぎない。このような素材を分散させるには、他の方法があります。たとえば、交通網に置くか飛行機から落とすなどです。テロリストはまた、人に放射線を暴露するために放射性物質が置かれている（しかし、分散されていない）"放射線暴露装置"（RED）を使用するかもしれない。RED は長時間近くに住んでいた人々にしか害を及ぼさず、地域をほとんどまたは全く汚染しない。従って、それらは RDD よりも心配されておらず、この報告書は RDD に簡単に言及するだけである。

よくある誤解を解決することが重要です。一般市民とメディアは、核兵器と RDD を一緒にまとめる傾向があります。これはおそらく、両方とも放射性物質を含んでいるからです。しかし、使用される材料とプロセスは非常に異なり、その結果も異なります。RDD は放射性物質を単に分散させる。危険は放射線から来ます。効果的な RDD 攻撃の主な物理的効果は、被害を受けた人口が移転を必要とし、洗浄にも多額の費用が掛かります。おそらく数平方マイルを汚染する、地域抹殺兵器である。

攻撃には経済的、心理的な影響もありますが、（爆弾の爆発によるものを除いて）破壊を起こすことはなく、速やかに人を殺すことはほとんどありません。核兵器は、RDD で最も効果的な物質よりもはるかに放射能が少ないウランとプルトニウムを使用しています。このプロセスは、ウラン、プルトニウム、その他の物質の核分裂と融合が膨大なエネルギーを放出するということです。この爆発は即座の爆発と熱の影響をもたらし、都市の大部分を破壊し、数万人の人々を殺し、長期的かつ広範囲に影響を与える放射性降下物を生成する。RDD と核兵器が核兵器の破裂の高さ（したがって、落下する大気にロフトした物質の量）、RDD 物質の分散性、風のパターン、エリアが汚染されているとみなされる放射レベルなどを含む。地上爆発核兵器は、RDD よりはるかに広い地域を汚染するだろう。

テロリスト製の即興型核兵器（IND）などの核兵器を使用した攻撃ははるかに破壊的であるが、多くの場合、RDD 攻撃が起こる可能性が高い。テロリストが独自に IND を作ることは難しいでしょう。大規模な設計作業、精密機器、専門技術を持つ人材だけでなく、特別な核物質（SNM、主に同位体 235 やプルトニウムが豊富なウラン）が必要である。対照的に、RDD で使用される可能性のある放射性物質は、世界中で使用されており、多くの場合、保護されていない施設で使用されています。テロリストがこのような資料を入手すれば、従来の爆発物やその他の技術手段を使って、分散させることができます。彼らは IND または RDD のための活物質を製造することができなかったため、他の方法でそれらを取得しなければならない。

Value of RDDs for Terrorists

An RDD's effects could meet multiple goals that terrorists might have. Effects include the following, listed here in the sequence in which they might occur:

- Prompt casualties, which would most likely come only from the explosion of a dirty bomb; many experts believe they would be few in number.
- Panic. As an example of the panic potential of RDDs, a 2007 study by the University of Chicago's National Opinion Research Center found that 65 percent of urban residents said they would evacuate in the event of an RDD attack if the government made no recommendation on evacuation, and 39 percent said they would do so even if the government advised against evacuation. Even an attack that released little radiation might cause panic.
- Economic disruption. If a port or city center were contaminated with radioactive material, commerce there might be suspended.
- Asset denial. Public concern over the presence of radioactive material might lead people to abandon a building, subway system, or an area of a city for months to years.
- Decontamination, which might be done with chemicals or through demolition and reconstruction at a cost of billions of dollars.
- Long-term casualties resulting from exposure to or inhalation of radioactive material. More speculatively, terrorists might see an RDD attack as an advertisement and a recruiting tool.

テロリストのための RDD の価値

RDD の効果は、テロリストが持つ複数の目標を達成することができます。影響には、以下のようなものがあります。これらは、発生する可能性のある順番でここに記載されています。

- ・ダメージを受けた爆弾の爆発から来る可能性が最も高い死傷者の犠牲者。多くの専門家は、数が少ないと信じています。
- ・パニック。シカゴ国立オピニオンリサーチセンターの 2007 年の調査では、RDD のパニック潜在力の一例として、都市住民の 65%が、政府が避難勧告を出さなかった場合に RDD 攻撃の際に避難すると答えた。政府が避難勧告を出したとしても、39%はそうするだろうと述べた。放射線をほとんど放出しない攻撃でさえ、恐怖を引き起こす可能性があります。
- ・経済の混乱。港や市内中心部に放射性物質が混入した場合、商業が中断する可能性があります。
- ・資産拒否。放射性物質の存在に対する公衆の懸念は、建物、地下鉄システム、または市

街地を数カ月から数年間放棄する可能性があります。

・汚染除去：化学物質で、または数百万ドルのコストで解体と再構築によって行われる可能性があります。

・放射性物質の暴露または吸入に起因する長期的な死傷者。

テロリストは、広告と募集ツールとしての RDD 攻撃をもっと推測的に見るかもしれない

A 2007 study casts light on how an RDD attack might inflict economic damage and asset denial. The study analyzed RDD attacks on the ports of Los Angeles and Long Beach:

Initial findings suggest that the chances of a successful dirty bomb attack are about 10–40% and that high radiological doses are confined to a relatively small area, limiting health effects to tens or at most hundreds of latent cancers, even with a major release. However, the economic consequences from a shutdown of the harbors due to the contamination could result in significant losses in the tens of billions of dollars, including the decontamination costs and the indirect economic impacts due to the port shutdown.

2007 年の調査では、RDD 攻撃が経済的損害と資産拒否をもたらす可能性があることが明らかになりました。この研究では、ロサンゼルスとロングビーチの港での RDD 攻撃を分析しました。

最初の調査結果によると、大量の爆弾攻撃が成功する可能性は約 10～40%であり、高放射線量は比較的小さな領域に限られているため、大量の潜在的な癌でも数十回または数百しかし、汚染による港湾の閉鎖による経済的帰結は、汚染除去費用や港湾の閉鎖による間接的な経済的影響を含む数十億ドルの著しい損失をもたらす可能性がある。

Another study of the economic impacts of an attack on these ports using two RDDs assumed that the ports were shut for a month with no mitigation and no use of alternative ports. It placed the total U.S. losses at \$8.5 billion for exports and \$26.0 billion for imports. An NNSA-sponsored study of the economic impacts of RDDs “modeled the impacts of four specific radioactive sources ... Even without weaponization of the radioactive materials or optimization of the device the study found that the economic cost to the Nation could be in the billions of dollars. Costs included evacuation, relocation, clean-up, and lost wages.”

2 つの RDD を使用したこれらのポートに対する攻撃の経済的影響についての別の調査では、緩和と代替ポートを使用しないで 1 ヶ月間閉鎖されたと仮定しています。米国の総損失は

輸出 85 億ドル、輸入 260 億ドルでした。RNS の経済的影響に関する NNSA の調査では、「4 つの特定の放射性物質の影響をモデル化しました...放射性物質の武器化や装置の最適化がなくても この調査によると、ネーションへの経済的コストは数十億ドルにもなる可能性があることがわかりました。費用には、避難、移転、清掃、賃金の喪失などが含まれていました。」

The Threat: Feasibility, Fear, Probability, Impediments

James Clapper, Director of National Intelligence, said in March 2011, "Some terror groups remain interested in acquiring CBRN materials and threaten to use them." Terrorists could readily detonate explosives placed next to radioactive material, and there is much fear about the consequences of an attack. Yet the probability of an RDD attack is unknown (see "Difficult Metrics"), terrorists would face impediments to launching a successful attack, and there has been no successful RDD attack as of May 2011. While the public tends to infer threat and probability from feasibility and fears, the reality is more complex.

It appears feasible for terrorists to acquire the radioactive material needed to build an RDD. Such material is in "widespread use in nearly every country," and there are questions about the vulnerability of facilities housing sealed sources to a carefully planned terrorist attack. Security of sources is discussed in detail in "Preventing an Attack."

Another aspect of the threat is that theft of one device could result in several RDDs. According to NNSA, "Some devices have more than one radioactive source, and a single source can be subdivided into smaller pieces to create more than one radiological dispersal device (RDD) or radiation exposure device (RED). If a theft were to occur responders should be prepared for the potential of multiple RDD/RED events."

While the Nuclear Security Summit of April 2010 focused on protecting the world against terrorist use of nuclear weapons, some leaders expressed concern about RDDs. Pakistani Prime Minister Syed Yusuf Raza Gilani said, "We need strong national actions and greater international coordination to prevent illicit trafficking in nuclear materials. The threat of terrorist acts involving 'dirty bombs' is more real and it has global dimensions. We should take additional measures to combat this threat." A news report stated, "Ahead of the [Nuclear Security Summit] conference, German Chancellor Angela Merkel made it clear that she, too, sees dirty bombs in terrorist hands as an even larger threat than regular nuclear weapons. Merkel said Monday that such weapons 'must not under any circumstances' fall into the hands of terror groups such as

al Qaeda. “We believe that the IAEA must be strengthened, we are ready to pledge additional finances to make this happen.” At a conference, “Global Efforts in WMD Threat Reduction,” held at the Canadian Embassy in Washington on March 11, 2011, speakers representing several governments indicated that security of radiological sources would play a much more prominent role at the 2012 Nuclear Security Summit in Seoul than was the case at the 2010 summit. Cho Hyun, the sherpa for the Republic of Korea, suggested including the security of radioactive materials in the agenda of the 2012 summit. (A “sherpa” is the individual in charge of a nation’s preparations for a summit meeting.)

U.S. officials have expressed concern about RDDs but do not imply an immediate threat. Dennis Blair, then Director of National Intelligence, stated, “We judge that, if al-Qa’ida develops chemical, biological, radiological, or nuclear (CBRN) capabilities and has operatives trained to use them, it will do so. Counterterrorism actions have dealt a significant blow to al-Qa’ida’s nearterm efforts to develop a sophisticated CBRN attack capability, although we judge the group is still intent on its acquisition.”

Robert Mueller III, Director of the Federal Bureau of Investigation, testified, “Al Qaeda remains committed to its goal of conducting attacks inside the United States ... al Qaeda’s continued efforts to access chemical, biological, radiological, or nuclear material pose a serious threat to the United States.” According to a State Department report, “Some terrorists seek to acquire radioactive materials for use in a radiological dispersal device.”

脅威：フィージビリティ、恐怖、確率、障害

ジェームズ・クラッパ国家情報部長官は、2011 年 3 月、「一部のテログループは CBRN 材料の取得に関心を持ち、それらの使用を脅かしている」と述べた。テロリストは放射性物質の隣に置かれた爆発物を容易に爆発させる可能性があり、攻撃。しかし、RDD 攻撃の可能性は不明です（「難易度」参照）、テロリストは攻撃を成功させる障害に直面し、2011 年 5 月現在は RDD 攻撃は成功していません。実現可能性と恐怖、現実はもっと複雑です。

テロリストが RDD を構築するのに必要な放射性物質を取得することは現実的であると思われる。このような資料は「ほぼすべての国で広く使用されている」とされており、慎重に計画されたテロ攻撃に対する封印された施設を保有する施設の脆弱性には疑問がある。ソースのセキュリティについては、「攻撃の防止」で詳しく説明しています。

脅威のもう 1 つの側面は、1 つのデバイスの盗難によって複数の RDD が発生する可能性が

あることです。NNSAによると、「複数の放射エネルギーを持つ機器があれば、単一の光源を複数の小さなものに分割して、複数の放射線拡散装置（RDD）または放射線曝露装置（RED）を作成することもできます。盗難が発生した場合、レスポンスは複数の RDD / RED イベントの可能性に備える必要があります。

2010年4月の核セキュリティサミットは、テロリストの核兵器使用から世界を守ることに焦点を当てていたが、一部の指導者は RDD について懸念を表明した。パキスタンの Syed Yusuf Raza Gilani 首相は、「核物質の不法取引を防ぐためには、強力な国家行動と国際協調が必要だ」と述べた。「汚れた爆弾」を含むテロ行為の脅威はより現実的であり、それは世界規模である。この脅威に対処するための追加措置を講じなければならない」と報じた。報道によると、「核安全保障サミット」会議に先立ち、ドイツのアンゲラ・メルケル首相は、テロリストの手に汚れた爆弾をさらに大きな脅威と見なすことを明らかにした通常の核兵器よりも。メルケルは月曜日、そのような武器はいかなる状況下であってはならないものであってはならないとアルカイダのようなテロ集団の手に渡すべきであると述べた。2011年3月11日にワシントンのカナダ大使館で開催された「大量破壊兵器削減へのグローバルな取り組み」会議では、IAEAが強化されなければならないと考えており、これを実現するための追加財政を誓約する準備は整っています。いくつかの政府代表者は、2012年の原子力安全保障サミットでの放射線源の安全性が、2010年のサミットの場合よりもはるかに顕著な役割を果たすことを示した。韓国のシェパードである趙賢（チョ・ヒョン）氏は、2012年の首脳会議の議題に放射性物質の安全保障を含めるよう提案した。（「サルパ」は国のサミットミーティングの準備の担当者です。）

米国の関係者は RDD について懸念を表明しているが、直接の脅威を意味するものではない。デニス・ブレア国防長官は、「アルカイダが化学、生物、放射線、核（CBRN）能力を発達させ、それらを使用するよう訓練された訓練兵を抱えていると判断する。アルカイダが CBRN の高度な攻撃能力を開発しようとしている近年の努力に対して、テロ対策の動きは大きな打撃を与えている。

「連邦捜査局（CIA）のロバート・ミューラーⅢ局長は、「アルカイダは、米国内で攻撃を行うという目標に引き続きコミットしている。アルカイダの化学物質、生物、放射線、または核物質への継続的な取り組みは、米務省の報道によると、「一部のテロリストは、放射線拡散装置で使用するための放射性物質を取得しようとしている。

Over the years, there have been thefts of radioactive material and attempts to use it for malevolent ends, and a few have been successful, as the following examples show:

- ・ (1993) “The Russian mafia allegedly places gamma ray-emitting pellets in the office of a Moscow businessman, resulting in the man’s death.”
- ・ (1995) “Chechen rebels partially bury a container with a small quantity of cesium-137 in Moscow’s Ismailovsky Park. The Chechen leader then notifies a Russian television crew, which locates the container.”
- ・ (1998) “19 small tubes of cesium are reported missing from a locked safe in a Greensboro, North Carolina hospital. ... The incident is deemed as a theft ... The cesium has not been recovered.”
- ・ (1998) “the Russian-backed Chechen Security Service announces the discovery and defusing of a container hidden near a railway line that was filled with radioactive materials and attached to an explosive mine. Chechen rebels involvement is suspected.”
- ・ (1999) “unidentified thieves attempt to steal a container housing 200g of radioactive material from a chemical factory in Grozny, Chechnya. One of the thieves dies half an hour after being exposed to the container. The other is hospitalized in critical condition. Each carried the container for only a few minutes.”
- ・ (2003) “evidence uncovered in Herat, Afghanistan, leads British intelligence agents and weapons experts to conclude that Al Qaeda has succeeded in constructing a small dirty bomb, though the device has not been found.”
- ・ (2003) “Thai police arrest a public school teacher in Bangkok after he attempts to sell a container filled with cesium-137 for \$240,000.”
- ・ (2004) “British authorities arrest an alleged terrorist cell that was apparently plotting to create dirty bombs from the radioactive sources inside smoke detectors. (It would require millions of smoke detectors to collect enough radioactive material for a potent RDD.)”
- ・ (2005) “Russian authorities report that they found documents in Chechnya on producing RDDs.”
- ・ (2006) “Alexander Litvinenko, a former Russian spy, was poisoned with radioactive polonium-210.”

長年にわたり、放射性物質の盗難があり、悪意のある目的のためにそれを使用しようとしました。次の例に示されています。

- ・ (1993) 「ロシアのマフィアは、ガンマ線放出ペレットをモスクワの事業所のオフィスに

置き、その結果、男性が死亡した」と述べている。

・(1995)「チェチェンの反政府勢力は、モスクワのイスマイロフスキー公園に少量のセシウム 137 を入れた容器を部分的に埋設している。チェチェンの指導者は、ロシアのテレビの乗組員に連絡し、コンテナの場所を特定する。」

・(1998)「ノースカロライナ州グリーンズボロ病院では、セシウムの小さな管がロックされた安全装置から抜けたと報告されている。...事件は盗難とみなされている...セシウムは回収されていない」

・(1998)「ロシアが支援したチェチェン・セキュリティ・サービスは、放射性物質で満たされ、爆発性の鉱山に取り付けられた鉄道線の近くに隠されたコンテナの発見と解体を発表する。チェチェン反政府勢力の関与が疑われている」

・(1999)「未確認の泥棒は、チェチェンのグロズニにある化学工場から 200 グラムの放射性物質を収容したコンテナを盗み出そうとしている。泥棒の 1 人は、容器にさらされてから 30 分後に死亡する。もう 1 人は重大な病状で入院しています。それぞれは数分だけ容器を運んだ。」

・(2003 年)「英国の諜報機関や武器専門家は、ヘッジで発見された証拠により、アルカイダが小さな汚れた爆弾の建設に成功したと結論づけたが、この機器は見つからなかった」

・(2003)「タイの警察は、セシウム 137 入りの容器を 240,000 ドルで売却しようとした後、バンコクの公立学校の教師を逮捕した」

・(2004 年)「英国当局は、煙探知機内の放射性物質から汚れた爆弾を作ることを計画していた疑いのあるテロリストを逮捕した。(強力な RDD のために十分な放射性物質を収集するには何百万という煙探知器が必要になるだろう)」

・(2005 年)「ロシア当局は、チェチェンで RDD を作成する文書を見つけたと報告しています。」

・(2006 年)「旧ロシアのスパイであった Alexander Litvinenko は、放射性ポロニウム-210 で毒殺された。」

But fears and feasibility do not equate to threat, and murders, thefts, documents, a made-for-TV demonstration, “sting” operations, and foiled or poorly planned terrorist plots do not rise to the level of a successful RDD attack. The threat is plausible, but as with any high-consequence/lowfrequency event, the sample size (at least using publicly-available information) is not large enough to support predictions of the likelihood of such an attack.

It would be much harder for terrorists to launch an effective RDD attack, as distinct from making a crude RDD, for reasons such as the following. While no one of them presents an insurmountable obstacle, the combination may help explain why an attack of this sort has not occurred, and indeed could help deter attack by reducing the

probability of success.

- Terrorists would need to know something about radiation. Various forms of radiation cause damage in differing ways. Alpha and beta emitters are most damaging inside the body, while gamma and neutron emitters are damaging inside or outside the body. Different radionuclides emit different amounts of energy when they decay, as Figure 1 shows. Higher-energy radiation causes more biological damage. Even terrorists who were willing to die in an attack would need to know something about radiation safety for self-protection, as they could die if they did not handle the material properly, or if they did not know the curie content of material they had obtained.

- Terrorists would need to know something about radioactive materials. Obtaining the wrong material could render an RDD useless. Materials with very short half-lives (e.g., a week or less) would have to be used quickly and would produce negligible long-term contamination. Materials with very long half-lives (over 100,000 years) would be undesirable for an RDD because only an enormous mass, possibly tons, could generate enough radiation to pose a threat. Different radionuclides emit different amounts of energy when they decay, as Figure 1 shows, and higher-energy radiation causes more biological damage. Chemical characteristics are also important. Some compounds dissolve in water more readily than others. Some elements (including their radioactive isotopes) and some chemical compounds bond more strongly to concrete and tile than others, making cleanup difficult.

- Terrorists would have to conceal their actions, locations, and identities from law enforcement and intelligence services of many nations.

- Terrorists would have to obtain the material. NRC regulations enhance security for high-risk sources in the United States. While lost and abandoned sources exist, it would be hard to locate them in the United States or elsewhere. An attack that aimed to seize radioactive materials might (or might not) meet armed resistance. It may be possible to obtain radioactive sources by using bogus means to obtain licenses, as GAO did, but NRC has tightened guidelines for licensing to counter that risk. Other nations have different, and in some cases lower, standards for protecting radioactive material than does the United States, so it may be easier to obtain sources abroad, but they would have to be smuggled in, risking detection at multiple points along the way.

- Terrorists might want to extract the material from its capsule or other container, exposing them to radiation, possibly in lethal doses. This is particularly the case for

Category 1 and 2 sources. If terrorists sought to create a bomb by placing an unopened sealed source next to explosives, it would be less effective.

- Terrorists would have to ensure the device dispersed material over the desired area. An RDD that dispersed material too widely might contaminate a large area to a very low level, while one that dispersed material over a very limited area, less than a city block, would place only that area off-limits, permitting workers to concentrate remediation efforts there. A wind shift could blow the material away from the target. A considerable amount of material might not disperse at all.

- Terrorists would have to move the material past detectors at U.S. ports of entry and at various places within the United States.

- Terrorists would have to acquire the other materials and equipment for a bomb, assemble the bomb, and place it. Law enforcement work might detect such steps.

- Emergency response, such as public alerts, evacuation or shelter-in-place instructions, and medical care, could reduce casualties and panic.

- Forensic analysis might reveal the perpetrator of the attack and the country from which the radioactive and other materials originated; the possibility of retaliation might make countries think twice before helping terrorists conduct an attack.

- Terrorists might judge that an RDD attack would lead swiftly to attacks on terrorist groups and to worldwide implementation of more stringent measures to counter all types of terrorist threats, closing future opportunities, so they might see the “costs” of an RDD attack as outweighing the “benefits.”

しかし、恐怖と実現可能性は、脅威、殺人犯、盗難、文書、テレビ向けデモンストレーション、「スティッキング」操作、貧弱なテロリストのプロットは RDD 攻撃の成功率には及ばない。脅威は妥当性がありますが、結果が高い/低頻度のイベントの場合と同様に、サンプルサイズ（少なくとも公に利用可能な情報を使用）は、そのような攻撃の可能性の予測をサポートするのに十分なほど大きくありません。

次のような理由から、テロリストが RDD 攻撃を効果的に開始するのは難しいでしょう。彼らの誰もが克服できない障害を提示することはありませんが、その組み合わせはなぜこの種の攻撃が起こっていないのかを説明するのに役立ち、実際に成功の可能性を減らして攻撃を抑止するのに役立ちます。

- テロリストは放射線に関することを知る必要があります。様々な形態の放射線が、異なる方法で損傷を引き起こす。アルファおよびベータエミッタは体内で最も損傷を受け、ガンマおよび中性子エミッタは体内または体外に損傷を与えます。異なる放射性核種は、図 1

に示すように、崩壊すると異なるエネルギー量を放出する。高エネルギー放射線は、より生物学的な損傷を引き起こす。攻撃で死ぬことを望んでいたテロリストであっても、材料を適切に取り扱わなければ死ぬ可能性があるため、あるいは入手した材料のキュリー含有量を知らなければ、同様である。

・テロリストは、放射性物質について何か知る必要がある。材料が間違っていると、RDDが役に立たなくなる可能性があります。非常に短い半減期（例えば、1週間またはそれ未満）を有する材料は、迅速に使用されなければならない、無視できる程度の長期間の汚染を生じる。半減期が非常に長い（10万年を超える）材料は、巨大な物質（おそらくはトン）のみが脅威を引き起こすのに十分な放射線を発生させる可能性があるため、RDDには望ましくない。異なる放射性核種は、図1に示すように、それらが減衰すると異なる量のエネルギーを放出し、より高いエネルギーの放射線がより生物学的損傷を引き起こす。化学的特性も重要である。いくつかの化合物は、他の化合物よりも容易に水に溶解する。いくつかの元素（放射性同位体を含む）といくつかの化合物は、他の元素よりもコンクリートやタイルに強く結合し、クリーンアップを困難にしている。

・テロリストは、多くの国の法執行機関や情報機関の活動、場所、身元を隠す必要があります。

・テロリストはその資料を入手する必要があります。NRCの規制は、米国における高リスクの発生源に対する安全保障を強化しています。失われた情報源と放棄された情報源は存在しますが、米国やその他の国でその情報源を見つけるのは難しいでしょう。放射性物質を押収しようとする攻撃は、武装抵抗になるかもしれない（あるいはそうでないかもしれない）。GAOのようにライセンスを得るために偽の手段を用いて放射エネルギーを得ることは可能かもしれないが、NRCはそのリスクに対抗するためのライセンスに関するガイドラインを強化している。他の国々は、米国よりも放射性物質を保護する基準が異なる（場合によってはそれよりも低い）ので、海外の情報源を入手しやすくなるかもしれないが、密輸されなければならない、その途中の複数の箇所で検出される危険性がある。

・テロリストは、カプセルや他の容器から材料を抽出して放射線に曝露させ、場合によっては致死量にしたいと考えるかもしれない。これは特にカテゴリ1とカテゴリ2のソースの場合です。テロリストが爆発物の隣に開封されていない密封された爆弾を置いて爆弾を作ろうとすれば、それはあまり効果がありません。

・テロリストは、デバイスが所望の領域に分散していることを保証する必要があります。分散した材質が広すぎるRDDは、広い範囲を非常に低いレベルに汚染する可能性があります。一方、都市ブロックよりも小さい非常に限られた領域に物質を分散させると、その領域の

みが制限され、修復作業に専念することができます。風のシフトは、物質をターゲットから吹き飛ばす可能性があります。かなりの量の材料がまったく分散しないことがあります。

・テロリストは、米国入港時および米国内のさまざまな場所で、検出器を通過して材料を移動させなければならない。

・テロリストは、爆弾のためのその他の資機材を取得し、爆弾を集めて配置する必要があります。法執行機関がそのような手順を検出する可能性があります。

・公的警報、避難または避難所の指示、医療などの緊急時の対応は、犠牲者とパニックを減らすことができます。

・法医学分析は、攻撃の加害者と、放射性物質やその他の物質が由来する国を明らかにする可能性があります。報復の可能性は、テロリストが攻撃を行うのを助ける前に、国を二度考えさせるかもしれない。

・テロリストは、RDD 攻撃がテロリストグループへの攻撃や、あらゆる種類のテロ脅威に対抗するより厳しい措置の世界的な実施に迅速につながると判断し、将来の機会をなくし、RDD 攻撃の「コスト」が「メリット」を上回ると見なす可能性がある。

Area Contaminated by an RDD Attack and Cost to Decontaminate

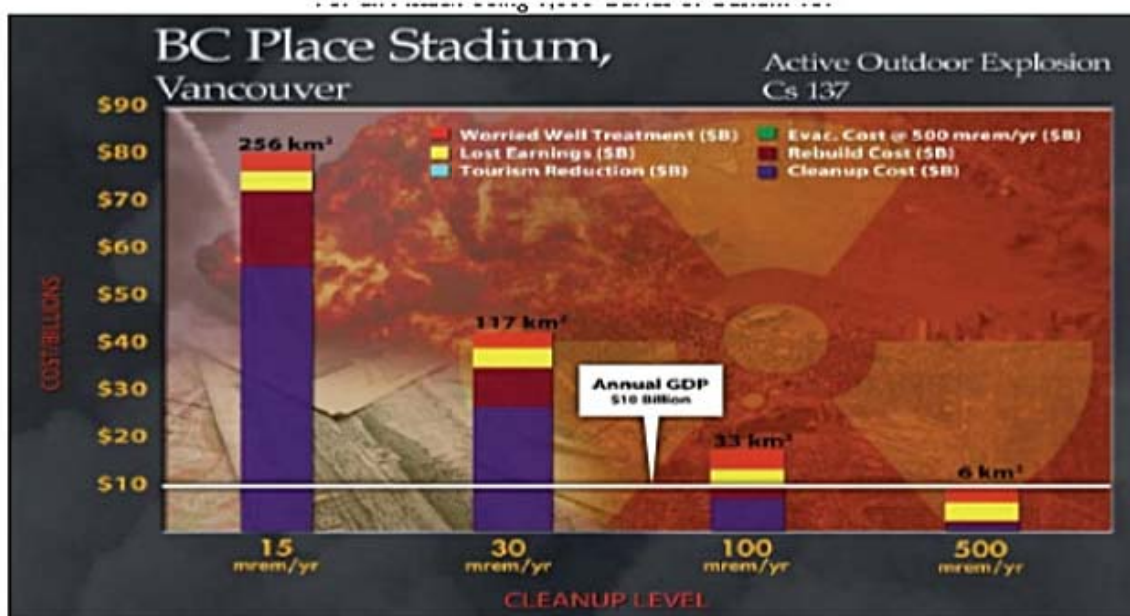
Press articles sometimes point to scenarios showing that an RDD could contaminate a large area and that cleanup would be costly. The reality is more complex: area and cost depend on the maximum acceptable dose and other assumptions chosen for a scenario. Figure 2 and Figure 3, from a study by Defence Research and Development Canada and Battelle, illustrate the point. Figure 2 shows plumes from an RDD under the following assumptions. The RDD contains 1,000 curies of cesium-137; it is explosive-driven and detonated at BC Place Stadium in Vancouver, BC; wind speed is 3 meters per second (6.7 mph); and other weather conditions (temperature, rain, humidity, wind speed and direction at different altitudes, etc.) are not considered. Plumes show contamination at four dose levels: 15, 30, 100, and 500 millirem (mrem) per year. As Figure 3 shows, area deemed contaminated and costs inflicted by the attack depend on dose. The outermost plume, with a dose of 15 mrem per year, covers 99 square miles (256 square km) and associated costs of \$80 billion, while the innermost plume, with a dose of 500 mrem per year covers 2.3 square miles (6 square km), with associated costs of \$10 billion.

Figure 2. Area Contaminated by an RDD Attack Using 1,000 Curies of Cesium-137



Source: Tom Cousins and Barbara Reichmuth, Preliminary Analysis of the Economic Impact of Selected RDD Events in Canada, Defence Research and Development Canada and Battelle, PNWD-SA-7845, c. 2007.

Figure 3. Area Contaminated to Various Levels, and Resulting Costs For an Attack Using 1,000 Curies of Cesium-137



Source: Tom Cousins and Barbara Reichmuth, Preliminary Analysis of the Economic Impact of Selected RDD Events in Canada, Defence Research and Development Canada and Battelle, PNWD-SA-7845, c. 2007.

RDD 攻撃によって汚染された領域と除染コスト

プレス記事は、RDD が広い領域を汚染する可能性があり、そのクリーンアップにコストがかかることを示すシナリオを指すことがあります。現実はいっと複雑です。面積とコストは、許容される最大線量とシナリオで選択された他の仮定に依存します。国防総省の研究開発であるカナダと Battelle による調査の図 2 と図 3 は、この点を示しています。図 2 は、以下の仮定の下で RDD からのブルームを示す。RDD には 1,000 キュリーのセシウム 137 が含まれています。バンクーバーの BC プレイススタジアムで爆発的に爆発し、爆発しました。風速は毎秒 3 メートル (6.7 マイル) です。その他の気象条件 (温度、雨、湿度、異なる高度での風速や風向など) は考慮されていません。ブルームは 4 つの用量レベルで汚染を示す: 15, 30, 100 および 500 ミリレム (mrem) / 年。図 3 に示すように、汚染されたとみなされる領域と攻撃によって加えられるコストは線量に依存します。最も外側のブルームは、年間 15 ミリメートルの線量で、99 平方マイル (256 平方キロメートル) をカバーし、関連コストは 800 億ドルであり、年間 500 ミリメートルの線量を有する最も内側のブルームは、2.3 平方マイル (6 平方 km)、関連費用は 100 億ドルであった。

図 2. 1,000 キュリーのセシウム 137 を用いた RDD 攻撃によって汚染された地域



出典: Tom Cousins と Barbara Reichmuth、カナダの防衛研究開発局カナダと Battelle の PNWD-SA-7845 のカナダにおける特定の RDD イベントの経済的影響の予備的分析 c。2007。

図 3.さまざまなレベルに汚染されたエリアと、1,000 キュリーのセシウム 137 を使用した攻撃の結果のコスト



出典：Tom Cousins と Barbara Reichmuth、カナダの防衛研究開発局カナダと Battelle の PNWD-SA-7845 のカナダにおける特定の RDD イベントの経済的影響の予備的分析 c。2007。

Appendix A. Technical Background

This Appendix presents technical aspects connected with RDDs. It offers a stand-alone tutorial for those desiring a more in-depth treatment of this subject. In expanding on the material in the main text, this Appendix repeats some of the material presented there.

付録 A.

技術的背景この付録では、RDD に関連する技術的側面について説明します。それはこの主題のより深い扱いを望んでいる人のための独立したのチュートリアルを提供します。本文中の資料を拡大する際に、この付録はそこに示されている資料の一部を繰り返しています。

Radiation

Atoms have a nucleus that is surrounded by electrons. The nucleus is made up of protons, which have a positive electrical charge, and (with one exception) neutrons, which have no charge. Electrons have a negative charge. Atoms typically have an equal number of protons and electrons, and are thus electrically neutral. Isotopes are forms of a chemical element with the same number of electrons and protons but different numbers of neutrons. For example, all three isotopes of hydrogen have one proton and one electron, but the most common form of hydrogen has no neutrons, while deuterium has one neutron and tritium has two.

放射線

原子は電子で囲まれた核を持っています。核は陽性の電荷を持つ陽子と、電荷を持たない中性子で構成されています。電子は負電荷を有する。原子は、典型的には同数の陽子と電子を有し、従って電氣的に中性である。同位体は同じ数の電子と陽子を持つ化学元素の形であるが、中性子の数は異なる。例えば、水素の 3 つの同位体はすべて 1 つの陽子と 1 つの電子を有するが、水素の最も一般的な形態は中性子を有さず、重水素は 1 つの中性子を有し、トリチウムは 2 つを有する。

Most atoms that make up the Earth's crust are stable: they will remain in their current form indefinitely. Each chemical element, however, has one or more unstable isotopes. These elements disintegrate or “decay,” usually transforming into an atom of a different element. Atoms that decay are “radioactive,” radioactive atoms are called “radionuclides.” Decay is typically accompanied by emission of particles, and often

photons as well; such emissions are called radiation. "Radionuclide" refers to the properties of atoms, such as the types and energies of particles given off by decay, while "radioactive material" refers to bulk properties of radionuclides, such as the amount that would contaminate a certain area. Rate of decay is measured in units of curies (Ci), where $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10}$ disintegrations per second.²³⁸ A related measure, specific activity, counts disintegrations per gram of material per second, e.g., in curies per gram; the higher the specific activity, the more disintegrations there are per gram of material per second. Specific activity permits comparison of the radioactivity of different materials. Curies and specific activity measure number of disintegrations, not their energy. A related measure is the half-life, the time for half the atoms of a radioactive material to decay.

地球の地殻を構成するほとんどの原子は安定しています：現在の形で無限に残っています。しかしながら、各化学元素は、1 つ以上の不安定同位体を有する。これらの元素は崩壊するか、あるいは「崩壊」し、通常は異なる元素の原子に変換される。崩壊する原子は「放射性」であり、放射性原子は「放射性核種」と呼ばれる。崩壊は典型的に粒子の放出を伴い、しばしば光子も伴う。そのような放射は放射線と呼ばれる。「放射性物質」とは、特定の領域を汚染する量などの放射性核種のバルク特性を指すが、「放射性核種」とは、崩壊によって放出される粒子のタイプおよびエネルギーなどの原子の特性を指す。崩壊の速度はキュリー (Ci) 単位で測定され、 $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10}$ /秒である。²³⁸ 関連する尺度、比活性は、1 グラムあたりの材料のグラム当たりの崩壊、例えばキュリー/グラムをカウントする。比活性が高ければ高いほど、1 グラムあたりの 1 秒当たりの崩壊がより多くなる。比放射能は、異なる材料の放射能の比較を可能にする。キュリーと特定の活動は、そのエネルギーではなく、崩壊の数を測定する。関連する尺度は、半減期であり、放射性物質の原子の半分が崩壊する時間である。

Radiation takes several main forms.

- Alpha particles (two protons and two neutrons): Because they are massive by subatomic standards, alpha particles must carry off a considerable amount of energy to escape the nucleus; at the same time, because of their mass they can travel only an inch in air. They are stopped by a sheet of paper or the dead outer layers of skin.
- Beta particles (an electron or a positron, the latter being a positively-charged electron): These are much less massive than alpha particles, so they can travel up to several feet in air, but are less energetic than alpha particles. Some are stopped by outer layers of skin, while others can penetrate a few millimeters.
- Neutrons. Some radionuclides decay by emitting a neutron. Neutrons are lighter than alpha particles but much heavier than beta particles. They can travel tens of meters in

air. Neutrons are also emitted when atoms of heavier elements fission, or split into two or more pieces; fission also releases large quantities of energy. Neutrons are typically stopped by hydrogen-containing material, such as water or plastic. Energetic neutrons can penetrate the body.

- Gamma rays: These are photons released during radioactive decay. Photons may be thought of as packets of electromagnetic energy (discussed next), and have no rest mass. Gamma rays have a wide range of energies; more energetic ones can travel hundreds of meters in air. They can be stopped by dense material like lead.

放射線にはいくつかの主要な形態がある。

- ・アルファ粒子（2つの陽子と2つの中性子）：それらは原子物理学の基準によって大規模なものであるため、アルファ粒子は核から脱出するために相当量のエネルギーを放出する必要があります。同時にその為、空気中で1インチしか移動することができません。それらは、紙のシートまたは皮膚の死んだ外層によって止められる。

- ・ベータ粒子（電子または陽電子、後者は正に荷電した電子）：これらはアルファ粒子よりもはるかに質量が小さいため、空気中で数フィートまで移動することができますが、アルファ粒子よりもエネルギーがありません。いくつかのものは皮膚の外層によって止められ、他のものは数ミリメートルに浸透することができます。

- ・中性子。一部の放射性核種は中性子を放出することによって崩壊する。中性子はアルファ粒子よりも軽い、ベータ粒子よりもはるかに重い。彼らは空気中で数十メートルを移動することができます。中性子は、より重い元素の原子が分裂するか、または2つ以上の断片に分割されるときに放出される。分裂は大量のエネルギーを放出する。中性子は、典型的には、水またはプラスチックのような水素含有材料によって止められる。エネルギーの高い中性子が体に浸透する可能性があります。

ガンマ線：放射性崩壊中に放出される光子です。光子は、電磁エネルギーのパケット（次で議論される）と考えられ、静止質量はない。ガンマ線には広範囲のエネルギーがあります。よりエネルギーシユなものは空気中で数百メートルも移動することができます。それらは鉛のような高密度材料によって止めることができます。

The electromagnetic spectrum includes the entire range of electromagnetic energy, such as, in order of increasing energy, radio waves, infrared, visible light, ultraviolet, and x-rays and gamma rays.²³⁹ Photons transmit electromagnetic energy; a photon's energy determines whether it is, say, a radio wave or visible light. Gamma rays have a range of energies, but those from materials that might be used for RDDs have medium to high energies and can penetrate the human body, causing biological damage. The higher the energy, the more material they can penetrate and the greater the damage.

Gamma ray energy is measured in electron volts or, more commonly, thousands of electron volts, abbreviated keV.²⁴⁰ Different materials emit gamma rays at different energies. Figure A-1 plots the number of gamma rays counted in 5 minutes (vertical axis) against their energies (horizontal axis). It shows that cobalt-60 emits two main gamma rays when it decays, at 1,173 keV and 1,333 keV, while cesium-137 emits (through an intermediate step) 241 mainly gamma rays at 662 keV. Each radionuclide emits its own unique gamma-ray spectrum when it decays, as exemplified by Figure A-1, a characteristic of great use for identifying radionuclides.

Each radionuclide decays in a specific way. Strontium-90 emits beta particles when it decays, but not gamma rays.²⁴² Cobalt-60 emits high-energy gamma rays, making it readily detectable; it also emits beta particles. Americium-241 decays by emitting alpha particles, and also emits some gamma rays, mainly of low energy.

電磁スペクトルには、エネルギー、電波、赤外線、可視光線、紫外線、X線、ガンマ線の順に電磁波の全範囲が含まれます。光子のエネルギーは、それが例えば電波か可視光かを決定する。ガンマ線はある範囲のエネルギーを持っていますが、RDDに使用される可能性のある材料からのものは中～高エネルギーを持ち、人体に浸透して生物学的損傷を引き起こす可能性があります。エネルギーが高いほど、材料が浸透し、損傷が大きくなります。ガンマ線エネルギーは、電子ボルト、より一般的には数千電子ボルトで測定され、keVと略される。異なる材料は、異なるエネルギーでガンマ線を放出する。図A-1は、エネルギー（水平軸）に対して5分（垂直軸）で数えたガンマ線の数プロットしたものです。コバルト-60は、1,173keVと1,333keVで崩壊すると2つのメインガンマ線を放出し、セシウム137は662keVで主にガンマ線を放出する（中間段階で）241を示す。各放射性核種は、図A-1に示すように、放射性核種を識別するための大きな用途の特徴として、崩壊すると独自のガンマ線スペクトルを放出する。

各放射性核種は特定の方法で崩壊する。ストロンチウム-90は、崩壊するとベータ粒子を放出するが、ガンマ線は放出しない。²⁴² コバルト-60は高エネルギーのガンマ線を放出し、容易に検出できる。ベータ粒子も放出する。アメリシウム-241はアルファ粒子を放出して崩壊し、主に低エネルギーのガンマ線を放射します。

Biological Effects of Ionizing Radiation

Understanding an RDD's potential effectiveness—whether in terms of biological damage, area denial, or as a weapon of terror—requires understanding the

physiological effects of radiation. Radiation strikes people constantly, but most of it, like radio waves and light, is not “ionizing.” Ionizing radiation has enough energy to knock electrons out of atoms, creating electrically charged particles called ions that can damage cells. “[O]nly a very small amount of energy needs to be deposited in a cell or tissue to produce significant biological change.” There is a very low risk of effects at very low doses of radiation, but higher doses may lead to cancer, genetic mutations, sickness, or death. Effects may be of two types. “Deterministic effects are those for which the severity of the effect varies with the dose, and for which a threshold may therefore occur. Stochastic effects are those for which the probability that an effect will occur, rather than the severity of the effect, is regarded as a function of the dose, without threshold.” Deterministic effects include nausea, vomiting, diarrhea, hemorrhage, and, at high doses delivered in a short time over the whole body, death within hours to weeks; stochastic effects include cancers and genetic damage. Contamination from an RDD is unlikely to produce deterministic effects in many people. The concern is that residual contamination may produce stochastic effects, so that some (if not many) people will not want to reoccupy the area.

電離放射線の生物学的効果

RDD の潜在的な効果（生物学的損傷、領域拒否、テロの武器）の理解は、放射線の生理学的影響を理解することを必要とする。放射線は絶えず人々に襲いかかりますが、電波や光のようなものはほとんどが「電離」しません。電離放射線は原子から電子をノックアウトするのに十分なエネルギーを持っています。「非常に少量のエネルギーを細胞や組織に蓄積させて、重要な生物学的変化を生じさせる必要がある」非常に低線量の放射線では影響のリスクは非常に低いですが、遺伝的突然変異、病気、または死亡が含まれる。エフェクトには 2 種類あります。確定的効果とは、効果の重症度が線量によって変化するものであり、そのために閾値が生じる可能性がある。確率的効果とは、効果の重症度ではなく、効果が起こる確率を閾値なしで線量の関数とみなすものである。決定的な影響には、吐き気、嘔吐、下痢、出血があり、高い全身に短時間で投与される用量、数時間から数週間以内の死；確率的効果には、癌および遺伝的損傷が含まれる。RDD からの汚染は、多くの人々にとって決定的な効果を生み出す可能性は低い。懸念されるのは、残留汚染が確率的効果を生み出すことがあり、その結果、（あまり多くでないにしても）一部の人々は再びその地域にとどまることがないという事態になります。

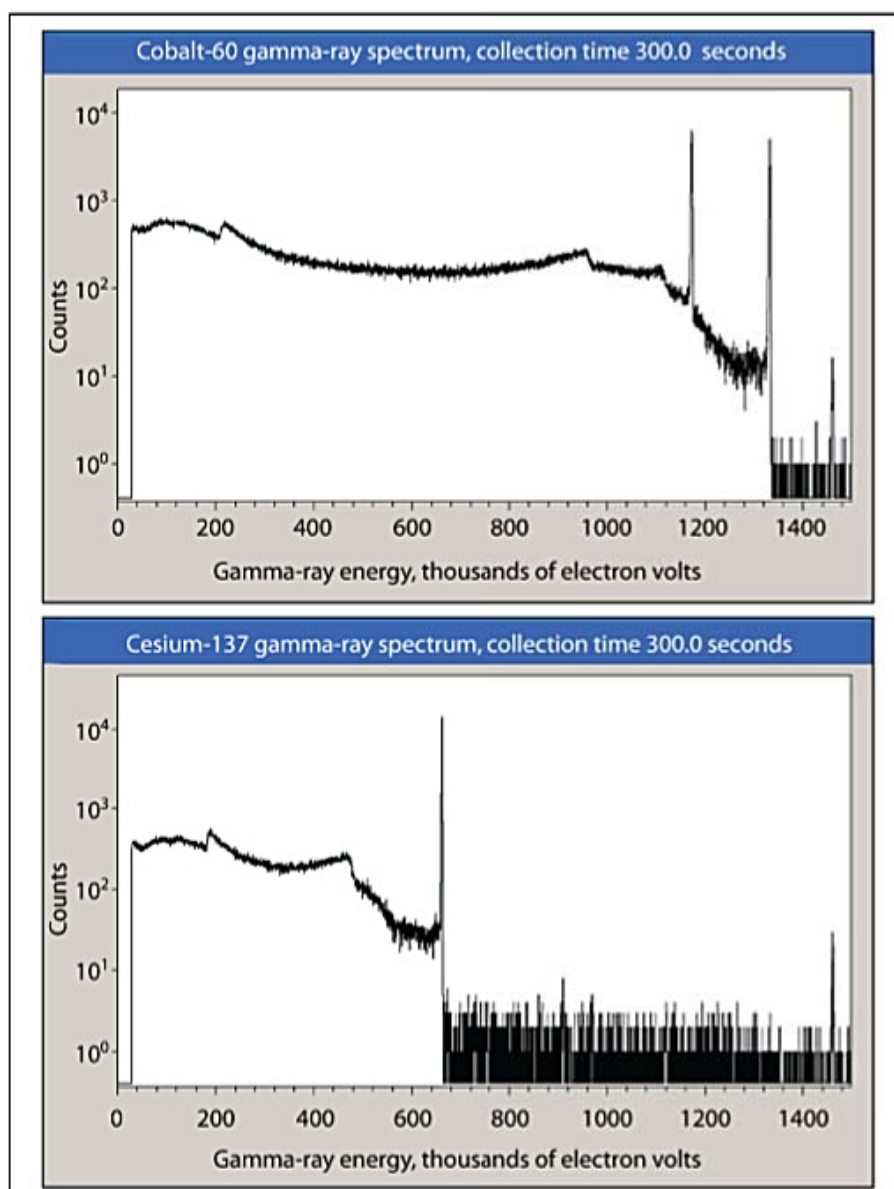


Figure A-1.
Gamma-Ray
Spectra of
Cobalt-60 and
Cesium-137

図 A-1。コバル
ト 60 およびセ
シウム 137 のガ
ンマ線スペク
トル

Source: Prepared by Scott Garner, Technical Staff Member, Los Alamos National Laboratory, September 2010. Notes: This figure shows simulated gamma-ray spectra for cobalt-60 (top) and cesium-137 as they would be collected in 5 minutes by a high-resolution detector. In each spectrum, the x-axis indicates gamma-ray energy in thousands of electron volts (keV), and the y-axis, which uses a logarithmic scale, indicates number of counts (gamma rays) at each energy. The figure shows one peak for cesium-137 (via an intermediate step) at 662 keV, and two peaks for cobalt-60, at 1,173 and 1,333 keV. The top spectrum is for an unshielded 100-microcurie (0.089 microgram) source that would produce a dose of 0.55 millirem per hour at 50 cm from the source, while the bottom spectrum is for an unshielded 100-microcurie (1.2 microgram) source that would produce a dose of 0.15 millirem per hour at 50 cm from the source. "Biological Effects of Ionizing Radiation" discusses dose.

注：この図は、コバルト 60（上部）およびセシウム 137 のシミュレーションされたガンマ線スペクトルを、5 分で 高分解能検出器。各スペクトルにおいて、x 軸は数千電子ボルト (keV) の γ 線エネルギーを示し、y 軸は対数スケールを使用し、各エネルギーにおけるカウント数（ガンマ線）を示す。この図は、662keV でセシウム 137（中間段階を経由）の 1 つのピークと、1,173 および 1,333keV でコバルト-60 の 2 つのピークを示す。一番上のスペクトルは、遮蔽されていない 100 マイクロクーリー（0.089 マイクログラム）のソースで、ソースから 50 cm で 0.55 ミリリットルの線量を生成し、下のスペクトルは遮蔽されていない 100 マイクロクーリー 源から 50cm で 0.15 ミリメートル/時の線量を生成する。「電離放射線の生物学的影響」では線量について論じている。

Is There a Minimum Threshold for Biological Effects of Radiation? Low doses of radiation do not produce deterministic effects. A widely accepted view is that radiation below the threshold for such effects produces stochastic effects even at low doses. This view is called “linear, no threshold” because it extrapolates downward from higher doses that produce deterministic effects on the assumptions that (1) lower doses produce stochastic effects, and (2) there is no threshold below which effects do not occur. Another view is that there are no effects below some threshold. A Nuclear Regulatory Commission fact sheet presents both views: “The associations between radiation exposure and the development of cancer are mostly based on populations exposed to relatively high levels of ionizing radiation (e.g., Japanese atomic bomb survivors, and recipients of selected diagnostic or therapeutic medical procedures). ... Although radiation may cause cancer at high doses and high dose rates, there are no data to unequivocally establish the occurrence of cancer following exposure to low doses and low dose rates—below about [10 rem]. Those people living in areas having high levels of background radiation—above [1 rem] per year—such as Denver, Colorado have shown no adverse biological effects. Even so, the radiation protection community conservatively assumes that any amount of radiation may pose some risk for causing cancer and hereditary effect, and that the risk is higher for higher radiation exposures. A linear, no-threshold (LNT) dose response relationship is used to describe the relationship between radiation dose and the occurrence of cancer. This dose-response model suggests that any increase in dose, no matter how small, results in an incremental increase in risk. The LNT hypothesis is accepted by the NRC as a conservative model for determining radiation dose standards recognizing that the model may over estimate radiation risk.” (U.S. Nuclear Regulatory Commission. “Fact

Sheet on Biological Effects of Radiation," <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/bio-effects-radiation.html>.

See also U.S. General Accounting Office. Radiation Standards: Scientific Basis Inconclusive, and EPA and NRC Disagreement Continues. RCED-00-152 June 30, 2000.)

放射線の生物学的影響の最小閾値はありますか？低線量の放射線は決定的な効果をもたらさない。このような影響の閾値を下回る放射線は、低線量でも確率的効果を生み出すという広く認められている見解である。この図は、(1) 線量が低いほど確率的効果を生じるという仮定に決定論的効果をもたらす高線量から下方に外挿するため、(2) 影響が起こらない閾値は存在しないため、「線形、閾値なし」と呼ばれる。別の見方は、ある閾値以下の影響はないということです。「放射線被曝と癌の発生との関連は、大部分が比較的高レベルの電離放射線（例えば、日本の原爆被爆者、選択された診断用または治療用の医療従事者）に曝されている集団に基づいている）。...放射線は高線量および高線量率で癌を引き起こす可能性があるが、低線量および低線量率に曝された後の癌の発生を明白に確立するためのデータはない。コロラド州デンバーのような背景放射線のレベルが高い地域（1 レム/年以上）に住む人々は、生物学的に有害な影響を示さない。それでも、放射線防護のコミュニティは、放射線の量があれば癌や遺伝的影響をもたらすリスクがあると想定し、放射線被ばくが高いほどリスクは高いと控えめに仮定している。線量と無閾値（LNT）の線量応答関係を用いて、放射線量とがんの発生との関係を記述する。この用量応答モデルは、どんなに小さな用量であっても、用量の増加がリスクの増加をもたらすことを示唆している。LNT 仮説は、モデルが放射線リスクを過大評価する可能性があることを認識して、放射線量基準を決定するための控えめなモデルとして NRC によって受け入れられている」（米国原子力規制委員会、「放射線の生物学的影響に関するファクトシート」<http://www>。また、EPA と NRC の意見の不一致が続いている。RCED-00-152：放射線標準：科学的根拠が不確定で、EPA と NRC の意見の不一致が続く。 2000 年 6 月 30 日）

While there is much public fear of any level of radiation, the physiological effects of an RDD, as well as the requirements for cleanup, depend on dose. Certain concepts and their units of measure are needed to discuss dose. The roentgen (R) measures how much ionization a gamma ray produces when traveling through air. The rad, for radiation absorbed dose, is used to correct a roentgen value for the amount of energy deposited into a substance, such as wood or human tissue. Another measure, the rem, or roentgen equivalent man, weights the cancer risk from different types of radiation deposited in human tissue. One rad of absorbed dose from x-rays, gamma rays, and beta particles is 1 rem. Because alpha particles and neutrons are much more massive, 1

rad of absorbed dose from them is much more harmful, so the weighting factor is 10 for neutrons and 20 for alpha particles.

いずれのレベルの放射線についても公衆の恐怖が多いが、RDD の生理学的効果およびクリーンアップの要件は用量に依存する。線量を議論するためには、特定のコンセプトとその単位が必要です。²⁴⁰ レントゲン (R) は、空气中を移動するときにガンマ線がどのくらいの電離を生成するかを測定します。放射線吸収線量の rad は、木材や人の組織のような物質に堆積するエネルギー量に対するレントゲン値を補正するために使用されます。

一方レム (X 線、ガンマ線以外の放射線もレントゲンと同じ効果期待できる線量) はヒトの組織に蓄積された様々なタイプの放射線から癌リスクをはかるものです。X 線、ガンマ線、およびベータ粒子からの吸収線量の 1 ラジアンは 1 レームです。アルファ粒子と中性子にはるかに質量があるので、それらからの 1 ラドの吸収線量にはるかに有害であるため、重み係数は中性子で 10、アルファ粒子で 20 です。

People are exposed to background levels of ionizing radiation every day from such sources as dirt and granite (which often contain traces of uranium, radium, and radioactive potassium), radon gas, and cosmic rays. Food and drinking water generally contain trace amounts of radioactive materials. The radiation dose from a jet airplane flight is 0.5 millirems (mrem) per hour in the air; from a chest x-ray, 6 mrem; and from living at an altitude of one mile, about 50 mrem/year.

人々は、泥や花崗岩（しばしばウラン、ラジウム、放射性カリウムの痕跡を含む）、ラドンガス、宇宙線などの起源から毎日バックグラウンドレベルの電離放射線にさらされています。食物および飲料水は、一般に微量の放射性物質を含む。ジェット飛行機飛行からの放射線量は、空气中で 1 時間あたり 0.5 ミリレム (mrem) である。胸部 X 線、6mrem から; 1 マイルの高度で約 50mrem /年で生活している。

A 2009 report shows an average annual dose of 620 mrem for the U.S. population, of which 48 percent (298 mrem) is from exposure to radiation for medical purposes.

An RDD attack is likely to expose few people to a dose of more than a few rem per year, even using the unrealistic assumption that they remain in the affected area without sheltering for a year. Any effects from a dose of a few rem per year are likely to be stochastic. Views differ on the harm from that dose (see sidebar). Further, various standards imply different degrees of harm from a dose of a few rem per year. For dose to the public resulting from the nuclear fuel cycle (e.g., nuclear power plants), the Environmental Protection Agency (EPA) uses a standard of 25 mrem per year of whole-body dose. NRC adopts that standard, and in addition has a dose standard of 100 mrem per year for members of the public from operations licensed by NRC. That agency

also has established an occupational dose limit of 5 rem per year. The occupational dose limit in Japan was reportedly 10 rem per year, a figure raised to 25 rem per year in the wake of the Fukushima Daiichi incident. According to one expert, doses greater than 25 rem are often received in a short period of time, producing deterministic effects, the severity of which increases with dose.

2009 年の報告書では、米国人の平均年間線量は 620 ミリメートルで、そのうち 48% (298 ミリメートル) は医療目的の放射線被曝によるものです。

RDD 攻撃は、1 年間避難することなくその場に留まるという非現実的な仮定を使用しても、1 年に数レムを受けると考えられます。

一年間に数レムを受けたことからの影響は推測となる可能性が高い。見解はその線量からの害について異なっている (サイドバーを参照)。さらに、様々な基準は、1 年に数回の用量の線量と異なる程度の害を意味する。環境保護局 (EPA) は、核燃料サイクル (例えば、原子力発電所) に起因する公衆への線量について、全身投与量の年間 25mrem の基準を使用する。NRC はその基準を採用しており、さらに NRC の許可を受けた事業所からの公衆のために年間 100 ミリメートルの線量基準を持っています。その代理店はまた、年間 5 リットルの職業上の線量限度を設定している。日本の職業線量限度は毎年 10 rem であったのが、福島第一事故の発生後年間 25 rem に増加したと報告されている。1 人の専門家によれば、25mg を超える用量はしばしば短期間で受け取り、決定的な影響をもたらし、その重症度は用量とともに増加する。

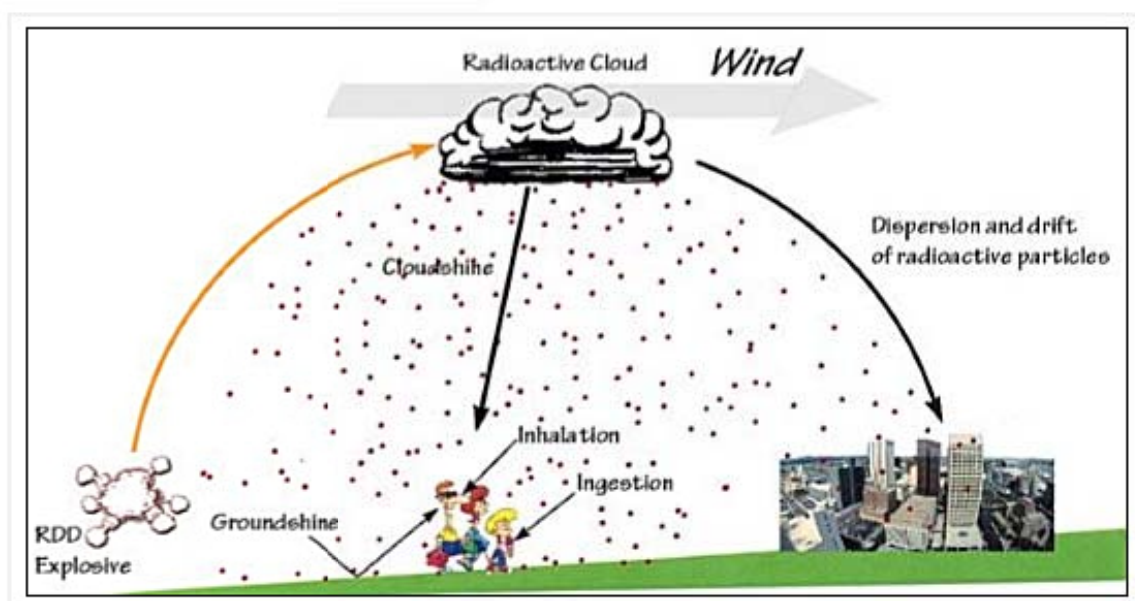
Exposure to radiation from an RDD can occur through four pathways. EPA lists three: direct, from sources external to the body; inhalation, breathing in particles of radioactive material; and ingestion, such as drinking water or eating food that contains radioactive material. A fourth is through the skin. According to William Rhodes III, Senior Manager, International Security Systems Group, Sandia National Laboratories, "Skin is a very good barrier against many chemicals. However, certain radioactive chemicals, such as various compounds of tritium or iodine, can penetrate through intact skin and be taken up by the bloodstream and distributed throughout the body. Radioactive materials can also enter through the skin through wounds." Figure A-2 illustrates some of these pathways. Total dose is a combination of internal and external dose. The former is that portion of dose from radiation sources inside the body, while the latter is the portion from outside the body.

RDD からの放射線への曝露は、4 つの経路を通じて起こりうる。EPA は 3 つをリストアップしています。吸入、放射性物質の粒子で呼吸すること。飲料水や放射性物質を含む食べ物を食べるなどの摂取。サンディア国立研究所の国際セキュリティシステムグループシニアマネージャー、ウィリアム・ローズ 3 世によれば、「皮膚は多くの化学物質に対して

非常に優れた障壁です。しかし、トリチウムやヨウ素などのさまざまな化合物などの特定の放射性化学物質は、無傷の皮膚を貫通して血流に吸収され、体全体に分散する可能性があります。放射性物質はまた、創傷を介して皮膚を通して侵入する可能性がある」図 A-2 に、これらの経路のいくつかを示す。総線量は、内線量と外線線量の組み合わせです。前者は体内の放射線源からの線量の部分であり、後者は体外からの部分である。

Figure A-2. Radiation Exposure Pathways from an RDD

図 A-2。RDD からの放射線暴露経路



Source: Len Connell, William Rhodes III, and Heather Pennington, Radiological Source Materials: Availability and Characteristics, Sandia National Laboratories, SANDOC 2010-1184P, 2010.

出典：Len Connell、William Rhodes III、および Heather Pennington、Radiological Source Materials：可用性と特性、Sandia National Laboratories、SANDOC 2010-1184P、2010

Nuclear weapons generate massive amounts of radiation, both as prompt neutrons, gamma rays, x-rays, light, infrared, etc., near the explosion, and as gamma rays and other forms of radiation emitted by fallout over a wide area. The resulting doses can cause sickness or death in hours to months. RDDs do not involve a nuclear explosion and might contain some tens of grams of radioactive material, enough to contaminate several square miles, though many factors influence the effectiveness of an attack, as discussed under “Value of RDDs for Terrorists.” As such, an RDD would generate a hazardous dose of radiation over a much smaller area than would a nuclear weapon.

核兵器は、爆発の近くで、迅速な中性子、ガンマ線、X 線、光、赤外線などの大量の放射線を発生させ、ガンマ線や広範囲の落下によって放出される他の形態の放射線として発生させる。結果として生じる用量は、数時間から数ヶ月で病気または死を引き起こす可能性があります。RDD は核爆発を伴わず、「テロリストのための RDD の価値」で論じられているように、数平方マイルを汚染するのに十分な数十グラムの放射性物質を含むかもしれませんが、多くの要因が攻撃の有効性に影響を及ぼす。RDD は、核兵器よりはるかに小さい地域に有害な線量の放射線を発生させるであろう。

In the affected area, an RDD attack would elevate the radiation level, and thus the dose, beyond background. EPA issued guidance in 1991 for protective actions following nuclear and radiological incidents except nuclear war, and the Federal Emergency Management Agency (FEMA) issued guidance in 2008 for protection and recovery following RDD and improvised nuclear device (IND, i.e., a terrorist-made nuclear weapon) incidents. Both agencies recommended “protective action guides” (PAGs). A PAG is “the projected dose to a reference individual, from an accidental or deliberate release of radioactive material, at which a specific protective action to reduce or avoid that dose is recommended. Thus, protective actions are designed to be taken before the anticipated dose is realized.” The dose is that resulting from all pathways, not just external sources. PAGs use predicted dose rates to provide guidance on emergency actions like sheltering in place or evacuation.

影響を受けた地域では、RDD 攻撃はバックグラウンドを超えて放射線量を増加させ、したがって線量を増加させる。EPA は核戦争以外の核・放射線事件に続く保護措置について 1991 年にガイダンスを出し、連邦緊急事態管理局 (FEMA) は 2008 年に RDD と即時型核兵器 (IND、すなわちテロリスト製核 武器) 事件。どちらの機関も「保護行動ガイド」(PAG) を推奨しています。PAG は、「放射性物質の偶発的または意図的放出からの個人への予測線量」であり、その線量を低減または回避するための特定の保護措置が推奨される。このように、予測される線量が実現する前に措置を講じるように保護行動が設計されています。線量は、外部源だけでなくすべての経路から生じるものです。PAGs は予測された線量率を使用して、避難所や退避のような緊急行動のガイダンスを提供します。

FEMA divides the incident response into three phases. The early phase starts “at the beginning of the incident when immediate decisions for effective protective actions are required, and when actual field measurement data generally are not available.” The beginning is not necessarily clear. While an explosive-driven dirty bomb would announce its presence, FEMA observes that “in the event of a covert dispersal, discovery or detection may not occur for days or weeks.” For the early phase, for a PAG

of 1 to 5 rem, the protective action recommendation is sheltering in place or evacuation. The intermediate phase may follow in as little as a few hours. It “is usually assumed to begin after the incident source and releases have been brought under control and protective action decisions can be made based on measurements of exposure and radioactive materials that have been deposited.” For that phase, FEMA recommends “relocation of the public” for a projected dose of 2 rem for the first year and 0.5 rem per year for any subsequent year. PAGs assume that a person is in the affected area, unprotected, 24 hours a day, 7 days a week, for the entire period. This is unrealistic; EPA expects, in the event of a nuclear reactor accident, that sheltering, radioactive decay, weathering, and simple decontamination techniques should reduce the actual dose in the 2-rem area to “less than one rem.” The late phase starts when recovery and cleanup begin, and ends when such actions have been completed.

FEMA は、インシデント対応を 3 つのフェーズに分割します。初期段階は、効果的な防護措置の即時決定が必要な現実の現場測定データが一般的に入手できない場合、事態の初期です。FEMA は、爆発的な汚れた爆弾がその存在を発表する一方で、「秘密の分散、発見、または検出が数日ないし数週間は起こらないことがある」と FEMA は観察している。初期段階では、防護措置勧告は、避難所または避難所に避難している。中間層では、わずか数時間後に続くことがある。事故原因と放出が管理され、暴露された放射性物質の測定値に基づいて防護措置の決定を下すことができると主張されている」同フェーズにおける住民の移転は初年度の 1 年間は 2 rem、その後の 1 年間は 0.5 rem とされる。PAG は、期間中、1 日 24 時間、週 7 日間、保護されていない地域にいとみなします。これは非現実的であり、EPA は、原子炉事故が発生した場合には、シェルター、放射性腐敗、風化、単純除染技術を考慮し 2 レム区域の実際の線量を「1 レム未満」に減らすべきであると予想している。クリーンアップが開始され、そのようなアクションが完了すると後期段階は終了します。

An interagency group determined that the EPA PAGs for the early and intermediate phases were appropriate for use in an attack using an RDD or an improvised nuclear device (IND, a terroristmade nuclear weapon).EPA includes as “an objective of these PAGs to assure that ... the cumulative dose over 50 years (including the first and second years) will not exceed 5 rem.” FEMA does not include a PAG for the late phase because it would not be an emergency situation and because authorities would need to optimize among many factors (economic, land use, technical feasibility, etc.) in determining which areas need to be remediated to what levels.

序グループは、初期段階と中間段階の EPA PAG が、RDD や即興型核兵器（IND、テロリストの核兵器）を使用した攻撃に使用するのに適していると判断した。EPA は、「これらの PAG の目的は、... 50 年以上の累積線量（1 年目と 2 年目を含む）は 5 レムを超えません」緊急事態ではなく、当局が多くの変因の中で最適化する必要があるため、FEMA には後期段階の PAG は含まれていません（経済、土地利用、技術的実現可能性など）をどのレベルに修正する必要があるかを決定する際に役立ちます。

Another set of guidelines for emergency workers in the early phase covers doses at and above 5 rem, depending on the activity performed. The condition for exposure resulting in a 5-rem dose is that “all reasonably achievable actions have been taken to minimize dose.” The activity that may warrant a 10-rem dose is “protecting valuable property necessary for public welfare (e.g., a power plant),” and for a 25-rem dose, “lifesaving or protection of large populations. It is highly unlikely that doses would reach this level in an RDD incident.” The conditions for exposure at both these levels are that the dose is unavoidable, responders are fully informed of risks, exposure is on a voluntary basis, appropriate personal protection like respirators is provided and used, and dose monitoring is available. As noted earlier, even at the 25-rem level, there are “no detectable clinical effects [and a] small increase in the risk of delayed cancer and genetic effects.”. However, the guidance states that “it is impossible to develop a single turn-back dose level for all responders to use in all events, especially those that involve lifesaving operations.”

初期段階の緊急作業員のためのガイドラインのもう 1 つのセットは、実施された活動に応じて 5 回以上の線量をカバーしています。5 レム線量をもたらす曝露条件は、「線量を最小限に抑えるためにすべての合理的に達成可能な措置が取られている」ということである。10 レム線量を保証する可能性のある活動は、「公共福祉に必要な貴重な財産（例えば、植物）、および 25 回分の用量の場合、「大集団の救命措置または保護。

この両方のレベルへの曝露条件は、適切にレスポonderに十分な情報が与えられ、曝露が自発的なものであり、人工呼吸器のような適切な保護具が提供、使用され、線量モニタリングが利用可能な状態である。先に述べたように、25 歳のレベルでさえ、「検出可能な臨床効果はなく、癌や遺伝的影響の遅延のリスクはわずかに増加する」。しかし、ガイダンスでは、「すべての対応者がすべてのイベント、特に人命救助活動を含むイベントで使用するための単一の折り返し線量レベルを開発することは不可能である」と述べています。

A small amount of certain radioactive materials, if effectively dispersed, could

contaminate a large area. If the bottle in Figure A-3 contained radioactive cesium-137 chloride instead of nonradioactive cesium-133 chloride, it would have about 1,000 curies. If the vial in Figure A-4 held pellets of radioactive cobalt-60 instead of nonradioactive cobalt-59, its curie count would be similar. Even this small amount of material can contaminate a substantial area to a high enough level to pose a threat to health. Figure A-5 illustrates the point; it models a possible RDD attack on Washington, DC, using 1,000 curies of cesium-137 chloride.

少量の特定の放射性物質が、効果的に分散されると、広い領域を汚染する可能性がある。図 A-3 のボトルに非放射性セシウム 133 塩化物の代わりに放射性セシウム 137 塩化物が含まれていた場合、それは約 1,000 キュリーであろう。図 A-4 のバイアルが非放射性コバルト 59 の代わりに放射性コバルト 60 のペレットを保持していた場合、そのキュリー数は同様であろう。この少量の物質であっても、健康への脅威となるほど高いレベルまで実質的な領域を汚染する可能性があります。図 A-5 にそのポイントを示します。1,000 キュリーのセシウム 137 塩化物を用いて、ワシントン DC で RDD 攻撃を行う可能性があります。

Biological effects of radioactive material in an RDD depend on several factors in addition to dose.

- Type of radiation. Gamma emitters are the main source of direct exposure to radiation. Materials often mentioned as “candidates” for RDDs, like cobalt-60 and cesium-137, pose a threat mainly because even a fraction of a gram emits a huge number of high-energy gamma rays; such material is harmful whether outside or inside the body. Neutrons are also harmful whether inside or outside the body. An americium-beryllium mixture, used in oil well logging devices, is a neutron-emitting material in industrial use. In contrast, alpha emitters like americium-241 and polonium-210 are generally not harmful outside the body but are very harmful when taken into the body, where their energy is absorbed by live internal tissue.

RDD における放射性物質の生物学的影響は、線量に加えていくつかの要因に依存する。・放射線の種類。ガンマ放射体は、放射線への直接暴露の主な発生源である。コバルト 60 やセシウム 137 などの RDD の「候補物質」としばしば言及されている材料は、グラムの一部でも高エネルギーのガンマ線を大量に放出するため、脅威となっています。そのような物質は身体の外側か内部かにかかわらず有害である。中性子は身体の内外部にかかわらず有害である。油井伐採装置に使用されるアメリシウム・ベリリウム混合物は、工業用の中性子放出物質である。対照的に、アメリシウム-241 やポロニウム-210 のようなアルファ放射体は、体外では一般的に有害ではありませんが、身体に取り込まれると非常に有害で、

内部の組織にエネルギーが吸収されます。

Figure A-3. Cesium Chloride



Source: Photo by CRS. Sample provided by National Nuclear Security Administration. Notes: The bottle contains cesium-133 chloride, which is stable (non-radioactive). If the bottle held radioactive cesium-137 chloride, the 50 grams of material would contain about 1,000 curies.

図 A-3。 塩化セシウム

出典：CRS による写真。 National Nuclear Security Administration によって提供されたサンプル。 注意：ボトルには安定した（非放射性）セシウム 133 塩化物が含まれています。ボトルに放射性セシウム 137 塩化物が含まれている場合、50 グラムの物質に約 1,000 キュリーが含まれます。

FigureA-4. Cobalt



Source: Provided by National Nuclear Security Administration, July 2010. Notes: The pellets are non-radioactive cobalt-59. Irradiating them in a nuclear reactor would convert them to radioactive cobalt-60. Their radioactivity would depend mainly on how long they remained in a reactor. Cobalt-60 pellets of this size typically contain 3 to 8 curies.

A-4. コバルト

出典：National Nuclear Security Administration、2010 年 7 月提供。注：ペレットは非放射性コバルト 59 である。それらを原子炉で照射すると、放射性コバルト 60 に変換される。それらの放射能は、主に原子炉内にどれくらいの長さで残っているかによって決まります。このサイズのコバルト-60 ペレットは、典型的に 3～8 キュリーを含む。

- ・ Type of radionuclide. Different nuclides (radioactive or otherwise) behave differently in the body. Iodine concentrates in the thyroid gland. According to EPA, “Strontium-90 is chemically similar to calcium, and tends to deposit in bone and blood-forming tissue (bone marrow).” Polonium does not concentrate in an organ but circulates throughout the body.

- ・ Physical and chemical characteristics. Is the material in metallic, ceramic, or granular form? Is it soluble in water? Is it a pure element with one set of properties, or part of a chemical compound with different properties?

- ・ Sources of long-term exposure. Some RDD materials would retain much of their radioactivity for years. Material remaining after cleanup, especially gamma emitters, would increase dose to people in the affected area. Filtering might not remove radioactive material from drinking water. Plants grown on contaminated land might take up radioactive material, and cattle eating contaminated plants might retain such material. Ingesting food or water with radioactive material would increase dose.

・放射性核種のタイプ。異なる核種（放射性物質またはその他の核種）は、体内で異なった挙動を示します。ヨードは甲状腺に集中している。EPA によると、「ストロンチウム-90 はカルシウムと化学的に類似しており、骨や血液形成組織（骨髄）に沈着する」ポロニウムは臓器に集中するのではなく体内を循環します。

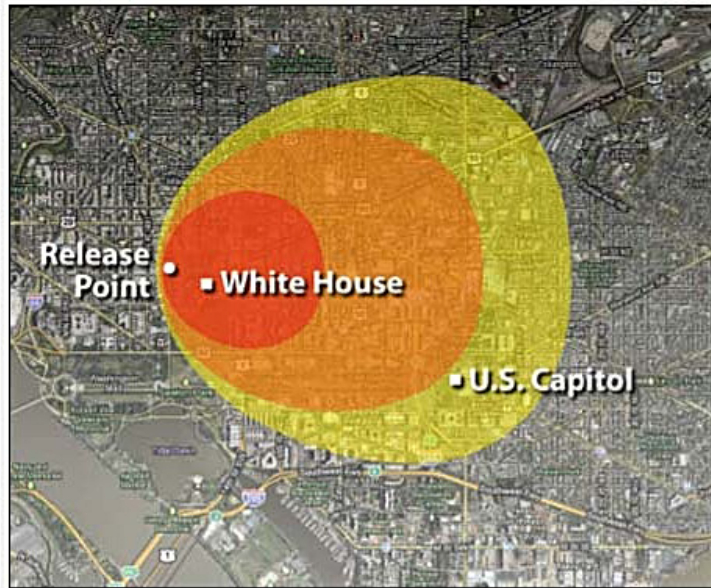
・物理的および化学的特性。材料は金属、セラミック、または顆粒状であるか？それは水に溶けますか？それは、1 組の特性を有する純粋な要素か、または異なる特性を有する化学化合物の一部であるか？

・長期的な暴露源。いくつかの RDD 材料は、長年にわたり放射能の多くを保持するだろう。浄化後に残る物質、特にガンマエミッタは、被災地の人々への線量を増加させる。ろ過すると、飲料水から放射性物質が除去されないことがあります。汚染された土地で栽培された植物は放射性物質を取り込み、汚染された植物を食べる牛はそのような物質を保持するかもしれない。放射性物質で食物や水を摂取すると、用量が増えるだろう。

Figure A-5. A Possible RDD Attack on Washington, DC Using 1,000 Curies of

Cesium-137 Chloride

図 A-5。 1,000 キュリーのセシウム 137 を用いたワシントン DC での RDD 攻撃の可能性



Effects and Actions						
	Area km ² mi ²	Equivalent Dose (rem)	Exceeds relocation PAG for which year:	Population	All Cancers	Fatal Cancers
	2.10 0.81	>2.00	First year only	38,000	233	159
	7.60 2.93	>0.500	Any subsequent year	94,700	278	189
	13.2 5.10	>5.00	50 years (cumulative)	125,000	461	314
Areas and counts are cumulative. RDD detonated at 38.9 N, 77.0 W. PAG: Protective Action Guide						

Source: William Rhodes III, Senior Manager, International Security Systems Group, Sandia National Laboratories, September 2010; analysis by Heather Pennington; graphics by Mona Aragon.

出典：William Rhodes III、Sandia National Laboratories 国際セキュリティシステムグループシニアマネージャー、2010 年 9 月 ヘザーペニンントンによる分析; Mona Aragon によるグラフィックス。

Note (provided by William Rhodes): This map, based on an atmospheric dispersion model, shows where individuals are projected to have an increased risk of developing cancers due to radiation exposure over a year or more. The RDD in this scenario uses 1,000 curies of cesium-137 chloride (about 50 grams). The model assumes that all material used is dispersed, but that it is not dispersed evenly over the area. Wind is assumed to be from west to east at 7 mph. The model includes exposure from

radioactive material both deposited on the surface and resuspended into the air and inhaled. EPA and FEMA have developed Protective Action Guides (PAGs) to indicate when long-term relocation of individuals should be considered. PAGs are primarily based on an assessment of the risk of developing cancer over an exposed individual's lifetime. They assume, conservatively, that individuals are unsheltered and remain in the area during the entire period described for each contour. Contours show where individuals, if not relocated per the PAG, are projected to receive at least a specified dose in a specified time, as follows: inner contour (red), dose in first year post-attack, >2.00 rem; middle contour (orange), dose in second year post-attack, >0.500 rem; and outer contour (yellow), cumulative dose in the first 50 years post-attack, >5.00 rem. The cigar-shaped plumes often seen in models of atmospheric dispersion occur for gases or very fine particles, which would be the case for chemical warfare agents or fallout from a nuclear weapon but not in the case depicted. Whether such plumes would occur for an RDD depends on such factors as wind speed, type of explosive, and particle size.

ノート（ウィリアム・ロードス提供）：大気分散モデルに基づくこのマップは、1年以上の放射線被ばくに起因するがんの発症リスクが高いと予測される場所を示しています。このシナリオの RDD は、1,000 キュリーの塩化セシウム 137（約 50 グラム）を使用しています。このモデルでは、使用されているすべての材料が分散されていると仮定していますが、領域全体に均等に分散されていません。風は西から東に 7mph であると仮定されています。モデルには、表面に堆積し空気中に再懸濁し吸入した放射性物質からのばく露が含まれる。EPA と FEMA は、個人の長期移転をいつ考慮すべきかを示す保護行動指針（PAG）を策定している。PAG は、主に、暴露された個体の生涯にわたって癌を発症するリスクの評価に基づいている。彼らは、各輪郭について記述された全期間中、個体が絶滅しておらず、領域内にとどまることを控えめに仮定する。輪郭（赤）、攻撃後 1 年目の線量、> 2.00 rem のように、PAG ごとに再配置されていない場合に、指定された線量を指定された線量以上の特定の線量で受けるように計画されています。中間輪郭（オレンジ）、攻撃後二年目の線量、> 0.500 rem; （黄色）、攻撃後最初の 50 年間の累積投与量。 > 5.00 rem。大気分散のモデルでしばしば見られる葉巻状のプルームは、化学兵器の場合や核兵器からの落下ではあるが、描かれている場合ではない、気体または非常に細かい粒子の場合に発生する。そのようなプルームが RDD のために発生するかどうかは、風速、爆発物のタイプ、および粒子サイズなどの要因に依存する。

Radioactive Materials and Sources

放射性物質および放射性物質

How large a source is required for an RDD, and what materials are most suitable? The Nuclear Regulatory Commission (NRC) has established thresholds for quantities of material requiring certain protective measures: “The theft or diversion of risk-significant quantities of radioactive materials could lead to their use in a radiological dispersal device (RDD) or a radiological exposure device (RED).” Table A-1 presents the risk-significant quantities of 16 materials that might be of use in an RDD. Note that these quantities are very small, often a fraction of a gram. These materials and quantities are from the International Atomic Energy Agency’s Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources, which that agency’s Board of Governors approved in 2003 and which NRC helped prepare.

RDD にはどれくらいの大きさのソースが必要で、どのような材料が最適ですか？ 原子力規制委員会（**NRC**）は、特定の防護措置を必要とする物質の量に対する閾値を設定している：「危険な量の放射性物質の盗難または転用は、放射線拡散装置（**RDD**）または放射線曝露装置（**RED**）」を参照してください。表 **A-1** には、**RDD** に使用する可能性のある **16** 物質のリスクに有意な量が示されています。これらの量は非常に少なく、しばしば **1** グラムの数分の **1** であることに注意してください。これらの資料および数量は、**2003** 年に **IAEA** の理事会が承認し、**NRC** が準備を手助けした放射性物質の安全性および安全性に関する国際原子力機関（**IAEA**）の行動規範からのものである。

=
=

While the IAEA selected the thresholds in the Code of Conduct based on the potential to cause deterministic effects, these thresholds can also be used to calculate the relative effectiveness (as measured by area contaminated) of different materials when used in an RDD by showing how much material is needed to contaminate a specified area to a specified level. For example, under ideal conditions that could not be achieved in the real world, a Category 2 source of cobalt-60, 0.007 grams, could contaminate 0.74 square km (0.29 square miles) to the extent that people in that area could be expected to receive a dose of 2 rem in the first year following an attack or 0.5 rem in any succeeding year, the PAGs for which FEMA recommends relocating people from an area. In contrast, it would take 0.36 grams of cesium-137 (and a somewhat larger amount of cesium chloride) or 16.77 grams of americium-241 to contaminate the same area. Note that the amounts of material in the foregoing examples are less than 1 ounce, and that a dose of 2 rem/year would not cause deterministic effects.

IAEA は、行動規範の中で決定論的效果を引き起こす可能性に基づいて閾値を選んだが、RDD で使用された場合、異なる物質の相対的な有効性（汚染された領域によって測定）を計算するためにも使用できる指定された領域を特定のレベルまで汚染するために材料が必要です。例えば、現実世界では達成できない理想的な条件下では、コバルト 60 の 0.005 グラムのカテゴリ-2 供給源は、その地域の人々が期待できる範囲で 0.74 平方 km (0.29 平方マイル) を汚染する可能性がある FEMA が地域から人を移転させることを推奨する PAG は、攻撃の後の最初の年に 2 rem、その後のいずれかの年に 0.5 rem の投与を受ける。対照的に、同じ領域を汚染するには、0.36 グラムのセシウム 137（および多少多量の塩化セシウム）または 16.77 グラムのアメリシウム 241 が必要です。上記の例における材料の量は 1 オンス未満であり、2 回/年の用量は決定論的效果を生じないことに留意されたい。

Terrorists could not manufacture material of greatest concern for use in an RDD because it is made in nuclear reactors. Some such materials are specially manufactured by bombarding stable (nonradioactive) atoms with neutrons produced by nuclear reactors, increasing the number of neutrons in the nucleus. In this way, stable cobalt-59, with 32 neutrons, is transformed into radioactive cobalt-60, with 33. Other radionuclides are byproducts of a nuclear reactor. When uranium fissions in a reactor, two of the many resulting radionuclides are cesium-137 and strontium-90, which are chemically separated from spent fuel.²⁸⁶ Only a few reactors worldwide produce cobalt-60, cesium-137, and some other radionuclides for commercial sale. For example, "Separated radioactive cesium sold internationally is produced only by the Production Association Mayak (PA Mayak), in the Chelyabinsk region of Russia and sold through the U.K.-based company, REVISS."

テロリストは、原子炉で作られているため、RDD における最大の懸念物質を製造することはできません。そのような材料の中には、安定した（非放射性）原子を原子炉によって生成された中性子に衝突させることによって特別に製造され、核中の中性子の数を増加させるものがある。このようにして、安定したコバルト 59 は 32 個の中性子で 33 個の放射性コバルト 60 に変換される。他の放射性核種は原子炉の副生成物である。原子炉内でウランの核分裂が起これば、放射性核種の多くは放射性核種から化学的に分離されたセシウム-137 とストロンチウム-90 である。商業販売。例えば、「国際的に販売されている分離された放射性セシウムは、ロシアのチェリャビンスク地域の生産協会 Mayak (PA Mayak) によってのみ生産され、英国に拠点を置く REVISS を通じて販売されています。

As a result, terrorists would have to obtain this material through theft, purchase, or transfer from sympathetic insiders. Most likely, they would try to obtain "sealed" sources, such as shown in Figure A-6. Sealed sources, a common form in which

radioactive material is sold, enclose radioactive material in a metal capsule to make sure it does not leak and contaminate people or the environment. Sealed sources have many beneficial uses. They treat cancers,²⁸⁸ irradiate food,²⁸⁹ monitor wells for oil,²⁹⁰ have military applications,²⁹¹ create radiographs (x-ray-like images) for inspecting cargo containers,²⁹² and are used in research.²⁹³ As a result of this utility, millions are in use worldwide. They vary widely in number of curies. Some food irradiators have millions of curies; blood irradiators have several thousand curies; and many, such as household smoke detectors, have a tiny fraction of a curie. The latter do not pose a terrorist threat. Because of the threat and wide distribution of risk-significant sources, the United States and other countries have taken steps, discussed in the next section, to protect these sources.

その結果、テロリストは同情的な内部者から盗難、購入、移転することによってこの資料を入手しなければならなくなります。ほとんどの場合、図 A-6 に示すような "密封"ソースを取得しようとします。密封された供給源は、放射性物質が販売される一般的な形態であり、放射性物質を金属カプセルに封入して、漏出して人や環境を汚染しないようにします。。密封された供給源は、多くの有益な用途を有する。彼らは癌を治療し、食品を照射し、油のために井戸を監視し、軍事用途を持ち、貨物コンテナを検査するための放射線写真（X線のような画像）を作成し、研究に使用されている。世界中で数百万が使用されています。彼らはキュリーの数が大きく異なります。いくつかの食品照射器は数百万キュリーを持っています。血液照射器は数千キュリーである。家庭用煙感知器などの多くのものは、非常に小さなキュリーを持っています。後者はテロの脅威にならない。米国や他の国々は、危険性の高い情報源の脅威と広範な流通のために、これらの情報源を保護するために次のセクションで議論された措置を講じている。

Radioisotopic thermal generators (RTGs) in Russia are of special concern. These devices, powered by several thousand curies of strontium-90, produce heat that is converted to electricity for use at remote locations, such as to power lighthouses. A 2007 paper by NNSA staff said, "these [Russian] RTGs likely represent the largest unsecured quantity of radiological material in the world." To counter the threat of terrorists taking RTGs for use in an RDD, the United States, Russia, Norway, France, and other countries have been securing these devices. (See "G8 Global Partnership:.") NNSA expects that by the end of FY2011, 646 of 851 RTGs will have been recovered.

ロシアのラジオアイソトープ熱発生器（RTG）は特に懸念される。数千キュリーのストロ

ンチウム-90で駆動されるこれらの装置は、灯台に動力を供給するなど遠隔地で使用するために電気に変換される熱を生成する。NNSAの2007年の報道によると、「これらのロシアのRTGは、世界で最大規模の放射線物質の占めておりそれらが安全だとはいいがたい可能性が高い」と述べた。RDDで使用するRTGを取っているテロリストの脅威に対処するために、米国、ロシア、ノルウェー、フランスなどの国々がこれらの機器を安全を確保しています。（「G8 グローバルパートナーシップ」を参照）NNSAは、2011年度末までに851のRTGのうち646が回収されている。

Figure A-6. A Sealed Source

Source: International Atomic Energy Agency Notes. This figure shows a thin cylinder of radioactive material and its protective capsule.



図 A-6。 封印された容器

出典：国際原子力機関注：この図は、放射性物質の薄いシリンダーとその保護カプセルを示しています。

Might uranium or plutonium, the essential fuels of nuclear weapons, be used in an RDD? Terrorists could use a relatively innocuous radioactive material like uranium in an RDD in an attempt to create panic, but authorities would surely take steps to counter panic, so the net result is unknown. However, technical experts rarely if ever consider uranium as an RDD material because the amount of radiation emitted per gram is extremely small, most of its gamma rays are of relatively low energy,²⁹⁷ and it poses less of a biological hazard than plutonium. Plutonium could be used in an RDD because of the biological hazards from alpha particles if inhaled. However, a terrorist group seeking materials for an RDD would probably find it easier to obtain radionuclides with common industrial uses, a terrorist group seeking to build a nuclear bomb would probably try to acquire uranium highly enriched in isotope 235 (“highly enriched uranium”) rather than plutonium because only the former can be used in the simplest type of nuclear bomb, and a terrorist group seeking to build a nuclear bomb

using plutonium would probably not squander any plutonium it acquired on an RDD. On the other hand, spent nuclear fuel, a highly radioactive mixture of many radionuclides including uranium and plutonium, could be used in an RDD.

核兵器に不可欠な燃料であるウランやプルトニウムは、RDD で使用されるだろうか？テロリストは、恐怖を作り出すために RDD でウランのような比較的無害な放射性物質を使用する可能性があるが、当局は確かにパニックに対抗するための対策を講じるため、結果は不明である。しかし、1 グラム当たりの放射量が非常に少ないため、ウランを RDD 材料とみなすことはめったにありません。そのガンマ線の大半は比較的低エネルギーであり、プルトニウムよりも生物学的危険性が低いです。吸入するとアルファ粒子の生物学的災害のためにプルトニウムは RDD で使用することができます。

しかし、RDD の材料を探しているテロリストグループは、おそらく一般的な産業用途の放射性核種を入手するほうが容易だと思われるが、核兵器を作るテロ集団はおそらく最も単純なタイプの核爆弾に使用できるだけであるプルトニウムではなく、同位体 235（高濃縮ウラン）、求めるだろう。

一方、ウランとプルトニウムを含む多くの放射性核種の高放射性混合物である使用済み核燃料は、RDD で使用することができます。

Preventing an Attack

The United States and other nations use a “layered defense” strategy in seeking to prevent an RDD attack. No layer is expected to be perfect, but each increases the likelihood of disrupting a terrorist attack. International, federal, state, and local organizations have added measures since 9/11 to prevent an RDD attack, and existing measures have been strengthened. (As discussed under “Attack Response, Recovery, and Attribution,” programs to respond to an attack have also increased.)

Domestic Efforts

Before September 11, 2001, the main concern for radioactive sources was their safe handling. They were used worldwide in many applications with varying levels of security. While the United States undertook some security measures prior to the attacks, the ongoing U.S. response to the attacks includes new or augmented approaches to reducing the threat that radioactive sources may pose. One is to protect sources through licensing, tracking, and physical security upgrades. Another is to remove sources that are outside the tracking system because they are abandoned or lost (“orphan sources”) or because they have been stolen for illegitimate uses, whether for an RDD or for scrap metal. A third is to reduce the number of sources in use. Different programs apply to one or more of these categories.

攻撃の防止

米国と他の国々は、**RDD** 攻撃を防ぐために、「階層化された防衛」戦略を使用しています。層は完璧であるとは予想されませんが、それぞれがテロ攻撃の混乱の可能性を高めます。国際、連邦、州、および地方組織は、**RDD** 攻撃を防止するために 9/11 以降の対策を加え、既存の対策を強化しています。（「攻撃の応答、回復、および帰属」で説明するように、攻撃に対応するプログラムも増加しています）。

国内の取り組み

2001 年 9 月 11 日以前には、放射性物質の主な関心事は安全な取り扱いでした。さまざまなセキュリティレベルを備えたアプリケーションにおいて世界中で使用されていました。米国は、攻撃の前にいくつかの安全保障措置を講じているが、攻撃に対する米国の現在の対応には、放射性物質がもたらす可能性のある脅威を減らすための新しくまたは強化されたアプローチが含まれる。1 つは、ライセンス、トラッキング、および物理的なセキュリティのアップグレードによってソースを保護することです。もう 1 つは、追跡システム外の情報源を放棄または紛失（「孤立した情報源」）しているか、または **RDD** かスクラップメタルのいずれかのために盗まれたために削除することです。3 つ目は、使用しているソー

スの数を減らすことです。さまざまなプログラムがこれらのカテゴリの 1 つ以上に適用されます。

Securing Radioactive Sources

Since materials of greatest concern for use in an RDD are made in nuclear reactors, terrorists could only obtain them through transfer from sympathetic insiders, theft, or purchase. Securing radioactive sources therefore reduces the risk of an RDD attack. Many government agencies and other entities have taken steps to secure these sources; a few key examples follow.

放射性物質の確保

RDD での使用が最も懸念される材料は原子炉に作られているため、テロリストは同調する内部者からの譲渡、盗難、購入によってのみ入手することができます。したがって、放射性物質を確保することは、RDD 攻撃のリスクを低減します。多くの政府機関やその他の団体は、これらの情報源を確保するための措置を講じてきた。いくつかの重要な例が続きます。

Nuclear Regulatory Commission

NRC is an independent agency. It “has the responsibility to license and regulate the civilian use of radioactive materials for commercial, industrial, academic, and medical purposes in a manner that protects public health and safety and promotes the common defense and security. NRC and its predecessor, the Atomic Energy Commission (AEC), have regulated the use of radioactive materials since 1946.”

原子力規制委員会

NRC は独立機関です。それは公衆の健康と安全を守り、共通の防衛と安全を促進する方法で商業、産業、学術および医療目的のための放射性物質の民間人の使用を認可し、規制する責任がある。NRC とその前身である原子力委員会（AEC）は、1946 年以来、放射性物質の使用を規制してきた。

The Atomic Energy Act of 1954, P.L. 83-703, amended the Atomic Energy Act of 1946. The 1954 act, as amended, “is the fundamental U.S. law on both the civilian and the military uses of nuclear materials.” Section 161 gave the AEC the authority to regulate radioactive material “to promote the common defense and security or to protect health or to minimize danger to life or property.” Section 11 of the act defined “special nuclear material” as uranium enriched in the isotopes 233 or 235, plutonium, and other material as specified by the AEC, and defined “byproduct material” as “any radioactive

material (except special nuclear material) yielded in or made radioactive by exposure to the radiation incident to the process of producing or utilizing special nuclear material,” and tailings or wastes from uranium or thorium ore. Byproduct material cannot be used as the active material in a nuclear weapon, but some types of it could be used in an RDD. Section 274 authorized NRC to enter into agreements with states (so-called “Agreement States”), giving them the authority to license and regulate byproduct and certain other radioactive material for public health and safety; NRC retained the authority to issue regulations for the common defense and security. As of March 31, 2011, 37 states had entered into such agreements, and NRC was evaluating additional states for participation in the program.

原子力法 1954 年、P.L. 1954 年の改正法は、「核物質の民生用および軍事用両方の使用に関する米国の基本的な法律」である。161 項は AEC に放射性物質を規制する権限を与えた共通の防衛及び安全保障を促進し、健康を守り、人命や財産の危険を最小限に抑えるためのものである」と規定している。同法 11 条は、同位体 233 又は 235 に富むウランとしての「特別核物質」、AEC、および「副産物物質」を「特別な核物質を生産または利用する過程で発生する放射線に暴露された放射性物質（特別な核物質を除く）」およびウランまたは鉱石由来の尾鉱または廃棄物トリウム鉱石。副産物は核兵器の活物質として使用することはできませんが、一部のタイプは RDD で使用することができます。セクション 274 は、NRC に、国家（いわゆる「合意国」）との契約を結び、公衆衛生と安全のために副産物とその他の放射性物質の使用許諾と規制の権限を与えることを認めた。NRC は、共通の防衛と安全のための規制を発行する権限を保持していた。2011 年 3 月 31 日現在、37 州がこのような協定を締結しており、NRC はプログラムへの参加国を追加評価していた。

Two other acts are particularly relevant to RDDs. The Energy Reorganization Act of 1974, P.L. 93-438, abolished the AEC and created the NRC. Section 201 transferred “all the licensing and related regulatory functions” of the AEC to NRC. Section 651 of the Energy Policy Act of 2005, P.L. 109-58, defined “radiation source” as Category 1 or Category 2 sources as per the IAEA Code of Conduct and other material as determined by NRC, required NRC to issue regulations governing exports and imports of radiation sources, required NRC to establish a mandatory tracking system for radiation sources in the United States, and established a Task Force on Radiation Source Protection and Security. Section 652 required licensees to fingerprint any individual permitted unescorted access to certain radioactive material.

2 つの他の行為が特に RDD に関係している。1974 年のエネルギー再編成法、P.L. AEC を

廃止し、NRC を創設した。 セクション 201 は、AEC の「すべてのライセンス供与および関連規制機能」を NRC に移管した。 2005 年エネルギー政策法第 651 条、P.L. IAEA 行動規範および NRC が決定したその他の物質によるカテゴリ 1 またはカテゴリ 2 の供給源として定義された「放射線源」、放射線源の輸出入を規制する NRC の要求、NRC に義務付けられた 米国における放射線源の追跡システムを確立し、放射線源保護およびセキュリティに関するタスクフォースを設立した。 第 652 条では、特定の放射性物質への無差別なアクセスが許可されている場合には、ライセンシーに指紋を印刷するよう要求した。

NRC has used these authorities to issue orders and regulations to enhance radiation source security since the 9/11 attacks. For example, it issued an order in 2005 to improve the security of irradiators having more than 10,000 curies, a rule in 2005 on security policy for import and export of radioactive materials, and an order in 2006 regarding fingerprinting and criminal history. Also in 2005, it issued an “Order Imposing Increased Controls (Effective Immediately)” to licensees authorized to possess 16 types of radioactive material above certain “quantities of concern.” These quantities are the same as Category 2 sources in the IAEA Code of Conduct. The order required licensees to “allow only trustworthy and reliable individuals, approved in writing by the licensee, to have unescorted access to radioactive material quantities of concern and devices” and to “have a documented program to monitor and immediately detect, assess, and respond to unauthorized access,” imposed requirements for transportation of radioactive materials, and required physical controls for mobile or portable devices containing radioactive material in quantities of concern. The NRC website has a full listing of its security orders. In the Federal Register of June 15, 2010, NRC published for comments a proposed rule, “Physical Protection of Byproduct Material,” that would incorporate and modify some previous orders as 10 CFR 37. The proposed rule would deal with “the security requirements for use of category 1 and category 2 quantities of radioactive material.”

NRC は、これらの当局を使用して、9/11 の攻撃以来、放射線源のセキュリティを強化するための命令と規制を発令しています。例えば、2005 年には 10,000 キュリーを超える照射兵器の安全性を改善する命令、2005 年には放射性物質の輸出入に関する安全保障政策、2006 年には指紋採取や犯罪歴に関する命令を発した。また、2005 年には、特定の「懸念量」を上回る 16 種類の放射性物質を所有することを許可されたライセンシーに対し、「IAEA 行動規範のカテゴリ 2 の供給源と同じ」。「ライセンシーによって書面により承認された信頼できる人のみに、放射性物質の懸念や装置への無差別なアクセスを許可する」こと、および「監視し、即時に検出し、評価し、対応するための文書化されたプログラムを有す

る「許可されていないアクセス」、「放射性物質の輸送のための課された要件、および懸念される量の放射性物質を含有する携帯または携帯型装置のための物理的制御が要求される。NRC のウェブサイトには、そのセキュリティ命令の完全なリストがあります。NRC は、2010 年 6 月 15 日の連邦登録簿において、10 CFR 37 のような一部の以前の命令を組み込んで修正する、「副産物の物理的保護」という提案された規則をコメント用に公表した。提案された規則は、カテゴリー1 およびカテゴリー2 の放射性物質の使用。

Almost all of NRC's budget is for nuclear reactors—licensing, safety, fuel, and spent fuel management. However, NRC has many programs for security of radioactive sources. It issues orders and regulations for licensees; inspects licensees to ensure compliance; and takes enforcement action as needed. In January 2009, it instituted the web-based National Source Tracking System to track Category 1 and 2 sources throughout their life cycle as required by the Energy Policy Act of 2005. As of March 2010, this system tracked over 70,000 sources, of which 93 percent were cobalt-60, 3.5 percent were iridium-192, and 3 percent were cesium-137. In response to a GAO investigation that used bogus means to obtain a license to procure radioactive material (see note 48), NRC changed licensing procedures to make them more secure. It is responding, or has responded, to other GAO criticisms. It maintains a Nuclear Material Events Database to track incidents and accidents that involve nuclear material. It operates the Agreement States program discussed earlier.

NRC の予算のほとんどは、原子炉のライセンス、安全、燃料、使用済み燃料管理のためのものです。しかし、NRC には放射性物質の安全保障のための多くのプログラムがあります。ライセンシーの注文と規制を発行する。ライセンシーを検査してコンプライアンスを確保する。必要に応じて執行措置を講じます。2009 年 1 月には、Web ベースの National Source Tracking System を導入し、2005 年のエネルギー政策法の要求に従って、ライフサイクル全体を通してカテゴリー1 と 2 のソースを追跡しました。2010 年 3 月現在、このシステムは 70,000 以上のソースを追跡しました。93%がコバルト 60、3.5%がイリジウム-192、3%がセシウム-137 であった。NRC は、偽の手段を使って放射性物質を調達するためのライセンスを取得するという GAO の調査（注 48）に応じて、より安全なものにするためのライセンス手続を変更した。それは、他の GAO の批判に反応している、あるいは答えている。核物質を含む事故や事故を追跡するために、核物質事象データベースを維持しています。先に議論した合意締約国プログラムを運営しています。

National Nuclear Security Administration

NNSA is a semiautonomous agency within the Department of Energy. One of NNSA's

components is Defense Nuclear Nonproliferation (DNN). DNN's main program to enhance the security of radioactive sources is the Global Threat Reduction Initiative (GTRI). Most of GTRI's budget is for international programs, but it operates domestic programs as well, and the two are complementary in that they both help secure the United States and they draw on a common body of knowledge. The FY2012 budget request for Defense Nuclear Nonproliferation is \$2,549.5 million, and for GTRI, \$508.3 million.

GTRI's Domestic Materials Protection Program provides security enhancements for domestic radioactive sources on a voluntary basis. NNSA funds the security upgrades at a facility and their initial maintenance, but the facility must agree to provide subsequent maintenance of the upgrades. NRC and NNSA state that this program complements NRC's security program for these sources, with NRC setting the baseline for security and GTRI providing security upgrades at GTRI's expense for NRC licensees requesting assistance. Typically, a GTRI team visits a site to assess how security might be improved and negotiates contracts to have equipment installed. Equipment needs are site-specific; examples are iris scanners to control access, radiation detectors and TV cameras to monitor intrusion, equipment to link alarms to local police, and stronger doors and locks. NNSA has also developed In-Device Delay units that GTRI retrofits into irradiators that use cesium chloride as the active material in order to give police more time to respond to attempted thefts. Figure 4 and Figure 5 show security devices.

国家原子力安全保障管理

NNSA は、エネルギー省の半独立機関です。NNSA のコンポーネントの 1 つは、防衛核非拡散 (DNN) です。DNN の放射資源のセキュリティを強化する主なプログラムは、グローバル脅威削減イニシアチブ (GTRI) です。GTRI の予算の大半は国際プログラムのためのもので、国内のプログラムも運営していますが、両者は米国の安全を援助し、共通の知識体系を引き出すという点で補完的です。2012 年度の国防総省の核不拡散予算要求は、25 億 4950 万ドル、GTRI については 5 億 830 万ドルです。

GTRI の国内材料保護プログラムは、自主的に国内放射線源の安全保障を強化します。NNSA は施設でのセキュリティアップグレードとその初期メンテナンスに資金を提供しますが、施設はその後のアップグレードのメンテナンスを提供することに同意しなければなりません。NRC と NNSA は、NRC がセキュリティのベースラインを設定し、GTRI が援助を要請した NRC ライセンシーのために GTRI の費用でセキュリティアップグレードを提供することで、これらのソースに対する NRC のセキュリティプログラムを補完すると述べている。通常、GTRI チームは、セキュリティをどのように改善するかを評価するために訪

間し、機器をインストールする契約を交渉します。機器のニーズは場所によります。例として、アクセスを制御する虹彩スキャナー、侵入を監視する放射線検出器およびテレビカメラ、警察を地元の警察に接続するための装置、およびより強力な扉および錠がある。NNSA はまた、GTRI が塩化セシウムを活物質として使用する照射装置に改造して、警察に窃盗犯罪に対応するためのより多くの時間を与える **In-Device Delay** 装置を開発しました。図 4 と図 5 にセキュリティ装置を示します。

Many sources in the United States, mostly low-level, have been lost, abandoned, or stolen; are excess to a user's needs; or have become significantly less radioactive through decay. Another part of GTRI's work, therefore, is recovering radioactive sources. The Off-site Source Recovery Project (OSRP), another GTRI program, performs this task. As of March 28, 2011, OSRP had recovered 24,029 sources in the United States totaling 801,560 curies; while many were small and many were well protected, some were "orphan" sources that were lost or abandoned. NNSA expects to remove at least 2,200 excess sources within the United States each year.

GTRI also operates a course, Alarm Response Training, at the Y-12 National Security Complex for local law enforcement officers. As described by Kenneth Sheely, Associate Assistant Deputy Administrator for GTRI, "Most on-site guards at facilities with radioactive sources are not armed or large enough force strength to neutralize the threat. Therefore, the key responders are often offsite local law enforcement. Unfortunately, many local law enforcement officials are not made aware of the nature of the material which is in use at hospitals, blood banks, universities, oil fields, and manufacturing plants in their jurisdiction. It is important for their safety, and the safety of their communities, that they receive proper training about radiological sources." The course involves classroom instruction on what radioactive materials might be encountered; the threat this material poses; how to use detection equipment; and operational exercise scenarios. GTRI, the NNSA Office of the Under Secretary for Counterterrorism, and the FBI also provide table top exercises to provide a site-specific scenario for organizations holding NRC licenses for radioactive material and for managers at all levels of government to exercise their response to a terrorist attack.

米国の多くの低いレベルのソースは、紛失、放棄、盗難されている。または崩壊により著しく放射性ではなくなっている。したがって、GTRI の作業のもう一つの部分は、放射性物質を回収することです。別の GTRI プログラムであるオフサイトソースリカバリプロジェクト (OSRP) がこの作業を実行します。2011 年 3 月 28 日現在、OSRP は米国で 24,029

件のソースを回収し、合計 801,560 キュリーに達しました。多くは小さく、多くは保護されていましたが、失われたまたは放棄された「みすてられた」ソースもありました。NNSA は、米国内で毎年少なくとも 2,200 の過剰供給源を除去する予定です。

GTRI は地元の法執行官のために Y-12 国家安全保障複合施設で警報対応トレーニングを実施しています。GTRI の Kenneth Sheely 副補佐官は、次のように述べています。「放射能源を備えた施設のほとんどの現場の保安は、防御に十分大きな力がありません。したがって、主要な対応者は、外部の法執行機関であることが多いです。残念なことに、多くの地元の法執行官は、管轄の病院、血液銀行、大学、油田、製造工場で使用されている材料の性質を認識していません。安全性と地域社会の安全のために、放射線源に関する適切な訓練を受けることが重要です。」本トレーニングコースでは、放射性物質が遭遇する可能性のための指導を行います。この物質がもたらす脅威。検出装置の使い方および運用上の運動シナリオ。GTRI、NNSA テロ対策担当官、FBI はまた、放射性物質の NRC ライセンスを保有している組織や、すべての政府レベルの管理者がテロ攻撃に対する対応を行うためのサイト固有のシナリオを提供するためのテーブルトップ訓練を提供しています。

GTRI programs within the United States operate on a small scale compared to their universe of potential coverage. As of February 2011, GTRI had done the following. It had identified more than 2,700 buildings in the United States with high-priority radiological materials, and had completed security upgrades at 251 of them, “with the remainder aiming to be completed by 2025.” It had provided its Alarm Response Training course to 1,118 local law enforcement officers. It had installed delay devices on 238 irradiators. GTRI's pace has picked up since late summer 2009. At that time, GTRI had completed security upgrades for 37 of about 2,200 buildings, provided its Alarm Response Training course to 175 personnel, and installed delay devices on 32 irradiators. However, much work remains, some of which is presented in Appendix B.

米国内の GTRI プログラムは、全世界ににおける潜在的な対象範囲に比べて小規模で動作します。2011 年 2 月現在、GTRI は以下のことを行いました。米国では、優先順位の高い放射線材料を使用した 2,700 以上の建物が確認され、そのうち 251 機でセキュリティー・アップグレードが完了し、残りは 2025 年までに完成を目指している。警察の対応訓練コースは、地元の警察官 1,118 人に適応されました。238 台の照射装置に遅延装置を設置していた。当時、GTRI は約 2,200 建物のうち 37 棟を対象にセキュリティーアップグレードを完了し、アラーム対応訓練コースを 175 名、遅延装置を 32 台の照射器に搭載しました。しかし、多くの作業が残っています その一部は付録 B に示されています。

Relationship Between NRC and NNSA Programs

NRC and NNSA view their programs as complementary. According to a joint statement by the two agencies, NRC and Agreement States (see “Nuclear Regulatory Commission”) have created “a strong and effective regulatory framework that includes licensing, inspection, and enforcement” that “provides a common baseline level of security to ensure adequate protection of public health and safety and the common defense and security.” NNSA works with NRC and others “to build on the existing regulatory requirements by providing voluntary security enhancements.” A radiation safety officer who has partnered with GTRI expressed a similar view. (Radiation safety officers, as discussed later, are in charge of the safety and security of radioactive materials at their facilities.)

NRC and GTRI have the same goal—no RDD attacks—but different roles. NRC has the regulatory role. Licensees must follow its rules, which must be prescriptive enough to improve security for all licensees that have quantities of concern; yet flexible enough to cover large panoramic irradiators, research universities, and hospital blood banks. NRC must enforce its rules impartially. When it interacts with a licensee, it cannot be too sensitive to that licensee’s situation because anything they do for one could affect how they treat others. In contrast, GTRI is not a regulator. It has a mandate to spend its funds to make partner sites more secure. It is a voluntary program, and can be responsive to local site conditions. For example, it may suggest security enhancements at a site, and the licensee may accept some, reject some that wouldn’t work there, and modify others. If the outcome improves security, GTRI will work with the site.

NRC と NNSA プログラムとの関係

NRC と NNSA は、彼らのプログラムを補完的なものと見なしている。2つの機関の共同声明によれば、NRC と合意国（「核規制委員会」参照）は、「共通の基準レベルの安全保障を提供する」という「ライセンス、検査、施行を含む、NNSA は、NRC などと協力して、「自発的なセキュリティ強化を提供することによって既存の規制要件を構築する」。GTRI と提携している放射線安全担当者は、同様の見解を示した。（後述の放射線安全担当者は施設内の放射性物質の安全と保安を担当している）

NRC と GTRI の目標である RDD 攻撃のないという目標は同じですが、役割は異なります。NRC は規制上の役割を担っている。ライセンシーはそのルールに従わなければなりません。これは、懸念される量のライセンシーすべてのセキュリティを向上させるのに十分な規範でなければなりません。研究機関の大学、病院の血液銀行をカバーするのに十分

な柔軟性を備えています。NRC は規則を公平に実施しなければならない。ライセンシーとのやりとりをする際には、ライセンシーの状況にあまり敏感ではありません。対照的に、GTRI は規制機関ではない。パートナーサイトをより安全にするために資金を使うという義務があります。自発的なプログラムであり、現地の状況に応じることができます。たとえば、あるサイトでセキュリティ強化を提案し、ライセンシーがそれを受け入れて、うまく機能しないと思われるのは拒否し、もしくは修正を行います。結果がセキュリティを向上させると、GTRI はサイトで動作します。

This complementary relationship might lead some to ask whether the NRC and GTRI programs should be combined to eliminate some overlap. The radiation safety officer just quoted, however, argued against doing so:

この相補的な関係は、NRC と GTRI のプログラムが重複を避けるため、統合の声も上がる一方で、放射線安全担当官はただ引用して、そうすることに反対の立場を示している

These different roles set up tensions between GTRI and NRC. GTRI has a lot of freedom because it is not the regulator, but it must work hard to keep the “blessing” of the NRC and agreement states because licensees will not work with GTRI if NRC or agreement states tell them not to. At the same time, GTRI wants to keep NRC out of their process. Having NRC or agreement state staff accompany GTRI to the sites would change GTRI's relationship with licensees. I would not have partnered with GTRI if NRC was part of the process because during GTRI's security evaluation of our site, we had the freedom to identify weaknesses. Licensees won't show their problems to NRC for fear of being cited. As the regulator, NRC cannot give assurances that violations uncovered during a voluntary site visit will not be cited. So, I think GTRI shouldn't be partnering with NRC.

これらの異なる役割は、GTRI と NRC の間の緊張を生み出します。GTRI は規制当局ではないため多くの自由を持っていますが、NRC や合意の国がそうしないと GTRI と協力しないため、NRC と合意状態の「賛意」を維持するためには一生懸命働く必要があります。同時に、GTRI は NRC とは離れて独自に進行したいと考えています。NRC または合意州の職員が GTRI に同行することにより、GTRI とライセンシーとの関係が変わるだろう。私たちのサイトの GTRI のセキュリティ評価の最中に、弱点を特定する自由があったため、NRC がプロセスの一部であったなら、私は GTRI と提携していないでしょう。ライセンシーは、引用されることを恐れて NRC に問題を示すことはありません。規制当局として、NRC は、自発的なサイト訪問中に明らかにされた違反は表だってあらわされないという保

証を与えることはできません。ですから、GTRI は NRC と提携してはならないと思います。

Radiation Source Protection and Security Task Force

The Energy Policy Act of 2005 established the task force with a mandate to “evaluate, and provide recommendations relating to, the security of radiation sources in the United States from potential terrorist threats, including acts of sabotage, theft, or use of a radiation source in a radiological dispersal device.” Its members represent 12 federal agencies and another four invited agencies or organizations, with the NRC chairman or a designee as the chair.⁷⁹ It is charged with reporting every four years; it released its most recent report in August 2010. It “identified two major challenges that require attention at higher levels.” First, access to disposal pathways for unused sources, “already a challenge before 2006, has diminished substantially since that time, and a comprehensive policy change is needed to overcome current barriers in the disposal framework.” It recommended initiating or continuing efforts to develop, evaluate, and investigate options for disposal of sources. Second, the task force examined alternatives to several risk-significant radioactive sources. It pointed to three alternative technologies for existing sources: using the same radionuclide but in a different form, replacing one radionuclide with another, and using a technology (e.g., x-rays) in place of radioactive material. The report focused on cesium-137 chloride, which “has long received increased attention from both a safety and security perspective because of its potential dispersibility if removed from an irradiator or source capsule.” The report recommended increased support to develop alternative technologies, investigation of options to replace Category 1 and 2 sources, and review of whether licensing for Category 1 and 2 cesium-137 chloride sources should be discontinued

放射線源保護とセキュリティタスクフォース

2005 年のエネルギー政策法は、妨害、盗難、または放射線源の使用を含む潜在的なテロ脅威から米国の放射線源の安全性を評価し、提言を行う任務を持つタスクフォースを設立した。そのメンバーは 12 の連邦機関と 4 つの招待された機関または団体を代表し、NRC 議長または指名者を議長とする。報告は 4 年ごとに行われます。第 2 に、2010 年 8 月に最新報告書を発表しました。それは、より高いレベルで注意を必要とする 2 つの大きな課題を特定しました。処分枠組みにおける現在の障壁を克服するために政策の変更が必要とされている」。源泉徴収の選択肢の開発、評価、調査を開始または継続する努力を推奨した。第二に、タスクフォースは、いくつかのリスクに重大な放射性物質の代替案を検討した。それは、既存の情報源には、同じ放射性核種を使用するが異なる形態で、1 つの放射性核種を

別のものに置き換え、放射性物質の代わりに技術（例えば、X 線）を使用するという 3 つの代替技術を指摘した。報告書は、「放射性物質または放射性物質のカプセルから取り除かれた場合、その潜在的な分散性のために、安全性および安全性の観点から、長い間、注目を集めてきたセシウム 137 塩化物」に焦点を当てています。この報告書は、代替技術、カテゴリ 1 および 2 の供給源を置き換えるオプションの選択、およびカテゴリ 1 および 2 のセシウム 137 塩化物供給源のライセンスを廃止すべきかどうかの見解が示されています。

Other Agencies

Other agencies have responsibilities for security as well. For example, the Environmental Protection Agency (EPA) “is seeking to reduce the number of sealed radiation sources used in industrial devices and applications. Through its Alternative Technologies Initiative, the Agency has been working with industry since 2001 to identify non-nuclear substitutes.” This program seeks to reduce the risk of industrial and environmental contamination and to protect sources from seizure by terrorists. The Domestic Nuclear Detection Office is supporting R&D for the same purpose through its Small Business Innovative Research program. The Department of Defense (DOD) has some sealed sources in the United States, such as at hospitals. In such instances, NRC grants DOD components, such as the Army, one or more licenses, and they protect the sources in accordance with NRC regulations.

他の組織

他の機関もセキュリティへの責任があります。例えば、環境保護庁（EPA）は、工業用デバイスおよびアプリケーションで使用される密閉された放射線源の数を削減しようとしています。オルタナティブ・テクノロジー・イニシアチブを通して、政府機関は 2001 年から産業界と協力して、非核代替物を特定しています」このプログラムは、産業および環境汚染のリスクを低減し、テロリストによる情報源の奪取を防ぎます。国内原子力探知所は、中小企業革新研究プログラムを通じて同じ目的の研究開発を支援しています。米国国防総省（DOD）には、病院など、米国に密封された情報源がいくつかあります。そのような場合、NRC は、陸軍のような国防総省の構成要素に 1 つ以上の免許を付与し、NRC の規制に従ってその供給源を保護する。

Attack Response, Recovery, and Attribution

Organization and Planning for Response

If an attack occurred despite efforts at prevention, effective response could save lives, mitigate damage, and speed recovery. Accordingly, the federal government has devoted extensive resources to planning for a response. Key authorities for response are as follows.

アタックレスポンス、リカバリ、アトリビューション

レスポンスの組織と計画

予防に努力していても攻撃が発生した場合、効果的な対応は人命を救い、被害を軽減し、回復を早めることができます。したがって、連邦政府は対応する計画に広範なリソースを費やしてきた。回答の主な権限は次のとおりです。

- The Stafford Act authorizes the President to declare an event to be a disaster, thereby allowing federal agencies to assist state and local governments. According to FEMA, the “Robert T. Stafford Disaster Relief and Emergency Assistance Act, P.L. 100-707, signed into law November 23, 1988; amended the Disaster Relief Act of 1974, P.L. 93-288. This Act constitutes the statutory authority for most Federal disaster response activities especially as they pertain to FEMA and FEMA programs.”

・スタッフォード法は、大統領が災害であると宣言し、それによって連邦政府機関が州および地方自治体を支援することを認めている。FEMAによれば、「ロバート・T・スタッフォード災害救助および緊急援助法、P.L. 100-707、1988年11月23日に法律に署名した。1974年の災害救助法を改正した。93-288。この法律は、特にFEMAおよびFEMAプログラムに関係するほとんどの連邦災害対応活動の法的権限を構成します。

- The Homeland Security Act of 2002 (P.L. 107-295) establishes the Department of Homeland Security. The department’s missions include preventing terrorist attacks in the United States, reducing U.S. vulnerability to terrorism, minimizing damage from terrorist attacks, and aiding recovery from such attacks. The act establishes a Directorate of Emergency Preparedness and Response. The DHS Secretary, acting through the Under Secretary of Emergency Preparedness and Response, is responsible for “helping to ensure the effectiveness of emergency response providers to terrorist attacks, major disasters, and other emergencies” (section 502), among other things.

・2002年の国土安全法（P.L. 107-295）は、国土安全保障省を設置しています。同省の任務には、米国におけるテロ攻撃の防止、テロリズムへの米国の脆弱性の低減、テロ攻撃による被害の最小化、そしてそのような攻撃からの回復の支援が含まれる。この行為は、緊

急事態の準備と対応のための理事会を設置します。 DHS 事務局長は、緊急事態対応準備官庁長官を経て、テロ、大災害、その他の緊急事態への緊急対応機関の有効性の確保を支援する責任を負っている（第 502 条）。

• Homeland Security Presidential Directive 5, “Management of Domestic Incidents,” February 28, 2003, makes the Secretary of Homeland Security “the principal Federal official for domestic incident management,” makes the Secretary “responsible for coordinating Federal operations within the United States to prepare for, respond to, and recover from terrorist attacks, major disasters, and other emergencies,” and directs the Secretary to coordinate with private and nongovernmental sectors. The directive further directs the Secretary to develop and administer a National Incident Management System (NIMS) to “provide a consistent nationwide approach for Federal, State, and local governments to work effectively and efficiently together to prepare for, respond to, and recover from domestic incidents, regardless of cause, size, or complexity” and to develop and administer a National Response Plan to “integrate Federal Government domestic prevention, preparedness, response, and recovery plans into one all-discipline, all-hazards plan.”

・国土安全保障省大統領指令 5「国内事故の管理」2003 年 2 月 28 日、国土安全保障長官を「国内事故管理のための連邦政府の主要な役人」とし、大災害などの緊急事態への対応、復興への対応、復興への対応、国連事務次官に民間部門および非政府部門との調整を指示する。この指令は、事務総長に対し、国家事故管理システム（NIMS）「原因、規模、複雑さにかかわらず、国内事件の準備、対応、復旧」を目的として、連邦、州、地方自治体が効果的かつ効率的に協力するための一貫した全国的アプローチを提供し、「連邦政府の国内予防、準備、対応、復旧計画を 1 つのすべての規律、オールハザード計画に統合する。」

• The National Response Framework (NRF), which supersedes the National Response Plan, “presents the guiding principles that enable all response partners to prepare for and provide a unified national response to disasters and emergencies—from the smallest incident to the largest catastrophe. The Framework establishes a comprehensive, national, all-hazards approach to domestic incident response.”

・国家対応計画（National Response Framework : NRF）は、「すべての対応パートナーが災害や緊急事態への統一的な対応を準備し、様々なレベルの災害に備えるための指針を提示する。この枠組みは、国内インシデント対応に対する包括的、全国的、全災害的アプローチを確立する。

• The Post-Katrina Emergency Management Reform Act of 2006 (P.L. 109-296, Title VI) directs the FEMA Administrator to “lead the Nation’s efforts to prepare for, protect

against, respond to, recover from, and mitigate against the risk of natural disasters, acts of terrorism, and other man-made disasters, including catastrophic incidents,” and to “develop a Federal response capability that, when necessary and appropriate, can act effectively and rapidly to deliver assistance essential to saving lives or protecting or preserving property or public health and safety in a natural disaster, act of terrorism, or other man-made disaster,” among other things.

・2006年カトリーナ緊急事態管理改革法（PL 109-296、Title VI）は、FEMA 管理者に対し、「自然のリスクに対する準備、保護、対応、復旧、軽減のための国家の努力を率先して 災害、テロなどの災害や災害を含む人為的な災害」、「必要かつ適切な場合には、人命の救済や財産の保護または保存に必要な援助を効果的かつ迅速に実行できる連邦政府の対応能力を開発する 自然災害、テロ行為、その他の人為的災害における公衆衛生と安全性」などが挙げられます。

For further information on NRF, see CRS Report RL34758, The National Response Framework: Overview and Possible Issues for Congress, by Bruce R. Lindsay. For further information on the Stafford Act, see CRS Report RL33053, Federal Stafford Act Disaster Assistance: Presidential Declarations, Eligible Activities, and Funding, by Francis X. McCarthy.

NRF の詳細については、CRS レポート RL34758「国家対応フレームワーク：議会の概要と可能な問題」（Bruce R. Lindsay）を参照してください。 スタッフォード法の詳細については、フランシス・X・マッカーシー（Francis X. McCarthy）による CRS レポート RL33053、連邦スタッフォード法災害援助：大統領宣言、適格行為、および資金調達を参照してください。

Difficult Metrics

困難な指標

Probability of an RDD Attack

an RDD attack has improved greatly since 9/11, and continues to improve, because of the accretion of layer upon layer of capability in many areas. However, as with an arms race or sports, improvement by one side does not provide an advantage if the other side makes comparable, greater, or offsetting improvements. It thus seems hard to assess qualitatively if the United States is more secure against an RDD attack now than it was before 9/11. Determining the probability of an RDD attack or how it has changed since then would be harder because the data may be difficult to gather and inferences based on the data may be tenuous. For example: (1) The number of unsecured radioactive sources is related to the threat but may not be highly correlated to it. Terrorists need to steal only one Category 1 or 2 source to make one or more RDDs; it will be many years before every source is secured against insider and outsider threats. (2) Terrorist intent correlates with threat, but possible metrics of intent, such as communications about an RDD attack, would be hard to gather and might be deliberately misleading. (3) Terrorist acquisition of expertise to make an RDD may correlate with the threat, but it may take only one or a few people to provide that expertise, and determining whether a terrorist group has tapped into those people could be difficult. (4) Predictions about terrorist threats may look arbitrary or alarmist. For example, the Commission on the Prevention of WMD Proliferation and Terrorism opened its report by stating, "The Commission believes that unless the world community acts decisively and with great urgency, it is more likely than not that a weapon of mass destruction will be used in a terrorist attack somewhere in the world by the end of 2013." But might the probability be 25 percent? Might it be as high as 75 percent? Why 2013 instead of 2011 or 2020?

RDD 攻撃の可能性

RDD 攻撃を予防、対応、回復する能力は、9/11 以降大幅に改善され、多くの分野で能力が改善しています。しかし、武器競争やスポーツの場合と同様に、一方の側での改善は、相手側が同等もしくはそれ以上の改善をした場合は意味をなしません。したがって、米国が 9/11 以前よりも RDD 攻撃に対してより安全であれば、質的に評価することは難しいようです。データが集約されにくく、データに基づく推論が困難な場合があるため、RDD 攻撃の確率やそれがどのように変化したかを判断するのは困難です。例：(1) 保護されていない放射能源の数は脅威に関連しているが、それと高度に相関していない可能性がある。テロリストは、1 つまたは複数の RDD を作成するために、1 つまたは複数のカテゴリ 1 のソー

スのみを盗む必要があります。内部と外部からの脅威からすべての情報源が保護されるまでには、長年かかるでしょう。（2）テロリストの意図は脅威と関連しますが、RDD 攻撃に関する通信などの可能性のあるメトリクスは集まりにくく、意図的に誤解を招く可能性があります。（3）RDD を作るための専門知識をテロリストが取得することは、その脅威と関連するかもしれないが、その専門知識を提供わずかで、テロ集団がそれらの人々に接近したかどうかを判断することは難しい。（4）テロリストの脅威に関する予測は、恣意的または憂慮するよう見えるかもしれない。例えば、WMD の拡散とテロの防止に関する委員会は、「委員会は、世界共同体が断固のかつ大きな緊急性を持って行動しなければ、2013 年末までに世界のどこかでテロ攻撃に大量破壊兵器が使用される可能性が高いと信じている」と述べた。しかし可能性は 25 パーセントだろうか、もしくは 75%にもなるでしょうか？ 2011 年もしくは 2020 年ではなくなぜ 2013 年なのだろうか。

Even if intelligence agencies could generate the probability of an RDD attack, it is unclear if that information would be of use to Congress. If the probability dropped from 50 percent five years ago to 25 percent now, would Congress reduce the amount of funds dedicated to preventing, responding to, and recovering from an RDD attack by half? Probability would be but one of many factors affecting budget decisions. Further, an assessment that an RDD attack has become less likely over the past five years would not necessarily indicate the likelihood over the next five.

たとえ諜報機関が RDD 攻撃の可能性を生み出すことができたとしても、その情報が議会に役立つかどうかは不明である。5 年前の 50%から今の 25%に低下した場合、議会は RDD 攻撃の防止、対応、復旧に専念する資金の額を半減させるだろうか？ 確率は、予算決定に影響する多くの要素の 1 つにすぎません。さらに、RDD 攻撃が過去 5 年間に起こりにくいという評価は、必ずしも次の 5 つの可能性を示しているとは限りません。

Impact of an Attack

Decisions on allocation of funds among various CBRN-related programs would benefit by knowing the value of such programs. One way to assess value would be to measure the impact of various CBRN attacks. For example, if an attack using one type of CBRN would have ten times the impact of another, it might be appropriate to spend ten times as much to counter the first attack as the second.

攻撃の影響

さまざまな CBRN 関連プログラム間の資金配分に関する決定は、そのようなプログラムの価値を知ることによって有益となります。価値を評価する 1 つの方法は、さまざまな CBRN 攻撃の影響を測定することです。たとえば、1 つのタイプの CBRN を使用する攻撃で別の

タイプの攻撃の 10 倍の影響がある場合、第 1 の攻撃に対抗するために 10 倍を第 2 の攻撃とし費やすことだ適切な時もあります。

Measuring impact, however, is difficult. (1) Even lives lost, the most straightforward metric, is difficult to estimate. A scenario might generate an estimate of deaths resulting from an RDD attack, but the estimate would depend on the assumptions used to create the scenario. Estimating lives lost in chemical, biological, and nuclear attacks is more difficult because the plausible range of fatalities is greater. (2) Some might challenge a scenario on grounds that assumptions were selected to produce a desired result. (3) Impact may be out of proportion to lives lost. The anthrax attacks of 2001 killed “only” five people but resulted in a great many security measures that cost significant amounts of money. The attacks of 9/11 killed some 3,000 people and led to two wars that cost hundreds of billions of dollars and killed thousands of soldiers and civilians. (4) The political impact of deaths from an attack is greater than that of deaths from accidents. For comparison, 33,808 people were killed in U.S. traffic accidents in 2009, but the political response has been less than was the case for the 9/11 attacks. (5) Another metric of impact is cost. But cost hinges on assumptions, and cost estimates of an RDD attack vary widely. Would buildings be demolished, or could R&D provide means to decontaminate at lower cost? (6) Another impact of an RDD attack is the dose level to which key areas would have to be remediated, which would affect the restricted area, the time an area was restricted, and the cost of cleanup, yet it is not clear what dose the public would consider acceptable. (7) An RDD could have significant psychological and societal impacts that could be hard to anticipate, let alone to measure. Given public fear of radiation, an attack could shake people’s sense of personal security and alter patterns of daily life.

しかし、影響を測定することは困難です。（1）失われた生命、最も単純な計量は、見積もるのが難しい。シナリオでは、RDD 攻撃による死亡の推定値が生成される可能性があります、推定値はシナリオの作成に使用された前提条件によって異なります。化学的、生物学的、および核攻撃で失われた死亡者を推定することは、可能性のある範囲がより大きくなるため、より困難です。（2）仮定が望ましい結果を生み出すために選択されたという理由で概要に挑む者もいるかもしれない（3）損失は、失われた人生に比例している可能性がある。2001 年の炭疽菌の攻撃は「5 人だけ」を殺したが、相当量の安全保障措置をもたらしした。9/11 の攻撃は約 3000 人を殺し、数億ドルの犠牲を払って数千人の兵士と一般市民を殺した 2 つの戦争につながった。（4）攻撃による死者の政治的影響は、事故による死者の政治的影響よりも大きい。比較のため、2009 年に米国の交通事故で 33,808 人が死

亡したが、政治的対応は 9/11 の攻撃の場合よりも少なかった。(5) 影響のもう一つの指標はコストです。しかし、仮定のコスト・ヒンジや RDD 攻撃のコスト見積もりは大きく異なります。建物が破壊されるか、または研究開発が低コストで汚染除去手段を提供できるのでしょうか。(6) RDD 攻撃のもう 1 つの影響は、線量レベルであり、これまでの重要な領域を修復しなければならず、制限された地域、地域が制限された時間、および浄化の費用に影響する。また公衆がどんな線量を許容できると考えているかは明らかではない。(7) RDD は、測定するだけでなく、予想することができない重大な心理的および社会的影響を有する可能性がある。放射線の公衆の恐怖を考えると、攻撃は人々の個人的安全の感覚を揺さぶり、日常生活のパターンを変える可能性がある。