

地域健康危機管理研究事業

グローバル社会に対応した健康危機サーベイランスシステム： 情報分析・グレーディング手法の開発と評価

分担研究報告書

放射線源の管理・放射線事故・災害のグレーディングに関する研究

分担研究者 国立保健医療科学院 生活環境部 鈴木元

研究要旨 放射線事故の情報をグレーディングする手法として、国際原子力機関（IAEA）の手法を報告する。放射性物質は、遮蔽や隔離など管理下に置かれ利用されている間は問題ないが、管理が不能になり、環境に露出あるいは放出される場合に、人体傷害を起こす潜在的な危険がある。IAEAは、このような事態に備え、全ての放射性物質をその物理的特性や放射活性の絶対量に基づいて危険度をグレーディングするように勧告している。このグレーディングの背景にある科学的根拠は、当該放射性物質がガンマ線やベータ線等により外部被ばくを起こした場合、ないし該当放射性物質が環境中に拡散して内部被ばくを起こした場合に急性の人体影響を起こす放射活性 D 値を基準として、当該放射性物質の放射活性 A 値との比（A/D）の大きさを五段階評価している。すなわち、カテゴリー 1：A/D 値 $\geq 1,000$ 、カテゴリー 2： $>1,00 A/D$ 値 ≥ 10 、カテゴリー 3： $10 > A/D$ 値 ≥ 1 、カテゴリー 4： $1 > A/D$ 値 ≥ 0.01 、カテゴリー 5： $0.01 > A/D$ 値 および A 値が免除レベルの場合、である。このカテゴリー分類は、放射線源の許認可、保安対策、放射線源の登録、輸出入の管理、線源へカテゴリーナンバーをラベルする目的、緊急事態時の対応策策定、情報公開などの目的に役立つ。

健康危機サーベイランスとの関係では、事前にカテゴリー登録された線源情報が登録されていることが前提になるが、カテゴリー分類 1～3 の線源の紛失や盗難、あるいは、カテゴリー分類 1～3 の線源保管場所の遮蔽劣化情報は、健康危機サーベイランスにすくい上げられ、その危険度あるいは脅威度を明示できる。

A. 研究目的

健康危機情報は、単に情報をサーベイランスし、発信するだけでは不十分である。情報をグレーディングして、その脅威度を評価した上で情報発信することが望まれる。一方、感染症、毒物・薬物、その他の化学物質、放射性物質など、健康影響の作用機序が異なる場合、同じ科学的物差しに従ってグレーディングすることが、可能か否か検討する必要がある。情報を受け取る側からいえば、脅威度が同じ程度であれば、原因物質が何であれ、同じレベルのグレーディングがなされると混乱が少ない。

本研究では、放射性物質という特殊な領域で、脅威度がどのような科学的根拠で評価され、当該放射性物質が絡む事故がどのようにグレーディングされるのかを IAEA の文書から纏める。もって、次年度以降の感染症や毒物・薬物、その他の化学物質などのグレーディング基準を考える上での参考としたい。

B. 研究方法

本研究は、文献調査による情報収集である。基本文献は、IAEA のホームページから関連する英文文書を PDF ファイルとしてダウンロードし、日本語に読み下した。

文献リスト

1. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment. "Categorization of Radioactive Sources". Safety Guide No. RS-G-1.9, IAEA Vienna, 2005.
2. IAEA-TECDOC-1344 "Categorization of radioactive sources", IAEA Vienna, 2003.
3. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment. "Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency" Draft Safety Guide DS105 (Version 10), IAEA Vienna 2006.

C. 研究結果

(1) 放射線源のグレーディング : D 値
放射線源が絡む事故では、線源の大きさ(放射活性)と核種によって評価が変わる。

放射活性の大きさは、被ばくの大小に関連している。他方、核種による差異、すなわち、透過性の強いガンマ線を放出する核種なのか、透過性の弱い主にベータ線を出す核種なのか、透過性の弱いアルファ線を出す核種なのかといった性状は、当該放射性物質がどのようなシチュエーションで人体影響を発揮するかに関係する。透過性の高いガンマ線は、遠隔にあっても被ばくを起こす。他方、透過性の低いベータ線やアルファ線は、皮膚や粘膜に接触したり、吸入されたりしない限り、大きな障害を起こさない。

そこで、IAEA は、核種毎に基準となる D 値(危険値、dangerous value)を定義している。D 値の科学的根拠は、被曝した場合に、表 1 に示す人体組織に放射線影響(確定的影響)を 95~99%の人々に惹起する被曝線量から算定された放射活性量と定義されている。放射線の人体影響の代表的な病態の一つに、放射線起因性骨髄抑制がある。急性の被曝では、骨髄の被曝線量が 1 グレイ(Gy)を上回ると臨床的な骨髄抑制が観察される。外部被曝だけでなく、体内に取り込まれた放射性物質による被曝でも骨髄抑制は起こりうる。放射線傷害の一形態に放射線肺臓炎がある。線エネルギー付与の低い(低 LET、low linear energy transfer)放射線であるエックス線やガンマ線による外部被曝および低 LET 放射線であるベータ線を出す核種の吸入による内部被曝では、2 日の被曝で 6 Gy を超すと放射線肺臓炎の危険がある。高 LET 放射線であるアルファ線をだす核種(プルトニウムやウラン)の吸入内部被曝の場合には、1 年の蓄積線量が 2.5 Gy 以上で放射線肺臓炎の危険がある。甲状腺は、エックス線やガンマ線の外部被曝の場合でも、放射性ヨウ素の内部被曝の場合でも、甲状腺の被曝が 5 Gy を超すと、甲状腺機能低下症の危険がある。皮膚は、一般に 1.2~1.5 Gy を超すと 2 度の放射線熱傷を発症する。急性被曝で皮膚線量が 2.5 Gy を超した場合、難治性の皮膚障害となる。

外部被曝のシナリオでは D₁ 値が、内部被ばくのシナリオでは D₂ 値が定義される。D₁ 値は、放射線源が密封状態にある場合で、主にガンマ線被曝を想定している。D₂ 値は、

爆発で飛散した場合や液状物に溶かし込まれた状態の放射性物質が、内部被曝を起こす場合の値である。爆発では、10%の放射性物質が吸入可能な粒子径になると仮定して計算されている。代表的な核種の値を表2に纏める。これ以外の核種に関しては、文献3を参照されたい。

放射性物質以外の毒物・薬物等にD値の概念を導入すると、 D_1 値は、服用や接触により毒性を発揮する最低用量と定義できるだろう。他方、 D_2 値は、事故で当該毒物・薬物等が漏洩した場合や、テロ等で毒物・薬物等を人為的に散布する場合に該当する値と考えられるため、平均的な拡散と摂取・吸入のシナリオを設定する必要がある。また、拡散の過程での毒性の劣化を考慮する必要がある。

(2) 放射線源のグレーディング：A/D 比による五段階分類

上記の放射線傷害を起こす基準の放射活性(D値)を定義すると、個々の放射線源の放射活性(A値)はその何倍あるいは何分の一に当たるかという比較で、潜在的危険度を評価可能となる。すなわちA/D比である。IAEAは、表3のごとくにA/D比を五段階に分類し、カテゴリー1とカテゴリー2が潜在的危険度の高い線源で、遮蔽・隔離が外れてしまったり、爆発等で線源が飛散してしまったりした場合に、複数の住民に危険が及ぶ可能性のある線源と考えている(表4)。カテゴリー3の線源は、管理が不適切な場合に、その線源を直接取り扱う少数の個人に対して潜在的危険がある線源である。カテゴリー4およびカテゴリー5は、確定的な人体影響を来すことはない。

このカテゴリー分類では、被曝した個々の人の重症度と被曝する人数の両要因が積算された量として、カテゴリー化されているともいえよう。

カテゴリー1には、日本では使われていないRI熱発電機用線源が入っている。ストロンチウム90やプルトニウム238の崩壊熱を利用して、発電機を動かす装置のようである。宇宙衛星や無人無線中継所や無人灯台などの電源として諸外国で利用されている。旧ソ連邦崩壊後、管理されなくなったRI熱発電機線源を住民が拾い、被曝事故

が起きている。IAEAと米国は、共同で旧ソ連が各国に放置した線源の回収を行っている。それというのも、本線源は、ダーティ爆弾に利用される危険性が指摘されているからである。

日本国内に目を向けると、カテゴリー1と2の大部分の線源が医療・研究分野で利用されている線源である。大震災や火災など、テロ以外でもこれらの線源の管理が脆弱化する可能性がある。我が国では、IAEAの勧告を受けて今年度より、カテゴリー1とカテゴリー2およびカテゴリー3のブラキセラピー用線源(アフターローディング線源)に関して、放射線源登録制度を開始している。この登録情報を災害や事故時に地域の厚生行政当局が利用できれば、健康危機管理上、有用である。

D. 健康危機情報

なし

E. 研究発表

論文発表

CBRNEテロ対処研究会編著「NBCテロ対処ハンドブック」の分担執筆(放射能・核テロに関する章を分担)「診断と治療社」(東京都千代田区)2008年出版予定

口頭発表

鈴木元 教育講演「IAEAおよびNCRP文書に見る放射線テロにおける第一対応者のためのガイドライン」第11回放射線事故医療研究会 平成19年8月25日、福島

F. 知的財産権の出願・登録状況

なし

表 1. D 値は、以下のいずれかの放射線傷害を来す放射活性として定義.

骨髄	2 日で 1 Gy
	1 0 0 時間で 1 Gy (移動不能の線源)
肺	低 LET 放射線 2 日で 6 Gy
	高 LET 放射線 一年で 2 5 Gy
甲状腺	2 日で 5 Gy
皮膚	1 (又は 2) cm の深さで、手(又は全身何処でも)に 1 0 時間で 2 5 Gy

表 2. 代表的な核種の D 値

核種	D ₁ 値*、D ₂ 値* (TB q)
コバルト-60 (⁶⁰ Co)	0.03、 30
セシウム-137 (¹³⁷ Cs)	0.1、 20
イリジウム-192 (¹⁹² Ir)	0.08、 20
ストロンチウム-90 (⁹⁰ Sr)	4、 1
プルトニウム-238(²³⁸ Pu)	300、 0.06
アメリシウム-241(²⁴¹ Am)	1、 0.06

* D₁ 値は、外部被曝の場合の値、D₂ 値は、放射性物質が塵埃として飛散し、吸入や消化管等から吸収された場合の値である。飛散の場合は、1 0 %の放射性物質が吸入される粒子径になると仮定している。

表 3. A/D 比に基づくカテゴリー分類

危険度	A/D の範囲	具体例
カテゴリー1	$A/D \geq 1000$	RI 熱発電器線源、放射線滅菌線源、血液・組織照射装置線源、治療用線源など
カテゴリー2	$1000 > A/D \geq 10$	一部の治療用線源、非破壊検査用線源など
カテゴリー3	$10 > A/D \geq 1$	ブラキセラピー用線源(高線量率)、油井用線源等
カテゴリー4	$1 > A/D \geq 0.01$	ブラキセラピー用線源(低線量率)
カテゴリー5	$0.01 > A/D$ and $A >$ 免除レベル	

表4. カテゴリーの医学的・放射線学的意味

カテゴリーレベル	線源が人体の近くにある場合のリスク	線源の放射性物質が火災や爆発で拡散される場合のリスク
1	個人に対して極めて危険。安全に取り扱われない場合、あるいは安全に管理されない場合、それを取り扱った人間、あるいは2～3分以上さわった人間に生涯のこの傷害を起こす可能性が高い。遮蔽されていない場合、その近くで被曝した場合、数分から一時間の被曝で致死である。	この量の放射性物質が拡散されたとき、あまりありそうではないが、可能性として近傍の人間に生涯に亘る傷害を与えたり、生命に係わる障害を与えうる。200～300m離れた場所では、急性の健康影響はほとんど無いが、放射能汚染された場所は、国際基準に従い浄化される必要がある。
2	個人に対して大いに危険。安全に取り扱われない場合、あるいは安全に管理されない場合、それを取り扱った人間、あるいは短時間(数分～数時間)さわった人間に生涯のこの傷害を起こす可能性が高い。遮蔽されていない場合、その近くで被曝した場合、数時間から数日の被曝で致死である。	この量の放射性物質が拡散されたとき、あまりありそうではないが、可能性として近傍の人間に生涯に亘る傷害を与えたり、生命に係わる障害を与えうる。100m離れた場所では、急性の健康影響はほとんど無いが、放射能汚染された場所は、国際基準に従い浄化される必要がある。
3	個人に対して危険。安全に取り扱われない場合、あるいは安全に管理されない場合、それを取り扱った人間、あるいは何時間かさわった人間に生涯のこの傷害を起こす可能性が高い。ありそうではないが、遮蔽されていない場合、その近くで被曝した場合、数日から数週の被曝で致死である。	この量の放射性物質が拡散されたとき、極めてありそうではないが、可能性として近傍の人間に生涯に亘る傷害を与えたり、生命に係わる障害を与えうる2～3m離れた場所では、急性の健康影響はほとんど無いが、放射能汚染された場所は、国際基準に従い浄化される必要がある。
4	個人に対して危険性はほとんど無い。ありそうにないが、未遮蔽の線源を何時間も接触していたなら、一時的な傷害は発生しうる。	この量の放射性物質が拡散しても、生涯に亘る傷害は発生しない。
5	個人に対する影響は、最も考えにくい。	この量の放射性物質が拡散しても、生涯に亘る傷害は発生しない。