

身元不明線源問題検討委員会報告書

日本保健物理学会

2002年5月

まえがき

本報告書は、日本保健物理学会理事会の下に組織された直属の臨時委員会である身元不明線源問題検討委員会が2001年4月から2002年3月までに行った活動成果をまとめたものである。身元不明線源は、英語の「Orphan Sources」の訳語として日本保健物理学会が当てたものである。IAEA BULLETIN 41/3/1999によると、次のような線源を含めた制御されていない線源のことを意味する。

- (1) 規制による管理を過去にも受けたことがない線源
- (2) 過去には規制による管理を受けていたが、遺棄、紛失、あるいは誤配置された線源
- (3) 盗難あるいは、正当な手続きなく処分された線源

上記の意味において、日本語訳として、「身元不明線源」とした。

本委員会の活動成果は、次の学会などで発表を予定している。

- (1) 日本保健物理学会第36回研究発表会（金沢）

「スクラップに混入した線源からの漏洩線量に関する実験および解析的検討」

高橋知之、甲斐倫明、山崎和也、五味邦博、中里一久、飯田孝夫

- (2) 日本保健物理学会第36回研究発表会（金沢）

「急性放射線障害と社会的混乱の回避を目的とした身元不明線源の分類」

甲斐倫明、高橋知之、中里一久、山崎和也、五味邦博、飯田孝夫

- (3) AOCR-1（ソウル）

A proposal for prevention of acute radiation hazard and social panic regarding orphan sources in Japan:

T. Takahashi, M. Kai, K. Yamazaki, K. Gomi, K. Nakazato, T. Iida

また、これらを論文としてまとめると共に、関連するラドン温泉器からのトロン散逸率の測定やアースキーパーの同定については委員会メンバーが発表を予定している。

身元不明線源問題検討委員会のメンバー構成は次の通りである。

委員長 飯田孝夫（名古屋大学）

幹事 甲斐倫明（大分県立看護科学大学）

五味邦博（日本アイソトープ協会）

高橋知之（京大炉）

中里一久（慶応大学）

山崎和也（千代田テクノル）

協力者 池田清朗（日本鉄リサイクル工業会）

以上

目 次

1. 委員会の活動目的
2. 身元不明線源問題の国内外の現状
 - 2.1 国内の現状
 - 2.2 諸外国の現状
3. 国内の鉄スクラップ事業の現状
 - 3.1 事業の概要
 - 3.2 放射性物質混入対策の現状
4. 身元不明線源の線源分類
 - 4.1 線源分類の考え方
 - 4.2 線量のカテゴリー
 - 4.3 線源のカテゴリー
 - 4.4 考察
5. 弱い線源に対する対応のあり方
 - 5.1 社会的な混乱が起きた事例
 - 5.1.1 家庭用ラドン温泉器
 - 5.1.2 アースキーパー
 - 5.2 初期対応のあり方
6. 弱い線源の測定
 - 6.1 家庭用ラドン温泉器
 - 6.1.1 表面線量率
 - 6.1.2 ラドンおよびトロンの散逸率
 - 6.2 アースキーパー
 - 6.2.1 線源の身元
 - 6.2.2 線源の表面線量率
 - 6.2.3 核種の同定と定量
7. 強い線源に対する対応のあり方
 - 7.1 強い線源
 - 7.2 強い線源に対する対応
8. 身元不明線源を発見するための測定のあり方
 - 8.1 ゲートモニタの種類及び性能

8.2 ゲートモニタによる線源の検出

8.2.1 ゲートモニタによる実験

8.2.2 しゃへい計算

8.2.3 考察

8.3 サーベイメータによる線源の検出

8.4 本章の結論

9. 身元不明線源を減らすための対策

9.1 線源の発見を促進するための仕組み

9.2 発見された線源の扱い

10. 提言

1. 委員会の活動目的

世界的に金属スクラップ中に放射性物質が紛れ込む事件が発生している。我が国でも、近年、鋼材の原料となる金属スクラップから放射性物質が検出される事件が和歌山、加古川、水島において相次いで発生した。2000年5月に開催されたIRPA-10でも「Orphan Sources & Radioactivity in Scrap Metals」のトピカルセッションがもたれ、世界的に大きな問題になっていることが報告され、各国での対応が急がれている。放射線防護の中心的学会である日本保健物理学会が、身元不明線源（orphan sources）問題を把握し、今後の対応を検討しておくことは社会的な使命として重要と考え、検討委員会の設置し検討を行った。

本委員会は、身元不明線源問題を解決するために今後我が国において何をしなければならぬかを提言すると同時に、日本保健物理学会が果たす役割について検討した。

スクラップの問題は、国外からの輸入スクラップと国内で集められたスクラップとに分けられる。国外からの輸入スクラップに対しては、いかに水際で発見するかにかかっているのに対して、国内スクラップは、線源管理の問題、使用していない線源の処理の問題など検討すべき課題は多い。とくに、加古川の事件は、意図的に医師と医療機器販売会社が違法に廃棄した事例である。身元不明線源を発生させないための根本的対策、あるいは身元不明線源が発生しても発見を促進するような仕組みを構築することが求められる。また、潜在的に放射性物質に近くで接触する可能性の高いスクラップ業者の放射線防護をどのように考えるかがこの問題の大きな課題である。1987年に発生したブラジルのゴイアニア事故、2000年に発生したタイの事故などはスクラップ業者の被ばくである。台湾のように一般公衆が被ばくの対象となるケースよりスクラップ業者が被ばくをする可能性のほうが高いと予測される。本委員会では、金属スクラップ問題を含めた身元不明線源からの被ばく事故を起こさないための措置と、万が一発生した場合に、被害を最小限に抑えるために必要な対策について検討し、その結果を社会に提言することを目的とした。

2.身元不明線源問題の国内外の現状

2.1 国内の現状

身元不明線源の原因には、過去に下記のような場合があった。

障害防止法施行以前から使用している場合。

使用に際し使用者が文部科学省の許認可が必要であることを知らなかった場合。

「校正用線源」ということで、使用者及び販売業者が文部科学省の許認可が不要と思っていた場合。

海外での法規制が無かったので、輸入装備機器等に放射性物質が利用されていることを知らなかった場合。

国内で法律規制対象外の放射性物質を機器等に装備している場合。

放射性物質の廃棄の措置を間違えた場合。

その他

の場合は、障害防止法施行以前(大正時代のものもある)から使用された医療用の²²⁶Raの針、管状等の密封線源がこれに相当する。医療用の²²⁶Raの針、管状等線源は、皮膚科、産婦人科等で広く利用されていたことがあり、特に古い病院では、文部科学省の許認可が必要であることを知らなかった場合や許認可を申請する際に線源の存在を知らなかった場合が多い。この場合の対応は、使用者(主に病院)が²²⁶Ra身元不明線源を鉛容器に入れ、鍵のかかる金庫等の保管場所に安全に保管していたため、放射線障害が起きることはないが、念のため文部科学省担当官が現地の立入検査を行い、安全を確認し、その後、線源が不要であれば廃棄する方法が取られており、ここ3年は、²²⁶Ra等の身元不明線源が発見されていない。また、障害防止法施行以前から放射線の研究をしている大学や研究所では、²²⁶Ra以外にも、¹³⁷Cs線源や天然ウラン(酢酸ウラン、硝酸ウラン等)等の半減期が長い放射性物質が発見されており、必ずしも、密封線源だけではない。これらは、施設の移転や建物の取壊し時に部屋や倉庫の整理をしていた時に発見されている。

の場合は、⁹⁰Srのアイアプリケータでドイツのメカが製造したものを、国内医療機器輸入業者(販売の業を取得していた)が、使用者(病院)の許認可を確認せずに販売していた例があった。通常は、放射性物質の売買及び譲渡・譲受の場合は、双方の許認可を許可証等で確認することになっており、数年前に出された科学技術庁放射線安全課長通達に従いより厳重に遵守されている。

の場合は、⁹⁰Sr、²²⁶Raの校正用線源が、測定器の付属品として輸入され、使用されていたことがあった。どちらも、使用者は病院の場合が多く、線量計のため、機器には線量の表示のみであったため、マニュアル等に記載されたBq(Ci)を見落としていたものと思われる。

の場合の例としては、 ^{63}Ni (370MBq) を装備したリ - クメ - タ (ガス漏れ検出器) を国内数事業所で文部科学省の許認可を取得せずに使用していたことがあった。リ - クメ - タについては、使用者が使用中に機器に貼ってあった放射能標識 (小さいもの) に気付いたことで判明した。また、 ^3H (185GBq) を装備した映画館等の出入口表示等が海外で使用されており、商社が販売を計画し、現品を持って文部科学省へ相談に行ったことにより判明した場合もあった。これらは、海外との法規制の違いによるもので、 ^3H 、 ^{63}Ni 共に、低エネルギー - の 線源であり被曝の可能性はない。

の場合、ラドン温泉器はトリウムを使用しており、放射能濃度は 370Bq/g 以下であるが、ゲ - トモニタで一番多く検出されている。特に、ラドン温泉器は、一般家庭で使用しているもので、デパ - ト等で販売しており、かなりの数が国内で使用されていると思われる。また、ア - スキ - パ - は、天然ラジウム鉱石 (カタログによる) を使用しており、自動車のエンジンの吸排気系統に利用されている。どちらも、一般家庭で使用されている物である。

の場合は、海外から輸入されたスクラップに放射性物質等 (密封線源、汚染したダクト) が紛れ込んでいた場合があった。密封線源が検出された例としては、平成 12 年 4 月の和歌山での $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ 中性子線源と ^{137}Cs 線源の例や平成 13 年 3 月の山口での ^{137}Cs 線源の例がある。また、汚染したダクトの例としては、平成 13 年 3 月に ^{226}Ra で汚染したダクトが 10 本検出された例がある。その他、チタン精錬時のウラン、トリウムの残渣で汚染された金属が検出された例がある。輸入スクラップの放射性物質等の混入に関しては、各国の出入り口でのチェックが必要不可欠であり、国際的な見地から対応する必要がある。

2.2 諸外国の現状

現在、世界では金属スクラップに混入される身元不明線源に対する対策が各国で進められている。とくに IAEA は、1999 年にアクションプランを作成し、使用済みの線源の管理のあり方などについて勧告している。

スクラップ業者が犠牲者となった事故の代表的なものがブラジルのゴイアニア市で 1987 年に起きた事故である。この事故は、廃院となった施設にあった放射線治療用の ^{137}Cs の照射装置が解体され、拾われた線源部分がスクラップ業者の手に渡ることで放射線障害事故が起きた。事故の発見は事故で死亡した女性が健康に異常に気づいたことが端緒となっている。この事故では、スクラップ業者の親類および友人など 4 名が死亡している。2000 年にもタイにおいて死亡者をだす事故が発生している。

身元不明線源に関係した事故は表 2.1 に示した。すべての事故で過剰被ばくに至った原因は放射線源であることを認識していないためであり、放射線測定によって未然に防ぐことができた事故ばかりである。多くの事故で、金属スクラップは商品的価値があることが事故につながっている。過去に利用された放射線線源が使用済みとなって、誤って廃棄されたり、誤配置されたりした結果、線源としての認識がなく、金属スクラップ

としてリサイクルされる可能性は今後ますます増大するものと考えられる。米国では、1983年以來、線源を高炉で溶融してしまった事故が20件報告されている。これらの事故では、人の過剰被ばくに至っていないが、除染などに伴う経済的損失は極めて大きいものがある。平均で800万ドルから1000万ドルの費用の負担を製鉄メーカーは被っているとされている。

参考文献

IAEA: The Radiological Accident in Goiania. IAEA, Vienna (1988)

IAEA: The Radiological Accident in Tammiku. IAEA, Vienna (1998)

IAEA: The Radiological Accident in Lilo. IAEA, Vienna (2000)

IAEA: The Radiological Accident in Yanango. IAEA, Vienna (2000)

Abel J. Gonzalez: Strengthening the Safety of Radiation Sources & the Security of Radioactive Materials: Timely Action. IAEA Bulletin, 41/3/1999.

Greta Joy Dicus: USA Perspectives: Safety & Security of Radioactive Sources. IAEA Bulletin, 41/3/1999.

表2.1 世界における主な身元不明線源の事故例

発生場所	年	線源	用途	放射能強度	被ばく線量	放射線障害
Japan	1971	Ir-192	ラジオグラフィ	192.4 GBq	0.2 - 1.5 Gy	
Mexico	1983	Co-60	ラジオグラフィ	37 TBq	0.25 - 5 Gy	3人死亡
Morocco	1984	Ir-192	ラジオグラフィ	1.1 TBq	Unknown	8人死亡
Goiania, Brazil	1987	Cs-137	治療用照射線源	50.9 TBq	<7Gy	4人死亡/28人障害
Tammiku, Estonia	1994	Cs-137	照射線源	150 GBq - 7.4 TBq	4 Gy	1人死亡/4人障害
Lilo, Georgia	1997	Cs-137	軍事訓練用	164 GBq, 126GBq		
Yanango, Peru	1999	Ir-192	ラジオグラフィ	1.37 TBq	<100Gy, locally	1人重傷
Cairo, Egypt	1999	Ir-192	ラジオグラフィ	1.85 TBq		2人死亡
Thai	2000	Co-60	治療用照射線源	15.5 TBq		3人死亡

3. 国内鉄スクラップ事業の現状

3.1 事業の概要

鉄スクラップ業は、発生した鉄スクラップを工場で製鋼原料として利用できるように加工して、需要者である製鋼メ - カ - に販売する事業である。国内で年間約1億トンの粗鋼が生産される中、鉄スクラップの使用量は、約3千万トンあり、3分の1が鉄スクラップを原料としていることが分かる。このように大量の鉄スクラップが取扱われるため、搬送、荷役、加工の大部分が機械化されている。つまり、搬送はトラック又は船舶により、荷役は建設用重機（パワ - ショベル等のアタッチメントを変えたもの）又はマグネット付きクレーンにより、加工はプレス（圧縮）・シャ - （切断）・シュレッダ - （破碎）によっている。工場の広さは、2千5百平方メートルから3千平方メートルが平均となっている。鉄スクラップは発生品であることから鉄スクラップは市況性が高く、国内的には需給バランスに左右される。さらに日本は、現在鉄スクラップの輸出国であり、ここでは国際価格に左右される。そして国内が安価になると輸出が増えるという相関関係があり、鉄スクラップの価格は国際比価となっている。ここ近年日本の鉄スクラップは、輸入と輸出の転換が起こり、年間輸出が500万トンを超える状況が生じ、鉄スクラップ輸出国としての地位を着実に築いている。しかし、その種類等（例：ステンレス等）によってはいまだに輸入が行われている。

鉄スクラップの流通は図3.1に示す通りであり、直納制度（指定した直納業者からのみ購入する制度。他の業者は、直納業者の名義で納入する。）が特徴的である。

3.2 放射性物質混入対策の現状

混入した場合の放射性物質と人体との遭遇は、発生元における積込み、トラックによる運送、工場での保管、加工、積出しというように作業のすべての面において起こり得る可能性が高い。工業会会員に対しては、「放射性物質混入対策マニュアル」を配布し、発見時の対応に資しているが、発見するための放射線測定器の設置の普及が行われていない。放射線測定器を設置した製鋼メ - カ - において発見され、マニュアルにしたがった対応をする事例が多く、それ以前に接近した者は、危険に直面していることになる。かような状況が起こり得る以上、鉄スクラップ業界の放射線測定器（ゲ - ト式、手持式）の更なる普及が必要であり、また鉄スクラップの遮蔽効果が大きいことから、鉄スクラップに接近する労働者個々にも衣服に装着できる測定器の必要性も考慮しなければならない。さらに、会員外の鉄スクラップ業者やステンレススクラップ業者を含んだ幅広い連絡システム構築が望まれる。

2001年5月の放射線測定器設置状況調査結果は、表3.1の通りである。

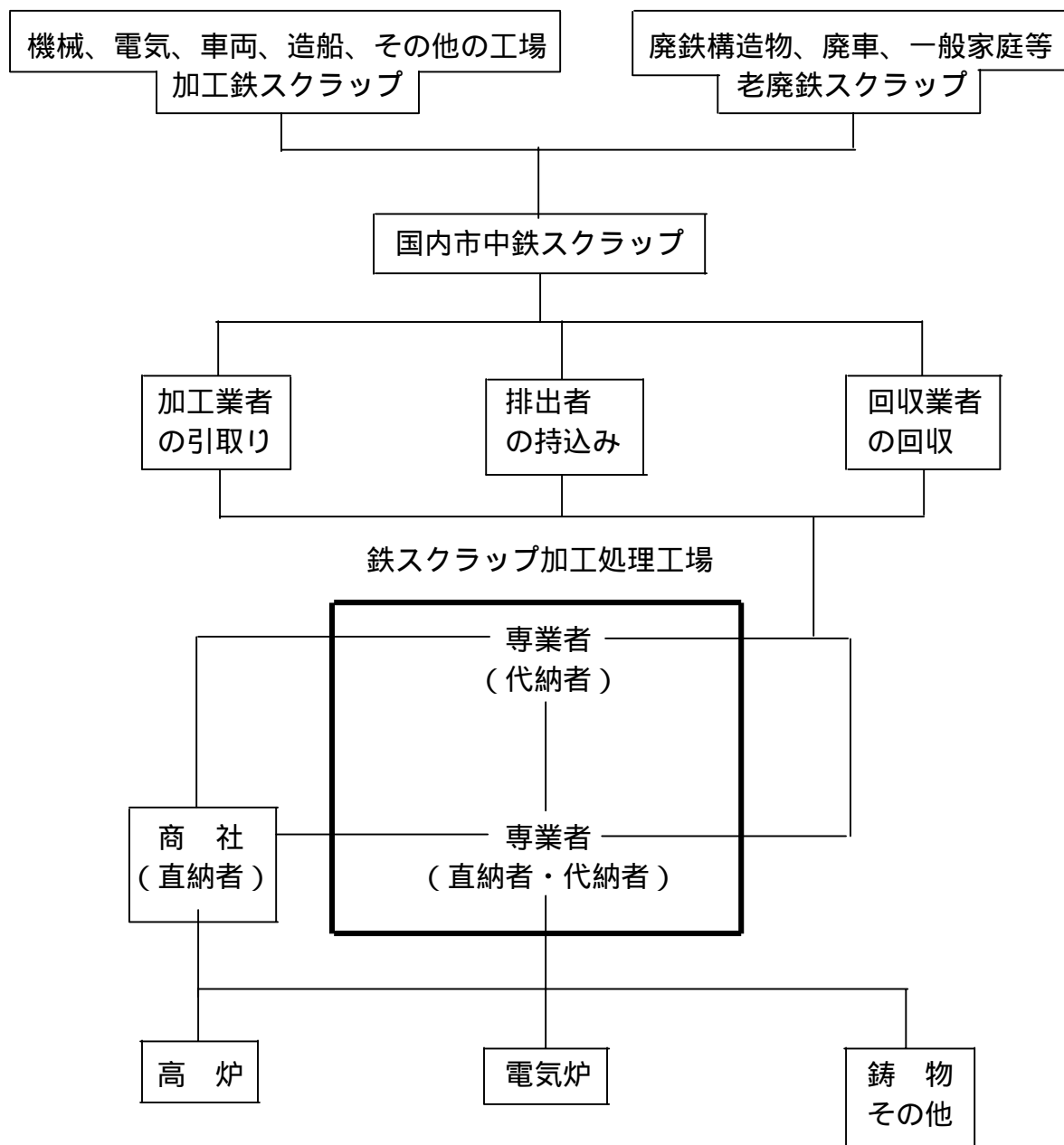


図 3.1 鉄 ス ク ラ ッ プ の 流 通 経 路

表 3.1 放射線測定器設置状況 (2001年 5月 現在)

放射線検知機を設置しているか 308事業所

	い る	い ない	計 画 中	考 えて いない
北 海 道	3	7	1	4
東 北	6	12	4	5
関 東	24	55	13	15
中 部	9	28	8	9
関 西	25	19	9	9
中 四 国	6	7	4	1
九 州	3	14	4	4
計	76	142	43	47

放射線検知機の種類 129基

	門 型	手 持 型	そ の 他
北 海 道	4	5	
東 北	12	5	
関 東	8	30	
中 部	1	14	
関 西	3	30	1
中 四 国		12	
九 州	1	3	
計	29	99	1

放射線検知機の希望種類 45基

	門 型	手 持 型	そ の 他
北 海 道		1	
東 北	1	4	
関 東	4	10	
中 部	1	7	
関 西	2	8	
中 四 国	1	3	
九 州		3	
計	9	36	

4. 身元不明線源の線源分類

4.1 線源分類の考え方

線源の分類は、身元不明線源に対する社会的な対応の規準となるものである。つまり、身元不明線源が発見された場合に、その線源がどの程度の重大さをもつものであるかを判断する目安となる物差しがあるとさまざまな対応が容易となる。社会的にどの程度の強さの線源なのかは潜在的な影響を考える上で必要な情報となるからである。

線源の分類は、ヒトへの放射線影響を基準にして決めることが最も適切である。放射線影響は、放射線防護の視点から、確定的影響と確率的影響に分類される。線源の分類に際しては、身元不明線源に接触する人々および接触時間が限られていること、また、障害と被ばくとの関係が明確であることが必要とされることなどを考慮して確定的影響を防止するという考えを優先した。

4.2 線量のカテゴリー

線源からの外部被ばくによる全身被ばくに限定して、線量を次のようにカテゴリー化した。

1 群：3Gy 以上	：半致死線量の下限值
2 群：1Gy-3Gy	：急性放射線症状
3 群：0.5Gy-1Gy	：末梢血中の血球数の減少
4 群：0.1Gy-0.5Gy	：臨床症状は認められない
5 群：0.1Gy 未満	：健康障害を考えなくてよい

4.3 線源のカテゴリー

線源の強さは発見した現場ですぐに決定できないことがほとんどである。しかし、線源の強さの目安となる線量率は現場で容易に測定することが可能な量である。したがって、線源の分類を線量率で表現することが実用的である。線源と線量との関係は、

- 線源から 1m 地点で 3 日間被ばくする
- 線源は光子エネルギーの大きい Co-60 の点線源

と仮定することで、線源の強さを空気カーマ率定数を用いて計算した。この結果を下に、実際の現場での実用性を考えて、線源から 1m 離れた地点での線量率を次のように分類した。

A 群（かなり強い線源）	：10mGy/h 以上	（Co-60: 33 GBq 相当以上）
B 群（強い線源）	：1 mGy/h 以上	（Co-60: 3.3 GBq 相当以上）
C 群（弱い線源）	：1 μ Gy/h 以上	（Co-60: 3.3 MBq 相当以上）
D 群（微弱な線源）	：1 μ Gy/h 未満	

ここでは、A 群と B 群を強い線源、C 群と D 群を弱い線源、と呼び、さらにそれぞれを 2 群に分けて、かなり強い線源と強い線源、弱い線源と微弱な線源と呼ぶことにした。

4.4 考察

IAEA(2000) は、身元不明線源の対応のために表 4.1 に示すように線源を分類した。これは、線源の強さだけが事故の重大さにつながるのではなく、線源が一般の社会生活の中に入り込む可能性を考慮したものになっている。

日本で現在起きている身元不明線源の事件は C 群および D 群である。世界で過去に起きた重大な事故(表 2.1) はすべて A 群である。ここで提案する分類は、急性放射線障害の発生と社会的混乱の回避を目的として、あくまでも身元不明線源に対する現場で対応の目安のものであり、一般に管理されている線源に適応するものではない。

表 4.1 IAEA の線源分類

Category	Types of Source
1	Industrial Radiography Teletherapy Irradiators
2	High dose rate Brachytherapy Fixed industrial gauges involving high activity sources Well logging Low dose rate Brachytherapy
3	Fixed industrial gauges involving low activity sources

参考文献

IAEA. Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources. IAEA, Vienna (2000).

注) 線量のカテゴリには、Svではなく、Gyを使用した。これは、確定的影響を主な対象として考慮しているためである。他の章では、Svを利用している場合があるが、これは測定器の表示が Sv 表示であるために、そのままの単位で利用した。

5. 弱い線源に対する対応のあり方

5.1 社会的な混乱が起きた事例

社会的混乱が起きる原因の一つに連絡体制があると思われる。放射線施設外から放射線が検出されたとの報告に際し、第一報を受けた警察、消防等は、通常、大事故を想定し、第一に近隣住民の安全を考え、緊急車両を出動させ、現場の測定等を行い、現場の縄張り、住民の避難等の対応を行った後、現場の安全性を確認する。その時、プレス関係者が同時に報道活動を行っているため、情報が広がることになる。文部科学省の対応は、本庁から検査官を派遣し、現状を検査後、異常があればその対応を行い、異常が無ければ安全宣言をする。

以下に、スクラップから放射性物質が検出された事例で、社会的な混乱が起きた例を2件示す。どちらも、警察、消防等に第一報をし、住民をひなんさせた例であるが、放射線事故の場合、事故の規模や状況について正確に把握し、その対応について適切な判断をする人がいない場合は、放射線施設外から放射線が検出された場合は、近隣住民の安全を考えることが最優先されるので、警察、消防等への第一報は当然の措置であり、そのための多少の社会的混乱は止むを得ないと思われる。

5.1.1 家庭用ラドン温泉器

2001年3月30日、S市環境局I工場で放射性物質が発見されたとの連絡がS市消防局へ入った。

(1) 連絡内容:検出されたものには、「家庭温泉用トロン(24時間風呂)」と記載されており、産業廃棄物業者が測ったところ、物品表面で12,042cpsであった。S市消防局は、約5mの警戒区域を設け、現物は、袋に入っている。また、サ-ベイメ-タを携帯し現地で待機している。S市消防局は、文部科学省放射線規制室へ連絡し、指示をあおいだ。日本アイソト-プ協会にも、S市消防局から連絡が入り、現地に、専門家を派遣することになった。

(2) 専門家の報告:測定値は、物品表面で7.6 μ Sv/h。寸法は、約30cm×20cm×5cm。さらに、現場には、警察、マスコミが来ている。以上の情報をもとに、文部科学省はラドン温泉器と判断し、さらにラドン温泉器はトリウムを使用しており、放射能濃度が370Bq/g及びトリウムの総量が900g以下であるので、「核燃料物質、核原料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令」対象外と判断した。

5.1.2 ア-スキ-パ-

2001年7月6日、Oセンタ-(株)からO県警に、ゲ-トモニタの警報が鳴ったため返品されたとの連絡があった。

(1) 連絡内容:Oセンタ-(株)からS製鐵所へ納品時に、ゲ-トモニタの警報が鳴ったため返品されたとの連絡がO県警にあった。物品は金属パイプ状で直径6cmでL字形に曲がっている。一方の端が閉じられていて、放射線はパイプ全体から検出されて

いた。N 研究所の測定によると、物品表面で $10 \mu\text{ Sv/h}$ であった。O 県警は、文部科学省放射線規制室へ連絡し、指示をあおいた。文部科学省から O 県生活環境部へ作業を依頼した。

(2) 測定結果:放射線の線量 中心部表面で約 $10 \mu\text{ Sv/h}$ (NaI シンチレーションサーベイメータ)

核種 ^{232}Th 111g 176Bq/g

以上より、5.1.1 の仙台のラドン温泉器と同様に、文部科学省は「核燃料物質、核原料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令」対象外と判断した。

5.2 初期対応のあり方

5.2.1 発見事例の分類と特徴

現代の我が国では、放射線等の取扱施設の外部で、放射線を発生する・しているらしいものが発見されるのは

- (A) 閉鎖した古い医療機関で、その解体工事が行われている場合
- (B) 金属スクラップ等が取扱業者に持ち込まれ、そこで受入時の点検が行われた場合
- (C) 放射線検出器を有する者がたまたま一般環境中の測定を行った場合

のいずれかであろう。これら以外の場合となると、放射線使用施設での事故に起因していると判断できるので、その初期対応策は法的に自ずと決まっている。このように見ると、初期対応策の起案は簡単のように思われる。しかしながら、(C) の場合を除くと、初期対応の複雑さが浮上してくる。

(A) の場合、わが国で放射線障害防止法が昭和 32 年に交付される前にも、医療機関の一部では、放射性物質を既に入手して使用していた。このような「古い」線源には、現在放射性物質であることを明示する国際標準のマークがついておらず、しかも「貴重」品として閉鎖まで大事に所持されていたために、昨今それらの機関の閉鎖・解体に伴って輩出される事例が発生している。このような事例が問題である。

(B) の場合、一般に流通しているもので、一般大衆に及ぼす影響が極めて少ないとの観点から、法規制の対象にはなっていないものがあり、これらもゲートモニタ等で検出される事例が発生しているが、このケースも「放射線事故」と扱われてしまうところに問題がある。

5.2.2 「発見」通報の初期対応に必要なこと

わが国では残念なことに、一般国民は放射線の基礎的事項を科学的に全く教育されていない。したがって、一般市民で、放射性物質らしきものを「発見」したものに対して、その事例を「問題」にしなければならないのか、しなくてもよいのかの判断基準を極めて提示しにくい。この国民特性も十分考慮して、発見時における初期対応策を構築しなければならない。この事例は初期対応を誤ると、新聞等メディアに異常なほど大きく取

り上げられ、放射線利用に対する社会的信頼が大きく失われることがある。また、一旦誤って「事故」として報道されてしまうと、国民の放射線に対する不安が一層増大し、放射線防護関係者のこれまでの多大な労力が無に帰されてしまう結果を招くことが多い。しかも、付随した風評により、経済的損失も直接・間接を問わずも膨大なものとなることに配慮しなければならない。

5.2.3 初期通報の受入体制に求められること

発見通報の初期段階で最初にその通報を受ける者は、保健所、警察署、消防署、地方自治体等であろう。こららの窓口担当者が通報を受けて、あわてたり、誤った方策に迷走したりしないように、「基準」化したマニュアルが重要となろう。そして、そのマニュアルを公開し、またその存在を公に宣伝しておくことで重要である。幸いにし、わが国でも IT 技術が様々な分野に普及してきており、上に述べた公的機関では既にほとんどの導入されている。したがって、こららの機関のホームページ上に積極的な「放射性物質の発見に対する対応マニュアル」を公開しておくことが求められる。なお、そのマニュアルは公に認知されたものを使えばよく、それぞれの窓口で作成する必要はない（その提供先は後述）。

5.2.4 金属スクラップ業界による対応マニュアルの積極的な利用

医療機関での発見の事例を除けば、放射性物質発見の大部分は今や金属リサイクル業界でのスクラップ受け入れ検査によるといえる。しかし、この業界では既に対応マニュアルを準備しているので、それを公にしていけばよい。

同マニュアルの発行事務局は（社）日本アイソトープ協会であるが、同協会が上述した様々な公の機関に対して、対応マニュアルをそれぞれの機関のホームページにも転載することを要望すべきである。

5.2.5 この「発見」事例が大事にならないで済むようになるためには

法規制外のコンシューマプロダクツに対して、下記の方針を明確に提示すべきである。すなわち、ラドン温泉器等の放射線コンシューマプロダクツの実態を示した資料を上述したように各方面に開示し、さらに踏み込んで、発見された物は「一般廃棄物あるいは一般危険物（放射性物質でない）」として廃棄できると明言していくことも恐れてはならない。

また、元医療機関での発見事例に対しては次の方向の確立を望みたい。

- (1) 現行法の適用範囲を明確にして、法施行以前のものが発見された場合の手続きを簡略化する。
- (2) この場合、引き取り処分に関わる諸経費を大幅に安くするなどの軽減策を導入する。
- (3) 発見された物質の如何に関わらず、コンシューマプロダクツ以外のものは、日本アイソトープ協会等が唯一の引き取り機関として積極的に機能する。なぜならば、現段階では核燃料・核原料物質となると誰も手を出せないという矛盾が何も解決さ

れていないからである。

5.2.6 スクラップ業者を対象としたインストラクション

モニタ等で放射線を検知した場合、また放射性物質らしきものを目視で発見した場合はむやみに騒がない事、および現場を保存する事が重要である。

放射線を検知しても放射性物質が天然、自然のものであったり、法定限度以下である場合は、法規制以下で問題がなく、一般ゴミとして扱うものもある。

これらの製品（多くは 5.1.1 や 5.1.2 に示されたもの）は写真等や銘板に記載された名称などである程度の判断がつくと思われるが、正確な判断は専門家に委ねた方が良い。

逆に、強い線源が鉄スクラップの中に隠れてしまい、表面の線量率が低く出ている場合も有り得るので、いずれにしても、専門家に連絡する事が必要となる。

このような場合の連絡体制としてリサイクル工業会では発見時の対応に関してマニュアルを制定している。マニュアルの中には対応方法、通報連絡先等が紹介されているため、リサイクル工業界の関係者は文部科学省や日本アイソトープ協会を第一通報先として認識している。

しかしながら、スクラップ工業会の組織率は約 55%であり、中小のスクラップ事業者は工業会に所属していない。これらのスクラップ業者において放射性物質が発見された場合の対応に関しても検討しておく必要がある。

そのためには、スクラップ工業会を通じて情報ネットワークを構築し、放射性物質が発見された場合の連絡体制を構築する。このネットワークを通じて放射性物質の製品情報などを流し、情報交換およびリスク管理を行うことができる。また発見時の相談窓口として発見した事業所の近くの学会員が相談を受けるなどの方法により、迅速に放射性物質の安全な取扱いを行う事も可能となる。

6.弱い線源の測定

6.1 家庭用ラドン温泉器

家庭用ラドン温泉器として、ラジウムやトリウムを微量に含んだ自称ラドン温泉器と呼ばれている種々の器具が社会に流通している。これらのラドン温泉器が一般廃棄物として捨てられ、処理の過程で時々問題が生じている。ここでは2種類の家庭用ラドン温泉器について、表面線量率とラドン(^{222}Rn)およびトロン(^{220}Rn)散逸率の評価を行った。最初にそのラドン温泉器の特徴あるいは効能書きを示す。

家庭温泉用ラドン発生器「ラドメイト」

効能書きは「日本ではラドン温泉と言われる所には、三朝温泉(鳥取)、有馬温泉(兵庫)などがあり、20世紀の初めからラドン温泉が広く人々に知れ渡ってきました。ラドン温泉と呼ばれる所には地価にラジウムやトリウムを含む鉱床があり、鉱泉や温泉の湯がその鉱床を洗って地上に湧き出すことにより、ラジウムやトリウムが溶け込み、いわゆる「ラドン温泉」となるわけです。ラドメイトは、ラドンを含んだ線源を効率よく配合しており、ご家庭で気軽にラドン温泉がご利用いただけます。」と書かれており、使用されている鉱石の成分は表示されていない。

ラジウム温泉器「らくらく」

効能書きは「らくらくを浴槽に入れるだけで、ミネラルたっぷりの温泉療法を貴方のご家庭で快適に満喫できます。

ミネラル鉱石(黒鉱石)が主成分

ラジウム温泉の湧き出る地質の地下層に分布する元素鉱物で薬石と言われています。ミネラル鉱石には、一般の温泉器とは異なり微量の酸化ラジウムや酸化トリウムが含まれている点が大きな特徴です。その他、酸化カルシウム、酸化ナトリウム、酸化鉄、酸化カリウム、酸化マグネシウムなどを含有しています。ラドンやトロン、マイナスイオンが発生しますので、湯冷めしにくいので健康管理に最適です。また冷めた残り湯を庭木にかけると生き生きとして育ちがよくなります。」と書かれている。使用されている黒鉱石の成分は表示されていない。

撮影した「ラドメイト」および「らくらく」の写真を図6-1と図6-2に示す。



図6-1 家庭温泉用ラドン発生器「ラドメイト」



図6-2 ラジウム温泉器「らくらく」

6.1.1 表面線量率

家庭用ラドン温泉器からどの程度の放射線が放出されているか、アロカ(株)のMYRATE PDR-101 線量計を使用して測定を行った。約1分の積分測定を行うことができ

るので、比較的正確な線量率を得ることができる。測定器をラドン温泉器に密着させて線量の測定を行った。密着の状態、線量計端子の中心は表面から約1cm離れている。家庭温泉用ラドン発生器「ラドメイト」の中央の表面線量率は5.7 $\mu\text{Sv/h}$ 、角で2.1 $\mu\text{Sv/h}$ であった。一方、ラジウム温泉器「らくらく」の中央の表面線量率は6.5 $\mu\text{Sv/h}$ 、角で2.0 $\mu\text{Sv/h}$ であった。当然のことながら、ラドン温泉器の中央の表面線量率が高くなっている。測定した部屋のバックグラウンド線量率は0.092 $\mu\text{Sv/h}$ であるので、ラドン温泉器の中央表面でバックグラウンド線量率の60～70倍に相当する。

次に、ラドン温泉器から線量計を離して測定を行った。測定結果を表6-1に示す。いずれのラドン温泉器も表面から50cmも離れば、バックグラウンドの2倍強の線量率に下がる。さらに、1mの距離をとれば、バックグラウンドを50%程度増加させるだけである。

表6-1 ラドン温泉器からの放射線線量率

ラドン温泉器	表面から50cmの地点 ($\mu\text{Sv/h}$)	表面から1mの地点 ($\mu\text{Sv/h}$)	Bkgd ($\mu\text{Sv/h}$)
家庭温泉用ラドン発生器「ラドメイト」	0.248	0.149	0.092
ラジウム温泉器「らくらく」	0.224	0.149	0.092

6.1.2 ラドンおよびトロンの散逸率

ラドンおよびトロンのラドン温泉器表面からの散逸率を測定するために、図6-3に示す測定系で実験を行った。内径43cm、高さ45cm、内容積約65Lの円筒形ステンレス密閉容器の底に「ラドメイト」を設置し、1昼夜放置した。容器内の空気採取のために、蓋の中央に外径8mmのステンレスパイプを差し込んだ。容器内の空気をこのパイプを通して、真空にしたシンチレーションセル(300A, Pylon Electronics Incorporated, Canada)に採取した。ラドンおよびトロン濃度は携帯型放射線モニタ(AB-5型Pylon)によって測定した。トロンの散逸を評価するために、「ラドメイト」の表面からパイプの先端までの距離を5cm、10cm、15cm、20cm、30cmと変えて実験を行った。シンチレーションセルへの空気採取後、30秒後から1分間隔で10分間測定を行った。家庭温泉用ラドン発生器「ラドメイト」の測定結果はいずれの高さでも計数は非常に低く、バックグラウンド計数と有意

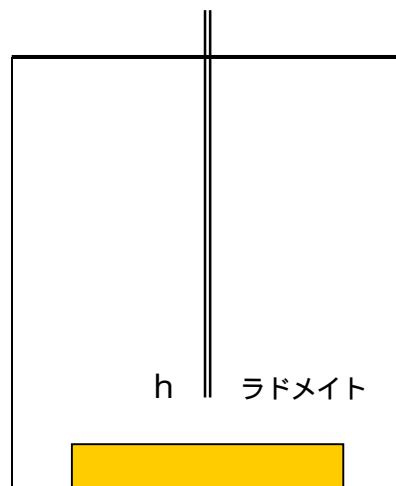


図6-3 ラドン・トロンガス散逸率の測定系

差が認められなかった。「ラドメイト」からはラドンもトロンも殆ど発生していない。

ラジウム温泉器「らくらく」についても、表面からパイプの先端までの距離を5cm、10cm、15cm、20cm、25cm、30cm、35cmと変えて、4回実験を行った。その結果を図6.4に示す。計数は4回の合計を取った。高さ5cmと10cmで採取した結果に計数の増加が認められる。トロンがわずかながら散逸されている。図6.4の結果からトロン散逸率を推定してみた。高さ5cmで採取された空気について、30秒から630秒の10分間のトロンによる4回の計数の合計は30カウントである。この計数から、5cmの位置でのトロン濃度は約400Bq m⁻³と推定される。トロン濃度から次式を用いれば表面からの散逸率を求めることができる。

$$E_{Tn} = Q_{Tn}(x)\sqrt{\lambda_{Tn}D} \exp(\sqrt{\lambda_{Tn}/D})x \quad (6-1)$$

ここで、 x は高さ、 λ_{Tn} はトロンの壊変定数、 D はトロンの拡散係数である。 D に実効拡散係数 $D = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ を用いると、 $E_{Tn} = 2 \text{ Bqm}^{-3}$ を得る。土壌や土壁表面からのトロン散逸率は1~20Bqm⁻³程度であるので、特に多くのトロンが散逸されているわけではない。

以上の結果から、家庭温泉用ラドン発生器「ラドメイト」とラジウム温泉器「らくらく」のいずれもラドンもトロンも殆ど放出されていないと結論できる。

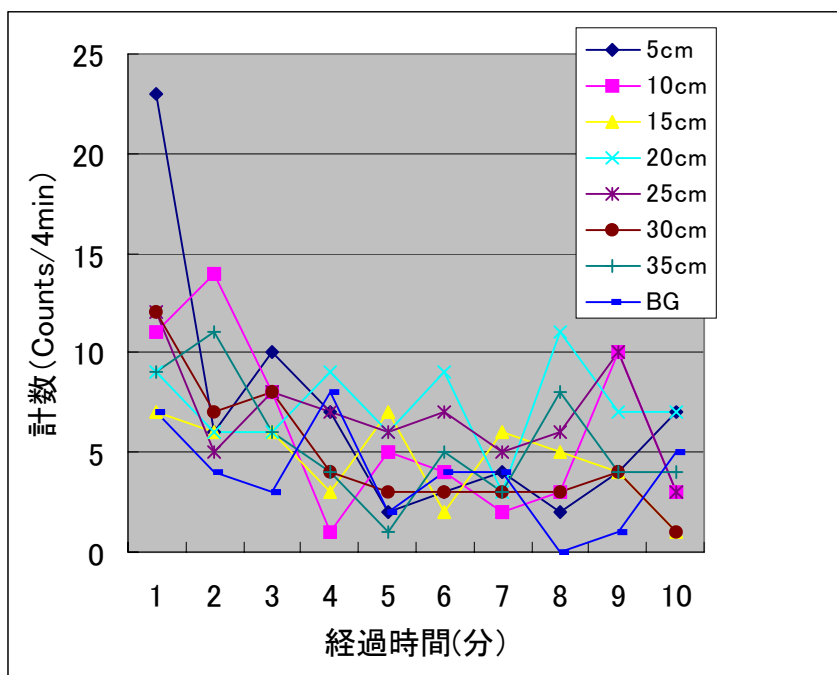


図6.4 ラジウム温泉器らくらくのラドン・トロンガスの散逸率の測定結果（計数率：cpm）

6.2 アースキーパー

6.2.1 線源の身元

2001年7月に大分市の製鉄所に搬入されたステンレス・スクラップの中から発見された身元不明線源は、「ディーゼルエンジンの燃料を改質し、燃費向上と排ガスの浄化に有効である。」と販売されているものであった。Webサイト上の宣伝広告を次ページに示す。

6.2.2 線源の表面線量率

発見後、ビニル梱包された状態の身元不明線源を、NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ（ALOKA TCS-161）、及び電離箱サーベイメータ（応用技研 AE-133L）を用いて、表面線量等を測定した。中心部表面で約10 μ Sv/hであった。その後、開封し、目視で外観を調査し、表面汚染検査をスミア法で行い、汚染がないことを確認した。



図 6.5 アースキーパー

6.2.3 核種の同定と定量

非破壊的にGe半導体検出器を用いて線スペクトル分析を行った。更に、外装のステンレス円筒容器による低エネルギー線の吸収の影響を除くため、外装容器を切断し、充填されたセラミック小球を取出し、プラスチック容器（U-8）に収納して、定量測定を試みた。なお、Ge検出器は日本アイソトープ協会の基準容積線源（U-8）で校正を行った。

Ge半導体検出器を用いた線スペクトル分析の結果、天然の ^{232}Th を含有していることが判明した。基準容積線源の線の検出効率を求め、 ^{232}Th の線放出率から、 ^{232}Th の含有量を推定した。その結果、いずれの試料も176Bq/g未満であり、放射線障害防止法、並びに原子炉等規制法のいずれにも抵触しないことが判明した。



現在実用化に向けて各社で開発研究されているDPF（排気ガス浄化装置）が排気ガスを浄化することを目的としているのに対し、アースキーパーは燃料を細分子化し、燃料そのものを活性化させ、完全燃焼を即すことで有害物質の発生を減少させています。

給排気系統でエンジンのパワーに負担をかけることがないばかりか、**燃料の活性化により低燃費も実現**します。

アースキーパーの特徴

黒煙の大幅減少化

粒子状物質の大幅減少化

その他の排気ガス（ダイオキシン/CO/CO₂/HC/NOX/SOX）の大幅減少化

燃費の向上

安価でメンテナンス費用も安く長期間の使用が可能です。

装着例



装着イメージ

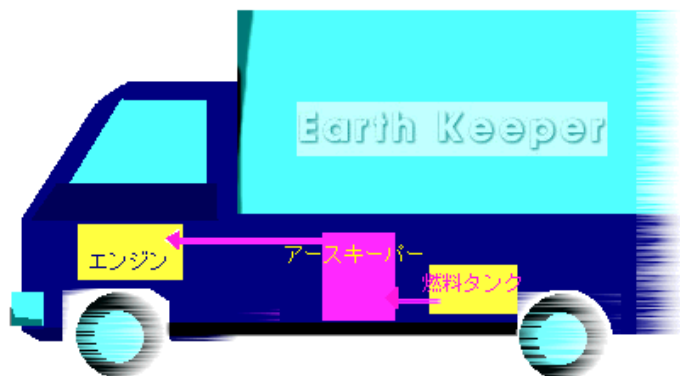


図6.6 Webサイトに掲載されているアースキーパーの広告

7.強い線源に対する対応のあり方

7.1 強い線源

本報告書では第4章で強い線源の定義を、1 mの地点の線量率で1 mGy/h の以上とし、さらに、10 mGy/h 以上の場合をA群、それ以下をB群とした。

A群（かなり強い線源）	：10mGy/h 以上	（Co-60: 33 GBq 相当以上）
B群（強い線源）	：1 mGy/h 以上	（Co-60: 3.3 GBq 相当以上）
C群（弱い線源）	：1 μ Gy/h 以上	（Co-60: 3.3 MBq 相当以上）
D群（微弱な線源）	：1 μ Gy/h 未満	

日本で現在起きている身元不明線源の事件はC群およびD群である。世界で過去に起きた重大な事故はすべてA群である。幸い、我が国ではスクラップの身元不明線源によって放射線障害を招くような事故は発生していない。また、A群の線源が発見された事例はない。しかし、世界の状況を考えると、強い線源が今後、金属スクラップ中に混在する可能性は、海外からのスクラップとして持ち込まれることを考えておく必要がある。

7.2 強い線源に対する対応

身元不明線源における最重要課題は、強い線源から放射線障害事故を防止することである。このための方策として、

- (1) 放射線モニタリング体制を整備し、事前に線源を発見すること
- (2) 強い線源の潜在的危険性を現場が十分に認識すること

である。現在、我が国では自主的な放射線測定が金属スクラップのリサイクル産業で実施されている。これは、台湾における放射性汚染アパート事件を発端として、放射性汚染した金属が一般社会にリサイクルされることによる社会的被害や混乱を警戒したものである。金属スクラップ中に混在した放射性物質が高炉で溶融される事件が世界的にも近年数多く発生している。しかし、これに伴う放射線障害を招くに至った事故はほとんど報告されていない。スクラップ中の身元不明線源からの放射線障害事故は、線源に接触する時間の大きい作業者が中心である。したがって、スクラップ業界が強い線源の潜在的危険性を十分に認識することから事故の防止は始まる。しかし、放射線測定器を整備しているスクラップ業者は50%にも満たない現状を考えると、スクラップ業界の自主的な努力だけでは事故を防止することは困難な状況にある。強い線源が海外から金属スクラップとして持ち込まれる可能性が高いことを考えると、水際での放射線モニタリング体制を確立することは極めて重要である。

一方で、スクラップ業者に対して、放射線に関する知識の普及や最新の状況などを情報交換していくことは放射線事故を未然に防ぐために不可欠である。このためには、すべてのスクラップ業者を対象としたネットワークづくりを進める必要がある。学会が中心となってインターネットなどによる身元不明線源情報ネットワークが創設していく必要がある。

8. 身元不明線源を発見するための測定のあり方

8.1 ゲートモニタの種類及び性能

第3章に記述したように、金属材料のリサイクルは全世界で広く実施されており、中でも鉄鋼スクラップは大量に再利用されている。このリサイクル事業は一国内での需要・供給の枠を超え、近年、国際的な流通機構に関わるビジネスとなっている。このような状況の中で、20年ほど前（1980年代）からリサイクル中に放射性物質が混入し、大きな事故を引き起こしてきた。この理由の一つに、放射性物質の取扱・廃棄に関する放射線安全管理の基準が国際的に統一されていなかった事情等がある。しかし、その理由の如何に関わらず、ひとたび放射性物質の混入事例が発生してしまうと、その反響は極めて大きく、またそれによる経済的な損失も膨大なレベルになった。

このような損失を防止するため、鉄スクラップ中への放射性物質の混入を防止することの重要性が国際的に認知されるにいたった。そして、スクラップ流通量の大きな北米諸国がその先鞭となった。米国等でのスクラップ運送には大型のトラックが利用されているので、トラック毎の放射性物質検出の効率を高めるために、ゲートモニタが開発された（写真8.1参照）。

上記の事情により、カナダ等で開発されたゲートモニタが我が国にいち早く紹介されたため、輸入されたゲートモニタが多く利用されてきた。近年、わが国のメーカーも、スクラップ業界での放射性物質検出の必要性が高まってきたので、日本の放射線規制の国情に合わせて、ゲートモニタを開発・市販するようになってきた。この結果、第3章に記述したように、スクラップへの身元不明線源の混入を防ぐため、高炉メーカーはゲートモニタを100%設置しており、電炉メーカーでも50%を超える設置率を示している。ゲートモニタには、その用途から広範囲のエネルギーの放射線を短時間で効率よく検出することが要求され、そのためには、大口径の放射線検出器を備えなければならない。この目的を達成するため、種々の放射線に対し、実用レベルで適切な検出効率を示すという特性があるプラスチックシンチレーターがほとんどのゲートモニタで使用されてきた。現在いずれのゲートモニタでも、放射線検出にはプラスチックシンチレーターが使用されている。

現在、日本において入手ルートの確立しているゲートモニタの一覧を表8.1に示す。身元不明線源が金属スクラップの回収によってスクラップ内に混入した場合、これらのゲートモニタによって検知されることが期待される。

8.2 ゲートモニタによる線源の検出

8.2.1 ゲートモニタによる実験

(1) 実験の目的

身元不明線源を発見し、回収するためには、ゲートモニタは極めて重要な手段である。しかし、身元不明線源が金属スクラップに混入している状況は、線源の種類や遮蔽容器の有無、トラックの中の線源の位置等、様々な条件により、ゲートモニタにおける測定値も異なるため、検出しにくい条件が重なった場合には混入した線源を検出しない可能

性も考えられる。よって、いくつかの条件で線源がスクラップに混入している場合の線量を実際にゲートモニタで実測することにより、線源の位置や条件と計数値の関係を明らかにし、線源の検出に関する条件について検討する。あわせて、携帯型測定器によって測定することにより、線源検出時の詳細な探索方法、及びスクラップ回収作業者の被ばく線量について検討する。

(2) 実験条件及び結果

実験は 2001 年 11 月 17 日、産業振興（株）市川スクラップセンターにおいて実施した。実験に使用したトラックの形状を図 8.1 に示す。荷台には 800cm × 240cm × 110cm の厚さ 3mm 程度のおおり（鉄製の箱）が置かれており、スクラップはこの中に積載される。使用した金属スクラップは、線状、板状等が混在する鉄スクラップであり、荷台床面から 100cm 程度の高さで積載されている。スクラップの正味重量は約 12t であるため、スクラップの嵩密度は約 $0.6\text{g}/\text{cm}^3$ となる。

設置されているゲートモニタ（（株）ティ・エス・ケー製）は、ゲートの両側面に測定器があり、プラスチックシンチレータが用いられている（図 8.2 参照）。ドライブスルー方式であり、トラックがゲートにはいると測定が開始し、右上、右下、左上、左下の 4ヶ所の測定値の履歴及び最大値が表示される。警報の設定点は当該事業所では $0.05\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ であり、線量率がこの値を超えた場合は警報が発報するが、その設定値は設置場所のバックグラウンドレベル等によって調整される。なお、線源が検出された場合は、線源のおおよその位置が表示される。

使用した線源は 3MBq の ^{60}Co 線源（測定日：2001.11.14）である。なお、携帯型測定器として GM サーベイメータ（アロカ製 TGS-133）、シンチレーションサーベイメータ（アロカ製 TCS171、応用光研製 S1371A）及び電離箱式サーベイメータ（アロカ製 ICS-311）を使用した。各実験条件及び結果を以下に示す。

(a) バックグラウンド

線源を混載せずに、ゲートモニタを通過させた。トラック走行中におけるゲートモニタの最大値は約 $0.01\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ であった。携帯型測定器によってトラック側面における線量を測定したところ TCS-171 で $0.02\sim 0.05\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ であり、他の測定器ではバックグラウンドレベルであった。本実験サイトは埋立地であり、また海洋に面していることから、バックグラウンドの放射線量は比較的低い状況にある。

(b) 線源（容器なし）がスクラップの中央に存在する場合

線源をスクラップの中央（地面より約 160cm）に配置し、ゲートモニタを通過させた。ゲートモニタの最大値は右下面で $0.048\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ であり、警報点とほぼ同程度の計数値であるが、警報点に達しなかった。携帯型測定器による測定ではトラック側面の線源に最も近い位置で、TGS-133 が最大 210cpm （B.G.の約 4 倍）、ICS-171 で最大 $0.17\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ の測定値が得られた。また、より線源に近い荷台下において測定したところ、いずれの測定器でも側面より高い測定値を示した。

なお、あおりには破損による穴が点在しており、その穴の位置で測定すると比較的高い測定値が示されるのに対し、あおりが健全な位置では低い測定値となることから、ス

スクラップ中に線源が存在する場合には測定される放射線はストリーミングされた状態であり、線エネルギーが低くなっていると考えられる。また、このことはスクラップの上面における測定で、測定位置によって測定値が大きく異なり、その分布も極めてランダムであることから示唆される。

(c) 線源（容器なし）がスクラップの荷台壁面部に存在する場合

線源をスクラップ内の側面（側面部より 50cm、地面より 170cm）に配置し、ゲートモニタを通過させた。ゲートモニタの最大値は左下面で $0.655 \mu\text{ Sv/h}$ であり、警報点に達し、警報が発報した。また、線源位置は正確に把握されていた。

携帯型測定器による測定ではトラック側面の線源に最も近い位置で、TGS-133 が最大 4100cpm、ICS-171 で最大 $2.65 \mu\text{ Sv/h}$ 、ICS-311 で $6.5 \mu\text{ Sv/h}$ 、S1371A で 14000cpm の測定値が得られた。また、荷台下及びスクラップ上部でも測定を実施したが、いずれもトラック側面の最大値より低い値であった。

(c) 線源（容器なしあるいは鉛容器あり）がスクラップ上部に存在する場合

まず、スクラップ上部中央（地面より 260cm）に線源を容器に入れず配置し、ゲートモニタを通過させた。ゲートモニタの最大値は左上面で $0.314 \mu\text{ Sv/h}$ であり、警報が発報した。この場合携帯型測定器による測定では、トラック側面あおり部（140cm 高程度）では有意な値は検出されず、180cm 高程度で、TGS-133 で 105cpm、ICS-171 で $0.09 \mu\text{ Sv/h}$ の測定値が得られた。

続いてほぼ同位置に線源を鉛容器（10mm、20mm、40mm）に入れ、ゲートモニタを通過させた。ゲートモニタの最大値はそれぞれ $0.134 \mu\text{ Sv/h}$ 、 $0.073 \mu\text{ Sv/h}$ 、 $0.034 \mu\text{ Sv/h}$ であり、40mm の鉛容器の場合は警報が発報しなかった。

(d) 運転手の被ばく線量評価

運転手の後方の荷台に線源を配置し、運転席における線量率を測定した。TCS-131 の測定結果は $0.42 \mu\text{ Sv/h}$ （鉄箱内に線源を配置した場合）、 $0.66 \mu\text{ Sv/h}$ （鉄箱と荷台の間）であった。

8.2.2 シャヘイ計算

8.2.1 に示した実験条件について、同様の体系のシャヘイ計算を行い、実測値との比較を行う。計算方法は放射線施設のシャヘイ計算実務マニュアル) の、実効線量透過率を用いて実効線量率を求める方法を用いる。なお、金属スクラップの嵩密度は 0.6g/cm^3 とする。

(b) は、シャヘイを 120cm 厚さの金属スクラップとし、評価点はトラック側面では線源から 120cm、ゲートモニタでは線源から 200cm とする。この場合の計算値はそれぞれ $0.067 \mu\text{ Sv/h}$ 及び $0.024 \mu\text{ Sv/h}$ であり、実測値の最大値よりも低い値である。これは、金属スクラップ嵩密度や線源とゲートモニタの距離などのパラメータが不確実であることや、実際には金属スクラップは不均質であるため、シャヘイの少ない経路が影響を与えること等によると考えられる。なお、嵩密度を 0.7g/cm^3 とした場合の計算値はそれぞれ $0.042 \mu\text{ Sv/h}$ 及び $0.015 \mu\text{ Sv/h}$ であり、約 40%減少している。このようにスクラップの金属スクラップの嵩密度も線量に大きな影響を与えることに留意する必要がある。

また、同じ線源強度及び体系で ^{137}Cs 線源と ^{226}Ra 線源について計算を行うと、 ^{137}Cs 線源はそれぞれ $0.0071 \mu\text{ Sv/h}$ 、 $0.0026 \mu\text{ Sv/h}$ 、 ^{226}Ra 線源では $0.039 \mu\text{ Sv/h}$ 、 $0.014 \mu\text{ Sv/h}$ である。このように、線エネルギーの弱い線源では評価点における線量は小さくなるため、ゲートモニタ等によって検出されない可能性が高くなる。

(c) は、しゃへいを 50cm 厚さの金属スクラップとし、評価点はトラック側面では線源から 50cm 、ゲートモニタでは線源から 130cm とする。この場合の計算値はそれぞれ $1.7 \mu\text{ Sv/h}$ 及び $0.25 \mu\text{ Sv/h}$ である。(b) と同様に、計算値は実測値の最大値よりも低い値である。このように、金属スクラップによるしゃへいに関しては、しゃへい計算実務マニュアルの計算値は若干過小評価となることが示唆される。また、同じ線源強度及び体系で ^{137}Cs 線源と ^{226}Ra 線源について計算を行うと、 ^{137}Cs 線源はそれぞれ $0.34 \mu\text{ Sv/h}$ 、 $0.051 \mu\text{ Sv/h}$ 、 ^{226}Ra 線源では $1.1 \mu\text{ Sv/h}$ 、 $0.16 \mu\text{ Sv/h}$ であり、いずれも検出されるレベルである。このように、線源が側面部あるいは上面部に存在する場合は、比較的弱い線源でも検出が可能である。

次に鉛容器によるしゃへい効果について検討する。しゃへいをそれぞれ 10mm 、 20mm 及び 40mm の鉛とし、評価点（ゲートモニタ）を線源から 200cm とする。それぞれの計算値は $0.15 \mu\text{ Sv/h}$ 、 $0.092 \mu\text{ Sv/h}$ 及び $0.032 \mu\text{ Sv/h}$ であり、実測された値に近い値である。

また、実験は実施しなかったが、鉛容器に入れた状態でスクラップ内に混入した場合の線量について検討する。鉛容器に入れた状態で (b) と同じ位置に存在すると仮定すると、しゃへいは鉛と金属スクラップの多重層しゃへいとなる。鉛容器厚を 40mm の鉛としその外側に 120cm の金属スクラップがあるとすると、評価点を線源から 120cm 、及び 200cm とし、実効線量透過率の積を用いる方法によって計算を行うと、計算値は $0.0094 \mu\text{ Sv/h}$ 及び $0.0034 \mu\text{ Sv/h}$ となり、バックグラウンドレベルより低い値となる。なお、同じ線源強度及び体系で ^{137}Cs 線源と ^{226}Ra 線源について計算を行うと、 ^{137}Cs 線源はそれぞれ $0.00012 \mu\text{ Sv/h}$ 、 $0.000043 \mu\text{ Sv/h}$ 、 ^{226}Ra 線源では $0.0043 \mu\text{ Sv/h}$ 、 $0.0016 \mu\text{ Sv/h}$ であり、極めて低い値となる。

8.2.3 考察

本実験で使用した線源は 3MBq の ^{60}Co 線源であり、放射性同位元素としての規定された数量 (3.7MBq) の約 80% の強度である。(b) 及び (c) の結果から見られるように、放射性同位元素として規定される 3.7MBq を超える線源に関しては、 ^{60}Co の場合は多くの場合検出されると考えられる。ただし、線源がスクラップの中央付近に位置し、スクラップの嵩密度が比較的大きい場合、 ^{137}Cs の様に線エネルギーが弱い線源の場合、線源がしゃへい容器等に入れている場合等検出しにくい条件下においては、放射性同位元素として規定される 3.7MBq を超えている線源であっても、ゲートモニタによって検出されない可能性は否定できない。特に、8.2.2 で試算したようにこれらの要因が複合した場合は、線源の検出は困難であると考えられる。これに対し、線源がスクラップの上部や側面部に存在する場合は、かなり強度の低い線源でも検出される可能性がある。例えば 8.2.1(c) に記述した実験ではゲートモニタで $0.655 \mu\text{ Sv/h}$ の計数値が得られている

ため、単純計算では 0.23MBq の線源でも警報が発報することが考えられる。第 6 章に記述したような弱い線源が発見される事例はこのような配置条件によるものと考えられる（写真 8.2 参照）。

しかし、第 4 章で示したように、急性放射線障害の程度から線源強度を分類した場合、強い線源に分類される B 群で ^{60}Co で数 GBq 以上と考えている。この線源強度は本実験で使用した線源強度の千倍程度であり、もしこの強度の線源が 40mm 鉛容器に封入され、120cm 厚さのスクラップの中に存在した場合、ゲートモニタの位置での計算値は $3 \mu\text{Sv/h}$ となり、十分検出されるレベルである。ただし、 ^{137}Cs 線源の場合は同一の体系では数 GBq でも約 $0.04 \mu\text{Sv/h}$ であり、ゲートモニタによって検出されない可能性がある。このように、容器のしゃへい厚さや、線源の種類によっては、かなり強度の高い線源についても発見されない可能性が否定できないため、放射線源を格納する一般的な容器の形状の周知や、回収時等における放射能マークの確認等の措置が望まれる。

なお、運転手については運転席の近くに線源が存在すると運転席の線量率が上昇する可能性があるが、本実験で使用した線源（容器なし）で $0.5 \mu\text{Sv/h}$ 程度であり、本実験における線源位置が最も運転席に近い条件であることや作業時間を考慮すると、極端に強い線源がしゃへい容器なしで混入するケースを除けば、有意な線量を与える可能性は少ないと考えられる。

8.3 サーベイメータによる線源の検出

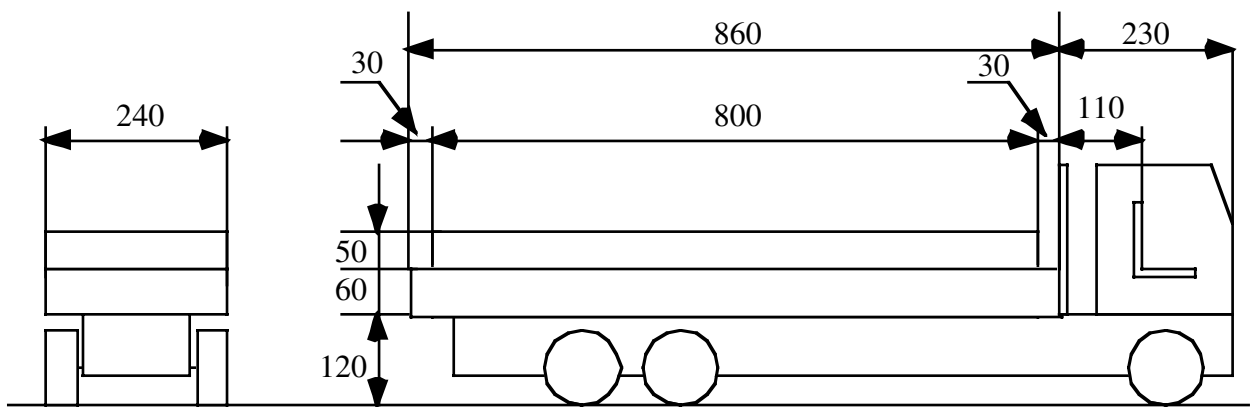
ゲートモニタを設置していない業者においても、放射線源のスクラップへの混入を避けるため、サーベイメータによる測定を実施する場合がある。また、ゲートモニタによって線源が発見された場合は、サーベイメータによって線源を探索することとなる。8.2.1(b) に示したように、線源がスクラップの内部に混入している場合は、放射線はストリーミングされた状態であるため、比較的薄いしゃへい物でも十分しゃへいされる可能性があることや、測定位置によって線量が大きく異なることに留意する必要がある。また、トラックの側面部ではあおりによるしゃへい効果があるため、スクラップ上部からも測定することが望ましい。

8.4 本章の結論

本章では身元不明線源を発見するための測定のあり方として、金属スクラップに混入している身元不明線源を検出するゲートモニタについて、実験及び計算の両面から検討した。その結果、放射性同位元素として規定される 3.7MBq を超える線源に関しては、多くの場合検出され、特に線源がスクラップの上部や側面部に存在する場合は、かなり強度の低い線源でも検出される可能性があるのに対し、線源がスクラップの中央付近に位置し、スクラップの嵩密度が比較的大きい場合、線エネルギーが弱い線源の場合、線源がしゃへい容器等に入れられている場合等検出しにくい条件下においては、3.7MBq を超える場合であっても検出されない可能性は否定できないことが明らかとなった。ただし、急性放射線障害を考慮する必要があるような線源が存在する場合には、ほとんどの場合検出されるであろうと考えられる。また、作業員についても、極端に強い

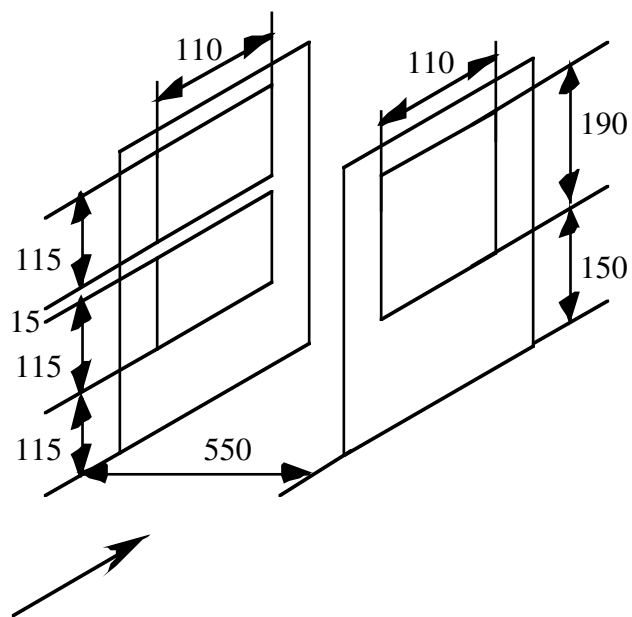
線源がしゃへい容器なしで混入するケースでなければ、線源が混入してから発見するまでに、健康に有意な影響を被ばくを生じる可能性は少ないと考えられる。

なお、表 8.1 に示したように、ゲートモニタには様々な種類があり、線源を検知するための警報水準の設定レベルや設定方法はゲートモニタの種類や環境条件によって異なる。本実験で使用したゲートモニタはバックグラウンド込みで $0.05 \mu\text{ Sv/h}$ を警報水準としているが、検知する放射線レベルの考え方が同程度であれば、本章の結論も同様に適用できると考えられる。



単位：cm

図 8.1 実験に使用したトラックの形状



単位：cm

車両通過（時速 5～8km）

図 8.2 ゲートモニターの形状

表 8.1 日本において入手ルートの確立しているゲートモニタ

メーカー名	国名	代理店	用途	型式等
Exploranium	カナダ	アロカ, 住友商事	ゲートモニタ	GR series
Exploranium	カナダ	アロカ, 住友商事	ゲートモニタ	AT-900 series
Exploranium	カナダ	アロカ, 住友商事	クレーン等モニタ	
東芝	日本	丸紅	ゲートモニタ	放射線探知システム
Rad Comm System	カナダ	(株)コーレンス	ゲートモニタ	RCD1車両放射性物質検出器
Rad Comm System	カナダ	(株)コーレンス	クレーン等モニタ	グラブプル放射線検出器：ザクリケット
産業科学	日本	産業科学	ゲートモニタ	RADOS RTM-910
(株)TSK	日本	日立エンジニアリング	ゲートモニタ	HJK-30D, -30s, -15S
Rad Comm System	カナダ	(株)エフイーメタル	ゲートモニタ	LUDLUM(Model 3500 series)
千代田テクノル	日本	千代田テクノル他	ゲートモニタ	トラックゲートモニター
バイクロン	USA		ゲートモニタ	
RADOS Technology Oy	フィンランド	長瀬ランダウア	廃棄物モニタ	RADOS



写真 8.1 ゲートモニタの例

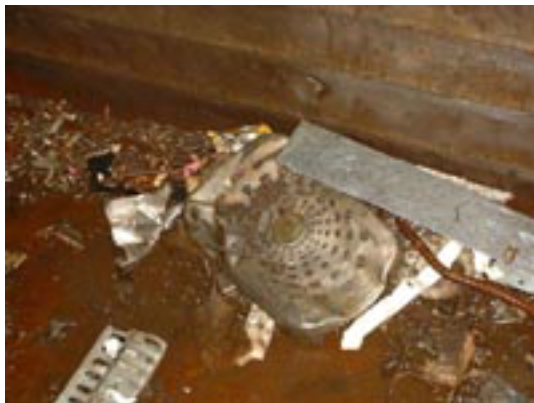


写真 8.2 ラドン温泉器が身元不明線源として発見された事例

9. 身元不明線源を減らすための対策

9.1 線源の発見を促進するための仕組み

身元不明線源はスクラップに混入して海外から輸入される線源または放射性物質と国内の放射性物質に大別できる。これらは、人体に影響を与える線源と法定限度以下の規制除外の放射性物質とに分けられる。規制除外の放射性物質は一般の産業廃棄物として処理を行なう事が可能である。これらの身元不明線源を大別すると

- (1) 輸入線源
- (2) 国内線源

となる。

9.1.1 輸入線源

スクラップに混入した線源には、次のものが考えられる。

- (1) 放射化物
- (2) 汚染物

発見の仕組みとしては、次の点を検討すべきである。

輸出時の確認...輸出国での検査後の出荷

国際協力（FNCA等）が必要。検知レベルの検討

輸入時の確認...港へのモニタの全数設置（場合により設置に関する国の補助金）

モニタを行う事の法制化

9.1.2 国内線源

スクラップに混入した線源には、次のものが考えられる。

- (1) 法律施行前の線源
- (2) 盗難・紛失等による線源
- (3) 倒産等による管理不明線源
- (4) 規制以下の放射性物質（コンシューマプロダクト）一般の産業廃棄物

発見の仕組みとしては、次の点を検討すべきである。

法律施行前の線源...

届出、回収の簡素化。回収機構（無償）の設置

新聞広告等によるPR（線源と知らずに保管している場合あり）

盗難・紛失等.....

管理の徹底。第三者機関によるチェック、罰則の強化

施設境界にモニタ網の設置、施設外搬出時の検知

倒産等による管理不明...

業務を行う際の届出の法制化、行政による回収等

規制以下の放射性物質...

メーカーに回収責任を持たせる（国内製造元、輸入元）

万一管理の手を離れ、社会に出た場合に発見する仕組みとして、
鉄スクラップ等.....リサイクル業者によるゲートモニタの設置（現状）

一般ゴミ..... 再生ゴミ（紙、布等に混入 リサイクル業者）
焼却ゴミ（生ゴミ等 焼却場、埋め立て等）

一般ゴミとして廃棄される場合：

回収のトラック・コンテナ等全てに簡易測定器を設置。混入した放射性物質を検知する。

問題点：設置のための資金手当て

線源輸送時の除外、医療診断で投与された患者等の区別をどう行うか？

その他移動時

全国の要所、要所にモニタの設置（発電所のモニタ網のように）

問題点： と同様。

9.2 発見された線源の扱い

発見された線源は、自然界に存在する物、または法定限度未満であれば法的に問題がないので一般の産業廃棄物として取扱うことができる。

上記に該当しないものは管理下に置く必要がある。出所が明確になる場合は、出所事業所に戻され、その事業所の責任において廃棄される。

海外からの輸入品に混入していた場合は、輸出先に返送するなどの措置が必要になる。この場合、輸送費用を輸出先が負担する事が原則となる。

廃棄する場合は放射性物質の場合、（社）日本アイソトープ協会に引取りを依頼する。日本アイソトープ協会で引き取る場合は現状では、保管、廃棄のための料金が必要となっている。

出所場所が明確で処分料金の負担に耐えられる場合は問題が少ないが、出所が不明の場合、多くはその時点の所有者（スクラップ業者の場合が多い）の責任で廃棄等の手続きを取らなければならない、経済的な負担が生じ、問題となる。

このような場合でも、国が補助を行って日本アイソトープ協会に引取りの体制を構築する事により、スクラップ業者が取得した線源は日本アイソトープ協会に引き取ってもらう方法が取れると良い。

日本アイソトープ協会は販売と回収の窓口になっており、身元不明線源についても日本アイソトープ協会が一時的に費用を負担し引取りを行う方法が良いと思われる。

10. 提言

(1) すべてのスクラップ業者を対象としたネットワークづくりを進めるべきである。

鉄鋼連盟やリサイクル工業会などに対しては、日本アイソトープ協会を中心とした身元不明線源発見時の連絡・測定支援体制が整備されている。しかし、現場で線源を検出するための測定器を装備しているのは、高炉メーカーで100%であるが、電炉メーカーでは50%、スクラップ業者では、25%という現状であり、金属スクラップのリサイクルに伴う身元不明線源の社会的混乱や放射線障害事故を回避するためには、すべてのスクラップ業者を対象とした連絡体制づくりを急ぐべきである。このためには、日本保健物理学会が中心となってインターネットを積極的に利用したネットワーク体制づくりを目指す必要がある。

(2) 輸入スクラップに含まれる可能性のある強い線源からの事故を防止するための効果的な方法として、水際でのモニタリング体制を整備する必要がある。

我が国においては、身元不明線源対策として日常的なモニタリング体制は法制化されてはいない。海外から持ち込まれる可能性のある強い線源に対する事故を防止するためには、現在のスクラップ業者の自主的努力にまかせているだけでは不十分である。鉄鋼メーカーやスクラップ業者がゲートモニタなどの測定システムを導入する契機になったのは台湾でのアパートの放射性汚染事件であろう。しかし、我が国の現状を考えた場合、強い線源を含む金属スクラップは海外から持ち込まれる可能性が高く、線源に最も接触する時間の多いスクラップ業者の負担を軽減し、放射線障害事故を確実に防止するためにも水際でのモニタリング体制を整備する必要がある。

(3) スクラップ業者が身元不明線源を発見した場合、規制の対象となっている線源についてはアイソトープ協会が自主的に回収できる体制を目指す必要がある。

現在、スクラップ業者が身元不明線源を発見し、その線源を廃棄する場合、日本アイソトープ協会に引取りを依頼できる。この場合、現状では保管、廃棄のための料金が必要となっている。このような場合でも、国が補助を行って日本アイソトープ協会に引取りの体制を構築することにより、スクラップ業者が取得した線源は日本アイソトープ協会に引き取ってもらう方法を確立すべきである。さもなければ、スクラップ業者の負担が増加し、未然に発見する体制が維持できなくなる恐れがある。金属スクラップのリサイクルをよどみなく安全に実施していくためには必要な課題である。

(4) 規制対象から除外されている線源や免除されている線源は、通常非放射性廃棄物と同様の扱いとすることを学会としては勧告する。

現在、我が国では法規制の対象とならない弱い線源の発見による社会的混乱が各地で起きている。これらの線源をスクラップ業者が廃棄できないまま保管しているのが現状である。法規制の対象とならない微弱な線源を使用している家庭用ラドン温泉器やアースキーパー（商品名）などについては、学会のHPを利用して写真などの情報を公開し

ていき、通常の非放射性廃棄物と同様の扱いとすることを学会としては勧告する。

(5) 警察や消防の関係機関に対して、放射性物質が疑われる事件が発生した場合に対応できる基準化したマニュアルの作成とその存在の社会的認知を進めるべきである。

発見通報の初期段階で最初にその通報を受ける者は、保健所、警察署、消防署、地方自治体等である。こららの窓口担当者が通報を受けて、あわてたり、誤った方策に迷走したりしないように、「基準」化したマニュアルが必要である。そして、そのマニュアルを公開し、またその存在を公に宣伝しておくことで重要である。マニュアルには必ず、放射性物質が疑われる事件が発生した場合に相談できる連絡体制を盛り込むことが必要である。