

平成 20 年度厚生労働科学研究費補助金（地域医療基盤開発推進研究事業）
「医療放射線の安全確保に関する研究」（H19-医療-一般-003）
（主任研究者：細野 眞）

分担研究報告書

医療で用いた I-131 の汚染物を減衰待ち保管により 10 半減期後に清掃工場に搬入する場合の清掃作業員や公衆への放射線曝露量の推計

分担研究者 山口 一郎 国立保健医療科学院生活環境部 主任研究官

研究協力者

金谷信一	東京女子医科大学病院 核医学・PET検査室
小高喜久雄	国立がんセンター 中央病院放射線治療部 技師長
諸澄邦彦	埼玉県立埼玉県立循環器・呼吸器病センター 放射線技術部
櫻井公一	東京都福祉保健局医療政策部医療安全課指導係
池淵秀治	日本アイソトープ協会 医療情報室 室長
中村吉秀	日本アイソトープ協会 医薬品部 部長
中村伸貴	日本アイソトープ協会

研究要旨

放射性廃棄物管理の合理化のために、医療機関における減衰保管後に非放射性廃棄物として廃棄される(DIS)低レベルの I-131 を含む廃棄物に由来した公衆への曝露に伴う放射線誘発がんのリスクを推計した。DIS を導入したとしても、医療で用いた I-131 の汚染物に由来した清掃作業員や公衆への影響は極めて小さく、核医学分野で DIS を導入することに放射線防護上の問題はないと考えられる。

研究要旨	57
A.研究目的	59
B. 研究方法	59
C. 研究結果	60
D.考察	61
E. 結論	63
文献	66

A. 研究目的

放射線診療に伴い発生する廃棄物の適切な処理は、日々の放射線診療の基礎である。しかし、課題が山積している¹。このうち、固体状の医療用放射性廃棄物は、日本アイソトープ協会が各医療機関から収集し、岩手県滝沢村の日本アイソトープ協会茅記念滝沢研究所に一時的に保管廃棄されている。保管廃棄とは、廃棄するために一時的に保管していることを意味している。このように固体状の放射性廃棄物では処分（廃棄）の方法が確立しておらず廃棄物を保管し続けている。保管場所周辺住民との協定があり保管場所も有限であることから、何らかの対応が迫られている。対応として考えられるのは 1)埋設による最終処分と 2)クリアランス制度の導入による非放射性廃棄物化である。このうち、埋設処分は平成 17 年度の法律改正で放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律に規定が創設された。これと同様の制度を医療法にも規定することが対応策として考えられる。しかし、実現に向けて解決しなければならない課題が多く残されている。とりわけ埋設量と費用の圧縮が、今後の核医学診療の健全な維持のために求められる。放射性廃棄物の処理・処分費用を低減するには、クリアランスレベルの導入も考えられる。しかし、原子力分野で導入されているような手法を用いると検認に多額の費用が発生する。これに対し、

医療分野では用いる核種の種類が限られ、かつ、比較的半減期が短いことから、減衰待ち保管後に放射性廃棄物として規制の適用外とする制度(DIS)が諸外国で取り入れられている。この手法は、医療機関で使う放射性同位元素の種類と量が明確であることから、一定の減衰期間および保管中に他の廃棄物の混入がないことを保証し、検認を経ることなくクリアランスできるようにするものである。

そこでわが国に DIS が導入された場合を想定し、医療機関での減衰保管後に非放射性廃棄物として廃棄される低レベルの I-131 を含む廃棄物に由来した清掃業者と一般公衆の線量を推計した。

B. 研究方法

2 つのシナリオを作成し、それぞれ作業者と一般公衆の線量を計算した。

B.1 フィルタ全量回収シナリオ

清掃工場の焼却炉のフィルタに清掃工場に搬入された I-131 が集積すると仮定したシナリオである。平成 19 年度の I-131 の全国の核医学施設 1,275 箇所への供給量は 11.7TBq である²。このうち東京都内の 106 箇所への医療機関への出荷量は 2,363GBq であった。従って 10 半減期後の数量は 2.3GBq となる。この 1/10 である 0.23GBq が特定の清掃工場に集積すると仮定し、排気フィルタを扱う作業者の線量を推計した。

B.2 全量環境放出回収シナリオ

各都県からの環境放出量は、平成19年度の都道府県別の出荷量（検定時刻ベース）とした。全国での出荷量は11.7TBqであり、そのうち福島県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、新潟県、山梨県、長野県、静岡県、岡山のデータを用いて計算した。これらの自治体への出荷量は4.0TBqである。環境放出量は全量が減衰する前に大気中に放出されるとした。ここで放出量は、都県を5km×5km刻みのメッシュに区分し、平成17年度の夜間人口³で重み付けし分配した。また、放出量は一日を通じ一定割合とした。表1に関東一都六県のI-131の年間出荷数量(MBq/y)を示す。

B.2.1 大気中濃度およびリスクの推定

産総研-曝露・リスク評価大気拡散モデル(AIST-ADMER), National Institute of Advanced Industrial Science and Technology - Atmospheric Dispersion Model for Exposure and Risk assessment⁴を用い、関東一都六県内のI-131の大気中濃度を推計した。

ここで、気象データは、2006年1月から12月分を用いた。分解係数は物理的半減期(8,021 d)のみに従うとし、 $1.00019E-09$ /sとした。また、降雨時の洗浄比は1と仮定した。濃度は5km×5km刻みのメッシュ毎に計算した。

吸入したI-131の実効線量は、ICRPのモデルを用いた原子力研究開発機構の内

部被ばく線量評価コード(INDES ver.4.1)INDESで計算した。また、リスク係数を4%/Svと仮定した。

C. 研究結果

C.1 フィルタ全量回収シナリオ

I-131の実効線量率定数は、 0.0545 [μ Sv $m^2 \cdot MBq^{-1} \cdot h^{-1}$]であることから、10mの距離で滞在し続けたとしても、1年間の曝露による外部被曝線量は 26 [μ Sv]に過ぎず、そのリスクは無視できる。また、バグフィルタの交換時の内部被ばくは、年間1回の交換を仮定すると、フィルタに捕集されるI-131が 0.6 MBq/dであることから、交換時期に 7.3 MBq程度が最大存在しうることになる。ここで、もっとも実効線量係数が高い化学形である元素状放射性ヨウ素であると仮定すると、吸入摂取の場合、成人で $2.0E-08$ [Sv/Bq]となった。フィルタで捕捉された 7.3 MBqのI-131のうち、 0.1% が再浮遊し、吸入すると仮定すると、作業場での10回/日の換気回数とを考慮すると年間の摂取量は、マスクの仕様を仮定しない最大限の安全側見積もりでも 7 kBqである。この摂取による預託実効線量は 150 μ Svとなった。

C.2 大気中に放出されるI-131の量

平均放出量の最大値は東京都豊島区の 0.12 Bq/sec/ m^2 であった。都県別の最大値は東京都 0.08 Bq/sec/ m^2 で、最小値は茨城県 0.1 mBq/sec/ m^2 であった。各メッシュからのI-131の単位面積($1m^2$)毎秒あたり放出率を図1に示す。

C.3 大気中の I-131 の濃度

平均濃度の最大値は東京都中野区の 4.7mBq/m^3 であった。都県別の最大値は東京都 3.0mBq/m^3 で、最小値は茨城県 0.07mBq/m^3 であった。ヨウ化メチルの排気中の濃度限度は、 7Bq/m^3 であるので、最大濃度の東京都中野区でも 1 万分の 7 程度に過ぎなかった。大気中の I-131 の濃度分布を図 2 に示す。

C.4 夜間人口をベースにした I-131 の吸入集団曝露量

呼吸量を $157\text{m}^3/\text{d}$ とすると年間の公衆の集団曝露量は、関東地区全体で $800[\text{kBq} \cdot \text{人}/\text{day}]$ となった。定常状態であると仮定し、50 年間分の曝露を推計すると、 $15[\text{GBq} \cdot \text{人}/50 \text{年}]$ となる。

C.5 吸入した場合の I-131 の預託実効線量

・メチル化した放射性ヨウ素 (Sv/Bq)

三ヶ月児 $1.40\text{E}-07$

成人 $1.50\text{E}-08$

・ヨウ化メチル以外の化合物の放射性ヨウ素

三ヶ月児 $7.60\text{E}-08$

成人 $1.10\text{E}-08$

・元素状放射性ヨウ素

三ヶ月児 $1.80\text{E}-07$

成人 $2.00\text{E}-08$

C.6 預託集団実効線量の推計

空気中濃度から 3 か月児の元素状放射性ヨウ素吸入時の預託実効線量係数を用い預託集団実効線量へ換算した。

$2.6 [\text{kSv} \cdot \text{人}/50 \text{年}]$

D. 考察

D.1 清掃工場職員の曝露

外部被ばくは考慮不要であった。バグフィルタや焼却灰、飛灰との接触は極めて限られているので、外部被ばくは事実上無視できると考えられる。内部被ばくは最大限の見積もりで年間の実効線量が $150\mu\text{Sv}$ となった。しかし、作業時はマスクを着用しており、一般的な有害物質摂取防止対策を講じれば、内部被ばくのリスクも十分に無視できると考えられる。

D.2 大気放出による医療由来の I-131 のリスク

減衰を考慮しなくても、一般公衆の曝露は十分に小さい。このシナリオは、リスクを極端に大きく見積もっていると考えられるが、それでも、I-131 の環境放出によるリスクは小さく、安価なチャコールフィルタでないと医療機関等からのフィルタによる排出低減コストが正当されないと考えられる。さらに、この推定は過大である可能性がある。すなわち、ここでは、使用した放射性ヨウ素がすべて大気中に飛散するとしている。放射性ヨウ素を含有する溶液を蒸発乾固した場合の飛散率(強制飛散率)は、自然飛散率より 100-1000 倍高くなるとされている⁵。しかし、患者に投与後の放射性ヨウ素が 1%程度も飛散するとは考えがたい。このため、この設定は、環境放出量を 100 倍以上安全側にしていることになる。飛散率 1%とし、廃棄物の保管等による減衰を

全く考慮しないとしても放出量は0.1TBq/yにとどまり、原子力発電所から排気される放射性ヨウ素 131 の管理目標値を 1.1×10^{10} Bq/y としても、その放出量はたかだか原子力発電所 10 箇所程度分に過ぎず、全体として環境負荷としてはわずかである。また、旧ソ連三国では、チェルノブイリ事故後の環境放出核種由来の一人あたりの積算線量は 20 年間で 10mSv とされ、事故後 20 年間の集団線量は 52[kSv・人/20年]とされている。従って、飛散率を 1%と見込んでも、医療由来の放射性核種の集団線量は 1 万分の 5 程度に過ぎない。

もっとも、比較的小さい集団であっても、医療機関の隣接した地域の住民が大気への環境放出に伴う曝露の制御対象となるので、特に医療機関と近隣住居が窪んだような構造にある場合には、この評価が非安全側となることも考えられる。METI-LIS で計算すると、排気口から住居までの距離：25m、風速：平均 4m/s、排気口の地上からの高さ：0m、濃度評価の高さ：1m とすると、100MBq/h の放出でも、住居部分の濃度は 3Bq/m³ 程度に過ぎず、通常的环境では I-131 が集積する施設があったとしてもその近傍でのリスクは十分に小さいと考えられた。

D.3 DIS 導入のインパクト

原子力分野では、クリアランスが既に制度化されている。日本原子力発電(株)東海発電所は、撤去鉄材のうち 35 トンを

市中の溶融鑄造事業者で再加工し、鉄遮へい体ブロック、ベンチ、テーブルを製造して再利用している⁶。

クリアランス対象物は厳重に出所を管理されている。裁断・仕分け・除染の後、管理区域搬出時に表面汚染が測定され、さらに、クリアランス検認測定を経て搬出されている。しかし、手順が煩雑であるために、「放射性廃棄物でない廃棄物」を導入することが課題とされている。

医療では法令上クリアランスレベルは導入されていないが、関係学会のガイドラインで患者の排泄物のうち、おむつの汚染物は、法令での規定はないものの、関係学会のガイドライン⁷とマニュアル⁸にその扱いが規定されている。ただし、おむつのパッケージに「使用後の紙おむつの付着した大便は、必ず取り除いてトイレに始末してください。残りは、不衛生にならないようにしてください。」と表示してある¹ものの、関係学会のマニュアルでは、「家庭で使用したオムツは、ビニール袋に入れ内容物が漏れないように封入して一般ごみとして処理する。」と書かれている。オムツの処理方法は自治体によって異なるが、廃棄物の焼却処理の制御のために内容物もそのまま廃棄するよう示しているところは、調べた範囲では確認できなかった。このため、自治体の指示と齟齬が生じている。おむつを扱うことによる放射線のリスクはほとんど無

¹<http://www.jhpie.or.jp/product/diaper/common/disposal.html>

視できると考えられることから、自治体の一般的な指示に従って構わないことを伝えた方が、現場での混乱防止にはよいのではないかと思われた。

いずれにしても、このように廃棄物処理業者の合意が得られていれば、放射性廃棄物として扱わないとする運用が関係学会の責任のもと現場で行われている。このマニュアルでは廃棄物業者や一般公衆の線量が無視しうることが明示されている。海外でも科学的な評価を基に合理的な環境放出基準が導入されている。⁹¹⁰¹¹安全評価のシナリオの完成度をより高めるとともに、きちんと対策が講じられていることの実情を国民に正しく理解してもらい、利害関係者を巻き込みルールを整備することが健全な社会構築のために求められよう。

わが国には、放射性廃棄物を排出する事業所は約 2,400 箇所あり、このうち、医療機関は 1,260 箇所である¹²。廃棄物の量を定める因子としては加速器運転に伴う放射化物の取扱も無視できない。2007 年度には日本アイソトープ協会が 11,700 本（200L 容器換算）を集荷した。1 年に集荷される放射性廃棄物の総放射能はおよそ 3TBq で重量は 500 トンとなる。そのうち医療法関係は 200 トンである。この量を減らすと放射性廃棄物処理コストを圧縮できることが期待される。ただし、廃棄物処理費用は、全体の必要な費用を廃棄物 1 個あたりで割って算出されているので、スケールメリットが低減すると

放射性廃棄物として扱わざるを得ない施設の負担が増えることも考えられる。この場合は、放射線診療施設全体で一定程度負担するのが適切であると考えられる。

一方、放射性同位元素の大気環境への放出低減のチャコールフィルタの適正な使用のあり方が課題になっている¹³。平成 18 年度の日本放射線安全管理学会では、この件への対応が討議されたが、発生源で環境放出低減策を講じるべきであるとして、医療機関では放射性ヨウ素を投与された患者が入院する病室にチャコールフィルタを用いるべきとされた。たしかに施設からの排気口に設けるよりも、より発生源の近くにフィルタを設置した方が、フィルタの劣化は緩やかでフィルタの交換費用は低減できる。しかし、医療用核種の環境影響は限定的であり、環境試料で検出された例では最大でも I-131 で 0.34Bq/kg-wet とごくわずかでリスク上の考慮は不要なレベルである¹⁴。従って、このような対策が正当化されるかどうか国民の視点で吟味すべきである。

E. 結論

放射性廃棄物管理の合理化のために、公衆への曝露に伴う放射線誘発がんのリスクを推計した。DIS を導入したとしても、医療で用いた I-131 の汚染物に由来した清掃作業員や公衆の極めて小さく、核医学分野で DIS を導入することに放射線防護上の問題はない。また、大気への放出による医療由来の I-131 の公衆への

曝露に伴う放射線誘発がんのリスクは がある。
 比較的小さく、環境放出低減のための高
 価な設備投資は合理的と言えない可能性

表 1 関東一都六県の I-131 の年間出荷数量(GBq/y) (2007 年度)

	都県別年間出荷数量	
	(GBq/y)	核医学施設数
茨城県	19	18
栃木県	85	14
群馬県	293	24
埼玉県	60	31
千葉県	262	38
東京都	2,363	104
神奈川県	24	58
関東	3,105	287
全国	11,721	1275

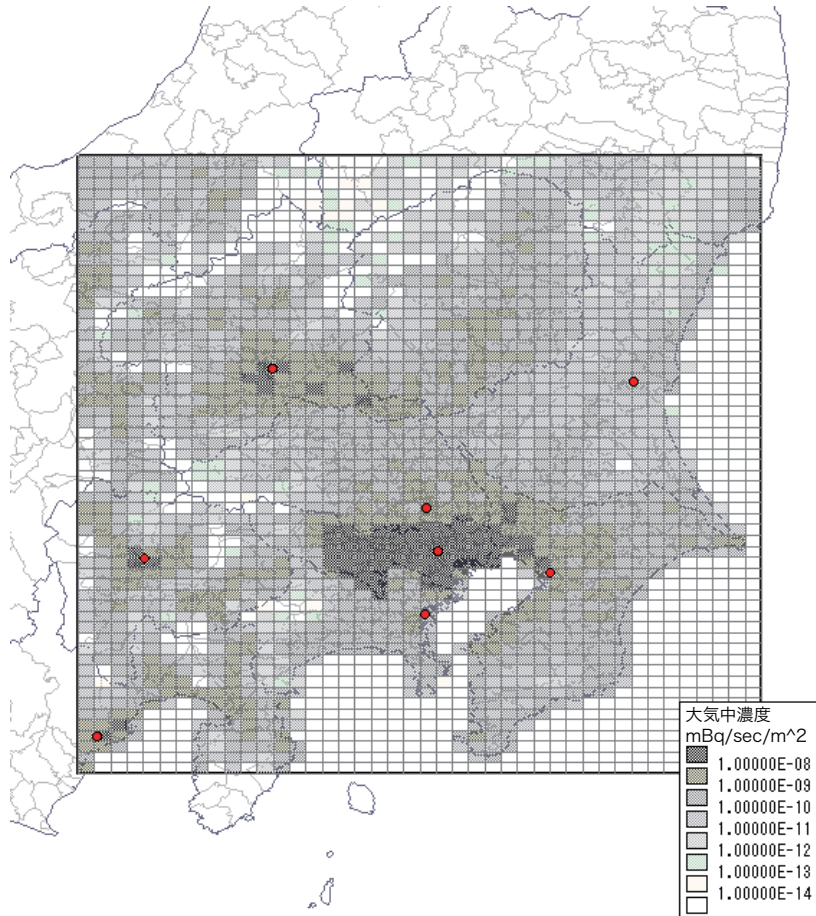


図1 各グリッドからの I-131 の単位面積 (1m²) 毎秒あたり放出率

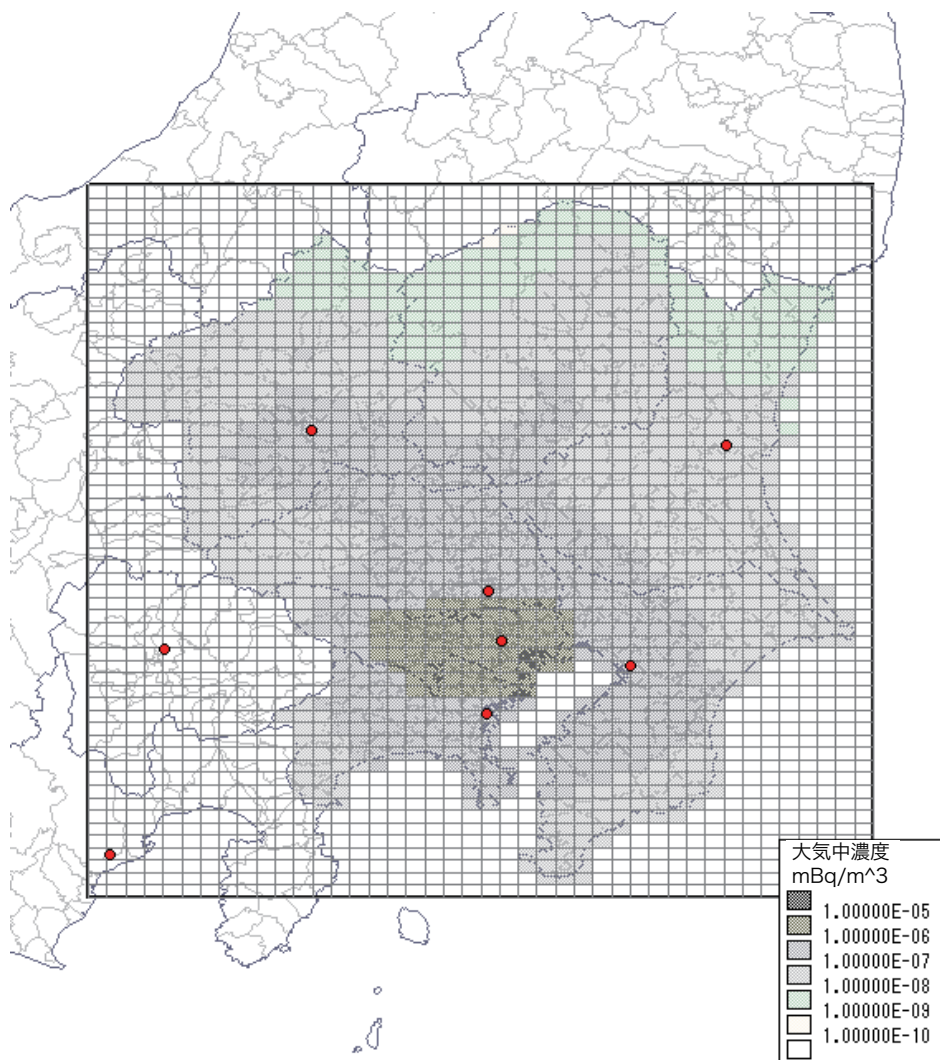


図2 大気中の I-131 の濃度分布

文献

- ¹ 山口 一郎, 大山 正哉, 大場 久照, 加藤 英幸, 木田 哲生, 木村 健一, 田中 真司, 長岡 宏明, 早川 登志雄, 藤淵 俊王, 保科 正夫, 星野 豊, 宮浦 和徳, 渡辺 浩. 医療用放射性廃棄物の課題とは何か? . 日本放射線技術学会誌 2008;64(10):1314-1320
- ² 日本アイソトープ協会. アイソトープ等流通統計 2006 年
- ³ 平成 17 年度国勢調査に関する地域メッシュ統計(世界測地系) (総務省統計局調査、(財) 統計情報研究開発センターから販売)
- ⁴ http://www.riskcenter.jp/ADMER/ja/index_ja.html
- ⁵ 山田昭司, 水野徹. 放射性ヨウ素(125I)の飛散と飛散したヨウ素の活性炭カートリッジによる捕集. *Radioisotopes*. 46(1), 20-27, 1997
- ⁶ 日本原子力発電株式会社. 東海発電所「クリアランス制度」対象物に係る放射能濃度の測定及び評価方法の認可申請について. 2006.
<http://www.japc.co.jp/news/bn/h18/180602-1.pdf>
- ⁷ 日本核医学会. 放射性医薬品を投与された患者さんのオムツ等の取扱いについて 核医学診療を行う医療従事者のためのガイドライン. *核医学*. 2004; 41(2): 155-156
- ⁸ 日本核医学会. 放射性医薬品を投与された患者さんのオムツ等の取扱いマニュアル. *核医学*. 2004; 41(2): 157-162
- ⁹ NRPB. W-63 Radiological Assessments for Small Users. 2004
- ¹⁰ Glenda Crockett. Sources and fate of discharges of liquid radioactive waste to public sewers. *Radiological Protection Bulletin*. 226, 19-24, 2000
- ¹¹ ICRP Publ.94 非密封放射性核種による治療を受けた患者の解放,2007
- ¹² 文部科学省第 2 3 回放射線安全規制検討会配付資料. 研究施設等廃棄物の埋設事業の概要. 2008.07.22http://www.anzenkakuho.mext.go.jp/news/siryoku/ri23/20080723_01c.pdf
- ¹³ <http://kokkai.ndl.go.jp/SENTAKU/sangiin/164/0089/16405240089012c.html>
- ¹⁴ 森田貴己、丹羽健太郎、藤本賢、葛西広海、山田東也、西内耕、坂本竜哉、牛堂和一郎、田井野清也、林芳弘、竹野功壘、西垣友和、藤原邦浩、荒武久道. 褐藻類中のヨウ素-131濃度について、第 10 回「環境放射能」研究会；2009.3.3-5；茨城