

目次

研究要旨	4
A.研究目的.....	4
B. 研究方法.....	5
B.1 下水処理場における放射能測定	5
B.2 医療機関から公共下水に排出される下水中の予測及び実測放射能濃度の評価	5
B.3 下水処理場に流入する人工放射性核種による従事者被ばく線量の試算評価	5
C. 研究結果.....	6
C.1 下水処理場における放射能測定	6
C.2 医療機関から公共下水に排出される下水中の予測及び実測放射能濃度の評価	6
C.3 下水処理場に流入する人工放射性核種による従事者被ばく線量の試算評価	6
D.考察	6
E. 結論.....	7
F. 研究発表.....	7
G.知的所有権の取得状況	7
謝辞	7
APPENDIX.....	10
公共の下水に排出される放射性廃液の起源とその挙動	10
<i>廃水の処理</i>	10
<i>起点の状況</i>	11
<i>廃水処理のモデリング</i>	11
<i>モデリングの結果</i>	12
<i>測定結果</i>	13
<i>SMART の応用</i>	13
<i>結論</i>	13
水質汚濁防止法との医療機関の排水設備との関係	15
<i>特定事業場に対する規制</i>	15
<i>【水質汚濁防止法】</i>	15

【水質汚濁防止法施行令】	16
文献	16

研究要旨

医療からの環境への液体の放射性同位元素の放出のわが国における規制の見直しの必要性を検討するために、医療機関から環境に放出される放射性同位元素について現状の把握を試みた。

医療由来の人工放射性核種の排水の環境放出における放射線防護基準設定時に考慮すべきシナリオとして下水処理場において汚泥を扱う職員等の外部被ばくが考えられる。しかし、今後下水処理場への流入が増加したとしても想定した範囲内では、下水処理場職員の被ばく線量は十分に小さく、現行の規制を見直す必要はない。

A. 研究目的

わが国では、放射線障害防止法や医療法に基づき、公共下水等への少量の液体放射性廃棄物の排出が許可されている。公共下水等への排出が認められている放射性核種は、医療や産業、研究などのトレーサーとして利用されることが多い。

このうち医療では、比較的エネルギーの低い γ 線やX線を放出し、半減期が数時間から数週間と短い核種が多く利用されている。放射性廃液排出事業者は、放射性排水処理設備を設け、放射性廃液処理に関する事前安全評価について行政機関の審査を受けるとともに排出状況を記録することが求められている。このため管理区域内で発生した放射性廃液は、この手順に従い適正に処理されることになる。しかし、医療の場では放射性物質を患者に投与するために、患者から排泄された放射性物質が管理区域内の下水設備のみに流入するとは限らないのが現状である。従って、その実態に応じた安全評価法を再構築することが求められ

る。また、生活環境における放射能モニタリングにおいて、セキュリティ確保や循環型社会形成のためのクリアランス制度導入に向けた体制の整備が課題と考えられる。

一方、医療機関における放射性廃液に関する排水設備については設置コストや維持コストがかかる一方で環境排出量が相対的に小さく、使用する放射性同位元素も比較的半減期が短いため、その必要性が課題となっている。計算上は、特別な排水設備を設けなくても濃度限度を担保できることが示されておりⁱ、それを測定で確認することが求められている。

他方、放射性廃液のうち専用の排水設備で処理されるのはごくわずかであることが明らかになっているⁱⁱ。このため、その使用の実態に応じた環境負荷を明らかにすることが求められている。

医療機関における放射性廃液に関する事前安全評価では、使用量の1%が排水に移行するという設定がよく使われているⁱⁱⁱ。これは、本来、準備室から下水への混入を想

定したものと考えられる。しかし、患者に投与した放射性同位元素は、そのほとんどが、尿や便中に排泄され、実態とこのような安全評価が必ずしも合致していない面もある。一方、英国では、都市環境に放出される液体の放射性廃棄物の起源を医療機関と設定し、安全評価のモデルにおける critical pathway を下水処理場の汚泥脱水に従事する職員の外部被ばくとした安全評価で規制の健全性を確認している^{iv}。この調査報告書の該当部分をこの報告書の巻末に示した。

そこで、医療からの環境への液体の放射性同位元素の放出のわが国における規制のあり方の検討するために、医療機関から環境に放出される放射性同位元素について現状の把握を試みた。

B. 研究方法

B.1 下水処理場における放射能測定

神奈川県内の A 下水処理場より流入水を採取し、ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリーを行った。検体は採取状態のまま容器に封入し計測した。

B.2 医療機関から公共下水に排出される下水中の予測及び実測放射能濃度の評価

都内 B 病院において公共下水への放流口において排出水を採取し、採取場所で NaI 検出器を用い測定するとともに、Ge 半導体検出器を用いガンマ線スペクトロメトリーを行った。ここで、対象とした病院では、仮に、外来患者では投与した放射能の 20% が病院内の非管理区域の排水系統に流入し、

入院患者では 0.8 日間の生物学的半減期で体内から消失し、体外に排泄した放射能は全量が B 病院内の非管理区域の排水系統に流入するとし濃度を推定した。B 病院での下水道使用量は年間 28 万立方 m (ただし、国立埼玉病院での H16 年度の実績は、上水道：7,267,600 立方メートル、下水道：6,702,400 立方メートル) とし、採取時刻時の貯水量を公共下水への放流時刻を考慮し推計した。

B.3 下水処理場に流入する人工放射性核種による従事者被ばく線量の試算評価

核医学施設における貯留槽を設けない排水管理を想定し、下水処理場に流入する放射能を試算した。核種は ^{131}I と ^{18}F を対象とした。事業所等から下水処理場への到達時間を 50 分とし、 ^{18}F を投与した医療機関においても排水をそのまま公共下水に排水し、放射性核種は全て下水処理場内の汚泥で補足されたとした。 ^{131}I は患者への投与量を 3.7GBq、下水への混入率 100%、下水処理場管内での投与患者数を 1 人/週とした。 ^{18}F は患者への投与量を 3.7MBq/kg とし、撮像までの待ち時間 40 分、撮像前の排泄率 20% とした。また、下水処理場管内での撮像装置数を 10 台とし、1 台あたり 10 人/日の患者を 1 週間に 5 日間検査するとした。この設定では 70kg の患者一人あたりの下水処理場に流入し貯留する ^{18}F は 15MBq となる。放射性核種は厚さ 3m の汚泥に均等に分布するとし、汚泥表面から 5m の距離における 3 月間の実効線量を光子及び電子・陽電子のモンテカルロ法による輸送コード

である Electron Gamma Shower Code Version 4 で計算した。

C. 研究結果

C.1 下水処理場における放射能測定

測定結果を表 1 に示す。検出された医療系核種は、Tc-99m, Ga-67, Tl-201, I-131, I-123 であった。

C.2 医療機関から公共下水に排出される下水中の予測及び実測放射能濃度の評価

患者に投与した放射能を表 2 に示す (B 病院提供データ)。図 1 に NaI 検出器で測定した下水のスペクトルを示す。表 3 に Ge 半導体検出器により測定された放射能濃度を示す。表 4 に予測した濃度を示す (採取時換算, Bq/l)

C.3 下水処理場に流入する人工放射性核種による従事者被ばく線量の試算評価

下水処理場に流入する人工核種が増加した場合でも放射線量は ^{131}I : $59 \mu\text{Sv}/3$ 月間、 ^{18}F : $56 \mu\text{Sv}/3$ 月間と線量限度を下回った。

D. 考察

下水処理場では、医療機関由来の人工放射性核種が検出される。しかし、下水処理場に流入する医療由来の人工放射性核種の濃度は、法令で定める濃度限度と比べはるかに低い。

医療機関の採水では、攪拌しないとタンク内の RI 濃度は一定にならない。攪拌しないで上澄みのみを採取すると、Ga-67 は 400 倍、Tc-99m は 15 倍、Tl-201 は 1 万倍以上過小評価しうる。

B 病院では比較的大量の放射性医薬品が使用されているが、公共下水への排出水の濃度は、いずれも、法令で定める濃度限度を下回っていた。

Ga-67 は 11/2 は予測値と近かったが 11/24 は予測値よりも高くなり、測定値と予測値の関係が一定ではなかった。検査のために外来に再来した患者が病院内のトイレを使ったか、入院患者からのトイレへの移行が大きかったのかもしれない。

Tl-201 は、ほぼ予想どおりであった。

Tc-99m は、11/24 の試料では桁が一致したものの、11/2 の試料では予測値の 1/100 程度しかなかった。Tc-99m を投与された患者の投与後の行動に多様性があるか、代謝に多様性があるのかもしれない。

下水処理場には医療機関で使用された放射性核種が流入し、それらは汚泥で補足されるために、医療由来の人工放射性核種の排液の環境放出における放射線防護基準設定時のシナリオとして下水処理場において汚泥を扱う職員等の外部被ばくが考えられる。NRPB の報告書⁶⁾においても、そのシナリオで放射性同位元素の環境放出基準の妥当性を検証している。わが国における医療機関由来の放射性核種の環境放出についても、この報告書で設定している想定を超えるものではない。今後、医療機関由来の放射性核種の下水処理場への流入が増加したとしても想定した範囲内では、下水処理場職員の被ばく線量は十分に小さい排水設備の処理基準の見直しの必要はないものと考えられた。ただし、大規模な PET 施設が同

一下水処理場管内に複数箇所設置され、患者から排泄された F-18 が医療機関内で減衰することなく、下水処理場に流入すると、この想定外になる。

また、事業所全体の排水数量を考慮して医療機関における放射性廃液の排水設備の設置の基準を見直す場合であっても、下水処理場において汚泥を扱う職員等の外部被ばくがその見直しの障害になることは考えがたい。もっとも、その他に考慮すべき要因として、管渠のメンテナンスに従事する作業員への被ばくがあるかもしれない。

一方、医療機関における安全評価で患者に投与した放射性核種のうち、1%のみしか排水に混入しないというシナリオを採用しているとする現状と齟齬があるので、現実に即したモデルで評価しておくべきだと思われた。また、医療機関における患者のトイレ使用についての行為制限やトイレ清掃作業での作業環境管理のあり方について科学的根拠を基にマニュアルとして示すべきではないかと思われた。排水設備に関する法令適用のQ&Aの作成も来年度の課題としたい。

E. 結論

下水処理場では、医療機関由来の人工放射性核種が検出される。

医療由来の人工放射性核種の排液の環境放出における放射線防護基準設定時のシナリオとして下水処理場において汚泥を扱う職員等の外部被ばくが考えられる。しかし、今後下水処理場への流入が増加したとしても想定した範囲内では、下水処理場職員の被ばく線量は十分に小さい。このため、現行の環境排出基準を見直す必要性は小さい。

F. 研究発表

山口一郎、鈴木元、寺田宙、三宅定明、杉山英男、生活環境における放射線の実態把握と評価～医療放射性核種～、第19回公衆衛生情報研究協議会、2006

G. 知的所有権の取得状況

なし

謝辞

本調査研究の実施にあたりご協力頂きました関係各位に謝意を表す。また、核医学施設における放射線管理について東京慈恵会医科大学附属病院放射線部の成田浩人技師長補佐にご教示頂いた。

表1 A 下水処理場への流入下水中の放射能濃度

核種名	放射能 (Bq/g)		放射能 (Bq/g)	
	10:00	11:00	11:00	11:30
Tc- 99m	9. 81E-03±1. 90E-03	9. 38E-03±1. 79E-03	1. 13E-02±1. 31E-03	
I -123	5. 83E-03±1. 39E-03	6. 04E-03±1. 12E-03	4. 71E-03±9. 93E-04	
Tl-201	2. 36E-01±1. 14E-02	2. 69E-01±1. 11E-02	2. 27E-01±1. 06E-02	
I -131	4. 27E-02±2. 03E-03	3. 97E-02±1. 73E-03	4. 08E-02±1. 85E-03	
Ga- 67	5. 74E-02±1. 56E-02	5. 77E-02±1. 51E-02	6. 24E-02±1. 36E-02	

表2 B病院において患者に投与した放射能(各評価日において過去3日分、投与時換算、GBq)

	Ga-67	Tc-99m	In-111	I-123	I-131	Tl-201
10/5	1.3(1.2)	29.1(22.9)	0	0.9	0.02(0.02)	3.3(3.3)
11/2	2.3(1.9)	30.0(22.5)	0	0.1(0.1)	3.7(0.03)	5.6(3.9)
11/24	1.0(0.8)	23.4(18.0)	0.1(0.1)	0.3(0.1)	0.5(0.03)	5.0(4.1)

() 内は外来患者分

表3 Ge 半導体検出器により測定されたB病院から公共下水道に放流される排水中の放射能濃度(採取時換算, Bq/l)

	Ga-67	Tc-99m	In-111	I-123	I-131	Tl-201
10月5日 (未攪拌)	0.11 ± 0.028	1.4±0.6	-	<0.07	<0.0027	<0.037
11月2日	401±5	6.0±1.1	-	<2.2	<0.13	62.6±1.8
11月24日	43±3	1300±1	<0.41	<0.77	<0.45	180±2.5

表4 B病院から公共下水道に放流される排水中の放射性核種の予測濃度(採取時換算, Bq/l)

	Ga-67	Tc-99m	In-111	I-123	I-131	Tl-201
10月5日	42	1400	0	33	0	61
11月2日	400	530	0	0	0	87
11月24日	1.3	1900	0	0.073	0	170

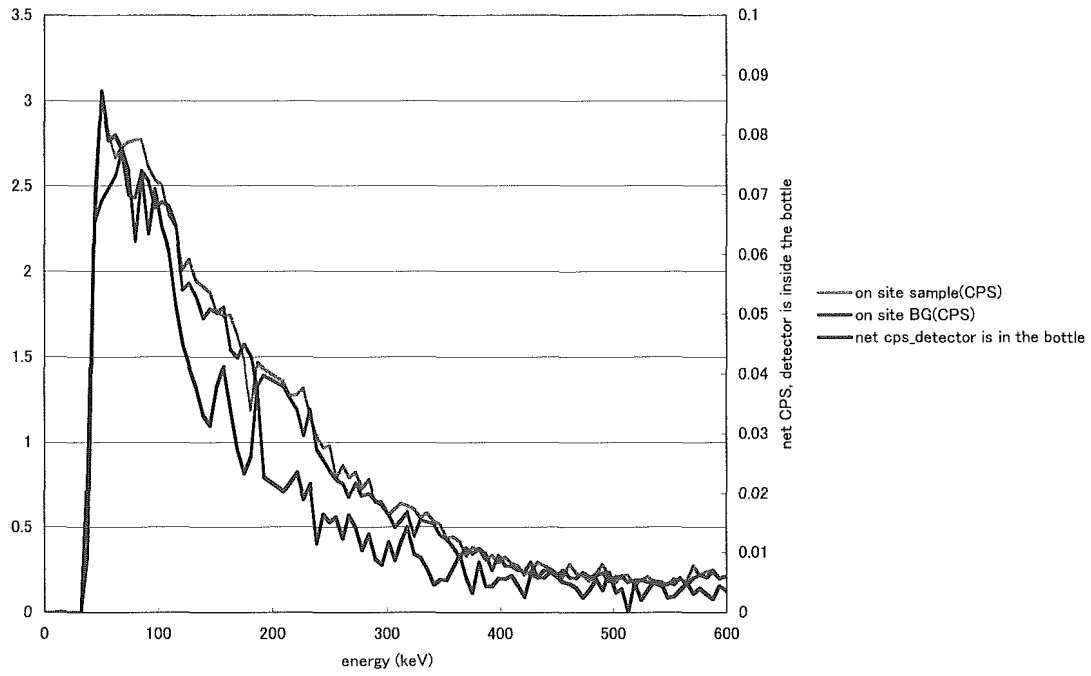


図1 NaI 検出器で測定した B 病院から公共下水道に放流される排水のスペクトル
試料測定値と BG 測定値および正味測定値を示す。

Appendix

公共の下水に排出される放射性廃液の起源とその挙動

イギリスでは、Radioactive Substances Actの規定に基づき、核燃料物質を扱わない事業所から公共下水への少量の液体放射性廃棄物の排出が許可されている。この規定は、現在、環境を担当する行政機関（Environment Agency, Scottish Environment Protection and the Industrial Pollution and Radiochemical Inspectorate of Northern Ireland）により見直しを進められている。この研究は、この環境基準見直しを行う行政機関に、これらの排出基準を継続して用いるよう必要な情報を提供するために、NRPBの依頼により行われた。

本研究の一部として、イギリスでの下水処理、特に下水汚泥の焼却処理に関するレビューを行った。対象は、二ヶ所の都市公共下水処理場で、ロンドンのBecktonとロードのKnostropである。そこで、モニタリングと放射線学的な評価をおこなった。この評価では、法が規定する基準に従い放射性物質を取り扱う各事業所で実施された処理後に、これら二ヶ所の下水処理場へ流入する放射性物質が引き起こす影響を調べた。また、農地へ汚泥が搬入されうる郊外の下水処理場への結果の当てはめについても幾ばくか考察した。

廃水の処理

廃棄物汚水は住宅、会社、公共機関、大学、病院などから排出される。それらは汚水、産業廃液、道路や都市からの流去水で構成されている。未処理の下水廃棄物は、懸濁した固体とともに水にまぜる。廃水は下水システムにしたがって下水処理をおこなう。

下水処理設備は、物理的な方法や生物学的な方法を組み合わせて排水から固形物を除去する。予備的な処理でスクリーニングをし、摩耗機を使って粗粒や大きい浮遊物などを処理する。はじめの処理で、沈澱法で廃液から沈殿物となった固体を取り除く。二番目の処理で、生物学的な酸化と凝集により、未処理では沈殿しなかった固形物と有機物を沈殿させ取り除く。通常二番目の処理にはろ過と触媒汚泥処理もおこなう。触媒汚泥処理はより狭いスペースのできるので、都市では通常この方法が用いられる。

二番目の処理にしたがうと、排水が内陸の河川や沿岸部の河川に排出される。排水に関する三番目の処理は、最後の排水を受け入れる流出権によって、任意でおこなう。これはイギリスではそれほど広くはおこなわれていない。しかし、European Directive on Urban Wastewater Treatmentによって、幅広く受け入れられるようになってきた。

分離された固形物である汚泥は、その最終的な処分法にしたがって、例えば嫌氣的

や熱処理による消化や放射線殺菌法などのいろいろな方法で処理することができる。汚泥は焼却し、ごみによる埋め立てか農地への肥料として投入する。ニヶ所のサイトの調査によると、汚泥は脱水したのち乾燥し、焼却後その灰を内陸におくる。Knostrop では、脱水した汚泥を内陸に直接おくり、短時間で焼却する。

Beckton と Knostrop で主に異なるのは、下水処理場への廃水の全流入量と処理場に流入する放射性核種の量である。Beckton は Knostrop に比べ 17 倍多く廃棄物を受け入れ、7 倍以上の汚泥を生じた。Beckton は処理した排水をテムズ川の汽水エリアに排出している。一方で Knostrop は処理した排水を Aire 川の淡水エリアに排出している。

起点の状況

公共下水への排出が認められている放射性核種は、医療や産業、研究などのトレーサーとして利用されることが多い。核種としては適当なエネルギーのβ線かγ線を放出し、半減期が数日か数週間であるものが利用される。³H や ¹⁴C は半減期が長いため、この分類の例外である。Beckton と Knostrop の集水池に集められた放射性核種は、放射性廃棄物を処理するため、公的文書として保存される放射性廃液の公共下水への排出に関する認可証書に基づいて同定される。この情報により 17 の放射性核種を同定した。これらは、³H、¹⁴C、³²P、³⁵S、⁵¹Cr、⁶⁷Ga、⁸³Rb、⁸⁴Rb、⁸⁹Sr、⁹⁰Y、^{99m}Tc、

¹¹¹In、¹²³I、¹²⁵I、¹³¹I、²⁰¹Tl、²⁴¹Am である。

認可証書によって各集水池に排出された最大量が明らかになる。しかし、大部分の放射性廃液排出事業者のうち約 30%しか認可証書を使用しない。典型的な排出の影響は、認可された排出の最大量として評価される。典型的な排出は、処理の既述事項または Environment Agency によって評価される。すべての放射性廃液排出事業者は、実際の排出の記録を保持すること、および環境機関へ毎年適正に報告することが求められている。

Beckton では、65 の放射性廃液排出事業者から放射性廃液を受け入れ、1997 年の放射エネルギーの総量は 5×10^{12} Bq になった。Knostrop は 6 の機関から放射性処理物を受け取り、1997 年の放射エネルギーの総量は 2×10^{12} Bq になった。両サイトでの放射能の主な放射性廃液排出事業者は病院で、主な放射性元素は ^{99m}Tc と ¹³¹I であった。

廃水処理のモデリング

下水処理と排水における放射性核種の流れの調査、および労働者と公共機関への結果の評価をおこなうため、コンピュータモデル (SMART) を作成した。廃棄物と汚泥処理のステージのモデルを図に示した。過去の文献をもとに、異なる処理ステージでの放射性核種の排水から固体への移行の係数を決定した。本研究で用いたニヶ所の下水処理場を評価するようにモデルを構成した。下水処理場の集水池への流入しうる法規制の制限内での放射性排出物の最大量、

および 1997 年の実績をもとにした放射性排出物の量のそれぞれに基づき評価対象となる線量を求めた。

モデリングの結果

SMART による結果を表に示した。放射能濃度が最も高かったのは焼却前の脱水汚泥であった。脱水汚泥中で最も考慮すべき放射性核種のうち ^{131}I は空気中に飛散するため焼却後の灰（山口注：特に集塵灰（飛灰）以外）ではさほど重要ではない。しかし、汚泥から灰への体積の減少は約 70% であり、すべての放射性核種はある程度濃縮されている。

両下水処理場で、最も被ばくする作業者は、焼却するために汚泥を脱水する作業に従事する作業員と考えられた。汚泥の圧縮作業をおこなう作業員は、作業中は常に脱

水汚泥に近接して作業をおこなっていると考えられるために被ばくが多くなると推定された。その他の作業員の時間配分をみると、ほとんどの時間は下水処理に費やされ、残りの時間は焼却灰の処理に費やしており、この時間には、焼却灰中の濃縮された放射性核種を扱うことになる。汚泥の圧縮をおこなう作業員の線量へは、 ^{131}I の外部被ばくが最も寄与していた。

Beckton では手動で汚泥の圧縮をおこなっている。一方 Knostrop ではこのプロセスを自動でおこなうかわりに、定期的に検査をおこなっている。このため Knostrop での汚泥圧縮作業員の線量は一定であり、想像以上に汚泥圧縮にかかる時間は短かった。しかし Knostrop の結果は、自動化されていない作業行程での下水処理業務の値を示している。

作業員および公衆の線量

	線量($\mu\text{Sv y}^{-1}$)			
	Beckton		Knostrop	
被ばく線量推計対象グループおよび線量推計モデル	検定済みの最大処理量	典型的な処理量	検定済みの最大処理量	典型的な処理量
作業員				
通常の作業員	40	11	80	25
汚泥圧縮の作業員	153	42	238	79
公衆				
処理後の放射性廃棄物	30	0.6	180	19
焼却後の大気放出	<2	<2	<1	<1

両下水処理場で処理した下水に由来する公衆の線量は、事業所から川に排出された放射性廃棄物の ^{14}C によって主に決定された。魚の摂取は潜在的で重要な被ばく経路である。Aire 川流域での漁獲量と消費量に関するデータが得られなかったために、ここでの線量評価は仮定に基づいている。乾燥時期、雨期、あらしの時について、SMART を用いてモデリングをおこなった。乾燥時期と雨期での作業の間には、線量の差はほとんどなかった。これは、最大の線量は、汚泥から水分を除去した状況で汚泥を圧縮した時の量であるためと考えられる。あらしの時には、下水処理場の能力を超える下水は、そのまま下水処理場からの流路に直接排出される。これらのことから作業季節の違いによる作業員への線量の差はなく、下水処理場に流入する下水の放射能濃度を低くしても、公衆への被ばく低減という観点ではほとんど効果がないと考えられる。

測定結果

Beckton と Knostrop における下水の各処理過程での放射能濃度を測定し、SMART による推計結果と比較した。実際の排出量を測定した結果、ほとんどの放射性核種について測定値と予測値が一致した。特に汚泥中の ^{131}I 濃度を測定した結果、固形物と焼却灰についての線量は予測値と同程度であった。逆に、最終的な廃棄物中の ^{14}C 濃度は過大評価となり、そのため公共への線量も過大評価となった。

SMART の応用

これらのモデルは Beckton と Knostrop に適用するようになっていた。しかし一部の情報は、ほかの下水処理作業にも適応できる。特別な下水処理作業と放射性核種のデータは、一般化してモデル化できる。

イギリスでは大抵、下水汚泥は農地へ投入して処理する。約 44% の下水汚泥はこのようにして処理されている。SMART によると、汚泥の農地への処理からくる線量の計算に必要な情報を含んでいる。しかし農地への経路は、両下水処理場で用いられていないため、本報告ではふれていない。

結論

許可された放射性核種の排出量から発生する線量を評価するため、また都市型の両下水処理場での汚泥処理作業を評価するため、モデルを作成した。表に示した線量はすべて、 $1000 \mu\text{Sv y}^{-1}$ とされている限界値より下回り、 $300 \mu\text{Sv y}^{-1}$ とされている線量拘束値の最大値より下回っていた。対照的に、すべての放射線源からのイギリス国民への個人の平均線量は $2600 \mu\text{Sv y}^{-1}$ であった。線量は処理する下水道処理施設の管区に依存する。ここで得られた結果は、多くの事業所がある地域における実際のデータである。このため、ある事業所でのデータによる線量はこの調査研究よりも小さくなる。これらのことから、下水処理における放射性核種の排出業務は安全であり、

都市で受け入れられると考えられる。特に下水汚泥の焼却は、公共に対する線量増加にはほとんど寄与しない。より厳しい条件でも、この結論は変わらないだろう。このモデルはさまざまな下水処理作業に適応できると考えられる。

水質汚濁防止法との医療機関の排水設備との関係

- ・ とりあえず PET 検診センターだと考慮不要
- ・ ただし、ある一定以上の規模の医療機関だと全く貯留槽が不要という前提は不適切

特定事業場に対する規制

(1) 排出水の濃度規制 (第 3 条、第 12 条)

特定事業場から公共用水域に排出する水は、排水基準を満足させる必要がある(都道府県条例でも規制されている)。このため、測定方法を届け出ておき測定する必要がある。もっとも、ある一定以上規模の医療機関計測では実施されており、新たな負担とはならない。

(2) 総量規制 (第 4 条の 5)

指定地域内事業場に対して濃度規制に加えて排出水の汚濁負荷量の総量について規制基準が定められている。ただし、放射性物質についてはおそらく総量規制は設けられていない。しかし、排出後の拡散が期待できず事業所の規模別にクリアランスの基準を与えるのがよいとすると、濃度規制だけでなく総量規制も取り入れた方が適切なかもしれない。

(3) 汚濁負荷量測定手法の届出 (第 14 条第 3 項)

(4) 事故時の措置 (第 14 条の 2)

ある程度の確率で事業所内汚染事故が起こりえて、排水系統への混入がありえるとすると、事故時の対応が取れるように措置しておいた方が安全かもしれない。

【水質汚濁防止法】

(定義)

第 2 条 この法律において「公共用水域」とは、河川、湖沼、港湾、沿岸海域その他公共の用に供される水域及びこれに接続する公共溝渠、かんがい用水路その他公共の用に供される水路(下水道法(昭和 33 年法律第 79 号)第 2 条第 3 号及び第 4 号に規定する公共下水道及び流域下水道であつて、同条第 6 号に規定する終末処理場を設置しているもの(その流域下水道に接続する公共下水道を含む。)を除く。)をいう。

2 この法律において「特定施設」とは、次の各号のいずれかの要件を備える汚水又は廃液を排出する施設で政令で定めるものをいう。

1. カドミウムその他の人の健康に係る被害を生ずるおそれがある物質として政令で定める物質を含むこと。

2. 化学的酸素要求量その他の水の汚染状態

(熱によるものを含み、前号に規定する物質によるものを除く。)を示す項目として政令で定める項目に関し、生活環境に係る被害を生ずるおそれがある程度のものであること。

別表第1

68の2

【水質汚濁防止法施行令】

(特定施設)

第1条 水質汚濁防止法(以下「法」という。)第2条第2項の政令で定める施設は、別表第1に掲げる施設とする。

病院(医療法第1条の5第1項に規定するものをいう。以下同じ。)で病床数が300以上であるものに設置される施設であって、次に掲げるもの

- イ ちゅう房施設
- ロ 洗浄施設
- ハ 入浴施設

文献

ⁱ 日下部きよ子. 医療行為に伴い排出される放射性廃棄物の適正管理に関する研究. 厚生科学研究費補助金 健康安全総合研究経費 医薬安全総合研究 平成15年度総括研究報告書. 2003

ⁱⁱ 日本核医学会 RI 内用療法ガイドライン作成ワーキンググループ(遠藤 啓吾、小泉 満、木下富士美、中沢 圭治). 《技術報告》 核医学診療施設における放射線管理状況のアンケート調査 ――特に排水設備への放射性同位元素混入率について――. 核医学 36: 1023-1031, 1999

ⁱⁱⁱ 日本アイソトープ協会. 改訂版 医療放射線管理の実践マニュアル. 東京. 2004

^{iv} Glenda Crockett. Sources and fate of discharges of liquid radioactive waste to public sewers. Radiological Protection Bulletin. 226, 19-24, 2000

^v NRPB W-63 Radiological Assessments for Small Users). 2004

平成17年度厚生労働科学研究費補助金（医療安全・医療技術評価総合研究事業）
「医療放射線分野における法令整備等含めた管理体制に関する研究」

分担研究報告書

医療機関における適切な放射線防護及び関係する制度についての研究

課題（5）：モバイルPETに関する放射線防護上の検討

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

天野 昌治	日本画像医療システム工業会 (株) 島津製作所 医療機器事業部技術部 主任技師
池淵 秀治	(社) 日本アイソトープ協会 医療情報室 室長
岩永 哲雄	(社) 日本アイソトープ協会 医療情報室 課長
大山 昇次	全国保健所技師会 会長 (東京都台東保健所)
金谷 信一	東京女子医科大学病院 核医学・PET 検査室
高橋美保子	(社) 日本アイソトープ協会 医療情報室
迫 義知	大阪府健康福祉部医務・福祉指導室
森 一五	東京都福祉保健局医療政策部 医療安全課 指導係
諸澄 邦彦	埼玉県立がんセンター放射線技術部副技師長

目次

A.研究目的.....	3
A.1 モバイル PET のねらい	3
A.2 モバイル PET とは.....	3
B.研究方法.....	3
B.1 モバイルPET 撮像装置のあるコンテナ車まで患者が移動することに伴う他の患者等の被ばく線量の推計	3
B1.1 線量計算する放射線の種類.....	4
B1.2 想定するシナリオ.....	4
B.2 モバイル PET の法令適用	4
C.研究結果.....	4
C.1 線量推計結果.....	4
C1.1 エレベータ同乗者の被ばく線量.....	4
C1.2 通路との境界における被ばく線量	5
C1.3 患者が車椅子で移動する際の介護者の被ばく線量.....	5
C.2 モバイル PET の法令適用	5
D.考察	8
E.結論.....	9
F. 研究発表.....	9
G.知的所有権の取得状況	9

研究要旨

核医学診療における新しい形態の一つとして海外で実施されているモバイル PET における放射線防護上の課題を明らかにすることを目的に海外の資料を検討するとともに想定される防護法についてわが国の医療機関の現状を考慮しその効果をシミュレーション計算で評価した。その結果、放射性物質の投与場所から PET 撮像装置のあるコンテナ車まで患者が移動することに伴う他の患者等の被ばく線量などを十分に小さくするために医療機関が実施することが求められると考えられる放射線防護上の要件を明らかにした。また、わが国でもモバイル PET のサービスを提供する場合に関係する法令と齟齬を来さないよう措置すべきことを明らかにした。

A. 研究目的

A. 1 モバイル PET のねらい

英国および米国において、PET(Positron emission tomography)診療を行う医療機関を確保するために、モバイル PET 診療を可能にするよう規制整備が進められつつある。

モバイル PET は、撮像装置を搭載したコンテナ車を医療機関に搬入するものであり、医療機関の負担を小さくし PET 診療を可能にするものである。

^{18}F -FDG-PET 検査は、2002 年 4 月に保険適用になり、特にがん診断に有用とされ、わが国でも広がりを見せている。しかし、これまでと同様な方法により各施設で設備や機器を用意していくことは医療コストを増大させるため、既存の核医学設備を利用するか、あるいは、必要最小限の設備投資で、できるだけ医療コストの増大を抑えた高度医療 (FDG-PET 検査) 普及を実現させたいとする現場の意見がある。

A. 2 モバイル PET とは

モバイル PET サービス会社が、モバイル CT で行っているように、PET あるいは PET/CT をトレーラーに搭載して、依頼を受けた医療機関にレンタル貸し出しを行うものである。薬剤は基本的にメーカー (日本メジフィジックス社等) から供給販売される FDG を使用する。医療機関はトレーラーを置くスペースを用意し、ここを RI 管理

区域に設定する。FDG の投与および排泄は、医療機関の既存 RI 施設で行うか、トレーラー内に設けられた区域で行う。PET の吸収補正用線源あるいは校正用線源は、PET に装着して移動するか医療機関で保管しておき、使用を開始するときに PET に搭載させて使用する。

このような診療をわが国でも認めるかどうかは、

- (1) PET 診療をわが国でも推進すべきか
- (2) PET 撮像装置を持たない医療機関でも PET 診療を行うことができるようにすべきか

という議論が前提になる。

本研究では、その議論で、モバイル PET をわが国でも導入すべきとされた場合の、放射線防護上の要件を明らかにすることを目的に検討した。

検討の課題として、

- (1) モバイル PET 撮像装置のあるコンテナ車まで患者が移動することに伴う他の患者等の被ばく線量を十分に小さくすること
 - (2) 関係する法令と齟齬を来さないようにすること
- を設定した。

B. 研究方法

B. 1 モバイル PET 撮像装置のあるコンテナ

車まで患者が移動することに伴う他の患者等の被ばく線量の推計

B1.1 線量計算する放射線の種類

F-18 の被曝線量を計算するに当たって考慮すべきエネルギー付与経路として

1. 消滅ガンマ線
2. 陽電子の直接被曝
3. 陽電子の制動放射

が挙げられる

このうち、2 と 3 は相対的に小さいことから、本研究での計算では 1 のみを考慮した。ただし、陽電子が直接、入射しうる状況では 2 と 3 も考慮した。

B1.2 想定するシナリオ

移動距離や移動時間、エレベータの使用の有無等、条件の違う医療機関 4 施設を対象とした。それぞれについて以下の方法でシナリオを作成した。

- (1) 管理区域からモバイル PET を駐車する予定の場所までの移動距離を測定。
- (2) 移動に要する時間に関して、歩行速度を 2m/3 秒 (40m/1 分であり、不動産の表示方法である 80m/1 分の半分の速度)、階段は 1 段/1.5 秒、エレベータの乗車時間は、1 フロア移動で 20 秒とする。
- (3) 稼働日数を 26 日/3 ヶ月、15 名/1 日とする。
- (4) 患者への投与量は、患者一人あたり 185MBq と仮定する。
- (5) 推計するシナリオ
 - ① エレベータ同乗者の被ばく線量 (エレベータの乗車時間は、1 フロア移動で 20 秒とする。)
 - ② 通路との境界における被ばく線量
 - ③ 患者が車椅子で移動する際の介護者の被ばく線量

- ④ 患者と同方向に移動する際の介護者との被ばく線量 (患者との最短距離、4m の間隔をあけた場合、5m の間隔をあけた場合)

- ⑤ 患者とすれ違う際の被ばく線量

これらの患者の移動シナリオを図 1-4 に示す。

B1.2 計算方法

線源を廊下の中心軸線上に位置すると近似し、有限の線状の線源近似モデルを用い、簡易的に線量を計算した。モデルを図 5 に示す。

有限線源モデルでは、線源の全放射能： Q (Bq)、放射能あたりのガンマ線発生数： a 、線源の長さ： L (cm)、ガンマ線フラックス： ϕ ($\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)、シリンジ中心からの距離： r (cm) とすると距離 r でのフラックスは、線源に長さによって積分すると以下ようになる。

$$\phi(r) = \frac{aQ}{2\pi Lr} \text{Arctan}\left(\frac{L}{2r}\right)$$

B. 2 モバイル PET の法令適用

モバイル PET を実施する上での現行の法令との齟齬が生じないか検討した。

C. 研究結果

C. 1 線量推計結果

C1.1 エレベータ同乗者の被ばく線量

FDG 投与済み患者と介護者との距離を 80cm に保つことにより、遮蔽体を使用せずとも $220 \mu\text{Sv}/3$ ヶ月となる。また、FDG 投与患者と介護者の間に 0.5cm の鉛の遮蔽体を使用すると、50cm の距離でも線量を $220 \mu\text{Sv}/3$ ヶ月に低減することができる。

C1.2 通路との境界における被ばく線量

全ての動線過程において、公衆被ばくに対する線量が線量限度を超えることはなかった。

C1.3 患者が車椅子で移動する際の介護者の被ばく線量

FDG 投与患者を車椅子に乗せ、車椅子の背面に 0.5cm の鉛を遮蔽体として使用し、介護者と患者との距離を 40cm とした場合、移動距離の一番短い施設 A のみ $250 \mu\text{Sv}/3$ ヶ月となり、公衆被ばくに関する線量限度と同程度になった。患者との距離を 67cm とすると、施設 D でも、 $250 \mu\text{Sv}/3$ ヶ月と線量限度と同等になった。これらのシナリオの中で移動距離が最長距離となる施設 C の場合は、120cm の距離を保った場合に $250 \mu\text{Sv}/3$ ヶ月になった。

C1.4 FDG 投与患者を乗せた車椅子を押す介護者

施設 A では患者との距離を 65cm とした場合、 $240 \mu\text{Sv}/3$ ヶ月、施設 B では患者との距離を 10cm とした場合、 $230 \mu\text{Sv}/3$ ヶ月、施設 C では、患者との距離を 220cm とした場合、 $250 \mu\text{Sv}/3$ ヶ月、施設 D では、患者との距離を 130cm とした場合、 $220 \mu\text{Sv}/3$ ヶ月となった。

C1.5 FDG 投与患者とすれ違う際の被ばく線量

いずれの施設でも、患者との距離を 10cm 以上保ちながらすれ違うことにより、 $220 \sim 250 \mu\text{Sv}/3$ ヶ月程度の線量に低減することができた。

C.2 モバイル PET の法令適用

C2.1 密封線源

モバイル PET においても、診療の品質管理上、密封線源を用いた日常点検が必要であると考えられる。設備を移動させた場合には、必ず、診療前に点検する必要がある。

この線源の利用については、平成 17 年 6 月より、放射線障害防止法などが改正されたことに伴い、設計認証機器を用いることにより、車載、移動が可能になるとする意見がある。しかし、表示付認証機器の制度は移動使用と関係はない。また、移動使用の規制は一部簡素化され、その制限となる数量や目的の追加がなされているが、モバイル PET を想定した議論はされていない。

いずれにしても、モバイル PET における密封線源をトレーラーに搭載したままにしておけるかどうかは、吸収補正用線源あるいは校正用線源を搭載してトレーラーを移動させることができるかという問題にとりあえず帰着することができる。非破壊検査などで実績があるので可能だと思われるが、この場合は、もともと移動して使用することを想定しているため非破壊検査装置は十分な遮蔽を行っている。PET でも十分な遮蔽がなされていれば問題ないと考えられるが、これが困難であれば、貯蔵容器と輸送容器を兼ねたものをトレーラー内に用意し、使用するときに取り出すようなことが必要かもしれない。

この他の方策としては、医療機関がモバイル PET とは別に線源を確保することも考えられる。このため、想定される使用法と法令に齟齬が来さないのかを事前に十分に検討しておく必要がある。

なお、モバイル PET では、吸収補正を犠