Special Contribution (特別寄稿)

東日本放射能汚染地域より採集された動物標本・
試料の取り扱いと保管についての技術的助言

蔭山麻里子*

Technical Advice and Recommendations on the Handling
and Storage of Radioactive Wildlife Specimens Collected
from Eastern Japan

Mariko Kageyama*

Abstract. This paper reviews the principles and best practices in occupational radiation safety and provides technical advice and recommendations on the proper handling and storage of zoological specimens and samples obtained from Eastern Japan, the region that has been contaminated with radioactive fallout since the Fukushima-Daiichi nuclear disaster on 11 March 2011. Legal compliance, recognition of potential health hazards and risks, implementation of reasonable safety measures, and streamlining workflow pertaining to fieldwork, laboratory activities, and collections management are essential in minimizing workers' external and internal exposure to ionizing radiation.

Key words: ALARA, Contamination, Personal protective equipment, Radiation exposure, Safety.

キーワード: ALARA の原則, 汚染, 個人用防護具, 放射線被曝, 安全.

2011 (平成23) 年3月11日, 宮城県沖を震源としてマグニチュード9の東北地方太平洋沖地震が発生し, 記録的な大津波が東北・関東地方の太平洋沿岸部を襲った。大震災は約2万人という多数の犠牲者と国土に甚大な被害をもたらした上, さらにそれを引き金として東京電力福島第一原子力発電所の大惨事が起きた。この原子力災害により, 損傷した原子炉から, 莫大な量の放射性物質が大気中や地下へ漏洩したとされ, 福島県下をはじめとする東日本の広域にわたって, 海域を含む自然環境の大規模放射能汚染が起きるに至った。その後事態は徐々に沈静化の兆しを見せてはいるものの, 放射能汚染の市民や環境への影響は, 今後数十年以上にわたって続いていくことが危惧されている (International Commission on Radiological Protection (ICRP) 2009, Butler 2011, 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会 2012, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2012)。一方で野生生物界に目を向けると, その生息環境は震災後激変し, それらを研究対象とする研究者にとっては, かつて予想さえしな

Received 1 February 2012, Revised 19 December 2012, Accepted 28 December 2012.

* コロラド大学自然史博物館

* University of Colorado Museum of Natural History, 265 UCB, Boulder, Colorado 80309, U.S.A.

かった深刻な課題や、検証を要する仮説が突如山積することとなった。福島第一原子力発電所事故の直接的影響だけを考えても、原子炉から漏洩・飛散した放射性物質が生物と自然環境に及ぼす影響、例えば絶滅が危惧される希少種の繁殖・遺伝における放射能の影響の評価や、放射性物質の陸域・海域生態圏における代謝濃縮経路の解明など、生物学者の直面する緊急課題は枚挙に暇がない。しかしながら、このように緊迫した状況下においても、倫理的に最優先すべきことはなんと言っても、調査活動や研究任務を遂行する現場の人々の安全の確保と健康への留意である。誤解を避けるためにあえて述べるなら、筆者は福島第一原子力発電所周辺の年間放射線量が100ミリシーベルトを超えるような、高濃度汚染区域に身の危険を冒してまで入り、野外調査活動に専念することを読者に奨励する意図は毛頭ない。かといって汚染地域から採集された生物について、放射能汚染の定量的評価や科学的根拠もなしに、それらのサンプルには一切近寄りたくないという自己防衛の挙動に終始しては、検証データに基づいた汚染実態の解明は程遠い。またこれと反対に、放射線は目に見えないし痛みも感じないからといって、無防備で緊張感の欠如した行動をとることは、周囲の人々への配慮に著しく欠け、研究者倫理に大きく反するもので、厳に慎むべきものである。本稿では、いかにして身の安全を確保し、健康被害のリスクを最小限に抑え、かつ汚染の拡大を防止しながら、放射能汚染地域に由来する野生動物の試料や標本を研究資源として入手活用し、所期の研究を遂行していくかについて、安全対策の心得と基本的なアドバイスを提示することを目的とする。しかし野生生物の調査活動に必要とされる動物の捕獲・同定・標識・体計測・試料採取等の技術や、作業環境は実際多岐に及ぶため、フィールドワークの技術的各論は論議の対象から外し、野外調査者に一般に当てはまる作業安全上の注意事項について言及するに留める。一方、汚染のおそれがある生物の遺体や試料が環境からいったん切り離された後、施設内に持ち込まれ、すぐに実験分析にかけられるか、あるいは将来の研究資材として保存処理の後、登録保管されるといった、研究室内の生物材料の扱いや、それを実施する研究機関の標本受入体制については、生物種や試料の種類・調査目的によらず、共通する要素が多いと考えられるため、より具体的な助言と勧告を行うことにする。

全般的な助言

放射線の取扱いに関する安全基準を定める日本国内の関連法規や規制、例えば『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』を正しく解釈し、またそれらに定められた許容放射線量の数値限度を遵守することの重要性は、ここであえて強調するまでもない。しかしこれらは本稿の目的をはるかに超える専門的かつ広範な内容であると認めざるをえず、しかも東日本大震災後に公表された数値基準には暫定的なものが含まれ、今後修正されていく可能性があるため、本稿ではこれに関する議論を割愛する。実際、一般人にとってどこまでが安全とされる閾値で、どの値以上は警戒が必要かという安全性のボーダーラインの設定については、原子力規制委員会をはじめとする政府関係部局、医学界、関連学術団体等から発表される数値やそれらの解釈において、必ずしも見解が一致していない（対抗仮説に関してはLittle *et al.* 2009, Tubiana *et al.* 2009を参照）。さらに放射能のレベルを示す際、単位の表示の仕方には複数通りあり、それゆえに混乱を招きやすい状況を呈している。しかしながら、現場の研究者はこれらに神経質になりすぎず、数値だけにいたずらに振り回されることのないよう、冷静に対

処してほしいと願う。とはいえ、法律遵守の点で万全を期すためには、素人判断で研究室をやりくりすることは避け、研究事業が軌道に乗るまでは、国・都道府県の担当窓口、また文部科学省の定める有国家資格者である放射線取扱主任者をスタッフに抱える研究試験機関や業者等から、随時技術指導や法律上の助言を仰いでいくことを勧める。そもそも放射線や放射性（汚染）物質を扱うという業務自体、高度に特殊化した分野であり、現場に直結する知識や技能について、今回の原発事故以前から掌握していたという機関や専門家は国内に決して多くないと思われる。もし可能であれば、同じ地域に所在する放射性廃棄物の登録処理業者や放射線関連の試験検査機関、放射線医療を実施する総合病院等にも連絡をとって見て、その地域の実情にあった行政の許可手続きや廃棄のルート、広域災害非常時の緊急連絡網等について情報収集することは、関係者間の地域ネットワークを築く上でも有意義であろう。さらにつけ加えると、妊娠中もしくは妊娠を予定している女性研究者については、放射線を扱う任務に従事することを一律に禁止する法律こそないものの、放射線が胎児に与える影響を勘案して、『電離放射線障害防止規則』で法的に許容される線量の上限值が別個に設けられているので、注意が必要である。該当する女性研究者は、前もって産婦人科や保険物理学の専門家に相談し、インフォームド・コンセントをとっておくことを強く勧める（ICRP 2000）。

業務上放射線を取り扱う者の安全の基本姿勢として、一般にALARA (As Low As Reasonably Achievable)、すなわち被曝レベルを「合理的に達成できる限り低く」抑える努力をすべきという、国際放射線防護委員会（ICRP: International Commission on Radiological Protection）の定める国際規範がある（ICRP 1973b, 1977）。合理的とあえて言うことは、採算面・社会倫理的要素も意思決定に重要だという含みがある。つまり莫大な費用や労力をかけてまでして、被曝量を環境で自然に受けるバックグラウンドのレベルまで徹底的に抑えようとするのは、伴うリスクやコストと得られる便益の均衡、言い換えれば放射線防護の最適化条件（International Atomic Energy Agency (IAEA) 2002）を考えた場合、必ずしも最善の方法とは言えないという立場である。ALARAの原則は、もともと原子力や放射線医療等に従事する産業労働者を意識して謳われたものであるが、汚染地域に由来する野生動物の調査研究に果敢に挑戦し、分野の進展に貢献しようとする研究者一人一人にも、この視点はそのまま当てはまるであろう。

外部被曝について

ALARAを基本にふまえ、次に体の外側からの被曝、すなわち外部被曝について簡単に説明する。外部被曝量を合理的に低減するための対策としては、以下の三原則が一般に挙げられる。すなわち①時間、②距離、③遮蔽の効果である（Fuchs 1896, 柴田 2012）。具体的には第一に、作業者が同一線源から浴びる放射線量は、単純に時間に比例して増加する。綿密な研究計画に基づいて、できるだけ効率的に作業を行って時間の無駄を省き、累積の作業時間を短縮していくことで、作業者の被曝のリスク及び積算の被曝線量を確実に軽減することができる。したがって汚染試料を実際に扱い始める前に、ブランクテストとトレーニングを十分に重ねて、最適の作業手順を取捨選択しておく必要がある。別のアプローチとして、動物の生体・遺体からの分析用試料の採取や体重等の計測、標本試料に番号札を付けるなどの作業を、複数の人間でペアやチームを組んで実施することが可能な場合、一人は放射線源となる動物や試料を安定するように保持し、別の一人はID番号やデータの値を読み上げ、別の一人は聞き取りながら

データの記録（入力）を担当する，というように，役割分担をすることを勧める。こうすることで，全体としての仕事が多少なりともスピードアップし，途中で役割を交代することで，記録を担当している間は線源からの距離を確保でき，また動物を扱った直後の手で用紙や筆記具，コンピューターのキーボードなど，他の部分に触らなくていい分，放射性物質の周囲への拡散を抑えられる点で有効である。このような努力と並行して，コンピューターを用いてのワークフローの効率化や，試料情報へのアクセスの促進は，結果的に作業環境の安全性の改善や二次汚染の防止に貢献することが期待される。例えばワイヤレスネットワーク，標本のデジタル画像の活用（Freedman 2011）や，凍結保存試料の冷凍庫内の保管位置を検索特定できるデータベース，さらにバーコードや音声認識ソフトによるデータの高速入力，遠隔監視システム，スマートフォンのアプリケーションの活用など，技術的に克服・工夫できる部分については，応用可能な限り，標本データやフィールドのデータ管理にITを積極的に導入し，作業効率を上げていくことが望まれる。

二つ目に，被曝線量は線源からの距離の二乗に反比例して減衰する。したがって理屈としては，放射線（特にベータ線・ガンマ線）源が局所的に高密度で存在する地点が特定されていれば，そこからの距離をできるだけおくことで被曝量を低減できる。しかしながら，周辺一帯が汚染されている屋外の場合は，放射線源は1か所に集中しては存在せず，放射性核種が環境中に不均質に薄くちりばめられていて，位置を特定できない場合がほとんどである。そこで空間線量率の平均値に基づいて，ある値以上の高濃度汚染区域内やホットスポットには近づかないようにするといった，慎重な対応をする以外，距離因子のコントロールは難しいのが実情であろう。他方，研究施設内では，線源（試料・放射性廃棄物）の位置がほぼ正確に把握できるので，それらと作業者との間の距離間隔について十分考慮した上で，実験作業台や機器設備の配置を決めていくべきである。扱う試料の大きさや形状，性質にもよるが，手先の細かい操作を必要とせず，容器への収納など比較的単純な作業には，小回りの効く把捉用の道具（ピンセット・はさみ・ tong）を用いた方が，手袋着用の手で直につかむよりも，線源からの距離を多少おくという点で，外部被曝線量の軽減を期待できる。しかし，それで感覚が鈍り汚染試料を床に落したり，破損・漏洩させたりして，二次汚染を拡大させるようでは逆効果である。したがって，状況によっては密着タイプのゴム手袋を二重に装着の上，手作業で素早く材料を扱う方が，操作上より確実で安全なケースも多い。また試料を器ごと扱う必要がある場合，どこから掴んでも同じというわけではなく，試料を入れた容器や袋のどちら側に線源があるかをつねに意識して，またそれが視覚的に予測できない場合は放射線検知器で実際に確認して，線源からより離れた側や部位で試料を保持することが望ましい。

最後に遮蔽の効果について述べると，特定の放射性同位体の核種とその崩壊によるエネルギー放出の様式（アルファ線・ベータ線・ガンマ線・中性子線等）にあわせて，放射性物質と身体の間には適当な遮蔽物を設置したり，遮蔽の役割を果たす素材で線源を囲ったりすることによって，外部被曝量を少なからず軽減することができる。しかしながら，核種や放射線の正体がわかっていて，それらをほぼ単独でコントロールして扱う医療現場のような状況とは異なり，ここで考えている状況は，原子炉からランダムに拡散した核分裂生成物，すなわち不特定・複数種の放射性同位体が付着した可能性のある試料を扱っているということになる。残念ながら，物の表面に付いた放射性物質の同位体構成要素やその成分比が，フィールドの現場で

即座にわかるような優れた計器は、今のところ開発されていない (Shanks *et al.* 2012)。さらに厄介なのは、後で少し詳しく述べるように、ここで議論の対象としている生物試料は、体の外側の表面汚染だけでなく、放射性物質が組織内に取り込まれた形で、試料自体が内部から微量の放射線を発しているという、内部被曝の効果も併せた形で、放射能を評価しなければならず、放射線源としての生物試料の複雑性と危険性を増幅させている。したがって、調査者のアプローチとしては、むしろこのようなUnknownの部分を含めた上で、放射性降下物中に主要に見られる放射性核種の物理的特性をよく理解し、それらのもたらす危険の予測に基づいて、遮蔽の工夫を施すべきである。以上、時間・距離・遮蔽の三要素を同時に操作することで、はじめて被曝を合理的に軽減する効果を期待することができる。

注意すべき放射性同位体とそれによる外部被曝について

実際に問題となっている放射性核種に照準をあわせると、原発事故の結果漏出した核分裂生成物の中には、環境中に一時的に急上昇し、甲状腺への選択的吸収を通じて甲状腺癌を発症するおそれから、市民の間で多大の警戒感を呼んだヨウ素131 (^{131}I ; 物理的半減期約8.02日)をはじめ、数時間から数日というごく短時間のうちにガンマ崩壊やベータ崩壊を起こし、一気に安定同位体に落ち着くものが多数含まれた (原子力災害対策本部 2011)。その一方、主要な環境汚染源として、今後数年から数十年にわたって環境中に比較的高濃度に残留する可能性が高いとされる核種には、セシウムの放射性同位体であるセシウム137 (^{137}Cs ; 半減期約30.17年) とセシウム134 (^{134}Cs ; 半減期約2.07年) がある。また、放射性セシウムと比べると圧倒的に存在量は少ないとされるが、ストロンチウムの放射性同位体ストロンチウム90 (^{90}Sr ; 半減期約28.78年) と、それを親核種として分裂生成される娘核種のイットリウム90 (^{90}Y ; 半減期は約64時間だがストロンチウム90と放射平衡状態に達することで環境中に長期に滞留) も、以下に述べる理由でその特性や挙動をよく理解すべきである (日本アイソトープ協会 2011, 柴田 2012)。これらの放射性同位体は、その不安定な物理的性質上、時間とともにベータ崩壊を起こし、ベータ線 (電子) を発する。このベータ線粒子は、物質中を透過する力が後述するアルファ線と比較するとはるかに大きく、エネルギーを失うまでに空中を短い距離移動できる。核種によって異なるが、理論的には遮蔽がなければ、最大飛程として大気中を数メートル程度透過することができる。しかしそのエネルギーはガンマ線ほど大きくなく、1センチ程度の厚みのアクリル樹脂の板や、数ミリ程度の厚さのアルミの板ですらも透過できないことがわかっている (柴田 2012)。したがって、このような材質及び厚さの遮蔽物を一枚、線源と作業者の間に置くことで、ベータ線による被曝を効果的に軽減することができる。ただし、荷電粒子であるベータ線が遮蔽物に衝突する際、制動放射という現象により、微量の엑스線 (制動放射線) が生じることが知られる (ICRP 1973a)。この制動放射線の起こりやすさは、ベータ線の持つエネルギーと、遮蔽物の素材の原子番号に比例して増大する (Haug & Nakel 2004)。このため、ベータ線の遮蔽に伴う制動엑스線の発生確率を極力抑えるという面においては、一般にアクリル樹脂などのプラスチック (炭素Cの原子番号6) やアルミニウム (Alの原子番号13) のシールドを使用する方が、鉛 (Pbの原子番号82) のような重金属だけでできた板を用いるよりも、むしろ効果的とされる (原子力安全技術センター 2000; 異論については Van Pelt & Drzyzga 2007 を参照)。とりわけ、無色透明のアクリル樹脂は、同様に遮蔽用に使用される

ことのある鉛ガラスと比較して安価・軽量で、息や汗で表面が曇ることもなく、作業空間の視界を遮らないという点で、シールドの素材に向いている。以上はアクリル遮蔽の長所であるが、全ての放射線に万能というわけではなく、透過力の高いガンマ線や制動エックス線が同時に発生している状況では、アクリルやアルミの板だけでこれらを完全に遮蔽することはできない (Van Pelt & Drzyzga 2007)。

前出のセシウム 137 は、ベータ崩壊時にベータ線だけでなく、中間生成物 (核異性体) としてバリウム 137m ($^{137\text{m}}\text{Ba}$; 半減期約 2.55 分) を生成し、この放射性バリウムは崩壊時にガンマ線を発生する。したがって、セシウム 137 の存在下ではベータ線だけでなく、ガンマ線も同時に発生しているのが実態である (日本アイソトープ協会 2011)。したがって、中度から高度の汚染地域における屋外滞在時は、バックグラウンドより幾分高い空間線量率で空中を飛び交う放射性セシウム由来のガンマ線とベータ線、また同様に地表面や滞留水に蓄積した放射性セシウム等から飛散するガンマ線・ベータ線による、軽微の外部被曝を身体表面にコンスタントに受けていることを常に自覚し、安全な屋内に退避するまでの間は、無駄な行動に制御をかけるよう努める。すなわち、外部被曝を合理的に軽減するための基本の心得としては、得られたデータの量や仕事の成果の善し悪しに関わらず、一日のうちの野外作業にかけられる時間をできるだけ短時間に切り上げるよう、調整することが重要であろう。また戸外の作業では、後述するように軽装備であれ個人用防護具の着用を勧めるが、誤解のないよう、個人用防護具はガンマ線による外部被曝に対する最も効果的な対策とはならず、むしろ次項で述べる内部被曝を防止するためのものである。なお、高レベルのガンマ・ベータ線遮蔽用として、鉛やそれと同等の遮蔽効果を持つ金属を含有し、特殊加工された個人用防護具も入手可能だが、福島第一原発から数キロ圏内のような、よほどの高濃度汚染地区に長時間滞在するとか、妊娠中の女性でもないかぎり、実際には重金属を含有する防護具は必要とされないケースが大半と考えられる。一方、屋内作業においては、上述の留意点の全てにくわえて、既知の線源からの距離をできるだけ確保しつつ、遮蔽を効果的に併用することが、外部被曝を合理的に軽減するために重要である。

内部被曝について

環境中の放射線に体の外からさらされる外部被曝と対照をなし、線源が誤って体内に取り込まれた場合は、体の内側から被曝する内部被曝 (体内被曝ともいう) の状態となる。少線量であっても人体への負荷はきわめて大きく、研究者は外部被曝と同程度か、それ以上に神経を使わなければならない。内部被曝のメカニズムは、口や鼻からの吸引 (経気道暴露)、飲食物としての摂取 (経口暴露)、そして皮膚粘膜、特に傷口からの吸収 (経皮暴露) という、主に 3 つの異なる経路に分類されるが (ICRP 1959, 柴田 2012)、いずれの場合にしても、内部被曝は結果的に放射性核種と身体との距離がほぼゼロになる状態を意味する。万一それらが組織に蓄積した場合、何年もの間にわたり細胞を局所集中的に放射し、突然変異等を介して癌発生確率を上げるなど (International Agency for Research on Cancer Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans 2012)、健康上きわめて高リスクの状態に移行しうる。特にアルファ粒子については、その特性として隣接する分子との相互作用が強大となる反面、ガンマ線・ベータ線と比較して、アルファ粒子の物質中を透過する力はきわめて弱い。薄手の手袋や紙一枚も透過できないため (日本アイソトープ協会 2011, 柴田 2012)、先に議論した外部被曝の心

配はほとんどないといってよい。他方、核燃料物質の一つとして知られるプルトニウム (Pu) のような、アルファ線放出核種が気道や食道を介していったん体内に入ってしまうと、かなり深刻な事態になる。アルファ線は水分子を含む生体分子をイオン化させるエネルギーがきわめて高く、その強力な電離作用によって、臓器や骨の細胞 (染色体・遺伝子) に物理的かつ生化学的に著しい損傷を引き起こす。かつこれらの核種は長寿命であることから、影響が長期化することが問題となる。プルトニウムを例にとると、その同位体が摂取され肝臓に取り込まれた場合、存在量が半減するのに約20年、骨格中では約50年かかるとされる (ICRP 1986)。他方、アルファ線による障害とは被曝の機構が多少異なるが、放射性降下物中に含まれる割合が比較的高いという意味で、内部被曝の影響を警戒する必要があるのは、前出のセシウムとストロンチウムである。これら二つの放射性元素は、環境中および生体内で全く異なる挙動をすることが知られている (日本アイソトープ協会 2011, 柴田 2012)。137と134の同位体を含む放射性セシウムは、アルカリ金属であるカリウム (K) と類似の化学的性質を持ち、水溶性がきわめて高く環境中の水によく溶けるため、雨水の一時的に溜まる地表部や雨樋、側溝等で検出されやすい。また揮発性が高く、大気によって比較的広範囲に拡散する。人体に摂取されやすく、いったん体内に入ると細胞内液や筋肉組織、生殖腺に取り込まれ、局所的にベータ線とガンマ線を放出し続ける。ただし水溶性という性質上、代謝によって体外へ自然に排泄される率も高く、以下のストロンチウムほど効率的には体内に蓄積されない。対照的に、ストロンチウムはカルシウム (Ca) と似た性質を持ち、水に溶けにくく不揮発性で、環境中では水圏の底質物中や土壌の下層土、植物中に蓄積されやすい。動物では骨や (鳥や爬虫類等において) 卵殻のカルシウムと置換して、体内に長く蓄積する傾向がある。そして崩壊時に生じる娘核種である放射性イットリウムとともに、局所的にベータ線を放出し続け、体組織を侵していく。

このように内部被曝は、外部被曝の起こりやすさと比べると確率的に低いとはいえ、健康被害へのリスクは桁違いに高い。これを極力回避するためには、非汚染環境への汚染の拡散・漏洩 (コンタミネーション) を防止するための施設面の対策ももちろん大事だが、調査者個人の自己規律を徹底することが、最も基本的な事項であろう。すなわち、屋内外を問わず、汚染の可能性のある生物材料を扱う場合は、危険の程度にあわせて適切な個人用防護具を装着し、作業後の手洗いがい (危険の程度によっては頭髮や身体の洗浄) を励行するようにする。口と手の防護対策にくわえ、行動面でも細心の注意を払う必要がある。飲料水や食品そのものの安全性はさておき、汚染地域下での生物調査中や実験室内においては、飲食はもちろん喫煙、化粧等の行為は慎まなければならない。不注意に手を口元にもっていくとか、長髪を束ねないでおくといった些細なことも、状況によっては不衛生な以上に危険である。また、手指に治癒しきっていない外傷を持つ人は、汚染試料の取り扱いを極力避けるべきであろう。

個人用防護具について

個人用防護具 (PPE: Personal Protective Equipment) には、使い捨てのラテックス製ゴム手袋やニトリル製ゴム手袋、医療用マスク、実験白衣や作業衣、エプロン、保護眼鏡やゴーグル、シューズカバー、頭部のフードやキャップなど、軽装備のものから比較的重装備のもののまで、いろいろ含まれる。最低限どのレベルの身体防護が必要か、あるいはどの程度の防護なら安心かということは、作業環境の放射線量レベルや、扱う生物試料のサイズ・性状 (固形物・

液状物・微小試料等), さらに作業内容のリスク評価や個々人の感受性によって, 個別かつ柔軟に判断せざるをえない。例えば, 土壤の放射線量率が一般市民が普通に生活していても健康上ほとんど心配ないレベルまで十分下がったと見なされる地域や状況下にありながら, 作業効率を下げてもして個人用防護具を過剰に着用して作業することは, あまり賢明な選択とは言えない。汚染の程度に関して比較的低レベルと発表されている地域では, 念のため放射線測定器を携帯して, 空間線量率や採取試料の表面から発する線量のモニタリングを頻繁に実施し, 短時間に作業を済ませていけば, 最小限の防護具(使い捨てゴム手袋・医療用簡易マスク)の着用と作業後の手洗いうがいを励行することで, 放射線による障害のおそれはきわめて低いと言っていいだろう。その一方, 汚染の程度が比較的高いとされる地区のフィールドで, 土壤や植生, 動物に頻繁に接触して作業を行う状況では, 通常の使い捨て用手袋よりも, 遮蔽効果がより高い材質でできた放射線防護専用のゴム手袋を使用した方が, 手からの汚染の確率を下げ, 心理的に安心して調査に専念できるかもしれない。また土壤や動物等に直接触らなくても, 放射性微粒子(エアロゾル)が周辺一帯の空中を比較的高濃度に飛散しているところで, 長時間作業しなければならない状況や, 綿埃や粉塵の立ちやすい標本を, 屋内のドラフトの外で多数扱わなければならない場合は, それなりに内部被曝への不安が増大するかもしれない。ここで個人的経験を持ち出して恐縮だが, 筆者が米国テキサステック大学へ留学していた当時, 同大学博物館付属の自然科学研究所(Natural Science Research Laboratory)において, チェルノブイリ原発事故地域から採集された, 約3,000点の脊椎動物標本と組織試料の管理を任されていた時期がある(Kageyama *et al.* 2002)。実体験から学んだ教訓としてしか紹介できないが, 放射線管理区域内でカツオブシムシを飼育し, 骨標本のクリーニングを実施したことがある。当事者としては, 汚染されたカツオブシムシが飼育ケージから逃亡して害虫化し, かつ放射能汚染を拡大させるという, 大きなリスクを承知の上で, やむを得ず行った。しかし換気の余り良くない環境下で, ケージの蓋を開けるたびに舞い上がるダストに対しては, 少なからぬ心理的不快感を覚えた。このようにやや過酷で不快な作業環境においては, 普通のマスクでなく, 取替可能な高性能エアフィルター(HEPA: High Efficiency Particulate Air filter)が付いた防護マスクを選択した方が, 経気道暴露を防止する上でより適切であろう。なお, このように性能のより高い防護具製品を目的に合わせて選んでいく際は, 多少高価にはなるが, 信頼のおけるメーカーから購入し, 各製品の性能とその限界, 廃棄や交換の方法についてあらかじめ理解し, 正しい着脱の方法と順序についても, 練習しておくことが望ましい。最大の注意点は, 防護具を装着する時やそれを身につけて作業する時よりも, 使用済みの防護具を外す時の方にある。汚染物質の付着している可能性のある防護具の表と裏の層をつねに意識し, 体表を含む非汚染面への二次汚染を極力避けるように注意して, 防護具を体からゆっくり外す。ディスポーザブルの手袋やマスクは, こまめに新しいものと換え, そういった使用済みのものについては汚染の程度を放射線測定器によって1点ずつチェックし, 著しい二次汚染が起きていないことを確認してから, 放射性固形廃棄物として指定のごみ箱に分別して, 回収時まで貯蔵する。実験衣や交換エアフィルター付きの防護マスク, 保護眼鏡等に関しては, 汚染がない限り, 放射性試料調査専用として, 作業部屋へ入る手前の前室など, 指定の収納場所へ保管し, 繰り返し使用することはもちろん可能である。ただし着脱の前後の線量チェックは毎回欠かさないようにし, 他の人とは共有しないようにする。万一ゴム手袋等, 個人用防護具自体から局

所的に比較的高い放射線が検知された場合は、それらを指定の放射性廃棄物入れに隔離し、手や身体表面への汚染がなかったか、直ちに線量計でチェックする。放射性物質の皮膚の一部への付着が懸念される場合は、速やかに近くと同僚の助力を仰ぎ、施設の責任者に報告する。その後、適切な方法で身体の汚染部位の洗浄を行う必要がある。ただし、石けんや洗浄液の選択を間違えたり、皮膚を擦りすぎたがために汚染部位を広げ、傷口から放射性物質の浸透を引き起こしたりしては、かえって状況が悪化するだけなので、あわてず医師や専門家の指示に冷静に従うことが肝要である。最後、一連の仕事を終えて防護具を全て脱ぎ、安全な場所へ退去・退室するごとに、手洗いうがいを励行すべきことは言うまでもない。

被曝線量のモニタリングについて

研究プロジェクトが1か月以上の長期に及ぶ場合は、たとえ作業環境や標本の放射線レベルが相当低いことがわかっていたとしても、自己の身体に受けた放射線量のモニタリングを実施し、後で評価できるようにすることが肝要である。継続的モニタリングが必要とされる法的根拠として、国際規範ないしそれに準じた国内法令の『電離放射線障害防止規則』では、以下の数値基準が定められている。すなわち、業務上の年間許容被曝量について、(非常時に対する)通常時において、5年間に許容される累積の実効線量は100ミリシーベルトを限度とし、またそのうちのどの1年についても、年間50ミリシーベルトを超えてはならないとされている(ICRP 1990, IAEA 2011)。したがって、汚染された材料を数か月以上の長期間にわたり、継続して扱う予定をしているスタッフや、汚染地区でフィールドワークを定期的実施することを計画している人には、先に述べたような基本的な個人用防護具の着用に加えて、積算的な外部被曝線量のモニタリングを可能にする放射線フィルムバッジや、指にはめる小型の熱蛍光線量計(TLD: Thermo-Luminescent Dosimeter)リング、その他の個人線量計を装着することが奨められる。これらの線量計は、線量の定量化の原理こそ異なるが、ともに胴体や手の表面に受けるガンマ線あるいはベータ線、あるいはそれら両方の線量を測定するために使用される。作業個人に発行されたバッジのフィルム部分ないしTLDリングを、検査機関・業者に3か月おき等、定期的に提出して、積算の被曝量(実効線量当量; 単位はSv: シーベルト)を測定してもらうことで、その値が法的に定められる年間許容被曝量の限度内であることを、継続的に確認できるという利点がある。また測定結果のレポートは、各個人の一生にわたる被曝量をモニタリングするための、数値記録として残されるものである。フィルムバッジの装着の位置としては、首より下方、腰より上の胸側、特定の作業姿勢によって受ける放射線量が最大となりそうな部位に、バッジの表側を線源に向けるようにして、作業衣の外側につける。TLDリングは通常、接触による汚染を避けるため、ゴム手袋の下にはめる。手作業の際に放射線を受けやすい手の平側にフィルム面が向くようにして、利き手の中指や人差し指の付け根に装着するのが普通である。

以上は個人の外部被曝について、全身に均等に放射線を受けたことを仮定して、簡易的にモニタリングする方法の一つであるが、他方、内部被曝線量を継続的にモニタリングした方がよいと診断された人や、それをあえて希望する人については、医師や保険物理学の専門家とよく相談の上、バイオアッセイ(主に尿検査)やその他の方法による身体検査を定期的実施し、異なる臓器・組織の放射線感受性を加味した実効線量の値について、年間の被曝線量限度と見

合わせながら、モニタリングしていくことになる（ICRP 2008, IAEA 2011, Spitz & Sliney 2011）。

汚染標本の輸送について

放射能汚染された可能性のある生物標本・試料や廃棄物を、現場から車で持ち出し、研究施設まで輸送する必要がある場合には、念のため『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』とその関連法規によって定められる基準を参照する必要がある。輸送する汚染物の量や汚染の程度によっては、法律で定めるところの「放射性輸送物」として、より厳密な条件下で運搬を行うことが強いられる。また後述するように、いったん運び込まれた放射性試料の研究機関内での受入れ管理や保存についても、施設の的に大がかりな対応が求められる。より現実的で安全な選択肢としては、材料を移動させる前に、現地の行政判断に適宜従って線量測定、スクリーニング、選抜作業を行い、必要な分だけ取ってくる戦略が賢明であるかもしれない。仮に法定の基準値を超えるレベルが検出された場合は、迅速に研究データを取り、組織等を（生体の場合は非致命的に）必要最小限だけ採取し、生息環境や植生等の写真記録を残した後、生物本体は現場に残す。一方、輸送上特に放射性物として取り扱う必要のないことが確認され、かつ相対的に判断して学術的利用価値の高い、言い換えれば研究者の被曝リスクや標本の保管にかかるコスト以上に、将来の研究上有益であると正当化された証拠標本（Wickliffe *et al.* 2003）に対象をしばって、慎重に採集と搬送作業を進めることが望まれる。実際には、線量密度の値が法律の定める基準値以下で、特に放射性輸送物として扱わなくても輸送可能なケースがほとんどと思われるが、詳細については専門家に確認をとること。仮に汚染が軽微で法律の規制対象にならなくても、汚染の可能性のある生物試料や廃棄物を調査者自身で輸送する場合には、それらに付着・混入しているかもしれない放射性同位体が、間違っても運搬車両内に飛散・漏洩したりしないよう、二重三重に密封した上で、さらにそれから発せられる放射線ができるだけ遮蔽されるよう、最外郭の輸送用容器として、ステンレス等の金属製の缶やケースに封入する。車内の人からできるだけ距離をおくように荷物を搭載して固定し、放射線管理区域内まで円滑かつ迅速に運び込むことが望ましい。

放射線管理区域について

野外から集められた汚染生物の各種試料を、将来的な利用を見据えて機関内で保管することを研究事業の視野に入れている場合、汚染試料の受入体制を新規に整える必要が出てくる。基準値レベル以上の線量を放つ放射性物を長期的に管理する場合は、国内法令に従って「放射線管理区域」が正式に設置されていることが受入の条件となる。すなわち、施設の責任者は、放射線汚染物質を取り扱う特定の部屋区画について、国の指定する登録認証機関から審査認証を受け、都道府県の公安委員会や、大学の研究室の場合は大学の当局に届け出て、正式な許可を受けていなければならない。実験設備を新規に建設するのでもない限り、既存の施設内において排他的に使用できる空間を確保し、放射線管理区域として後から指定することは可能ではあるが、部屋の構造や間取りによっては、法の設置基準に見合うよう、施設の的に大幅な改造を加えなければならないことになり、コスト的におそらく現実的ではなかろう。全国に複数ある既存の共同利用施設に、外部研究利用者として申請し、管理区域にアクセスできるのであれば、それを活用するに越したことはない。以下は、放射線管理区域に「準じた」軽微汚染標本・試

料の一時保管・作業専用のスペースを構築する際に考慮すべき要点を掲げる。

放射線管理区域に準じたスペースの構築にあたって特に留意すべき点の一つとして、管理区域に相当する実験作業スペースは、基本的に標本や試料の搬入、廃棄物の搬出、必要最小限の物品の移動と作業人員の出入り以外、物の出入りがなくても目的とする一連の作業がほとんど管理区域内で行えるような自己完結型、かつ共同利用スペースとして異なる用途にもある程度対応可能な、多機能のデザインになっていることが理想的である。したがって、適切な遮蔽物を備えた放射線障害防護対策（原子力安全技術センター 2000）や、自動火災報知機をはじめとする消防用設備の観点等から、法的基準に見合っているかどうか点検・評価することはもちろんのこと、それ以外の基本的設備、例えば水道・排水設備、ドラフトチャンバーなどの排気・換気装置、空調設備、冷凍庫や特定の実験機器を稼働するために必要な電気系統、停電時の電源バックアップ装置、無菌の実験に必要なクリーンベンチなど、安全面と機能面の両方において、本来の研究に欠かせない設備機器が管理区域内の最適な位置に配備できるかどうかという観点からも、施設の専門家と十分吟味した方がよい。作業用机や椅子にはじまり、フリーザー、実験機器や資料保管用の棚など、必要最低限の設備が一式そろった、専用の研究室空間を施設内で別個に維持することは、言うまでもなく経費面で相当の出費となることが予想される。その一方、いったん放射線管理区域内に収められ、その中で使用に限定となった備品類は、汚染の程度がごく軽微な場合であっても、処分の際にさらにコストがかかるという意味で、頻繁に交換することは現実的でない。限られたスペースの中で不便を強いられたり、妥協しなければならない部分が出てきたりするのは致し方ないことであるが、長期使用の耐用性も見込んで、最初に安全かつ機能的で良質な研究室環境を立ち上げる方が得策であると思われる。

放射線管理区域やそれに準じる区域への、許可者以外の不要な立入りは原則として制限されるため、機関外部の人にもその場所がすぐわかるよう、国際規格となっている三菱形の放射線マークの標識やマーキングテープを、区域の出入口の扉や付近の床、通路、外周壁等、境界部の目立つ場所に明確に表示するようにする。また管理区域内であっても、汚染試料が保管してある収蔵ケースの扉や引出し、収納棚、動物遺体や凍結組織が保管してあるフリーザーの扉、廃棄物入れ、実験機器類の側面など、作業者が接近・接触しそうな部位には同様に警告サインをつけ、一目で汚染試料の所在位置や、バックグラウンドを超える放射線が検知されるホットスポットがわかるようにしておく。また、同じデザインでも大小様々なサイズの放射線マークのラベルを用意し、可能であれば標本や試料を収納する袋や箱、瓶などの容器1つ1つにも、それら放射線マークのシールやテープを貼り付けるか、その他の方法で細かくマーキングをする。標本につけるデータラベルや番号札等の余白にも、同様に放射線マークのシールを貼るか、あるいは汚染試料専用のラベルを、蛍光色や黄色の用紙に印刷作成して利用する。このようにサイン表示を徹底することで、放射線管理区域近傍にいる機関のスタッフだけでなく、来訪者や管理区域の立入検査に訪れた検査官、廃棄物の回収にきた外部の業者等の注意を喚起できる。また、汚染試料が何らかの不注意で他のものに紛れて区域外に持ち出されるような、偶発的事故を防止する意味もある。逆の見方をすれば、放射線は五感で感知できないゆえ、視覚に訴えるサインがないと、ちょっとした油断で汚染スポットに触ってしまったり、汚染試料をうっかり区域外へ持って行ってしまったりする危険がある。

放射線管理区域内で働くことを許可された研究者は、個人用防護具の着脱の方法、汚染の定

期点検（サーベイランス）の実施法とその記録のつけ方、廃棄物の分別・一時的貯蔵の方法、軽度の表面汚染が生じた場合の除染の方法、緊急災害時の対処の仕方や避難経路等について、一通りの専門的講習と実技トレーニングを受ける。また対応する放射線取扱上の安全の指針、緊急時の電話連絡網、汚染の定期点検のマニュアル、その他の手引書（例として高エネルギー加速器研究機構放射線科学センター 2012）は、区域内外に掲示また常備されるべきものである。研究室内外のコンタミネーションを防止するためには、前述の通り視覚に訴える放射線警告ラベルを効果的に使用する他、管理区域の内と外で作業員や物品の出入りが厳密に監視できるようなシステムになっていなければならない。そして基本的に不要なものや余分なものは、管理区域内へ持ち込まないようにすることが望ましい。作業員は管理区域への毎回の入退室について、チェックイン・チェックアウトの記録を各自つけるようにする。部屋の施錠システムが電子的に時刻を記録できるようになっていれば便利である。また、管理区域内で保管される試薬や消耗品について、冷凍・冷蔵庫の扉をいちいち開けなくても最新の在庫状況が常にわかるように、リストや使用ログを掲示することが奨められる。薬品類について、製品安全データシート（MSDS: Material Safety Data Sheet）や取扱説明書等と一緒に保管すべきなのは、通常の実験室の場合と同様である。

汚染標本の保管について特に注意すべき点

放射線管理区域内に新たに持ち込まれる標本・試料については、種類と数量を正確に把握し、1点ずつラベルをつけて整理していくことが求められる。なお先に述べたとおり、個人の裁量だけでフィールドから無制限に大量のサンプルを持ち込むのではなく、機関にとって研究事業の遂行上、本当に必要な標本・試料だけを厳選して、管理区域内へ受け入れるようにすることが原則である。できれば汚染試料受入について、1件ごとに審査承認できる組織体制になっていることが望ましい。先に議論したように、標本・試料のインベントリー情報を、手書き記録からデータベースでの管理へ切り替えられれば、仕事の効率はかなり上がるだろう。また冷凍庫内は、棚や間仕切り、ラック等で分割して整理整頓し、収納位置情報まできちんと記録しておく、特定の汚染試料の取り出しや再収納にかかる時間の短縮化を図れる。

汚染生物試料のうち、証拠標本や将来の研究資材として長期保管される試料については、管理区域内の研究作業員が頻繁に近づかなくてすむ、奥の方の一角に保管場所を専用に確保できれば一番理想的であるが、現実には管理区域の維持コストを節約し、限られたスペースを共用する必要などから、実験作業台やその他の機能空間と隣り合わせとならざるをえないこともあるだろう。このようにある程度妥協しなければならない部分は認めつつも、放射線防護の観点をできるだけ最優先して、標本試料の配置を行うことが望ましい。すなわち、汚染試料が物理的に1か所にまとまって収納された、整理棚や収納キャビネットの内側や周囲は、遮蔽の効果を差し引いても、線量密度がバックグラウンドより有意に高くなりやすいので、同じ室内で作業する人たちを被曝から守る観点から、作業台周囲など、人が長時間占めるエリアとの距離ができるだけ確保されるような形で、コレクションを配置することが望ましい。また極端なホットスポットを作らないよう、汚染の程度の比較的高いコレクションについては、引き出しや棚の1か所に固めすぎず、スペースの許す限り、できるだけ分散させてしまった方がよい。他方、組織試料や動物遺体を収納するフリーザーについては、中が試料である程度充填されてい

でも、大抵の場合、冷凍庫の頑丈な隔壁の厚みで十分遮蔽されており、フリーザーの外側近辺の空間線量率が、異常に高くなるという事態はまず起こらないと思われる。とはいえ、通常の常温保管用の収蔵ケースの場合と同様、冷凍・冷蔵庫の庫内は、比較的高線量に保たれている可能性があるので、開閉の際の放射線の一時的な漏洩を考え、管理区域内の設置場所を慎重に選ぶようにする。

標本試料の経時的な劣化を防止するための、安定した保存環境作りに配慮するのは、通常の博物館資料管理の場合と同様だが、それだけでなく、遮蔽効果ができるだけ得られる収納様式を、積極的に選んでいくようにする。例えば開架型の棚方式よりも、全体を囲い込んだ収納方法の方が、より大きな遮蔽効果が期待できる。例としては、引き出し箆箆や引き出し前面を覆う大きな扉がついた専用の収蔵ケースが挙げられ、扉を施錠できるタイプであれば、アクセスの管理・防犯対策も同時にできる。また遮蔽効果と保存環境の安定性の両面で、合板等の木製製品よりも、スチール製のキャビネットの方が材質として優れる。ちなみにウラン (U) 等を含有する天然放射性鉱物の収蔵に、鉛でメッキされた、特注の収蔵庫を設けた例も海外で知られる (Wilson 1996)。ただし鉛そのものは人体に有害なため、このような製品を使用する際は、鉛の粉が製品の塗装表面から出ないことを確認する必要がある。次に引出しや棚におく各標本の整理収納方法についてみると、大きさや形状からして適当と判断される場合は、プラスチック製もしくはガラス製の容器や瓶、遠心チューブ等に密閉する。小さめの乾燥固形物の場合は、ジップロック付きのビニール袋を二重にしてその中に入れておくだけでも、試料から出る粉塵の飛散による周囲の汚染や、吸引による内部被曝を防ぎつつ (Mast 1996)、同時にアルファ線・ベータ線の遮蔽が少なからずできる点で奨められる。なお、汚染された自然史標本については、区域外へ持ち出しての燻蒸処理は当然のことながらできない。したがって常温で保存される標本試料類については、基本的に薬剤処理に頼らず、収蔵環境のモニタリングによって行う、総合的害虫管理 (IPM: Integrated Pest Management) のアプローチで、防虫対策を行うことが奨められる。特に新鮮な動物の遺体や植物、土壌について野外から害虫が建物内に持ち込まれることが懸念される場合、可能なかぎり搬入標本のフリーザー内への一時隔離と、 -20°C 以下での低温殺虫処理を最初に行って、虫卵やカビを完全に死滅させてから、材料として使用するようにする。

参考まで、放射性鉱物コレクションの保管においては、鉱物標本に含有される種々の放射性同位体の崩壊によって、気体状の放射性物質であるラドン (Rn) が発生することが知られ、空気より重いラドンガスの滞留による室内大気の汚染が警戒されるため、換気の必要性が強調される (Wilson 1996, Freedman 2011, Spitz & Sliney 2011)。一方、放射性の生物試料類に関しては、このような気体状放射性物質による汚染の心配は少ないものの、放射性エアロゾルによるコンタミネーションや、内部被曝のリスクを最低限に抑えるため、管理区域内は換気に配慮するほか、部屋の隅々まで常に清潔に維持されるべきである。作業台や机の表面には、汚染防止用にテフロン製等の使い捨ての実験台保護シートを敷き、汚れ次第交換するようにする。また室内にたまりがちな埃は、できるだけ掃除機で除去するように努める。その際は、空気洗浄効果の高い HEPA フィルター付きの掃除機が適し、小回りの効く卓上型の機種もある。

定期汚染検査について

放射線管理区域の定期汚染検査は、月1回等、決まった頻度で施設の責任者や放射線取扱主任者から指示された様に実施し、用紙に記録報告されなければならない。サーベイランスの方法には各種あるが、表面汚染の点検については通常、管理区域内の部屋の間取り図を用意し、備品類や床の表面を含む複数の測定スポット（ただし汚染生物試料自体や放射性廃棄物入れの内側など、明らかに汚染されているエリアを除く）を決めて記号や番号をふっておく。固定電話の受話器やドアノブ、フリーザーの扉のハンドル、機器類のスイッチボタンなども表面汚染検査の対象となりうる。個人用防護具を装着の上、毎回それらの各定点から濾紙や綿棒のようなもので10センチ四方等、一定面積の表面を擦り取ったサンプルを別個にバイアルに入れ、測定分析用に、検査実施機関に提出する。各スポットの表面を拭い取る際、サンプル間でクロスコンタミネーションが起きないように注意し、ゴム手袋は頻繁に取り替えるようにする。検査の結果、バックグラウンドのレベルを明らかに上回る表面汚染が検出された場合は、その特定のエリアやスポットについて、そこからの汚染のさらなる拡散を防止するため、直ちに放射線警告サインで標識し、また除染が可能かどうか、管理区域の責任者の判断と指示を仰ぐことになる。他方、表面汚染でなく室内空間の汚染の点検については、部屋の間取りを適当な大きさのグリッドに区画分割し、その各区画について一定の高さにおける空間線量率を、ガンマ線用測定器で測定し記録する。いずれの方法で汚染点検を実施する場合も、汚染されていない場所におけるバックグラウンドの平均測定値を参照として必ずとるようにし、汚染されていないところから、徐々に汚染源近辺に近づくような形でサンプリングを行う。測定地点の数を増やして区域内を徹底的に調べれば調べるほど、当然時間と手間はかかるが、研究者にとっては、二次汚染のないクリーンな作業環境であることを毎回確認でき、安心を買うことができる。このような複数地点における測定結果に基づいて、区域内の線量率の大まかな等高線分布図を作っておくと（Lambert 1994）、室内で不均一に分布する放射線の量を視覚的に理解する助けとなり、客観的なリスク評価に役立てることができる。

汚染廃棄物の管理について

実験室及びフィールドで生じたごみの分別・表示・貯蔵・監視等、廃棄物を巡る一連の管理の方法と、回収・引取りの手続きは、放射能汚染の有無や程度によって法律で細かく規制されており、産業廃棄物処理の専門業者と地方自治体の指示にしたがって厳重に行う。放射性廃棄物として扱う必要があるごみは、放射線マークのついた指定の容器に、固形物（使用済手袋やペーパータオルを含む）・液状物（使用済パufferを含む）等、指示された通りに分別する。ここで問題を複雑にするのは、生物試料を扱うということは、放射能汚染のおそれにくわえて、哺乳類や鳥類を中心として、人畜共通の病原性や感染性を持つ試料を中に含んでいる可能性があるということである。感染性・病原性は、動物遺体を冷凍しただけでは必ずしも除去されないことが多い。したがって、血液や解剖後の臓器、糞尿、またそれらで汚染された実験消耗品等、バイオハザードとしての危害のおそれがある廃棄物については、感染性廃棄物に準じた処分方法に同時に従う必要が出てくる。例えば、使用済み注射針やメスの刃など、鋭利な器材の廃棄物は、それ専用のプラスチック容器に回収しなければならない。このようなバイオハザード以外にも、使用済試薬の中には、放射能汚染の有無以前に、それ自体化学的に危険で有

害なものが含まれている可能性がある。したがって、バックグラウンドより明らかに高い放射能汚染が検出され、なおかつ感染性や化学的有害性が疑われる、いわゆる混合型の放射性廃棄物については、最終的に放射性廃棄物として回収に出す前に、管理区域内で適当な化学処理、あるいは熱処理によって滅菌・無毒化・無害化させることが法的に求められる。このような廃棄物の前処理についての詳細は、専門家に相談する。最後に放射性廃棄物の回収手続きについて、放射性廃棄物の施設外への搬出・積載輸送は、当然のことながら、許可を受けた放射性廃棄物処理の専門業者に委託するもので、自分たちでは勝手に持ち出せない。回収の頻度、放射線管理区域内で許可される廃棄物貯蔵量の上限と線量率の上下限值について、行政と業者の指示に従い規則を守る。引き渡しの日時までに、分別容器ごとに内容物の種類と分量、線量の測定値について指定の用紙に記入し、各容器にもそれらを明確に表示する必要がある。

放射線量の計測について

放射線量の計測機器（サーベイメータ）には、代表的なタイプとして、主に汚染物質表面近くのベータ線の検知・簡易測定に有効な、ガイガー・カウンター（ガイガーミュラー計数管あるいはGM管）、空中を飛散するガンマ線の線量の測定により適したNaI（ヨウ化ナトリウム）型をはじめとするシンチレーション・カウンター、またこれら両方の検出器が一体になっている型がある。物質表面付近のアルファ・ベータ線量を測定したい場合と、空間のガンマ線量を測定したい場合とで、それぞれに対応した測定機種を選ばなければならない。検出可能な放射線の種類や感度、計測値の読み取り方、安定した測定値を得るまでの時間、音声アラームの調節、さらに使い勝手に至っては、機種によって大きく異なる。これらを比較議論することは本稿の目的を大きく離れるので割愛するが、いずれの機種を選択する場合にしても、物体表面の放射線量の測定については、やみくもに指針値を読もうとせず、使用方法に慣れるまでは、トレーニングと練習を積むことが必要であろう。また同一地点や同じ部屋での定期サーベイランスの際には、比較評価が可能なデータを得るため、汚染表面から検出部までの距離や測定時間等、常に統一された方法で計測する必要がある。その他の基本的注意事項として、計測機器自体が放射線物質で汚染されてはいけいないので、特に屋外においては、土壌や汚染試料の表面に誤って直接接触させたりすることのないよう、使用時は常に細心の注意を払うようにする。小型で軽量のガイガー・カウンターは、土や埃による汚染を防止するために、透明のビニール袋に入れたまま使用してもかまわない。屋内作業中は、測定器を電源スイッチをオンにしたままの状態卓上に置き、手袋をつけた手を近づけて読取り値の振れをチェックすることで、表面二次汚染が起きていないことをこまめに確認するようにする。測定器の動作状況や各部品、電池については定期的に点検し、機種によっては最低年に1回、業者や試験機関に定期的に較正（カリブレーション）とメンテナンスのサービスに出して、一定の測定精度を確保しておく。また簡易デジタル式のものでは、少なくとも計測時に誤差の表示ができるような機種を選ぶようにするとよい。

最後に確認の意味で強調しておく、いかなる厳しい条件、困難な状況においても、我々研究者の安全を確保し、健康を損なわないようにするために、自分達自身で実践すべきことは、高価な防護製品で身を固め、放射線測定器の値を終始読んで回ることではなく、リスクに対す

る正確な認識と評価, 十分なトレーニングとその場その場の状況に応じた的確な判断に基づいて, 最大効率で調査作業を行使していくことに尽きる。また関わる人間の数が増えるほど, 研究者間同士の円滑なコミュニケーションと情報の共有が, 汚染事故の防止に不可欠となることは言うまでもない。

謝 辞

本稿執筆の機会を与えて下さった財団法人山階鳥類研究所の小林さやか氏に深く感謝申し上げます。また忌憚のない批評と指摘を下された二名の査読者の方に厚くお礼申し上げます。テキサス大学に在籍した当時より Robert J. Baker 博士, R. Richard Monk 博士, ならびに Earl Smalts 氏には, 放射性物の扱いに関し技術的指導をいただいた。なお本稿は, 同研究所が三井物産環境基金2011年度東日本大震災復興助成(研究助成)を受けて実施している『東日本大震災が鳥類に与えた深刻な被害をモニタリングする体制の確立』の研究活動を支援するため, 技術指導用資料として作成した。

摘 要

東日本大震災および福島第一原子力発電所事故の結果として放射性降下物で汚染された東日本地域のフィールドから, 野生動物の標本・試料を研究資材として採集, 利用, 保存する際には, 放射線被曝のリスクについての正しい理解と細心の注意が必要である。ここでは野外・屋内で研究活動を実施するにあたり, 被曝と汚染拡散を最小限に抑えつつ, 人員の安全確保を最優先するために特に留意すべき事項について, 放射性同位体の特性についての解説と併せて助言と勧告を行った。

引用文献

- Butler, D. 2011. Radioactivity spreads in Japan. *Nature* **471**: 555–556.
- Freedman, J. 2011. Storage of the radioactive mineral collections at Plymouth City Museum and Art Gallery, UK. *Collections* **7**: 201–212.
- Fuchs, W. C. 1896. Effect of the Röntgen rays on the skin. *Western Electrician* **19**: 291.
- 原子力安全技術センター(編) 2000. 放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル. 原子力安全技術センター, 東京.
- 原子力災害対策本部 2011. 原子力安全に関する IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書—東京電力福島原子力発電所の事故について—. 首相官邸, 東京. http://www.kantei.go.jp/jp/topics/2011/pdf/houkokusyo_full.pdf.
- Haug, E. & Nakel, W. 2004. *The Elementary Process of Bremsstrahlung. World Scientific Lecture Notes in Physics, Vol. 73*. World Scientific Publishing, Singapore.
- International Agency for Research on Cancer Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans 2012. A Review of Human Carcinogens. Part D: Radiation. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans **100D**: 1–341.
- International Atomic Energy Agency 2002. *Optimization of Radiation Protection in the Control of Occupational Exposure. IAEA Safety Reports Series No. 21*. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- International Atomic Energy Agency 2011. *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series. General Safety Requirements Part 3 (Interim Edition)*. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- International Commission on Radiological Protection 1959. *Recommendations of the International Commission on*

- Radiological Protection. Report of Committee II on Permissible Dose for Internal Radiation. ICRP Publication 2.* Pergamon Press, Oxford.
- International Commission on Radiological Protection 1973a. *Data for Protection against Ionizing Radiation from External Sources: Supplement to ICRP Publication 15. ICRP Publication 21.* Pergamon Press, Oxford.
- International Commission on Radiological Protection 1973b. *Implications of Commission Recommendations that Doses be Kept as Low as Readily Achievable. ICRP Publication 22.* Pergamon Press, Oxford.
- International Commission on Radiological Protection 1977. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26, *Annals of the ICRP* **1**(3): 1–53.
- International Commission on Radiological Protection 1986. The metabolism of plutonium and related elements. ICRP Publication 48, *Annals of the ICRP* **16**(2–3): 1–98.
- International Commission on Radiological Protection 1990. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, *Annals of the ICRP* **21**(1–3): 1–215.
- International Commission on Radiological Protection 2000. Pregnancy and medical radiation. ICRP Publication 84, *Annals of the ICRP* **30**(1): 1–44.
- International Commission on Radiological Protection 2008. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, *Annals of the ICRP* **37**(2–4): 1–313.
- International Commission on Radiological Protection 2009. Application of the Commission's recommendations to the protection of people living in long-term contaminated areas after a nuclear accident or a radiation emergency. ICRP Publication 111, *Annals of the ICRP* **39**(3): 1–69.
- Kageyama, M., Monk, R. R. & Baker, R. J. 2002. Challenges of the Chernobyl radioactive vertebrate collection: Are you willing to sacrifice? Poster presented at the 17th Annual Meeting of the Society for the Preservation of Natural History Collections, Montréal, Canada, May 8–13, 2002. URL: http://www.nslr.ttu.edu/about/Presentations_Posters/projects/radcoll/RadColl.htm (accessed 18 December 2012).
- 高エネルギー加速器研究機構放射線科学センター(編) 2012. 放射線安全の手引き 第14版. 高エネルギー加速器研究機構放射線科学センター, つくば.
- Lambert, M. P. 1994. Ionizing radiation associated with the mineral collection of the National Museum of Wales. *Collection Forum* **10**: 65–80.
- Little, M. P., Wakeford, R., Tawn, E. J., Bouffler, S. D. & de Gonzalez, A. B. 2009. Risk associated with low doses and low dose rates of ionizing radiation: Why linearity may be (almost) the best we can do. *Radiology* **251**: 6–12.
- Mast, V. A. 1996. Procedures for management of radioactive mineral collections. The Society of Mineral Museum Professionals. URL: <http://www.agiweb.org/smmp/rept-rad-csm.htm> (accessed 18 December 2012).
- 日本アイソトープ協会(編) 2011. アイソトープ手帳 机上版 11版. 日本アイソトープ協会, 東京.
- Shanks, A., Fournier, S. & Shanks, S. 2012. Challenges in determining the isotopic mixture for the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *Health Physics* **102**: 527–534.
- 柴田徳思(編) 2012. 放射線概論—第1種放射線試験受験用テキスト 第8版. 通商産業研究社, 東京.
- Spitz, H. B. & Sliney, D. H. 2011. Ionizing radiation and lasers. In *Health & Safety for Museum Professionals* (eds. C. A. Hawks, M. McCann, K. Makos, L. Goldberg, D. Hinkamp, D. Ertel, Jr., P. Silence & S. H. Butts), pp. 455–483. Society for the Preservation of Natural History Collections, New York.
- 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会 2012. 調査報告書【本編】. 国会, 東京.
- Tubiana, M., Feinendegen, L. E., Yang, C. & Kaminski, J. M. 2009. The linear no-threshold relationship is inconsistent with radiation biologic and experimental data. *Radiology* **209**: 13–22.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2012. *Reports of the UNSCEAR. 59 Session (21–25 May 2012). General Assembly, Official Records. 67th Session Supplement No. 46.* United Nations, New York.
- Van Pelt, W. R. & Drzyzga, M. 2007. Beta radiation shielding with lead and plastic: Effect on Bremsstrahlung radiation when switching the shielding order. *Health Physics* **92**: S13–S17.
- Wickliffe, J. K., Chizhevsky, I., O'Neill, M. B., Rodgers, B. E., Dunina-Barkovskaya, Y. V. & Baker, R. J. 2003. Identifying voucher specimens involving risk: Shrews from Chernobyl, Ukraine. *Journal of Mammalogy* **84**: 117–122.
- Wilson, M. L. 1996. Radioactive specimens in museum collections. The Society of Mineral Museum Professionals. URL: <http://www.agiweb.org/smmp/rept-rad-cmnh.htm> (accessed 18 December 2012).