

1 総論

1-1 野生生物の調査の意義

1976年、イタリアのセブソで発生した工場爆発事故では、250g～300g（推定値）の2,3,7,8-TCDDが環境中に放出され、ウサギ、ネコ、ネズミ、ウシなど多数の動物が死亡した。一方、地域住民には爆発の2日後に症状が出始め、特に小児に多数の塩素ざそう（クロロアクネ）の症状が観察されている。

これまでのダイオキシン類による一般環境汚染の事故例では、人に影響が出る前に野生動物や家畜に影響が見られている。このように、化学物質の影響が人間に出現する前に、野生動物に症状が出現することがあることがこれまでに様々な場面で観察されている。

このことは、自然界すなわち地球生態系にある生物を調査研究することは、直接人間の健康に関係ないように思われても、環境からの影響を予見するという観点から重要であることを示している。特に、ダイオキシン類をはじめとする有機塩素系化学物質は、生物濃縮により食物連鎖の高次にある哺乳類などへ世代を越えて高濃度に蓄積すると考えられている。人も自然の食物連鎖の高次に位置する生物であるため、化学物質の野生生物への影響を評価することは、人への影響を評価するにあたって有用であると考えられる。

また、環境基本法及び環境基本計画においても明らかなように、野生生物への影響を防止すること自体が環境保全上の重要な目的であり、このことは平成14年に鳥獣保護及狩猟二関スル法律が改正されて成立した鳥獣の保護及び狩猟の適正化に関する法律でも配慮されている。こうした観点からも野生生物の調査研究への取組を進める必要がある。

人間活動による野生生物の種の減少が急速に進み、野生生物の保護が国際的に緊急に取り組むべき課題となっている。これまでは生息環境の破壊、乱獲、侵入種の影響、餌不足などの観点から、野生生物の個体数減少の原因が研究されてきたが、化学物質の影響という観点からの調査研究は必ずしも十分に行われていなかった。

このような中、重金属類やダイオキシン類など環境中に存在するいくつかの化学物質が、動物の体内のホルモン作用を攪乱することを通じて、生殖機能や免疫機能を阻害したり、奇形や悪性腫瘍を引き起こすなどの悪影響を及ぼしている可能性をめぐる問題が、新たに環境保全上重要な課題の1つとして浮かび上がった。例えば、米国の五大湖に棲息するカモメに多発した甲状腺過形成の原因として、ダイオキシン類など

の化学物質による影響が疑われている。

欧米においては、1970年代から鳥類の調査で卵中のダイオキシン類濃度測定が開始されており、実際に観察される生殖影響等との関連などと併せて検討が行われていた。わが国においても、野生生物に対する化学物質の影響について、広範囲にわたるモニタリング・システムを構築し、調査研究を進めていくことが必要である。調査を進める際、採取試料から化学物質の濃度を測定するにとどまらず、さらに掘り下げた評価解析を行うためにも、腫瘍や奇形などの病理学的所見等の影響に関する調査も併せて行うことが必要と考えられる。

1-2 生物試料の特徴

水、底質、大気など環境媒体中の化学物質の濃度は、特殊な局地汚染の場合などを除いて一般に極めて低いレベルにあることが多いが、生物の体内では特定の化学物質が濃縮・蓄積され、環境媒体中の濃度に比較して高いレベルを示すことが知られている。また、水、大気などの非生物学的な環境試料の測定値が瞬間値であり時間的なバラツキが大きいのに対し、生物濃縮性の高い化学物質の場合は生物試料の測定値はある期間の摂取と排泄の差の積分値であり安定していると考えられる。

このような点に着目して、化学物質による生物の影響を系統的かつ定期的に測定すれば、人の健康や生態系に対して問題があると考えられる物質の環境中における汚染レベルの推移の把握など、多くの面で有効に利用し得るデータを得ることが可能となる。例えば、経年的・継続的にモニタリング調査を実施することにより、異常が認められた場合には早期に対策を取ることが可能となる。

一方、非生物学的な環境媒体と比べた場合の生物試料の欠点は、種や個体によっては、一定の範囲に留まらず常に移動するため測定しようとする環境の範囲を特定することが困難であること、汚染経路が複雑で個体差があること、物質により蓄積の様相が異なること、種により分解能力に差があり蓄積量やその様相が異なること、加齢による成長の効果を補正する必要のある場合があることなどである。これらの欠点は、鳥類や哺乳類など食物連鎖の過程で高次の動物ほど大きくなる傾向がある。

このような特徴を踏まえ、欠点を可能な限り小さくするために、サンプリング方法（対象種、採取場所、採取個体の年齢や性別、採取時期、採取試料）を標準化することが重要である。

1-3 対象種の選定

(1) 選定のクライテリア

対象生物種の選定には調査の目的を考慮する必要がある。化学物質蓄積のモニタリングの目的で採取する対象種として望ましい条件は、一般的に次のようなものがある。

モニタリングの対象とする物質を蓄積する性質があること。

生物種によって、化学物質の取り込み、分解、排泄の過程が異なるので、蓄積性の高い種を選定する必要があるが、一般に生物濃縮の結果生態系の高次捕食者ほど化学物質を高濃度に蓄積している。

全生活史にわたる生活領域が明瞭でかつ比較的限定されていること。

特定地域の汚染レベルを監視するためには必要な条件である。

環境中の化学物質の汚染レベルの変化を検出できること。

一般に、生長に伴って化学物質の体内濃度(蓄積)は増加するので、同一地点(定点)における経年的変化を把握するためには、同一年齢層の個体群を使用する必要がある。

汚染指標性があること。

汚染指標性とは特定地域の汚染状況と生物の体内濃度とがよく反応する性質である。このためには上記の条件が満足されていればよい。

毎年同時期に同地点で、年齢や性別のそろった標本が安定して入手できること。

わが国の野生動物(鳥類・哺乳類)は、基本的に捕獲が制限されているので、既存のモニタリング体制や関係機関と有機的に連携して行う必要がある。

全国的に分布する生物種であること。

全国の複数の地域で同一の生物種によるモニタリングを続けることによって、異なる地域間の汚染状況の比較が可能となる。

ダイオキシン類蓄積状況調査では、ダイオキシン類の環境中の動態を考慮し、次の例のように生息環境によって区分し対象種を選定する方法も考えられる。

- ・主に外洋で生活する種 例) オウギハクジラ
- ・主に沿岸で生活する種 例) スナメリ
- ・主に沿岸から陸上にかけて生活する種 例) トビ、カワウ
- ・主に陸上で生活する種 例) アカネズミ、タヌキ

また、影響調査の対象種は、調査項目に必要な試料の種類、状態、量を採取できる

こと等の条件を考慮して選定することが必要となる。

(2) 本マニュアルの記載種について

鳥類

鳥類としては、カワウ、トビ、ウミネコ、ドバト、カラス（ハシブトガラス、ハシボソガラス）の6種について記載した。

カワウとウミネコは主に魚類をエサとし、食物連鎖上では上位に位置する。カワウは、本州、四国、九州に生息し、海岸、河川や湖沼で潜水して捕食する。近年、分布が拡大しており漁業被害の他、フン害なども増加している。

ウミネコは日本の沿岸部に生息し、日本国内で繁殖する代表的なカモメ類で、北海道から九州までの各地に繁殖地がある。なお、繁殖地の一部の場所は、文化財保護法で天然記念物に指定されている。試料入手にあたっては、国の捕獲許可のほか、地元の関係者や機関の理解を求めなければならない。捕獲時に鳥類標識調査のために放鳥された個体が入手された場合、年齢や繁殖地の特定が可能となることが多い。

トビ、ドバト、カラス（ハシブトガラス、ハシボソガラス）は、日本各地に分布する陸鳥である。トビは、日本各地に分布するが、沖縄では稀である。主に河川や湖、湿地の近くや港などの海水面に近い場所を好む。動物食性で、動物や魚類の死体などの他、昆虫類なども採餌する。

ドバトは、世界各地の大都市に生息する。日本国内では、都市部、農村部など人間の生活環境下に数多く生息し、人工建造物などで繁殖を行い、集団で孵ることが多い。食性は主に植物食性であるが、人間が与える各種植物性食品も採餌する。

カラス（ハシブトガラス、ハシボソガラス）は、日本各地に分布する。生息環境は、都市部・住宅地・農耕地・海岸・山間部など、幅広く生息するが、高山帯や森林地帯などでは少ない。カラスは雑食性で、植物性の餌と動物性の餌を採取する。

記載した6種の鳥類は、いずれも「有害鳥獣駆除」により各地で捕獲されることが多い。ドバトやカラスは、都市部などの人間の生活環境下で数多く生活しており、ウミネコやトビも地域によっては廃棄物処理場などで集団採餌を行い、人間の食品類も餌資源にしている。従ってこれらの鳥類の蓄積状況は、人間の生活空間の汚染状況を反映していると考えられる。また、ウミネコやカワウなど魚食性鳥類については、海外の近縁種で化学物質の蓄積と影響の知見が集積されている。

海棲哺乳類

海棲哺乳類については総論の他にオウギハクジラ、スナメリの2種について記載した。

イルカやアザラシなど海棲哺乳類は、薬物代謝酵素が発達していないため化学物質

の分解能力が弱いことから、化学物質の濃縮率（体内蓄積性）が極めて高いことが知られている。しかし、化学物質の暴露が海棲哺乳類に及ぼす影響については必ずしも明らかになっていない。ダイオキシン類の暴露と影響の関係を究明するためには、ダイオキシン類蓄積状況調査と影響調査を同時に実施することが必要である。

オウギハクジラは外洋性の中型のハクジラであるが、毎年、日本海側で1～4月に迷入や漂着が見られる。生息域は明らかではないが、日本海が繁殖地である、または日本海に定住している可能性もある。深い海域で頭足類を主に餌としている。

スナメリは沿岸性の小型ハクジラで、魚類、甲殻類、頭足類などを食べている。日本近海で5系群が知られており、一部は天然記念物に指定されている。ダイオキシン類は拡散しないので、スナメリやネズミイルカなど沿岸性の種で高濃度に蓄積されると考えられている。

クジラ類は水産資源保護法及び漁業法に基づき調査研究を目的とした採取も制限されている。従って試料入手にあたっては、水産部局など関係機関との調整をはかる必要がある。また、座礁・漂着（ストランディング）個体を試料とするためには、関係機関との連絡・調整とともに、回収体制を整える必要がある。また、害獣駆除されるトドやゴマフアザラシなどは、駆除従事者との協議により入手可能であると考えられる。

陸棲哺乳類

陸上哺乳類としては、ニホンザル、アカネズミ、クマ類（ツキノワグマ、ヒグマ）、タヌキ、ニホンジカの6種を記載した。

ニホンザルは青森県下北半島から鹿児島県屋久島にかけて、群をなして生息している。主に植物食だが、昆虫も食べる。ニホンザルについては、主に1970年前後に西日本を中心として全国各地で先天性四肢奇形が報告されており、また近縁種であるアカゲザルで実験的な子宮内膜症が報告されていることから、ダイオキシン類蓄積状況調査と影響調査を同時に実施することが望ましい。害獣駆除の目的で多数捕獲されているが、試料入手にあたっては関係者に十分な理解を求めなければならない。また、地域によっては文化財保護法で天然記念物に指定されている。

アカネズミは北海道から九州にかけて分布する日本固有種で、食性は種子や昆虫が中心で、猛禽類などの多くの動物の餌になる。クマネズミなどのいわゆるイエネズミが人間の生活の場に入り込んで都市部に生息しているのに対し、アカネズミは森林を中心に社寺林、農耕地の周辺などに生息している。従って、森林や農耕地の汚染状況を検討する指標となる。捕獲は容易であるが、小型動物（体重は30～50g）であるため、1匹を1検体として測定すると定量下限が高くなる等の問題がある。

クマ類は、ツキノワグマが本州及び四国に生息し、ヒグマが北海道に生息している。ツキノワグマは主に植物を餌とし、ヒグマは雑食性である。害獣駆除の目的で年間百頭ほど捕獲されており、また、自治体や大学等で学術捕獲が行われているので、関係

者に理解を求めることにより試料入手が可能になると考えられる。

タヌキは北海道から九州にかけて、郊外の住宅地から亜高山帯まで広く分布しており、雑食性で食物連鎖の高次に位置している。また、他の中型哺乳類と比較して皮下脂肪の割合が高いため、ダイオキシン類の蓄積度が高い可能性がある。害獣駆除の目的で多数捕獲されており、また、交通事故等により救護されたり死亡する個体数も増加しているが、試料入手にあたっては関係者に十分な理解を求めなければならない。

ニホンジカは全国の林縁部や草地に生息し、群で行動する草食動物である。草食動物は動物食性のものと比較するとダイオキシン類の体内蓄積量は低いものと予想される。しかし家畜のウシなどのデータはあり、野生の草食動物の蓄積状況を把握するという観点からシカを記載種に加えた。害獣駆除の目的で多数捕獲されているが、試料入手にあたっては関係者に十分な理解を求めなければならない。また、各県で実施されている個体群解析（年齢や繁殖指標等の学術調査）との有機的な連携のもとに蓄積状況調査が実施できれば、さらに掘り下げた評価解析が可能になると考えられる。

1-4 試料採取上の注意点

藤瀬良弘・山田 格

(1) 生物採取方法の統一化

本調査の主要な目的はダイオキシン類の蓄積状況のモニタリングにあるので、調査は定めた期間に定めた地点で特定の種類を対象として実施することが望ましい。それによって、現在の蓄積状況の把握が可能であり、またこの調査を継続することにより経年的な変化を調べることができるからである。地理的な比較あるいは経年的な推移を把握するためには可能な限りサンプリング方法を統一する必要がある。しかしながら、調査対象が野生生物である場合には、毎年同じ地域で試料を採取することは非常に難しい。また、協力者などを通して試料を収集する場合には採取場所を特定できないこともある。そのため、ある一定範囲の地域（例えば、県単位、地方単位など）で、ある一定期間（例えば、春夏秋冬など四季単位）内に調査するなどの余裕をもった計画として、関係者に周知徹底する必要がある。

さらに、ダイオキシン類などの生物蓄積性を示す化学物質を対象としたモニタリングでは、対象生物の成長や年齢及び性成熟などの生物側の諸条件も蓄積変動の要因の一つとなることから、これらを考慮した調査方法もしくは解析（補正方法）が必要である。

ダイオキシン類などの化学物質の生物に対する影響は、その毒性影響とともに生物体内の内分泌系を攪乱する環境ホルモン（内分泌攪乱化学物質）としての影響が懸念

されている。特に、環境ホルモンとしての影響は毒性影響よりも低濃度で起こっており、生物体内の蓄積レベルだけでなく、化学物質に暴露される時期（特に胎子期）にも大きく関与している。また、その影響は標的器官である生物の生殖腺やその関連器官において発現するだけでなく、生物の行動にも影響することが示唆されており、これらのモニタリングも重要である。調査する個体を選択する場合にはそれらの点も考慮する必要がある。例えば、環境汚染の把握を目的として対象生物の汚染状況（蓄積レベル）を調べるためには、妊娠や出産、授乳などの影響が小さく、比較的高く蓄積している成熟雄個体を用いるのが望ましい。しかし、環境ホルモンとしての繁殖への影響を考慮する場合には、その影響を受けやすい胎子や妊娠個体を対象とすることも有用であろう。また、環境ホルモンとしての影響が現れる性ホルモン濃度の測定もこれらの影響を把握する上で有用であり、化学物質の測定用の脂肪組織以外にも組織の採取が可能な個体では、新鮮血や新鮮肝の採集も同時に行う必要がある。

調査期間を通じて対象種や採取方法を一定にし、変動の原因となる要素はできるだけ少なくしなければならない。また、生物の行動範囲を良く理解し、どの程度の範囲の環境を代表しているのかを見極めるとともに、それらの情報を利用する必要がある。例えばスナメリやネズミイルカは沿岸性の小型鯨類であるが、特にスナメリではこれまでの研究から我が国の沿岸には5つの地方種（グループ）が存在するものと推定されており、限られた地域（海域）に生活していると考えられ、ごく限られた沿岸生態系の汚染状況を把握するのに有用であろう。一方、オウギハクジラは日本海を中心とする外洋に棲息し、おそらく中層（水深200から600メートル）付近で主として頭足類を捕食しているものと考えられている。同じアカボウクジラ科のツチクジラは水深1000から3000メートルの大陸棚斜面を利用していることが示唆されており、底棲生物を捕食しているので、大陸棚斜面低層部の汚染状況を反映しているものと考えられる。また、ミンククジラは外洋性のヒゲクジラ類の一種であり、これまでの調査結果では日本沿岸ではサンマやイワシ類などの表層群集性魚類を主に捕食しているので、表層の生態系の汚染を反映していると考えられる。このように、これら海棲哺乳類の分布と生態系における食地位を考慮して海域の汚染状況を考える必要がある。

（2）生物側の条件

PCBなどの脂溶性の高い有機塩素化合物などは、哺乳類では妊娠中に胎盤を介して、また哺乳期には母乳を介して母親からその子に移行することが知られている。鯨類など海棲哺乳類の母乳は、特に脂肪に富んでいるので母体から排泄される化学物質の量も多い。これは母体側から言えば有効な排泄機構の一つとも言える。一方、雄ではそのような排泄機構が存在しないことから体内に長期間にわたって残留し続ける。そのため雌雄による蓄積レベルの差はより顕著となっている。つまり、標本の性別の違いは環境モニタリングの点から重要な問題となる。また、母親から子供への移行は、第1子ほど移行量が多く、また、出産間隔が長いほど高くなる。このため、母体側では

泌乳の回数、すなわち何頭子供を育てたかによって蓄積レベルが異なるため、子育て（授乳）の回数が重要である。状況が許せば泌乳個体からは母乳を採取し、成分分析を行うことが望ましい。

また、ミンククジラのように幅広い食性を有する種では、オキアミからマイワシ、マサバと主要な餌生物を変化させており、近年の調査から最近ではサンマやカタクチワシに加えてスケトウダラやスルメイカなども捕食していることが明らかになっている。このような食性の変化も化学物質の蓄積には反映されるので、生態に食性とその地理的季節的变化も加えて検討する必要がある。

また、生物蓄積の変動要因となる生物学的な情報として年齢がある。生物蓄積性の高い有機塩素化合物などの化学物質では生物の体内に長く残留するので、その蓄積量は加齢に伴って増大する。そのため、個体の年齢情報も重要である。一定の成長段階の個体のみを収集することが特に難しい場合は、個体の性や年齢、成長段階、成熟状態などの情報で補正を行って比較する方法もモニタリング・データの精度を高め、適切な答えを得る上で極めて重要であろう。

さらに、採取時期についても、繁殖周期をもつ生物や大型鯨類の場合のように摂餌期と繁殖期が分かれている場合には、体脂肪量などが季節的に変化する場合がありますので注意する必要がある。ミンククジラの場合、4月から5月にかけて日本太平洋沿岸を北上しており、これから夏季にかけて摂餌中心の生活を送るため、体脂肪量が増加するものと考えられる。これらの状況も、また蓄積の濃度に大きく影響するため、捕獲時期はできるだけ毎年同じにすべきであろう。

(3) 特定汚染（もしくは突発汚染）からの影響

本調査が対象とする数種の化学物質のうち、ダイオキシン類は我が国に於いては主にごみ焼却場から環境に放出されるため、焼却場からの距離や方向、風向きなどによっても影響を受けるが、この他にも一般の家庭の小型焼却炉からの放出なども無視できない。この調査の主要な目的は広範囲な観点からのダイオキシン類などによる汚染をモニタリングすることであり、調査対象とする生物については特定の（もしくは突発の）汚染源からの影響が少ないものが望ましい。これらの点にも十分配慮して、一般環境を代表しているものから採取する必要がある。

(4) コンタミネーションの防止

生物体の外部からの化学物質の混入に注意する必要がある。例えば、海棲哺乳類でスタンディング個体を用いてダイオキシン類などの有機塩素化合物を分析する場合には、廃油ボールなどの海上漂流物や漁網や船底塗料の一部が体表面に付着していないか注意深く観察し、分析用組織を採取する場合には、それらが付着していない部位から採取するように注意する必要がある。また、皮下脂肪を採取する場合にはなるべ

く体表からのコンタミネーションを避けるように気を付ける。

加えて、採取用具からの汚染を避けるため、可能な限り汚染源とならないような器具、例えばステンレス製のナイフやピンセットなどを用いて採集を行う必要がある。特に、プラスチック製品を用いる場合にはこの点に注意する必要がある（合衆国の国立バイオモニタリングティッシュバンクでは、チタン製のナイフやテフロンコーティングの器具などの使用を推奨している）。