

## 9 食品への放射性物質の移行

放射性物質は、食品を通じてヒトに移行する可能性がある。ヒトの消化管においては、食品とともに摂取されるセシウムはほぼすべてと、ストロンチウムは約3分の1が吸収される。

農業や自然生態系から得られる植物性または動物性の産物は、食品につながる食物連鎖の重要な部分を占める。放射性物質は主に、牛乳、畜肉、穀物製品、野菜、トナカイ肉、キノコ、果実、野生動物の肉、魚を介して摂取される。

この章では、農作物や家庭菜園での作物、水、トナカイ肉、森林や湖、溪流で得られる食品からの放射性物質の移行について述べる。農業生産による食品は、国民の生活において最も重要だ。林産物と海産物は、全国民にとって農産物ほど重要というわけではないが、一部の人々にとっては社会的・経済的に、また生活のうえで大きな意義を持つことがある。

### 循環

生物学的プロセスは、安定した物質と放射性物質を区別しないので、放射性物質は同類の安定した物質と同じ経路をたどる。例えば、放射性ヨウ素は安定ヨウ素と同様に伝達される。

周期表で同じグループに属する元素は、同様の化学特性を有し、生物学的プロセスでも同様に作用する。セシウムは特性や拡散経路は、カリウムとほぼ同じである。ストロンチウムにはカルシウムとほぼ同じ特性がある。したがって、カリウムやカルシウムを吸収する動植物は、セシウムやストロンチウムも吸収することになる。

耕地は、バイオマスが生育・分解し、栄養分の流れがさまざまな形で循環するシステムである。放射性物質が降下する年には、作物の生育段階が、さまざまな食物連鎖中の放射性物質の流れを決定する。

栄養素は、農業に含まれるさまざまなサイクルで循環する。放射性物質は、農業環境中の自然のサイクルをたどる。これらのサイクルは、基本的に3つの経路に沿っている。

- 栄養素の大部分は、作物残渣の形で地面に残される有機物質に含まれる。これは耕地に戻され、新しいサイクルの一部となる。
- 栄養素の含まれる割合が次に大きいのは、畜産農家が収穫して飼料として使用するバイオマスである。この大部分は堆肥を介し土に還る。
- 栄養素の含まれる割合が最も小さいのは、植物性産物としてヒトが直接消費する食品として、または動物性産物の生産のため飼料作物として使用される、植物バイオマスである。これらの栄養素のうち、汚泥として耕地に戻る割合は非常に小さい。

食物連鎖を通じて栄養素が運ばれる際には、その大部分がこれらの循環サイクルやバイオマスの流れに沿って伝達される。降下した放射性物質は、土壌と作物を汚染すると、食物連鎖に入りこみ、これをたどって食料に、そしてヒトにもたらされる。土壌を汚染した放射性降下物も、自然の栄養素と同じ経路をたどる。放射性物質は、土中の鉱物によって自然に希釈されたり、例えばセシウムのように粘土鉱物に吸着したりすることがある。

### 動物体内での吸収と代謝

飼料中のヨウ素 131 は可溶性で、胃腸管の上方で速やかに、かつほぼ完全に血中へ吸収される。ヨウ素はまた、吸入によっても動物の体に吸収される。甲状腺、唾液腺、乳腺、胎盤、腸管粘膜などの器官や組織は、ヨウ素を取り込み蓄積する傾向がある。平衡状態では、全身のヨウ素 131 のうち 50% が甲状腺にあり、残りは他の器官や組織に分散している。放射性ヨウ素は放牧牛などの乳に素早く分泌される。

ヨウ素が乳に素早く分泌されることに加え、このような牛乳を消費したヒトへ即座にもたらされるリスクのため、この物質には放射性物質の放出直後にとりわけ注意を払われなければならない。

動物が消費した飼料中のセシウム 134 とセシウム 137 は、その動物の胃腸管、とりわけ小腸に吸収される。吸収率は約 50 ~ 80% で、それ以上にのぼることもある。この物質は血液に運ばれて動物の体内に素早く広がる。

平衡状態では、体内のセシウム 137 の 85% は筋肉組織に、5% は骨組織に、残り 10% は他の器官や組織に存在する。

泌乳動物は吸収したセシウムの約 10% を乳に分泌する。ニワトリは卵にセシウムを分泌し、動物はいずれも筋肉にセシウムを蓄積する。したがって、乳・卵・肉はヒトの食餌においてセシウム源となり得る。

飼料中のストロンチウム 90 は、主に小腸で吸収される。吸収率は、成熟した反芻動物では 5 ~ 25% と幅があるが、母乳のみで育てられた若い動物では 100% になることもある。ストロンチウム 90 は主に骨組織に蓄積される。体内のストロンチウムの約 95% が骨組織に回収される。

牛乳と、(ある程度まで)肉は、ヒトの食餌においてストロンチウム源となり得る。ストロンチウム 90 は、とりわけ核爆弾の爆発により生じる放射性降下で問題となる。原子力事故の後では、揮発性でないストロンチウムはヨウ素やセシウムほど大量に漏れないので、核爆弾の爆発後ほどの大問題にはならない。

### 農作物と家庭菜園での作物

放射性降下後の最初の数日間で、非常に大まかに見積もって、放射性降下物の 3 分の 1 が草地の表面 (飼料となる干し草を得るための耕地や牧草地など) の植生 (いわゆる "草") に残る。この章の例は、読者が影響について大まかな理解を得られるように挙げたものであり、意思決定を行う際の計算に使用するべきものではない。図 9.1 ~ 9.5 および 9.8 で採用した食品中のセシウム 137 含有量は、表 12.1 の EU 許容基準に相当する。

乾燥時の降下 (第 7 章を参照) のみが起こった場合には、植生が厚ければ、降下した放射性物質のほとんどが草に付着すると考えられる。草が、放射性物質のついた微粒子をとらえるフィルターの役割を果たすのだ。しかし、時間の経過や雨により、放射性物質は土壌に流される。風雨により、草に含まれる放射性降下物の量はやがて減少していく。

一定の時間が経過したのち、放牧規制の必要性を調査するため、牧草の標本を採取して検査し、放射性物質の有無を測定するべきである。また、牛乳の測定を通じて、牧草から乳への放射性物質の移行を判断するための、状況に則した基礎データを得ることができる。こうしたサンプル採取や測定のパログラムについては、第 7 章に記されている。

### 牛乳

牛乳と乳製品は重要な食品であると同時に、牧草-牛-牛乳-ヒトの食物連鎖中では放射性物質が非常に素早く運ばれるので、この食物連鎖は特別な位置を占める (図 8.8 と図 9.1)。

放牧期間中に放射性物質が降下すると、牧草に半減期の短い放射性物質と半減期の長い放射性物質の両方が付着し、どちらも素早く牛乳に到達する。こうして生産された牛乳が店頭で消費者に届くまでには、わずか一日 ~ 数日しかかからない。ヨウ素 131 は半減期が短く、放射性物質が降下してから数日で牛乳に発見される。放射性セシウムとストロンチウムは半減期が長い、これらも素早く食物連鎖に入り込む。

地表への降下：セシウム 10,000 Bq (ベクレル) / m <sup>2</sup>		ヨウ素 5,000 Bq / m <sup>2</sup>
[ 牛の絵 ] 牧草：セシウム 3,300 Bq / m <sup>2</sup> ヨウ素 1,600 Bq / m <sup>2</sup>	[ 牛乳の絵 ] 牛乳：セシウム 1,000 Bq / リットル (l) ヨウ素 500 Bq / リットル (l)	[ 人の絵 ] 牛乳 1 リットル当たりの放射線量： セシウム 0.015 mSv (ミリシーベルト), ヨウ素* 0.007 mSv  * 1-2 歳の幼児への放射線量は 0.07 mSv。

図 9.1 牧草-牛-牛乳-ヒトの食物連鎖。ここでは放射性降下物の 1/3 が牧草に存在するものとする。放射線量は実効線量を指す。セシウムとヨウ素はそれぞれセシウム 137 とヨウ素 131 を指す。

(p.42 上の囲み記事)

<p>計算のひとつの例として (図 9.1 を参照)、土壤に降下するセシウム 137 の量が 1 m<sup>2</sup> 当たり 10,000 Bq (ベクレル) であると仮定しよう。降下したセシウム 137 の約 3 分の 1 が牧草に取り込まれるとすると、牧草は約 3,300Bq / m<sup>2</sup> を含むことになる。牧草 1 kg (生重量) / m<sup>2</sup> とすると、牧草の降下物含有量は 3,300Bq / kg (生重量)、乾重量の場合は 4 倍すなわち 13,200Bq / kg になる。牛が乾重量で 1 日当たり 10kg の牧草を摂取する場合、牛は 132,000Bq / 日を摂取することになる。</p> <p>摂取されたセシウム 137 の総量に対する牛乳のセシウム 137 含有量の比率が 0.008 の時 (移行係数 F<sub>m</sub> = 0.008、本章末参照)、牛乳に含まれる量は 1,056Bq / kg、つまり欧州共同体 (EC) が計画し、今後事故があった場合その直後に適用されることになる許容基準 1,000Bq / kg よりもやや高めになる。定数 1.4 × 10<sup>-5</sup> との乗算により、放射線量 mSv (ミリシーベルト) が得られる。したがって、1 リットルの牛乳の放射線量は 0.015mSv となる。</p>
--

## 肉

飼料・ウシ・肉・ヒトの食物連鎖では、放射性物質が比較的素早く運ばれる。この食物連鎖で最も重要な物質は、放射性セシウムとストロンチウムだ。放射性ヨウ素の物理的半減期は短いため、牛乳を介する食物連鎖ほどには大きな意味を持たない。飼料・ウシ・肉・ヒトの食物連鎖におけるセシウム 137 の移行を図 9.2 に示す。

ウシに比べ、ヒツジは栄養価の低い、しかも通常は肥料を施さない土地に放牧されることが多く、こうした土壤の牧草は放射性セシウムをより多く吸収する。そのため、ヒツジはウシよりもセシウム 137 の含有量が高くなると予測される。土壤の特性や栄養価のもつ意味については第 10 章で述べる。牧草・子羊・肉・ヒトの食物連鎖におけるセシウム 137 の移行を図 9.3 に示す。

飼料・ブタ・肉・ヒトの食物連鎖におけるセシウム 137 の移行を図 9.4 に示す。

[ 牛の絵 ] 牧草：セシウム 500 Bq/m <sup>2</sup>	[ 牛肉の絵 ] 牛肉：セシウム 1250 Bq/kg	[ 人の絵 ] 放射線量：0.02 mSv/kg 肉
--	--------------------------------	-------------------------------

図 9.2 牧草・ウシ・肉・ヒトの食物連鎖におけるセシウム 137 の移行。放射線量は実効線量を指す。計算では、動物 1 頭・1 日当たり牧草を 10kg (乾重量) 摂取するものとし、IAEA の移行係数を使用した。

[ ヒツジの絵 ] 牧草: セシウム 500 Bq/m <sup>2</sup>	[ 羊肉の絵 ] 子羊肉: セシウム 1250 Bq/kg	[ 人の絵 ] 放射線量: 0.02 mSv/kg 肉
---	----------------------------------	--------------------------------

図 9.3 牧草・子羊・肉・ヒトの食物連鎖におけるセシウム 137 の移行。放射線量は実効線量を指す。計算では、動物 1 頭・1 日当たり牧草を 1kg (乾重量) 摂取するものとし、IAEA の移行係数を使用した。

[ 豚の絵 ] 穀物: セシウム 2,000 Bq/m <sup>2</sup>	[ 豚肉の絵 ] 豚肉: セシウム 1250 Bq/kg	[ 人の絵 ] 放射線量: 0.02 mSv/kg 肉
---	---------------------------------	--------------------------------

図 9.4 飼料・ブタ・肉・ヒトの食物連鎖におけるセシウム 137 の移行。放射線量は実効線量を指す。計算では、動物 1 頭・1 日当たり混合飼料 2.5~2.8 kg を摂取するものとし、IAEA の移行係数を使用した。

### 穀物

図 9.5 に示した穀物・パン・ヒトの食物連鎖では、放射性物質の伝達は牛乳に至る連鎖を介するよりも時間がかかる。最も重要な物質は、放射性セシウムとストロンチウムだ。収穫期の直前に放射性降下が起こった場合は、穀粒への移行が比較的大きくなる。生育期のもっと早い段階で放射性降下が起こると、植物の生育に伴う希釈などにより、含有量はもっと低くなる。放射性降下が起こった年の翌年以降は、放射性物質が主に根から吸収されることになり、含有量は大幅に減少する。家畜の飼料となる穀物は、動物を介し、穀物・ブタ/家禽/ウシ・肉/卵/乳・ヒト、という食物連鎖をたどる。

[ 麦の絵 ] 穀物: セシウム 1600 Bq/kg	[ パンの絵 ] パン: セシウム 1250Bq/kg	[ 人の絵 ] 放射線量: 0.02 mSv/kg パン
--------------------------------	--------------------------------	---------------------------------

図 9.5 穀物 (穀粒) ・パン・ヒトの食物連鎖におけるセシウム 137 の移行。放射線量は実効線量を指す。

[ 畑の絵 ] 菜園への降下	[ 野菜の絵 ] 野菜	[ 人の絵 ] 放射線量
-------------------	----------------	-----------------

図 9.6 放射性降下が起きてから数日のうちに収穫した場合の、野菜・ヒトの食物連鎖。根菜に含まれる放射性物質の量は、葉野菜に比べると著しく少ない。したがって、放射線量は野菜の種類によって大きく異なる。

### 野菜

野菜・ヒトの食物連鎖は短く、これを通じた放射性物質の伝達は速やかに起こる。屋外で栽培された葉野菜で、葉の面積が大きいものは、降下した放射性物質の大部分をとらえてしまう可能性がある。こうした野菜が収穫され、生のまま販売されると、消費者のもとに素早く届くことになる。ジャガイモやニンジンなど、植物の地上に出していない部分が食料となる野菜は、葉が汚染される直接的な汚染の影響がはるかに少ない (図 9.6 を参照)。

### 水

土壌と地下水を介し、飲料水・ヒトの食物連鎖をたどる放射性物質の伝達は、非常に長い時間を要する。淡水の供給源、河川や湖が直接汚染された場合は、移行がもっと速やかに起こることもあるが、水の深さがかなりあれば、放射性物質が大幅に

希釈される可能性が高くなる。浅い池沼や河川など、深さのあまりない淡水供給源が、水まきのために、また家畜の飲み水として用いられている場合は、放射性降下物に含まれる放射性物質の内容がはっきりしていない初期段階で、こうした水を使うべきではない。

スウェーデンの消費者の半数が、地下水を源とする水の供給を受けている。降下から数十年のあいだに、飲料水の摂取によって人々にもたらされる放射性セシウムとストロンチウムの量は、含有率が低いため、食事からもたらされる放射線量に比べると非常に少ないということが、大気中核実験による放射性降下から判明している。これは、浄水施設で処理される地下水・表流水にも、深く掘った井戸から得られる家庭用水にもあてはまる(図9.7を参照)。

[ 池の絵 ] 淡水供給源	[ 水道の絵 ] 飲料水	[ 人の絵 ] 放射線量
------------------	-----------------	-----------------

図9.7 飲料水・ヒトの食物連鎖。放射性物質は土壌中の粒子に吸着し、生物系によって保持されるので、水は浄化される。このため、消費者のもとに届く水は汚染されていないものとみなしてよい。

地表への降下：セシウム 1250 Bq/m <sup>2</sup>		
[ トナカイの絵 ] 地衣類：セシウム 1250 Bq/m <sup>2</sup>	[ 肉の絵 ] トナカイ肉：セシウム 1250 Bq/kg	[ 人の絵 ] 放射線量：0.02 mSv/kg肉

図9.8 地衣類・トナカイ・ヒトの食物連鎖におけるセシウム137の移行。放射線量は実効線量を指す。

### トナカイ肉

放射性セシウムが移行する効果的な伝達経路のひとつが、地衣類・トナカイ・ヒトの食物連鎖である。原因はさまざまな要因の組み合わせだ。晩秋および冬の間、トナカイの主な食餌は地衣類となるが、この地衣類には、放射性降下物などの大気汚染物質を非常に効率的にとらえ、保持する性質がある。

チェルノブイリ原発事故後のノルウェーの経験から、放牧圧力が現状のまま仮定した場合、セシウム 137 が降下してからの1年間は大まかに言って「1 m<sup>2</sup>当たり Xベクレルが降下した場合、地衣類(ハナゴケなど)は乾重量 1 kg 当たり Xベクレル汚染される」との公式を適用できることがわかっている。こうした地衣類に覆われた土地で、トナカイが冬の間放牧されると、放射能は筋肉組織 1 kg 当たり Xベクレルになるものと予測される(図9.8)。

トナカイのセシウム 137 含有量は、季節によって大きく異なる(図9.9を参照)。放射性物質が降下したあとの最初の晩冬(3~4月)に、トナカイの筋肉組織に含まれるセシウム 137 の量が最大となる。その後、春が訪れ、トナカイが草や葉、灌木の芽などを食べるようになると、セシウム 137 の含有量は急激に減少する。最も急激に減少している時期には、1週間で含有量が半減することもある。概して8月にセシウム 137 の量が最少となる。この時期には、降下量が 1 m<sup>2</sup>当たり 4万ベクレルもあったとしても、含有量は 1 kg 当たり 1500 ベクレルにとどまることもある。そして秋になると、セシウム 137 の含有量は、程度の差こそあれふたたび急上昇する。この上昇の最も大きな原因は、放射性降下の起きた地域でセシウム 137 の含有量が高くなっている地衣類やキノコ類を、トナカイが摂取することだ。

このように季節によって大きな変化があることに加え、セシウム 137 の含有量は時とともに減少していく(図9.9を参照)。チェルノブイリ原発事故による放射性降下の経験から、通常の屠殺期のトナカイ肉におけるセシウム 137 の実効生態学的

半減期は比較的長く、4年前後であることがわかっている。チェルノブイリ原発事故後の放射性降下の被害がスウェーデンで最も大きかった地域では、トナカイ肉に含まれるセシウム 137 の問題が 21 世紀に入っても長いこと解決されないまま残ると考えられる。地衣類を介すると、放射性物質が効果的に摂取されてしまうため、セシウム 137 の降下が比較的低レベルにとどまったとしても、トナカイ放牧に大きな悪影響が及ぶ可能性がある。

図 9.9 トナカイ肉に含まれるセシウム 137 の量が、季節によって、また長期的にみてどのように変化するかを示した図。この例では、6,000 Bq/m<sup>2</sup>の放射性降下が春に起こったと仮定した。時間軸のゼロ点は、放射性降下が起こった次の年の 1 月 1 日である。出典：国防調査局 (FOI) トールビヨルン・ニュレーン (Torbjörn Nylén) およびスウェーデン農業大学 (SLU) ビルギッタ・オーマン (Birgitta Åhman)

### 林産物

針葉樹の老生林に降下した放射性物質の大半は、木々の梢によってとらえられる。その後、放射性物質は拡散し、1 年後には大半のセシウム 137 が地盤の上層部、とりわけ土壤の有機的な部分に存在することになる。木々の生きている部分と枯れている部分には、セシウム 137 の総量のうち約 10~15%が見つかることになる。

1 年ほど経ったのち、さまざまな農産物食品から見つかることになるセシウム 137 の量と比べると、林産物に含まれる量のほうが多くなる。ヘラジカ狩猟が行われる前の数カ月間、1 m<sup>2</sup>当たり 4 万ベクレルのセシウム 137 が降下した耕作地の草を食み、それ以外の餌をほとんど食べていないヘラジカは、1 kg 当たり数十ベクレルほどを含む可能性があるが、通常の森林地に同じ量が降下し、そこで草を食んだヘラジカの場合、平均して 1 kg 当たり 750 ベクレル、極端なケースでは 1 kg 当たり 2,000 ベクレルをも含むことがある。

しかも、森林生態系におけるセシウム 137 の実効生態学的半減期は、スウェーデンに現在あるほかのどんな生態系におけるそれよりも長いと考えられる。その理由は複雑だが、はっきりしているのは、土壤の栄養状態や森林土壌における粘土鉱物の欠如が影響しているということだ。そのうえ、耕作地と比べた場合、森林地でのセシウム 137 吸収には、キノコ類の菌糸体が大きな役割を果たすものとみられている。

### ベリー類

例を挙げると、ブルーベリーやコケモモのセシウム 137 含有量は、降下量が 1 m<sup>2</sup> 当たり約 1 万ベクレルの場合、乾重量 1 kg 当たりおよそ 300 ベクレル (生重量で 1 kg 当たりおよそ 75 ベクレル) になり得る。大規模な放射性降下でないかぎり、ブルーベリーやコケモモに許容基準を超える量の放射性物質が含まれる危険はない。その一方で、栄養素の乏しい土地に生育することの多いクラウドベリーは、一部の地域でさらに高い含有量を示す可能性がある。

<p>[ベリー類や動物、キノコの絵] 野生動物、キノコ類、ベリー類</p>	<p>[食事の絵] 食料</p>	<p>[人の絵] 放射線量</p>
---	----------------------	-----------------------

図 9.10 ベリー類やキノコ類、野生動物は、セシウム 137 をヒトに伝達する可能性があるため、放射性降下のあとは必ず注意しなければならない。

#### キノコ類

セシウム 137 の吸収に関するかぎり、キノコ類は均一ではない。たとえば、セシウム 137 が 1 m<sup>2</sup>あたり 1 万ベクレル降下した場合、アンズダケやヤマドリタケに含まれるセシウム 137 は 1 kg (乾重量) 当たり 2,000 ベクレルとなり得るが、*Suillus variegatus* やショウゲンジの場合は 4 万 ~ 8 万ベクレルにのぼる可能性もある。つまり、キノコ類は森林からヒトへ伝達するセシウム 137 の量が最も多い産物かもしれない、ということだ。

アンズダケなどのキノコ類を、年に 1 回 ~ 数回ほど食べるだけなら、キノコを介した放射線量は比較的少量にとどまる。が、キノコを大量に摂取する場合は、セシウム 137 の摂取量が高くなる可能性がある。ノロジカやその他の反芻動物は大量にキノコを消費するので、これらの動物に含まれるセシウム 137 の量は、季節によって大きな変動を示す。

#### ヘラジカ肉

セシウム 137 が森林からヒトに移行する第 3 の経路が、野生動物の肉である。地表 1 m<sup>2</sup>あたり 1 万ベクレルが降下した場合、狩猟の際のヘラジカの筋肉組織には、1 kg 当たり平均 200 ベクレルが存在する。チェルノブイリ原発事故の放射性降下後に行われた分析では、ヘラジカの筋肉組織に含まれるセシウム 137 が、おそらく物理的崩壊をたどる、つまり約 30 年で半減するであろうということがわかっている。季節による変動の原因は、ヘラジカの食物の選択にある (図 9.11)。キノコやスイレンは含有量が多いため、ヘラジカ体内の含有量を増やすことがあるが、草は含有量が少ないので逆の効果をもたらすと考えられる。

図 9.11 北スウェーデンのヘラジカ肉に含まれるセシウム量の予測される変化。地表への降下量は 1,000Bq/m<sup>2</sup>とし、普通の年とキノコの多い年を比べている。キノコの多い年には、7 月半ばから 9 月半ばにかけてのヘラジカの食餌の 2 % をキノコ類が占めるものと仮定している。出典：国防調査局 (FOI) トールビヨルン・ニュレーン (Torbjörn Nylen)

#### ノロジカ肉

ノロジカは概してヘラジカよりもやや高いレベルのセシウム 137 含有量を示す。ノロジカ肉に含まれるセシウムの量は、非常にはっきりした季節変動を示す。これはひとえに、ノロジカがセシウム 137 を多く含むキノコを摂取することによる変動である (図 9.12)。ノロジカの第一胃内に見つかる食料のうち、20 ~ 30 % がキノコ類であることもあるのだ。

図 9.12 イェーヴレ市 (コミューン) のノロジカに含まれるセシウム 137 量の季節変動。スウェーデン農業大学 (SLU) の調査による。出典：SLU、グンネル・カーレーン (Gunnel Karlén)

### 湖や河川からの産物

プランクトン・魚・ヒトという食物連鎖は、野生動物と淡水魚を主食とする一部の人々にとって、特に重要となり得る。そのうえ、魚に含まれる放射性セシウムの量が多くなると、セシウム量の多い地域での観光客や釣り客の減少など、経済的・社会的な面でも問題が生じる。チェルノブイリ原発事故のあとにも、こうした問題が顕著にみられた。

魚に含まれるセシウム 137 の量は、海よりも湖のほうが多くなる。主な原因は、湖の水に含まれる塩分が少なく、したがってカルシウムの含有量も少ないということだ。湖水魚に含まれる放射性物質の量は、水の入替わりに要する期間が長いほど多くなる。

湖水に含まれる、したがって魚に含まれることになる放射性物質の量に、長期的な影響を与える要因としては、ほかに次のようなものが挙げられる。

- 湖水に含まれる粒子と、その沈降速度（腐食質の含有量や硬度など、水質とも関連し得る）
- 湖の深さ。これは、放射性粒子が底から巻き上げられ、プランクトンの生息する部分まで上がってくるかどうかを左右する要因である
- 周囲の湿地から運び込まれる放射性セシウム

降下物から、たとえばキタカワカマスへ移行する放射性物質の総量は、湖によって 50 倍ほどの差が出ることもあり、また時点によってはそれ以上の差が出ることもある。

図 9.13 に、いくつかの一般的な魚種にみられるセシウム 137 含有量が、時間とともにどのように変動・変化するかを示した。環境中のいくつかの要因が組み合わさって、セシウム 137 の含有量が多くなることもあれば、少量にとどまることもある。これを左右する要因としては、周囲の土地からの移行係数の違いや、水の入替わり方の違いなどが挙げられる（図 9.14）。

図 9.13 1986 年以降の、キタカワカマス、平均的な大きさのヨーロッパパーチとローチ（フィンランドのパイヤンネ湖）、およびブラウトラウト（北欧各地の湖）に含まれるセシウム 137 平均量の変化。データ出典：北欧原子力安全研究プロジェクト NKS/EKO-2

図 9.14 セシウム 137 からの影響の受けやすさが異なる北欧各地の湖に生息するキタカワカマスの平均セシウム含有量の変化（値はすべて 30,000Bq/m<sup>2</sup>に調整済み）。データ出典：北欧原子力安全研究プロジェクト NKS/EKO-2

## 移行係数

放射性物質が食物連鎖の一段階から別の段階へ移行する率は、移行係数という形で表される。これは、平衡状態にある動物、つまりその動物の放射性物質摂取量と分泌量が釣り合っており、蓄積量も分泌も増加しているわけではない場合に適用される。

移行係数を求める方法はいくつかある。

1. 食物連鎖中の一段階（例：牛乳）に含まれる放射性物質の量と、その直前の段階（例：牧草）に含まれる同じ物質の量とを比較する。

この方法は、牧草を食む動物に関して、その牧草が唯一の汚染された飼料である場合に用いられることが多い。

2. 動物性産物 (例: 牛乳や肉) に含まれる放射性物質の量と、その動物が 1 日に摂取するその物質の量とを比較する。

この定義に基づく移行係数には、 $F_m$  (飼料から牛乳) または  $F_f$  (飼料から肉) の記号が用いられる。

この方法は、管理された形で飼料が与えられている場合、つまり 1 日当たりの飼料の消費量や、飼料に含まれる放射性物質の量がわかっている場合に適用している。畜舎で飼料を与えられている家畜の場合は、このケースに当てはまることがある。

放牧されている牛に関しては、牧草の大まかな消費量を、その他の飼料の消費量や、その時点での牛乳生産のための栄養必要量、生きている状態での体重についての情報を利用して算出することができる。一般的なケースでは、乾重量で 1 日当たり 10 ~ 12kg の牧草を消費し、25kg の牛乳を生産する、と見積もることができる。

3. 食物連鎖の最終段階における放射性物質の含有量と、第一段階における同じ物質の含有量とを比べる。

これは、たとえば土壌から植物性産物または肉への移行に適用することができ、それぞれ  $TF_g$  および  $T_{ag}$  の記号で表される。地層に含まれる放射性物質の量は現在、ベクレル /  $m^2$  の単位で示されることが多い。以前は土壌 1 kg 当たりのベクレル数で表されることが多かったが、これを利用するには土壌の密度を知っておく必要があった。

一般的に言えるのは、移行係数に含まれる食物連鎖の段階の数が多ければ多いほど、係数は不確かなものとなる、ということだ。

#### 移行係数

飼料から牛乳へ:

$$F_m = \frac{\text{牛乳中の放射性物質濃度 (Bq / l リットル)}}{\text{家畜の 1 日当たり放射性物質摂取量 (Bq / 日)}} \quad \text{単位: 日 / l}$$

飼料から肉へ:

$$F_f = \frac{\text{肉中の放射性物質濃度 (Bq / kg)}}{\text{家畜の 1 日当たり放射性物質摂取量 (Bq / 日)}} \quad \text{単位: 日 / kg}$$

土壌から植物性産物へ:

$$TF_g = \frac{\text{植物中の放射性物質濃度 (Bq / kg 乾重量)}}{\text{地表への降下量 (Bq / m}^2\text{)}} \quad \text{単位: m}^2\text{/kg (乾重量)}$$

土壌から肉へ

$$T_{ag} = \frac{\text{肉中の放射性物質濃度 (Bq / kg)}}{\text{地表への降下量 (Bq / m}^2\text{)}} \quad \text{単位: m}^2\text{/kg}$$

#### 一般的なルール

これらの一般的なルールは、食品汚染の規模の理解を助けることにより、対策をとるべきか否かを示すことのみを目的としている。さまざまな対策の規模を決定するには、その時の状況に応じた、より精密な計算が必要とされる。

#### 牛乳

ウシやヤギが1日に摂取するヨウ素 131、セシウム 137、ストロンチウム 90のうち、1日に生産される牛乳または山羊乳に分泌される率：

**牛乳** ヨウ素 131 の約 30%、セシウム 137 の約 10%、ストロンチウム 90 の約 5 %

**山羊乳** ヨウ素 131 の約 50%、セシウム 137 の約 20%、ストロンチウム 90 の約 5 %

#### 牛肉とトナカイ肉

**牛肉** 牛肉に含まれるセシウム 137 の量 (Bq/kg) は、肉牛と乳牛が同じ土地に放牧され、牧草が唯一の、または主な飼料である場合、牛乳に含まれる量の約 5 ~ 7 倍となる。

**トナカイ肉** 冬の放牧の際、肉に含まれるセシウム 137 の量 (Bq/kg) は、トナカイが食べる地衣類に含まれる量 (Bq/kg 乾重量) とほぼ同じになる。地衣類に含まれるセシウム 137 は約 4 年で半減する。

肉の場合、ヨウ素 131 とストロンチウム 90 の含有量は、セシウム 137 の含有量に比べるとごくわずかである。

#### その他の産物

1,000Bq/m<sup>2</sup>の放射性降下が起きたと仮定すると、約 1 年後から、セシウム 137 の含有量は次のようになる (たとえば降下した放射性物質の量が倍になれば、含有量も倍になる)：

**ジャガイモ** 0.2 ~ 20 Bq/kg (乾重量)

**ブルーベリーとコケモモ** 約 5 Bq/kg (生重量)

**クラウドベリー** 約 10 Bq/kg (生重量)

**食用キノコ** 10 ~ 150 Bq/kg (生重量)。個体および種によって大きく異なる

**ヘラジカ肉** 約 20 Bq/kg

**ノロジカ肉** 含有量が最大となる秋で、100 ~ 200 Bq/kg。季節により変動する

**湖水魚** 100 ~ 500 Bq/kg。種によって、またどこの湖かによっても、同じ湖の中でも大きく異なる。中には、最大値に達する時点が放射性降下の数年後となる種もある。