



湖沼におけるフォールアウト核種の 移行挙動研究 —湖底堆積物中の ^{137}Cs の挙動—

武石 稔 中島 尚子 渡辺 均*

大洗工学センター安全管理部
東海事業所安全管理部

資料番号97-7

Study on Migration Behavior of Fallout Nuclides in Lake
Hinuma
—Migration Behavior of ^{137}Cs in Lake Sediments—

Minoru Takelshi Naoko Nakashima Hitoshi Watanabe*
(Health and Safety Division, O-arai Engineering Center,
* Health and Safety Division, Tokai Works)

チェルノブイリ事故により我が国に降下した、主要なフォールアウト核種である ^{137}Cs の湖沼湖底堆積物中での移行挙動を研究した。湖底堆積物は、チェルノブイリ事故以降1986年から毎年8月～10月に船上から採取した。その結果、湖沼湖底堆積物中の ^{137}Cs は、主に主要な流入河川(湖沼川)を経由して供給されるが、排出作用も活発であるため湖底堆積物中の ^{137}Cs 濃度は、ほぼ陸上土壌中の濃度に等しく、 ^{137}Cs の湖沼湖底への蓄積作用は小さいことが推察された。

1. はじめに

湖沼系は、一般的に流域に沈着した物質を集積する傾向がある。このため、フォールアウト核種の降下量が短期的に増加した際には、湖沼環境試料中の濃度もその影響を受け変動すると予想される。湖沼系の集積作用は、主に降雨により増大するが、同時に湖沼からの流出水量も増加するため核種の湖沼外への流出(以下、排出と呼ぶ)量も増加する。したがって、降雨に伴い必ずしも核種が湖底に蓄積するとは限らない。これは、湖沼の閉鎖性に依存する。筆者らは、チェルノブイリ事故(1986年4月26日)以降、毎年、湖沼の湖水、湖底堆積物等を採取し、 ^{137}Cs 等のフォールアウト核種の濃度を測定する等、その移行挙動を調査してきた^{1)～5)}。そこで、これらの調査結果の中で特に湖底堆積物中の ^{137}Cs の挙動について報告する。

2. 採取および分析方法

図1に湖沼の外観および湖底堆積物の採取地点を示す。湖沼は、湖面積9.35km²の汽水湖で、水深2.5m～3.5mの比較的浅い湖沼である⁶⁾。流入河川は7河川、流出河川は2河川であるが、流量率

から見ると流入、流出ともに、同名の湖沼川が主要な経路である。そこで、湖沼を図1に示すように流入河川(湖沼大橋地点)、上流部、中央部、下流部および流出河川(大貫橋地点)に分け、各地点で湖底堆積物を毎年8月～10月に採取した。採取は、船上で行ったが、位置の特定が困難なため、毎年採取場所が若干移動した。図1にはその採取地点を範囲で示す。採取した湖底堆積物は、

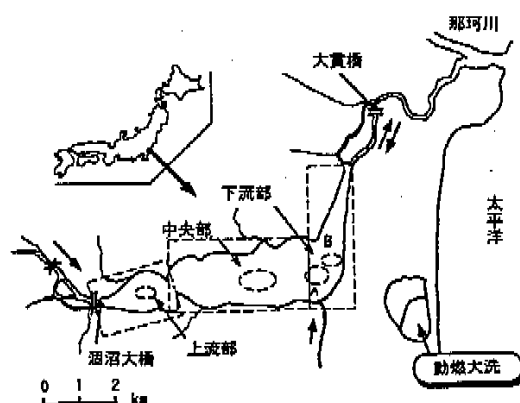


図1 湖沼の形状および湖底堆積物採取地点

約100℃で約3日間乾燥後、2mmメッシュのふるいで選別し、 γ 線核種は、相対効率45%のGe半導体検出器で定量した⁷⁾。 $^{239,240}\text{Pu}$ （以下、 ^{239}Pu と表記する）は、硝酸系で有機物を分解、浸出し、塩酸系陰イオン交換法で分離、調整後、ステンレス板上に電着、Si (Li)半導体検出器を用いた α 線スペクトロメトリにて定量した⁷⁾。 ^{90}Sr は、硝酸で有機物分解後、シュウ酸塩法にて ^{90}Sr を分離、約2週間静置して生成した ^{90}Y をミルキングし、低バックグラウンドガスフロー検出器で β 線を測定した⁷⁾。

また、大気からの ^{137}Cs の降下量は、動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター（以下、動燃大洗と呼ぶ）の高さ約10mの屋上に設置した受水面積0.5m²の大型水盤を用いて1ヶ月毎に降下塵を捕集し、降下塵中の ^{137}Cs を γ 線スペクトロメトリにて測定した。

3. 結果および考察

3.1 チェルノブイリ事故に起因する湖底堆積物中フォールアウト核種

図2に1986年から1994年までに観測した大気からの ^{137}Cs の降下量を示す。チェルノブイリ事故時の影響がもっともあった1986年5月には、 10^8 Bq/km²を超える ^{137}Cs の降下があった。その影響は、7月には 10^6 Bq/km²まで低下し、以後4月頃に若干有意な値が検出されたものの、急速に低下した。

チェルノブイリ事故の影響により、種々の核種が動燃大洗でも検出された⁸⁾。図3に1986年8月20日に採取した湖底堆積物中の主なフォールアウト核種の上流側から下流側にかけての濃度分布を示す。 ^{134}Cs 、 ^{103}Ru は、半減期が各々2.06年、39.3日であるとともに、降下塵中においても降下量の上昇が観測されたこと等から⁸⁾、チェルノブイリ事故の影響であると考えられる。

図3において、 ^{134}Cs 、 ^{103}Ru は、上流部の濃度が中

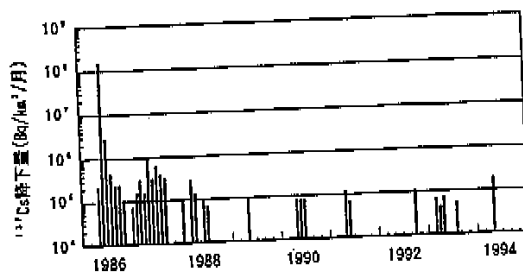


図2 ^{137}Cs の月間降下量

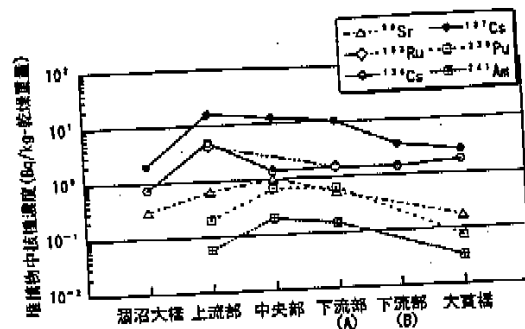
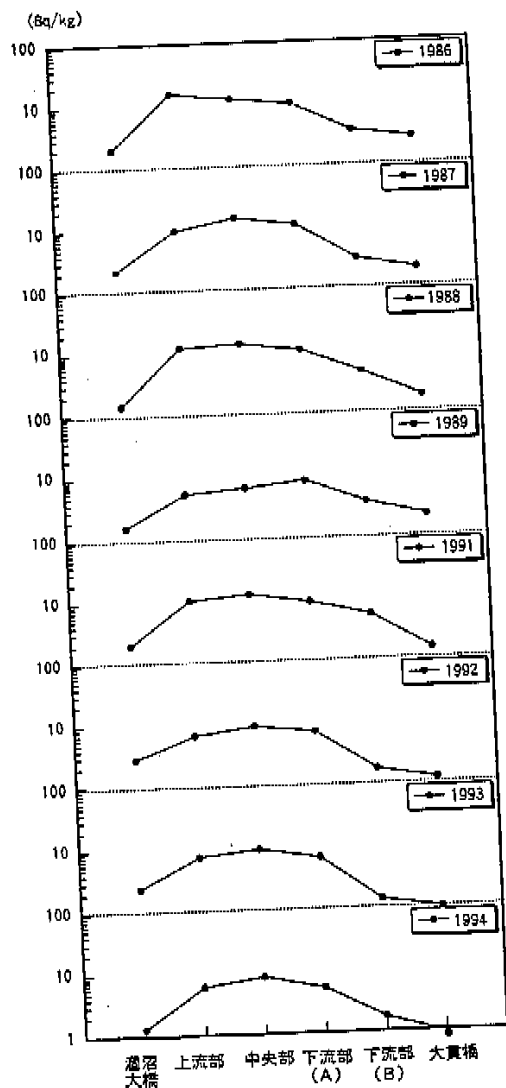


図3 1986年8月20日における湖沼の湖底堆積物中の核種分布

央部および下流部より高い。 ^{137}Cs は、 ^{134}Cs 、 ^{103}Ru ほど明確ではないが上流部の濃度が中央部、下流部より若干高い。また、図2に示したように ^{137}Cs は、チェルノブイリ事故により湖沼に降下したことが明らかである。これに対して、 ^{239}Pu 、 ^{241}Am は、中央部の濃度が、上流部、下流部より高い山形の分布を示していた。 ^{90}Sr は、中央部の濃度が上流、下流部より高いものの ^{239}Pu など比べると、上流部が下流部(A)より高い。 ^{239}Pu 、 ^{241}Am は、過去の大気圏内核実験による影響でチェルノブイリ事故の影響でないことが降下塵等の分析結果から報告されている⁹⁾。これらのことからチェルノブイリ事故に起因する核種は、いずれも上流部の濃度が高い傾向にあり、それ以外の核種は中央部が高いことが分った。したがって、チェルノブイリ事故時に降下した堆積物中の ^{103}Ru 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 等の核種は、流域から湖沼上流部に供給されたと推察される。また、湖沼湖底堆積物中の ^{137}Cs 濃度は、約10 Bq/kg-乾燥重量であり、流域の陸上土壌と同レベルであった。

3.2 湖底堆積物中 ^{137}Cs 分布の推移

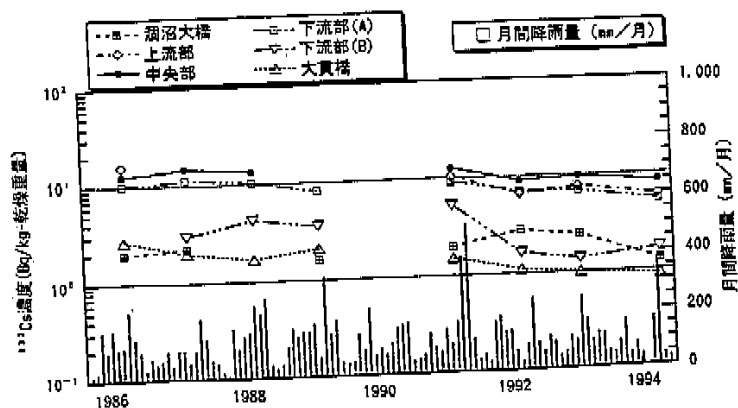
次に、これらの核種の分布がその後どのように推移したかを調査した。図4に1986年から1994年までの湖沼各地点の湖底堆積物中 ^{137}Cs 濃度分布の推移の観測結果を示す。全体的に見ると、1986年から1994年にかけての全地点の平均濃度は、緩やかな減少傾向にあるが、詳細に見ると、1986年の分布は、若干ではあるが上流部の濃度が中央部、下流部に比べ高いことが分かる。しかし、1987年は上流部の濃度が下がり中央部および下流部(A)が高くなった。つまり、上流部から下流部に ^{137}Cs が移動したように見える。この現象は、1988年から1989年にかけても見られた。1991年から1992年

図4 湖沼湖底堆積物中 ^{137}Cs 分布の推移

にかけては、湖沼大橋地点での ^{137}Cs 濃度の急激な上昇、下流部(B)での急激な低下が観測された。また、中央部は、 ^{137}Cs 濃度が若干低下したもののほぼ一定と見なせた。したがって、1991年から1992年にかけては、 ^{137}Cs の上流部への流入と下流部から湖沼外への排出が同時に生じ、結果として、中央部の濃度が見かけ上一定となったと考えられる。これらのことから、湖沼においては、 ^{137}Cs は、まず上流部に供給され、その後、中央部、下流部に移っていくと考えられる。つまり、流域に沈着した ^{137}Cs の湖沼川経山の上流部供給量が、湖沼沈着や湖沼川以外の流入河川等その他の経路を経由して流入する量より多いことが示唆された。

3.3 流域から湖沼への移行に及ぼす降雨の影響

次に、上流部への供給を促す因子を検討する。図2に示したように、 ^{137}Cs の降下量は、1986年以降急速に減少した。また、一般的に流域に沈着した物質は、降雨により湖沼に集積される。そこで、降雨量と湖沼各地点毎の湖底堆積物中の ^{137}Cs 濃度の推移を比較してみる。なお、降雨量は、湖沼から約2 km離れた動燃大洗のマス転倒式雨量計で連続観測した。図5にその結果を示す。降雨量は月合計値として、同図にヒストグラムで示す。図4で上流部の濃度が比較的高かった1986年、1988年、1991年における湖底堆積物の採取日前1ヶ月間の日降雨強度を詳細に見ると、1986年は198 mm/日、1988年は93 mm/日、1991年は、6日間の間に40 mm/日と40.5 mm/日合計85.5 mmの降雨があった。しかし、上流部の ^{137}Cs 濃度が高くなかった1987年は17 mm/日、1992年は32 mm/日と少なかった。ただし、1989年は採取日の10日前に133.5

図5 採取地点別湖沼湖底堆積物中の ^{137}Cs 濃度の推移

mm/日の強い降雨があった。1989年を除き、上流部の ^{137}Cs 濃度が高かった年にはいずれもきわめて強い降雨があったことから考え、上流部に ^{137}Cs を供給する主要な因子は、やはり降雨であることが示唆された。1989年については、各地点ともに ^{137}Cs 濃度が、前年の1988年に比べ低下している。133.5mm/日の降雨前15日間は最高でも4.5mm/日の降雨しか降っていない。つまり、25日間ほとんど雨が降らない状態において、1日のみ強い降雨があった。そこで、133.5mm/日の降雨は、流域から上流部への ^{137}Cs の流入量の増加より湖沼からの排出量の増加に寄与したことが考えられる。この理由としては、単独の強い降雨では、降雨の降り出しに伴い流域からの ^{137}Cs の流入量が増加するが、流入量は降雨が続いても飽和して増えない。しかし、降雨量は増加を続けるため、湖沼に流入する水量および流量率は増加し、堆積物中 ^{137}Cs の排出量は増加を続けたと考えられる。

3.4 湖沼内における湖底堆積物中 ^{137}Cs の移行

次に、湖底堆積物中 ^{137}Cs の移行に及ぼす降雨の影響をさらに確認するため、流入河川部である湖沼大橋地点、流出部である下流部(B)および大貫橋地点における湖底堆積物中 ^{137}Cs 濃度変動について検討する。1991年は、9月に397mm/月、10月に507.5mm/月ときわめて多量の降雨があった。日降雨強度は最高191mm/日であり、100mm/日を超える降雨が3回、20~60mm/日の強い雨が連日降り続いた。1991年の湖底堆積物の採取は8月に行っており、これら降雨の前である。図5から湖沼大橋地点、下流部(B)および大貫橋地点の湖底堆積物中 ^{137}Cs 濃度を1991年と1992年の値で比較すると、湖沼大橋地点は増加し、下流部(B)および大貫橋地点では減少している。そこで、湖沼大橋地点では、降雨とともに流域からの ^{137}Cs の流入量が増加したが、下流部や大貫橋地点付近では、湖沼からの流出水量増加に伴い湖底堆積物の再浮遊等により ^{137}Cs の排出が活発となり、 ^{137}Cs 濃度が低下したのではないかと考えられる。しかし、湖沼中央部の ^{137}Cs 濃度レベルは、図6に示すが同時期の流域の陸上土壌の濃度にほぼ等しく、変動も緩慢で長期的に減少傾向であった。以上のことから、強い降雨により流域からの ^{137}Cs の流入量は増加するが、同時に排出量も増加するため、結果として、湖沼中央部への蓄積作用は小さいことが示唆された。次に、湖底堆積物からの排出量に関係する因子として、浮遊固形物の分布

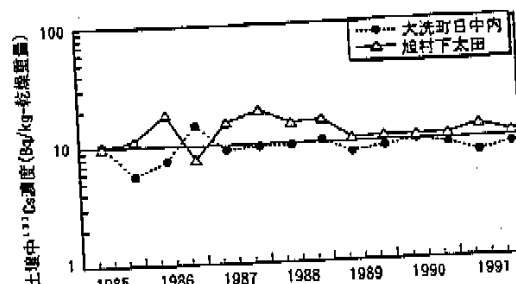


図6 湖沼流域土壌中 ^{137}Cs 濃度の推移

について調査した。8 μm のミリボアろ紙でろ過した浮遊固形物質の濃度および流速分布の測定例を図7に示すが、中央部の底層水で特に浮遊固形物質の濃度が高い。また、表層水では、上流部から下流部にかけて浮遊固形物質濃度が上昇している。なお、流向は上流部から下流部に向っており、流速は、中央部では表層、底層の差がなく、ほぼ10cm/sであった。これらのことから中央部の湖底で再浮遊した固形物質が一部は再沈着するものの下流に流されながら上下混合し、表層水の浮遊固形物質濃度を上昇させたことが示唆された。湖沼の排出作用が活発な主要な理由としては、潮汐に伴う流動や地理的状況など種々考えられるが、湖水の流動に伴う湖底堆積物の再浮遊が活発であることも一因であると推察された。

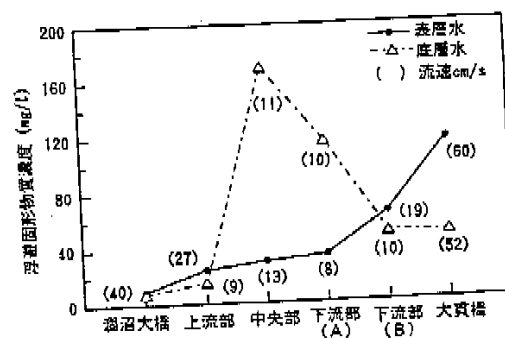


図7 湖沼における浮遊固形物質濃度分布測定結果 (1993年8月4日)

4. おわりに

湖沼における湖底堆積物中 ^{137}Cs の濃度の推移を測定し、 ^{137}Cs の移行挙動を調査した。その結果、以下の知見を得た。

- ① 湖沼湖底堆積物中の ^{137}Cs は、主に流域

から降雨に伴い主要な流入河川である澗沼川を經由して澗沼上流部に供給される。

- ② 澗沼中央部の湖底堆積物中 ^{137}Cs 濃度は、流域の陸上土壌の濃度にはほぼ等しく、流域から澗沼への流入と、澗沼からの排出がほぼバランスしており、 ^{137}Cs の湖底への蓄積作用は小さい。

参考文献

- 1) 武石稔, 井上尚子, 他: "澗沼系におけるフォールアウト核種の挙動に関する調査 (I)", 日本保健物理学会第27回研究発表会要旨集, 21, (1992).
- 2) 武石稔, 中島尚子, 他: "澗沼系におけるフォールアウト核種の挙動に関する調査 (II)", 日本保健物理学会第28回研究発表会要旨集, 20, (1993).
- 3) 武石稔, 佐藤親子, 他: "湖底堆積物吸着放射性核種の再浮遊に係る研究", 日本保健物理学会第29回研究発表会要旨集, 19, (1994).
- 4) 武石稔, 藤原邦彦: "澗沼系におけるフォールアウト核種の動的移行モデルに関する研究", 日本保健物理学会第30回研究発表会要旨集, 92, (1995).
- 5) 武石稔, 川村将, 他: "澗沼におけるフォールアウト核種の移行挙動に関する研究 (I)", 保健物理, 28, 283, (1993).
- 6) 環境庁編: "日本の湖沼環境-第3回自然環境保全基礎調査報告書-", 大蔵省印刷局, (1989).
- 7) 飛田和則, 渡辺均, 他: "動力炉・核燃料開発事業団東海事業所標準分析作業法-周辺環境管理編-", PNC TN 8530 94-009, (1994).
- 8) 五十嵐孝行, 進藤勝利, 他: "動燃大洗工学センターにおけるソ連チェルノブイル原子力発電所事故に伴う環境放射能特別調査結果", PNC TN 9410 86-117, (1986).
- 9) 木下睦, 他: "ソ連チェルノブイル原子力発電所事故に伴う特別環境放射能調査", PNC TN 8420 86-10, (1986).