

河川整備基金助成事業

「水害適応社会の共創に向けた輪中湿地帯の 冠水履歴に関する研究」

助成番号：2021-5211-028

東海国立大学機構名古屋大学減災連携研究センター

副センター長／特任教授 田代 喬

2021-2022 年度

- ・ 助成事業者紹介

田代 喬

現職：東海国立大学機構名古屋大学 減災連携研究センター
副センター長／特任教授，博士（工学）

主な著書：身近な水の環境科学 第2版（朝倉書店、2022年）（共編著）
水理公式集 2018年版（土木学会、2019年）（分担執筆）
教育現場の防災読本（京都大学学術出版会、2018年）（分担執筆）
Towards the Implementation of the New Urban Agenda – Contributions
from Japan and Germany to Make Cities More Environmentally Sustainable.
Müller, B., and Shimizu H. (eds.), Springer, 2017. 11.（分担執筆）
日本土木史 平成3年～平成22年 –1991～2010–
（土木学会、2017年）（分担執筆）

- ・ 共同研究者

陀安 一郎

現職：人間文化研究機構総合地球環境学研究所 研究基盤国際センター
副所長／センター長／教授，博士（理学）

主な著書：同位体環境学がえがく世界 2023年版
（総合地球環境学研究所、2023年）（共編著）
環境問題を解く：ひらかれた協働研究のすすめ
（かもがわ出版、2021年）（分担執筆）
流域ガバナンス：地域の「しあわせ」と流域の「健全性」
（京都大学学術出版会、2020年）（分担執筆）
Lake Biwa: Interactions between Nature and People (2nd Edition).
Kawanabe, H. et al. (eds.), Springer, 2020. 8.（分担執筆）

1. はじめに

大都市域が立地する氾濫平野は、集中豪雨の発生による洪水、台風襲来による高潮、さらには、海洋型地震などが引き起こす津波など、多くの大規模浸水によって形成されてきた。したがって、氾濫平野の堆積物には、過去から現在にかけて生じた各種氾濫の履歴が含まれているが、その土地を利用してきた人々の改変行為によっても上書きされている¹⁾。自然堤防・後背湿地帯からなる氾濫平野は、その上流側は扇状地、下流側は三角州・干拓地に接続するが、近年の圃場整備や宅地開発などによってその景観は大きく変貌させられてきた¹⁾。特に近世以降は、大規模な土地改変が行われ、新田開発の進行とともに排水用に新規水路が開削されるのに伴い、池沼や湿田といった水域が水路を介して河川と接続する水系ネットワークが卓越した時期があった一方で、その後の近代では、生産性・利便性を優先した水利システムの導入により、水域の分断・集約に伴って陸域の乾燥化が進んだ。この結果、かつて水害が常襲的であった当該地域では、水害と治水による相克・調和の経験知が失われてきている。

本研究は、かつて水害が常襲的であった輪中湿地帯を対象に、自然地形、近代以降の土地利用の変化と冠水履歴に着目しながら、氾濫を繰り返してきた河川が周辺の集落や水域の変遷に及ぼしてきた影響を記述しようとするものである。かつて頻繁に冠水した輪中湿地帯に刻み込まれた環境変化（大規模浸水を伴う低頻度・高強度な氾濫や土地改良事業による圃場整備、水系ネットワークの変化など）に対する理解をもとに、近世以降に地域社会が培ってきた氾濫との相克と調和の歴史を踏まえ、流域治水による水害適応社会の共創に資する知見を得るものである。その成果は、沿川地域の受容すべき冠水状況を段階的に提示するなど、町・里などの配置に示唆を与えながら地域社会にガバナンスを再構築する材料を提供するとともに、流下能力に依拠し過ぎない川づくりを促すことにより、流域治水の面から郷土のデザインに資することが期待される。

濃尾平野の基盤には濃尾傾動地塊運動に伴って生じた東高西低の沈降盆地があり、西縁の養老—伊勢湾断層によって養老山地を分化させている²⁾⁴⁾。木曾・長良・揖斐の木曾三川が運搬・堆積する土砂が広く氾濫平野を形成してきた一方で、西縁地域には急峻な養老山地東麓に小規模な土石流扇状地が多数分布し、豊富な地下水を伴う特異的な堆積環境を呈する³⁾⁴⁾。揖斐川の右支川である津屋川は、「養老の滝」（岐阜県養老町）を水源に養老山地東麓の扇状地群の末端を縫うように流れる⁵⁾。現在の幹線流路は、隣り合う集落の輪中堤防を接続して整備された左岸（東）の連続堤防とともに1656年に人為的に整備された⁶⁾。その結果、かつて多数の自噴帯が見られた扇端部を流れることとなり⁷⁾、湧出量が大幅に減少したとされる現在も尚、”湧水河川”の特性を留めている⁸⁾。津屋川周辺地域では、養老山地からの山水や揖斐川からの逆流による水害が常襲的であったため、治水・用水・排水や砂防を目的とする整備・改修が行われてきた⁵⁾⁶⁾⁹⁾。以上のような背景を受け、当該地域における長期的な堆積過程は、地理学、地形学分野における大命題であり続け¹⁾⁴⁾、最近では、地震に伴う崩壊や土石流などの大規模地盤変状についても、ボーリング試料を用いて分析されている¹⁰⁾¹¹⁾。

近世以降の堆積環境については、水底堆積物を対象に古陸水学分野で確立されてきた¹²⁾¹⁴⁾。しかしながら、これまでの分析対象は、湖沼や内湾などの閉鎖性水域にほとんど限定されていて、

河川環境に適用した事例は少ない。その要因は、主に浸食作用を含んだ過程を表現できないところにあるが¹²⁾、河川水系には半止水性を呈する水域景観も含まれていることも事実としてある。以上に鑑み、近代以降の濃尾平野西縁地域における堆積環境に着目し、存続する水域の水底堆積物を分析することにより、洪水氾濫や河川／砂防整備、土地改変などの人為的影響を明らかにすることを目的とする。

2. 材料・方法

2.1 調査地

対象河川は、濃尾平野西端に位置し岐阜県養老町・海津市を流れ揖斐川に注ぐ木曾川水系津屋川（流域面積 71.2 km²，幹線流路延長 12.6 km）である⁵⁾。津屋川は「養老の滝」に源を発し，急峻で脆い養老山地に沿って流れており，その過程において周辺の河間（泉）との接続が見られるなど，湧水が多く流入する。右岸（西）側には堤防が無く，養老山地の崖錐地形に起因する複数の小規模扇状地の扇端部と近接する一方，左岸（東）側には堤防が築かれ，かつての輪中地帯であった低平地と隔離されている。この堤防は，かつて左岸地域に成立した複数の集落を囲う輪中堤防を接続することにより，江戸時代初期（1656年）に整備されたもので，現在の川筋も人為的影響を受けたものとなっている^{6),15)}。

年代の異なる旧版地図（国土地理院，1891～2015年測量）を参照し，津屋川本川に接続し過去百年以上にわたって存続する水域を抽出し，揖斐川合流点から 8.3 km 上流の池状水域を調査地として選定した。津屋川の本川流路，流域と調査地の位置関係を図-1 に，超音波流向流速計（SonTek RiverSurveyor M9，Xylem 社）の計測結果から作成した，調査地の水深分布（ただし，水面からの深さで表示）を図-2 に示す（2019年7月9日時点）。

2.2 水底堆積物の分析

調査地における水底堆積物の採取と分析については，占部編「湖沼近過去調査法」¹²⁾に掲載の堆積物サンプリング方



図-1 津屋川の本川流路，流域と調査地
(Google Earth の元画像に加筆して作成)

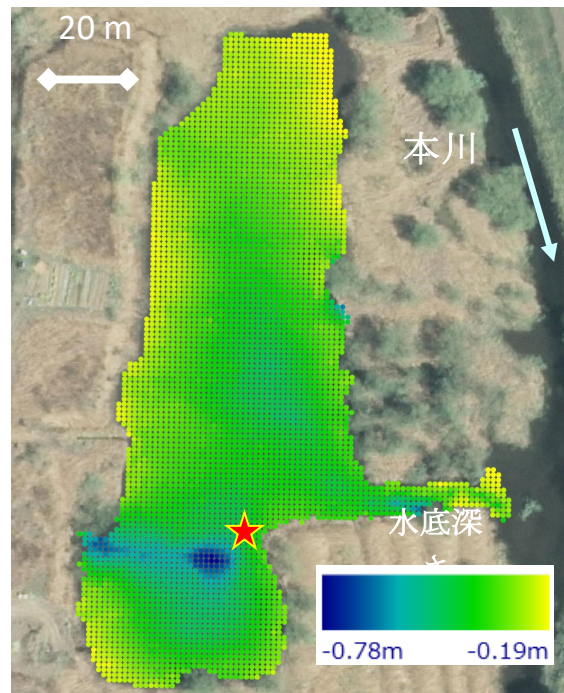


図-2 調査地の水深分布と堆積物採取地点 (★)
(背景：GEOSPACE 航空写真 2500，2011年4月撮影)

法・処理方法¹⁶⁾、ならびに、年代決定法¹⁷⁾にしたがって行った。標準的な近過去調査法である鉛-210年代決定法（以下、 ^{210}Pb 法）は、放射性核種である ^{210}Pb の半減期（22.3年）に基づいて行われる。大気中の ^{210}Pb は、地表の岩石や土壌中に含まれるウラン系列のラジウム-226（ ^{226}Ra ）の放射壊変によって生じた気体のラドン-222（ ^{222}Rn ）が大気中に拡散した後、いくつかの放射壊変（ $^{222}\text{Rn} \rightarrow ^{218}\text{Po} \rightarrow ^{214}\text{Pb} \rightarrow ^{214}\text{Bi} \rightarrow ^{214}\text{Po} \rightarrow ^{210}\text{Pb}$ など）を経て生じる。 ^{226}Ra 以外の各放射性元素の半減期は、 ^{210}Pb に比べていずれも十分に短いため、理想的には堆積物表層の半分の ^{210}Pb 比放射能の深度に当たる層が22.3年前ということになる。ただし、堆積物中にも ^{226}Ra 起源の ^{210}Pb （supported ^{210}Pb ）が全 ^{210}Pb 比放射能に含まれるため、堆積物中に含まれる大気から供給された過剰分（過剰 ^{210}Pb （excess ^{210}Pb ））だけを求めるには、supported ^{210}Pb を差し引く必要がある。堆積物中の ^{226}Ra 由来のsupported ^{210}Pb は、放射平衡状態では同じウラン系列の ^{214}Pb と同じ比放射能をもつことから、全 ^{210}Pb 比放射能から ^{214}Pb 比放射能を差し引くことにより過剰 ^{210}Pb 比放射能を推定できる。

^{210}Pb 法は、1960～70年代に古陸水学の分野でその有効性が示されて以降¹⁸⁻¹⁹⁾、多くの研究が追随し信頼性が確立されてきた。扱う時間スケールは100年レベルであり、1～10年程度の精度で堆積年代が決定できるが、大気圏や水圏における挙動や堆積過程に多くの仮定を含むため、セシウム-137（ ^{137}Cs ）法など他の手法と併用する必要がある。 ^{137}Cs は、堆積物中の比放射能のピークがタイムマーカーとして利用されている。 ^{137}Cs 法では、1963年には核実験由来の ^{137}Cs 降下量が世界各地で最大となったため、当時に堆積した水底堆積物においても ^{137}Cs 比放射能が高くなっていることや、地域によっては、チェルノブイリ（1986年）や福島（2011年）など原子力発電所の事故による影響が堆積物中の ^{137}Cs 比放射能の数値に反映されていることを目安に、堆積年代が決定可能になる。本研究では上記に加え、2002年にピークの観測が報告されている黄砂による ^{137}Cs の大気経路輸送も考慮した²⁰⁾。

a) 堆積物柱状試料の採取、処理と分析

調査地内の1地点において（図-2）、2020年1月17日に柱状採泥器（佐竹式コアサンプラー、離合社）により50 cm長（5.4 cm径）の底泥コアを採取した。現地から持ち帰った柱状試料は、深度に応じた分析を行うため、一定層厚（ここでは14 mm厚）に切り分け、湿潤密度を計測後、24時間105°Cで炉乾燥して乾燥状態での密度（以下、乾燥かさ密度）を計測した。

乾燥させた各深度の検体は、メノウ乳鉢ですり潰した後、約1 gの粉末試料をポリスチレン製のバイアル瓶内に一定高さ（20 mm厚）で最密充填した。検体（堆積物粒子）から放出される ^{222}Rn と、その後の壊変で生じる ^{214}Pb 、 ^{210}Pb との間で放射平衡に達するまで、バイアル瓶内に約1カ月間封入した後、 γ 線スペクトロメーター（SEIKO EG&G社、MCA7700）によって1ヶ月間封入された検体を分析することにより、全 ^{210}Pb 、 ^{214}Pb と ^{137}Cs の各比放射能[Bq/g]を定量化した。なお、この γ 線の測定には1検体当たり3日間程度を要するため、放射平衡を待つ1ヶ月間と合わせて、試料の処理・分析には長時間を要することになる。

b) 堆積年代の推定

過剰 ^{210}Pb 比放射能 C と時間 t （試料採取時から t 年前）の間には、次式が成り立つ。

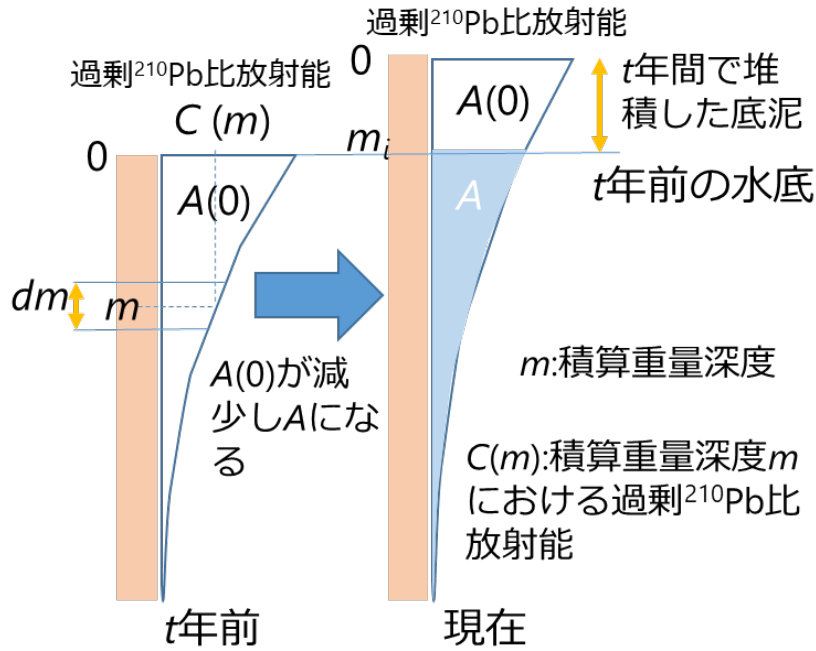


図-3 CRS モデルで想定する堆積物柱状試料中の過剰 ^{210}Pb 比放射能分布の時間変化に関する概念図 (加¹⁷⁾を改変)

$$C = C(0)e^{-\lambda t} \quad (1)$$

ここで、 λ : 壊変定数 (0.0314 /yr) であり、 $C(0)$ は $t=0$, すなわち、堆積物表層の過剰 ^{210}Pb 比放射能である。本研究では堆積年代の推定手法として、CIC (Constant Initial Concentration) モデルと CRS (Constant Rate of Supply) モデルを適用する。

CIC モデルは $C(0)$ が常に一定で、その後は式(1)によって時間的に減衰することを仮定した年代モデルである。すなわち、(堆積物の供給量である) 重量堆積速度 r [g/cm²/yr]が一定の場合、堆積年代 t は積算重量深度 m [g/cm²]に比例して $t = m / r$ が成り立つことから、次式が得られる。

$$C(m) = C(0)e^{-(\lambda/r)t} \quad (2)$$

ここで $-\lambda / r$ は、 m と対数表示した C との関係から、最小二乗法で得られる近似直線の傾きで与えられ、 $\lambda = 0.0314$ [yr]であるから、 r や t が求められる。

一方、堆積速度が大きく変わり、堆積物表層の過剰 ^{210}Pb 比放射能が変動する場合には、CRS モデルが適している。CRS モデルでは、(大気由来の) 過剰 ^{210}Pb 比放射能の供給量を一定と仮定するため、単位面積当たりの過剰 ^{210}Pb 比放射能の全鉛直現存量は一定とみなすが、堆積速度一定という条件は必要としない。図-3 には、CRS モデルにおける堆積物柱状試料内の過剰 ^{210}Pb の比放射能分布を示す。積算重量深度 m における過剰 ^{210}Pb の鉛直現存量 A [Bq/cm²]は、式(1)と同様に次式で表される。

$$A = A(0)e^{-\lambda t} \quad (3)$$

ここで、 A と $A(0)$ は、 m に対する $C(m)$ の積分で計算され、 m_i が t 年前に水底であった m であるとする、それぞれ以下のように求められる。

$$A = \int_{m_i}^{\infty} C(m) dm \quad (4)$$

$$A(0) = \int_0^{\infty} C(m) dm \quad (5)$$

この際、式(3)から積算重量深度 m_i の年代 t は、次式で求められることになる。

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{A(0)}{A}\right) \quad (6)$$

ところで、CRS モデルで年代推定する際には、離散的に分布する $C(m)$ の使用が前提であり、採取できていない部分の過剰 ^{210}Pb 比放射能まで推定しなくてはならない。ここでは、Appleby²¹⁾ にしたがって、最深部 (N) 近傍の検体に対する回帰直線から重量堆積速度 r_b を求め、最深部の過剰 ^{210}Pb 比放射能 C_N を用いた次式により、より深部の鉛直現存量 A_b を求めた。

$$A_b = \frac{1}{\lambda} r_b C_N \quad (7)$$

また、Appleby は年代や堆積速度の標準偏差に関する推定式も提案していることから、これを採用した。

2.3 文献・資料調査

本研究では、堆積速度を推定した期間における水害、河川・砂防施設の改修履歴を抽出するため、既に引用したものも含む各種文献（養老町教育委員会⁶⁾；木村・安江⁹⁾；南濃町¹⁵⁾；養老町²²⁾；岐阜県²³⁾；建設省中部地方整備局²⁴⁾）から、近代以降の津屋川における水害／改修履歴を抽出・整理した。また、上記でカバーできない範囲は、水害統計調査²⁵⁾を参照して補完を試みた。具体的には、データ項目が共通する 1973 年以降の記録を対象に、調査地点の上流域で生じた河川・砂防に関する公共土木施設の被害額、ならびに、養老町と南濃町（現海津市）の津屋川周辺で生じた一般資産被害から水害区域面積を抽出し、各地点における堆積速度との対比を試みた。

3. 結果・考察

3.1 水底堆積物の ^{210}Pb , ^{214}Pb , ^{137}Cs の比放射能分布

津屋川に接続する池状水域で採取した水底堆積物について、 γ 線測定を行った結果を図-4に示す。堆積物中の積算重量深度が大きくなるほど、22.3年の半減期を有する ^{210}Pb 比放射能が減少している一方で、(堆積物由来で) ^{226}Ra 起源の ^{210}Pb (supported ^{210}Pb)と同じ比放射能を呈する ^{214}Pb 比放射能は深度による大きな変化がないことが確認された。さらに、核実験や原子力発電所の事故など、人為的要因により変化する ^{137}Cs 比放射能については、複数の明瞭なピークを有することが確認された。これらの結果は、 ^{210}Pb 法による堆積年代推定が可能にするものであり、ここでの推定結果は、 ^{137}Cs 法による特定深度の堆積年代を通じて検証できる可能性が示唆された。

3.2 ^{210}Pb 法で推定された堆積年代の検証

図-4で示した ^{210}Pb , ^{214}Pb の比放射能をもとに、 ^{210}Pb 法のCIC・CRSモデルを適用して堆積年代を推定した。その結果と ^{137}Cs の比放射能の深度分布を図-5に示す。

^{210}Pb 法による推定結果に関しては、CICモデルでは0.47 cm/yr, CRSモデルでは0.59 cm/yrといった堆積速度が得られた。これらは、過去に本手法の適用事例の多い湖沼のそれ(琵琶湖¹⁴⁾で0.1-0.3 cm/yr)に比べると極めて大きく、洪水による頻繁な土砂流入の影響が示唆された。なお、CICモデルによる推定では、新しい年代の浅層で傾きが大きく(見かけの堆積速度が速く)、古い年代の深層で傾きが小さく(見かけの堆積速度が遅く)なった。本モデルは堆積速度一様を仮定していることから、この見かけの堆積速度の変化は深度方向の堆積物の密度変異(浅層で粗、深層で密に堆積)によるものである。一方、CRSモデルによる推定結果では、これと異なる傾向が見受けられ、1960~80年代にかけて顕著に傾きが大きくなったことから、洪水などにより土砂が大量に流入するなどして、堆積速度が大きくなった可能性が示唆された。

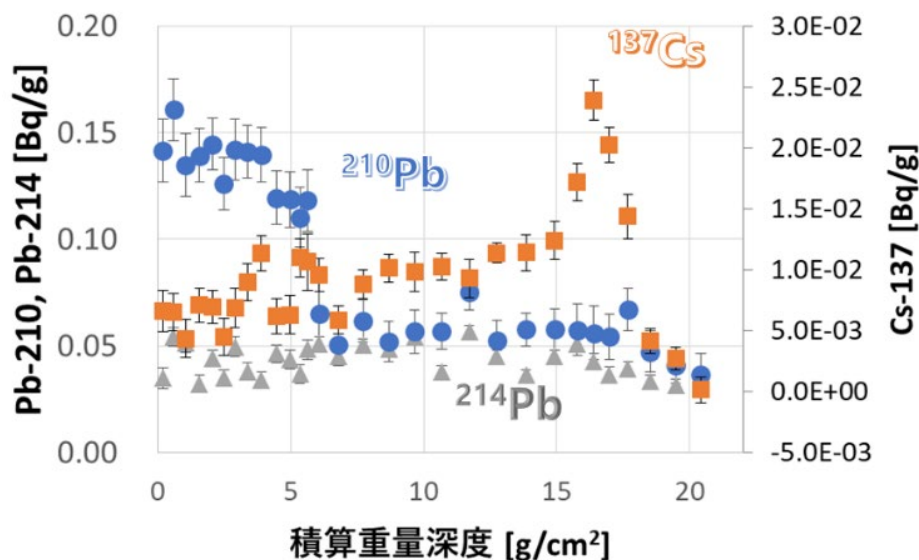


図-4 津屋川に接続する池状水域の水底堆積物における ^{210}Pb , ^{214}Pb , ^{137}Cs 比放射能の深度分布

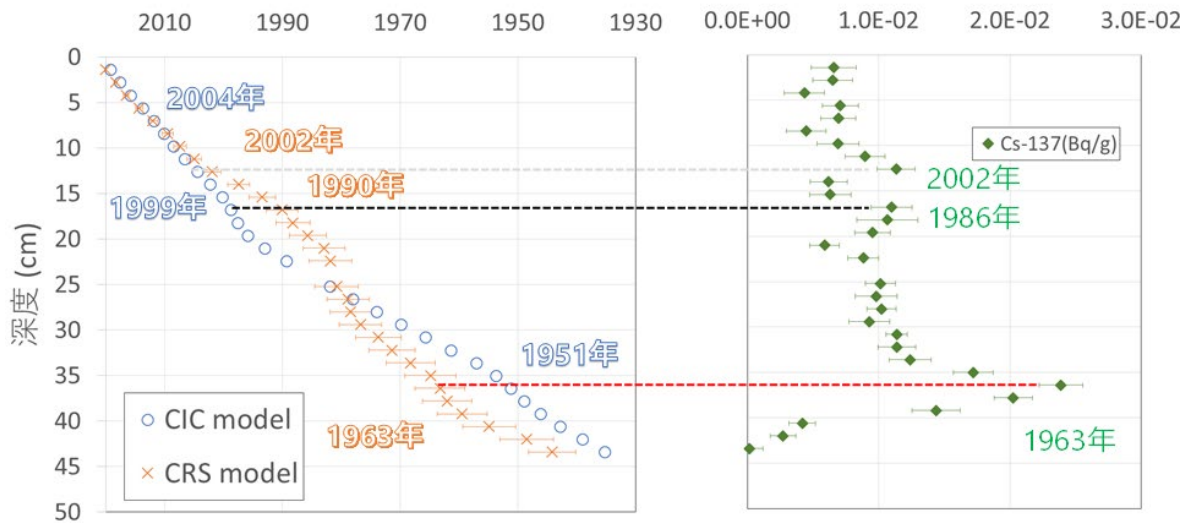


図-5 ²¹⁰Pb 法により推定された堆積年代の深度分布（左）と ¹³⁷Cs 比放射能の深度分布（右）：
¹³⁷Cs 法による極値を用いた ²¹⁰Pb 法による堆積年代の検証

¹³⁷Csの比放射能の極大値については、既往研究²⁰⁾を参照すると、深度36.4cm地点で最大値を示す層は、核実験による大気降下が多かった1963年に堆積したもの、深度16.8 cm地点のピークは、チェルノブイリ原発の事故によるもの（1986年）、深度12.6 cmのピークは、黄砂飛来によるもの（2002年）と考えられる。これらを踏まえて照合した結果を図中に示すが、CICモデルの推定結果（青字でそれぞれ、1951、1999、2004年）に対し、CRSモデルのそれ（橙字でそれぞれ、1963、1990、2002年）の方が、¹³⁷Cs法による推定結果と類似しており、堆積速度の経年変化を適切に評価できているものと考えられた。

3.3 堆積速度の経年変化、および、水害履歴との関係

図-6には、調査地の水底堆積物について CRS モデルにより推定された重量堆積速度の経年変化を示す。本モデルの結果として得られた 0.49 g/cm²/yr の平均堆積速度は、日本のほとんどの湖での観測値¹³⁻¹⁴⁾よりも大きかった。

堆積速度の経年変化を見ると、1979、1981、1983、1974、1965、1982、1986年における堆積速度は平均値を上回り、2017年のそれは前後の年より大きくなった。このうち、1965年、1974年、2017年に得られた3つの極大値は、過去の水害履歴とそれぞれ対応しており、1965年は9月の台風第23号による農作物被害¹⁵⁾、1974年は豪雨に伴う養老山地からの土石流出被害²⁴⁾、そして、2017年は津屋川での観測水位により確認された氾濫⁸⁾に起因するものと考えられた。以上の結果から、本研究で推定した堆積速度は、1970年代までの地史に記録された水害の一部を反映していることが確認された。しかしながら、被害の多寡と堆積速度との対応は明確とは言えず、当該地域で行政機関から発行された文献類には、1980年代以降の水害記録が見当たらなかった。一方、これらの文献に対する補足的資料と位置付けた水害統計調査²⁵⁾には、より詳細な被害記録が含まれる。そこで以下では、津屋川の水系図を参照し⁵⁾、調査地の堆積速度に影響を及ぼしうる、同一水系上流地点の水害履歴を抽出して考察を進めた。

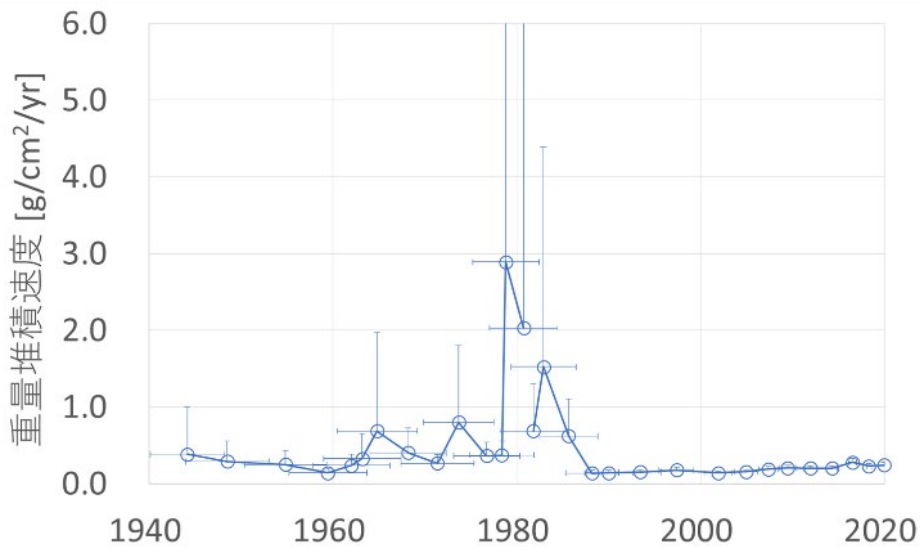


図-6 CRSモデルにより推定された重量堆積速度の経年変化

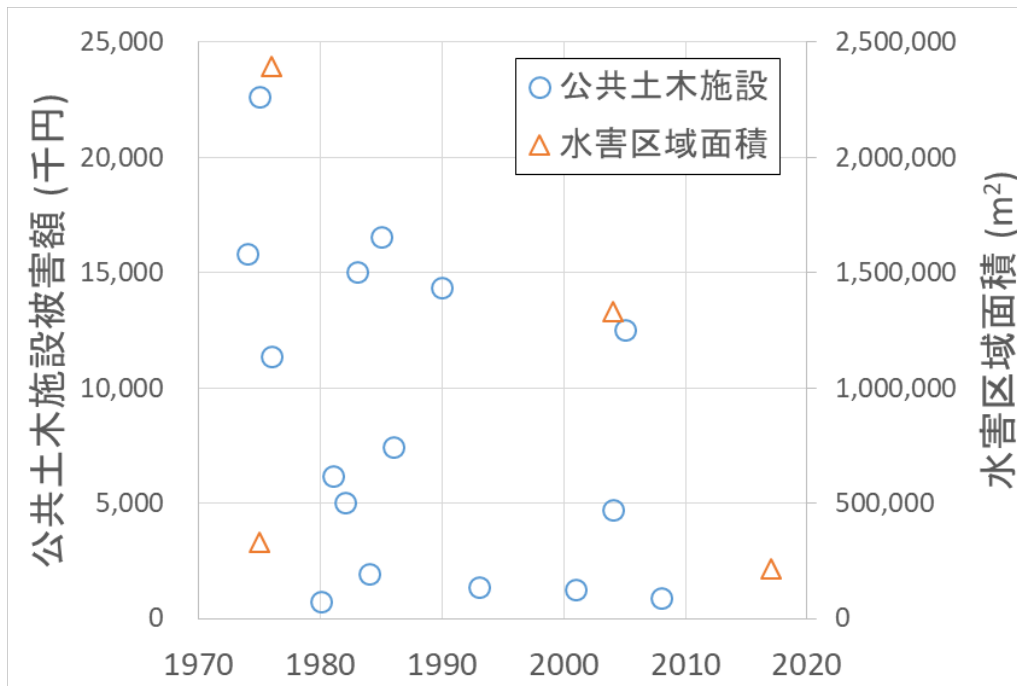


図-7 調査地の上流域で生じた水害による公共土木施設被害額と水害区域面積の経年変化
(データ出典：水害統計調査²⁵⁾)

図-7には、昭和48(1973)年から令和元(2019)年版の水害統計調査²⁵⁾から抽出した、河川・砂防・道路に関する公共土木施設被害額(平成23年の貨幣価値に換算)と水害区域面積の経年変化を示す。やはり、被害の多寡と堆積速度の間に端的な対応関係は見出せなかったが、1974、1975、1983、1985年は公共土木施設被害、1976年には水害区域面積が大きくなるなど、1970~80年代にかけて水害による被害が大きくなっていった。なお、近代以降に対策が進んだ、土砂災害制御のための砂防堰堤等の施設整備は、調査地より上流の津屋川に注ぐ支川の扇状地において、1883年から始まり1960年代までにはほぼ現況の配置に

達している⁹⁾。前記した当該地域の公共土木施設被害が、その期間を通じて78%が砂防施設に集中した状況を踏まえるに、1970～80年代の被害は新たな施設の整備に起因したものと考えられる。このことは、同期間に前後して土石流等による施設の被害が生じ、その復旧工事が行われたことを裏付けるものである。図に示された1970～80年代に堆積速度が大きくなった要因は、砂防施設に被害を及ぼした土砂災害とそれに伴う復旧工事であった可能性が示唆される。

以上を踏まえると、1980年前後に最大値を示した津屋川の堆積速度は、養老山麓の扇状地に砂防施設が整備された後に生じた土砂災害とその後に行われた施設の復旧工事により発生した細粒土砂が、支川を通じて運搬され、本川に堆積した結果によるものと考えられる。ただし、本研究で扱った堆積速度は、津屋川に連なる池の一方所の水底における堆積コアに過ぎず、上記の論理展開はやや慎重さを欠いた手続きである点是否定できない。今後は、(周辺地域を含めて)調査地点数を増強することによって堆積速度に関する空間的変異についても検討を進め、河川の水位や雨量などの定量的な水文情報も含めながら、多角的な分析を進めることが必要と考えられる。

4. おわりに

本研究では、揖斐川に注ぐ津屋川に接続する池状の水域を対象として、近過去の堆積環境を分析した。鉛-210 年代測定法を適用し、過去数十年間の堆積速度を推定した結果を、Cs-137 による年代測定値と照合したところ、堆積速度の変動を許容する CRS (Constant Rate of Supply) モデルの適用性が確認された。本モデルの結果として得られた最大 $0.49 \text{ g/cm}^2/\text{yr}$ の平均堆積速度は、日本のほとんどの湖での既往の観測結果よりも大きかった。さらに、堆積速度の経年変化を過去の水害記録と対比したところ、上流域の水害やその後の復旧工事に伴う土砂流出が反映されたものであることが確認された。以上の結果から、これまで主に止水域で適用されてきた鉛-210 法 (CRS モデル) は河床堆積物の動態分析にも使用でき、水系の土砂管理に資する知見を提供し得る可能性が示唆された。

本研究において推定された堆積速度は、現状は 1 地点の結果に過ぎないが、情報が得にくい過去の災害や環境の履歴を反映し得る意味で、一定の有用性を示すことができたと思われる。今後は、集水域の土地被覆の変化にも着目しながら、自然現象によるものか、人為的改変によるものか、要因を整理したうえで検討を進め、流域の土砂管理や河川管理に資するべく、多面的な分析・考察を進めていきたい。

【謝辞】

本研究は、2017-2021 年度国土交通省河川砂防技術研究開発公募・地域課題分野（河川生態）「木曾三川流域における生物群集を対象とした河川生態系の管理手法に関する研究」（代表：森誠一・岐阜協立大学教授）の一環として着手した。調査・分析の遂行に当たっては、総合地球環境学研究所の同位体環境学共同研究事業「氾濫平野に残された半閉鎖性水域の過去 100 年間に於ける堆積環境の分析」（代表：田代喬），ならびに、2021-2022 年度河川基金助成事業「水害適応社会の共創に向けた輪中湿地帯の冠水履歴に関する研究」（代表：田代喬）の支援を受けた。水害統計調査等のデータ抽出・作成は、名古屋大学減災連携研究センター技術員・水野尚出子氏に助力いただいた。ここに記して御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Oya, M.: Comparative study on the fluvial plain based on the geomorphological land classification, *Geological Review of Japan* 50(1): 1-31, 1977.
- 2) 桑原徹：濃尾盆地と傾動地塊運動，*第四紀研究* 7(4)：235-247，1968.
- 3) 海津正倫：更新世末期以降における濃尾平野の地形発達過程，*地理学評論* 52(4)：199-208，1979.
- 4) 堀和明・羽佐田紘大・石井祐次・高橋瑛人：濃尾平野の沖積層と地形，*地質学雑誌* 125(1)：73-85，2019.
- 5) 岐阜県：木曾川水系津屋川圏域河川整備計画，2001.
- 6) 養老町教育委員会：郷土の治水—養老町における水との闘い—，養老町教育委員会，1991.
- 7) 安田守：濃尾平野における自噴帯の変遷，*日本水文科学会誌* 29(2)：93-99，1999.

- 8) 田代喬・片貝武史：小規模扇状地群の扇端部を横断する河川の流況に関する現地観測，河川技術論文集 27：229-234，2021.
- 9) 木村正信・安江宮彦：養老扇状地における砂防ダム配置の特徴，岐阜大農研報 43：65-73，1981.
- 10) 須貝俊彦：養老断層の断層活動に伴う断層崖麓扇状地の形成，日本地理学会発表要旨集，2012.
- 11) 堀和明・中西利典・Hong, W.・中島礼：養老山地東麓に分布する扇状地末端付近の堆積相と放射性炭素年代，日本地理学会 2020 年春季学術大会，2020.
- 12) 占部城太郎編：湖沼近過去調査法～より良い湖沼環境と保全目標設定のために，共立出版，2014.
- 13) 金井豊・井内美郎・片山肇・斎藤文紀： ^{210}Pb , ^{137}Cs 法による長野県諏訪湖底質の堆積速度の見積もり，地質調査所月報 46：225-238，1995.
- 14) 金井豊・井内美郎：過去 100 年間における滋賀県琵琶湖の堆積速度と堆積環境，地質調査研究報告 67(3)：67-80，2016.
- 15) 南濃町：南濃町史・通史編，1983.
- 16) 加三千宣：堆積物サンプリング方法・処理方法，湖沼近過去調査法，1-15，古今書院，東京，2014.
- 17) 加三千宣：年代決定法～測定法の原理と年代決定の実際，湖沼近過去調査法，16-30，古今書院，東京，2014.
- 18) Goldberg, E.D.: Geochronology with ^{210}Pb symposium on radioactive dating, International Atomic Energy (IAEA) Symposium Proceedings, Vienna, 121-131, 1963.
- 19) Robbins, J.A.: Geochemical and geophysical applications of radioactive lead, In: Nariagu, J.O. (ed), Biogeochemistry of Lead in the Environment, 285-393, Elsevier Scientific, Amsterdam, 1978.
- 20) Fujiwara, H.: Atmospheric deposition of radioactive cesium (^{137}Cs) associated with dust events in East Asia, Bull. Natl. Inst. Agro-Environ. Sci., 85-115, 2010.
- 21) Appleby, P.G.: Chronostratigraphic techniques in recent sediments, In: Last, W.M. and Smol, J.P. (ed), Tracking Environmental Change Using Lake Sediments, 171-203, Springer, Netherlands, 2001.
- 22) 養老町：養老町の大水害，1962.
- 23) 岐阜県：昭和 34・35・36 年連年災害復興誌，1965.
- 24) 建設省中部地方整備局，木曾三川治水百年のあゆみ，1995.
- 25) 国土交通省：水害統計調査，
https://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen/suigaitoukei/index.html.