

【研究成果報告時/研究成果の概要】様式-2-ウ

Eco-DRRデジタルデータベースを利用した
水害伝統知の教育普及

一橋大学 講師 小倉拓郎

滋賀県立琵琶湖博物館 学芸員 島本多敬

琵琶湖環境科学研究センター 専門研究員 水野敏明

立命館大学 准教授 山内啓之

筑波大学 准教授 八反地 剛

前・滋賀県立琵琶湖博物館 専門員 濱口貴仁

前・滋賀県立琵琶湖博物館 専門員 片山大輔

筑波大学大学院 修士課程 木下七海

本研究は、気候変動下で頻発・激甚化する洪水・土砂災害に対し、愛知川流域に残るEco-DRR施設と水害伝統知を可視化し、自然科学と人文科学の両面から可視化・再評価するとともに、教育普及へつなげることを目的として、Eco-DRRデジタルデータベースの構築と活用を行った。河畔林に埋没して視認できなくなった滋賀県東近江市・愛知川流域にある伝統的治水施設・猿尾について、UAV-LiDAR等による高精細DTMに古地図判読・現地踏査・住民への聞き取りを統合し、従来見落とされていた複数の候補地を非破壊的に抽出・同定できる枠組みを提示した。さらに、歴史資料の分析により猿尾を含む治水施設が洪水流を制御する複合的体系として地域社会・土地利用と結びついてきた実態を整理し、数値シミュレーションによって猿尾の分流効果と主堤防への負荷低減という減災プロセスを可視化した。加えて、VR等のデジタル教材を用いた展示・講座・授業を通じて、立体感やスケール感に基づく理解を促す可能性と、運用上の課題を整理した。以上より、本研究は、Eco-DRR施設の位置・形状・機能・歴史的文脈を統合して記録・共有する実践的基盤を示し、流域治水の時代における地域の災害対応知の継承と活用に資する知識基盤を提案した。

Key Words : 猿尾, Eco-DRR, 水害伝統知, 高精細地形情報, 歴史資料

1. はじめに

湿潤変動帯に位置する日本では、豪雨に伴う洪水・土砂災害が頻発しており、気候変動に伴う災害の激甚化が懸念されている。災害から身を守るために、人々は伝統的に霞堤・水害防備林・遊水地といった、生態系を利用した災害リスク低減に資するEco-DRR施設を築いてきた¹⁾。これらは、地域住民らが災害から身を守るための伝統知の賜物であり、昨今注目されている流域治水の考え方にならったものである²⁾。しかし、都市化による改変・損失や、長

期間の放置による植生の過度な被覆などEco-DRR機能の低下に留まらず、存在や位置情報・分布そのものが忘却の彼方にある。Eco-DRR機能の低下を避けるためには、まず現存するEco-DRR施設の分布や機能を、扱いやすい形で集計・再評価する必要がある。その上で、流域に住む地域住民に、自然災害に関する基礎科学の知識および自然災害に対する地域の伝統知の両方を正しく関連づけて理解・認識しながら日常生活を営んでもらう必要がある。

そこで本研究の目的は、忘却の彼方にある愛知川流域Eco-DRRデジタルデータベースを構築し、自然

科学・人文科学の両面からEco-DRR機能を検証することである。また、地理空間情報を活用した水害伝統知の教育普及についても実施する。

2. 河畔林に埋もれた伝統的治水施設・猿尾の可視化

(1) 導入

近年の気候変動に伴う洪水の頻発化を背景に、地域に残る伝統的治水施設を再発見し、防災・教育・文化遺産の観点から再評価する重要性が高まっている。本研究が対象とする猿尾（さるお）は、河川礫を積み上げて造成された突堤状の石積堤であり、流れをそらして侵食を弱めたり、背後に土砂を堆積させたりする機能が知られる。河畔林の発達や都市化により、猿尾は現地で視認しづらくなり、住民の記憶からも薄れやすい。そこで本研究では、UAV-LiDAR等の高精細地形計測、古地図の判読、現地踏査、住民聞き取りを統合し、河畔林下に隠れた猿尾の位置・形状と、過去から現在にかけての変化を明らかにする同定手法の確立を目的とした。

(2) 対象地域

対象地域は滋賀県・愛知川河口から約15.2 km地点の河畔林で、自然体験施設・河辺いきものの森として整備されている(図-1)。愛知川は鈴鹿山脈を源流とし、流域面積223 km²、延長48 kmをもち、調査地の年平均気温は14.5℃、年降水量は1440.5 mmとされる。流域には霞堤などの伝統的治水施設がみられ、河畔林の管理団体・遊林会等により、林内の猿尾が1基伝承・保全されてきた。

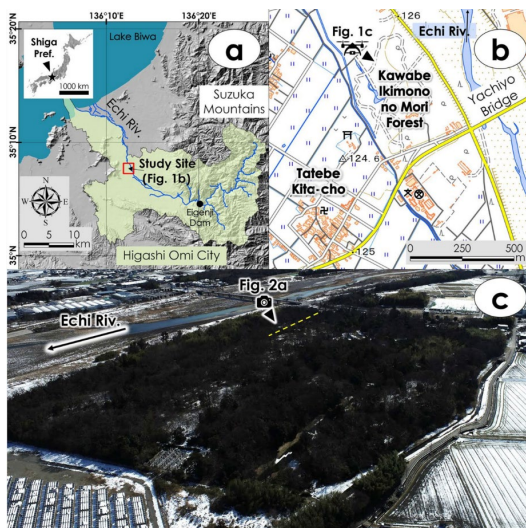


図-1 研究対象地概要

(3) 方法

まず、高精細な地形データを、UAV-LiDARを用いて取得した。河畔林の林床地形を、LiDAR (DJI Zenmuse L1) を装着したUAV (DJI Matrice 300 RTK) で計測し、地表点を抽出してDTM (Digital Terrain Model:

2 カ年研究用 (R5)

数値地形モデル) を作成した。加えて、森林伐採により地表が露出していた地点ではUAV写真測量 (Phantom 4 RTK) によるSfMでDTMを補間し、両DTMを統合した。

DTMから陰影図・傾斜量図を用いて凸状地形を判読し、傾斜変換点をもとにポリゴン化した。ポリゴンの長さ、幅、比高を計測した。

1874年作成の古地図(堤防等の土木施設の状況把握を目的とした図)を選定し、現況の道路・社寺等を基準にGIS上で位置合わせを実施した。古地図上の猿尾とDTM上の凸状地形の位置対応を検証し、可能な範囲で寸法(長さ・幅・高さ)を比較した。

2023年7月20日と9月9日に現地踏査を実施し、猿尾の特徴(台形状の断面、石積、円礫の存在など)を確認した。聞き取り調査は2024年1月19日に実施し、近隣住民(68-86歳、計5名)に、猿尾の利用・維持管理や記憶上の位置等について情報を得た。

(4) 結果・考察

DTMの判読により、調査範囲で6か所の凸状地形(Site 1-6)を抽出した(図-2)。管理者が猿尾として既知だったものはSite 1で、一方でSite 2-5は管理者に認識されていなかった。現地踏査では、Site 1・4・6で凸状地形の下に丸礫が確認され、猿尾の特徴と整合したが、Site 2・3・5では丸礫が確認されなかった。

1874年に作製された古地図上の猿尾の位置は、DTMで抽出した凸状地形の分布と対応しており、位置が同定できた。一方で寸法については、DTMによる計測値が古地図記載より高さ・長さが小さく幅が大きくなる傾向があり、洪水による侵食、植生の侵入、雨水による劣化、および人為改変の影響が示唆された。猿尾は洪水のたびに变形・補修を繰り返すことも指摘され、1874年以降の複数回の洪水が形状と住民の景観認識に影響した可能性がある。Site 3では古地図より長さ・高さが大きく、堤防道路整備など土木改変に伴う変形の可能性がある。

聞き取り調査では住民がSite 1・2・3・6に猿尾の記憶を持つ一方、踏査で典型的特徴が確認できない地点もあり、記憶に基づく復原だけでは現況地形の改変を取りこぼしうることが示された。このため、本研究は高精細DTM(現況の微地形)、古地図(約10²年スケールの位置・属性)、現地踏査(構造の確認)

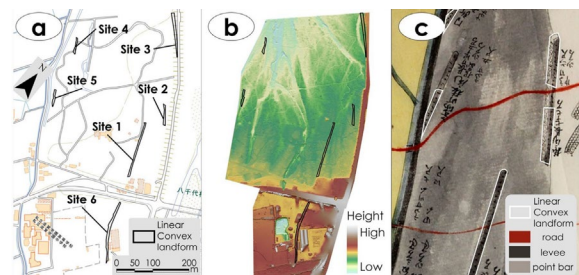


図-2 猿尾の可能性がある場所の分布
(a) 位置図, (b) DTM, (c) 古地図

＋聞き取り（生活史・機能理解）の成果を統合することで、単独手法の限界を補い、100～150年程度の記録空白を埋める枠組みとして有効であると整理している。これらの4つの手法の統合により、既知の猿尾に加え、従来見落とされていた複数の猿尾を非破壊的に同定できた。また、猿尾の分布・形状は古地図の記載と対応しつつ、洪水と人為改変に伴う変形が示唆された。

3. 歴史地理的検討

(1) 古地図の調査と分析

本プロジェクトで扱う「水害伝統知」とは、地域に独特な自然・人文条件のなかで過去から現在へと蓄積されてきた水害対応の考え方を指し、堤防・水制や河畔林といった有形の治水施設などから、土地利用の考え方や河川・洪水に対する認識など無形のものまで含まれる。それらの可視化・デジタル化および教育普及活動の前提として、歴史資料の分析や現地調査に基づき過去の実態の解明を試みた。

過去に築造された治水施設の実態について、滋賀県立公文書館が収蔵する「普請所調査絵図」と総称される村絵図群をもとに検討した。同図群は1873年（明治6）12月に滋賀県から出された布令に基づき村々で作製されたもので³⁾、地図に記載された年月日から、景観年代は1874年初め頃と考えられる。和南川との合流点から河口に至る愛知川沿岸とその地先を描いた左岸側29点・右岸側22点の村絵図について、堤防・水制などの情報を分析した。

普請所調査絵図には土木施設の名称、長さ、高さ（堤外・堤内両側の垂直高）、基底幅、天端幅、普請費用の補助の有無などが詳細に記されており、「堤石垣」「石猿尾」など、素材を推測することもできる。これらの情報を一覧に入力して個々の施設の規模を明らかにし、LiDAR測量で得られた地表の起伏と比較して、治水施設の遺構の検証に用いた。

普請所調査絵図に描かれた治水施設のうち「猿尾」については、既知の木曽川流域の猿尾と同様に、堤防または河岸から張り出す「出し」の構造をもつものが多く、段丘地帯・扇状地地帯（概ね河口から12km地点付近より上流側）では、石積のものが主である。ただし、「菱猿尾」のように堤防または護岸から三角形に川に向かって張り出す施設など、既知の猿尾と違った役割が想定されたと考えられるものが見出せた。同図からはほかにも、雁行する不連続堤、竹蛇籠などの水制が確認できた。これらの堤防・水制は、洪水流による破堤の防止、滞筋の収束、河岸の土砂堆積の誘導を意図していたことが村絵図の表現から読み取れた。

普請所調査絵図とLiDAR測量の結果を対照し、治水施設の遺構の現存状況が良好だった地区については、自治体史に収録されている地籍図（壬申地券地引絵図、滋賀県では1873～74年（明治6～7）頃作製が多い）²⁾の画像と比較し、地目・植生の状況な

2カ年研究用（R5）

どを検討した。その結果、普請所調査絵図の土地利用の表現が地籍図の情報に裏付けられること、聞き取りで判明した個人有林が散在する河畔林の土地所有のあり方が、少なくとも明治6年頃にさかのぼり得ることが明らかとなった。

普請所調査絵図より古い、江戸時代の古地図を調査すると、1815年（文化12）「愛知川筋並両側絵図」（滋賀県立図書館蔵）、1849年（嘉永2）「愛知川上ノ手御普請所并川形見取絵図」（滋賀県立琵琶湖博物館蔵）の2枚の河川絵図で、猿尾に相当する石積や河畔林の存在が確認できた。一定の規模や特徴的な形状の施設、所在地の字名が記された施設には普請所調査絵図との対応関係が明確なものもあり、19世紀初頭には現在とほぼ同じ場所に存在していたことが明らかな猿尾を複数確認することができた。

(2) 愛知川沿川地域の文書の調査と分析

自治体史を参照し、現時点で把握し得た文書によれば、愛知川に設けられた猿尾は1724（享保9）の和田村（現東近江市五個荘和田町、愛知川左岸）の例⁴⁾が初出である。また、江戸時代には河口から10km地点付近の村々で計3度にわたって愛知川堤外地の領有権・草地利用権をめぐる河原相論が起きた。このうち1777～1778年（安永6～7）の争論では左岸の村々が築造した「刎猿尾」が右岸の村々によって打ちこわされたこと、1811～1814年（文化8～11）の争論の際は幕府の京都町奉行所の裁許によって、同奉行所が認めたもの以外の堤や猿尾が撤去を命じられたことが知られている⁵⁾。また、18世紀末から19世紀前半の時期に彦根藩によって築造され、「大徳猿尾」「安民猿尾」と命名された治水施設があったことも知られている⁶⁾。

愛知川の猿尾は遅くとも18世紀前半には存在が確認できるが、猿尾その他の水制としての機能をもつ治水施設は洪水からの防御だけでなく村の地先の利用権を示すためにも利用され、また、場合によっては対岸の破堤・浸水も生じ、結果として水害をめぐる地域間紛争の原因にもなったようである（ただし、こうした例は諸地域で認められる）。今や伝統的とされるそうした治水施設は、江戸時代には生存・営農の維持を求める村や年貢収入を望む領主層にとって身近な存在であり、築造や維持管理をめぐる重要視され記録されていた。

自治体史に未収録の共有文書や家文書についても所在調査を実施し、その一部を実見した。愛知川右岸の一部の地区の共有文書からは、大正・昭和期の愛知川の水害復旧工事のなかで、蛇籠や菱牛などの設置箇所と築造に要する材料などを記載した書類を確認することができた。これらの本格的な調査と分析は今後の課題としたい。

(3) 地域住民への聞き取り

歴史的な治水施設についての認知のほか、過去の水害経験、河川改修による景観変化や河畔林利用な

どについて把握するため、東近江市川南町・五箇荘和田町・建部北町・小田苅町に居住する、60～90代の方々に聞き取りを実施した（延べ6回、10人）。

歴史的な治水施設に関しては、いずれの地域でも堤防付近に設けられた蛇籠（竹製または鉄線）が記憶されていた。五箇荘和田町在住の当時90代後半の方によれば、1947年（昭和22）の愛知川の河川工事で河原の石を集める作業に従事し、その現場では自分より年長の地元の者が竹蛇籠を編んでいたという。一方、猿尾については建部北町での伝承例を除いて、名前や存在が記憶されていなかった。同地区では、父から私有地内にある堤（猿尾）の存在を聞かされ、重要なものであるため取り壊さないよう守ってきたという話を聞くことができた。これ以外にも、別の地区で「二重堤防」（堤外にある不連続堤とみられる）、「内堤防」（集落内に存在していた二線堤）など、現在の河川堤防と異なる古い治水施設の所在に関する情報を得ることができた。

上記の治水施設の維持管理や水害発生後の復旧作業に関しては、今回お話をうかがった方々からは得ることができなかった。話し手には80代・90代の方々が含まれるが、水害発生当時の年齢・職業や水防活動への関与の程度に規定され、治水施設の存在は親などから聞いていても、維持管理作業に従事した経験がなかった可能性がある。

河畔林については、電気・ガスが普及していく昭和30年代にかけて薪炭利用のための採取が減っていった。河岸の土地の売却と河畔林の伐採・消失は、このエネルギー利用の転換以後に生じた。聞き取りをおこなった地域の河畔林内は、集落やその周辺の耕地に比べて土地が低く、愛知川の伏流水由来の水路があって、洪水の際にはあふれた水が滞留しやがて流れ出ていく場所であったという。また、洪水後の滞水地や水路ではアユなどの魚がいたといい、河畔林や水路・堤外地には、森林資源に限らない恵みの場としての側面があったことがうかがえる。

(4) 実地踏査

測量で得られた土地の起伏が歴史的な治水施設によるものかを確認し、水害対応と関連する地割や土地利用を把握するため、随時実地踏査を実施した。

実地踏査に先立って、地理院地図および旧版地形図を用いて、愛知川沿いの19世紀末から現在に至る堤防と土地利用の変遷を検討した。愛知川の場合、近現代の河川改修では兩岸とも河道側に進出するように連続堤が築造され、かつて堤外にあった猿尾などが立地する河畔林は、大半が現在は堤内に取り込まれた。そのため、工場用地や宅地に開発された箇所を除いて、図上および現地でも普請所調査絵図との対照を比較的容易におこなうことができた。

測量結果と古地図の画像を参照しながら踏査したところ、左岸は東近江市今町・神郷町・五箇荘和田町・建部北町で、右岸は彦根市本庄町・下稲葉町、東近江市小田苅町で、人為的な台形状の土盛・石積

が発見できた。これらはコンクリート製の基礎や擁壁、モルタルなどの現代工法をとまわず、位置関係や長軸の向きを考慮すれば普請所調査絵図の記載に概ね対応する古い堤防・水制と推定される。特に建部北町（愛知川左岸）については、測量で得られた土地の高まりと普請所調査絵図に記された猿尾の位置・規模を精査した。その結果、現存する石積は同図の表現と整合的で、古地図が示す1874年の状況以後、洪水等による埋没や崩壊の影響を受けながら、河辺いきものの森の敷地を含む地区内に現存していると推定された⁷⁾。

上記の古い土盛・石積は集落・農地とは離れた河岸にあり、付近に畑地がある地区も例外的にあるものの、基本的には洪水流に対するバッファゾーンとしての立地にある。周辺は現在手入れされていない河畔林が大半で、聞き取りで知り得るかつてのアカマツ林は植生が遷移し、竹林もほとんどが管理されず広がっていた。河畔林が暮らしに利用されなくなり、治水施設の存在もまた忘却されたとみられる。

(5) 結論

愛知川の猿尾は18世紀前半には築造が確認でき、18世紀後半以降には争論関係の文書や河川絵図に多数登場する。1874年の普請所調査絵図によれば、それらは土盛または石積の「出し」の一種で、竹蛇籠などの水制や河畔林と組み合わせて洪水流をコントロールする役割をもつ治水施設である。いまや20世紀半ば頃生まれの世代の住民にもほとんど記憶されていない治水施設であるが、かつて利用されていた河畔林のなかに痕跡をとどめている。歴史資料から判明する江戸・明治期の治水施設の状況と、聞き取り・踏査から知り得る20世紀半ばから現在に至る河川景観をつなぐため、今後、近世末から近現代の文書や図面を用いて景観の歴史を探究する必要がある。それとともに、愛知川の洪水と今後もつきあい続ける地域の人々のために、歴史的治水施設については、文化財指定等による保護や防災教育や地域づくり等への活用によって、その痕跡を記憶し続ける取り組みを展開していくことが望ましい。

4. 猿尾による減災効果のシミュレーション

河畔林の中に設置されていた水制工である猿尾は洪水の減災効果があることはかろうじて伝承されていたものの、どのようなプロセスで減災効果が生じるのかについては、地元住民にも伝承が残っておらず「忘却」の状態となっていた。

そのため、コンピューターシミュレーションを用いて、19世紀末における猿尾の減災効果を可視化することを目的として研究を行った。

(1) シミュレーションの手順

19世紀末の猿尾の減災効果のシミュレーションには河川の流れを解析するソフトウェアiRICを用いて、下記の図-3の手順で実施した。



図-3 猿尾の減災効果シミュレーションの手順フロー

(2) シミュレーションの設定

19世紀末頃の愛知川の洪水流量データは存在しないため、現在の愛知川の河川整備計画を参考に最大洪水時の流量設定を行った。平成22年7月の滋賀県による東近江圏域河川整備計画によれば、愛知川は、戦後の洪水で最大の流量となる昭和34年9月洪水相当（50年に1回程度）の降雨により予想される洪水を安全に流下できるような整備を行うための計画高水流量は、八幡橋地点（河口から約7 km）で2400 m³/sと設定している。19世紀末は河道を横断面で考えた際、現在より低水路と高水敷の区別があいまいであるため、洪水の全流量2400 m³/sのうち愛知川本川の低水路と左岸の河畔林に流れ込んでくる可能性があるとして、全流量の2/3の1600 m³/sを洪水時の最大流量として設定した。

また、明治26年の地図や伝承によれば、河畔林はアカマツ林が形成されていたと伝わっている。しかしながら、分布や密度について情報がなかったために、今回のシミュレーションでは樹木の存在は考慮せず、地形や水制工による標高の違いにのみ着眼したシミュレーションを実施した。

(3) シミュレーションの結果

洪水流量1000 m³/sの時のシミュレーションの結果から、猿尾は、低水路（本川）から高水敷に流れ込んでくる水と高水敷（河畔林）の上流域から流れてくる洪水流を分流する減災効果があることが明らかとなった（図-4）。

もしも、猿尾がない場合、洪水流が1つにまとまってしまっており、例えば下記の赤い星部分に強いせん断力が生じて、当時の主堤防であった河畔林外郭の堤防が破堤する可能性が高くなる。しかし、猿尾があることにより、洪水流が1つにまとまらない「分流効果（青い矢印と白い矢印）」が生じることによって、主堤防が強い洪水流の流体力から免

2ヵ年研究用（R5）
れて、破堤することを防ぐ減災効果があることが推定された。

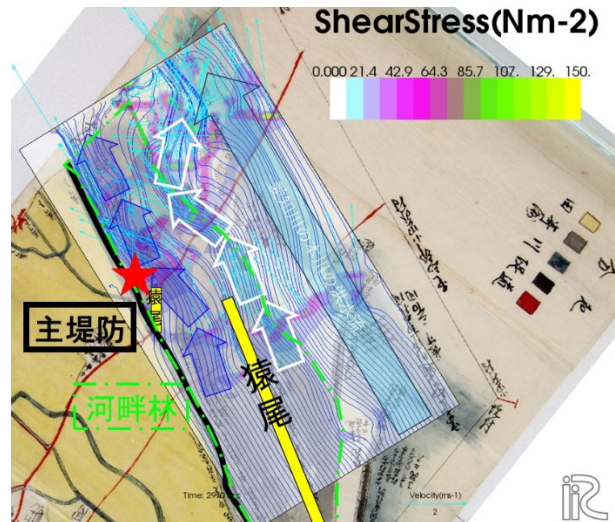


図-4 猿尾の減災効果シミュレーション結果（背景画像：滋賀県公文書館 請求番号 明-へ-5）

(4) 考察

主堤防も猿尾も地域の人々が石積みで作り上げてきたもので、現在のコンクリートでできた堤防と比較すると破堤しやすい。そのような状況下で河畔林内に水制工「猿尾」を作り、主堤防へのせん断力を下げて、大きな洪水を分流させて減災するという土木技術は、地域を守るために大変重要であったと考えられる。また愛知川流域に伝承されてきた技術であるものの、気候変動において想定外の洪水流への対処を迫られる日本や世界の各所においても応用可能な技術であると考えられる。今後とも、シミュレーションを用いることによって、水害伝通知をできるだけ可視化して、現代に応用していく必要があるものと考えられる。

5. 山地源流域における斜面崩壊・土砂流出

(1) 導入

山地源流域において、斜面崩壊は溪流への主要な土砂供給源であるほか、豪雨時に生じた場合は土石流となり、土砂災害の主要因となりうる。また裸地からの表面流出に伴う土砂流出は、河床変動やダム堆積物の増加、あるいは濁水の発生などの要因となる。一方で、森林には斜面崩壊や土砂流出のリスクを低減させる効果があることが指摘されている。具体的には、樹木根系によるせん断強度の増強や、樹木の成長に伴う表面侵食の防止などの機能が期待されている。一方で、植林地を増やすだけでは期待された効果が得られない場合もある。例えば、ヒノキ植林地の場合、密植によって下層植生の成長が阻害され、表面侵食が増加する問題も指摘されている。斜面崩壊や土砂流出に対するより適切な森林管理の在り方も課題の一つである。

本邦は過疎化や人口減少社会に直面しており、膨大な面積を有する森林に覆われた山地源流域に対して、崩壊防止工事の施工や植林による森林管理を行うことは現実的ではない。そこで、今回は主に現在から過去数十年間に生じた崩壊地を対象として、(a)数十年間にどの程度植生が回復したか、(b)崩壊後に形成されるガリーなどの微地形がどの程度変化したか、という2つの観点で、崩壊地の自然再生について評価を行い、どのような条件で自然の回復力が発揮されるかについて検討した。

(2) 対象地域

対象地域は、滋賀県愛知川の源流域のうち、花崗岩を基盤とする八風谷流域・神崎川流域・鈴鹿山脈主稜線の一部である。調査地域の面積は28.3 km²であり、標高は350～1210 m（平均737 m）である。主要な植生は、スギ・ヒノキの植林、アカマツなどの常緑針葉樹、コナラやカエデなどの落葉広葉樹であり、下層にはアセビやヒサカキなどの低木の常緑広葉樹がみられる。気象庁のアメダス観測点「東近江」の年降水量は1445 mm、年平均気温は14.1℃である⁸⁾。

空中写真の分析により、1963～1975年の間に対象地域で多数の新規崩壊の発生を確認した。滋賀県生活環境部・彦根地方気象台¹⁾によると、この期間中の1972年9月16～17日にかけて、台風20号が滋賀県東部山間部で400 mm以上の降雨をもたらし、永源寺周辺の県道が不通になったようである。この豪雨は斜面崩壊の引き金の一つである。

現地には1970年代以外の複数の時期に発生した崩壊地がみられるため、以下に記載する方法に従い、1963年以前に発生した崩壊、1963～1975年の崩壊、1995～2015年に発生した崩壊に分けて分析した。

(3) 方法

a) DEM, DSMの作成

滋賀県流域政策局砂防室より、2022年に取得されたLiDARデータ（点群密度4 点/1 m²）の提供を受けた。このデータには、フィルタリング処理が施されたグラウンドデータとオリジナルデータが含まれており、それぞれNatural neighbor法によって内挿し、DEM（数値標高モデル）およびDSM（数値表層モデル）を作成した。解像度はいずれも0.5 mである。

b) 崩壊地判読

空中写真判読、0.5 mDEMに基づく傾斜量図・等高線図を利用して、崩壊地を判読した。1975年、1995年、2015年の国土地理院撮影空中写真を、SfMソフトウェア（Agisoft Metashape Ver. 2.0.3）を用いてオルソ化した。解像度は、1,200 dpiである。また、1963年の空中写真については、国土地理院提供のオルソ画像をそのまま利用した。各写真上の裸地をポリゴンフィーチャで囲み、傾斜量図に対応する滑落崖を崩壊地として抽出した。

c) 植被率

崩壊地外の樹木の樹冠が崩壊地を覆い隠す傾向

2カ年研究用（R5）

があり、それによって小規模な崩壊地ではLiDARデータを用いた分析が困難であった。そのため、面積が小さい崩壊地を対象から除外した。最終的に分析した崩壊地の個数は、1963年以前では14か所、1963～1975年では9か所、1995～2015年では9か所である。

a) で作成したDSMとDEMの差分値を植生高とした。なお、路面上20点におけるDSM-DEM差分値の範囲は0.0371～0.0001 mであり、系統的な誤差は見られなかった。また、DSM-DEM差分値図から崩壊跡地周囲の樹冠の大きさに基づき、一定の長さのバッファ（本研究では5 m）を設定し、崩壊地周囲の樹冠の影響がない領域を対象範囲として設定した。この対象範囲内においてDSM-DEM差分値が0.1 m以上であり、植生が存在しているとみなせる面積を求めた。彫られた面積を、分析対象範囲の面積で割り、植被率とした。この方法で測定した数値に基づき、崩壊地における植生の回復状況を評価した。

d) 微地形分析

DEMに基づき傾斜量図・等高線図を作成した。これらの図に基づき、調査地域のうち八風谷および流域内の一部の水路頭を傾斜量図・等高線図上で判読し、集水面積や傾斜などの地形量を計測した。水路頭とは、侵食によってできた水路（ガリーなどの水流が流れた痕跡を有する微地形）の最上流端である。Hattanji et al.⁹⁾は、表層崩壊に伴って水路頭が上流側に伸長することを指摘した。1975年の空中写真を用いて、各水路頭集水域内における表層崩壊跡地の有無を判読し、表層崩壊発生から約50年経過後の水路頭と、崩壊が発生しなかった水路頭の地形的特徴を比較し、両者の集水面積や傾斜などの地形量に違いがあるかどうかを分析した。

(4) 結果・考察

a) 崩壊地の植生回復

図-5は崩壊時期別に植被率を比較して示したものである。古い崩壊地（1963～1975年崩壊）の方が、新しい崩壊地（1995～2015年崩壊）より植生回復しやすい傾向を読み取ることができる。その

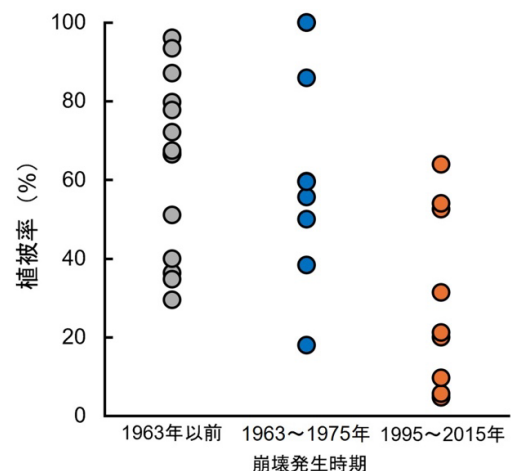


図-5 崩壊発生時期と植被率の関係

一方で、長期間残存している崩壊地（1963年以前発生）では植生回復しにくい場合もみられた。約60年以上残存している崩壊地では、何らかの要因で裸地が維持されているが、その一方で約50年の間に植生回復が進むことが明らかになった。次に、標高別に植生率を比較したところ、標高800 m未満の崩壊地では植生回復しやすい傾向がみられた。標高の変化に伴う周囲の樹種、地形条件の違いが要因であると考えられる。特にアカマツは成長が早いことが知られている。崩壊地の周辺にアカマツ群落がみられる場合、植生が回復しやすいと考えられる。一方、標高800 m以上では、より寒冷な気候条件であることで、アカマツの侵入が困難であるほか、主稜線付近では積雪や強風の影響なども想定される。それらの影響によって、植生の回復が遅れて、裸地が存続しやすい可能性がある。

b) 崩壊地の地形回復

1963～1975年に崩壊が生じた33か所の水路頭と、表層崩壊が発生しなかった64か所の水路頭について、それぞれHattanji et al. (2021)と同じ手法で、水路頭の集水面積と傾斜の傾向を分析した。分析によって得られた水路頭の集水面積についてマン・ホイットニーのU検定を行った結果、両者に統計学的な有意差は認められなかった ($p > 0.05$)。また、崩壊発生・非発生の水路頭グループそれぞれについて、集水面積と斜面傾斜の間の回帰分析を行った。その結果、崩壊跡がある場合にも明瞭な相関がみられなかった（図-6）。

Hattanji et al.⁹⁾は崩壊直後の水路頭には両者の相関関係が見られることを指摘したが、崩壊から50年経過した水路頭の場合は両者に明瞭な関係が見られないことが明らかになった。崩壊発生・非発生の水路頭の地形条件に大きな差が見られなかった。その原因の一つとして、崩壊が頻発するため、非崩壊の水路頭においても崩壊からの回復期間が短く、水路頭の地形変動が抑制された可能性がある。ただし現地で生じている現象を理解するためには、更なる分析が必要である。

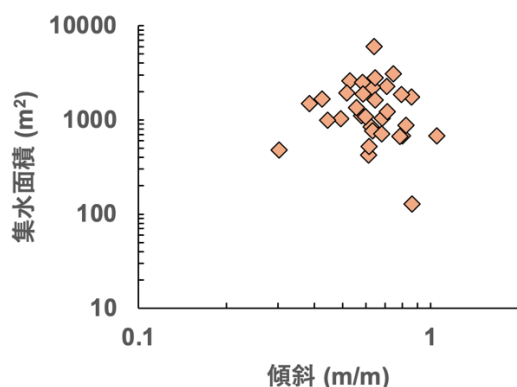


図-6 水路頭の集水面積と傾斜の関係
(1963～1975年の崩壊地が集水域内にある水路頭)

6. VRを活用した成果公開と予察的評価

(1) 導入

愛知川流域の猿尾は、「先人たちが水害と向き合ってきた歴史を示すもの」として社会的な価値をもつ。しかし対象地域では、一部の高齢な住民を除いて、猿尾を知っている人は少ない。そのため、地域の博物館での展示や市民公開講座のようなイベントを通じて、研究者が地域住民に愛知川流域の猿尾の存在や、それを取り巻く自然環境をわかりやすく解説することは重要である。筆者らは現地で計測した猿尾とその周辺の3Dモデルを活用した複数のVR (Virtual Reality) アプリを構築し、それらを活用した博物館展示、大学の講義、市民公開講座を行なった。さらに、機器の利用状況の観察やアンケート調査を通じて、アプリの教育効果の評価を試みた。

(2) 3Dモデルの生成とVRアプリの構築

筆者らは、東近江市建部北町の河辺いきものの森の一基と、小田苅町のすこやかなの杜野球場東の私有地の一基の猿尾を三次元計測の対象とした。両地点では、土地の管理者の許可を得た上で、測量を行なった。3Dモデルは、現地で撮影した全天球動画と通常の動画を一定の間隔で切り出した画像を用いて、フォトグラメトリーの手法で生成した。撮影機材には、Insta 360 x4とiPhone 13 Proを使用した。他方で林内では、正確な位置情報の取得が難しかったことから、3Dモデルの生成に位置情報は利用しなかった。

次に、猿尾の3Dモデルを配置したVR空間の作成に取り組んだ。筆者らのVRアプリは、空間内を体験者が自由に移動しながら、実寸大または縮小して再現した猿尾を観察したり、地図などの資料を閲覧できたりするものとして設計した。アプリは、新たな知識の獲得よりも知識の深化を目的として利用するものとしたため、事前に対象地域の猿尾の解説を受けた人にも体験してもらうことを想定した。

VRアプリには、いくつかの体験方法やプラットフォームが存在する。具体的には、キーボードなどとパソコンのスクリーンを用いるもの（以下、PCVRとする）と、HMD (Head-Mounted Display) を利用するものがある。オンラインのメタバースプラットフォームを活用すれば、利用者はアバターを通じて複数人で交流しながら空間を散策できる。また、単独で体験するVRであってもゲーミングPCに接続したHMDを使用すれば、高精細な三次元情報を閲覧することもできる。このようにVRの利用方法は多様であることから、筆者らのアプリもそれぞれの機器の特徴を把握した上で構築する必要がある。機器やプラットフォームによって、利用できるモデルのデータ量も変わるため、それら踏まえた検討も欠かせない。また本プロジェクトは、博物館、大学、公民館などでの教育実践を想定したため、実施環境も考慮した機材の運用や選定が求められる。例えば、体験のため

2カ年研究用 (R5)

の機材の台数、会場のオンライン接続の可否、参加者の年齢やVRの利用経験など、会場、主催者、参加者の状況を考慮する必要がある。他方で、効果検証のためには何度か実践を重ね、最適な方法を模索することも重要である。

そこで筆者らは、機材などの技術面、アプリの内容などの教育面、講義やイベントの実態などを考慮して、5つのVRアプリを試作した(表-1)。技術面では、PCVR、HMD単体、PC/HMD(PCの映像をHMDに投影)、PC/HMD/メタバースプラットフォームの利用に分けられる。HMDはMeta社のMeta Quest 2または3の利用を想定し、メタバースプラットフォームにはVRChatを用いた。教育面では、現地(河辺いきものの森)での散策などが体験できる散策主体型と、地図や関連資料とともに猿尾の3Dモデルを設置した展示主体型を設計した(図-7)。両アプリは、配置した猿尾のスケールや実装した機能が異なるが、実際にそこにいるような没入感を体験者に与えることができる。

表-1 整備したVRアプリの一覧

番号	機材	内容	体験	Web
I	PC	展示 主体型		なし
II	PC	散策	単独	
III	HMD	主体型		
IV	PC/HMD			
V	PC/HMD/ メタバース	展示 主体型	複数	あり

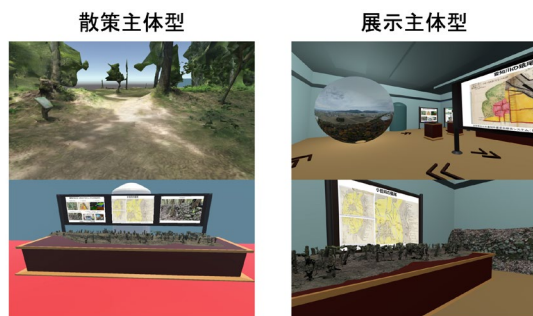


図-7 アプリ内容

各アプリには、メリットとデメリットがある。IやIIのようなPCVRは、パソコンの画面をみながら操作するため没入感に欠けるが、実装する機能が少数であれば誰でも簡単に操作できるメリットがある。IIIのようなHMDの単体利用では、オフラインで没入感のある体験が提供できるが、HMDの性能がVR空間の視認性に影響するため、詳細な3Dモデルの閲覧は難しい。Vは没入感と視認性が優れており、メタバースの特性であるアバター同士の交流が可能であるが、通信環境の確保、ゲーミングPC、HMDの用意などイベントでの利用にかかる負担が大きい。IVは、IIIとVの中間的な位置付けといえる。この他に、HMDの利用時には、体験者の現実の視界が塞がるため、体験者同士の接触事故の防止などのために会場に

複数の補助者が必要になる。また、体験者のVR酔いの可能性もあるため、少ない操作で効果的に対象物を解説する方法も検討しなくてはならない。そこで、筆者らは、まず第1段階として、I～Vのアプリを用いた市民向けのイベントや大学の講義を行いそれぞれのメリットとデメリットを調査し、効率よく運用できるVRアプリについて検討した。

(3) 第1段階のアウトリーチの実践

第1段階は、I～Vのアプリごとに実施し、使用時の様子の観察とその整理を中心に行なった。Iは、2025年7月19日～11月24日に琵琶湖博物館で行われた「第33回企画展示 川を描く、川をつくる—古地図で昔の堤をさぐる—」で、来場者が自由に利用できるように会場に常設した。低年齢の子どもが興味を持って操作する事例もあったが、パソコンの設定によって画面の暗転状態が長くなってしまったことや、当初使用していたアプリの起動方法の複雑さなどから、会場のスタッフの負担となってしまう課題もあった。

IIとIVは、主に2025年6月1日の衣笠アートヴィレッジフェスティバルに来場した市民に体験してもらった。このイベントでは、HMDの利用に年齢制限を設け、主に9歳以下の子どもはII、それ以外はIIIを利用してもらった。機器の利用前には、猿尾の概要や本プロジェクトの趣旨を解説した。Iと同様にIIは、子どもでも操作できた。IVは、体験者の側で猿尾や周辺の環境を解説するのに適していた。VR酔いがあった人もいたが、操作に躓く人はほとんどいなかった。他方で、体験者のメガネがHMDに入らないということもあった。

IIIは2025年7月26日、27日の琵琶湖博物館でのイベント(愛知川に眠る猿尾をVRでさぐる! in 琵琶湖博物館)での利用を試みたが、26日の体験者から映像の精細さを指摘されたため、内容が同じで3Dモデルがはっきりと閲覧できるIVを利用した。体験時には、一台の機材を参加者ごとに交代で操作してもらった。体験者には、VR体験前に猿尾に関する企画展を学芸員の解説つきで鑑賞してもらった。

Vは、教員養成のコースをもつA大学の講義で使った。学生はPCに接続したHMDを装着して、メタバース空間にログインして授業を受けた。展示主体型の教材を用いて筆者らが講義をした印象として、いくつかの展示物を示しながら、複数人に一斉に解説できる点にメリットがあったと感じた。しかし、この講義にいたる前の段階も含めて、機材の設置や設定方法、HMDの操作時のトラブル(画面の暗転、マイクトラブルなど)、リアルとバーチャルを行き来する指導の複雑さなどの課題もあった。

(4) 第2段階のアウトリーチの実践と効果

これまでの実践から、筆者らのVRアプリの教育効果の検証には、IVが適していると考えた。そこで、新たな市民向けイベントでIVを利用し、その効果を

2カ年研究用 (R5)

検証した。具体的な検証内容は、投影したスライドや印刷した資料を用いる既存の講義方法にVRを加えることで得られる学びを明確にすることである。参加者には、既存の方法で構成された講義を聞いた後、VRアプリを体験した上でアンケートに任意で回答してもらった。この際には、回答が研究に利用されることを説明した。また、一部のイベントではVRの利用後に、野外での猿尾の観察も行ない、VRとの比較も試みた(表-2)。アンケートの質問項目は、1) 年代、2) VR体験前の猿尾の印象、3) VR機器の操作方法の難しさ、4) VR酔いの有無、5) VR体験後の猿尾の印象であった。この他に、イベントに応じて、VR体験やイベントの感想、機器の操作に難しさを感じた理由、野外でみた猿尾の印象を尋ねた。1)、3)、4)は選択項目、その他は自由記述の項目である。

表-2 イベントの概要とアンケートの回答者数

番号	会場	回答数	野外観察
A	琵琶湖博物館	5	無
B	河辺いきものの森	1	有
C	近江商人博物館	11	無
D	近江商人郷土館	3	有

※ 回答者数は有効票のみで記載

本調査では、第一段階の一部の実践も併せて、20～70代の計20名から回答を得た。この他に、2名の小学生からも回答を得たが集計しなかった。回答者を10歳ごとに区切ると、20～40代と70代は3人ずつ、それ以外では4人ずつ回答者がいた。2)と5)のVR前後の印象を問う質問は、回答者の知識量やイベントの参加目的によって回答の質が異なるが、猿尾の全体像や立体感が捉えられたことによる認識の変化に関する意見がみられた。VRの操作感を質問した3)、4)の結果では、アプリの操作に何らかの難しさを感じた人は回答者の16%(1名未回答)で、軽度も含めてVR酔いした人は回答者の35%で両方ともそれほど多くない。他方で、BやDでの野外での猿尾の観察を高評価する意見や、Aでの「実際に猿尾を見たい」という意見から、既存の解説手法、VRアプリ、野外観察を組み合わせることでより充実したアウトリーチにつながる可能性が示された。

(5) まとめ

筆者らは、研究成果のアウトリーチとしてVRを活用した教育実践を行なった。様々な実践を通じて、最適なアプリと運用方法を検討し、その効果を検証した。その結果、VRアプリを用いた解説は、既存の資料を用いた解説に比べて、立体感や没入感の演出に優れていた。今後は、調査方法を検討しながら、実践を重ねることで、VR化した猿尾のもつ教育効果を明らかにできると考えられる。

7. 博物館における教育・普及活動

(1) 滋賀県立琵琶湖博物館第33回企画展示「川を描く、川をつくる—古地図で昔の堤をさぐる—」

滋賀県立琵琶湖博物館が開催する企画展示「川を描く、川をつくる—古地図で昔の堤をさぐる—」(会期: 2025年7月19日～11月24日)にて、本研究内容を含む治水の歴史について紹介し、猿尾のデジタルコンテンツを展示した(図-8)。また、関連イベントとして一般向けのVRコンテンツ体験や現地見学会を開催し、博物館における教育普及活動を実施した。



図-8 滋賀県立琵琶湖博物館における企画展示にて洪水シミュレーションについての展示を解説する様子

(2) 東近江市近江商人博物館 企画展「猿尾(サルオ) 自然と生きる先人の知恵」

東近江市近江商人博物館が開催する企画展「猿尾(サルオ) 自然と生きる先人の知恵」(会期: 2025年7月26日～10月13日)にて、本研究プロジェクトの経緯や研究内容について紹介した。また、関連イベントとして一般向けのVRコンテンツ体験や現地見学会を開催し、博物館における教育普及活動を実施した(図-9)。

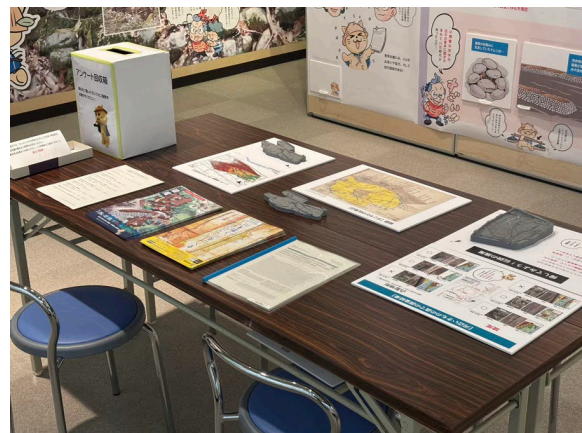


図-9 近江商人博物館における展示の様子

8. おわりに

本研究は、滋賀県愛知川流域に残るEco-DRR施設と水害伝統知について、自然科学と人文科学の両面

から可視化・再評価し、教育普及へつなげることを目的として、Eco-DRRデジタルデータベースの構築と活用を進めた。伝統的治水施設・猿尾については、自然科学の手法で用いられる高精細DTMによる微地形の可視化によって、古地図判読、現地踏査、住民聞き取りを統合することで、従来見落とされていた複数の候補地を非破壊的に抽出・同定できる枠組みを示した。また、古地図との比較から、猿尾が洪水や植生遷移、人為改変の影響を受けて形状を変えてきた可能性を示し、遺構としての保存と機能理解を両立させた評価の重要性を確認した。歴史地理的検討では、普請所調査絵図等の分析により、猿尾や水制・河畔林が洪水流を制御する複合的な治水体系として築かれ、土地利用や地域社会とも深く関わってきたことを整理した。数値シミュレーションにより、猿尾が洪水流の分流を促して主堤防への負荷を低減し得るプロセスを可視化し、伝承として残っていた効果に説明可能性を与えた。加えて、VRを活用した展示・講座・授業を通じて、立体感やスケール感を伴う理解を促せること、野外観察と組み合わせることで学びが深まる可能性を示した一方、機材運用や体験設計に関する課題も明確になった。

以上より、本研究は、さまざまな要素を統合し、水害伝統知を継承・活用するための実践的枠組みを提示した。今後は、対象施設の拡張とデータベースの更新体制の整備、植生条件等を含む機能検証の高度化、学校教育・地域づくり・流域治水施策との接続を進めることで、地域が洪水と向き合い続けるための知識基盤として発展させる必要がある。

謝辞：歴史資料の調査には、滋賀県立公文書館、東近江市文化スポーツ部各機関の協力を得た。博物館での展示では、西堀榮三郎記念探検の殿堂の角川咲江学芸員、小林亜美学芸員の協力を得た。聞き取り・実地踏査には、河辺いきものの森（東近江市環境部・NPO法人遊林会）、一般財団法人近江商人郷土館（株式会社チョーギン）、東近江市川南町・五個荘和田町・建部北町・小田苅町のみなさまのご協力を賜った。また、高田 清氏、河村栄一氏には現地調査のコーディネートや情報提供に多大な協力を賜った。記して御礼申し上げる。

本研究で使用したLiDARデータは、滋賀県流域政策局砂防室から提供頂いた。また、現地調査の一部は、王子木材緑化株式会社の許可を得て実施し

た。以上の方々に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 瀧健太郎・中村亮太・原田守啓・田中耕司, 霞堤の治水機能の評価方法および流域治水計画における位置付けに関する一考察, 河川技術論文集, 27 pp. 557-562, 2021.
- 2) Kasada, M., Uchida, K., Shinohara, N., Yoshida, T. Ecosystem-based disaster risk reduction can benefit biodiversity conservation in a Japanese agricultural landscape, *Front. Ecol. Evol.*, 10, 699202, 2022
- 3) 滋賀県立公文書館編：村絵図の明治維新—河川と地籍の調査事業—, 滋賀県立公文書館, 2021.
- 4) 八日市市史編さん室編：八日市市の地名と景観, 八日市市教育委員会, 1986. 五個荘町史編さん委員会編：五個荘町史 第四巻（2）地名と景観, 五個荘町役場, 1993. 「能登川の歴史」編集委員会編：「能登川の歴史」別冊資料 明治の古地図—能登川—, 東近江市, 2008. 愛荘町立歴史文化博物館編：明治の古地図Ⅱ—愛荘町—, 愛荘町立歴史文化博物館, 2016. 湖東地区まちづくり協議会歴史・文化プロジェクト：明治の古地図—湖東地区—, 東近江市, 2022.
- 5) 大橋金造編：近江神崎郡志稿 下巻, 臨川書店, 1972 [初出1928] .
- 6) 愛知川町史編集委員会編：近江愛知川町の歴史 第二巻 近世・近現代編, 愛荘町, 2010.
- 7) Ogura, T., Shimamoto, K., Mizuno, T., Katayama, D., Yamauchi, H., Hattanji, T., Identification of traditional flood control facilities concealed in the riparian forest: a case study of the Echi River, central Japan. *Progress in Earth and Planetary Science* 12(1), Springer, pp. 1-13, 2025.
- 8) 滋賀県生活環境部・彦根地方気象台編. 滋賀県災害誌続編第2部. 滋賀県, 286p. 1979.
- 9) Hattanji, T., Kodama, R., Takahashi, D., Tanaka, Y., Doshida, S., Furuichi, T. Migration of channel heads by storm events in two granitic mountain basins, western Japan: Implication for predicting location of landslides. *Geomorphology*, 393, 107943, 202

NO.