

昭和 28 年有田川水害で発生した深層崩壊の 地質地形学的素因について

Geological and Geomorphological Causes of Deep-seated Catastrophic Landslides in the 1953 Aridagawa Disaster

荒井紀之

Noriyuki ARAI

Synopsis

To reveal the geological and geomorphological causes of deep-seated catastrophic landslides (DCLs) by heavy rainfall in the 1953 Aridagawa disaster, detailed geological mapping and geomorphological analysis using 1-m DEMs were undertaken in the upper reaches of the Arida River in the Kii Mountains. This area is underlain by the Cretaceous accretionary complex, consisting of sandstone dominated alternating beds of sandstone and shale and their broken formation. As a result, southward dipping low-angle faults, shear planes of broken formation with laumontite veins and the Yanase fault formed the failure surfaces and most of the DCLs were distributed along the convex slope breaks, undercut slopes and ridge lines with deep weathered rocks.

キーワード: 有田川水害, 深層崩壊, 豪雨, 地質, 地形

Keywords: Aridagawa disaster, deep-seated catastrophic landslide, heavy rainfall, geology, landform

1. はじめに

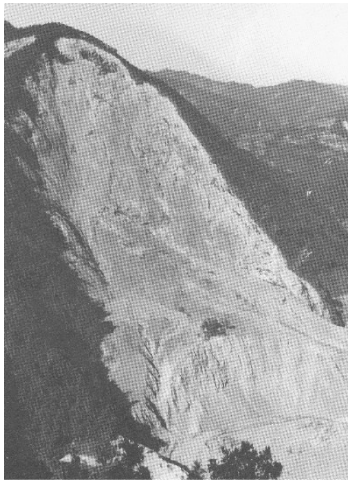
1.1 有田川水害の概要

昭和28年に紀伊山地の有田川上流域で発生した水害では、小規模な表層崩壊や土石流が多数発生したことに加え、崩壊土量が100万m³以上の大規模崩壊5箇所（金剛寺と高野谷等）を含む深層崩壊が発生した（藤田・諏訪, 2006）。有田川水害による人的被害は死者・行方不明者637人、重軽症者4,683人であり、家屋被害は全壊4,249戸、半壊1,863戸であり、斜面崩壊や天然ダムの決壊による洪水により有田川流域は甚大な被害を受けた（和歌山県砂防課, 1994）。

発災時の気象状況であるが、梅雨前線がその年の6月下旬から九州北部、中国地方にわたり停滞し60年ぶりの大水害をもたらす豪雨を引き起こした（藤田・諏訪, 2006）。その梅雨前線は北上南下を繰り返し、7月17日から19日にかけて、紀伊半島から四国、九州北部を横断して停滞し、紀伊半島において豪雨をも

たらした。有田川上流域では住民からの聞き取り調査により、7月17日夜半から18日早朝にかけて集中豪雨が発生した模様である（近畿各大学連合水害科学調査団, 1953）。崩壊が集中した有田川上流域には高野山、八幡の雨量観測点があったが、降雨が集中した地域には観測点が存在しなかった。付近の観測点の降水量から判断すると、崩壊が集中した有田川上流域では17日から18日にかけて500mm以上の降雨が降ったと推定される（近畿各大学連合水害科学調査団, 1953）。高野山や竜神の同年6月の降雨量は、累年の雨量の平均値(1919~1950)のそれぞれ1.4倍、2.1倍であり、7月上旬においても山岳部では降雨が続いた。このように、崩壊が集中した7月下旬の1ヵ月前から周辺の山地斜面は飽和状態に近い状態にあったと推定される（近畿各大学連合水害科学調査団, 1953）。

Fig. 1に、有田川水害で発生した大規模崩壊の発災直後の写真を示す。Aの金剛寺の崩壊写真は、Bの天然ダムが流出後に撮影された。Table 1に、主な大規



A: Kongouji landslide



B: Landslide dam of Kongouji landslide



C: Kitadera landslide



D: Arinaka B landslide



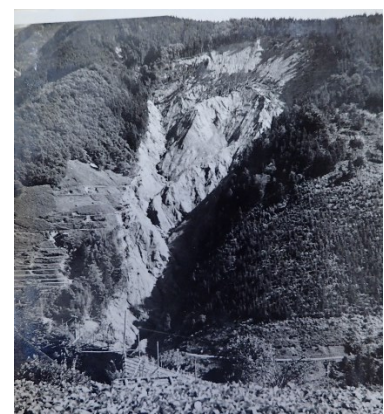
E: Arinaka A landslide



F: Arinaka C landslide



G: Koyadani landslide



H: Kukidani landslide

Fig. 1 Photographs of the studied landslides (Kongouji, Kitadera, Arinaka, Koyadani and Kukidani landslides). These photographs were taken by Hatutarou Tuboi and provided by Hanazono Branch, Katsuragi Town.

Table 1 List of landslides in the study area.

Landslide	Volume ($\times 10^4 \text{m}^3$)	Date and time of occurrence	Landslide dam	Continuance of landslide dam	Note
Kongouji	520	1:00 am July 20 *	○	65 days	-
Kitadera	52	11:15 July 18	○	A few minutes	96 deaths
Arinaka_A	112	7:00 am July 19	○	68 days	-
Arinaka_B	64	-	-	-	-
Arinaka_C	66	-	-	-	-
Koyadani	163	10:00 am July 18	○	100 days	-

All data without an asterisk are from Fujita and Suwa (2006).

*: Research group of union of universities in the Kinki region (1953)

模崩壊の規模、発生日時、天然ダムの発生状況を記す。

1.2 水害で発生した崩壊の特徴

平野・大森 (1989) は、有田川水害で発生した崩壊の面積と崩壊発生数との関係を調べ、表層崩壊が多発した花崗岩からなる六甲山地との比較を行った。そして、有田川水害では、西南日本外帯の付加体で発生する群発性崩壊ないし地すべり性崩壊の特徴を持ち、六甲山地にくらべてより大規模崩壊が発生しやすい傾向を指摘した。

崩壊が発生した斜面の向きについて着目すると、金剛寺や北寺の崩壊は南向き斜面で発生しており、紀伊山地で2011年に発生した深層崩壊の多くが北西向き斜面で発生しているのと相違している。

災害発生から68年が経過しているが、その地質・地形学的素因、特に崩壊のもととなった地質構造に関しては明らかになっていない。

1.3 研究のねらい

本研究では、大規模崩壊を対象として、航空レーザ測量により得られた高解像度地形データを利用して地形分析を行うとともに、崩壊地周辺の詳細な地質マッピングを行い、これらの崩壊の地質・地形学的素因を調べた。Fig. 2に、位置図を示す。

本研究により降雨による深層崩壊の発生メカニズムを解明するための基礎データを得るとともに、今後崩壊の発生しやすい斜面を抽出することにより、斜面災害の軽減に寄与できると期待される。

2. 研究方法

2.1 地形分析

本研究域については、国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所により、航空レーザ測量が2014年から2015年に実施されており、1mグリッドのdigital elevation model (DEM) を同事務所より入手し

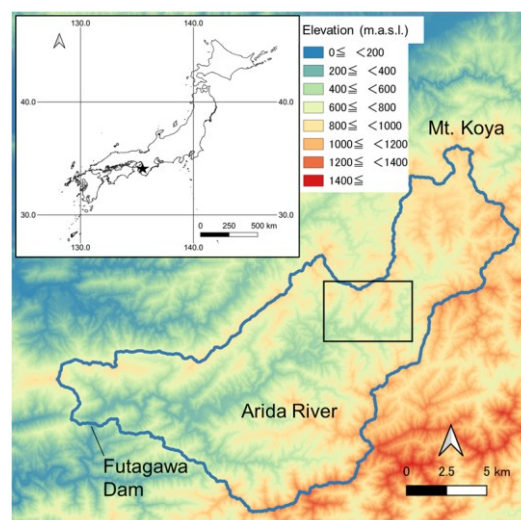


Fig. 2 Location map of the study area. The blue line is the Arida River watershed above the Futagawa Dam. The rectangle is the area where detailed geological mapping was performed.

た。地形分析では、河床縦断面を作成して遷急点を抽出するとともに、1m DEMより作成した傾斜図や起伏量図から遷急線や古地形面（平石ら, 2013; Tsou et al., 2017）に相当する緩斜面の分布を調べた。これらのデータから、流域の河川侵食特性を分析した。また、重力斜面変形により形成されたと推定される小崖、線状凹地、バルジング等の微地形を抽出した。

昭和28年に発生した崩壊を、発災直後（1953年12月）に林野庁が撮影した縮尺約1/20,000の空中写真から特定するとともに、有田川災害よりも古い崩壊地形を傾斜図から抽出した。空中写真判読では、ステレオフォトメーカー ProVer 6.16（(C) むっちゃん & tomo & Aiくん & imaohji）を使用した。藤田・諏訪 (2006) でも指摘されているように、これらの空中写真は撮影時期が12月で撮影高度が低いため、急傾斜の北向き斜面では陰影部となっている。これらの領域の崩壊判読漏れを減らすために、谷 (1975) の崩壊マップと比較するとともに芝純一氏と坪井初太郎氏が撮影した災害後の現地写真で崩壊の有無を確認した。

2.2 地質調査

露頭観察では、整然相、破断相、混在相に分類し、砂岩や泥岩の構成比率、層理、劈開の方向、発達程度を記載した。層理面では上下判定を行い褶曲構造の把握に努めた。断層の観察では、走向傾斜・性状を記載し、非固結脆性破砕帯を伴う断層とカタクレーサイトからなる断層を区別した。また、脈中の濁沸石等の有無を粉末X線回折により分析した。分析に使用

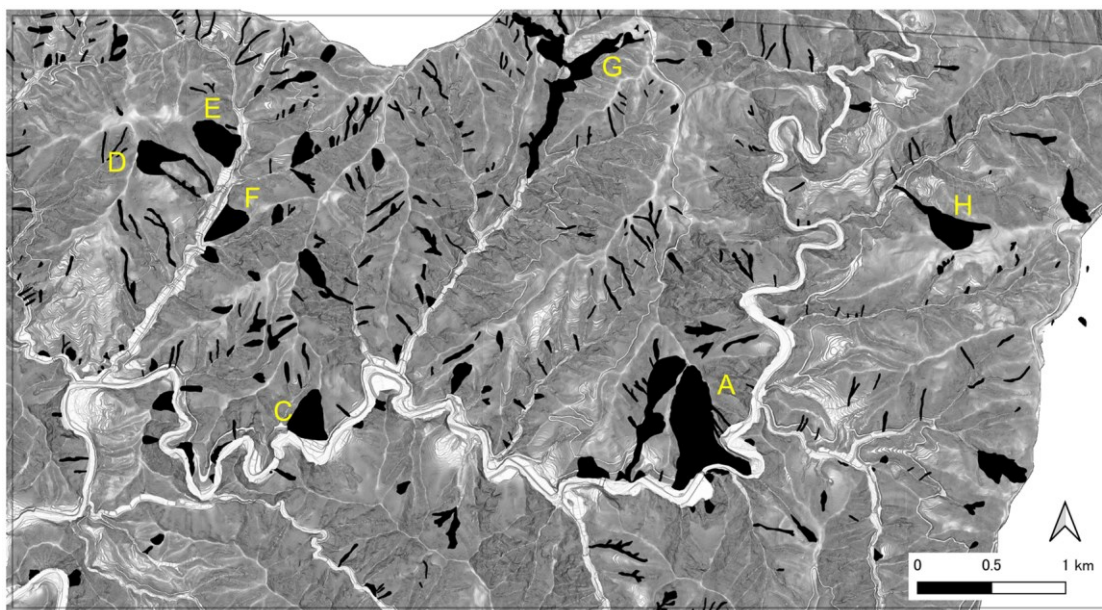


Fig. 3 Map showing the landslides detected by air photos taken just after the Aridagawa disaster. The thin line shows the area air-photo interpretation performed. The characters of A-H correspond to the pictures in Fig. 1.

した機器は、リガクMiniFlex60で、測定条件は、対陰極Cu, β zフィルターNi, 使用固有X線K α , 管電圧40 kV, 管電流15 mA, 走査範囲 $2\theta=2^{\circ}\sim60^{\circ}$, 走査速度10 deg/minである。

これらのデータから縮尺1/5,000の地質図を作成し、崩壊発生場所の地質特性を分析した。

3. 研究結果

3.1 有田川水害で発生した崩壊

Fig. 3に、空中写真判読により抽出した崩壊および土石流による侵食谷を示す。図中の文字記号は、Fig. 1中の崩壊に対応している。

谷(1975)の崩壊分布と比較すると、北寺の北方約1km地点の崩壊地が欠如していた点を除き崩壊分布は概ね一致することを確認した。

3.2 地質

Fig. 4に、本研究により得られた地質図を示す。

研究域の北部に梁瀬断層を境して花園コンプレックスが、南側に湯川コンプレックスが分布する(紀州四万十帯団体研究グループ, 2012)。

研究域の湯川コンプレックスは、砂岩を主体とし、砂岩と頁岩の細互層(単層厚数mm～数cm)を部分的に挟在する。岩相としては、破断相と整然相からなり、異地性ブロックは含まれない。

本研究域の花園コンプレックスは、黒色泥岩基質

で砂岩ブロックを含むブロックインマトリックス構造を持つ岩相、砂岩と頁岩の破断相が卓越し部分的に赤色泥岩ブロックを含む。しばしば基質中に墨流し状の淡緑色凝灰岩を挟在する。

本研究域の梁瀬断層は顕著な破碎帯を伴わず、断層沿いの湯川コンプレックス側に、淡緑色泥岩や泥質基質中に赤色泥岩ブロックを特徴的に含む岩相境界として認識できる。

湯川コンプレックス中に観察される地質的不連続面として断層、破断相中のせん断面、砂岩と頁岩の層理、頁岩や泥岩中のフォリエーション等がある。断層は、幅数cmから最大で2.5mのカタクレサイトからなる断層で、幅数cmのガウジを伴うものも少数含まれる。破断相中のせん断面は、破碎帯を伴わないシャープなせん断面で、露頭規模以上で連続性が認められる不連続面である。断層やせん断面には、しばしば、濁沸石を含む白色脈が発達している。

Fig. 5に、本研究域の湯川コンプレックス中に観察される地質的不連続面の方向分布を示す。本研究域の湯川コンプレックス中には東西から東北東-西南西方向の開いた褶曲構造が複数存在し(Fig. 4)、褶曲軸が西側にプランジしているため、層理面の極が全体としてこの褶曲軸に直交する大円沿いに分布している。

Fig. 6に湯川コンプレックス中で白脈の認められた露頭位置を、Table 2にX線回折分析により検出された脈中の鉱物を示す。分析した白色脈中には、濁沸

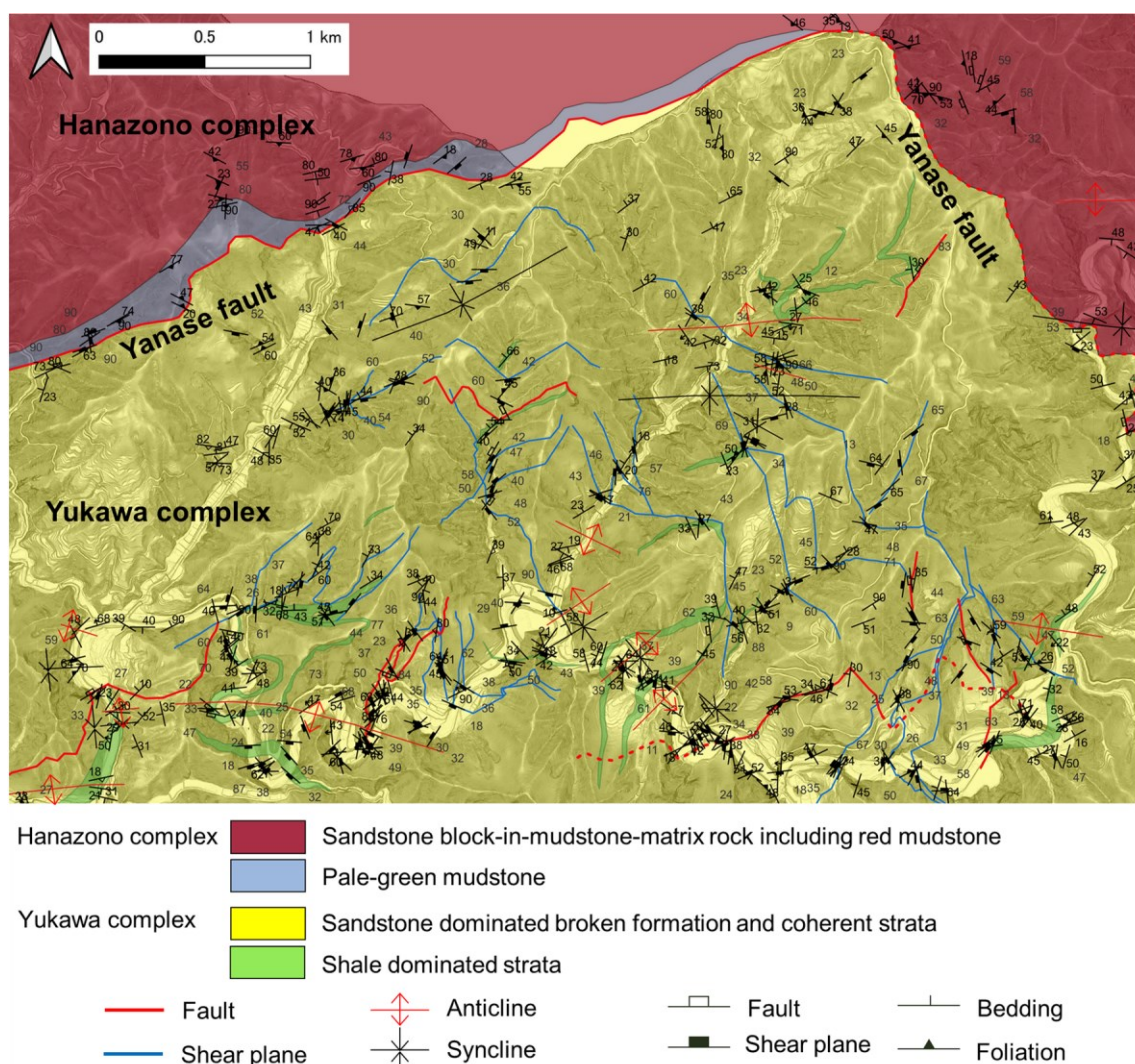


Fig. 4 Geologic map obtained by this study.

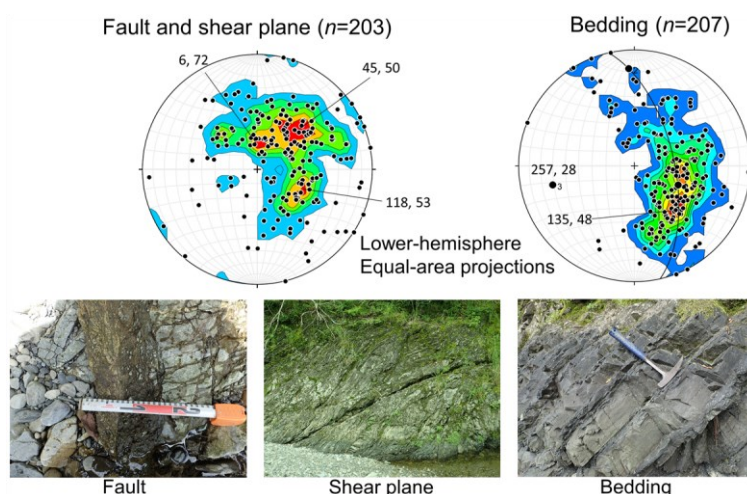


Fig. 5 Stereographic projections of faults and bedding. Lower-hemisphere equal-area projections. Colored areas show the contour map; contour interval is 1%, and counting area is 1% of net area. n is the number of measurements. The best fit great circle and its pole are drawn in the stereographic projection of bedding.

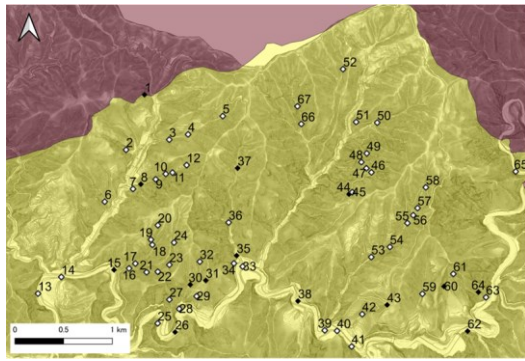


Fig. 6 Location map of outcrops including white veins. Black diamond shows the point X-ray diffraction analysis was performed.

石、石英、方解石、斜長石が含まれ、イライト、緑泥石も少量含まれていた。Fig. 7に、白色脈の偏光顕微鏡写真を示す。濁沸石は、クロスニコル画像中で矢印で示した淡黄色を呈する部分である。

3.3 地形

有田川の二川ダムより上流域について、有田川とその主な支流の河床縦断面を作成し遷急点を抽出した。Fig. 8に、二川ダム上流域について有田川とその主な支流の河床縦断面を示す。その結果、有田川本流の標高760m付近に明瞭な遷急点が存在し、周辺の支流にも標高700mから標高760m間に遷急点が認められた。この他、有田川本流の標高300mから500m間にも複数の副次的な遷急点が認められる。

QGISのラスター解析によりTerrain ruggedness index (TRI)を求め目視により遷急線を抽出した。TRIは、中央のセルと隣接したセルの比高の平均値である。Fig. 9に、抽出した遷急線の分布と、重力変形斜面、有田川災害以後の新しい崩壊地、有田川災害以前の古い崩壊地形を併せて示す。その結果、高野山

Table 2 List of minerals in white veins detected by X-ray diffraction analysis in the study area.

No	Laumontite	Quartz	Calcite	Illite	Chlorite	Plagioclase
1	+++	+++	+	+		+
8	+++	+++	+	+	+	+
15	+++	+++	++		+	
26	+++	+++	+	+	+	+
30	+++	+++	++	+	+	+
31	+++	+++	++	+	+	+
35	+++	+++	++	+	+	+
37	+++	+++	++	+	+	+
38	+++	+++	++	+	+	+
43	+++	+++	++	+	+	+
44	+	+++	+	+	+	+
60	+++	+++	++	+	+	+
62	+++	+++	++	+	+	+
64	+++	+++	++	+	+	+

Location of samples refers to Fig. 6.

を中心とする有田川最上流域には連続した緩斜面が存在し、その周囲を限る遷急線は、河川沿いでは標高700mから760mの遷急点に対応していた。これより下流域の花園梁瀬 (A) までの流域では、河川侵食により緩斜面が侵食され、遷急線が溪流沿いに不規則に分布している。有田川上流域の重力変形斜面の分布は、幾つかの集中域が認められ、花園久木周辺 (B)、花園梁瀬から上横谷 (C)、水ヶ峰周辺 (D) である。これらの重力変形斜面や崩壊は、羽田野 (1968)、平石ら (2013)、Tsou et al. (2017) が指摘したように遷急線を跨ぐものが多い。

3.4 崩壊毎の地質・地形学的素因

(1) 金剛寺

Fig. 10に崩壊周辺の地質図、地質断面図、地質的不連続面のステレオ投影図および露頭写真を示す。

崩壊斜面の中央には南西に74°傾斜した幅50cmのカタクレーサイトを伴う高角断層 (Fig. 10中の露頭写真a)、西側の一部に南東に37°傾斜した平滑面 (Fig. 10中の露頭写真b)、中央から東側に南西に30°から40°傾斜した平滑面 (Fig. 10中の露頭写真c) が分布し

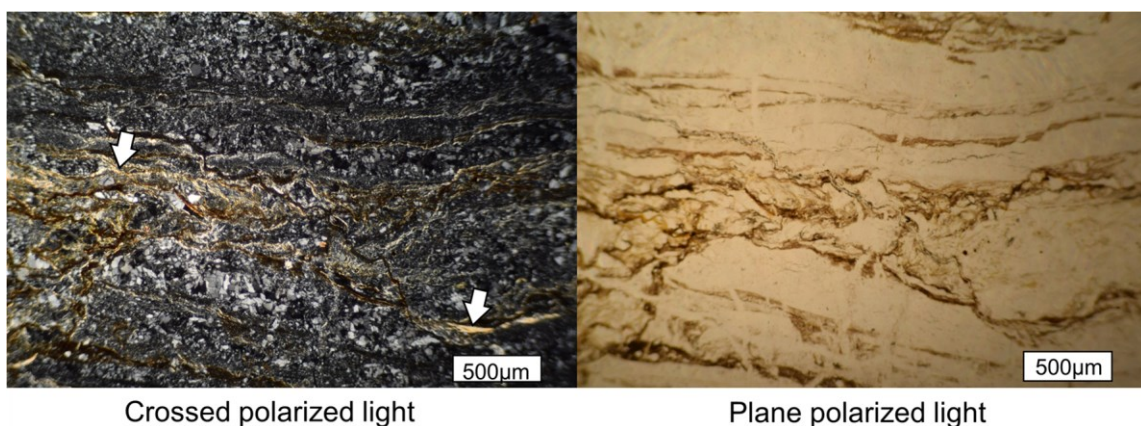


Fig. 7 Photomicrograph of sandstone with white veins. The pale-yellow portion under crossed polarized light (white arrow) is laumontite.

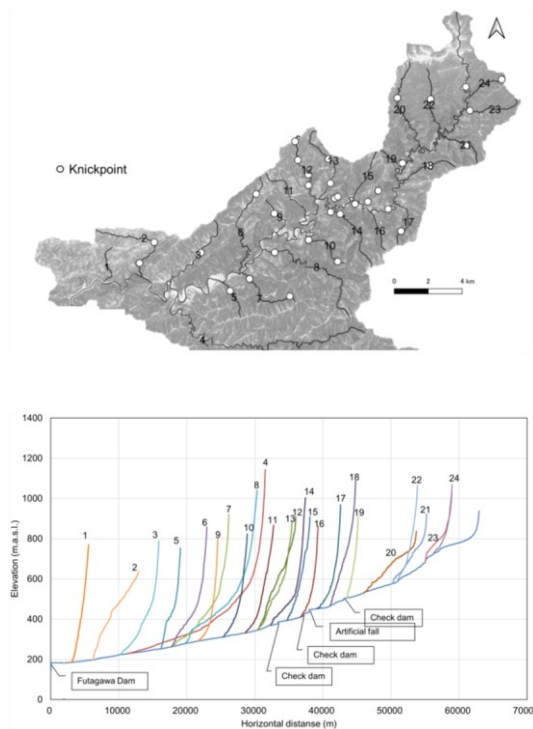


Fig. 8 Longitudinal profiles of the Arida River and its tributaries above the Futagawa Dam.

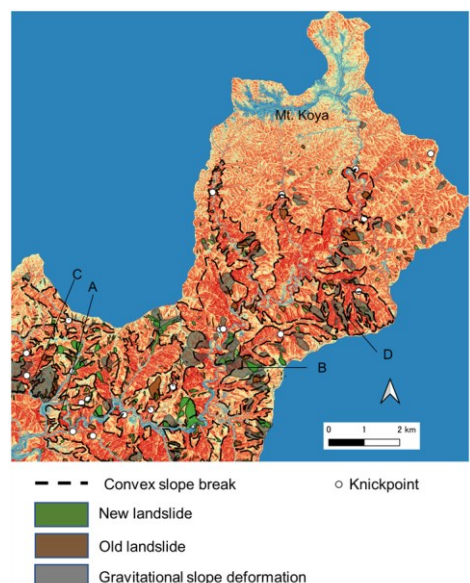


Fig. 9 Map showing the distribution of convex slope breaks, knickpoints, landslides and gravitational slope deformation. The terrain ruggedness index (TRI) is defined as the mean difference between a central pixel and its surrounding cells. The meaning of A – D characters refers to the text.

ていた。崩壊地内の南東側に湾曲したシャープなせん断面を境して上盤が砂岩ブロック、下盤が頁岩優勢な細粒砂岩頁岩細互層からなる露頭が観察された (Fig. 10中の露頭写真d)。bとcの平滑面は、dの上盤の砂岩ブロックが崩落して形成されたものと推定される。これらの平滑面は、破断相中の連続したせん断面を構成していたものと思われる。また、東側方崖には走向N22°W、傾斜59°のせん断面が存在し、その面上に擦痕 (方位S10°W、プランジ41°S) が観察された。崩壊斜面内には、濁沸石を含む白色脈が発達した砂岩転石が複数観察された。

以上の観察結果より、崩壊面は複数の地質的不連続面からなるくさび破壊であったと推定される。地形的特徴として、崩壊は遷急線を跨ぐように発生した (Fig. 9)。また、崩壊発生前には斜面末端の一部が有田川の攻撃斜面に位置していた。藤田・諏訪 (2006) の記載にあるように、現在の有田川の河道は災害後に天然ダムの排水を行うために人為的に掘削されたもので、災害以前は現在の河道よりも北側を蛇行しながら流下していた。

(2) 北寺

Fig. 11に崩壊周辺の地質図、地質断面図、地質的不連続面のステレオ投影図および露頭写真を示す。

崩壊地内および崩壊地の西側の溪流沿いの調査より、崩壊面を構成していたのは、南西に23°傾斜した低角断層と、南西に36°傾斜したせん断面であったと推定される。前者の断層は幅30cmのカタクレーサイトからなり、濁沸石を含む白色脈が発達しており、ハンマーの打撃により容易に碎ける (Fig. 11中の露頭写真b, d)。東側方崖には、南西に53°~60°傾斜した平行な数枚のせん断面が露出し、擦痕 (方位S5°E~S4°W、プランジ43°S) が残されていた。滑落崖には、縦方向の節理が発達した砂岩ブロックが露出していた (Fig. 11中の露頭写真a)。

崩壊斜面は、遷急線が斜面を横断している (Fig. 9)。また、崩壊斜面西側下部は有田川の攻撃斜面に位置していた。

(3) 有中

Fig. 12に崩壊周辺の地質図、地質断面図および露頭写真を示す。

この付近では3箇所の大規模崩壊が発生した。この内の2箇所は南東傾斜の梁瀬断層沿いに位置していた。他の1箇所は、湯川コンプレックス中の砂岩優勢な破断層中で発生した。前者の内1箇所は梁瀬断層沿いに主に湯川コンプレックスの砂岩が崩壊したもので (Fig. 12中のA)、他の1箇所は、尾根付近に分布する花園コンプレックスの強風化した泥岩が崩壊し

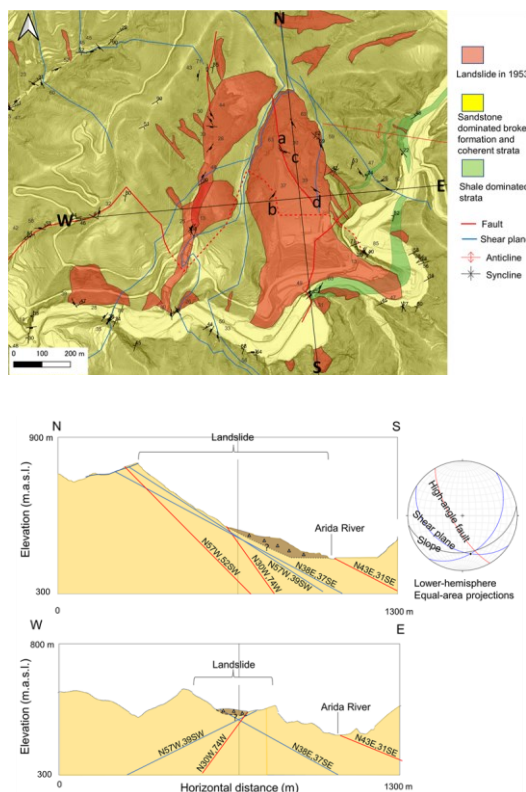


Fig. 10 Geologic map, geologic cross sections, stereographic projection of discontinuities, and photographs of outcrops of the Kongouji landslide.

たものであった (Fig. 12中のB, 露頭写真a) . 崩壊斜面下部には細粒化した泥岩岩屑からなる崖錐が堆積していた (露頭写真b) . 後者の崩壊は、破断相中のせん断面または層理面が流れ盤をなし、これらの不連続面沿いに崩壊が発生したと推定される (Fig. 12中のC, 露頭写真d) .

地形的には、3箇所の内2箇所は遷急線を跨ぐ崩壊であり (Fig. 12中のA, C) , 1箇所は小崖が崩壊斜面上部に認められ、崩壊前に重力斜面変形が生じていたと推定される (Fig. 12中のC) .

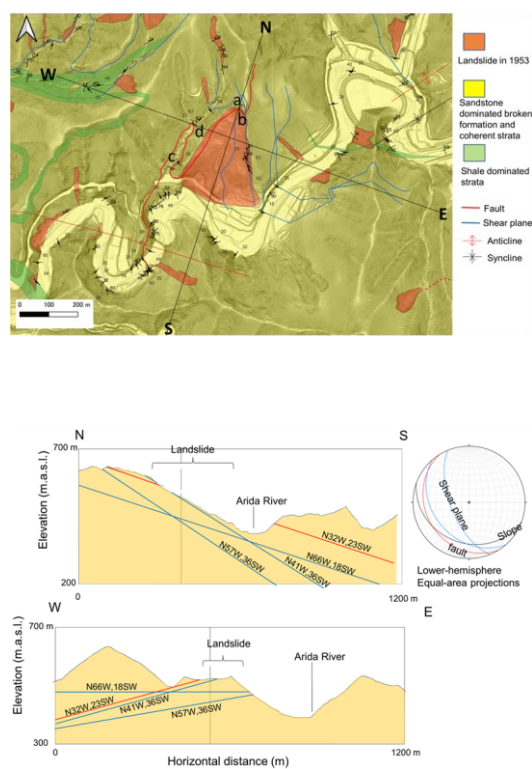


Fig. 11 Geologic map, geologic cross sections, stereographic projection of discontinuities, and photographs of outcrops of the Kitadera landslide.

(4) 高野谷

Fig. 13に崩壊周辺の地質図、地質断面図および露頭写真を示す。

露頭aでは、泥岩と強風化粘土化した泥岩との境界面上に削痕 (方位S43°W, プランジ12°SW) が認められた。露頭bでは、上位に全体に黄褐色から橙褐色を呈し径数mmから数cmの強風化砂岩礫を含む崩積土、その下位はシャープな境界面を境して劈開の発達した暗灰色泥岩が分布し、重力性の褶曲構造が一部に認められる。露頭cでは、全体に橙褐色を呈

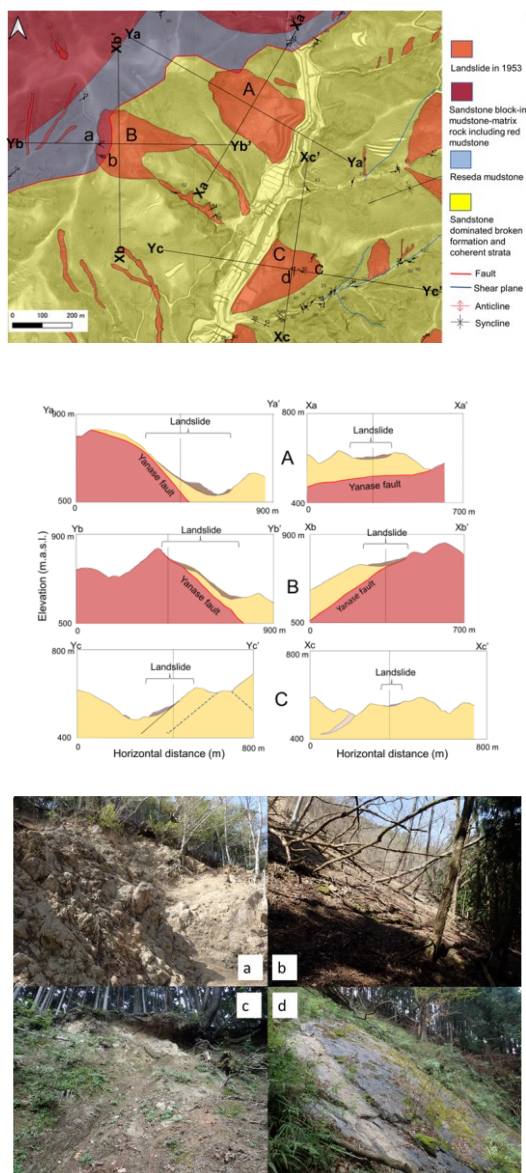


Fig. 12 Geologic map, geologic cross sections, and photographs of outcrops of Arinaka landslides.

し強風化した泥岩優勢な砂岩ブロックを含む破断層からなり、厚さ10cmの淡黄褐色の粘土層を挟在していた。崩壊斜面上部に重力斜面変形による小崖やしわのような構造が認められる。

高野谷の崩壊は、厚い強風化岩が分布する尾根付近で発生した。地質図に示すように湾曲した梁瀬断層が全体として南西方向に傾斜し、断層上盤をなす強風化した湯川コンプレックスが、断層面をすべり面として崩壊したものと推定される。すべり面の傾斜角が約12°と有田川水害で発生した他の大規模崩壊にくらべると低角である。

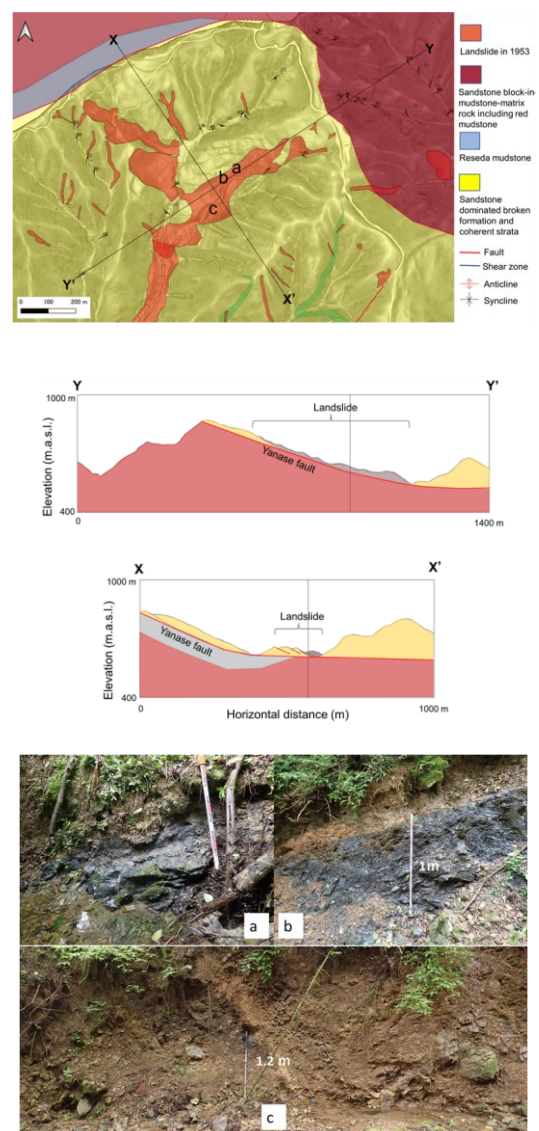


Fig. 13 Geologic map, geologic cross sections, and photographs of outcrops of the Koyadani landslide.

4. 議論

4.1 湯川コンプレックス中の断層

湯川コンプレックス中の断層は、カタクレーサイトからなる断層、破砕帯を伴わないせん断面がほとんどを占め、幅数cmのガウジを伴う断層が数条含まれていた。熊野川上流沿いの調査から、美山コンプレックスと花園コンプレックスの断層の約60%が非固結断層岩からなる断層で、残りの約40%がカタクレーサイトからなる断層と破砕帯を伴わない断層から構成されていた (Arai and Chigira, 2019)。

湯川コンプレックスの断層面は、N45°W, 40°SE, N84°W, 18°S, N28°E, 37°NWの3方向の卓越方向が存在する (Fig. 5)。一方、美山コンプレックスと花園

コンプレックスの断層面は、非固結の断層岩からなる断層では南西傾斜の断層が大部分を占め、最頻値はN38°E, 41°NW, カタクレーサイトからなる断層では、ばらつきが大きいものの走向NW-SE, 傾斜58°NE, 走向NE-SW, 傾斜54°NWの2方向の卓越方向が認められた (Arai and Chigira, 2019).

湯川コンプレックスの南西傾斜から南東傾斜の断層系は、熊野川上流域の美山コンプレックスと花園コンプレックスにはない特徴である。梁瀬断層も場所により傾斜方向が変化するが、研究域では南西から南東へ緩く傾斜している。金剛寺、北寺、有中Aと高野谷の崩壊が南東から南西傾斜の斜面で発生したのは、崩壊面を構成する断層等の地質的不連続面またはくさび体がこれらの斜面で、平行盤から柱目盤の流れ盤を構成していたためと推定される。

4.2 濁沸石を含む白色脈と大規模崩壊

前節で記したように研究域内の断層はカタクレーサイトを伴う固結断層からなり、ガウジや断層角礫等の非固結断層岩からなる断層はほとんど認められなかった。一方、熊野川上流域の花園コンプレックスや美山コンプレックスからなる山地では、粘土質の厚い破碎帯を伴う衝上断層沿いに深層崩壊が発生している事例が認められた (Arai and Chigira, 2019)。カタクレーサイトからなる固結した断層は、非固結の破碎帯を伴う断層にくらべて、せん断強度が相対的に大きく、通常は深層崩壊の弱面になりにくいと考えられる。

調査の結果、研究域の湯川コンプレックス中の砂岩優勢な破断相中には、断層やせん断面に沿い濁沸石を含む白色脈が広範囲に認められた。これらの露頭では、岩石が空隙に富み、ハンマーの軽打で容易に分離し砕けるものが含まれていた。羽田野(1968)によると、中沢圭二が湯川コンプレックス北部で濁沸石脈を発見し、濁沸石の脱水作用による岩石の膠着力弱化と崩壊発生との関連性を指摘したとある。菊池 (2021) は、2018年の宇和島で発生した斜面崩壊を調査し、濁沸石脈を含む砂岩の化学・物理的風化系列について論じた。四万十帯の仏像構造線に近い堆積岩中には濁沸石脈が発達している事例 (日本地質学会, 2016; 原ら, 2014) があるが、その詳細についてはさらなる研究が必要である。濁沸石は、乾燥湿潤の繰り返しにより1/8の結晶水が増減し、この際約1.5%の体積変化や粉状化が生じることが知られている (有泉, 1979)。

季節的な地下水面の昇降により、濁沸石脈が発達した断層が乾燥湿潤状態を繰り返し、次第にせん断強度が弱化し、豪雨時に深層崩壊の弱面として機能したと推定される。

4.3 梁瀬断層と大規模崩壊

詳細な地質調査を行った領域 (Fig. 2参照) の梁瀬断層沿いでは、有田川水害において有中A、有中B、高野谷の崩壊が発生した。また、本論文では詳述していないが現地調査の結果、久木谷の崩壊 (Fig. 1中のH, Fig. 3中のH地点) も梁瀬断層沿いの湯川コンプレックス側で発生したと推定される。和歌山県砂防課 (1994) は「逆転構造」沿いに崩壊地が分布していることを指摘したが、この逆転構造は梁瀬断層に相当するものと思われる。

梁瀬断層は、紀州四万十帯団体研究グループ (1991) によって命名された断層で、北側の花園コンプレックスと南側の湯川コンプレックスを境する断層である。紀州四万十帯団体研究グループ (1991) によると、この断層は東西走向で50°~70°南に傾斜する正断層であり、断層露頭は下横谷の北方で観察され、厚さ20cmの断層粘土と幅5m程度のせん断帯を伴うとある。本研究域内では、有田川沿いで幅40cm~50cmのカタクレーサイトからなる断層露頭を2箇所を確認したが、その他の場所では岩相境界として認識されるが顕著な破碎帯は認められなかった。

断層の上盤をなす花園コンプレックスは、すでに記したように黒色泥岩基質で砂岩ブロックを含むブロックインマトリックス構造を持つ岩相と砂岩と頁岩の破断相が卓越し、高野谷の崩壊より西側では梁瀬断層沿いに厚さ約60mの淡緑褐色泥岩が分布する。断層の下盤をなす湯川コンプレックスは、砂岩を主体とし頁岩を一部挟在する破断相、整然相からなる。砂岩中には層理面に直交する割れ目や不規則な割れ目が含まれ断層下盤の花園コンプレックスにくらべ透水性が高いと推測される。

有中Aと高野谷の崩壊は、流れ盤をなす梁瀬断層沿いに、主に湯川コンプレックスの砂岩優勢層が崩壊し、有中Bは尾根沿いに分布する花園コンプレックスの強風化泥岩が崩壊したものである。一方、久木谷の崩壊メカニズムであるが、近畿各大学連合水害科学調査団 (1953) によると、7月18日夜明けに斜面中腹から水が噴出して崩れ、その後、7月20日午後にかけて斜面上部へ崩壊が順次拡大し、8月9日に最後の崩壊が発生している。本研究の調査結果と合わせて考察すると、難透水性の花園コンプレックスと比較的透水性の高い湯川コンプレックスの境界断層である梁瀬断層上部に地下水流が集中し、まず、溪流沿いの一部が崩壊し、その後、湯川コンプレックスの風化層が順次上部へ崩壊することにより最終的にスプーン状の崩壊形態をとったと推定される。

4.4 重力斜面変形と大規模崩壊

羽田野 (1968) は、昭和42年7月の現地調査において、箕峠付近の露頭観察スケッチを示し、破碎された岩盤斜面上部に累積変位量約10m、比高約1mの小崖を記している。Chigira et al. (2013) は、2011年に紀伊山地で発生した豪雨による深層崩壊について、航空レーザ測量により得られた崩壊前後の詳細地形データを分析し、大規模崩壊が発生した斜面では事前に比高が2mから5mの小崖や線状凹地が形成されていたことを報告した。

北寺の崩壊では、地元出身の岡田行夫氏の証言として、崩壊前に斜面上部に長さ約30mのひび割れが発生していたことが報告されている (藤田・諏訪, 2006)。今回の現地調査では、有中Cと久木谷の崩壊斜面上部に比高数mの眉状の小崖が認められた。本研究においても航空レーザ測量により得られた詳細地形データ判読により、研究域周辺に広範囲に小崖の存在が確認された。おそらく、有田川水害で発生した深層崩壊でも、事前に重力斜面変形による眉型の小崖等が形成されていたものと思われる。

今後は、今回得られた地質・地形学的素因に加えて、重力斜面変形により生じたと考えられる小崖等の微地形データを総合的に評価し、深層崩壊発生の可能性がある斜面を効果的に抽出できるとと思われる。Fig. 14に、試みに作成した崩壊危険斜面分布を示す。

5. 結論

1953年に梅雨前線に伴う豪雨を誘因として発生した有田川水害の深層崩壊について、その地質・地形学的素因を調べた結果、以下の事項が明らかになった。

1. 湯川コンプレックス中には連続性を有する地質的不連続面として、カタクレーサイトからなる断層、破断相中のせん断面が存在する。これらの不連続面は南西から南東傾斜、北西傾斜で低角をなすものが多い。金剛寺や北寺の崩壊は、これらの不連続面からなるくさび破壊または一面すべりとして発生した。
2. 本研究域の湯川コンプレックス中には濁沸石脈が断層やせん断面沿いおよび砂岩中に広範囲に分布する。濁沸石脈が発達したカタクレーサイトからなる断層やせん断面は、地下水面の昇降に伴う乾湿繰り返しにより劣化し、せん断強度の低下をもたらし、崩壊の素因となったと推定される。
3. 梁瀬断層沿いでは、上盤の砂岩優勢な湯川コンプレックスと、下盤の泥岩や泥質基質が優勢な岩相からなる花園コンプレックスが、水理地質学的な不連続面を形成し、豪雨に伴い上盤側の湯川コンプレ

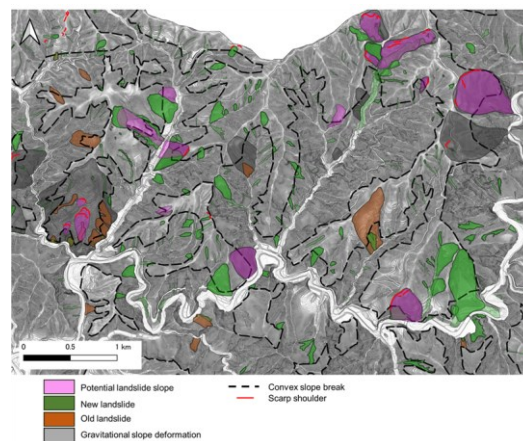


Fig. 14 Map showing the distribution of potential landslide slopes, landslides, gravitational slope deformation, scarp shoulders, and convex slope breaks.

ックスの岩盤に大規模崩壊が発生した (有中A, 高野谷)。

4. 有田川流域には遷急線が不規則に分布し、遷急線より上部の尾根沿いには厚い強風化層が存在する。これらの遷急線を跨ぐように複数の大規模崩壊が発生した (金剛寺, 北寺, 有中AとC)。さらに、穿入蛇行しながら流下する有田川の攻撃斜面では、斜面下部が河川侵食により急斜面をなし斜面形状が凸型となって不安定斜面を形成し、大規模崩壊 (金剛寺, 北寺) の素因になった。

謝 辞

本研究は公益財団法人深田地質研究所の2021年度研究助成を受けて行った。本研究を行うにあたり、和歌山県かつらぎ町花園支所から芝純一氏や坪井初太郎氏が撮影した写真アルバムを閲覧、一部掲載させていただいた。国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所には有田川上流域の1m DEMデータを提供していただいた。空中写真判読では、ステレオフォトメーカー ProVer 6.16 ((C) むっちゃん & tomo & Aiくん & imaohji) を使用した。本論文中のステレオネット図はRichard W. Allmendinger氏のStereonet8により作図した。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 有泉 昌 (1979) : コンクリート骨材の問題点, 粘土科学, 19 (2), pp. 41-55.
菊池美帆 (2021) : 変質作用を受けた砂岩の連鎖的風

- 化過程と風化体の水文地質構造：豪雨により斜面崩壊の群発した四国宇和島北部地域の例，京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地球物理学分野修士論文（未刊行）。
- 紀州四万十帯団体研究グループ（1991）：和歌山県中東部の日高川層群湯川累層・美山累層—紀伊半島四万十累帯の研究（その12）—，*地球科学*, 45, pp. 19-38.
- 紀州四万十帯団体研究グループ（2012）：湯川付加コンプレックスの提唱，*地学団体研究会専報*, 59, pp. 5-41.
- 近畿各大学連合水害科学調査団（1953）：和歌山県水害報告書，研文社，50 pp.
- 谷 勲（1975）：山地の荒廃と土砂の生産・流出(4) —有田川流域，南山城地域の災害—，*新砂防*, 96, pp. 30-39.
- 日本地質学会（2016）：日本地方地質誌7 四国地方，朝倉出版，679 pp.
- 羽田野 誠一（1968）：地すべり性大規模崩壊と地形条件—和歌山県有田川上流の事例—，第5回災害科学シンポジウム，pp. 24-25.
- 原 英俊・植木岳雪・辻野泰之（2014）：北川地域の地質．地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)，産総研地質調査総合センター，pp. 72.
- 平石成美・千木良雅弘・松四雄騎（2013）：紀伊山地北部天川地域に分布する遷急線，*京都大学防災研究所年報*, 56B, pp. 731-740.
- 平野昌繁・大森博雄（1989）：土砂移動現象における規模・頻度分布特性とその地形学的意義，*地形*, 10(2), pp. 95-111.
- 藤田 崇・諏訪 浩（2006）：昭和28年有田川水害，*古今書院*, 224 pp.
- 和歌山県砂防課（1994）：昭和28年7月有田川災害のその後，*砂防学会誌*, 47(4), pp. 49-54.
- Arai N. and Chigira M. (2019): Distribution of gravitational slope deformation and deep-seated landslides controlled by thrust faults in the Shimanto accretionary complex, *Engineering Geology*, 260, 105236.
- Chigira, M., Tsou, C.Y., Matsushi, Y., Hiraishi, N., and Matsuzawa, M. (2013): Topographic precursors and geological structures of deep-seated catastrophic landslides caused by Typhoon Talas, *Geomorphology*, 201, pp. 479–493.
- Tsou, C.Y., Chigira, M., Matsushi, Y., Hiraishi, N., and Arai, N. (2017): Coupling fluvial processes and landslide distribution toward geomorphological hazard assessment: a case study in a transient landscape in Japan, *Landslides*, 14, pp. 1901–1914.

（論文受理日：2022年8月31日）