

ドローンが捉えた北山峡の岩壁と地質

木村克己・金子 誠

深田地質研究所

Rock cliff and geology of Kitayama Gorge captured by drone photography

KIMURA Katsumi, KANEKO Makoto

Fukada Geological Institute

要旨：南紀熊野ジオパークサイトがある和歌山県北山村小松付近の北山峡を調査対象として、ドローン撮影で捉えた地形モデルと現地写真を用いて峡谷の切り立った岩壁と奇岩を表現し、その差別侵食の特徴と地質的要因を解説した。ドローン撮影には DJI 社製 DJI Air 2S を利用し、0.035 km² の範囲で捉えた 94 枚の写真画像を使用して 3D 画像モデルとオルソ画像モデルを作成した。北山峡の岩石は四万十帯付加体の竜神層とそれを不整合に覆う熊野層群から構成されるが、大峰花崗岩などの珩長質火成作用による接触熱変成・変質作用を受けて硬く塊状な岩盤に変化し、ほぼ垂直で直交する節理と断層による構造変形を受けている。そのため、硬い岩盤も節理・断層沿いに差別的に侵食され、鋭角な面で画された岩壁や岩峰が形成されたと考えられる。また、高い岩壁の露出は、峡谷で水位が増した洪水流によって岩壁表面を覆う風化層や植生が侵食され刷新されてきたことによる。

キーワード：ドローン撮影、北山峡、差別侵食地形、四万十帯、熊野層群、直交節理

Abstract: We conducted a study on the steep cliffs and peculiar rocks of Kitayama Gorge in the Kii Peninsula, focusing on the area near Komatsu in Kitayama Village, Wakayama Prefecture, where the Nanki Kumano Geopark site is located. We introduced these features with terrain models captured by drones and on-site photos, and explained the geological background that led to the formation of these differentially eroded landforms. We used the DJI Air 2S for aerial photography with a drone. 3D image models and ortho-image models were generated using 94 photo images, covering an area of 0.035 km². The geological background is as follows; the bedrocks of Kitayama Gorge are composed of the Shimanto accretionary complex unconformably overlain by the forearc basin sediment of the Kumano Group. These rocks were affected by contact thermal metamorphism and alteration due to Middle Miocene silicic igneous activity, including the Omine Granite. In addition, they were structurally deformed by steeply dipping orthogonal joints and other faults. After that, the bedrocks have changed to massive hard rocks, fractured by steeply dipping orthogonal fractures. The steep cliffs and peculiar rocks have been formed by discriminatory erosion along them. The fresh and wide exposure of high cliffs are due to the erosion of soil weathering layers and vegetation covering the cliff surface by flood flow. Floods have been noted not only for causing disasters but also for bringing blessings.

Keywords: drone photography, Kitayama Gorge, differentially eroded landform, Shimanto belt, Kumano Group, orthogonal joints

1. はじめに

清流として名高い北山川は、急峻な大峰山脈と大台ヶ原に源を発し、新宮市に注ぐ熊野川の支流である。その下流部は三重県、奈良県、和歌山県にまたがり、和歌山県北山村七色から奈良県十津川村玉置口までの約32kmにわたって、切り立った岩壁と奇岩の峡谷が魅惑的な造景を作り出している(図1)。この区間は、吉野熊野国立公園に指定され、総称して、北山峡(瀨峡とも呼ぶ)と呼ばれる。北山峡は狭義には、上流側の和歌山県北山村七色から三重県熊野市和田までの約28kmの区間を指し、奥瀨とも呼ばれる。その下流側は、和田から奈良県十津川村田戸までの約2kmを上瀨、田戸から和歌山県新宮市玉置口の区間約1.2kmを下瀨(瀨八丁)と呼んで区分されている(図1)。上流側の小森ダムより下流には河道をさえぎるダムはない。瀨八丁(図2A)は国の特別名勝・天然記念物に指定されている。

北山峡は、ダム建設が進められた1960年前半

まで熊野川河口の新宮までの「筏流し」の流路として活用されていた。北山村(2023)によれば、北山郷(北山村と下北山村にあたる)の木材(北山杉)は、伏見城や江戸城本丸で使われたという記録があり、その新宮までの搬出を担ったのが北山村の筏師であった。その歴史は600年以上になるという。現在、北山村では観光筏下りが行われており、オトノリに乗船場(図2B)、小松に下船場(図2C)がある。北山村は和歌山県でありながら周囲は奈良県と三重県に囲まれた日本で唯一の「飛び地」の村としても知られている。調査地域の北山村小松には、筏下りの下船場と休憩場の施設、南紀熊野ジオパークのサイト「小松の不整合」(南紀熊野ジオパーク推進協議会, 2023)として知られる熊野層群の不整合露頭がある(図3)。

2011年9月の台風12号豪雨では、深層崩壊、堰止めダム湖、土砂流出などの土砂災害が多数発生し、紀伊半島各地に甚大な被害をもたらした。2011年紀伊半島大水害とも呼ばれる。瀨峡ウォータージェット船が新宮市志古から瀨八丁まで運行

していたが、紀伊半島大水害を契機に北山川・熊野川に流入する土砂が年々増加した影響(近畿地方整備局, 2022)で、2021年1月で休止されている(熊野観光開発, 2023)。北山峡における紀伊半島大水害による洪水の痕跡にも注目したい。

本報告では、狭義の北山峡の区間で、和歌山県北山村小松付近の峡谷を対象に、北山峡の岩壁・奇岩を捉えたドローン画



図1 北山川下流部付近の地形図(背景図:国土地理院(2023)の標準地図).
地名・河川名を追記. 北山峡(広義):北山川の七色から玉置口間.



図2 A: 漣八丁(田戸)の深い水深の淵と峡谷の高さ20m程の岩壁. B: 北山村オトノリの北山峡. 手前の淵に筏下り乗船場がある(出典:北山村, 2023). C: 北山村小松の北山峡と段丘面上に整備された休憩所. 休憩所奥の広場に筏が積み河床には下船場がある. D: 北山峡の七色ダム直下に広がる谷底の岩床. 岩壁には摩崖仏が刻まれている. 矢印はドローンの操縦者を示す.

像と露頭写真を紹介し、その差別侵食地形を生み出した地質的特徴を解説する.

2. 地形・地質の概要

北山峡(広義)は、壮年期の紀伊山地の中でも、斜面勾配 40° 程のV字谷が発達する急峻な溪谷をなし、斜面は密な樹林に覆われているが、河床付近の高さ25m程は急崖をなして岩盤が露出し、樹林帯と河床付近の岩盤とは直線状の明瞭な境界線をなす(図2A, B). 北山峡の谷底は淵や瀬が交互し(図2B), 瀬では岩盤が広く河床に露出している(図2B, D). 礫州は蛇行河道の滑走斜面にわずかに認められるぐらいであり、堆砂よりも侵食優位の河道であることがわかる.

北山村小松の調査地から道路沿いに上流約400mの地点(図3)には、吊り橋の橋脚だけが残されている. この吊り橋は2011年の紀伊半島大水害で流出したという. 近畿の吊り橋(2023)によれば、橋脚には白のプレートに「昭和34年9月26日午後11時 台風15号(伊勢湾台風) 紀伊半島に上陸し東海地方を中心に近畿から東海の広範囲で大きな被害を及ぼした台風である。」と記され、その最高水位線が表示されている. その水位は、河床から24mの位置にある道路面より1m程高く、河床高は25mになる. 伊勢湾台風では浸水する規模の洪水流に持ちこたえた吊り橋も、紀伊半島大水害で流されたことになる. 北山峡の谷壁斜面の樹林帯の下限が25m付近で線状を呈し、河床付近に広く岩盤が露出している(図



図3 北山村小松付近の北山川河道（出典：Google の衛星画像）。白破線はシームレス地質図（産総研，2023）に基づく熊野層群基底の不整合面。図の位置は図1，図4を参照。

2A, B) のは、こうした大洪水により岩壁表面の植生・風化部が流出し、岩壁が刷新されることによるものと考えられる。

図4に北山川下流域の地質図を示す。北山川を境に、その西側には四万十帯の白亜紀後期の付加体堆積岩類の竜神層が主に分布し、東側には、それを傾斜不整合に覆う中新世中期の熊野層群とその上位に重なる熊野酸性岩類が分布している（図

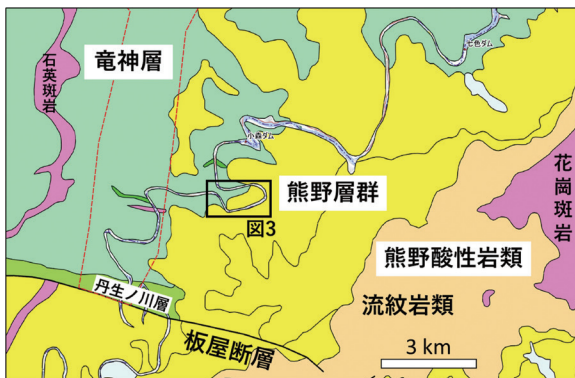


図4 北山川付近の地質概略図（出典：シームレス地質図（産総研，2023））。地層名・断層名を追記。赤破線：大峰花崗岩の接触変成帯の範囲（佐伯・古藤，1972）。

4)。なお、図4の地質図において北山村小松付近の熊野層群の不整合面の位置は不正確であり、図3に示すとおり、右岸では南側に約150mの位置にある。岩石は中期中新世の大峰花崗岩を含む珪長質火成作用による熱変成と部分的に珪化変質作用を受けている（細野ほか，2022）。中新世中期の大峰花崗岩による熱変成作用の範囲は、図4の赤破線の範囲（佐伯・古藤，1972）であるが、イライト結晶度を用いて検討された熱変成の範囲は調査対象地域も含めて北山川流域に広がっていることから、その熱源として、地下に伏在する深成岩体が推定されている（細野ほか，2022）。

北山峡に分布する岩石は、ハンマーでたたくとカンカンと響くまでに硬く、元の層理面や断層が癒着し砂岩と泥岩の硬さの違いも露頭面で目立たず、塊状の岩石様を呈することが多い。湊八丁の峡谷で衝立のごとく立ち並ぶ岩壁に認められるように、その面は直立し直交する2つの平面で画かれて、鋭い角をなす（図2A）。こうした面を

規制している構造は、NE-SW と NW-SE 走向でほぼ垂直な姿勢を示す節理とそれがせん断変形を受けた断層であることが最近の研究で指摘されている (木村ほか, 2023a, b).

3. ドローン撮影の手法と条件

ドローンによる空中写真撮影には、DJI 社製 DJI Air 2S を使用した。標準搭載カメラのスペックは、1 インチ CMOS センサー、20 MP (5472 × 3648) である。実際の飛行では、河川を挟む兩岸の対象範囲をなるべく一定間隔で、かつ多数の写真がそれぞれ重なり合うように手で操縦し、離陸地点からの対地高度約 70m のレベルに保ち、アングルを下向き 90° で計 100 枚程度撮影した。撮影中は晴れていたが対象は日陰にあったため、PL フィルタなどは使用していない。撮影時間は約 8 分であった。このほか、低角撮影、高度を下

げて岩盤部分の詳細撮影および動画撮影なども行い、モデル作成の参考とした。

3D モデリングには、写真測量データ処理ソフトウェア Agisoft Metashape Professional Version 2.0.2 を使用した。解析には 0.035 km² の範囲で 94 枚の写真画像を使用した。地上解像度は 1.98 cm/pix で、位置情報は標準搭載の GPS データをそのまま利用して、XYZ の合計誤差は 77.8 cm であった。数値標高モデルの解像度は 66.1 cm/pix、点群密度は 2.29 ポイント/m² であった。

3D モデリングでは、微地形を直感的に視覚化できること、測量結果をより精確に解析できるという利点があり、タイルモデルとオルソモザイク画像モデルを作成した。タイルモデルは、解像度の異なる格子状画像群 (タイル) に対し、スケールに応じて解像度を最適化し、撮影画像 (テクスチャー) を 3D モデルに貼付けて表示する 3D 画像モデルである。このモデルを特徴的な断層や直

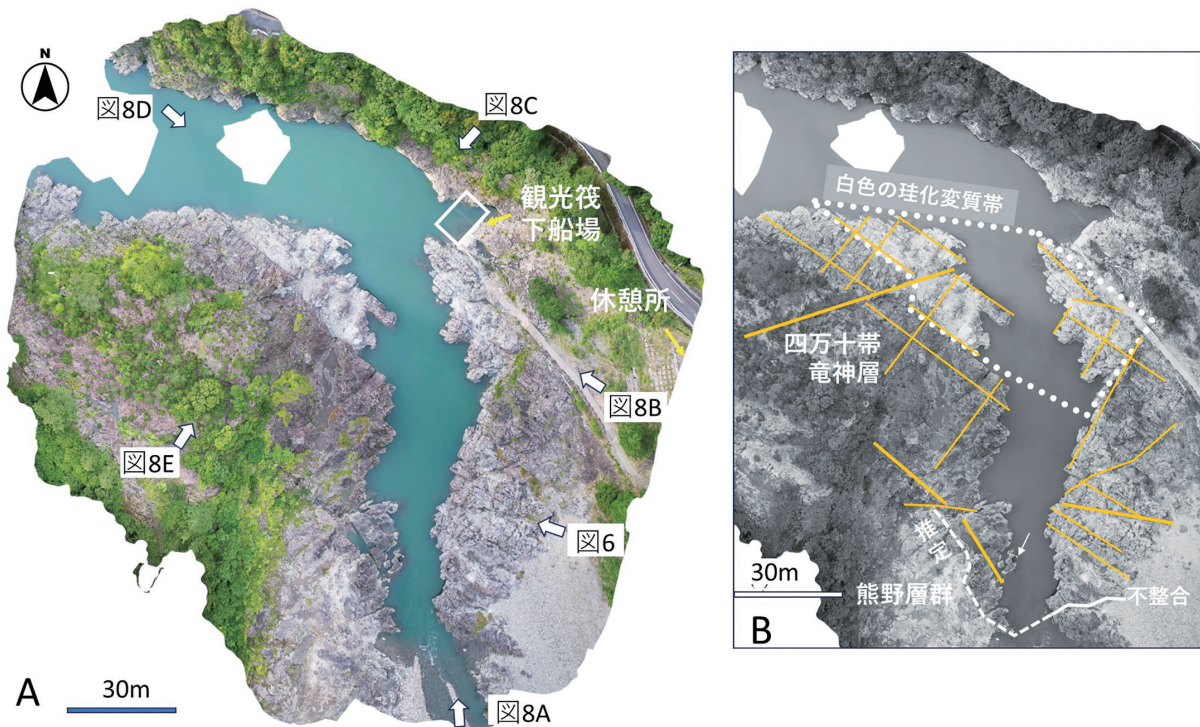


図5 北山村小松付近の北山峡の2次元オルソ画像モデル。A: 全体像。B: 直交節理 (赤細線), 断層 (赤太線) と白色珪化変質帯 (白点線), 熊野層群の不整合 (白実線・破線) を追記。矢印はポットホールを示す。

行節理系の格子状亀裂の特徴が見えやすい位置で画面キャプチャーした。オルソモザイク画像は、撮影した複数の写真を合成したモザイク画像を正射投影（オルソ）画像に補正した2次元オルソ画像モデルである。

4. 北山峡（狭義）の岩盤地形と地質

4.1 北山村小松のジオパークサイトの概要

和歌山県北山村小松のジオパークサイト付近は、北山川が大きく蛇行した場所で、左右両岸に岩石テラスが続く幅広い河床敷になっており、その下流側で西に屈曲し廊下状の峡谷に急変する（図3）。右岸の岩床に、南紀熊野ジオパークサイトの「小松の不整合」と称する熊野層群の不整合露頭と観光筏下りの下船場がある。また、河道の右岸に沿って発達する比高20m程の河成段丘上には広い駐車場を有する休憩所が整備されてお

り、「小松の不整合」の解説ボードや筏下り下船場への歩道が設置されている。

4.2 ドローンで捉えた岩盤地形と地質

図5はドローンで捉えた写真のオルソ画像モデルである。図5Aは小松ジオパークサイトの全体像を示し、図5Bには主な直交節理と断層、そして熊野層群の不整合のトレースを追記した。図6はドローンで捉えた1枚の写真である。図7は地上で撮影した露頭写真を示す。

下船場付近の竜神層の原岩は互層と混在岩（層理面の卓越走向E-W、傾斜75N）であるが、熱変成に加えて強い珪化変質を受けて全体に白色化し、それより下流側では互層が卓越し、暗灰色ないし灰色を呈する（図5A、図6、図7A、C）。白色珪化変質帯は幅約30mで、その南北の縁はNW-SEの節理で、東縁はNE-SWの節理でそれぞれ境されている。地層の層理面はほとんど癒着

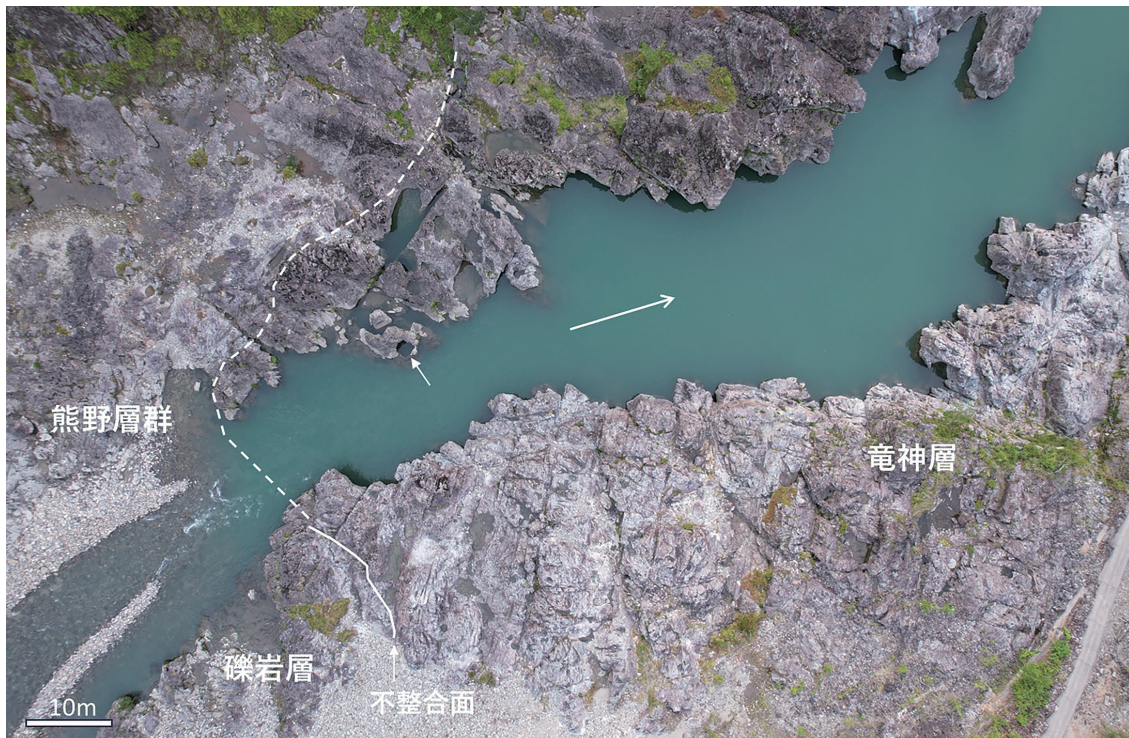


図6 ドローンで捉えた北山村小松の北山峡の写真。白線は熊野層群の不整合面のトレースで、破線は推定位置。撮影地点は図5Aを参照。矢印はポットホールを示す。



図7 北山村小松の北山峡の露頭写真。A：四万十帯竜神層と熊野層群の露岩，白線は図6参照。B：竜神層の互層を不整合に覆う熊野層群の礫岩，矢印は不整合境界を示す。C：筏下り下船場付近の峡谷をなす露岩。

しているが、NE-SW, NW-SE 方向の直交節理が発達しており、それらを切る断層が認められる(図5B, 図6)。図6の右岸の岩床に認められるように、節理もしばしばせん断変形を受けて、分断され方位が乱されている。節理はこのように断層で形状が不明瞭になっているところもあるが、直交節理で刻まれた格子状の亀裂が発達し、河道に面する岩の輪郭の多くは、それで縁取られてジグザグ形を呈する(図5A, 図6)。直交節理の平滑な面で画された岩体がところどころで上方に突き出て岩峰や岩壁をなす(図5A, 図7A, C)。その傾向は特に白色珪化変質帯で顕著である。こうした微地形は、直交節理およびそれに沿ったせん断帯が差別的に侵食されて形成された差別侵食地形であると考えられる。

岩床にはしばしばポットホールが認められる。ポットホールは川の流れてくぼみの中の礫が回転することでくぼみが大きくなり形成される。図5B, 図6の矢印で示すポットホールは一辺1.6mの矩形を呈する。輪郭は直交節理に平行である。

竜神層を覆う熊野層群の不整合の様子は図7A, Bの露頭写真で明瞭に捉えられている。竜神層は節理や断層が発達し線状に刻まれた凹凸に富んだ様相なのに対して、図6で捉えられている範囲の熊野層群は礫岩であり、全体に起伏が乏しい滑らかな地表面をなし、角のとれた白色の大礫が散在する。右岸に認められる不整合の露頭(図7A, B)において、熊野層群の礫岩は竜神層の砂岩泥岩互層に対して、東西走向、南傾斜 30° の不整合面を境にアバットしている。詳細は不明だが、この

露頭状況からは熊野層群基底の不整合面は凹地をなす谷状の地形をなしているものと推定される。なお、左岸側では露頭観察ができていないが、上記の特徴により不整合の位置を推定した。

図 8A-E はドローンによる一連の 3D 画像モデルで、上流から下流への航路順で岩盤の特徴を異なる角度から捉えている。撮影の方向で、顕在化する節理の方向や差別侵食地形の特徴が変化する。各写真の撮影地点と方向を図 5A に示す。

図 8A は熊野層群基底の不整合露頭が位置する岩石テラスと写真奥の河道右岸壁に発達する

NE-SW 方向の節理を捉えている。写真右側奥には筏下船場とそこにつながる歩道が認められる。図 8B では河道兩岸の岩床・岩壁に顕在化した NW-SE の節理面とそれ沿いに差別侵食されて生じた線状の溝、白色珪化変質帯に発達する岩峰群を捉えている。また、図 6 に示したポットホールに加えて、周囲の岩床には類似した大小の凹みが一様に分布している。図 8C は白色珪化変質帯に発達する岩峰群と隣接する非珪化帯との境界をなす岩壁面、それに直交する NE-SW の節理の発達を捉えている。岩峰は 1.5 ~ 2m の比高を呈



図 8 北山村小松付近の北山峡のドローン撮影による 3D 画像モデル (1). A-B の撮影位置は図 5A を参照.

ドローンが捉えた北山峡の岩壁と地質



図8 北山村小松付近の北山峡のドローン撮影による3D画像モデル(2). C-Eの撮影位置は図5Aを参照.

し、その斜面はしばしば表面が磨かれて湾曲している。図 8D では岩床上に直交節理を反映した格子状の様子が認められる。図 8E では河岸沿いに、直交節理面で岩床・岩壁が刻まれたジグザグの輪郭が捉えられている。

5. まとめ

和歌山県北山村小松付近の北山峡を対象として、切り立った岩壁と奇岩を捉えたドローン画像モデルと露頭写真を紹介した。岩壁と奇岩を生み出した地質史は、7000 万年前頃の四万十帯竜神層の付加体形成、それを不整合に覆う 1600 年から 1400 万年前の前弧域での熊野層群の堆積作用とそれに続く大峰花崗岩の貫入と接触熱変成・変質作用、そして、それ以後の節理と断層などの断裂系の形成というものであった。これらの地質条件の組み合わせが独特の峡谷の地形を作り出したものといえる。また、地形形成の営みは現在進行しているものであることも大事な点である。北山峡を捉えた写真では、河床から 25m の高さまで岩壁が露出しており、これはその位置まで水位が上昇した洪水流によって、岩壁表面を覆う風化層や植生が侵食され洗われたことを意味している。その結果、北山峡の切り立った大きな岩壁の様子が際立つことになる。自然の猛威は災害をもたらすとともに、それから恵みを受けることもできる。自然の営みを正しく理解することは、災害を避け、恵みを享受することにつながる。本拙論が自然の魅力ある造形を理解する一助になれば幸いである。

文献

細野日向子・竹村貴人・木村克己・菊地輝行
(2022) : 紀伊半島南部の四万十帯と熊野層群

の泥質岩におけるイライト結晶度と反発硬度の空間分布特性. 応用地質, **63**, 42–48.

木村克己・金子 誠・菊地輝行 (2023a) : 紀伊半島北山河流域の四万十帯に発達するリアメント群の構造特性. 日本地質学会第 130 年学術大会講演要旨集, G1-O-11.

木村克己・金子 誠・菊地輝行 (2023b) : 紀伊山地北山河流域の 2000 条を越すリアメント群とその組織地形. 日本応用地質学会令和 5 年度研究発表会講演論文集, 81–82.

近畿地方整備局 (2022) : 新宮川水系 (熊野川) 河川整備計画. 国土交通省, 86p.

近畿の吊り橋 (2023), 小松の吊橋, https://kintsuri.main.jp/302_komatsu.html, (2023 年 8 月 10 日参照).

北山村 (2023), 筏下り, 北山村観光センター, <https://www.vill.kitayama.wakayama.jp/kanko/ikada/rekishi.html>, (2023 年 8 月 10 日参照).

国土地理院 (2023), 地理院地図, <https://maps.gsi.go.jp/#13/33.889512/135.916672/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>, (2023 年 8 月 10 日参照).

熊野観光開発 (2023), 瀬峡ウォータージェット船事業の休止について, <https://kumanokanko.nankai-nanki.jp/news/jetship/>, (2023 年 8 月 10 日参照).

南紀熊野ジオパーク推進協議会 (2023), 小松の不整合, <https://nankikumanogeo.jp/geosite/komatsunofuseigo/>, (2023 年 8 月 10 日参照).

佐伯 宏・古藤次郎 (1972) : 紀伊半島中央部の地質および鉱床. 鉱山地質, **22**, 437–447.

産総研 (2023), 産業技術総合研究所地質調査総合センター地質図 Navi, <https://gbank.gsj.jp/geonavi/>, (2023 年 8 月 10 日参照).