内陸部における侵食速度の指標に関する検討：環流丘陵を伴う旧河谷を用いた研究

Study on index of erosion rate in inland mountains: Case study using old river valley around detached meander core

Abstract

安江健一^{*1} 高取亮一^{*2} 谷川晋一^{*3}
二ノ宮淳^{*4} 棚瀬充史^{*2} 古澤 明^{*5}
田力正好^{*6}

*Ken-ichi Yasue^{*1}, Ryoichi Takatori^{*2},
Shin-ichi Tanikawa^{*3}, Atusi Ninomiya^{*4},
Atsushi Tanase^{*2}, Akira Furusawa^{*5} and
Masayoshi Tajikara^{*6}*

2014年4月9日受付.

2014年12月5日受理.

^{*1} 日本原子力研究開発機構東濃地科学センター
Tono Geoscience Center, Japan Atomic Energy Agency, Gifu 509-5102, Japan.

^{*2} 株式会社地圏総合コンサルタント
Chi-ken Sogo Consultants Co., Ltd.

^{*3} JX 日鉱日石探開株式会社
JX Nippon Exploration and Development Co., Ltd.

^{*4} 住鉱資源開発株式会社
Sumiko Resources Exploration and Development Co., Ltd.

^{*5} 株式会社古澤地質
FURUSAWA Geological Survey Co., Ltd.

^{*6} 地震予知総合研究振興会地震調査研究センター
Earthquake Research Center, Association for the Development of Earthquake Prediction

Corresponding author: K. Yasue,
yasue.kenichi@jaea.go.jp

Estimating the rate of change in landforms and geological environments due to erosion is important when assessing the safety of the geological disposal of high-level radioactive waste in Japan. The aim of this study is to develop an index of erosion rates in inland mountains in Japan. We focused on “circular abandoned channels”, which are old river valleys around detached meander cores formed by the cut-off of incised meandering rivers. Circular abandoned channels can be useful for estimating incision rates because they occur at a range of elevations throughout the Japanese Islands. We undertook a case study to determine the incision rate using a circular abandoned channel in the middle reaches of the Kumanogawa (Totsukawa) River in the Kii Peninsula, where many circular abandoned channels have been identified. We obtained undisturbed core samples of old river channel deposits and angular gravel deposits that overlie the circular abandoned channel. The old river channel deposits have been emergent since at least MIS5 (i.e., 125 ka), based on an analysis of the soil color in angular gravel deposits. This interpretation is also supported by the composition of volcanic ash grains in the deposits. The incision rate, as calculated from this age and the difference in elevation between the abandoned and present channels, is less than about 0.9 m/ky. This study shows that analyses of circular abandoned channels can yield estimates of incision rates and potentially also uplift rates. More accurate estimates of incision rates require further studies of the dating and evolution of sediments that overlie circular abandoned channels.

Keywords: incision rate, detached meander core, emergence age, Tostukawa River, tephrochronology, soil color

はじめに

日本列島は、中緯度のプレート収束境界に位置することから、地殻変動が活発で降水量が多く、これらに起因する侵食が盛んである(藤原ほか, 2005)。侵食は、隆起と合わせり、地下深部から地表までの距離を減少させることから、高レベル放射性廃棄物の地層処分の実現可能性を考える上で重要な自然現象である。隆起・侵食量が文献から明らかでない場合は、概要調査あるいはそれ以降の調査において、処分施設および廃棄物が地表近くに接近する可能性を考慮しつつ、隆起・侵食量を推定することが重要となる(原子力安全委員会, 2002)。また、隆起・侵食に伴って、処分施設の深度や地形の起伏などが変化することによって、地下水の流動・水質、岩盤の地圧・地温の変化などへの影響も想定される(原子力

安全委員会, 2000)。このように、隆起・侵食は、処分場の地表への接近と地下水流動などの地質環境の変化を引き起こすと考えられ、サイト選定や安全評価などに際して十分に留意する必要がある。隆起・侵食は、緩慢かつ広域的な自然現象であることから、調査においては隆起・侵食の有無の把握ではなく、その量や速度の把握が重要となる。特に、侵食は、風化や溶蝕のような比較的恒常的に進行する現象だけではなく、低頻度で発生する地すべりや土石流のような偶発的なイベントによっても引き起こされる。加えて、氷期-間氷期サイクルのような約10万年周期の気候変動、あるいは数十万年から数百万年かけて進行する山地の成長など、様々な環境条件の変化に伴って侵食速度は増減する。日本列島における過去数万～数十万年間の侵食速度については、段丘が指標として用いられ、沿岸部では海成段丘、内陸部では河成段

Fig. 1. Schematic diagram showing the development of circular abandoned channels.

丘が指標となる(藤原ほか, 2005). 日本列島では, 海成段丘の多くが間氷期に形成されており, 海岸に沿って数十万年前以降に形成された海成段丘群が分布する(小池・町田編, 2001 など). 一方, 河成段丘は, 気候変動に由来する規則的かつ周期的な河床変動に, 速度がほぼ一定の隆起が加わって形成される(貝塚, 1969). しかし, 河川の上流や西南日本などの内陸部においては, 氷期の堆積段丘が良く発達していないため, それらの地域における河成段丘を指標とした隆起・侵食の研究例はほとんど無い. また, 豊島(1994)は, 西南日本に堆積段丘が見出されていない背景として, 河谷埋積を促す寒冷・乾燥の気候条件下に置かれた期間が東北日本に比べて短いこと, 急峻な河谷を有する西南日本外帯山地では埋谷性堆積物が侵食されやすいことが考えられるとしている.

そこで本研究では, 河川の上流や西南日本などの内陸部において, 過去数万〜数十万年間の侵食速度を推定する際の指標について検討した. 指標として着目した地形は, 山地や丘陵などを流下する河川沿いに分布する穿入蛇行の頸状部が切断されることで形成された環流丘陵と半環状の旧河道である(Fig. 1). 本研究では, このような環流丘陵を伴う旧河道地形を便宜的に“環流旧河谷”(circular abandoned channel)と呼ぶ. また, 穿入蛇行をなす河川において, 支流の一部が本流と接近して流れている場合, 合流点が上流に移ることで支流の旧河道と本流との間に形成される貫通丘陵も環流丘陵と類似の形状になる場合があり, 本研究ではその場合の旧河道も環流旧河谷と呼ぶ. この環流旧河谷の分布高度と離水年代がわかれば, その周辺の侵食速度(特に, 河川が河床を低下させる下刻速度)を算出することができる(Fig. 2). 鹿島(1982)は, 河道の蛇行の拡大とそれに引き続き生じた河道の切断によって形成されたと考えられる段丘を河道切断型段丘と呼び, 環流丘陵の旧河道(本研究の環流旧河谷)もこの型の段丘に含めた. また, この段丘の各面の高度分布は不規則であり, 河川の侵食作用の時代的变化によって形成された段丘のように系統的な面区分は難しいとした(鹿島, 1982). つまり, 環流旧河谷は, 氷期-間氷期サイクルに対応して形成されたとは限らないため, 分布高度が把握できても環流旧河谷の離水年代がわからなければ河川の侵食速度の推定は困難である. また, 穿入蛇行については, その成因や発達過程,

Fig. 2. Methodology of estimating incision rates using circular abandoned channels.

地質との関連を議論した研究は多い(今朝洞, 1952; 河内, 1976; 八木・池田, 1997; 中野・池田, 1999; 林・池田, 2000 など)が, 蛇行切断された後の環流旧河谷やその堆積物の研究は少なく, 離水年代などもほとんど研究されていない. 近年, 宇宙線生成核種を用いた蛇行切断の年代決定と下刻速度を算出した研究として, 紀伊半島の熊野川(十津川)上流域での事例が報告されており, 3.1 万年前以降, 4.4 ± 0.3 mm/yr の下刻速度が算出されている(松四ほか, 2012). このような蛇行切断の時期や環流旧河谷の離水時期に関する研究を蓄積することで, 主に河川の上流や西南日本などの内陸部に有効な侵食速度の算出手法を構築していくことが可能と考えられる.

本研究では, 環流旧河谷が侵食速度を推定する際の指標として, 河川の上流や西南日本などの内陸部において有効であるかどうかについて検討するため, 日本列島に分布する環流旧河谷を抽出し, 分布地域と比高の特徴について整理した. また, 環流旧河谷が分布する典型的な流域の一つである紀伊半島の熊野川(十津川)中流域を事例として, 環流旧河谷の堆積物を機械ボーリングにより採取し, 地質記載, 粒度分析, 土色測定, 火山灰分析を実施した. その結果から環流旧河谷の離水年代を明らかにするとともに, 下刻速度の推定を試みた. さらに, 環流旧河谷を用いた隆起速度の算出の可能性について考察した.

研究 方 法

1. 環流旧河谷の抽出

国土地理院発行 2 万 5 千分の 1 地形図を用いた地形判読を行い, 環流丘陵あるいは貫通丘陵とその周辺に旧河道の形状が確認できるものを環流旧河谷として抽出し, 日本列島における環流旧河谷の分布図を作成した. 抽出においては, より縮尺が大きい地形図や空中写真から判読可能な小規模なものは対象としていない. 環流旧河谷の形成要因は, 蛇行切断と河川争奪が考えられる. そのため, 旧河道に対して短絡して現河道が形成されたことが容易に確認できる地形と, 本流と支流がかつての合流点より上流で合流することで形成されたことが容易に確認できる地形を抽出した. 環流旧河谷と誤認しやすい地形には, 地すべり周辺の地形, 尾根の鞍部, 侵食小起伏面の残丘周辺の地形などがある. 地すべり周辺の地

形については、抽出した環流旧河谷と地すべり地形分布図データベース [URL1] を比較し、地すべりの疑いのある箇所は空中写真を用いて地形判読を行い、地すべりと判断された箇所を抽出結果から除外した。尾根の鞍部については、河道に隣接する尾根に形成された鞍部が平坦面をなして環流旧河谷と似た形態を示す場合があるが、河道の短絡や切断の前に連続していた河道が周辺に認められない地形は除外した。侵食小起伏面の残丘周辺の地形が環流旧河谷と似た形態を示す場合があるが、現河道との対比および河道の短絡が明瞭に確認できない地形は除外した。また、房総半島や東頸城丘陵などでは、耕作地の開拓や洪水対策などを目的として、蛇行河川の流路を人工的な掘削により短絡して直線化する瀬替え、あるいは川廻しと呼ばれる人工的な掘削が行われている(式, 2009)。これらの地域においては、河川の短絡部がトンネルまたは急崖となっているもの、現河道と旧河谷の境界に築堤の痕跡が認められるものは、人工的な掘削による河道跡と判断して除外した。

このようにして抽出した環流旧河谷と現河道の比高については、基盤地図情報の 10 mDEM データ(国土地理院, 2009)を用いて、環流旧河谷の離水時の河床面が残っていると推定される箇所の最高点と短絡部に相当する現河床の標高をそれぞれ求め、これらの値の差を比高とした。開析されて離水時の河床面が殆ど残っていない場合は、侵食の影響が比較的少ないと考えられる現河床から最も離れた地点で、かつ攻撃斜面側からの堆積物に埋積されている可能性が低いと考えられる環流丘陵寄りの地点の標高を用いた。現河床がダム湖底になっている箇所では、湛水域上下流の河床標高を直線で結んだ河床縦断面を用いて推定した。

2. 事例研究

現河床との比高が異なる環流旧河谷が近接して複数分布すること、他の手法による侵食速度の推定値との比較が可能であることなどを考慮して、熊野川(十津川)中流域に位置する奈良県十津川村の高森地区の環流旧河谷を事例に以下の研究を行った。

(1)地形区分 現在の地形と過去の空中写真の比較から、大規模な人工改変が行われる前に撮影された国土地理院 1976 年撮影の 1 万 5 千分の 1 カラー空中写真を使用して、環流旧河谷の抽出とその周辺の詳細な地形面の分布を把握した。さらに、同じ空中写真を使って 2 m 間隔の等高線図を作成して大規模な人工改変が行われる前の詳細な地形面の分布を示した。

(2)堆積物試料採取と地質記載 環流旧河谷の堆積物は、河道の凹地に堆積することから露頭の観察が困難な場合がある。また、山間部に分布することから、離水後に周辺の斜面から供給された堆積物に厚く覆われている可能性がある。そのため、試料採取は機械ボーリングを用いて行った。堆積物は未固結の礫層や砂層などの複数の層相が想定されること、河床堆積物と被覆層の区別を容易にするために乱れの少ないコア試料が望ましいことから、溝加工したダイヤモンドビットとポリマー系増粘剤を用いて低水圧で掘削する工法を適用した。採取されたコア試料は、礫と基質の特徴や土色の特徴

に基づいて記載した。

(3)粒度分析 堆積物の土壌化に伴う粒度変化に着目し、基質部の粒度変化を把握するための粒度分析を行った。分析には、レーザー回折/散乱式粒子径分布測定装置(堀場製作所製 Partica LA-950V2)を使用し、コア試料の基質部分から 10~50 cm 間隔で採取した試料を測定した。測定結果は、砂に対するシルト~粘土の割合としてグラフに示した。

(4)土色測定 堆積物の土色変化によって環流旧河谷が離水した後の古気候変動の影響を把握できる可能性があることに着目して土色測定を行った。測定には、コニカミノルタ(株)製土色計 SPAD-503 を使用し、 $L^*a^*b^*$ 表色系およびマンセル表色系による色相の変化を把握した。測定は 5 cm 間隔で行い、礫を多く含む試料は、礫の影響を取り除くために基質を取り出して測定した。測定結果は、赤と緑の関係を示す a^* 値(負の値は緑寄り、正の値は赤寄り)および黄と青の関係を示す b^* 値(負の値は青寄り、正の値は黄色寄り)をグラフに示した。

(5)火山灰分析 微量のテフラ起源物質や降灰層準を認識する手法として有効な RIPL 法(Refractive Index Physical Lobar Method: 古澤, 2004)を用いた火山灰分析を行った。コア試料の堆積物全体から 5 cm または 10 cm 間隔を基本として連続採取した試料を極細砂サイズに篩い分けして検鏡し、火山ガラスおよび高温型石英の有無・量比を確認した。火山ガラスの屈折率は、古澤(1995)の方法に基づき、温度変化型測定装置 MAIOT を使用した。高温型石英については、斑晶鉱物中のガラス包有物の主成分組成を指標に火山灰を同定する手法(古澤, 2008; 古澤・中村, 2009)を適用するため、高温型石英中のガラス包有物を対象に、エネルギー分散型 X 線マイクロアナライザ(EDX)を用いて主成分化学組成を分析した。分析においては、1 粒子の高温型石英において 1 つのガラス包有物を対象とした。

結 果

1. 日本列島に分布する環流旧河谷

本研究により抽出した環流旧河谷の数は約 1,000 箇所であり、北海道から沖縄本島までの日本列島の各地に分布する(Fig. 3)。特に、房総丘陵(養老川、小櫃川など)、赤石山脈南部(大井川中流域など)、紀伊山地(熊野川、日高川、日置川流域など)および四国山地(四万十川、那賀川流域)に顕著に密集して分布し、太平洋側の地域に多く認められる傾向がある。また、美濃高原(長良川流域)、東頸城丘陵(渋海川、鯖石川流域)にも環流旧河谷が局所的に密集して分布する。これらの地域と比べて分布密度が高くないが、中国地方(主に吉備高原および石見高原)にも環流旧河谷が広範囲にわたって多く認められる。東北地方と九州地方においても環流旧河谷が散在して分布する。環流旧河谷の多くは、穿入蛇行が卓越する水系に認められるが、穿入蛇行が発達する水系の中でも、阿賀野川・揖斐川・太田川・吉野川などでは環流旧河谷がほとんど分布しない。北海道は、全域にわたって本州以南と比較して明らかに環流旧河谷の分布が少ない。また、越後山脈、関東山地および中部山岳地帯(関東山地、筑摩山

Fig. 3. Distribution of circular abandoned channels in Japan classified by height relative to present-day channels.

地、飛騨山脈、赤石山脈主部など)にかけても環流旧河谷の分布は少ない。

環流旧河谷と現河床との比高については、各流域で大きい箇所と小さい箇所が混在して分布していることが多く (Fig. 3), 日本列島全体では、比高が 30 m 以下の箇所が過半数を占め、比高が増すにつれて数が減少する (Fig. 4)。数は少ないものの比高が 100 m 以上に達する箇所も存在する (Fig. 4)。

2. 十津川流域での事例研究

紀伊半島の中央部、熊野川の中流域を流れる十津川とその支流の西川が合流する付近に位置する高森地区を事例に研究を行った (Fig. 5)。

(1) 地形的特長と掘削地点の選定 高森地区には、半環状の環流旧河谷の中心付近に比較的高い平坦面が認められる (Fig. 6)。その両側は小規模な谷に侵食され、その谷に沿って高い平坦面より約 10 m 低い面が認められる。高い平坦面は、かつて河川だった際の攻撃斜面側から滑走斜面側に緩く (約 8°) 傾斜していることから、環流旧河谷が離水した時の面ではなく、背後斜面から供給された堆積物によって形成された面である。旧河床堆積物は、この堆積物に被覆され、支流などによる侵食の影響を受けていない可能性が高いと考えられることから、高い平坦面において掘削した。また、穿入蛇行河川の滑走斜面側にはしばしば蛇行洲 (ポイントバー) が発達し、そこに細粒の旧河床堆積物が分布する可能性が高いと考えられる (池田, 1991) ことから、環流丘陵寄りにおいて 2 地点を掘削した (Fig. 6)。掘削地点は、西側の Tk-1 地点が世界測地系で北緯 33°56′09.6″, 東経 135°45′56.9″, 標

Fig. 4. Histograms of the height of circular abandoned channels in Japan relative to present-day channels.

高 211.5 m であり、東側の Tk-2 地点が世界測地系で北緯 33°56′09.9″, 東経 135°45′57.1″, 標高 212.5 m である。

(2) 堆積物の特徴 掘削の結果、シルト層、砂層、礫層をほとんど乱れの無い状態で採取することができた (Fig. 7)。Tk-1 地点では、地表から深度 7.00 m までの地質試料を採取した (Fig. 8)。深度 0.25–0.70 m は表土であり、深度 0.25–0.30 m は草根を含む暗褐色のシルト層、深度 0.30–

Fig. 5. Index map of the case-study area. The base map is from the Totsukawa-Onsen 1:25,000 topographic map from the Geospatial Information Authority of Japan.

Fig. 6. Detailed topographic distribution of circular abandoned channels in the Takamori area. The topographic map (2 m contour interval) was created from aerial photographs from the Geospatial Information Authority of Japan taken in 1976. White circles (Tk-1 and Tk-2) show the drilling sites.

0.70 m は礫を含まない塊状均質な茶褐色のシルト層である。深度 0.70–1.00 m は、強風化した赤色を呈する泥岩細礫を密に含む赤褐色のシルト～粘土層である。深度 1.00–6.67 m は、泥岩礫を密に含む亜角～角礫層であり、深度によって礫・基質・土色などの特徴に違いが認められる。深度 1.00–3.25 m は、風化泥岩の細礫とシルトの基質からなる礫含有率 60% 以上の角礫層であり、特に深度 2.40–3.25 m では礫径が増大し、大きいものは 4 cm 以上である。また、深度 1.00–2.80 m は赤褐色、2.80–3.25 m は黄灰～黄褐色を

Fig. 7. Photographs of core from the Tk-1 and Tk-2 drill holes in the Takamori area.

呈する。深度 3.25–3.65 m は、主に 0.5–1.0 cm の大きさの風化泥岩礫と砂～シルトの基質からなる礫含有率が 30% 程度の黄褐色の角礫層である。深度 3.65–6.15 m は、風化泥岩礫と主に砂の基質からなる礫含有率 70% 以上の黄褐色の角礫層である。この層に含まれる泥岩角礫は、変質の程度により赤褐色、黄褐色、白色などを呈する。深度 6.15–6.67 m は、砂岩・泥岩礫と砂～シルトの基質からなる黄灰色の角礫層であり、5 cm 以上の大きさの礫を含む。深度 6.67–7.00 m は、灰～灰褐色を呈する基盤岩の砂岩がブロック状になって分布する。

Tk-2 地点では、深度 17.00 m までの地質試料を採取した (Fig. 9)。深度 0.10–0.20 m は表土であり、赤褐色のシルト層が分布する。深度 0.20–0.40 m は、強風化した赤色を呈する泥岩細礫を密に含む赤褐色のシルト層である。深度 0.40–7.75 m は、赤褐・黄灰・黄茶灰色を呈する亜角～角礫層である。その内、深度 0.40–2.15 m は、主に風化泥岩

Fig. 8. Sedimentary column, and vertical profiles of grain size, soil color, volcanic grain composition, and refractive index of volcanic glasses, for the Tk-1 core.

礫と砂～シルトの基質からなる礫含有率 40%程度の赤褐色の角礫層であり、6 cm 以上の大きさの礫も含む。深度 2.15–3.50 m は、主に泥岩礫と少量の砂岩礫および砂～シルトの基質からなる礫含有率 50%程度の黄灰色・黄茶灰色の角礫層である。深度 3.50–6.30 m は、風化泥岩礫と砂～シルトの基質からなる礫含有率 60–70%以上の黄灰色・黄茶灰色の角礫層である。深度 6.30–7.75 m は、風化泥岩礫と砂～シルトの基質からなる礫含有率 10–15%程度の黄灰色の角礫層であり、亜円～亜角礫も含む。深度 8.20–9.35 m は、砂～シルトを多く含む黄灰色の角礫層であり、亜円～亜角礫も含む。その内、深度 8.20–8.50 m は、主に泥岩・砂岩礫と砂の基質からなり、角礫の他に亜円～亜角礫も含む。深度 8.50–9.35 m は、大きいもので 10 cm 以上の泥岩・砂岩礫と砂～シルトを含む。深度 9.35–10.95 m は、泥岩・砂岩角礫とシルト混じり砂の基質からなる礫含有率 50–70%の黄灰色の角礫層であり、亜円～亜角礫も含む。深度 10.95–13.80 m は、粒径が揃った黄灰色の粗粒～細粒の砂層であり、礫、シルト、粘土をほとんど含まない。深度 13.80–15.12 m は、砂岩の亜円～亜角礫を主体とする黄灰色の礫層である。これらの特徴から深度 10.95–15.12 m は、河床堆積物に対比される。深度 15.12–17.00 m は、灰色を呈する基盤岩の砂岩が分布し、その内の深度 15.12–15.60 m は風化している。

(3) 土色測定と粒度分析 角礫層は、目視観察および土色測

Fig. 9. Sedimentary column, and vertical profiles of grain size, soil color, volcanic grain composition, and refractive index of volcanic glasses, for the Tk-2 core.

定により、全体に赤色化している箇所、斑状に赤色化している箇所、赤色化していない箇所が認められ、それぞれマンセル表色系の色相 2.5YR–5YR, 5YR–7.5YR, 7.5YR–10YR を示す (Figs. 8, 9). 2.5YR–5YR を示す赤色化している箇所は、Tk-1 地点では深度約 3 m 以浅に数カ所認められ、

Table 1. Major-element compositions of glass inclusions in quartz grains at depths of 2.4–2.5 m in the Tk-1 core.

	Sample No.					average ^{*1}	standard deviation	K-Tz ^{*2} (volcanic glass adhered to quartz grain)	K-Tz ^{*2} (glass inclusion)	K-Tz ^{*3} (volcanic glass)
	1	2	3	4	5					
SiO ₂	78.82	78.62	78.07	78.88	80.15	78.91	0.76	78.94	79.15	79.30
TiO ₂	0.31	0.28	0.22	0.24	0.27	0.26	0.04	0.27	0.25	0.22
Al ₂ O ₃	11.70	11.75	12.37	11.84	10.97	11.72	0.50	11.73	11.54	11.90
FeO	1.17	1.10	0.78	1.06	1.15	1.05	0.16	1.09	1.08	1.10
MnO	0.09	0.08	0.04	0.01	0.01	0.05	0.04	0.06	0.05	0.05
MgO	0.17	0.24	0.19	0.18	0.13	0.18	0.04	0.16	0.16	0.20
CaO	1.00	1.06	0.93	1.08	1.02	1.02	0.06	1.10	1.07	1.10
Na ₂ O	3.37	3.35	3.24	3.20	3.15	3.26	0.10	3.26	3.25	3.00
K ₂ O	3.37	3.53	4.16	3.53	3.16	3.55	0.37	3.39	3.45	3.20

*1: Volatile components were excluded.

*2: after Furusawa and Nakamura (2009)

*3: after Machida and Arai (2003)

Tk-2 地点では主に深度約 2 m 以浅に多く認められる。L*a*b* 表色系の a* 値からは、Tk-1 地点の深度約 0.7–4.0 m 区間において上部に向かって値を増減させながら赤色が強くなる傾向が認められる (Fig. 8)。b* 値は a* 値が高い部分で黄色が強くなる傾向が認められる (Fig. 8)。それらの傾向と整合的に基質の粒度は、赤色が強い部分で細粒分の比率が高くなるとともに、値を増減させながら上部に向かって細粒分の比率が高くなる傾向が認められる (Fig. 8)。Tk-2 地点における a* 値は深度約 0.2–3.0 m 区間と約 3.8–7.0 m 区間においてそれぞれ上部に向かって値を増減させながら赤色が強くなる傾向が認められ、その内の深度約 0.2–3.0 m は深度 1.3 m 付近を境にさらに 2 区間に分けることも可能である (Fig. 9)。b* 値も a* 値と同様の傾向を示し、上部に向かって値を増減させながら黄色が強くなる傾向が認められる (Fig. 9)。また、基質の粒度については、細粒分の比率が周囲に比べて高い深度が 0.2 m, 1.4–1.8 m, 7.6 m, 9.4 m, 10.8 m 付近に認められ、僅かではあるが 3.8 m 付近も下位に比べて高い。これらの深度は a* 値において赤色が周囲と比べて強い深度とほぼ一致する (Fig. 9)。

(4) 火山灰分析 コア試料の火山灰分析は、Tk-1 地点において深度 0.25–0.70 m が 5 cm 間隔、深度 0.70–6.00 m が 10 cm 間隔、深度 6.00–6.67 m が主に 5 cm 間隔、Tk-2 地点において深度 0.10–10.00 m が 10 cm 間隔、深度 10.10–15.10 m が 5 cm 間隔で RIPL 法を実施した。Tk-1 地点では深度 3 m 付近、Tk-2 地点では深度 2 m 付近より以浅にテフラ起源物質が含まれ、それらより深部ではほとんどテフラ起源物質が見られない。Tk-1 地点については、バブルウォールタイプの火山ガラスが茶褐色シルト層からなる表土に多く認められ、3,000 粒子中に 300 粒子以上含む部分もある。これらの火山ガラスは、屈折率および形態から始良 Tn テフラ (AT, 3.0 万年前; Smith et al., 2013) と鬼界アカホヤテフラ (K-Ah, 7,300 年前; 町田・新井, 2003) に対比される (Fig. 8)。また、高温型石英が垂角～角礫層の深度 1.8–2.7 m 付近に認められ、3,000 粒子中に数粒子ではあるが上下層準と比較して多く認められる。さらに上位の表土中には、高温型石英を 3,000 粒子中に 10–15 粒子程度含む部

分がある。これらの高温型石英の多くは、ガラス包有物を含み、その含有頻度が類似している。深度 2.4–2.5 m に認められる高温型石英中のガラス包含物の主成分化学組成は、鬼界葛原テフラ (K-Tz, 約 9.5 万年前; 町田・新井, 2003) の高温型石英に含まれるガラス包有物の平均化学組成および火山ガラスの平均化学組成と非常に近い値を示す (Table 1)。

Tk-2 地点については、バブルウォールタイプ火山ガラスが赤褐色シルト層からなる表土に比較的多く認められ、3,000 粒子中に数～30 粒子程度含む。これらの火山ガラスは、屈折率およびガラスの形態から AT と K-Ah に対比できる。また、高温型石英が角礫層の深度 1.1–1.4 m 付近に認められ、3,000 粒子中に数粒子ではあるが上下層準と比較して多く認められる。さらに上位の表土中には、高温型石英を 3,000 粒子中に 8 粒子含む。

議 論

1. 日本列島における環流旧河谷の分布

2 万 5 千分の 1 地形図から抽出された環流旧河谷は、日本列島の各地に分布し (Fig. 3)、その過半数は現河床からの比高が 30 m 以下であるものの、様々な比高を持って分布する (Fig. 4)。これらの分布の特徴から、これまで河成段丘を指標とした侵食の研究例が少なかった地域において、環流旧河谷が侵食速度の算出の有効な指標になると考えられる。さらに、本研究より大きな縮尺の地形図や空中写真を用いた判読や現地調査によって、より小規模な環流旧河谷を把握できる可能性がある。また、環流丘陵を伴わない旧河道や一般的な段丘も周囲に分布している可能性がある。これらの多くの指標を一緒に用いて侵食速度の検討が可能であると考えられる。

ただし、阿賀野川、揖斐川、太田川、吉野川などのように、穿入蛇行は多く分布するが、蛇行切断されておらず環流旧河谷がほとんど分布しない河川もあることから、環流旧河谷を侵食速度の指標として適用する際には、指標の分布が乏しい流域があることに留意する必要がある。

2. 十津川流域における環流旧河谷の離水年代

十津川中流域の高森地区の環流旧河谷における Tk-2 地点

Fig. 10. Simplified geological cross-section around the Tk-1 and Tk-2 sites. The figure was constructed based on neighboring landforms and facies identified in the cores.

の深度 10.95–13.80 m に分布する旧河床堆積物は、環流旧河谷の離水年代の推定において重要な指標であるが、本研究ではこの堆積物から堆積年代に関連する情報を直接得ることができなかった。そのため、この堆積物を被覆する角礫層の堆積年代を明らかにすることで環流旧河谷の離水年代を検討した。Tk-2 地点の角礫層と類似の層相を持つ角礫層は、Tk-1 地点の掘削試料にも認められ、これらの角礫層は環流旧河谷の離水後に周辺の丘陵や山地から供給された一連の堆積物と考えられる (Fig. 10)。Tk-1 地点では、環流丘陵に近い滑走斜面に堆積した角礫層を掘削したために河床堆積物が分布しないと考えられる (Fig. 10)。

Tk-1 地点の角礫層は、深度約 0.7–4.0 m の区間において値の増減を伴いながら上部に向かって赤色が強くなるとともに基質の細粒分が多くなる傾向が認められる (Fig. 8)。この区間の上部 (深度 0.70 m から深度約 3 m) の大部分で赤色化が認められ、マンセル表色系で 5YR または 2.5YR を示す (Fig. 8)。さらに、この赤色化を示す部分の上部 (深度 0.70–1.00 m) では、強風化した赤色を呈する泥岩細礫を密に含む赤褐色のシルト～粘土層が分布する (Fig. 8)。Tk-2 地点の角礫層は、深度約 0.2–3.0 m の区間において値の増減を伴いながら上部に向かって赤色が強くなる傾向が認められる (Fig. 9)。この区間の上部の大部分 (深度 0.20 m から深度約 2 m) では、赤色化が認められ、マンセル表色系で 5YR または 2.5YR を示し、細粒部が多い特徴がある (Fig. 9)。さらに、深度 0.20–0.40 m は赤色を呈する強風化した泥岩細礫を密に含む赤褐色シルト層であり、深度 0.40–2.15 m は主に風化した泥岩礫を含む赤褐色の角礫層である。これらの特徴は、角礫層の上部ほど赤色化が強いことを示し、堆積した後に数 m 以上の大きな侵食を伴わずに赤色化したことを示す。赤色土は周辺の環流丘陵や攻撃斜面から供給された再堆積である可能性も考えられるが、上部に向かって角礫層の赤色が強くなる傾向を、後背地から赤色土を共有しただけで形成することは困難であり、赤色化が再堆積によるものである可能性は低いと考えられる。マンセル表色系で 5YR ないしそれ以上の赤みを示す土壌は赤色土とされ (日本第四紀学会編, 1987)、大半が更新世の温暖期に生成した古土壌の残存物と考えられる (松井・加藤, 1962)。また、喜界

島の離水サンゴ礁の段丘上に発達した土壌の年代から、表層土壌の赤色土の形成に 10 万年程度の時間がかかるとされており (Nagatsuka and Maejima, 2001)、喜界島より高緯度の紀伊半島ではさらに時間がかかっている可能性がある。これらのことから、この角礫層は最終間氷期以前の堆積物と考えられ、角礫層に覆われる旧河床堆積物の離水年代は 12.5 万年前かそれより古いと考えられる。

角礫層の上部においては、Tk-1 地点の深度 1.8–2.7 m 付近と Tk-2 地点の深度 1.1–1.4 m 付近に、上下層準に比べ多くの高温型石英が認められる (Figs. 8, 9)。この石英粒子中にはガラス包有物が認められ、Tk-1 地点の 2.4–2.5 m から抽出した石英中のガラス包有物の主成分化学組成から、K-Tz 起源の粒子に対比される (Table 1)。高温型石英は、Tk-1 地点と Tk-2 地点の双方で角礫層の上部に含まれ、そこより下位には含まれないことから、角礫層より古い堆積物や基盤岩からもたらされた石英ではないと考えられる。また、角礫層を覆う表土に高温型石英が多く認められるが、この表土には AT と K-Ah に対比される火山ガラスが混在することから (Figs. 8, 9)、K-Tz 起源の粒子は再堆積によるものと考えられる。表土に再堆積と考えられる高温型石英が多く認められる理由は、石英は風化に強く、残存率が高い鉱物であることから、降灰時には堆積速度が速い角礫層中に希釈されながら堆積した K-Tz 起源の石英が、風化作用と剝削を受けた周辺の堆積物から供給されたシルト層 (表土) に濃集したと考えられる。Tk-1 地点は環流丘陵と攻撃斜面に挟まれた部分の平坦面の中で低い部分に位置しており、周辺から供給された物を堆積させやすい地点であることもその考えを支持する。これらのことから、角礫層に含まれる K-Tz 起源の粒子は、角礫層の堆積時に降下し、希釈されたものであり、角礫層を覆う表土に含まれる K-Tz 起源の粒子は角礫層の離水後に斜面から再移動したものと解釈すれば、赤色風化に基づく角礫層の年代観と矛盾は生じない。なお、表土に混在する AT と K-Ah の火山ガラスは数百粒子であるが、角礫層中には認められないことから、角礫層は AT より古いことは確実である。

3. 十津川流域における環流旧河谷を用いた下刻速度の推定

高森地区の環流旧河谷において得られた堆積物の特徴と離水年代を用いて、下刻速度を算出した。この環流旧河谷と現河床の比高は、旧河床堆積物と角礫層の境界と現河床の高度差を計算した。Tk-2 地点における旧河床堆積物と角礫層との境界の標高は 201.5 m である。現河道は二津野ダムの湛水域となっているため、ダム建設前の地形図 (5 万分の 1 地形図 [十津川]; 昭和 33 年要部修正測量) の読み取りから現河床の標高は約 90 m である。よって、これらの比高は 112 m である。旧河床堆積物の離水年代は、12.5 万年前かそれ以前と考えられる。この比高と離水年代から下刻速度は、0.9 m/ky もしくはそれより遅い可能性がある。このように環流旧河谷に分布する堆積物を用いて現河床からの比高と離水年代を検討することで、おおよその下刻速度を推定することが可能である。本研究で得られた値は、藤原ほか (1999) がダムへの土砂流入量と流域の高度分散量との関係

に基づいて試算した紀伊山地の侵食速度 0.633 mm/yr と大きく違わない。しかし、対象とする期間や算定方法が異なることに注意が必要である。松四ほか(2012)では、本研究を実施した河川と同じ十津川の最上流部において、宇宙線生成核種を用いた旧河道の礫の露出年代を測定し、3.1 万年前以降、 $4.4 \pm 0.3 \text{ mm/yr}$ の下刻速度を算出している。本研究で得られた値は、この値に比べると一桁遅い値である。仮に、角礫層および旧河床堆積物の堆積時期を AT を参考に 3 万年前とした場合でも下刻速度は 3.7 mm/yr であり、松四ほか(2012)の $4.4 \pm 0.3 \text{ mm/yr}$ より遅い値である。これらの差については、対象としている期間の違い、流域において地殻変動より河川作用が活発である可能性、流域内における隆起速度の違い、礫の露出年代が若すぎる可能性などの理由が考えられる。これらの差の解明には、さらに本流域で環流旧河谷などの指標を用いて、離水時期のデータを蓄積することが望まれる。

本研究に限らず、環流旧河谷のような河道切断されて形成された旧河道の離水年代を決定することは困難な場合が多いことが予想される。環流旧河谷は、穿入蛇行が切断されることで形成されることから、そこに分布する堆積物は、河川による侵食の影響が少ないとともに、周辺の斜面から供給される堆積物によって長期間残存される可能性が高いと考えられる。この堆積物の採取にはボーリング掘削が有効な手法であり、本研究におけるボーリング掘削の様に、旧河道の形状から堆積相を想定して堆積物が分布する可能性がより高い地点を選定することが重要である。

4. 環流旧河谷を用いた隆起速度推定の可能性

河成段丘を指標とする隆起速度の推定手法として、最終氷期とその一つ前の氷期に形成された段丘の比高から過去 10 万年程度の隆起量を推定する TT 法(吉山・柳田, 1995)が有効である。TT 法は、貝塚(1969)などが示すように、地殻変動以外に気候変動によって河床が変化する東北日本などで得られた観察事実に基づいている。一方で、氷河地形および堆積段丘の発達に乏しい西南日本の場合、海面変動の影響が及ばない中・上流域では、段丘形成の要因は主に地殻変動であり、気候変動の影響が小さいとすれば、段丘の高度と年代から、隆起速度を求めることが可能とされている(田力, 2005)。このような地域では、段丘の発達が乏しいため、段丘の一種である環流旧河谷の旧河床を用いて現河床との比高から隆起量を推定できる可能性がある。ただし、現河床が堆積物の薄い侵食条件のところで適用する必要がある。

本研究の結果、環流旧河谷は、河川の上流や西南日本などの内陸部の多くの場所で様々な比高を持って分布すること(Figs. 3, 4)、環流旧河谷の堆積物は段丘堆積物と同様に編年することができること(Figs. 8, 9)から、下刻速度の指標になるとともに、隆起速度を推定する際の有効な指標にもなる可能性がある。

ま と め

河川の上流や西南日本などの内陸部において、過去数万～数十万年間の侵食速度を推定する際の指標について検討し

た。指標として着目した地形は、環流丘陵を伴う旧河道であり、このような地形を本研究では“環流旧河谷”と呼んだ。

2 万 5 千分の 1 地形図から抽出された環流旧河谷は約 1,000 箇所であり、日本列島の各地に分布する。環流旧河谷の過半数は、現河床からの比高が 30 m 以下であるものの、様々な比高を持って分布する。これらの特徴から、河川の上流や西南日本などの内陸部において、環流旧河谷が侵食速度を算出する際の有効な指標になると考えられる。ただし、分布が乏しい流域があることに留意する必要がある。

十津川中流域に分布する環流旧河谷において、地形区分、試料採取、地質記載、粒度分析、土色測定、火山灰分析を行った結果、旧河床堆積物を覆う角礫層は、赤色化していることから最終間氷期以前の堆積物と考えられ、旧河床堆積物の離水年代は 12.5 万年前かそれより古いと考えられる。角礫層に含まれる K-Tz 起源の粒子は、角礫層の堆積時に降下し、希釈されたものであり、角礫層を覆う表土に含まれる K-Tz 起源の粒子は角礫層の離水後に斜面から再移動したものと解釈すれば、赤色化に基づく角礫層の年代観に矛盾はない。この離水年代と旧河床堆積物の現河床との比高(112 m)から、下刻速度は約 0.9 m/ky もしくはそれより遅い可能性がある。このように、環流旧河谷は、河川の下刻などの侵食速度を推定する際の有効な指標になると考えられる。より確度の高い侵食速度の算出には、環流旧河谷に分布する旧河床堆積物や斜面堆積物などを対象とした年代測定が課題である。また、環流旧河谷は、河川の上流や西南日本などの内陸部の多くの場所で様々な比高を持って分布すること、環流旧河谷の堆積物は段丘堆積物と同様に編年することができることから、隆起速度を推定する際の有効な指標になる可能性がある。

謝 辞

本研究を実施するに当たり、北海道地図株式会社には、空中写真図化による詳細地形図を作成いただいた。ボーリング掘削に当たっては、住鉱コンサルタント株式会社(現:住鉱資源開発株式会社)の田代寿春氏、株式会社地圏総合コンサルタントの入野寛彦氏にお世話になった。十津川村役場総務課、建設課および生活環境課の皆様には、現地調査にあたりお世話になった。ボーリング掘削地点の地権者には掘削用地の借用などでご協力いただいた。日本原子力研究開発機構の皆様には、多くのご意見とご協力をいただいた。また、2 名の匿名査読者および編集委員の植木岳雪博士からのコメントによって本稿は大きく改善された。以上の方々には深く感謝致します。

文 献

- 藤原 治・三箇智二・大森博雄(Fujiwara, O., Sanga, M. and Ohmori H.), 1999, 日本列島における侵食速度の分布。サイクル機構技報(JNC Technical Rev.), no.5, 85–93.
藤原 治・柳田 誠・三箇智二・守屋俊文(Fujiwara, O., Yanagida, M., Sanga, T. and Moriya T.), 2005, 地層処分からみた日本列島の隆起・侵食に関する研究。原子力バックエンド研究(Jour. Nucl. Fuel Cycle Env.), 11, 113–124.

- 古澤 明(Furusawa, A.), 1995, 火山ガラスの屈折率測定・形態分類とその統計的な解析. 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **101**, 123–133.
- 古澤 明(Furusawa, A.), 2004, RIPL 法により由布岳火山周辺のテフリックレスから見出した火山活動. 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **110**, 19–37.
- 古澤 明(Furusawa, A.), 2008, ガラス包有物の主成分分析によるテフラ識別の試み—大山テフラ DKP, DSP, DNP の識別を例として—. 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **114**, 618–631.
- 古澤 明・中村千伶(Furusawa, A. and Nakamura, C.), 2009, 石英に含まれるガラス包有物の主成分分析による K-Tz の識別. 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **115**, 544–547.
- 原子力安全委員会(Nuclear Safety Commission), 2000, 高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について(第1次報告) (Basic Concept of Safety Regulation on High-Level Radioactive Waste Disposal (First report)). 28p.
- 原子力安全委員会(Nuclear Safety Commission), 2002, 高レベル放射性廃棄物処分の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について (Environmental Requirements to be Considered at the Selection of the Preliminary Investigation Areas for High-Level Radioactive Waste Disposal). 21p.
- 林 千夏・池田 宏(Hayashi, C. and Ikeda, H.), 2000, 四万十川中流の穿入蛇行の成り立ち. 筑波大学陸域環境研究センター報告(Bull. Env. Res. Cent., Univ. Tsukuba), **1**, 43–50.
- 池田 宏(Ikeda, H.), 1991, 河川蛇行の成因に関する研究の歩みと今後の課題. 筑波大学水理実験センター報告(Bull. Env. Res. Cent., Univ. Tsukuba), **15**, 11–19.
- 貝塚爽平(Kaizuka, S.), 1969, 変化する地形—地殻変動と海面変化と気候変化の中で—. 科学(Kagaku), **39**, 11–21.
- 鹿島 薫(Kashima, K.), 1982, 小櫃川流域と養老川流域の更新世末期以降の地形発達. 地理評(Geogr. Rev. Japan), **55**, 113–128.
- 今朝洞重美(Kesabora, S.), 1952, 小櫃川および養老川の穿入蛇行と地質との関係. 地理評(Geogr. Rev. Japan), **25**, 328–331.
- 河内伸夫(Kohchi, N.), 1976, 中国山地の穿入蛇行. 地理評(Geogr. Rev. Japan), **49**, 43–53.
- 小池一之・町田 洋編(Koike, K. and Machida, H., ed.), 2001, 日本の海成段丘アトラス (Atlas of Quaternary Marine Terraces in the Japanese Islands). 東京大学出版会(Univ. Tokyo Press), 105p.
- 国土地理院(Geospatial Information Authority of Japan), 2009, 基盤地図情報(数値標高モデル) (Fundamental Geospatial Data (Digital Elevation Model)).
- 町田 洋・新井房夫(Machida, H. and Arai, F.), 2003, 新編火山灰アトラス [日本列島とその周辺] (Atlas of Tephra in and around Japan). 東京大学出版会(Univ. Tokyo Press), 360p.
- 松井 健・加藤芳朗(Matsui, T. and Kato, Y.), 1962, 日本の赤色土壌の生成時期・生成環境にかんする二、三の考察. 第四紀研究(Quatern. Res.), **2**, 161–179.
- 松四雄騎・千木良雅弘・平石成美・松崎浩之(Matsushi, Y., Chigira, M., Hiraishi, N. and Kato, Y.), 2012, 紀伊半島・十津川上流部の下刻速度—宇宙線生成核種を用いた蛇行切断の年代決定からのアプローチ—. 京都大学防災研年報(Ann. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.), no.55B, 241–245.
- Nagatsuka, S. and Maejima, Y., 2001, Dating of Soils on the Raised Coral Reef Terraces of Kikai Island in the Ryukyus, Southwest Japan: With Special Reference to the Age of Red-Yellow Soils. Quatern. Res., **40**, 137–147.
- 中野彰夫・池田 宏(Nakano, A., and Ikeda, H.), 1999, 穿入蛇行河川の流路変動様式を規定する要因—大井川中流域の事例—. 筑波大学水理実験センター報告(Bull. Env. Res. Cent., Univ. Tsukuba), **24**, 1–21.
- 日本第四紀学会編(Japan Association for Quaternary Research ed.), 1987, 日本第四紀地図(Quaternary Maps of Japan). 東京大学出版会(univ. Tokyo Press), 119p.
- 式 正英(Shiki, M.), 2009, 房総半島の「川廻し地形」と峡谷の形成. 風土紀行 地域の特性と地形環境の変化を探る(Geographic Tour Note on the Basic Nature), 之潮(Collegio Co. Ltd.), 53–67.
- Smith, V. C., Staff, R. A., Blockley, S. P. E., Ramsey, C. B., Nakagawa, T., Mark, D. F., Takemura, K., Danhara, T. and Suigetsu 2006 Project Members, 2013, Identification and correlation of visible tephra in the Lake Suigetsu SG06 sedimentary archive, Japan: chronostratigraphic markers for synchronising of east Asian/west Pacific palaeoclimatic records across the last 150 ka. Quatern. Sci. Rev., **67**, 121–137.
- 田力正好(Tajikara, M.), 2005, 河成段丘を用いて推定される内陸部の広域的地殻変動—現状と課題. 地理科学(Geogr. Sci. (Chiri-Kagaku)), **60**, 143–148.
- 豊島正幸(Toyoshima, M.), 1994, わが国における最終氷期後半の広域的な侵食段丘の形成. 季刊地理学(Quat. Jour. Geography), **46**, 217–232.
- 八木留美子・池田 宏(Yagi, R. and Ikeda, H.), 1997, 大井川中流の穿入蛇行河道の側方移動について. 筑波大学水理実験センター報告(Bull. Env. Res. Cent., Univ. Tsukuba), **22**, 1–8.
- 吉山 昭・柳田 誠(Yoshiyama A., and Yanagida, M.), 1995, 河成地形面の比高分布からみた地殻変動. 地学雑(Jour. Tokyo Geogr. Soc.), **104**, 809–826.
- [URL 1] 防災科学技術研究所(National Research Institute for Earth science and Disaster Prevention), 地すべり地形分布図データベース. <http://lswebl.ess.bosai.go.jp/index.html>

(要 旨)

安江健一・高取亮一・谷川晋一・二ノ宮淳・棚瀬充史・古澤 明・田力正好, 2014, 内陸部における侵食速度の指標に関する検討: 環流丘陵を伴う旧河谷を用いた研究. 地質雑, **120**, 435–445. (Yasue, K., Takatori, R., Tanikawa, S., Ninomiya, A., Tanase, A., Furusawa, A. and Tajikara, M., 2014, Study on index of erosion rate in inland mountains: Case study using old river valley around detached meander core. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **120**, 435–445.)

本研究では、侵食速度の指標として、環流丘陵を伴う旧河道(以下、環流旧河谷)に着目した。環流旧河谷は、分布が乏しい流域があるものの、日本列島の各地に分布し、様々な比高を持つことから、侵食速度を算出する際の有効な指標になると考えられる。この環流旧河谷を用いた事例の研究を、熊野川(十津川)の中流域において行った結果、旧河床堆積物を覆う角礫層は、赤色化していることから最終間氷期以前の堆積物と考えられ、旧河床堆積物の離水年代は12.5万年前かそれより古いと考えられる。角礫層に含まれるK-Tz起源の粒子は、角礫層の堆積時に降下し、希釈されたものであり、角礫層を覆う表土に含まれるK-Tz起源の粒子は角礫層の離水後に斜面から再移動したものと解釈すれば、赤色化に基づく角礫層の年代観に矛盾はない。この離水年代と旧河床堆積物の現河床からの比高から算出した下刻速度は、約0.9 m/ky かそれより遅い可能性がある。このように、環流旧河谷は、河川の上流や西南日本などの内陸部における河川の下刻などの侵食速度の指標になるとともに、隆起速度を推定する際の有効な指標になる可能性がある。より確度の高い侵食速度の算出には、環流旧河谷に分布する旧河床堆積物や斜面堆積物などを対象とした年代測定が今後の課題である。

科学論文では、学説の検証可能性を保証することが重要です。そのため、地質学雑誌掲載論文には、重要な証拠となった試料がどこで得られたかを示しているものがあります。言うまでもないことですが、見学や採取を行う場合、各自の責任において地権者や関係官庁への連絡と許可の取得の必要があることにご注意下さい。詳しくは、次のページをご覧ください。

<http://www.geosociety.jp/publication/content0073.html>

一般社団法人日本地質学会