## 小櫃川源流域における穿入蛇行谷の形状と遷急点の位置

### 森本 拓\* 小松陽介\*\*

キーワード:穿入蛇行谷、河床勾配、遷急点、弯曲度、非対称度

#### 1. 穿入蛇行谷の研究意義

山地や丘陵地にみられる河谷の形状から侵食プロセス を明らかにすることは、侵食地形を研究する上での重要 なテーマである。その代表的な地形の一つが穿入蛇行谷 であり、その成因を明らかにする研究は、国内外問わ ず古くから進められてきた (Rich, 1914; Moore 1926a, 1926b;大塚, 1927;渡邊, 1927)。研究初期から現在に かけての最も大きな焦点は、過去の自由蛇行を受け継ぎ 現在の地形を成しているか否かである。河川が流路位置 を保持するのに下方侵食のみが作用する場合に対して、 下方侵食とともに側方侵食しながら流路を移動した場合 には、蛇行振幅および蛇行長を増すようにして河谷を拡 大させる(鈴木, 2000)。このような侵食様式の違いから、 対称谷は掘削蛇行谷 (intrenched meander)、非対称谷 は生育蛇行谷 (ingrown meander) と分類されてきた (Moore 1926a, 1926b)。しかし、地形に与える諸要因の 複雑性から、成因の解明には至っていない。

そのため、従来の研究では岩質、流量や降水頻度、河床堆積物や河床形態などの観点から穿入蛇行谷の成因が論じられてきた。今朝洞(1956)は房総半島を流れる小櫃川と養老川の蛇行形状を測定し、軟らかい砂岩の方が硬い頁岩より屈曲度<sup>1)</sup>が高いことを明らかにした。同様に河内(1976)も、中国山地において古生層堆積岩地域と比べて花崗岩地域の弯曲度<sup>1)</sup>が高いと指摘し、岩石の強度の違いによるロックコントロールが穿入蛇行谷の形状を決める要因の一つと論じた。

一方、Dury (1960, 1965) は、蛇行振幅や蛇行長が流量や流域面積と関係することを指摘した。またStark et al. (2010) は台風の襲来地を調査し、降水頻度が高い地域ほど蛇行度<sup>1)</sup>が高いと述べている。池田らによる一連の研究では、大井川や四万十川を事例に、砂礫堆の存在が側方侵食に対して重要であることを指摘した(藪地・池田, 1992;中野・池田, 1999;林・池田, 2000)。

以上の研究では、穿入蛇行谷の平面形状のみに注目しており、断面形状の特徴や差異を踏まえ、穿入蛇行谷の成因に着目した研究は少ない。したがって、形状を的確に把握するためには、平面形、谷の縦断形および横断形の3点から検討することが重要である。たとえば、自由蛇行河川の研究ではあるが、河内(1987, 2012)は、弯曲度が高いと谷の横断形が非対称になると指摘しており、これは側方侵食に伴い蛇行振幅と蛇行長が増大し、生育蛇行谷が発達することを示唆している。そこで、本研究では穿入蛇行谷の平面形、谷の縦断形および横断形の形状を測定し、下方侵食や側方侵食が生じる発生条件を明らかにすることを目的とする。

#### 2. 小櫃川の地域概要

調査地域は、穿入蛇行谷がよく発達する房総半島小櫃 川の源流域とした。この地域は東京大学大学院農学生命 科学研究科付属千葉演習林内に位置しており、流量に影響を及ぼす砂防ダム等の人為的な要因を除外できるため 選定した。

小櫃川は鴨川市にある清澄山付近(標高365m)を源流に持ち、上総丘陵を北流して、君津市、袖ケ浦市、木 更津市を流れ東京湾へと注ぐ。1:25,000地形図で測定 した総流路長は85.4kmである。小櫃川が流れる中流域 から源流域にかけた丘陵地では穿入蛇行谷が発達してお り、蛇行の弯曲が著しい(板倉・池田,1997;図1)。

調査区間は小櫃川源流域の十面沢、仁ノ沢を起点として、荒樫沢と合流する3.9kmである。標高は288mから198m、平均河床勾配は約2%である(図2)。5本の支流があり、合流付近では急勾配の河床がみられる。天津小湊町(現、鴨川市)発行1:2,500地形図から判読できる河川の弯曲を蛇行とし(延べ87区間)、上流から順に蛇行番号をP1~P87と付した(図1,図3)。

飯島・池谷(1976)によると、小櫃川上流域は上位か

<sup>\*</sup> 島原半島ジオパーク協議会事務局

<sup>\*\*</sup> 立正大学地球環境科学部

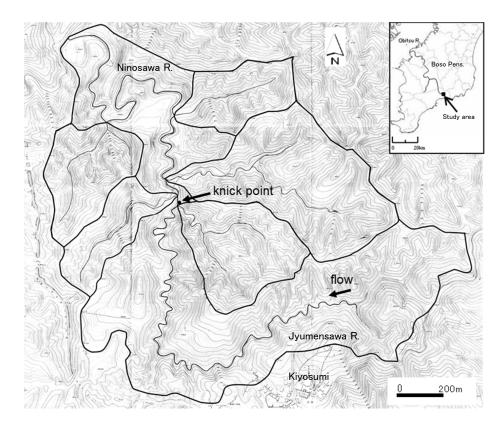


図1 調査地域の概要(1986年天津小湊町発行 1:2,500地形図「天津小湊町4」より作成) 実線:分水嶺

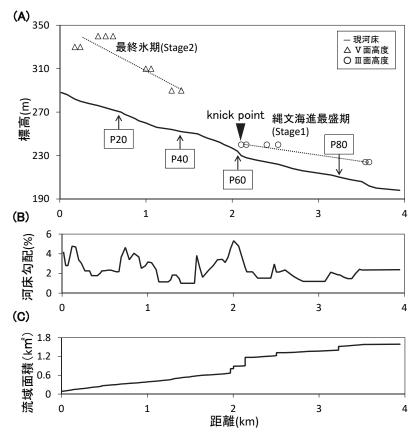


図2 河床縦断形と段丘面の投影(A)、河床勾配(B) および流域面積(C) 図中の数字(P): 蛇行番号 段丘面: 河成段丘分布図(飯島・池谷, 1976) から抽出

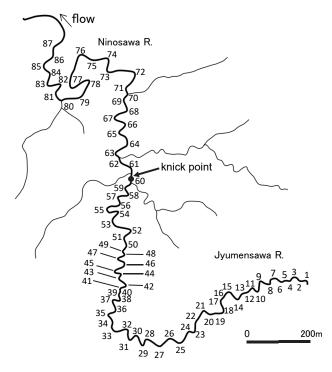


図3 蛇行番号(1986年天津小湊町発行 1:2,500地 形図「天津小湊町4」より作成)

らV面~I面の5段の段丘面が確認されており、そのうち本研究の調査区間では最上位のV面と下位の皿面が分布している。V面は、鹿島(1982)によると上位の南総I面と下位の南総I面の2段に細分類されており、最上位にあたる南総I面の形成年代はAT火山灰に覆われることから約2万2000年前 $^2$ )と推定された。一方、皿面は火山灰は見つかっていないが、小櫃川上流域の段丘面の中で最も広く発達している特徴があることから、約

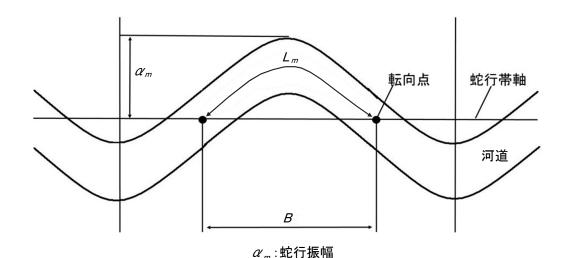
7000年前の縄文海進最盛期に形成されたと推定されている(飯島・池谷, 1976)。鹿島(1982)によると久留里面群の段丘面に相当する。さらに、調査区間のⅢ面はV面に比べて連続的であり、P86~P87の区間で現河床との比高が最大22mほど低下する(図 2)。また、図 2 および図 3 内に矢印で示した源流域から2.1km地点(P60~P61番の間)は、現河床を下方侵食する最上流部を示す遷急点の位置であり、その遷急点より上流側にはⅢ面は存在しない。本研究では、飯島・池谷(1976)の段丘面区分に基づく。

調査区間の地質は中新統三浦層群天津層のうち、主として調査区間は凝灰岩と泥岩の互層からなる白岩凝灰岩層と真根泥岩層である(飯島・池谷,1976)。なお、上総地方南部の河川には、「川廻し」とよばれる蛇行河川を人為的に短絡した旧河道が数多く存在するが(千葉県立中央博物館、2014)、調査区間には含まれない。

#### 3. 蛇行計測の方法

プラニメーターを用いて、天津小湊町(現、鴨川市)発行 1:2,500地形図から河床勾配、流域面積 (A)、蛇行長  $(L_m)$ 、蛇行振幅  $(\alpha_m)$ 、転向点間の蛇行帯軸長 (B) を計測し、それらを用いて蛇行の曲流の程度を示す弯曲度を求めた(図 4)。河床勾配の計測には等高線 2 mごとの標高と距離から算出した。弯曲度 (S) の式は以下の通りである。

$$S = \frac{L_m}{R}$$



L<sub>m</sub>:蛇行長 B:蛇行帯軸長

蛇行形状の計測方法(高山, 1974をもとに作成)

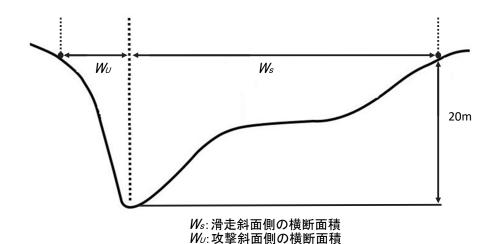


図5 非対称度の計測方法

次に、谷の横断形状が対象であるかを捉えるために、 谷の横断面積から非対称度(asymmetry)を計測した (図5)。非対称度の式は以下の通りである。

$$A_{S} = \frac{W_{S}}{W_{U}}$$

ここで、 $A_S$ は非対称度、 $W_S$ は滑走斜面側の横断面積、 $W_U$ は攻撃斜面側の横断面積である。左右対称な掘削蛇行谷では非対称度は1に近づき、反対に生育蛇行谷では高い値を示す。本研究では谷の横断形状を明瞭に把握するために、河床から比高20m以下の範囲において谷の横断面積を計測範囲とした。また支流の合流等の影響により横断面積が計測困難な区間についてはデータから除いた。

#### 4. 穿入蛇行谷の形状

#### 4-1. 平面形状

各蛇行の流域面積と蛇行長の関係によると(図6)、流域面積の増加に伴い蛇行長が長くなる傾向が認められ、相関係数は0.61であった。特に支流の合流により流域面積が0.90km²から1.17km²へと急増する(P62~P63の間:図3)地点を境界に上流区間(P1~P62)と下流区間(P63~P87)で蛇行長の平均値を算出したところ、それぞれ34.0m、62.3mであった。蛇行振幅と蛇行長の関係によると(図7)、正の相関が認められ、相関係数は0.92であった。

#### 4-2. 遷急点を境界にした縦断形状の違い

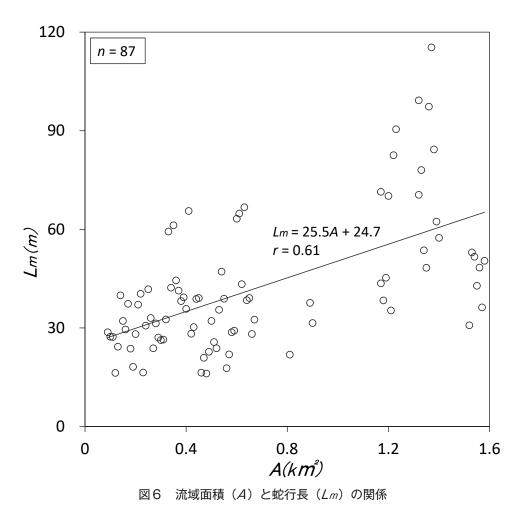
縦断形には源流から2.1kmのP60~P61の間において、

現河床に最も明瞭な遷急点が存在する(図2,図3)。河床勾配は5.3%と調査区間内では最大値を示すことからも明瞭に遷急点と認識できる。この遷急点はⅢ面と現河床の縦断形が収れんする場所に位置しており、遷急点より下流側ではⅢ面が観察されたが、上流側ではみられなかった(図2)。また、遷急点より上流側の河床縦断形は、下流側の緩やかな形状に比べて不規則な形状をもつ。この遷急点の上流側と下流側の平均河床勾配はそれぞれ2.4%、1.9%であり、上流側は相対的に急勾配の河床である。以下、本研究では、遷急点を境界にP1~P60を上流側とし、P61~P87を下流側と呼称する。

#### 4-3. 弯曲度と非対称度の関係

掘削蛇行谷と生育蛇行谷の説明については定性的な議論が多く、定量的には説明されていない。そこで谷の横断形状の非対称度を測定し、両者の穿入蛇行谷の形状を数値化した。

弯曲度と非対称度の関係は、全体的にばらつきがあるものの、弯曲度が高いと非対称度も高い傾向にある(図8)。すなわち、大きく弯曲した蛇行部では横断形が非対称となり、側方侵食が生じたことを示す。そのような侵食プロセスを、遷急点を境界とした上流側(P1~P60)と下流側(P61~P87)で比較した結果、上流側では弯曲度が2.1以下、非対称度が2.0以下の値を示した。それに対して、下流側では弯曲度が2.7以下、非対称度が3.9以下の値を示した。したがって、上流側は相対的に掘削蛇行谷、下流側は掘削蛇行谷と生育蛇行谷が分布する傾向にあると明らかとなった。



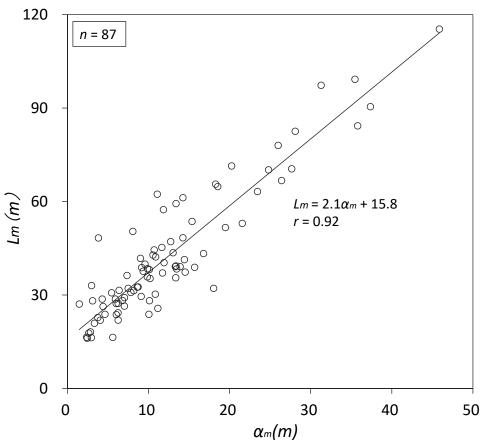


図7 蛇行振幅 (αm) と蛇行長 (Lm) の関係

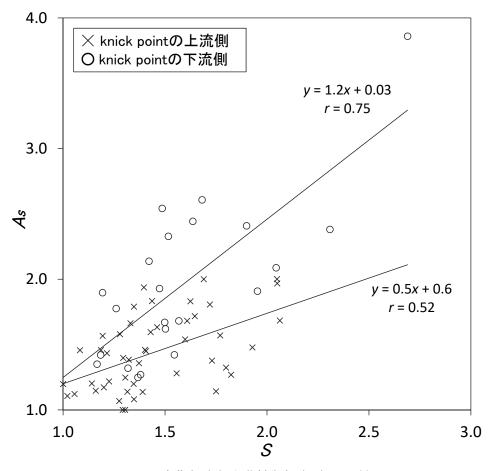


図8 弯曲度 (S) と非対称度 ( $A_S$ ) の関係

#### 5. 考察

蛇行振幅と蛇行長の関係には、正の相関関係が認められた(図7)。側方侵食を伴う穿入蛇行谷の蛇行振幅や蛇行長が増大する要因には、流量や流域面積が挙げられ、これらの間には高い相関関係が知られている(Dury 1960, 1965)。しかしながら本研究では、蛇行長と流域面積の間に正の相関関係が認められたが(図6)、上記のDuryの研究結果と異なり、相関係数は0.61とばらつきが大きかった。源流域である本研究の調査区間では、蛇行振幅や蛇行長の増大に与える流域面積が、小さいことが理由として考えられる。このことから穿入蛇行谷の形状に与える下方侵食や側方侵食の発生条件には、流域面積以外の要因が影響すると思われる。

遷急点の形成は、下方侵食が上流へ波及する際に生じるものとして捉えられていることが多い(村上・早川,2009)。小櫃川を含む東京湾周辺の海面は、約1万年間において、現在に比べて最も上昇した時期は約7000年前の縄文海進最盛期であり、現在の海面より2~4m高かった(鹿島,1982;遠藤ほか,1989)。図2で示した河

成段丘Ⅲ面は、小櫃川の海岸低地から調査区間の遷急点より下流側まで連続的に発達することから、縄文海進最盛期に形成されたと考えられている(飯島・池谷,1976)。このことから、調査区間で見られる遷急点は、縄文海進最盛期から現在に至る海面低下に伴う侵食基準面の低下により生じ、現在も下方侵食が上流へ伝播し遷急点が後退していると示唆される(図9)。

そこで、この遷急点を境界とした上流側と下流側で穿入蛇行谷の形状をみたところ、上流側は非対称度が2.0以下で掘削蛇行谷が多く、下流側は非対称度のばらつきが大きいため掘削蛇行谷と生育蛇行谷が分布する傾向が認められた(図8)。図9で示した通り下流側は縄文海進最盛期の影響を受けていることから、段丘面の形成に関わる相対的に緩やかな勾配の河床が作られた時期があったといえる。下流側において掘削蛇行谷と生育蛇行谷が混在するのは、縄文海進最盛期の緩やかな勾配の河床が作られた結果、下方侵食が相対的に起こりにくい状態にあったためではないかと考えられる。このことは、海水準の上昇期には側方侵食が働きやすくなることから、蛇行発達が容易になると論じた見解と一致する(鹿島,

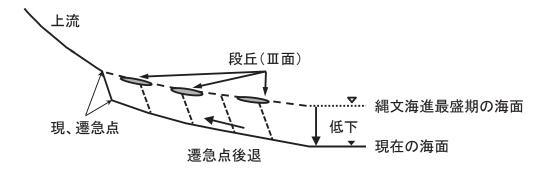


図9 海面低下による新旧の河床標高およびそれに伴う段丘面の形成と遷急点の後退モデル

1982)。一方、上流側に掘削蛇行谷が分布するのは、縄 文海進最盛期に側方侵食の影響を受けにくい環境にあっ たため、相対的に急勾配の河床が現在まで維持され続け (図9)、下方侵食が進んだと示唆される。

ここで、現在の調査区間全体の侵食作用について述べる。調査区間では過去の側方侵食により生じた蛇行切断の地形を示す環流丘陵が一カ所しか存在しない。また、河川の合流点では懸谷となっている支流が複数みられたため、本流の下方侵食が早いと判断できる(写真1; P70付近)。そのため現在の環境において、調査区間は全体的に下方侵食が卓越すると考えられる。

#### 6. 結論

本研究では小櫃川源流域の穿入蛇行谷について地形計測を行なった結果、弯曲度が高いと非対称度も高い傾向が明らかになった。また、縄文海進最盛期に形成された 皿面と現河床の縦断形が収れんする場所に位置する遷急点を境界として、調査区間を上流側と下流側に区分した



写真 1 本流の下方侵食が早いために生じた支流の懸谷 (2014年10月, 森本撮影)

ところ、縄文海進最盛期以降に下方侵食しつつある遷急 点が後退した下流側では掘削蛇行谷と生育蛇行谷の両者 が分布し、上流側では掘削蛇行谷が卓越することが判明 した。このことは、下流側では相対的に急勾配の河床に 変化し、下方侵食と側方侵食が発生し、上流側では勾配 がほとんど変化せず、下方侵食が進んだと考えられる。

これまで、隆起速度の速い山地・丘陵地や、侵食基準面が急激に変化した地域においては穿入蛇行谷が形成されると論じられてきたが(高取ほか,2012)、下方侵食と側方侵食の発生条件やその時期、また要因について不明な点が多かった。今後はデータ数を増やすとともに、穿入蛇行谷の形状の地形年代を記録している段丘面を詳細に調査することによって、下方侵食と側方侵食の発生条件が一層明らかになるであろう。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり、立正大学の地球環境科学部 地理学科の諸先生方、岩田真輝氏や遠藤礼朗氏をはじめ 卒業した小松ゼミ生諸氏、同大学環境システム学科の卒 業生である近攻孝哉氏、同大大学院の修了生の神田道男 氏、平山晴庵氏には活発な討議をして頂いた。

戸田真夏先生、池田 宏先生、髙村弘毅先生からは数多くのご助言と激励を頂いた。また、現地調査の際に東京大学大学院農学科学生命研究科付属千葉演習林の當山啓介博士、根上昌久様、糟谷育代様、米道 学様をはじめ、職員の皆様には入林にあたり許可をして頂くとともに、資料についてご教示を頂いた。以上のような多くの方々に支えられて研究を進められたことに感謝し、ご協力下さった皆様に深く御礼を申し上げます。本稿は2014年度に立正大学に提出した卒業論文の一部を加筆修正したものであり、研究の骨子は2014年度第63回全国地理学専攻学生卒業論文発表大会(地理教育学会)、2015年度立正地理学会春季大会において口頭発表した。

#### 注

- 1) 計測方法は同じであるが論文によって屈曲度、弯曲度、 蛇行度など用語が異なる。本稿では弯曲度を用いた。
- 2) 最新の研究では約3万年前と推定されている (Dieter *et al.*, 2013)。

#### 引用文献

- 千葉県立中央博物館(2014)『房総の二五穴』千葉県立中央 博物館, 23p.
- Dieter, Demskea., Pavel E, Tarasova., Takeshi Nakagawa (2013): Atlas of pollen, spores and further non-pollen palynomorphs recorded in the glacial-interglacial late Quaternary sediments of Lake Suigetsu, central Japan Author links open overlay panel. Quaternary International, 291, 164-238.
- Dury, G. H. (1960): Misfit streams: problems in interpretation, discharge, and distribution. Geographical. Review, 50, 219-242.
- Dury, G. H. (1965): Theoretical implication of underfit streams. U. S. Geological. Survey. Professional. Paper, 452-C. 1-43.
- 遠藤邦彦・小杉正人・松下まり子・宮地直道・菱田 量・ 高野 司 (1989): 千葉県古流山湾周辺域における完新世 の環境変遷史とその意義, 第四紀研究, 28, 61-77.
- 林 千夏・池田 宏 (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, 1, 43-50.
- 飯島 東・池谷仙之 (1976): 千葉演習林の地質。 演習林 (東京大学), 20, 1-38.
- 板倉雅子・池田 宏 (1997): 小櫃川上流地域における平滑 岩盤河川の河道形状について. 筑波大学水理実験センター 報告, 22, 9-21.
- 鹿島 薫 (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史. 地理学評論, 55, 113-129.
- 今朝洞重美(1952): 小櫃川および養老川の穿入蛇行と地質 との関係. 地理学評論, 25, 328-331.
- 河内伸夫 (1976): 中国山地の穿入蛇行. 地理学評論, 49, 43-53.

- 河内伸夫 (1987): 蛇行地形の要素について. 地理科学, 42, 167-174
- 河内伸夫(2012):『図説蛇行研究』中国新聞社, 160p.
- Moore, R. C. (1926a): Origin of inclosed meander on streams of the Colorado Plateau. Journal of Geology, 34, 29-57.
- Moore, R. C. (1926b): Significance of inclosed meander in the physiographic history of the Colorado Plateau country. Journal of Geology, 34, 97-130.
- 村主光一朗・早川唯弘 (2009): 荒川合流点付近の遷急区間 における蒔田川・篠葉沢の河岸段丘の発達. 茨城大学教育 学部紀要(自然科学), 58, 1-17.
- 中野彰夫・池田 宏 (1999): 穿入蛇行河川の流路変動様式 を規定する要因-大井川中流域の例. 筑波大学水理実験センター報告, 24, 1-22.
- 大塚彌之助 (1927): 四萬十川の流域に於ける曲流の研究. 地理学評論, 3, 397-419.
- Rich, J.L. (1914): Certain types of stream valleys and their meaning. Journal of Geology, 22, p.469-497.
- Stark, C.P., Barbour, J.R., Hayakawa, Y.S., Hattanji, T., Hovius, N., Chen, H., Lin, C-W., Horng M-J., Xu K-Q. and Fukahata, Y. (2010): The climatic signature of incised river meanders. Science, 327, 1497-1501.
- 鈴木隆介 (2000): 『建設技術者のための地形図読図入門 第 3巻 段丘・丘陵・山地』 古今書院, 942p.
- 高取亮一・安江健一・谷川晋一・二ノ宮淳・棚瀬充史 (2012):日本列島における環流旧河谷分布データベースの 作成.日本原子力研究開発機構,JAEA-Data/Code 2012-028, 1-15.
- 高山茂美(1974): 『河川地形』 共立出版, 303p.
- 渡邊 光 (1927): コロラド高臺の地形發達史に對する篏入曲 流の意義. 地理学評論, 3, 253-256.
- 藪地結吏・池田 宏 (1992): 穿入蛇行河道の側方移動に及ぼ す河床・河岸の凹凸の影響. 筑波大学水理実験センター報 告16, 156-157.

# The shape of incised-meandering valley and location of knick point in the headwaters Obitsu river basin

MORIMOTO Taku\* and KOMATSU Yosuke\*\*

\* Unzen Volcanic Area Geopark Promotion Office \*\* Faculty of Geo-environmental Science, Rissho University

Key words: incised-meandering valley, river gradient, knick point, sinuosity, asymmetry