

滋賀県犬上川下流部における河口部掘削後の 河床低下と堆積物の段丘化

小林良幸¹・倉茂好匡²・中島吾郎³

Channel Degradation and Formation of New Terraced Gravel Bars after Excavation of the Inukami River Mouth Delta, Shiga, Japan

Yoshiyuki KOBAYASHI¹, Yoshimasa KURASHIGE² and Gorou NAKAJIMA³

Abstract

Clear downward erosion has occurred at the lower reach of the Inukami River after excavation of the river mouth delta in 1992 and 1993, forming terraced gravel bars on which trees have been invaded. Comparison between longitudinal profiles of the river-bed in 2001 and 2006 showed that clear sedimentation had occurred at the river mouth during this period, whereas downward erosion still had progressed at the lower reach. Lateral profile at the lower reach in 2006 revealed that two new terraced gravel bars had been formed since 2001. Dating of the sediments of these two new terraced bars using dendrochronological method and date of production of buried wastes showed that the lower and higher terraced sediment was deposited from 1997 to 1998 and from 2001 and 2004, respectively. These facts indicate that the river-bed of the lower reach is still degrading forming new terraced bars, and the sediment eroded from the lower reach is deposited at the river mouth area.

Key words: *downward erosion, excavation, Inukami River, terraced gravel bars*

1. は じ め に

滋賀県東部に位置する犬上川では、1990年9月19日の台風19号（日雨量172 mm、20年に1回程度の雨量）通過時の出水で、河口部からおよそ600 m上流の右岸側の堤防が破堤した。これを契機として、犬上川下流部では洪水制御を目的とする河川改修工事が行わ

2008年11月13日受付、2009年3月30日改稿、2009年5月14日受理

¹ 株式会社コンピュータウイング

¹ Computer Wing Co., LTD. 1-10-10, Nishi-Honmachi, Nishi-ku, Osaka, 550-0005 Japan

² 滋賀県立大学環境科学部

² School of Environmental Science, The University of Shiga Prefecture, 2500, Hassaka-cho, Hikone-City, Shiga 522-8533 Japan

³ 奈良市役所企画部

³ Planning department, Nara local government office, 1-1-1, Nijo-Oji Minami, Nara-City, Nara 630-8580 Japan

れている。特に、1992年から1993年にかけて、犬上川の河口部では100,000 m³を超える土砂が掘削され、河口デルタの大部分が消失した（例えば、安東ほか、2004）。

木林ほか（2002）はこの河口部掘削が大きな要因となり、犬上川の河床は低下傾向に転じたと結論した。この際、彼らは犬上川堤外地に形成されていた段丘化堆積物に着目した。段丘化堆積物とは、かつての砂礫堆が離水し、その上面の比高が流路水面よりも数10 cm から2 m 程度高くなったものである。そして木林ほか（2002）は、この段丘化堆積物最上位の堆積時期が1990年であることを見出し、このことより河口部掘削後に犬上川の河床は低下傾向に転じたと結論した。

さらに、2006年の犬上川の河道を観察すると、木林ほか（2002）が報告した段丘化堆積物よりも下位の段丘化堆積物が存在していた。木林ほか（2002）の調査は2000年に行われているので、この下位の段丘化堆積物の存在は、2000年以降さらに犬上川の河床が低下したことを示唆する。そこで、本研究ではまず、2000年以降どの程度河床高が低下したのか明らかにするために、2001年と2006年に犬上川の河床高を縦断的に測量した。そしてこの期間の河床低下量を算出した。また、木林ほか（2002）が報告した段丘化堆積物よりも下位の段丘化堆積物の堆積時期を合わせて検討した。この下位の段丘化堆積物の堆積時期を明らかにすることができれば、砂礫堆が離水した過程を考察することができる。これらの結果をもとに、1990年以降に段丘化した堆積物の形成過程を考察した。

2. 調 査 地

犬上川は滋賀県東部に位置する流域面積105.3 km²、流路長27.3 km（池上、2003）の川である（Fig. 1a）。犬上川は鈴鹿山脈中に発し、湖東平野に出た後、琵琶湖東岸に流れ込む。犬上川は山中では大きく二つの流れに分かれており、北側の流れは北谷、南側の流れは南谷と呼ばれる。北谷流域の地質は石灰岩であり、南谷流域の地質は湖東流紋岩および中・古生層碎屑岩である（大橋、2003）。犬上川は湖東平野に出た後、標高130 mと100から95 mの範囲に典型的な扇状地を形成している（水山ほか、1975）（Fig. 1a）。この扇状地より下流は自然堤防帯および三角州性低地である（水山ほか、1975）。犬上川の下流部に位置する彦根市の平均気温は14.4℃、年平均降水量は1618 mmである（気象庁、過去の気象データ検索において2008年7月に検索；<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>）。

平野部では川の両岸が堤防で固められており、流路は複断面構造を呈している。このうち高水敷には、樹高10 mほどの落葉・常緑混交林やマダケ（*Phyllostachys bambusoides* Sieb. et Zucc.）などから成る竹林で構成される林が成立している。湖東平野に出た後の犬上川堤外地には、段丘化堆積物が多く見られる。堆積物上にはツルヨシ（*Phragmites japonica* Steud.）が群生しているところあるいは、クズ（*Pueraria lobata* (Willd.) Ohwi）が群生しているところが数多く見られる。また、樹高3から10 mほどのコゴメヤナギ（*Salix serissaefolia* Kimura）やハリエンジュ（*Robinia pseudo-acacia* L.）などの木本植物も生育している。また、犬上川河口部

から約 11 km 上流の扇頂部付近には頭首工がある。このため、平水時には頭首工の下流の流量が激減する。その一方で、増水時にはこの頭首工の下流へ放水される。

本研究では、目視観察により明瞭な河床低下の見られる犬上川最下流の犬上川橋から上流側 6 km の区間を調査区間とした。この後、犬上川の任意の地点を指す際に、犬上川橋からの距離を用いて表記することとする。例えば、犬上川橋から 6.0 km 上流の地点については 6.0 km 地点と表記する。また、0.2 km 地点より 6.0 km 地点までを「下流部」と呼び、0.2 km 地点よりも下流側を「河口部」と呼ぶこととする。犬上川下流部ならびに河口部の地形学図を Fig. 1b に示す。Fig. 1b には安東ほか (2004) に基づき、河口部掘削が行われた領域を合わ

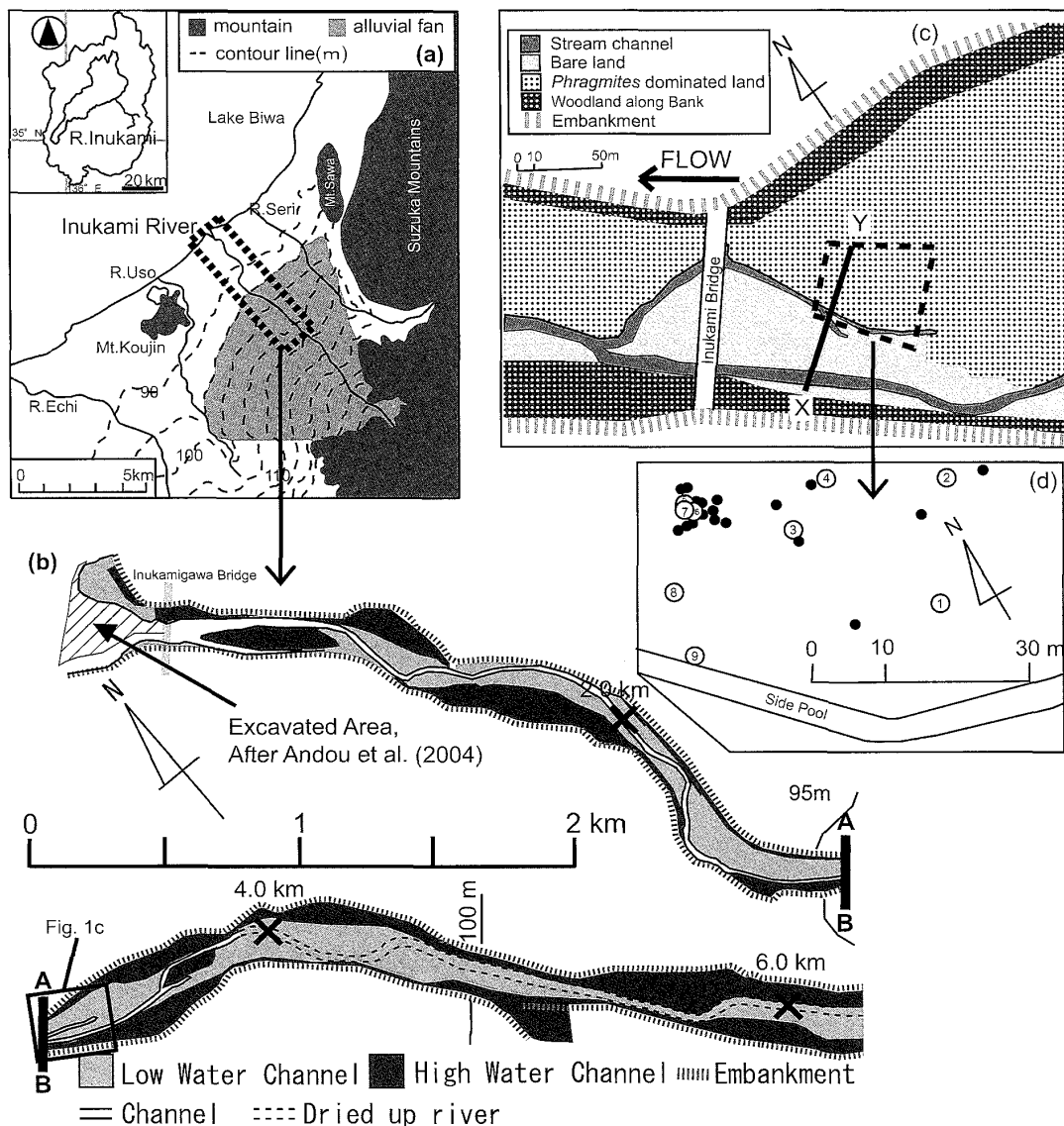


Fig. 1. Map of the study area. (a) Location of Inukami River. Counter Interval is 5 m. (b) Distribution of low-water channel and high-water channel. Cross mark indicates distance from Inukamigawa Bridge. (c) Map around the study site. (d) Distribution of trees at the study site. Each dot and circle indicates location of a tree. A circle with number indicates location of tree surveyed for dendrochronological analysis.

せて示した。さらに、標高 95 m および 100 m の等高線も示した。4.0 km 地点よりも上流では流路は伏流しており、出水時にしか水流は生じない。また、2.0 km 地点から 4.0 km 地点の区間には side pool が形成されているところがある。なお、水山ほか (1975) の指摘する扇状地と自然堤防帯の境界は 2.9 km 地点から 4.6 km 地点の間に位置する。

さて、3.0 km 地点付近には木林ほか (2002) が報告した段丘化堆積物よりも下位の段丘化堆積物が明瞭に見られた (Fig. 1c)。Fig. 1c の X-Y 測線に沿う横断面を Fig. 2 に示す。左岸寄りに本流があり、その右岸側には本流最深部からの比高が 0.8 m 程度ある裸地が幅約 25 m にわたって見られる。裸地の右岸側には幅約 3 m の side pool がある。Side pool の右岸側には本流最深部からの比高が 0.6 から 1.0 m の草本植物に覆われた地形面があり、本研究ではこの地形面をつくる堆積物を研究対象とした。そこで、この地形面をつくる堆積物を対象堆積物、この地形面を対象段丘面と呼ぶことにする。対象堆積物と side pool との間には急崖が形成されていた (Fig. 2)。また、裸地部の表層は礫で構成されていたのに対し、対象段丘面の表層は砂で構成されていた。

対象堆積物の堆積物断面柱状図を Fig. 3 に示す。13 から 24 cm 深および 38 から 73 cm

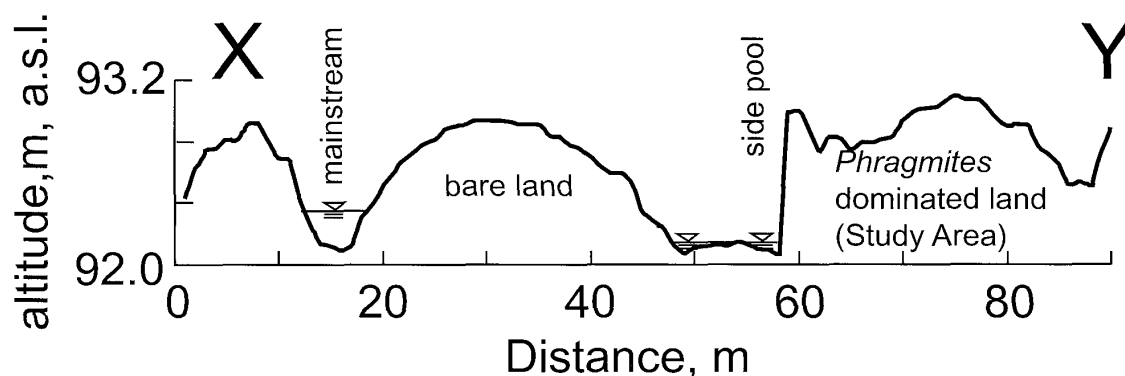


Fig. 2. Cross-sectional profile at the study area.

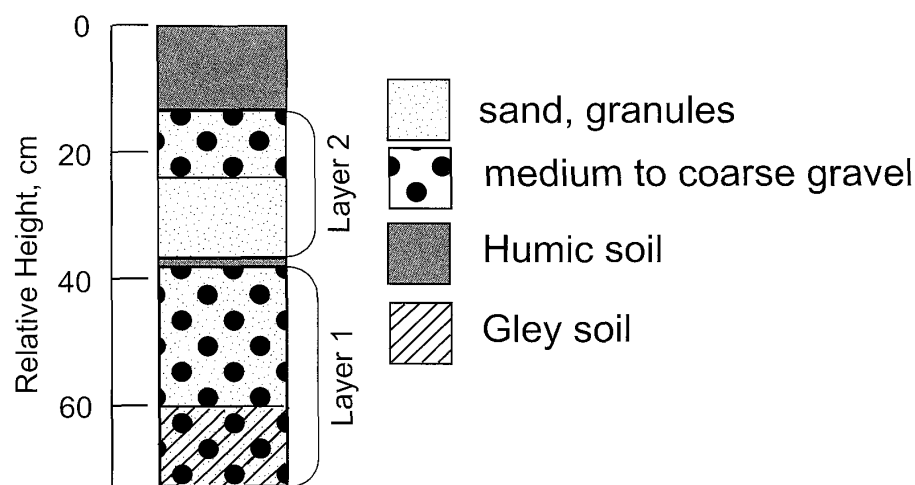


Fig. 3. Columnar section at the study site.

深は最大粒径 10 cm 程度の礫と砂で構成されていた。以降この 2 層を砂混じり礫層と呼ぶ。24 から 37 cm 深では細礫混じりの粗砂で構成されていた。0 から 13 cm 深および 37 から 38 cm 深は腐植土で構成されていた。特に、37 から 38 cm 深の層を埋没腐植層と呼ぶことにする。この埋没腐植層よりも下層（38 から 73 cm 深）を Layer 1 と呼ぶ。また埋没腐植層よりも上層である 13 から 37 cm 深を Layer 2 と呼ぶ。さらに、0 から 13 cm 深を表層土層と呼ぶことにする。なお、60 cm 以深の堆積物はグライ化していた。

裸地部にはノゲイトウ (*Celosia argentea* L.) やツルヨシなどがまばらに見られた程度であった。Side pool 沿いにはオオカワヂシャ (*Veronica anagallis-aquatica* L.) やカラシナ (*Brassica juncea* (L.) Czern.) などが見られた。対象段丘面に特徴的な植生の見られた 50 m×50 m の区域 (Fig. 1c の破線で囲まれた区域) にはツルヨシが特に優占しており、この他にもセイタカアワダチソウ (*Solidago altissima* L.)、ヤブガラシ (*Cayratia japonica* (Thunb.) Gagnep.)、カナムグラ (*Humulus scandens* (Lour.) Merr.) などの草本植物が優占していた。さらに、これら草本植物は密生していた。また、胸高直径 1.0 cm 以上、樹高 1.5 m 以上の木本植物は 29 個体が生育していた (Fig. 1d)。このうち、コゴメヤナギが 16 個体、タチヤナギ (*Salix subfragilis* Andersson) が 8 個体生育しており、ヤナギ科が全体の 83 % を占めた。

3. 河口部掘削後の河床高の変化

河口部掘削後に生じた犬上川の河床高変化についてここに述べる。2001 年と 2006 年に犬上川の最深河床高を以下の方法により縦断的に測量した。まず、測量の原点を犬上川最下流にかかる犬上川橋 (Fig. 1b) においた。測量の終点は原点より 6.0 km 上流の点とした。次に 1999 年発行の彦根市都市計画図 (縮尺 1 : 2,500) 上で、この区間の流路沿いに 0.2 km 間隔で観測点を設けた。続いて、その観測点を含む河川横断測線上での河床最深点に測量点を設けた。その後、彦根市都市計画図上に記載されていた「標石のない標高点」から観測点まで電子レベル (TOPCON, DL-103) を用いて 3 級水準測量を行った。さらに観測点の標高を基準として、測量点の標高を求めた。この時、測量点を中心にして、河川縦断方向に 1 m 間隔で 10 ヶ所の標高を測量し、この平均値を測量点の標高とした。また、橋脚の周辺など局所的に深くなっているところでは数十メートル測量点を移動させた。また、人の立ち入りが困難なほど水深の深いところ、および河川工事の行われていた測量点では 100 m 程度測量点を移動させたが、それでも測量困難な場合には欠測とした。測量を行ったのは 2001 年 11 月から 12 月にかけてと 2006 年 8 月である。測量を行った区間は、2001 年では -0.2 km 地点 (犬上川橋から 0.2 km 下流の地点) から 5.4 km 地点の区間であり、2006 年では 0.0 km 地点から 6.0 km 地点の区間である。

2001 年と 2006 年の最深河床高縦断図を Fig. 4 に示す。なお、Fig. 4 には河口部掘削以前の 1991 年に河口部付近で測量された結果 (滋賀県湖東地域振興局建設管理部河川砂防課、

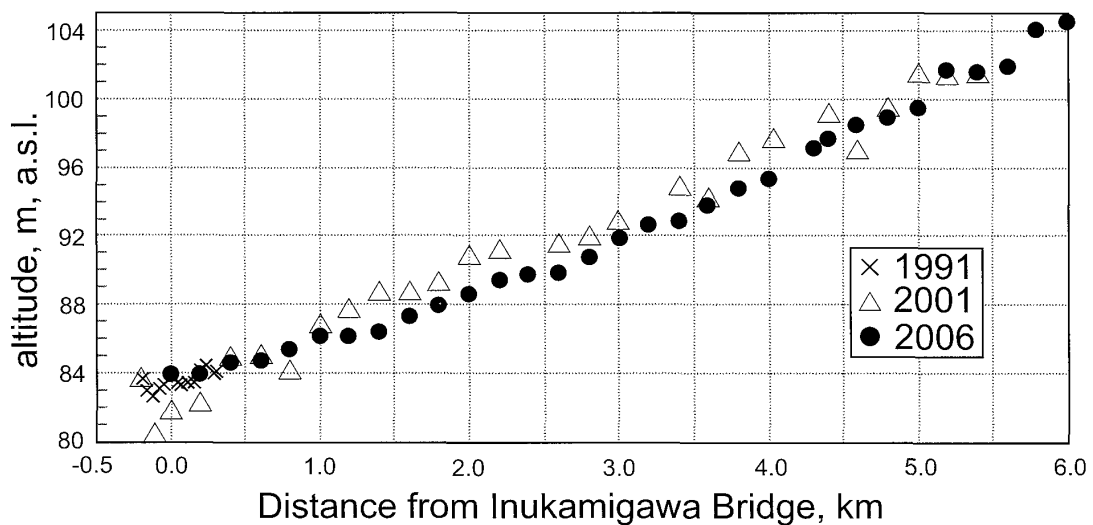


Fig. 4. Longitudinal profile of the Inukami River.

私信) も合わせて示す。これは、犬上川橋付近で行われた横断測量の結果より最深河床高を読み取ったものである。

1991 年の最深河床高縦断面図を見ると、河床高は -0.18 km 地点から 0.30 km 地点までの区間で上流側の標高がおよそ 1.0 m 高くなっていた。2001 年では、 -0.2 km 地点、 0.8 km 地点、 3.6 km 地点、 4.6 km 地点を除くすべての測量点で、その下流の測量点よりも標高が大きくなる傾向にあった。2006 年には、 5.4 km 地点を除くすべての測量点で、その下流の測量点よりも標高が大きくなる傾向にあった。ただし、 1.0 km 地点から 1.4 km 地点にかけての区間と 5.2 km 地点から 5.6 km 地点にかけての区間では比較的平坦な面が見られた。

次に犬上川下流部と河口部で、河口部掘削以降の河床高の変化を検証する。まず下流部に着目する。2001 年と 2006 年の最深河床高縦断面図を比較すると、 1.0 km 地点から 5.0 km 地点にかけての河床高は 4.6 km 地点を除いて 2001 年の時点よりも 0.6 から 2.4 m 低下していた。 4.6 km 地点の河床高は 2001 年の時点よりも 1.3 m 上昇していた。 0.4 km 地点と 0.6 km 地点の河床高は 2001 年の時点よりもおよそ 0.5 m 低下していた。 0.8 km 地点の河床高は 2001 年の時点よりも 1.2 m 上昇していた。 5.2 km 地点と 5.4 km 地点では、河床高にほとんど変化はみられなかった。

2001 年および 2006 年に測量を行った 0.2 km 地点から 5.4 km 地点までの最深河床高について共分散分析を行ったところ、 $p < 0.001$ で、有意に 2006 年の最深河床高が低くなっていた。さらに、 0.2 km 地点より 5.4 km 地点の平均河床高とその 95 % 信頼区間を求めたところ、2001 年の平均河床高は 92.6 m ($92.3 \text{ m} - 93.0 \text{ m}$; 95 % 信頼区間) であり、2006 年の平均河床高は 91.7 m ($91.3 \text{ m} - 91.9 \text{ m}$; 95 % 信頼区間) であった。これより、犬上川下流部では 2001 年から 2006 年の間に平均的におよそ 1 m 最深河床高が低下したことがわかる。

続いて、河口部に着目する。1991 年と 2001 年の河口部の最深河床高縦断面図を比較する

と、-0.1 km 地点, 0.0 km 地点, 0.2 km 地点の河床高はいずれも約 2 m, 2001 年の方が低下していた。一方, -0.2 km 地点の河床高の値は 0.1 m 程度しか変わらなかった。また, 2001 年と 2006 年の 0.0 km 地点および 0.2 km 地点の河床高はいずれも約 2 m, 2006 年の方が上昇していた。さらに, 1991 年と 2006 年の最深河床高縦断図を比較したところ, 0.0 km 地点, 0.2 km 地点の河床高の値は 0.2 m 程度しか変わらなかった。

安東ほか (2004) によれば, 100,000 m³の土砂が河口部で掘削されたとすると, 平均 2.2 m 深まで掘削が行われたことになるという。これは本研究の結果と調和的である。このことから, 0.2 km 地点よりも下流側の河床高は, 1992 年から 1993 年にかけて行われた河口部掘削の影響を強く受けていたことになる。そして, 河口部掘削が行われた後は, 河口部では徐々に土砂が堆積する傾向にあったことがわかる。ただし, 安東・倉茂 (2007) が指摘するように, 犬上川河口部では河口部掘削が行われた後, 琵琶湖の波浪の影響を大きく受けるようになったために, 土砂の移動がかなり複雑になっている。そのため, 土砂が堆積傾向となっている場が河口部に一様に広がるのか, 一部分にとどまるのかさらなる詳細な調査が望まれる。

最深河床高を 2001 年と 2006 年に縦断的に測量した結果, 犬上川下流部の河床高は平均的におよそ 1 m 低下し, 河口部では, 同じ期間に河床高が上昇する傾向を示した。しかしながら, 最深河床高を測量したのは 2001 年と 2006 年だけであるので, 河口部掘削が行われた後に, どのように河床が低下したのかこれより明らかにすることはできない。そこで, 次章の調査を行い, その過程を考察することとした。

4. 河床低下が原因となり段丘化した堆積物の堆積時期

3.0 km 地点に設けた調査区域 (Fig. 1c) において, 対象堆積物の堆積時期を決定した。そのために対象段丘面上に生育していた木本植物の年輪解析と, 対象堆積物中に混入していた廃棄物の製造年の調査を行った。

まず, 木本植物の年輪解析を行うため, 調査区域に生育していた木本植物 29 個体の中から, 可能な限り多くの直径階が含まれるように, 9 個体を選んだ (Fig. 1d, Table 1)。測定対象としたのは, コゴメヤナギ 5 個体, タチヤナギ 2 個体, ヌルデ (*Rhus javanica* L.) 1 個体, エノキ (*Celtis sinensis* Persoon) 1 個体である。なお, 対象とした 9 個体のうち, No. 6, 7 の 2 個体は下流側に傾斜して生育しており, 地面となす角度はおおよそ 10 度であった。この他の 7 個体は, 地上部よりほぼ直立して生育していた。ただし, 発芽した層準を調べる過程で, No. 1, 8, 9 の 3 個体の地中に埋もれていた部位は下流側に傾斜していたことがわかった。この 9 個体について, 地際直径, 樹高を測定した。以下の作業は木林ほか (2002) の行った方法にならった。すなわち, 対象とした 9 個体が地上部と接するところを地際とし, ここから 2, 3 cm 上方で幹と直交する方向に幹を切断した。次に, 地際部分でも同様に切断し, 厚さ 2, 3 cm のディスク状の木片を採取した。この木片を実験室

Table 1. List of surveyed tree age and its layer of germination.

No.	Species Name	diameter at base height (cm)	tree height (m)	Birth Year	Layer of germination
3	<i>Rhus javanica</i>	2.9	2.3	2005	Layer 2
4	<i>Salix subfragilis</i>	4.0	2.6	2005	Layer 2
2	<i>Celtis sinensis</i>	3.2	2.2	2004	Layer 2
1	<i>Salix serissaefolia</i>	6.6	4.0	2001	Layer 1
5	<i>Salix serissaefolia</i>	7.8	5.7	2000	Layer 1
9	<i>Salix serissaefolia</i>	8.4	4.5	2000	Layer 1
7	<i>Salix serissaefolia</i>	8.8	5.1	2000	Layer 1
6	<i>Salix subfragilis</i>	10.1	3.3	2000	Layer 1
8	<i>Salix serissaefolia</i>	28.9	9.0	2000	Layer 1

に持ち帰り，自然乾燥させた．さらに，切断した個体の周囲に堆積していた土砂をスコップを用いて取り除き，各個体が発芽した深度を特定した．これらの作業を2006年11月から12月に行った．実験室に持ち帰った木片に対して次の作業を行った．

切断した個体の発芽した年を明らかにするため，自然乾燥させた木片の年輪数をビノキュラー（双眼実体顕微鏡）やルーペを用いて数え上げた．この時，年輪数の誤読を防ぐために，木林ほか（2002）にならい，木片上に直交する2本の線を引き，その線上の年輪数を数え上げて直線の交点から伸びる4方向での年輪数が一致するところを探し，この年輪数をもってその個体の樹齢とした．この時設定した直線に沿って，のみを用いて削り，年輪数を数え上げやすくした．年輪数を数え上げた時には，原則として，表皮も最若齢の年輪と数え上げた．その上で，各個体が発芽した年を決定した．

年輪解析を行った木本植物の種名，地際直径，樹高，発芽年，および発芽した層準をTable 1に示す．Layer 2からは2004年から2005年にかけて発芽した木本植物が生育していた．一方，Layer 1からは2000年から2001年にかけて発芽した木本植物が生育していた．発芽位置はいずれの個体も各Layerの最上面であった．対象段丘面上に生育していた木本植物の年輪解析結果より，Layer 2の堆積時期は2004年以前，Layer 1の堆積時期は2000年以前となった．ただし，Layer 1，Layer 2いずれの最上面からもヤナギ科木本植物が生育していたことから，各Layerが堆積した時期は上に述べた年のせいぜい2年から3年前までと限定することはできる．これは，ヤナギ科木本植物の種子が裸地以外で発芽できない（例えば，新山，2002）ためである．

次に，対象堆積物中に混入していた廃棄物（以降，埋没人工物と呼ぶ）の製造年調査を行うための方法を述べる．対象堆積物とside poolとの間には急崖が形成されていた（Fig. 2）．そこで，のべ2ヶ月をかけて，side pool側の急崖部から対象堆積物を徐々に掘削し，対象堆積物中に混入した人工物の発見に努めた．埋没人工物を発見した場合は，速やかにその埋没深度を記録し，丁寧に堆積物中より取り出した．その後，発見した埋没人工物を実験室に持ち帰り，洗浄して風乾させた後，賞味期限や製造年月日など埋没人工物の製造年を

判断できるデータを読み取った。堆積物の各層がそれぞれ単一の洪水時に堆積したものと判定できる場合には、その層中から発見された複数の人工物の中で最も新しい製造年のものが堆積時期の指標になる（木林ほか、2002）。本研究でも、この基準にならい、堆積物の堆積時期を検討した。

発見した埋没人工物の多くはビニール・プラスチック片であり、この他に針金や農薬用品、空き缶、タイル、ガラス片などを発見した。これらの大多数を Layer 1 から発見した。発見した埋没人工物の多くはひどく損傷し、原型をとどめているものはほとんどなかった。たとえ原型をとどめていたものであっても、その製造年を特定することは非常に困難であった。その結果、製造年を特定することができた埋没人工物はわずかに 3 点であった。これらは「キャンディの袋」、「スナック菓子の袋」、「おかきの袋」であり、いずれも Layer 1 から発見した。「キャンディの袋」には賞味期限が 1996 年 11 月と記載されていた。そこでこの製品の製造元に問い合わせたところ、製造後 12 ヶ月を賞味期限としているとご回答いただいた。そこで、この製品の製造年を 1995 年 11 月と特定した。「スナック菓子の袋」には製造年月日を表示する欄があったものの、印字されていた日付は消えてしまっていた。しかし、現在販売されているこの製品には賞味期限が印字されるようになっていく。日本では 1995 年に法律が改正され、食品に製造年月日ではなく賞味期限を表記するようになった。そこで、この製品の製造年を 1995 年以前と判断した。「おかきの袋」には現在販売されていない商品名が印字されていた。そこで、この製品の製造元に問い合わせたところ、1996 年頃製造していたとご回答いただいた。そこでこの製品は 1996 年ごろ製造されたと判断した。これらの結果より、Layer 1 は 1995 年 11 月以降に堆積したと判断した。

木本植物の年輪解析と埋没人工物の製造年調査結果より、Layer 1 の堆積時期を検討する。年輪解析の結果より、Layer 1 が堆積したのは 2000 年以前であった。また、埋没人工物の製造年調査より判断した Layer 1 の堆積時期は 1995 年 11 月以降であった。これより Layer 1 の堆積時期は 1995 年 11 月から 2000 年の間と判断できる。

次に、Layer 1、Layer 2 それぞれを堆積させた出水について考察する。1990 年から 2006 年にかけての主な出水を Table 2 に示す。表の中で、雨量のデータは気象庁が彦根で観測した値、最大河川水位は、滋賀県が犬上川千鳥橋（4.7 km 地点）で観測した水位のデータ（滋賀県湖東地域振興局建設管理部河川砂防課；滋賀県土木交通部河港課、私信）である。Table 2 に記した主な出水は原則として総雨量が 100 mm を超える、あるいは最大 1 時間雨量が 30 mm を超える事象である。また、それぞれの事象のときに、千鳥橋で観測した最高水位を表に示してある。

Table 2 より Layer 1 が堆積したとみられる 1995 年 11 月から 2000 年 4 月の間の出水のうち、最高水位が上位 1 位および 2 位となる事象はそれぞれ 1997 年 7 月および 1998 年 10 月に発生した。また、Layer 2 が堆積したとみられる 2000 年から 2004 年の間の出水のうち、最高水位が上位 1 位および 2 位となる事象はそれぞれ 2004 年 10 月および 2001 年 8 月

Table 2. Rainfall events in Hikone.

Year	Date	Total Precipitation (mm)	Maximum 1 hour precipitation (mm)	Cause	Maximum Water Level (m, a.s.l.)
1990	19-20 Sep	190.0	44.5	Typhoon	102.37
1993	13-20 Aug	160.5	29.5	Front Activity	100.30
1995	11-17 May	219.5	13.0	Front Activity	100.71
	2-6 Jul	194.0	30.0	Front Activity	100.58
1996	27-29 Aug	195.0	24.5	Front Activity	100.00
1997	7-13 Jul	304.5	47.0	Front Activity	100.80
	4-7 Aug	112.5	24.5	Front Activity	100.43
1998	11-13 May	106.5	13.0	Front Activity	100.41
	13-18 Oct	178.5	26.0	Front Activity & Typhoon	101.18
1999	23-27 Jun	143.0	30.5	Front Activity	100.50
2000	10-13 Sep	162.5	16.5	Front Activity	100.08
2001	17 Jul	64.0	63.5	Cold air Mass	missing data
	21-22 Aug	132.5	12.0	Typhoon	101.74
2002	9-10 Jul	165.0	45.0	Typhoon	101.25
2003	14-15 Aug	123.5	20.0	Front Activity	100.68
2004	19-21 Oct	105.5	9.0	Typhoon	102.22
2005	3-7 Jul	173.0	25.0	Front Activity	100.68
2006	15-25 Jul	334.5	30.5	Front Activity	101.11

に発生した。

犬上川橋の約 11 km 上流には頭首工があり、ここからの放水は増水時に限られる。このため、Layer 1 あるいは Layer 2 を堆積させるような事象は、増水時に頭首工から放水があり、これにより運搬された土砂が下流部にもたらされたときに限られる。このため、Layer 1 を堆積させた事象は 1997 年 7 月あるいは 1998 年 10 月の出水、Layer 2 を堆積させた事象は 2001 年 8 月あるいは 2004 年 8 月の出水である可能性が高いと考えている。

堆積物断面柱状図 (Fig. 3) より、Layer 1 は 38 から 73 cm 深まで砂混じり礫層であり、同時期の出水により堆積した可能性が高い層である。一方で、Layer 2 は 24 から 37 cm 深の細礫まじりの粗砂で構成されていた層と 13 から 24 cm 深の砂混じり礫層の大きく 2 つの層から成る。この 2 つの層は同一の出水時に堆積したものであると考えることができる一方で、異なる出水時に堆積したものであるとも考えることができる。しかしながら、本研究でこの点を明らかにすることはできなかった。以上の結果より、Layer 1 の堆積時期は 1997 年あるいは 1998 年と決定することができた。また、Layer 2 の堆積時期も 2001 年から 2004 年という幅で決定することができた。

さて、Layer 1 の上面は 2006 年の side pool 水面より約 35 cm の高さに位置した。しかも、1997 年から 1998 年に堆積したにも関わらず、現在見ることのできる木本植物が侵入したのは 2000 年である。すなわち、本研究で堆積時期を決定した対象堆積物は形成された

後も2, 3年は植物が生育することがなかったことがわかる。すなわち、対象堆積物が形成された当時は頻繁に生育する植物が流亡するような出水が生じていたことがわかる。しかしながら、2000年までにさらに河床高が低下し、対象堆積物に植物の侵入が可能となった。その後少なくとも1度大きな出水が生じた際にLayer 2が形成された。すなわち、対象堆積物は河口部掘削後、現在まで継続する河床低下が原因となり段丘化した。このために、流路がさらに固定化されたとともに、流路内のみで河床高が低下することとなった。

5. ま と め

本研究では2001年と2006年の最深河床高を縦断的に測量し、犬上川下流部で最深河床高が低下傾向にあることを示した。この期間犬上川の下流部では約1 m最深河床高が低下していた。また、河口部掘削が行われた後に形成された砂礫堆の一部は、犬上川の最深河床高が低下するのに合わせ段丘化した。これらの事実は、河口部掘削が行われた後、犬上川下流部では継続して最深河床高が低下しつづけたことを示すものである。

河口部掘削のために、犬上川の最深河床高は低下した。すなわち、犬上川下流部における洪水制御を目的として行われた一連の河川改修工事は大きな成果をあげたと言える。しかしその一方で、段丘化堆積物が低水路内に形成された。最深河床高との比高が高いこうした堆積物上には、植物が生育し、出水時には流下する水の流れを妨げる。今後はこうした堆積物をどのように扱うのか大いに検討する必要がある。また、2006年以降も、2008年までに引堤工事や堤外地堆積物の除去などの河川改修工事が進められている。今後も犬上川で河川改修に伴う地形変化に関する継続的な研究が行われることを期待する。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、滋賀県湖東地域振興局建設管理部河川砂防課および滋賀県土木交通部河港課には、犬上川河川水位記録ならびに1991年の犬上川河口部測量成果の閲覧に特別のご配慮をいただいた。滋賀県立大学の小谷廣通准教授には電子レベルを快くお貸しいただいた。滋賀県立大学の浜端悦治准教授にはビノキュラーを快くお貸しいただいたほか、年輪解析の方法や植物種の種同定に有意義なご助言をいただいた。滋賀県立大学の野間直彦講師には、植物種の種同定に有意義なご助言をいただいた。伏見碩二滋賀県立大学名誉教授、筑波大学の上野健一准教授、お茶の水女子大学の長谷川直子准教授には議論を通じて有意義なご指摘をいただいた。田淵美穂子さん、谷崎倫子さん、時岡葉穂さん、三井直美さん、新谷規夫さん、保坂奈美さん、橋詰和典さんをはじめとする滋賀県立大学環境科学部卒業生のみなさまには野外調査に協力していただいた。ここに記して感謝いたします。

引用文献

- 安東新吾・倉茂好匡（2007）滋賀県犬上川河口部の掘削凹地における地形の形成過程：地形, **28**, 143-183.
- 安東新吾・西村茂樹・倉茂好匡（2004）滋賀県犬上川河口部の掘削凹地を埋積した土砂の堆積過程：地形, **25**, 161-174.
- 池上甲一（2003）犬上川流域の土地利用：琵琶湖流域研究会編「琵琶湖流域を読む 上 多様な河川世界へのガイドブック」, サンライズ出版, 彦根, 197-200.
- 木林 大・池尻公祐・倉茂好匡（2002）埋没人工物を用いた低水路段丘化堆積物の堆積年代同定－滋賀県東部・犬上川の事例－：応用生態工学, **5**, 115-123.
- 水山高幸・池田 碩・大橋 健（1975）湖東三山および周辺地域の地形：滋賀自然と文化研究会編「湖東三山地域学術調査報告書」, 滋賀県, 大津, 1-13.
- 新山 馨（2002）河畔林：崎尾 均・山本福壽編「水辺林の生態学」, 東京大学出版会, 東京, 61-93.
- 大橋 健（2003）芹川と犬上川の扇状地：琵琶湖流域研究会編「琵琶湖流域を読む 上 多様な河川世界へのガイドブック」, サンライズ出版, 彦根, 192-196.