筑波大学水理実験センター報告 No. 24 73～79 (1999)

栃木県烏山町，龍門の滝の成因について

The Origin of the Ryumon Falls
in Karasuyama Town, Tochigi Prefecture

吉田 美佳*・池田 宏**

Mika YOSHIDA* and Hiroshi IKEDA**

I はじめに

栃木県烏山町に龍門の滝と呼ばれる滝がある（第1図）．ほぼ垂直な崖を水が落ちるこのような滝はあちらこちらにあるように思われがちであるが，沢登りの対象とされるような急勾配の谷の小滝を除くと，かなり大きな川の，しかも崖がほぼ垂直な滝（瀑布タイプの滝，直瀑）というと，たとえば，関東平野では日光の華厳の滝と片品川の吹割（ふきわれ）の滝があるくらいで，久慈川支流の滝川にかかる急傾斜の袋田の滝を含めても，意外に少ない．

第1図 江川の龍門の滝

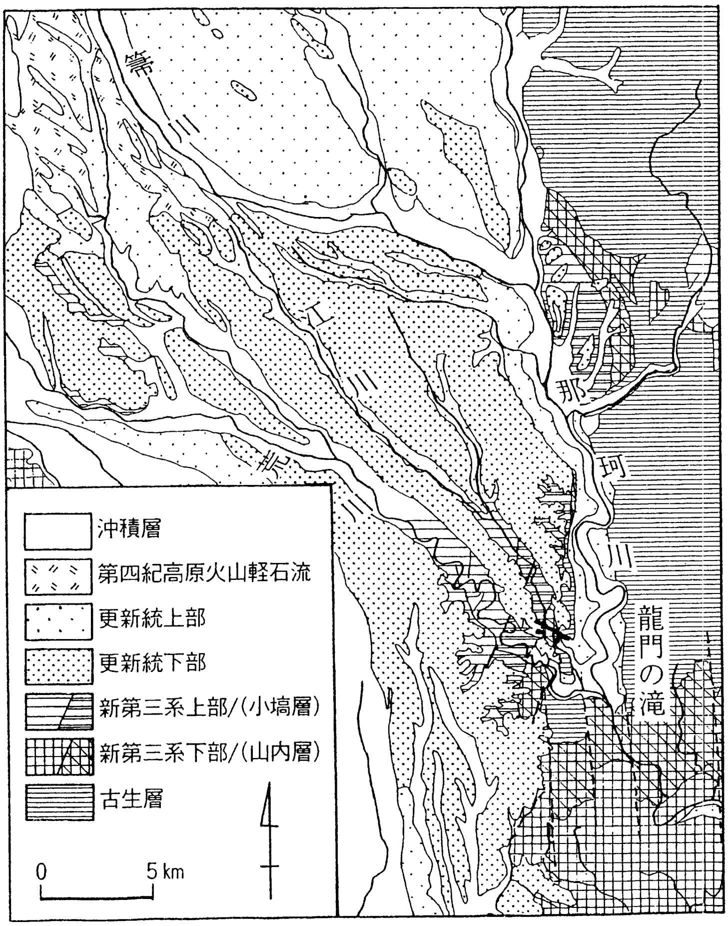
滝は硬い岩石が崖をつくることによる岩石制約地形（ロック・コントロール地形）であるというのが従来からの滝の成因の説明である．確かに，華厳の滝は川をせき止めた熔岩が造瀑層になっているし，袋田の滝も男体山熔岩と呼ばれる硬岩がつくる急崖を水が落ちている．しかし，ここで調査対象とした龍門の滝は那珂川の支流の江川にあり，本流の那珂川の下刻によって生じたに違いないのに，同様な地質からなる周辺の箒川や荒川には滝はない．このことは，江川には滝を長期間存続させる理由があることを示している．この理由を明らかにするために，本研究では，滝の下に立って滝の成因を考えるばかりでなく，滝の上流までを視野に入れて，すなわち，地形を見る目を点から線へと広げることによって滝の存続条件を調べた．

なお，沢登りをするような急勾配の谷にたくさんある小滝は，勾配が0.1以上の急勾配の岩盤侵食河床に生じる侵食河床地形であって，その成因は高い滝とは異なる（小山・池田，1998）．

II 江川流域の地形・地質概観

那珂川支流の箒川と南の荒川との間に広がる喜連

*筑波大学自然学類（現 NTT DoCoMo） **筑波大学地球科学系



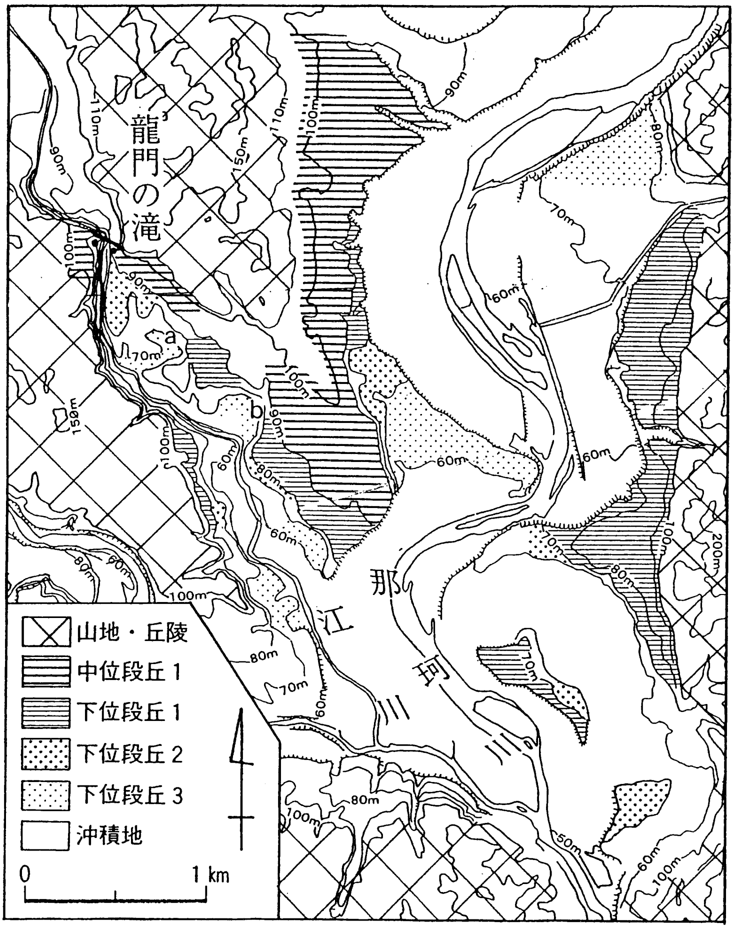
第2図　江川周辺の地質

川丘陵を流れる江川という小さな川の下流部に本研究で調査対象とした龍門の滝がある（第2図）．喜連川丘陵は主として安山岩・凝灰岩・流紋岩などの円礫・亜円礫からなる砂礫層とその中に挟在する泥層，砂層，軽石質の凝灰岩層や火山灰質の粘土層からなる下部更新統の境林礫層で構成されている（小池ほか，1985；日本の地質『関東地方』編集委員会，1986，p. 63-66，129-132，182-184；平山ほか，1990）．境林礫層の下位には新第三系の中～上部中新統の凝灰岩層を多数挟む小塙層があり，江川中流の河床に露出している．

龍門の滝に近い江川下流の河床には，より下位の中川層群（下部中新統）の山内層が分布している．火山砕屑岩（凝灰角礫岩）と凝灰岩を主とし，玄武岩および安山岩質玄武岩の溶岩を多数挟む地層で，これが龍門の滝の造瀑層となっている．なお，滝の下流には東方の八溝山地を構成している古生層が見られる．

Ⅲ　龍門の滝の形成時期

龍門の滝の形成時期を周囲の河岸段丘面から調べた．このために江川とそれが注ぐ那珂川の河岸段丘面を，烏山町都市計画基本図（1／2,500，等高線間隔2m）と空中写真判読とによって4段に分類した．いずれも段丘礫層が比較的薄い侵食段丘面である．これらの段丘面は阿久津（1955），貝塚（1957），小池（1961）および早川・勝村（1982）による段丘面区分との比較から，那珂川の中位段丘1，下位段丘

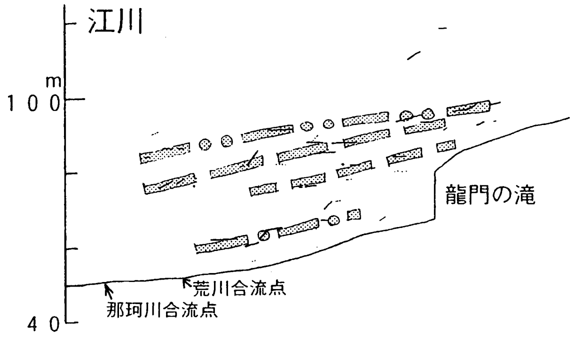


第 3 図　江川下流と那珂川の河岸段丘面分布

1，下位段丘 2，下位段丘 3 と対比同定される（第 3 図）．

江川をはじめとして喜連川丘陵を流れる小河川の谷底面は那珂川の中位段丘 1 の高度に連続する．このことから，中位段丘 1 の形成期以降は，江川の龍門の滝より上流あるいはその他の小河川の上流部では，ほとんど下刻が生じなかったことがわかる（吉木，1996）．貝塚（1998，p. 214-215）に基づいて，各段丘面をM1もしくはM2，Tc 1，Tc 2，Tc 3に対応させると，中位段丘 1 は 8 ～10万年前，下位段丘 1 は 5 万年前，下位段丘 2 と下位段丘 3 は，それぞれ約3.5万年前と約 2 万年前に形成されたと考えられる．

江川下流の河岸段丘面の高度分布（第 4 図）によれば，下位段丘 2 の時代までは滝がなかったが，下位段丘 3 の時代にはすでに滝が生じたと推定される．すなわち，滝は今から3.5万年前から 2 万年前までの間に生じた．ただし，下位段丘面の高度は現河床



第 4 図　龍門の滝以下の河岸段丘面の縦断投影図

より数m高いから，当時の滝の高さは10mに満たなかったはずである．

龍門の滝が最初にどの地点に生じたのかは分からない．龍門の滝の下流には両岸が崖になっている峡谷区間が 600m続いているから，少なくともこの区間は滝が後退したと考えると，龍門の滝の後退速度は3.5～2万年間で600m，すなわち2～3cm／年と算定される．たとえ滝が那珂川との合流点に生じたとしても，滝の後退速度は10～20cm／年である．

Ⅳ 龍門の滝の存続条件

3.5万～2万年前に那珂川の河床低下によって支流の江川に生じた龍門の滝が，今日まで消滅してしまわずに存在し続けている理由，いいかえれば垂直な崖が存続してきた条件を，崖の上部の侵食後退速度が小さい理由と，崖の下部の侵食後退速度が崖の上部より大きい理由とに分けて考える．

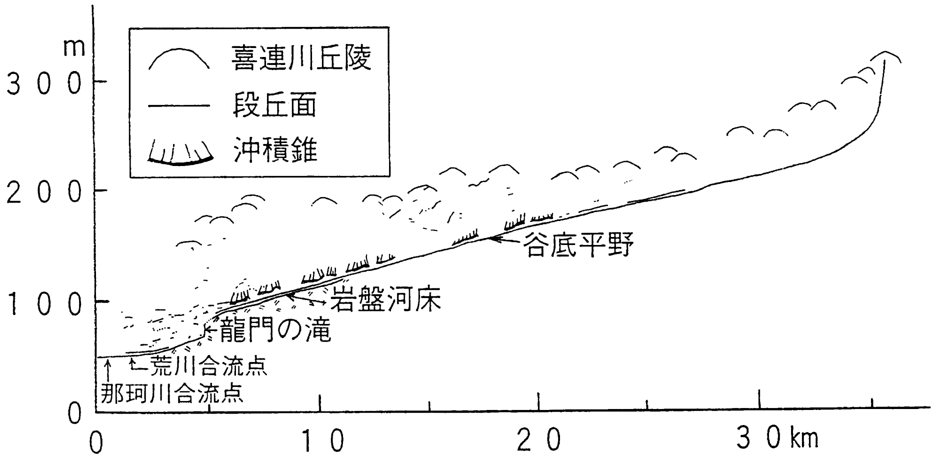
1．大量の石が運搬されない江川の流れ

日光華厳の滝の先史時代以降の後退距離2,000m（三野，1958）やナイアガラのカナダ滝の12,000年前以降の後退距離約11km（Holmes & Holmes, 1978, p. 329）などと比較して，龍門の滝の後退速度はきわめて遅い．もし後退速度が大きければ，隣を流れる箒川や荒川に滝がないように，滝はすでに消滅してしまったであろうから，滝の後退速度が小さいことが龍門の滝が今日まで存在し続けている一因といえよう．

龍門の滝の造瀑層が現状では凝灰角礫岩層であるとはいえ，大勢は凝灰岩であることから，この滝の後退速度がきわめて小さい理由は造瀑層の侵食抵抗性が大きいためではなく，江川の侵食力が小さいためと考えられる．その理由は，第一に流量が少ないことであるが，それに加えてもう一つの理由がある．それは江川が運搬する砂礫の量がきわめて少ないということである．

江川流域の喜連川丘陵の標高は300～200mしかない．江川はこの丘陵内に幅1kmほどの谷底平野を発達させている．谷底平野と丘陵との間には丘陵から押し出した土砂礫からなる沖積錐が広く残されており，この上に集落の多くが立地している．このような景観は滝が形成されたと思われる3.5万～2万年前には，すでにできていたから，江川がごく少量の砂礫しか運搬しない状況は当時から今日まで続いてきたと考えられる．

龍門の滝の上流の江川の河床勾配は上流30kmの長さにわたって約1／200（0.005）の一様勾配となっている（第5図）．江川中流では，落差工（横工）の設置されている地点の直上流の河床には径8～10cmの礫が見られるものの，やや急勾配となる江川下流部の河床は縦溝（groove）が発達した平滑岩盤河床となっており，江川の運搬する砂礫がきわめて少量であることを示している（鈴木・池田，1994；



第5図　江川の河川縦断図

板倉・池田，1997）．

なお，江川の源流より3kmほど下流では，隣を流れる箒川の側刻を受けて，江川の谷底平野が箒川河床と接しており，両者の高さの差は3mしかない．しかし，ここから箒川が江川に流入した様子は認められない．

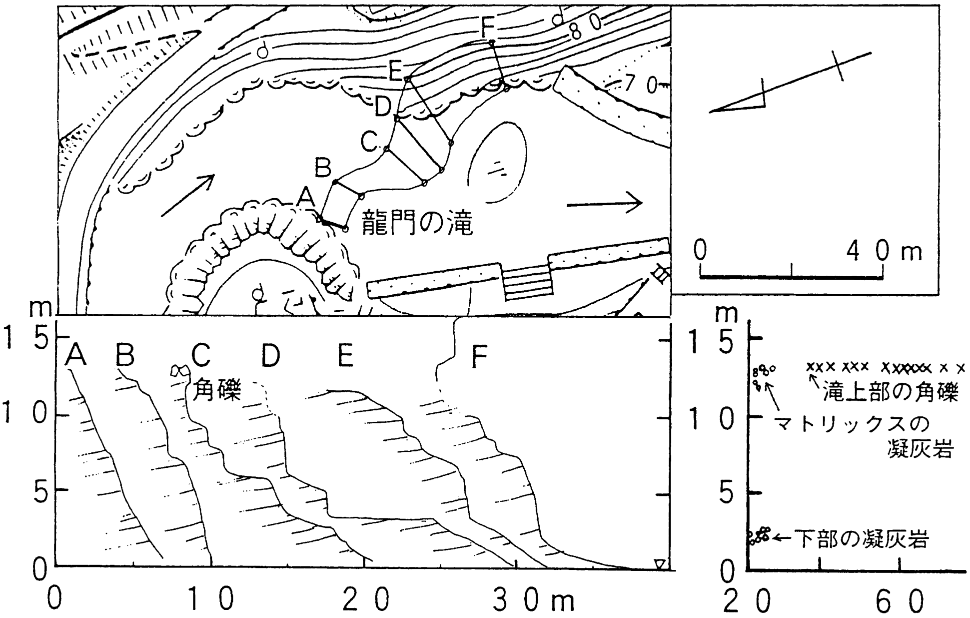
上流から運ばれてくる大きな石がないという滝の存続条件は，龍門の滝に限ったことではない．華厳の滝もナイアガラの滝も上流に湖があって粗大な礫が大量には滝を通過しない条件を備えている．イグアスの滝なども，滝の上流の河床は平滑岩盤河床であり，大きな石が大量に運搬されていないことを示している．もし上流から大量の砂礫が運搬されてくれば，通過する砂礫による砂防ダムの磨耗が問題となっているように，滝はそこを通過する砂礫によって侵食されて早瀬になってしまうに違いない．

2．軟岩層からなる崖に懸かる龍門の滝

滝のかかる崖の形状をノンプリズム・レーザー距離計（Laser Technology 社製，商品名 Impulse）を用いて滝の直下流の右岸側から測量した（第6図）．その結果，滝の高さは12 m，幅は65 mであることがわかった．滝がかかっている南西方向を向いた崖は現在は右岸寄りが急崖で，水流が集中している．滝の中央近くに，男釜，女釜と呼ばれる滝壷がある．崖は左岸側では勾配を減じて，階段状を呈している．

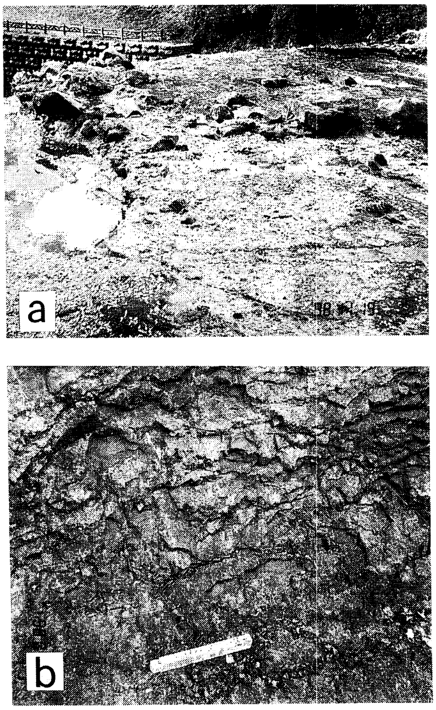
滝がかかる崖を構成している地質は西に緩く傾く（滝の左岸で走向N10° W，傾斜15° E）凝灰岩・凝灰角礫岩の互層である．地層がほぼ水平層であるということが，急崖の成因として第一に重要であると思われる．構造性の節理があまり密に発達していない水平層には応力開放によるシーティング節理が垂直に発達しているために，急崖が生じる．グランド・キャニオンの砂岩や石灰岩層が作る垂直な崖がこれであるし，妙義山や荒船山などの急崖も同様であろう．

龍門の滝の造瀑層は現在は凝灰角礫岩層で，滝の直上流の河床には径50cmほどの粗大な安山岩の岩塊が突出していて，一見するといかにも侵食抵抗性が高そうに見える（第7図a）．実際，安山岩塊のシュミットロックハンマー（Proceq 製，40348）反発値は60前後の高い値を示す．しかし，岩塊の周囲の凝灰岩の部分は，崖の基部の凝灰岩も共に20～30の反発値を示すきわめて弱い岩盤で，崖の基部の凝灰岩の岩盤には風化節理が密に発達している（第7



第6図　龍門の滝の断面形と岩盤強度

図ｂ).



第７図　龍門の滝の構成層

ａ：最上部の凝灰角礫岩層，
ｂ：基部の凝灰岩の岩盤に発達する風化節理

龍門の滝の懸かる崖の構成層が軟岩であることが，滝の懸かる崖の下部の後退速度が上部より大きくなるために，すなわち，垂直な崖が保存されるために必要な条件と考える．すなわち，崖の基部では上部からの荷重を受けて応力開放割れ目が生じて風化抵抗性が弱まるために，崖の上部より後退速度が常に大きくなり，わずか12mの高さの崖でありながら垂直に近い急な滝が保存されているのであろう．

もし，龍門の滝の崖が花崗岩などの硬岩からなっていれば，滝が後退しにくくなるという点からはむしろ滝の保存条件として好ましいと思われるかもしれないが，実際には崖の基部の岩盤が上部より弱くならないために，崖の上部が基部より早く侵食されて，滝は垂直ではなくなってしまうだろう．花崗岩のような硬岩の場合に崖の基部の後退速度が上部より早くなるためには，上部からの荷重によって基部の岩盤が破砕して強度が低下するほどに崖が高いことが必要である．

ギアナ高地のエンジェル・フォールのように1,000mもの高さの滝は水平な硬岩層のつくる垂直な崖に懸かっている．強い花崗岩からなるヨセミテの谷にも高い滝がある．一方，軟岩では自立限界高さを越えた高い崖は生じないから，岩盤の強度が高いほど高い滝を形成するということになろう．龍門の滝のような高さの低い垂直な滝は，いずれもほぼ水平な軟岩層に発達する垂直な崖が，上流から大量の石が運搬されてこない川に生じた場合に保存される地形であるといえよう．

Ｖ　おわりに

那珂川上流の支流，江川に懸かる龍門の滝は，那珂川の河床低下によって3.5万～２万年前に形成された．水平な弱い軟岩層に懸かっているために，12mの高さしかないのに垂直な滝になっており，また上流から流れてくる研磨剤としての砂礫が少ないために，軟岩からなるにもかかわらず滝は長期間にわたって保存されている．すなわち，滝は岩盤からなる崖を水が落ちる岩石制約地形（ロック・コントロール地形）であると共に，上流から大きな石が大量に運搬されてこない川に保存されている岩屑制約地形（デブリ・コントロール地形）である（池田，1998）といえよう．

謝辞

本稿は吉田美佳による平成10年度筑波大学第一学群自然学類の卒業論文を加筆・修正したものである．本研究を進めるにあたり筑波大学地球科学系の地形分野の先生方にご指導をいただいた．筑波大学地球科学研究科の斎藤健一，環境科学研究科の板倉雅子，池田雄二，自然学類の阿部美和，小沼秀嗣，北浦光章，高木　優，橋爪克典，八反地　剛，福田友紀子，（株）パスコの平野由佳の皆さんには現地調査などにご協力いただいた．皆様に心から感謝いたします．

引用文献

阿久津　純（1955）：宇都宮周辺の関東火山灰層と河岸段丘．宇都宮大学学芸学部研究論集，4，33-36.

池田　宏（1998）：軟岩と河川地形－デブリ・コントロールの見方－．日本地形学連合編「地形工学セミナー2　水辺環境の保全と地形学」．古今書院，37-58，186p.

板倉雅子・池田　宏（1997）：小櫃川上流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.

貝塚爽平（1957）関東平野北東部の洪積台地．地学雑誌，66，217-230.

貝塚爽平（1998）：「発達史地形学」東京大学出版会，287p.

小池一之（1961）：那珂川流域の地形発達．地理学評論，31，59-85.

小池一之・岩崎孝明・檀原　徹・百瀬　貢（1985）：下野火山灰下部層のフィッション・トラック年代とその地史的意義．駒沢地理，21，39-67.

小山　力・池田　宏（1998）：岩盤河床形状に及ぼす河床勾配の影響に関する実験的研究．筑波大学水理実験センター報告，23，25-34.

鈴木睦仁・池田　宏（1994）：愛知県豊川上流の乳岩川における平滑な岩盤河床の成因について．筑波大学水理実験センター報告，19，45-56.

日本の地質『関東地方』編集委員会編（1986）：「日本の地質3　関東地方」．共立出版，335p.

早川唯弘・勝村　登（1982）：那珂川下流域における河成段丘および沖積低地の地形発達．茨城大学教育学部紀要（自然科学），31，2-22.

平山光衛・鈴木陽雄・宇塚清司（1990）：喜連川丘陵南部の地質と地下水．宇都宮大学教育学部紀要，41（2），121-136.

三野与吉（1958）：日光華厳の滝について．藤本教授還暦論文集，344-363.

吉木岳哉（1996）：栃木県喜連川丘陵の谷壁斜面を刻む最終氷期後半の化石ガリーとその埋積過程．第四紀研究，35（5），359-371.

Holmes, A. and Holmes, D. L. (1978): Principle of Physical Geology (3rd ed.), Nelson, 730 p. : 上田誠也ほか訳（1984）：「一般地質学Ⅱ」．東京大学出版会，537 p.