河川技術論文集，第23巻，2017年6月

流域地質と河道特性に着目した扇状地における土地利用特性の解明

RESEARCH OF CHARACTARISTICS OF LANDUSE ON ALLUVIAL FANS BY FOCUSING ON GOELOGY AND CHARACTERISTICS OF RIVER

廣尾智彰[1]・山田真史[2]・原田大輔[3]・知花武佳[4]
Tomoaki HIROO，Masafumi YAMADA，Daisuke HARADA，Takeyoshi CHIBANA

[1]学生員　東京大学大学院工学系研究科　社会基盤学専攻（〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1）
[2]学生員　工修　東京大学大学院工学系研究科　社会基盤学専攻（〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1）
[3]正会員　工博　国立研究開発法人土木研究所　水災害・リスクマネジメント国際センター(ICHARM)（前東京大学工学系研究科）（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）
[4]正会員　工博　東京大学大学院工学系研究科　社会基盤学専攻　准教授（〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1）

Alluvial fan is the transit point between mountainous area and plane area, and affected by these two areas. In addition, it has been very difficult how to manage rivers on an alluvial fan because of their steep slope and unstable course.

It is essential to examine and maintain the appropriate style of each city on each alluvial fan in consideration of future population decrease. Therefore, the characteristics of the land use on each alluvial fan were investigated by focusing on the geology and the feature of each river basin.

In order to understand the characteristics, we took three approaches; coloring topography maps, field observation and sampling riverbed material.

Consequently, it was revealed that the characteristic of each alluvial fan can be classified into three patterns, volcanic rock, sedimentary rock with steep slope and sedimentary rock with gentle slope.

Key Words : *alluvial fan，land use，characteristics of river，geology*

1．背景と目的

(1) 背景

扇状地は人口減少に悩まされる中山間地域と，人口が集中し無秩序なスプロール化の進む平野部との結節点に存在する．そして現在，日本全体の人口動向と同様に，扇状地面に存在する都市の多くが高齢化に直面し，人口減少にさしかかろうとしている．

中山間地においては現在，担い手人口の減少により整備の行き届いていない河川や農地が存在している．扇状地面上の都市でも担い手人口の減少が予想され今後中山間地と同様に管理の行き届かない河道内構造物や耕作放棄地が生まれる可能性がある．

一方で，扇状地面上では都市化が進行してきたという平野部的な特徴も持っている．かつての水田を埋め立て，農業用水をコンクリートで固めて暗渠化している場所において，暗渠化されたことで土砂がつまり降雨時に水があふれるという現象が報告されており[1)]，筆者らが行ったヒアリングに調査でも同様の事象が起こっていることを確認した．

扇状地面ではかつて洪水被害が頻発し，農業用水も得られにくかったため，治水利水のために様々な策がとられてきた場所である．したがって，これまで培われてきた知恵や工夫を活かしつつも，安全かつ今後の社会情勢にあった街づくりを進めるためには，災害にあう前に適切な対策をとる必要があり，そのためにも扇状地の特徴を把握することが非常に重要である．

(2) 目的

現在まで扇状地に関してさまざまな研究が行われてきた．地理学の分野においては扇状地の形成論[2)]について，

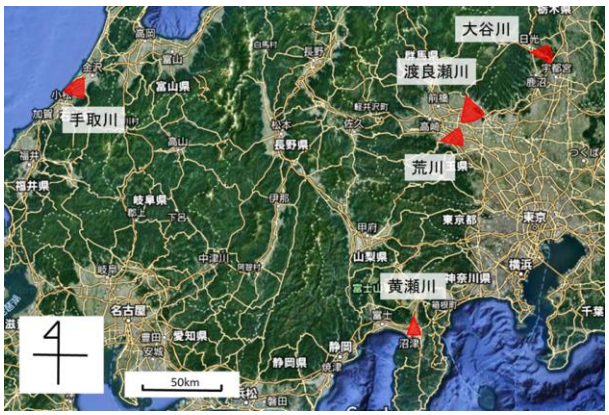

図-1　調査サイト

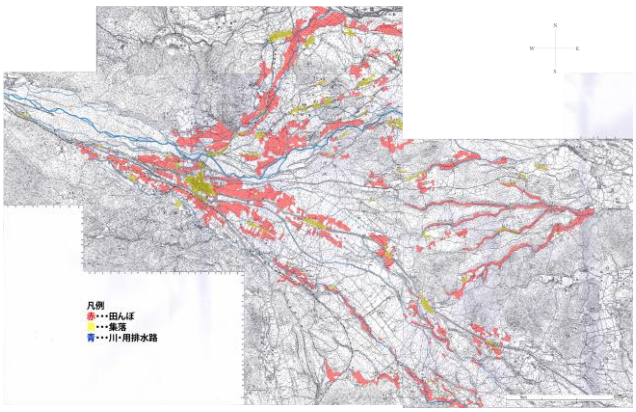

図-2　地形図着色の例(今市扇状地1917年)

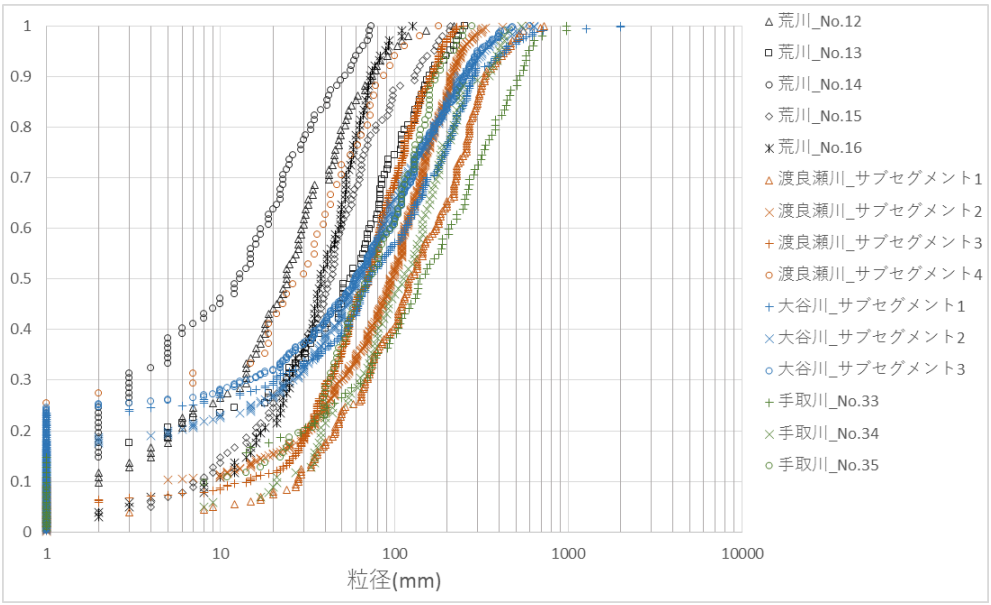

図-3　粒径加積曲線

河川工学の分野においては扇状地内の河道特性[3]について，河川・景観工学の分野においては集落配置や土地利用[4)5)]についてのケーススタディが主になされてきた．しかし，土地利用に関してはケーススタディにとどまっており，流域地質・河道特性と土地利用の関係性について着目し，各扇状地間で比較をおこなった研究は少ない．そこで本研究では流域地質と河道特性が扇状地の土地利用に与える影響について分析を行った．

2．調査サイトと手法

(1) 調査サイト

本研究では流域地質の差異による扇状地の土地利用の特徴の比較を行うため，流域地質が異なり，中型～大型の扇状地を持つ大谷川，渡良瀬川，荒川，黄瀬川，手取川の5河川を対象とした（**図-4**）．また渡良瀬川および荒川は開析扇状地となっており，渡良瀬川は段丘化した上流側を大間々扇状地，下流側を足利扇状地とし，荒川は段丘化した上流側を寄居扇状地，下流側を熊谷扇状地とした．

(2) 手法

各扇状地の特徴を把握するために，現地観測と地形図の読図，および文献調査を行った．

現地観測では扇状地上の河川の河道特性を把握するために，視察と粒径調査を行った．視察では扇状地面上の河川を自動車・自転車・徒歩で見て周り川幅や比高差，砂州の状況を定性的につかむことを意図している．粒径調査では河床材料を線格子法を用いて縦断的に計測した．粒径調査は大谷川10地点，渡良瀬川16地点，荒川6地点，手取川3地点の計35地点で行った．黄瀬川については河道内への侵入が難しかったため行っていない．計測した粒径は粒径加積曲線としてまとめた（**図-5**）．

地形図の読図では，国土地理院地形図を土地利用ごとに着色し，都市化進行前(1900年初頭)の農地・集落配置の状態，および都市化進行による農地の変化について整理した（**図-2**）．

文献調査については主に国が作成した河川維持に関する資料[6)7)8)]を参考にした．

表-1　各扇状地の特徴（一部文献参照[2)3)6)7)8)10)]）

	荒川	渡良瀬川	大谷川	黄瀬川	手取川
流域地質	堆積岩	堆積岩 火山岩,花崗岩	火山岩	火山岩	火山岩 (堆積岩)
平均勾配(‰)	4.8(寄居) 3.1(熊谷)	9.1(大間々) 4.9(足利)	11.6	13	6
河床材料	砂利	砂～大礫	砂・大礫	未測定	砂～大礫
堰	なし(寄居) 扇頂のみ(熊谷)	扇頂のみ(大間々) 勾配変化点(足利)	複数個所に点在	複数個所に点在 していた(現在は合口)	
用水路	少ない(寄居) 多い(熊谷)	普通(大間々) 多い(足利)	多い	多い	多い
自然堤防	○	○	×	×	×
集落配置	自然堤防上(寄居) 自然堤防上(熊谷)	自然堤防上 街道沿い(大間々) 自然堤防上(足利)	街道沿い	様々	島状
都市化進行前 の水田	制限されている(寄居) 一面に広がっている(熊谷)	制限されている(大間々) 一面に広がっている(足利)	様々な場所	一面に広がっている	一面に広がっている
農地の変化	森林・桑畑 →畑地(寄居) そのまま(熊谷)	森林・桑畑 →畑地(大間々) そのまま(足利)	森林・桑畑→水田	そのまま	そのまま

3．各扇状地の特徴

(1) サブセグメントについて

山本のセグメント区分[9)]によれば扇状地はセグメント1に分類される．本研究では各扇状地上の河川と土地利用の縦断方向の関連性を分析するために，特に観測地点の多い渡良瀬川，大谷川に関して河床勾配変化点に着目してセグメントの下位にサブセグメントという区分けを設けた．渡良瀬川に関しては河川維持管理計画[10)]を参照した．同一サブセグメント内の観測点は粒径加積曲線を作成する際に一つにまとめた．

(2) 各扇状地の特徴

まず各扇状地の河床材料について考察する．粒径加積曲線によると，荒川は砂利が多くを占め，渡良瀬川は砂～大礫が存在し，大谷川は砂と大礫，手取川は砂～大礫と存在しているが渡良瀬川と比べ砂と大礫の存在比率が高くなっていることがわかる．この結果は小出(1997)の風化の不連続性[11)]と整合的であり，ゆえに流域地質によって河床材料がある程度決定されると考えられる．

都市化進行前の集落配置について分析すると，まず大間々扇状地，今市扇状地では街道沿いに見られた．手取川扇状地では島状集落をなしていた．また集落立地している場所の標高を，カシミール3Dに標高データ[12)]導入して調べたところ，寄居扇状地，熊谷扇状地，大間々扇状地，足利扇状地については微高地上，すなわち自然堤防上に集落が立地していることが多いことが判明した．黄瀬川については集落立地に傾向は見られなかった．

都市化進行前の農地については，熊谷扇状地，足利扇状地，三島扇状地（黄瀬川），手取川扇状地では一面に水田が広がっており，今市扇状地では扇状地面の様々な場所に水田が存在した．一方で寄居扇状地・大間々扇状地では用水路の傍や山地の傍で沢水が確保できる場所といった非常に限られた区域において水田耕作が行われていた．

これら各扇状地の特徴をまとめたものが**表-1**である．その際，流域地質に関しては火山岩，堆積岩，花崗岩の三種類に大別した．

(3) 考察点の整理

表-1より，流域地質による扇状地の特徴への影響として次の2点が考えられる．

- 流域地質が堆積岩の場合は堰が一カ所に固まり，火山岩の場合は複数個所に点在している．
- 流域地質が堆積岩の場合は自然堤防ができやすく，火山岩の場合はできにくい．

また，以下の2点についても，流域地質の影響が考えられる．

- 用水路の本数については，流域地質が火山岩の場合は多く，また堆積岩の場合は足利扇状地・熊谷扇状地では多いのに対して大間々扇状地・寄居扇状地で少ない．
- 農地については，流域地質が火山岩の場合，都市化進行前より水田として利用され，発展により水田が増加し，流域地質が堆積岩の場合，足利扇状地・熊谷扇状地は原始より一面水田である一方で，大間々扇状地・寄居扇状地では原始では水田が限られ，発展により畑地が開墾されている．

これらについて考察を行う．

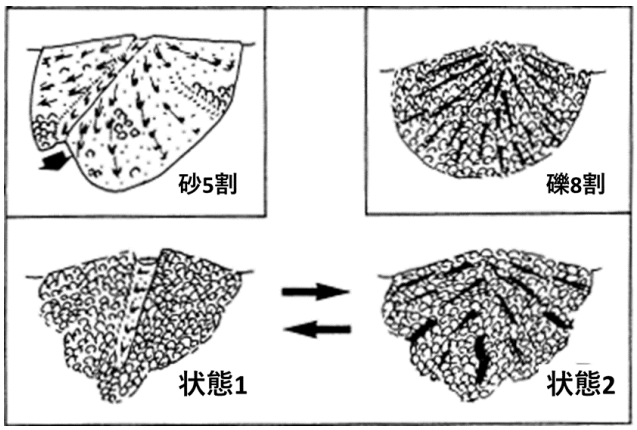

図-6 扇状地形成の水路実験[13)]

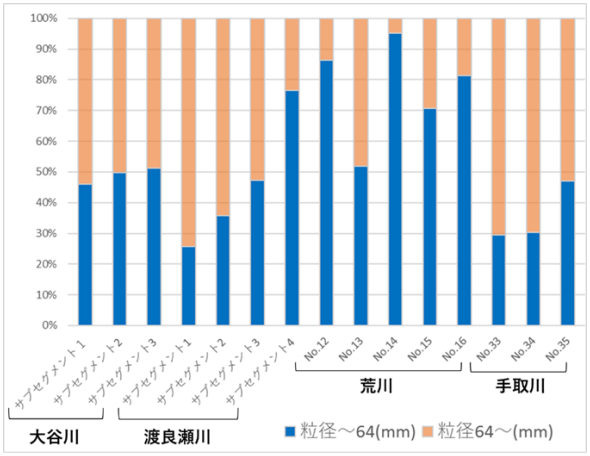

図-7 各サイトの粒径比

4. 考察

(1) 堰について

流域地質が堆積岩主体である荒川と渡良瀬川の扇状地は，土地が隆起しやすい場所に存在し，開析扇状地となっている．開析扇状地の各面の頂は河床と堤内地との比高差が比較的小さくなるところであり，導水が簡単である．荒川と渡良瀬川の両扇状地とも開析面の頂に堰が集中していた．一方で，流域地質が火山岩である今市扇状地，手取川扇状地では堰は複数個所に分散して存在していた．これらの扇状地を流れる河川の河床材料には大礫が多い．大礫が存在すると勾配変化点ができるという指摘[14)]を踏まえると，これらの河川では勾配変化点が複数個所でき，その結果として河床と堤内地の比高差が小さい場所が複数個所うまれ，多数の堰を配置することができたのではないかと考えられる．

また三島扇状地についてであるが，三島扇状地は三島溶岩流に覆われており，その溶岩が何枚かの層をなしている[15)]．そして層の境目のところに滝，および滝に準ずるほど急激に河床が変化する場所が存在する．その滝の上流部，すなわち河床と堤内地の比高差が最も小さくなるところに堰が配置されていた．

(2) 旧河道について

扇状地は透水性が高く，一般的に扇央において水を得ることは難しく，用水路から水を得ることが日常生活・耕作のいずれにも非常に重要であり，扇状地面では水路網が発達してきた．安達・北浦(1995)[4)]は，手取川において幹線用水路として旧河道が用いられていると述べている．したがって，旧河道が用水路を作る上で重要なファクターとなっていると考え，用水の引きやすさを旧河道の本数という指標に着目して考えることとする．

(a) **扇状地形成について**

扇状地の形成についてはシミュレーションや水路実験で様々な研究が行われている．小玉・伊勢屋(1987)[13)]による扇頂溝形成の研究では砂と礫の配合を変えて扇状地の形成を水路実験により分析している．まず，砂が5割以上を占める場合であるが，このとき扇状地上に本河道が明瞭に見られる．その河道内では砂の輸送が盛んに行われ，結果として河道の位置は徐々に左右に移動する．つまり首振り運動を行う．一方，礫が8割を占める場合であるが，このとき**図-4**のように河道は不明瞭で常に面状洪水を呈している．では砂が3～4割，礫が6～7割の場合であるがこのときは，砂が5割の場合に近しい状態(これを状態1とする)と，礫が8割の場合に近しい状態(これを状態2とする)を交互に行き来する．このように二つの状態を行き来することによって扇状地は形成されていく．このように扇状地形成時には旧河道の走り方が状態1と状態2の2パターンあったと考えられる．

(b) **旧河道形成について**

では流域地質と旧河道について述べる．流域地質が火山岩である場合，主要の礫径は大きい．したがって扇状地の形成過程において状態2の期間が状態1よりも長かったと考えられる．本流のほかに無数の支流が放射状に流れた結果，旧河道は明瞭ではないものの，その本数は多くなったと考えられる．例えば手取川扇状地において，放射状の旧河道が用水路として利用されていることが明らかとなっている．一方，流域地質が堆積岩主体の場合は礫径が比較的小さい．このとき，扇状地の形成過程において状態1の期間が状態2の期間より長かったと考えられる．洪水に対する河道の安定性を考えて勾配により場合分けを行う．勾配が急の場合，つまり寄居扇状地と大間々扇状地であるが，勾配が急のため洪水に対して河道が比較的安定である．したがって，河道は大洪水でのみ変わり，旧河道は，その本数は少ないものの明瞭となったと考えられる．勾配が緩い場合，つまり熊谷扇状地と足利扇状地であるが，このとき勾配が緩いため河道の安定性が低かった．その結果，小規模な洪水でも河道が変わり，旧河道は明瞭ではないものの，その本数は多くなったと考えられる．

(c) **用水路について**

流域地質が火山岩の場合，旧河道の本数が多く都市化進行前より用水路を通しやすいと言える．流域地質が堆積岩の場合かつ勾配が急の場合，旧河道の本数が少なく用水路が通しにくい場所であったといえる．勾配が緩い場合は旧河道の本数が多く，都市化進行前より比較的用水網の発達しやすかった場所であるといえる．

(3) 自然堤防について

(a) 自然堤防と河床材料との関係

森山・小沢(1972)[16]によれば自然堤防を構成する土砂粒径はpebbleサイズ(32～64㎜)の礫を含む砂～細礫，つまり粒径64㎜以下である．**図-5**によると荒川のNo13を除く各サイト，および渡良瀬川のサブセグメント4において河床材料に64㎜以下の径を多く含むことが見て取れる．また，扇状地は傾斜を持つため自然堤防の形成には種となる砂利が必要であったと考えられる．したがって条件を満たす河床材料を有している寄居扇状地・熊谷扇状地・大間々扇状地・足利扇状地において自然堤防が形成されたと考えられる．

(b) 自然堤防と集落配置の関係

自然堤防は周辺よりも1～2mほど微高地となっており，洪水が発生した際に浸水のリスクを抑えることができる場所である．扇状地は元来洪水の発生リスクの高い場所であり，微高地が存在すればそこに家を建てるのは，まだ河道の固定されていない都市化進行前の状態ではいたって普通のことである．先行研究においても熊谷扇状地において，自然堤防上に集落立地される傾向があったことが示されている[17]．よって流域地質と自然堤防の関係性を考察する．

荒川・渡良瀬川では自然堤防が形成されやすい．また流域地質が堆積岩の場合，勾配の緩急で旧河道の疎密が決まる．よって堆積岩で勾配が緩い熊谷扇状地・足利扇状地では集落の大部分が自然堤防上に配置された．堆積岩で勾配が急な寄居扇状地・大間々扇状地でも自然堤防上の集落が存在するが，旧河道が疎のため街道沿いといった別の要因で形成された集落も存在する．火山岩の場合，自然堤防は存在しない．よって社会的要因によって集落配置は決定した．今市扇状地は扇頂部が日光東照宮であり，日光街道といった主要街道が整備され，その傍に集落が形成された．黄瀬川扇状地は東海道の大宿場町である三島が存在し，ほかの集落配置には傾向が見られない．手取川の集落は，島状に点在している．

(4) 農地について

水田耕作は水持ちの悪すぎる土地では不向きである．したがってシルト分が存在することが必要である．流域地質が堆積岩の扇状地では，流域地質に第三系が含まれている．そして風化の不連続性より第三紀の頁岩からシルト分がもたらされる．流域地質が火山岩の場合，母体火山の火山噴出物からシルトが生成される．以上より，扇状地において地質による水田耕作の優劣はないと考えられる．

次に水田耕作に必要な水についてである．これは前項の用水路より流域地質が火山岩，および堆積岩かつ勾配が緩い場合が有利であり，流域地質が堆積岩かつ勾配が急な場合が不利となっている．

以上，都市化進行前の状態を考えると，流域地質が火山岩，および堆積岩かつ勾配が緩い場合は水田耕作広い範囲で行われ，流域地質が堆積岩かつ勾配が急な場合は天水が得られるといった非常に限られた範囲でしか水田耕作が行えなかった．また，発達によって流域地質が火山岩の場合はもともと水路網が整備されていたのに加えて，土木技術の進歩により水路網への水供給が安定したため，開墾地が水田になった．一方，流域地質が堆積岩かつ急な場合は用水路網を一から整備せねばならず，開墾地自体も広大であったため，水量の少なくてすむ畑地に変容していったのである．

5．結論

本研究の目的は，流域地質と河道特性が扇状地面における土地利用に対して与えた影響を分析することであった．**表-2**にその結果を示す．また流域地質ごとの特徴を下に記す．

(1) 流域地質が火山岩の場合
(対象サイト：今市扇状地，手取川扇状地)

流域地質が火山岩主体の場合，河床は砂粒分が多く礫径は大きい．このような川の扇状地形成の過程では，放射状に無数の流路が走り，旧河道が多く形成された．ゆえに，用水路網が扇状地面に均等に行き渡たり，都市化進行前から稲作が行われ，農地開発により桑畑・森林が水田へと変化した．また，礫径が大きく急勾配のため自然堤防ができず，集落配置は街道沿いや島状といった社会的条件により決まった．

(2) 流域地質が堆積岩かつ勾配が急な場合
(対象サイト：寄居扇状地，大間々扇状地)

流域地質が堆積岩主体でかつ勾配が大きい場合，河床は砂粒分が少なく礫径が小さい．このような川の扇状地形成過程では大水時のみ首振りし，旧河道は少ない．ゆえに都市化進行前において用水路は幹線に限定され，稲作は限定的に行われた．農地開発により桑畑・森林は畑地に変化した．また，砂利が多いため，扇状地でも自然

表-2　流域地質と扇状地の特徴

流域地質	火山岩	堆積岩	
勾配		急勾配	緩勾配
自然堤防	×	○	○
旧河道	不明瞭だが多い	明瞭だが少ない	多い
用水路	多い (多数の幹線と 枝分かれ状の支線)	少ない (幹線に限る)	多い (幹線と網状の支線)
都市化前の集落	街道沿い、島状他 (社会的条件)	自然堤防上、街道沿い (自然的条件、社会的条件)	自然堤防上 (自然的条件)
都市化前の水田	いたるところ	用水路傍・沢水の取れる 場所に限られる	全面
農地の変化	桑畑・森林→水田	桑畑・森林→畑地	水田のまま

堤防が形成されやすく旧河道が疎の為，集落配置は自然堤防上および街道沿いとなった．

(3) 流域地質が堆積岩かつ勾配が緩い場合
（対象サイト：熊谷扇状地，足利扇状地）

流域地質が堆積岩主体でかつ勾配が小さい場合，河床は砂粒分が少なく礫径が小さい．このような川の扇状地形成過程では，河道が安定せず，勾配が大きい場合と比べ小さな洪水でも河道が首振りした．ゆえに，旧河道が数多くでき，用水路網が発達し，都市化進行前より水田として利用されてきた．また，自然堤防が形成されやすく旧河道が密のため，集落配置は自然堤防上となった．

(4) 扇状地の特徴を生かした街づくりについて

表 2より火山岩，堆積岩急勾配，堆積岩緩勾配で扇状地の特徴に差があることがわかる．火山岩，堆積岩緩勾配では稲作が行われているため農業用水の確保が必須であり，堆積岩急勾配と比べて用水路の維持管理に力を入れる必要がある．また，水路網の密度が大きいため総延長も長くなり，維持管理において住民との協力が必要となる．加えて火山岩の場合は砂の生産が多いため水路が詰まりやすく，清掃に力を入れる必要があり，内水氾濫防止のために排水路を充実させなければならない．このように，扇状地の特徴をつかむことで街づくりの方針を決める際に役立てることができる．

謝辞：問い合わせに対し親切丁寧な対応をしていただいた荒川上流河川事務所，栃木県日光市産業環境部農林課の皆さまに謝意を表す．

参考文献

1）長泉町郷土誌増補版編さん委員会編，長泉町史 上巻，長泉町教育委員会，1992.
2）山本晃一，構造沖積河川学ーその構造特性と動態ー，山海堂，2004
3）斉藤享治，日本の扇状地，古今書院，1988.
4）安達賓，北浦勝：手取川と七ヶ用水，土木史研究 第15号，1995
5）松本精一：手取川扇状地の農業水利，農業土木学会誌 第71巻 第2号，2003.
6）国土交通省鬼怒川ダム統合管理事務所：鬼怒川ダム統合管理事務所管内図，2005.
7）国土庁土地局：埼玉地域主要水系利水現況図 熊谷，1981.
8）建設省関東地方整備局 渡良瀬川工事事務所：渡良瀬川管内図，2002.
9）山本晃一：構造沖積河川学ーその構造特性と動態ー，山海堂，2004.
10）国土交通省関東地方整備局渡良瀬川河川事務所：渡良瀬川河川維持管理計画【国土交通大臣管理区間編】，2012.
11）小出博：日本の国土，上巻，東京大学出版会，1973
12）国土地理院 基盤地図情報サイト 基盤地図情報数値標高モデル(5mメッシュ版)，http://www.gsi.go.jp/kiban/，2017/2/1.
13）小玉芳敬，伊勢屋ふじこ：混合砂礫を用いた扇頂溝形成に関する水路実験，筑波大学水理実験センター報告 No.11 pp1-11，1987.
14）斉藤思温，知花武佳，原田大輔，伊藤悠：ヨシノボリが選好する載り石環境の成立条件と形成メカニズム，河川技術論文集，第18巻，pp95-100，2012.
15）藤枝孝善：黄瀬川の河岸段丘と三島熔岩の河蝕地形，沼津工業高等専門学校研究報告 第21号，1987.
16）森山昭雄，小沢恵：矢作川流域の沖積平野の地形と沖積層について，第四紀研究 第11巻 第4号，1972.
17）齊藤滋，福岡捷二：荒川扇状地における集落の展開と自然堤防の役割に関する研究，水工学論文集 第55巻，2011.

(2017. 4. 3受付)