Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2026-11-24

沖積扇状地

William.B.Bull
井上, 茂（訳）

(Citation)
兵庫地理,16:11-23

(Issue Date)
1972-03-30

(Resource Type)
journal article

(Version)
Version of Record

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/90002273

沖積扇状地

William, B. Bull
井上　茂　訳

1. まえがき

過去10年間の集中的研究は、量的にいってその多くは沖積扇状地についてなされてきた。この論文は、扇状地堆積作用のプロセスと、扇状地の構成における水流路特性の重要さと、沖積扇状地の数学的表現と、そして扇状地の面積と傾斜に影響をおよぼす要因に関する文献についての論評である。

沖積扇状地（あるいは沖積錐）は特殊な地形であるところの表面をもった堆積物である。すなわち水流が山地からはなれる地点から放射状に下降するところの円錐の一部分である。沖積扇状地はつぎのような特徴をもっている。

1. 沖積扇状地は、一つの単一主流の中で扇状地に給源地域（Source area）の侵蝕産物を運搬するところの統合された網状水系を持っている給源地域から由来する。結果として、沖積扇状地はただ一つの円錐の頂点を持つ。
2. 堆積物の円錐の外観は、特に山地前線（Mountain front）の近くでは、下の方にまがるところの等高線と、凸形（Convex）であるところの横断面形によって示される。
3. 沖積扇状地は堆積地形であるので、Bedrock knobs はめったに沖積物をつらぬいてつき出ることはない。
4. 堆積物の平面形は扇形である。

扇状地は一つだけの基準で定義してはならない。たとえば、ある種のペディメントは円錐の一部分に近似しているし、また多くの沖積扇状地は、それらがより大きい隣接した扇状地によって限定されるので扇形ではない。McGee（1891, p. 258）によれば、「沖積扇状地」のことばは、1864年にHaastによって上述の意味にはじめて用いられた。Drew（1873）、Gilbert（1882）、Eckis（1928）、そして多くのその後に続く研究者は、これについて「沖積扇状地」ということばを続けて使ってきた。一つあるいは数こが癒着して沖積扇状地の独特の形の欠けている沖積エプロン（Alluvial apron）は沖積斜面（Alluvial

slope) と呼ばれるべきである(Hawley and Wilson, 1965, p. 8)。

沖積扇状地は侵蝕・堆積系の一部分である。山地の給源地域内で岩石から侵蝕された堆積物は水流によって、それが堆積物の円錐体上の新たな付加物として堆積させられるところの、谷に運搬される。水流はその系の侵蝕部分と堆積部分の間をつなぐリンクであり、そして扇状地の形態における支配的な要因である。流量、運搬のモード、あるいは造構的な事件の変化に応じる水流路の傾斜や深さや、そして幅の変化は扇状地の傾斜とそして堆積作用の場所とモードに影響を及ぼすであろう。

沖積扇状地の研究は多くの実用的な応用面をもつ。堆積物は多くの地域で主要な地下水貯蔵所を形成し、多くの地下水盆(Groundwater basin)の再充塡が盆地をふち取るところの扇状地堆積物を通して行なわれている。沖積扇状地上の洪水の大きさとタイプと頻度とそして場所は、扇状地上での人々の農耕と生活に対して、また扇状地を横切るところのハイウェーや運河のようなそんな構造物のデザインや維持について責任ある人達にとって重要な関心事である。

沖積扇状地は、大きさと傾斜と堆積物のタイプとそして給源地域の特徴がそれぞれ大いにことなっている。扇状地は世界のより乾燥した部分にもっとも広く分布しているけれども、日本(Murata, 1966)やヒマラヤ山地(Drew, 1873)やカナダ(Winder, 1965)のような湿潤地域にも；そしてスカンディナヴィアの北極地域(Hoppe and Ekman, 1964)やカナダの北極地域(Legget and others, 1966)にもまたできる。

沖積扇状地の二つの基本的なタイプはFig. 1に示されている。―それは沖積扇状地の種々の外観を示すために、この論文において何度も参照されるであろう。Fig. 1Aでは、堆積作用の地域が山地前線に隣接している。 Fig. 1Bでは、堆積作用の地域が水流路の嵌入(Entrenchment)の結果として下の扇状地に移ってしまっている。もしも嵌入が一時的のものであるならば、水路は埋めもどされるであろう。そして堆積作用はふたたび山地前線の近くに生ずるであろう。また嵌入が永久的のものであるならば、水流路の端から上の斜面の堆積物は風化し、そして侵蝕されるであろう。

2. 沖積扇状地の堆積作用

2－1. 堆積のプロセス。沖積扇状地の堆積作用は水路勾配の突然の減少によって生じない。大ていの沖積扇状地の上の部分の傾斜は扇頂から上流へ直接に水路勾配にほぼ同じであり、そして大ていの扇状地表面上の傾斜のあらゆる方向に

向う下方への傾斜の変化はゆるやかである。

堆積作用は、水流が幹線水路の境界を離れて後の流れの水力学的形態の変化によって生じる（Bull, 1964a, p. 17）。流量（Stream discharge）は流れの平均幅、平均深度、そして速さの積に等しい。Q＝WdV。水流あるいは岩屑流（Debris flow）が扇状地上の水路の端に達したとき、それはひろがる。幅の増加は、堆積物の堆積作用を生ずるところの深さと速さの減少を伴う。流量は滲透性の堆積物の上を流れるときにもまた減少する。そのために堆積物濃度（Sediment concentration）を増加させて、そして堆積作用を生ずるような傾向がある。

沖積扇状地上の流れは透明な水からねばった泥まで様々のものがあり、そしてその結果生ずる堆積物も、よく分級された水中堆積の砂から分級の悪い何トンもある巨礫をふくむことがある岩屑まで、さまざまである。給源地域から流れる幹線水路は曲流水路パターンあるいは直線状水路パターンを持つけれども、水流が堆積地帯で広がるところの地点から下の斜面では、網状で不連続な水路が支配的な水路パターンである。網状の支流水路は水流の特徴であり、そして流れている間、つねに網状水路（Braided channel）は堆積物で一杯になり、そしてそれから他の場所へ短い距離を移動するというように説明されてきた。その結果生ずる堆積物はよく成層していない礫あるいは斜層理の砂の浅い堆物でできている。大きな水流路の中での堆積物は、一般に隣接する布状の堆積物より粗粒である。

もしも少しこまかい物質が給源地域から扇状地に供給されるならば、堆積物は洪水流出（Flood discharge）からの水が扇状地の先端に達する前に完全に浸透するのを許すのに十分な状態である。そんな状態は、一つあるいはそれ以上の礫の房（Lobes of gravel）の堆積を助成することがある。Hooke（1967, p. 453～456）はそんな堆積物を詳細に研究してきた。そしてそれらを篩状堆積物（Sieve deposits）と呼ぶ。「水はそんな堆積物の上を流れるよりもむしろ貫通するので、それらは運搬にさいして粗い物質を保留する間に、水に通過を許すことによってstrainerあるいはsieveとして作用する」ということを述べている。

流れが十分な堆積物といっしょになるとき、それは岩屑流あるいは泥流となる。泥流はおもに砂とそれより細かい堆積物で構成されている岩屑流の一つのタイプである。岩屑流は高い密度と水流に比せられる粘性を持ち（Sharp and Nobles, 1953, p. 552～553）、それらのロード（Load）のもっとも粗粒の部分のみを選択的に堆積させることができ、そして非可逆的なSediment en-

traiment を持つ (Bull, 1964a, Fig. 14A, p. 23, 29; Hooke, 1967, p. 451～452)。 これらの特性のために、岩屑流堆積物は陶汰が悪く、布状の堆積物からひろがる鳥足状の舌状体 (Lobate tongues) を持ち、きわめてはっきりしたりんかくを持ち、そして何トンもの重さのある巨礫の運搬が可能である。岩屑流を進捗させるところの要因は、不規則な間隔でやってくる短期間の豊富な水、急速な侵蝕をはばむような不十分な植生被覆を持つ急斜面、そして泥のマトリックスを準備するところの本源物質である。岩屑流が生ずるためには、これらの状態は全部が存在する必要はない。その高い粘性のため、岩屑流は水の流れが流れるのと同じだけ扇状地の下の方へ遠くは流れない。

扇状地の内部構造は個々の流れの形を反映する。水中堆積物と岩屑流の両方は一般に扇状地の頂点 (扇頂) から下方斜面に放射状にひろがる長いせまい舌状のものとして堆積さは、数マイルの長さであるが、幅はわずか500ないし2000フィートにすぎない。結果として、大部分の扇状地の内部構造は、放射線に沿ってかなりの距離にわたって追跡され得るところの単層でできている。しかしながら、扇状地の横断面ははっきりと限られた広がりを持ち、そしてそれは一時的な水流路の嵌入と埋めもどし作用 (Backfilling) から生ずる侵蝕・埋積構造 (Cut-and-fill structure) によって中断させられているところの単層を示す。

2－2. 堆積位置の変更と水路の嵌入。大部分の個々の流れは、特に乾燥地域においては、単に沖積扇状地の小さな部分をおおうにすぎない。沖積扇状地の形成の間、水流路は扇状地の等高線と放射線の両方に沿って移動する。

堆積地域の側方移動は、扇状地表面を扇状地の下の部分に対して水流路の移動がうまく行くように十分に高くしてしまったときに生ずる。扇頂付近の水流路の位置の小さな変化は扇状地の下の部分での水流路の位置の大きな変化を生じ、そしてその結果生ずる堆積物は扇形の平面形を持つ。

扇状地の放射線方面に沿う堆積場所の移動は給源地域からひろがっている主水路の嵌入あるいは埋めもどし作用の結果として生ずる。扇 扇状溝 (Fanhead trench) はふつう扇状地の長さの半分にまで及ぶ。 若干の水流は永久的に嵌入させられ、そしてその水路底は扇状地表面から100フィート以上の深さに達する。他の扇状溝は暫定的なように見え、そして深さ50フィート以下であり、そして現在の下刻の前に1回ないし数回の嵌入と埋めもどしをくりかえしている。

Denny (1965) は、砂漠雨洗 (Desert wash) の水路の幅、深さ、そして傾斜の相互関係についての彼の研究から、これらの水路が湿潤地域の水路より、より広くそしてけわしいだろうということを結論した。

放射線方向に沿う堆積作用の場所の中に生ずる変化は扇状地の全部の粒度分布に影響を与える。もっとも粗粒の物質はふつう水流路の端の近くに堆積させられる。もしも水流路の端が、扇状地の形成の間、山地前線の近くにとどまっていたならば、下降斜面方向における粒度の一般的な減少がよく明瞭となる。水路の嵌入は、今までは sediment load のもっとも粗い部分が到達しなかったところの扇状地の下の方の斜面部分へ全部の流れを運ぶところの水路を用意することによって以前の粒度分布の傾向をかくすようになる。

もしも、給源地域が泥流と水流の両方をつくるならば、水流が嵌入させられないところの時よりも、水流路が扇状地から上流に嵌入させられるところの時に、泥流の大部分が沖積扇状地に達するであろう（Bull, 1962a, p. 36）。広く浅い水路に比して、嵌入から生じるせまくてとじこめられた水路は、泥流をして粘性にうち勝って沖積扇状地に達するのに必要な流れの深さを保たしめるであろう。切りこんだ水路の側方からの急なおちこみでたまってしまった岩屑もまた、すべての流れの粘性を増加させるように、堆積物をすみやかに供給する。

一時的な水路の嵌入は数この原因の結果とすべきであろう。泥流は切りこんだ水路をふさぎ、水路の転換を生じ、そして扇状地の他の部分に新しく水路を嵌入させるであろう（Beaty, 1963, p. 527～528）。水路は降雨強度の変化によって嵌入したり埋めもどししたりすることができる（Bull, 1964b, p. 122～125）。強い雨の多い年は網状水路の嵌入を生ずるところの大きな流出量を助成し、そして弱い雨の多い年は嵌入した水流路を埋めもどすところの小さい流出量をつくる傾向がある。

水流に比べたとき、その流路をより深くする泥流の能力について、ことなった意見が発表された。Lustig（1965, p. 165）は、ことなった運搬媒体の概算された掃流力（Tractive forces）を水路の嵌入に関係づけた。彼は泥流のより大きな卓越の中で生じたところの気候変化を仮定した。そしてそれはより大きな掃流力のために水路を深くする。これに反して、Hooke（1965, p. 138～141）は、泥流が水路を一杯にしてあふれた時、それは扇頭（Fanhead）の近くに物質を堆積させると考えた。彼は水路の切りこみを、より下の斜面において、泥流によって堆積させられた多くの物質を運搬し得るところの適従水流に帰因するものとした。

永久的な水路の堀りこみは乾燥地域で扇状地を拡張することにおいて重要である。なぜならば、そうでなかったら主要な洪水の時にのみ堆積物を受取ったであろうところの扇状地のその部分で、物質を堆積させるのに適当な大きさの流れを

許すべく堆積の場所が十分遠く下方斜面に移されるからである。

扇状地の上の斜面の部分での永久的な水路の嵌入は一定速度の侵蝕か、あるいは加速された侵蝕かのいずれかから生ずるであろう。一定のコンディションのもとでは、水流は、結局、それがつくり上げてしまった扇状地の上の部分を切り刻む。なぜならば、山地内での水流の継続した下方侵蝕（Downcutting）のためである（Eckis, 1928, p. 237, 238)。扇状地の上の部分は樹枝状水流路とよく発達した土壌断面によって特徴ずけられた侵蝕斜面となる。Denny（1965）とHunt and Washburn（1966, p. 118～130）は堆積物を受け取っていない沖積斜面のそれらの部分での砂漠舗石（Desert pavement）のGullyingとFormationを論じている。

3. 沖積扇状地の形態

沖積扇状地の面積と傾斜とそして堆積作用の歴史は、給源地域の面積と岩石と平均傾斜と、そして植生；水流路の傾斜；流出環境と気候環境とそして造構環境；そして山地前線と隣接扇状地の形と堆積盆地等をふくむところの制禦要因からなる一つの複合装置の中で相互調整するような傾向を記録している。これらの要因の一つあるいはそれ以上のものの変化は、新しい平衡状態へ扇状地の形態を再調整しようとするであろう。

3－1 扇状地の数学的表現。多くの扇状地の同心円的等高線と扇形の平面形は、堆積物の形が方程式による一般的方法で表現され得るということを示唆する。もしも扇状地の勾配が変化せず、そしてその等高線が真の円弧であるならば、その外形は円錐の方程式によって表現されることができたであろう。少数の扇状地は、傾斜が扇頂から下方へ概して減少するので、これらの要求されるものに合致する。そして大部分の扇状地に対しては単に等高線のある部分のみが与えられた地点の近くで真の円弧である。典型的な扇状地は凹形彎曲部と凸形彎曲部の両方を持つ。すなわち放射線方向の断面は凹形であり、横断面は凸形である。

Troeh（1965）は一つの方程式を導いた。変化する符号によってつくられているそれは地形の四つの基本タイプに使うことができる。その方程式は沖積扇状地の典型的な凹凸彎曲を表現することができる。彼の方程式は、

$$Z = P + SR + LR^2$$

であり、Zは扇状地表面の任意の点の高度である。Pは方程式によって表現された理論的な扇状地の中心（頂点）の高度であり、それは円に近似であるところの等高線の2本ないしはそれ以上の接線に対して垂直線を組立てることによって図

形的に位置ずけられることができる。Pの高度は、ふつう実際の扇頂よりは高い。SはPにおける理論的扇状地の傾斜であり、そしてLは放射線に沿う傾斜の変化の割合の半分である。RはPからの放射線方向の距離である。その方程式は放射線方向の断面の凹形と、横断面の凸形の両方を表現する。そしてその方程式は、等高線図上に組み立てられた放射線に沿って、2～3の測量をすることによって特殊な扇状地についても、解かれることができる。

彼の論文の中で、Troehは上の方程式を沖積扇状地に類似の表面形態をもつペディメントに適用した例を与えている。彼が得たところの方程式は$Z=1{,}708\text{ft}-(102.8\text{ft}/\text{mile})R+(5.06\text{ft}/\text{mile}^2)R^2$であった。Troehは、計算された高度と実際の高度との間の食いちがいがこのゆるやかに傾く侵蝕円錐（Erosional cone）に対してわずか3～4フィート平均であったということを見つけた。

似たような結果は堆積錐（Depositional cone）についても得られる。例えば、その方程式はカリフォルニアのDeath Valleyにあるcopper Canyon沖積扇状地に適用される。この扇状地は不連続な放射線方向の断面を持つけれども、扇状地各部分の間の傾斜のちがいは大きくない。岩屑流堆積（Debris flow deposition）はふつうであり、特に扇頂付近でふつうである。扇状地は、等高線が180°の円弧をなすところの、完全に対称的な円錐の一部分である。Copper Canyon扇状地についての方程式は$Z=160\text{ft}-(527\text{ft}/\text{mile})R+(129\text{ft}/\text{mile}^2)R^2$である。計算された高度と実際の高度の間の食いちがいは、異常にけわしい扇状地の北西側の端を除いて、わずかに平均約5～10フィート――それは40フィートの等高線間隔の$1/4$より小さい――であった。

Troehの一般方程式を使う個々の扇状地の数学的表現は堆積地形の変異を表現する方法を用意した。そんな方程式はまた、扇状地の形の不規則さをきめるのを助けるであろう。また、方程式によって決められた一般的な扇状地の形からの不規則さを生ずるところの堆積のプロセスを示唆するだろう。一つの例は、多くの扇状地上の平均傾斜よりわずかに急な側方斜面の存在だろう。

日本における沖積扇状地の研究はMurata（1966）によってなされてきた。Murataは、彼の数学的処理をかんたんにするために、扇状地が円錐の一部分であるということ、そして取りかこんでいる平地がゆるやかに傾いている傾斜面であるということを仮定した。彼は急傾斜の扇状地と緩傾斜の平地の交線は、楕円であるところの扇状地の先端で境界をつくっている縁線をつくると結論し、そして活扇状地（Actual fan）において楕円形に曲げられた境界を見出した。

Murataによって研究された扇状地はその頂点を山地前線の堆積湾（Deposi-

tional embayment)の中に持つ。彼は扇状地のこのタイプを、その頂点が山地内にある一つの中央円錐(Central cone)と山地前線に生ずる側円錐(Lateral cone)の頂点のまわりに同心円的であるところの等高線を持つ二つの側円錐とからなるところの一つの複合沖積扇状地(Compound alluvial cone)とみなした。

3－2　扇状地の面積。扇状地の面積は多くの要因によって影響される。もっとも重要なものの一つは堆積物の給源地域の大きさの効果である。一般的関係はつぎの方程式によって表現することができる。

$$A_f = cA_d^n$$

その中のA_fは扇状地の面積であり、A_dは流域面積である。西部合衆国のいろいろな環境における扇状地とその給源地域のグループに対する扇状地面積と流域面積の関係の図はFig. 2に示されている。その図は大ざっぱにいって互に平行であり、そして平均傾斜(n)は約0.9である。

係数cは、ことなった地点での扇状地面積に影響を及ぼすところの流域面積より他の変量の効果のために、10倍以上の変動を示す。より重要な変量は流域の岩石、気候、造構史、そしてその中で扇状地が堆積させられることのできるところの有効空間の量をふくんでいるのがふつうであった。与えられた堆積盆地(Basin of deposition)、たとえばカリフォルニアのSan Joaquin Valleyのようなところで、泥岩の給源地域からもたらされた扇状地は、それに匹敵する大きさの砂岩の給源地域からもたらされたものの約2倍の大きさである(Bull, 1964b, p. 94, 95)。これはFig. 2の線①と②の係数によって示される。この場合、泥岩の給源地域からもたらされた扇状地は厚さもまた最厚である。そして扇状地の体積の相違は泥岩と頁岩の侵蝕しやすさ(Erodibility)が大きいということに大いに原因がありそうである。両方の地域での堆積物生産の期間が等しかったと仮定して、岩石が大きな原因とされている扇状地の大きさの両極端はカリフォルニアのSan JoaquinとDeep Springs Valleysの扇状地のセットの係数によって示されることができる。Bullによって研究された泥岩の給源地域からもたらされた扇状地は、一般に、その給源地域の大きさの約2.1倍であった。しかし、Hooke(1965, p.104)によって研究された珪岩(Quartzite)の給源地域からもたらされた扇状地はその給源地域の大きさの約0.16倍にすぎなかった。

Death Valleyの、向いあった側面にある扇状地の大きさにたいしての造構作用(Tectonic activity)の効果は、Hooke(1965, p. 119)とDenny

(1965, p. 38) の二人によって注意された。その谷の東への傾動運動 (Tilting) は西側の扇状地を広げ、東側の扇状地をプラヤ (Playa) で埋まるようにしてしまった。造構的な傾動運動は西側の扇状地の係数を 1,05 とし、東側の扇状地の係数を 0.15 とする主要な原因となった。

Lustig (1965, p. 134) は、扇状地の容積の単独の指標として扇状地の面積を使わないよう用心すべきであると指摘した。たとえば、Fig. 1 に示された扇状地の二つのタイプはことなった扇状地面積と扇状地容積の関係を持つのがつねである。なぜならば、Fig. 1A では堆積作用は山地前線の近くに集中させられ、そして Fig. 1B では堆積作用は、扇状地の末端近くにまで引きのばされた堆積作用の結果として、大きな地域をおおってひろげられているからである。

3－3 扇状地の傾斜。平衡水流 (Graded stream) の傾斜に影響するところの要因の多くは沖積扇状地の傾斜にもまた影響する。要因のうち比較的重要なものは場所によって変化する。一般に、扇状地の傾斜は扇状地と流域が大きくなるにつれて減少する。Hooke (1965) は、少量の流出によってつくられた扇状地が大量の流出によってつくられた扇状地よりもより急な傾斜を持つということ、泥流あるいは篩状堆積 (Sieve deposition) によっておもにつくり上げられた扇状地は他の川の作用 (Fluvial processes) によってつくり上げられた扇状地よりも急であるということ、そしてより急な傾斜はより粗い粒でできているということを実験と野外調査から結論した (Blissenbach, 1954, p. 182 もまた見よ)。Bull (1964b, p. 95) は、堆積物生成の比率の高い給源地域からきた扇状地は、堆積物生成の比率の低い給源地域からの扇状地よりも大きく、より急であると結論した。

扇状地の傾斜は侵蝕・堆積系の中の変化に鋭敏である。侵蝕地域における変化は二つの地域をつなぐ水流に変化を生ずることによって堆積地域に影響を与える。Bull (1964b) は、山地での造構的あるいは気候的事件から生ずる水流路の勾配の変化は沖積扇状地の堆積斜面の変化を生ずるということを示した。

扇状地の傾斜の変化は多くの扇状地の放射線方向の地形断面において観察することができる。大部分の扇状地のあらゆる方向の断面はゆるやかに凹形であるが、それらは平滑なカーブではない。かわりに、放射線方向の断面は数このまっすぐな、あるいは、まれに凹形の部分からなりたっている。扇状地の各部分の表面は、扇頂付近を中心として同心円的であるところのほぼ一様な傾斜の帯 (Band) をつくる。部分に分けられた沖積扇状地の地図と放射線方向の断は Fig. 3 に示されている。三つの部分の帯は扇状地の頂点付近の等高線よりもより同心円的であ

る。八つの放射線方向のおのおのは三つの直線部分を持ち、そして上部と中部の間の角 ϕ_1 は中部と下部の間の角 ϕ_2 よりもより大きい。隣接する沖積扇状地でできた合一帯は一貫した傾斜を持たない。この扇状地に対して、Bull は、堆積斜面が山地の間歇的な隆起によって生じたところの水流路の増傾斜の結果として2度増傾斜させられたと結論した。差別的な隆起は、隆起の前よりもより急な水路勾配において生じたところの頭部水流侵蝕(Headward stream erosion)の場所であるところの、山地前線で最大である。

分割された扇状地の二つのタイプは Fig. 1 に示されている。 Fig. 1A は Fig. 3 に示された扇状地に類似している。その中でそれは、もっとも若くそしてけわしい部分が存在している扇状地の上部斜面の部分に堆積させられてきたところの位置を明らかに示す。よく発達した土壌断面をもった古い扇状地堆積物のパッチ(patch)が扇状地の下の部分に生ずることがあるが、しかし扇状地の上の部分には土壌断面の発達は少なかったり、またなかったりするであろう。そして扇状地の上の部分は現在もっとも堆積作用のさかんな地域である。 Fig. 1B は、気候の変化が扇状地の中で水流の加速された下刻作用を生じ、そしてその結果、急傾斜の下の扇状地で、水流路の端と堆積の場所の移動を生じたところの位置を明らかに示す。新しい部分とそれから上流の水流路の両方は、堆積地域における下の扇状地の移動の前よりもよりゆるやかな勾配を持つ。このタイプの水流路の嵌入はふつう永久的である。その場合には、扇状地の上の部分はもはや堆積物を受取らないで風化作用を受け、そして扇状地の上ではじまる流出によって侵蝕される。扇状地の上の部分には堆積作用が生じないので、気候変化から生じる加速された侵蝕の特別の期間の結果として、流域内で形成された水流段丘(stream terrace)はふつう扇状地の中に切りこんだ水路を下方にひろげ、そして新しい扇状地の部分の上方斜面の端に終る。同様な放射線方向の断面は Fig. 1 の扇状地の両方のタイプについて見出すことができるが、しかし扇状地各部分の時代の順序は扇状地の二つのタイプに対して反対である。 Fig. 1A に示されたタイプの扇状地の分割は山地前線の急速な差別的隆起を経験している地域の特徴である。

4. むすび

沖積扇状地についての知識の重要な進歩は過去10年間になされてきた。沖積扇状地の形成に関しての仮説の多くはさらに詳細に吟味し、そして異った研究地域での適用が必要とされるけれども、将来の仕事のためのよき基礎が築かれた。多くの沖積扇状地の形は、侵蝕と堆積を制禦する要因と、その結果として生ずる

References Cited

Beaty, C. B., 1963, Origin of alluvial fans, White Mountains, California and Nevada: *Annals of the Assoc. of American Geographers*, v. 53, p. 516–535.

Blissenbach, Erich, 1954, Geology of alluvial fans in semiarid regions: *Geol. Soc. America Bull.*, v. 65, p. 175–189.

Bull, W. B., 1964a, Alluvial fans and near-surface subsidence in western Fresno County, California: *U.S. Geol. Survey Prof. Paper* 437-A, 71 p.

—— 1964b, Geomorphology of segmented alluvial fans in western Fresno County, California: *U.S. Geol. Survey Prof. Paper* 352-E, p. 89–129.

Denny, C. S., 1965, Alluvial fans in the Death Valley region, California and Nevada: *U.S. Geol. Survey Prof. Paper* 466, 62 p.

Drew, Frederick, 1873, Alluvial and lacustrine deposits and glacial records of the upper Indus basin: *Geol. Soc. London Quart. Jour.*, v. 29, p. 441–471.

Eckis, Rollin, 1928, Alluvial fans in the Cucamonga district, southern California: *Jour. Geology*, v. 36, p. 224–247.

Gilbert, G. H., 1882, Contributions to the history of Lake Bonneville: *U.S. Geol. Survey 2nd Ann. Rept.*, p. 167–200.

Hawley, J. W., and W. E. Wilson, 1965, Quaternary geology of the Winnemucca area, Nevada: *Nevada Univ., Desert Research Inst., Tech. Rept. No.* 5.

Hooke, R. LeB., 1965, *Alluvial fans*: Ph.D. thesis, Calif. Inst. Technology, Pasadena, 192 p.

—— 1967, Processes on arid-region alluvial fans: *Jour. Geol.*, v. 75, p. 438–460.

Hoppe, Gunnar, and Stig-Rune Ekman, 1964, A note on the alluvial fans of Ladtjovagge, Swedish Lapland: *Geografiska Annaler*, v. 46, p. 338–342.

Hunt, C. B., and A. L. Washburn, 1966, Patterned ground *in* Hydrologic basin, Death Valley, California: *U.S. Geol. Survey Prof. Paper* 494-B, 135 p.

Legget, R. F., R. J. E. Brown, and G. H. Johnston, 1966, Alluvial fan formation near Aklavik, Northwest Territories, Canada: *Geol. Soc. America Bull.*, v. 77, p. 15–30.

Lustig, L. K., 1965, Clastic sedimentation in Deep Springs Valley, California: *U.S. Geol. Survey Prof. Paper* 352-F, p. 131–192.

McGee, W. J., 1891, The Pleistocene history of northwestern Iowa: *U.S. Geol. Survey 11th Ann. Rept., Pt. 1*, p. 189–577.

Murata, Teizo, 1966, A theoretical study of the forms of alluvial fans: *Geographical Rept., Tokyo Metropolitan Univ.*, v. 1, p. 33–43.

Sharp, R. P., and L. H. Nobles, 1953, Mudflow of 1941 at Wrightwood, southern California: *Geol. Soc. America Bull.*, v. 64, p. 547–560.

Troch, F. R., 1965, Landform equations fitted to topographic maps: *Am. Jour. Sci.*, v. 263, p. 616–627.

Winder, C. G., 1965, Alluvial cone construction by alpine mudflow in a humid temperate region: *Canadian Jour. Earth Sciences*, v. 2, p. 270–277.

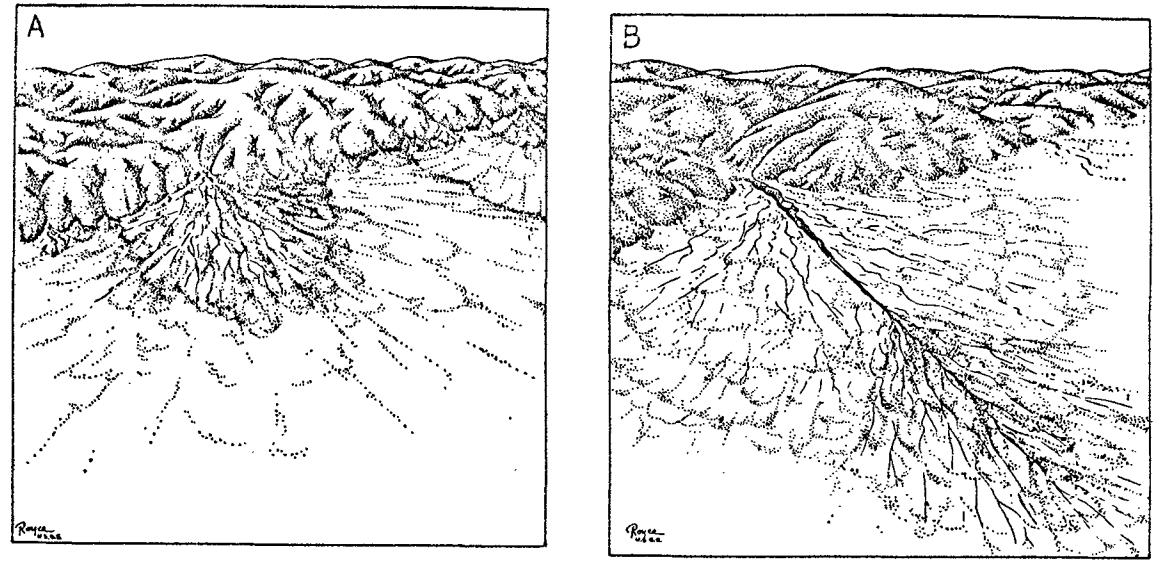


Figure 1. Two types of alluvial fans. A. Area of deposition adjacent to mountain front. B. Area of deposition downfan from mountain front due to entrenchment.

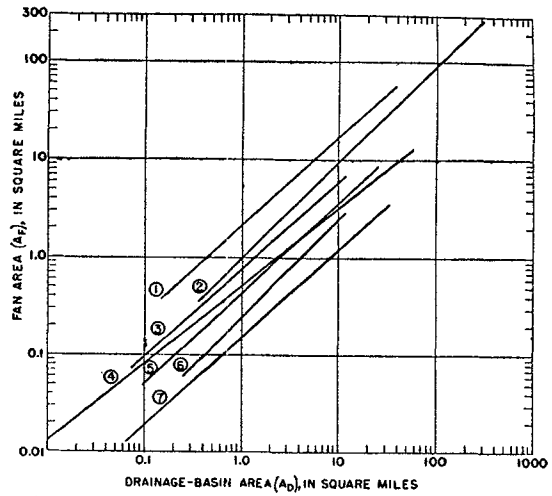


Figure 2. Relation of fan area to drainage-basin area for groups of fans in California and Nevada. The equations and sources of data are as follows: (1, 2) $A_f = 2.1A_d^{0.91}$, $A_f = 0.96A_d^{0.86}$, least squares revisions from Bull (1964b); (3) $A_f = 0.74A_d^{0.80}$, (Hawley and Wilson, 1965); (4) $A_f = 0.5A_d^{0.8}$, depositional parts of fans (Denny, 1965); (5, 6, 7) $A_f = 0.42A_d^{0.81}$, $A_f = 0.24A_d^{1.01}$, $A_f = 0.15A_d^{0.90}$ (Hooke, 1965).

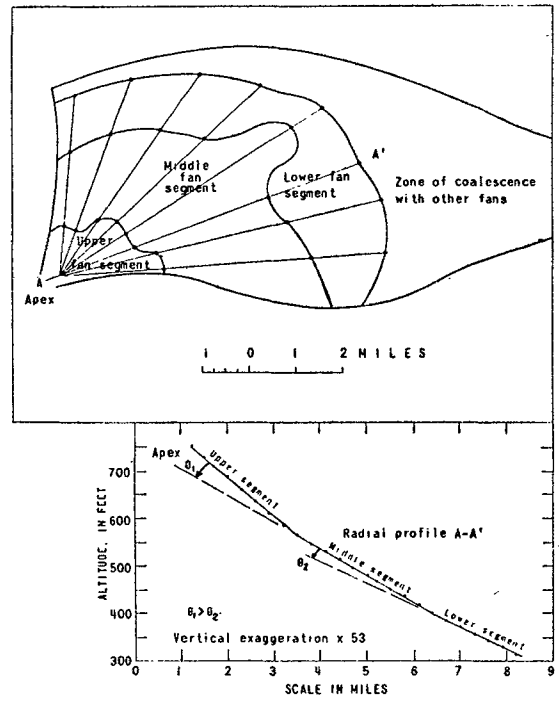


Figure 3. Segmentation of the Tumey Gulch fan, western Fresno County, California (modified from Bull, 1964b).

地形との間の関係を表現することができるのと同様に、今や数学的に表現されることができる。扇状地の形態についての他の見方、たとえば扇状地の分割における気候的なそして造構的な事件の効果といったようなことは、量的な方法で扱うのはより困難である。扇状地を形成するFluvial processesに関してなされてきたところの仕事は、水流路と沖積扇状地の形態における運搬と堆積の種々のモードの効果を決めるのと同じように、堆積物運搬のよりよき理解に導いてきた。

文献および図表は別紙にまとめた（訳註）。

Jour. Geol. Education Vol. 16, No. 3 (1968) から。