

# 乾燥地域と湿潤地域における扇状地勾配の比較

山田真之（さいたま市立植水小学校）・斎藤享治（埼玉大学）

## I はじめに

扇状地は、山から流れてきた河川が低いところに土砂をためることによってできる半円錐状の地形である。土砂が山から運ばれてくるとき、小河川では、谷底にたまつた土砂が豪雨をきっかけに土砂の流れである土石流となって一気に平地に流れこむ。これに対して大河川では、土砂が川の水によって運ばれる。一般に、小河川では扇状地勾配が急であるのに対して大河川では勾配が緩いので、扇状地の勾配を見ることによってそれぞれの河川においてどのような災害が発生するかという予測が可能である。

ところで、扇状地と気候の関係を見た場合に、湿潤地域においては土砂が川の水とともに常に出ており、河底に土砂がそれほどたまっていないのに対し、乾燥地域においては降雨はまれであり、河底に土砂が大量にたまっているため、乾燥地域では土石流によってできた扇状地が多いと考えられる。このため扇状地の勾配が急になっていると予想される。本研究においては、湿潤地域と乾燥地域において、扇状地の勾配がどのような関係になっているかをデータに基づいて明らかにし、どのような流れが発生しているのかを推察する。

湿潤地域と乾燥地域それぞれにおけるデータの収集については、湿潤地域においては斎藤(2003a)の日本、台湾、フィリピンのデータを用い、乾燥地域においては合衆国デスバレーについて2.4万分の1地形図を用いた。デスバレーの扇状地については2003年12月に現地調査を行った。

## II 従来の研究

### 1. 扇状地をつくる堆積プロセス

#### ①扇状地勾配と堆積プロセス

扇状地勾配に対する堆積プロセスの影響とし

て、Hooke (1968a) は、急傾斜扇状地では、浸透堆積が主体、土石流が副次的、中間的な勾配の扇状地では、土石流が主体、河成と浸透が副次的、緩傾斜扇状地では、河成が主体、土石流が副次的とした。Bull (1977) は、Hooke (1968a) を改訂し、急傾斜から緩傾斜になるにつれて、浸透が主体、浸透が主体で土石流が副次的、土石流が主体で水流が副次的、水流が主体で土石流が副次的、細粒運搬の水流が主体というように変化する考えを提示した。

#### ②形成環境と堆積プロセス

Kochel and Johnson (1984) は、形成された環境によって扇状地を区分し、乾燥扇状地には、土石流、網状流、布状洪水流、浸透堆積の堆積プロセスがかかわるとした。湿潤水成扇状地には網状流、湿潤熱帯扇状地には土石流がかかわるとした。Evans (1991) は、乾燥扇状地には、河川流、土石流、湿潤水成扇状地と湿潤熱帯扇状地には河川流が一般にかかわると修正案を掲げた。

## 2. 扇状地の堆積勾配

### ①扇状地の一般的な勾配

扇状地勾配の上限と下限を明示した報告は少ない。Scheidegger (1961) は、 $10\sim25^\circ$  の沖積錐に對し扇状地の勾配を  $1\sim10^\circ$  とした。Hooke (1968b) は、自然界の扇状地の傾斜を、 $2\sim10^\circ$  ないし  $12^\circ$  とみなしている。Nilsen (1985) は、Denny (1965) を引用し、 $1^\circ$  未満～ $25^\circ$  としたが、 $10^\circ$  を超えるのはまれとした。Blair and McPherson (1994) は、扇状地について、最も典型的には  $2\sim12^\circ$  の値で、 $1.5\sim25^\circ$  の平均勾配をもつとした。

### ②さまざまな扇状地の勾配

扇状地勾配について地域的な記載は多数なされている。小規模扇状地は急傾斜であり、イタリア (Sorriso-Valvo et al. 1998) やスペイン南西部

(Moreno and Romeo-Segura 1997)などの報告がある。山間部でも、扇状地の勾配は一般に急である。扇状地研究の初期に、パキスタンのインダス川上流の扇状地を調査した Drew (1873) は、一般的な傾斜として  $5\text{ }^{\circ}$ ~ $6\text{ }^{\circ}$  を報告した。

乾燥地域の扇状地も一般に急である。Blissenbach (1954) は、アリゾナ州の扇状地の観察などから、半乾燥地域の扇状地について、 $5\text{ }^{\circ}$  以上の扇状地を急傾斜、 $2\text{ }^{\circ}$ ~ $5\text{ }^{\circ}$  を緩傾斜、 $2\text{ }^{\circ}$  以下を平坦とした。乾燥地域では、勾配  $5\text{ }^{\circ}$  前後の扇状地の報告が多い (Eckis 1928)。Beaty (1961) は、最小  $3\text{ }^{\circ}$ 、最大  $20\text{ }^{\circ}$ ~ $25\text{ }^{\circ}$  の扇状地勾配を報告した。Anstey (1965) は、パキスタンと合衆国南西部で、地形図で収集した扇状地のほぼ 70%が、平均勾配  $1\text{ }^{\circ}$ ~ $5\text{ }^{\circ}$  であることを報告した。さらに、合衆国南西部の大扇状地（長さ 3500 feet 以上）の最大傾斜は  $9\text{ }^{\circ}$  であったという。Melton (1965) は、アリゾナ州南部の扇状地で、最も急な扇状地が  $10\text{ }^{\circ}$  であることを報告した。Denny (1965) も、デスバレーで、最大傾斜 700 feet/mile ( $7.6\text{ }^{\circ}$  =  $133\text{‰}$ ) を報告し、砂漠の流路勾配は、湿潤地域の勾配にくらべて急であることを述べている。

湿潤地域の扇状地の勾配は、一般に緩い。富田 (1951) は、台湾の台東地溝内の扇状地 29 個を取り上げ、扇央部の勾配が  $0.5\text{ }^{\circ}$ ~ $5.5\text{ }^{\circ}$  と、緩傾斜の扇状地も報告している。戸谷ほか (1971) は、日本において、長さと最大幅の和が約 5 km 以上、勾配  $3\text{‰}$ = $0.17\text{ }^{\circ}$  以上の半円錐形状地形を 409 個収集した。そこには、 $10\text{‰}$ = $0.57\text{ }^{\circ}$  以下の扇状地が 153 個、含まれている。斎藤 (1988) も、日本において面積  $2 \text{ km}^2$  以上、平均勾配  $2\text{‰}$ = $0.11\text{ }^{\circ}$  以上の扇状地を 490 個収集した。最大の平均勾配は  $71\text{‰}$ = $4.0\text{ }^{\circ}$  であったが、 $10\text{‰}$  以下の扇状地が 174 個ある。フィリピンでは 129 個の面積  $2 \text{ km}^2$  以上、平均勾配  $2\text{‰}$  以上の扇状地のなかで、最大の平均勾配は  $111\text{‰}$ = $6.3\text{ }^{\circ}$  であったが、 $10\text{‰}$  以下の扇状地が 35 個ある (斎藤 1996)。

日本やフィリピンでは、緩傾斜の扇状地も多いが、急傾斜の扇状地もある。湿潤熱帯のコスタリカでも、扇頂部が  $2\text{ }^{\circ}$ ~ $6\text{ }^{\circ}$  の急傾斜の扇状地もある (Kesel and Spicer 1985)。一方、乾燥地域でも緩傾斜の扇状地はある。カリフォルニア州 Fresno County 西部の 20 扇状地では、 $0.20\text{ }^{\circ}$ ~ $1.66\text{ }^{\circ}$  の平

均勾配が報告されている (Bull 1962, 1964)。また、Anstey (1965) は、パキスタンの 317 大扇状地（長さ 3500 feet 以上）のうち 29% の 91 扇状地が、合衆国南西部の 588 大扇状地のうち 12% の 72 扇状地が、勾配  $1.5\text{ }^{\circ}$  未満であるデータを示している。

このように、乾燥地域の扇状地だからといって、湿潤扇状地よりも単純に急であるということではない (Kesel 1985a; Kesel and Lowe 1987)。このことから、扇状地勾配には気候条件よりも地殻変動や堆積物の大きさが重要という見解もでた (Kesel 1985b)。

### ③集水域の条件と扇状地の勾配

扇状地の勾配については、気候条件や地殻変動以外にも多くの因子が関与している (Bull 1968)。扇状地規模が大きくなると (Drew 1873; Eckis 1928; 富田 1951; Bull 1964; Melton 1965; Beaumont 1972; Harvey et al. 1999)，あるいは集水域規模が大きくなると (Bull 1964, 1968; Harvey 1984; Beaumont 1972; Harvey et al. 1999)，扇状地勾配が緩くなることは古くから指摘してきた。Hooke (1968a) は、実験と野外の観察から、岩屑の大きさ、堆積プロセス、水量によって、勾配が決まると言ふべきである。大きい流量であれば、同じ物質の量を低勾配で運搬できるためと指摘している。

### ④堆積プロセスと扇状地の勾配

勾配について、他が同じ条件のときに、土石流や浸透堆積によってできている扇状地は、河成プロセスが支配的な扇状地にくらべて急傾斜であることが指摘されている (Hooke 1968a; Harvey 1984, 1992; Kostaschuk et al. 1986)。Bull (1964) は、堆積物生産が速い泥岩・頁岩の集水域では、遅い砂岩の集水域にくらべ、その扇状地の勾配は急であると結論づけた。また、Pope (2000) は、ギリシアにおいて、扇状地の発達とともに、土石流が主体の段階の平均勾配  $7.4\text{ }^{\circ}$  から、布状洪水流が主体の  $4.3\text{ }^{\circ}$ 、 $2.6\text{ }^{\circ}$ 、 $1.97\text{ }^{\circ}$  の段階に移っていくことを報告している。

### ⑤気候条件と扇状地の勾配

湿潤地域の扇状地が、同様の乾燥地域の扇状地よりも緩傾斜の扇状地をもつ (Milana and Ruzicka 1999)。扇状地勾配と相関の高い起伏比 (Schumm 1956) との関係から、斎藤 (2002) は、

フィリピン・台湾・日本の扇状地とくらべ、降水量の少ないチェコ・スロバキアとポーランドでより急なことから、降水量が少ないとところでは、勾配が急といえそうであると指摘している。

### 3. 堆積勾配と扇状地の分類

#### ①土石流卓越扇状地

Blackwelder (1928) は、扇状地が泥流と河川流堆積物の割合がさまざままで、泥流を含まない扇状地もあるが、とくに急傾斜の扇状地では、多くが泥流からなると指摘した。

扇状地は、土石流卓越扇状地と河川流卓越扇状地に (Kostaschuk et al. 1986; Kochel 1990)，分けられることが多い。

中山 (1981) は、門村 (1971) が指摘した勾配  $10\% = 0.57^\circ$  を境に、土石流で形成された急傾斜扇状地と、流水によってつくられた緩傾斜扇状地とに分けている。

Marchi et al. (1993) は、土石流卓越扇状地の平均勾配  $5.1 \sim 18.4^\circ$  を報告した。Blair (1999a, b) は、デスバレーの Warm Spring Canyon 扇状地で、土石流主体の扇状地を認めた。この土石流が卓越する直線状の勾配をもつ扇状地は、勾配  $5 \sim 15^\circ$  という (Blair and McPherson 1994)。

#### ②河川流卓越扇状地

門村 (1971) は、平均勾配がほぼ  $10\% = 0.57^\circ$  以下の扇状地を緩勾配扇状地と呼び、砂礫流送河川が山地からの出口をかなめとして、その前面の低地に、流路を放射状に移動しながら、掃流砂礫を万遍なく堆積して生じた地形とした。

## III 地域概観

乾燥地域として取り上げたデスバレーは、合衆国カリフォルニア州の南東部に位置しており、東西を Grapevine 山地や Panamint 山地等に挟まれた南北に長い広大な盆地である。周囲の山脈をつくる岩石は、古生代以前の堆積岩と、新第三紀などの火成岩である (Miller and Wright 2002)。デスバレーの東側と山脈との間には断層が走っており、盆地と山脈とが断層によって明瞭に区切られている。その断層は盆地が正断層で落ちる構造になっている。このような地殻変動が盛んで、断層

のあるところは扇状地にとって好都合である (阪口 1971)。

デスバレーは合衆国で標高が最も低いところであり、最低点の標高は Badwater 付近の  $-86\text{m}$  となっている。河川は盆地の外に出ることのない内陸河川となっているため、土砂が流出せず堆積しやすい。

盆地内は夏の気温が  $49^\circ\text{C}$  を超え、Sierra Nevada 山脈の雨陰となっているために年降水量は  $50\text{ mm}$  前後と乾燥している。

## IV 乾燥地域の扇状地勾配

### 1. 扇状地勾配と起伏比の収集

#### ①扇状地の収集

本論文では、斎藤 (2003a, b) と同様に、扇頂を中心とした同心円状の等高線を有し、面積  $2\text{ km}^2$  以上、平均勾配  $2\%$  以上の半円錐形状地形を扇状地とした。デスバレーにおける扇状地の認定には、2.4万分の1地形図を用いた。主曲線の間隔は、北緯  $36^\circ$  以北では  $40\text{ feet}$  ( $12\text{ m}$ )、以南では  $10\text{ m}$  である。数は少ないが、扇端付近に  $5\text{ m}$  の間曲線あるいは  $5\text{ feet}$  の補助曲線が描かれている扇状地もある。これらの地形図により、デスバレーにおいて 123 の扇状地が認定された (図 1)。

#### ②扇状地勾配と起伏比の収集

扇状地の勾配については、扇頂の標高 (Apex altitude) と扇端の標高 (Toe altitude) の差を、縦長 (Fan length) で割った値を平均勾配 (Mean slope) として代表させた。縦長については、扇頂から扇端にかけて等高線が張り出している点を結び、その長さとした。いずれも2.4万分の1地形図を用いて測定した (表 1)。流域の特性値については、扇状地勾配に影響を与える度合が大きいと考えられている (斎藤 1988)、起伏比を取り上げた。起伏比 (Relief ratio) とは、集水域の最高点の標高 (Peak altitude) と最低点の標高 (Valley-mouth altitude) の差を起伏 (Relief) として求め、それを流域最大辺長 (Basin length) で割った値である (表 1)。起伏比の計測には25万分の1地図を用いた。

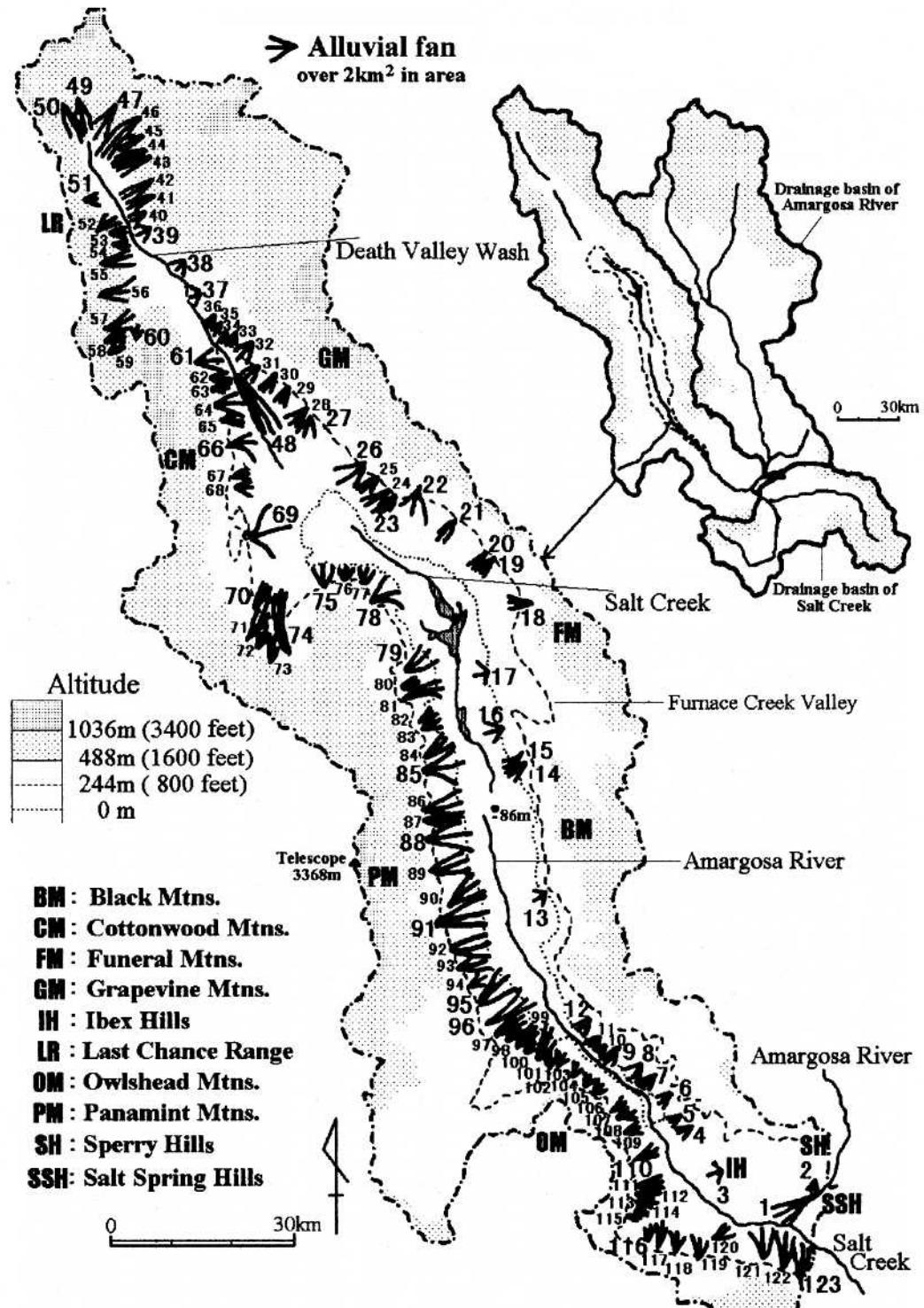


図1 デスバレーにおける扇状地の分布 (斎藤ほか 2003)

表1 デスバレーにおける扇状地と流域の特性値

扇状地の位置は図1に示す通り

No.	Name of fan	Alluvial fan					Drainage basin					
		Fan area (km <sup>2</sup> )	Apex altitude (m)	Toe altitude (m)	Fan length (km)	Mean slope (%)	Drainage area (km <sup>2</sup> )	Peak altitude (m)	Valley-mouth altitude (m)	Relief (m)	Basin length (km)	Relief ratio (%)
1	1 Amargosa River	19.6	200	100	10.1	9.9	9027.8	2344	190	2154	188.5	11.4
2	1 (South of 2105 Peak)	2.5	245	180	2.2	29.4	15.8	675	238	437	9.2	47.4
3	1 Ibex Wash	9.8	135	50	3.5	24.1	53.9	1318	135	1183	12.0	98.6
4	1 (SW of Ibex Mine)	6.0	210	20	3.2	59.1	2.5	700	200	500	2.9	173.9
5	1 (SW of Rusty Pick Mine)	2.5	190	10	2.7	86.4	6.8	1034	190	844	4.7	178.6
6	1 (West of Rusty Pick Mine)	3.8	225	0	2.7	84.5	10.5	970	220	750	4.5	185.7
7	1 Confidence Wash	6.3	220	0	3.6	61.1	46.1	1190	215	975	10.4	94.0
8	1 Rhodes Wash	10.9	198	0	4.2	47.4	107.3	1453	195	1258	15.3	82.5
9	1 Jubilee Wash	9.0	217	-20	4.5	52.5	56.4	1535	215	1320	12.9	102.5
10	1 (South of Ashford Peak)	3.4	115	-30	2.7	53.0	13.0	1330	112	1218	7.7	158.7
11	1 (SW of Ashford Peak)	4.1	145	-40	2.8	67.0	6.2	1320	140	1180	4.7	251.1
12	1 Ashford Canyon	6.2	170	-50	3.5	63.7	23.6	1576	166	1410	8.4	188.4
13	1 Copper Canyon	5.5	52	-79	2.2	59.4	51.8	1928	49	1879	10.9	172.8
14	1 (SW of Mount Perry)	5.5	207	-73	4.0	70.0	9.5	1531	171	1360	3.8	380.4
15	1 (West of Mount Perry)	5.1	165	-73	3.8	62.3	2.0	1067	162	905	2.9	314.9
16	1 (SE of Mushroom Rock)	6.9	40	-73	2.9	39.2	11.1	860	37	823	5.9	140.1
17	1 Furnace Creek Wash	6.0	6	-61	2.3	29.1	536.7	2043	5	2038	39.6	51.4
18	1 (NW of Winters Peak)	4.5	573	305	3.5	76.0	16.0	1534	572	963	5.8	187.4
19	1 (East of Beatty Junction)	2.3	427	183	2.8	88.3	11.1	1227	424	803	7.8	102.6
20	1 (NE of Beatty Junction)	2.8	421	183	2.7	86.9	7.4	1271	418	853	6.8	125.0
21	1 (SW of Chloride Cliff)	6.0	427	110	5.1	62.3	4.5	1600	415	1186	4.7	252.3
22	1 Boundary Canyon	20.2	692	195	8.1	61.6	49.5	1679	889	991	10.1	87.8
23	1 (SW of 3017 Peak)	4.5	451	171	3.9	72.6	6.7	1244	445	799	5.4	148.6
24	1 (West of Red Top)	7.5	405	73	4.7	70.3	11.8	1769	402	1367	7.8	175.2
25	1 (SW of Corkscrew Peak)	5.7	549	110	4.8	91.9	10.0	1646	543	1103	4.5	243.8
26	1 Titanotheres Canyon	19.0	512	37	6.8	72.6	53.4	2046	508	1540	11.1	138.4
27	1 Titus Canyon	9.3	293	49	4.1	59.8	81.0	2353	290	2063	14.6	141.1
28	1 Fall Canyon	8.5	372	85	4.2	69.0	54.1	2630	366	2284	13.4	169.3
29	1 Red Wall Canyon	5.1	451	122	3.3	100.1	23.9	2454	445	2009	9.8	206.0
30	1 (SW of Wahguyhe Peak)	3.7	488	158	3.6	91.4	12.0	2414	463	1951	8.5	229.5
31	1 (WSW of Wahguyhe Peak)	5.1	555	244	3.9	80.0	38.0	2663	549	2115	14.0	151.1
32	1 (West of Wahguyhe Peak)	8.3	677	305	4.5	82.0	45.3	2663	664	1999	13.9	144.1
33	1 (WSW of Grapevine Peak)	2.5	658	402	3.5	73.6	12.1	1841	646	1195	7.5	160.4
34	1 (West of Grapevine Peak)	2.7	610	427	3.1	58.2	23.6	2579	604	1975	11.0	179.8
35	1 (SE of Mesquite Spring)	4.2	658	451	4.0	51.7	75.8	2551	643	1908	19.0	100.4
36	1 (East of Mesquite Spring)	6.5	683	488	4.0	48.4	1.2	879	880	200	1.9	103.7
37	1 Grapevine Canyon	4.5	701	610	2.3	40.5	412.0	2485	698	1787	30.5	58.6
38	1 Little Grapevine Creek	3.5	756	622	2.5	53.7	35.7	1740	750	991	11.0	90.1
39	1 (NW of Grapevine Spring)	5.5	936	768	3.2	52.9	47.2	2065	927	1138	15.9	71.7
40	1 (North of Grapevine Spring)	3.0	963	805	2.9	54.6	23.9	2065	951	1114	12.8	87.2
41	1 (SE of Little Sand Spring)	5.6	1158	841	4.9	64.1	16.7	1869	1143	726	7.0	103.8
42	1 (ESE of Little Sand Spring)	6.3	1170	853	5.0	63.8	34.4	2370	1158	1212	11.5	105.4
43	1 (East of Little Sand Spring)	7.8	1402	902	6.8	73.1	4.1	1982	1378	615	3.7	165.0
44	1 (ENE of Little Sand Spring)	8.4	1386	902	6.8	68.5	3.4	1795	1353	442	2.8	157.8
45	1 (NE of Sand Spring)	6.1	1366	1000	6.4	56.9	4.4	1992	1353	639	4.3	148.6
46	1 Oriental Wash	22.4	1341	951	9.7	40.3	145.8	2495	1329	1156	19.3	80.0
47	1 Tule Canyon	17.6	1317	1000	9.2	34.6	88.1	2757	1305	1453	15.1	96.0
48	1 Death Valley Wash	32.7	308	76	10.6	21.7	1930.8	2757	301	2456	64.6	38.0
49	1 Cottonwood Creek	13.4	1329	1024	7.7	39.6	38.8	2316	1317	999	10.3	97.5
50	1 Last Chance Canyon	14.6	1250	975	8.6	31.8	42.4	2577	1244	1334	9.8	138.6
51	1 (North of 7559 Peak)	2.6	1097	866	2.4	98.5	13.0	2091	1085	1006	4.4	229.9
52	1 (NNE of 7559 Peak)	10.3	1158	829	5.0	65.3	24.8	2124	1152	972	5.6	172.9
53	1 (NE of 7559 Peak)	3.9	1036	780	3.7	68.4	11.1	2012	1027	985	7.2	137.7
54	1 (ENE of 7559 Peak)	3.1	988	768	3.2	69.3	1.8	1419	975	443	1.8	281.4
55	1 (East of 7559 Peak)	12.4	1247	756	5.5	89.3	8.1	2304	1244	1060	4.5	235.6
56	1 (West of Ubehebe Crater)	11.6	1268	756	5.3	96.1	4.4	2422	1265	1157	4.8	243.5
57	1 (NE of Dry Mountain)	11.4	1420	841	6.5	89.0	23.6	2615	1414	1201	5.4	223.4
58	1 (ENE of Dry Mountain)	2.7	1420	1038	4.5	85.1	1.4	2088	1414	672	1.9	353.7
59	1 (East of Dry Mountain)	3.0	1411	1049	4.2	88.9	2.8	2570	1402	1168	3.1	379.8
60	1 (North of Tin Mountain)	2.6	1305	1000	2.1	142.7	7.6	2729	1301	1427	5.8	245.0
61	1 Bighorn Gorge	18.3	777	305	7.0	67.6	57.4	2729	768	1961	12.5	156.9
62	1 (East of Tin Mountain)	4.0	622	280	4.0	84.7	6.6	1710	616	1094	4.1	265.3
63	1 (ESE of Tin Mountain)	3.4	707	280	3.7	114.0	2.8	1701	695	1006	3.5	291.5

64	1 (SE of Tin Mountain)	15.2	683	146	5.6	95.9	17.1	2232	878	1554	7.3	214.4
65	1 (SSE of Tin Mountain)	5.9	561	134	4.0	107.8	9.5	1856	549	1307	8.1	213.4
66	1 Dry Bone Canyon	15.4	479	49	6.1	70.5	104.2	2532	472	2080	13.9	148.4
67	1 (West of Midway Well)	3.2	168	49	2.4	49.0	12.7	1012	165	847	4.1	207.9
68	1 (West of Triangle Spring)	6.3	244	37	2.9	72.0	27.4	2073	242	1830	12.3	149.4
69	1 Cottonwood Canyon	57.2	250	9	7.8	31.1	293.8	2243	248	1995	23.4	85.3
70	1 (ENE of Cottonwood Springs)	6.0	500	183	5.4	59.2	15.1	1538	495	1042	6.1	170.2
71	1 Lemoigne Canyon	13.5	762	244	8.0	64.4	35.3	2007	750	1257	9.5	132.3
72	1 (North of Towne Pass)	5.5	811	475	4.6	72.4	22.1	2221	805	1416	8.6	164.2
73	1 (NNE of Towne Pass)	5.6	954	555	5.8	69.3	43.0	2289	948	1341	10.4	129.3
74	1 Emigrant Wash	17.5	823	183	11.2	57.4	119.9	2355	820	1535	21.5	71.4
75	1 Mosaic Canyon	10.4	283	0	3.8	73.8	12.3	1795	280	1515	5.4	281.8
76	1 Grotto Canyon	3.5	177	0	2.0	88.7	11.2	1719	171	1548	6.7	232.8
77	1 (NE of 6732 Peak)	6.2	354	0	3.4	103.7	3.3	1329	347	981	3.8	261.7
78	1 (South of McLean Spring)	18.7	372	-73	5.2	86.2	37.4	2052	369	1683	8.5	198.0
79	1 Tucki Wash	10.4	311	-73	5.9	85.4	21.7	2001	305	1698	10.8	157.8
	2 Tucki Wash	10.4	311	-73	6.5	58.8						
80	1 (NE of Blackwater Spring)	6.5	469	61	6.0	87.5	16.5	1856	468	1388	7.3	191.5
81	1 Blackwater Wash	19.7	561	-73	9.2	69.2	27.8	1961	559	1401	8.4	167.3
82	1 (East of Blackwater Spring)	4.8	238	-73	3.8	82.0	5.1	1172	235	937	3.2	290.6
83	1 (ESE of Blackwater Spring)	6.4	226	-73	3.5	85.8	14.4	1852	219	1632	6.5	250.1
84	1 (SE of Blackwater Spring)	8.4	341	-73	4.8	85.5	9.8	1829	335	1494	6.2	239.9
85	1 Trail Canyon	28.5	482	-73	7.8	70.5	64.1	2763	475	2287	10.9	210.3
	2 Trail Canyon	7.2	360	-12	5.4	89.2						
86	1 Death Valley Canyon	14.9	543	-73	7.2	85.5	31.8	2554	538	2018	8.0	252.2
	2 Death Valley Canyon	8.3	451	73	4.3	88.9						
87	1 Chuckwalla Canyon	10.6	646	-73	7.5	98.4	9.2	2356	640	1716	5.8	298.4
88	1 Hanaupah Canyon	14.9	555	-73	8.4	74.7	69.3	3368	543	2825	11.3	251.1
	2 Hanaupah Canyon	12.6	538	-73	7.7	79.2						
	3 Hanaupah Canyon	4.4	524	61	5.3	88.2						
89	1 (East of Telescope Peak)	19.5	597	-61	7.1	93.0	18.4	2279	579	1700	5.9	289.3
90	1 Starvation Canyon	24.5	628	-81	9.6	71.4	58.9	3388	628	2740	15.1	181.1
	2 Starvation Canyon	8.9	671	110	7.1	78.7						
91	1 Johnson Canyon	41.3	701	-61	9.8	77.4	48.9	2937	671	2268	11.3	201.5
92	1 Six Spring Canyon	15.6	494	-61	7.3	75.8	36.6	2658	488	2170	11.3	192.9
	2 Six Spring Canyon	3.7	433	110	3.9	83.4						
93	1 Galena Canyon	11.7	469	-61	6.6	79.8	12.8	1674	463	1211	5.5	220.1
94	1 (East of Queen of Sheba Mine)	5.9	453	61	4.3	90.2	6.4	1372	450	922	4.0	230.5
95	1 Warm Spring Canyon	30.2	400	-61	8.0	57.7	59.3	2521	370	2151	17.3	124.7
96	1 Anvil Spring Canyon	24.0	330	-60	9.3	42.1	183.6	2193	300	1893	22.8	83.2
97	1 (East of Mesquite Spring)	14.6	450	-10	7.9	58.1	7.8	1024	440	584	3.8	155.7
98	1 (ESE of Mesquite Spring)	3.3	290	60	4.1	55.7	1.5	615	280	335	1.9	174.0
99	1 (NW of Shore Line Butte)	7.6	170	-50	5.1	43.2	26.3	1409	165	1244	13.0	95.7
100	1 (WNW of Shore Line Butte)	3.0	185	-10	3.5	50.3	3.7	420	160	260	4.3	61.2
101	1 Wingate Wash	10.8	120	-50	5.7	30.0	502.9	1789	118	1651	33.1	49.9
102	1 (SW of Shore Line Butte)	10.2	310	-50	6.7	53.6	13.8	1204	300	904	7.1	126.9
103	1 (SSW of Shore Line Butte)	3.4	210	50	2.6	60.8	5.9	1030	200	830	4.7	175.7
104	1 Talc Canyon	3.9	285	30	3.2	81.8	4.7	1115	290	825	3.5	239.1
105	1 Owlshead Canyon	2.1	263	110	2.0	77.7	9.2	1126	280	886	4.9	177.6
106	1 Contact Canyon	2.9	270	130	2.0	70.3	16.9	1074	267	807	6.3	129.1
107	1 Granite Canyon	3.0	215	50	2.8	59.8	8.1	851	210	641	4.8	134.9
108	1 Through Canyon	3.6	200	10	3.5	54.2	14.0	870	195	675	5.5	122.7
109	1 (NNW of Round Mountain)	3.2	190	10	2.7	65.8	8.5	874	188	686	5.5	125.9
110	1 (NW of Round Mountain)	4.6	200	20	3.9	46.3	5.4	802	190	612	5.1	119.4
111	1 (WNW of Round Mountain)	6.5	280	50	4.3	53.2	5.6	822	275	547	5.0	108.9
112	1 (West of Round Mountain)	4.9	390	60	5.6	59.0	4.2	954	380	574	3.5	162.8
113	1 (WSW of Round Mountain)	4.7	350	60	5.5	52.8	5.8	945	343	602	4.1	146.8
114	1 (SW of Round Mountain)	4.9	360	120	3.9	61.7	5.0	945	355	590	5.3	112.4
115	1 (East of New Deal Mine)	2.1	363	220	3.0	48.4	1.0	745	358	387	2.2	177.9
116	1 (SSW of Round Mountain)	3.5	375	180	4.2	46.4	4.4	959	372	587	5.1	115.7
117	1 (South of Round Mountain)	8.2	475	140	6.2	54.3	8.3	935	471	464	4.6	102.0
118	1 (NW of Denning Spring)	5.3	470	250	3.6	60.3	14.3	992	467	525	4.8	110.5
119	1 (North of Denning Spring)	7.5	470	200	4.8	56.3	49.6	1624	466	1158	11.0	105.3
120	1 (South of Saratoga Spring)	4.0	265	80	3.5	52.4	34.8	1678	280	1418	14.0	101.3
121	1 Sheep Creek	23.4	430	90	5.8	58.5	21.5	1870	427	1443	9.0	160.3
122	1 Anvil Canyon	14.1	470	120	6.4	54.6	12.5	1795	467	1328	6.0	221.3
123	1 (NE of Sheep Creek Spring)	15.6	575	140	7.6	57.5	12.5	1860	572	1288	6.1	210.3

## 2. 乾燥地域と湿潤地域における 扇状地勾配の比較

### ①デスバレーの扇状地勾配

日本の面積 2km<sup>2</sup>以上の扇状地のなかで最も急傾斜なのは伊那谷の茂都計川扇状地の 70.6% = 4.0° である (齊藤 1988)。デスバレーでは 70.0 %以上の扇状地が 54 扇状地もあり、デスバレー全体の約 44%に達する。このように、デスバレーには急傾斜の扇状地が多く存在する。また、日本、台湾、フィリピンの扇状地とくらべても、デスバレーの扇状地は、一般に(すなわち絶対的に)急である (図 2)。

デスバレーの扇状地の勾配と起伏比の関係は、図 3 に示した通りである。デスバレーの扇状地と、齊藤 (2003b) で取り上げているスイス・オーストリア、チェコ・スロバキア、ポーランド、日本、台湾、フィリピンの扇状地では、勾配に違いがあるか、起伏比と扇状地勾配との回帰線を求めて比較した (図 4)。

回帰式は以下の通りである。

$$\text{デスバレー : } Sm = 3.68 Rd^{0.57}$$

$$\text{日本 : } Sm = 0.12 Rd^{1.02}$$

$$\text{台湾 : } Sm = 0.28 Rd^{0.81}$$

$$\text{フィリピン : } Sm = 0.094 Rd^{1.06}$$

$$\text{スイス・オーストリア : } Sm = 0.12 Rd^{1.07}$$

$$\text{チェコ・スロバキア : } Sm = 0.22 Rd^{0.98}$$

$$\text{ポーランド : } Sm = 0.71 Rd^{0.71}$$

起伏比と扇状地勾配との関係では、デスバレーの回帰線が他の地域より左上にある。例えば、起伏比 100%に対応する扇状地勾配をみると、他の地域では 10~20% の間にある。これに対してデスバレーでは 50% もあり、デスバレーの扇状地の勾配は他の地域の扇状地にくらべて急である (図 4)。このことから、デスバレーのような乾燥地域と湿潤地域の扇状地と同じ起伏比で比べると乾燥地域の扇状地のほうが相対的にも急であるといえそうである。

## V 扇状地勾配からみた 乾燥地域の堆積プロセス

デスバレーの扇状地の分析により、乾燥地域の扇状地は、湿潤地域にくらべて絶対的にも相対的

にも勾配が急なものであるということが判明した。このような急傾斜の扇状地は、おもに土石流によってできていると思われる。土石流によって形成された急傾斜扇状地は、日本にも存在する。しかし、同じ起伏比をもつ集水域であっても、土石流によってできた扇状地が、乾燥地域では湿潤地域よりも急であることを意味する。それは、土石流が発生したとしても乾燥地域では水の関与が相対的に弱いため、土砂がなめらかに遠くへ行くことがなく、扇状地はより急傾斜になると考えられる。この水の関与が弱い非粘着性の土石流は、日本のような湿潤地域では発生が少ないが、乾燥地域では多く見られるものと推察される。

## VI まとめ

①デスバレーには、面積 2km<sup>2</sup>以上、平均勾配 2%以上の扇状地が 123 ある。そのうち 70% (日本で最も急勾配の扇状地は 70.6%) を超える扇状地が 54 あり、デスバレー全体の 44% に達する。このように、デスバレーの扇状地勾配は絶対的に急な値を示す。

②起伏比と扇状地勾配との回帰式を比較すると、デスバレーの扇状地は他の地域の扇状地にくらべて相対的に (同じ起伏比で比較したときに) 急である。

③乾燥地域のデスバレーの扇状地勾配が急であることについては、降水量が少ないために、水の関与が弱い非粘着性の土石流が関与していると考えられる。事実であるかどうかに関しては今後の課題としたい。

**謝辞 :** 本研究を進めるにあたり、現地の調査においては東京大学の小口 高 先生と東京大学大学院の橋本亜希子さんには大変お世話になりました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。また、研究費の一部として、平成15年度文部科学省科学研究費補助金萌芽研究「堆積勾配による沖積扇状地の定義の再検討」(研究代表者: 齊藤享治、課題番号15650188)の補助金を使用した。なお、本論文は、山田真之が2004年度修士論文「乾燥地域と湿潤地域における扇状地勾配の比較」として埼玉大学に提出した論文を一部修正したものである。

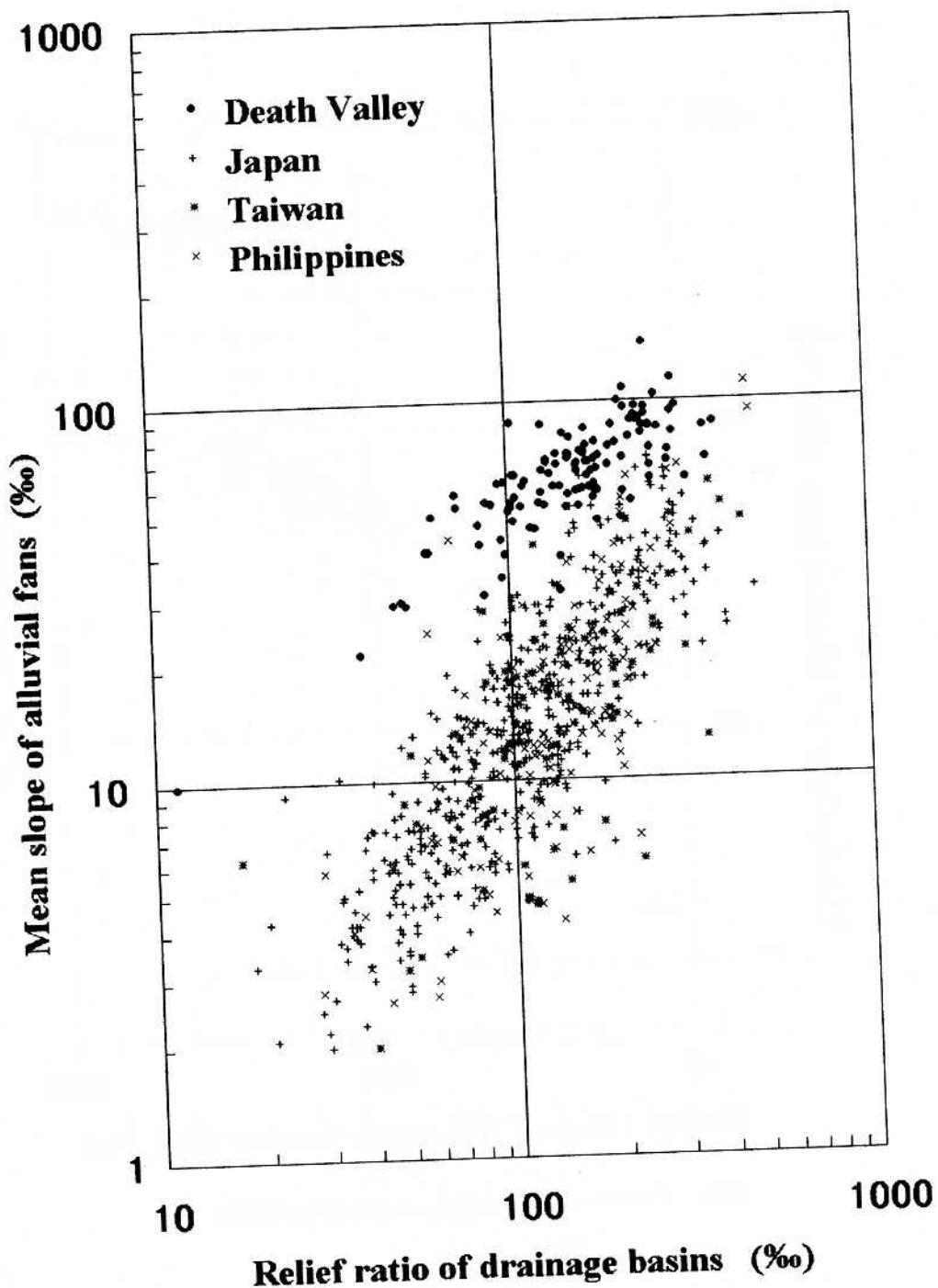


図2 デスバレー、日本、台湾、フィリピンにおける扇状地勾配

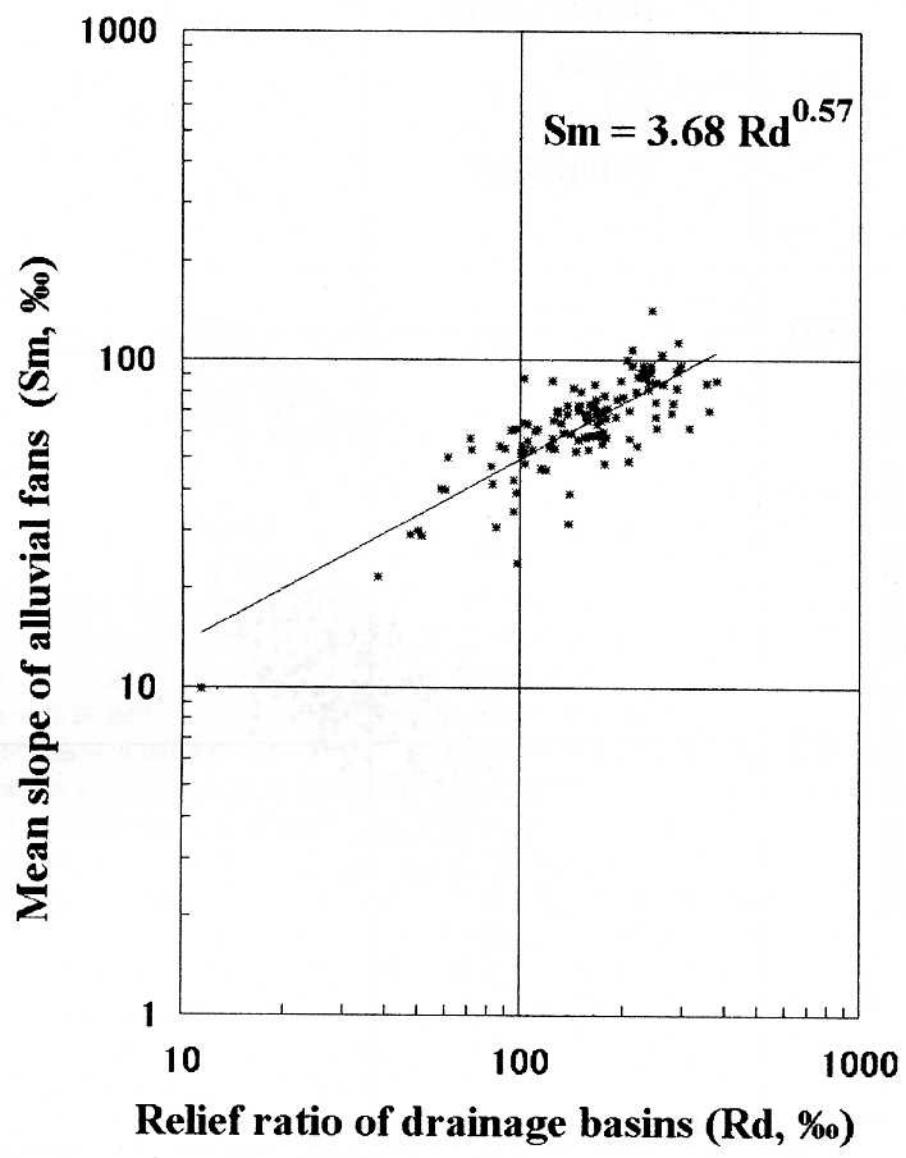


図3 デスバレーにおける起伏比と扇状地勾配の関係

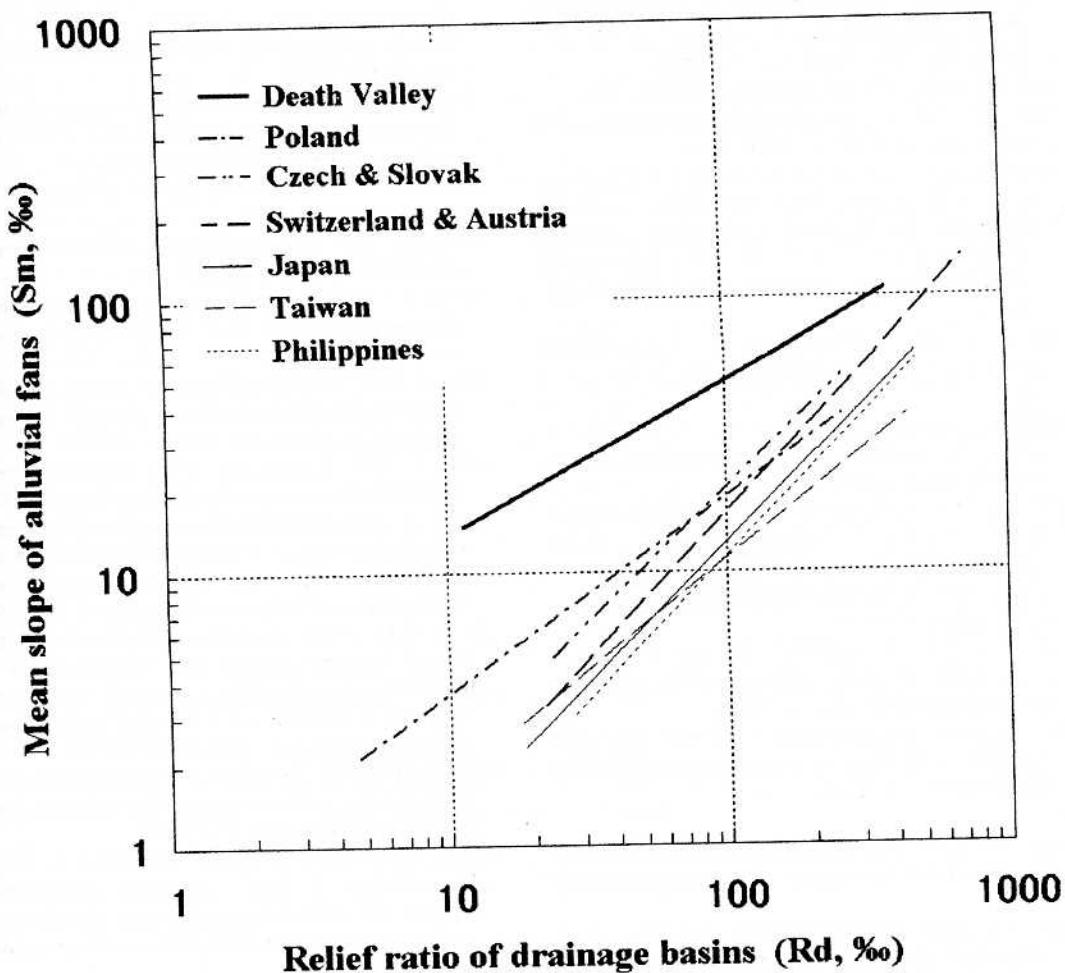


図4 起伏比と扇状地勾配との関係

デスバレー :  $Sm = 3.68 Rd^{0.57}$

ポーランド :  $Sm = 0.71 Rd^{0.71}$

チェコ・スロバキア :  $Sm = 0.22 Rd^{0.98}$

スイス・オーストリア :  $Sm = 0.12 Rd^{1.07}$

日本 :  $Sm = 0.12 Rd^{1.02}$

台湾 :  $Sm = 0.28 Rd^{0.81}$

フィリピン :  $Sm = 0.094 Rd^{1.06}$

## 文 献

- 門村 浩 1971. 扇状地の微地形とその形成—東海道地域の緩勾配扇状地を中心に. 矢澤大二・戸谷 洋・貝塚寛平編『扇状地』55-96. 古今書院.
- 斎藤享治 1988. 『日本の扇状地』古今書院, 280p.
- 斎藤享治 1996. フィリピンの気候条件と扇状地. 地理学研究報告(埼玉大学) 15/16: 29-35.
- 斎藤享治 2002. チェコ・スロバキアにおける扇状地の分布と形態. 地理学研究報告(埼玉大学) 22: 22-39.
- 斎藤享治 2003a. 『河道形態・礫径分析による扇状地の開析過程のモデル化』平成12-14年度日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(C)(2))研究成果書, 138p.
- 斎藤享治 2003b. スイス・オーストリアにおける扇状地の分布と形態. 地理学研究報告(埼玉大学) 23: 1-16.
- 斎藤享治・山田真之・橋本亜希子・小口 高 2003. デスパレーにおける扇状地の堆積勾配(予報). 地理学研究報告(埼玉大学) 23: 29-40.
- 阪口 豊 1971. 扇状地の自然地理学的諸問題—海外の扇状地を中心として. 矢澤大二・戸谷 洋・貝塚寛平編『扇状地』121-157. 古今書院.
- 富田芳郎 1951. 台湾に於ける扇状地の地形的分類について. 地学雑誌 60: 2-9.
- 戸谷 洋・町田 洋・内藤博夫・堀 信行 1971. 日本における扇状地の分布. 矢澤大二・戸谷 洋・貝塚寛平編『扇状地』97-120. 古今書院.
- 中山正民 1981. 扇状地地形論考—扇状地形成論と黒部川扇状地. 黒部川扇状地(黒部川扇状地地域社会研究所研究紀要) 5: 22-34.
- Anstey, R.L. 1965. Physical characteristics of alluvial fans. *U.S. Army Natick Laboratories, Technical Report ES20*: 109p.
- Beatty, C.B. 1961. Topographic effects of faulting: Death Valley, California. *Annals of the Association of American Geographers* 51: 234-240.
- Beaumont, P. 1972. Alluvial fans along the foothills of the Elburz Mountains, Iran. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 12: 251-273.
- Blackwelder, E. 1928. Mudflow as a geologic agent in semiarid mountains. *Geological Society of America Bulletin* 39: 465-484.
- Blair, T.C. 1999a. Cause of dominance by sheetflood vs. debris-flow processes on two adjoining alluvial fans, Death Valley, California. *Sedimentology* 46: 1015-1028.
- Blair, T.C. 1999b. Sedimentology of the debris-flow-dominated Warm Spring Canyon alluvial fan, Death Valley, California. *Sedimentology* 46: 941-965.
- Blair, T.C. and McPherson, J.G. 1994. Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes, and facies assemblages. *Journal of Sedimentary Research, Section A: Sedimentary Petrology and Processes* 64: 450-489.
- Blissenbach, E. 1954. Geology of alluvial fans in semiarid regions. *Geological Society of America Bulletin* 65: 175-189.
- Bull, W.B. 1962. Relations of alluvial-fan size and slope to drainage-basin size and lithology in western Fresno County, California. *U.S. Geological Survey Professional Paper* 450B: 51-53.
- Bull, W.B. 1964. Geomorphology of segmented alluvial fans in western Fresno County, California. *U.S. Geological Survey Professional Paper* 352E: 89-129.
- Bull, W.B. 1968. Alluvial fans. *Journal of Geological Education* 16: 101-106.
- Bull, W.B. 1977. The alluvial-fan environment. *Progress in Physical Geography* 1: 222-270.
- Denny, C.S. 1965. Alluvial fans in the Death Valley region, California and Nevada. *U.S. Geological Survey Professional Paper* 466: 62p.
- Drew, F. 1873. Alluvial and lacustrine deposits and glacial records of the upper-Indus Basin. *Quarterly Journal of the Geological Society of London* 29: 441-471.
- Eckis, R. 1928. Alluvial fans of the Cucamonga district, southern California. *Journal of Geology* 36: 224-247.
- Evans, J.E. 1991. Facies relationships, alluvial architecture, and paleohydrology of a Paleogene, humid-tropical alluvial-fan system: Chumstick Formation, Washington State, U.S.A. *Journal of Sedimentary Petrology* 61: 732-755.
- Harvey, A.M. 1984b. Debris flows and fluvial deposits in Spanish Quaternary alluvial fans: implications for fan morphology. In *Sedimentology of gravels and conglomerates*, ed. E.H. Koster and R.J. Steel, *Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoirs* 10: 123-132.
- Harvey, A.M. 1992. The influence of sedimentary style on the morphology and development of alluvial fans. *Israel Journal of Earth Sciences* 41: 123-137.
- Harvey, A.M., Silva, P.G., Mather, A.E., Goy, J. L., Stokes, M., and Zazo, C. 1999. The impact of Quaternary sea-level and climatic change on coastal alluvial fans in the Cabo de Gata ranges, southeast Spain. *Geomorphology* 28: 1-22.
- Hooke, R.L. 1968a. Steady-state relationships on arid-region alluvial fans in closed basins. *American Journal of Science* 266: 609-629.
- Hooke, R.L. 1968b. Model geology: prototype and laboratory streams: discussion. *Geological Society of America Bulletin* 79: 391-394.
- Kesel, R.H. 1985a. Tropical fluvial geomorphology. In *Themes in geomorphology*, ed. A. Pitty, 102-121. London: Croom Helm.
- Kesel, R.H. 1985b. Alluvial fan systems in a wet-tropical environment, Costa Rica. *National Geographic Research* 1: 450-469.
- Kesel, R.H. and Lowe, D.R. 1987. Geomorphology and sedimentology of the Toro Amarillo alluvial fan in a humid tropical environment, Costa Rica. *Geografiska Annaler* 69A: 85-99.
- Kesel, R.H. and Spicer, B.E. 1985. Geomorphologic relationships and ages of soils on alluvial fans in the Rio

- General Valley, Costa Rica. *Catena* 12: 149-166.
- Kochel, R.C. 1990. Humid fans of the Appalachian Mountains. In *Alluvial fans: a field approach*. ed. A.H. Rachocki and M. Church, 109-129. Chichester: John Wiley & Sons.
- Kochel, R.C. and Johnson, R.A. 1984. Geomorphology and sedimentology of humid-temperate alluvial fans, central Virginia. In *Sedimentology of gravels and conglomerates*, ed. E.H. Koster and R.J. Steel, *Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoirs* 10: 109-122.
- Kostaschuck, R.A., MacDonald, G.M. and Putnam, P.E. 1986. Depositional process and alluvial fan-drainage basin morphometric relationships near Banff, Alberta, Canada. *Earth Surface Processes and Landforms* 11: 471-484.
- Marchi, L., Pasuto, A., and Tecca, P.R. 1993. Flow processes on alluvial fans in the Eastern Italian Alps. *Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge* 37: 447-458.
- Melton, M.A. 1965. The geomorphic and paleoclimatic significance of alluvial deposits in southern Arizona. *Journal of Geology* 73: 1-38.
- Milana, J.P. and Ruzycki, L. 1999. Alluvial-fan slope as a function of sediment transport efficiency. *Journal of Sedimentary Research* 69: 553-562.
- Miller, M.G. and Wright, L.A. 2002. *Geology of Death Valley National Park*. Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Company, 72p.
- Moreno, C. and Romero-Segura, M.J. 1997. The development of small-scale sandy alluvial fans at the base of a modern coastal cliff: process, observations and implications. *Geomorphology* 18: 101-118.
- Nilsen, T.H. ed. 1985. *Modern and ancient alluvial fan deposits*. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 372p.
- Pope, R.J.J. 2000. The application of mineral magnetic and extractable iron (Fe<sub>x</sub>) analysis for differentiating and relatively dating fan surfaces in central Greece. *Geomorphology* 32: 57-67.
- Scheidegger, A.E. 1961. *Theoretical geomorphology*. Berlin: Springer-Verlag OHG, 333p.
- Schumm, S.A. 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin* 67: 597-646.
- Sorriso-Valvo, M., Antronico, L., and Le Pera, E. 1998. Controls on modern fan morphology in Calabria, Southern Italy. *Geomorphology* 24: 169-187.

## **Slopes of Alluvial Fans in Humid and Arid Regions**

**Masayuki YAMADA\* and Kyoji SAITO\*\***

\*Uemizu Elementary School, Saitama City

\*\* Faculty of Education, Saitama University