

コスタリカにおける扇状地の分布と形態

齊藤享治（埼玉大学）

I はじめに

北アメリカプレートの下にココスプレートが沈みこむ中央アメリカのコスタリカには、北西—南東方向に高い山脈（最高峰は 3819m）が走り、火山も分布する（Fig. 1）。最も高い火山のイラス火山（3432m）の麓には扇状地が発達する（Kesel, 1985a, b; Kesel and Lowe, 1987）。また南部のヘネラルバレーには 7 つの扇状地が分布し、詳しい記載がある（Kesel, 1985a, b; Kesel and Spicer, 1985）。しかし、熱帯湿潤変動帯であるコスタリカ全体の扇状地の分布や形態に関する言及はない。

湿潤変動帯の扇状地の分布や形態については、日本・台湾・フィリピン（齊藤, 2006）、ニュージーランド（齊藤, 2007）での報告がある。ニュージーランド、日本、台湾、フィリピンの平野部における年降水量と年平均気温は、それぞれ 600 ～ 2000mm と 9 ～ 15℃, 800 ～ 3000mm と 6 ～ 18℃（扇状地のない沖縄を除く）、2000 ～ 3000mm と 22 ～ 25℃, 1000 ～ 4000mm と 26 ～ 28℃である。コスタリカの平野部では 1600 ～ 4000mm と 26℃であり、フィリピンと同様である。このようなことから、ニュージーランド、日本、台湾の扇状地と比較しながら、フィリピンと同様の湿潤変動帯のコスタリカの扇状地の分布と形態の特徴を明らかにすることを、本論文の目的とする。

II データの収集

1. 対象流域のデータ収集

扇状地の分布を比較するために、日本、台湾、フィリピン、ニュージーランドでのデータがすでに得られている、集水域（谷口より上流域）の面積が 100km² 以上の 54 河川流域を対象流域とした（Fig. 2）。

流域の特徴をとらえるために、集水域面積

（Drainage basin area）、山間盆地の面積（Inter-montane basin area）、集水域の最高点の標高（Peak altitude）と最低点の標高（Valley-mouth altitude）、起伏（Relief）、流域最大辺長（Basin length）、起伏比（Relief ratio）を求め、集水域地質（Basin geology）、火山の有無（Existence of volcano）、堆積場（Depositional environment）、活断層の有無（Existence of fault around fan apex）を測定・判定した。

コスタリカの気候条件については、北東部が熱帯雨林気候（大部分は熱帯モンスーン気候）、南西部がサバナ気候と区別される。しかし、コスタリカ（面積 5.1 万 km²）は、九州と北海道の中間位の大きさで、コスタリカの扇状地の分布・形態に与える影響は大きくないと判断されるので、気候条件は取り上げなかった。

集水域面積と流域最大辺長については、31.5 万分の 1 地図（International travel maps）を用いて測定した。面積はコンピュータープランメータを用いて測定した。集水域の最高点・最低点の標高は、5 万分の 1 地形図（Instituto Geografico National による 1962 ～ 2005 年発行の地形図）を用いて読み取った。集水域の最高点と最低点の標高差を起伏とし、起伏を流域最大辺長で割った値を起伏比とした（Schumm, 1956）。

集水域地質については、集水域内で最大の面積を占める地質とした。ただし、集水域の 3 分の 1 以上の範囲を占める地質が無い場合には、混在型（mixed type）とした。集水域地質は、白亜紀～第四紀の堆積岩類（Cretaceous to Quaternary sedimentary rocks）、新生代火山岩類（Cenozoic volcanic rocks）、第三紀貫入岩（Tertiary intrusive rocks）、ジュラ紀～始新世のオフィオライト（Jurassic to Eocene ophiolite）に区分して、50 万分の 1 「コスタリカ地質図」を用いて、読み取った。

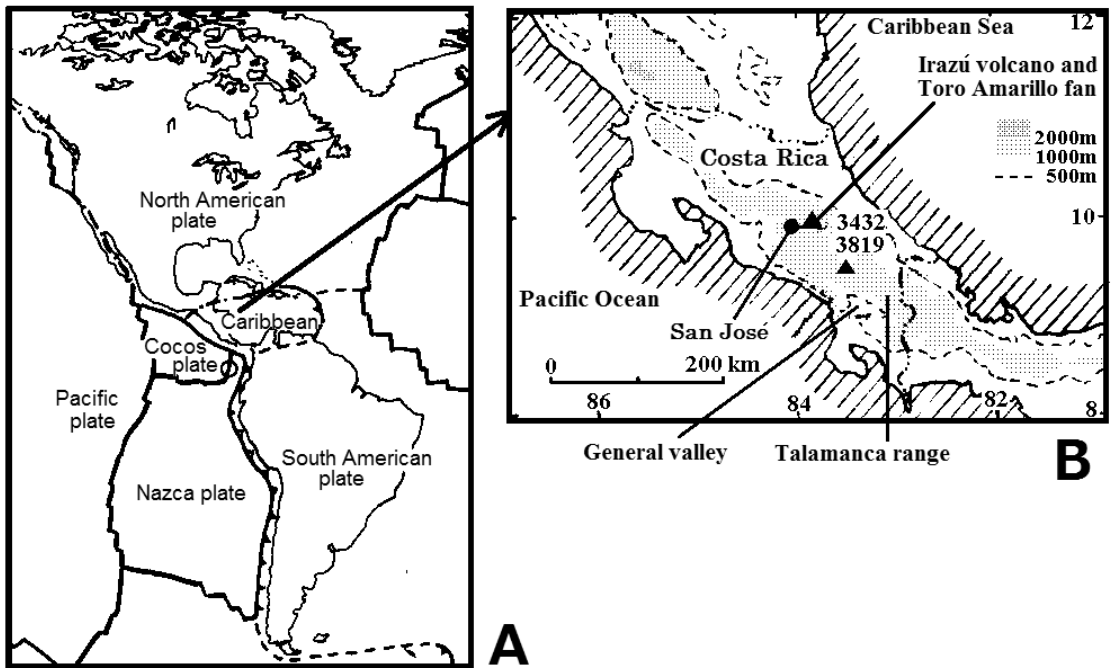


Fig. 1 Location maps of Costa Rica and valley mouths
 A: Location map of Costa Rica, B: Topography of Costa Rica

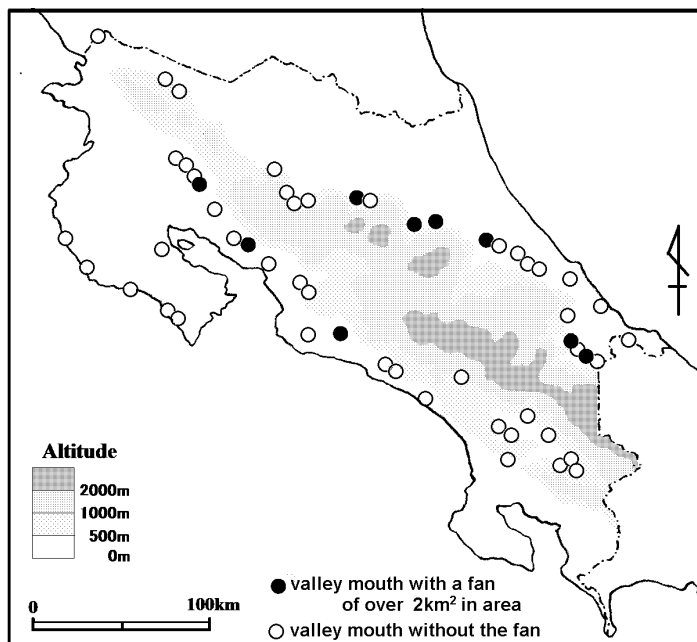


Fig. 2 Valley mouths with drainage basins larger than 100km²

火山の有無については、31.5 万分の 1 地図を用いて、集水域内に第四紀の火山体があるかどうかで、判定した。

堆積場については、外海 (ocean)、内湾 (bay)、平野 (plain)、盆地 (basin) に区分した。外海・内湾と平野との区分については、谷口が海岸線より 10km 未満では「外海・内湾」とし、10km 以上では「平野」とした。

活断層の有無については、活断層図 (Map of Quaternary faults and folds of Costa Rica, 1998) に基づき、活断層が谷口付近を通っているかどうかで判定した。

以上のデータは斉藤 (2011a) の Table 1 に掲載されている。

2. 扇状地のデータ収集

本論文では、扇頂を中心とした同心円状の等高線を有し、面積 2 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。扇状地の認定には 5 万分の 1 地形図を用いた。5 万分の 1 地形図の主曲線の間隔は 20m であるが、扇状地が形成されるような平地では、10m の間曲線がほぼ描かれている。この地形図により 19 扇状地を認定した。Toro Amarillo 扇状地については、段丘化していて下位にも扇状地を形成しているので、扇状地をもつ河川は 18 となる (Fig. 3)。

扇状地の平面形態を表す変量として扇面面積 (Fan area) と縦長 (Fan length) を、断面形態を表す変量として平均勾配 (Mean slope) を、開析状態を表す変量として扇頂下刻量 (Fanhead trench) と扇端下刻量 (Toe incision) を求めた (Table 1)。いずれも 5 万分の 1 地形図を用いて測定した。扇面面積はコンピュータプラニメータで求めた。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、その長さを測定した。平均勾配については、扇頂の標高 (Apex altitude) と扇端の標高 (Toe altitude) を読み取り、それらの標高差を縦長で割った値とした。扇頂下刻量については、扇頂での扇状地面と河床の標高を読み取り、その比高 (標高差) とした。扇端下刻量は、扇頂からの距離が扇端と同じ位置にある河床の標高と扇端の標高との比高とした。

流域の特性値については、集水域面積、山間盆

地の面積、集水域の最高点と最低点の標高、流域最大辺長、起伏比、集水域地質、堆積場、活断層の有無を、集水域面積 100 km^2 以上の流域と同様に求めた。

3. ヘネラルバレの扇状地のデータ

コスタリカ南部のヘネラルバレ (Fig. 1 の B) では、Kesel らによって 7 つの扇状地について詳しい報告がなされている (Kesel, 1985a, b; Kesel and Spicer, 1985)。それらの扇状地の 1 つである Ceibo 川扇状地の面積は、Kesel (1985a) により 159 km^2 とされたが、斉藤 (2011b) はどのように大きくその範囲を復元しても最大 105 km^2 にしかないことを指摘した。斉藤 (2011b) は、Kesel (1985a) の扇状地に適合するように、7 つの扇状地を認定し、最大の扇面面積を収集した。しかし、7 つの扇状地の認定は、日本・台湾・フィリピンの扇状地 (斉藤, 2006)、ニュージーランドの扇状地 (斉藤, 2007) の認定とかなり異なるものであった。本論文は、日本、台湾、フィリピン、ニュージーランドの扇状地との比較をするものなので、斉藤 (2011b) で行った認定とは異なり、斉藤 (2006) や斉藤 (2007) と同じ方法を採用した。

Kesel (1985a, b) は、Peñas Blancas, Cajón — San Pedro, Unión, Sanador — Convento, Volcán, Cañas, Ceibo の 7 扇状地を認定した。Peñas Blancas, Cajón — San Pedro, Sanador — Convento, Ceibo の 4 扇状地については、扇状地形態の保存状態が悪く、扇状地とは認定しなかった。一方、Unión, Volcán, Cañas の他、Volcán 川扇状地と Cañas 川扇状地の間にある Angel 川扇状地を扇状地として認定した。これら 4 扇状地 (Table 1 の No.15 ~ 18) をヘネラルバレに存在する扇状地として認定し、さらに扇面面積等を再計測した (Table 1)。

III 扇状地の分布

扇状地をもつ河川は 18 であり、コスタリカの国土面積は 5.1 万 km^2 なので、 1000 km^2 当たりの扇状地数は 0.35 個となる (Table 2)。この値は、台湾の 1.97 個、日本の 1.30 個にくらべ少なく、ニュージーランドの 0.52 個や、扇状地ができてくにくい熱帯のフィリピンの 0.43 と同程度である。

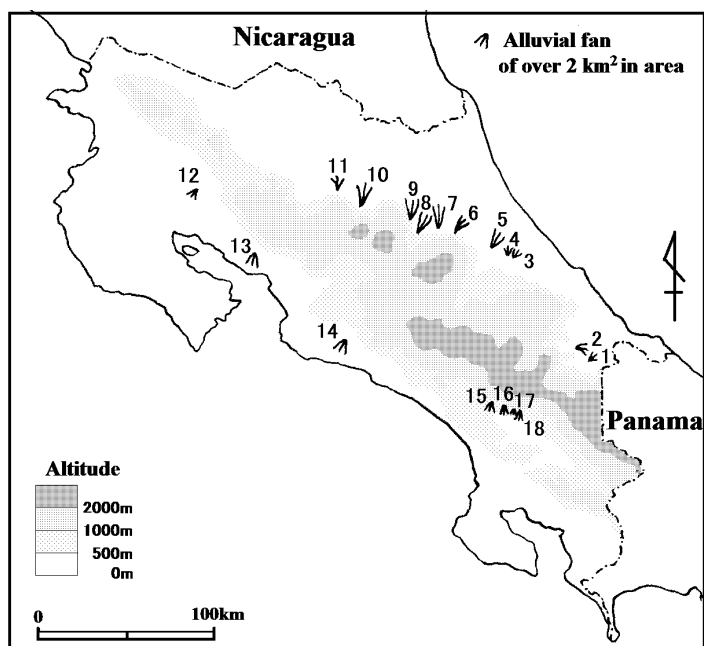


Fig. 3 Distribution of alluvial fans in Costa Rica

Table 1 Geomorphic data of alluvial fans and their drainage basins in Costa Rica

Locations of fans are shown in Fig. 3. The fan was named mainly after the river. The mark "#" means the upper terrace of a storied fan.

Basin geology is after 1:500,000 Costa Rican geological map. Sed: Sedimentary rocks (Cretaceous to Quaternary), Vol: Volcanic rocks (Quaternary and Tertiary), Pluto: Plutonic rocks (Tertiary), mix: mixed type. Plain in depositional environment (D.E.) is farther than 10km between valley mouth and coastline. Existence of active fault is after Map of Quaternary faults and folds of Costa Rica (1998).

No.	Name of fan	Fan area (km ²)	Apex alt. (m)	Toe alt. (m)	Fan length (km)	Mean slope (‰)	Fanhead trench (m)	Toe incision (m)	Drainage basin area (km ²)	Montane basin (km ²)	Peak alt. (m)	Valley-mouth alt. (m)	Basin length (km)	Relief ratio (%)	Basin geology	Exist. volcano	D. Exist. of fault
1	Lari	10.4	140	60	5.8	13.8	8	5	265.9	-	3549	132	28.4	120.3	Pluto	-	basin -
2	Telire	15.3	160	70	7.8	11.5	10	5	829.5	-	3819	150	48.2	76.1	mix	-	basin -
3	Madre de Dios	2.9	120	50	2.6	26.9	22	10	20.6	-	625	98	8.2	65.1	Sed	-	plain +
4	Cimarrones	2.0	80	30	2.0	25.0	10	5	18.6	-	690	70	10.1	61.4	Sed	-	plain +
5	Reventazón	14.2	90	30	6.9	8.7	17	3	1555.8	-	3475	73	59.5	57.2	mix	+	plain +
6	Guacino	39.1	235	50	10.3	18.0	20	4	44.4	-	3329	215	19.9	156.5	Vol	+	plain -
7	Toro Amarillo	40.1	295	100	12.1	16.1	5	2	128.3	-	3432	427	23.3	129.0	Vol	+	plain +
#	Toro Amarillo	42.8	440	100	15.4	22.1	13	2									
8	Chirripo (Sucio)	42.7	280	100	12.9	14.0	10	5	336.4	-	3432	270	24.6	128.5	Vol	+	plain +
9	Puerto Viejo	22.2	260	90	8.6	19.8	20	4	59.5	-	2906	240	17.0	156.8	Vol	+	plain -
10	Toro	48.6	475	180	11.1	26.6	75	5	130.7	-	2704	400	21.1	109.2	Vol	+	plain +
11	Aguas Zarcas	12.2	260	100	6.3	25.4	5	10	35.5	-	2325	255	17.9	115.6	Vol	+	plain -
12	Cañas	14.0	90	30	7.0	8.6	10	3	112.1	-	1530	80	27.4	52.9	Vol	-	plain -
13	Aranjuez	5.8	90	20	5.1	13.7	10	3	139.2	-	1819	80	23.3	74.6	Pluto	-	plain -
14	Parrita	12.5	35	10	5.2	4.8	10	2	1046.8	-	3156	25	48.5	64.6	Sed	-	plain -
15	Unión	17.7	840	600	7.0	34.3	20	30	77.2	-	3460	820	13.1	201.5	Pluto	-	basin -
16	Volcán	18.1	840	420	7.4	56.8	35	5	32.1	-	3126	805	9.8	236.8	Pluto	-	basin -
17	Angel	7.3	780	540	3.8	63.2	10	10	19.9	-	2909	770	8.8	243.1	Pluto	-	basin -
18	Cañas	26.5	730	400	6.6	50.0	30	15	50.0	-	3010	700	12.7	181.9	Pluto	-	basin -

Table 2 Data of alluvial fans and drainage basins

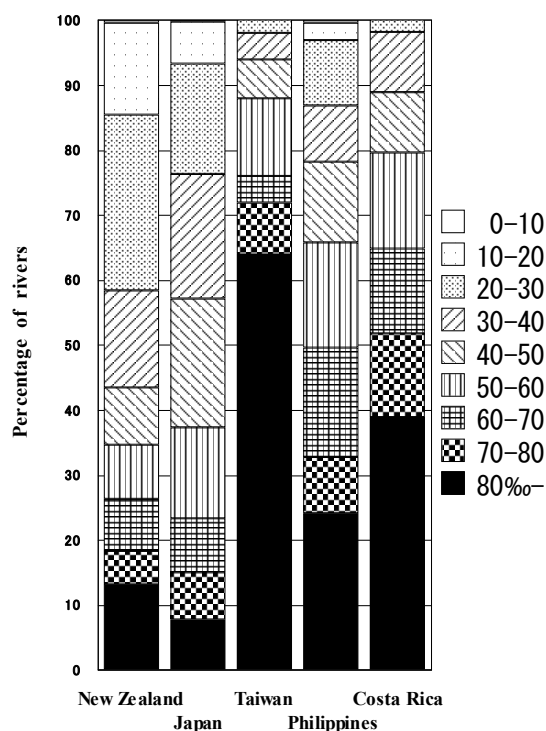
	New Zealand	Japan	Taiwan	Philippines	Costa Rica
Area of land (1,000 km ²)	271	378	36	300	51
Number of drainage basins with fans over 2km ²	141	490	71	129	18
Density of fans per 1,000km ²	0.52	1.30	1.97	0.43	0.35
Number of drainage basins over 100km ²	262	474	50	266	54
Number of those basins with fans	35	123	29	32	9
Percentage of drainage basins with fans	13.4%	25.9%	58.0%	12.0%	16.7%
Number of basins over 100km ² with relief ratio over 30%	153	362	49	231	53
Percentage of basins with relief ratio over 30%	58.4%	76.4%	98.0%	86.8%	98.1%

扇状地は、山地と平地の境界にできるので、その境界がなければ、国土面積が大きくても扇状地はできない。したがって、国土面積で扇状地の分布を議論するのは、必ずしも正当ではない。国土面積での不正確な議論を回避するため、山地と平地の境界を谷口とする集水域面積 100km² 以上の河川を取り上げ (Fig. 2), 扇状地が形成される割合を求めた。

コスタリカでは、集水域面積 100km² 以上の 54 河川のうち扇状地をもつのは 9 河川であり、扇状地をもつ割合は 16.7%である。台湾の 58.0%や日本の 25.9%にくらべ、その割合が低く、フィリピンの 12.0%やニュージーランドの 13.4%と同程度となっている。このように、国土面積でみても集水域面積 100km² 以上の河川でみても、熱帯であるコスタリカでは、温帯の台湾や日本にくらべ扇状地が形成される割合が低く、扇状地ができにくい熱帯のフィリピンや温帯のニュージーランドと同程度になっている。熱帯であるコスタリカは、フィリピンと同様に、化学的風化が盛んで扇状地を構成する粗粒物質の供給量が少なく、扇状地ができにくいと考えられる。

なお、温帯のニュージーランドで扇状地ができにくいことについては、斉藤 (2007) によると、以下のように考えられている。日本・台湾・フィリピンの集水域面積 100km² 以上の流域では、扇状地の有無には、起伏比が大きく関与し (Saito, 1997), 起伏比 30 %未満では扇状地のできる割合がかなり低くなっている (Saito, 1999)。起伏比 30 %未満の流域の割合は、コスタリカで 1.9%, 台湾で 2.0%, フィリピンで 13.2%, 日本で 23.6%であるのに対し、ニュージーランドでは 41.6%にの

ぼる (Fig. 4)。このように、ニュージーランドでは、起伏比が小さい流域の割合が高く、温帯の変動帯にありながら、扇状地の形成される割合が低くなっている。

Fig. 4 Percentage of relief-ratio ranks of drainage basins over 100 km²

IV 扇状地形態

1. 扇状地規模

コスタリカで最も大きな扇状地は、低位面に限れば面積 48.6km^2 の Toro 川扇状地(No.10)が最大であり、高位面も含めると面積 82.9km^2 の Toro Amarillo 川扇状地(No.7)が最大となる。ニュージーランド、日本、台湾、フィリピンの最大の扇面面積は、低位面に限った場合では、 681.7km^2 (Rangitata 川扇状地)、 281.7km^2 (鬼怒川扇状地)、 472.4km^2 (濁水溪扇状地)、 100.9km^2 (Santo Tomas 川扇状地)、高位面も含めた場合では、 $1,328.8\text{km}^2$ (Rakaia 川扇状地)、 576.4km^2 (多摩川扇状地)、 719.6km^2 (濁水溪扇状地)、 100.9km^2 (Santo Tomas 川扇状地)である。フィリピン最大の扇状地は、他の地域の扇状地にくらべ小さいが、コスタリカ最大の扇状地はさらに小さい。熱帯で粗粒物質の生産が少ないことに起因しているものと思われる。

集水域面積と扇面面積とは、比較的強い正の相関関係を一般に示す (Fig. 5)。面積 2km^2 未満の小扇状地は対象外なので、集水域面積上の扇面面積の回帰直線は、小扇状地を含めた全扇状地を対象とした回帰直線よりも、傾きが小さくなる。このため、集水域面積上の扇面面積の回帰直線と、扇面面積上の集水域面積の回帰直線との二等分線 $A_f = 0.589A_d^{0.709}$ を集水域面積と扇面面積との回帰線とみなした。

集水域面積と扇面面積の回帰式を他地域と比較すると、コスタリカに発達する扇状地は、ニュージーランド、日本、台湾、フィリピンと同程度となっている (Fig. 6)。

2. 扇状地勾配

コスタリカで最も急な扇状地 (面積 2km^2 以上) は、平均勾配 63.2‰ (3.6°) の Angel 川扇状地(No.17)である。ニュージーランドでは 152.2‰ 、日本では 70.6‰ 、台湾では 60.6‰ 、フィリピンでは 110.7‰ であり、日本や台湾と同様である。

堆積勾配について、Blair and McPherson (1994) は、 $0.5 \sim 1.5$ 度のギャップを指摘し、扇状地の勾配は 1.5 度以上であることを主張した。これに

対し、Saito and Oguchi (2005)は、日本・台湾・フィリピンの扇状地の平均勾配には、 $0.5 \sim 1.5$ 度のギャップが認められないことから、扇状地を 1.5 度以上に限定することはできないと反論した。コスタリカの扇状地の平均勾配についても、 $0.5 \sim 1.5$ 度の勾配は存在する (Fig. 7)。

コスタリカの扇状地とニュージーランド・日本・台湾・フィリピンの扇状地との扇状地勾配を比較した。扇状地勾配に対する影響の度合いが最も大きいのは、起伏比と扇状地勾配との関係である (斉藤, 1988)。その関係からみれば、コスタリカの扇状地の勾配は、ニュージーランドと同様であるが、日本、台湾、フィリピンの扇状地にくらべ急である (Fig. 8)。

扇状地の勾配は、降水量の多いところでは、一般に緩い (斉藤, 2006)。ニュージーランドでは降水量が少ないので急といえそうである。降水量の多いコスタリカのヘネラルバレーの扇状地で勾配が急なことについて、Kesel (1985b)は、扇状地勾配に対しては気候よりも堆積物の特徴 (粒径) や地殻変動 (扇頂部の隆起) が重要な役割を果たしていると推察している。この指摘が妥当かどうかを含め、コスタリカで扇状地勾配が急であることについては今後の課題となっている。

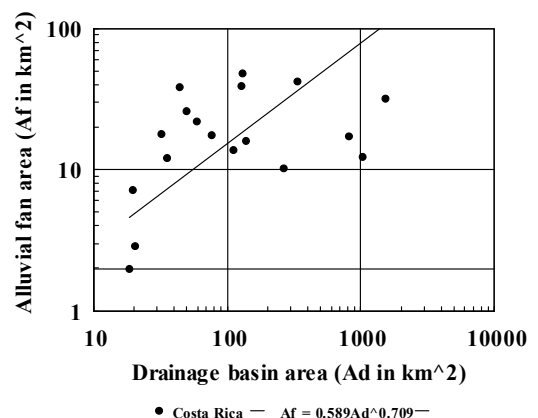


Fig. 5 Relation between drainage basin areas and alluvial fan areas in Costa Rica

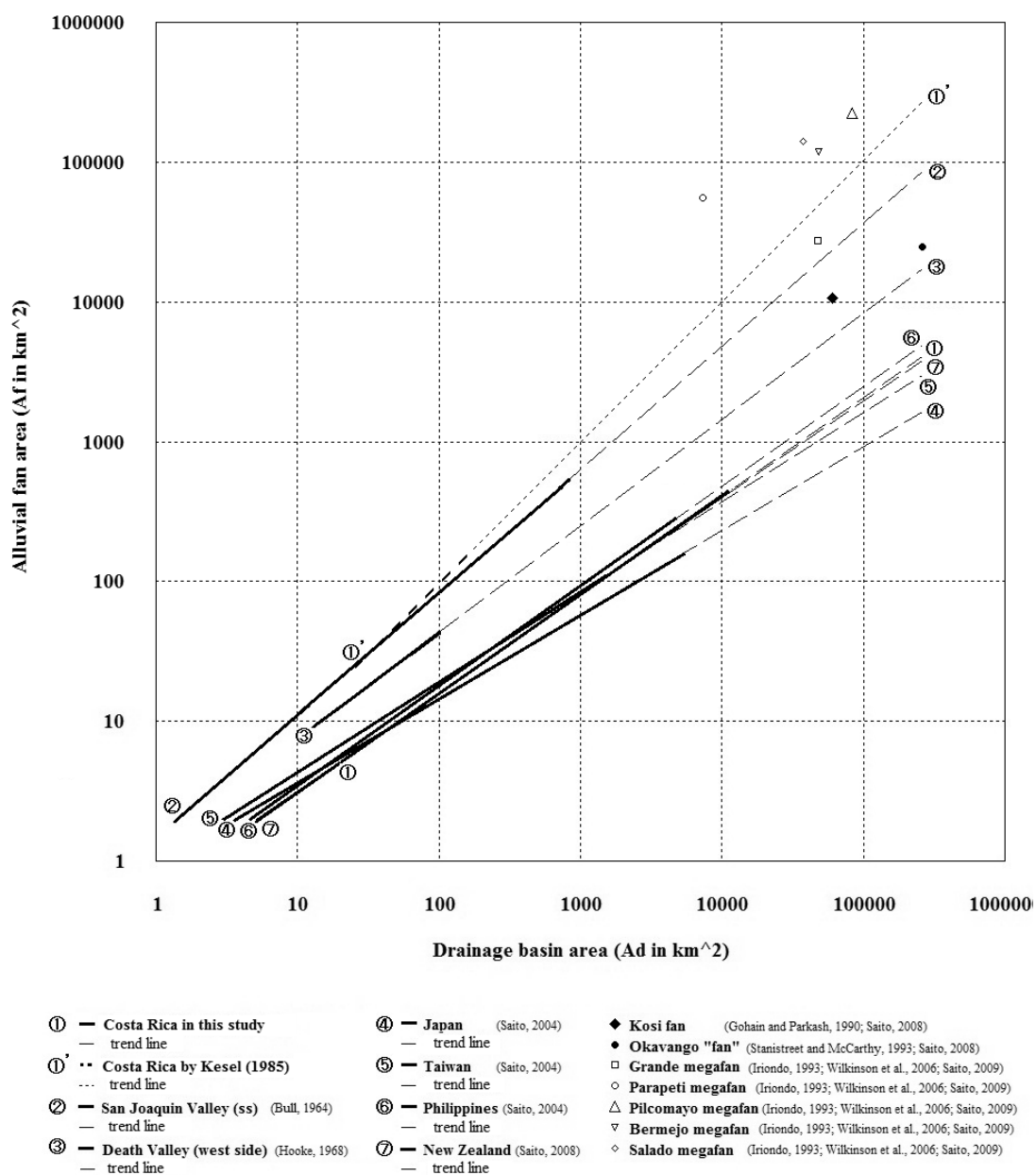


Fig. 6 Relationships between drainage basin areas and alluvial fan areas

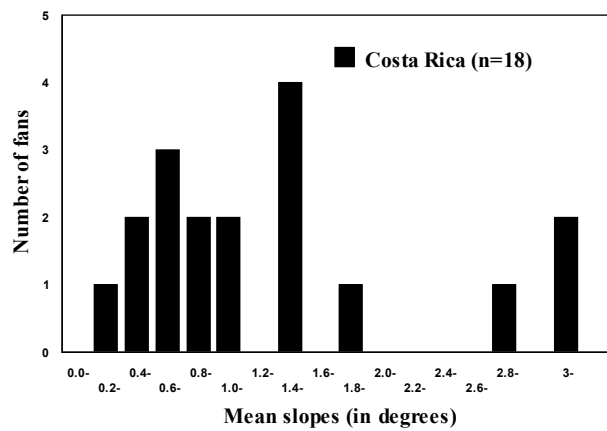


Fig. 7 Histogram of mean slopes of fans in Costa Rica

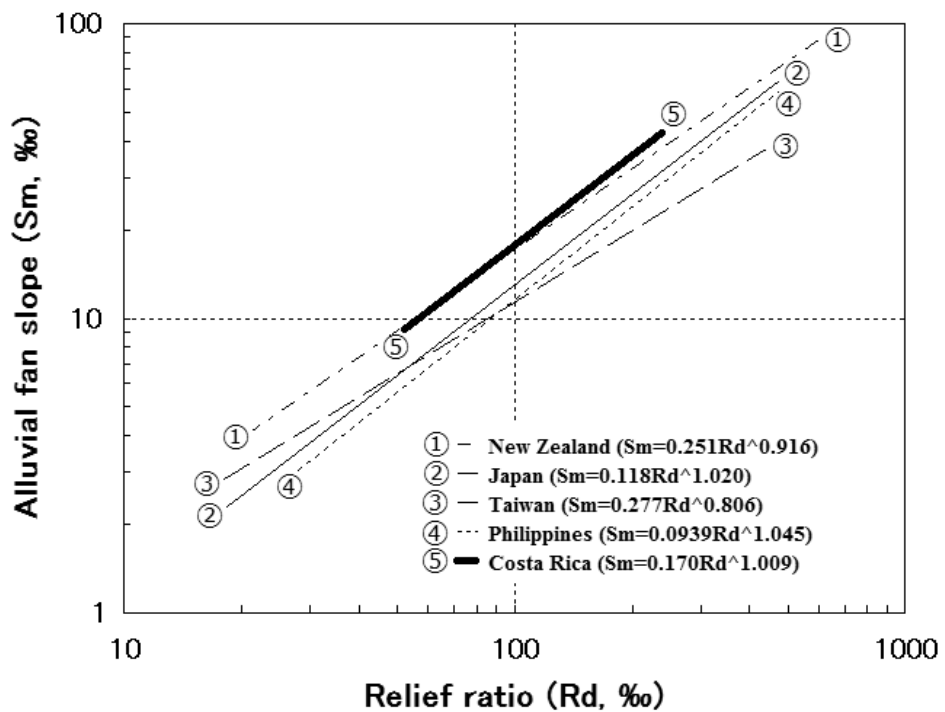
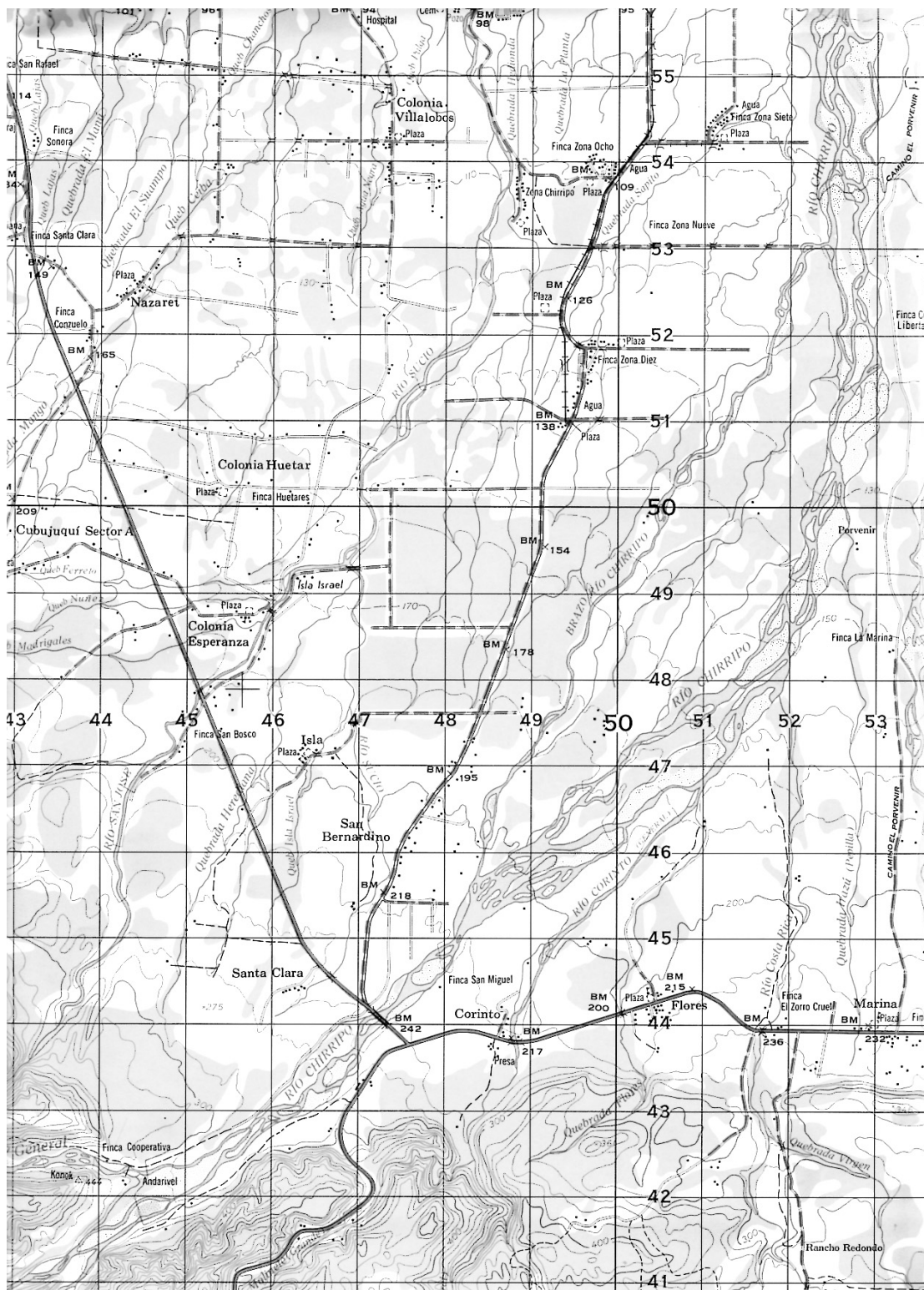


Fig. 8 Relation between relief ratios and alluvial fan slopes



3. 開析状態

コスタリカの扇状地（高位面を除く）のなかで最も下刻が進んでいるのは、扇頂下刻量では Toro 川扇状地 (No.10) の 75m であるが、次いで Volcán 川扇状地 (No.16) の 35m である。扇端下刻量では Unión 川扇状地 (No.15) の 30m であり、次いで Cañas 川扇状地 (No.18) の 15m である。ヘネラルバレーの扇状地 (No.15 ~ 18) は、下刻が進んでいるが、それ以外では、Chirripo (Sucio) 川扇状地 (Fig. 9) のように下刻は進んでいない。

V まとめ

①面積 2 km^2 以上の扇状地をもつ河川がコスタリカには 18 河川ある。

②熱帯のコスタリカでは、国土面積当たりでも集水域面積 100 km^2 以上の流域でみても、扇状地が形成される割合が、台湾・日本にくらべ低く、熱帯のフィリピンと同程度である。その理由として、熱帯で化学風化が盛んで扇状地を構成する粗粒物質の生産が少ないことが考えられる。

③コスタリカの扇状地規模を集水域面積との関係でみたとき、ニュージーランド、日本、台湾、フィリピンと同程度である。

④コスタリカの扇状地勾配についても、ニュージーランド、日本、台湾、フィリピンと同様に、 $0.5 \sim 1.5$ 度の堆積勾配のギャップは認められない。

⑤起伏比と扇状地勾配との関係では、コスタリカの扇状地の勾配は、ニュージーランドと同様であるが、日本、台湾、フィリピンの勾配にくらべ急である。その原因は不明で、今後の課題である。

謝辞：本研究には、平成 22 ~ 24 年度日本学術振興会科学研究費基盤研究 C「大規模「扇状地」と沖積扇状

地の区分—河成扇状地の国際的再確認に向けて—」(研究代表者：斉藤享治)の補助金を使用した。

文 献

- 斉藤享治 (1988) 『日本の扇状地』古今書院, 280p.
斉藤享治 (2006) 『世界の扇状地』古今書院, 299p.
斉藤享治 (2007) ニュージーランドにおける扇状地の分布と形態: 地理学研究報告(埼玉大学教育学部), 27, 1-22.
斉藤享治 (2010) 地形特性による巨大扇状地と沖積扇状地の比較: 地理学研究報告(埼玉大学), 30, 13-29.
斉藤享治 (2011a) コスタリカにおける扇状地の形成条件: 地理学研究報告(埼玉大学教育学部), 31, 20-28.
斉藤享治 (2011b) コスタリカのヘネラルバレーの扇状地規模—巨大扇状地についての一考察—: 地理学研究報告(埼玉大学教育学部), 31, 1-19.
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.
Kesel, R. H. (1985a) Alluvial fan systems in a wet-tropical environment, Costa Rica: *National Geographic Research*, 1, 450-469.
Kesel, R. H. (1985b) Tropical fluvial geomorphology: In Pitly, A. ed. *Themes in Geomorphology*. Croom Helm, London, 102-121.
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.
Saito, K. (1997) Distribution and sizes of alluvial fans in Japan, Taiwan, and the Philippines: Occasional Paper of Department of Geography of Saitama University, 17, 1-12.
Saito, K. (1999) Development of mountains and alluvial fans in Japan, Taiwan, and the Philippines: *Geographical Review of Japan*, 72B, 162-172.
Saito, K. and Oguchi, T. (2005) Slope of alluvial fans in humid regions of Japan, Taiwan and the Philippines: *Geomorphology*, 70, 147-162.
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.

Distribution and Features of Alluvial Fans in Costa Rica

Kyoji SAITO

Faculty of Education, Saitama University

Costa Rica has 18 rivers with alluvial fans of larger than 2 km². Density of fans per 1,000km² in Costa Rica is 0.35. Those of Japan, Taiwan, and the Philippines, and New Zealand are 1.30, 1.97, 0.48, and 0.52 respectively. The low density is considered to be affected by lower debris production owing to the strongly chemical weathering under tropical climate. Fan sizes in Costa Rica are similar to those in Japan, Taiwan, and the Philippines, and New Zealand. Fan slopes in Costa Rica are similar to those in New Zealand, and they are steeper than those in Japan, Taiwan, and the Philippines. The cause of steep fan slopes in Costa Rica is not obtained.