

# スイス, オーストリア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

アルプス山脈をかかえるスイスやオーストリアには, 多数の扇状地が分布する。ナショナル・アトラス「スイス」(Imhof, 1975) の50万分の1地形学図には400以上の扇状地・デルタ (Schwemmkegel oder Delta) が描かれている。そのほとんどが扇状地であるものの, 長さ2 km以上の扇状地は, 50個前後にすぎない。大きな扇状地が少ないのは, スイスには大きな盆地がなく, 本谷に入り込む支流がつくった小扇状地が大多数のためである。オーストリア東縁のウィーン付近には, ドナウ川北部のMarchfeldと南部のSteinfeldに分けられる大きなウィーン盆地 (Wiener Becken) が広がり, Steinfeldには大きな扇状地が発達する。しかし, オーストリアにおいても, それ以外では, ほとんどが本谷に入り込んだ支流がつくった小扇状地となっている。

扇状地規模は, 扇状地をつくる河川の集水域規模と比較的強い正の相関関係があり, その量的関係もとらえられてきた (Bull, 1964など)。本谷に入り込む支流がつくった扇状地であっても, 小河川によるもののみを取り上げると, 本流による侵食の影響が小さく, 集水域面積と扇面面積との間にそのような関係が認められるはずである。しかし, 筆者が日本などでこれまで取り上げてきた (齊藤, 1988など), 面積2 km<sup>2</sup>以上の扇状地を対象とした場合には, 本流によって一部が侵食された扇状地の割合が高くなり, 集水域面積と扇面面積の間に弱い相関関係しか認められない可能性が高くなる。そのような検討も含め, 山国であり内陸国でもあるスイス, リヒテンシュタイン, オーストリアの扇状地について, その分布と形態がどのようなになっているのか, 近隣のチェコとスロバキア, さらに, 山国であるが島国の日本・台湾・フィリピンの扇状地と比較して, 明らかにする。

## II データの収集

### 1. 対象流域のデータ収集

扇状地の分布について, 他地域との比較を行うために, 日本などのデータがすでに得られている, 集水域 (谷口より上流流域) の面積が100km<sup>2</sup>以上の河川流域を対象流域とした。ウィーン盆地に10流域あり, その他, 本谷に入り込んだところに面積2 km<sup>2</sup>以上の扇状地を形成している河川が10個ある (Fig. 1)。

流域の特徴をとらえるために, 集水域面積 (Drainage 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) を求めた (Table 1)。なお, 山間盆地の面積については, 対象地域の集水域内には小盆地しかなかったため, 求めなかった。

集水域面積, 流域最大辺長については, スイスでは20万分の1地図, オーストリアでは, 面積250km<sup>2</sup>以上の流域では150万分の1の地図, それ未満の流域では5万分の1の地形図を用いて測定した。面積については, 150万分の1の地図では, 1mm方眼紙にトレースして方眼を数え, それ以外ではコンピュータープラニメータを用いて, 測定した。集水域の最高点・最低点の標高の読み取りには, スイスでは2.5万分の1地形図, オーストリアでは5万分の1地形図を用いた。集水域の最高点と最低点の標高差を起伏として, 起伏を流域最大辺長で割った値を起伏比とした (Schumm, 1956)。

河川がどの山地・山脈を流下するのかについては, 基本的にはスイスの地図帳 (Imhof, 1981), 付随的に「ワールド・アトラス」(Baranov et al., 1967) に掲載されている山地・山脈名を使用した。水系名 (river system) については, 国境を流出する河川名を用いた。

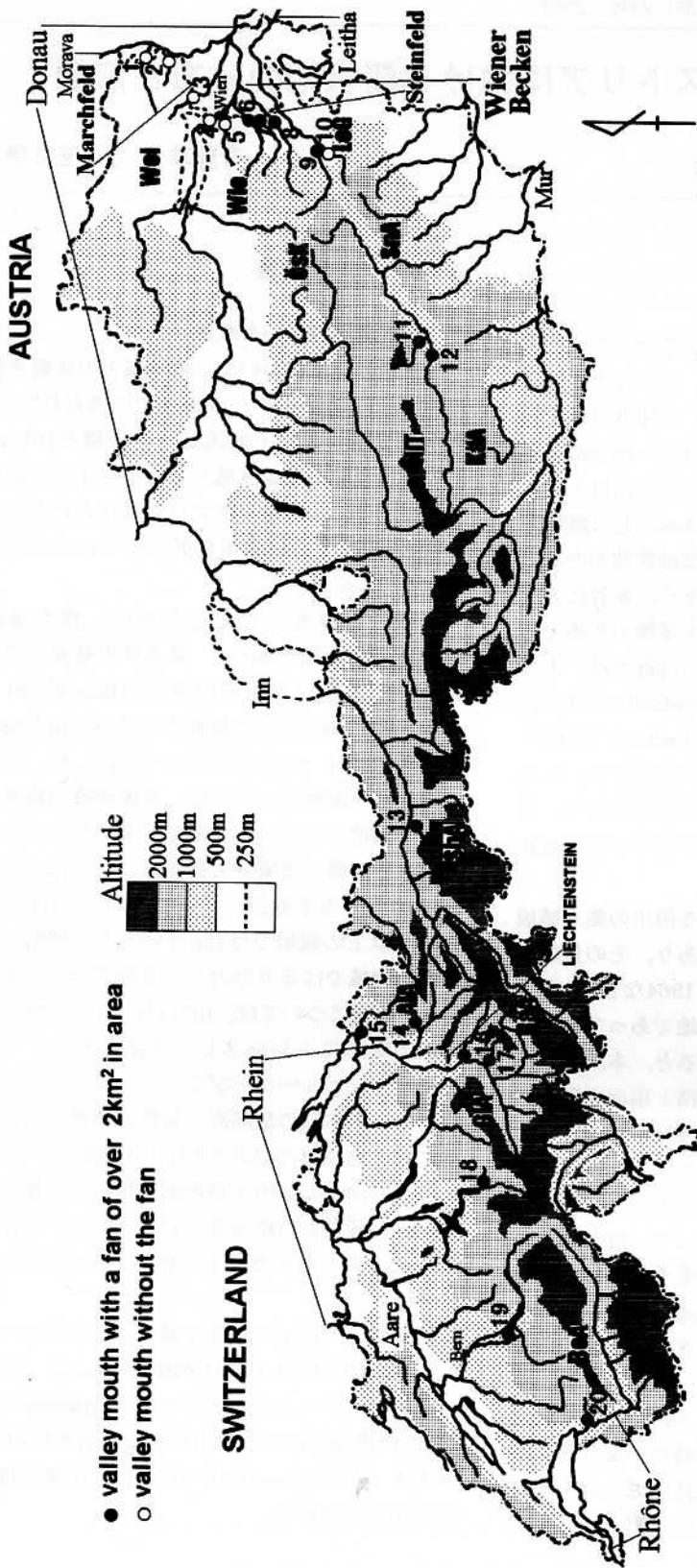


Fig. 1 Distribution of valley mouths of rivers with drainage basin area over 100km<sup>2</sup>

- AAA** : Allgäuer Alpen
- BA** : Berner Alpen
- GIA** : Glarner Alpen
- KAA** : Kärntner Alpen
- LO** : Leitha Gebirge
- MIT** : Niedere Tauern
- ÖSK** : Österr. Kalkalpen
- RA** : Rätische Alpen
- StA** : Stubai Alpen
- StAA** : Steinische Alpen
- Wei** : Weinviertel
- W** : Wienerwald

Table 1 Characteristic of rivers with drainage basin area over 100 km<sup>2</sup>

Locations of valley-mouths are shown in Fig. 1. The numbers of 'Exist. of Fan' are correspond to those in Table 2. The mouths of the upper column (No.1~10) are in Wiener Becken. Those of the lower one (No.11~20) are in valesys.

No.	Name of river	Exist. of Fan	Drainage basin area (km <sup>2</sup> )	Peak alt. (m)	Valley-Mouth alt. (m)	Relief (m)	Basin length (km)	Relief ratio (%)	Name of mountains	River system
1	Zaya	×	490	491	165	326	43.5	7.5	Weinviertel	Morava
2	Sulzbach	×	128	291	153	138	16.5	8.4	Weinviertel	Morava
3	Ruß B.	×	136	374	175	199	20.6	9.7	Weinviertel	Morava
4	Donau (Wien)	×	101,968	3797	164	3633	607.5	6.0	Alps etc.	Donau
5	Wien	×	173	619	210	409	17.1	23.9	Wienerwald	Donau
6	Schwechat	(42)	196	893	240	653	24.7	26.4	Österreichischen Kalkalpen	Donau
7	Triesting	(43)	320	1106	277	829	30.0	27.6	Österreichischen Kalkalpen	Donau
8	Piesting	(44)	270	1132	282	850	32.3	26.3	Österreichischen Kalkalpen	Donau
9	Schwarza	(45)	608	2007	375	1632	38.3	42.6	Österreichischen Kalkalpen	Leitha
10	Pitten	×	318	1743	320	1423	22.5	63.2	Steinische Alpen, Leitha Geb.	Leitha
11	Ingeringbach	(49)	208	2416	713	1703	22.6	75.4	Niedere Tauern	Mur
12	Mur (Judenburg)	(50)	2,572	2863	690	2173	99.0	21.9	Niedere T., Kärntner Alpen	Mur
13	Melach	(35)	272	3325	645	2680	24.8	108.1	Stubaler Alpen	Inn
14	Lutz	(27)	193	2704	558	2146	22.7	94.5	Allgäuer Alpen	Rhein
15	Bregenzer Ach	(34)	839	2403	418	1985	39.0	50.9	Allgäuer Alpen	Rhein
16	Lanquart	(22)	617	3298	551	2747	40.2	68.3	Rätische Alpen	Rhein
17	Plessur	(18)	262	2980	598	2382	21.2	112.4	Rätische Alpen	Rhein
18	Schächen	(12)	107	3295	520	2775	15.2	182.6	Glarner Alpen	Aare
19	Glütschbach	(7)	1,406	3698	577	3121	52.6	59.3	Berner Alpen	Aare
20	Grande Eau	(5)	126	3210	430	2780	18.0	154.4	Berner Alpen	Rhône

## 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<sup>2</sup>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、スイスとリヒテンシュタインでは2.5万分の1地形図、オーストリアでは5万分の1地形図を用いた<sup>1)</sup>。スイスの2.5万分の1地形図では、主曲線の間隔が10mと20mの図幅があり、多くは20m間隔である。オーストリアの5万分の1地形図では主曲線の間隔は20mである。主曲線の間に、10mあるいは5mの間曲線が、半数の扇状地の扇端付近で描かれている。これらの地形図により、スイスで25扇状地、リヒテンシュタインで1扇状地、オーストリアで34扇状地を認定した (Fig. 2)。

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 2)。いずれも2.5万分の1地形図あるいは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<sup>2)</sup>。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、集水域の最高点と最低点の標高、起伏、流域最大辺長、起伏比を、集水域面積100 km<sup>2</sup>以上の流域と同様に求めた。ただし、集水域面積10 km<sup>2</sup>未満のスイスの流域には、2.5万分の1地形図を用いた。

1) スイスでは1979, 84, 94, 95, 98~2003年発行の249枚 (リヒテンシュタイン部分を含む)、オーストリアでは1981, 84, 85, 88~2002年発行の209枚の地形図を用いた。

2) コンピュータプラニメータ (小泉測機製作所のプラコムKP-82N) の読み取りは0.1 cm<sup>2</sup>単位である。方眼紙上に描いた25 cm<sup>2</sup>の方形を10回読み取った結果は、24.9, 25.0, 25.0, 25.0, 25.0, 25.0, 25.1, 25.1, 25.3, 25.4であった。面積は、3回の計測値の平均を用いているので、最大の誤差は、{(25.4+25.3+25.1)/3-25.0}/25.0=0.0107の1%程度と思われる。



**Table 2 Geomorphic data of alluvial fans and their drainage basins in Switzerland and Austria**

Locations of fans are shown in Fig. 2. The fan was named after the river. Ka and NT are Kalkalpen and Niedere Tauern respectively. The drainage basin area of Glütschbach (No. 7) is that of the river which made the fan in those days.

No.	Name of fan	Fan area (km <sup>2</sup> )	Apex alt. (m)	Toe (m)	Fan length (km)	Mean slope (%)	Fanhead trench (m)	Toe incision (m)	Drainage basin area (km <sup>2</sup> )	Peak alt. (m)	Valley-mouth alt. (m)	Basin length (km)	Relief ratio (%)	Name of Mountains	River sytem
1	Illgraben	4.7	800	600	2.3	87.0	20	10	9.5	2717	780	4.2	466.6	Walliser Alpen	Rhône
2	La Losentse	6.4	720	480	3.1	77.4	20	0	20.7	3020	700	7.1	326.8	Berner Alpen	Rhône
3	T. dest-Bathélemy	2.5	610	440	1.8	94.4	10	0	12.0	3178	600	4.8	537.1	Savoyer Alpen	Rhône
4	La Gryonne	5.8	510	400	3.3	33.3	2	-4	33.1	2740	508	10.1	221.0	Berner Alpen	Rhône
5	Grande Eau	2.6	440	390	2.5	20.0	10	-2	126.3	3210	430	18.0	154.4	Berner Alpen	Rhône
6	Lombach	2.5	615	560	2.0	27.5	3	-3	45.6	2163	612	11.1	139.7	Berner Alpen	Aare
7	Glütschbach	6.9	578	555	4.7	4.9	1	-1	1405.8	3698	577	52.6	59.3	Berner Alpen	Aare
8	Gürbe	2.1	800	610	2.6	73.1	3	-3	9.0	2175	797	5.0	275.6	Berner Alpen	Aare
9	Giglerbach	2.8	840	440	5.8	69.0	10	0	1.3	1399	830	1.5	379.3	Jura	Aare
10	Lau	3.1	640	490	2.4	62.5	8	0	25.9	1901	632	7.2	176.3	Berner Alpen	Aare
11	Gross Schliere	2.4	630	460	4.9	34.7	20	0	26.4	1748	610	11.1	102.5	Berner Alpen	Aare
12	Schächen	2.3	525	460	1.9	34.2	5	-3	106.8	3295	520	15.2	182.6	Glarner Alpen	Aare
13	Wägitaler Aa	5.3	452	420	2.8	11.4	2	-4	89.2	2294	450	14.8	124.6	Glarner Alpen	Aare
14	Seltenbach	2.2	508	440	2.4	28.3	3	1	5.2	900	505	3.4	116.2	Randen	Wutach
15	Dürenbach	7.7	550	420	4.5	28.9	5	-3	2.9	1506	545	3.5	274.5	Glarner Alpen	Rhein
16	Gasenxbach	2.3	570	450	2.0	60.0	5	0	4.9	2122	565	4.0	389.2	Glarner Alpen	Rhein
17	Simmi	2.8	540	450	2.5	36.0	3	-4	27.5	2435	537	7.4	256.5	Glarner Alpen	Rhein
18	Plessur	2.5	600	570	2.1	14.3	2	-2	262.4	2980	598	21.2	112.4	Rätische Alpen	Rhein
19	Scalärarüfi	4.2	975	580	2.8	141.1	10	0	1.6	2263	965	1.8	721.0	Rätische Alpen	Rhein
20	Hirschbach	2.6	1000	560	2.9	151.7	10	0	3.0	2350	990	2.6	523.1	Rätische Alpen	Rhein
21	Schlundrüfi	2.2	840	540	2.0	150.0	20	-5	1.1	1627	820	1.4	576.4	Rätische Alpen	Rhein
22	Landquart	3.8	554	530	2.3	10.4	3	0	617.4	3298	551	40.2	68.3	Rätische Alpen	Rhein
23	Üll	2.1	710	520	1.6	118.8	5	0	2.4	2376	705	3.2	522.2	Rhatikon	Rhein
24	Teilerrüfi	2.3	780	520	1.9	136.8	2	0	2.5	2080	778	5.1	255.3	Rhatikon	Rhein
25	Lochrüfi	4.3	880	510	3.0	123.3	10	-2	4.2	2562	870	2.6	650.8	Rhatikon	Rhein
26	Tidröfi	2.4	810	460	2.0	175.0	20	0	0.9	1960	790	1.6	731.3	Rhatikon	Rhein
27	Lutz	7.8	567	510	4.1	13.9	9	3	192.9	2704	558	22.7	94.5	Allgäuer Alpen	Rhein
28	Frutz	7.3	500	440	3.6	16.7	3	-5	52.6	2000	497	13.3	113.0	Allgäuer Alpen	Rhein
29	Frödisch	2.4	520	460	2.2	27.3	10	0	32.1	2004	510	9.2	162.4	Allgäuer Alpen	Rhein
30	Emmebach	2.0	460	420	1.6	25.0	3	0	8.5	1645	457	4.9	242.4	Allgäuer Alpen	Rhein
31	Emsbach	2.5	453	410	1.8	23.9	2	-3	7.4	1645	451	3.5	341.1	Allgäuer Alpen	Rhein
32	Dornbirner Ach	12.7	453	410	4.6	9.3	5	-3	54.6	2004	448	10.6	146.8	Allgäuer Alpen	Rhein
33	Schwarzach	2.1	438	410	1.8	15.6	3	0	17.3	1463	435	6.1	168.5	Allgäuer Alpen	Rhein
34	Bregenzer Ach	9.4	423	400	5.1	4.5	5	-4	801.7	2649	418	37.2	60.0	Allgäuer Alpen	Rhein
35	Melach	3.0	650	590	2.1	28.6	5	0	272.3	3325	645	24.8	108.1	Stubaler Alpen	Inn
36	Weissenbach	7.1	780	580	3.1	64.5	20	12	17.2	2726	760	7.2	273.1	Nordtiroler Kalkalpen	Inn
37	Rischbach	2.2	790	550	2.2	109.1	5	-3	3.8	2000	785	2.9	419.0	Zillertaler Alpen	Inn
38	Wildschönauer Ache	2.8	543	510	1.8	18.3	3	0	86.0	2309	540	15.7	112.7	Salzburger Alpen	Inn
39	Zinkenbach	4.3	563	540	2.0	11.5	10	1	57.6	1764	553	8.8	137.6	Salzburger Alpen	Donau
40	Flitzenbach	2.0	775	710	1.7	38.2	5	-3	14.4	2251	770	5.8	255.3	Eisenerzer Alpen	Donau
41	Mödling	13.1	230	180	10.6	4.7	3	2	57.2	645	177	12.8	36.6	Österreichischen Ka.	Donau
42	Schwechat	30.6	243	180	13.2	4.8	3	1	195.8	893	240	24.7	26.4	Österreichischen Ka.	Donau
43	Triesting	66.2	280	190	19.0	4.7	3	2	319.5	1106	277	30.0	27.6	Österreichischen Ka.	Donau
44	Piesting	91.4	285	200	20.6	4.1	3	2	270.0	1132	282	32.3	26.3	Österreichischen Ka.	Donau
45	Johannesbach	6.7	410	320	5.6	16.1	10	2	18.9	1132	400	8.1	90.4	Österreichischen Ka.	Donau
46	Schwarza	78.0	378	280	14.6	6.7	3	2	607.5	2007	375	38.3	42.6	Österreichischen Ka.	Leitha
47	Freßnitzbach	2.2	660	600	2.8	21.4	2	1	42.7	1498	658	9.8	85.7	Steinische Alpen	Mur
48	Feistritzbach	3.6	760	630	3.7	35.1	15	10	37.8	2253	745	11.2	134.6	Niedere Tauern	Mur
49	Ingeringbach	5.3	715	650	4.4	14.8	2	7	208.4	2417	713	22.6	75.4	Niedere Tauern	Mur
50	Mur (Judenburg)	13.2	742	690	5.5	9.5	52	35	2571.8	2862	690	99.0	21.9	NT, Kärntner Alpen	Mur
51	Schleinitzbach	4.3	1070	720	2.6	134.6	5	0	10.8	2904	1065	4.0	459.8	Hohe Tauern	Drau
52	Gnoppnitzbach	2.0	660	590	1.6	43.8	5	2	41.1	2701	655	10.9	187.7	Hohe Tauern	Drau
53	Risenbach	3.6	850	740	2.1	52.4	3	2	4.3	2371	847	3.1	491.6	Karnische Alpen	Drau
54	Oselitzenbach	2.4	670	600	1.4	50.0	7	2	23.9	2280	663	7.3	221.5	Karnische Alpen	Drau
55	Feistritz	3.7	620	520	2.4	41.7	5	3	10.9	1746	615	3.9	290.0	Karnische Alpen	Drau
56	Rauscherbach	2.5	720	550	2.0	85.0	6	0	3.3	1823	714	3.0	369.7	Karnische Alpen	Drau
57	Rosenbach	2.5	530	480	1.8	27.8	30	15	33.0	1979	500	9.0	164.3	Karnische Alpen	Drau
58	Kl. Dürrenbach	4.6	820	500	3.6	88.9	5	20	5.0	1827	815	3.8	266.3	Karnische Alpen	Drau
59	Loiblbach	4.6	500	440	7.6	7.9	23	7	53.4	2180	477	11.2	152.1	Karnische Alpen	Drau
60	Waidischbach	2.4	490	440	1.9	26.3	37	10	67.4	2130	453	10.5	159.7	Karnische Alpen	Drau

### III 扇状地の分布

#### 1. スイスの扇状地の分布

スイスは、3つの地形区に大きく区分される(浮田, 1977a)。南部のアルプス山脈(Alpen: スイスの最高点4634m)、北部のジュラ山脈(Jura: スイスの最高点1679m)、そして両山脈に挟まれた丘陵地帯のミッテルラント(Mittelland)である(Fig. 2)。アルプス山脈は、東北東-西南西に走る、ライン川(Rhein)上流のVorderrhein川の河谷とローヌ川(Rhône)上流の河谷を境に、北列と南列に細分される。

スイスの25扇状地<sup>3)</sup>のうち、アルプス山脈以外に発達する扇状地は次の2つのみである(Fig. 2)。Giglerbach扇状地(No. 9)は、ジュラ山脈南側を東流するAare川本谷に形成されている。Seltenbach扇状地(No. 14)は、Randen山地(最高点924m)山麓にある。これら以外の23扇状地は、アルプス山脈内や周縁にある。なかでも、ローヌ川河谷に5扇状地(No. 1~5)、ライン川河谷に11扇状地(No. 15~25)と、大河川沿岸に多数発達する。ライン川河谷では、リヒテンシュタインにも1扇状地(No. 26)、オーストリアにも7扇状地(No. 28~34)あり、合計19の扇状地は、スイス、リヒテンシュタイン、オーストリアにある60扇状地の3割を占める。

ローヌ川上流の南側には、アルプス山脈南列の高い山々を発した河川が流れ込んでいるが、扇状地が形成されているのは、小集水域のIllgraben川扇状地(No. 1)のみである。西流してきたローヌ川が北西方向に向きをかえ、アルプス山脈北列を横切るところには、3扇状地(No. 3~5)がある。ライン川上流のVorderrhein川の南北にも、アルプス山脈北列・南列を発した河川が流入する

が、扇状地は形成されていない。Vorderrhein川がライン川と合流して、北向きに流れてアルプス山脈北列を横切るところに、19扇状地(No. 15~26, 28~34)がある。これらのことから、面積2km<sup>2</sup>以上のような比較的大きな扇状地の分布には、大河川により幅広い谷が形成されていることと、アルプス山脈を横切るような場所で大きな起伏比をもつ河川が流入することが必要条件と思われる。

#### 2. オーストリアの扇状地の分布

オーストリアの大部分はアルプス山脈(オーストリアの最高点3798m)に位置し、その北部と南東部は、丘陵地帯のアルプス・カルパート前地(Alpen-Karpatenvorland)と東部前地(Vorland im Osten)となっている(浮田, 1977b)。オーストリア北縁では、チェコから続くボヘミア地塊(Böhmische Masse)が花崗岩片麻岩高原をなす。東縁にはウィーン盆地があり、北部のMarchfeldと南部のSteinfeldに細分される。

オーストリアの34扇状地<sup>4)</sup>のうち6扇状地(No. 41~46)がウィーン盆地に発達する(Fig. 2)。それ以外の28扇状地はアルプス山脈内に分布する。扇状地が多いのは、7扇状地(No. 28~34)をもつライン川河谷のほか、6扇状地(No. 51, 52, 57~60)のDrau川河谷、4扇状地(No. 53~56)のGail川河谷、3扇状地(No. 35, 36, 38)のInn川河谷、3扇状地(No. 48~50)のMur川河谷である。比較的大きな河川の河谷に扇状地が形成されている。しかし、Inn川がアルプス山脈を横切るところ(オーストリア北部の国境付近)、Drau川やMur川がアルプス山脈(KäA: Kärntner Alpen や SnA: Steinische Alpen)を横切るところでは、扇状地が発達していない。このことは、面積2km<sup>2</sup>以上の大きな扇状地を形成するのに、アルプス山脈を横

- 3) ナショナル・アトラス「スイス」(Imhof, 1975)には、長さ2km以上の扇状地が約50描かれている(斉藤, 1992の図4参照)。本論文で認めた面積2km<sup>2</sup>以上の25扇状地のうち、そのなかに含まれない扇状地は2個(No. 9, 22)である。No. 9の扇状地は、アトラスではBergsturz(山崩れ)と表現されているが、他のBergsturzでは閉曲線で示される流れ山が明瞭なのに対し、滑らかな同心円状の等高線を示すので、河川営力加わった扇状地と認定した。No. 22の扇状地では、同心円状の弧の膨らみが他にくらべ弱く、扇状地かどうかの判断が困難であった。
- 4) No. 39のZinkenbach扇状地は、Wolfgangsee湖に注ぐ典型的な三角州形態を示す。しかし、扇頂の標高(563m)が湖水面(538m)より高く、その平均勾配(11.5‰)が黒部川扇状地と同様の平均勾配(10.6‰)をもつので、扇状地と認定した。また、ウィーン盆地の扇状地(No. 51~55)とBodensee湖畔の扇状地(No. 34)は、同心円状の弧の膨らみが弱く、扇状地かどうか判断に迷った。ただし、アトラス「ドナウ川流域諸国」(Österreichisches Ost- und Südosteuropa- Institut, 1981)の200万分の1地形学図には、沖積扇状地(Schwemmfächer)として描かれている。

切る十分に大きな河川として、Inn川、Drau川、Mur川規模では不十分で、ライン川、ローヌ川規模でなければならないことを物語っているように思われる。

ウィーン盆地の扇状地の分布については、南部のSteinfeldに5つの扇状地が発達するのに対し、北部では扇状地が分布しないことが特筆される。これは、南部のSteinfeldであっても、アルプス山脈ではなくWienerwald (Wie)を流下するWien川では扇状地をもたないことや (Fig. 1とTable 1のNo. 5)、北部のMarchfeldで扇状地をもたないことから (Fig. 1とTable 1のNo. 1~3)、起伏比の小さな河川では扇状地をもたないという理由で説明できる。このことは、起伏比の大きなKarnische Alpen (KaA)を流下する河川が、たくさんの扇状地を形成していることから支持される (Fig. 2とTable 2のNo. 53~60)。

### 3. 日本などでの扇状地の分布との比較

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、堆積条件もそろえ、大きな盆地<sup>9)</sup>(large basin)の境界を谷口とする集水域面積100km<sup>2</sup>以上の河川を取り上げ、扇状地が形成される割合を求めた (Table 3)。スイスとオーストリアでは、対象となったのはウィーン盆地のみであるが、そこにある集水域面積100 km<sup>2</sup>以上の10河川のうち、4河川すなわち40%の河川が扇状地を形成している (Table 1)。日本の値36.6%と同様の値を示しているが、大きな盆地に流入する河川の特性、とくに起伏比が異なっていたり、あるいはデータが少ないので、この方法も、必ずしも正確ではない。これらのことから、

Table 3 Data of alluvial fans and drainage basins

	Switzerland and Austria	Czech and Slovak	Japan	Taiwan	Philippines
Area of land (km <sup>2</sup> )	125,000	128,000	378,000	36,000	300,000
Number of drainage basins with fans over 2km <sup>2</sup>	60	53	490	71	129
Density of fans per 1,000km <sup>2</sup>	0.48	0.41	1.30	1.97	0.43
Number of drainage basins with fans over 2km <sup>2</sup> facing plains, bays, or oceans	—	—	258	56	126
Density of fans per 1,000km <sup>2</sup>	—	—	0.68	1.56	0.42
Number of drainage basins with fans over 2km <sup>2</sup> formed inland, that is large basin and valley	60	53	232	15	3
Density of fans per 1,000km <sup>2</sup>	0.48	0.41	0.61	0.42	0.01
Number of drainage basins with fans over 2km <sup>2</sup> formed in large basins	6	40	216	13	3
Density of fans per 1,000km <sup>2</sup>	0.05	0.31	0.57	0.36	0.01
Number of drainage basins with fans over 2km <sup>2</sup> formed on valley bottoms	54	13	16	2	0
Density of fans per 1,000km <sup>2</sup>	0.43	0.10	0.04	0.06	0.00
Number of drainage basins over 100km <sup>2</sup> whose mouths are in large basins	10	56	101	6	15
Number of those basins with fans	4	1	37	4	1
Percentage of drainage basins with fans	40.0%	1.8%	36.6%	66.7%	6.7%
Number of basins over 100km <sup>2</sup> with relief ratio over 30% whose mouths are in large basins	2	18	88	6	15
Percentage of basins with relief ratio over 30%	20.0%	32.1%	87.1%	100.0%	100.0%

5) 「大きな盆地」(large basin)とは、集水域面積100km<sup>2</sup>規模の河川が流入してきたときに、扇状地を形成するのに十分な広がりのある盆地と定義する。日本では、名前が広く知られている盆地にほぼ相当する。ただし、片品川が沼田盆地に扇状地を形成しているが、利根川が扇状地を形成する余地がないと判断し、沼田盆地は対象外とした。同様に上田盆地も対象外とした。斉藤(1984)のAppendix 1で扇状地が「basin」に形成とされた集水域面積100km<sup>2</sup>以上の河川で対象外となったのは、斗満川(No. 18)、美瑛川(No. 50)、片品川(No. 189)、神川(No. 248)、野洲川(水口)(No. 373)である。台湾の台東縦谷は、断層によって区切られている幅広い河谷なので、北上河谷などと同様に盆地とみなした。

正当ではないことに留意したうえで、本論文では扇状地の分布を国土面積で議論する。

スイスとオーストリアでは、面積 $2\text{ km}^2$ 以上の扇状地をもつ河川は60であり、扇状地の密度は国土面積 $1000\text{ km}^2$ 当たり0.48個となる (Table 3)。隣接する内陸のチェコ・スロバキアでは0.41個である。これらの値は、台湾の1.97個、日本の1.30個に比べ少なく、扇状地ができにくい熱帯のフィリピンの0.43個と同様の値である。このことは、台湾、日本、フィリピンが島国で、海岸付近 (plain, bay, or ocean) に、それぞれ密度1.56個、0.68個、0.42個の扇状地が形成されるためである。内陸 (large basin or valley bottom) に形成された扇状地の密度は、国土面積 $1000\text{ km}^2$ 当たり日本0.61個、台湾0.42個、フィリピン0.01個となる。フィリピンで低く、日本で高いのは、断層によって区切られる大きな盆地が日本で多く、フィリピンでは少ないことによる。スイス・オーストリアの扇状地密度0.48個が、日本の内陸の扇状地密度0.61個よりも低いことも、スイスとオーストリアでは、大きな盆地がオーストリア東縁のウィーン盆地に限られ、日本の大きな盆地に形成される扇状地の密度0.57個に比べ、スイス・オーストリアでは0.05個と低いことによる。一方、スイス・オーストリアの河谷<sup>6)</sup>に形成される扇状地の密度は、国土面積 $1000\text{ km}^2$ 当たり0.43個であり、チェコ・スロバキアの0.10個、台湾の0.06個、日本の0.04個、フィリピンの0.00個に比べ、大きな値を示す。

集水域面積と起伏比とは、負の相関関係を示す。そのような傾向のなかで、扇状地をもつ河川は、扇状地をもたない河川に比べ、一般に起伏比が大きい (Fig. 3の■と◇)。また、扇状地を河谷に形成する河川の起伏比は、扇状地を大きな盆地に形成する河川の起伏比に比べ、一般に大きい (Fig. 4の●と◇)。とくに、スイスとオーストリアの面積 $1\sim 10\text{ km}^2$ の集水域で大きな起伏比を示す (Fig. 4の●)。大きな盆地に比べ、河谷では、扇状地が形成されにくいので、大きな起伏比をもつ河川でなければ、扇状地ができないことを物語

っている。

スイスやオーストリアでも、小起伏比にもかかわらず、扇状地を形成する河川がある。それらの河川の大部分は、ウィーン盆地で扇状地を形成している河川である (Fig. 4の起伏比 $20\sim 30\%$ の▲の河川)。日本・台湾・フィリピンの集水域面積 $100\text{ km}^2$ 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い (Saito, 1999)。日本、台湾、フィリピンでは、大きな盆地に流入する河川の起伏比は、ほとんどが $30\%$ 以上である (Table 3)。一方、スイス、オーストリアでは、 $30\%$ 以上の河川は $20\%$ にすぎないが、起伏比 $30\%$ 未満で扇状地を形成している河川もある。Schwechat川、Triesting川、Priesting川とMur川である (Table 1のNo. 6~8とNo. 12)。Mur川は、Judenburgで谷幅が広がったところに、扇状地を形成している (Fig. 1のNo. 12)。その集水域では、流域最大辺長が $99\text{ km}$ の細長い形状を示すため、起伏比が $21.9\%$ と低い値を示している。それ以外の3河川は、いずれもウィーン盆地に扇状地を形成している。起伏比 $23.9\%$ のWien川では扇状地が形成されず、起伏比 $26.3\%$ のPiesting川や $26.4\%$ のSchwechat川では扇状地が形成されていることから、ウィーン盆地では起伏比 $25\%$ 前後が扇状地の有無を決定する閾値となっていると思われる。

以上のことから、スイスとオーストリアでは、国土面積当たりの扇状地数が、日本や台湾に比べて少ないのは、第一に内陸国なので海岸付近に扇状地が形成されることがないこと、第二に大きな盆地がオーストリア東縁のウィーン盆地に限られていることに起因するといえそうである。一方、河谷には多くの扇状地が形成されている。この要因として、起伏比の大きい河川の存在を指摘できる。とくに、アルプス山脈を横切るライン川、ローヌ川規模の大川が幅広い谷を形成しているところでは、起伏比の大きい河川が流入して、多くの扇状地が形成されている。

6) 「河谷」(valley bottom) とは、集水域面積 $100\text{ km}^2$ 規模の河川が流入してきたときに、扇状地が一般には形成されないような、十分な広がりがない谷底と定義する。日本では、斉藤(1984)のAppendix 1で「basin」に形成とされた扇状地のなかで、No. 12, 18, 50, 189, 246, 247, 248, 250, 306, 307, 309, 320, 364, 371, 373, 428を河谷に形成された扇状地とみなした。台湾では、Saito(1993)のFig. 1のNo. 46と57を河谷に形成された扇状地とした。チェコとスロバキアでは、斉藤(2002)のTable 2のNo. 9, 10, 34~43, 47を河谷に形成された扇状地とした。



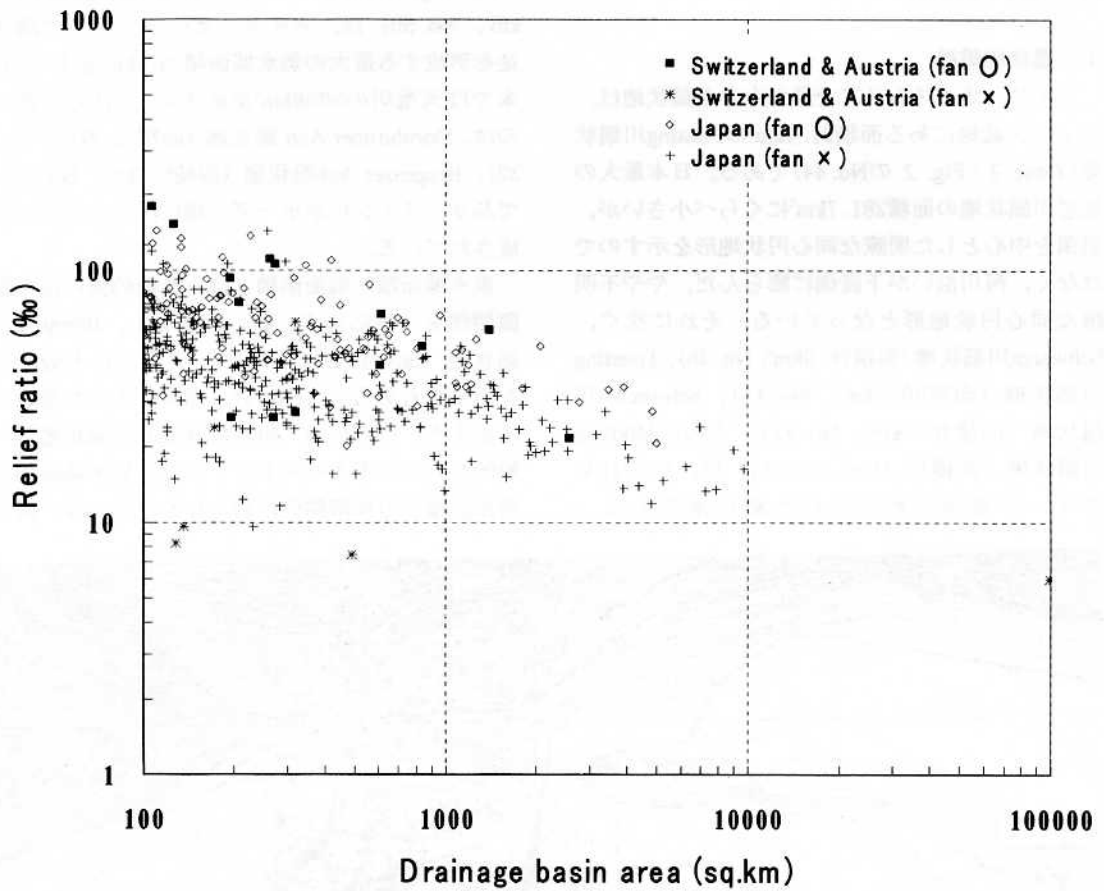


Fig. 3 Relation between area of large drainage basin and relief ratio in Switzerland, Austria and Japan

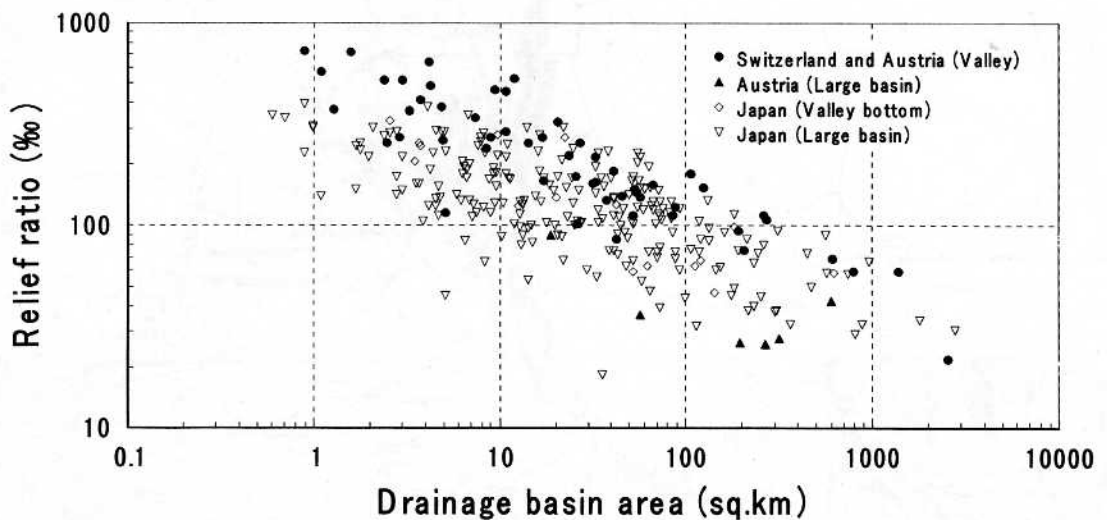


Fig. 4 Relation between drainage basin area with fan and relief ratio in Switzerland, Austria, and Japan

#### IV 扇状地形態

##### 1. 扇状地規模

スイス、オーストリアで最も大きな扇状地は、ウィーン盆地にある面積91.4km<sup>2</sup>のPiesting川扇状地 (Table 2・Fig. 2 のNo. 44)である。日本最大の鬼怒川扇状地の面積281.7km<sup>2</sup>に比べ小さいが、扇頂を中心とした明瞭な同心円状地形を示すのではなく、河川沿いが下流側に膨らんだ、やや不明瞭な同心円状地形となっている。それに次ぐ、Schwarza川扇状地 (面積78.0km<sup>2</sup>, No. 46), Triesting川扇状地 (面積66.2km<sup>2</sup>, No. 43), Schwechat川扇状地 (面積30.6km<sup>2</sup>, No. 42), さらにMödling川扇状地 (面積13.1km<sup>2</sup>, No. 41)は、いずれもウィーン盆地に形成された扇状地である。

Judenburgに形成されたMur川扇状地 (面積13.2 km<sup>2</sup>, No. 50)は、スイス、オーストリアで扇状地を形成する最大の集水域面積2572km<sup>2</sup>をもつ (日本では天竜川の5008km<sup>2</sup>が最大)。これらに次ぐのは、Dornbirner Ach 扇状地 (面積12.7km<sup>2</sup>, No. 32), Bregenzer Ach扇状地 (面積9.4km<sup>2</sup>, No. 34)であり、ライン川がボーデン湖に注ぐところに形成されている。

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。狭い河谷でも、Illgraben川扇状地 (面積4.7km<sup>2</sup>, No. 1)のように十分に広がる場合もあるが (Fig. 5), 通常は小さな扇状地に留まる。このため、河谷に発達する扇状地が一般的なスイスやオーストリアでは、集水域面積と扇面面積との相関関係は弱くなる (Fig. 6)。河谷

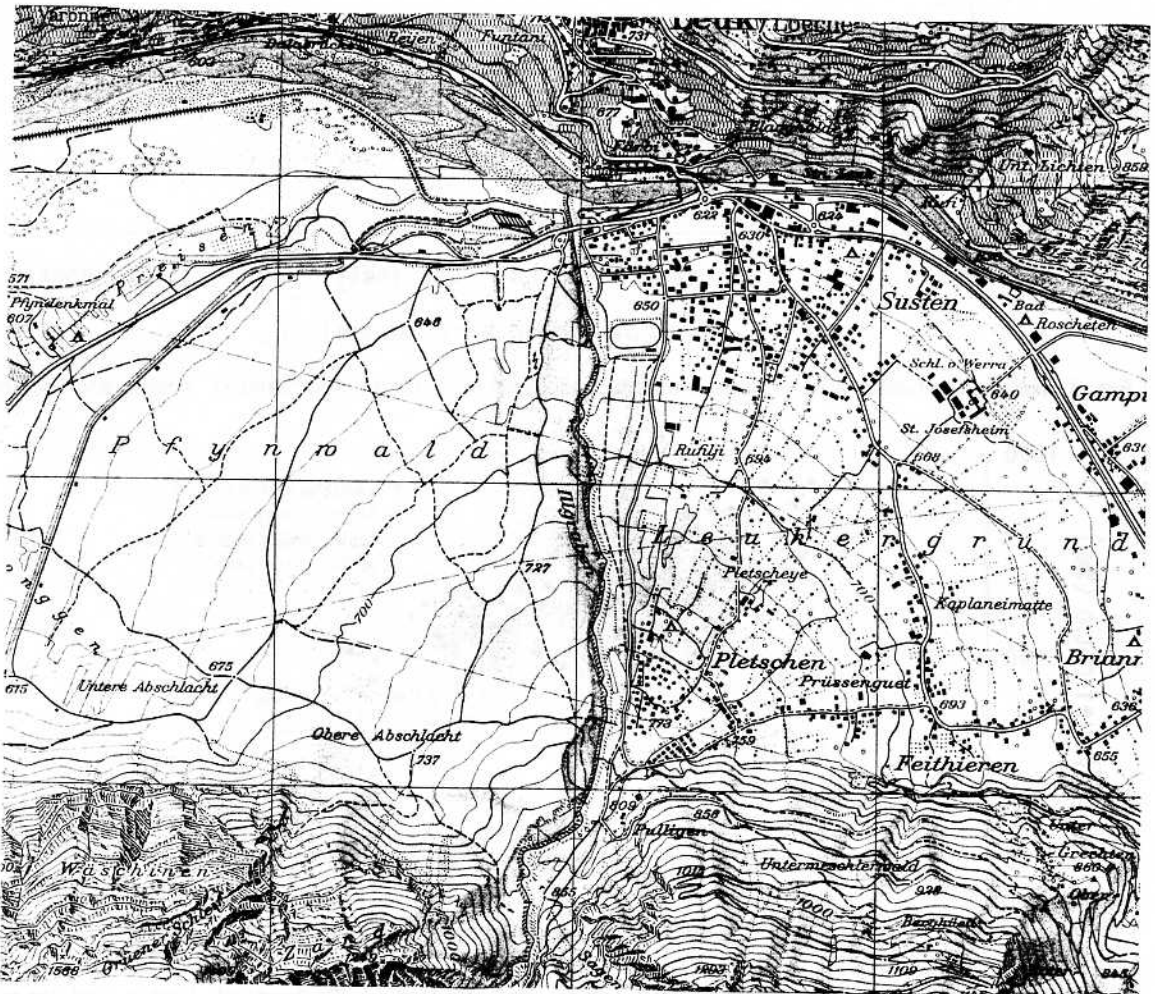


Fig. 5 Illgraben alluvial fan (No.1) in Switzerland (1:25,000 Sierre)

に発達する扇状地では、扇面面積が10km<sup>2</sup>程度までとなっている。したがって、面積2km<sup>2</sup>以上の比較的大きな扇状地に限定した場合には、河谷に発達する扇状地を対象とした集水域面積と扇面面積の回帰式は意味がない。一方、ウィーン盆地に発達する扇状地では、 $A_f=0.611A_d^{0.796}$ の回帰線で示される<sup>7)</sup>、強い相関関係をもつ(相関係数0.956)。

この回帰線は有意なので、扇状地数が6と少ないものの、オーストリアを代表する回帰線とみなす。

集水域面積と扇面面積の回帰式を他地域と比較すると(Fig. 7)、オーストリアのウィーン盆地に発達する扇状地は、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にくらべ一般に大きい。

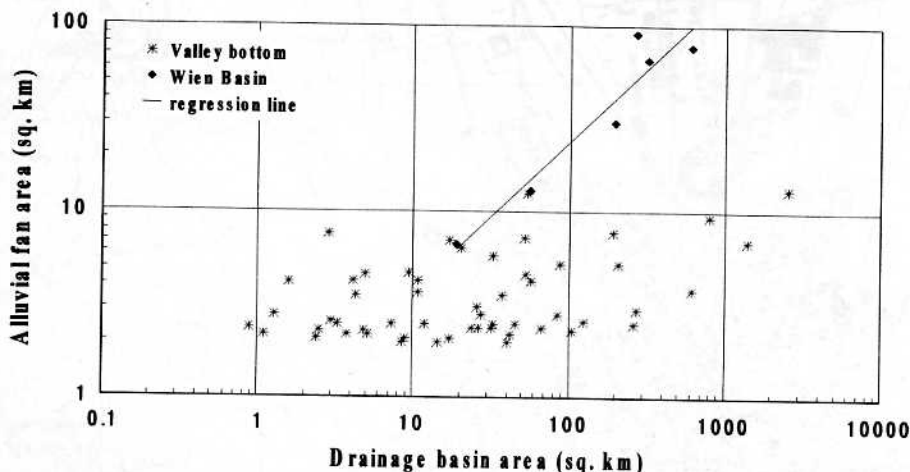


Fig. 6 Relation between drainage basin area and alluvial fan area in Switzerland and Austria

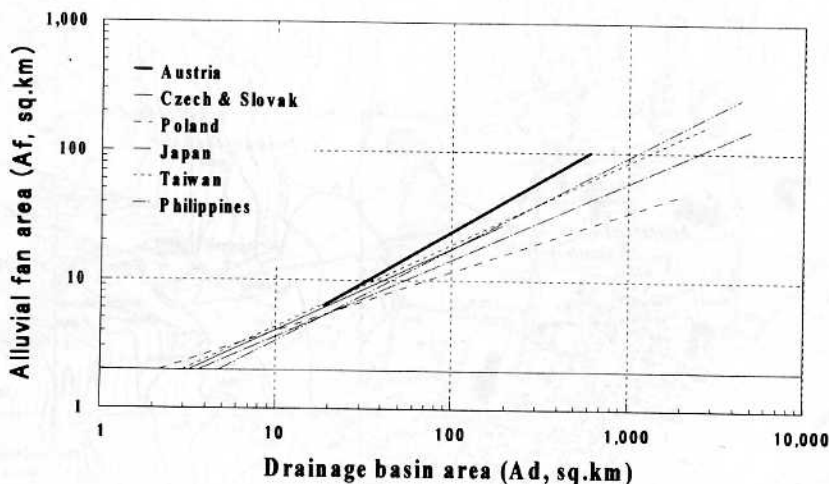


Fig. 7 Relation between drainage basin area and alluvial fan area

Austria (Wien Basin):  $A_f=0.611A_d^{0.796}$ , Czech and Slovak:  $A_f=0.946A_d^{0.636}$ , Poland:  $A_f=1.392A_d^{0.463}$ ,  
Japan:  $A_f=0.920A_d^{0.600}$ , Taiwan:  $A_f=0.999A_d^{0.642}$ , Philippines:  $A_f=0.655A_d^{0.716}$

7) これまで筆者は、集水域面積と扇面面積との回帰線を求める際に、面積2km<sup>2</sup>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とを理由に、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を回帰線とみなしてきた。ウィーン盆地については、面積2km<sup>2</sup>程度の扇状地がないこと、相関係数が0.956と高いことから、独立変数である集水域面積をもとに、集水域面積上の扇面面積の回帰直線をそのまま採用した。

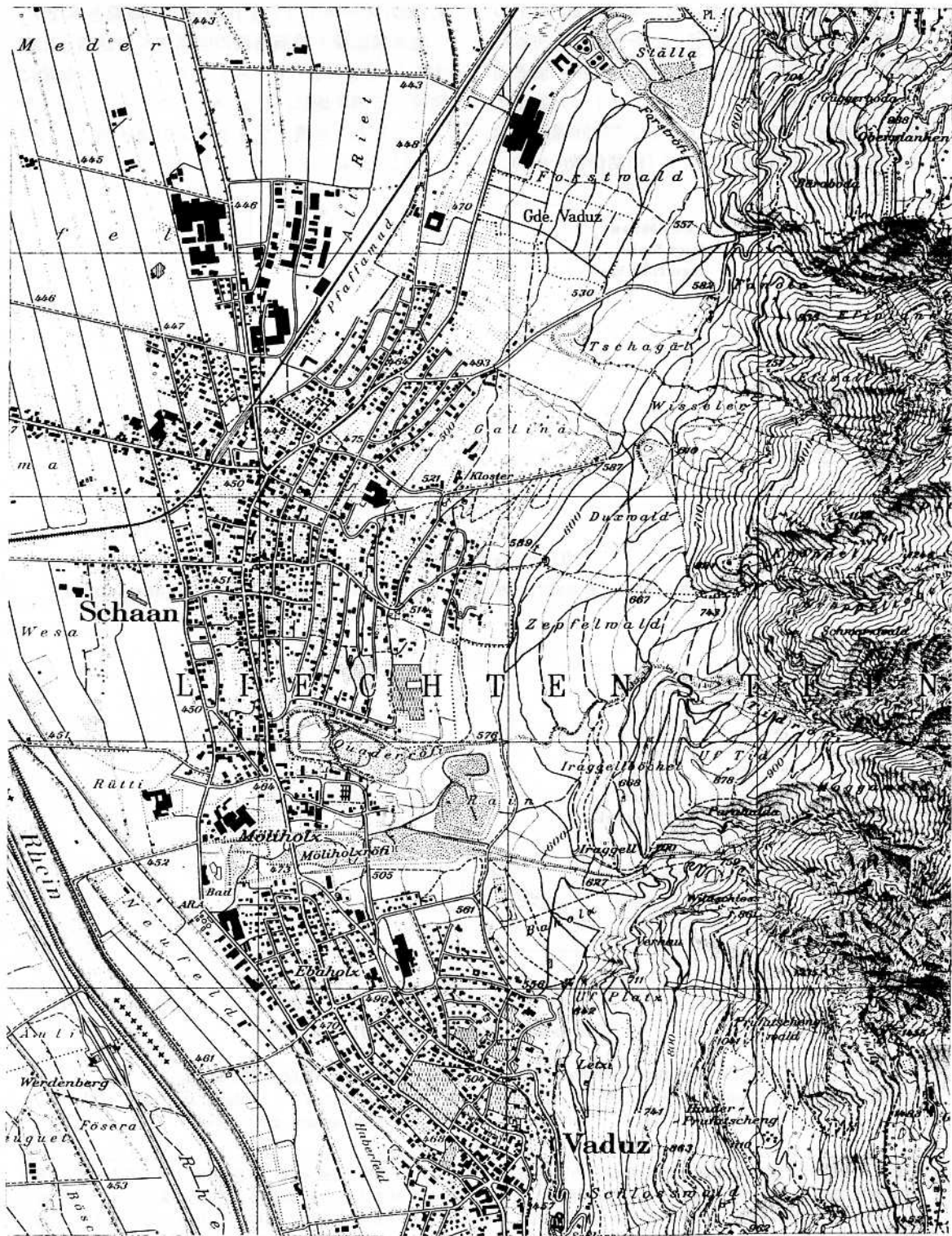


Fig. 8 Tidrofi alluvial fan (No. 26) in Liechtenstein (1:25,000 Buchs)

## 2. 扇状地勾配

スイス、リヒテンシュタイン、オーストリアで最も急な扇状地は、平均勾配175.0‰ (9.9°) のリヒテンシュタインのTidröfi川扇状地(No. 26)である(Fig. 8)。起伏比も731.3‰あり、面積2km<sup>2</sup>以上の扇状地をつくる集水域では、最大である。ライン川がアルプス山脈を横切り、Rätische Alpenを流下した河川の起伏比は大きく(Table 2のNo. 18~26)、ライン川東岸にできた扇状地の勾配も急である。この地域以外の平均勾配100‰以上の扇状地は、オーストリアのSchleinitzbach扇状地(起伏比134.6‰, Fig. 9)とRischbach扇状地(起伏比109.1‰)である。なお、日本で面積2km<sup>2</sup>以上の扇状地で最も急勾配なのは、伊那谷の茂都計川扇状地の70.6‰であり、スイス、オーストリアには、急勾配の扇状地が多いことがわかる。

ウィーン盆地の扇状地勾配と河谷に発達する扇状地の勾配を比較するために、扇状地勾配に対する影響の度合が最も大きい(斉藤, 1985)、起伏比と平均勾配との関係を描いた(Fig. 10)。両者の回帰線はほぼ同様と判断し、1つの回帰直線で代表させた。勾配2‰未満の扇形地形を対象としないので、起伏比上の扇状地勾配の回帰直線を求めると、勾配2‰未満の扇状地地形も対象と



Fig. 9 Schleinitzbach fan (No. 51) in Austria (1:50,000 Lienz)

したときよりも、回帰直線の傾きが小さくなる。しかし、収集した扇状地の最低の勾配が4.1‰であることから、勾配2‰未満の扇状地地形はスイスとオーストリアにはほぼないと判断されることから、起伏比上の扇状地勾配の回帰直線をそのまま使用した。

スイス・オーストリアの扇状地と日本・台湾・フィリピンの扇状地では、勾配に違いがあるのか、扇状地勾配を比較した。起伏比と扇状地勾配の関係では、スイス・オーストリアの扇状地の勾配は、ポーランド、チェコ・スロバキアほどではないが、日本、台湾、フィリピンの扇状地くらべ急である(Fig. 11の破線・実線が上にある)。日本では、降水量の多い西日本で、扇状地の勾配が緩い(斉藤, 1985)。フィリピン・台湾・日本の湿潤扇状地とくらべ、ポーランド、チェコ・スロバキア、スイス・オーストリアではより急なことから、降水量が少ないところでは、勾配が急といえそうである。

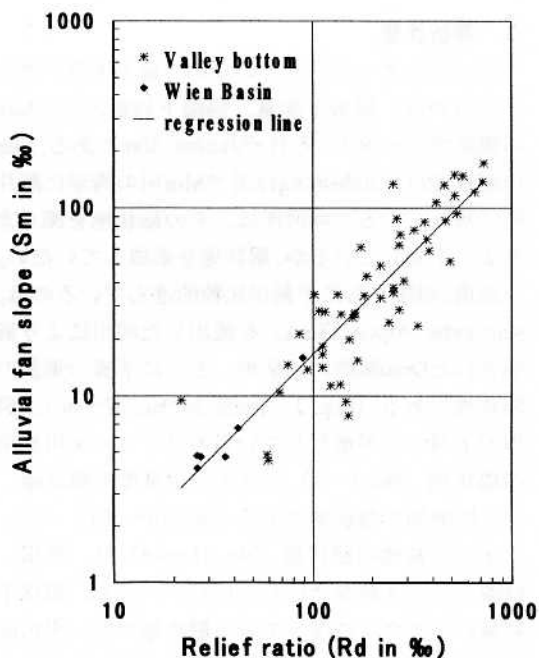


Fig. 10 Relation between relief ratio and fan slope in Switzerland and Austria  
 $S_m = 0.118R_d^{1.073}$  ( $r = 0.897$ )

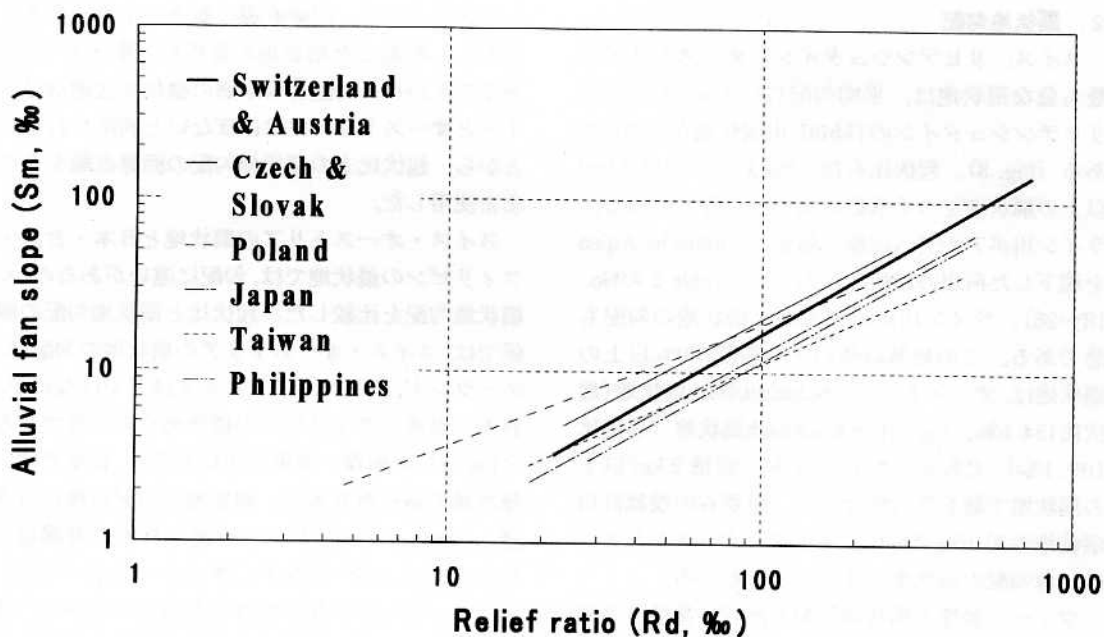


Fig. 11 Relation between relief ratio and alluvial fan slope

Switzerland and Austria:  $S_m = 0.118R_d^{1.073}$  Czech and Slovak:  $S_m = 0.220R_d^{0.983}$  Poland:  $S_m = 0.710R_d^{0.714}$   
 Japan:  $S_m = 0.118R_d^{1.020}$  Taiwan:  $S_m = 0.277R_d^{0.806}$  Philippines:  $S_m = 0.0939R_d^{1.045}$

### 3. 開析状態

スイスとオーストリアのなかで最も下刻が進んでいるのは、扇頂下刻量、扇端下刻量ともにMur川扇状地(No. 50)のそれぞれ52m, 35mである。Mur川扇状地は、Judenburg付近でMur川の両岸に断片的に残っている。現河床は、その扇状地を深くまた広く下刻しているが、扇状地を形成していない。

扇頂、扇端ともに下刻が比較的進んでいるのは、Karnische Alpen (KaA) を流出した河川により形成されたDrau南岸の扇状地、とくに下流の東側の扇状地である (Fig. 2・Table 2のNo. 57~60)。扇頂の下刻のみが進行しているのは、ローヌ川沿岸の扇状地 (No. 1~5) とライン川東岸の扇状地、とくに南側の扇状地である (No. 18~26)。一方、ウィーン盆地の扇状地 (No. 41~46) は、扇頂、扇端ともに下刻が進行していない。なお、扇端下刻量がマイナスになっている扇状地では、現河床付近が高い。堆積が進行していると思われるそのような扇状地が、スイスとオーストリアには18ある。

### V まとめ

①面積  $2 \text{ km}^2$  以上の扇状地がスイスに25、リヒテンシュタインに1、オーストリアに34ある。スイスの2扇状地以外の58個はアルプス山脈を流下する河川によって形成された。

②ウィーン盆地に6個の扇状地が発達するが、それ以外の54扇状地は、山地・山脈中の河谷に形成された。とくに、ライン川がアルプス山脈を横切るところに扇状地が多い。

③スイス、オーストリアでは、国土面積当たりの扇状地数が、日本や台湾に比べて少ないのは、内陸国なので海岸付近に扇状地が形成されることがないこと、大きな盆地が少ないことに起因していると思われる。

④河谷に発達する扇状地の大きさは  $10 \text{ km}^2$  程度までである。本論文で対象とした面積  $2 \text{ km}^2$  以上の比較的大きな扇状地に限れば、集水域面積と扇面面積の回帰式は意味をもたない。一方、ウィーン盆地に発達する扇状地では、相関係数も高いので、その回帰式は意味あるものとする。

⑤対象地域で最も急な扇状地は、リヒテンシュタインにあるTidröfi扇状地であり、平均勾配175.0‰ (9.9°) を示す。

⑥起伏比と扇状地勾配との関係では、スイス・オーストリアの扇状地の勾配は、日本、台湾、フィリピンの勾配に比べ急である。ポーランド、チェコ・スロバキアも急なので、降水量が少ないところでは、勾配が急といえそうである。

謝辞：本研究には、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：斉藤享治，課題番号15650188）の補助金を使用した。

## 文 献

- 浮田典良 1977a. スイス. 木内信蔵編『世界地理7 ヨーロッパⅡ』103-157. 朝倉書店.
- 浮田典良 1977b. オーストリア. 木内信蔵編『世界地理7 ヨーロッパⅡ』158-190. 朝倉書店.
- 斉藤享治 1984. 日本の扇状地の形成因子. 学園論集(北海学園大学) 49: 15-42.
- 斉藤享治 1985. 扇状地の特性を形成する因子. 東北地理 37: 43-60.
- 斉藤享治 1988. 『日本の扇状地』古今書院, 280p.
- 斉藤享治 1992. ヨーロッパにおける扇状地研究の展望. 埼玉大学紀要教育学部(人文・社会科学Ⅱ)41: 91-106.
- 斉藤享治 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(埼玉大学教育学部) 22: 22-39.
- Baranov, A.N., Lysiuk, V.N., and Shurov, S.I. ed. 1967. *The world atlas* (2nd ed.). Moscow: Chief Administration of Geodesy and Cartography, the Council of Ministers of the USSR, 250p.
- Bull, W.B. 1964. Geomorphology of segmented alluvial fans in western Fresno County, California. *U.S. Geological Survey Professional Paper* 352E: 89-129.
- Imhof, E. 1975. *Atlas der Schweiz*. Bern: Landestopographie, Wabern-Bern
- Imhof, E. 1981. *Schweizer Weltatlas*. Zürich: Lehrmittelverlag des Kantons, 188p.
- Österreichisches Ost- und Südosteuropa-Institut, 1981. *Atlas der Donauländer*. Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien.
- Saito, K. 1993. Effectiveness of a dynamic equilibrium model for alluvial fans in the Japanese Islands and Taiwan Island. *Journal of Saitama University, Faculty of Education* 42(1): 33-48.
- 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.
- 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 Switzerland and Austria**

**Kyoji SAITO**

Faculty of Education, Saitama University

Switzerland, Liechtenstein, and Austria have 25, 1, and 34 rivers with alluvial fans of larger than 2 km<sup>2</sup> respectively. Of those 60 fans, 58 fans were made by rivers draining through the Alps. Only six fans are in the Wien Basin, while 54 fans are located in valley bottoms. Many fans were formed in the Rhine Valley where the Rhine River crosses a part of the Alps. Density of fans per 1,000km<sup>2</sup> in Switzerland and Austria is 0.48. Those of Japan and Taiwan are 1.30 and 1.97 respectively. The low density of the former one, as compared with the latter ones, is considered to be affected by absence of fans in coastal plains owing to inland countries and by limited large basins like the Wien Basin. The largest fan in valley bottoms is the Mur River alluvial fan with area 13.2km<sup>2</sup>. Large fans in narrow valleys are generally eroded by trunk rivers. Hence, the regression line between drainage basin areas and fan areas is meaningless for the comparatively large fans in valleys, such as fans over 2km<sup>2</sup> in this paper. On the contrary, the regression line for fans in the Wien Basin is significant because of the high correlation coefficient. The steepest fan in the study area is the Tidörfi alluvial fan with the mean slope 0.175 or 9.9 degree. Fan slopes in Switzerland and Austria are relatively steeper than those in humid regions such as Japan, Taiwan, and the Philippines. Fan slopes are supposed to be steep due to low precipitation, as those are also steep in Poland, Czech, and Slovak.