

コスタリカの扇状地からみた沖積扇状地と巨大扇状地の比較

齊藤 享治 埼玉大学教育学部社会科教育講座

キーワード：扇状地、沖積扇状地、巨大扇状地、コスタリカ

1. はじめに

山地と平地の境界にできる半円錐形状（扇形地形）の沖積扇状地（日本では扇状地と略して呼ばれる）は、日本では一般に河川によってできる地形とされる（鈴木、1998）。2007年に発行された中学校用の教科書でも、6社中5社の教科書で「河川がつくる扇状地」と記載されている（香川・山崎、2008）。一方、世界的には、沖積扇状地は河川流や土石流によってできる地形とされ、1970年代後半からは、様々な扇形地形が沖積扇状地に追加された（齊藤、2006）。ネパール南東部からインド北東部のヒマラヤ山脈山麓に発達する巨大なコシ川扇状地（四国の半分の大きさ）は湿潤沖積扇状地とされ（Schumm、1977）、アフリカ南部のボツワナ北部に発達するオカバンゴ扇状地（四国より大きい）も、表面に湿地が広がるにもかかわらず沖積扇状地とされた（McCarthy et al., 1991など）。

このような様々な扇形地形が沖積扇状地として追加されることについて、Blair and McPherson (1994) は、地形・層相の特徴および水理学的・堆積学的プロセスの考察に基いて反対し、それまで沖積扇状地と認められてきた「河川がつくる扇状地」についても沖積扇状地ではないと主張した。反対の根拠の1つであった $0.5\sim 1.5^\circ$ の堆積勾配の欠如についてはSaito and Oguchi (2005) により否定され、「河川がつくる扇状地」は沖積扇状地ではないとする主張も否定された。しかし、コシ川扇状地やオカバンゴ扇状地のような巨大扇状地が沖積扇状地であるのかどうかについては、課題として残されたままである（齊藤、2010）。

巨大扇状地が沖積扇状地であるかどうかについては、巨大扇状地と沖積扇状地の形成プロセスが同じであるかどうかを、明らかにしなければならない。しかしながら、扇状地表面の網状流が扇状地本体を形成するわけではないとの指摘もあり（Blair and McPherson, 1994）、扇状地本体すなわち扇状地内部を調査して、その形成プロセスを明らかにするのは、容易なことではない。そのようななかで、沖積扇状地を形成する土石流と河川流とでは、それらの形成プロセスの違いが扇状地規模に影響を及ぼして、集水域面積と扇面面積の回帰線が異なることが知られている（Kostaschuk et al., 1986; 中山・高木、1987）。この集水域面積と扇面面積の回帰線を用いて、形成プロセスの違いを示唆できる可能性がある。

沖積扇状地の集水域面積と扇面面積との関係式（回帰式）は、Bull (1964) が報告して以降、数多くの地域で得られている（Saito、2004）。それらの関係式（以後、統計学に基づき算定されたものを回帰式とし、別途算定されたものを含む場合には関係式と呼ぶ）のほとんどは、土石流扇状地と河成（河川流）扇状地とに分けられた関係式ではなく、一般に沖積扇状地とされる地形全体の関係式である。そのような関係式ではあるが、得られた集水域面積の範囲を越えた延長線よりも、巨大扇状地の集水域面積と扇面面積の点が上に位置することから、巨大扇状地と沖積扇

状地とでは形成プロセスが異なる可能性がある」と指摘された (Saito, 2009; 齊藤, 2010)。その指摘のなかで、中央アメリカのコスタリカにあるヘネラルバレーに発達する扇状地では、Kesel (1985a, b) により得られた関係式の延長線上に巨大扇状地の集水域面積と扇面面積の点が位置するので (図1、図2)、巨大扇状地と沖積扇状地とで形成プロセスが同じ可能性もあるので、検討課題であるとされた。その後、Kesel (1985a, b) が示したヘネラルバレーの扇状地の集水域面積と扇面面積との関係式は、Keselの計測ミスに起因するもので正しくないことが明らかになった (齊藤, 2011)。コスタリカには、ヘネラルバレー以外にも扇状地が発達しているので、コスタリカに発達する扇状地の集水域面積と扇面面積との関係式を求め、その関係式の延長線上に巨大扇状地の集水域面積と扇面面積の点が存在するのかどうかを明らかにし、巨大扇状地が沖積扇状地の一員であるのかどうか検討することを本論文の目的とした。

2. 対象扇状地

2-1 巨大扇状地

対象とする巨大扇状地は、集水域面積と扇面面積がSaito (2008)・齊藤 (2010) により求められているコシ川扇状地とオカバンゴ扇状地、およびアンデス山脈東麓グランチャコに発達する5つの巨大扇状地 (グランデ川扇状地、パラペティ川扇状地、ピルコマヨ川扇状地、ベルメホ川扇状地、サラド川扇状地) とする (図3)。集水域面積と扇面面積は、コシ川扇状地では61,400km²と10,800km²、オカバンゴ扇状地では263,000km²と25,000km²、グランデ川扇状地では47,700km²と27,700km²、パラペティ川扇状地では7,350km²と56,200km²、ピルコマヨ川扇状地では83,700km²と225,000km²、ベルメホ川扇状地では48,500km²と120,000km²、サラド川扇状地では37,900km²と143,000km²である。

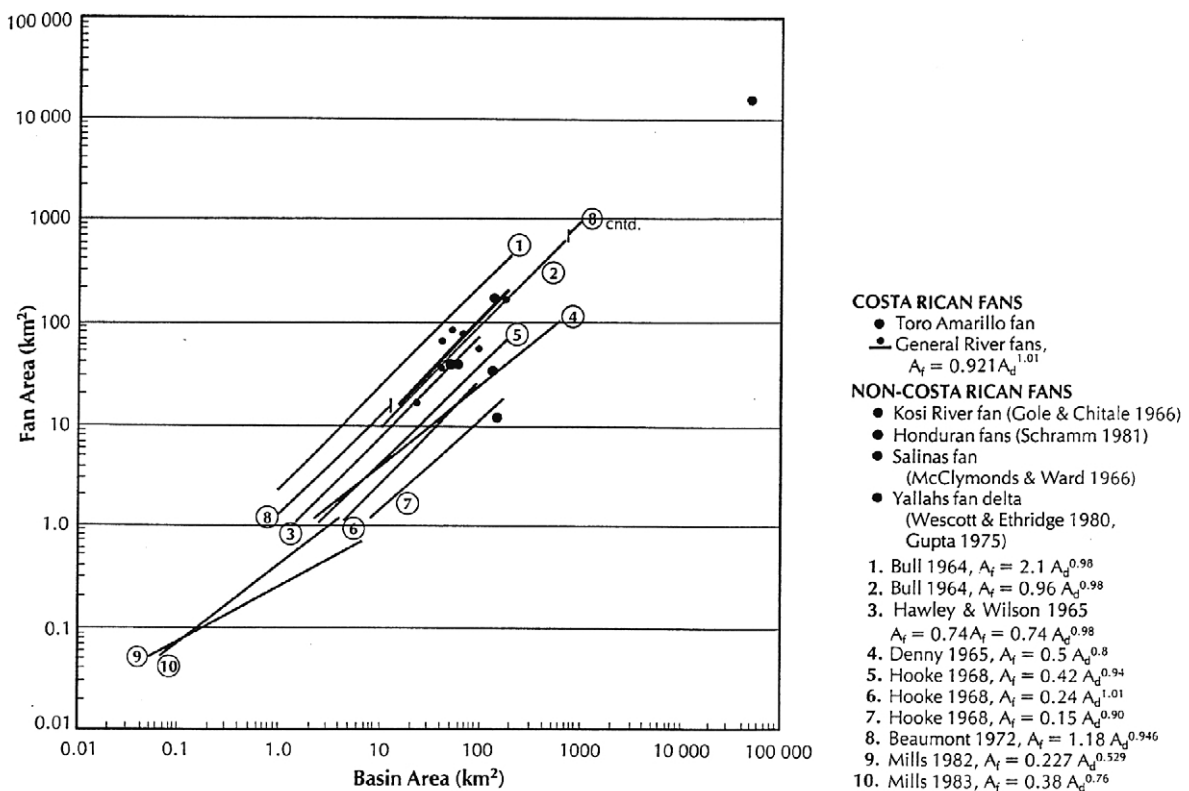


図1 世界各地における集水域面積と扇面面積の関係式 (Kesel, 1985a)

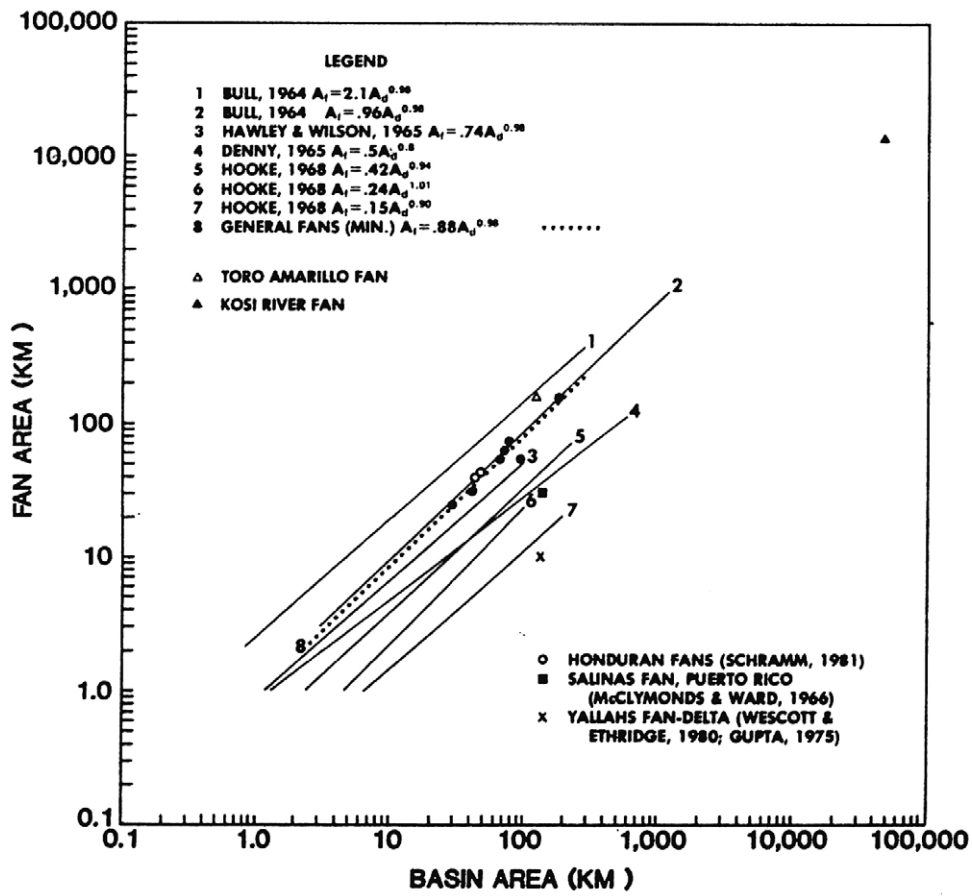


図2 世界各地における集水域面積と扇面面積の関係式 (Kesel, 1985b)

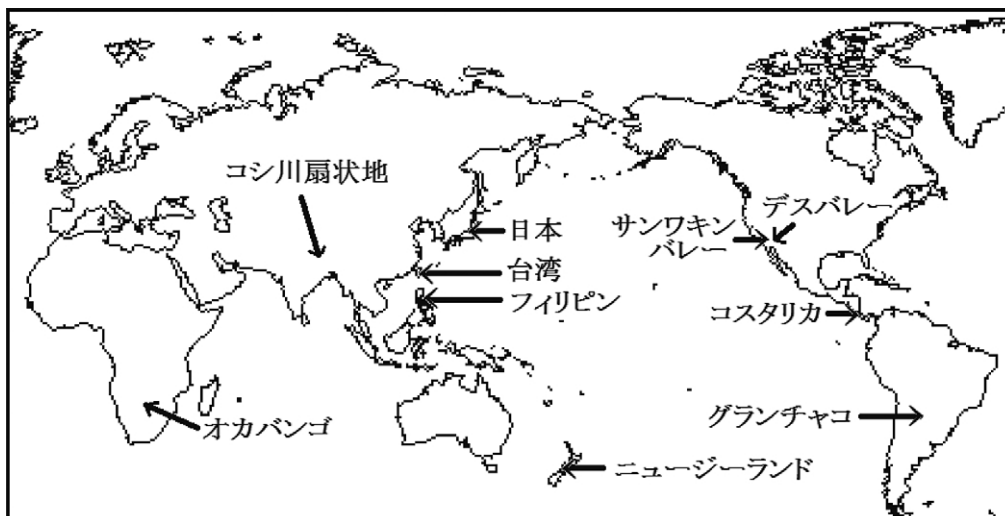


図3 対象地域の位置

2-2 コスタリカの沖積扇状地

小さな沖積扇状地は数多く分布するので、面積2km²以上かつ勾配が2%以上の半円錐形状の地形を対象の沖積扇状地とした。この沖積扇状地について、1962～2005年発行（多くは1980年代発行）の5万分の1地形図（Instituto Geografico Nacional）を用いて収集した。火山麓扇状地については、他の沖積扇状地には必要条件である谷口を必要としないなど、沖積扇状地の形成条件がかなり異なっているので、対象扇状地とはしなかった。ただし、Toro Amarillo扇状地については、火山麓扇状地であるが、扇頂付近を活断層が走り、谷口が明瞭であることから、付近の沖積扇状地とともに対象扇状地とした。以上の結果、コスタリカでは、沖積扇状地をもつ河川は18となった（図4）。それらの集水域面積と扇面面積のデータは、斉藤（2012）に記載されている。

3. 集水域面積と扇面面積の関係式からみた巨大扇状地

3-1 コスタリカの沖積扇状地の関係式

本論文で取り上げた面積2km²以上といった一定規模以上の扇状地を対象とする場合、集水域面積上の扇面面積の回帰式の勾配は、対象扇状地よりも小さい扇状地をも含めた「真の回帰式」の勾配よりも緩くなる。集水域面積（Ad）と扇面面積（Af）との相関係数が小さくなるほど、回帰式の勾配はより緩くなる。「真の回帰式」に近づけるため、集水域面積上の扇面面積の回帰式と扇面面積上の集水域面積の回帰式との二等分線を「真の回帰式」とみなした（斉藤、1986）。このようにして求められた「真の回帰式」など、統計学上の回帰式以外の式を、本論文では関係式と呼んでいる。

Kesel（1985a）は、コスタリカの沖積扇状地の関係式として、 $Af=0.921Ad^{1.01}$ を提示した（図1）。この関係式にはヘネラルバレーの7つの沖積扇状地のほか、首都サンホセの北東に位置するイラス火山山麓に発達するToro扇状地のデータが含まれている。また、Kesel（1985b）は、ヘネ

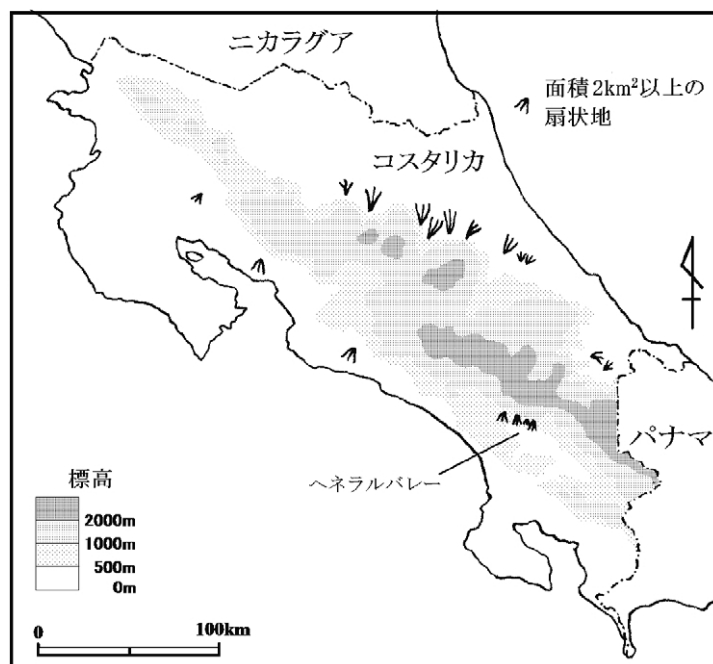


図4 コスタリカにおける扇状地の位置

ラルバレーの沖積扇状地の「ミニマム (min.)」の関係式として、 $Af=0.88Ad^{0.98}$ を提示した(図2)。「ミニマム」が何を意味するのかが記載されていないが、7つの沖積扇状地の単純な回帰式 $Af=1.19Ad^{0.94}$ とは異なっている。いずれにしても、Keselが示したヘネラルバレーの沖積扇状地の関係式は、他の地域の関係式にくらべて上位に位置している(同じ集水域規模で、より大きな扇状地を発達させる)。

Keselの関係式を再検討した斉藤(2011)は、ヘネラルバレーの7つの沖積扇状地の関係式として $Af=6.7Ad^{0.54}$ を提示した。指数0.54は、Keselの関係式の指数1.01や0.98にくらべ、小さい値である。それは、両対数グラフで描いたときに、右上にあるToro扇状地の点が対象外となることや、右端のCeibo扇状地の扇面面積が計測ミス是正により小さくなることなどによって、回帰線の勾配が緩くなるためである。一方、係数6.7は、Keselの関係式の係数0.921や0.88にくらべ、大きな値となっている。それは、扇面面積のデータを最も大きくなるように収集したからである。その結果、ヘネラルバレーの7つの沖積扇状地の関係式は、他の地域で得られた関係式よりも、集水域面積13~82km²の部分で、扇面面積が最も大きな関係式となった(斉藤、2011のFig. 17)。他の地域で得られた関係式と比較した斉藤(2012)は、ヘネラルバレーでは4つの沖積扇状地を認定し直し、扇面面積を再測した。その結果、コスタリカの18沖積扇状地の関係式として、 $Af=0.59Ad^{0.71}$ が得られた(図5の①)。

3-2 コスタリカの関係式からみた巨大扇状地

Kesel(1985a, b)は、ヘネラルバレーの集水域面積と扇面面積との関係式の延長線上に、コシ川巨大扇状地の集水域面積と扇面面積の点があることから、コシ川扇状地のような巨大扇状地も沖積扇状地の一員である可能性を示唆した。しかし、ヘネラルバレーの沖積扇状地も含めたコスタリカの18沖積扇状地の関係式 $Af=0.59Ad^{0.71}$ は、Saito(2008)により示された、湿潤変動帯である日本の $Af=0.92Ad^{0.60}$ 、台湾の $Af=1.00Ad^{0.64}$ 、フィリピンの $Af=0.65Ad^{0.72}$ 、ニュージーランドの $Af=0.63Ad^{0.70}$ の関係式と同様である(図5)。

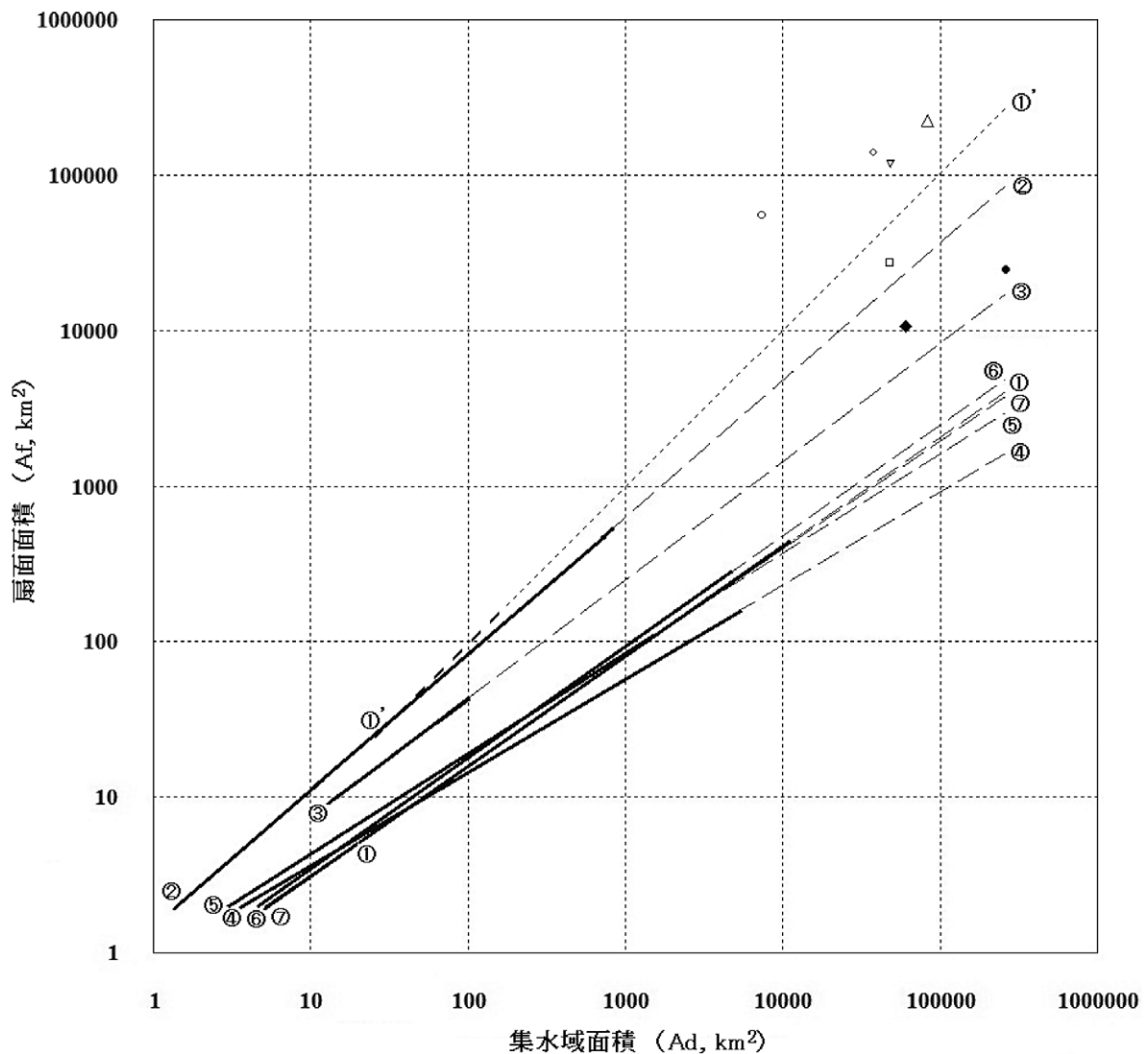
これらの関係式の延長線よりも、巨大扇状地の値は、かなり上にある。とくに、グランデ川扇状地以外のグランチャコに発達する4扇状地では、集水域面積よりも扇面面積の方が大きい。このような集水域面積よりも扇面面積が大きい扇状地は、日本の札内川規模(集水域面積191km²)よりも大きな河川では、存在しない。このように、集水域面積と扇面面積の関係から見た場合、巨大扇状地は、沖積扇状地にくらべ集水域規模に見合う以上の大きな扇状地を発達させているので、沖積扇状地とは異なる形成プロセスで発達してきたといえそうである。

ただし、半乾燥地域であるアメリカ合衆国南西部のサンワキンバレー(集水域が砂岩)の関係式(図5の②)(Bull, 1964)、乾燥地域であるアメリカ合衆国南西部のデスバレー(西縁)(図5の③)の関係式(Hooke, 1968)の延長線上に巨大扇状地の集水域面積と扇面面積の点が位置するので、今後、これらの地域にある扇状地についての検討が必要である(図3)。

4. おわりに

コスタリカのヘネラルバレーの集水域面積と扇面面積との関係式の延長線上に、コシ川扇状地の集水域面積と扇面面積の点があったため(Kesel, 1985a, b)、巨大扇状地が沖積扇状地の一員である可能性が指摘されていた。しかし、コスタリカの18沖積扇状地の集水域面積と扇面面積の

関係式は、湿潤変動帯の日本、台湾、フィリピン、ニュージーランドの沖積扇状地から得られた関係式と同様であり、巨大扇状地の集水域面積と扇面面積の点は、この関係式の延長線よりも上に位置し、コスタリカの扇状地からは、巨大扇状地が沖積扇状地であることを指摘できないことが明らかになった。ただし、アメリカ合衆国南西部のサンワキンバレーやデスバレーの扇状地は、巨大扇状地と同様の傾向を示すので、これらの扇状地のデータとの比較・検討が今後の課題となっている。



- | | | |
|-------------------------------|----------------------------|--|
| ① — コスタリカ(本論文) | ④ — 日本 (Saito, 2004) | ◆ コシ川扇状地 (Gohain and Parkash, 1990; Saito, 2008) |
| — 延長線 | — 延長線 | ● オカバンゴ扇状地 (Stanistreet and McCarthy, 1993; Saito, 2008) |
| ①' — コスタリカ (Kesel, 1985a) | ⑤ — 台湾 (Saito, 2004) | □ グランデ川扇状地 (Iriondo, 1993; Wilkinson et al., 2006; Saito, 2009) |
| --- 延長線 | — 延長線 | ○ パラメティ扇状地 (Iriondo, 1993; Wilkinson et al., 2006; Saito, 2009) |
| ② — サンワキンバレー(砂岩) (Bull, 1964) | ⑥ — フィリピン (Saito, 2004) | △ ピルコマヨ川扇状地 (Iriondo, 1993; Wilkinson et al., 2006; Saito, 2009) |
| — 延長線 | — 延長線 | ▽ ベルメホ川扇状地 (Iriondo, 1993; Wilkinson et al., 2006; Saito, 2009) |
| ③ — デスバレー(西縁) (Hooke, 1968) | ⑦ — ニュージーランド (Saito, 2008) | ◇ サラド川扇状地 (Iriondo, 1993; Wilkinson et al., 2006; Saito, 2009) |
| — 延長線 | — 延長線 | |

図5 世界各地における集水域面積と扇面面積の関係式

謝辞

本稿を、2014年3月をもって埼玉大学を退任されます倫理学の渋谷治美先生に献呈いたします。先生のますますの御健勝と御活躍を祈念いたします。なお、本研究の一部に平成22～24年度日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究C（課題番号22500984）の補助金を使用した。

引用文献

- 香川貴志・山崎貴子（2008）中学校社会科地理的分野における地形学習と地域学習の相互リンクの試み—扇状地から複合扇状地を経て伏見地域の探求へ—：京都教育大学環境教育研究年報、**16**、39-55.
- 齊藤享治（1986）日本の山地の発達と扇状地：北海道地理、**60**、1-6.
- 齊藤享治（2006）『世界の扇状地』、古今書院、299p.
- 齊藤享治（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.
- 齊藤享治（2011）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）、**31**、1-19.
- 齊藤享治（2012）コスタリカにおける扇状地の分布と形態：地理学研究報告（埼玉大学）、**32**、27-37.
- 鈴木隆介（1998）『建設技術者のための地形図読図入門 第2巻 低地』、古今書院、201-554.
- 中山正民・高木勇夫（1987）微地形分析よりみた甲府盆地における扇状地の形成過程：東北地理、**39**、98-112.
- 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*, **64A**, 450-489.
- Bull, W. B. (1964) Geomorphology of segmented alluvial fans in western Fresno County, California: United States Geological Survey Professional Paper, **352E**, 89-129.
- Hooke, R. L. (1968) Steady-state relationships on arid-region alluvial fans in closed basins: *American Journal of Science*, **266**, 609-629.
- 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 Pitty, A. ed. Themes in Geomorphology*. Croom Helm, London, 102-121.
- 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.
- McCarthy, T. S., Stanistreet, I. G. and Cairncross, B. (1991) The sedimentary dynamics of active fluvial channels on the Okavango Fan, Botswana: *Sedimentology*, **38**, 471-487.
- Saito, K. (2004) Comparison of regression lines between drainage basin areas and alluvial fan areas in East Asia: Occasional Paper of Department of Geography, Saitama University, **24**, 38-73.
- Saito, K. (2008) Characteristics of mega-fans on the basis of relationships between drainage-basin areas and alluvial-fan areas: Occasional Paper of Department of Geography, Saitama University, **28**, 37-44.
- Saito, K. (2009) Characteristics of mega-fans in the Gran Chaco of South America. Occasional Paper of Department of Geography, Saitama University, **29**, 26-30.
- 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. (1977) *The Fluvial System*, New York, Wiley, 338p.

Comparison between Alluvial Fans and Megafans based on Costa Rican Fans

SAITO, Kyoji

Faculty of Education, Saitama University

Abstract

There is a discussion whether megafans are alluvial fans or not. It is difficult to define whether the formation processes of megafans are the same as those of alluvial fans or not, because the surface deposits are sometimes different from the fan deposits. However, strong relationships between drainage basin areas and fan surface areas exist in alluvial fans with the same processes. Kesel (1985a, b) stated that alluvial fans in the General Valley of Costa Rica are larger than many arid fans with comparable drainage basin areas and that the position of the Kosi megafan closely coincides with the trend line of the Costa Rican fans. The statement suggests that the megafan is a member of the alluvial fans. Hence, the relationships between drainage basin areas and fan areas, including the Costa Rican fans are examined in this study. Alluvial fans over 2 km² in area and steeper than 0.002 in mean fan slope were collected, and the drainage basin and fan areas were measured by use of 1: 50,000 topographic maps. In Costa Rica there are 18 alluvial fans, including four fans in the General Valley. The regression line between drainage basin areas and fan areas is shown by $A_f = 0.59 A_d^{0.71}$, where A_f and A_d mean fan area and drainage basin area respectively. The regression line in Costa Rica is similar to those in Japan, Taiwan, the Philippines and New Zealand. For the comparison between alluvial fans and megafans, the Kosi megafan, Okavango fan, and five megafans in the Gran Chaco to the east of the Andes are chosen. The positions of seven megafans are beyond regression lines of five regions, including Costa Rica. Seven points are around regression lines in the San Joaquin Valley by Bull (1964) and in the General Valley by Kesel (1985a). The fan areas by Kesel are overestimated in the General Valley. Therefore, the comparison between drainage basin areas and fan areas in the San Joaquin Valley will be required in future.

Key Words : Alluvial fan, Megafan, Fan area, Drainage basin, Costa Rica