

熱帯半乾燥地タンザニアにおける水文地形観測 —地形形成過程と土壤侵食過程の研究

Hydrogeomorphologic observation in tropical semiarid Tanzania:
process studies of slope development and soil erosion

小野寺 真一 (広島大学・総合科学部)

Shin-ichi ONODERA (Fac. Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University)

キーワード;水文地形学, 熱帯半乾燥地域, 土壤侵食, ペディメント

Key words; hydrogeomorphology, tropical semiarid, soil erosion, pediment

1. はじめに

熱帯半乾燥地域は、小野寺(1996)によって定義されているように、低緯度(高温)でかつ乾燥していることが特徴である。すなわち、年降水量が500mm程度に対し年可能蒸発散量は2000mmを超える。これは、生態学的にいえば、植生密度が低く、また植被率に大きな季節変化をもたらすことを意味する。以上の気候学的及び生態学的特徴は、水文地形過程を他の地域と大きく異なるものにする。浸透能が低下しているため、降雨は速やかに地表流となり流出する(Graf, 1988;小野寺ほか, 1996)。また、土壤侵食量は非常に多く(Walling and Webb, 1983; Onodera et al.,1993)、植被率の変化にともなって季節変化を示す(Kirkby and Morgan, 1980)。そのため、環境科学的には、土壤侵食や塩類集積にともなう土壤劣化が大きな問題となっている。しかし、土壤劣化に対する植生—土壤—水文地形という総合的な評価は十分に行われていない。

一方で、この地域に多く見られる残丘(インゼルベルグ)状の山地斜面から侵食性山麓緩斜面(ペディメント)にかけての斜面形についても、地形学的には19世紀から議論されてきているが、今も不明確な部分が多い(Graf, 1988;Oberlander, 1989)。例えば、ペディメントの分布については、半乾燥地域で多く見られることはいままでの間、湿润地域においても存在するという考えもある(King, 1953)。また、Eggler et al.(1969)は半乾燥コロラドでおもに花崗岩質の山地にペディメントが分布することを示したが、他の地域では異なる結果が報告されている(Jennings and Sweeting, 1963;Dresch, 1957;Kesel, 1977)。また、その形成過程に関する議論も結論をみていない。ペディメント末端のみが流水により侵食し山地は風化過程のみで斜面が平行後退する説(Lawson, 1915)、山地流域全体として流水による侵食が作用し山地からペディメントにかけて徐々に勾配が緩くなるという説(Lustig, 1969)、ペディメントの間だけ流水の侵食が作用しペディメントと山地斜面の間に傾斜変換点が存在するという説(Johnson, 1932)、ペディメントと山地はもともと割れ目の分布等の影響で基盤の強度が異なり、ペディメントはより侵食を受けてきた結果であるという説(Ollier, 1960)など

がある。以上の点を解明していくためには、この地域での地形形成過程すなわち水文地形過程を観測により解明していくことが重要である。

以上の点から、本論では、熱帯半乾燥地域における水文地形観測の例を示し、地形形成過程について議論することを目的とする。

2. 研究地域

研究地域は、タンザニア内陸部の高原地域にある首都ドドマの周辺(図1)である。ドドマ周辺には、標高ほぼ1000mの平坦な台地状の地形が広く分布している。ただし、インゼルベルグや比高差30m以下の低地がいくつか存在し、緩やかな起伏が認められる。低地には、雨期のみ水域が形成される湿地がみられる。また、ドドマの北部50kmには標高2000mのチェネネ山地(Chenene Hill)及び、ドドマ南部及び東部には標高1300m程度の丘陵地が存在する。

本地域の地質は、基盤岩が、先カンブリア代の花崗岩及び変成岩(結晶片岩や片麻岩)からなる。低地は、主に粘土質及びシルト質土壌により埋積されている。とくに、湿地が形成されているところは、一般に、断層盆地と推定され、基盤の上に数十メートルの堆積物が存在し、ムブガ(Mbuga)と呼ばれる暗灰色の粘質土壌が分布している。北東南西方向には、卓越した線状構造が認められる。

本地域は、年平均降水量がほぼ550mmで、12月から4月までの期間に降雨が集中する熱帯半乾燥気候である。ペンマン法によって概算される可能蒸発散量が2000mmを越える。

ドドマ市北部のマクタポラ湿地(Makutapora Swamp)は断層性の低地であり、ここには多数の揚水井が掘削され地下水が汲み上げられ、ドドマの水資源として送水されている(Shindo, 1989)。また、ドドマ地域では、1973年にドドマ市への遷都が決定したことにより、都市計画上の緑地帯を除き、人口の増加とともに燃料としての炭の生産や農地の拡大のために、森林伐採が進行した。

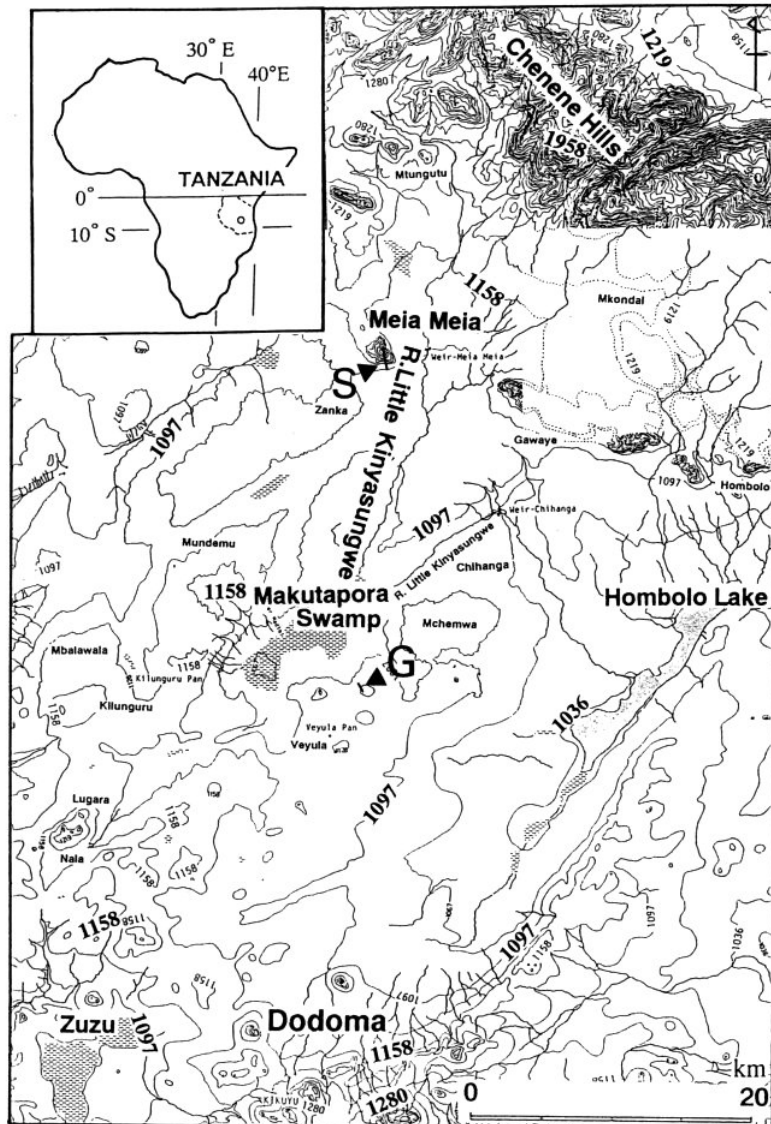


図 1 研究地域概要

表 1 観測結果

Table 1 Runoff ratios in the overland flow traps installed on the schistose and granitic slopes

Date in 1991	runoff ratios on the granitic slope				runoff ratios on the schistose slope			
	rainfall (mm)	G-U (%)	G-M (%)	G-L (%)	rainfall (mm)	S-U (%)	S-M (%)	S-L (%)
Feb. 3	45	16.3	57.0	59.3	10	60.0	33.3	43.3
Feb. 4	15	13.3	48.9	48.9				
Feb. 11	25	13.3	63.3	51.3				
Feb. 19					10	53.3	43.3	40.0
Feb. 25	35	15.2	47.6	62.9				

*RR=100xQ/(PxA)

RR; Runoff ratio, Q; runoff, P; rainfall, A; area of an overland flow trap

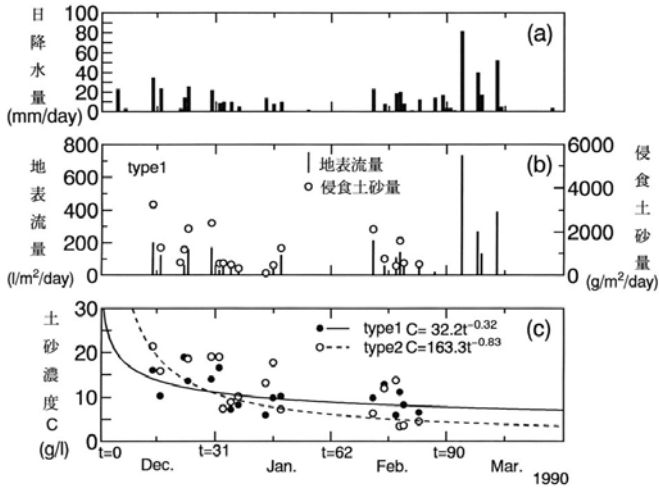


図2 河間地における地表流と土砂生産量の季節変化

3. 水文地形観測

3.1 河間地での水文地形過程

Onodera et al. (1993)は、ドドマ近郊の緩斜面において、1990年代における土壌侵食の程度とその要因について検討した。試験区画は、ガリが発達した傾斜が4°程度の緩斜面に設置され、10m²の試験区画とその下流端に地表流と土砂を集めるためのピットが、コンクリートブロックにより4箇所設置された(Shindo, 1990)。試験区画は、一年中裸地の区画(type1)、雨期に草本が発達する区画(type2)、高さ2m程度のアカシアが被覆する区画(type3)からなり、type2については2種類の傾斜からなる区画が作られた(表1)。流出量及び侵食土砂量の季節変化の傾向を確認するために、1990年の雨期に各降雨毎に測定を行い、さらに、土砂生産の季節変化の要因について検討するため、1991年の雨期に侵食土砂量とともに植被率及び侵食可能土砂量の変化を測定した。植被率は、鉛直方向から写真撮影し、地表を被覆している植生の面積の割合で表し、type2及びtype3で測定した。また、侵食可能土砂量は、任意の区画内において軟らかいはけによりはきとることが可能な土砂と定義し、裸地でその変化を測定した。測定は、その都度試験区画付近の裸地において、任意な40cm²の2区画で行われた。

1990年雨期に観測した降雨毎の侵食土砂量は、従来の報告(Kirkby & Morgan, 1980)と同様に、地表流量とともに増加する傾向を示した。土砂濃度(=侵食土砂量/地表流量)は、雨期の初期に顕著に高く、雨期の継続とともに低下する傾向を示した(図2)。土砂濃度と雨期の経過時間との関係をべき乗関数($y = ax^b$)で近似すると(図2-cの実線及び破線)、type1に比べtype2で、雨期中期以降に土砂濃度の低下傾向が若干大きかった。type3においても、雨期の初期にはかなりの土砂が生産され、type2と類似した傾向を示した。また、1990年の観測値を

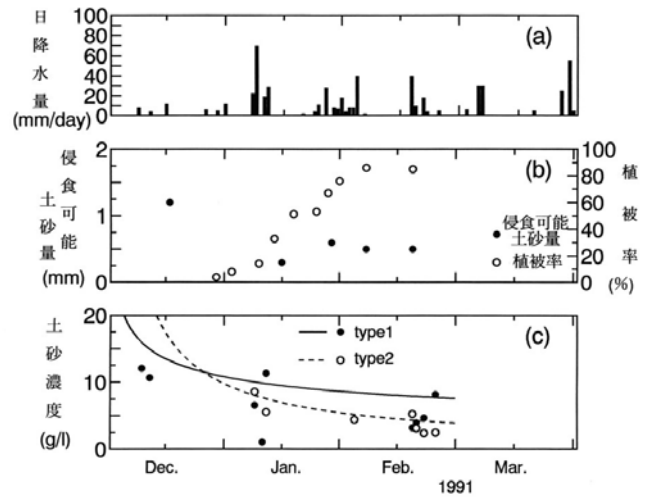


図3 河間地における侵食可能土砂量と植被率の変化及び土砂濃度

近似した関係(図中の実線及び破線)によって、1991年における変化を予測すると、比較的良い対応を示した(図3)。侵食可能土砂量は、雨期の初期に顕著に多く、乾期に風化や風食にともなって生産されていることが推定され、土砂生産に大きな影響を与えていることが示された(図3-c)。また、type2における植被率は、漸増傾向を示し、雨期中期以降50%を越えた(図3-c)。以上から、雨期の経過とともに土砂濃度が低下することは、従来(Kirkby & Morgan, 1980)から指摘されているような植被率の増加に対応するだけではなく、侵食可能土砂量の減少にも対応していることが示された。以上の観測結果をもとに概算された侵食量は裸地で1mm/y以上、最大3mm/yと、Rapp et al. (1972)が概算した値(0.7mm/y)よりも高くなっていることが示唆された。また、type2で傾斜の効果を検討した結果、傾斜の増加(約3倍)にともなって、侵食土砂量も増加(約2倍)することが確認された。type3の植被率は雨期の初期から70%程度あった(涌井, 1991)が、下層植生が成長する前の雨期の初期には、type2とほぼ同量の土砂が生産された。

3.2 ガリ流域での水文地形過程

ガリ流域では、ガリ内における水及び土砂の貯留効果があり、河間地ほど単純ではない。前節の単位面積当たりの流出量及び土砂生産量をガリ流域の河間地にあてはめてガリからの流出量及び土砂生産量との比較を行う(図4)と、イベント毎にガリ内での水及び土砂の貯留及び流出傾向が示される(図5)。この結果、降雨強度の弱いもしくは降水量の小さい観測したほとんどのイベントでは、ガリ内に貯留される傾向を示した。一方、降雨強度の強いイベントでは、ガリ流域からの流出傾向が確認できた。

また、降雨時の河間地及びガリの流出変動を比較する。降雨強度の弱いイベントでは、河間地で地表流が生じた

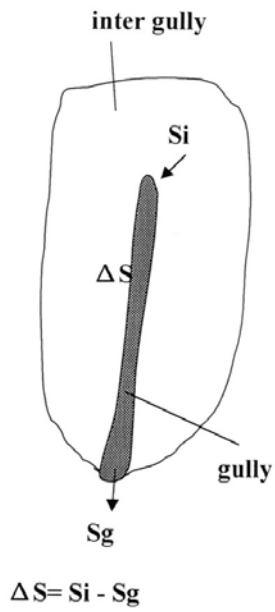


図4 ガリの土砂収支の模式図

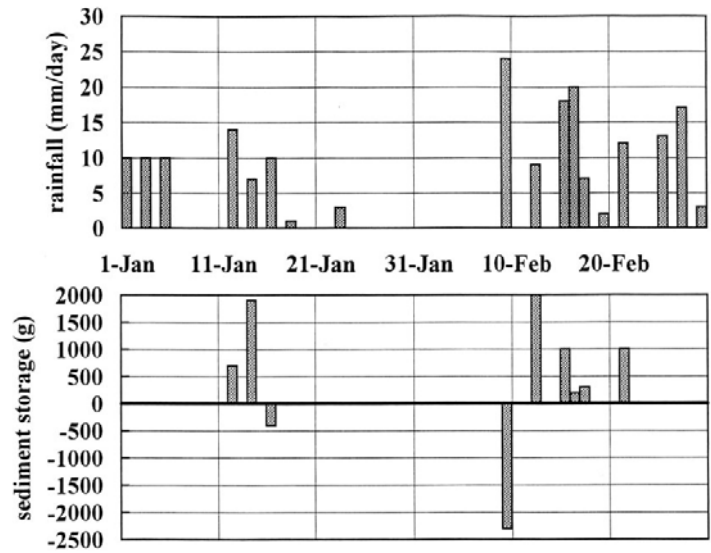


図5 ガリ流域の土砂収支

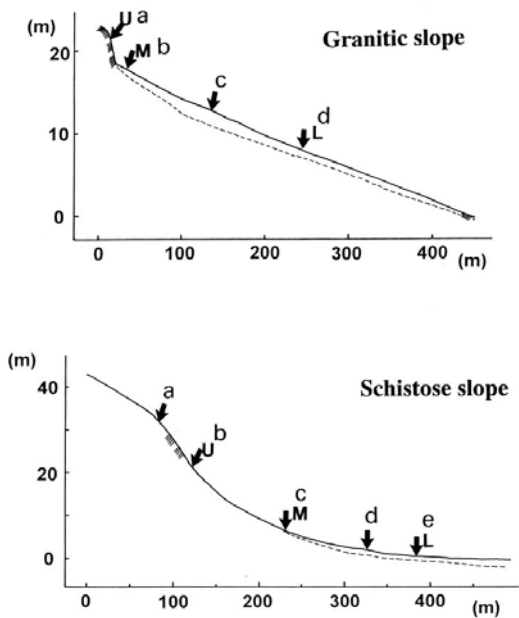


図6 インゼルベルグーペディメントの斜面形

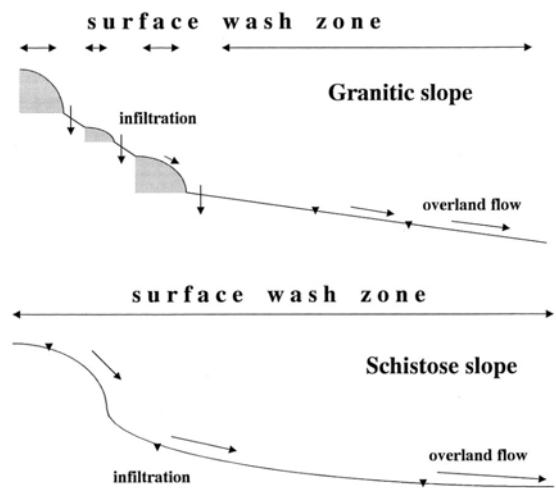


図7 斜面における地形形成過程の模式図

時間から大幅に遅れてガリで流出が生じた。これは、河間地で生じた地表流がガリで貯留され、ガリで表面流が生じるのにある程度の水分が必要であることを示す。一方、降雨強度の強いイベントでは、河間地で地表流が生じるとともに速やかにガリでも表面流が生じた。その結果、ガリにおける土砂流出もガリに流入する以上に流亡したものと考えられる。

4. 斜面形の変化と斜面形成プロセスの推定

Shindo(1991)は、ドドマ近郊に分布する幾つかのインゼルベルグとそれに隣接するペディメント斜面について測量及び弾性波探査を行った。アリゾナにおける Kesel(1977)による測量結果から、花崗岩及び結晶片岩からなる斜面形の違いが指摘されており、ここでも、花崗岩と結晶片岩の各斜面について同様の違いが確認された。また、小野寺(1996)は、各斜面の上部(丘陵地斜面;U 地点)、中部(丘陵地斜面とペディメントの接点と推定される傾斜変換点;M 地点)、下部(ペディメント斜面;L 地点)において、30cm×50cm の微小な地表流の測定区画を設置し、各微小区画内で降雨時に発生する地表流量を調査した。ただし、花崗岩の斜面で4降雨、結晶片岩の斜面で2降雨と観測データは十分でない。

花崗岩及び結晶片岩の各斜面形を図6に示す。ここでは、弾性波速度が1.5km/s以下を土層として、岩盤と土層の境界を破線で示した。花崗岩の斜面形は、結晶片岩の斜面に比べ、インゼルベルグの丘陵地斜面が急傾斜で、丘陵地斜面とペディメント斜面との傾斜変換点が明瞭で、斜面形は不連続であった。また、土層深は、ペディメント斜面で1m程度であった。これは、アリゾナで得られた Kesel(1977)の結果と同様であった。さらに、各微小区画での流出率は、明らかに花崗岩斜面の上部で小さく、一方、結晶片岩斜面では、斜面上部で傾斜が急であるにもかかわらず大きかった(表1)。結晶片岩からなる斜面の上部において地表流が発生したことは、細粒物質がれきを充填して存在しているためであると考えられる。以上の結果から、花崗岩斜面では、斜面上部で布状侵食が作用せず、一方、結晶片岩斜面では、斜面上部から下部まで布状侵食が比較的一様に作用したことが示唆された。また、この地形営力の作用の違いが、斜面形の違いとなってあらわれたことが推察される。(図7)

5. まとめ

本論では、地表流にともなう土壌侵食過程を確認し、これらが熱帯半乾燥地域における地形形成について大きな役割を果たすことを示した。また、土砂生産という点では、ガリ内における貯留効果の考慮が今後必要であろう。

参考文献

- 小野寺真一(1996)熱帯乾燥地域の水文地形. 恩田裕一・奥西一夫・飯田智之・辻村真貴編「水文地形学」古今書院, 226-236
- 小野寺真一・近藤昭彦・佐藤芳徳・林 正貴・新藤静夫・松本栄次・池田 宏(1996)東アフリカ, タンザニアの半乾燥地域における地中水循環. 日本水文科学会誌, 26, 75-86.
- 涌井純二(1991):熱帯半乾燥地における土壌侵食に及ぼす植生の影響について. 筑波大 学環境科学研究科修士論文, 93p.
- Dresch, J. (1957) Pediments et glacis d erosion, pediplains et inserbergs. *Inf Geogr.*, 22, 183-196.
- Eggler, D.H., Larson, E.E. and Bradley, W.C. (1969) Granites, grusses, and the Sherman erosion surface, southern Laramie Range, Colorado-Wyoming. *Am. J. Sci.*, 2, 510-522.
- Graf, W.L. (1988) *Fluvial processes in dryland rivers.* Berlin, Springer-Verlag, 346p.
- Jennings, J.N. and Sweeting, M.M. (1963) The limestone ranges of the Fitzroy Basin, Western Australia. *Bonn Geogr. Abh.*, 32, 45-59.
- Johnson, D.W. (1932) Rock planes in arid regions. *Geogr. Rev.*, 22, 656-665.
- Kesel, R.H. (1977) Some aspects of the geomorphology of inserbergs in central Arizona, USA. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 21, 119-146.
- King, L.C. (1953) Canons of landscape evolution. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 64, 721-752.
- Kirkby, M.J. & Morgan, R.P.C. (1980) *Soil erosion.* Chichester, John Wiley & Sons, 312p.
- Lawson, A.C. (1915) The epigene profiles of the desert. *Univ. Cal. Bull. Dep. Geol.*, 9, 23-48.
- Lustig, L.K. (1969) Trend surface analysis of the Basin and Range Province. *US Geol. Surv. Prof. Pap.* 500-D
- Oberlander, T.M. (1989) Slope and pediment systems. In: *Arid zone geomorphology.* edited by Thomas, D.S.G., Western Hemisphere, Halsted Press, 56-84.
- Ollier, C.D. (1960) The inselbergs of Uganda. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 4, 43-52.
- Onodera, S., Wakui, J., Morishita, H. and Matsumoto, E. (1993) Seasonal variation in sediment yield on a gentle slope in semi-arid region, Tanzania. *IAHS Publication No.217*, 29-37.
- Rapp, A., Murray-Rust, D.H., Christiansson, C. and Berry, L. (1972) Soil erosion and sedimentation in four catchments near Dodoma, Tanzania. *Geografiska Annaler*, 54A, 255-318.
- Shindo, S. (1989, 1990, and 1991) Study on the

recharge mechanism and development of groundwater in the inland area of Tanzania. Progress report of Japan-Tanzania joint research, Chiba, Vol.1-4, 92p, 125p, 80p, & 109p.

Walling, D.E. and Webb, B.W. (1983) Pattern of sediment yield. In: Background to palaeohydrology, ed by Gregory, K.J., Chichester, John Wiley & Sons, 69-100.

注:本稿は1999年12月のシンポジウムにおける話題提供の要約である.