

大規模な地表攪乱に伴う河川—森林相互作用系の再生機構

Recovery of River-Forest Interaction system caused by Catastrophic Landscape Change

丸谷知己

Tomomi MARUTANI

九州大学農学部助教授

Associate Professor, Kyushu University

Catastrophic landscape changes such as forest clear cutting cause changes in catchment property. Among them the change in river-forest interaction system is expected to influence on long term sediment generation linking with vegetation recovery process. Sediment delivery ratio (SDR) focused on the long term sediment generation are measured at Mt. Ichifusa of Kyushu mountain range, Japan, comparing with Waipaoa River, New Zealand. The volume of sediment generated from the "Window" of Ichifusa mountain were calculated at 300-350 m³/ha/year(1970-1984), 35 m³/ha/year(1984-1989) and 490 m³/ha/year(1989-1994), the result shows that the clear cutting at granite mountain caused the averaged erosion rate of the slope surface at 3 cm/year. While the sediment generate above 300 m³/ha/year, vegetation type resulted to be the substitutional forest and shrub community (MD>3.00). Because the forest recovery can be succeeded to river bed degradation which is developed by sediment balance, bank recession rate and sediment storage rate may make a large role on the recovery through the patch mosaic formation in riparian buffer strip.

1. 研究目的

20世紀の爆発的な人口増加を受けて、21世紀初頭にはこれらの人口を維持するための資源開発が大きな課題となる。水資源、食糧資源、森林資源など人類の基本的な資源開発はすでに着手されている。しかし、資源生産の場である陸域地表面の保全や開発戦略は現在も手つかずのまま残された重要な課題である。地表面が人口増加や資源生産によって攪乱されいったん荒廃すると、その回復には数十年～数百年といった長い年月が必要である。われわれは現在、地表攪乱がもたらされる機構や攪乱が伝播する速度、さらには攪乱を受けた地表面の再生機構を、資源確保に先立って明らかにしておく必要に迫られている。

近年、とくに森林植生が陸域地表面の変化にもたらす影響が着目されている (Geomorphology, 1995-special Issue-)。森林植生の消失は浸食、崩壊による土砂流出を引き起こし、水循環におけるストック場である土壌の流亡をもたらす、その影響は流水の経路である河川にそって下流方向に急速に拡大していく。このことから、本研究では大規模な地表攪乱のひとつの典型的な事例として河川—森林相互作用系を取り上げ、森林伐採により生じた大規模な地表攪乱が及ぼす影響を山地から河川まで追跡し、攪乱の影響伝播とその再生可能性について明らかにすることを目的とした。

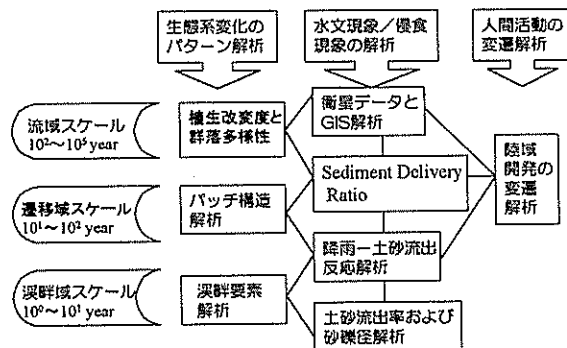


図-1 研究対象のスケール区分

地表攪乱は、規模 (空間スケール)、頻度 (時間スケール)、強度 (または種類、森林伐採による) によって定義できる。そこで、本研究では、森林伐採の影響が河川の流下方向でのみ抽出できる流域スケール、河川の側方への影響も抽出できる溪畔域スケール、これらの中間領域にあたる遷移域スケールに分けて攪乱伝播を取り扱った (図-1)。流域スケールでは100年以上の植生遷移や1/100年頻度の地表攪乱が含まれ、溪畔域スケールでは1/数年頻度の洪水やそれによる地表攪乱が含まれる。このスケールにしたがって、生態系の変化と機構を解析する分野、陸域地表面の水文現象や浸食現象を解析する分野、人間の陸域への関わり

を解析する分野の共同作業により研究をすすめた。また、海外との比較のために、150年前のヨーロッパ人移住により大規模な森林伐採を経験したニュージーランド (Waipaoa River)、観光国として定常的な景

2. 研究経過

2.1. 生態系のパターン解析

流域スケールの植生パターンの解析に有効な手法として、流域単位での植生構造の抽出(15)と衛星データとGISを用いた地被判別(6)(19)が行われた。植生構造の抽出のため、現地踏査—現存植生図による解析—群集・群落特性の解析—流域単位の植生構造解析という一連の解析作業が行われた。最終的に、流域単位での地表攪乱規模と強度とを植生改変度と群落多様性というインデックスを用いて、本来個々の流域を占めた植生と攪乱を受けた植生との「生態学的な距離」によって植生パターンの違いを抽出することができた。地被判別は、モノクロ空中写真をグランドトゥールースとして、数値地図と合わせてオルソフォトを作成し、衛星データから得られた赤色波長と近赤外波長からNDVI値(正規化植生指標)を計算することによって行われた。

また、河畔域—遷移域スケールでの植生パターン解析は、パッチモザイク状の植生分布構造に着目し(16)、クラスター分析によって区分された植生タイプと河岸の地形解析との応答関係からパターン出現の特徴を明らかにした(4)。この結果は、植生—河川両方の動態把握に基づく河畔要素(河畔林構成要素)の抽出により補完されている。

2.2. 水文現象と侵食現象の解析

流域—遷移域スケールでの侵食現象の解析は、生態系パターンにおける衛星データとGISを用いた地被判別(6)とSediment Delivery Ratio(1)(2)(3)を用いて行われた。地被判別による侵食面積は、上に述べた方法と同様に、逆に地被の無い地表面から河道に相当するピクセルを抜くことにより求められた。Sediment Delivery Ratio (SDR)は、ニュージーランドWaipaoa川における土砂流出解析によって開発された方法で、流域からの総生産土砂量と河川の滞留土砂量との1年あたりの比を求め、その時間変化を解析するものである。陸域に刻まれた河川は、山地源流の1次谷に始まり、合流を重ねることにより谷次数(stream order)を2次、3次する。SDRは、この谷次数(流域)ごとに求められるので、流域ごとの攪乱規模と対応させることができ

視維持をすすめるスイス(Erlen Bach)について研究を行った。

る。SDRは2~3次谷で90%程度であり、下流方向に谷次数の増加につれ減少する。このことを利用すれば、SDRの位置的变化と流域スケールの拡大により攪乱規模の変化との関係を把握することが可能となる。

遷移域—河畔域スケールでの水文/侵食現象の解析は、時間(降雨)—土砂流出反応解析(17)と土砂流出率(7)(12)および砂礫粒径解析(8)によって行われた。前者はスケールの異なる小流域を対象とした河床変動量解析で、我が国(大藪川)で7年間、スイス(Erlen Bach)で16年間の観測結果(17)から、時間(降雨量)当たりの流送土砂量を流域間で比較した。最終的には、Sediment waveの伝搬速度を求めることにより地表攪乱による土砂流送速度が得られるが、これについては現在解析中である。一方、流域ごとの土砂流出率と砂礫粒径の変化をそれぞれの合流点で計測することにより流域間の比較を行った。

2.3. 人間活動の変遷解析

人間活動による流域開発の変遷は、散逸する既存資料の収集と時系列解析によって解析した(15)。森林伐採(皆伐)の規模および年代とそれによる生産土砂の軽減のために建設されたダム(の規模および年代)の時系列解析することにより、森林伐採と山地荒廃のタイムラグを抽出した。また、ダムの現在の堆積土砂量を計測し、これらの時系列データに内挿することにより荒廃履歴がほぼ再現できた。

3. 研究成果

森林皆伐後約25年経過した山地の荒廃状況をLandsatデータから解析した結果を流域スケールで表した。図の範囲ではすべて森林が伐採されたが、NDVI値によって2値化した結果、1995年現在で全体の約2/3が強度の地表攪乱(崩壊—土壌流失)を受けている事がわかる。とくに山頂に近い上流部(1~3次谷)で著しい。

これを空中写真の実測値で見ると森林伐採の行われた約5年後の1976年より急激に地表攪乱は拡大し、年間約6haの速度で拡大が進んでいることがわかった(図-3)。1980年からの空中実播(草本種子の空中散布)により、1984年以降約拡大が止まったが、その効果もわずか5年間しか続かず、1989年以降以前にも増して(年間10ha)拡大が進行した。この結

果より、生産土砂量を計算すると、単位面積あたり 1975-84 年が $300 \sim 350 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{year}$ 、1984-89 年が $35 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{year}$ 、1989-1994 年が $490 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{year}$ となった。

Landsat TM 1995/09/19

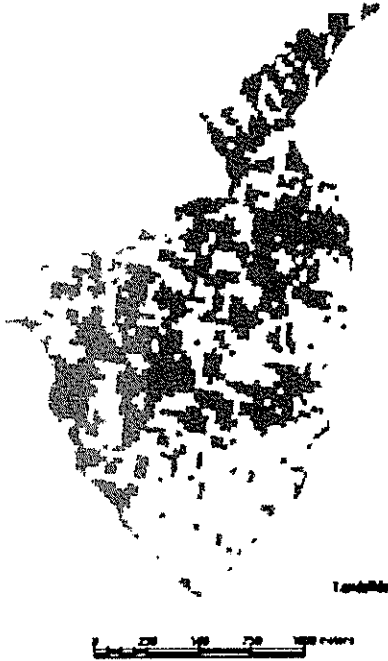


図-2 市房山における Landsat データによる森林皆伐跡地の崩壊地分布解析結果

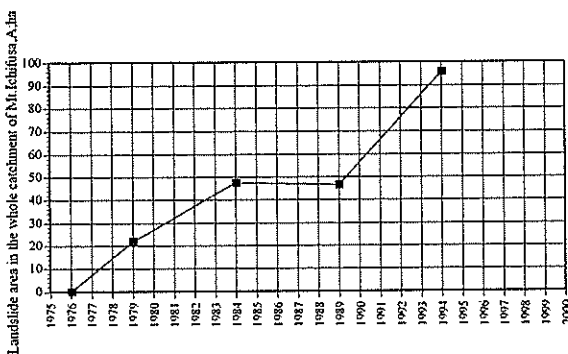


図-3 市房山における森林皆伐後の崩壊地面積の推移

次に、SDR 解析の結果を示す。市房山と同様に森林皆伐を受けたニュージーランド Waipaoa 川 (3 次谷) では 1960 年以降年間 $8000 \text{ m}^3(305\text{ha}) \sim 10000 \text{ m}^3(433\text{ha})$ のレートで河床低下を示しており、Waipaoa 川での地表攪乱の許容限界は年間 10000 m^3 以下の

土砂生産であることがわかる。しかし、1988 年のサイクロンにより $100000 \text{ m}^3(305\text{ha}) \sim 200000 \text{ m}^3(433\text{ha})$ の河床上昇が生じたため、この河床が 1960 年レベルに回復するためには約 10~20 年必要なことがわかる。レートでは $330 \sim 450 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{year}$ である。これを基準として市房山と比較すると、市房山の 1970-1984 年と 1989-1994 年はいずれも河川が許容できる土砂量がほぼ同程度であり、完全に土砂生産が止まったとしても元の河川に回復するまで 20 年程度が必要ながわかった。

表-1 植生改変度 (MD) と群落多様性 (CD)

流域	Mean Vegetation Distance	Community Diversity
板谷流域	2.92	0.76
矢立左岸流域	2.65	0.77
矢立右岸流域	3.16	0.80
大藪流域	1.86	0.72
一ツ瀬本流流域	2.86	0.78

この市房山の流域 (矢立右岸流域) を流域スケールでの植生の差異でみると (表-1)、群落多様性においては 0.80 と他の流域とほとんど同じであるが、植生改変度において 3.16 と大きい。とくに自然林が保全され地表攪乱の少ない大藪流域 (1.86) と比較すると 2 倍ちかく植生改変がなされている事がわかる。すなわち、森林皆伐の行われた流域は、植生改変度において自然林の 2 倍ちかく、土砂生産が停止するまでに、まずこのレートを回復しなければならないことを意味している。それに必要な時間は本研究では明らかにならなかった。

遷移域~溪畔域スケールでは、河川-森林相互作用系の再生過程を明らかにすることができた。前述したように地表攪乱による生産土砂は河床を一時的に上昇させるが、その後植生が回復する契機、機構について、群落多様度が大きく、植生改変度の小さいいわゆる自然植生に近い大藪流域において把握した。

河床低下と下刻により生成した急斜面や崖面の斜面形に応じて 3 タイプの植生 (V_1 :Tsuga-Quercus, V_2 : Quercus-Pinus-Tsuga-Acer, V_3 :Betula) が見られ、 V_1 は蛇行内湾部、 V_2 V_3 は蛇行外湾部に、また V_1 は散水ほ行型斜面に、他は集水型斜面に多く、これらはパッチモザイク状に配列していることが明らかになった。また、河床低下に伴う河岸侵食は植生回復の面からみれば、パッチモザイクの生成要因ともなり多様性回復という役割を果たしていることも示唆された。

4. 今後の課題と発展

SDR を流域の地表攪乱の軸として NAVI 値、崩壊面積、森林伐採履歴、植生改変度と群落多様性、溪畔要素などを繋ぎ合わせるにより、流域全体の荒廃程度が明らかになることがわかった。また、河川の滞留土砂量による河床上昇と低下のレート (ha/year) より河川が原位置に回復するまでの期間が推定できることがわかった。これは、地表面の攪乱の回復と応答しているので、結局、SDR の解析により地表攪乱の

5. 発表論文リスト

- (1) Tomomi Marutani, Mio Kasai, Nobuhiro Ebisu and Noel A. Trustrum, "Sediment generation from numerous shallow landslides related with clear cutting of granite mountain, Mt. Ichifusa, Japan" *Interpraevent 2000, accepted, (2000)*
- (2) Tomomi Marutani, Mio Kasai, Lealie M. Reid and Noel A. Trustrum, "Influence of storm-related sediment storage on the sediment delivery from tributary catchments in the upper Waipaoa River, New Zealand", *Earth Surface Processes and Landforms, 24, In Press, (1999)*
- (3) Mio Kasai, Tomomi Marutani, Leslie M. Reid and Noel A. Trustrum, "Estimation of temporally averaged sediment delivery ratio using aggradational terraces in headwater catchments of the Waipaoa River, North Island, New Zealand", *Earth Surface Processes and Landforms (In Review)*
- (4) Satoshi Ito, Tomomi Marutani and Mio Kasai, "Patch mosaic distribution of overstorey vegetation in a riparian buffer strip along a meandering V-shaped valley of Oyabu Creek, Central Kyushu, southwestern Japan", *植生学会誌 (投稿中)*
- (5) Hoon Kim, Mio Kasai, Morio Imada and Tomomi Marutani, "Volumetric changes in fine fluvial material linking with forest disturbance of small catchments", in *Proc. Japan-Korea Geomorphological Conference (Chonju/Korea)*, 113-114, (1999)
- (6) 戎 信宏・村瀬 悠・丸谷知己, "衛星データと GIS を用いた崩壊地の判別に関する研究-市房山崩壊地群を例として", *砂防学会誌 (投稿中)*
- (7) 丸谷知己・笠井美青・牧田正代, "山地源流域における支流流域からの土砂流出率", *砂防学会誌 (投稿中)*

再生速度がモニターされることにもなる。本研究は、大規模な地表攪乱がもたらされた多くの地域で、今後さらに実証データを積み重ねることにより、より客観的な陸域モニタリングシステムとして機能することになるものといえる。特に我が国より、さらに規模の大きな移住や開拓の行われつつある海外の河川流域を対象に本研究の適用を進めることが今後必要であると思われる。

- (8) 中村純也・丸谷知己, "一ツ瀬川源流大藪川における 1997 年洪水直後の堆積砂礫径の特徴", *九大農学芸誌*, 53(1-4), 65-70, (1999)
- (9) 櫻木まゆみ・丸谷知己・土肥昭夫, "樹木年代学的手法による山地流域のニホンジカ生息密度・分布域の時間的変化の再現", *日本林学会誌*, 81(2), 147-152, (1999)
- (10) 森下菜穂美・丸谷知己・笠井美青・伊藤 哲, "山地河川におけるバンクエロージョンと河岸崩壊", 平成 11 年度砂防学会研究発表会概要集, 54-55, (1999)
- (11) 安東靖司・笠井美青・丸谷知己, "大規模な土砂生産源から流出した砂礫の Routing-宮崎県椎葉村市房山の調査結果-", 平成 11 年度砂防学会研究発表会概要集, 268-269, (1999)
- (12) 牧田正代・笠井美青・丸谷知己, "山地源流域における土砂の間欠的流出について", 平成 11 年度砂防学会研究発表会概要集, 270-271, (1999)
- (13) 村瀬 悠・戎 信宏・丸谷知己, "衛星データを用いた市房山崩壊地の判定に関する研究", 平成 11 年度砂防学会研究発表会概要集, 324-325, (1999)

参考文献

- (14) Tomomi Marutani, Christoph Hegg, Dieter Rickenmann and Mio Kasai, "Comparison of erosion rates and geomorphic behaviour in Swiss and a Japanese mountain torrents", 第 23 回日産科学振興財団助成研究論文集, 35-42, (1999)
- (15) 岡野哲郎・堺 正紘・丸谷知己, "一ツ瀬川源流における広域植生パターンと開発の歴史", 第 23 回日産科学振興財団助成研究論文集, 53-62, (1999)
- (16) 伊藤 哲・野上寛五郎, "屋久島低地照葉樹林域の溪畔林構成要素", 第 23 回日産科学振興財団助成研究論文集, 99-103, (1999)
- (17) C.R. Hupp, W.R. Osterkamp, and A.D. Howard (Editors), "Biogeomorphology, Terrestrial and Freshwater Systems", *Geomorphology*, 13, 347pp, (1995)