

平成 21 年 5 月 7 日現在

研究種目：基盤研究 (A)
 研究期間：2005～2008
 課題番号：17208012
 研究課題名 (和文)
 台風による地表生態系の攪乱と流域リスクマネジメントに関する農林工学的研究
 研究課題名 (英文)
 Storm-induced disturbance on earth surface processes and risk management for sedimentary systems
 研究代表者 丸谷 知己 (MARUTANI TOMOMI)
 北海道大学大学院・農学研究院・教授)
 研究者番号：40112320

研究成果の概要：

台風により、倒木、崩壊・土石流などの一次被害から二次・三次被害への連鎖は 10 年以上から数十年にわたって発生し、一次被害と河床変動や流路変動、浮遊砂流出などの二次被害が、台風被害に起因した連鎖した現象であることがわかった。台風に伴う地表攪乱は、一次被害を森林のマネジメントで軽減することは不可能であるが、二次被害を軽減することはできる。そのために、植林などの生産源対策のみでは無く、流出対策に視点を変えるべきである。また、本来台風による地表攪乱は、土砂流出および浮遊砂流出として大規模な構造体で「溜める」「阻止する」発想から、小規模な構造体で「流す」「緩和する」発想への転換が求められる。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	10,300,000	3,090,000	13,390,000
2006年度	7,700,000	2,310,000	10,010,000
2007年度	8,200,000	2,460,000	10,660,000
2008年度	9,700,000	2,910,000	12,610,000
年度			
総計	35,900,000	10,770,000	46,670,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：林学・森林科学

キーワード：台風災害、二次災害、樹幹傾斜、斜面浸食加速、土砂生産、浮遊砂沈殿、連鎖、地表生態系の攪乱

1. 研究開始当初の背景

(1)社会的な背景：地球規模での気候変化に伴い、台風、サイクロン、ハリケーンの発生時期、規模、経路などが大きく変化し始めている。そのため、日本、アメリカ、オセアニアなどの太平洋東アジア地域では過去に例を見ない大規模な自然災害を発生し、未曾有の人的経済的被害を生起している。とくに、東アジアモンスーン地帯を通過する台風は、風、雨の両方を伴い、山地での風倒木、山崩れ・土石流の発生だけでなく、植生変化、透

水性の劣化、その後の侵食土砂量の増加など、地表面の生態系にさまざまな“後遺症”を残している。

(2)学術的な背景：これまで台風は一過性の災害としてとらえられ、一次被害から連鎖する二次被害、三次被害については考慮されることがなかった。風圧や豪雨を受けた森林は、その後数十年にわたり生態系攪乱、斜面の安定性、侵食速度に影響伝播すると予想される。台風の規模・頻度が急激に増加している近年、このような地表攪乱の連鎖性に着目した研

究はきわめて重要と考えられる。特に、台風未経験地である東北・北海道地方では、このような地表生態系の攪乱は、流域スケールで今後大きな影響を持つと予想される。さらに、水土砂流出のような連鎖的現象は時間経過に伴い広い範囲に影響が拡散するため、流域スケールでの災害リスク評価と、それを最小限にする管理経営手法が求められる。

2. 研究の目的

本研究では、台風による地表生態系の攪乱が、時間経過に伴って水流出や土砂流出にまで連鎖的に波及するプロセスを定量的に明らかにし、災害リスクの最小限の波及と最大限の回復を目指した森林マネジメントの手法を解明することを目的としている。

本研究では、いわゆる台風災害と言われる、風倒木、土石流、がけ崩れなどの一時災害だけではなく、それらによって連鎖的に引き起こされる二次、三次災害も対象とする。一次災害（風倒木、斜面崩壊・がけ崩れ、土石流、洪水氾濫・堤防決壊、波浪・堤防決壊）から二次災害（生態系攪乱、土層剥離、土砂生産、土砂再移動、浮遊砂沈殿）、三次災害（表面流増加、斜面浸食加速、土砂流出、浮遊砂流出）への連鎖メカニズムを解明する。

3. 研究の方法

- (1) 近年日本列島を縦断した台風被害地（九州、四国、中部、東北、北海道）を抽出し、評価する。
- (2) 地表生態系の攪乱、水流出、斜面崩壊、侵食、土砂流出の連鎖性を、ひとつの流域（集水域）で上流から下流に向かって解析する。
- (3) ニュージーランドと韓国の台風被害についても、現在の荒廃状況と災害記録から、現地調査し、わが国と比較する。
- (4) 被害規模（面積、被害強度）を、リモートセンシングなどを用いて調べ、また浮遊砂や有機物などの流送物質に着目し、下流への影響連鎖との関係を明らかにする。
- (5) 一次被害の連鎖予測と二次被害への連鎖を最小限にするための、森林管理手法およびリスクマネジメントを考察する。

4. 研究成果

- (1) 1次災害に関する研究結果

①風倒木

台風で根返りにより倒れた樹木が保持する土砂（Root pack）を樹木根系の土塊形成範囲とみなして、調査・解析を行った。調査は、北海道札幌市中央区にある藻岩山北の沢川上流部の右沢に面する斜面の風倒木を対象とした。2004年9月8日に北海道に上陸した台風18号は札幌市付近において中心気圧975hPa、中心付近の最大風速30m/sの勢力を持ち、降雨は30mmと少なく、暴風による被害が顕著であった（最大風速21.7m/s、最大瞬間風速50.2m/s）。

統計解析の結果、立木密度差のRoot pack

面積への影響が認められた。これは生育する樹種により立木密度の偏りがあったためと考えられる。また、標高差によるRoot pack体積への影響が認められた。これは標高により風圧が変化したためと考えられる。また、胸高直径・樹種（トドマツ、イタヤカエデ、シラカンバ、ハルニレ、ミズナラの5樹種）がRoot pack深さ・面積・体積に影響を与えることも認められた（図-1）。

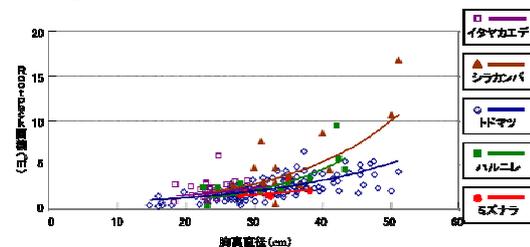


図-1 樹種別 DBH と Root pack 面積の関係

Root pack 面積の推定式として、次のような指数式を用いた。

$$A = K \cdot \exp(\beta \cdot \text{DBH}) \quad (A: \text{面積}, \text{DBH}: \text{胸高直径})$$

②斜面崩壊および土石流

三重県唐櫃谷流域（流域面積 8.05km²、周路長 4.0km）における 2004 年台風に伴う土石流による林地災害を解析した。土石流および掃流の流れの変化に伴い、堆積土砂の性状（固相率と気相率）が変化し、それにより樹木の被害が異なることに着目した。調査木は、土砂で埋没したスギ（38～40 年生、樹高 20～25m、胸高直径 24cm、樹皮のはがれ率：唐櫃谷 40～50cm、春日谷 0cm）である。土砂で埋没した立ち枯れ木の特徴は、掃流形態での堆積では、細粒砂から成る埋積土砂が堅密な構造を示す。すなわち、固相率が高いほど、枯死率が増すことがわかった。また、土石流形態での堆積では、埋積土砂に含まれる粗礫の割合が高く、固相率は相対的に低いことが示された。これらのことより、埋没深が増すほど、枯死率が上昇し、樹皮のはがれはほとんど枯死に影響しないことがわかった。

(2) 2次/3次災害に関する研究結果

①土砂流出 (Sediment Delivery Ratio)

ニュージーランド北島東海岸軟岩地域の Waiapu 川支流 Mangaopolo 川流域において、1988 年サイクロンによる土砂生産がその後の土砂流出の及ぼす影響を SDR (Sediment Delivery Ratio) を用いて解析した。SDR は、(生産土砂量-滞留土砂量)/生産土砂量で計算した。その結果、1971～1988 年の生産土砂量と滞留土砂量の値が豪雨以前の 3 倍に達している（図-2）。さらに、次の期間（1988-1997）にも生産・滞留土砂ともに豪雨前の 2 倍以上を示している。マイナス値の SDR は滞留土砂量が生産土砂量を上回ることを示すので、1988 年のサイクロンによって、それ以前の本

流の河床上昇が緩和されたことがわかった。

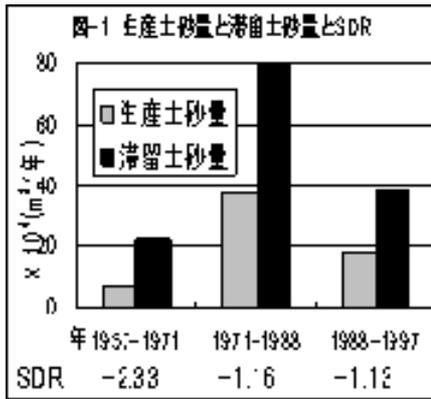


図-2 サイクロン前後での土砂量変化

②土砂流出（河床変動）

台風の際に側方から供給され凝集したまま河道内に分布する土砂分布(セディメントウェーブ)を抽出するため、1993年から2007年までの15年間の一瀬川源流大藪川における河床変動測定データを用い、スペクトル解析のため、各年のデータにフーリエ変換を行った。その結果、平均土砂堆積深の変化より、1993年の計測開始後、1997年と2005年に土砂流入により河床全体が上昇したことが分かった。上流側の河床変動データをフーリエ変換して、フーリエ・スペクトルを求めた。その結果、河床変動幅の大きい(土砂生産源に近い)上流側では、スペクトル解析によりセディメントウェーブの特徴が抽出できるが、レジームが高い値で安定する下流に行くほど難しいことが示唆された。

③流路変動

豪雨によって、上流域における土砂生産が活発化すると、下流域の急激な河床変動が生じる。そこで、台風による上流域からの多量の土砂生産によって急激な河床変動を生じる下流域において、過去半世紀にわたる網状流路の変動の特徴と台風の豪雨による河床変動と網状流路の変動とを解析した。対象地は、上記②と同様である。その結果、河床上昇に伴う流路数増加、河床低下に伴う流路数減少と、土砂流出による河床低下により河岸侵食、複数流路の合流による流路数減少が見られた。一方、河床上昇にも関わらず流路数の減少が見られたことより、通常は急激な河床上昇は流路数の増加を、河床低下は流路数の減少を引き起こし、豪雨時だけ河床上昇に伴う流路数減少が発生することが示唆された。

④浮遊砂流出（濁り）

台風性豪雨による地表環境の激変による、浮遊砂動態の変化が予想されることから、その動態を解明した。2003年8月の台風により活発化した前線の影響で観測史上例のない

豪雨に見舞われた沙流川流域を対象に、長期間(2003年8月豪雨を含む)における流量とSSの関係性を調べるため、1998~2005年の流量及びSSの定期観測値と、2001~2006年の高水連続観測値を用いた。2003年豪雨前後での流量-SSの散布図を作成し、その散布図から、 $C=aQ^b$ のパワー関数を用いて解析を行った。ここでCはSS濃度(mg/l)、Qは流量(m³/s)、a,bは係数である。また、降雨時のSS流出タイミング変化を知るため、Kurashige(1994)の分類法(『先行型』、『同時型』、『遅れ型』)およびWilliams(1989)のヒステリシス・ループを用いて解析を行なった。

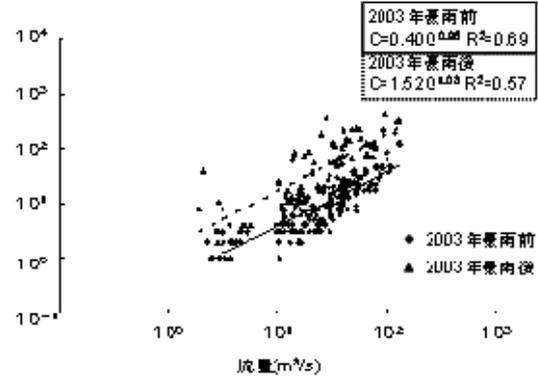


図-3 本流における豪雨前後の流量-SS関係変化

その結果、流量-SSの関係は、本流では2003年8月豪雨前が $C=0.40Q^{0.98}$ 、豪雨後が $C=1.52Q^{1.03}$ となった(図-3)。本流では、b値はほぼ等しく、a値は微増した。これより、降雨で流量が増えたときのみでなく、どのような流量においてもSS濃度が上昇することがわかった。一方、支流では豪雨前が $C=1.60Q^{1.00}$ 、豪雨後が $C=23.91Q^{1.12}$ となり、b値がほぼ等しいのは本流と同様だが、a値は著しく上昇した(図-4)。すなわち、豪雨後のSS濃度の顕著な上昇が認められた。

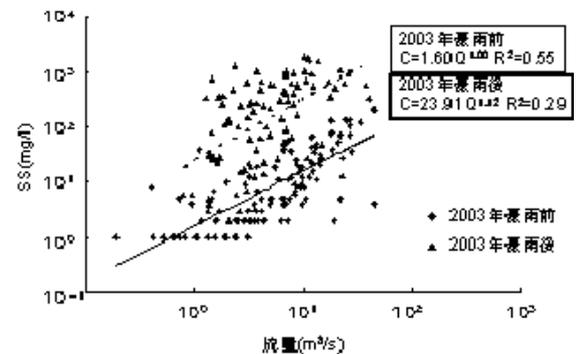


図-4 支流額平川における豪雨前後の流量-SS関係変化

また、流出タイミングは、2003年8月豪雨時に本流では流量ピークとSSピークがほぼ同時に生起する「同時型」が観測され、支流ではSSピークが遅れて生起する「遅れ型」が観測された。それから3年後の2006年豪

雨では本流・支流ともに SS ピークが先に生起する「先行型」に変化した。さらに、流量と SS の関係をヒステリシス・ループによって表した。本流におけるヒステリシス・ループは 2003 年 8 月豪雨時、3 年後の 2006 年豪雨時とも反時計回りを示した。

(3) 総括

本研究では、近年規模と頻度とを増しつつある台風による森林被害を、単に一過性被害として把握するだけ（一次被害）ではなく、その後長期にわたる地表生態系の攪乱現象（二次被害・三次被害）として捉え、攪乱の斜面浸食や土砂流出への連鎖的影響を解明した。また、今後の気候変動時代において一層台風被害が増大すると考え、これらの影響連鎖に強い流域リスクマネジメントを農・林・工学的な視点から考察した。

【一次被害】

まず、北海道を事例として、台風により地表攪乱を倒木に伴う土壌攪乱量として定量的に評価した。

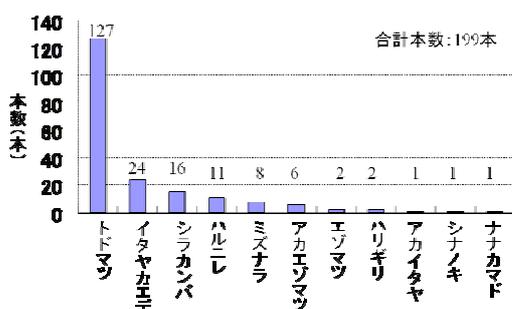


図-5 2003 年台風による札幌近郊での倒木本数

イタヤカエデ、トドマツ、シラカバなどの樹種では、被害量はトドマツが圧倒的に多いが、樹木のサイズに対して浸食される土量が多いのはむしろ、イタヤカエデ、ミズナラなどの北海道固有の広葉樹であることがわかった(図-5)。

また、三重県での森林被害の事例では、風倒木だけでなく崩壊・土石流による土砂で埋没した樹木も大きな一次被害をこうむり、さらに下流部での掃流堆積による埋没で被害を受けていることがわかった。これらの土石流と掃流堆積とでは、樹木を埋没した堆積物の固相率と気相率が異なることが明らかになった。

【二次・三次被害】

台風により攪乱された地表面はその後の浸食を加速し、土砂流出を増加する。ニュージーランドで、本流河川において台風の発生(1988年)直後には、それまでの約3倍の土砂生産量と滞留量があり、その10年後においても台風前の2倍の生産土砂量と滞留土砂

量を維持していることがわかった。これによる河床上昇は10年後まで発生している。

また、我が国九州山地で河床変動を観測した事例から、台風が発生するたびに、固有のスペクトルの河床変動(セディメントウェーブ)が、台風後に異なるスペクトルを示し、その変化がおおよそ10年程度で元の固有値に戻ることが示唆された。九州山地は、いわゆる雨慣れた地域で、河床堆積土砂の粒径も荒く河床の土砂流出も比較的短期間で元の状態に戻るものと予想されている。しかし、それでも、台風による土砂生産が河床変動に影響を及ぼす期間が10年にも及ぶことが明らかになった。

さらに、下流部沖積河川での河床変動と網状流路の変動より、台風ののちに河床変動(セディメントウェーブ)が通過するたびに、網状流路の数や規模変動することが明らかになった。すなわち、下流河川では、台風の河床変動への影響は20年を超えて数十年たっても収まらないことが示唆される。

また、河川の濁り(浮遊砂濃度)について、台風前後およびその後5年目までの観測を行い、生産源からの土砂の供給が終わっても、それによって蓄積されたベッドロードが流れ去るまでには相当な時間が必要で、それまでは河川流域の水質汚濁は継続するものと結論された。

以上のように、台風により一次被害、二次・三次被害への連鎖は短い場合でも10年以上長ければ数十年にわたって発生するものと考えられ、一見無関係に見える、倒木・崩壊・土石流と河床変動や流路変動、浮遊砂流出などが、実はすべて台風被害に起因した連鎖した現象であることがわかった。

森林のリスクマネジメントを考察した。これまで、台風被害はいわば斜面スケールで被害を調査し、倒木、崩壊面積、生産土砂量などで評価されてきた。しかし、森林の被害リスクは、実は森林だけにとどまらず、中流河川さらには下流河川へと流域全体に時間をかけて拡大することが特徴である。すなわち、森林のリスクマネジメントは、まずその対象を斜面スケールから海浜まで含んだ流域スケールで行う必要がある。また、被害予測は数十年先の浮遊砂(濁り)まで想定した長期間予測に基づかねばならない。

北海道では、これまで言われてきたように針葉樹の特に若齢造林地は被害を受けやすいが、地表面の攪乱という点からみれば、高齢木や広葉樹も根系が大きいほど攪乱量が大きいため、すべての森林に林地保全上、過剰な効果を期待することはできない。すなわち、一次被害については、森林のマネジメントにより軽減することはできないといえる。

土砂の下流への流送規模を小さくすれば、下流部での大規模な河床変動やそれに伴う

流路変動を未然に防ぐことができる。そのためには、高さの低い、たとえば河床粗度に相当するような構造体でウェーブを緩和することが考えられる。

また、濁水（浮遊砂流出）を未然に防止するためには、生産源対策よりも流出対策に絞るべきである。崩壊地への植林等の生産源対策では土砂生産が10年以上と長期化する傾向にある。それよりも、すでに流路内に供給されている細粒の土砂を再移動させない方策を検討すべきである。

以上のように、台風に伴う地表攪乱は、これまでの生産源対策型（植林を含む）のみに依存するのではなく、流出対策型に今後視点を変えるべきであることが示唆された。また、本来台風による地表攪乱は、土砂流出および浮遊砂流出として10年から数十年続くが、大規模な構造体で「溜める」または「阻止する」発想から、小規模な構造体で「流す」「緩和する」発想への転換が求められる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計24件）

- 1) M. Kimura, Kun-Woo Chun, Suk-Woo Kim and T. Marutani, Sediment disaster caused by the typhoon "Rusa" following forest fire in the northeastern coastal region, the Republic of Korea, INTERPRAEVENT, 1, 391-402, 2008, 査読有
- 2) 金錫宇・後藤健・全權雨・丸谷知己、山地河床における岩盤形状と巨礫の土砂流出に及ぼす影響、砂防学会誌、61(4)、2008、3-11、査読有
- 3) 宮崎知与・山田孝・丸谷知己、Sediment pulse 発生後における土砂の波状移動と分級現象、砂防学会誌、61(2)、2008、5-15、査読有
- 4) 清水 収・地頭 隆、2006年7月豪雨による九州南部の土砂災害、砂防学会誌、60(5)、60-65、2008、査読有
- 5) Y. Murakami, O. Shimizu, H. Sato, and T. Yamada, Sediment-related disaster caused by Typhoon 0310 Etou in Hidaka Region of Hokkaido, Japan. Int. J. Erosion Control Engineering, (1), 30-37, 2008, 査読有
- 6) N. Suwartha, T. Yamada and S. Shimomura, Proposing an Erosion Velocity Equation for Cohesive Soils in Steeply Sloping Cultivated Fields in Indonesia. Advances in GeoEcology, (39), 181-202, 2008, 査読有
- 7) 宮崎知与・樽林基弘・山田孝・丸谷知己、Sediment pulse に起因する山地流域での非平衡土砂流出の実態、砂防学会誌、59(5)、2007、3-14、査読有
- 8) T. Miyazaki, M. Kurebayashi, T. Yamada, T. Marutani, Universal Academy Press, Inc., Disaster Mitigation of Debris Flows Slope Failures and Landslides 1. (Translation and Dispersion of Sediment Pulses Induced by an Extreme Rainfall in Mountain Rivers), 331-341, 2007, 査読有
- 9) V. Nourani and A. Mano, Semi-distributed flood runoff model in sub-continental scale for South-Western Iran, Journal of Hydrological Processes, 2007, In press, 査読有
- 10) 白鳥喜之・渡辺幸三・有働恵子・真野 明、広瀬川愛宕堰上流における堆積環境の実態、東北地域災害科学研究、43、2007、199-204、査読有
- 11) 本多由里子・木村正信・石田和宏、誘導型マツ工による自然侵入促進工(植生誘導工)の施工事例、日本緑化工学会誌、33(1)、179-182、2007、査読有
- 12) 戎 信宏、改訂森林リモートセンシング基礎から応用まで—加藤正人編著、2.森林水文、日本林業調査会、182-183、2007、査読有
- 13) T. Parkner, M. Page, M. Marden and T. Marutani, Gully systems under undisturbed indigenous forest, East Coast Region, New Zealand, Geomorphology, 84, 241-253, 2007, 査読有
- 14) T. Parkner, M. Page, T. Marutani and N. Trustrum, Patterns and control of gully complex development in a headwater catchment of the Waiapu basin, East Coast, New Zealand, Earth Surface Processes and Landforms, 31, 187-199, 2006, 査読有
- 15) H. Ito, S. Ito, T. Matsui and T. Marutani, Effect of fluvial and geomorphic disturbances on habitat segregation of tree species in a sedimentation-dominated riparian forest in warm-temperate mountainous region in southern Japan, Journal of Forest Research, 11, 405-417, 2006, 査読有
- 16) 長坂晶子・柳井清治・長坂有・佐藤弘和、流域環境の変化に対する上下流住民の意識—対応分析・等質性分析を用いた検討、応用生態工学、9、73-84、2006、査読有
- 17) K. Kochi and S. Yanai, Shredder colonization and decomposition of green and senescent leaves during summer in a headwater stream in northern Japan, Ecological Research, 21, 2006, 544-550, 査読有
- 18) M. Kasai, G. Brierley, M. Page, T. Marutani and N. Trustrum, Impacts of land use change on patterns of sediment flux in Weraamaia catchment, New Zealand, CATENA, 64, 27-60, 2005, 査読有
- 19) T. Sato, T. Suprijo and A. Mano, Equilibrium condition at the narrowest section of the major rivers with sand spits, APAC, 2005, 543-546, 2005, 査読有
- 20) Y. Adikar, S. Kikuchi and T. Araya, Sedimentation and succession pattern in regenerating primary vegetation governing gully formation in the area devastated by the 2000 eruption of the Mount Usu volcano, in Hokkaido, Japan, Zeitschrift fur Geomorphologie, 140, 103-113, 2005, 査読有
- 21) Nagasaka A., Yanai S., Sato H. and Hasegawa

- S. , Soil erosion and gully growth associated with cultivation in southwestern Hokkaido, Japan. *Ecological engineering*, 24, 503-508, 2005, 査読有
- 22) Y. Adikari, S. Kikuchi and T. Araya, Disturbance regimes and sediment characteristics of a single large scale volcanic disturbance that determines the forest succession mosaic and its chronology, *Zeitschrift fur Geomorphologie*, 140, 115-128, 2005, 査読有
- 23) 清水 収・米津仁司・都築一憲・山下彰司、沙流川流砂系、砂防学会誌、58(4)、61-67、2005、査読有
- 24) 清水 収ほか 13 名、2005 年 9 月台風 14 号による土砂災害、砂防学会誌、58(4)、46-53、2005、査読有
[学会発表] (計 6 件)
- 1) 安田梨花・木村諤・丸谷知己・黒木幹男、沙流川流域における 2003 年台風性豪雨後の浮遊砂濃度の変化、平成 21 年度砂防学会研究発表会概要集、2009.5.27、広島
- 2) 木村諤・菊池俊一・丸谷知己、山地渓谷域における複数の支流の合流が異なる植生ハビタットを創出する可能性、日本生態学会、2009.3.18、岩手県立大学(盛岡)
- 3) 櫻井圭祐・丸谷知己、山地河川における河床変動のスペクトル解析、砂防学会研究発表会概要集、2009.5.14、札幌
- 4) 金錫宇・全槿雨・丸谷知己、山地河川での土砂流出に対する河床岩盤形状の影響、砂防学会研究発表会概要集、2009.5.14、札幌
- 5) 谷口義信・清水収、2005 年 9 月 6 日の台風 14 号による宮崎県の土砂災害、砂防学会研究発表会概要集、2006.5.25、30-31
- 6) M.Y. Yustiani Y. and A. Mano, Interaction between physical, chemical and biological processes in the coastal water off river mouth in the post-flood condition, 10th International Conference on Civil Structural and Environmental Engineering Computing, 2006.10.1 [図書] (計 8 件)
- 1) M. Page, M. Marden, M. Kasai, B. Gomez, D. Peacock, H. Betts H., T. Parkner, T. Marutani and N. Trustrum, Changes in Basin-scale Sediment Supply and Transfer in a Rapidly Transformed New Zealand Landscape、Gravel-Bed Rivers edited by Habersack H., Piegay H. and Rinaldi M., 337-358, Elsevier, 2008, 査読有
- 2) T. Marutani, S. Kikuchi, S. Yanai and K. Kochi, Light and dark of Sabo-dammed streams in steep land settings in Japan, *River Future* edited by G.J. Brierley and Kirstie A.F., 220-236, Island Press, 2008, 査読有
- 3) S. Yanai, Ecology of riparian forest in Japan. Chap 3: Sediment dynamics and characteristics with respect to river disturbance, Sakio H. & Tamura T. eds, 31-45, Springer-Verlag, Japan, 2008, 査読有
- 4) Kikuchi S., Structure and composition of riparian forests with reference to geomorphic conditions, *Ecology of riparian forests in Japan: Disturbance, life history, and regeneration*, Sakio H. and Tamura T. eds, 139-152, Springer-Verlag, Japan, 2008, 査読有
- 5) 丸谷知己、山地の地形環境からみた災害防止技術、信州大学田園環境工学研究科編「農林業がつくる地域環境と保全技術」、ほおずき書籍、106-118、2007
- 6) 新谷 融・黒木幹男編、丸谷知己・真板秀二・真野 明・中島勇喜・木村正信・清水 収・山田孝・菊池俊一・笠井美青ほか著、北大図書刊行会、流域学事典変動、220、2006
- 7) 丸谷知己、河川地形と流域での土砂管理、中村太士・小池孝良編「森林の科学」、200-201、朝倉書店、2005
- 8) 菊池俊一、アテ材から見た地すべり斜面の傾動、中村太士・小池孝良編「森林の科学」、142-143、朝倉書店、2005
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
丸谷知己 (TOMOMI MARUTANI) 北海道大学大学院・農学研究院・教授、研究者番号: 40112320
- (2) 研究分担者
菊池俊一 (SHUNICHI KIKUCHI) 北海道大学大学院・農学研究院・助教、研究者番号: 10250490
- (3) 連携研究者
黒木幹男 (MIKIO KUROKI) 北海道大学大学院・工学研究科・准教授、研究者番号: 50002001
柳井清治 (SEIJI YANAI) 北海道工業大学・工学部・教授、研究者番号: 20337009
山田 孝 (TAKASHI YAMADA) 三重大学大学院・生物資源学研究科・准教授、研究者番号: 20333635
真野 明 (AKIRA MANO) 東北大学大学院・工学研究科・教授、研究者番号: 50111258
中島勇喜 (YUUKI NAKAJIMA) 山形大学・教授(副学長)、研究者番号: 70038298
真板秀二 (HIDEJI MAITA) 筑波大学大学院・生命環境科学研究科・准教授、研究者番号: 50015864
木村正信 (MASANOBU KIMURA) 岐阜大学大学院・応用生物科学研究科・教授、研究者番号: 30108063
戎 信宏 (NOBUHIR EBISU) 愛媛大学・農学部・准教授、研究者番号: 60176782
清水 収 (OSAMU SHIMIZU) 宮崎大学・農学部・准教授、研究者番号: 20178966