



Title	細粒土砂汚染の実態とその対策
Author(s)	山田, 浩之
Citation	農業土木北海道, 27, 69-77
Issue Date	2005
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/70433
Type	journal article
File Information	nogyodobokuhokkaido(YamadaHiroyuki)rev1.pdf



細粒土砂汚染の実態とその対策

北海道大学大学院農学研究科

山 田 浩 之

1. はじめに

20 世紀後半の大規模な農林地開発、道路建設・ダム建設などの開発事業にともなう流域の改変は、栄養塩類などの流下物質の変化・増加を通じて、結果的に下流域に位置する生態系や水環境に劇的な変化をもたらすこととなった。なかでも、細粒土砂が河川域や海域に流出・堆積することによって生じる生態系・水環境の変化・悪化は、“sediment pollution（細粒土砂汚染）”と呼ばれ、欧米では 1950 年代という早い時期から、早急に解決すべき重要な課題として認識されている¹⁾。国内では 1970 年代から、沖縄県での農地開発・建設工事に伴う赤土等の海域への流出によるサンゴ礁をはじめとした生態系の破壊が問題とされている。しかし、この汚染に対する認識は薄く、さらに、流域全体を捉えた対策については未検討に近い状態である。それは、細粒土砂の生産源を特定することが難しいこと、流出・堆積メカニズムが複雑であること、さらには、細粒土砂汚染の影響について全貌が明らかにされていないことが原因として挙げられる。また、水質汚濁のように我々の生活に直接影響せず、認識しにくいことも原因のひとつと思われる。

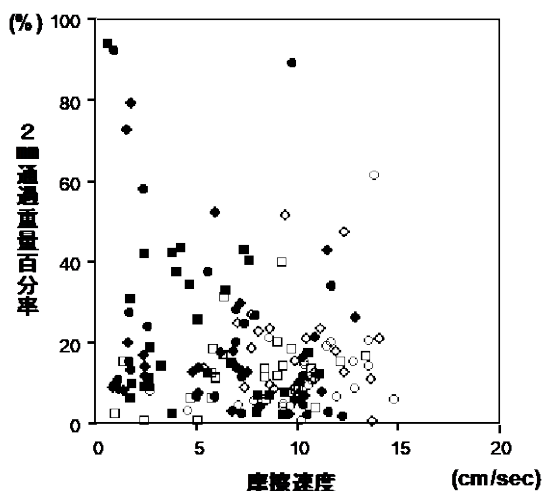
そこで、ここではこれまでの国内外における細粒土砂汚染の実態とその対策の現状について紹介する。

2. 生産源・輸送と堆積

粒径 2mm 以下の砂やシルト・粘土と定義される細粒土砂は、流域の地形（勾配など）、降雨条件や土壌、植生カバーの有無などに対応して自然に生産されるものであり、細粒土砂が堆積している淵や砂礫堆、土壌が露出した場所、例えば、地すべり地などが主な生産源となる²⁾。しかし、ここで問題となるのは、農地開発をはじめとした土地利用の改変や上流域の造林地の拡大、林道開設による細粒土砂生産域・経路網の拡大や採鉱や道路・ダム建設工事の際に生じる直接的な泥水の流出など、人為的な影響によって細粒土砂の生産量が劇的に増加することである³⁾⁴⁾。とくに、大規模な畑地造成や草地造成初期の表土の掻き起しによって、広大な表土露出面が形成され、表流水が発生すると、土壌の流亡やガリー侵食域の拡大が生じる⁵⁾⁶⁾。これによって、大量の土砂が河川内に流入し、河川流水中の浮遊砂濃度が増加する。北海道南部で土地利用の違いが浮遊土砂の流出特性に及ぼす影響について調べられた例では、流域の畑地が占める割合が高い河川ほど浮遊土砂濃度が高く、そのピークが早く現れることが示されている⁷⁾。これは、明渠排水路を通じて畑地の表土を含んだ水が急速に排水されるためと考えられている。このように、農地開発は細粒土砂の生産域拡大を助長させるだけではなく、河

畔林の伐採をとまなうことによって、後述する細粒土砂の捕捉・除去効果をも低減させると考えられている⁸⁾。

こうして河川に流入した土砂は、流速や摩擦速度（河床に加わる力）などの水理量に従って輸送と沈降による堆積を繰り返しながら流下するが、細粒土砂については沈降による堆積に加え、河礫床の間隙に浸入して堆積することが知られている^{9),10)}。この堆積機構についても水理学的に検討されており、河床表層における細粒土砂堆積は摩擦速度と砂礫間隙率に依存し、砂礫の間隙が大きく、なおかつ、摩擦速度が大きい瀬で河床間隙への浸入による堆積が生じやすいことが示されている（図－１）¹¹⁾。このような細粒土砂の堆積が進行すると、河床の目詰まり（透水性の低下）が生じる。村上らが北海道南部の小河川で流域の畑地面積占有率と河床に堆積した細粒土砂および河床の透水係数との関係を調べた結果、畑地面積占有率の高い河川ほど、河床構成する土砂の細粒土砂含有率が高くなり、透

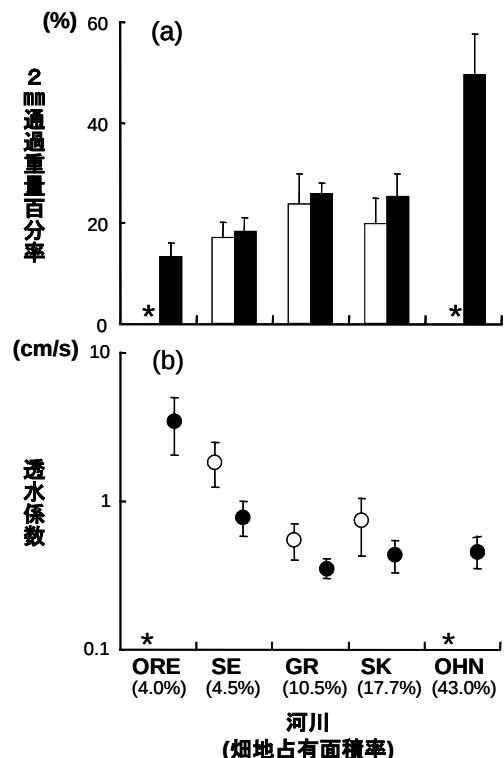


図－１ 底質中の2 mm通過重量百分率と摩擦速度との関係。黒塗は瀬，白塗は平水時を示す。（山田 2002に加筆修正）。

水係数が低くなることを示している（図－２）¹²⁾。この他に、藻類や水生植物に付着して堆積し、この場合の堆積量も流速や摩擦速度に依存するが、流速が小さい場で付着堆積が生じやすいと報告されている¹³⁾。

このように細粒土砂の堆積には水理量が大きく関与するため、ダムや堰下流域での流量の著しい低下、あるいは、河川構造物の設置による河床勾配の緩勾配化により、流速や摩擦速度が低下すると河床材料の細粒化を招くことが報告されている^{13),14)}。

こうした土地利用の変化を通じて生じる浮遊砂濃度の増加、その堆積による河床構成材料の細粒化によって、後に詳述するように



図－２ 流域の畑地占有面積率の異なる河川における(a)底質中の2 mm通過重量百分率および(b)透水係数の平均値と標準誤差。黒塗は出水直後，白塗は平水時を示す。*は欠測値を示す(村上ら 2001に加筆修正)。

河床の有する水質浄化や河川生物相の生息空間としての機能が低下することとなる。

3. 河川生物相に及ぼす影響

細粒土砂汚染が河川の生物に及ぼす影響は、大きく2つに分類される。それは、浮遊した細粒土砂（浮遊砂）の影響と堆積した細粒土砂の影響である。

まず、浮遊砂の影響として、魚類や水生昆虫の呼吸器を詰まらせることによる呼吸の阻害¹⁵⁾、透視度の低下などによる摂食の阻害¹⁶⁾、水中の日射遮断による水生植物・藻類の光合成能力の低下¹⁷⁾、水生植物・藻類の磨耗¹⁸⁾、藻類の定着の阻害¹⁹⁾などが挙げられる。

いっぽう、堆積した細粒土砂の影響としては、前述したように河床の砂礫の隙間（間隙）を埋めることによって、河床内部に生息する魚類や水生昆虫の生息場や産卵に適した環境を消失させる²⁰⁾。さらには、河床内部の水の浸透性が低下し、河床内部への溶存酸素の供給量の低下など物質の流れを阻害する。これによって、河床内部に産まれたサケ科魚類や

底生魚などの卵や孵化した仔魚の成長や生残を妨げている²¹⁾。国内での事例では、ハナカジカ(*Cottus nozawae*)と堆積した細粒土砂との関係が調べられており、細粒土砂の被覆面積率が高くなると浮石割合（河床に適度な間隙を有する状態の面積率）が減少し、ハナカジカの生息密度が低下することが報告されている（図-3）²²⁾。また、細粒土砂堆積がサクラマス(*Oncorhynchus masou*)の発眼卵に及ぼす影響が調べられており、細粒土砂の質量百分率が増加することによって透水係数が低下し、それによる河床浸透流量および溶存酸素供給量の低下によって卵の生残率が低下することが知られている（図-4）¹¹⁾。また、河床の表面に堆積した細粒土砂量の増加によって、付着藻類のクロロフィルa含有量が低下することが明らかになっており（図-5）、これは堆積によって付着藻類の光合成に必要な光量が低下するためと考えられている¹³⁾。さらには、水生植物が埋没し呼吸を妨げることも報告されている¹⁹⁾。このような底生動物の餌となる藻類現存量の減少を通して、底生

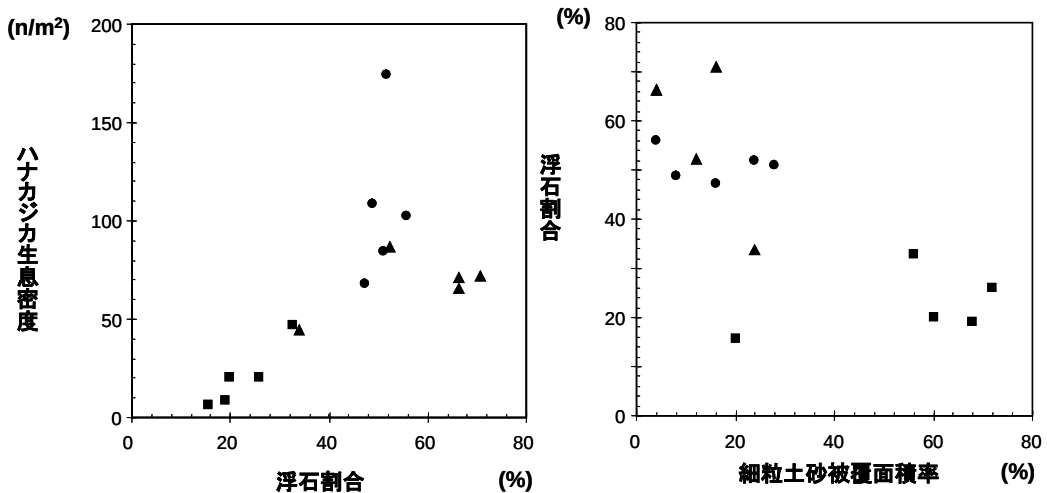
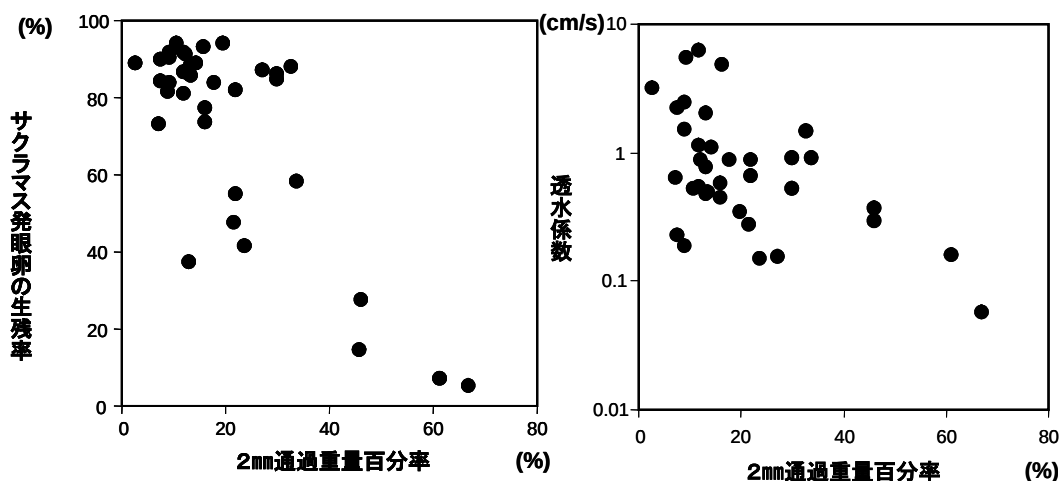


図-3 ハナカジカ生息密度と浮石割合、細粒土砂被覆面積率との関係(渡辺ら 2001に加筆修正).



図ー4 サクラマス発眼卵の生残率と底質中の2 mm通過重量百分率および透水係数との関係(山田 2002 に加筆修正).

動物群集の変化が生じ、河川生態系に対しても重大な影響をもたらすことが懸念されている²³⁾。

こうした細粒土砂の影響は水中だけでなく、低層湿原において出水時に細粒土砂が堆積し、ヨシ (*Phragmites australis*) やスゲ (*Carex Cladium mariscus*) がハンノキ (*Alnus japonica*) へ置き換わるなど、湿原植生に及ぼす影響も報告されている²⁴⁾。

4. 細粒土砂汚染の対策

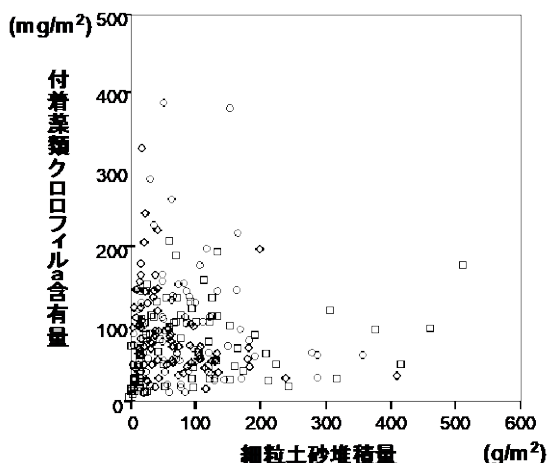
こうした細粒土砂汚染の対策として重要なことは、①生産源管理と流出防止、②河床に堆積させないような流量管理と河川構造物の設計、流出時期の調整である。

(1) 生産源管理と流出防止

地域的・局所的なレベルの管理としては、農林地からの細粒土砂の生産源管理・流出防止策についての報告が多い。圃場レベルの対策としては、流出防止を主な目的とした土壌流亡抑制穴や畝間栽培、耕起頻度の低減、マ

ルチング、圃場勾配の緩和や流末における沈砂池の設置などが実施されている^{25),26)}。

また、河川域では流下量を軽減させるために、砂防ダムなどの設置が実施されている²⁷⁾。こうした対策は、細粒土砂の生産源が特定し難しい地域では設置位置の検討が難しい。また、ダムが満砂状態になった場合には流出防止効



図ー5 付着藻類クロロフィルa含有量と細粒土砂堆積量との関係(Yamada and Nakamura 2002に加筆).

果が得られないなどの欠点があり、あくまでも短期的な措置であることに注意すべきである。しかも、魚類の遡上の阻害や上流から土砂が供給されないことから生じる下流での河床低下が懸念されるなど、細粒土砂流出防止の目的以外の面での問題点が多い。

いっぽう、最近では、河畔林帯の生態学な機能（河川水温上昇の防止、葉や落下昆虫など水生動物への餌資源供給など）が注目を集めていることもあって、圃場や林道から流出する物質の捕捉効果、水質浄化を期待して、河畔林帯の保全や植林が検討されるようになった²⁸⁾。実際に、水辺域の落葉などが厚く堆積した森林土壌は、降雨時の雨滴や表面流による土壌浸食を防ぎ²⁹⁾、水辺域に流入する細粒土砂を捕捉し、河川に流入する細粒土砂を除去する機能が認められている³⁰⁾。河畔林帯による細粒土砂の除去機能については、細粒土砂の粒径により変わるものの、水辺域の傾斜が緩く、幅が広いほど、あるいは表土・植生による粗度が高いほど、細粒土砂の除去率が高くなると報告されている²⁸⁾。しかし、こうした効果について定量的に、さらには長期的に検討された例は限られており、今後も検討を続けていく必要がある。また、仮にこうした効果が十分に発揮される状態を保全あるいは復元しても、明渠排水路など土砂や栄養塩が流入する別経路が形成され、あるいは、河畔林帯で補える以上の負荷がかかってしまえば、その機能は発揮されなくなる。こうしたことから最近では、河畔林帯だけではなく、細粒土砂の負荷の管理を土地利用や開発面積、流域内の配置など流域という大きな景観的要素から捉える見方もなされている⁶⁾。

（２）流量管理・河川構造物の設計・流出時

期の調整

前述したように、河床における細粒土砂堆積の問題については、流量だけではなく、流量低下や河川構造物設置にともなう河床勾配の緩和による流水の流速の低下も重要な因子となる。

流量については、貯水ダム下流部で堆積した細粒土砂をフラッシュアウトすることを目的のひとつとして擬似放流が実施されており、その結果として浮石割合および透水係数の増加が得られている³¹⁾。しかし、こうしたフラッシュアウト効果だけではなく、通常の管理として細粒土砂を堆積させないような流量をどのように与えるかが今後検討すべき課題となる。

河道に設置された流路工によって河床勾配が緩和され、摩擦速度が低下し細粒土砂堆積量が顕著になったと報告されている真駒内川の事例では、前に紹介したハナカジカの生息場の保全を目的として河積（流水部の断面積）の縮小を実施している³²⁾。これは、摩擦速度の増加により細粒土砂を沈降堆積しにくくなる効果を期待したものである。施工前後を比較した結果、細粒土砂の堆積が軽減され、生息場として重要な浮石の保持やハナカジカ生息密度の増加が認められている。またこうした間接的な管理だけではなく、重機による河床の掻き起こしによる直接的な細粒土砂の除去が実施された例もある³³⁾。

いっぽう、流出時期の調整についての報告は非常に少なく、水生植物が生育し始める時期に河川構造物を撤去すると、これまで堆積していた細粒土砂が除去されるとともに堆積するのを妨げ、水生植物の繁殖への影響を軽減できたという報告例がある¹⁹⁾。

5. おわりに

細粒土砂の河川への流出が、河川生物相に及ぼす影響と現在実施されている対策事例を紹介した。しかし、これまでの対策としては、局所的な場に限られた例が多く、根本的な解決にはならないことが指摘されている。これについて Wood and Armitage²⁾は、流域全体の視点で細粒土砂汚染を回避すべきと指摘してきており、そのためには細粒土砂の生産・輸送・堆積から生態系に及ぼす影響まで、流域全体を連結して捉えて体系的に細粒土砂の管理を行うことが重要であると提案している。

国内でも、「流砂系の総合的な土砂管理」（流域の源頭部から海岸までの一貫した土砂の運動領域を「流砂系」という概念で捉え、総合的な土砂管理の考え方、具体的施策の実施）が検討されており、流出機構を組み込んだ浮遊土砂流出モデルの開発が進められている³⁴⁾。しかしながら、このような体系的なモデルには、生物相へ及ぼす影響まで組み込むことは困難と思われる。そのいっぽうで、前述したように、細粒土砂の生産量に対して、流域の土地利用による影響が大きく、流域の農地面積の拡大により細粒土砂の生産が顕著になったという報告が多いことから^{6),35)}、欧米では細粒土砂の生産量および堆積の実態、生物相への影響を土地利用や開発面積、流域内の配置という景観的要素から、統計的に捉えようとする動きがある^{36),37)}。しかし、景観要素を構成する内部構造について、どのように改善するかという具体案を提示できない欠点がある。このように、前者も後者の方法もそれぞれ欠点があり、今後は双方の捉え方を合わせて、実用的な対策が実施されていくことが望まれる。そのためには、流域における細粒土砂の生産・輸送・堆積機構の解明、統

計的アプローチによる解析、定量的な細粒土砂汚染の影響評価についての研究が並行して進められることが重要である。また、研究だけに限らず、農家や地域の自発的な管理や制度作りも今後必要となるであろう。

引用文献

- 1) Waters, T.F. (1995) Sediment in streams. -Sources, Biological Effects, and Control-. American Fisheries Society Monograph, 7, Maryland.
- 2) Wood, P.J. and P.D. Armitage (1997) Biological Effect of Fine Sediment in the Lotic Environment, *Environmental Management*, 21(2), 203-217.
- 3) Barton, B.A. (1977) Short-term effects of highway construction on the limnology of a small stream in southern Ontario. *Freshwater Biology*, 7, 99-108.
- 4) Cline, L.D., R.A. Short and J.V. Ward (1982) The influence of highway construction on the macroinvertebrates and epilithic algae of a high mountain stream. *Hydrobiologia*, 96, 149-159.
- 5) 長澤徹明・梅田安治・水谷環 (1987) 北海道の農林地流域河川における浮流土砂流送挙動. 北海道大学農学部邦文紀要, 15(4), 352-362.
- 6) Allan, J.D., D.L. Erickson and J. Fay (1997) The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales. *Fresh water Biology*, 37, 149-161.
- 7) 佐藤弘和・柳井清治・長坂有・長坂晶子・佐藤創(2002)北海道南西部噴火湾沿岸流域における土地利用の違いが浮遊土砂流出特性に及ぼす影響. 水文・水資源学会誌,

- 15(2), 117-127.
- 8) 山田浩之・中村太士 (2003) 河畔緩衝帯の生態学的意義と草地開発が水辺の生態系に及ぼす影響, 日本草地学会誌, 48(6), 548-556.
- 9) Crisp, D.T. and P.A. Carling (1989) Observations on silting, dimensions and structure of salmonid redds. *J. Fish Biol.*, 34, 119-134.
- 10) Jackson, W.L. and R.L. Beschta (1982) A model of two-phase bedload transport in an Oregon coast range stream, *Earth Surface Processes and Landforms*, 7, 517-527.
- 11) 山田浩之 (2002) 細粒土砂堆積による河床構造および河川生物相の変化機構に関する研究. 北海道大学博士論文, pp. 136.
- 12) 村上まり恵・山田浩之・中村太士 (2001) 北海道南部の山地小河川における細粒土砂の堆積と浮き石および河床内の透水性に関する研究. *応用生態工学*, 4(2), 109-120.
- 13) Yamada, H. and F. Nakamura (2002) Effect of fine sediment deposition and channel works on periphyton biomass in the Makomanai River, northern Japan. *River Research and Applications*, 18, 481-493.
- 14) Doeg, T.J. and J.D. Koehn (1994) Effect of draining and desilting a small weir on downstream fish and macroinvertebrates. *Regulated Rivers: Research and Management*, 9, 263-278.
- 15) Burton, M.N. (1985) The effect suspensoids on fish. *Hydrobiologia*, 125, 221-241.
- 16) Ryan, P.A. (1991) Environmental effects of sediment on New Zealand streams: a review. *New Zealand journal of marine and freshwater research*, 25, 207-221.
- 17) Van Nieuwenhuyse, E.E. and J.D. LaPerriere (1986) Effects of placer gold mining on primary production in sub arctic streams of Alaska. *Water Resources Bulletin*, 22(1), 91-99.
- 18) Lewis, K. (1973) The effect of suspended coal particles on the life forms of the aquatic moss *Eurhynchium riparioides* (Hedw.). I. The gametophyte plant. *Freshwater Biology*, 3, 251-257.
- 19) Brookes, A. (1986) Response of aquatic vegetation to sedimentation downstream from river channelisation works in England and Wales. *Biological Conservation*, 38, 351-367.
- 20) Berkman, H.E. and C.F. Rabeni (1987) Effect of siltation on stream fish communities. *Environmental Biology of Fishes*, 18, 285-294.
- 21) Chapman, D.W. (1988) Critical review of variables used to define effect of fines in redds of large salmonids. *Transactions of the American Fisheries Society*, 117, 1-21.
- 22) 渡辺恵三・中村太士・加村邦茂・土屋進・渡邊康玄・山田浩之 (2001) 河川改修が底生魚類の分布と生息環境に及ぼす影響. *応用生態工学*, 4(2), 133-146.
- 23) 長坂晶子・中島美由紀・柳井清治・長坂有 (2000) 河床の砂礫構成が底生動物の生息環境に及ぼす影響—森林および畑地河川の比較—. *応用生態工学*, 3(2), 243-254.
- 24) Nakamura, F., M. Jitsu, S. Kameyama and S. Mizugaki (2002) Changes in riparian forests in the Kushiro Mire, Japan. associated with stream channelization. *River Research and Applications*, 18, 65-79.
- 25) 長谷川昇司 (1998) 由仁町の小豆畑にお

ける土壌流亡制御効果の検証. 北海道立林業試験場・北海道立水産孵化場・北海道立中央農業試験場, 平成9年度共同研究報告書「農村地帯における河畔環境の再生に関する研究」, 44-51.

- 26) 赤土等流出防止対策検討会 (2001) 技術者のための赤土など対策入門書, (社)沖縄建設弘済会, pp. 75.
- 27) 南哲行・桜井亘・山田孝・徳永敏朗・富坂峰人 (2003) パインアップル園場における赤土砂対策手法について. 砂防学会誌, 56(1), 31-36.
- 28) 高橋和也・林靖子・中村太士・辻珠希・土屋進・今泉浩史 (2003) 生態学的機能維持のための水辺緩衝林帯の幅に関する考察. 応用生態工学, 5(2), 139-167.
- 29) Brown, G. W. (1980) Forestry and water quality. O.S.U. Book Stores. Inc.. Corvallis. Oregon. pp.142.
- 30) Trimble, G.R. and R.S. Sartz (1957) How far from a stream should a logging road be located?. Journal of Forestry, 55, 339-341.
- 31) 小部貴宣・浅見和弘・大杉奉功・浦上将人・伊藤尚敬 (2003) 三春ダムを事例としたフラッシュ放流によるダム下流河川の環境改善について. 応用生態工学会第7回研究発表会講演集, 137-140.
- 32) 加村邦茂・渡辺恵三・中村太士・渡邊康玄・野上毅・土屋進・岩瀬晴夫 (2001) 真駒内川における魚類の生息環境に関する実験的管理の実践. 応用生態工学会第5回研究発表会講演集, 17-20.
- 33) Bates, K. and R. Johnson (1986) A prototype machine for the removal of sediment from gravel streambeds. Washington Department of Fisheries Technical Report, 96.
- 34) 秀島好昭・大野隆・中村和正・星清・小野寺勝 (2001) 火山灰土壌が分布する積雪寒冷地流域の浮流土砂流出抑止に関する研究 I. 土地利用変化に基づく流出変化とそのモデル化. 水文・水資源学会誌, 14(6), 445-451.
- 35) Walling, D.E. (1999) Linking land use, Erosion and sediment yields in river basin. Hydrobiologia, 410, 223-240.
- 36) Richards, C. and G. Host (1994) Examining land use influence on stream habitats and macroinvertebrates: A GIS approach. Water Resource in Bulletin, 30(4), 729-737.
- 37) Boulton, A.J. (1997) Land-use effects on the hyporheic ecology of five small streams near Hamilton, New Zealand. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 31, 609-622.